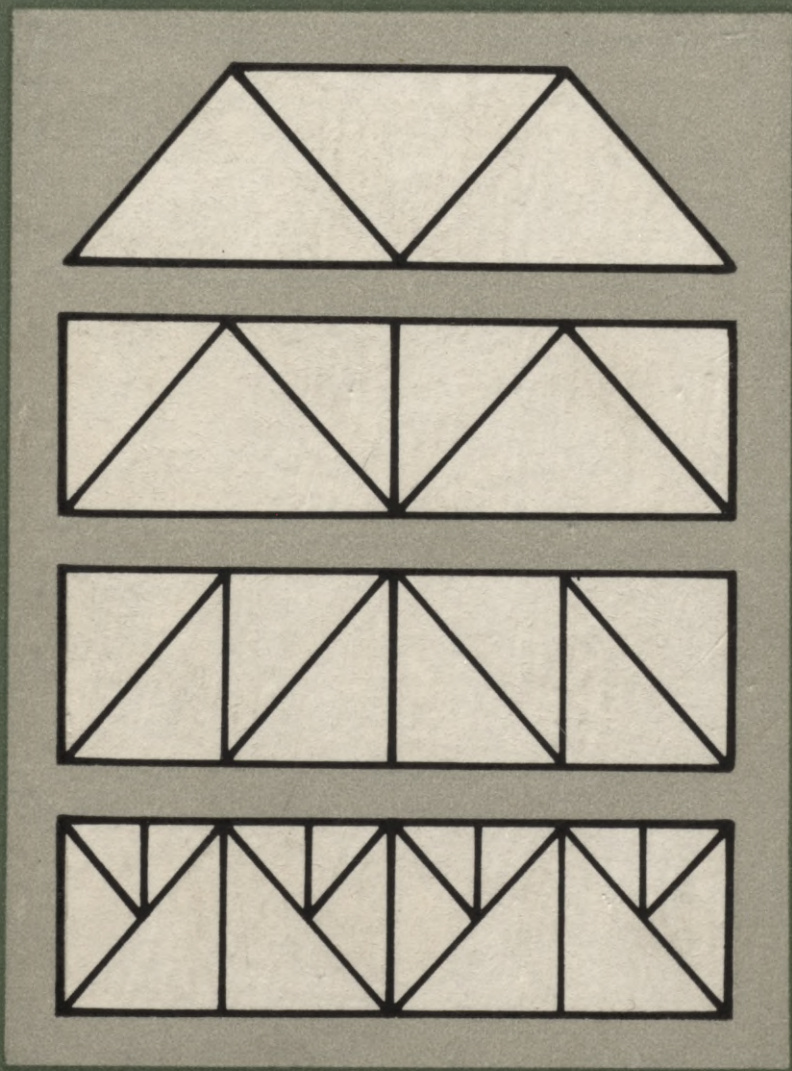
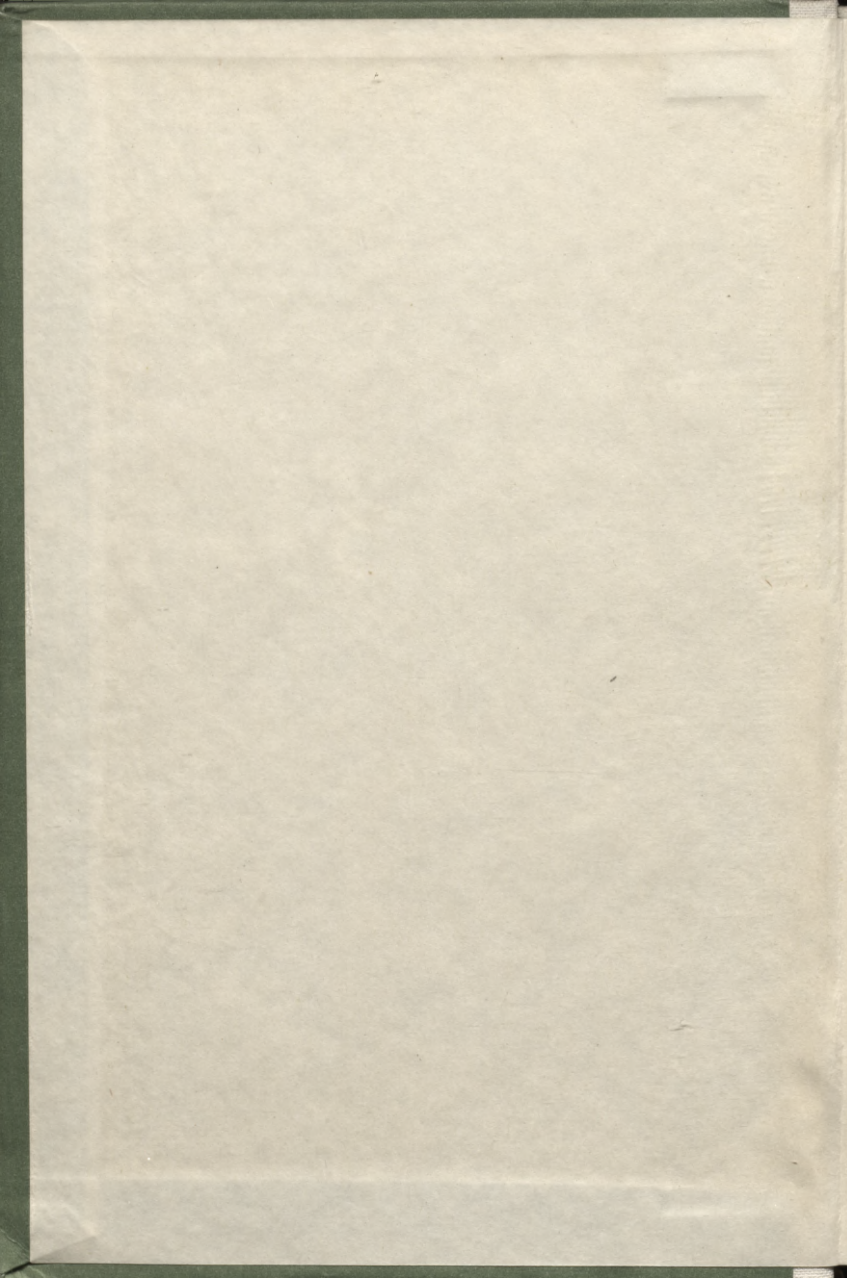
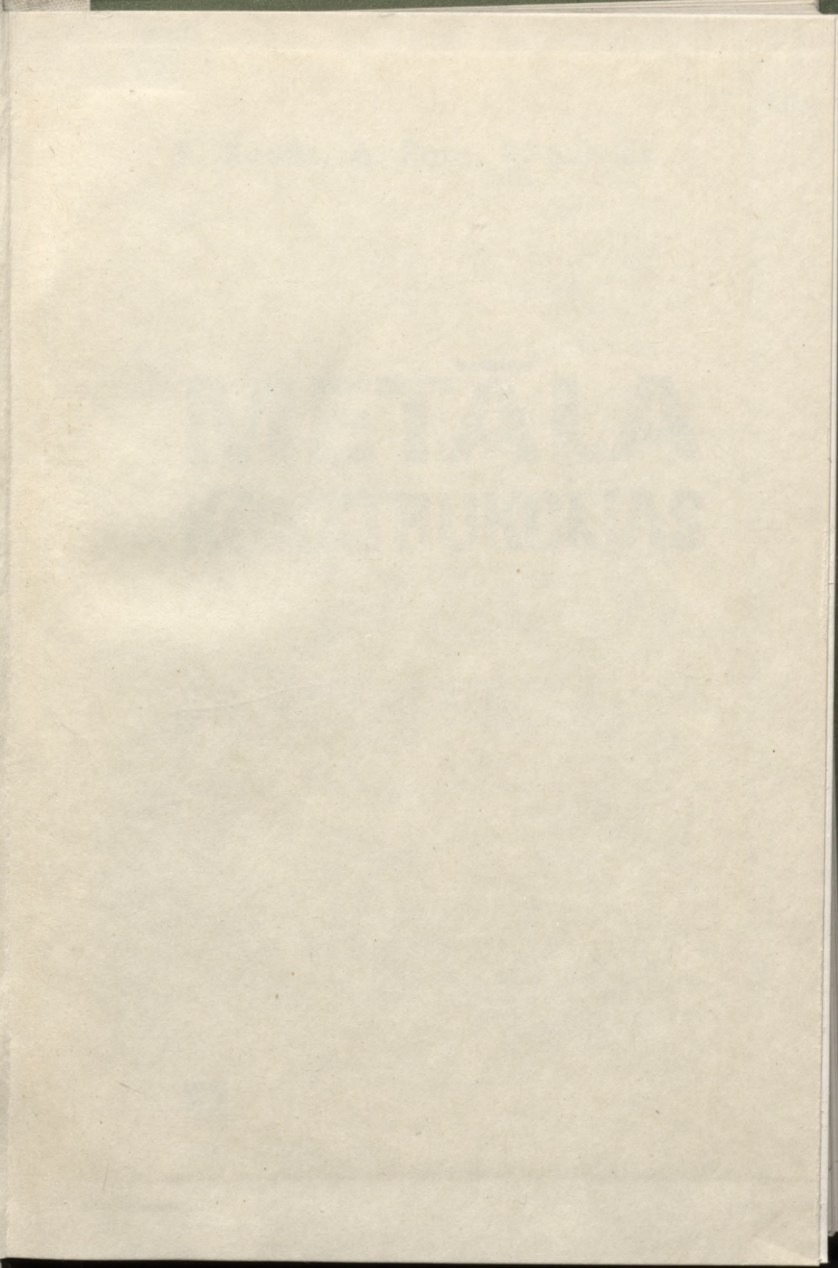


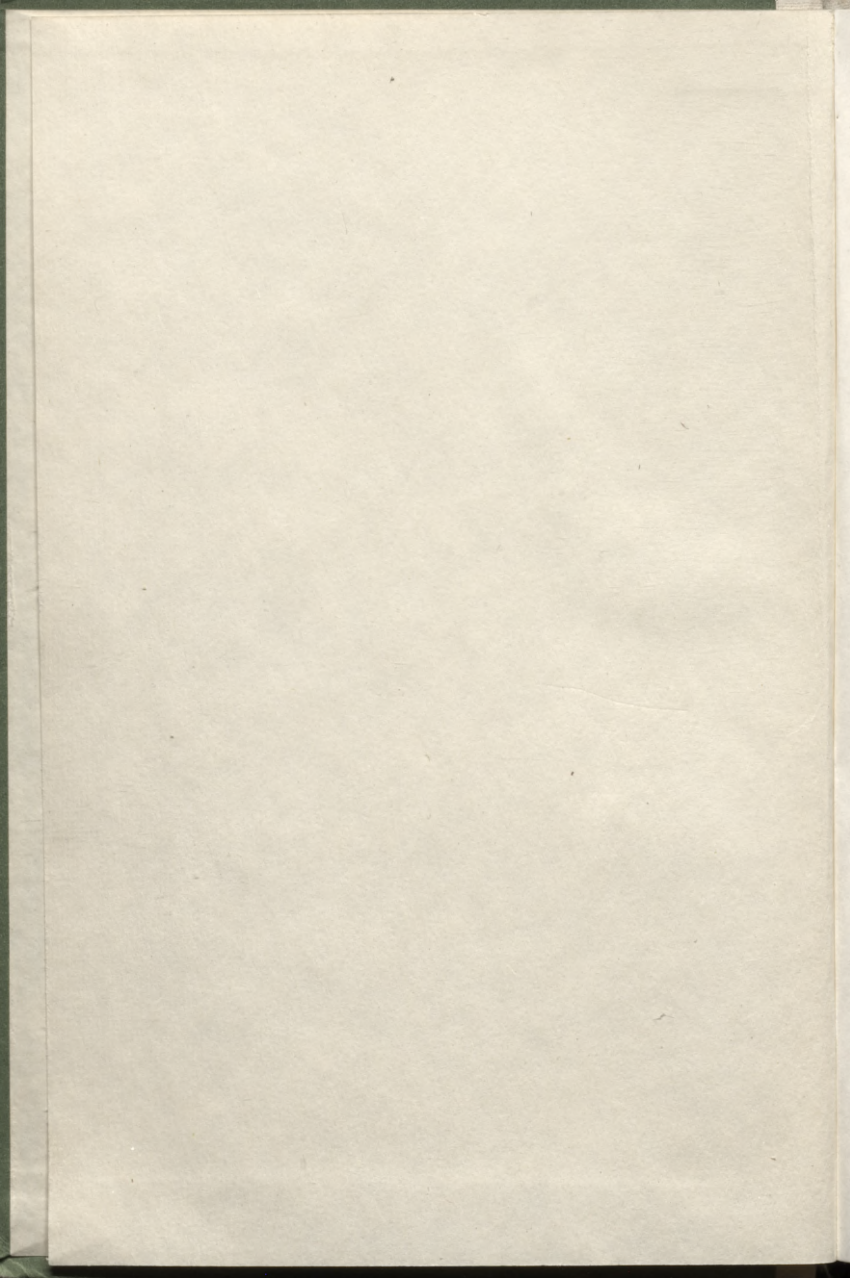
91-4  
L-23

# METĀLA KONSTRUKCIJAS









91-4  
23

L  
629

F. Kadišs, A. Roze, P. Sabulis

# METĀLA KONSTRUKCIJAS

P. Sabuļa redakcijā

Latvijas Republikas Tautas izglītības ministrija  
atļāvis lietot par mācību līdzekli Rīgas Tehniskās  
universitātes rūpniecības un civiltas celtniecības  
specialitātes studentiem



RĪGA «ZVAIGZNE» 1991

Учебное издание

Кадыш Франц Сильвестрович, Розе Аугустс Аугустович,  
Сабулис Петерис Янович

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**

Под ред. П. Сабулиса

Допущено Министерством народного образования  
Латвийской Республики  
в качестве учебного пособия  
для студентов Рижского технического университета  
по специальности промышленного и гражданского строительства

Рига, издательство «Звайгзне»

На латышском языке

Mācību izdevums

Kadišs Francis Silvestra d., Roze Augusts Augusta d.,  
Sabulis Pēteris Jāņa d.

**METĀLA KONSTRUKCIJAS**

Māksl. redaktors U. Gulbis

Tehn. redaktore Dz. Skvarnaviča

Korektore I. Libertē

Vāku zīm. J. Murovskis

ИБ № 2689

Nodota salikšanai 28.08.89. Parakstīta iespiešanai 05.12.90. Formāts  
60×90/16. Tipogr. papīrs Nr. 1. Literatūras garnitūra. Augstspiedums.  
26 uzsk. iespiedi., 26,32 uzsk. krāsu novilk., 28,33 izdevn. l. Metiens  
1700 eks. Pasūt. Nr. 924-1. Cena 1 rbl. 10 kap. Izdevniecība «Zvaigz-  
zne», 226013, Rīgā, K. Valdemāra ielā 105. Licence Nr. 000065. Iz-  
devn. Nr. 7767/T-162. Iespiesta tipogrāfijā «Zvaigzne», 226011, Rīgā, Blau-  
maņa ielā 38/40.

LATVIJAS VALSTS  
BIBLIOTĒKA

21-8074  
0306060741

Recenzenti G. Andersons, M. Ertners

Zinātniskais redaktors G. Andersons

Izdevniecības redaktore A. Strode

**Kadišs F. u. c.**

Ka 073 Metāla konstrukcijas / F. Kadišs, A. Roze, P. Sabulis;  
P. Sabuļa red. — R.: Zvaigzne, 1991. — 416 lpp.: il.

ISBN 5-405-00120-1.

Grāmatā aplūkoti metāla konstrukciju projektēšanas galvenie jautājumi: materiāli un to darbība slodžu ietekmē, savienojumi, metāla konstrukciju elementu aprēķins un konstruēšana, vienstāva ražošanas ēku konstrukciju, daudzstāvu civilo ēku karkasu, liellaiduma pārsegumu, inženierbūvju speciālo konstrukciju un lokšņu konstrukciju projektēšanas pamati, kā arī sniegtas ziņas par metāla konstrukciju izgatavošanas tehnoloģiju un ekonomiku.

Grāmata paredzēta kā mācību līdzeklis RTU rūpniecības un civilās celtniecības specialitātes (29.03) studentiem. To var izmantot arī citu specialitāšu studenti un celtniecības tehnikumu audzēkņi, kā arī projektēšanas organizāciju inženiertehniskie darbinieki.

K 330500000  
M802(11)—91 62—89

38.34z7

## PRIEKŠVĀRDS

Mācību līdzeklis uzrakstīts saskaņā ar augstāko mācību iestāžu rūpniecības un civilās celtniecības specialitātes (29.03) studentiem paredzēto metāla konstrukciju kursa programmu (29.03/4.2).

Grāmatā aplūkoti rūpniecības un civilajā celtniecībā lietojamo metāla konstrukciju projektēšanas un aprēķina pamatjautājumi saskaņā ar tērauda konstrukciju projektēšanas normām [22], ievērojot izmaiņas, kas izdarītas līdz 1989. gada 1. janvārim.

Sakarā ar grāmatas ierobežoto apjomu tajā atsevišķi metāla konstrukciju kursa programmas jautājumi nav plaši iztirzāti, kā arī nav doti konstrukciju elementu aprēķina piemēri un pielikumos nav uzrādīts konstrukciju projektēšanai izmantojamo metāla velmējumu pilns sortiments.

Grāmatas autori ir RTU būvkonstrukciju katedras mācību spēki. Priekšvārdu, 1., 9. un 10. nodaļu uzrakstījis P. Sabulis; 4., 5., 6., 7. un 8. nodaļu — A. Roze; 3., 11., 13., 14. un 15. nodaļu — F. Kadišs; 2. un 12. nodaļu — F. Kadišs un P. Sabulis, pielikumus — A. Roze un P. Sabulis.

Grāmatā lietota Starptautiskā vienību sistēma (SI), kuras galvenās attiecības ir šādas:

$$1 \text{ kgf} = 9,80665 \text{ N};$$

$$1 \text{ tf} = 9,80665 \text{ kN};$$

$$1 \text{ kN} = 101,97163 \text{ kgf};$$

$$1 \text{ tf} \cdot \text{m} = 10^3 \text{ kgf} \cdot \text{m} = 9,80665 \text{ kN} \cdot \text{m};$$

$$1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ MPa};$$

$$1 \text{ kgf/mm}^2 = 9,80665 \text{ N/mm}^2 = 9,80665 \text{ MPa};$$

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 9,80665 \text{ N/cm}^2 = 0,00980665 \text{ kN/cm}^2 = 0,0980665 \text{ MPa};$$

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ N/cm}^2 = 0,1 \text{ kN/cm}^2 = 10,197163 \text{ kgf/cm}^2;$$

$$1 \text{ kN/cm}^2 = 101,97163 \text{ kgf/cm}^2 = 10 \text{ MPa}.$$

1980

KAZANIN YLIOPISTON KIRJASTON KOKOUSKIRJA

REKISTERÖIDYT KIRJAT

1980, 1. osa

1980, 2. osa

1980, 3. osa

1980, 4. osa

1980, 5. osa

1980, 6. osa

1980, 7. osa

### PREKYSÄRÖS

Mätsien lähdellä on ollut useita vuosia erittäin korkeita vettä. Tämä on johtanut siihen, että maan alla on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja. Nämä tilat ovat muodostuneet maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä.

Maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja. Nämä tilat ovat muodostuneet maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä. Tämä on johtanut siihen, että maan alla on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja.

Maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja. Nämä tilat ovat muodostuneet maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä. Tämä on johtanut siihen, että maan alla on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja.

Maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja. Nämä tilat ovat muodostuneet maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä. Tämä on johtanut siihen, että maan alla on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja.

Maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja. Nämä tilat ovat muodostuneet maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä. Tämä on johtanut siihen, että maan alla on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja.

Maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja. Nämä tilat ovat muodostuneet maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä. Tämä on johtanut siihen, että maan alla on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja.

Maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja. Nämä tilat ovat muodostuneet maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä. Tämä on johtanut siihen, että maan alla on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja.

Maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja. Nämä tilat ovat muodostuneet maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä. Tämä on johtanut siihen, että maan alla on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja.

Maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja. Nämä tilat ovat muodostuneet maan alla olevien kallioiden ja hiekkien välillä. Tämä on johtanut siihen, että maan alla on muodostunut suuria vettä kertyviä tiloja.

**METĀLA KONSTRUKCIJU RAKSTUROJUMS****1.1. METĀLA KONSTRUKCIJU ATTĪSTĪBAS  
VĒSTURISKAIS APSKATS**

Celtniecība radās jau tālā senatnē, jo tā vienmēr ir bijusi saistīta ar cilvēku sabiedrības sociālās un ekonomiskās attīstības vispārīgo procesu. Metāla konstrukciju attīstību var iedalīt piecos periodos.

Pirmajā periodā (no 12. gs. līdz 17. gs. sākumam) tā laika unikālās ēkās (pilis, baznīcās u. c.) no metāla izveidoja savilces. Tās izkala no kriču dzelzs un sastiprināja ar cilpām un tapām. Tā, piemēram, Uspeņijas katedrālē Vladimirā velvju balstbīdes uzņēšanai lietoja savilces (1158. g.).

Otrajā periodā (no 17. gs. sākuma līdz 18. gs. beigām) sāka lietot metāla pieslejspāres un telpiskas kupola konstrukcijas, kuru stieņus izveidoja no kaltām brusām un savienoja ar slēgiem, lietojot ugunsmetināšanas paņēmieni. No šādām konstrukcijām var minēt Troicas-Sergija klostera ēdamistabas pārsegumu ar 18 m laidumu Zagorskā (1696.—1698. g.), vecās kremļa pils pārsegumu Maskavā (1640. g.), Kazanņas katedrāles kupola karkasu ar 15 m laidumu Petrogradā (1805. g.) u. c.

17. gadsimtā tika nodibinātas zinātņu akadēmijas Londonā, Parīzē un Romā. Londonas Karaliskās biedrības kurators R. Huks formulēja sakarību starp elastīga ķermeņa deformāciju un tās izraisītāju spēku (1678. g.). L. Eilers izstrādāja elastīgu stieņu garenlieces teoriju (1749. g.).

Trešajā periodā (no 18. gs. beigām līdz 19. gs. vidum) apguva čuguna stieņu un detaļu liešanas procesu. Būvēja čuguna tiltus un civilo un rūpniecības ēku pārsegumu konstrukcijas. Čuguna elementus savienoja ar slēgiem vai skrūvēm. Ņevjanskas torņa lieveņa pārsegums Urālos bija pirmā čuguna pārseguma konstrukcija Krievijā (1725. g.). Pirmais čuguna konstrukciju tilts pasaulē tika uzbūvēts Anglijā (1779. g.), bet Krievijā šādu tiltu uzbūvēja 5 gadus vēlāk Pēterburgā. Krievijā čuguna konstrukcijas pilnību sasniedza 19. gadsimta vidū. Unikāla ir no atsevišķām ribām izveidotā Īzaka katedrāles kupola pilnsienas čaulas konstrukcija (1840. g.). Pēterburgā 19. gadsimta vidū uzbūvētais tilts pār Ņevu bija viens no lielākajiem čuguna tiltiem pasaulē. Sajā laikā pieslejspāres

pakāpeniski transformējās jauktās dzelzs un čuguna trīsstūru kopnēs. Kopnēm sākumā nebija atgāžņu. Kopņu spiestos stieņus izveidoja no čuguna, bet stieptos — no dzelzs ar tainstūra vai apaļu šķērs-griezumu. Elementus mezglos savienoja ar cilpām un skrūvēm.

Ceturtais periods (no 19. gs. 30. gadiem līdz 20. gs. 20. gadiem) ir saistīts ar strauju progresu visās tehnikas nozarēs. 19. gadsimtā dzelzs iegūšanas kriču process tika aizvietots ar pilnīgāku — pudlēšanas procesu, bet pēc tam tika atklāts Besemera (1856. g.), Martena (1864. g.) un Tomasa (1878. g.) tērauda ražošanas process.

19. gadsimta 30. gados līdz ar caurumu izspiešanas preses izgudrošanu parādījās kniedēti savienojumi, kurus 100 gadu izmantoja metāla konstrukciju izgatavošanai. Profilu un lokšņu velmējumi Krievijā tika apgūti 40. gados. Būvkonstrukcijās čugunu gandrīz pilnīgi aizstāja tērauds, jo tam ir labākas mehāniskās īpašības un tas vieglāk apstrādājams. Sākot ar 19. gadsimta otro pusi, čugunu lieto tikai daudzstāvu ēku kolonnu un citu spiestu elementu izgatavošanai.

Pāreja uz tēraudu kļuva par pārvērtību posmu metāla konstrukciju formu attīstībā. Tika izstrādāta plaša konstrukciju formu nomenklatūra, kas stimulēja aprēķina metožu attīstību. E. Vinklera, O. Mora, D. Žuravska, F. Jasinska, L. Navjē, B. Klapeirona, G. Lamē un daudzu citu zinātnieku darbi deva iespēju radīt noteiktu aprēķinu metodiku. Šo laiku var uzskatīt par metāla konstrukciju zinātnes attīstības sākumu.

Inženieris S. Kerbedzs (1810.—1899. g.) uzbūvēja pirmo kopņu konstrukcijas dzelzs tiltu Krievijā pār Lugas upi. Viņš ir arī Pēterburgas lielākā čuguna tilta autors.

Inženieris D. Žuravskis (1821.—1891. g.) vadīja Pēterburgas—Maskavas dzelzceļa tiltu projektēšanas nodaļu, izstrādāja atgāžņu režģa kopņu aprēķina teoriju un lieces tangenciālo spriegumu teoriju.

Profesors F. Jasinskis (1858.—1899. g.) deva lielu ieguldījumu spiestu stieņu, kas darbojas elastīgi plastiskajā darbības stadijā, garenlieces aprēķinos.

Profesors N. Beļeļubskis (1845.—1922. g.) izstrādāja tērauda metrisko sortimentu, pilnveidoja būvtēraudu pārbaudes metodiku, uzrakstīja pirmo būvmehānikas kursu, tiltu kopnēm pirmais sāka lietot atgāžņu režģi, kā arī izstrādāja tiltu projektus.

Profesors L. Proskurjakovs (1858.—1926. g.) tiltu kopnēm ieviesa trīsstūra un spraišļu režģa sistēmu un izstrādāja kopņu racionālas formas teoriju.

Goda akadēmiķa V. Suhova (1853.—1939. g.) darbība bija ļoti daudzveidīga. Viņš pirmais pasaulē izstrādāja un ieviesa celtniecībā telpiskas režģotas pārsegumu konstrukcijas, kā arī torņus, kuros izmantotas taisņu virsmas. V. Suhovam ir teorētiski un praktiski darbi par lokšņu konstrukcijām. Viņš izstrādāja jaunas rezervuāru konstruktīvās formas, to aprēķina un optimālo parametru noteikšanas metodi.

19. gadsimtā Krievijā neliela laiduma rūpniecības un civilās ēkas galvenokārt būvēja no ķieģeļiem un pārsedza ar metāla kop-

nēm. Kopņu konstruktīvā forma pakāpeniski tika pilnveidota, stieņus mezglos savienojot ar fasonlapām un kniedēm. 19. gadsimta beigās parādījās tilta celtni, kurus sākumā uzstādīja uz estakādēm. Palielinoties tilta celtnu celtspējai, ražošanas ēku laidumiem un augstumiem, tika izmainīta ražošanas ēku konstruktīvā forma. 20. gadsimta sākumā par vienkāršu ražošanas ēku galveno nesošo elementu kļuva šķērsrāmis, kas sastāv no kolonnām un rīģeļiem (kopnēm). Sai laikā metāla konstrukcijas strauji attīstījās visās zemēs, jo tika būvēti liellaidumu tilti, debesskrāpji, liellaidumu pārsegumu konstrukcijas un lielas ražošanas ēkas.

Piektais periods sākās pēc pirmā pasaules kara, kad tika atjaunota karā sagraudāta saimniecība. Sai laikā metāla konstrukciju formu attīstību noteica ne vien metāla ekonomija, bet arī konstrukciju izgatavošanas un montāžas darbietilpības samazināšana un ekspluatācijas prasības.

Metāla konstrukciju attīstību sevišķi ietekmēja elektrometināšanas ieviešana, kas deva iespēju samazināt metāla konstrukciju masu un izgatavošanas darbietilpību. Pāreja uz metinātām metāla konstrukcijām izraisīja konstruktīvo formu veidošanas principu pārskatīšanu. Režgotu konstrukciju vietā arvien plašāk sāka lietot pilnsienas konstrukcijas. Metināšana pamatos izmainīja ne vien konstruktīvo formu, bet arī metāla konstrukciju izgatavošanu un montāžu. Lai paātrinātu montāžas darbus, rūpnīcās sāka izgatavot lielāka izmēra elementus, pakļaujot to formu ne tikai rūpnieciskai tehnoloģijai, bet arī lielbloku montāžas metodēm.

Metāla konstrukciju attīstībā liela nozīme ir projektēšanas un zinātniskās pētniecības organizācijām — N. Meļņikova Centrālajam metāla būvkonstrukciju zinātniskās pētniecības un projektēšanas institūtam, V. Kučerenco Centrālajam būvkonstrukciju zinātniskās pētniecības institūtam, Centrālajam rūpniecības ēku zinātniskās pētniecības institūtam, J. Patona Elektrometināšanas institūtam, V. Kuibiševa Maskavas inženierceltniecības institūta metāla konstrukciju katedrai u. c.

Metāla konstrukciju attīstībā lielu ieguldījumu devis Sociālistiskā Darba Varonis PSRS ZA korespondētājloceklis profesors N. Streļeckis (1885.—1967. g.), kas konstrukciju aprēķinā pirmās lietoja statistiskās metodes, izpētīja statistiski nenoteicamu sistēmu darbību aiz elastības robežas, izdarīja teoretiskus pētījumus par konstruktīvo formu attīstību, deva lielu ieguldījumu konstrukciju robežstāvokļu metodes izstrādāšanā, kuru ieviesa 1955. gadā.

Sociālistiskā Darba Varonim, Ukrainas PSR ZA īstenajam loceklim J. Patonam (1870.—1953. g.) ir sevišķi nopelni elektriskā loka metināšanas mehanizācijā un automatizācijā. Metināšanu metāla konstrukciju savienošanai sāka lietot 30. gados, bet plaši celtniecībā to ieviesa pēckara periodā.

Metāla konstrukciju jaunu konstruktīvo formu izstrādāšanā un pilnveidošanā lielu ieguldījumu devis akadēmiķis N. Meļņikovs (1908.—1982. g.).

Zinātniski tehniskais progress metāla konstrukciju attīstībā noris četros galvenajos virzienos:

- 1) metāla konstrukciju formu veidošanas teoriju un aprēķina metožu attīstība;
- 2) projektēšanas kvalitātes paaugstināšana un tās procesa pārātrināšana, ieviešot automatiskās projektēšanas sistēmu;
- 3) metāla konstrukciju izgatavošanas jaunas tehnoloģijas izstrādāšana, ieviešot automatizētas plūsmas līnijas;
- 4) montāžas metožu pilnveidošana, attīstot bloku montāžas plūsmas metodes, paaugstinot mehanizāciju un uzlabojot darba organizāciju.

## 1.2. METĀLA KONSTRUKCIJU PRIEKŠROCĪBAS UN TRŪKUMI

Metāla konstrukcijas plaši lieto dažādās ēkās un būvēs, un tām ir šādas galvenās priekšrocības: drošums, vieglums, industriālums un necaurļaidība.

Metāla konstrukcijām ir liels *drošums*, jo to patiesā darbība (spriegumu sadalījums un deformācijas) atbilst aprēķina nosacījumiem. Konstrukciju materiāliem — tēraudiem un alumīnija sakausējumiem — ir viendabīga struktūra un saskaņā ar aprēķina nosacījumiem to darbība pietiekami atbilst materiālu elastīgai vai elastīgi plastiskai darbībai.

Metāla konstrukcijām raksturīgs *vieglums* salīdzinājumā ar dzelzsbetona, mūra un koka konstrukcijām.

Konstrukciju vieglumu  $c$ , l/m, raksturo materiāla blīvuma  $\rho$ , kg/m<sup>3</sup>, un aprēķina pretestības  $R$ , Pa, attiecība:

$$c = \rho / R.$$

Mazgļekļa tēraudiem  $c = 3,5 \cdot 10^{-5}$  l/m, dūralumīnijam Д16Т  $c = 1,1 \cdot 10^{-5}$  l/m, B25 klases betonam  $c = 1,7 \cdot 10^{-4}$  l/m un kokam  $c = (3,4 \dots 5,8) 10^{-5}$  l/m.

Metāla konstrukciju *industriālumu* nosaka to izgatavošana specializētās rūpnīcās, kas apgādātas ar modernu iekārtu. Arī to montāžu veic specializētas organizācijas, izmantojot modernu tehniku, kurai ir augsts darba ražīgums.

Metālam ir ne vien liela stiprība, bet arī blīvums — gāzu un šķidrumu *necaurļaidība*, kas nepieciešama lokšņu konstrukcijās.

Metāla konstrukciju galvenie trūkumi ir maza korozijizturība un maza ugunsizturība.

Neaizsargāts tērauds atmosfēras mitruma un agresīvu gāzu ietekmē korodē, pakāpeniski sabrūkot. Nelabvēlīgos apstākļos tērauds korozijas dēļ var sabrukt dažu gadu laikā. Alumīnija sa-

kausējumiem ir daudz lielāka korozijizturība, bet nelabvēlīgos apstākļos arī tie korodē. Cugunam ir liela korozijizturība.

Metāla konstrukciju korozijizturību paaugstina, tēraudam pievienojot speciālas legējošas piedevas, konstrukcijas pārklājot ar aizsargsegumiem (lakas, krāsas u. c.), kā arī elementiem izvēloties racionālu formu (bez spraugām un iedobumiem, kur var sakrāties mitrums un putekļi), kura ir ērta konstrukciju aizsardzībai.

Tēraudiem 200 °C temperatūrā sāk samazināties elastības modulis, bet 600 °C temperatūrā tie pilnīgi pāriet plastiskā stāvoklī. Alumīnija sakausējumi plastiskā stadijā pāriet jau 300 °C temperatūrā.

### 1.3. METĀLA KONSTRUKCIJU LIETOŠANA CELTNICĪBĀ

Metāla konstrukcijas tagad lieto visu veidu ēkās un būvēs, ja ir lieli laidumi, augstums un slodzes. Celtniecībā visvairāk lieto metāla konstrukcijas no parastajiem mazoglekļa tēraudiem, palielinātas stiprības mazlegētajiem tēraudiem un alumīnija sakausējumiem. Metāla konstrukcijām ir šāds lietojums.

**Ražošanas ēkas.** Vienstāva ražošanas ēkām visbiežāk lieto metāla vai jauktu karkasu. Jaukta karkasa ēkām kolonnas izgatavo no dzelzsbetona, bet pārseguma konstrukcijas un tilta celtni ceļa sijas — no metāla. Metāla karkasu lieto ēkām, kurām ir lieli laidumi un augstums un kurās uzstādīti lielas celtspējas tilta celtni.

**Liellaiduma ēku pārsegumi.** Dažām sabiedriskajām ēkām (sporta būvēm, izstāžu paviljoniem u. c.) un ražošanas ēkām (angāriem, elingiem, aviācijas kopmontāžas cehiem u. c.) ir lieli laidumi (pat lielāki par 100...150 m), kuru pārsegšanai ir lietderīgi izmantot dažādas sistēmas un konstruktīvās formas metāla konstrukcijas: siju, rāmju, arku, krustisku stieņu, kupolu, piekarinātos pārsegumus u. c.

**Tilti, kustības pārvadi, estakādes.** Dzelzceļu un autoceļu tiltu laidumu konstrukcijas, kustības pārvadu un estakāžu konstrukcijas, ja laidumi ir lieli, parasti izgatavo no metāla.

**Lokšņu konstrukcijas.** Tās ir čaulas tipa konstrukcijas, kuras izveido no metāla loksņiem un izmanto gāzu, šķidrumu un beramu materiālu glabāšanai, transportēšanai vai pārstrādei. Lokšņu konstrukciju nomenklatūrā ietilpst rezervuāri, gāzholderi (gāzu tilpnes), bunkuri, silosi, liela diametra cauruļvadi, metalurģisko, ķīmisko un citu ražotņu speciālas konstrukcijas.

**Torņi un masti.** Tos lieto radiosakaros un televīzijā, ģeodēziskajā dienestā un elektropārvades līnijās.

**Daudzstāvu ēku karkasi.** Daudzstāvu ēkās metāla karkasus lieto galvenokārt civilajām ēkām un dažu ražotņu ražošanas ēkām.

**Celtni un citas kustīgas konstrukcijas.** Tās izveido no metāla, lai maksimāli samazinātu to masu. Pie šādām konstrukcijām pieder

tilta celtni, torņa celtni, pastatņu celtni, lielu ekskavatoru un dažādu būvmašīnu konstrukcijas, hidrotehnisko būvju aizvari un vārti u. c.

**Pārējās konstrukcijas.** Pie tām pieder konstrukcijas atomenerģijas izmantošanai mierlaika vajadzībām, dažādi radioteleskopi u. c.

## 2. nodaļa

# METĀLA KONSTRUKCIJU MATERIĀLI

## 2.1. TĒRAUDI

### 2.1.1. VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS

Tērauds ir visplašāk izmantotais metāla konstrukciju materiāls. To iegūst, sakausējot dzelzi ar oglekli (līdz 2%) un legējošajiem elementiem (piedevām), kas uzlabo tērauda īpašības. Tēraudos ir nelieli sārņu ieslēgumi, kas rodas kausēšanas procesā vai iekļūst no rūdas. Būvkonstrukciju izgatavošanai izmanto mazoglekļa tēraudus, kuros oglekļa saturs nepārsniedz 0,22%.

Pēc mehāniskajām īpašībām tēraudus iedala trīs grupās: parastās stiprības (mazoglekļa), palielinātas stiprības un lielas stiprības tēraudos.

Metāla konstrukcijas galvenokārt izgatavo no parastās un palielinātas stiprības tēraudiem, bet mazāk — no lielas stiprības tēraudiem.

Atkarībā no kausēšanas paņēmiena izšķir martena, konvertera tēraudus un elektrotēraudu. Konvertera tērauda kausēšanas modernās metodes dod iespēju iegūt tēraudu, kas pēc īpašībām ir tuvs martena tēraudam. Tāpēc piegādātajam tēraudam kausēšanas metodi nenorāda. Sakarā ar elektrometalurģijas attīstību ievērojami palielinās būvtēraudu kausēšana elektriskajās krāsnīs. Šiem tēraudiem ir mazs sēra un fosfora saturs.

Kvalitātes un izmaksu ziņā perspektīvs ir tērauds, kas, neizmantojot jēlčugunu, iegūts no porainās (reducētās) dzelzs, kuru iegūst, apstrādājot rūdas koncentrātu speciālās krāsnīs. Šādu tēraudu kausē lielas jaudas elektriskā loka krāsnīs.

Pēc dezoksidācijas pakāpes izšķir verdošo, mierīgo un pusmierīgo tēraudu. Verdošo tēraudu (apzīmējums «кп») iegūst, ja kausējumu pirms tā pilnīgas dezoksidācijas izlej veidņos. No šāda šķidrā metāla turpina izdalīties oglekļa oksīda burbuļi. Verdošajam tēraudam raksturīgs nevienmērīgs oglekļa, sēra un fosfora sadalījums, kuru sauc par likvāciju. Neviendabīgais ķīmiskais sastāvs ietekmē tērauda mehāniskās īpašības, kā arī paaugstina tā sliekšni trausli sagrūt.

Mierīgo tēraudu («сп») iegūst, šķidro kausējumu dezoksidējot ar feromangānu, ferosilīciju vai alumīniju. Mierīgajam tēraudam ir

augstākas mehāniskās īpašības nekā verdošajam tēraudam, bet tas ir par 10...12% dārgāks.

Pusmierīgais tērauds («nc») kvalitātes un izmaksu ziņā ir vidējs starp verdošo tēraudu un mierīgo tēraudu.

Mazoglekļa tērauds sastāv galvenokārt no diviem komponentiem — ferīta un cementīta. Ferīts ir gandrīz tīra dzelzs, kurā nelielā daudzumā izšķīdināts ogleklis un citi elementi. Ferītam ir telpiski centrēta kuba kristāliskā režģa struktūra. Tas tēraudā veido dažādos virzienos orientētus graudus. Ferīts ir mīksts un plastisks, tā plūstamības robeža ir apmēram 100 MPa, robežstiprība 250...300 MPa un relatīvais pagarinājums 50%.

Otrs tērauda komponents — cementīts — ir dzelzs un oglekļa ķīmiskais savienojums  $Fe_3O$  (dzelzs karbīds). Cementīts ir ļoti ciets, izturīgs un elastīgs. Tā robežstiprība ir 800...1000 MPa, relatīvais pagarinājums — tikai 1%.

Cementītam sajaucoties ar ferītu, rodas maisījums — perlīts, kas aizpilda atstarpes starp ferīta graudiem. Ferīta graudiem pieslīpējumā ir gaiša krāsa, bet perlītam un cementītam — tumša krāsa (2.1. att.). Pēc mehāniskajām īpašībām perlīts ieņem vidēju stāvokli: tā robežstiprība ir 600...800 MPa un relatīvais pagarinājums 5...20%. Perlīta ielāsmojumi un starpslāņi, kas aptver ferīta graudus, veido stingru un elastīgu tīklu ap mīksto un plastisko ferītu. Šāda tērauda uzbūve nosaka tā darbību slodžu ietekmē un tā plastiskumu.

Tēraudu īpašību un kvalitātes novērtēšanā galvenie tehniskie raksturojumi ir mehāniskās īpašības un ķīmiskais sastāvs. Aplūkošim galvenās mehāniskās īpašības.

**Plūstamības robeža**  $\sigma_{pl}$  ir spriegums, kas raksturo metāla pāreju plastiskās darbības stadijā. Līdz plūstamības robežai metāls darbojas elastīgi un var izmantot aprēķina metodes, kas attiecas uz materiāla elastīgo stadiju.

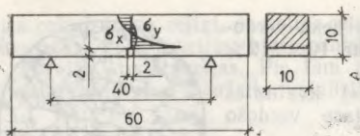
**Pārejošā pretestība**  $\sigma_{pār}$  ir stieptā parauga nosacītais pārraušanas spriegums (graujošās slodzes attiecība pret parauga sākotnējo šķēsgriezuma laukumu). Tā raksturo tērauda stiprību.

**Relatīvais pagarinājums**  $\epsilon$  ir parauga pagarinājuma attiecība pret sākotnējo garumu. Izšķir divus relatīvos pagarinājumus: paliekošo relatīvo pagarinājumu isajam cilindriskajam paraugam  $\delta_5$  ( $l = 5d$ , kur  $d$  — parauga diametrs) un garajam paraugam  $\delta_{10}$  ( $l = 10d$ ). Relatīvais pagarinājums raksturo tērauda plastiskumu.

**Triecienstīgrība** ir īpatnējais darbs, kuru patērē standarta parauga (2.2. att.) sagraušanai, pārbaudot to ar Sarpī sistēmas svārstu sitni. Pārbaudi izdara normālā temperatūrā  $t = 20^\circ C$ , kā arī negatīvā temperatūrā. Triecienstīgrība raksturo tērauda sliekšmi pāriet trauslā stāvoklī. Negatīvās temperatūrās un pēc mehāniskas



2.1. att. Tērauda Cr3 mikrostruktūra.



2.2. att. Paraugš trieciēstīgrības pārbaudei.

vecināšanas tērauda sliekšņi pāriet traušlā stāvoklī palielinās un trieciēstīgrība samazinās.

*Liekšana ap tapni aukstā stāvoklī par 180°.* Izdarot šo pārbaudi, uz parauga ārējās (stieptās) skaldnes nedrīkst parādīties plaisas. Šī pārbaude dod iespēju tikai kvalitatīvi novērtēt tērauda plastiskumu un sliekšņi uz plaisu rašanos.

Tērauda ķīmisko sastāvu raksturo dažādu ķīmisko elementu saturs procentos.

**Ogleklis (Y)** paaugstina tērauda plūstamības robežu un pārējo pretestību, bet samazina plastiskumu un metināmību.

**Silīcijs (C)** palielina tērauda stiprību, pazemina tā metināmību un korozijizturību. Mazoglekļa tēraudos silīciju lieto par dezoksidētāju.

**Mangāns (Γ)** paaugstina tērauda plūstamības robežu un pārējo pretestību, nedaudz samazina tā plastiskumu un maz ietekmē metināmību.

**Varš (D)** nedaudz palielina tērauda stiprību un paaugstina korozijizturību. Liels (vairāk par 0,7%) vara saturs veicina tērauda veicināšanu.

**Alumīnijs (IO)** labi dezoksidē tēraudu, neitralizē fosfora kaitīgo ietekmi un nedaudz palielina tērauda trieciēstīgrību.

**Slāpeklis (A)** nesaistītā stāvoklī palielina tērauda traušlumu, it sevišķi zemās temperatūrās, un veicina tā veicināšanu. Ķīmiski saistoties ar alumīniju, vanādiju, titānu un niobiju, slāpeklis veido nitrīdus, kas uzlabo tērauda struktūru un tā mehāniskās īpašības.

**Niķelis (H), hroms (X), vanādijs (Φ), volframs (B), molibdēns (M), titāns (T) un bors (P)** ir legējošie elementi, kuri uzlabo dažādas tērauda mehāniskās īpašības.

Daži piemaisījumi ir kaitīgi tēraudam, jo ievērojami pasliktina tā konstruktīvās īpašības.

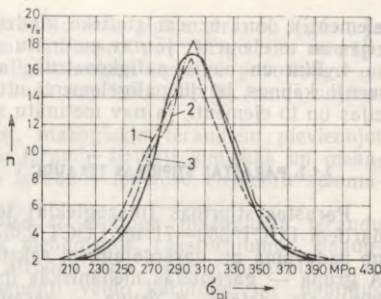
**Fosfors** krasī samazina tērauda plastiskumu un trieciēstīgrību, kā arī veicina tā aukstlūšanu (traušlumu negatīvās temperatūrās).

**Sērs** nedaudz samazina tērauda mehānisko īpašību raksturlielumus un veicina karstlūšanu (traušlumu un sliekšņi uz plaisu rašanos 800—1000 °C temperatūrā), kas metinātās konstrukcijās izraisa metināšanas plaisas.

Tērauda mehāniskos raksturojumus var paaugstināt ar termisko apstrādi. Izšķir divus galvenos būvtēraudu termiskās apstrādes veidus: normalizāciju un termisko uzlabošanu. Normalizācija ir tērauda sakarsēšana līdz 900—950 °C un pēc tam atdzesēšana gaisā, kuras rezultātā tērauda struktūra kļūst viendabīgāka un uzlabojas mehāniskās īpašības un trieciēstīgrība. Termiskajā uzlabošanā ietilpst rūdīšana, t. i., tērauda sakarsēšana līdz 890—950 °C tempe-

ratūrai un strauja atdzesēšana ūdenī, un atļaidināšana — sakarsēšana, izturēšana 550...700°C temperatūrā un lēna atdzesēšana. Termiskā uzlabošana paaugstina tērauda triecienstīgrību.

Vecināšana ir metālu struktūras un īpašību izmaiņas process, kas noris spontāni ilgstošā laikā normālā temperatūrā (dabiskā vecošana) vai sakarsējot (maksimālā vecināšana). Vecināšana palielina tērauda stiprību un cietību, bet vienlaikus samazina plastiskumu un triecienstīgrību.



2.3. att. Tērauda Cr3 plūstamības robežas statistiskais sadalījums:

1 un 2 — pēc atsevišķu rūpnīcu datiem; 3 — teorētiskā Gausa līkne.

Tērauda stiprību ietekmē daudzi faktori, tāpēc tā stiprības rādītājiem ir noteikta izkliede. Ja ir pietiekami liels novērojumu skaits, tad kāda mehāniskā lieluma (metāla mehāniskās īpašības) noteiktas vērtības rašanās varbūtību var noteikt ar matemātiskās statistikas metodēm. Tērauda Cr3 (ГОСТ 380—71) plūstamības robežas brāķēšanas vērtību sadalījuma līknes parādītas 2.3. attēlā.

Tēraudu mehāniskās īpašības ir atkarīgas ne tikai no to markas, veida (lokšņu vai profiltērauds), biezuma, bet arī no stiprības grupas — 1. un 2. grupa. Tagad ir izstrādāti tehniskie noteikumi, pēc kuriem ražo 4...20 mm biezu lokšņu tēraudu (izņemot ruļļu tēraudu) un profiltēraudu ar biezumu līdz 30 mm. Plūstamības robeža 2. grupas tēraudiem ir par 30 MPa lielāka nekā 1. grupas tēraudiem.

Lai pareizi izvēlētos tērauda marķu, tērauda konstrukciju projektēšanas normas [22] visas konstrukcijas atkarībā no atbildības pakāpes un ekspluatācijas apstākļiem iedala 4 grupās.

1. Metinātas konstrukcijas vai to elementi (celtņu ceļa sijas; darba laukumu sijas; bunkuru un izkraušanas estakāžu konstrukcijas elementi, kuri tieši uzņem ritošo sastāvu slodzi; kopņu fasonlapas; hidrotehnisko būvju celtņu ceļa sijas u. c.), kuri strādā sevišķi smagos apstākļos vai uzņem dinamiskās slodzes.

2. Metinātas konstrukcijas vai to elementi (kopnes; rāmju rīģeļi, pārsegumu sijas; kāpņu laidī; elektropārvades līniju balsti, izņemot lielu pāreju metinātus balstus; antenu būvju kombinēto balstu elementi un citi stieptie, stiepti liektie un liektie elementi), kuri uzņem statisko slodzi, kā arī 1. grupas konstrukcijas un to elementi, ja nav metinātu savienojumu.

3. Metinātas konstrukcijas vai to elementi (kolonnas, statņi, balsta plātnes, pārsegumu klāju elementi, antenu būvju stāvu un torņu elementi, pārsegumu kopturi un citi spiestie un spiesti liektie

elementi), kuri uzņem statisko slodzi, kā arī 2. grupas konstrukcijas un to elementi, ja nav metinātu savienojumu.

4. Eku un būvju palīgkonstrukcijas (saites, sienu karkasa elementi, kāpnes, būvju palīgelementi utt.), kā arī 3. grupas konstrukcijas un to elementi, ja nav metinātu savienojumu.

### 2.1.2. PARASTAS STIPRĪBAS TĒRAUDI\*

Parastas stiprības (mazoglekļa) tēraudus ražo pēc valsts standartiem ГOCT 380—71 un ГOCT 23570—79. Sos tēraudus atkarībā no uzdevuma un garantējamiem raksturojumiem iedala trīs grupās: A grupa — garantētas mehāniskās īpašības; B grupa — garantēts ķīmiskais sastāvs; B grupa — garantētas mehāniskās īpašības un ķīmiskais sastāvs.

Būvkonstrukcijām galvenokārt lieto B grupas tēraudus, jo stiprības nodrošināšanai nepieciešams garantēt mehāniskās īpašības, metināmības nodrošināšanai — ķīmisko sastāvu. A grupas tēraudus būvkonstrukcijām parasti nelieto.

Atkarībā no normējamiem rādītājiem visu grupu tēraudus iedala kategorijās. Tērauda marku apzīmē ar krievu alfabēta burtiem un cipariem, piemēram, BCт3; BCт5; 18кп; 18пс; 18гп; 18Гпс; 18Гсп. Cipari nosaukuma beigās apzīmē markas nosacīto kārtas numuru, kas atkarīgs no ķīmiskā sastāva un mehāniskajām īpašībām, bet burts Г norāda uz paaugstinātu mangāna saturu. Cipari sākumā uzrāda oglekļa saturu procenta simtdaļās.

Tērauda dezoksidācijas pakāpi apzīmē ar indeksiem «кп», «пс», «гп», kuru raksta aiz tērauda markas apzīmējuma. Tērauda kategoriju norāda aiz dezoksidācijas pakāpes (pirmajai kategorijai ciparu neraksta).

Metāla konstrukcijām visbiežāk lieto tēraudu Cт3, kas satur 0,14...0,22% oglekļa; 0,3...0,6% mangāna verdošajā tēraudā; 0,40...0,65% mangāna pusmierīgajā un mierīgajā tēraudā; līdz 0,07% silīcija verdošajā tēraudā; 0,05...0,17% silīcija pusmierīgajā tēraudā un 0,12...0,30% silīcija mierīgajā tēraudā. Tērauds Cт3Гпс satur 0,14...0,22% oglekļa; 0,8...1,1% mangāna un līdz 0,15% silīcija.

Mazoglekļa tēraudus piegādā pēc kategorijām. Saskaņā ar projekšanas normām [22] tērauda konstrukcijām lieto 2. kategorijas verdošo tēraudu BCт3кп2, 5. kategorijas pusmierīgo tēraudu BCт3Гпс5 un mierīgo tēraudu BCт3пс5 un 6. kategorijas pusmierīgo tēraudu BCт3пс6.

### 2.1.3. PALIELINĀTAS UN LIELAS STIPRĪBAS TĒRAUDI

Palielinātas un lielas stiprības tēraudus iegūst, termiski apstrādājot vai leģējot mazoglekļa tēraudus.

\* Saskaņā ar ГOCT 27772—88 tēraudiem pieņemti jauni apzīmējumi: C 235, C 245, ..., C590.

BCrT markas termiski apstrādāto mazoglekļa tēraudu iegūst, ja termiski apstrādā Cr3 markas verdošo, pusmierīgo un mierīgo tēraudu. Metāla konstrukcijām galvenokārt izmanto pusmierīgo un mierīgo tēraudu. Verdošais tērauds nav ieteicams, jo tas ir nevienbaidīgs.

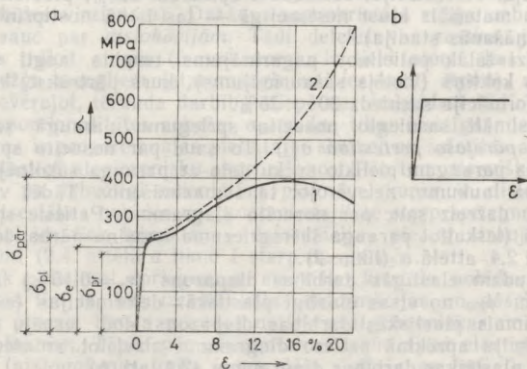
Mazlēģētos tēraudos iegūst, mazoglekļa tēraudiem pievienojot leģējošās piedevas, kas uzlabo tēraudu fizikāli ķīmiskās un mehāniskās īpašības. Mazlēģētajos tēraudos leģējošo elementu summārais saturs nepārsniedz 2,5%.

Mazlēģēto tēraudu struktūra ir analoga mazoglekļa tēraudu struktūrai. Mazlēģēto tēraudu mehāniskos raksturojumus paaugstina leģējošie elementi, kuri atrodas cietā ferīta kausējumā un to nostiprina. Daži leģējošie elementi veido karbidus un papildus nostiprina starpsplāņus starp ferīta graudiem.

#### 2.1.4. TĒRAUDU DARBĪBA DAŽĀDU SPĒKU IETEKMĒ

**Stiepe.** Tērauda darbība ir atkarīga no spēka iedarbības veida, spriegumstāvokļa un citiem slodžošanas faktoriem. Ļoti uzskatāmi tērauda darbību spēku ietekmē var attēlot ar diagrammu, kurā uz ordinātu ass atliek paraugā vienmērīgi sadalītus spriegumus, bet uz abscisu ass — šiem spriegumiem atbilstošos parauga pagarinājumus.

Noslogosim tērauda paraugu stiepē ar statistisku spēku  $F$ , kN, un izmērisim parauga pagarinājumu  $\Delta l$ , cm (2.4. att.). Pakāpeniski



2.4. att. Mazoglekļa tērauda stiepes diagramma:

a - patiesās diagrammas: 1 - pieņemot nemainīgu parauga šķērsgriezuma laukumu; 2 - ievērojot šķērsgriezuma laukuma samazināšanos; b - ideālā diagramma.

palielinot spēku un izmērot attiecīgos pagarinājumus, var konstruēt stiepes diagrammu. Lai diagrammas būtu ērtāk salīdzināmas, konstruējot uz asīm atliek sprieguma un pagarinājuma (deformācijas) relatīvos lielumus:

$$\sigma = F/A \text{ un } \varepsilon = (\Delta l/l) \cdot 100, \quad (2.1)$$

kur  $\sigma$  — spriegums paraugā, MPa;  
 $A$  — parauga šķērsriezuma laukums,  $\text{cm}^2$ ;  
 $l$  — parauga sākotnējais garums, cm;  
 $\varepsilon$  — relatīvais pagarinājums, %.

Sakarība starp spriegumu un pagarinājumu pārbaudes sākumā, kā zināms, atbilst Huka likumam:

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (2.2)$$

kur  $E$  — elastības modulis, kas tēraudam vienāds ar  $2,06 \cdot 10^5$  MPa.

Lineāra sakarība starp spriegumu un pagarinājumu saglabājas līdz *proporcionalitātes robežai*  $\sigma_{pr}$ , kuru sasniedzot deformācija  $\varepsilon \leq 0,1\%$ . Mazliet augstāk atrodas *elastības robeža*  $\sigma_e$ , kura atbilst parauga atgriezeniskai deformācijai ( $\varepsilon_e \approx 0,15\%$ ), jo tā praktiski izzūd, paraugu atslogojot. Elastības robeža nosaka materiāla elastīgās darbības diapazonu. Slodzi tālāk palielinot, tērauda elastības modulis samazinās un kļūst vienāds ar nulli (diagrammas horizontālās daļas sākums). Šim punktam atbilstošo spriegumu sauc par *plūstamības robežu*  $\sigma_{pl}$ . Tālāk paraugs turpina pagarināties, slodzei nepalielinoties, t. i., materiāls it kā «plūst».

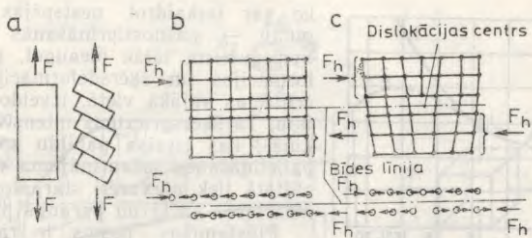
Materiāls starp spriegumiem  $\sigma_e$  un  $\sigma_{pl}$  darbojas elastīgi plastiski. Diagrammas horizontālo iecirkni sauc par plūstamības posmu. Relatīvajai deformācijai sasniedzot apmēram  $2,5\%$ , plūstamība beidzas un materiāls kļūst nestspējīgs — tas it kā nostiprinās (pašnostiprināšanās stadija).

Slodzi tālāk palielinot, pagarinājums turpina augt, paraugā parādās kakliņš (vietējs sašaurinājums), kurš pārtrūkst, kad relatīvā deformācija sasniedz  $20 \dots 25\%$ .

Maksimāli sasniegto nosacīto spriegumu paraugā sauc par tērauda *pārejošo pretestību*  $\sigma_{pār}$ . To sauc par nosacīto spriegumu tāpēc, ka paraugam pielikto spēku daļa ar parauga sākotnējo šķērsriezuma laukumu, neievērojot tā samazināšanos. Tādēļ visu diagrammu dažreiz sauc par nosacīto diagrammu. Patiesie spriegumi paraugā (ieskaitot parauga šķērsriezuma izmaiņu pārbaudes laikā) parādīti 2.4. attēlā *a* (likne 2).

Tēraudam elastīgās darbības diapazons ( $\varepsilon_e = 0,15\%$ ) ir tikai apmēram  $1/200$  no visas elastīgi plastiskās deformācijas ( $\varepsilon = 20\%$ ). Ievērojamais plastiskās darbības diapazons dod iespēju tērauda konstrukciju aprēķinā patieso diagrammu aizvietot ar vienkāršotu elastīgi plastiskas darbības diagrammu (2.4. att. *b*).

Savdabīgo tērauda darbību nosaka tā struktūras īpatnības. Ja ferīta monokristālu pakļauj stiepei, tad tā deformāciju shematiski var attēlot kā vienas daļas slīdēšanu attiecībā pret otru daļu (2.5. att. *a*). Tas izskaidrojams ar to, ka nobīdīt vienu kristāla



2.5. att. Tērauda darbība:

a — monokristāla stiepes deformācijas shēma; b — bīde pa monokristālu, kuram nav defektu; c — bīde pa monokristālu, kuram ir kristāliskā režģa uzbūves defekts.

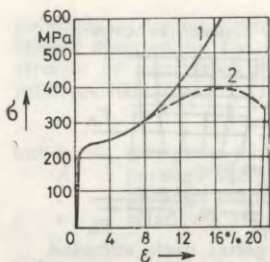
daļu attiecībā pret otru ir vieglāk nekā atraut. So nobīdi reālos kristālos veicina dažādi kristāliskā režģa defekti, kuru dēļ vienas kristāliskā režģa daļas bīdes pretestība attiecībā pret otru daļu samazinās vairākus tūkstošus reizi. 2.5. attēlā b parādīts monokristāls, kuram nav režģa uzbūves defektu. Bīdes gadījumā tā augšējās daļas atomi, kas atrodas pie bīdes līnijas, vienlaicīgi un vienādi pretosies bīdei, jo līdz tam tie bija stabilā līdzsvarā, kam atbilst minimālā enerģija.

Cita aina rodas monokristāla bīdē, kuram režģa uzbūvē ir kādi defekti (2.5. att. c). Šajā gadījumā atomi, kas atrodas pie bīdes līnijām, bīdei pretosies dažādi: atradīsies neitrālā stāvoklī, daži pat veicinās bīdi (atomi, kuri sarežģītā kristāliskajā režģī novirzīti pretēji bīdes virzienam). Dažādus monokristāla režģa uzbūves defektus sauc par *dislokācijām*. Tādi defekti var rasties, ja režģa mezglos trūkst atomu (ir vakances), ir lieki atomi, kas izvietoti ārpus režģa mezgliem (starpmezglu vai iesakņoti atomi), utt.

To ievērojot, tērauda darbību stiepē var izskaidrot šādi. Sākumā līdz proporcionalitātes robežai  $\sigma_{pr}$  rodas tikai elastīgas deformācijas, kuras ir proporcionālas pieliktajai slodzei un saistītas ar atomu režģa elastīgi atgriezenisku sagrozīšanos. Pēc tam atsevišķos ferīta graudos pa labvēlīgi orientētām plāknēm, kurās ir dislokācijas, rodas atsevišķas nobīdes un proporcionalitāte starp spriegumiem un deformācijām tiek izjaukta — deformācijas pieaug straujāk nekā spriegumi (2.4. attēlā a likne 1 starp  $\sigma_{pr}$  un  $\sigma_{p1}$ ).

Tālāk palielinot spriegumus, atsevišķo kristālu nobīdes pārvēršas bīdes līnijās, kas izraisa lielas deformācijas un nosaka plūstamības posmu. Ferīta graudos notiek neatgriezeniskas nobīdes pa slides plāknēm. Tāpēc pēc atslogošanas izziud tikai elastīgā deformācija (atslogošanas līnija ir paralēla slogošanas līnijai), bet neatgriezeniskās nobīdes izraisa paliekošo deformāciju.

Ja spriegumus turpina palielināt, ferīta graudu deformācijas sāk kavēt perlitu tīkls pa kristālu robežām, jo bīdes līnijām jāaizņem vai jāsalauž perlitu ieslēgumi. Sai nolūkā jāpaaugstina spriegumi, ar



2.6. att. Mazoglekļa tērauda spiedes diagramma (likne 1) un stiepes etalondiagramma (likne 2).

ko var izskaidrot nestspējas pieaugumu — pašnostiprināšanās stadiju. Spriegumiem tālāk pieaugot, garendeformācijas un šķērsdeformācijas koncentrējas vājākā vietā, izveidojot kakliņu. Tā šķērsriezums intensīvi samazinās, kas izraisa papildu spriegumu palielināšanos sašaurinājuma vietā. Rezultātā tiek pārvarēti starpatomu mijiedarbības spēki un paraugs pārtrūkst.

Plūstamības posms ir raksturīgs tēraudiem ar oglekļa saturu 0,1... 0,3%. Ja oglekļa saturs ir mazāks, tad perlīta ieslēgumu ir maz un tie nevar aizkavēt ferīta deformācijas, bet, ja oglekļa saturs ir lielāks, tad perlīta ieslēgumi pilnīgi bloķē ferīta graudus un neļauj tajos izveidoties ievērojamām bīdes deformācijām.

Tērauda stiepes diagramma raksturo tā darbību slodžu ietekmē, tāpēc stiepes diagrammu izmanto par galveno tērauda mehānisko īpašību raksturojumu.

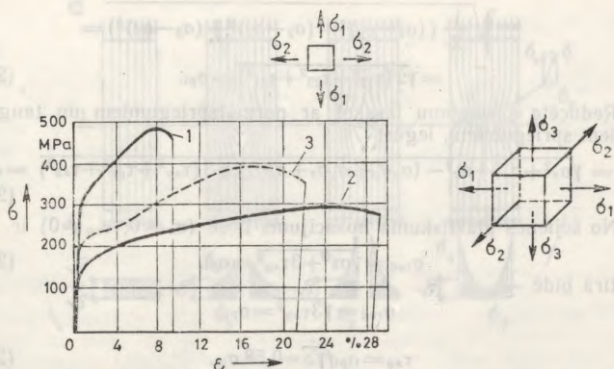
**Spiede.** Īsi tērauda elementi, kuri nevar zaudēt noturību, spiedē sākumā darbojas tāpat kā stiepē, jo ir tāds pats elastības modulis, sakrīt arī proporcionalitātes, elastības un plūstamības robežas (2.6. att.).

Spiedē sagraut īsus paraugus, kas izgatavoti no mazoglekļa tēraudiem, un noteikt materiāla pārejošo pretestību nav iespējams, jo paraugs saplacinās, uzņemot arvien lielāku slodzi. Sloģošanu turpinot, mazoglekļa tēraudu paraugos pa perimetru izveidojas plaisas, bet augstoglekļa tēraudu paraugi sagraust pa slīpām plaknēm.

Ievērojot to, ka tērauda stiepes un spiedes diagrammas elastīgās un elastīgi plastiskās darbības stadijās ir vienādas, attiecīgos aprēķina raksturojumus pieņem vienādus. Nestspējas palielināšanos spiedē pašnostiprināšanās diapazonā izmanto, tēraudam darbojoties virsmas spiedē. Šajā gadījumā aprēķina pretestību pieņem augstāku nekā stiepē un spiedē.

**Saliktais spriegumstāvoklis.** Tas rodas, ja vienlaicīgi divos vai trīs savstarpēji perpendikulāros virzienos darbojas galvenie normālspriegumi  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  un  $\sigma_3$ .

Aplūkosim divasu (plaknisku) spriegumstāvokli, kad  $\sigma_1 \neq 0$ ,  $\sigma_2 \neq 0$ , bet  $\sigma_3 = 0$ . Šajā gadījumā, kad materiāls tiek stiepts divos virzienos (2.7. attēlā likne 1), proporcionalitātes, plūstamības un stiprības robežas paaugstinās, izzūd plūstamības posms un samazinās relatīvais pagarinājums. Gadījumā, kad materiāls tiek spiests vienā virzienā un stiepts otrā virzienā, novērojama pretēja aina (2.7. attēlā likne 2): samazinās elastības, plūstamības un stiprības robežas, bet palielinās relatīvais pagarinājums. Salīdzinājumam ar



2.7. att. Saliktais spriegumstāvoklis:

1 — vienādzīmju spriegumi  $\sigma_1$  un  $\sigma_2$ ; 2 — dažādzīmju spriegumi  $\sigma_1$  un  $\sigma_2$ ;  
3 — viensass stiepes etalonlīkne.

svitrīniju ir parādīta viensass stiepes tērauda diagramma (2.7. attēlā līkne 3).

Tērauda darbības diagramma ir atkarīga no galveno spriegumu  $\sigma_1$  un  $\sigma_2$  attiecības. Tērauds darbojas stingāk, ja  $\sigma_1 = \sigma_2$ , un plastiskāk, ja  $\sigma_1 = -\sigma_2$  (tīrā bīdē). Citas galveno spriegumu attiecības attēlo starpdiaqrammas.

Divasu vienādzīmju spriegumstāvoklis paaugstina tērauda plūstamības robežu, samazina plastiskumu un izraisa tā traušanu, un — otrādi — dažādzīmju spriegumstāvoklis tēraudu ietekmē labvēlīgi, jo paaugstinās plastiskums.

Trīsas (telpiska) spriegumstāvokļa gadījumā, kad  $\sigma_1 \neq 0$ ,  $\sigma_2 \neq 0$  un  $\sigma_3 \neq 0$ , spriegums  $\sigma_3$  vēl vairāk sarežģī iepriekš aplūkoto darbības ainu. Ja spriegumam  $\sigma_3$  ir tāda pati zīme kā spriegumiem  $\sigma_1$  un  $\sigma_2$ , tad materiāls darbojas vēl elastīgāk un stingāk. Trīsas stiepē materiāls sagrūst elastīgi atraušanas dēļ (trīsas vienmērīgā spiedē metālu nevar sagraut). Ja spriegumam  $\sigma_3$  ir pretēja zīme, tad vēl vairāk atvieglojas pāreja plastiskās darbības stadijā.

Tātad tērauda darbība ir ievērojami atkarīga no spriegumstāvokļa, kas nosaka tā pāreju plastiskās darbības stadijā. Metāla konstrukcijām plaši lieto enerģētisko stiprības teoriju, kura ir pieņemta projektēšanas normās. Saskaņā ar šo teoriju materiāls pāriet plastiskās darbības stadijā, ja reducētais spriegums  $\sigma_{red}$  sasniedz materiāla plūstamības robežu  $\sigma_{pl}$ , t. i., ja  $\sigma_{red} < \sigma_{pl}$ , ir elastīga darbība, ja  $\sigma_{red} > \sigma_{pl}$ , — plastiska darbība.

Saliktā spriegumstāvokļa plastiskuma nosacījums ir šāds:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{2} ((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)} = \sqrt{2} (\tau_{12}^2 + \tau_{23}^2 + \tau_{31}^2) = \sigma_{pl}. \quad (2.3)$$

Reducēto spriegumu izsakot ar normālspriegumiem un tangenciāliem spriegumiem, iegūst

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - (\sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)} = \sigma_{pl}. \quad (2.4)$$

No šejienes plastiskuma nosacījums liecē ( $\sigma_x \neq 0$ ;  $\tau_{xy} \neq 0$ ) ir

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = \sigma_{pl}, \quad (2.5)$$

tīrā bidē —

$$\sigma_{red} = \sqrt{3\tau_{xy}^2} = \sigma_{pl}$$

jeb

$$\tau_{xy} = \sigma_{pl} / \sqrt{3} \approx 0,58 \sigma_{pl}. \quad (2.6)$$

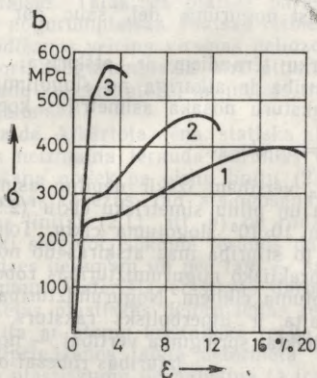
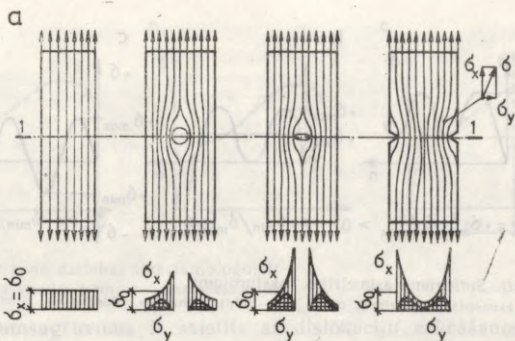
**Spriegumu vienmērīgs un nevienmērīgs sadalījums.** Ja slogotā elementā ir caurumi, izvirpojumi, vietēji sašaurinājumi, straujas šķērsriezuma maiņas, tad šajās vietās spēku plūsma elementa iekšienē sabiezinās un izliecas, apejot šķēršļus. Spriegumu sadalījums šajās vietās ir nevienmērīgs; maksimumspriegumi ir ievērojami lielāki par vidējiem, šķērsgriezumā vienmērīgi sadalītiem spriegumiem.

Galveno spriegumu trajektorijas, kuras ilustrē spēku plūsmu gludā stieptā sloksnē, sloksnē ar apaļu caurumu, asu spraugu vidū un sloksnē ar asiem iegriezumiem sānos, parādītas 2.8. attēlā *a*. Neto jeb faktiskais šķērsriezuma laukums šķēlumā *I—I* visām sloksnēm ir vienāds. Zem katras sloksnes šķēlumā *I—I* ir parādītas normālspriegumu epīras garenvirzienā ( $\sigma_x$ ) un šķērsvirzienā ( $\sigma_y$ ).

Liklīnijas trajektorijā galveno spriegumu var sadalīt divos savstarpēji perpendikulāros virzienos. Tāpēc liklīnijas trajektorijām atbilst saliktais spriegumstāvoklis, kas var būt plaknisks vai telpisks. Kā norādīts iepriekš, vienādzīmju saliktais spriegumstāvoklis paaugstina plūstamības un stiprības robežu un ievērojami samazina relatīvo pagarinājumu, t. i., materiāls kļūst trauslāks. Jo asāks ir iegriezums vai izvirpojums, jo lielāki ir maksimumspriegumi un spēku plūsmas izliekums, kā arī tērauda sliekšme uz pāreju trauslā stāvoklī (2.8. att. *b*).

Faktorus (caurumus, spraugas, iegriezumus, izvirpojumus, sabiezinājumus), kuri izraisa spēku plūsmu izliekšanos, sauc par spriegumu koncentratoriem, jo šajās vietās rodas spriegumu koncentrācija. Koncentrācijas vietas maksimumsprieguma attiecību pret nosacīto, šajā šķērsgriezumā vienmērīgi sadalīto spriegumu sauc par *spriegumu koncentrācijas koeficientu*. Koncentrācijas koeficients pie apaļiem vai pusapaļiem caurumiem ir vienāds ar 2...3, bet pie asām spraugām vai iegriezumiem tas ir daudz lielāks.

Praksē metāla konstrukciju avārijas ir saistītas ar spriegumu koncentrāciju un metāla pāreju trauslā stāvoklī. Sprieguma aprē-



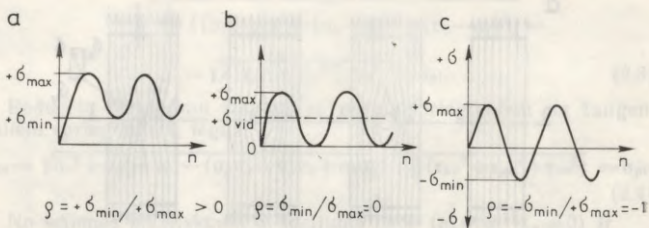
2.8. att. Spriegumu koncentrācija:

a — galveno spriegumu trajektorijas stieptā sloksnē; b — tērauda stiepes diagrammas izmaiņas: 1 — bez sprieguma koncentratoriem (elastīgi plastiskā darbība); 2 — ar koncentratoru; 3 — ar asu koncentratoru (trauslā darbība).

ķināšana koncentrācijas vietā teorētiski ir ļoti grūta, tāpēc to ievēro ar konstruktīviem pasākumiem.

Nevienmērīgu spriegumu sadalījumu var izraisīt arī spriegumi, kuri sastopami nenoslogotā elementā un kuri rodas izgatavošanas procesā. Metinātu savienojumu projektēšanā iekšējo spriegumu kaitīgo ietekmi parasti neitralizē ar konstruktīviem pasākumiem un pareizu metināšanas tehnoloģiju.

**Metāla nogurums.** Metālu daudzkārtēji (miljoniem reižu) slogojot, rodas metāla nogurums un tas sagrūst, spriegumiem nesasniedzot pārejošo pretestību vai pat plūstamības robežu. Spriegumu,



2.9. att. Spriegumu asimetrijas raksturojums:

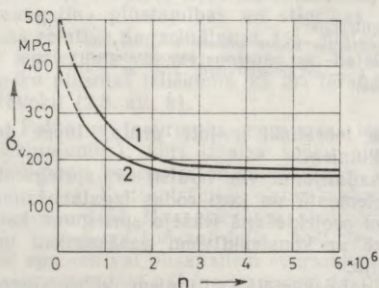
a — asimetrisks vienziemes cikls; b — pilns vienziemes cikls; c — pilns divziemju cikls.

kuru sasniedzot metāls sagrūst noguruma dēļ, sauc par metāla vibroizturības robežu.

Vibroizturība dažādu marķu tēraudiem ir atšķirīga. Noteiktas marķas tērauda vibroizturība ir atkarīga no slogojuma ciklu rakstura un skaita. Cikla raksturu nosaka asimetrijas koeficients

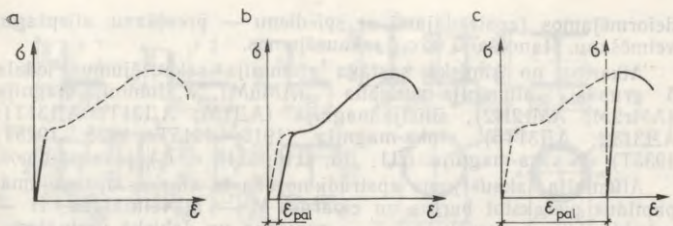
$$\rho = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}. \quad (2.7)$$

Atkarībā no  $\sigma_{\min}$  un  $\sigma_{\max}$  vērtībām izšķir nepilnu asimetrisku ciklu, pilnu asimetrisku ciklu un pilnu simetrisku ciklu (2.9. att.). Tēraudi var izturēt apmēram  $10 \cdot 10^6$  slogojuma ciklu. Tomēr jau pēc  $2 \cdot 10^6$  slogojuma cikliem to stiprība maz atšķiras no nogurumizturības robežas, tāpēc par praktisko nogurumizturības robežu pieņem stiprību pēc  $2 \cdot 10^6$  slogojuma cikliem. Nogurumizturības atkarībai no slogojuma ciklu skaita ir hiperbolisks raksturs, turklāt līkne asimptotiski tuvojas noteiktai sprieguma vērtībai — nogurumizturības robežai  $\sigma_v$ .



2.10. att. Tēraudu vibroizturības robežlīknes: 1 — mazlēģētajam tēraudam; 2 — mazoglekļa tēraudam.

Vibroizturības līknes, ja slodzei ir pilni simetriski cikli, mazoglekļa tēraudam un mazlēģētajam tēraudam parādītas 2.10. attēlā. Kā redzams no attēla, tēraudam Cr3 nogurumizturības robeža  $\sigma_v \approx 0,4\sigma_{\text{par}}$  un  $\sigma_v \approx 0,75\sigma_{\text{pl}}$ , bet tēraudam 15XCHD —  $\sigma_v \approx 0,6\sigma_{\text{par}}$  un  $\sigma_v \approx 0,35\sigma_{\text{pl}}$ . Ja slodzei ir pilni asimetriski cikli, tad šo tēraudu nogurumizturības robeža ir tuva plūstamības robežai.



2.11. att. Tērauda darbība, atkārtoti slogojot:  
 a — elastīgajā stadijā; b un c — plastiskajā stadijā.

Nogurumsagruvums ir saistīts ar dislokāciju uzkrāšanos katrā slogojuma ciklā un to koncentrēšanos, izraisot kristālos iekšējas mikroplaisas. Tālāk šīs plaisas pāriet uz blakus kristāliem un izveido nogurumplaisas. Plaisas visbiežāk sākas metāla virsmā, kur to parādīšanos veicina virsmas nelīdzenumu radītie spriegumu koncentratori. Nogurumplaisa ātri attīstās, jo tā kļūst par spēcīgu spriegumu koncentratoru, un metāls trausli sagrūst pa plaisas vājiņāto šķēlumu.

**Uzkalde.** Atkārtota, lēna, statiska slogošana elastīgo deformāciju robežās neizmaina tērauda darbības diagrammu, jo slogošana un atslogošana notiek pa vienu līniju (2.11. att. a). Ja tēraudu slogo plūstamības robežās, tad atslogošanas līnija ir paralēla elastīgās darbības līnijai (2.11. att. b) un rodas paliekošā deformācija  $\epsilon_{pal}$ . Atkārtoti slogojot, sākumā tērauds darbojas elastīgi līdz iepriekšējās slodzes lielumam un pēc tam — saskaņā ar vienreizējās slīpes diagrammu. Materiāla elastīgās darbības zonas paaugstināšanos iepriekšējās plastiskās deformācijas rezultātā sauc par uzkaldi. Tā ir saistīta ar atomu kristāliskā režģa vecošanu, sagrozījumiem un tā nostiprināšanos jaunā deformētā stāvoklī. Uzkalde samazina tērauda plastiskumu un palielina tā trauslumu.

**Temperatūras ietekme.** Tērauda mehāniskie raksturojumi līdz  $t=200 \dots 250^\circ\text{C}$  temperatūrai mainās maz, bet  $t=300 \dots 330^\circ\text{C}$  temperatūrā tērauds iegūst rupjgraudainu struktūru un kļūst trauslāks. Temperatūrai pieaugot vēl vairāk, strauji samazinās plūstamības robeža un pārejošā pretestība. Apmēram  $600 \dots 650^\circ\text{C}$  temperatūrā tērauds kļūst plastisks.

Negatīvās temperatūras nedaudz palielina tērauda stiprību, bet palielina arī tā trauslumu. Ja temperatūra kļūst zemāka par  $-10^\circ\text{C}$ , manāmi samazinās tērauda plastiskums, bet  $-45^\circ\text{C}$  (tērauds Cr3) un  $-60^\circ\text{C}$  (mazlēģētie tēraudi) temperatūrā tērauds kļūst trausls.

## 2.2. ALUMĪNIJA SAKAUSĒJUMI

Metāla konstrukciju izgatavošanai lieto alumīnija sakausējumus, kuri leģēti ar dažādiem elementiem — magniju, mangānu, silīciju, varu u. c. Alumīnija sakausējumus iedala lejamos (mašīnbūvē) un

deformējamos (apstrādājami ar spiedienu — presēšanu, stiepšanu, velmēšanu, štancēšanu u. c.) sakausējumos.

Atkarībā no ķīmiskā sastāva alumīnija sakausējumus iedala 5 grupās: alumīnija-mangāna (AMuM), alumīnija-magnija (AMr2M; AMr2H2), silīcija-magnija (AД1M; AД31T; AД31T1; AД31T4; AД31T5), cinka-magnija (1915; 1915T; 1925; 1925T; 1935T) un vara-magnija (Д1; Д6; Д16; Д18 u. c.) sakausējumos.

Alumīnija sakausējuma apstrādi norāda tā markas apzīmējumā, papildus pierakstot burtus un ciparus: M — atkvēlināšana; H — uzkalde; H2 — pusuzkalde; T — rūdīšana un dabiskā vecināšana; T1 — rūdīšana un mākslīgā vecināšana; T4 — nepilnīga rūdīšana un dabiskā vecināšana; T5 — nepilnīga rūdīšana un mākslīgā vecināšana. Silīcija-magnija AД un AД31 marku un cinka-magnija 1915 un 1925 marku sakausējumu apzīmējumi atbilst starptautiskajam standartam. Pirmās grupas markās ietilpst: A — alumīnija sakausējums, Д — deformēts, 31 — sakausējuma numurs; otrās grupas markās ietilpst: 1 — alumīnija sakausējums, 9 — cinka saturs, 15 un 25 — sakausējumu numuri.

Alumīnija sakausējumu mehāniskie raksturojumi ir atkarīgi no ķīmiskā sastāva un apstrādes īpatnībām. Pēc stiprības lieluma alumīnija sakausējumi ir tuvi parastās un palielinātās stiprības tēraudiem, bet alumīnija sakausējumiem ir vairāk izteikts plastiskums.

### 3. nodaļa

## SORTIMENTI

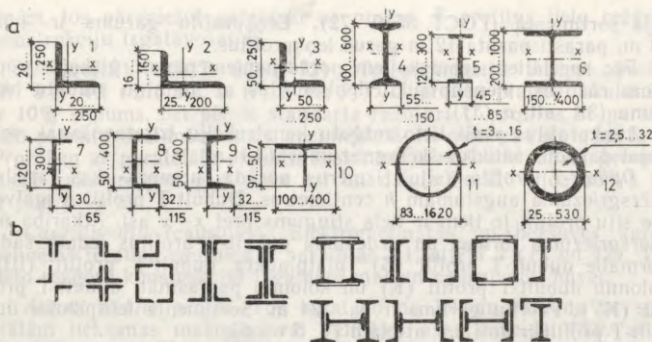
### 3.1. TĒRAUDU SORTIMENTS

Metāla konstrukcijas izgatavo no tērauda un alumīnija sakausējumu velmējumiem, kurus ražo metalurģiskajās rūpnīcās. Rūpnīcās izlaiž *lokšņu tēraudus* un dažādas formas *profiltēraudus*. Velmēto profilu sarakstu, kurā dota to forma, izmēri, geometriskais raksturojums un lineārais blīvums, sauc par *sortimentu*. Sortimentu noformē kā valsts standartu.

No velmēto profilu tipiem ir atkarīga metāla konstrukciju konstruktīvā forma, izgatavošanas darbietilpība un metāla patēriņš. Pirmais velmēto tēraudu sortiments Krievijā tika izstrādāts 1900. gadā pazīstamā tiltu celtnieka prof. N. Beļeļubaska vadībā, pēc tam tas tika pārstrādāts un pilnveidots 1930.—1932.; 1939.; 1957.; 1972. gadā un arī tagad tas tiek pilnveidots.

Bez velmētajiem profiliem celtniecībā plaši lieto metinātus profilus, kurus izveido, sametinot atsevišķas sloksnes un loksnes, un liektus profilus, ko izgatavo, aukstā veidā liecot sloksnes un loksnes.

Vislētākie ir velmētie profili, jo tos gatavā veidā ražo metalurģiskajās rūpnīcās. Metinātie un liektie profili ir dārgāki, jo to izgatavošanai jāpatērē papildu darbs.



3.1. att. Tēraudu velmēto profilu pamattipi:

*a* — sortiments: 1, 2 un 3 — vienādplauktu, nevienādplauktu leņķprofilis un vienādplauktu leņķprofilis ar mainīgu plauktu biežumu; 4, 5 un 6 — dubulti-T profili ar slīpām (12%) iekšējām plauktu skaldnēm, ar šauriem un platiem paralēlu skaldņu plauktiem; 7, 8 un 9 — plānsienīgu U profili ar šauriem un platiem paralēlu skaldņu plauktiem un ar slīpām iekšējām plauktu skaldnēm; 10 — T profils ar paralēlām plauktu skaldnēm; 11 — metināts cauruļprofils; 12 — bezšuves karstvelmēts cauruļprofils; *b* — saliktu šķērsgrizumu piemēri.

**Lokšņu tēraudi.** Lokšņu tēraudu velmē starp diviem vai četriem valčiem. Karstvelmēto lokšņu tēraudu izgatavo pēc valsts standartiem. Tas var būt biežais, plānais un universālais.

Biezā lokšņu tērauda biezums ir 4...160 mm. Biezuma gradācija 6...26 mm biežām loksnēm ir 1 mm, biežākām loksnēm tā ir 2; 3; 5 un 10 mm. Plāno lokšņu tēraudu velmē ar auksto un karsto paņēmienu. Šo tēraudu lieto liekto un štancēto profilu izgatavošanai, kā arī jumtu segumiem.

Platslokšņu universālajam tēraudam ir gludas malas, kas samazina darbietilpību metinātu konstrukciju izgatavošanā. Lokšņu biezums ir 4...60 mm, platums — 200...1050 mm. Tās lieto metinātu siju, kolonnu un citu pilnsienas konstrukciju izgatavošanai.

Slokšņu tērauda biezums ir 4...60 mm, platums — 12...200 mm. To lieto konstrukciju, konstruktīvu detaļu un liektu profilu izgatavošanai.

**Profiltēraudi.** *Leņķprofili* mēdz būt vienādplauktu un nevienādplauktu. Vienādplauktu leņķprofiliem piešķir numuru, kas izsaka plauktu platumu *b* milimetros. Sortimentā paredzētie leņķprofili ar izmēriem doti 3.1. attēlā *a* (1). Metāla konstrukciju izgatavošanai lieto samazināto sortimentu (ГОСТ 8509—71).

Nevienādplauktu leņķprofiliem (ГОСТ 8510—72) ir numurs, kas apzīmē plauktu platumu attiecību  $B/b$ . Rasējumos izmērus  $B \times b \times t$  uzrāda milimetros (*t* — plauktu biezums). Sortimentā paredzētie leņķprofili ar izmēriem uzrādīti 3.1. attēlā *a* (2), bet metāla konstrukciju izgatavošanai lieto tikai tos profilus, kas doti samazinā-

tajā sortimentā (ГОСТ 8510—72). Leņķprofilu garums ir 4...13 m, parasti pasūta 12 m garus leņķprofilus.

Pēc speciāliem tehniskajiem norādījumiem metalurģiskajās rūpnīcās ražo arī vienādplauktu leņķprofilus ar mainīgu plauktu biežumu (3.1. att. *a* (3)).

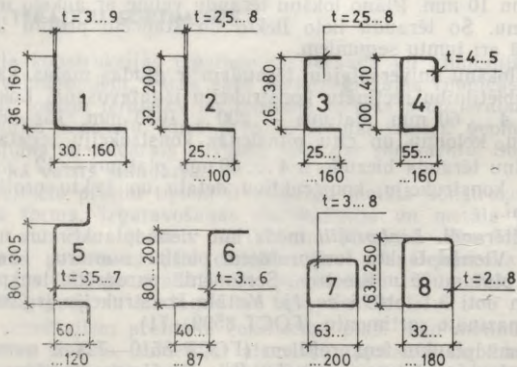
Leņķprofilus plaši lieto režgotu konstrukciju izgatavošanai, veidojot dažādus saliktus šķērsriezumus (3.1. att. *b*).

*Dubult-T profilu* (siju) izmērus norāda numurs, kas atbilst šķērsriezuma augstumam  $h$  centimetros. Dubult-T profili ir galvenie siju profili, jo tiem ir liels stingums pret  $x-x$  asi. Atkarībā no šķērsriezuma formas un uzdevuma dubult-T profilus iedala šādi: normālie dubult-T profili (Б), platplauktu dubult-T profili (Ш), kolonnu dubult-T profili (К) un kolonnu paplašināti dubult-T profili (КV). Profilu garums ir 6...24 m. Sortimentā ietilpstošie dubult-T profili ir doti 3.1. attēlā *a* (4; 5 un 6).

Profila nominālā augstuma attiecība pret plauktu platumu normāliem dubult-T profiļiem ir 2,00...3,12, platplauktu profiļiem — 1,25...1,65, bet kolonnu dubult-T profiļiem plauktu platums ir vienāds ar profila nominālo augstumu.

Dubult-T profili ar paralēlām plauktu skaldnēm ir ekonomiskāki par parastajiem dubult-T profiļiem, un tos ieteicams lietot liektiem elementiem, pilnsienas un režgotām kolonnām u. c.

*T profili* ar paralēlām plauktu skaldnēm (3.1. att. *a* (10)). Sosprofilus iegūst no dubult-T profiļiem ar paralēlām plauktu skal-



3.2. att. Tērauda liekto profiļu pamattipi:

1 un 2 — vienādplauktu un nevienādplauktu leņķprofilu; 3 — U profiļi; 4 — C profiļi; 5 — silsvēda profiļi; 6 — vienādplauktu Z profiļi; 7 un 8 — liekti metināti slegtie profiļi.

dnēm, tos pārgriežot gareniski uz pusēm. T profilus lieto režgotu konstrukciju izgatavošanai.

*U profili* (ГОСТ 8240—72). To sortimentā ietilpst profili Nr. 5...40 (3.1. att. *a* (7; 8 un 9)). U profilu plauktu skaldnēm ir 10% slīpums, bet pēc šī standarta ražo arī U profilus ar paralēlām plauktu skaldnēm, kuru apzīmējumā aiz numura raksta burtu П. Profiliem ar paralēlām plauktu skaldnēm ir nedaudz labāki ģeometriskie raksturojumi pret  $x-x$  asi un daudz lielāki (līdz 25%) tie ir pret  $y-y$  asi.

*Cauruļprofili* (caurules). Elektrometinātās un bezšuves karstvelmētās tērauda caurules ir parādītas 3.1. attēlā *a* (11 un 12). Tās lieto režgotu konstrukciju izgatavošanai un cauruļvadu būvei.

*Auksti liektie profili*. Tos izgatavo no lokšņu tērauda ar speciālām liekšanas mašīnām vai velmējot aukstā veidā (3.2. att.). Tie ir jauni profilu veidi, kas dod iespēju samazināt metāla konstrukciju izgatavošanas darbietilpību. Tos lieto režgotu konstrukciju izgatavošanai.

### 3.2. ALUMĪNIJA SAKAUSĒJUMU SORTIMENTS

Metāla konstrukcijām alumīnija sakausējumu profilus iegūst velmējot, presējot, liecot un štancējot. Velmējot šķirņu stāvos, iegūst apaļalumīniju, kvadrātalumīniju un slokšņu alumīniju. Tomēr daudzos gadījumos lējumus nevar velmēt bez iepriekšējas presēšanas. Bez tam presētiem izstrādājumiem ir precīzāka forma. Konstrukciju alumīnija lokšņu biezums ir 0,5...10,5 mm, platums — 1...2 m un garums — 2...7 m. Velmējamo lokšņu platums un garums ir atkarīgi no sakausējuma markas un piegādes veida. Loksnes var piegādāt 1,2 un 2,0 mm biezas, 0,4...1,0 m platas un līdz 20 m garas.

Presētos profilus iegūst horizontālās hidrauliskajās presēs, izspiežot līdz 400 °C sakarsētu lietni caur tērauda matricēs profilēto aci. Lietojot matricēs ar attiecīgas kontūras aci, var izgatavot visdažādākos profilus — leņķprofilus, dubult-T profilus, T profilus, U profilus, Z profilus u. c. Alumīnija sakausējumiem ir mazs elastības modulis, tāpēc profilu plauktu pārkares un sienīņu augstuma attiecība pret biezumu ir vairāk ierobežota nekā tērauda profiliem. Noturības palielināšanai profilu plauktu malās izveido sabiezinājumus.

Plaši izplatīti ir alumīnija sakausējumu cauruļprofili ar apaļu, kvadrātveida, taisnstūrveida un pilienvēda šķērsriezumu.

Liekto profilus izgatavo no plānām loksņēm un lentēm, kuru biezums ir līdz 4 mm. To sortiments ir analogs liekto profiltēraudu sortimentam.

#### 4. nodaļa

### METĀLA KONSTRUKCIJU PROJEKTĒŠANAS PAMATI

#### 4.1. METĀLA KONSTRUKCIJU PROJEKTĒŠANAS ORGANIZĀCIJA

Jaunu ēku un būvju projektēšanu, kā arī uzņēmumu paplašināšanas, rekonstrukcijas un tehniskās modernizācijas projektu izstrādi veic atbilstoši projektēšanas uzdevumam, kuru sastāda, ievērojot attiecīgās tautsaimniecības nozares attīstības plānus.

Projektēšanu veic vienā vai divās stadijās, un to nosaka pasūtītājs projektēšanas uzdevumā.

Projektējot vienā stadijā, izstrādā *darba projektu*. Vienā stadijā projektē ēkas un būves, kuras ceļ pēc tipa vai atkārtoti lietotiem projektiem, kā arī tehniski vienkāršus objektus. Arī uzņēmumu paplašināšanas, rekonstrukcijas un tehniskās modernizācijas projektus izstrādā vienā stadijā.

Projektējot divās stadijās, izstrādā *projekta un darba dokumentāciju*. Divās stadijās projektē lielus rūpniecības kompleksus un komplicētas inženiertehniskas būves.

Projekta stadijā izstrādā objekta arhitektoniski celtniecisko un tehnoloģisko risinājumu un nosaka celtniecības termiņus un izmaksas. Šajā projektēšanas posmā nosaka metāla konstrukciju lietošanas lietderību un izvēlas lietojamās tipa konstrukcijas, kā arī izstrādā galvenos rasējumus: plānus un griezumus, kuros shematiski parāda galvenās nesošās un norobežojošās konstrukcijas.

Metāla konstrukciju darba dokumentācijā ietilpst KM (konstrukcijas, metāla) un KMD (konstrukcijas, metāla, detalizētas) darba rasējumi.

KM darba rasējumus pēc apstiprināta projekta izstrādā projektēšanas organizācija. Darba rasējumos parāda metāla konstrukciju izkārtojumu, saskaņojot to ar projekta tehnoloģisko, transporta, arhitektūras, celtniecības un citām daļām.

KM darba rasējuma sastāvā ietilpst paskaidrojošais raksts; dati par slodzēm; statistiskie un nepieciešamības gadījumā arī dinamiskie aprēķini; konstrukcijas shēmas — plāni, šķērsriezumi un garenriezumi, kuros uzrādīti konstrukcijas elementu šķēlumi un marķējums; svarīgāko mezglu aprēķins un rasējumi un visa objekta konstrukcijas elementu metālu specifikācija pēc profiliem materiālu pasūtīšanai.

KM darba rasējumiem jāsaturs visi dati, kas nepieciešami KMD darba rasējumu izstrādāšanai.

KMD darba rasējumus, pamatojoties uz KM rasējumiem, parasti izstrādā metāla konstrukciju izgatavotājrūpniecības konstruktoru birojs, ievērojot rūpniecības tehnoloģisko iespēju īpatnības.

KMD darba rasējumā ietilpst titullapa, kurā dots projekta rasējumu saraksts un paskaidrojošais raksts; nosūtāmo elementu mon-

tāžas shēmas ar elementu marķējumu; montāžas mezgli; nosūtāmo elementu (marku) darba rasejumi; nosūtāmo elementu, montāžas skrūvju un šuvju kopsaraksts.

## 4.2. KONSTRUKCIJU ROBEŽSTĀVOKĻI

Par robežstāvokli sauc stāvokli, kuram iestājoties konstrukcija vai pamatne pārstāj izpildīt ekspluatācijas vai celtniecības prasības. Tā kā ekspluatācijas pārtraukšanas cēloņi var būt dažādi, konstrukcijām ir vairāki robežstāvokļi, kurus iedala divās grupās: *pirmā grupa* — pēc nestspējas zaudēšanas vai nederīguma ekspluatācijai; *otrā grupa* — pēc nederīguma normālai ekspluatācijai.

Pirmās grupas robežstāvokļu nosacījums

$$N_{\max} \leq S_{\min}, \quad (4.1)$$

kur  $N_{\max}$  — konstrukcijas elementa aprēķina spēka vislielākā vērtība (slodžu un citu iedarbību funkcija);

$S_{\min}$  — spēka, kuru var uzņemt aprēķināmais elements, robežvērtība (materiāla īpašību un elementa ģeometrisko izmēru funkcija).

Pirmās grupas robežstāvokļi ir šādi: formas stabilitātes zaudēšana; stāvokļa stabilitātes zaudēšana; stīga, trausla sagrūšana, nogurumsagrūšana vai citāda rakstura sagrūšana; spēku un nelabvēlīgas ārējās vides kopējas iedarbības izraisīta sagrūšana; konfigurācijas kvalitatīva izmaiņa; ekspluatāciju traucējošas rezonanses svārstības; stāvokļi, kuru dēļ jāpārtrauc konstrukciju ekspluatācija (materiāla plūstamība, savienojumu izkustēšanās, šļūde, plaisu rašanās vai pārmērīga atvēršanās).

Plaisu rašanos un atvēršanos pārbauda tikai dzelzsbetona un akmens konstrukcijām. Metāla konstrukcijām šo pārbaudi neizdara. Tām plaisu rašanās nav pieļaujama, jo metālā radusies plaisa turpina atvērties un konstrukcija sagrūst.

Pie otrās grupas robežstāvokļiem pieder stāvokļi, kas traucē konstrukcijas normālu ekspluatāciju vai samazina ilgzturību (izlieces, pamatnes nosēde, leņķiskie pagriezieni, svārstības, plaisas u. tml.).

Otrās grupas robežstāvokļu nosacījums

$$f \leq f_{\text{rob}}, \quad (4.2)$$

kur  $f$  — konstrukcijas elementa deformācijas vai pārvietojuma patiesais lielums (slodžu, materiāla īpašību un konstrukcijas ģeometriskās sistēmas funkcija);

$f_{\text{rob}}$  — deformācijas vai pārvietojuma robežlielums, kuru pārsniedzot tiek traucēta konstrukcijas normāla ekspluatācija.

### 4.3. SLODZES UN SLODŽU KOMBINĀCIJAS

Būvkonstrukcijas ir pakļautas slodžu (konstrukcijas elementu masas, tehnoloģiskās iekārtas, sniega, vēja u. c.) un citām iedarbībām.

Normāliem ekspluatācijas apstākļiem atbilstošās slodzes sauc par *normatīvām slodzēm*. To lielumu pieņem pēc projektēšanas normām [21].

Konstrukcijas pastāvēšanas laikā iespējama ekspluatācijas apstākļu un dažādu slodžu normatīvā lieluma izmaiņa. Vislielāko iespējamo slodzi, kas celtniecības vai ekspluatācijas laikā var nejauši rasties, sauc par *aprēķina slodzi*. Lai konstrukcija nesagrūtu visā ekspluatācijas laikā, nestspējas un pirmās robežstāvokļu grupas paliekošo deformāciju aprēķinus izdara pēc aprēķina slodzēm, kuru lielumu nosaka pēc formulas

$$F = F_n \gamma_f \text{ vai } q = q_n \gamma_f, \quad (4.3)$$

kur  $F_n$  un  $q_n$  — attiecīgi koncentrētā un izkliedētā slodze;  
 $\gamma_f$  — attiecīgās slodzes drošuma koeficients.

Slodzes drošuma koeficientus pēti statistiski. To lielumi doti projektēšanas normās [21]. Biežāk lietojamie slodzes drošuma koeficienti minēti pielikumu 4. tabulā.

Pēc iedarbības ilguma izšķir pastāvīgas un pagaidu slodzes. Pēdējās iedala ilgstošās, īslaicīgās un sevišķās slodzēs.

Par *pastāvīgām slodzēm* sauc slodzes, kuras uz konstrukciju iedarbojas pastāvīgi, piemēram, būvkonstrukcijas elementu masa, grunts spiediens, konstrukcijas iepriekšējais saspriegums u. tml.

Par *ilgstošām slodzēm* sauc slodzes, kuras uz konstrukciju darbojas ilgstoši un var arī nedarboties, piemēram, tehnoloģiskās iekārtas masa, šķidrums, gāzes spiediens, kravas masa u. tml.

Par *īslaicīgām slodzēm* sauc slodzes, kuras darbojas neilgu laiku (sniegs, vējš, kustīgi celtni) un kuras rodas konstrukcijas pārvešanas, montāžas, remonta un pārbaudes laikā, temperatūras iedarbībā utt.

*Sevišķās slodzes* rodas izņēmuma gadījumos. Tās ir slodzes, kuras rada seismiskā iedarbība, iekārtas bojājums vai tehnoloģiskā procesa avārija, krass grunts iegruvums u. tml.

Uz konstrukciju vienlaicīgi var iedarboties vairākas slodzes. Taču, jo lielāks ir pagaidu slodžu skaits, jo mazāka ir varbūtība, ka tās vienlaikus ir maksimāli lielas. Tādēļ, ja konstrukcijas aprēķinātu pēc visu slodžu summas, tām būtu pārāk liela stiprības rezerve. Lai to nepieļautu, konstrukcijas aprēķina pēc slodžu aprēķina kombinācijām. Izšķir

patmatkombinācijas, kurās iekļauj pastāvīgās, ilgstošās un īslaicīgās slodzes;

sevišķo kombināciju, kurā ietver pastāvīgās, ilgstošās, īslaicīgās un vienu sevišķo slodzi.

Iekļaujot patmatkombinācijā divas vai vairākas īslaicīgās slodzes, šo slodžu vērtības pareizina ar slodžu kombinācijas koefi-

cientu  $\psi=0,9$ , ar kuru ievēro visu slodžu maksimālās intensitātes vienlaicīgu neiespējamību. Ja pamatkombinācijā iekļauj tikai vienu īslaicīgo slodzi, tad summē pastāvīgās slodzes, ilgstošās slodzes un nesamazinātas īslaicīgās slodzes vērtības.

Sevišķajā kombinācijā iekļauto īslaicīgo slodžu vērtības jāreizinā ar koeficientu  $\psi=0,8$  (sevišķās slodzes aprēķina vērtību nesamazinā).

Otrās robežstāvokļu grupas deformācijas aprēķina pēc normatīvo slodžu vērtībām.

#### 4.4. MATERIĀLU APRĒKINA PRETESTĪBAS

Par metāla konstrukciju materiālu robežpretestību galvenokārt pieņem plūstamības robežu  $\sigma_{p1}$ . Atsevišķos gadījumos, ja pēc konstrukcijas darbības rakstura pieļaujamas jūtamas deformācijas un konstrukcijas nestspēju nosaka tikai tās stiprība, par materiāla robežpretestību pieņem pārējo pretestību  $\sigma_{pār}$ .

Valsts standartu vai tehnisko noteikumu garantēto robežpretestības minimālo vērtību, kuru nosaka rūpniecā, izlases veidā pārbaudot metāla paraugu kvalitāti, sauc par *normalīvo pretestību*  $R_n$ .

Velmētajiem tēraudiem par stiepes, spiedes un lieces normatīvo pretestību parasti pieņem plūstamības robežas  $\sigma_{p1}$  mazāko kontrolvērtību, ko apzīmē ar  $R_{yn}$ . Ja materiālam nav izteiktas plūstamības robežas, tad par to pieņem spriegumu  $\sigma_{0,2}$ , kas atbilst paliekošajam relatīvajam pagarinājumam  $\varepsilon=0,002$  (0,2%). Stieptiem konstrukcijas elementiem, kuru darbība iespējama arī pēc materiāla plūstamības robežas sasniegšanas, par normatīvo pretestību pieņem pārējo pretestības  $\sigma_{pār}$  minimālo vērtību, ko apzīmē ar  $R_{un}$ .

Tā kā metalurģiskajās rūpniecās metālu kvalitāti pārbauda izlases veidā, tad iespējams, ka konstrukciju izgatavošanai izmanto materiālu, kura pretestība ir mazāka par normatīvo pretestību. Vismazāko iespējamo materiāla pretestības lielumu  $R$  sauc par *aprēķina pretestību*, un to atrod pēc formulas

$$R = R_n / \gamma_m, \quad (4.4)$$

kur  $\gamma_m$  — materiāla drošuma koeficients.

Ar materiāla drošuma koeficientu ievēro pārbaudes metodes nosacīto pretestības statistisko mainīgumu un arī to, ka pārbaudes laikā materiāla darbība atsevišķā paraugā nepilnīgi atbilst darbībai reālajā konstrukcijā. Vienlaikus ar šo koeficientu ievēro arī velmējumu izmēru negatīvās pielāides.

Velmētā tērauda dažādu spriegumstāvokļu aprēķina pretestības noteikšanas formulas dotas 4.1. tabulā.

Tērauda velmējumu stiepes, spiedes un lieces aprēķina pretestību skaitliskās vērtības, kas aprēķinātas pēc 4.1. tabulas formulām, dotas pielikumā 1. tabulā, bet gala virsmas spiedes, cilindrisko šarnīru lokālas virsmas spiedes un rullīšu diametrālas spiedes aprēķina pretestības — pielikumā 2. tabulā.

## Velmētā tērauda aprēķina pretestības

Nr. p. k.	Aprēķina pretestība	Formula
1	Stiepei, spidei un liecei pēc plūstamības robežas	$R_y = R_{yn}/\gamma_m$
2	Stiepei, spidei un liecei pēc pārraušanas pārejošās pretestības	$R_u = R_{un}/\gamma_m$
3	Bīdei	$R_s = 0,58R_{yn}/\gamma_m$
4	Gala virsmas spidei, ja virsmas ir pielāgotas	$R_p = R_{un}/\gamma_m$
5	Ciešas saskaršanās cilindrisko šarnīru lokālai virsmas spidei	$R_{lp} = 0,5R_{un}/\gamma_m$
6	Brīvas saskaršanās rullišu diametrālai spidei konstrukcijās ar ierobežotu kustīgumu	$R_{cd} = 0,025R_{un}/\gamma_m$
7	Stiepei velmējuma biezuma virzienā, ja biezums $t < 60$ mm	$R_{th} = 0,5R_{un}/\gamma_m$

Konstrukcijas nestspēju ietekmē arī eksploataācijas apstākļi un daži citi faktori, kurus neievēro, nosakot materiāla aprēķina pretestības vērtību. Ja apstākļi vai faktori ir nelabvēlīgi, tad, aprēķinot konstrukcijas pēc robežstāvokļu metodes, to ietekmi ievēro ar *darbības apstākļu koeficientu*  $\gamma_c < 1$  (reizīnāt  $R$  ar  $\gamma_c$ ). Ja minētie faktori ir labvēlīgi, piemēram, notiek citāda iekšējo spēku sadalīšanās, tad  $\gamma_c > 1$ . Normāliem darbības apstākļiem  $\gamma_c = 1$ .

Darbības apstākļu koeficienta  $\gamma_c$  skaitliskās vērtības (sk. pielikumu 5. tab.) noteiktas, teorētiski un eksperimentāli pētīt konstrukciju un materiālu patieso darbību eksploataācijas un celtniecības apstākļos.

Aprēķinot konstrukcijas pēc robežstāvokļu metodes, ievēro arī ēku un būvju atbildīguma un kapitalitātes pakāpi, kā arī attiecīga robežstāvokļa iestāšanās seku svarīgumu. Aprēķinos to ievēro ar *uzdevuma drošuma koeficientu*  $\gamma_n$  (dalot  $R$  ar  $\gamma_n$ ), kura skaitliskās vērtības dotas pielikumu 6. tabulā.

Lai vienkāršotu aprēķinus, atļauts ar koeficientiem  $\gamma_c$  un  $\gamma_n$  korrigēt materiāla aprēķina pretestības vērtību. To ievērojot,

$$R = (R_n/\gamma_m) \gamma_c/\gamma_n = R_n \gamma_c / (\gamma_m \gamma_n). \quad (4.5)$$

Bieži lieto citu aprēķina vienkāršošanas paņēmieni. Pēc šī paņēmiena ar uzdevuma drošuma koeficientu  $\gamma_n$  nevis daļa materiāla aprēķina pretestību, bet gan reizina aprēķina slodzi. Tad

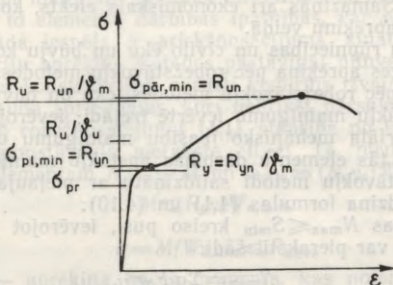
$$F = F_n \gamma_r \gamma_n \text{ vai } q = q_n \gamma_r \gamma_n, \quad (4.6)$$

bet aprēķina pretestība  $R = (R_n/\gamma_m) \gamma_c$  vai, diferencējot pēc materiāla robežpretestības,

$$R = R_y \gamma_c; \quad (4.7)$$

$$R = R_u \gamma_c. \quad (4.8)$$

No tērauda mehānisko īpašību izmantošanas drošuma viedokļa starp aprēķina pretestību pēc plūstamības robežas  $R_y$  un aprēķina pretestību pēc pārejošās pretestības  $R_u$  ir ievērojama atšķirība



4.1. att. Aprēķina pretestības un materiāla darbības  $\sigma$ - $\epsilon$  diagramma.

(4.1. att.). Materiāliem, kuriem aprēķina pretestība noteikta pēc plūstamības robežas, ir dabiska stiprības rezerve  $\Delta R = R_u - R_y$ . Ja aprēķina pretestību nosaka pēc pārejošās pretestības, tad šādas stiprības rezerves nav. Tādēļ stieptiem konstrukciju elementiem aprēķina pretestību, kas noteikta pēc pārejošās pretestības, samazina, ņemot ar materiāla pārejošās pretestības izmantošanas drošuma koeficientu  $\gamma_u = 1,3$ . Tad

$$R = R_u \gamma_c / \gamma_u. \quad (4.9)$$

#### 4.5. KONSTRUKCIJU APRĒĶINS PĒC ROBEŽSTĀVOKĻU METODES

Padomju Savienībā līdz 1955. gadam būvkonstrukciju stiprību aprēķināja pēc pieļaujamo spriegumu metodes. Saskaņā ar šo metodi pēc materiālu pretestības formulām no ekspluatācijas normatīvajām slodzēm aprēķinātie spriegumi  $\sigma$  nedrīkst pārsniegt pieļaujamo lielumu  $[\sigma]$ , kuru iegūst, ņemot spriegumu robežvērtību (bīstamo spriegumu)  $\sigma_{rob}$  ar rezerves koeficientu  $k$ :

$$\sigma \leq [\sigma] = \sigma_{rob} / k. \quad (4.10)$$

Būvētauriem ir bīstama plūstamības rašanās, tādēļ  $\sigma_{rob} = \sigma_{pl}$ . Šīs metodes galvenie trūkumi:

- 1) visām no dotā materiāla izgatavotām konstrukcijām ir identisks rezerves koeficients, kas neļauj ievērot dažādo konstrukciju darbības specifiku;
- 2) nav iespējams ievērot slodžu un materiāla mehānisko īpašību mainīgumu;
- 3) nepilnīgi ievēro plastisko deformāciju attīstību.

Šo apstākļu dēļ rezerves koeficients, izrādās, ir nosacīts un pēc pieļaujamo spriegumu metodes aprēķinātās konstrukcijas nav vie-

nādziturīgas. Samazinās arī ekonomiskais efekts, ko potenciāli varētu sasniegt aprēķinu veidā.

Tagad visu rūpniecības un civilo ēku un būvju konstrukcijas un montāžas ierīces aprēķina pēc robežstāvokļu metodes.

Aprēķinot pēc robežstāvokļu metodes, ēku un būvju konstrukciju darbības apstākļu mainīgumu ievērtē trejādi: ievērojot slodžu mainīgumu, materiāla mehānisko īpašību mainīgumu un būves, konstrukcijas vai tās elementu darbības apstākļu mainīgumu.

Lai robežstāvokļu metodi salīdzinātu ar pieļaujamo spriegumu metodi, jāsalīdzina formulas (4.1) un (4.10).

Nevienādības  $N_{\max} \leq S_{\min}$  kreiso pusi, ievērojot formulu (4.3), izvērstā veidā var pierakstīt šādi:

$$N_{\max} = \sum \alpha_i F_{in} \gamma_{fi}, \quad (4.11)$$

kur  $\alpha_i$  izsaka pāreju no aprēķina slodzēm

$$\sum F_i = F_{1n} \gamma_{f1} + F_{2n} \gamma_{f2} + \dots$$

uz iekšējiem spēkiem, kurus iegūst, izdarot konstrukcijas statisko aprēķinu.

Nevienādības (4.1) labā puse, ievērojot formulu (4.5), iegūst šādu veidu:

$$S_{\min} = RA = (R_n \gamma_c / (\gamma_m \gamma_n)) A, \quad (4.12)$$

kur  $A$  — aprēķināmā elementa ģeometriskais raksturojums (šķērsriezuma laukums, pretestības moments u. tml.).

Ievietojot izteiksmes (4.11) un (4.12) nevienādībā (4.1), iegūst

$$\sum \alpha_i F_{in} \gamma_{fi} \leq (R_n \gamma_c / (\gamma_m \gamma_n)) A. \quad (4.13)$$

Ja slodžu drošuma koeficienti ir vienādi ( $\gamma_{f1} = \gamma_{f2} = \gamma_f$ ), tad, ievērojot, ka iekšējā spēka normatīvā vērtība  $N_{in} = \alpha_i F_{in}$ , no formulas (4.13) iegūst

$$\gamma_f \sum N_{in} \leq (R_n \gamma_c / (\gamma_m \gamma_n)) A$$

vai, izdalot nevienādības abas puses ar  $\gamma_f A$ ,

$$\sum N_{in} / A \leq R_n \gamma_c / (\gamma_f \gamma_m \gamma_n). \quad (4.14)$$

Seit  $\sum N_{in} / A$  ir spriegumu  $\sigma$  izteiksme, bet daļskaitli  $\gamma_f \gamma_m \gamma_n / \gamma_c$  var uzskatīt par materiāla normatīvās pretestības  $R_n$  rezerves koeficientu  $k$ . Tad pirmās grupas robežstāvokļu nosacījums  $N_{\max} \leq S_{\min}$  pārvēršas par pieļaujamo spriegumu metodei atbilstošo nesagraujamības nosacījumu (4.10):

$$\sigma \leq R_n / k = \sigma_{\text{rob}} / k = [\sigma]. \quad (4.15)$$

Var secināt, ka būvkonstrukciju aprēķinam agrāk lietotā pieļaujamo spriegumu metode ir pirmās grupas robežstāvokļu aprēķina atsevišķs gadījums, kad jebkurai konstrukcijai visos gadījumos pieņem konstantus koeficientus  $\gamma_f$ ,  $\gamma_m$ ,  $\gamma_c$  un  $\gamma_n$ . Aprēķinot pēc robežstāvokļu metodes, agrāk lietotais vienotais rezerves koeficients  $k$  tiek aizvietots ar mainīgu koeficientu  $\gamma_f$ ,  $\gamma_m$ ,  $\gamma_c$  un  $\gamma_n$  sistēmu. Bez tam jebkuru rezerves koeficienta sastāvdaļu, novērojot slogošanas.

režīmu, izpētot materiāla īpašības un salīdzinot dažādu būvju, konstrukciju un to elementu darbības īpatnības, var noteikt un mainīt atsevišķi. Šāda iespēja ir priekšnosacījums zinātniski pamatotai būvkonstrukciju aprēķina metodes pastāvīgai pilnveidošanai.

Projektējot konstrukcijas, parasti vispirms izvēlas šķērsgriezumu un tad pārbauda spriegumus, kuri nedrīkst pārsniegt aprēķina pretestību. Tādēļ robežnosacījumu (4.1) atkarībā no konstrukcijas elementa spriegumstāvokļa pieraksta citādi. Tā, piemēram, ievērojot, ka liektam elementam  $N_{\max} \equiv M$  un  $S_{\min} \equiv (R_y \gamma_c) W_{n,\min}$ , iegūst

$$M \leq R_y \gamma_c W_{n,\min}, \quad (4.16)$$

no kurienes

$$\sigma = M/W_{n,\min} \leq R_y \gamma_c, \quad (4.17)$$

kur  $M$  — aprēķina lieces moments, kas noteikts no aprēķina slodzēm, kuras aprēķinātas pēc formulas (4.6);

$W_{n,\min}$  — neto šķērsgriezuma laukuma minimālais pretestības moments.

Tā kā deformācijas un pārvietojumi ir atkarīgi no konstrukcijas elementa garuma  $l$ , tad otrās grupas robežstāvokļu nosacījumu (4.2) parasti raksta šādi:

$$f/l \leq [f/l], \quad (4.18)$$

kur  $f/l$  — faktiskā (aprēķinātā), pēc absolūtās vērtības vislielākā relatīvā deformācija vai pārvietojums;

$[f/l]$  — relatīvās deformācijas vai pārvietojuma robežlielums, kuru pārsniedzot tiek traucēta konstrukcijas normāla ekspluatācija.

#### 4.6. CENTRISKI STIEPTU ELEMENTU ROBEŽSTĀVOKĻI UN APRĒĶINS

Centriski stieptu elementu stiprību pārbauda pēc formulas

$$\sigma = N/A_n \leq R_y \gamma_c, \quad (4.19)$$

kur  $N$  — aprēķina garenspēks;

$A_n$  — neto šķērsgriezuma laukums;

$R_y$  — stiepes aprēķina pretestība pēc plūstamības robežas (sk. pielikumu 1. tab.).

Aprēķinot stiprību pēc formulas (4.19), nodrošina konstrukcijas stieptā elementa nesagraujamību (pirmās grupas robežstāvokļa aprēķins). Vienlaicīgi novērš pārmērīgu plastisko deformāciju attīstību vājinātā elementa šķēlumā (otrās grupas robežstāvoklis).

Ja ekspluatācijas apstākļu dēļ drīkst pieļaut lielas plastiskās deformācijas, centriski stieptiem elementiem pārbauda tikai stiprību (pirmās grupas robežstāvoklis) pēc formulas

$$\sigma = N/A_n \leq R_u \gamma_c / \gamma_u, \quad (4.20)$$

kur  $R_u$  — stiepes aprēķina pretestība pēc pārejošās pretestības.

Tas ir racionāli gadījumos, ja  $R_u / \gamma_u > R_y$ .

## 4.7. LIKTU ELEMENTU ROBEŽSTĀVOKĻI UN APRĒĶINS

Iespējama liektu elementu stīga sagrūšana un noturības zaudēšana (pirmās grupas robežstāvokļi), kā arī lielu elastīgo un pārmērīgu plastisko deformāciju attīstība, kas traucē konstrukcijas normālu ekspluatāciju (otrās grupas robežstāvokļi).

Atkarībā no materiāla darbības stadijas (elastīgas vai elastīgi plastiskas) liektos elementos ir atšķirīgs spriegumu sadalījums pa šķērsriezuma augstumu. To ievēro, aprēķinot šādu elementu nestspēju vai pārbaudot to stiprību.

Materiāla elastīgas darbības stadijā liektos elementos ir lineārs normālspriegumu sadalījums pa šķērsriezuma augstumu (4.2. att. a). Ja šķēlums ir simetrisks, malējo šķiedru spriegumus aprēķina pēc formulas

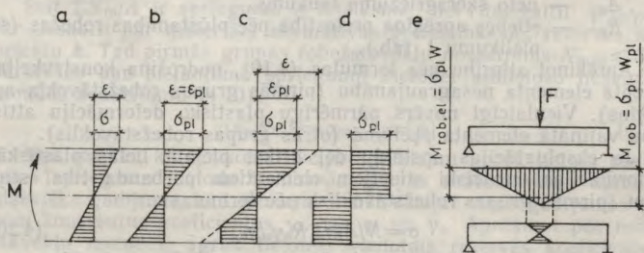
$$\sigma = \pm M/W, \quad (4.21)$$

kur  $M$  — lieces moments;

$W$  — šķērsriezuma pretestības moments.

Palielinot slodzi (lieces momentu  $M$ ), spriegumi pieaug un malējās šķiedrās sasniedz plūstamības robežu (4.2. att. b). Tā kā materiāla plūstamība ir iestājusies tikai šķērsriezuma malējās šķiedrās (vidusšķiedras ir mazāk saspriegtas), liektā elementa nestspēja netiek pilnīgi izmantota un lieces momentu var palielināt. Palielinot lieces momentu, plastiskās deformācijas no augšējām un apakšējām šķiedrām izplatās virzienā uz šķērsriezuma vidusdaļu, kur saglabājas elastīgs kodols (4.2. att. c). Kopumā šķērsriezums atrodas elastīgi plastiskā stāvoklī. Ja lieces momentu palielina vēl vairāk, visu šķērsriezumu pārņem plastiskās deformācijas (4.2. att. d) un maksimālā momenta vietā izveidojas plastiskuma šarnīrs (4.2. att. e), kas pārtrauktas sijas pārvērš ģeometriski mainīgā sistēmā.

Izveidojoties plastiskuma šarnīram, liektā elementa nestspēja sasniedz maksimumu.



4.2. att. Lieces plastiskuma šarnīra izveidošanās.

Plastiskuma šarnīram atbilstošais lieces robežmoments

$$M_{\text{rob}} = \sigma_{\text{pl}} \int_A y dA = \sigma_{\text{pl}} 2S, \quad (4.22)$$

kur  $S$  — šķērsriezuma puslaukuma statistiskais moments pret asi, kas iet caur šķēluma smagumcentru.

Lieces robežmomentu, kas atbilst spriegumstāvoklim, kad spriegumi plūstamības robežu sasnieguši tikai malējās šķiedrās, saskaņā ar formulu (4.21) var pierakstīt šādi:

$$M_{\text{rob,el}} = \sigma_{\text{pl}} W. \quad (4.23)$$

Pierakstot plastiskuma šarnīram atbilstošo lieces robežmomentu  $M_{\text{rob}}$  formulas (4.23) veidā, iegūst

$$M_{\text{rob}} = \sigma_{\text{pl}} 2S = \sigma_{\text{pl}} W_{\text{pl}}. \quad (4.24)$$

Šajā formulā lielums  $W_{\text{pl}} = 2S$  aizstāj elastīgai darbības stadijai atbilstošo šķērsriezuma pretestības momentu  $W$ . Tādēļ analogijas dēļ to sauc par šķērsriezuma plastisko pretestības momentu. Plastiskais pretestības moments  $W_{\text{pl}}$  ir lielāks par elastīgo pretestības momentu  $W$ . Tādēļ ir izdevīgi izmantot materiāla darbības elastīgi plastisko stadiju, kas palielina liekto elementu nestspēju.

**Elastīgi liektu elementu stiprības aprēķins.** Ja liektā elementa materiālā drīkst pieļaut tikai elastīgās deformācijas un elementu liec vienā no galvenajām plaknēm, normālspriegumus pārbauda pēc formulas

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{W_{\text{n,min}}} \leq R_y \gamma_c, \quad (4.25)$$

kur  $M_{\text{max}}$  — maksimālais aprēķina lieces moments;  
 $W_{\text{n,min}}$  — neto šķērsriezuma laukuma minimālais pretestības moments.

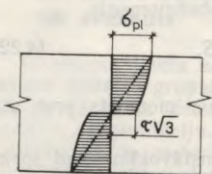
Tangenciālos spriegumus pārbauda pēc formulas

$$\tau = \frac{QS}{It} \leq R_s \gamma_c, \quad (4.26)$$

kur  $Q$  — aprēķina šķērsspēks;  
 $S$  — šķērsriezuma nobīdāmās daļas statistiskais moments pret neitrālo asi;  
 $I$  — šķērsriezuma inerces moments;  
 $t$  — elementa (sieniņas) biezums;  
 $R_s$  — bīdes aprēķina pretestība.

Parasti liektu elementu šķēlumos bez normālspriegumiem rodas arī tangenciālie spriegumi. Tādēļ materiāla pāreju no elastīgās uz elastīgi plastisko darbības stadiju (plūstamības robežu) nosaka pēc reducētajiem spriegumiem. Ievērojot, ka lieces gadījumā visi spriegumi, izņemot  $\sigma_x$  un  $\tau_{xy}$ , ir vienādi ar nulli, pēc formulas (2.4)

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} = \sigma_{\text{pl}}.$$



4.3. att. Lieces momenta un šķērsspēka kopiedarbes reducēto spriegumu epīra.

Reducēto spriegumu epīrai ir nevis trīsstūra, bet gan izliekta forma (4.3. att.). No iepriekšējās formulas izriet, ka malējās šķiedrās, kurās  $\tau_{xy}=0$ , maksimālais  $\sigma_x = \sigma_{pl}$ . Uz neitrālās ass  $\sigma_x=0$  un tādēļ maksimālais  $\tau_{xy} = \sigma_{pl}/\sqrt{3}$ , no kurienes  $\sigma_{pl} = \sqrt{3}\tau_{xy}$ .

Šķērsriezuma reducēto spriegumu epīrai atbilstošā nestspēja ir apmēram par 15% lielāka nekā nestspēja, kas atbilst normālsprīegumu epīrai (4.3. attēlā tā parādīta ar svītrliniju). Tādēļ, aprēķinot stiprību atsevišķā punktā, liekta elementa reducētos spriegumus pārbauda pēc formulas

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq 1,15R_y\gamma_c, \quad (4.27)$$

kur  $\tau_{xy} \leq R_s\gamma_c$ .

Ja šķērsgriezumā darbojas divi normālsprīegumi  $\sigma_x$  un  $\sigma_y$  un cirpes spīegumi  $\tau_{xy}$ , var izdarīt līdzīgus secinājumus. Šajā gadījumā reducētos spīegumus pārbauda pēc formulas

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq 1,15R_y\gamma_c, \quad (4.28)$$

kur  $\tau_{xy} \leq R_s\gamma_c$ .

Divās galvenajās plaknēs liektu elementu normālsprīegumus pārbauda pēc formulas

$$\sigma = \frac{M_x}{I_{xn}}y \pm \frac{M_y}{I_{yn}}x \leq R_y\gamma_c, \quad (4.29)$$

kur  $x$  un  $y$  — apskatāmā punkta koordinātas attiecībā pret galvenajām asīm.

**Elastīgi plastiski liektu elementu stiprības aprēķins.** Lai panāktu darbības drošumu, plastiskās deformācijas pieļauj tikai velmētos un saliktos metinātos pilnsienas liektos elementos (sijās),

ja lieto tēraudus, kuru plūstamības robeža  $\sigma_{pl} \leq 580$  MPa;

ja plaukta šķērsriezuma laukuma un sieniņas šķērsriezuma laukuma attiecība  $A_f/A_w \geq 0,25$ ;

ja vienā galvenajā plaknē liektām sijām laiduma šķēlumos  $\tau \leq 0,9R_s$ , bet divās galvenajās plaknēs liektām sijām laiduma šķēlumos  $\tau \leq 0,5R_s$  (balsta šķēlumā  $\tau \leq R_s$ );

ja siju vispārējā noturība nodrošināta ar šādiem paņēmieniem: spiestais plaukts nepārtraukti sajūgts ar stingu klāju (pieļauj jebkura šķērsriezuma sijām); spiestais plaukts nostiprināts atstatumos, kas nepārsniedz 7.1. tabulā dotos lielumus (pieļauj simetriska šķērsriezuma sijām un sijām ar platāku spiesto plauktu);

ja koncentrētu spēku pielikšanas vietās siju sieniņa nostiprināta ar šķērsribām.

Statiski slogotu elastīgi plastisku siju normālsprīegumus pārbauda pēc šādām formulām:

ja elementu liec vienā galvenajā plaknē,

$$\sigma = \frac{M}{c_1 W_{n,\min}} \geq R_y \gamma_c; \quad (4.30)$$

ja elementu liec divās galvenajās plaknēs,

$$\sigma = \frac{M_x}{c_x W_{xn,\min}} + \frac{M_y}{c_y W_{yn,\min}} \leq R_y \gamma_c, \quad (4.31)$$

kur  $M$ ,  $M_x$  un  $M_y$  — aprēķina lieces momenta un tā komponentu absolūtās vērtības.

Formulu (4.30) un (4.31) koeficientus  $c_1$ ,  $c_x$  un  $c_y$ , ar kuriem ievēro plastiskās deformācijas un vienlaicīgi to pieļaujamas pakāpi, pieņem diferencēti atkarībā no pārbaudāmā šķēluma tipa, izvietojuma pret lieces plakni un spriegumstāvokļa. Projektēšanas normās šo koeficientu skaitliskās vērtības noteiktas tādas, ka liektā elementa šķēluma vidusdaļā saglabājas elastīgs kodols (sk. 4.2. att. c). Tādējādi tiek novērsta plastiskuma šarnīra izveidošanās.

Šķēlumiem, kuros vienlaicīgi darbojas lieces moments  $M$  un šķērsspēks  $Q$ , koeficientus  $c_x$  un  $c_y$  pieņem pēc pielikumu 10. tabulas, bet koeficientu  $c_1$  aprēķina pēc šādām formulām:

ja  $\tau \leq 0,5R_s$ ,

$$c_1 = c; \quad (4.32)$$

ja  $0,5R_s < \tau \leq 0,9R_s$ ,

$$c_1 = 1,05\beta c, \quad (4.33)$$

kur

$$\tau = Q/(t_w h_w); \quad \beta = \sqrt{\frac{1 - (\tau/R_s)^2}{1 - \alpha(\tau/R_s)^2}}; \quad (4.34)$$

$c$  — koeficients, kuru pieņem pēc pielikumu 10. tabulas;

$t_w$  un  $h_w$  — attiecīgi sieniņas biezums un augstums;

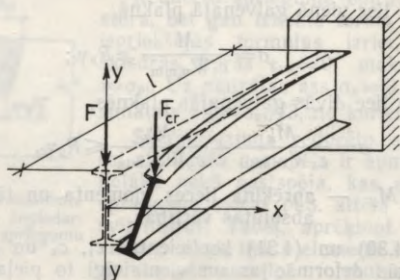
$\alpha$  — koeficients (dubult-T veida šķērsgriezumam, ja elements liekts sieniņas plaknē,  $\alpha=0,7$ ; citiem šķērsgriezuma tipiem  $\alpha=0$ ).

Pēc formulas (4.33) aprēķināto koeficientu  $c_1$  galīgi pieņem ne mazāku par 1 un ne lielāku par koeficientu  $c$  ( $1 \leq c_1 \leq c$ ).

Ja šķēlumā darbojas tikai lieces moments (tīrā liece), tad formulās (4.30) un (4.31) koeficientus  $c_1$ ,  $c_x$  un  $c_y$  attiecīgi aizvieto ar mazākiem koeficientiem:  $c_{1m}=0,5(1+c)$ ;  $c_{xm}=0,5(1+c_x)$  un  $c_{ym}=0,5(1+c_y)$ . Tādējādi samazina kopējās lieces deformācijas, kuru dēļ elements kļūtu ekspluatācijai nederīgs.

Pārtrauktu, elastīgi plastisku siju balsta šķēlumu (tīrā bīde,  $M=0$  vai  $M_x=0$  un  $M_y=0$ ) stiprību pārbauda pēc formulas

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_w} \leq R_s \gamma_c. \quad (4.35)$$



4.4. att. Dubult-T sijas noturības zaudēšana.

Ja konstrukcijas elementiem un iekārtai ir nodrošināti nepieciešamie ekspluatācijas noteikumi, plastiskās deformācijas ir pieļaujamas arī ar dinamiskām, vibrāciju un kustīgām slodzēm slogotās sijās.

Liekti elementi var zaudēt nestspēju arī vispārējās noturības zaudēšanas dēļ.

Ja siju slogo lielākā stinguma plaknē, tā izliecas un, slodzei sasniedzot kritisko lielumu  $F_{cr}$ , sagriežas, un izkļaujas no lieces plaknes (4.4. att.). Šķērsgriezumu ātri pārņem plastiskās deformācijas, un, slodzei nedaudz pārsniedzot kritisko lielumu, sija zaudē nestspēju (pirmās grupas robežstāvoklis).

Noturības zaudēšanas kritisko momentu  $M_{cr}$  var aprēķināt, izmantojot elementa šķērsgriezuma un laiduma geometriskos raksturojumus. Praktiski, lai vienkāršotu aprēķinus, liektu elementu vispārējo noturību pārbauda pēc centriski un ekscentriski spiestu elementu noturības aprēķina formulai līdzīgas formulas:

$$\sigma = M / (\varphi_b W_c) \leq R_y \gamma_c, \quad (4.36)$$

kur  $W_c$  — šķērsgriezuma spiesto šķiedru lieces pretestības moments;

$\varphi_b$  — koeficients, ar kuru, aprēķinot elementa griezti liektu noturības zaudēšanu, materiāla aprēķina pretestību reducē uz kritisko spriegumu.

Tā kā, aprēķinot noturību, spriegumus  $\sigma$  salīdzina ar kritisko spriegumu  $\sigma_{cr}$ , koeficients  $\varphi_b$  ir vienāds ar kritiskā sprieguma un plūstamības robežas attiecību:

$$\varphi_b = \sigma_{cr} / \sigma_{pl}. \quad (4.37)$$

Koeficienta  $\varphi_b$  aprēķins dots projektēšanas normās [22].

Liektu elementu atbilstību otrās grupas robežstāvokļu nosacījumam (4.18) pārbauda pēc elastīgajām deformācijām, kas aprēķinātas no normatīvajām slodzēm.

## 4.8. CENTRISKI SPIESTU ELEMENTU ROBEŽSTĀVOKĻI UN APRĒKINS

Centriski spiestus elementus aprēķina pēc pirmās grupas robežstāvokļiem.

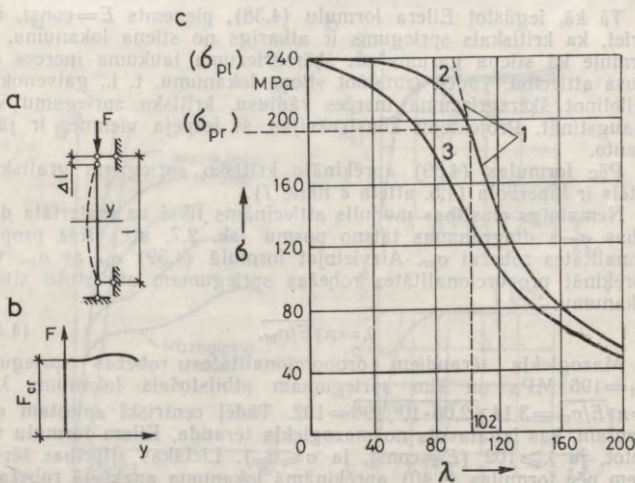
Išiem stieņiem, kuru garums nav lielāks par pieckāršu šķērsriezuma minimālo izmēru, pārbauda stiprību, gariem lokaniem stieņiem pārbauda noturību un vājināto šķērsriezumu stiprību.

Īsos spiestos stieņos tērauds darbojas tāpat kā stieptos stieņos, tādēļ to stiprību pārbauda pēc formulas (4.19):

$$\sigma = N/A_n \leq R_y \gamma_c.$$

Pēc šīs formulas pārbauda arī lokanu spiestu stieņu vājināto šķēlumu stiprību.

**Lokanu stieņu noturības aprēķins.** Apskatīsim taisnu, relatīvi garu stieni, kuram centriski pielikts spēks  $F$  (4.5. att. *a*). Spēku  $F$  palielinot, sākumā stienis paliek taisns. Ja slogošanas sākumā stienim mākslīgi piešķir nelielu izklāvumu  $y$ , tad pēc tā cēloņu novēršanas stienis atgriežas sākotnējā taisnā stāvoklī (stabils līdzsvars). Atgriešanās notiek tādēļ, ka lieces iekšējā potenciālā enerģija  $W$  ir lielāka par darbu  $J = F\Delta l$ , ko šajā gadījumā paveic ārējais spiedes spēks  $F$ , liecē tuvinot stieņa galus ( $W > J$ ).



4.5. att. Centriski spiestu stieņu noturība:

*a* — aprēķina shēma; *b* — spiedes spēka un stieņa izklāvuma sakarība; *c* — kritisko spriegumu līknes; 1 — Eilera hiperbola; 2 — kritisko spriegumu līkne, ievērojot materiāla plastisko darbību; 3 — kritisko spriegumu līkne, ievērojot gadījuma ekscentritātes ietekmi.

Turpinot spēka  $F$  palielināšanu, iestājas moments, kad  $W=J$ . Tad iespējamas divas stieņa līdzsvara formas: taisna un liekta forma. Ja šajā momentā stienim mākslīgi piešķir nelielu izklāvumu  $y$  un pēc tam novērš tā cēloņus, stienis paliek izliekts un taisnā stāvoklī neatgriežas. Taisnās vai liektās līdzsvara formas iestāšanās brīdī ārējais spēks sasniedz savu kritisko vērtību  $F=F_{cr}$ . Tālāka pat vismazākā spēka palielināšana izraisa strauju deformāciju palielināšanos un stieņa nestspējas zaudēšanu (4.5. att. b).

Centriski spiesta, abos galos šarnīrveidā nostiprināta elastīga stieņa kritisko spēku pirmais 1744. gadā formulēja L. Eilers:

$$F_{cr} = \pi^2 EI / l^2, \quad (4.38)$$

kur  $E$  — stieņa materiāla elastības modulis;

$I$  — minimālais stieņa šķērsriezuma inerces moments;

$l$  — stieņa garums.

Kritisko spriegumu iegūst, dalot kritisko spēku ar stieņa šķērsriezuma laukumu:

$$\sigma_{cr} = \frac{F_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{l^2 A} = \frac{\pi^2 E i^2}{l^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}, \quad (4.39)$$

kur  $A$  — stieņa bruto šķērsriezuma laukums;

$i = \sqrt{I/A}$  — šķērsriezuma laukuma inerces rādiuss;

$\lambda = l/i$  — stieņa lokanums.

Tā kā, iegūstot Eilera formulu (4.38), pieņemts  $E = \text{const}$ , tad izriet, ka kritiskais spriegums ir atkarīgs no stieņa lokanuma, ko formulē kā stieņa garuma un šķērsriezuma laukuma inerces rādiusa attiecību. Tādēļ, izmainot stieņa lokanumu, t. i., galvenokārt palielinot šķērsriezuma inerces rādiusu, kritisko spriegumu var paaugstināt. Projektējot konstrukcijas, šī iespēja vienmēr ir jāizmanto.

Pēc formulas (4.39) aprēķināto kritisko spriegumu grafiskais attēls ir hiperbola (4.5. attēlā  $c$  likne  $l$ ).

Nemainīgs elastības modulis attiecināms tikai uz materiāla darbības  $\sigma$ — $\varepsilon$  diagrammas taisno posmu (sk. 2.7. att.) līdz proporcionalitātes robežai  $\sigma_{pr}$ . Aizvietojojot formulā (4.39)  $\sigma_{cr}$  ar  $\sigma_{pr}$ , var aprēķināt proporcionalitātes robežas spriegumam atbilstošo stieņa lokanumu:

$$\lambda = \pi \sqrt{E / \sigma_{pr}}. \quad (4.40)$$

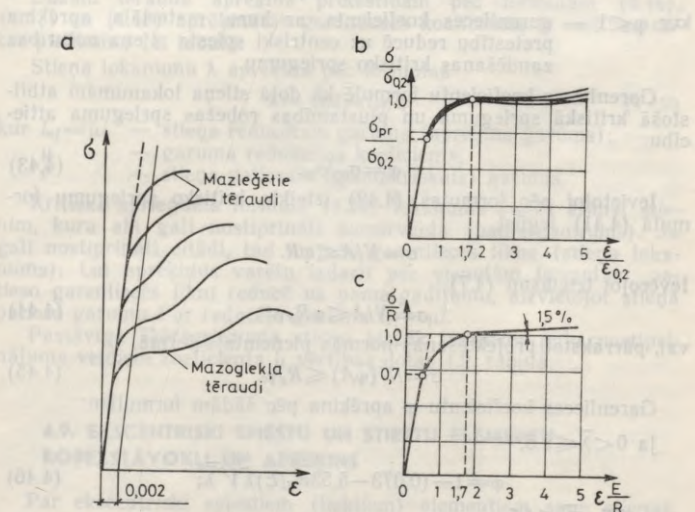
Mazoglekļa tēraudiem proporcionalitātes robežas spriegums  $\sigma_{pr} = 196$  MPa un šim spriegumam atbilstošais lokanums  $\lambda = \pi \sqrt{E / \sigma_{pr}} = 3,14 \sqrt{2,06 \cdot 10^5 / 196} = 102$ . Tādēļ centriski spiestam elementam, kas izgatavots no mazoglekļa tērauda, Eilera formulu var lietot, ja  $\lambda \geq 102$  ( $E = \text{const}$ , ja  $\sigma \leq \sigma_{pr}$ ). Lielākas stiprības tēraudiem pēc formulas (4.40) aprēķināmā lokanuma apakšējā robeža ir zemāka, jo to proporcionalitātes robeža ir augstāka.

Ja stieņa lokanums ir mazāks par formulai (4.40) atbilstošo lokanumu, tad kritiskais spriegums  $\sigma_{cr}$  ir lielāks par proporcionali-

tātes robežu  $\sigma_{pr}$ , bet mazāks par plūstamības robežu  $\sigma_{p1}$  (4.5. attēlā *c* līkne 2 — atzarojums no Eilera hiperbolas, ja  $\lambda < 102$ ). Šādu stieņu kritiskā sprieguma aprēķins ir daudz komplicētāks, jo materiālā daļēji attīstās plastiskās deformācijas un šķērsgriezuma plastiskās daļas elastības modulis  $E_{p1} \neq \text{const}$ .

Nosakot kritisko spriegumu, aprēķina shēmā stieni pieņem ideāli taisnu. Reālais stienis noteikti novirzās no taisnas līnijas, un tam piemīt gadījuma ekscentritāte  $f_0$ . Tādēļ centriski spiesta stieņa sloģošanas sākumā tajā rodas lieces moments  $M = Ff_0$ , kas pasliktina stieņa noturības apstākļus un pazemina tā kritisko spriegumu (4.5. attēlā *c* līkne 3).

Virs proporcionalitātes robežas izvietotās kritisko spriegumu līknes ir atkarīgas no tēraudu darbības  $\sigma$ — $\epsilon$  diagrammām, kuras dažādu marķu tēraudiem pēc rakstura un parametru lieluma ir būtiski atšķirīgas (4.6. att. *a*). Taču, ja tēraudu darbības diagrammas attēlo relatīvās koordinātās  $\sigma/\sigma_{0,2}$  ( $\sigma_{0,2}$  — spriegums, kurš atbilst 0,2% liela paliekošam pagarinājumam un pēc kura tēraudiem, kam nav plūstamības posma, nosaka plūstamības robežu  $\sigma_{p1}$ ) un  $\epsilon/\epsilon_{0,2}$ , tad tās ir ļoti līdzīgas (4.6. att. *b*). Šajās koordinātās diagrammas no 0 līdz punktam  $\sigma_{pr}/\sigma_{0,2}$  sakrīt, jo visiem tēraudiem elastības modulis  $E$  ir vienāds un attiecība  $\sigma_{pr}/\sigma_{0,2} \approx 0,7$ . Elastīgi plastiskās darbības posmā diagrammas nedaudz diverģē, bet no



4.6. att. Tērauda darbības diagrammu unificēšana:

*a* — dažādu marķu tēraudu darbības diagrammas; *b* — tās pašas diagrammas relatīvās koordinātās; *c* — tērauda darbības unificētā diagramma.

jauna sakrīt punktā, kura koordinātas  $\sigma/\sigma_{0,2}=1$  un  $\epsilon/\epsilon_{0,2}\approx 1,7$ . Plastiskās darbības posmā diagrammas nedaudz atšķiras dažādo slīpumu dēļ.

Ievērojot to, ka relatīvajās koordinātās diagrammas daļēji sakrīt un tām ir vairāki kopīgi punkti, visu marķu tēraudiem var pieņemt vienotu un unificētu darbības diagrammu. Tā kā  $\sigma_{0,2}\approx\sigma_{p1}\approx R$  un  $\epsilon_{0,2}=\sigma_{0,2}/E\approx R/E$  ( $R$  — tērauda aprēķina pretestība), unificēto diagrammu var attēlot koordinātās  $\sigma/R$  un  $\epsilon E/R$  (4.6. att. c). Šo tēraudu darbības unificēto diagrammu izmanto nepieciešamo parametru noteikšanai, lai aprēķinātu no jebkuras tērauda markas izgatavota elementa noturību.

Centriski spiesta stieņa noturība ir nodrošināta, ja spriegumi tajā nepārsniedz kritisko spriegumu

$$\sigma = N/A \leq \sigma_{cr}, \quad (4.41)$$

kur  $N$  — aprēķina garenspēks;

$A$  — stieņa bruto šķēsgriezuma laukums.

Lai katram stienim nevajadzētu aprēķināt kritisko spriegumu un aprēķinos izmantotu materiāla aprēķina pretestību, kritisko spriegumu izsaka ar aprēķina pretestības  $R$  un koeficienta  $\varphi$  reizinājumu:

$$\sigma_{cr} = \varphi \sigma_{p1} = \varphi R, \quad (4.42)$$

kur  $\varphi < 1$  — garenlieces koeficients, ar kuru materiāla aprēķina pretestību reducē uz centriski spiesta stieņa noturības zaudēšanas kritisko spriegumu.

Garenlieces koeficientu formulē kā dotā stieņa lokanumam atbilstošā kritiskā sprieguma un plūstamības robežas sprieguma attiecību:

$$\varphi = \sigma_{cr}/\sigma_{p1}. \quad (4.43)$$

Ievietojot pēc formulas (4.42) izteikto kritisko spriegumu formulā (4.41), iegūst

$$\sigma = N/A \leq \varphi R.$$

Ievērojot izteiksmi (4.7),

$$\sigma = N/A \leq \varphi R_y \gamma_c \quad (4.44)$$

vai, pārrakstot projektēšanas normās pieņemtajā formā,

$$\sigma = N/(\varphi A) \leq R_y \gamma_c. \quad (4.45)$$

Garenlieces koeficientu  $\varphi$  aprēķina pēc šādām formulām:

ja  $0 < \bar{\lambda} \leq 2,5$ ,

$$\varphi = 1 - (0,073 - 5,53 R_y/E) \bar{\lambda} \sqrt{\bar{\lambda}}; \quad (4.46)$$

ja  $2,5 < \bar{\lambda} \leq 4,5$ ,

$$\varphi = 1,47 - 13 R_y/E - (0,371 - 27,3 R_y/E) \bar{\lambda} + (0,0275 - 5,53 R_y/E) \bar{\lambda}^2; \quad (4.47)$$

Stieņu garuma redukcijas koeficienti  $\mu$ 

Slogojuma shēma un slodzes veids								
$\mu$	1,0	0,7	0,5	2,0	1,0	2,0	0,725	1,12

ja  $\bar{\lambda} > 4,5$ ,

$$\varphi = \frac{332}{\bar{\lambda}^2(51 - \bar{\lambda})} \quad (4.48)$$

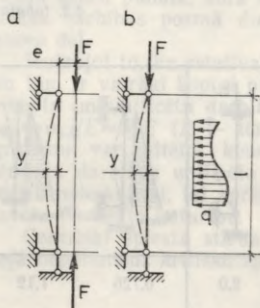
Sajās formulās  $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y/E}$  ir stieņa nosacītais lokanums.Dažām tērauda aprēķina pretestībām pēc formulām (4.46), (4.47) un (4.48) aprēķinātās garenieces koeficienta  $\varphi$  vērtības dotas pielikumu 11. tabulā.Stieņa lokanumu  $\lambda$  aprēķina pēc formulas

$$\lambda = \mu l / i = l_{ef} / i, \quad (4.49)$$

kur  $l_{ef} = \mu l$  — stieņa reducētais garums (aprēķina garums); $\mu$  — garuma redukcijas koeficients; $l$  — stieņa patiesais (ģeometriskais) garums.Kritiskā sprieguma formulā (4.39) lokanums  $\lambda = l/i$  atbilst stienim, kura abi gali nostiprināti šarnirveidā (pamatgadījums). Ja gali nostiprināti citādi, tad mainās garenieces likne (stieņa lokanums). Lai aprēķinus varētu izdarīt pēc vienotām formulām, patieso garenieces likni reducē uz pamatgadījumu, aizvietojo stieņa patieso garumu  $l$  ar reducēto garumu  $l_{ef} = \mu l$ .Pastāvīga šķērsgriezuma stieņu biežāk lietoti galu nostiprinājuma veidiem koeficienta  $\mu$  vērtības dotas 4.2. tabulā.

#### 4.9. EKSCENTRISKI SPIESTU UN STIEPTU ELEMENTU ROBEŽSTĀVOKĻI UN APRĒĶINS

Par ekscentriski spiestiem (liektiem) elementiem sauc stieņus, kuriem slodze  $F$  ir pielikta ekscentriski pret šķērsgriezuma smagumcentru (4.7. att. a). Šādos stieņos bez garenspēka  $N = F$  rodas arī lieces moments  $M = Fe$ , kur  $e$  — slodzes pielikšanas ekscentritāte. Šāda iekšējo spēku kombinācija rodas arī spiesti liektos (4.7. att. b)



4.7. att. Ekscentriski slogotu elementu aprēķina shēmas:

a — ekscentriski spiests elements;

b — spiesti liekts elements:

un stiepti liektos stieņos, kuriem bez garenslodzes pielikta arī šķērsslodze  $q$ .

Ekscentriski spiestu un spiesti liektu stieņu darbība ir līdzīga, tādēļ, pieļaujot nelielu spiesti liekto stieņu nestspējas rezervi, tos aprēķina pēc vienotām stiprības un noturības formulām. Līdzīga ir arī ekscentriski stieptu un stiepti liektu elementu darbība.

**Stiprības aprēķins.** Ekscentriski stieptos un īsos, ekscentriski spiestos elementos, attīstoties plastiskajām deformācijām (tāpat kā liektos elementos), izveidojas plastiskuma šarnīrs, tikai tā neitrālā ass ir nobīdīta.

Garens spēka  $N$  un lieces momenta  $M$  izraisītos malējo šķiedru spriegumus (4.8. att. a) aprēķina pēc formulām

$$\sigma_c = N/A + M/W_c; \quad (4.50)$$

$$\sigma_t = N/A - M/W_t; \quad (4.51)$$

kur  $\sigma_c$  — spiedes spriegums;

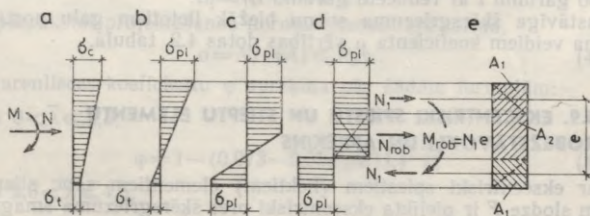
$\sigma_t$  — stiepes spriegums;

$W_c$  — šķēsgriezuma spiesto šķiedru lieces pretestības moments;

$W_t$  — šķēsgriezuma stiepto šķiedru lieces pretestības moments.

Pieaugot garens spēkam vai lieces momentam, malējo šķiedru spriegumi  $\sigma_c$  pieaug, sasniedz plūstamības robežu  $\sigma_{pl}$  (4.8. att. b) un vairāk nepalielinās. Turpinot palielināt slodzi, plastiskās deformācijas izplatās pa šķēsgriezuma spiesto daļu un arī stieptajā daļā sasniedz plūstamības robežu (4.8. att. c).

Robežstāvoklim atbilst 4.8. attēlā d parādītā epīra, jo, izveidojoties plastiskuma šarnīram, elementa nestspēja sasniedz maksi-



4.8. att. Ekscentriski spiesta un spiesti liekta elementa plastiskuma šarnīra veidošanās.

mumu. Tālāka lieces momenta palielināšana, nesamazinot garenspēku, vai arī otrādi, nav iespējama.

Plūstamības robežas reizinājums ar spriegumu epīras spiestās un stieptās daļas laukumu starpību  $A_2$  (4.8. att. e) nosaka garenspēka robežlielumu:

$$N_{\text{rob}} = \sigma_{\text{pl}} A_2. \quad (4.52)$$

Sprieguma  $\sigma_{\text{pl}}$  reizinājums ar laukumu  $A_1$  dod spēkpāra komponenti  $N_1 = \sigma_{\text{pl}} A_1$ .

Tādēļ lieces momenta robežlielums

$$M_{\text{rob}} = N_1 e = \sigma_{\text{pl}} A_1 e, \quad (4.53)$$

kur  $e$  — atstatums starp laukumu  $A_1$  centriem.

Materiāla plastiskās darbības stadijā garenspēka un lieces momenta spriegumus var precīzi atšķirt. Garenspēka spriegumi aizņem šķērsriezuma vidējo daļu  $A_2 = A - 2A_1$ , bet lieces momenta spriegumi — malējos laukumus  $A_1$ .

Skaidri redzams, ka materiāla plastiskās darbības stadijā ekscentriski spiesta elementa nestspēja, tāpat kā liekta elementa nestspēja, ir lielāka nekā materiāla elastīgās darbības stadijā.

Ja ekscentriski spiestu elementu liec abās galvenajās plaknēs, var konstatēt (sk. [13]), ka robežgadījumā katru no lieces momenta  $M$  komponentēm  $M_x$  un  $M_y$  arī līdzsvaro noteiktas šķērsriezuma daļas plūstamības robežas spriegums. To ievērojot, ekscentriski spiesta elementa stiprības nosacījumu formulē šādi (izrisinājums netiek dots):

$$\left( \frac{N}{A_n R_y \gamma_c} \right)^n + \frac{M_x}{c_x W_{xn, \min} R_y \gamma_c} + \frac{M_y}{c_y W_{yn, \min} R_y \gamma_c} \leq 1, \quad (4.54)$$

kur  $N$ ,  $M_x$  un  $M_y$  — attiecīgi garenspēka un lieces momenta komponentu absolūtās vērtības;

$n$ ,  $c_x$  un  $c_y$  — koeficienti (sk. pielikumu 10. tab.), kuri ievērtē plastiskās deformācijas un vienlaicīgi to pieļaujamības pakāpi.

Stiprību pēc formulas (4.54) pārbauda,

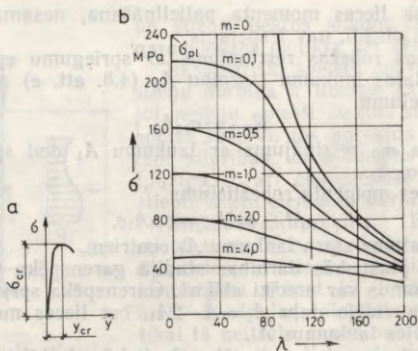
- 1) ja slodze ir statiska;
- 2) ja ekscentriski spiestais stienis izgatavots no tērauda, kura plūstamības robeža  $\sigma_{\text{pl}} \leq 580$  MPa;
- 3) ja tangenciālie spriegumi  $\tau \leq 0,5 R_s$ ;
- 4) ja izpildīts nosacījums  $N/A_n R_y > 0,1$ .

Formulu (4.54) drīkst lietot arī, ja  $N/A_n R_y \leq 0,1$ . Tad ekscentriski spiestā stienī šķērsriezuma izmēriem jāatbilst elastīgi plastisku siju elementu noturības nosacījumiem.

Ja iepriekš minētie nosacījumi netiek ievēroti, ekscentriski spiestos elementos materiāla plastiskās deformācijas nepieļauj un stiprību pārbauda pēc formulas

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{I_{xn}} y \pm \frac{M_y}{I_{yn}} x \leq R_y \gamma_c, \quad (4.55)$$

kur  $x$  un  $y$  — apskatāmā šķērsriezuma punkta koordinātas pret galvenajām asīm.



4.9. att. Ekscentriski spiesta un spiesti liekta elementa noturība:

a — kritiskā sprieguma un stienā izklāvuma sākuma; b — kritisko spriegumu līknes.

**Vispārējās noturības aprēķins.** Ekscentriski spiesti stieņi tiek izlikti jau sloģošanas sākumā. Pie tam, palielinot slodzi, lieces moments  $M=N(e+y)$  (sk. 4.7. att. a) pieaug straujāk nekā garenspēks  $N=F$ , jo vienlaikus pieaug arī izliece  $y$ .

Ekscentriski spiestu stieņu kritiskais spēks  $F_{cr}$  ir mazāks nekā centriski spiestiem elementiem (iekšējo spriegumu dēļ), jo, lai uzņemtu lieces momentu, garenspēka robežvērtība  $N_{rob}=F_{cr}$  ir jāsamazina. Tādēļ ekscentriski spiesta elementa kritisko spriegumu un izklāvumu sakarība (4.9. att. a) atšķiras no attiecīgās centriski spiesta elementa sakarības.

Izšķir liektu un griezti liektu (vispārēju) noturības zaudēšanas formu. Atbilstoši liektai noturības zaudēšanas formai elements izliecas lieces momenta darbības plaknē. Ja spiedes spēka pielikšanas ekscentritāte ir elementa lielākā stinguma plaknē, stienis ne vien izliecas, bet arī sagriežas un zaudē noturību atbilstoši griezti liektai formai. Šo vispārējo formu sauc arī par telpisko noturības zaudēšanas formu.

Kritiskais spriegums ir atkarīgs no ekscentriski spiestā elementa lokanuma, slodzes pielikšanas ekscentritātes, šķērsriezuma formas un sloģošanas (lieces momenta epiras) veida.

Kritiskā sprieguma noteikšanai ērtāk lietot nevis absolūto spēka pielikšanas ekscentritāti  $e=M/N$ , bet, ievērojot lieces momenta ietekmi, relatīvo ekscentritāti

$$m=e/r, \quad (4.56)$$

kur  $r=W_c/A$  — šķērsriezuma kodola spiesto šķiedru rādiuss.

Izmantojot šīs sakarības un formulu (4.50), iegūst spiesto maļējo šķiedru sprieguma izteiksmi:

$$\sigma_e = \frac{N}{A} + \frac{M}{W_c} = \frac{N}{A} + \frac{Ne}{Ar} = \frac{N}{A} (1+m), \quad (4.57)$$

pēc kuras var konstatēt, ka, palielinot slodzes pielikšanas ekscentritāti, stieņa nestspēja samazinās.

Pēc ekscentriski spiesta stieņa ārējo spēku momenta un šķēsgriezuma iekšējo spēku momenta pieaugumu līdzsvara nosacījumā katrai dotajai lieces momenta vērtībai var aprēķināt kritisko spriegumu  $\sigma_{e,cr} = N_{cr}/A$  un to atkarībā no lokanuma  $\lambda$  attēlot grafiski (4.9. att. *b*) (analoģiski kā centriski spiestiem elementiem). Katra no šīm līknēm atbilst noteiktai relatīvajai ekscentritātei, un tādēļ līkņu ir daudz.

Noteiktai relatīvajai ekscentritātei atbilstošo kritisko spriegumu līknes, kas noteiktas dažāda veida šķēsgriežumiem, ir atšķirīgas, taču tās ir līdzīgas taisnstūrveida šķēsgriezuma kritisko spriegumu līknēm (sk. 4.9. att. *b*). Tādēļ šķēsgriezuma formas ietekmi ievēro, pareiznot relatīvo ekscentritāti ar šķēsgriezuma formas ietekmes koeficientu  $\eta$  (sk. pielikumu 12. tab.), un praktiskos aprēķinos izmanto reducēto relatīvo ekscentritāti

$$m_{ef} = \eta m. \quad (4.58)$$

Ekscentriski spiesta un spiesti liekta stieņa noturība ir nodrošināta, ja spriegumi nepārsniedz kritisko lielumu, t. i.,

$$\sigma = N/A \leq \sigma_{e,cr}. \quad (4.59)$$

Lai katram elementam atsevišķi nevajadzētu aprēķināt kritisko spriegumu un lai aprēķinos izmantotu materiāla aprēķina pretestību, kritisko spriegumu izsaka ar aprēķina pretestības  $R$  un koeficienta  $\varphi_e$  reizinājumu:

$$\sigma_{e,cr} = \varphi_e \sigma_{pl} = \varphi_e R, \quad (4.60)$$

kur  $\varphi_e < 1$  — koeficients, ar kuru materiāla aprēķina pretestību reducē uz ekscentriski spiesta (spiesti liekta) stieņa noturības zaudēšanas kritisko spriegumu.

Koeficientu  $\varphi_e$  izsaka ar dotā stieņa lokanumam atbilstošā kritiskā sprieguma un plūstamības robežas attiecību:

$$\varphi_e = \sigma_{e,cr} / \sigma_{pl}. \quad (4.61)$$

Ievietojot pēc formulas (4.60) izteikto kritisko spriegumu formulā (4.59) un izsakot aprēķina pretestību pēc formulas (4.7), iegūst sakarību

$$\sigma = N / (\varphi_e A) \leq R_y \gamma_c, \quad (4.62)$$

kuru izmanto ekscentriski spiestu (spiesti liektu) elementu noturības pārbaudei lieces momenta darbības plaknē.

Pilsienas stieņiem koeficientu  $\varphi_e$  pieņem pēc pielikumu 14. tabulas atkarībā no nosacītā lokanuma  $\lambda = \lambda \sqrt{R_y / E}$  un reducētās rela-

tīvās ekscentritātes  $m_{ef}$ , bet režģotiem stieņiem — pēc pielikumu 15. tabulas atkarībā no nosacītā reducētā lokanuma  $\bar{\lambda}_{ef} = \lambda_{ef} \sqrt{R_y/E}$  un relatīvās ekscentritātes  $m$ .

Kritiskie spriegumi un tātad arī koeficients  $\varphi_e$  ir atkarīgi ne vien no lieces momenta lieluma, bet arī no šī momenta epīras veida. Ja lieces momenta epīra ir taisnstūrveida (tīrā liece), plastiskās deformācijas var attīstīties visā stieņa garumā, bet, ja epīra ir trīsstūrveida, — tikai maksimālā momenta šķēlumā. Tātad vienādām lieces momenta maksimālajām vērtībām atbilstošie kritiskie spriegumi ir dažādi. Lieces momenta epīras veida ietekmi ievēro, lietojot ekscentritātes  $e = M/N$  aprēķinā vidējoto lieces momenta vērtību. Izņēmums ir stieņi, kuru gali balstās šarnīrveidā un šķērsgriezumam ir divas simetrijas asis. Tiem koeficienta  $\varphi_e$  noteikšanai izmanto reducētās relatīvās ekscentritātes aprēķina vērtību (sk. pielikumu 13. tab.), kas noteikta, ievērojot lieces momenta epīras veidu.

Perpendikulāri lieces momenta darbības plaknei pret  $y-y$  asi stienim, šķiet, vajadzētu zaudēt noturību kā centriski spiestam elementam ( $M_y = 0$ ). Taču lieces momenta radīto plastisko deformāciju dēļ šķērsgriezuma elastīgā daļa samazinās un kļūst nesimetriskā attiecībā pret  $y-y$  asi. Tādēļ stienis var zaudēt noturību pirms noturības zaudēšanas lieces momenta darbības plaknē, bet kritiskais spriegums var izrādīties mazāks par centriski spiesta elementa kritisko spriegumu.

Ekscentriski spiesta (spiesti liekta) stieņa noturību perpendikulāri momenta darbības plaknei pārbauda pēc formulas

$$\sigma = N / (c \varphi_y A) \leq R_y \gamma_e, \quad (4.63)$$

kur  $\varphi_y$  — garenlieces koeficients, kuru aprēķina kā centriski spiestam elementam pret  $y-y$  asi;

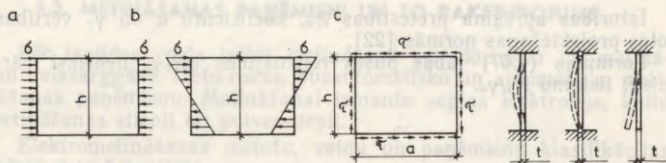
$c$  — lieces momenta ietekmes ievērtēšanas koeficients, kura noteikšana aprakstīta 10.5. apakšnodaļā.

#### 4.10. KONSTRUKCIJU ELEMENTU VIETĒJĀS NOTURĪBAS APRĒĶINS

Metāla konstrukciju elementi (sijas, kolonnas u. c.) parasti sastāv no savstarpēji savienotām, relatīvi plānām sloksnēm vai plāksnēm, kuras, spriegumiem sasniedzot zināmu lielumu, var izkļauties pirms elementu vispārējās noturības zaudēšanas. Atsevišķas plāksnes kritiskais spriegums ir atkarīgs no tās izmēriem, spriegumstāvokļa un malu nostiprinājuma veida (4.10. att. *d*).

Plāksne var zaudēt noturību no vienmērīgi sadalītu normālspriegumu (4.10. att. *a*), nevienmērīgi sadalītu normālspriegumu (4.10. att. *b*), tangenciālo spriegumu (4.10. att. *c*) iedarbes, kā arī no normālspriegumu un tangenciālo spriegumu kopējas iedarbes.

Par vietējo noturību spriež, salīdzinot plāksnes spriegumus, ko izraisa ārējās slodzes, ar šīs pašas plāksnes kritisko spriegumu. Ja



4.10. att. Vietējā noturība:

*a*, *b* un *c* — plāksņu spriegumi; *d* — malu nostiprinājuma veidi.

plāksnē rodas tikai normālspriegumi  $\sigma$ , vietējās noturības noteikumu raksta šādi:

$$\sigma/\gamma_c \leq \sigma_{cr} \text{ vai } \sigma/\sigma_{cr} \leq \gamma_c, \quad (4.64)$$

bet, ja rodas tikai tangenciālie spriegumi  $\tau$ , noturības noteikums ir

$$\tau/\gamma_c \leq \tau_{cr} \text{ vai } \tau/\tau_{cr} \leq \gamma_c. \quad (4.65)$$

Šajās formulās  $\sigma_{cr}$  un  $\tau_{cr}$  ir attiecīgi doto izmēru plāksnes vietējās noturības zaudēšanas kritiskais normālspriegums un kritiskais tangenciālais spriegums.

Plāksnei, kurā ārējās slodzes vienlaicīgi izraisa normālspriegumus un tangenciālos spriegumus, noturības noteikums ir

$$\sqrt{(\sigma/\sigma_{cr})^2 + (\tau/\tau_{cr})^2} \leq \gamma_c. \quad (4.66)$$

Dažādu plāksņu kritisko spriegumu noteikšana aplūkota turpmāk, iztīrējot konstrukciju elementu aprēķinus.

#### 4.11. KONSTRUKCIJU ELEMENTU IZTURĪBAS APRĒĶINS

Tērauda konstrukciju elementu izturība ir atkarīga no to izgatavošanas tehnoloģijas, formas un citiem faktoriem. Izturību ievērojami pazemina dažādi konstruktīvie defekti, iegriezumi, krasa šķērsgriezuma maiņa un citi sprieguma koncentratori, kas rada nevienmērīgu vai saliktu spriegumstāvokli.

Konstrukcijas elementa izturību pārbauda ar aprēķinu, ja uz elementu tieši iedarbojas kustīga, vibrācija vai cita daudzkārt atkārtota slodze un noslogojuma ciklu skaits  $n \geq 10^5$ . Pārbaudes formula ir šāda:

$$\sigma_{\max} \leq \alpha R_v \gamma_v, \quad (4.67)$$

kur  $\sigma_{\max}$  — normālspriegumu maksimālā vērtība, kas aprēķināta slodzei ar vislielāko ciklu skaitu  $n$ . Stieptiem elementiem  $\sigma = N/A_n$ , liektiem elementiem  $\sigma = M/W_n$ ;

$\alpha$  — koeficients, ar kuru ievērtē ciklu skaita ietekmi;

$R_v$  — izturības aprēķina pretestība, kuru nosaka pēc tērauda pārejošās pretestības un pieņem atkarībā no konstrukcijas elementa formas un izgatavošanas veida;

$\gamma_v$  — koeficients, ar kuru ievērtē spriegumstāvokļa veidu un spriegumu asimetrijas  $\rho = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$  ietekmi.

Izturības aprēķina pretestības  $R_v$ , koeficientu  $\alpha$  un  $\gamma_v$  vērtības dotas projektēšanas normās [22].

Formulas (4.67) labās puses reizinājums  $\alpha R_v \gamma_v$  nedrīkst pārsniegt lielumu  $R_u/\gamma_u$ .

## 5. nodaļa

### METINĀTI SAVIENOJUMI

#### 5.1. VISPĀRĪGAS ZIŅAS

Metāla konstrukciju izgatavošanā galvenokārt lieto elektriskā loka un elektrosārņu metināšanu, retāk izmanto kontaktmetināšanu un gāzmetināšanu. Elektriskā loka metināšanas shēma parādīta 5.1. attēlā.

Metinātu savienojumu galvenās pozitīvās īpašības:

liela izturība un drošums;

iespēja iegūt blīvus savienojumus (rezervuāriem, gāzes krātuvēm, cauruļvadiem, gaissilžiem);

iespēja savienot elementus bez palīgdetalēm;

konstruktīvo formu vienkāršība;

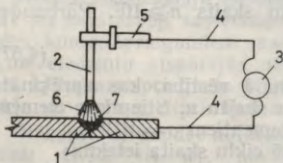
iespēja mehanizēt un automatizēt metināšanas procesu.

Metinātiem savienojumiem ir arī vairāki trūkumi, piemēram, atliku spriegumi un paliekošās deformācijas, kas rodas termiskās ietekmes dēļ.

Celtniecībā metinājumu kvalitātes kontrolei izmanto dažāda lietojuma un fizikālās būtības metodes.

Suvju virsmas defektus un novirzes no dotajiem ģeometriskajiem izmēriem nosaka vizuāli ar neapbruņotu aci vai arī lietojot vienkāršus mēraparātus un optiskas ierīces.

Suvju vienlaidību, nesagraujot konstrukciju, pārbauda ar kādu no fizikālajām metodēm. Šajā metožu grupā ietilpst



5.1. att. Loka metināšanas shēma:

1 — sametināmās detaļas; 2 — elektrodurētājs; 3 — strāvas avots; 4 — vadi; 5 — elektroslēga turētājs; 6 — elektriskais loks; 7 — šuve.

1) caurstarošana ar rentgenstariem un gamma stariem (rentnogrāfija un gamma defektoskopija);

2) ultraskaņas defektoskopija;

3) magnētiskās metodes (magnetogrāfija, pulvermagnētu defektoskopija u. c.).

Metinājumu kvalitāti un stiprību pārbauda arī pēc metodēm, kuras lietojot šuves tiek sagrautas (urbšana, metinājuma makrostruktūras un mikrostruktūras metalogrāfiska pētīšana u. c.).

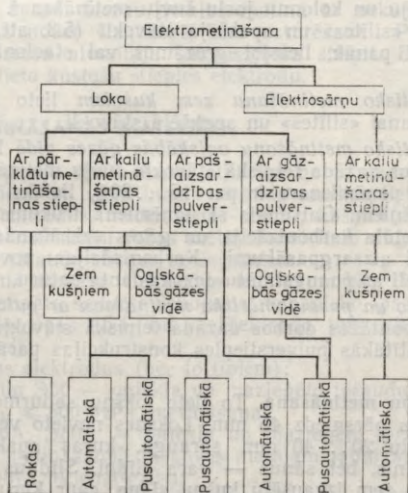
## 5.2. METINĀŠANAS PAŅĒMIENI UN TO RAKSTUROJUMS

Pēc izpildes veida izšķir metināšanu zem kušņiem un metināšanu aizsarggāzē. Lieto rokas, pusautomātisko un automātisko metināšanas paņēmieni. Metināšanai izmanto segtos elektrodus, kailu metināšanas stiepli un pulverstiepli.

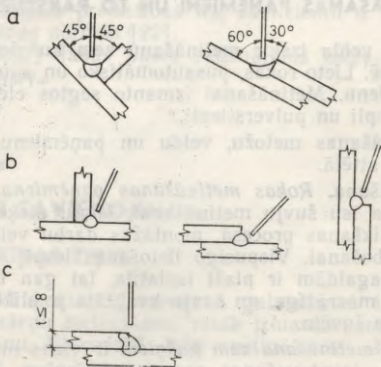
Elektrometināšanas metožu, veidu un paņēmieni klasifikācijas shēma dota 5.2. attēlā.

**Loka metināšana.** *Rokas metināšanas paņēmieni* lieto jebkura telpiska stāvokļa īsu šuvju metināšanai, šuvju aizķeršanai metāla konstrukciju salikšanas procesā, montāžas darbu veikšanai un nelielu defektu labošanai. Vispusīgo lietošanas iespēju dēļ šis paņēmiens praksē pagaidām ir plaši izplatīts, lai gan tam ir vairāki trūkumi. Tas ir mazražīgs, un šuvju kvalitāte ir sliktāka kā mehānizēti metinātām šuvēm.

*Automātiskā metināšana zem kušņiem* ir viens no būvkonstrukciju mehānizētās izgatavošanas pamatpaņēmieniem. Tas nodrošina augstu darba ražīgumu, augstu metinātā savienojuma un šuves metāla kvalitāti, labu šuves izskatu, kā arī samazinātu metināšanas materiālu un elektroenerģijas patēriņu. Loka automātisko metināšanu zem kušņiem lieto metāla konstrukciju izgatavotājrūpniecās



5.2. att. Elektrometināšanas metožu, veidu un paņēmieni klasifikācijas shēma.



5.3. att. Šuves stāvoklis metināšanas laikā:  
 a — «silīte»; b — apakšējs, metinot ar slīpu  
 elektrodu; c — apakšējs, apkausējot sametināmo  
 materiālu.

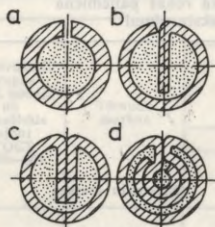
galvenokārt siju un kolonnu joslu šuvju metināšanai. Pēc šī paņēmiņa metina «silītes» un apakšējā stāvoklī (5.3. att.). Vajadzīgo šuves stāvokli panāk, lietojot grozāmus vai stacionārus konduktorus.

*Pusautomātisko metināšanu zem kušņiem* lieto rūpnīcās īsu šuvju metināšanai «silītes» un apakšējā stāvoklī.

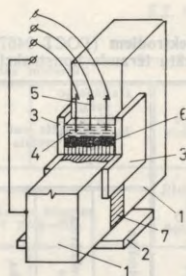
*Pusautomātisko metināšanu ogļskābās gāzes vidē* lieto rūpnīcās un būvlaukumos dažāda telpiskā stāvokļa šuvju metināšanai. Darba ražīgums šim paņēmienam ir par 15...20% lielāks nekā metināšanai zem kušņiem. Galvenais šī paņēmiņa trūkums ir paaugstināta šuves metāla karbonizācija un gāzes uzkrāšanās telpā, tādēļ jāveic speciāli aizsargpasākumi. Karbonizācijas novēršanai lieto elektroda stiepli ar paaugstinātu dezoksidanta saturu.

*Automātisko un pusautomātisko metināšanu ar pulverstiepli* lieto rūpnīcās un montāžas darbos dažāda telpiskā stāvokļa šuvju metināšanai. Izplatītākās pulverstieples konstrukcijas parādītas 5.4. attēlā.

**Elektrosārņu metināšana.** To lieto lokšņu sadurmetināšanai, ja detaļu biezums pārsniedz 45 mm. Loksnes novieto vertikāli tā, lai starp tām būtu 20...40 mm sprauga, kuras apakšu norobežo tērauda paliktnis, bet sānus — vara slīdņi. Slīdņus dzesē tekošs ūdens. Metina zem izkausētu kušņu slāņa, caur kuru plūst strāva un izdala siltumu pamatmateriāla un elektroda stieplu izkausēšanai. Atkarībā no metināmo detaļu biezuma lieto vienu vai vairākas stieples. Metināšanas shēma parādīta 5.5. attēlā.



5.4. att. Metināšanas pulverstieplu konstrukcijas:  
*a* — cauruļveida; *b* — ar vienu ielocītu malu; *c* — ar divām ielocītām malām; *d* — divslāņu.



5.5. att. Elektrosārņu metināšanas shēma:

1 — sametināmās detaļas; 2 — paliktņš; 3 — slīdņi; 4 — izkausēti kušņi; 5 — elektrodu stieples; 6 — metināšanas vanna; 7 — sastindzis šuves metāls.

Alumīnija sakausējumu konstrukcijas metina pēc elektriskā loka metodes ar rokas, pusautomātisko un automātisko paņēmieni inertas gāzes vidē.

Līdz 6...8 mm biezas detaļas metina ar nekūstošu volframa elektrodu, kas noder elektriskā loka uzturēšanai. Piedevmateriālu padod ar kūstošu alumīnija sakausējuma stiepli. Biezāku lokšņu metināšanai lieto kūstošu stieples elektrodu.

### 5.3. METINĀŠANAS MATERIĀLI

Būvkonstrukciju metināšanai atkarībā no to uzdevuma, metināšanas paņēmiena un sametināmā tērauda markas lieto dažāda tipa un markas elektrodus, metināšanas stiepli, kušņus un aizsarggāzi.

Tērauda konstrukciju rokas metināšanai lieto augstas kvalitātes elektrodus — tērauda stienus ar segumiem.

Pēc seguma sastāva elektrodus iedala markās, bet pēc šuves metāla un metināta sadursavienojuma mehānisko īpašību pārbaudes rezultātiem — tipos (5.1. tab.). Elektrodu tipā iekļaujas dažādu marķu elektrodus.

Lieto šādus elektrodus (pēc to tipiem):

Э42; Э46 un Э50 — oglekļa un mazlēģēto tēraudu, kuru pārejošā pretestība  $\sigma_{pār} \leq 500$  MPa, metināšanai;

Э42А; Э46А; Э50А — oglekļa un mazlēģēto tēraudu ( $\sigma_{pār} \leq 500$  MPa) metināšanai, ja šuves metālam jābūt ar paaugstinātu plastiskumu un triecienstigrību;

Э60 — oglekļa un mazlēģēto tēraudu ( $\sigma_{pār} = 500 \dots 600$  MPa) metināšanai;

Э70 — leģēto tēraudu ( $\sigma_{pār} > 600$  MPa) metināšanai.

Ar elektrodiem (ГОСТ 9467—75) pēc elektriskā loka rokas paņēmiena  
metinātu tērauda konstrukciju metālu mehāniskie raksturojumi

Elektroda tips	Uzkausēts vai šuves metāls			Sadur-savienojuma metāls (elektroda diametrs $d_e < 3$ mm)		Elektrodu markas
	pārejošā pretestība $\sigma$ pār, МПа	paliekošais relatīvais pagarinājums $\delta_s$ , %	trīscienstīgribs, МJ/m <sup>2</sup>	$\sigma$ pār, МПа	Izliekuma leņķis $\alpha$ , grādi	
Э42	410	18	0,8	410	150	АНО-1; АНО-5; АНО-6; ОМА-2; ВСП-1; ВСП-2; ВСЦ-4
Э42А	410	22	1,5	410	180	УОНИИ-13/45; СМ-11; УП-1/45; УП-2/45; ОЗС-2
Э46	450	18	0,8	450	150	АНО-3; АНО-4; МР-3; ОЗС-3; ОЗС-4; ОЗС-6; ОЗС-9; ОЗС-12; РБУ-4; РБУ-5; ЗРС-1; ЗРС-2
Э46А	450	22	1,4	450	180	Э138/45Н
Э50	490	16	0,7	490	120	ВСЦ-3; ВСН-3
Э50А	490	20	1,3	490	150	УОНИИ-13/55; ДСК-50; СК2-50; УП-1/55; АНО-10; АНО-11; Э138/50Н
Э60	590	18	1,0	590	120	УОНИИ-13/65
Э70	685	14	0,6	—	—	ЛКЗ-70; АНП-2

Piezīme. Elektroda tipa apzīmējumā cipars, ja to reizina ar 9,80665, izsaka uzkausētā metāla pārejošo pretestību  $\sigma$  pār, МПа, burts А apzīmē materiāla paaugstinātu plastiskumu.

<sup>1</sup> Lietojot АН-348-А markas kušņus I<sub>1</sub>; I<sub>2</sub>; II<sub>1</sub> un II<sub>2</sub> klimatiskajā rajonā konstrukciju visu biezumu elementu metināšanai un pārējos klimatiskajos rajonos par 32 mm biežāku elementu metināšanai, jāpārbauda šuves metāla mehāniskās īpašības.

<sup>2</sup> Nelietot kombinācijā ar АН-43 markas kušņiem.

<sup>3</sup> Lietot tikai kombinācijā ar АН-47 markas kušņiem.

Piezīmes. 1. АН-348-А un АН-60 markas kušņiem jāatbilst ГОСТ 9087—81; АН-47 markas kušņiem — ТУ 14-1-1353-75; АН-43 markas kušņiem — ТУ 14-1-753-73; АН-17М markas kušņiem — УМТУ 1-1017-70.

2. Ogļskābajai gāzei jāatbilst ГОСТ 8050—85, argonam — ГОСТ 10157—73.

## Būvētāraudu metināšanas materiāli

Konstrukciju grupas (sk. 2. nodalījums) un klimatiskie rajoni (ГОСТ 16350—80)	Tāraudu markas	Metināšanas materiāli			
		zem kušņiem		ogiskābajā gāzē vai tās maisījumā ar argonu	
		Markas			Elektrodu tipi (ГОСТ 9467—75)
		kušņu	metināšanas stieples (ГОСТ 2246—70)		
2., 3. un 4. grupa visos rajonos, izņemot I <sub>1</sub> ; I <sub>2</sub> ; II <sub>2</sub> un II <sub>3</sub> rajonu	18сп; 18пс; 18кп; 18Гсп; 18Гпс; ВСт3сп; ВСт3пс; ВСт3кп; ВСт3Гпс; 20; ВСтТпс	АН-348-А; АН-60	СВ-08А; СВ-08ГА	Э42; Э46	
	09Г2С; 09Г2; 10Г2С1; 14Г2; 15ХСНД; 10ХНДП; 10ХСНД	АН-47; АН-43; АН-17М; АН-348-А <sup>1</sup>	СВ-10НМА; СВ-08ХМ; СВ-10Г2 <sup>1</sup> ; СВ-08ГА <sup>2</sup> ; СВ-10ГА <sup>2</sup>	Э46; Э50	
	18Г2АФпс; 16Г2АФ; 15Г2АФДпс; 15Г2СФ; 14Г2АФ		СВ-10НМА; СВ-08ХМ <sup>3</sup>	СВ-08Г2С; СВ-08Г2СЦ; СВ-08ХГСМА; СВ-10ХГ2СМА	Э50; Э60
1. grupa visos rajonos; 2., 3. un 4. grupa I <sub>1</sub> ; I <sub>2</sub> ; II <sub>2</sub> un II <sub>3</sub> rajonā	18сп; 18Гпс; 18Гсп; ВСт3сп; ВСт3пс; ВСт3Гпс; 20; ВСтТпс	АН-348-А	СВ-08А; СВ-08ГА	Э42А; Э46А	
	09Г2С; 09Г2; 10Г2С1; 14Г2; 15ХСНД; 10ХНДП; 10ХСНД	АН-47; АН-43; АН-348-А <sup>1</sup>	СВ-10НМА; СВ-08ХМ <sup>3</sup>	Э46А; Э50А	
	18Г2АФпс; 16Г2АФ; 15Г2АФДпс; 14Г2АФ	АН-47; АН-17М; АН-348-А <sup>1</sup>		СВ-08Г2С; СВ-08Г2СЦ; СВ-08ХГСМА; СВ-10ХГ2СМА	Э50А; Э60
	12ГН2МФАЮ; 12Г2СМФ	АН-17М	СВ-08ХН2ГМЮ	СВ-10ХГ2СМА	Э70

Rūpnīcās tērauda konstrukciju izgatavošanai lieto AHO-1; O3C-3 un citu marku elektrodus, kuru segums satur pulverdzelzi. Šie elektrodi nodrošina augstu metinājuma kvalitāti. Montāžas darbos plaši lieto rutilu saturošu segumu elektrodus MP-3; PBY-4; AHO-4; O3C-4 un citus, kuri nodrošina pietiekami augstu šuvju kvalitāti un ir piemēroti dažāda telpiskā stāvokļa šuvju metināšanai.

Kūstošo elektrodu stiepus izgatavo no mazoglekļa un legēto tēraudu stieplēm, kuras lieto automātiskajai un pusautomātiskajai metināšanai zem kušņiem (5.2. tab.). Mazoglekļa tēraudu stieplu marku CB-08; CB-08A; CB-08ΓA; CB-10ΓA; CB-10Γ2 sākuma burti apzīmē, ka stiepli lieto metināšanai, cipari aiz svītras norāda oglekļa vidējo saturu procenta simtdaļās. Burts A markas beigās norāda, ka stieple izgatavota no tērauda ar ierobežotu sēra un fosfora saturu, kas paaugstina materiāla plastiskumu. Burts Γ un cipars aiz tā norāda mangāna saturu procentos.

Legēto tēraudu stieplu marku CB-10HMA; CB-08XH2ΓMIO burti M; H; X; IO un cipari aiz tiem raksturo legējošos elementus un to saturu procentos (sk. 2.1.1. sadaļu), bet pārējie apzīmējumi ir tādi paši kā stieplēm no mazoglekļa tēraudiem.

Metināšanai ogļskābajā gāzē lieto mazoglekļa un legēto tēraudu CB-08Γ2C; CB-08Γ2Cl; CB-10XΓ2CMA un citu marku stieples ar paaugstinātu dezoksidanta saturu.

Būvētēraudu metināšanai lieto ПП-1ДСК; ПП-2ДСК; ПП-АН1; ПП-АН3; ПП-2БСК un citu marku pulverstieples, kuras pēc metāla mehāniskajām īpašībām atbilst Э46 un Э50 tipa elektrodiem, un ПП-АН4; ПП-АН8; ПП-АН9; ПП-АН10 markas pulverstieples, kas atbilst Э50А tipa elektrodiem.

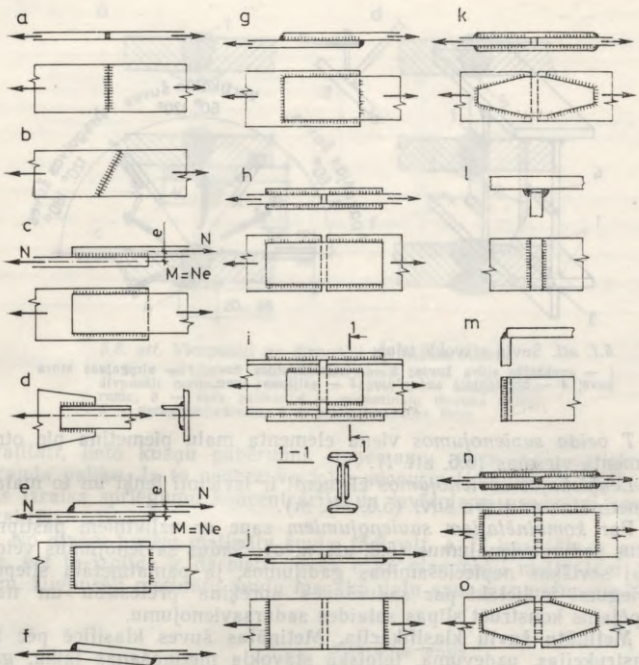
Visbiežāk lietotie metināšanas materiāli doti 5.2. tabulā.

#### 5.4. METINĀTU SAVIENOJUMU UN ŠUVJU KLASIFIKĀCIJA

**Metinātu savienojumu klasifikācija.** Atkarībā no savienojamo elementu savstarpējā izvietojuma izšķir šādus metinātu savienojumu tipus: sadursavienojumi, pārlaidsavienojumi, T veida, leņķiskie un kombinētie savienojumi.

*Sadursavienojumos* elementus pieliek vienu pie otra ar galu vai sānu virsmām un savieno ar sadursuvi. Izšķir taisnas (5.6. att. a) un slīpas (5.6. att. b) salaides sadursavienojumus. Slīpas salaides sadursavienojumiem ir vairāki trūkumi: palielināts konstrukcijas tērauda un metināšanas materiālu patēriņš, grūti labojamas viņņveida deformācijas u. c. Sadursavienojumus lieto galvenokārt lokšņu savienošanai. Profilu sadursavienojumus veido reti, jo šādu elementu gala virsmas ir grūtāk sagatavot metināšanai.

Pārējo tipu savienojumos elementus savieno ar stūra šuvēm. *Pārlaidsavienojumos* elementu virsmas viena otru daļēji pārsedz (5.6. att. c, d, e, f, g). Elementus sametina gar atsevišķām pārlai-

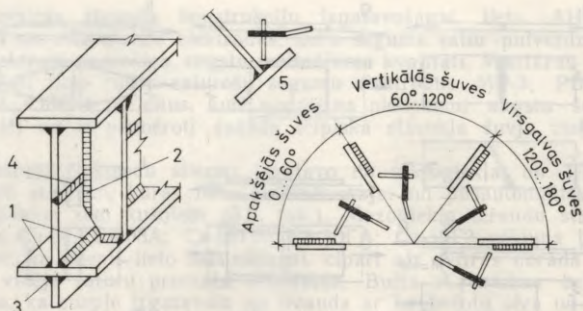


5.6. att. Metināto savienojumu tipi:

*a* — taisns sadursavienojums; *b* — slīps sadursavienojums; *c* un *d* — pārlaidsavienojumi ar sānšuvēm; *e* un *f* — pārlaidsavienojumi ar gala šuvēm; *g* — pārlaidsavienojums ar šuvēm pa kontūru; *h*, *i*, *j* un *k* — savienojumi ar uzliktņiem; *l* — T veida savienojums; *m* — leņķiskais savienojums; *n* un *o* — kombinētie savienojumi.

duma malām vai arī pa visu kontūru. Pārlaidsavienojumu paveids ir savienojumi ar uzliktņiem (5.6. att. *h*, *i*, *j*, *k*), kurus plaši lieto profiltēraudu elementu savienošanai un salaižu pastiprināšanai.

Pārlaidsavienojumu un savienojumu ar uzliktņiem elementus var viegli sagatavot metināšanai, bet tie ir metālietilpīgāki nekā sadursavienojumi. Pārlaidsavienojumos un savienojumos ar vienaspusēju uzliktņi spēku plūsmā veidojas ekscentritāte, kuras dēļ papildus garespēkam  $N$  rodas lieces moments  $M=Ne$  (5.6. att. *c*, *e*). Pārlaidsavienojumos šo trūkumu novērš, ja elementus pirms sametināšanas attiecīgi saliec (5.6. att. *f*). Savienojumos ar uzliktņiem spriegumu koncentrāciju samazina, lietojot rombveida uzliktņus (5.6. att. *k*).



5.7. att. Šuvju stāvokļi telpā:

1 — apakšējās stūra šuves; 2 — vertikālā stūra šuve; 3 — virsgalvas stūra šuve; 4 — horizontālā saduršuve; 5 — «silītes» šuve.

*T veida savienojumos* viena elementa malu piemetina pie otra elementa virsmas (5.6. att. l).

*Leņķiskajos savienojumos* elementi ir izvietoti leņķī un to malas sametinātas ar stūra šuvi (5.6. att. m).

Par *kombinētajiem savienojumiem* sauc ar uzliktņiem pastiprinātus sadursavienojumus (5.6. att. n, o). Šādus savienojumus veido tikai sevišķas nepieciešamības gadījumos, ja pamatmetāla stiepes spriegumi ir lielāki par saduršuves aprēķina pretestību un nav iespējams konstruēt slīpas salaides sadursavienojumu.

**Metinātu šuvju klasifikācija.** Metinātas šuves klasificē pēc to konstrukcijas, uzdevuma, telpiskā stāvokļa metināšanas laikā, garuma, kārtu skaita, izpildes vietas, rakstura, sametināmo elementu salaides malu apstrādes un citām pazīmēm.

Pēc *konstrukcijas* šuves iedala saduršuvēs (5.6. att. a, b) un stūra šuvēs (5.6. att. c, d, e). Spēka darbības virzienam paralēlas stūra šuves sauc par sānšuvēm (5.6. att. c, d), perpendikulāras šuves — par gala šuvēm (5.6. att. e). Piemetinot stingus profilētārus pie loksniem (5.6. att. d), priekšroku dod sānšuvēm, jo to darbība ir plastiskāka.

Pēc *uzdevuma* šuves iedala darba šuvēs un saistšuvēs. Darba šuves aprēķina pēc stiprības un izturības.

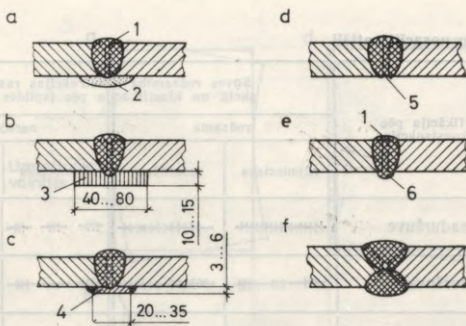
Pēc *telpiskā stāvokļa* metināšanas laikā izšķir apakšējās, vertikālās, virsgalvas, horizontālās vertikālā plaknē un «silītes» šuves (5.7. att.).

Pēc *garuma* izšķir nepārtrauktas un pārtrauktas šuves.

Pēc *metinājuma kārtu skaita* izšķir vienkārtas (vienā gājienā metinātas) un daudzkārtu (vairākos gājienu metinātas) šuves.

Pēc *izpildes vietas* šuves iedala rūpnieciskās un montāžas šuvēs.

Pēc *rakstura* izšķir viļņveidīgas un divpusēji metinātas šuves (5.8. att.). Lai, metinot no vienas puses, nodrošinātu labu šuves

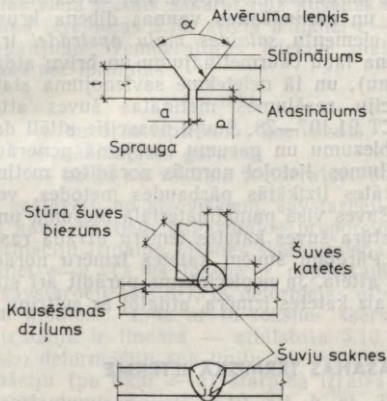


5.8. att. Vienpusēji un divpusēji metinātas šuves:

*a, b, c* un *d* — vienpusēji metinātas šuves; *e* un *f* — divpusēji metinātas šuves; 1 — šuve; 2 — kušņu pabērums; 3 — vara palīka; 4 — piemetināta tērauda palīka; 5 — necaurmetinājums; 6 — pretmetināšanas šuve.

kvalitāti, lieto kušņu pabērumu, noņemamu vara vai paliekošur tērauda palīku. Ja to nedara, veidojas necaurmetinājums (5.8. att. *d*), kas izraisa spriegumu koncentrāciju un ievērojami pazemina šuves kvalitāti.

No divām pusēm metinātu šuvju (5.8. att. *e, f*) kvalitāte ir augsta, bet to izpilde ir darbietilpīgāka nekā vienpusēji metinātām šuvēm. Divpusēji metinātu šuvju mazāko daļu sauc par pretmetināša-



5.9. att. Šuvju detaļas.

## Metinātu šuvju nosacītie attēli

Šuvju klasifikācija pēc garuma un konstrukcijas	Šuves redzamība konstrukcijas rasējuma skatā un klasifikācija pēc izpildes veida			
	redzama		neredzama	
	rūpnieciska	montāžas	rūpnieciska	montāžas
Nepārtraukta saduršuve		-XXXXXX-	-   -   -	XX- XX- XX
Pārtraukta saduršuve	-   -   -	XXXX-XXXX	- - -   -	XX- - - XX
T veida savienojuma, leņķiskā savienojuma un pārlaidsavienojuma nepārtraukta stūra šuve		XXXXXXXX		XX XX XX
T veida savienojuma, leņķiskā savienojuma un pārlaidsavienojuma pārtraukta stūra šuve		XXXX-XXXX	- - -	XX - - - XX

nas šuvi. Lai novērstu pamatmetāla izdedzināšanu, pretmetināšanas šuvi veido pirms šuves galvenās kārtas metināšanas vai arī uzmetina pēc tam pa šuves sakni (5.8. att. e; 5.9. att.).

Šuves detaļas parādītas 5.9. attēlā. Par šuves sakni sauc pamatmetāla virsmas un metināšanas vannas dibena krustojšanās daļu. Sametināmo elementu *salaides malu apstrādei* ir tehnoloģiska nozīme (nodrošina labu caurmetinājumu un brīvu atdziestošā šuves materiāla rukšanu), un tā neietekmē savienojuma statisko stiprību.

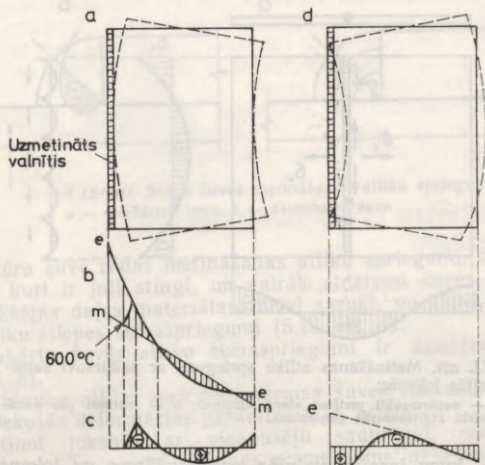
Būvkonstrukciju rasējumos metinātas šuves attēlo atbilstoši standartam ГOCT 21.107—78. Šuvju nosacītie attēli doti 5.3. tabulā.

Saduršuves biezumu un garumu rasējumā nenorāda. Atbildīgos konstrukciju šķēlumos, lietojot normās norādītos metināšanas materiālus un kvalitātes fizikālās pārbaudes metodes, veido divpusēji metinātas saduršuves visā pamatmateriāla biezumā un garumā.

Dominējošo stūra šuves katetes izmēru uzrāda rasējuma tehniskajās prasībās. Pārējām šuvēm katetes izmēru norāda tieši rasējumā virs šuves attēla. Ja nepieciešams parādīt arī stūra šuves garumu, to raksta aiz katetes izmēra, atdalot ar svītriņu.

## 5.5. METINĀŠANAS TERMISKĀ IETEKME

Metināšanas procesā savienojuma zonā izmainās metāla struktūra un ķīmiskais sastāvs, kā arī nevienmērīgas sasilšanas un



5.10. att. Metināšanas atliku spriegumi un deformācijas, uzmetinot valnīti pa loksnes malu:  
*a* un *d* — deformāciju shēmas; *b*, *c* un *e* — spriegumu epīras.

atdzišanas rezultātā rodas atliku spriegumi un paliekošās deformācijas. To rašanās vienkāršākais gadījums parādīts 5.10. attēlā.

Metināšanas vietā metāls sakarst līdz kušanas temperatūrai, bet loksnes platumā izveidojas 5.10. attēla *b* liknei *e—e* atbilstošs temperatūras sadalījums. Temperatūras ietekmē materiāla pagarinājums  $\Delta l$  mainās pēc formulas

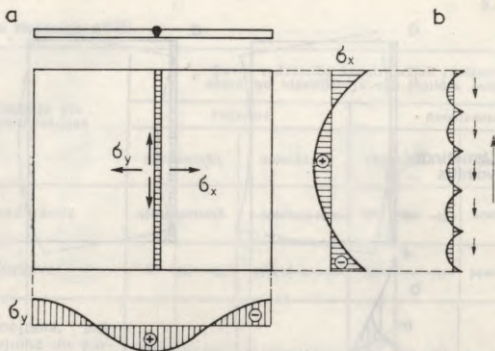
$$\Delta l = \alpha l \Delta t,$$

kur  $\alpha$  — lineārās izplešanās koeficients;

$l$  — sākotnējais garums;

$\Delta t = t_2 - t_1$  — beigu un sākuma temperatūru starpība.

Ja loksne sastāvētu no atsevišķiem, savstarpēji nesaistītiem elementiem, tad katrs no tiem pagarinātos proporcionāli tā temperatūrai un deformāciju izmaiņa loksnes šķērsvirzienā būtu nelineāra — atbilstoša liknei *e—e*. Tā kā loksne ir nepārtraukta (elementi pa to malām ir savstarpēji saistīti), tā deformējas atbilstoši lieces plakano šķēlumu hipotēzei. Līdz ar to loksnes šķērsvirzienā faktisko deformāciju izmaiņa ir lineāra — atbilstoša 5.10. attēla *b* taisnei *m—m*. Faktisko deformāciju (pa līniju *m—m*) un temperatūras nosacīto deformāciju (pa likni *e—e*) starpība izraisa tai proporcionālus iekšējus spriegumus  $\sigma = \epsilon E$  (5.10. att. *b*, *c*). To epīra sniedz tikai līdz 600 °C izotermai, jo augstākā temperatūrā tērauds kļūst plastisks un nav spējīgs pretoties spēku iedarbei. Loksnes vispārējā



5.11. att. Metināšanas atliku spriegumi ar saduršuvi sametinātās loksnes:

*a* — nepārtraukti metinot vienā virzienā; *b* — metinot pēc pakāpeniski atgriezeniskā paņēmiena.

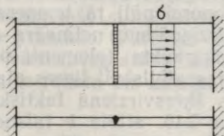
deformācija, kuru izraisa valnīša uzmetināšana uz loksnes malas, parādīta ar svītrlīniju 5.10. attēlā *a*.

Uzkausētajam metālam atdziestot, temperatūras likne  $e-e$  izliedzinās, jo loksnes mala atdziest daudz straujāk. Malējās šķiedrās, kuru saīsināšanos kavē vēsākās un stingākās blakus šķiedras, rodas stiepes spriegumi. Šo norišu dēļ, loksnei atdziestot, rodas iekšējie metināšanas atliku spriegumi (5.10. att. *e*) un deformācijas (5.10. att. *d*), kas ir pretējas tām deformācijām, kuras rodas sasilšanas procesā. Tā kā loksnei ārējā slodze nav pielikta, atliku spriegumu epīra ir pašlīdzsvarota. Tās formu ietekmē loksnes un plastisko deformāciju zonas platums.

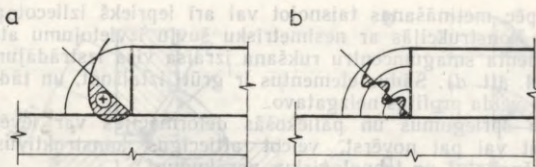
Sametinot divas loksnes ar saduršuvi, rodas gan atliku garenspriegumi  $\sigma_y$ , gan arī atliku šķērsspriegumi  $\sigma_x$ , jo šuve loksnes savieno pa taisnu līniju un tās nevar izliekties (5.11. att. *a*). Garenspriegumu  $\sigma_y$  epīru veido

it kā divas epīras, kas rodas, uzmetinot valnīša šuvi uz lokšņu malām. Metināšanas atliku šķērsspriegumus  $\sigma_x$  samazina, metinot pēc pakāpeniski atgriezeniskā paņēmiena (5.11. att. *b*).

Sevišķi lieli un bīstami metināšanas spriegumi rodas ar saduršuvi sametinātās detaļās, ja tās ir nostiprinātas un nevar brīvi pārvietoties (5.12. att.). Sasilstot metināšanas sākumā, detaļas brīvi pagarinās un tiek sametinātas satuvinātā stāvoklī. Metinājumam atdziestot, tajās rodas lieli stiepes spriegumi, kas konstrukciju var sagraut.



5.12. att. Ierobežoti deformējamu konstrukciju metināšanas atliku spriegumi.



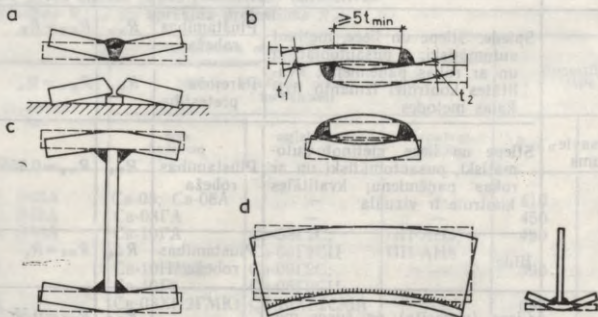
5.13. att. Stūra šuves metināšanas atliku spriegumi:  
*a* — vienkārtas šuve; *b* — daudzkārtu šuve.

Arī stūra šuvē rodas metināšanas atliku spriegumi. Sametinātie elementi, kuri ir ļoti stingri, un vairāk atdzisusi šuves ārējā daļa neļauj iekšējās daļas materiālam brīvi sarukt, un tādēļ tajā izveidojas atliku stiepes šķērsspriegumi (5.13. att. *a*).

Daudzkārtu šuvēs atliku šķērsspriegumi ir daudzreiz mazāki (5.13. att. *b*).

Metināšanas atliku spriegumi izraisa šuves rukšanu. Tās izraisītās paliekošās deformācijas parādītas 5.14. attēlā.

Sametinot loknes ar viopusēju saduršuvi, rodas saroze (5.14. att. *a*). To novērš, loknes pirms sametināšanas novietojot attiecīgā leņķī. Pārlaidsavienojuma deformācijas, kas rodas, detaļas sametinot ar stūra šuvi, parādītas 5.14. attēlā *b*. Lai šādi savienojumi deformētos pietiekami brīvi un šuvēs nerastos rukuma plaisas, loksnēm posmā starp sametinājuma vietām jābūt pietiekami pakļāvīgām. To nodrošina, ievērojot pārlaidsavienojumu konstruēšanas noteikumus (5.7). Metinātu dubult-T veida siju joslas šuvju rukšana izraisa 5.14. attēlā *c* parādītās deformācijas. Tās novērš, plauktu



5.14. att. Metinātu elementu deformācijas:  
*a* — ar viopusēju saduršuvi sametinātas loknes; *b* — pārlaidsavienojums;  
*c* — metināta dubult-T sija; *d* — metināta T veida sija.

loksnes pēc metināšanas taisnojot vai arī iepriekš izliecot pretējā virzienā. Konstrucijās ar nesimetrisku šuvju izvietojumu attiecībā pret elementa smagumcentru rukšana izraisa visa izstrādājuma sarozī (5.14. att. *d*). Šādus elementus ir grūti iztaisnot, un tādēļ metinātus T veida profilus neizgatavo.

Atliku spriegumus un paliekošās deformācijas var ievērojami samazināt vai pat novērst, veicot attiecīgus konstruktīvus (sk. 5.7. apakšnodaļu) un tehnoloģiskus pasākumus.

## 5.6. METINĀTU SAVIENOJUMU DARBĪBA UN APRĒĶINS

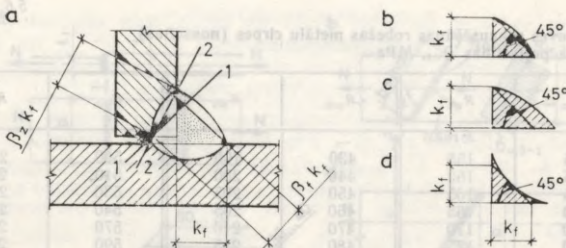
### 5.6.1. APRĒĶINA PRETESTĪBAS

Metinātu savienojumu aprēķina pretestības nosaka pēc 5.4. tabulas formulām. Sadursvienojumiem šīs formulas lieto, ja šuves ir divpusēji metinātas vai arī metinātas vienpusēji uz kušņu pabēruma, vara vai tērauda palikas (sk. 5.8. att.). Pilnīgi caurmetinātas stieptu un liektu sadursvienojumu šuves, ja tās veidotas no 5.2. tabulā norādītajiem materiāliem un metinājuma kvalitāte rūpīgi pārbaudīta ar kādu no fizikālajām kontroles metodēm, pieņem vienādi izturīgas ar savienojamo elementu materiālu ( $R_{wy} = R_y$  vai arī  $R_{wu} = R_u$ ). Ja saduršuvju kvalitāti pārbauda tikai vizuāli, aprēķina

5.4. tabula

Metinātu savienojumu aprēķina pretestības

Metināta savienojuma veids	Spriegumstāvoklis	Materiāla robežpretestība	Apzīmējums	Metināta savienojuma aprēķina pretestība
Sadursvienojums	Spiede. Stiepe un liece, metinot automātiski, pusautomātiski un ar rokas paņēmieni; kvalitātes kontrolei izmanto fizikālās metodes	Plūstamības robeža	$R_{wy}$	$R_{wy} = R_y$
		Pārejošā pretestība	$R_{wu}$	$R_{wu} = R_u$
	Stiepe un liece, metinot automātiski, pusautomātiski un ar rokas paņēmieni; kvalitātes kontrole ir vizuāla	Plūstamības robeža	$R_{wy}$	$R_{wy} = 0,85R_y$
	Bīde	Plūstamības robeža	$R_{ws}$	$R_{ws} = R_s$
Savienojumi ar stūra šuvēm	Cirpe (nosacīta) pa šuves metālu	Pārejošā pretestība	$R_{wf}$	$R_{wf} = 0,55 \frac{R_{wu} n}{\gamma_{wm}}$
	Cirpe (nosacīta) pa sakausēšanas robežas metālu		$R_{wz}$	$R_{wz} = 0,45R_{un}$



5.15. att. Stūra šuves aprēķina shēmas:

a — šuves aprēķina šķēluma shēma; b, c un d — aprēķina katetes noteikšanas shēmas; 1-1 — šķēlums pa šuves metālu; 2-2 — šķēlums pa sakausēšanas robežas metālu.

pretestības vērtību samazina un pieņem  $R_{wy} = 0,85R_y$ . Necauretīnātām šūvēm ieteicams pieņemt  $R_{wy} = 0,7R_y$ .

Stieptu elementu sadursē šuves aprēķina pretestību pieņem vienādu ar pamatmetāla aprēķina pretestību pēc pārejošās pretestības ( $R_{wu} = R_u$ ), ja  $R_{wu}/\gamma_u > R_{wy}$  un, spriegumiem pārsniedzot plūstamības robežu, deformāciju dēļ konstrukciju ekspluatācija ir pieļaujama.

Konstrukcijām, kuras izgatavotas no dažādas stiprības tēraudiem, sadursavienojuma stiprību pieņem vienādu ar mazāko aprēķina pretestības vērtību.

Ievērojot metināšanas termisko ietekmi uz metāla mehāniskajām īpašībām, stūra šuves aprēķina pēc šuves metāla (5.15. attēlā a

5.5. tabula

Stūra šuves metālu cirpes (nosacītās) normatīvās pretestības  $R_{wun}$  un aprēķina pretestības  $R_{wf}$

Elektroda tips	Metināšanas materiāli			Pretestības, MPa	
	Stieples elektroda marka, metinot mehānizēti			$R_{wun}$	$R_{wf}$
	zem kušņiem	og skābajā gāzē	ar pulverstiepi		
Э42; Э42А	CB-08; CB-08А	—	—	410	180
Э46; Э46А	CB-08ГА	—	—	450	200
Э50; Э50А	CB-10ГА	CB-08Г2С; CB-08Г2СЦ	ПП-АН3; ПП-АН8	490	215
Э60	CB-10HМА; CB-10Г2	CB-08Г2С; CB-08Г2СЦ	—	590	240
Э70	CB-08ХН2ГМНО	CB-10ХГ2СМА	—	685	280
Э85	—	—	—	835	340

Piezīme. CB-08Г2С un CB-08Г2СЦ markas stieples aprēķina pretestības vērtību  $R_{wf} = 240$  MPa pieņem tikai, metinot konstrukciju tēraudus, kuru plūstamības robeža  $\sigma_{p1} > 440$  MPa, ja šuves katete  $k_f < 8$  mm.

Stūra šuves sakausēšanas robežas metālu cirpes (nosacītas) aprēķina pretestības  $R_{wz}$ , MPa

$R_{un}$	$R_{wz}$	$R_{un}$	$R_{wz}$	$R_{un}$	$R_{wz}$
345	155	430	195	500	225
355	160	440	200	510	230
365	165	450	205	530	240
370	165	460	205	540	245
380	170	470	210	570	255
390	175	480	215	590	265
410	185	490	220	685	310

šķēlums 1—1) un sakausēšanas robežas metāla (5.15. attēlā  $a$  šķēlums 2—2) cirpes (nosacītas). Suves metālu normatīvās pretestības  $R_{wun}$  un aprēķina pretestības  $R_{wf}$  dotas 5.5. tabulā ( $R_{wf} = 0,55R_{wun}/\gamma_{wm}$ ). Normatīvo pretestību  $R_{wun}$  pieņem vienādu ar stieples (elektroda) uzkausētā metāla pārraušanas pārejošo pretestību  $\sigma_{pār}$  pēc attiecīgajiem valsts standartiem. Suves metāla drošuma koeficientu  $\gamma_{wm}$  pieņem 1,25, ja  $R_{wun} \leq 490$  MPa, un 1,35, ja  $R_{wun} \geq 590$  MPa.

Sakausēšanas robežas metālu cirpes aprēķina pretestības dotas 5.6. tabulā ( $R_{wz} = 0,45R_{un}$ ).

### 5.6.2. SADURSAVIEŅOJUMU DARBĪBA UN APRĒĶINS

Sadursavienojuma vietā šuves metāls aizstāj konstrukcijas elementu metālu. Tādēļ saduršuvi aprēķina pēc tām pašām formulām kā pamatšķēlumu, tikai tā aprēķina pretestību aizvieto ar saduršuves materiāla aprēķina pretestību.

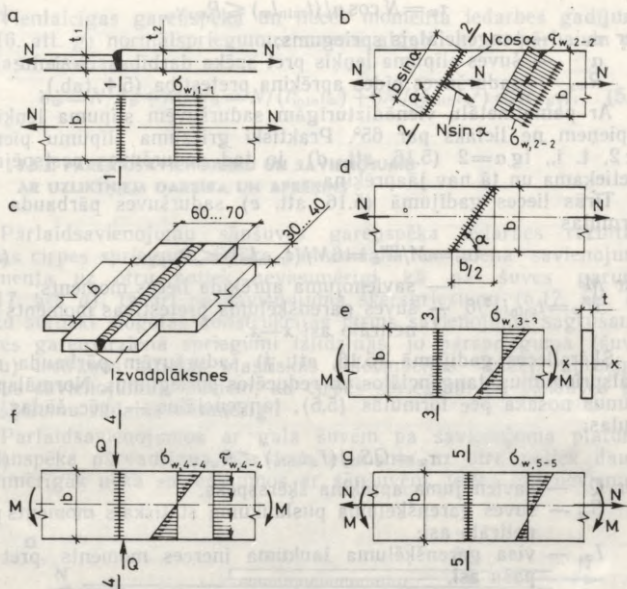
Taisnas salaides saduršuves (5.16. att.  $a$ ) spiedes vai stiepes spriegumus pārbauda pēc formulas

$$\sigma_w = N/A_w = N/(t_{\min}l_w) \leq R_{wy}\gamma_c, \quad (5.1)$$

kur  $\sigma_w$  — šuves normālspriegums;  
 $N$  — savienojamo elementu aprēķina garenspeks;  
 $A_w$  — šuves garenšķēluma laukums;  
 $t_{\min}$  — plānākā elementa biezums;  
 $l_w$  — šuves aprēķina garums;  
 $R_{wy}$  — saduršuves materiāla spiedes vai stiepes aprēķina pretestība (sk. 5.4. tab.).

5.6.1. sadaļā minētajos gadījumos formulā (5.1) lieluma  $R_{wy}$  vietā ievieto  $R_{wu}/\gamma_u$ .

Ja šuvi izvada aiz sametināmiem elementiem uz speciālām plāksnēm (5.16. att.  $c$ ), šuves aprēķina garumu pieņem vienādu ar tās ģeometrisko garumu, t. i.,  $l_w = b$  (5.16. att.  $a$ ). Ievērojot to, ka me-



5.16. att. Saduršuves aprēķina shēmas:

a, b — pēc garenspekā; c — izvadplāksņu lietošanas shēma; d — slīpas saduršuves shēma; e — pēc tirās lieces; f — pēc šķērsliceis; g — pēc lieces un garenspekā.

tināšanas sākumā metāls nav pietiekami sasilis un var izveidoties necaurmetināta šuve, bet beigās, strauji pārtraucot loku, var rasties neaizmetināts krāteris, metināšanā bez izvadplāksnēm saduršuves aprēķina garumu samazina un pieņem

$$l_w = b - 2t_{\min} \quad (5.2)$$

Pēc metināšanas izvadplāksnes apcērt, bet šuves galus noli-dzina.

Ja metinājuma kvalitāti var kontrolēt tikai vizuāli, taisnas sa-laides stieptas saduršuves nestspēja var izrādīties nepietiekama, jo aprēķinos jāpieņem  $R_{wy} = 0,85R_y$ . Lai saduršuvi izveidotu vienād-izturīgu ar pamatmetālu, konstruē slīpu salaidi (5.16. att. b). Šāda savienojuma saduršuves normālos un tangenciālos spriegumus pār-bauda pēc formulām

$$\sigma_w = N \sin \alpha / (t_{\min} l_w) \leq R_{wy} \gamma_c; \quad (5.3)$$

$$\tau_w = N \cos \alpha / (t_{\min} l_w) \leq R_{ws} \gamma_c, \quad (5.4)$$

kur  $\tau_w$  — tangenciālais spriegums;  
 $\alpha$  — šuves slīpuma leņķis pret spēka darbības virzienu;  
 $R_{ws}$  — saduršuves bīdes aprēķina pretestība (5.4. tab.).

Ar pamatmetālu vienādizturīgām saduršuvēm slīpuma leņķis  $\alpha$  jāpieņem ne lielāks par  $65^\circ$ . Praktiski griezuma slīpumu pieņem 1:2, t. i.,  $\operatorname{tg} \alpha = 2$  (5.16. att. d), jo tad saduršuves nestspēja ir pietiekama un tā nav jāaprēķina.

Tīrās lieces gadījumā (5.16. att. e) saduršuves pārbauda pēc formulas

$$\sigma_w = M/W_w = 6M/(t_{\min} l_w^2) \leq R_{wy} \gamma_c, \quad (5.5)$$

kur  $M$  — savienojuma aprēķina lieces moments;  
 $W_w = t_{\min} l_w^2/6$  — šuves garenšķēluma pretestības moments pret neitrālo asi  $x-x$ .

Šķērslieces gadījumā (5.16. att. f) saduršuvēm pārbauda normālspriegumus, tangenciālos un reducētos spriegumus. Normālspriegumus nosaka pēc formulas (5.5), tangenciālos — pēc šādas formulas:

$$\tau_w = QS_w/(I_w t_{\min}) \leq R_{ws} \gamma_c, \quad (5.6)$$

kur  $Q$  — savienojuma aprēķina šķērsspēks;  
 $S_w$  — šuves garenšķēluma puslaukuma statiskais moments pret neitrālo asi;  
 $I_w$  — visa garenšķēluma laukuma inerces moments pret to pašu asi.

Ievērojot to, ka taisnstūrveida šķēlumam  $S_w = t_{\min} l_w^2/8$  un  $I_w = t_{\min} l_w^3/12$ , izteiksmi (5.6) var vienkāršot un tangenciālā sprieguma pārbaudes formulu var rakstīt šādi:

$$\tau = \frac{3Q}{2t_{\min} l_w} \leq R_{ws} \gamma_c. \quad (5.6a)$$

Ja normālspriegumi darbojas tikai vienā virzienā\* (5.16. att. f), reducēto spriegumu pārbauda pēc formulas

$$\sigma_{w, \text{red}} = \sqrt{\sigma_w^2 + 3\tau_w^2} \leq \beta R_{wy} \gamma_c, \quad (5.7)$$

kur  $\sigma_w$  — šuves normālspriegumi, kuri aprēķināti pēc formulas (5.5);  
 $\tau_{w, \text{av}} = Q/(t_{\min} l_w)$  — tangenciālo spriegumu vidējā vērtība, pieņemot, ka spriegumi vienmērīgi sadalīti pa šuves garumu;  
 $\beta = 1,15$  — koeficients, ar kuru ievērtē reducēto spriegumu epīrai atbilstošo saduršuves nestspēju.

\* Norādījumi par saduršuvju reducēto spriegumu pārbaudi, ja šķēlumā ir divas normālspriegumu komponentes un tangenciālie spriegumi, doti projektēšanas normās [22].

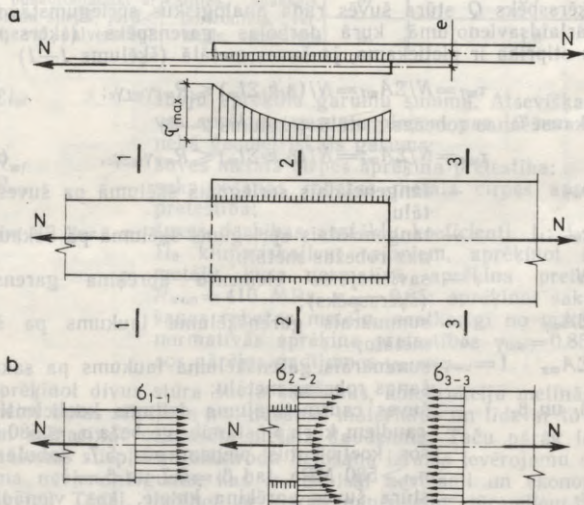
Vienlaicīgas garens spēka un lieces momenta iedarbes gadījumā (5.16. att. *g*) normālspriegumus summē algebriski un pārbauda pēc šādas formulas:

$$\sigma_w = N/A_w + M/W_w = N/(t_{\min} l_w) + 6M/(t_{\min} l_w^2) \leq R_{wy} \gamma_c. \quad (5.8)$$

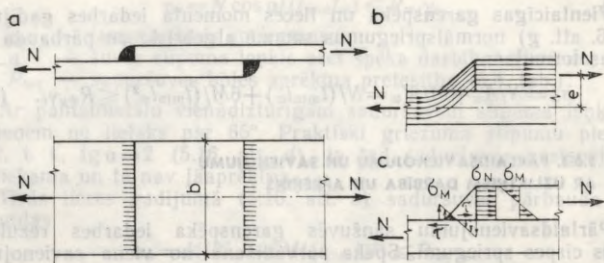
### 5.6.3. PĀRLAIDSAVIENOJUMU UN SAVIENOJUMU AR UZLIKŅIEM DARBĪBA UN APRĒĶINS

Pārlaidsavienojumu sānšuvēs garens spēka iedarbes rezultātā rodas cirpes spriegumi. Spēka pārvadīšana no viena savienojuma elementa uz otru notiek nevienmērīgi kā pa šuves garumu (5.17. att. *a*), tā arī pa savienojuma šķērsgriezumu (5.17. att. *b*). Taču statiski slogotās konstrukcijās pirms savienojuma sagrūšanas šuves garenvirzienā spriegumi izlīdzinās, jo pārsprieguma (šuves galu) iecirkņos attīstās plastiskās deformācijas. Tādēļ, aprēķinot šādus savienojumus, pieņem, ka cirpes spriegumi pa sānšuves garenšķēlumu sadalās vienmērīgi.

Pārlaidsavienojumos ar gala šuvēm pa savienojuma platumu garens spēka pārvadīšana no viena elementa uz otru notiek daudz vienmērīgāk nekā savienojumos ar sānšuvēm, toties ļoti nevienmē-



5.17. att. Spriegumi pārlaidsavienojumā ar sānšuvēm:  
*a* — sānšuves garenvirzienā; *b* — savienojuma šķērsgriezumos.



5.18. att. Spēka līnijas un spriegumi pārlaidsavienojumā ar gala šuvēm: a — savienojuma shēma; b — spēka līniju izvietojuma shēma; c — spriegumu izvietojuma shēma.

rīgi tā notiek pa šuves biežumu. Mazo šķērsizmēru dēļ spēka līnijas, pārejot no viena elementa uz otru, krasi maina virzienu (5.18. att. b) un šuves saknē koncentrējas ievērojami stiepes, lieces un cirpes spriegumi (5.18. att. c), kas pamazina šādu savienojumu nestspēju. Tādēļ gala šuves neatkarīgi no faktiskā spriegumstāvokļa nosacīti aprēķina pēc nelabvēlīgākās iedarbes — cirpes (tāpat kā sānšuves).

Šķērsspēks  $Q$  stūra šuvēs rada analogiskus spriegumstāvokļus. Pārlaidsavienojumā, kurā darbojas garenspēks (šķērsspēks), šuvju stiprība ir pietiekama, ja šuves metālā (šķēlums 1—1)

$$\tau_{wf} = N / \Sigma A_{wf} = N / (\beta_f k_f \Sigma l_w) \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (5.9)$$

ja sakausēšanas robežas metālā (šķēlums 2—2)

$$\tau_{wz} = N / \Sigma A_{wz} = N / (\beta_z k_f \Sigma l_w) \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c, \quad (5.10)$$

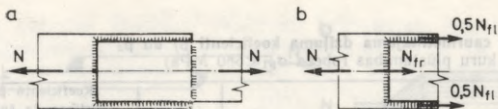
- kur  $\tau_{wf}$  — tangenciālais spriegums šķēlumā pa šuves metālu;  
 $\tau_{wz}$  — tangenciālais spriegums šķēlumā pa sakausēšanas robežas metālu;  
 $N$  — savienojamo elementu aprēķina garenspēks (šķērsspēks);  
 $\Sigma A_{wf}$  — summārais garenšķēluma laukums pa šuves metālu;  
 $\Sigma A_{wz}$  — summārais garenšķēluma laukums pa sakausēšanas robežas metālu;  
 $\beta_f$  un  $\beta_z$  — šuves caurmetinājuma dziļuma koeficienti. Tēraudiem, kuru plūstamības robeža  $\sigma_{pl} \leq 580$  MPa, šos koeficientus pieņem pēc 5.7. tabulas. Ja  $\sigma_{pl} > 580$  MPa, tad  $\beta_f = 0,7$  un  $\beta_z = 1$ ;  
 $k_f$  — stūra šuves aprēķina katete, kas vienāda ar ievilkta vienādsānu taisnleņķa trīsstūra kateti (5.15. att. b, c, d);

Stūra šuves caurmetinājuma dziļuma koeficienti  $\beta_f$  un  $\beta_z$   
(tēraudiem, kuru plūstamības robeža  $\sigma_{p1} < 580$  MPa)

Metināšanas veids, stieples diametrs $d$ , mm	Šuves stāvoklis metināšanas laikā	Koeffi- cients	Koefficientu $\beta_f$ un $\beta_z$ vērtības, ja šuves katete $k_f$ , mm			
			3...8	9...12	14... ...16	18 un vairāk
Automātiski, $d=3...5$	«Silīte»	$\beta_f$	1,1		0,7	
		$\beta_z$	1,15		1,0	
	Apakšējs	$\beta_f$	1,1	0,9	0,7	
		$\beta_z$	1,15	1,05	1,0	
Automātiski un pusauto- mātiski, $d=1,4...2$	«Silīte»	$\beta_f$	0,9	0,8	0,7	
		$\beta_z$	1,05	1,0		
	Apakšējs, horizon- tāls, vertikāls	$\beta_f$	0,9	0,8	0,7	
		$\beta_z$	1,05	1,0		
Rokas; pusautomātiski ar vienlaidu stiepli, ja $d <$ $< 1,4$ , vai pulverstiepli	«Silīte», apakšējs, horizontāls, verti- kāls, virsgalvas	$\beta_f$	0,7			
		$\beta_z$	1,0			

- $\Sigma l_w$  — šuvju aprēķina garumu summa. Atsevišķas šuves aprēķina garumu pieņem par 10 mm īsāku nekā ģeometriskais garums;
- $R_{wf}$  — šuves metāla cirpes aprēķina pretestība;
- $R_{wz}$  — sakausēšanas robežas metāla cirpes aprēķina pretestība;
- $\gamma_{wf}$  un  $\gamma_{wz}$  — šuves darbības apstākļu koeficienti.  $I_1$ ;  $I_2$ ;  $II_2$ ;  $II_3$  klimatiskajiem rajoniem, aprēķinot šuves metālu, kura normatīvā aprēķina pretestība  $R_{wun}=410$  MPa,  $\gamma_{wf}=0,85$ ; aprēķinot sakausēšanas robežas metālu, neatkarīgi no materiāla normatīvās aprēķina pretestības  $\gamma_{wz}=0,85$ ; visos pārējos gadījumos  $\gamma_{wf}=\gamma_{wz}=1$ .

Aprēķinot divus stūra šuvju šķēlumus, konstrukciju metināšanai var lietot lielas stiprības metināšanas materiālus un līdz ar to ievērojami samazināt uzkausētā metāla daudzumu. Taču pārāk legētu metināšanas stieplu un elektrodu lietošana izraisa ievērojamu savienojuma nevienādīgumu, kas ir tehniski nevēlami un ekonomiski neizdevīgi. Tādēļ, metinot ar rokas paņēmienu, tēraudiem, kuru plūstamības robeža  $\sigma_{p1} \leq 285$  MPa, darba šuvēm izvēlas metināšanas materiālus, kuriem



5.19. att. Pa kontūru sametināta pārļaidsavienojuma darbības shēma:

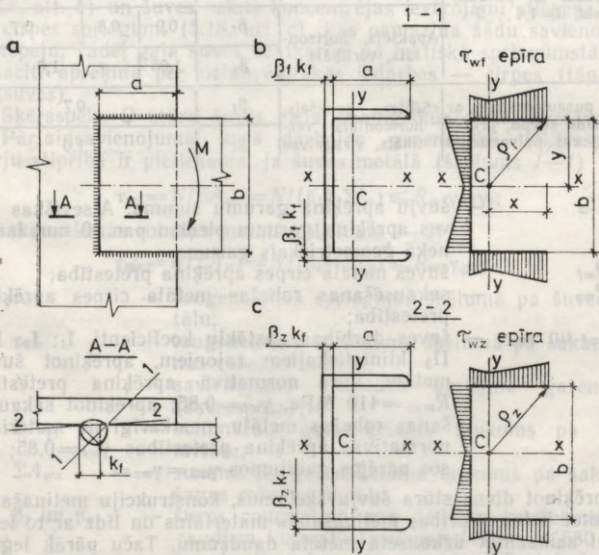
a — savienojuma shēma; b — garenspēku darbības shēma.

$$1,1R_{wz} \leq R_{wf} \leq R_{wz}\beta_z/\beta_f. \quad (5.11)$$

Ja  $\sigma_{pl} > 285$  MPa, lieto materiālus, kuriem

$$R_{wz} < R_{wf} \leq R_{wz}\beta_z/\beta_f. \quad (5.12)$$

Metinot automātiski vai pusautomātiski, ievēro nosacījumu  $R_{wz} < R_{wf}$ .



5.20. att. Lieces momenta darbības plaknē izvietotas stūra šuves aprēķina šķēluma un spriegumu sadalījuma shēmas:

a — savienojuma shēma; b — šuves metāla aprēķina šķēluma shēma un spriegumu sadalījuma shēma; c — sakausēšanas robežas aprēķina šķēluma shēma un spriegumu sadalījuma shēma.

Nepieciešamo stūra šuves aprēķina garumu nosaka pēc šādām formulām:

$$\Sigma l_{wf,cat} = N / (\beta_f k_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c); \quad (5.13)$$

$$\Sigma l_{wz,cat} = N / (\beta_z k_f R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c). \quad (5.14)$$

Pa kontūru sametinātos pārlaidsavienojumos (5.19. att.) elastīgā darbības stadijā garenspekņu sadalījums pa gala šuvēm un sānšuvēm nav vienāds. Ievērojot darbības īpatnības, šādu savienojumu stiprības aprēķinus veic pēc spēku darbības neatkarības principa (5.19. att. b), t. i.,

$$N = N_{fr} + N_{fl}, \quad (5.15)$$

kur  $N$  — savienojuma elementu aprēķina garenspekšs;

$N_{fr}$  — garenspekšs, kuru uzņem gala šuves;

$N_{fl}$  — garenspekšs, kuru uzņem sānšuves.

Pārlaidsavienojumiem, kuros darbojas lieces moments, stūra šuvju stiprību pārbauda diferencēti atkarībā no to izvietojuma pret lieces momenta darbības plakni. Ja šuves izvietotas lieces momenta darbības plaknē (5.20. att. a), jānodrošina šuves metālā

$$\tau_{wf} = \frac{M}{I_{fp}} Q_f = \frac{M}{I_{fx} + I_{fy}} \sqrt{x^2 + y^2} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (5.16)$$

sakausēšanas robežas metālā

$$\tau_{wz} = \frac{M}{I_{zp}} Q_z = \frac{M}{I_{zx} + I_{zy}} \sqrt{x^2 + y^2} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c, \quad (5.17)$$

kur  $I_{fp}$  — šuves metāla aprēķina šķēluma polārais inerces moments;

$I_{zp}$  — sakausēšanas robežas metāla aprēķina šķēluma polārais inerces moments;

$I_{fx}$  un  $I_{fy}$  — šuves metāla aprēķina šķēluma aksiālie inerces momenti pret galvenajām asīm;

$I_{zx}$  un  $I_{zy}$  — sakausēšanas robežas metāla aprēķina šķēluma aksiālie inerces momenti pret galvenajām asīm;

$Q_f$  — atstatums no šuves metāla aprēķina šķēluma smagumcentra līdz vistālākajam šuves punktam (5.20. att. b);

$Q_z$  — atstatums no sakausēšanas robežas metāla aprēķina šķēluma smagumcentra līdz vistālākajam šuves punktam (5.20. att. c);

$x$  un  $y$  — no aprēķina šķēluma smagumcentra vistālākā šuves punkta koordinātas pret galvenajām asīm.

Ja lieces momenta darbības plaknē izvietotās šuves ir taisnas un vienlaikus garas, šauras, tad  $I_{fx} \gg I_{fy}$  un  $y \gg x$ . Tādēļ  $I_{fp} \approx I_{fx}$ ,  $Q_f \approx y$  un attiecība

$$I_{fp}/Q_f \approx I_{fx}/y = \frac{\beta_f k_f l_w^3}{12(l_w/2)} = \beta_f k_f l_w^2/6 = W_{fx}.$$

Līdzīgus secinājumus var izdarīt šķēlumam pa sakausēšanas robežas metālu. Tādēļ garām, taisnām, lieces momenta darbības plaknē izvietotām stūra šuvēm stiprības nosacījumus var izteikt arī ar aksiālo pretestības momentu:

$$\tau_{wf} = M/W_{fx} = 6M/(\beta_f k_f l w^2) \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (5.16a)$$

$$\tau_{wz} = M/W_{zx} = 6M/(\beta_z k_f l w^2) \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c. \quad (5.17a)$$

Lieces momenta darbības plaknē perpendikulāri izvietotu stūra šuvju stiprību pārbauda pēc šādām formulām:

$$\tau_{wf} = M/W_f \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (5.18)$$

$$\tau_{wz} = M/W_z \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c, \quad (5.19)$$

kur  $W_f$  — šuves metāla aprēķina šķēluma pretestības moments pret neitrālo asi;

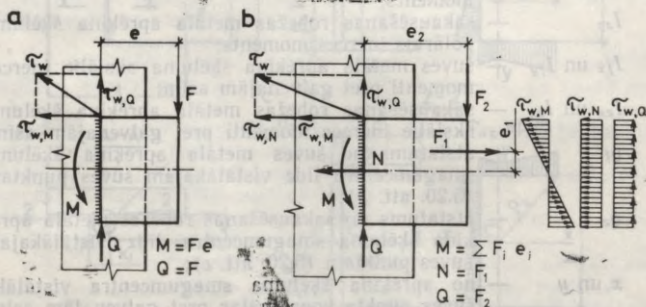
$W_z$  — sakausēšanas robežas metāla aprēķina šķēluma pretestības moments pret neitrālo asi.

Šķērsliktu pārslaisavienojumu (5.21. att. a) šuvju stiprību pārbauda pēc reducētajiem spriegumiem  $\tau_{wf,red}$  ( $\tau_{wz,red}$ ), kas vienādi ar tangenciālo spriegumu  $\tau_{wf,M}$  ( $\tau_{wz,M}$ ) no lieces momenta  $M$  un spriegumu  $\tau_{wf,Q}$  ( $\tau_{wz,Q}$ ) no šķērsspēka  $Q$  ģeometrisko summu:

$$\tau_{wf,red} = \sqrt{\tau_{wf,M}^2 + \tau_{wf,Q}^2} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (5.20)^*$$

$$\tau_{wz,red} = \sqrt{\tau_{wz,M}^2 + \tau_{wz,Q}^2} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c. \quad (5.21)^*$$

Spriegumus  $\tau_{wf,M}$  un  $\tau_{wz,M}$  aprēķina pēc formulām (5.16) un (5.17) vai arī (5.16a) un (5.17a),  $\tau_{wf,Q}$  un  $\tau_{wz,Q}$  — pēc formulām (5.9) un (5.10).



5.21. att. Pārslaisavienojuma šuves reducēto spriegumu aprēķina shēmas: a — šķērsliect; b — vienlaicīgai  $M$ ,  $N$  un  $Q$  iedarbei.

\* Formulas (5.20), (5.21), (5.22) un (5.23) ir derīgas taisnu šuvju aprēķinam. Lauzta veida šuvju aprēķinam var izmantot formulas, kas dotas literatūrā [19].

Ja vienlaicīgi darbojas lieces moments  $M$ , garenspēks  $N$  un šķērsspēks  $Q$  (5.21. att. *b*), stūra šuvju reducētos spriegumus pārbauda pēc šādām formulām:

$$\tau_{wf,red} = \sqrt{(\tau_{wf,M} + \tau_{wf,N})^2 + \tau_{wf,Q}^2} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (5.22)^*$$

$$\tau_{wz,red} = \sqrt{(\tau_{wz,M} + \tau_{wz,N})^2 + \tau_{wz,Q}^2} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c. \quad (5.23)^*$$

Savienojumus ar uzliktņiem stūra šuvju darbība ir līdzīga, un to stiprību atkarībā no spēka veida un šuves izvietojuma pret spēka virzienu vai plakni pārbauda pēc attiecīgām pārlaidsavienojumu aprēķina formulām.

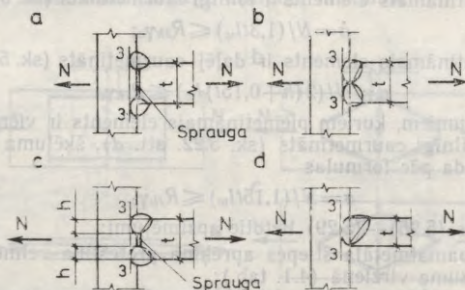
#### 5.6.4. T VEIDA UN LEŅĶISKO SAVIENOJUMU DARBĪBA UN APRĒĶINS

T veida savienojumus izgatavo no neslīpinātiem vai slīpinātiem elementiem, tie var būt daļēji (5.22. att. *a*, *c*) vai pilnīgi (5.22. att. *b*, *d*) caurmetināti.

Daļēji caurmetinātos T veida savienojumos starp elementiem paliek sprauga, kas rada spriegumu koncentrāciju. Šādus savienojumus aprēķina pēc šuves metāla un sakausēšanas robežas metāla cirpes (nosacītas). Ja uz savienojumu iedarbojas garenspēks  $N$  (šķērsspēks  $Q$ ), stūra šuves, ar kurām sametināti neslīpināti elementi (5.22. att. *a*), pārbauda pēc formulām (5.9) un (5.10). No slīpinātiem elementiem izgatavotiem savienojumiem (5.22. att. *c*) šuvju stiprība ir pietiekama, ja

šuves metālā

$$\tau_{wf} = N / (2,6hl_w) \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (5.24)$$



5.22. att. T veida savienojuma aprēķina shēmas:

*a* — elementa malas neslīpinātas; *b* un *c* — elementa abas malas slīpinātas; *d* — elementa viena mala slīpināta.

sakausēšanas robežas metālā

$$\tau_{wz} = N / (2,8hl_w) \leq R_{wz}\gamma_{wz}\gamma_c, \quad (5.25)$$

kur  $h$  — malu apstrādes dziļums;

$l_w$  — šuves aprēķina garums, kuru ārpus saduras izvadītai šuvei pieņem vienādu ar tās ģeometrisko garumu, bet ārpus saduras neizvadītai šuvei pieņem vienādu ar ģeometrisko garumu, kas samazināts par noslīpinātā elementa biezumu  $t$ .

Formulās (5.24) un (5.25) ievērots, ka savienojumā ir divas šuves.

Daļēji caurmetinātiem savienojumiem neatkarīgi no elementu malu apdares tirās lieces gadījumā šuvju stiprību pārbauda pēc formulām (5.16) un (5.17) vai (5.16a) un (5.17a), šķerslieces gadījumā — pēc formulām (5.20) un (5.21), bet vienlaicīgas  $M$ ,  $N$  un  $Q$  iedarbes gadījumā — pēc formulām (5.22) un (5.23).

Pilnīgi caurmetinātiem T veida savienojumiem šuvju stiprību pārbauda pēc sadursavienojumu aprēķina formulām (5.1), (5.5), (5.6), (5.6a), (5.7) un (5.8), pieņemot  $t_{\min} = t$ .

Stieptiem T veida savienojumiem jāpārbauda arī pamatmetāla šķēluma 3—3 (sk. 5.22. att.) stiprība, jo velmētiem materiāliem stiprība perpendikulāri velmēšanas virzienam ir mazāka nekā stiprība velmēšanas virzienā. Šo pārbaudi izdara diferencēti atkarībā no elementa apstrādes un savienojuma caurmetinājuma.

No neslīpinātiem elementiem ar divpusēju šuvi sametinātiem savienojumiem (sk. 5.22. att. a) pamatmetāla šķēluma 3—3 stiprību pārbauda pēc formulas

$$\sigma = N / (2,8\beta_f k_f l_w) \leq R_{th}\gamma_c. \quad (5.26)$$

No K veidā slīpinātiem elementiem ar divpusēju šuvi sametinātiem savienojumiem pamatmetāla šķēluma 3—3 stiprību pārbauda pēc šādām formulām:

ja piemetināmais elements ir pilnīgi caurmetināts (sk. 5.22. att. b),

$$\sigma = N / (1,3tl_w) \leq R_{th}\gamma_c; \quad (5.27)$$

ja piemetināmais elements ir daļēji caurmetināts (sk. 5.22. att. c),

$$\sigma = N / (2(h+0,15t)l_w) \leq R_{th}\gamma_c. \quad (5.28)$$

Savienojumiem, kuriem piemetināmais elements ir vienpusēji slīpināts un pilnīgi caurmetināts (sk. 5.22. att. d), šķēluma 3—3 stiprību pārbauda pēc formulas

$$\sigma = N / (1,15tl_w) \leq R_{th}\gamma_c. \quad (5.29)$$

Formulās (5.26)—(5.29) lietotie apzīmējumi:

$R_{th}$  — pamatmetāla stiepes aprēķina pretestība velmējuma biezuma virzienā (4.1. tab.);

$l_w$  — aprēķina garums, ko pieņem vienādu ar šuves ģeometrisko garumu;

$t$  — slīpinātā elementa biezums;

$h$  — malu apstrādes dziļums.

Leņķiskajos savienojumos parasti lieto saistšuves. To izmērus pieņem atbilstoši metinātu savienojumu konstruēšanas noteikumiem (sk. 5.7. apakšnodaļu).

### 5.6.5. KOMBINĒTO SAVIENOJUMU DARBĪBA UN APRĒKINS

Kombinētajos savienojumos ir nevienmērīgs spriegumu sadalījums, jo uzliktņu piemetināšanas vietās rodas spriegumu koncentrācija. Visnevienmērīgākais spriegumu sadalījums ir savienojumos ar taisnstūrveida uzliktņiem, kuri piemetināti ar sānšūvēm (5.23. att. *a*). Spriegumu koncentrāciju var nedaudz samazināt, piemetinot uzliktņus pa kontūru (sk. 5.6. att. *n, o*), bet tādos risinājumos krasi palielinās rukuma spriegumi, kas, summējoties ar slodžu radītiem spriegumiem, var izraisīt plaisas un pat savienojuma trauslu sagrūšanu.

Vismazākā spriegumu koncentrācija ir savienojumos ar rombveida uzliktņiem, ja rombu stūri ir nogriezti un nogriezuma vietas nav piemetinātas pie pamatmetāla (5.23. att. *b*). Rombveida uzliktņi ar nenogrieztiem stūriem (5.23. att. *c*) nav ieteicami, jo pie rombu stūriem šūvēs rodas plaisas.

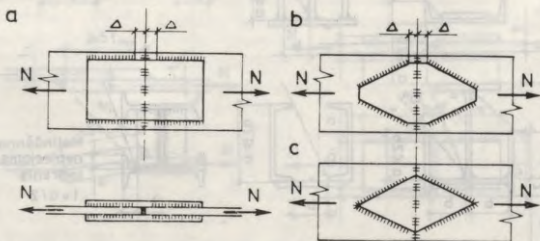
Lai uzlabotu spēku plūsmas pāreju no pamatmetāla uz uzliktņiem, ieteicams metināt lēzenas šuves un garāko kateti izvietot paralēli spēku plūsmai (5.25. att. *d, e*).

Kombinētos savienojumos nelieto konstrukcijās, kuras uzņem mainīgas slodzes.

Aprēķinot kombinētos savienojumus, pieņem, ka saduršuves un uzliktņu šķēlumos spriegumi ir vienādi. Tādēļ

$$\sigma = N / (A_w + \Sigma A_s) \leq R_{wy} \gamma_c, \quad (5.30)$$

kur  $A_w$  — savienojamo elementu (sadruršuves) šķēluma laukums;  
 $\Sigma A_s$  — summārais uzliktņu šķēluma laukums.



5.23. att. Kombinēto savienojumu aprēķina shēmas:

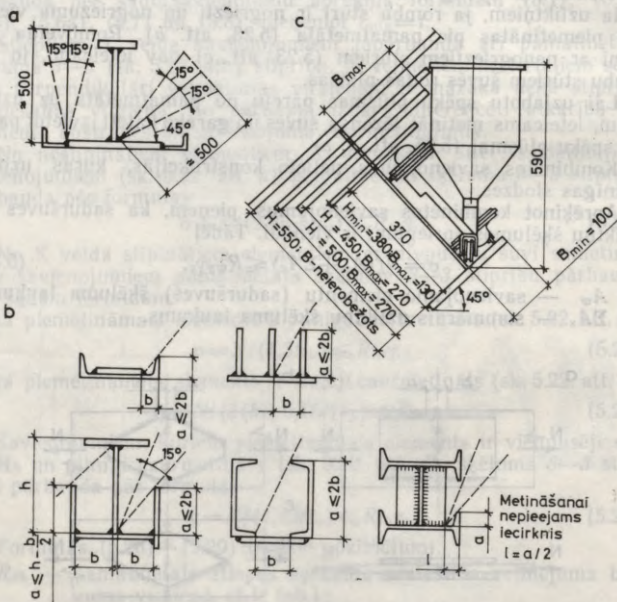
*a* — savienojums ar taisnstūrveida uzliktņiem; *b* — savienojums ar rombveida uzliktņiem, kuriem nogriezti stūri; *c* — savienojums ar rombveida uzliktņiem, kuriem nav nogriezti stūri.

Uz vienu uzliktni darbojas garens spēks  $N_s = \sigma A_s$ . Pēc tā atbilstoši formulām (5.13) un (5.14) aprēķina nepieciešamo garumu, pa kuru uzliktni piemetina uz katru pusī no saduršuves.

## 5.7. METINĀTU SAVIENOJUMU KONSTRUEŠANA

Konstrukcijas detaļu formai un izmēriem jānodrošina pieklūšana šuvei un jāļauj metināšanas procesā ieturēt pareizu elektroda stāvokli. Vislabākais elektroda stāvoklis un nepieciešamie gabarīti, metinot ar rokas paņēmieni, parādīti 5.24. attēlā *a*. Daudzreiz, metinot stūra šuves, detaļu izvirzījumi traucē turēt elektrodu 45° leņķī. Izvirzīto detaļu robežizmēri, kas normālos apstākļos netraucē iegūt pietiekami augstu metinājuma kvalitāti, parādīti 5.24. attēlā *b*.

Automātiskās un pusautomātiskās metināšanas lietojumu ierobežo metināšanas traktora un pusautomāta šļūtenes uzgaļa gaba-



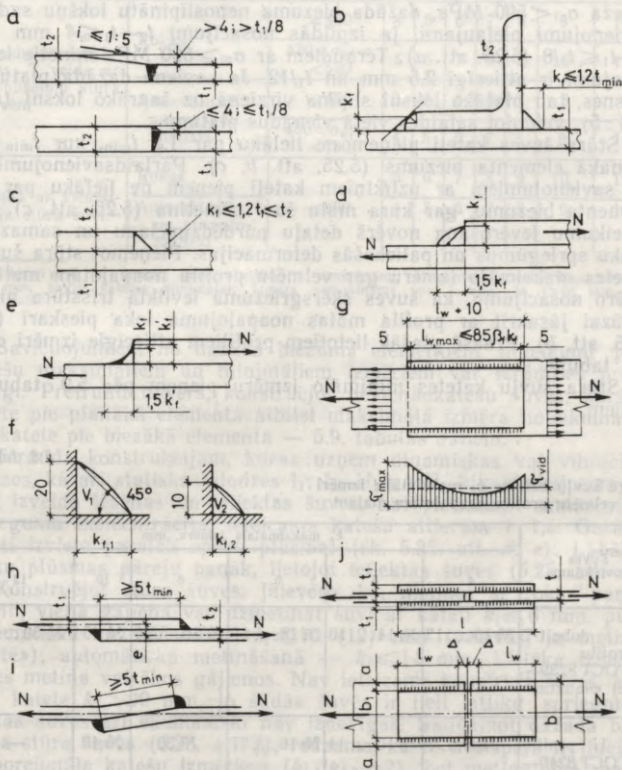
5.24. att. Metināšanas darbu veikšanai nepieciešamie gabarīti:

*a* — optimālie gabarīti, metinot ar rokas paņēmieni; *b* — robežgabarīti, metinot ar rokas paņēmieni; *c* — robežgabarīti automātiskai metināšanai ar TC-17M tipa metināšanas traktoru.

rīti. Siju sienīgas un plauktu robežizmēri, metinot automātiski ar TC-17M tipa traktoru, parādīti 5.24. attēlā c.

Viskvalitatīvākās ir šuves, kuras metina «silītes» vai apakšējā stāvoklī vai, sliktākā gadījumā, vertikāli (sk. 5.7. att.), ko panāk, izvēloties attiecīgu savienojuma konstruktīvo risinājumu.

Lai samazinātu atliku spriegumus un paliekošās deformācijas, metinājuma apjomam jābūt pēc iespējas mazākam. Suvju biežumam



5.25. att. Metinātiem savienojumiem noteiktās konstruktīvās prasības:

a — sadursavienojumi no dažāda biezuma loksņēm; b un c — stūra šuves katešu maksimālie izmēri; d un e — stūra gala šuvju lēzenie veidojumi; f — stūra šuves katešu un materiālietilpības salīdzinājums; g — stūra sānšuves maksimālais aprēķina garums; h un i — lokšņu pārlaidums; j — lokšņu savienojums ar uzliktņiem.

jābūt minimālam, izpildītam stingri pēc aprēķina. Simetriskos elementos šuves izvieto simetriski vai arī tā, ka neitrālās ass abās pusēs uzkausētā metāla laukumu statistiskie momenti ir apmēram vienādi. Šuvju krustošanās un tuvs paralēls izvietojums, kā arī noslēgtu šuvju konstruēšana nav ieteicama.

Sadursavienojumiem no dažāda biezuma loksņēm biežāko loksni no vienas vai abām pusēm noslīpina, kas salaides vietā novērš asu šķērsgriezuma izmaiņu un spriegumu koncentrāciju. Slīpumam jābūt ne lielākam par 1:5. Konstrucijās no tēraudiem, kuru plūstamības robeža  $\sigma_{p1} < 590$  MPa, dažāda biezuma nenoslīpinātu loksņu sadursavienojumi pieļaujami, ja izpildās nosacījumi  $t_2 - t_1 \leq 4$  mm un  $t_2 - t_1 \leq t_1/8$  (5.25. att. a). Tēraudiem ar  $\sigma_{p1} \geq 590$  MPa minētie ierobežojumi ir attiecīgi 2,5 mm un  $t_1/12$ . Ja savieno dažāda platuma loksnes, tad platāko loksni slīpina virzienā uz šaurāko loksni ( $i \leq 1:5$ ), veidojot salaides vietā vienādus platumus.

Stūra šuves kateti pieņem ne lielāku par 1,2  $t_{min}$ , kur  $t_{min}$  — plānākā elementa biezums (5.25. att. b, c). Pārļaidsavienojumiem un savienojumiem ar uzliktniem kateti pieņem ne lielāku par tā elementa biezumu, gar kura malu šuvi uzmetina (5.25. att. c). So noteikumu ievērošana novērš detaļu pārdedzināšanu un samazina atliku spriegumus un paliekošās deformācijas. Pieņemot stūra šuves katetes maksimālo izmēru gar velmētu profilu noapaļotām malām, ievēro nosacījumu, ka šuves šķērsgriezumā ievilkta trīsstūra hipotenūzai jāsakrīt ar profila malas noapaļojuma loka pieskari (sk. 5.25. att. b). Praksē plašāk lietotiem profiliem attiecīgie izmēri doti 5.8. tabulā.

Stūra šuvju katetes minimālo izmēru pieņem pēc 5.9. tabulas datiem.

5.8. tabula

Stūra šuvju katetes  $k_f$  maksimālie izmēri gar velmētu profilu noapaļotām malām

Šuves novietojums	$k_f$ maksimālais izmērs, mm					
	4	5	6	8	10	12
Gar dubult-T profilu (ГОСТ 8239—72) plauktiem	№ 10 ... 12	№ 14 ... 16	№ 18 ... 27	№ 30 ... 40	№ 45	№ 50 ... 60
Gar U profilu (ГОСТ 8240—72) plauktiem	№ 5 ... 8	№ 10 ... 14	№ 16 ... 27	№ 30	№ 40	—
Gar leņķprofilu malām	Ja plaukta biezums $t < 6$ mm, $k_f = t - 1$ mm; ja $t = 7 \dots 16$ mm, $k_f = t - 2$ mm; ja $t > 16$ mm, $k_f = t - 4$ mm.					

Stūra šuvju katetes  $k_f$  minimālie izmēri

Savienojuma tips	Metināšanas veids	Plūstamības robeža $\sigma_{p1}$ , MPa	Katetes $k_f$ minimālais izmērs, mm, ja sametināmo elementu lielākais biezums $t$ , mm						
			4...5	6...11	11...16	17...22	23...32	33...40	41...80
Pārlaidu un leņķiskais; T veida ar divpusējām stūra šuvēm	Rokas	$<430$	4	5	6	7	8	9	10
		$430 < \sigma_{p1} < 580$	5	6	7	8	9	10	12
	Automātiski un pusautomātiski	$<430$	3	4	5	6	7	8	9
		$430 < \sigma_{p1} < 580$	4	5	6	7	8	9	10
T veida ar vienpusēju stūra šuvi	Rokas	$<380$	5	6	7	8	9	10	12
	Automātiski un pusautomātiski		4	5	6	7	8	9	10

Piezīme. 4. grupas konstrukcijās, ja sametināmo elementu lielākais biezums  $t < 40$  mm, šuvju katetes minimālais izmērs samazināms par 1 mm; ja  $t > 40$  mm, — par 2 mm.

Savienojumiem no dažāda biezuma elementiem noteikumi par katešu maksimāliem un minimāliem izmēriem var izrādīties pret-runīgi. Pretrunu novērš, konstruējot nevienādkatešu šuves, kurām katete pie plānākā elementa atbilst maksimālā izmēra noteikumam, bet katete pie biežākā elementa — 5.9. tabulas datiem.

Tērauda konstrukcijām, kuras uzņem dinamiskas vai vibrāciju slodzes, kā arī statiskas slodzes  $I_1$ ;  $I_2$ ;  $II_2$  un  $III_3$  klimatiskajos rajonos, izveido lēzenas un ieliekas šuves. Lai pietiekami samazinātu spriegumu koncentrāciju, ieteicama katešu attiecība 1:1,5. Garāko kateti izvieto paralēli spēku plūsmai (sk. 5.25. att. *d*, *e*). Labāku spēku plūsmas pāreju panāk, lietojot ieliekas šuves (5.25. att. *e*).

Konstruējot stūra šuves, jāievēro, ka, metinot ar rokas paņēmienu, vienā gājienā var uzmetināt šuvi ar kateti  $k_f \leq 8$  mm, pusautomātiskā metināšanā —  $k_f \leq 10$  (12) mm (iekavās, ja metina «silītē»), automātiskā metināšanā —  $k_f \leq 14$  mm. Lielāka izmēra šuves metina vairākos gājienu. Nav ieteicams konstruēt šuves, kurām katete  $k_f > 20$  mm, jo šādās šuvēs ir lieli atlikto spriegumi. Biezas šuves arī ekonomiski nav izdevīgas. Salīdzinot dažāda biezuma stūra šuves (5.25. att. *f*), redzams, ka to nestspēja ir lineāri proporcionāla katešu izmēriem ( $k_{f,1}/k_{f,2} = 2$ ), bet metinājuma masa mainās kvadrātiski ( $V_{f,1}/V_{f,2} = 4$ ). Par visizdevīgākām uzskata šuves ar kateti  $k_f = 6 \dots 12$  mm.

Tērauda konstrukciju savienojumos stūra sānšuves maksimālais aprēķina garums  $l_{w,max}$  nedrīkst pārsniegt  $85 \beta_f k_f$  (5.25. att. *g*), jo garākās šuvēs spriegumu sadalījums ir izteikti nevienmērīgs un

šuvju galu iecirkņos rodas nepieļaujami pārspriegumi. Sis ierobežojums neattiecas uz šuvēm, kurām spēki pielikti visā šuves garumā, piemēram, uz metinātu siju joslām šuvēm.

Sānšuvju minimālajam aprēķina garumam  $l_{w,\min}$  jābūt ne mazākam par  $4k_f$  vai 40 mm. Isāku šuvju darbību stipri ietekmē ekscentritātes (sk. 5.17. att. a) papildus radītais lieces moments, kas aprēķinā netiek ievērots. Šo ierobežojumu attiecina arī uz gala šuvēm.

Lokšņu pārlaidumam jābūt ne mazākam par  $5t_{\min}$  (5.25. att. h). Neievērojot šo noteikumu, savienojuma elementos un šuvēs rodas nepieļaujami lieli papildspriegumi. Ekscentriskas spēku plūsmas dēļ veidojas spēkpāris, kas cenšas savienojumu pagriezt stāvoklī, kurā ekscentritāte  $e$  būtu nulle (5.25. att. i). Papildspriegumi ir lielāki tad, ja lielāks ir pagrieziena leņķis, t. i., ja mazāks ir pārlaidums. Minimālā pārlaiduma noteikumu attiecina arī uz savienojumiem, kuru loksnes, lai panāktu  $e=0$ , pirms sametināšanas ir attiecīgi saliektas (5.25. att. i).

Savienojumiem ar uzliktiem spriegumu koncentrāciju samazina, sānšuves apraujot atstatumā  $\Delta \geq 25$  mm no saduras ass (5.25. att. j).

## 6. nodaļa

### SKRŪSVAIENOJUMI\*

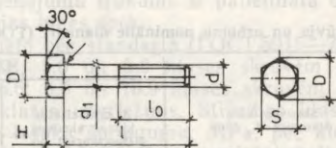
#### 6.1. SKRŪVJU UN SKRŪSVAIENOJUMU RAKSTUROJUMS

Tērauda konstrukcijās lieto parastās stiprības, lielas stiprības un pamatu skrūves. Pēc izgatavošanas precizitātes parastās stiprības skrūves iedala A (paaugstinātas), B (normālas) un C (rupjas) precizitātes klases skrūvēs, bet pēc mehāniskajām īpašībām tās iedala stiprības klasēs. Atbilstoši spēkā esošajam projektēšanas normām [22] skrūvsavienojumu izveidošanai lieto 4.6; 4.8; 5.6; 5.8; 6.6; 8.8 un 10.9 stiprības klases skrūves. Pirmais stiprības klases apzīmējumā iekļautais skaitlis, ja to pareizina ar 100, izsaka pārējošās pretestības  $\sigma_{pār}$  minimālo vērtību, MPa; otrs skaitlis, ja to pareizina ar 10, — plūstamības robežas  $\sigma_{pl}$  un pārējošās pretestības attiecību procentos.

\* Līdz pašlaik spēkā esošo projektēšanas normu [22] ieviešanai tērauda konstrukcijās izmantoja arī kniedes. Tās galvenokārt lietoja konstrukcijās, kas bija pakļautas dinamisku un vibrāciju slodžu iedarbībai, kā arī konstrukcijās, kuras izgatavoja no termiski apstrādātiem tēraudiem. Tagad šādās konstrukcijās galvenokārt lieto lielas stiprības skrūves vai arī parastās stiprības A precizitātes klases skrūves.

Kniedētos savienojumus lieto alumīnija sakausējumu konstrukcijās. Šādu savienojumu aprēķins un konstruēšanas noteikumi doti projektēšanas normās [20].

Parastās un lielas stiprības skrūvju galvenie izmēri parādīti 6.1. attēlā. Tērauda konstrukcijās lieto skrūves, kuru vītnes ārējais diametrs  $d = 12 \dots 48$  mm. Skrūves kāta diametrs  $d_1 = d$  (vai arī samazināts par pielāides lielumu), garums  $l = 25 \dots 300$  mm. Sērijveidā ražoto skrūvju garuma gradācija: 5 mm ( $l = 25 \dots$



6.1. att. Skrūves galvenie izmēri.

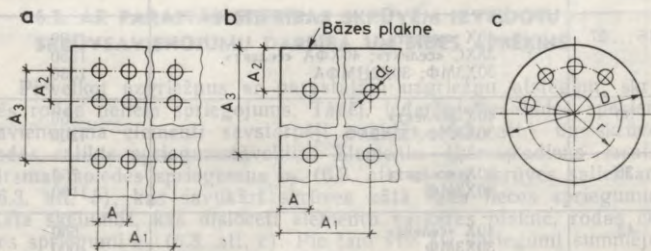
80 mm); 10 mm ( $l = 80 \dots 200$  mm) un 20 mm ( $l = 200 \dots 300$  mm). Vītņotās daļas garums  $l_0 \approx 2,5 d$ . Izraugoties cirpei pakļautas skrūves garumu, ievēro nosacījumu, ka urbumā vītne nedrīkst būt dziļāk par pusi no tā elementa biezuma, kas atrodas paketes uzgriežņa pusē, un ne dziļāk par 5 mm. Skrūves galvas augstums  $H \approx 0,6d$ , apvilktais aploces diametrs  $D = 1,7d$ , atslēgas izmērs  $S \approx 1,5d$ .

Uzgriežņiem ir tādi paši izmēri kā skrūves galvai, izņemot augstumu  $H$ , kas ir par 2...5 mm lielāks.

A precizitātes klases skrūves (ГОСТ 7805—70) izgatavo no oglekļa un mazlēģētajiem tēraudiem. Tās ievieto elementu urbumos (caurumos), kuru diametrs  $d_c$  (6.1. tab.) ir vienāds ar skrūves kāta diametru  $d_1$  (skrūves kātu izgatavo bez pozitīvajām pielaidēm, urbumu — bez negatīvajām pielaidēm). Urbumu urbšanai izmanto speciālus konduktorus ar iepresētiem lielas stiprības tērauda ieliktniem, kas nodrošina savienojamo elementu urbumu centru precīzu savstarpēju izvietojumu.

Skrūvsavienojumi ar A precizitātes klases skrūvēm ir mazdeformatīvi, bet to izgatavošana ir darbietilpīga. Tādēļ A klases skrūves lieto reti — galvenokārt savienojumos, kuros darbojas bīdes spēki.

B precizitātes klases skrūves (ГОСТ 7796—70 vai ГОСТ 7798—70) un C precizitātes klases skrūves (ГОСТ 15589—70 vai ГОСТ 15591—70) izgatavo no oglekļa tērauda. Tās lieto konstruk-



6.2. att. Urbumu izvietojuma shēmas:

a — rindās ar koordināciju pret urbuma asi; b — rindās ar koordināciju pret bāzes plakni; c — pa aploci.

## Skrūvju un urbumu nominālie diametri (ГОСТ 11284—75)

Skrūves kāta diametrs $d_1$ , mm	Urbuma diametrs $d_c$ , mm		
	A precizitātes klases skrūves (neatkarīgi no izvietojuma veida)	B un C precizitātes klases skrūves un lielas stiprības skrūves	
		izvietotas rindās (sk. 6.2. att. a, b)	izvietotas pa aploci (sk. 6.2. att. c)
12	12	14	15
14	14	16	17
16	16	18	19
18	18	20	21
20	20	22	24
22	22	24	26
24	24	26	28
27	27	30	32
30	30	33	35

Piezīme. Nav ieteicams lietot skrūves, kuru kāta diametrs ir 18; 22 vai 27 mm.

cijās, kas izgatavotas no tērauda, kura plūstamības robeža  $\sigma_{pl} \leq 380$  MPa.

Skrūvsavienojumos, kuros lieto B un C precizitātes klases skrūves, urbuma diametrs  $d_c$  ir lielāks par skrūves kāta diametru  $d_1$  (sk. 6.1. tab.). Diametru starpība  $\delta = d_c - d_1$  ir gradēta atkarībā no diametra  $d_1$  lieluma un urbumu izvietojuma (6.2. att.). B un C precizitātes klases skrūves plaši lieto montāžas savienojumu izveido-

## Lielas stiprības skrūvju mehāniskās īpašības

Vītnes nominālais diametrs $d$ , mm	Tērauda marka (ГОСТ 4543—71)	Pārejošās pretestības minimālā vērtība $R_{bun}$ , MPa
16...27	40X «селект»	1100
	38XC «селект»; 40XΦA «селект»	1350
	30X3MΦ; 30X2HMΦA	1550
30	40X «селект»	950
	30X3MΦ; 35X2AΦ	1200
36	40X «селект»	750
	30X3MΦ	1100
42	40X «селект»	650
	30X3MΦ	1000
48	40X «селект»	600
	30X3MΦ	900

šanai. Galvenais šādu skrūvsavienojumu trūkums ir palielināta deformēšanās spēja, ja tajos darbojas bīdes spēki.

Parastās stiprības skrūvēm lieto pēc standarta (ГОСТ 5915—70) izgatavotus uzgriežņus: 4.6; 4.8; 5.6 un 5.8 klases skrūvēm — 4. stiprības klases uzgriežņus; 6.6; 8.8 un 10.9 klases skrūvēm — attiecīgi 5., 6. un 8. stiprības klases uzgriežņus. Stiprības klases skaitlis, ja to pareizina ar 100, izsaka spriegumu, МРa, pēc kura pārbauda uzgriežņus ar izmēģinājuma slodzi. Zem uzgriežņiem lieto apaļas paplāksnes (ГОСТ 11371—78), slīpas paplāksnes (ГОСТ 10906—78) un normālas atsperpaplāksnes (ГОСТ 6402—70).

Liela stiprības skrūves (ГОСТ 22353—77 un ГОСТ 22356—77) izgatavo no liela stiprības oglekļa un leģētajiem tēraudiem. Pēc izgatavošanas tās termiski nostiprina. Skrūvju mehāniskās īpašības uzrādītas 6.2. tabulā.

Liela stiprības skrūves lieto konstrukcijās, kas uzņem dinamiskas, vibrāciju un liela statiskas slodzes, kā arī rajonos, kuros aprēķina temperatūra ir zemāka par  $-40^{\circ}\text{C}$ . Tās, tāpat kā B un C precizitātes klases skrūves, ievieto urbumos, kuru diametrs ir lielāks par kāta diametru (6.1. tab.). Tādēļ šādus skrūvsavienojumus var viegli salikt.

Liela stiprības skrūvju uzgriežņus pievelk ar tarēšanas atslēgu. Tās lietošana ļauj kontrolēt skrūves spriegojumu. Spriegojuma spēki cieši savēl savienojamos elementus, izveidojot mazdeformatīvus rūpnieciskos un montāžas skrūvsavienojumus.

Liela stiprības skrūvēm lieto pēc standarta ГОСТ 22354—77 izgatavotus uzgriežņus. Zem skrūvju galvām un uzgriežņiem uzstāda standartam ГОСТ 22355—77 atbilstošas paplāksnes.

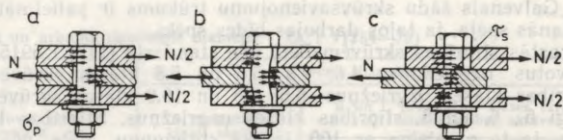
No 40X «селект» markas tērauda izgatavotas liela stiprības skrūves, neregulējot (nekontrolējot) to spriegojumu, lieto arī kā parastās 10.9 stiprības klases skrūves.

Pamatu skrūves (ГОСТ 24379.0—80; ГОСТ 24379.1—80) lieto kolonn un statņu bāzes piestiprināšanai pie pamata. Tās izgatavo no BCт3кп2; 09Г2С un 10Г2С1 markas tērauda.

## 6.2. AR PARASTĀS STIPRĪBAS SKRŪVĒM IZVEIDOTU SKRŪVSAVIENOJUMU DARBĪBA UN BĪDES APRĒKINS

Pievelkot uzgriežņus ar parastajām uzgriežņu atslēgām, skrūvēs rodas neliels spriegojums. Tādēļ, iedarbojoties bīdes spēkiem, savienojuma elementi savstarpēji nobīdās (6.3. att.) un skrūvēs rodas salikts spriegumstāvoklis. Elementu šķērsspiediens izraisa virsmas spiedes spriegumus  $\sigma_p$  (6.3. att. a) un skrūves saliekšanu (6.3. att. b), kas savukārt skrūves kātā rada lieces spriegumus. Kāta šķēlumos, kas dislocēti elementu saskares plaknē, rodas cīpes spriegumi  $\tau_s$  (6.3. att. c). Pie tam visi šie spriegumi summējas ar stiepes spriegumiem skrūves kātā no uzgriežņu pievilkšanas.

Salikts spriegumstāvoklis rodas arī savienojamos elementos, it īpaši caurumu izvietojumu vietās (6.4. att.). Cauruma sienīņu pun-



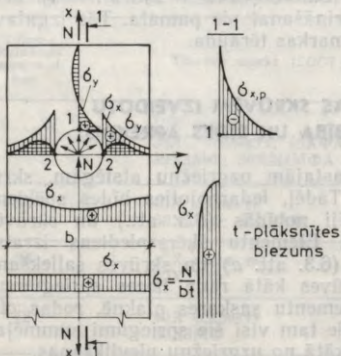
6.3. att. Skrūves darbība:

a — virsmas spiede; b — kāta deformācija; c — kāta cirpe.

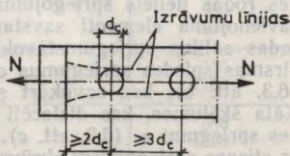
ktos 1 krasi pieaug virsmas spiedes spriegumi  $\sigma_{x,p}$  un stiepes spriegumi  $\sigma_y$ . Spriegumi  $\sigma_{x,p}$  var priekšlaikus izraisīt materiāla plūstamību, bet spriegumi  $\sigma_y$  var elementu sašķelt. Šie spriegumi ir sevišķi bīstami tad, ja caurumus izurbj tuvu elementu malām vai citu citam, jo metālā veidojas izrāvumi (6.5. att.) un skrūvsavienojumi sagrūst. Punktos 2 (sk. 6.4. att.) skrūve praktiski spēkus uz cauruma sienīņu nepārvada. Šajā vietā spriegumu  $\sigma_x$  palielināšanos izraisa parasta spriegumu koncentrācija gar cauruma malām.

Skrūvsavienojuma jau tā salikto spriegumstāvokli papildus ievērojami complicē skrūves un cauruma nepareiza forma, turklāt daudzskrūvju savienojumos ar B un C precizitātes klases skrūvēm praktiski spēku darbības virzienā starp skrūvju kātiem un caurumu virsmām izveidojas dažāda lieluma spraugas, kas rada skrūvju darbības nevienmērīgumu.

Skrūvsavienojumos ar A, B un C precizitātes klases skrūvēm visbūtiskākie ir cirpes un virsmas spiedes spriegumi. Tādēļ šādus savienojumus aprēķina nosacīti pēc skrūves cirpes (sk. 6.3. att. c) un savienojamo elementu virsmas spiedes (sk. 6.3. att. a).



6.4. att. Spriegumi skrūvsavienojuma elementos.



6.5. att. Izrāvumi savienojamo elementu metālā.

**Skrūves cirpes aprēķins.** Aprēķinot skrūvju cirpi, pieņem, ka skrūvsavienojumam centriski pieliktais garens spēks (bīdes spēks) starp skrūvēm sadalās vienmērīgi. Cirpes spriegumus pārbauda pēc formulas

$$\tau_s = N / \Sigma A_{bs} = N / (n_b n_s A_b) \leq R_{bs} \gamma_b \gamma_c, \quad (6.1)$$

- kur  $\tau_s$  — skrūves cirpes spriegumi;  
 $N$  — savienojamo elementu aprēķina garens spēks (skrūvsavienojuma bīdes spēks);  
 $\Sigma A_{bs}$  — summārais cirpes laukums;  
 $n_b$  — skrūvju skaits;  
 $n_s$  — vienas skrūves kāta cirpes plakņu skaits;  
 $A_b = \pi d_1^2 / 4$  — skrūves kāta šķērsgriezuma laukums, kuru pieņem pēc 6.3. tabulas;  
 $d_1$  — skrūves kāta ārējais diametrs;  
 $R_{bs}$  — skrūves cirpes aprēķina pretestība, kuru pieņem pēc 6.4. tabulas;  
 $\gamma_b$  — skrūvsavienojuma darbības apstākļu koeficients, ar kuru ievēro skrūvju darbības nevienmērīgumu un kuru pieņem pēc 6.5. tabulas;  
 $\gamma_c$  — konstrukcijas elementa darbības apstākļu koeficients, kuru vienskrūves savienojumiem pieņem pēc pielikumu 5. tabulas; daudzskrūvju savienojumiem  $\gamma_c = 1$ .

**Savienojamo elementu virsmas spiedes aprēķins.** Virsmas spiedes spriegumus pārbauda pēc formulas

$$\sigma_p = N / \Sigma A_{bp} = N / (n_b d \Sigma t) \leq R_{bp} \gamma_b \gamma_c, \quad (6.2)$$

- kur  $\sigma_p$  — elementu virsmas spiedes spriegumi;  
 $\Sigma A_{bp}$  — summārais virsmas spiedes laukums;  
 $\Sigma t$  — vienā virzienā spiestu elementu vismazākais summārais biezums;  
 $R_{bp}$  — savienojamo elementu virsmas spiedes aprēķina pretestība, kuru pieņem pēc 6.6. tabulas.

Projektējot skrūvsavienojumus, praktiski vispirms aprēķina cirpes spēku

$$N_{bs} = R_{bs} \gamma_b A_b n_s \quad (6.3)$$

6.3. tabula

Skrūvju kātu šķērsgriezuma laukumi, cm<sup>2</sup>

$d$ , mm	16	18	20	22	24	27	30	36	42	48
$A_b$	2,01	2,54	3,14	3,80	4,52	5,72	7,06	10,17	13,85	18,09
$A_{bn}$	1,57	1,92	2,45	3,03	3,52	4,59	5,60	8,16	11,20	14,72

Piezīme. Nav ieteicams lietot skrūves, kuru kāta diametrs ir 18; 22 vai 27 mm.

## Skrūvju cirpes un stiepes aprēķina pretestības, MPa

Spriegumstāvoklis	Pieņemtais apzīmējums	Skrūvju stiprības klases						
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	8.8	10.9
Cirpe	$R_{bs}$	150	160	190	200	230	320	400
Stiepe	$R_{bt}$	170	160	210	200	250	400	500

Skrūvsavienojumu darbības apstākļu koeficienti  $\gamma_b$ 

Nr. p. k.	Skrūvsavienojuma raksturojums	Spriegumstāvoklis	Koeficients $\gamma_b$
1	Vienskrūves savienojums (caurumi izvietoti atbilstoši 6.8. tabulas noteikumiem)	Cirpe vai virsmas spiede	1,0
2	Daudzskrūvju savienojums (caurumi izvietoti atbilstoši 6.8. tabulas noteikumiem: A precizitātes klases skrūves)	Cirpe vai virsmas spiede	1,0
3	B un C precizitātes klases skrūves; lielas stiprības skrūves, ja spriegojumu neregulē Vienskrūves savienojums, kurā atstatums no elementa malas līdz urbuma centram spēka darbības virzienā $a=1,5d_c$ ( $d_c$ — cauruma diametrs), un daudzskrūvju savienojums, kurā $a=1,5d_c$ un atstatumi starp urbumu centriem $b=2d_c$ : konstrukcijas elementi izgatavoti no tēraudiem, kuru plūstamības robeža $\sigma_{p1} < 285$ MPa; $285$ MPa $< \sigma_{p1} < 380$ MPa	Cirpe vai virsmas spiede	0,9
		Cirpe	1,0
		Virsmas spiede	0,8
		Cirpe	1,0
		Virsmas spiede	0,75

Piezīmes. 1. 2. un 3. pozīcijā noteiktās koeficienta  $\gamma_b$  vērtības jālieto vienlaicīgi.  
2. Ja urbumu atstatumi  $a$  un  $b$  ir lielāki par 3. pozīcijā norādītajiem, bet mazāki par 6.8. tabulā dotajiem, tad koeficienta  $\gamma_b$  vērtību nosaka, lineāri interpolējot.

un virsmas spiedes spēku

$$N_{bp} = R_{bp} \gamma_b d \Sigma t, \quad (6.4)$$

kuru var uzņemt viena skrūve. Skrūvju skaitu  $n_{b,cat}$ , kas nepieciešams, lai uzņemtu skrūvsavienojuma aprēķina garenspēku  $N$ , nosaka pēc formulas

$$n_{b,cat} = N / (\gamma_c N_{b,min}), \quad (6.5)$$

kur  $N_{b,min}$  — spēka mazākā vērtība, kas aprēķināta pēc formulām (6.3) vai (6.4).

Ar skrūvēm savienotu elementu virsmas spiedes  
aprēķina pretestības  $R_{bP}$

Savienojamo tērauda elementu pārraušanas pārejošā pretestība $\sigma$ , MPa pār	Virsmas spiedes aprēķina pretestība $R_{bP}$ , MPa, ja elementi savienoti		Savienojamo tērauda elementu pārraušanas pārejošā pretestība $\sigma$ , MPa pār	Virsmas spiedes aprēķina pretestība $R_{bP}$ , MPa, ja elementi savienoti	
	ar A klases skrūvēm	ar B un C klases skrūvēm		ar A klases skrūvēm	ar B un C klases skrūvēm
345	445	405	470	720	645
355	465	420	480	745	670
365	485	440	490	770	690
370	495	450	500	795	710
380	515	465	510	825	735
390	535	485	520	850	760
430	625	565	530	875	780
440	650	585	540	905	805
450	675	605	570	990	880
460	695	625	590	1045	930

Piezīme. Tērauda konstrukciju elementiem, ja tos savieno ar lielas stiprības skrūvēm, kuru spriegojumu neregulē, virsmas spiedes aprēķina pretestību pieņem tādu pašu kā elementiem, kas savienoti ar B un C precizitātes klases skrūvēm.

### 6.3. AR LIELAS STIPRĪBAS SKRŪVĒM IZVEIDOTU SKRŪVSAVIENOJUMU DARBĪBA UN BĪDES APRĒĶINS

Savienojot konstrukcijas elementus ar lielas stiprības skrūvēm, spēkus pārvada berze, kas, skrūves spriegojot, rodas elementu pie-skarplaknēs (6.6. att.).

Savienojumiem ar centriski pieliktu garenspeku pieņem, ka spēki pa skrūvēm sadalās vienmērīgi. Aprēķina spēku  $Q_{bh}$ , kuru pārvada jebkura ar vienu lielas stiprības skrūvi savilkta elementu berzes virsma (6.6. att. b), nosaka pēc formulas

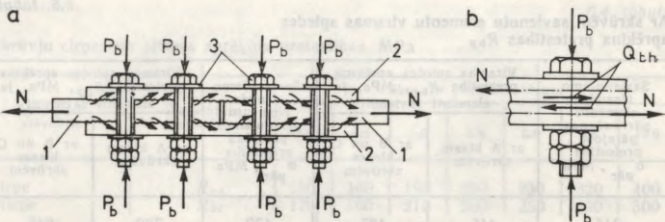
$$Q_{bh} = R_{bh} \gamma_b A_{bn} \mu / \gamma_h, \quad (6.6)$$

kur  $R_{bh}$  — lielas stiprības skrūves stiepes aprēķina pretestība;  
 $A_{bn}$  — skrūves neto šķērsgriezuma laukums (6.3. tab.);  
 $\mu$  — berzes koeficients, kuru pieņem pēc 6.7. tabulas;  
 $\gamma_h$  — drošuma koeficients, kuru atrod 6.7. tabulā;  
 $\gamma_b$  — skrūvsavienojuma darbības apstākļu koeficients, kurš atkarīgs no aprēķina garenspekā  $N$  uzņemšanai nepieciešamā skrūvju skaita  $n_b$  un kuru pieņem 0,8, ja  $n_b < 5$ ; 0,9, ja  $5 \leq n_b < 10$ ; 1,0, ja  $n_b \geq 10$ .

Lielas stiprības skrūves stiepes aprēķina pretestību nosaka pēc formulas

$$R_{bh} = 0,7 R_{bun}, \quad (6.7)$$

kur  $R_{bun}$  — pārejošās (skrūves pārraušanas) pretestības minimālā vērtība (sk. 6.2. tab.).



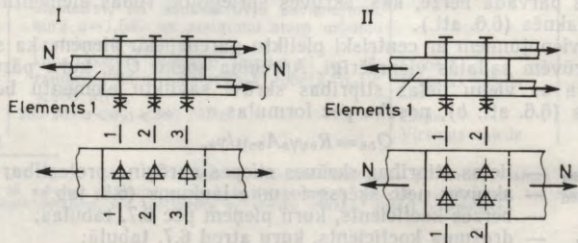
6.6. att. Spēka pārvadīšana skrūšsavienojumos ar lielas stiprības skrūvēm:  
 a — skrūšsavienojuma darbības shēma; b — skrūves aprēķina shēma; 1 — savienojamie  
 elementi; 2 — uzliktņi; 3 — lielas stiprības skrūves.

Neotīrītu un neapstrādātu virsmu berze nav liela. To palielina, notīrot skrūšsavienojuma vietā elementus no netīrumiem, eļļas, rūsas un plāvas, kā arī virsmas apstrādājot ar dažādiem mehāniskiem un gāzliesmas paņēmieniem. Visieteicamāk ir apstrādāt ar kroššviešanas vai kroššstrūklas paņēmieni, jo tad iegūst stabīlu un lielu berzes koeficienta vērtību. Virsmu apstrādei lieto tērauda skrotis, kuru diametrs ir 0,5...1,0 mm.

Lielas stiprības skrūvju skaitu, kas nepieciešams, lai uzņemtu aprēķina garenspekū  $N$ , nosaka pēc formulas

$$n_{b,cal} = N / (k Q_{bh} \gamma_c), \quad (6.8)$$

kur  $k$  — skrūšsavienojuma berzes plakņu skaits.



Shēma	Elements	Šķēlums	$n_{b,f}$	F pēc formulas (6.10)
I	1	1-1	1	0,833 N
		2-2	2	0,667 N
		3-3	3	0,500 N
II	1	1-1	2	0,750 N
		2-2	4	0,500 N

6.7. att. Savienojamo elementu stiprības aprēķina shēmas.

## Skrūvsavienojuma berzes un drošuma koeficienti

Nr. p. k.	Savienojamo virsmu apstrādes (tīrīšanas) paņēmieni	Skrūvju spriegojuma paņēmieni	Berzes koeficients $\mu$	Drošuma koeficients $\gamma_n$ atkarībā no slodzes veida un skrūves un urbuma nominālo diametru starpības $\delta$ , mm	
				dinamiska un $\delta = 3 \dots 6$ mm; statiska un $\delta = 5 \dots 6$ mm	dinamiska un $\delta = 1 \dots 2$ mm; statiska un $\delta = 1 \dots 4$ mm
1	Abu elementu virsmas apstrādā ar kroššviešanas vai kroššstrūklas paņēmieni; apstrādātās virsmas nekonservē	Pēc $M$ Pēc $\alpha$	0,58 0,58	1,35 1,20	1,12 1,02
2	Abu elementu virsmas apstrādā ar kroššviešanas vai kroššstrūklas paņēmieni; apstrādātās virsmas konservē (metalizē), uzsmidzinot cinku vai alumīniju	Pēc $M$ Pēc $\alpha$	0,50 0,50	1,35 1,20	1,12 1,02
3	Viena elementa virsmu apstrādā ar tērauda skrotīm un konservē, pārklājot ar polimērlīmēm un apkaisot ar karborunda pulveri; otra elementa virsmu apstrādā ar tērauda sukām un nekonservē	Pēc $M$ Pēc $\alpha$	0,50 0,50	1,35 1,20	1,12 1,02
4	Abu elementu virsmas apstrādā ar gāzliemas paņēmieni un nekonservē	Pēc $M$ Pēc $\alpha$	0,42 0,42	1,35 1,20	1,12 1,02
5	Abu elementu virsmas apstrādā ar tērauda sukām un nekonservē	Pēc $M$ Pēc $\alpha$	0,35 0,35	1,35 1,25	1,17 1,06
6	Elementu virsmas neapstrādā	Pēc $M$ Pēc $\alpha$	0,25 0,25	1,70 1,50	1,30 1,20

Piezīme. Skrūvju spriegojuma paņēmieni pēc  $M$  nozīmē, ka spriegojumu kontrolē pēc griezes momenta, bet pēc  $\alpha$  — uzgriežņa pagriešanas leņķa.

Pārbaudot caurumu dēļ vājināto savienojamo elementu šķēlumu stiprību, pieņem, ka tikai pusī spēka  $N_s = N/n_b$ , kas attiecināms uz katru lielas stiprības skrūvi, no viena elementa uz otru ir pārvadījuši berzes spēki. To ievērojot, apskatāmajā šķēlumā berzes pārvadīto summāro spēku  $F_f$  aprēķina pēc formulas

$$F_f = 0,5n_{b,f}N_s = 0,5Nn_{b,f}/n_b, \quad (6.9)$$

kur  $n_b$  — skrūvju skaits;

$n_{b,f}$  — skrūvju skaits spēka darbības virzienā, skaitot no spēka pielikšanas puses līdz aprēķina šķēlumam, to ieskaitot (6.7. att.).

Elementa šķēlumā aprēķina spēks

$$F = N - F_f = N - 0,5Nn_{b,f}/n_b = N(1 - 0,5n_{b,f}/n_b). \quad (6.10)$$

Statiski slogotiem skrūvsavienojumiem vājinātā šķēluma stiprību pārbauda pēc formulas

$$\sigma = F/A_{cat} \leq R_y \gamma_c, \quad (6.11)$$

kur  $\sigma$  — normālspriegumi;

$A_{cat}$  — šķēluma aprēķina laukums. Pieņem  $A_{cat} = A$ , ja  $A_n \geq 0,85A$ ;  $A_{cat} = 1,18A_n$ , ja  $A_n < 0,85A$  ( $A$  un  $A_n$  — attiecīgi bruto un neto šķēluma laukums).

Aprēķinot dinamiski slogotus skrūvsavienojumus, pieņem  $A_{cat} = A_n$ .

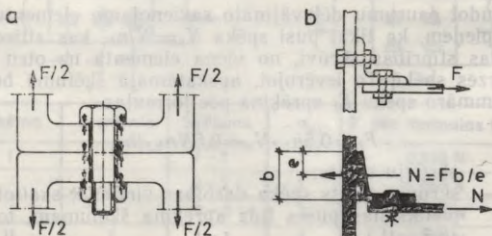
Liela stiprības skrūves priekšslodzi  $P_b$  aprēķina pēc formulas

$$P_b = R_{bn} A_{bn}. \quad (6.12)$$

#### 6.4. STIEPTU SKRŪSVAIENOJUMU DARBĪBA UN APRĒĶINS

Statiski stieptos skrūvsavienojumos spēki darbojas paralēli skrūves garenšij, tādēļ caurumu un skrūves virsmas kvalitāte skrūvju darbību neietekmē. Šādos savienojumos galvenokārt lieto C precizitātes klases skrūves, jo tās ir lētākas.

Stieptu skrūvsavienojumu nestspēju neietekmē skrūvju sākotnējais spriegojums, jo spriegojuma stiepes spriegumi ir iekšēji spriegumi un tos līdzsvaro iekšējie spiedes spēki starp savienojamiem elementiem (6.8. att. a). Konstrukciju slogojot, ārējie spēki, neizjaucot spēku līdzsvaru skrūvē un elementos, pakāpeniski aizvieto iekšējos spiedes spēkus. Kamēr ārējie spēki nepārsniedz sākotnējā spriegojuma spēkus, saglabājas arī elementu savienojuma ciešums. Tikai tad, kad ārējie spēki pārsniedz sākotnējā spriegojuma spēkus, skrūvsavienojuma monolitums tiek izjaukts un stiepes spēki skrūvē pieaug. Tādējādi skrūves nestspēju neatkarīgi no sākotnējā spriegojuma nosaka tikai skrūves materiāla stiprība.



6.8. att. Stieptu skrūvsavienojumu darbība:

a — simetriska skrūvsavienojuma iekšējo spriegumu shēma; b — nesimetriska skrūvsavienojuma darbības shēma.

Skrūves stiepes spriegumus pārbauda pēc formulas

$$\sigma_t = N / (n_b A_{bn}) \leq R_{bt} \gamma_c, \quad (6.13)$$

kur  $\sigma_t$  — skrūves stiepes spriegumi;

$R_{bt}$  — skrūvju stiepes aprēķina pretestība (6.4. tab.).

Vienas stieptas skrūves nestspēju aprēķina pēc formulas

$$N_{bt} = R_{bt} A_{bn}. \quad (6.14)$$

Nepieciešamo skrūvju skaitu nosaka pēc formulas (6.5), ievietojot  $N_{b, \min}$  vietā pēc formulas (6.14) aprēķināto  $N_{bt}$  vērtību.

Konstruē arī ekscentriski stieptus skrūvsavienojumus. To darbības un aprēķina īpatnības parādītas 6.8. attēlā *b*.

### 6.5. LIEKTU SKRŪVSAVIENOJUMU DARBĪBA UN APRĒĶINS

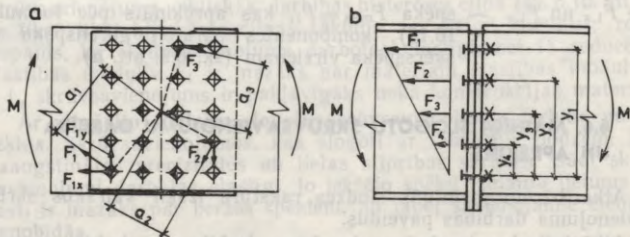
Liektos skrūvsavienojumos iekšējo spēku sadalījums pa skrūvēm ir atkarīgs no salaides vai sajūgto elementu pagriešanās iespējas. Aprēķinot iekšējos spēkus un to sadalījumu, vadās no nosacījuma, ka kontruktīvas elementu sadūrā ārējo spēku momentu līdzsvaro skrūvēm pielikto spēku iekšējais moments. Ja salaides elementi var brīvi pagriezties (6.9. att. *a*), iekšējo momentu  $M_b$  aprēķina pret asi caur skrūvju lauka centru, t. i.,

$$M_b = \sum F_i a_i, \quad (6.15)$$

kur  $F_i$  — spēks, kas darbojas uz *i*-to skrūvi;

$a_i$  — *i*-tās skrūves atstatums līdz skrūvju lauka centram.

Aprēķinos pieņem, ka liekto skrūvsavienojumu elementi deformējas atbilstoši plakano šķēlumu hipotēzei, un tādēļ spēki ir proporcionāli to atstatumiem līdz pagrieziena jeb skrūvju lauka centram. Apzīmējot ar  $F_1$  spēku, kas iedarbojas uz vistālāko skrūvi, un ar



6.9. att. Liekto skrūvsavienojumu iekšējo spēku sadalījuma shēmas:

*a* — salaides elements (uzliktnis) var brīvi pagriezties; *b* — sajūgto elementu pagriešanās ir ierobežota.

$a_1$  — tās atstatumu līdz pagrieziena centram, pārējos spēkus var izteikt šādi:

$$F_2 = F_1 a_2 / a_1; F_3 = F_1 a_3 / a_1 \text{ utt.}$$

Summējot iegūst

$$M_b = \Sigma F_i a_i = F_1 (a_1 + a_2^2 / a_1 + a_3^2 / a_1 + \dots).$$

Pieņemot iekšējo momentu  $M_b$  vienādu ar ārējo aprēķina momentu  $M$ , spēku, kas darbojas uz vistālāko un tādēļ visvairāk slogoto skrūvi, aprēķina pēc formulas

$$F_{\max} = F_1 = M a_1 / (a_1^2 + a_2^2 + \dots) = M a_1 / \Sigma a_i^2. \quad (6.16)$$

Skrūvsavienojuma stiprība ir pietiekama, ja  $F_{\max}$  nav lielāks par cirpes un virsmas spiedes spēkiem, kas aprēķināti pēc formulām (6.3) un (6.4).

Ja sajūgto elementu pagriešanās ir ierobežota (6.9. att. *b*), iekšējo momentu nosacīti aprēķina pret asi caur skrūvju malējo rindu. Apzīmējot ar  $y_i$  spēku atstatumus līdz šai asij, spēku visvairāk stieptajā skrūvē, analogiski iepriekšējam izklāstam, aprēķina pēc formulas

$$F_{t,\max} = F_1 = M y_1 / \Sigma y_i^2. \quad (6.17)$$

Šāda tipa skrūvsavienojumā spēkam  $F_{t,\max}$  jābūt ne lielākam par skrūves nestspēju, kuru aprēķina pēc formulas (6.14).

Liektos skrūvsavienojumos bez lieces momenta var darboties arī garens spēks  $N$  un šķērsspēks  $Q$ . Aprēķinot pieņem, ka šie spēki starp skrūvēm sadalās vienmēri:

$$F_N = N / n_b; \quad (6.18)$$

$$F_Q = Q / n_b, \quad (6.19)$$

kur  $F_N$  un  $F_Q$  — uz vienu skrūvi attiecināmā garens spēka  $N$  (šķērsspēka  $Q$ ) daļa.

Šādiem skrūvsavienojumiem skrūves cirpes un elementu virsmas spiedes spriegumus pārbauda pēc maksimālā rezultējošā spēka

$$F_{tot,\max} = \sqrt{(F_{1,x} + F_N)^2 + (F_{1,y} + F_Q)^2}, \quad (6.20)$$

kur  $F_{1,x}$  un  $F_{1,y}$  — spēka  $F_{\max} = F_1$ , kas aprēķināts pēc formulas (6.16), komponentes paralēli garens spēka un šķērsspēka virzienam (sk. 6.9. att. *a*).

## 6.6. MAINĪGI SLOGOTU SKRŪVSAVIENOJUMU DARBĪBA UN APRĒĶINS

Atkarībā no mainīgās slodzes rakstura izšķir vairākus skrūvsavienojuma darbības paveidus.

**Atkārtoti slogotu skrūvsavienojumu darbība.** Ja skrūvju spriegojums ir pietiekami liels un atkārtoti pieliktās slodzes nepārvar iekšējos berzes spēkus starp savienojamiem elementiem, skrūvsavieno-

jums saglabā savu monolitumu un tāpat kā pamatmetāls darbojas elastīgi. Tā darbojas skrūvsavienojumi ar lielas stiprības skrūvēm.

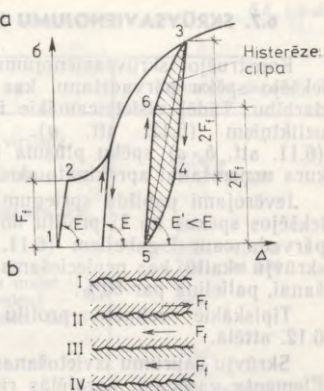
Mazspriegotos skrūvsavienojumos ar parastās stiprības skrūvēm iekšējie berzes spēki  $F_f$  nav lieli un tos drīz vien pārvar ārējie spēki. Ja šādus skrūvsavienojumus slogo pirmo reizi, tad tie darbojas elastīgi līdz berzes spēka  $F_f$  pārvarēšanai (6.10. attēlā *a* diagrammas posms 1—2), bet pēc berzes pārvarēšanas tie pāriet elastīgi plastiskā stadijā (posms 2—3). Atslogojot pēc plastisko deformāciju attīstīšanās, skrūvsavienojumi darbojas elastīgi (posms 3—4), kamēr atslogošanas bīdes spēks nepārsniedz dubultotu berzes spēku (bet ne  $F_f$ , kā slogojot), kas izskaidrojams ar sausās berzes īpatnībām (6.10. att. *b*). Pēc tam skrūvsavienojumu darbība pāriet elastīgi plastiskā stadijā līdz pat pilnīgai atslogošanai (posms 4—5).

Slogojot atkārtoti, skrūvsavienojumi darbojas elastīgi, kamēr bīdes spēks  $Q$  nepārsniedz dubultotu berzes spēku (posms 5—6). Tādējādi skrūvsavienojumu atkārtota slogošana divkārt paplašina elastīgās darbības diapazonu, kas savukārt ievērojami samazina skrūvsavienojumu deformēšanu.

Atkārtoti slogojot un atslogojot ar spēku  $Q > 2F_f$ , berzes spēki tiek pārvarēti un slogošanas-atslogošanas diagrammā izveidojas skrūvsavienojuma cikliskās darbības histerēzes cilpa (sk. 6.10. att. *a*). Ja fikse tikai histerēzes cilpas sākuma un beigu punktus, rodas iespaids, ka skrūvsavienojums darbojas elastīgi, bet tā reducētais elastības modulis  $E_1$  ir mazāks par materiāla elastības moduli  $E$ , t. i., skrūvsavienojums ir pakļāvīgāks nekā konstrukcijas materiāls.

Ar vibrāciju slodzēm slogotu skrūvsavienojumu darbība un aprēķins. Skrūvsavienojumos, kas slogoti ar vibrāciju slodzēm, lieto paaugstinātas precizitātes un lielas stiprības skrūves. Šādi skrūvsavienojumi darbojas elastīgi, jo iekšējo spēku izmaiņu lielums parasti ir mazāks par berzes spēkiem, un tādēļ savienojamie elementi nenobīdās.

Skrūvsavienojumu izturību, tāpat kā konstrukcijas elementu izturību, pārbauda ar metodi, kas aprakstīta 4.11. apakšnodaļā.



6.10. att. Ar atkārtotām slodzēm slogotu skrūvsavienojumu darbība:  
*a* — diagramma; *b* — divu lokšņu pārvietošanās shēma sausās berzes apstākļos.

## 6.7. SKRŪSAVĪENOJUMU KONSTRUEŠANA

Konstruējot skrūsavienojumus, jācenšas nodrošināt simetrisku iekšējo spēku pārvadišanu, kas uzlabo skrūvju un pamatmetāla darbību. Tādēļ visietecamākie ir skrūsavienojumi ar divpusējiem uzliktniem (6.11. att. *a*). Nesimetriskos skrūsavienojumos (6.11. att. *b*, *c*) spēku plūsma izliecas un rodas papildmoments, kura uzņemšanai aprēķināto skrūvju skaitu palielina par 10%.

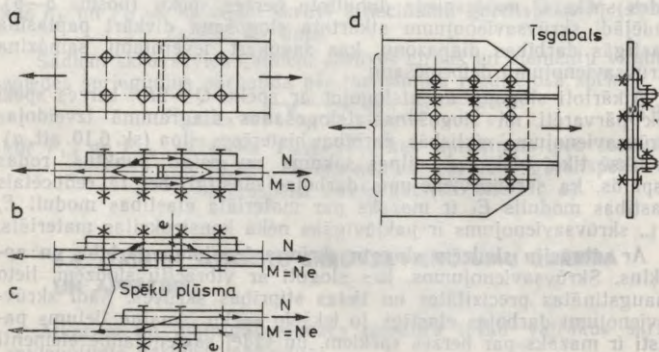
Ievērojami papildu spriegumi rodas skrūsavienojumos, kuros iekšējos spēkus no U profiļu un leņķprofilu izvirzītajiem plauktiem pārvada caur īsgabaliem (6.11. att. *d*). Šādos skrūsavienojumos skrūvju skaitu, kas nepieciešams īsgabala viena plaukta piestiprināšanai, palielina par 50%.

Tipiskākie velmēto profiļu skrūvsadursvienojumi parādīti 6.12. attēlā.

Skrūvju caurumu izvietojanas līnijas sauc par risēm (6.13. att.). Elementa garenasij paralēlās rīses sauc par garenrīsēm, perpendikulārās — par šķērsrīsēm. Garenrīšu izvietojums velmētiem dubult-T profiļiem, U profiļiem un leņķprofiliem ir normēts.

Atstatumu starp skrūvju centriem garenrīses virzienā sauc par skrūvju soli. Urbumus izvieto rindās (6.13. att. *a*) vai šahveidā (6.13. att. *b*). Izvietojot šahveidā, urbumu vietas blakus garenrīsēs nobīda par pussoli.

Parastās un lielas stiprības skrūves izvieto atbilstoši 6.8. tabuļas noteikumiem. Pie tam atstatumi starp skrūvēm jāpieņem samērojami ar 5 mm.



6.11. att. Skrūsavienojumu darbība:

*a* — simetriska spēku pārvadišana; *b* un *c* — nesimetriska spēku pārvadišana; *d* — spēku pārvadišana ar īsgabaliem.

## Skrūvju izvietošanas atstatumi

Atstatuma raksturojums	Atstatuma lielums
Atstatums starp skrūvju centriem jebkurā virzienā:	
a) minimālais	$2,5d_c^*$
b) maksimālais stieptu un spiestu neapmalotu elementu malējās rindās	$8d_c$ vai $12t$
c) maksimālais vidējās rindās un apmalotu elementu malējās rindās:	
stieptos skrūvsavienojumos	$16d_c$ vai $24t$
spiestos skrūvsavienojumos	$12d_c$ vai $18t$
Atstatums no skrūves centra līdz elementa malai:	
a) minimālais iekšējā spēka darbības virzienā	$2d_c$
b) minimālais perpendikulāri iekšējā spēka darbības virzienam:	
līdz nogrieztai elementa malai	$1,5d_c$
līdz velnētai elementa malai	$1,2d_c$
c) maksimālais	$4d_c$ vai $8t$
d) minimālais lielas stiprības skrūvēm (kuru spriegojumu regulē) līdz jebkurai malai un jebkurā virzienā pret iekšējo spēku	$1,3d_c$

\* Skrūvsavienojumos, kas izgatavoti no tēraudiem, kuru plūstamības robeža  $\sigma_{p1} > 380$  MPa, minimālais atstatums starp skrūvju centriem jāpieņem  $3d_c$ .

Tabulā pieņemtie apzīmējumi:

$d_c$  — skrūves urbuma diametrs;

$t$  — visplānākā ārējā elementa biezums.

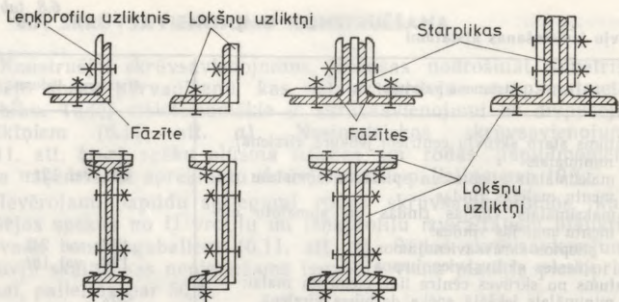
Piezīme. Skrūvsavienojumos, kas izgatavoti no tēraudiem, kuru plūstamības robeža  $\sigma_{p1} < 380$  MPa, atstatumu starp skrūvju centriem un no skrūves centra līdz elementa malai spēka darbības virzienā drīkst samazināt, ja aprēķinos lieto attiecīgus skrūvsavienojumu darbības apstākļu koeficientus (sk. 6.5. tab.).

Minimālie atstatumi noteikti, vadoties no skrūvju ievietošanas iespējām un pamatmetāla stiprības (lai neveidotos izrāvumi — sk. 6.5. att.), bet maksimālie atstatumi noteikti tā, lai posmā starp skrūvēm nodrošinātu savienojamo elementu noturību, kā arī skrūvsavienojuma ciešumu.

6.9. tabula

## Uzgriežņu atslēgu lietošanai nepieciešamie minimālie konstrukcijas izmēri, mm

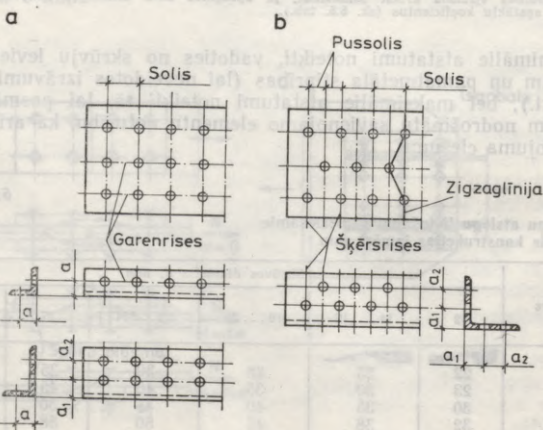
Izmērs	Skrūves diametrs $d$ , mm					
	12	14 ... 16	18 ... 20	22 ... 24	27	30
E	22	25	28	30	35	40
A	23	30	35	40	45	50
B	30	35	40	45	50	55
C	32	38	45	50	58	65
F	10	12	16	18	20	25
D	38	45	55	62	68	75



6.12. att. Velmēto profilu skrūvsadursavienojumi.








Lai samazinātu fasonlapu un uzliktņu metāla izlietojumu, darba skrūves izvieto minimālajos atstatumos, bet saistskrūves — maksimālajos atstatumos, tā samazinot urbumu un skrūvju skaitu.

Skrūvju atstatumus līdz izvīrtām detaļām vai konstrukcijas elementiem, kas var traucēt skrūvsavienojumu izgatavošanu vai montāžu (6.14. att.), nosaka, ievērojot uzgriežņu atslēgu gabaritizmērus. Šādu atstatumu minimālās vērtības dotas 6.9. tabulā.



6.13. att. Urbumu izvietojums:  
a — rindās; b — sahveidā.

## Urbumu un skrūvju nosacītie attēli

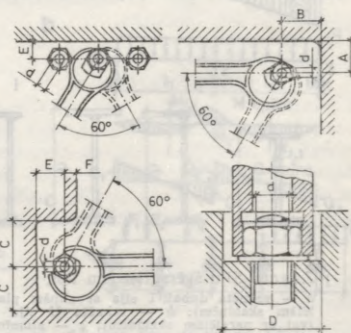
Urbuma vai skrūves veids	Nosacītais attēls	
	virsskatā (plānā)	sāniskatā (griezumā)
Urbums, ja rasējumā diametrs $d_c < 2$ mm	+	
Urbums, ja rasējumā diametrs $d_c > 2$ mm		
Pagaīdu skrūve		
Pastāvīga skrūve		
Lielas stiprības skrūve		
Paplāksne		—
Uzgrieznis		×

Vienskrūves savienojumos neatkarīgi no tērauda plūstamības robežas  $\sigma_{pl}$  lieto jebkuras (A, B vai C precizitātes klases, lielas stiprības) skrūves.

Daudzskrūvju savienojumos, ja  $\sigma_{pl} \leq 380$  MPa, galvenokārt lieto B un C precizitātes klases skrūves, kaut gan atļauts lietot arī A precizitātes klases un lielas stiprības skrūves. Skrūvsavienojumos no tēraudiem ar  $\sigma_{pl} > 380$  MPa lieto tikai lielas stiprības un A precizitātes klases skrūves.

Konstrukcijas elementa izgatavošanai parasti lieto viena diametra skrūves, bet visas būves elementiem — minimālu skaitu dažāda diametra skrūvju.

Lai novērstu skrūvju atskrūvēšanos, skrūvsavienojumos ar



6.14. att. Uzgriežņu atslēgu lietošanai nepieciešamie minimālie konstrukcijas izmēri.

A, B un C precizitātes klases skrūvēm lieto atsperaplāksnes vai pretuzgriežņus.

Metāla konstrukciju rasējumos urbumu un skrūvju attēlošanai lieto nosacītus attēlus (6.10. tab.).

## 7. nodaļa

### SIJAS UN SIJU KONSTRUKCIJAS

#### 7.1. SIJU TIPI

Metāla sijas plaši lieto rūpniecības un civilo ēku starpstāvu pārsegumos un darba laukumos, estakādēs, tiltu, slūžu un aizvaru konstrukcijās un citās būvēs. Siju konstruktīvā forma un izgatavošana ir vienkārša, to izmaksas ir mazas.

Sijas lieto galvenokārt 6...18 m lielu laidumu pārsegšanai, ja konstrukcijas liektiem elementiem jāuzņem lielas slodzes. Lielāku laidumu pārsegšanai un mazu slodžu uzņemšanai lieto kopnes, kuras, lai gan to izgatavošana ir darbietilpīgāka, ir ekonomiskākas par sijām, jo ievērojami mazāks ir metāla izlietojums.

Tehniski un ekonomiski pamatotos gadījumos sijas lieto arī 200 m un lielāku laidumu pārsegšanai, piemēram, tiltos.



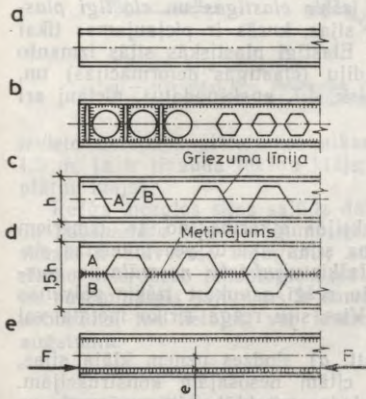
7.1. att. Siju šķēsgriezumu tipi:

a — velmēta dubulti-T sija ar slīpām plauktu iekšējām skaldnēm (vai ar paralēlām skaldnēm); b — velmēta U sija ar slīpām plauktu iekšējām skaldnēm (vai ar paralēlām skaldnēm); c — alumīnija presēta dubulti-T sija; d — alumīnija presēta U sija; e — liekta U sija; f — liekta C sija; g — liekta slīsvēda sija; h — velmēta platplauktu dubulti-T sija ar paralēlām plauktu skaldnēm; i — no platplauktu T profilēm un loksnes metināta sija; j — no loksņiem metināta simetriska sija; k — no loksņiem metināta nesimetriska sija; l — metināta divslēnu sija; m, n — skrūvētas sijas; 1 — sijas sienīņa; 2 — plauktu loksnes; 3 — plauktu lenķprofili.

Metāla konstrukcijās galvenokārt lieto dubult-T tipa sijas, retāk izmanto U tipa sijas u. c. Dubult-T tipa sijas ir visekonomiskākās pēc materiāla izlietojuma, jo šāda šķēluma liektiem elementiem pretestības momenta  $W$  un laukuma  $A$  attiecība ir ievērojami lielāka nekā cita veida šķēlumu (tainstūra, apļa u. c.) elementiem.

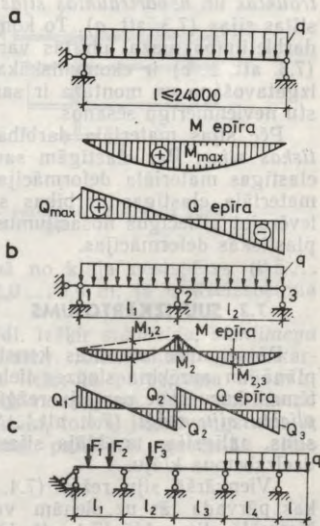
Pēc izgatavošanas veida tērauda sijas iedala *velmētās, liektās un saliktās sijās*, alumīnija sijas — *presētās un saliktās sijās*. Visvienkāršākās un vislētākās ir velmētās sijas (7.1. att. *a, b, h*), tādēļ tās lieto visbiežāk. Lielu slodžu uzņemšanai izgatavo saliktas sijas (7.1. att. *i, j, k, l, m, n*), jo velmēto profilu sortiments ir ierobežots. Arī presēto siju (7.1. att. *c, d*) lietošana ir nosacīta sortimenta dēļ.

Saliktās sijas pēc pirmelementu savienošanas paņēmiena iedala *metinātās* (7.1. att. *i, j, k, l*) un *skrūvētās* (7.1. att. *m, n*) sijās. Metinātās sijas izgatavo no velmētām loksņēm, tās sametinaot (7.1. att. *j, k, l*). Metināto siju izgatavošanai izmanto arī velmētus T profilus (7.1. att. *i*). Pēc šķērsriezuma simetrijas pret horizontālo asi izšķir *simetriskas* un *nesimetriskas sijas*. Ja slodzes darbojas tikai vertikālā plaknē, konstruē simetriskas sijas (7.1. att. *j*).



7.2. att. Siju tipi:

*a* — pilnsienas sija; *b* — perforēta sija, kural sienīņas loksne izveidoti caurumi; *c* un *d* — perforētas sijas, kuras izveidotas, sagriežot un sametinot velmētus profilus; *e* — ar savilci iepriekš saspraigta sija.



7.3. att. Siju statiskās shēmas:

*a* — pārtraukta, brīvi balstīta; *b* — nepārtraukta divlaidumu; *c* — nepārtraukta daudzlaidumu.

Nesimetriskas sijas (7.1. att. *k*) lieto, ja uz tām darbojas kā vertikālas, tā arī horizontālas slodzes. Dažreiz, ja slodzes nevar pielikt centriski, izgatavo metinātas divsienu sijas (7.1. att. *l*), kas labi pretojas vērpei.

Skrūvētas sijas (7.1. att. *m*, *n*) izgatavo no velmētām loksņēm un leņķprofilēm. Siju pirmelementus sastiprina ar lielas stiprības skrūvēm.

No liekiem profiliem izgatavotas sijas (7.1. att. *e*, *f*, *g*) izmanto mazslogotos pārsegumos, ja laidums nepārsniedz 6 m.

Pēc sienīņas izveidojuma izšķir *pilnsienas* (7.2. att. *a*) un *perforētas sijas*. Pēdējās izgatavo no loksņēm (7.2. att. *b*) vai arī no gareniski sagrieztiem velmētiem dubult-T profiliem (7.2. att. *c*, *d*). No velmētiem profiliem izgatavotu perforētu siju masa ir vienāda ar pirmprofilu masu, bet to nestspēja un stingums ir ievērojami lielāki. Tādēļ tās var izmantot lielāku slodžu uzņemšanai un laidumu pārsegšanai, ietaupot līdz 20...30% metāla.

Lielu laidumu pārsegšanai lieto iepriekš sasprīgtas sijas (7.2. att. *e*) un bimetāla sijas.

Atkarībā no statiskās shēmas metāla konstrukcijās izšķir *pārtrauktas* un *nepārtrauktas sijas*. Plašāk lieto pārtrauktas, brīvi balstītas sijas (7.3. att. *a*). To konstrukcija ir vienkārša, izgatavošanas darbietilpība maza, un tās var ērti samontēt. Nepārtrauktas sijas (7.3. att. *b*, *c*) ir ekonomiskākas materiāla izlietojuma ziņā, bet to izgatavošana un montāža ir sarežģītāka un tās ir jutīgas pret balstu nevienmērīgu sešanos.

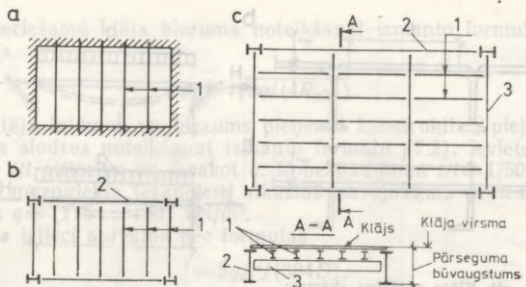
Pēc sijas materiāla darbības izšķir *elastīgas* un *elastīgi plastiskas sijas*. Par elastīgām sauc sijas, kurās ir pieļaujamas tikai elastīgas materiāla deformācijas. Elastīgi plastiskās sijās izmanto materiāla elastīgas darbības stadiju (elastīgās deformācijas) un, ievērojot attiecīgus nosacījumus (sk. 4.7. apakšnodaļu), pieļauj arī plastiskās deformācijas.

## 7.2. SIJU IZKĀRTOJUMS

Pārsegumos un citās konstrukcijās atkarībā no to izmēriem plānā un aprēķina slodzes lieluma sijas izkārto pēc noteiktas sistēmas, kuru sauc par siju režģi. Izšķir *vienkāršu*, *normālu* un *komplicētu siju režģi* (7.4. att.). Siju režģi savukārt izšķir galvenās sijas, paligsijas un klāja sijas. Virs siju režģa ierīko metāla vai dzelzsbetona klāju.

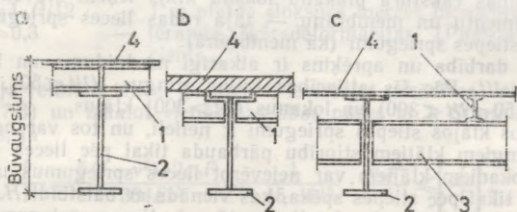
Vienkāršā siju režģī (7.4. att. *a*) slodzes uzņem klāja sijas, kas pārvada tās uz sienām vai citām nesošajām konstrukcijām. Normālā siju režģī (7.4. att. *b*) slodzes no klāja sijām pārvada uz galvenajām sijām, kuras savukārt slodzes nodod balstkonstrukcijām. Komplicētā siju režģī (7.4. att. *c*) klāja sijas balstās uz palīgsijām un palīgsijas savukārt balstās uz galvenajām sijām.

Galvenās sijas parasti izvieto lielākā laiduma virzienā un balsta uz kolonnām. Velmētas klāja sijas projektē 5...7 m garas un



7.4. att. Siju režģu tipi:

a — vienkāršs; b — normāls; c — komplicēts; 1 — klāja sijas; 2 — galvenās sijas; 3 — palīgsijas.



7.5. att. Siju sajūgumi:

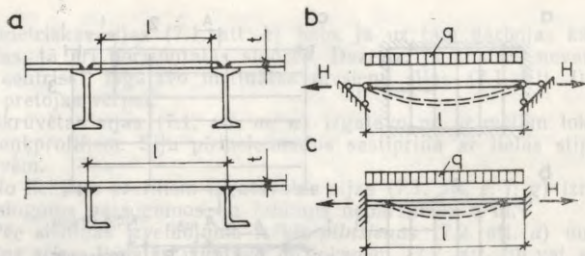
a — stāveida; b — vienlīmeņa; c — pazemināts; 1 — klāja sijas; 2 — galvenās sijas; 3 — palīgsijas; 4 — klājs.

izvietoti noteiktos atstatumos atkarībā no klāja nestspējas (0,5... 1,5 m, ja ir tērauda lokšņu klājs; 2,0... 3,0 m, ja ir dzelzsbetona plātņu klājs).

Režģa mezglos sijas sajūdz dažādi. Izšķir *stāveida*, *vienlīmeņa* un *pazeminātu* siju sajūgumu (7.5. att.). Konstruktīvi visvienkāršākais ir stāveida sajūgums, kuru lieto, ja pārseguma būvaugstumu neierobežo tehnoloģiski vai citi nosacījumi. Siju vienlīmeņa un pazeminātais sajūgums ir sarežģītāki, toties, ja būvaugstums ir ierobežots, tos lietojot, var ievērojami palielināt galvenās sijas augstumu.

### 7.3. SIJU REŽĢU KLĀJI

Klāja konstrukciju izvēlas, ievērojot pārseguma uzdevumu un konstruktīvo risinājumu. Klāja nesošos elementus projektē no plakanām tērauda loksnēm vai dzelzsbetona plātnēm.



7.6. att. Klāja aprēķina shēmas:

a — konstruktīvie risinājumi; b — šarnīrklāja aprēķina shēma; c — iespīlētā klāja aprēķina shēma.

Klāja tērauda loksnes parasti piemetina pie sijām (7.6. att. a). Pēc darbības rakstura plakānu lokšņu klājs ieņem stāvokli starp liektu elementu un membrānu — tajā rodas lieces spriegumi (kā sijā) un stiepes spriegumi (kā membrānā).

Klāja darbība un aprēķins ir atkarīgi no laiduma un biezuma attiecības  $l/t$ . Pēc šīs attiecības izšķir stingus ( $l/t < 50$ ), lokānus ( $50 < l/t < 300$ ) un lokānus ( $l/t > 300$ ) klājus.

Stingos klājos stiepes spriegumi ir nelieli, un tos var neievērot. Tādēļ stingiem klājiem stiprību pārbauda tikai pēc lieces spriegumiem. Lokāniem klājiem var neievērot lieces spriegumus un klāju aprēķina tikai pēc stiepes spēka, kas vienāds ar balstbīdi  $H$ . Lokāni stingiem klājiem jāievēro kā lieces, tā arī stiepes spriegumi.

Būvkonstrukcijās lieto stingus un galvenokārt lokānus stingus klājus. Lokānus klājus lieto reti.

Klāja spriegumi ir atkarīgi arī no balstījuma konstruktīvā risinājuma. Pēc balstījuma veida izšķir šarnīrklājus (7.6. att. b) un iespīlētus klājus (7.6. att. c). Stingiem klājiem izvēlas šarnīrveida vai iespīlētu balstījumu. Lokāni stingiem klājiem iespīlētu balstījumu ir grūti nodrošināt, tādēļ tos aprēķina kā lokānus šarnīrklājus.

Klājiem aprēķina stiprību un stingumu. Plāniem klājiem noteicošais ir stinguma aprēķins.

**Stinga šarnīrklāja aprēķins.** Stingu šarnīrklāju aprēķina kā siju, kuru nosacīti pieņem 1 m platu.

Aprēķina lieces moments  $M = ql^2/8$ , kur  $q$  — 1 m platas klāja sloksnes aprēķina slodze;  $l$  — klāja aprēķina garums (7.6. att.).

Sloksnes lieces pretestības moments  $W = 1 \cdot t^2/6$ , kur  $t$  — klāja biezums.

Klāja stiprība ir nodrošināta, ja

$$\sigma = M/W = (ql^2/8)/(t^2/6) = 3ql^2/(4t^2) \leq R_y \gamma_c, \quad (7.1)$$

kur  $\sigma$  — normālspriegums;

$R_y$  — klāja loksnes aprēķina pretestība.

Nepieciešamā klāja biezuma noteikšanai izmanto formulu (7.1), no kuras

$$t_{cat} = l\sqrt{3q/(4R_y\gamma_c)}. \quad (7.2)$$

Ja klāja laidums un biezums pieņemti konstruktīvi, pieļaujamās aprēķina slodzes noteikšanai izmanto formulu (7.2), ievietojot tajā faktisko  $t/l$  attiecību un izsakot  $q$ . Robežgadījumā  $t/l=1/50$  un klājiem no mazoglekļa tēraudiem atkarībā no aprēķina pretestības  $R_y$  vērtības  $q=(115\dots140)$  kN/m<sup>2</sup>.

Klāja izlieci aprēķina pēc formulas

$$\overset{\sim}{f} = 5q_n l^4 / (384D), \quad (7.3)$$

kur  $\overset{\sim}{f}$  — maksimālā izliece, m;

$q_n$  — 1 m platas klāja sloksnes normatīvā slodze, N/m;

$D$  — plāksnes cilindriskais stingums;  $D=EI/(1-\nu^2)$ ,

kur  $E=2,06 \cdot 10^{11}$  — tērauda elastības modulis, Pa;

$I=1 \cdot t^3/12$  — 1 m platas sloksnes inerces moments, m<sup>4</sup>;

$\nu=0,3$  — tērauda šķērsdeformācijas (Puasona) koeficients.

Klāja relatīvo izlieci  $\overset{\sim}{f}/l$  iegūst, ievietojot uzrādītos lielumus formulā (7.3) un izdalot vienādības abas puses ar  $l$ . Stingums ir pietiekams, ja

$$\frac{\overset{\sim}{f}}{l} = \frac{5(1-\nu^2)12q_n l^3}{384Et^3} = \frac{1}{1,45 \cdot 10^{12}} \cdot \frac{q_n l^3}{t^3} \leq \left[ \frac{\overset{\sim}{f}}{l} \right], \quad (7.4)$$

kur  $[\overset{\sim}{f}/l]$  — relatīvā robežizliece (sk. pielikumu 7. tab.).

Normatīvās slodzes  $q_n$  noteikšanai pēc relatīvās robežizlieces izmanto formulu (7.4), ievietojot tajā faktisko attiecību  $l/t$  un relatīvo robežizlieci  $[\overset{\sim}{f}/l]$ .

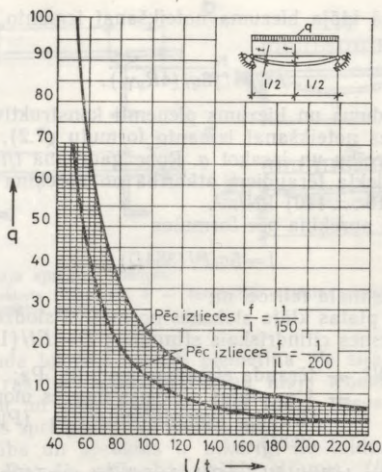
**Stinga iespīlēta klāja aprēķins.** Iespīlētai sijai  $M=ql^2/12$  un  $\overset{\sim}{f}=q_n l^4/(384D)$ . Pārveidojot šīs formulas līdzīgi kā šarnīrklāja aprēķinā, iegūst, ka nepieciešamais klāja biezums

$$t_{cat} = l\sqrt{q/(2R_y\gamma_c)}. \quad (7.5)$$

Klāja stingums ir pietiekams, ja

$$\frac{\overset{\sim}{f}}{l} = \frac{1}{7,25 \cdot 10^{12}} \cdot \frac{q_n l^3}{t^3} \leq \left[ \frac{\overset{\sim}{f}}{l} \right]. \quad (7.6)$$

**Lokani stinga ( $50 < l/t < 300$ ) šarnīrklāja aprēķins.** Šāda klāja aprēķins ir ievērojami komplicētāks nekā stinga klāja aprēķins. Praktiskos aprēķinos klāja biezuma noteikšanai izmanto speciālus grafikus, pēc kuriem atkarībā no normatīvās slodzes  $q_n$ , kN/m<sup>2</sup>, var noteikt nepieciešamo klāja laiduma un biezuma attiecību  $l/t$ . Klājiem ar relatīvo izlieci  $\overset{\sim}{f}/l=1/200$  un  $\overset{\sim}{f}/l=1/150$  attiecīgie grafiki doti 7.7. attēlā.



7.7. att. No plakanām tērauda loksnēm izgatavota šarnīrkāja robežslodzes.

Nepieciešamo klāja laiduma un biezuma attiecību  $l/t$  var aprēķināt arī pēc šādas empiriskas formulas:

$$\frac{l}{t} = 0,266 (l/f) \left( 1 + \frac{1,66 \cdot 10^{10}}{q_n (l/f)^4} \right), \quad (7.7)$$

kur  $q_n$  — normatīvā slodze,  $\text{kN/m}^2$ .

Konstruktīvu apsvērumu dēļ tērauda lokšņu klājus pieņem vismaz 6 mm biezus.

## 7.4. VELMĒTAS SIJAS

### 7.4.1. ŠĶERSGRIEZUMA IZVĒLE

Velmētām sijām galvenokārt lieto dubult-T profilus, retāk U profilus, kas labāk darbojas greizā liecē. Pieņemot profila numuru, izmanto statiskā aprēķina rezultātus (7.8. att.). Izraudzītā profila šķersgriezumam jāatbilst stiprības, noturības un stinguma prasībām.

Ja izpildās attiecīgie nosacījumi (sk. 4.7. apakšnodaļu), projektē elastīgi plastiskas sijas, jo to nestspēja ir lielāka nekā sijām, kurās izmanto tikai materiāla elastīgas darbības stadiju. Parasti velmētā

profila numuru izraugās pēc nepieciešamā pretestības momenta  $W_{cat}$ . Elastīgām sijām

$$W_{cat} = M / (R_y \gamma_c), \quad (7.8)$$

kur  $R_y$  — velmēta tērauda profila aprēķina pretestība (sk. pielikumu I. tab.).

Pieļaujot elastīgi plastiskas deformācijas,

$$W_{cat} = M / (c_1 R_y \gamma_c), \quad (7.9)$$

kur  $c_1$  — koeficients, ar kuru ievērtē plastisko deformāciju pieļaujamības pakāpi.

Dubult-T profiliem pēc ГOCT 8239—72 un ГOCT 26020—83, izliecoties sienīņas plaknē,  $c_1 = 1,08 \dots 1,12$ . Iepriekšējos aprēķinos pieņem: šķērslicē —  $c_1 = 1,10$ , tirā licē —  $c_1 = 1,05$ .

Pēc tam no sortimenta izraugās profilu, kura faktiskais pretestības moments  $W$  ir vienāds vai lielāks par nepieciešamo pretestības momentu  $W_{cat}$ , un pārbauda sijas stiprību, vispārējo noturību un stingumu.

#### 7.4.2. STIPRĪBAS PĀRBAUDE

Siju stiprība pēc normālsprīegumiem ir nodrošināta, ja materiāla darbības elastīgajā stadijā

$$\sigma = M / W \leq R_y \gamma_c; \quad (7.10)$$

ja elastīgi plastiskajā stadijā

$$\sigma = M / (c_1 W) \leq R_y \gamma_c, \quad (7.11)$$

kur  $W$  — pieņemtā profila pretestības moments (ja šķērsgrīezums ir vājināts, aprēķinos jālieto pretestības momenta neto vērtība  $W_n$ );

$c_1$  — koeficients, kuru aprēķina pēc formulas (4.32) vai (4.33).

Tirās lieses gadījumā formulā (7.11) lieto koeficientu  $c_{1m} = 0,5(1+c)$ , kur koeficientu  $c$  pieņem pēc pielikumu 10. tabulas.

Sienīņas tangenciālos sprīegumus, izņemot tālāk norādītajiem balsta šķērsgrīezumiem, pārbauda pēc formulas

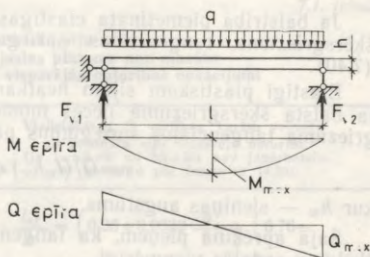
$$\tau = QS / (I t_w) \leq R_s \gamma_c, \quad (7.12)$$

kur  $S$  — šķērsgrīezuma puslaukuma statiskais moments pret neitrālo asi;

$I$  — šķērsgrīezuma inerces moments;

$t_w$  — sienīņas biezums;

$R_s$  — bīdes aprēķina pretestība.



7.8. att. Pārtrauktas sijas aprēķina shēma.

Ja balstribā piemētināta elastīgas sijas galā, apskatāmā balsta šķērsriezuma tangenciālos spriegumus pārbauda pēc formulas (7.40).

Elastīgi plastiskām sijām neatkarīgi no balstribas izvietojuma, ja balsta šķērsgriezumā lieces moments  $M=0$ , apskatāmā šķērsriezuma tangenciālos spriegumus pārbauda pēc formulas

$$\tau = Q / (t_w h_w) \leq R_{sv}, \quad (7.13)$$

kur  $h_w$  — sienīņas augstums.

Sajā aprēķinā pieņem, ka tangenciālie spriegumi pa sienīņas šķēlumu sadalās vienmērīgi.

Ja sijas sienīņā ir skrūvju urbumi, tad pēc formulām (7.12), (7.13) un (7.40) aprēķinātā  $\tau$  vērtība jāreizina ar koeficientu

$$\alpha = a / (a - d_c), \quad (7.14)$$

kur  $a$  — urbumu solis;

$d_c$  — urbuma diametrs.

Stiprības aprēķins pēc reducētiem spriegumiem velmētām sijām parasti nav noteicošais. Ja nepieciešams, elastīgām sijām pārbaudi var izdarīt pēc formulas (7.41).

#### 7.4.3. NOTURĪBAS PĀRBAUDE

Ja spiestā josla horizontālā plaknē nav pietiekami nostiprināta, sija var sagriezties un zaudēt noturību. Lai to novērstu, joslu nostiprina ar stingu klāju, saitēm vai citiem konstrukcijas elementiem.

Stingu klāju (dzelzsbetona plātnes, plakanas vai profilētas metāla loksnes u. tml.) parasti balsta uz sijas spiestās joslas un nostiprina pie tās pēc aprēķina. Neatkarīgi no sijas šķērsriezuma formas, slogošanas veida un materiāla darbības stadijas šādi nostiprinātu siju sagriešanās nav iespējama.

Stingā, nepārtrauktā klāja lietošana ir vienīgais paņēmieni elastīgi plastisku siju vispārējās noturības nodrošināšanai, ja siju spiestā josla ir šaurāka par stiepto joslu.

Velmētu, saliktu metinātu un skrūvētu siju vispārējo noturību nodrošina arī 7.1. tabulas nosacījumu piemērošana. Tie piemērojami elastīgām un elastīgi plastiskām dubult-T profila sijām, kuras ir simetriskas vai arī to spiestā josla ir platāka par stiepto joslu un kuru spiestā josla atstatumos  $l_{ef}$  ir nostiprināta ar saitēm vai citiem konstrukcijas elementiem pēc aprēķina.

Elastīgi plastisku siju vispārējo noturību nodrošina tikai pēc stingā klāja paņēmiena vai arī ievērojot 7.1. tabulas nosacījumus. Elastīgām sijām 7.1. tabulas nosacījumus drīkst neievērot, bet tad vispārējā noturība jāpārbauda ar aprēķinu pēc formulas (4.36):

$$\sigma = M / (\varphi_b W_c) \leq R_{sv}.$$

Dubult-T profila simetrisku un nesimetrisku siju  
ar plātāku spiesto joslu (ja stieptās joslas platums nav mazāks  
par 0,75 no spiestās joslas platuma) vispārējās noturības nosacījumi

Slodzes pielikšanas vieta	Vislielākās $l_{ef}/b$ vērtības, kurām velmētu un metinātu siju vispārējā noturība (ja $1 < h/b < 6$ un $b/t < 35$ ) nav jāpārbauda ar aprēķinu pēc formulas (4.36)
Pie augšējās joslas	$\frac{l_{ef}}{b} = \left( 0,35 + 0,0032 \frac{b}{t} + \left( 0,76 - 0,02 \frac{b}{t} \right) \frac{b}{h} \right) \sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (7.15)$
Pie apakšējās joslas	$\frac{l_{ef}}{b} = \left( 0,57 + 0,0032 \frac{b}{t} + \left( 0,92 - 0,02 \frac{b}{t} \right) \frac{b}{h} \right) \sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (7.16)$
Jebkurā vietā pa sijas augstumu, ja sija pakļauta tīrai liecei vai aprēķina starp saitēm izvietotu sijas posmu	$\frac{l_{ef}}{b} = \left( 0,41 + 0,0032 \frac{b}{t} + \left( 0,73 - 0,016 \frac{b}{t} \right) \frac{b}{h} \right) \sqrt{\frac{E}{R_y}} \quad (7.17)$

Tabulā pieņemtie apzīmējumi:

- $l_{ef}$  — sijas aprēķina garums;  
 $b$  un  $t$  — atbilstoši spiestā plaukta platums un biezums;  
 $h$  — atstatums (augstums) starp plauktu lokšņu asīm.

Piezīmes. 1. Sijām, kurām plaukti piestiprināti ar lielas stiprības skrūvēm, pēc formulām (7.15), (7.16) un (7.17) aprēķinātā  $l_{ef}/b$  vērtība jāreizina ar 1,2.

2. Sijām, kurām  $b/t < 15$ , formulās (7.15), (7.16) un (7.17) jāpieņem  $b/t = 15$ .

3. Elastīgi plastiskām sijām pēc formulām (7.15), (7.16) un (7.17) aprēķinātā  $l_{ef}/b$  vērtība jāreizina ar koeficientu  $\delta = 1 - 0,7(c_1 - 1)/(c - 1)$ , kur  $1 < c_1 < c$ . Koeficientu  $c_1$  aprēķina pēc formulas (4.32) vai (4.33), koeficientu  $c$  pieņem pēc pielikumu 10. tabulas.

Kā 7.1. tabulā, tā arī aprēķinot koeficientu  $\phi_b$ , par sijas aprēķina garumu  $l_{ef}$  pieņem atstatumu starp spiestās joslas nostiprinājumu punktiem (balstiem, saišu mezgliem, stinga klāja stiprinājuma vietām).

Sijas spiestās joslas horizontālo nostiprinājumu aprēķina pēc faktiskā šķērsspēka vai nosacītā šķērsspēka (ja nosacītais šķērsspēks ir lielāks).

Ja sija nostiprināta atsevišķās vietās (punktos), nosacīto šķērsspēku  $Q_{fic}$  aprēķina pēc formulas (8.3), kurā koeficientu  $\phi$  pieņem

pēc lokanuma  $\lambda = l_{ef}/i$  (šeit  $i$  — spiestās joslas inerces rādiuss pret vertikālo asi), bet garenspekku aprēķina pēc formulas

$$N = (A_f + 0,25A_w) R_y, \quad (7.18)$$

kur  $A_f$  un  $A_w$  — attiecīgi spiestā plaukta un sienīņas šķērsriezuma laukums.

Ja josla nostiprināta nepārtraukti, nostiprinājumu aprēķina pēc nosacīta šķērsspēka uz sijas garuma vienību, t. i.,

$$q_{fic} = 3Q_{fic}/l, \quad (7.19)$$

kur  $Q_{fic}$  — nosacītais šķērsspēks, kas aprēķināts pēc formulas (8.3), ievietojot  $\varphi = 1$  un  $N$  pēc formulas (7.18).

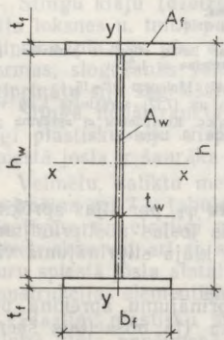
#### 7.4.4. STINGUMA PĀRBAUDE

Siju izlieci  $f$  aprēķina pēc būvmehānikas likumiem, izmantojot normatīvās slodzes.

Siju stingumu pārbauda pēc formulas (4.18). Pārtrauktu siju stingumu ar precizitāti, kas derīga praktiskiem aprēķiniem, pārbauda pēc formulas

$$f/l = M_n l / (10EI) \leq [f/l], \quad (7.20)$$

kur  $M_n$  — lielākais normatīvais lieces moments;  
 $[f/l]$  — relatīvā robežizliece (sk. pielikumu 7. tab.).



7.9. att. Saliktas, metinātas, simetriskas sijas šķērsriezums.

### 7.5. SALIKTAS SIJAS

#### 7.5.1. SIMETRISKU SIJU OPTIMĀLĀ AUGSTUMA UN SIENĪNAS BIEZUMA NOTEIKŠANA

Sijas augstums  $h$  un sienīņas biezums  $t_w$  (7.9. att.) ir galvenie šķērsriezuma parametri. To pareiza izvēle nodrošina nepieciešamo sijas stiprību un stingumu, izlietojot minimālu materiāla daudzumu.

Sijas šķērsriezuma projektēšanu sāk ar augstuma aprēķinu.

Sijas šķērsriezuma augstuma aprēķins pēc stinguma nosacījuma. Pēc stinguma nosacījuma aprēķina sijas šķērsriezuma minimālo augstumu  $h_{min}$ , kas nepieciešams, lai sijas faktiskās izlieces nepārsniegtu normatīvo vērtību.

Pārtrauktu siju minimālā augstuma noteikšanai var izmantot formulu (7.20),

ievietojot tajā  $I = Wh/2$  un ievērojot, ka, pilnīgi izmantojot materiālu,  $W = M/R_y \gamma_c$ . Tādējādi iegūst

$$\frac{f}{l} = \frac{M_n l}{5EWh} = \frac{IR_y \gamma_c}{5Eh} \cdot \frac{M_n}{M} \approx \frac{IR_y \gamma_c}{10^{12} h} \cdot \frac{M_n}{M} \leq \left[ \frac{f}{l} \right].$$

Šeit  $R_y$  un  $E$  ir izteikti paskālos (Pa).

No šīs izteiksmes, pieņemot relatīvo robežizlieci (pēc pielikumu 7. tabulas), var izteikt sijas šķērsriezuma minimālo augstumu, m:

$$h_{\min} = \frac{IR_y \gamma_c}{10^{12} [f/l]} \cdot \frac{M_n}{M}, \quad (7.21)$$

kur  $l$  — sijas laidums, m.

Normatīvā lieces momenta un aprēķina lieces momenta attiecība ir atkarīga no slodzes rakstura un mainās robežās no 0,7 līdz 0,9. Iepriekšējos aprēķinos var pieņemt  $M_n/M = 0,8$ .

**Sijas šķērsriezuma augstuma aprēķins pēc materiāla minimālā izlietojuma nosacījuma.** Sijas lieces pretestības moments ir atkarīgs no šķērsriezuma laukuma sadalījuma pa sienīņu un plauktiem un no šķērsriezuma augstuma. Visizdevīgākais ir tāds šķērsriezuma augstums, atbilstoši kuram nepieciešamo pretestības momentu  $W_{cat} = M/R_y \gamma_c$  dod minimāls sijas šķērsriezuma laukums, respektīvi, minimāls materiāla izlietojums. Šo augstumu pieņemts saukt par sijas šķērsriezuma optimālo augstumu  $h_{opt}$ .

Lai aprēķinātu simetriskas dubult-T sijas (7.9. att.) optimālo augstumu, lietosim šādus jēdzienus un apzīmējumus: sienīņas augstuma un biežuma attiecību

$$k_w = h_w/t_w, \quad (7.22)$$

ko pieņemts saukt par sienīņas lokanumu, un sijas šķērsriezuma materiāla sadalījuma koeficientu

$$\alpha = A_w/A = h_w t_w/A, \quad (7.23)$$

kur  $A$  — dubult-T sijas šķērsriezuma laukums.

Viena plaukta šķērsriezuma laukums

$$A_f = (A - h_w t_w)/2. \quad (7.24)$$

Nievērojot necīgā lieluma dēļ plauktu šķērsriezuma laukumu inerces momentus pret to pašasīm un pieņemot, ka sienīņas augstums, sijas augstums un atstatums starp plauktu smagumcentriem ir vienāds, pretestības momentu pietiekami precīzi var aprēķināt pēc formulas

$$W = \left( 2A_f (h/2)^2 + \frac{t_w h^3}{12} \right) / (h/2) = A_f h + t_w h^2/6. \quad (7.25)$$

Ievietojot pēc formulas (7.24) izteikto  $A_f$  vērtību izteiksmē (7.25) un ievērojot pieņēmumu par sijas un sienīņas augstumiem, iegūst

$$W = Ah/2 - t_w h^2/3. \quad (7.26)$$

No izteiksmes (7.22) izriet, ka sienīgas biezums  $t_w = h/k_w$ . Ievietojot to formulā (7.26) un pārveidojot šo formulu, iegūst sijas šķērsgriezuma laukuma izteiksmi atkarībā no pretestības momenta, sijas augstuma un sienīgas lokanuma, t. i.,

$$A = \frac{2W}{h} + \frac{2h^2}{3k_w}. \quad (7.27)$$

Sijas optimālo augstumu (ja sienīgas lokanums  $k_w$  ir pieņemts un nemainās) atrod, atvasinot izteiksmi (7.27) pēc augstuma  $h$  un pielīdzinot pirmo atvasinājumu nullei:

$$\frac{dA}{dh} = -\frac{2W}{h^2} + \frac{4h}{3k_w} = 0,$$

no kurienes

$$h_{\text{opt}} = \sqrt[3]{\frac{3}{2} k_w W_{\text{cat}}}. \quad (7.28)$$

Materiāla sadalījumu pa simetriskas dubult-T sijas šķērsgriezumu var noteikt šādi. No formulas (7.23) izsaka  $A_w = h_w t_w = \alpha A$ . Ievietojot  $A_w$  izteiksmi formulā (7.26) un pieņemot  $h_w = h$ , iegūst

$$W = Ah/2 - t_w h^2/3 = Ah(1/2 - \alpha/3).$$

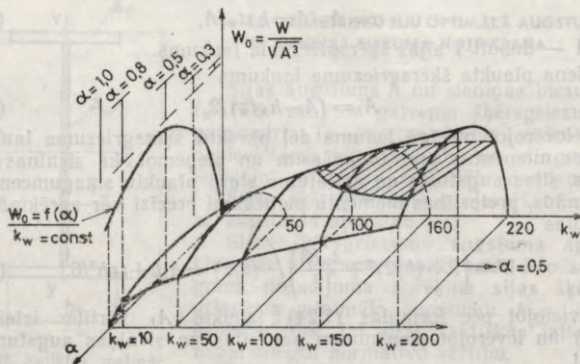
Tā kā  $h \approx k_w t_w$  jeb  $h^2 \approx k_w t_w h \approx k_w \alpha A$ , tad

$$W = A \sqrt{k_w \alpha A} (1/2 - \alpha/3) = \sqrt{A^3} \sqrt{k_w \alpha} (1/2 - \alpha/3) = W_0 \sqrt{A^3}, \quad (7.29)$$

kur

$$W_0 = \sqrt{k_w \alpha} (1/2 - \alpha/3) = W/\sqrt{A^3}. \quad (7.30)$$

Ipatnējais pretestības moments  $W_0$  ir atkarīgs no  $k_w$  un  $\alpha$ . Tas ir bezdimensijas lielums un raksturo šķērsgriezuma izdevīgumu.



7.10. att. Ipatnējā lieses pretestības momenta liknes.

7.10. attēlā īpatnējais pretestības moments  $W_0$  parādīts kā sienīgas lokanuma  $k_w$  un materiāla sadalījuma koeficienta  $\alpha$  funkcija. Kā redzams, katrai sienīgas lokanuma vērtībai atbilst  $W_0$  vērtības relatīvs maksimums.

Atvasinot izteiksmi (7.30) pēc koeficienta  $\alpha$  un pielīdzinot pirmo atvasinājumu nullei, iegūst

$$\frac{dW_0}{d\alpha} = \sqrt{k_w} \left( \frac{1}{4\sqrt{\alpha}} - \frac{\sqrt{\alpha}}{2} \right) = 0,$$

no kurienes  $\alpha = 0,5$ .

Secinājums. Simetriskās dubult-T sijās, kuru augstums  $h$  ir vienāds ar optimālo augstumu, kas aprēķināts pēc formulas (7.28) ( $k_w = \text{const}$ ), materiāls pa plauktiem un sienīgu sadalās vienādās daļās. Katra novirze no  $\alpha = 0,5$  samazina īpatnējo pretestības momentu  $W_0$  (7.10. att.) un palielina nepieciešamo sijas šķērsgriezuma laukumu  $A_{cal}$  (formula (7.29)).

Palielinot sienīgas lokanumu  $k_w = h_w/t_w$  ( $\alpha = \text{const}$ ), nepieciešamais sijas šķērsgriezuma laukums  $A_{cal}$  samazinās. Tādēļ lokanumu pieņem pēc iespējas lielāku — cik lielu pieļauj sienīgas noturība.

Projektējot sijas, sienīgas biezumu aprēķina pēc formulas

$$t_w = 7 + 3h, \quad (7.31)$$

kur  $t_w$  — sienīgas biezums, mm;

$h$  — sijas augstums, m.

Sajā aprēķinā pieņem  $h = (1/8 \dots 1/12)l$ , kur  $l$  — sijas laidums, m. Sienīgas lokanumu var pieņemt arī pēc 7.2. tabulas, kas sastādīta, izmantojot projektēšanas prakses datus. Šajā tabulā uzrādīti arī sienīgu biezumi, kurus visvairāk lieto attiecīgā garuma sijām.

Sienīgas biezums jāizvēlas pārdomāti, jo pēc tā pieņemšanas sijas optimālā augstuma aprēķins kļūst viennozīmīgs. Par to var pārliecināties, ievietojot formulā (7.28)  $k_w = h/t_w$ . Iegūst izteiksmi, kurā optimālais augstums izteikts atkarībā no sienīgas biezuma

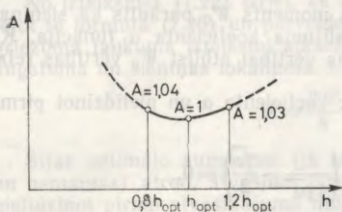
$$h_{opt} = 1,23 \sqrt{W_{cal}/t_w}. \quad (7.32)$$

Sijām, kuras slogotas ar lielām slodzēm, sienīgas biezums, kas aprēķināts pēc formulas (7.31) vai arī pieņemts pēc 7.2. tabulas,

7.2. tabula

Siju sienīgas lokanuma  $k_w$  un biezuma  $t_w$  praktiskās vērtības

Sijas laidums $l$ , m	6	12	18	24	30	36	42
$k_w$	80...100	100...140	110...150	130...170	150...180	160...200	200
$t_w$ , mm	6...8	8...12	12...16	14...18	16...20	18...22	22



7.11. att. Sijas šķērsgriezuma laukuma un augstuma sakarība.

Izmanto, ja balstribu paredz piemērināt elastīgas sijas galā (7.29. att. a, b). Projektējot pārējo siju sieniņas, lieto formulu (7.34). Izmainot sijas optimālo augstumu ( $k_w = \text{const}$ ) līdz 20% (sk. formulas (7.27) un (7.28)), sijas šķērsgriezuma laukums mainās ne vairāk par 5% (7.11. att.). Tādēļ, lai vienkāršotu siju konstrukciju, samazinātu stinguma ribu masu un metināšanas darbu apjomu, pieņem

$$h_{\text{opt}} = 1,1\sqrt{W_{\text{cat}}/t_w} \quad (7.35)$$

Sijām, kurām pēc formulas (7.28) vai (7.32) aprēķinātais optimālais augstums iznāk mazāks par minimālo augstumu ( $h_{\text{opt}} < h_{\text{min}}$ ), izdevīgāks ir citāds materiāla sadalījums ( $\alpha \neq 0,5$ ). Tām visizdevīgākais ir šķērsgriezums, kuram atbilstoši minimālais laukums dod inerces momentu, kas nepieciešams, lai faktiskās izlieces nepārsniegtu normatīvo vērtību  $[f/l] = 1/n_0$ .

Nepieciešamo inerces momentu var izteikt no formulas (7.20):  $I_{\text{cat}} = M_n l n_0 / (10E)$ .

Izsakot inerces momentu analogiski vienādībām (7.25) un (7.26) un šķērsgriezuma laukumu analogiski formulai (7.27), atvasinot pēc augstuma un pielīdzinot pirmo atvasinājumu nullei, iegūst

$$\frac{dA}{dh} = -\frac{8I_{\text{cat}}}{h^3} + \frac{4h}{3k_w} = 0,$$

no kurienes

$$h_{\text{opt}} = \sqrt[4]{6I_{\text{cat}}k_w} = \sqrt[3]{3W_{\text{cat}}k_w} = 1,73\sqrt{W_{\text{cat}}/t_w} \quad (7.36)$$

Analogiski vienādībām (7.29) un (7.30) inerces momentu var izteikt ar īpatnējo (bezdimensijas) inerces momentu:  $I = I_0 A^2$ , kur  $I_0 = k_w \alpha (1/4 - \alpha/6)$ . Atvasinot pēc  $\alpha$  un pielīdzinot nullei ( $dI_0/d\alpha = 0$ ), iegūst  $\alpha = 3/4$  un  $A_w = 3A/4$ .

Sijām, kurām augstums pieņemts konstruktīvi, materiāla sadalījuma koeficientu aprēķina pēc formulas

$$\alpha = \frac{h^2}{k_w A} = \frac{3}{2\left(1 + \frac{3W_{\text{cat}}k_w}{h^3}\right)} \quad (7.37)$$

var izrādīties nepietiekams, pārbaudot stiprību pēc tangenciāliem spriegumiem. Tādēļ, aprēķinot sijas optimālo augstumu, sieniņas biezumu precīzē pēc šķērsspēka:

$$t_{w,\text{min}} \geq \frac{3}{2} \frac{Q}{hR_s\gamma_c} \quad (7.33)$$

vai

$$t_{w,\text{min}} \geq 1,2Q/(hR_s\gamma_c) \quad (7.34)$$

Formula (7.33) ir iegūta, pieņemot, ka šķērsspēku uzņem tikai sijas sieniņa. To

ņem tikai sijas sieniņa. To

ņem tikai sijas sieniņa. To

ņem tikai sijas sieniņa. To

ņem tikai sijas sieniņa. To

ņem tikai sijas sieniņa. To

ņem tikai sijas sieniņa. To

ņem tikai sijas sieniņa. To

ņem tikai sijas sieniņa. To

ņem tikai sijas sieniņa. To

ņem tikai sijas sieniņa. To

ņem tikai sijas sieniņa. To

ņem tikai sijas sieniņa. To

### 7.5.2. SIMETRISKU METINĀTU SIJU ŠĶĒRSGRIEZUMA IZVĒLE, STIPRĪBAS UN STINGUMA PĀRBAUDE

Saliktās metinātās sijās, ja optimālo augstumu aprēķina pēc formulām (7.28), (7.32) vai lielākoties pēc (7.35) (materiāla sadalījuma koeficients  $\alpha=0,5$ ), tāpat kā velmētās sijās izmanto materiāla elastīgas darbības stadiju un, ievērojot attiecīgus nosacījumus (sk. 4.7. apakšnodaļu), pieļauj plastiskās deformācijas. Sijās ar optimālo augstumu, ko aprēķina pēc formulas (7.36) ( $\alpha=3/4$ ), izmanto tikai materiāla elastīgas darbības stadiju, jo tām plaukta un sienīgas šķērsgriezumu laukumu attiecība  $A_f/A_w < 0,25$ .

Siju šķērsgriezumu izvēlas pēc nepieciešamā pretestības momenta  $W_{cat}$ , kuru aprēķina pēc formulas (7.8) vai (7.9), pieņemot  $c_1=1,10 \dots 1,15$ .

Aprēķināto sijas optimālo augstumu  $h_{opt}$  noapaļo (labāk uz mazāko pusi), lai sienīgas augstums  $h_w$  sakristu ar universālā velmētā platslokšņu tērauda (ГОСТ 82—70) vai karstvelmētā lokšņu tērauda (ГОСТ 19903—74) standartplatumu vai arī lai viss sijas augstums  $h$  būtu samērojams ar 100 mm. Galīgi pieņemot sienīgas augstumu  $h_w$ , noturības dēļ ievēro arī nosacījumu

$$h_{ef} \leq 6t_w / \sqrt{R_y/E}^* , \quad (7.38)$$

kur  $h_{ef} \leq h_w$  — sienīgas aprēķina augstums (7.18. att.).

Pēc sijas augstuma un sienīgas biezuma noteikšanas plaukta nepieciešamo šķērsgriezumu aprēķina, izmantojot izteiksmi (7.25), pēc formulas

$$A_{f,cat} = W_{cat}/h - t_w h/6. \quad (7.39)$$

Plaukta platumu  $b_f$  un biezumu  $t_f$  izvēlas pēc sortimenta lokšņu izmēriem un nepieciešamā šķērsgriezuma laukuma, ievērojot, ka  $A_f = b_f t_f$ . Ir lietderīgi plauktiem lietot velmētās platsloksnes, jo tad nav jāizdara lokšņu garengriešana. Konstruktīvu un tehnoloģisku apsvērumu dēļ plauktiem lieto loksnes, kuru platums  $b = (1/3 \dots 1/5)h$ , bet ne šaurākas par 180 mm. Plaukta biezumu parasti pieņem no 8 līdz 32 mm, bet ne mazāku par sienīgas biezumu, un, lai joslu šuvēs nerastos ievērojami rukuma stiepes spriegumi, ne lielāku par trim sienīgas biezumiem.

Pieņemot plaukta platumu un biezumu (ja  $A_f = \text{const}$ ), jāievēro, ka, jo platāks ir plaukts, jo lielāka ir sijas vispārējā noturība. Tomēr pārāk plats un līdz ar to plāns sijas spiestais plaukts var zaudēt noturību. Tādēļ to pieņem ne platāku par to, kādu pieļauj plaukta noturības nosacījumi (sk. 7.3. tab.).

Sienīgas un plaukta aprēķinātos izmērus sortimenta dēļ nākas noapaļot. Tādēļ jāaprēķina pieņemtā šķērsgriezuma ģeometrisko

\* Statiski slogotām pārtrauktām, simetriskām dubult-T profila metinātām sijām pieļauj  $h_{ef} > 6t_w / \sqrt{R_y/E}$  (līdz  $13t_w / \sqrt{R_y/E}$ ). Šādu siju konstrukcija un aprēķins aplūkoti literatūrā [22].

raksturojumu patiesās vērtības un pēc tām jāpārbauda sijas stiprība un stingums.

Simetrisku metinātu siju stiprības pārbaudei pēc normālspriegumiem un tangenciāliem spriegumiem izmanto formulas, kas dotas velmētām sijām (sk. 7.4.2. sadaļu). Aprēķini atšķiras ar to, ka ģeometriskos raksturojumus nevar pieņemt pēc sortimenta tabulām, bet tie jāaprēķina, izmantojot šķērsgriezuma izmērus.

Normālspriegumus pārbauda pēc formulas (7.10) vai (7.11), t. i.,

$$\sigma = M/W \leq R_y \gamma_c \text{ vai } \sigma = M/(c_1 W) \leq R_y \gamma_c,$$

kur  $W = I/(h/2)$ .

Ja sijas šķērsgriezums ir vājināts, aprēķinos jālieto pretestības momenta neto vērtība  $W_n = I_n/(h/2)$ , kur  $I_n$  — neto šķērsgriezuma laukuma inerces moments.

Saliktu siju šķērsgriezums ir izraudzīts pietiekami ekonomisks, ja, rēķinot pēc normālspriegumiem, materiāla stiprība izmantota ne mazāk par 95% ( $\sigma \geq 0,95 R_y \gamma_c$ ).

Sieniņas tangenciālos spriegumus, izņemot tālāk minētajiem balsta šķērsgriezumiem, pārbauda pēc formulas (7.12):

$$\tau = QS/(It_w) \leq R_s \gamma_c,$$

kur  $S$  — sijas šķērsgriezuma puslaukuma statiskais moments pret neitrālo  $x-x$  asi;  $S = A_f(h_w/2 + t_f/2) + (A_w/2)(h_w/4)$ ;

$I$  — sijas šķērsgriezuma inerces moments pret neitrālo  $x-x$  asi;  $I = I_w + I_f = t_w h_w^3/12 + 2A_f(h_w/2 + t_f/2)^2$ , kur  $I_w$  un  $I_f$  — attiecīgi sieniņas un plauktu inerces moments.

Ja balstība piemetināta sijas galā (sk. 7.29. att. *a, b*), balsta šķērsgriezumā šķērsspēku uzņem tikai sieniņa. Tādēļ elastīgām sijām tagenciālos spriegumus pārbauda pēc formulas

$$\tau = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{t_w h_w} \leq R_s \gamma_c. \quad (7.40)$$

So izteiksmi iegūst, aprēķinot statisko momentu  $S = (t_w h_w/2)(h_w/4) = t_w h_w^2/8$  sieniņas puslaukumam pret neitrālo asi un inerces momentu  $I = t_w h_w^3/12$  sieniņas laukumam un ievietojot aprēķinātās vērtības formulā (7.12).

Elastīgi plastiskām saliktām sijām balsta šķērsgriezuma stiprību, ja tajā lieces moments  $M=0$ , tāpat kā velmētām sijām pārbauda pēc formulas (7.13).

Sieniņas stiprību pēc reducētiem spriegumiem pārbauda tikai elastīgām sijām. Pārbaudes formula ir šāda:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq 1,15 R_y \gamma_c, \quad (7.41)$$

kur  $\sigma_x$  — normālspriegumi sieniņas vides plāknē, kuri parafēli sijas garenasij;  $\sigma_x = (M/I_n)y$ , kur  $I_n$  — sijas neto šķērsgriezuma laukuma inerces moments; visvairāk noslogotai šķiedrai, kas atrodas

plaukta un sienīgas savienošanās vietā,  $y = h_w/2$ ;

$\sigma_y$  — normālspriegumi, kas perpendikulāri sijas garenasij, tai skaitā vietējie spriegumi, kuri aprēķināti pēc formulām (7.108) un (7.112);

$\tau_{xy} \leq R_s \gamma_c$  — tangenciālie spriegumi, kas, ievērojot formulu (7.14), aprēķināti pēc formulas (7.12).

Spriegumus aprēķina vienam un tam pašam sijas sienīgas punktam,  $\sigma_x$  un  $\sigma_y$  formulā (7.41) ievieot ar savām zīmēm.

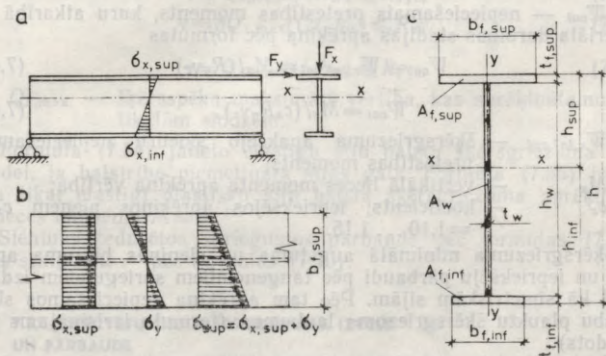
Siju stingumu pārbauda pēc formulas (7.20).

### 7.5.3. NESIMETRISKU METINĀTU SIJU ŠĶĒRSGRIEZUMA IZVĒLE UN PĀRBAUDE

Aprēķinot nesimetriskas dubult-T sijas (7.12. att.), pieņem, ka vertikālo lieces momentu  $M_x$  uzņem viss sijas šķērsgriezums, bet horizontālo lieces momentu  $M_y$  — tikai augšējais plaukts. Šādam pieņēmumam atbilstoša vertikālā momenta  $M_x$  izraisīto normālspriegumu epīra parādīta 7.12. attēlā a. Augšējā plauktā spriegumi sumējas no vertikālā un horizontālā momenta (7.12. att. b). Acimredzot nesimetriskās sijās materiālu pilnīgi var izmantot, ja spriegumi augšējā joslā  $\sigma_{sup} = \sigma_{x,sup} + \sigma_y = R_y \gamma_c$  un spriegumi apakšējā joslā  $\sigma_{x,inf} = R_y \gamma_c$ .

Šķērsgriezuma asimetriju  $\alpha$  var izteikt ar pretestības momentu attiecību:

$$\alpha = W_{x,sup} / W_{x,inf} = h_{inf} / h_{sup}, \quad (7.42)$$



7.12. att. Nesimetrisku siju aprēķina shēmas:

a — slodzes shēma un vertikālā lieces momenta radīto normālspriegumu sadalījums; b — augšējā plaukta normālspriegumu epīras; c — nesimetriskas sijas šķērsgriezums.

kur  $W_{x,sup} = I_x/h_{sup}$  un  $W_{x,inf} = I_x/h_{inf}$  — attiecīgi šķērsgriezuma augšējo un apakšējo šķiedru pretestības moments;

$h_{sup}$  un  $h_{inf}$  — atstatums no šķērsgriezuma smagumcentra attiecīgi līdz augšējai un apakšējai malai (7.12. att. c).

Atkarībā no vertikālā un horizontālā lieces momenta attiecības var aptuveni aprēķināt, cik reīzu vertikālā lieces momenta  $M_x$  radītajiem spriegumiem sijas augšējā joslā  $\sigma_{x,sup}$  jābūt mazākiem par spriegumiem sijas apakšējā joslā  $\sigma_{x,inf}$ , un izteikt to ar spriegumu attiecību  $\beta = \sigma_{x,sup}/\sigma_{x,inf}$ . No  $\sigma_x$  epiras spiedes un stiepes spriegumu trīsstūru līdzības izriet, ka  $h_{inf}/h_{sup} = \sigma_{x,inf}/\sigma_{x,sup}$ . To ievērojot, šķērsgriezuma asimetrija

$$\alpha = 1/\beta = \sigma_{x,inf}/\sigma_{x,sup}.$$

Tādējādi nepieciešamo šķērsgriezuma asimetriju var aprēķināt, izmantojot vertikālā lieces momenta radīto pieļaujamo normālspriegumu vērtības sijas apakšējā un augšējā joslā.

Nesimetriskas sijas šķērsgriezuma laukumu, ievērojot asimetrijas  $\alpha$  pakāpi, var izteikt analogiski simetriskas sijas laukumam. Ja laukuma pirmo atvasinājumu pēc augstuma pielīdzina nullei, iegūst nesimetriska šķērsgriezuma optimālo augstumu

$$h_{opt} = \sqrt[3]{\frac{3\alpha}{\alpha+1} W_{cal} k_w} \quad (7.43)$$

vai

$$h_{opt} = \sqrt{\frac{3\alpha}{\alpha+1} \frac{W_{cal}}{t_w}}, \quad (7.44)$$

kur  $W_{cal}$  — nepieciešamais pretestības moments, kuru atkarībā no materiāla darbības stadijas aprēķina pēc formulas

$$W_{cal} = W_{x,inf,cal} = M_x/(R_y \gamma_c) \quad (7.45)$$

vai

$$W_{cal} = M_x/(c_x R_y \gamma_c), \quad (7.46)$$

kur  $W_{x,inf,cal}$  — šķērsgriezuma apakšējo šķiedru nepieciešamais pretestības moments;

$M_x$  — vertikālā lieces momenta aprēķina vērtība;

$c_x$  — koeficients; iepriekšējos aprēķinos pieņem  $c_x = 1,10 \dots 1,15$ .

Šķērsgriezuma minimālā augstuma un sienas biezuma aprēķinu un iepriekšēju pārbaudi pēc tangenciāliem spriegumiem izdara tāpat kā simetriskām sijām. Pēc tam aprēķina nepieciešamos sijas un abu plauktu šķērsgriezuma laukumus (formulu izrisinājums netiek dots).

Nepieciešamais sijas šķērsgriezuma laukums

$$A_{cal} = \frac{\alpha+1}{h} W_{cal} + \frac{(\alpha+1)^2 t_w h}{6\alpha}. \quad (7.47)$$

Nepieciešamais augšējā plaukta šķērsriezuma laukums

$$A_{f,sup,cat} = A_{cat} \frac{\alpha}{\alpha+1} - \frac{t_w h}{2}. \quad (7.48)$$

Nepieciešamais apakšējā plaukta šķērsriezuma laukums

$$A_{f,inf,cat} = A_{cat} \frac{1}{\alpha+1} - \frac{t_w h}{2}. \quad (7.49)$$

Siju stiprība pēc normālspriegumiem materiāla elastīgās darbības stadijā ir pietiekama, ja augšējai joslai

$$\sigma_{sup} = \sigma_{x,sup} + \sigma_y = M_x / W_{xn,sup} + M_y / W_{yn,min} \leq R_y \gamma_c; \quad (7.50)$$

apakšējai joslai

$$\sigma_{inf} = \sigma_{x,inf} = M_x / W_{xn,inf} \leq R_y \gamma_c. \quad (7.51)$$

Materiāla elastīgi plastiskās darbības stadijā siju stiprība pēc normālspriegumiem ir nodrošināta, ja

$$\sigma = M_x / (c_x W_{xn,min}) + M_y / (c_y W_{yn,min}) \leq R_y \gamma_c. \quad (7.52)$$

Sajās formulās

$W_{xn,sup}$  un  $W_{xn,inf}$  — attiecīgi neto šķērsriezuma laukuma augšējo un apakšējo šķiedru pretestības moments pret  $x-x$  asi;

$W_{xn,min}$  un  $W_{yn,min}$  — mazākā no vērtībām  $W_{xn,sup}$  un  $W_{xn,inf}$ ; neto šķērsriezuma laukuma minimālais pretestības moments pret  $y-y$  asi.

Sieniņas stiprība pēc tagenciāliem spriegumiem ir pietiekama, ja

$$\tau = Q_{x,max} S / (I t_w) \leq R_s \gamma_c, \quad (7.53)$$

$$\tau = 3 Q_{x,max} / (2 t_w h_w) \leq R_s \gamma_c \quad (7.54)$$

vai

$$\tau = Q_{x,max} / (t_w h_w) \leq R_s \gamma_c, \quad (7.55)$$

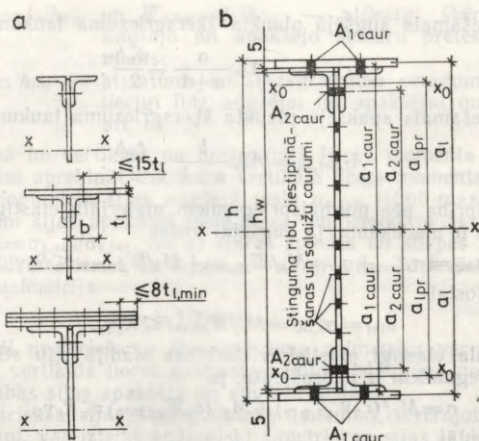
kur  $Q_{x,max}$  — šķērsspēka maksimālā vērtība, kas aprēķināta no vertikālām slodzēm.

Formula (7.54) jālieto elastīgu siju balsta šķērsriezuma pārbaudei, ja balstība piemētināta sijas galā. Formula (7.55) ir derīga tikai elastīgi plastisku siju balsta šķērsriezuma aprēķinam, ja lieces moments  $M=0$ .

Sieniņas reducētos spriegumus pārbauda pēc formulas (7.41), sijas stingumu — pēc formulas (7.20).

#### 7.5.4. SKRŪVĒTU SIJU ŠĶĒRSRIEZUMA IZVĒLE UN PĀRBAUDE

Skrūvētām sijām šķērsriezumu izvēlas tāpat kā elastīgām sijām. Taču jāievēro, ka siju plaukti ir izgatavoti no leņķprofiliem vai arī no leņķprofiliem un loksniem un šķērsriezums ir vājināts ar skrūvju



7.13. att. Skrūvētu siju šķērs griezumi:

a — plauktu tipi; b — ar urbumiem vājināta šķērs griezuma shēma.

urbumiem (7.13. att.). Iepriekšēji pieņem, ka urbumi aizņem 15% no sijas šķērs griezuma laukuma.

Skrūvētu simetrisku siju šķērs griezumu izvēlas šādi. Izmantojot formulu (7.21), aprēķina sijas minimālo augstumu  $h_{min}$ . Nepieciešamos neto un bruto šķērs griezuma laukuma pretestības momentus aprēķina pēc šādām formulām:

$$W_{n,cat} = M / (R_y \gamma_c) \text{ un } W_{cat} = 1,15 W_{n,cat}. \quad (7.56)$$

Izvēlas sienīņas lokanumu (sk. 7.2. tab.) vai arī pēc formulas (7.31) aprēķina sienīņas biezumu. Izmantojot formulu (7.28) vai (7.32), nosaka sijas optimālo augstumu  $h_{opt}$ . Ievērojot formulas (7.38) nosacījumu, pieņem sijas augstumu  $h$  (7.13. att. b) un precīzē sienīņas biezumu pēc aprēķina šķērsspēka  $Q$ .

Pēc sijas augstuma un sienīņas biezuma galīgās izvēles aprēķina plauktu nepieciešamo bruto pretestības momentu  $W_{f,cat} = W_{cat} - t_w h / 6$  un viena plaukta nepieciešamo šķērs griezuma laukumu

$$A_{f,cat} = W_{f,cat} / (0,95 h). \quad (7.57)$$

Seit ar koeficientu 0,95 ievērtē to, ka atstatums starp plauktu smagumcentriem ir mazāks nekā metinātām sijām.

Skrūvētu siju joslām parasti lieto vienādplauktu leņķprofilus, kuru plaukta platums  $b = (1/9 \dots 1/12) h$ . Leņķprofila plaukta biezumu pieņem vienādu ar sienīņas biezumu vai 2...4 mm biezāku par to. Ja pieņemto divu leņķprofilu laukums ir vienāds ar nepie-

ciešamo plaukta šķērsriezuma laukumu  $A_{f,cal}$ , tad horizontālās loksnes nav vajadzīgas. Pretējā gadījumā aprēķina nepieciešamo loksnes šķērsriezuma laukumu  $A_{f,cal} = A_{f,cal} - 2A_{lpr}$ , kur  $A_{lpr}$  — viena leņķprofila šķērsriezuma laukums.

Loksnes pieņem tik platas, lai tās pārkārtos pār leņķprofila malu. Noturības nodrošināšanai pārkāres lielums, skaitot no leņķprofila malējās rīses, nedrīkst pārsniegt  $15t_l$  vai, skaitot no loksnes malējās rīses, —  $8t_l$  (7.13. att. a), kur  $t_l$  — loksnes (plānākās) biezums. Ja loksne iznāk biezāka par 20...25 mm, lieto paketi no divām, bet ne vairāk kā trim loksņēm.

Lai panāktu drošu plaukta lokšņu un sienīņas kopdarbību, leņķprofilu šķērsriezumu pieņem ne mazāku par 30% no visa joslas laukuma. Leņķprofilu virsotnes izvieta 5 mm virs sienīņas malas (7.13. att. b).

Simetrisku siju pārbaudes formulas:  
pēc normālspriegumiem

$$\sigma = M/W_n \leq R_y \gamma_c; \quad (7.58)$$

pēc cirpes spriegumiem

$$\tau = \frac{QS}{It_w} \frac{a}{a-d}, \quad (7.59)$$

kur  $W_n$  — neto šķērsriezuma laukuma pretestības moments;  $W_n = I_n / (h/2)$ , kur  $I_n$  — neto šķērsriezuma laukuma inerces moments;  $I_n = I - I_{urb}$ , kur  $I_{urb}$  — skrūvju urbumu laukuma inerces moments pret  $x-x$  asi;  $I_{urb} = \sum A_i a_{i,urb}^2 + 0,15I_w$ , kur  $I_w = t_w h_w^3 / 12$ ;

$I$  — bruto šķērsriezuma laukuma inerces moments;

$S$  — bruto šķērsriezuma puslaukuma statiskais moments pret  $x-x$  asi;

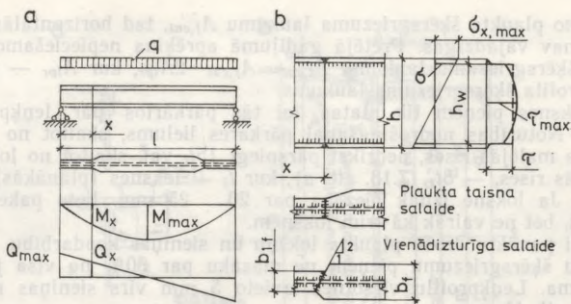
$a$  — atstatums starp sienīņas urbumiem, kas paredzēti balstības piestiprināšanai;

$d$  — urbumu diametrs.

### 7.5.5. ŠĶĒRSGRIEZUMA MAIŅA PA SIJAS GARUMU

Pārtrauktām sijām pie balstiem lieces moments ir ievērojami mazāks par maksimālo momentu, tādēļ sijas šķērsriezumu un materiāla izlietojumu var samazināt. Ir divi sijas šķērsriezuma maiņas paņēmieni. Visvairāk lieto pirmo paņēmieni, pēc kura sienīņas izmērus visā sijas garumā nemaina, bet pretestības momentu samazina, sašaurinot sijas plauktus (7.14. att.), retāk, samazinot plauktu biezumu (skrūvētām sijām). Pēc otrā paņēmiena samazina sijas sienīņas augstumu.

Siju izgatavošana, mainot šķērsriezumu, ir darbietilpīgāka, it sevišķi pēc otrā paņēmiena. Isām sijām darbietilpības pieaugums pārsniedz materiāla ietaupījumu, tādēļ ir ekonomiski mainīt šķērsriezumu 12 m un garākām sijām.



7.14. att. Sijas šķērsriezuma izmaiņa:  
 a — shēma; b — reducēto spriegumu aprēķina shēma.

Pārtrauktām sijām šķērsriezumu parasti maina atstatumā  $x = (1/5 \dots 1/6)l$  no balsta. Šim šķērsgriezumam (7.14. att. a), ja sija slogota ar vienmērīgi sadalītu lineāru slodzi, aprēķina momentu un šķērsspēku nosaka pēc šādām formulām:

$$M_x = qx(l-x)/2; \quad (7.60)$$

$$Q_x = q(l/2 - x). \quad (7.61)$$

Metinātās sijās šķērsriezuma maiņas vietā drīkst pieļaut elastīgi plastiskas materiāla deformācijas (nosacījums: vienlaikus maksimālā aprēķina momenta  $M_{max}$  šķēlumā drīkst pieļaut tikai elastīgās deformācijas). Nepieciešamo pretestības momentu aprēķina pēc formulas

$$W_{x,cat} = M_x / (R_y \gamma_c) \quad (7.62)$$

vai

$$W_{x,cat} = M_x / (c_1 R_y \gamma_c). \quad (7.63)$$

Ja mainītā šķērsgriezumā sienīņas izmēri ir tādi paši kā maksimālā aprēķina momenta  $M_{max}$  šķēlumā, plaukta nepieciešamo šķērsriezuma laukumu aprēķina pēc formulas (7.39):

$$A_{f,cat} = W_{x,cat} / h - t_w h_w / 6.$$

Konstruktīvu apsvērumu dēļ plauktu pieņem vismaz 180... 200 mm platu, kā arī ievēro šādus nosacījumus:  $b_{1f} \geq h/10$  un  $b_{1f} \geq b_f/2$  (7.14. att. b). Mainītā šķērsriezuma stiprību, ja materiāls darbojas elastīgā stadijā, pārbauda pēc normālspriegumiem

$$\sigma_x = M_x / W_1 \leq R_y \gamma_c; \quad (7.64)$$

pēc tangenciāliem spriegumiem

$$\tau = Q_{max} S_1 / (I_1 t_w) \leq R_s \gamma_c, \quad (7.65)$$

kur  $W_1$  un  $I_1$  — attiecīgi mainītā šķērsriezuma pretestības un inerces moments;

$S_1$  — mainītā šķērsriezuma puslaukuma statistiskais moments.

Šķērsriezumā, kas atrodas atstatumā  $x$  no balsta, vienlaikus rodas lieli normālspriegumi no aprēķina lieces momenta  $M_x$  un tangenciālie spriegumi no aprēķina šķērsspēka  $Q_x$  (sk 7.14. att. b). Šī šķērsriezuma reducētos spriegumus pārbauda pēc formulas

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1,15R_y\gamma_c, \quad (7.66)$$

kur

$$\sigma = (M_x/I_1)y, \quad (7.67)$$

un, pieļaujot stiprības rezervi,

$$\tau = Q_x/(t_w h_w) \leq R_s\gamma_c. \quad (7.68)$$

Plaukta un sienīņas savienojuma vietai  $y = h_w/2$ .

Ja apskatāmā šķērsriezumā pielikta koncentrēta slodze, sienīņas stiprības pārbaudei pēc reducētiem spriegumiem jālieto formula (7.41).

— Ja mainītā šķērsriezuma materiālā pieļauj elastīgi plastiskas deformācijas, normālspriegumus pārbauda pēc formulas

$$\sigma_x = M_x/(c_1 W_1) \leq R_y\gamma_c, \quad (7.69)$$

bet tangenciālos spriegumus — pēc formulas (7.68).

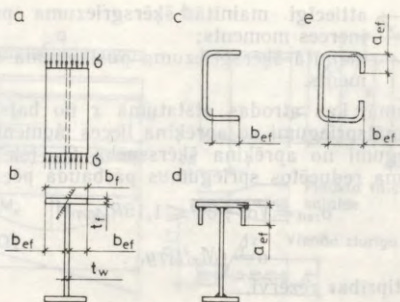
#### 7.5.6. SIJAS UN TĀS ELEMENTU NOTURĪBAS NODROŠINĀŠANA UN PĀRBAUDE

Saliktu siju vispārējo noturību nodrošina ar metodēm, kas aprakstītas 7.4.3. sadaļā. Spiestās joslas nostiprinājumus, tāpat kā velmētām sijām, aprēķina pēc faktiskā vai nosacītā šķērsspēka, kuru nosaka pēc formulām (7.19) un (8.3).

**Spiestā plaukta noturība.** No noturības viedokļa dubult-T šķērsriezuma sijas plaukts ir divas pa vienu garenmalu iespīlētas plāksnītes (pievienošanas vietā pie sienīņas), kas pakļautas vienmērīgi sadalītu spiedes spriegumu iedarbībai (7.15. att. a, b). Arī U veida un liekto profilu (7.15. att. c) plauktu no noturības viedokļa pieņem par šādu plāksnīti, kuras platums ir vienāds ar pārkares lielumu  $b_{ef}$ , biezums — ar plaukta biezumu  $t_f$ . Šādi nostiprinātas un slogotas plāksnītes kritiskais normālspriegums

$$\sigma_{cr} = 0,38E(t_f/b_{ef})^2. \quad (7.70)$$

Kamēr kritiskais spriegums ir lielāks par plūstamības robežu, plāksnīte materiāla elastīgās darbības stadijā noturību nezaudē, jo pielikto slodžu izraisītie spriegumi ir mazāki par kritisko spriegumu. Tādēļ, ievietojot formulā (7.70) kritiskā sprieguma vietā plūstamības robežas spriegumu, var aprēķināt plaukta pārkares un biezuma attiecību, kuru nepārsniedzot plaukta noturība vienmēr ir nodro-



7.15. att. Spiestā plaukta noturības pārbaudes shēmas:

*a* — spriegumu shēma; *b* un *c* — neapmaloti plaukti; *d* un *e* — apmaloti plaukti.

šīnāta. Plauktiem, kas izgatavoti no Cr3 markas tērauda ( $\sigma_{p1} = 235 \text{ MPa}$ ,  $R_y = 230 \text{ MPa}$ ),

$$b_{ef}/t_f = \sqrt{0,38E/\sigma_{p1}} = 0,616\sqrt{E/\sigma_{p1}} \approx 18.$$

Galīgi nosakot pieļaujamo  $b_{ef}/t_f$  attiecību, ievēro iespējamās lokšņu ieliekumus, kas noturību samazina. Tādēļ neapmalotiem plauktiem no tērauda ar  $R_y = 230 \text{ MPa}$  pieļauj  $b_{ef}/t_f = 0,5\sqrt{E/R_y} \approx 15$ .

Plaukta noturību palielina apmalojuma ribas (7.15. att. *d*, *e*), kuru augstumu  $a_{ef}$  pieņem ne mazāku par  $0,3b_{ef}$  ( $a_{ef}$  mēri no plaukta ass), biezumu — ne mazāku par  $2a_{ef}\sqrt{R_y/E}$ .

Atbilstoši projektēšanas normām pieļaujamo attiecību  $b_{ef}/t_f$  pieņem diferencēti atkarībā no materiāla stiprības, darbības stadijas un pārkares raksturojuma (7.3. tab.).

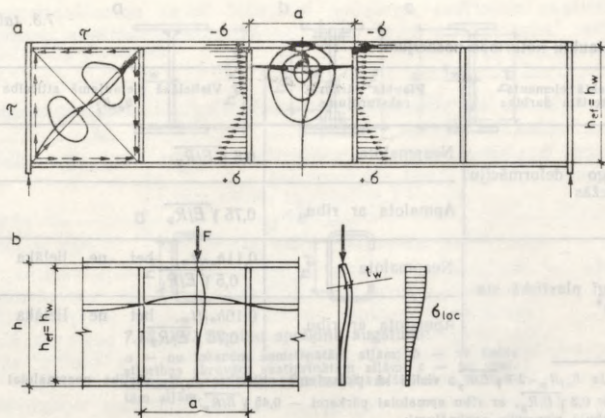
Sijām, kuru šķērsriezums aprēķināts pēc relatīvām robežizliedēm, 7.3. tabulā dotās pieļaujamās  $b_{ef}/t_f$  vērtības atļauts pareizināt ar koeficientu  $\sqrt{R_y/\sigma}$ , bet ne lielāku par 1,25. Seit  $\sigma$  — lielākā no vērtībām, kuras aprēķinātas pēc vienādības

$$\sigma = (M_x/I_x)y \pm (M_y/I_y)x \leq R_y\gamma_c \quad (7.71)$$

vai formulas (4.37):

$$\sigma = M/(\varphi_b W_c) \leq R_y\gamma_c.$$

**Sieniņas noturība.** No noturības viedokļa sijas sieniņa ir plāksnīte, kuru garenvirzienā nostiprina plaukti, bet šķērsvirzienā — stinguma ribas, un kura pakļauta normālspriegumu vai tangenciālo spriegumu (vai vienlaikus normālspriegumu un tangenciālo spriegumu) iedarbībai (7.16. att.). Ja pielikto slodžu izraisītie normālspriegumi vai tangenciālie spriegumi dotajos sijas darbības apstākļos pārsniedz kritiskos spriegumus ( $\sigma/\gamma_c > \sigma_{cr}$ ;  $\tau/\gamma_c > \tau_{cr}$  vai  $\sigma_{loc}/\gamma_c > \sigma_{loc,cr}$ , kur  $\sigma_{loc}$ ,  $\sigma_{loc,cr}$  — attiecīgi vietējie normālspriegumi

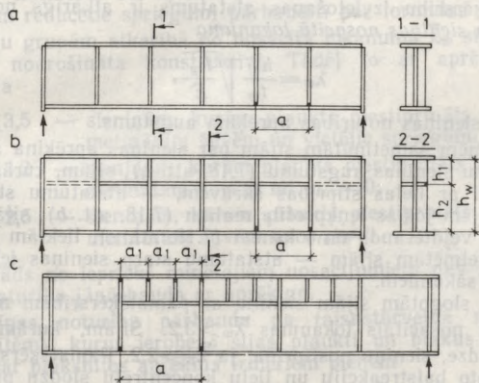


7.16. att. Sieniņas izkļaušanās:

$a$  — lieces normālspriegumu un tangenciālo spriegumu iedarbība;  $b$  — vietējo spriegumu iedarbība.

un vietējie kritiskie normālspriegumi), sieniņa zaudē noturību un izkļaujas.

Sieniņas kritiskie spriegumi ir atkarīgi no sijas šķērsgriezuma izmēriem, sieniņas lokanuma, stinguma ribu izvietojuma, materiāla



7.17. att. Stinguma ribu izvietojums:

$a$  — pamatšķērsribas;  $b$  — pamatšķērsribas un garenribas;  $c$  — pamatšķērsribas, garenribas un isās šķērsribas.

## Siju plauktu noturības nosacījumi

Liektā elementa materiāla darbība	Plaukta pārkares raksturojums	Vislielākā pieļaujamā attiecība $b_{ef}/t_f$
Elastīgo deformāciju robežās	Neapmalota	$0,5 \sqrt{E/R_y}$
	Apmalota ar ribi	$0,75 \sqrt{E/R_y}$
Elastīgi plastiskā stadijā*	Neapmalota	$0,11 h_{ef}/t_w$ , bet ne lielāka par $0,5 \sqrt{E/R_y}$
	Apmalota ar ribi	$0,16 h_{ef}/t_w$ , bet ne lielāka par $0,75 \sqrt{E/R_y}$

\* Ja  $h_{ef}/t_w < 2,7 \sqrt{E/R_y}$ , vislielākā pieļaujamā attiecības  $b_{ef}/t_f$  vērtība neapmalotai pārkaresi ir  $0,3 \sqrt{E/R_y}$ , ar ribi apmalotai pārkaresi —  $0,45 \sqrt{E/R_y}$ .

Tabulā pieņemtie apzīmējumi:

$b_{ef}$  — spiestā plaukta pārkares platums;

$h_{ef}$  — sijas sienīņas noturības aprēķina augstums (7.18. att.);

$t_f$  un  $t_w$  — attiecīgi plaukta un sienīņas biezums.

stiprības, spriegumstāvokļa un darbības stadijas, spiestās joslas darbības apstākļiem un citiem faktoriem.

Sieniņu nostiprina ar stinguma pamatšķērsribām (7.17. att. a), ar pamatšķērsribām un garenribu (7.17. att. b) un ar pamatšķērsribām, garenribu un isām šķērsribām, kuras izvietojas starp sijas spiesto plauktu un stinguma garenribu (7.17. att. c).

Pamatšķērsribu izvietojas atstatums ir atkarīgs no slodzes rakstura un sienīņas nosacītā lokanuma

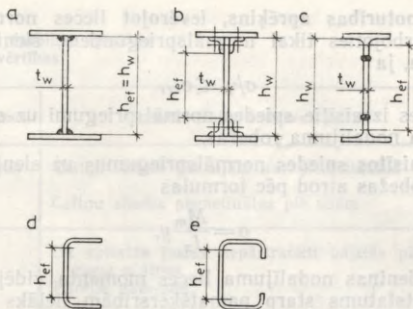
$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \sqrt{\frac{R_y}{E}}, \quad (7.72)$$

kur  $h_{ef}$  — sienīņas noturības aprēķina augstums.

No loksnēm sametinātām sijas par sienīņas aprēķina augstumu pieņem pilnu sienīņas augstumu (7.18. att. a), sijas, kurām plaukti piestiprināti ar lielas stiprības skrūvēm, — atstatumu starp sijas asij tuvākajām joslas leņķprofila malām (7.18. att. b), sijas, kuras saliktas no veidtērauda un loksnēm (7.18. att. c), liektām (7.18. att. d, e) un velmētām sijas — atstatumu starp sienīņas iekšējo noapaļojumu sākumiem.

Statiski slogotām sijas sienīņu ar pamatšķērsribām nostiprina, ja sienīņas nosacītā lokanums  $\bar{\lambda}_w > 3,2$ . Sijas, kurām pielikta kustīga slodze, sienīņu nostiprina, ja  $\bar{\lambda}_w > 2,2$ . Pamatšķērsribas vispirms izvietojas balstrekciju un lielu koncentrētu slodžu pielikšanas vietās. To izvietojas atstatumi (7.17. att.) ir šādi:

$$\left. \begin{aligned} a &\leq 2h_{ef}, \text{ ja } \bar{\lambda}_w > 3,2; \\ a &\leq 2,5h_{ef}, \text{ ja } \bar{\lambda}_w \leq 3,2. \end{aligned} \right\} \quad (7.73)$$



7.18. att. Sieniņu aprēķina augstumi:

*a* — no loksņēm sametinātām sijām; *b* — ar lielas stiprības skrūvēm sastiprinātām sijām; *c* — no veidtērauda un loksņēm saliktām sijām; *d* un *e* — liektām sijām.

Ar garenribām nostiprina augstu siju sieniņas, lai optimizētu un vienādotu pa atsevišķiem nodalījumiem kritisko normālspriegumu vērtības. Garenribas izvietojuma atstatumā  $h_1 = (0,2 \dots 0,3) h_{ef}$  no spiestā plaukta (sk. 7.17. att.) parasti sieniņas vidējos nodalījumos, kur lieces momenta radītie spriegumi ir lielāki. Šai pašā nolūkā lieto īsās šķērsribas.

Sieniņas nostiprināšana ar pamatšķērsribām ievērojami paliecina tās noturību. Ja šķērsribas izvietotas atbilstoši noteikumiem (7.73) un reducētie spriegumi pārbaudīti pēc formulas (7.41), zināmām siju grupām atkarībā no nosacītā lokanuma  $\bar{\lambda}_w$  sieniņas noturība ir nodrošināta konstruktīvi. Tādēļ to ar aprēķinu nepārbauda, ja

$\bar{\lambda}_w \leq 3,5$  — sieniņām, kurām plaukts piestiprināts ar divpusēji metinātām šuvēm un vietējie spriegumi  $\sigma_{loc} = 0$ ;

$\bar{\lambda}_w \leq 3,2$  — sieniņām, kurām plaukts piestiprināts ar vienusēji metinātām šuvēm un  $\sigma_{loc} = 0$ ;

$\bar{\lambda}_w \leq 2,5$  — sieniņām, kurām plaukts piestiprināts ar divpusēji metinātām šuvēm un  $\sigma_{loc} \neq 0$ .

Ja kāds no iepriekš minētajiem nosacījumiem nav ievērots, sieniņas noturība jāpārbauda ar aprēķinu.

Sieniņas noturību pārbauda pa taisnstūrveida nodalījumiem (plāksnītēm), kurus ierobežo sijas plaukti un blakus pamatšķērsribas. Par plāksnītes aprēķina izmēriem pieņem

*a* — atstatumu starp pamatšķērsribu asīm (sk. 7.17. att.);

*h<sub>ef</sub>* — sieniņas aprēķina augstumu (sk. 7.18. att.);

*t<sub>w</sub>* — sieniņas biezumu.

Sieniņas noturības aprēķins, ievērojot lieces normālspriegumu darbību. Iedarbojoties tikai normālspriegumiem, sieniņas noturība ir nodrošināta, ja

$$\sigma/\gamma_c \leq \sigma_{cr}, \quad (7.74)$$

kur  $\sigma$  — lieces izraisītie spiedes normālspriegumi uz sieniņas aprēķina nodalījuma robežas.

Lieces izraisītos spiedes normālspriegumus uz sieniņas aprēķina nodalījuma robežas atrod pēc formulas

$$\sigma = \frac{M_m}{I_x} y, \quad (7.75)$$

kur  $M_m$  — sieniņas nodalījuma lieces momenta vidējā vērtība; ja atstatums starp pamatšķērsribām lielāks par sieniņas aprēķina augstumu ( $a > h_{ef}$ ), momenta vidējo vērtību aprēķina vissaspriegtākajam nodalījuma posmam, kura garums  $a = h_{ef}$ ; ja nodalījumā moments maina zīmi,  $M_m$  aprēķina pa posmiem ar vienādu momenta zīmi;

$y$  — atstatums no neitrālās ass līdz aprēķina nodalījuma robežai.

Kritiskais normālspriegums

$$\sigma_{cr} = c_{cr} R_y / \sqrt{\lambda_w^2}, \quad (7.76)$$

kur  $c_{cr}$  — koeficients, ar kuru ievērtē plāksnītes nostiprinājuma pakāpi atkarībā no spiestā plaukta šķērsriezuma izmēriem un joslas darbības apstākļiem.

Koeficientu  $c_{cr}$  pieņem pēc 7.4. tabulas atkarībā no koeficienta

$$\delta = \beta \frac{b_f}{h_{ef}} \left( \frac{t_f}{t_w} \right)^3, \quad (7.77)$$

kur  $b_f$  un  $t_f$  — attiecīgi sijas spiestā plaukta platums un biezums;  
 $\beta$  — sijas spiestās joslas darbības apstākļu koeficients, kuru pieņem pēc 7.5. tabulas.

Sieniņas noturības aprēķins, ievērojot tangenciālo spriegumu darbību. Tangenciālie spriegumi saspiež sieniņu pa nodalījuma diagonāli (7.16. att. a), tā rezultātā sieniņa var zaudēt noturību un izkļauties.

7.4. tabula

Plāksnītes nostiprinājuma pakāpes koeficienta  $c_{cr}$  vērtības

$\delta$	Metinātām sījām							Sījām ar lielas stiprības skrūvēm
	<0,8	1,0	2,0	4,0	6,0	10,0	>30	Jebkurai $\delta$ vērtībai
$c_{cr}$	30,0	31,5	33,3	34,6	34,8	35,1	35,5	35,2

Spiestās joslas darbības apstākļu koeficienta  $\beta$  vērtības

Sijas raksturojums	Spiestās joslas darbības apstākļi	$\beta$
Celtņu ceļu sijas	Celtņu sliedes pie sijām nav piemetinātas	2
	Celtņu sliedes piemetinātas pie sijām	$\infty$
Pārējās sijas	Uz spiestās joslas nepārtraukti balstās pārseguma plātnes Pārējie gadījumi	$\infty$ 0,8

Iedarbojoties tikai tangenciāliem spriegumiem, sienīņas noturība ir nodrošināta, ja

$$\tau/\gamma_c \leq \tau_{cr}, \quad (7.78)$$

kur  $\tau$  — aprēķina nodalījuma tangenciālie spriegumi.

Aprēķina nodalījuma tangenciālos spriegumus atrod pēc formulas

$$\tau = Q_m / (t_w h_w), \quad (7.79)$$

kur  $Q_m$  — sienīņas nodalījuma šķērsspēka vidējā vērtība, kuras aprēķināšanas metodika ir tāda pati kā  $M_m$  aprēķināšanai (sk. formulu (7.75)).

Kritiskais tangenciālais spriegums

$$\tau_{cr} = 10,3(1 + 0,76/\mu^2)(R_s/\bar{\lambda}_{ef}^2), \quad (7.80)$$

kur  $\mu$  — plāksnītes garākās malas attiecība pret īsāko malu ( $a/h_{ef}$  vai  $h_{ef}/a$ );

$\bar{\lambda}_{ef}$  — nosacītais reducētais lokanums;  $\bar{\lambda}_{ef} = d\sqrt{R_y/E}/t_w$ , kur  $d$  — plāksnītes īsākā mala.

Simetrisku siju sienīņas noturības aprēķins, ja darbojas lieces normālspriegumi un tangenciālie spriegumi (vietējie normālspriegumi  $\sigma_{loc} = 0$ ). Sijas laiduma daļā rodas ievērojami lieces normālspriegumi un tangenciālie spriegumi, kuru iedarbībā sienīņa var zaudēt noturību. Ja sijas sienīņas nosacītais lokanums  $\bar{\lambda}_{w} \leq 6$  un tā nostiprināta tikai ar pamatšķersribām, noturību pārbauda pēc formulas

$$\sqrt{(\sigma/\sigma_{cr})^2 + (\tau/\tau_{cr})^2} \leq m\gamma_c, \quad (7.81)$$

kur  $\sigma$  un  $\tau$  — normālspriegumi un tangenciālie spriegumi, kurus aprēķina pēc formulām (7.75) un (7.79);

$\sigma_{cr}$  un  $\tau_{cr}$  — kritiskie normālspriegumi un tangenciālie sprie-

gumi, kurus aprēķina pēc formulām (7.76) un (7.80);  
 $m$  — koeficients; metinātām sijām, kurām plaukti piemetināti ar vienpusēju šuvi un sienīgas nosacītais lokanums  $\bar{\lambda}_w < 3,8$ ,  $m = 0,9$ ; pārējām sijām  $m = 1,0$ .

Elastīgi plastiskām simetriskām sijām sienīgas noturību pret normālspriegumu un tangenciālo spriegumu kopēju iedarbību, ja  $2,2 < \bar{\lambda}_w \leq 6$ , pārbauda pēc formulas

$$M_m \leq R_y \gamma_c h_{ef}^2 t_w (A_f/A_w + \alpha), \quad (7.82)$$

kur  $\alpha = 0,24 - 0,15(\tau/R_s)^2 - 8,5 \cdot 10^{-3}(\bar{\lambda}_w - 2,2)^2$ ;

$M_m$  — sienīgas nodalījuma lieces momenta vidējā vērtība, kuru aprēķina pēc formulas (7.75) norādījumiem;

$\tau = Q_m/(t_w h_w) \leq 0,9 R_s$ , kur  $Q_m$  — sienīgas nodalījuma šķērsspēka vidējā vērtība.

**Simetrisku siju sienīgas noturības aprēķins, ievērojot vietējo normālspriegumu  $\sigma_{loc}$  papildu iedarbību.** Ja koncentrētas slodzes pielikšanas vietās sijas nav nostiprinātas ar stinguma ribām, sienīnā rodas ievērojami vietējie spiedes spriegumi (sk. 7.25. att.), kuri palielina noturības zaudēšanas iespēju. Šādām sijām, ja lokanums  $\bar{\lambda}_w \leq 6$ , sienīgas noturību pārbauda pēc formulas

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq m \gamma_c, \quad (7.83)$$

kur  $\sigma$  un  $\tau$  — normālspriegumi un tangenciālie spriegumi, kurus aprēķina pēc formulām (7.75) un (7.79);

$\sigma_{loc}$  — vietējie spiedes spriegumi;

$\sigma_{cr}$  un  $\sigma_{loc,cr}$  — kritiskie lieces un vietējās spiedes normālspriegumi;

$\tau_{cr}$  — kritiskie tangenciālie spriegumi, kurus aprēķina pēc formulas (7.80).

Sienīgas noturības pārbaudei vietējos spiedes spriegumus  $\sigma_{loc}$  aprēķina pēc formulas (7.108), pieņemot  $F = \gamma_f F_n$ , kur  $\gamma_f = 1,1$  — slodzes drošuma koeficients;  $F_n$  — slodzes normatīvā vērtība.

Kritiskos normālspriegumus  $\sigma_{cr}$  un  $\sigma_{loc,cr}$  aprēķina atkarībā no pamatšķērsribu izvietojanas biežuma un no attiecības  $\sigma_{loc}/\sigma$ . Ja pamatšķērsribas izvietotas bieži ( $a/h_{ef} \leq 0,8$ ), kritiskos lieces normālspriegumus  $\sigma_{cr}$  aprēķina pēc formulas (7.76), bet kritiskos vietējos normālspriegumus — pēc formulas

$$\sigma_{loc,cr} = c_1 R_y \bar{\lambda}_a^2, \quad (7.84)$$

kur  $\bar{\lambda}_a$  — sienīgas nodalījuma nosacītais lokanums starp pamatšķērsribām;  $\bar{\lambda}_a = \frac{a}{t_w} \sqrt{R_y/E}$ .

$$(7.85)$$

Koeficienta  $c_1$  vērtības

Sijas raksturojums	$\delta$	$a/h_{ef}$								
		0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	>2,0
Metināta	<1	11,5	12,4	14,8	18,0	22,1	27,1	32,6	38,9	45,6
	2	12,0	13,0	16,1	20,4	25,7	32,1	39,2	46,5	55,7
	4	12,3	13,3	16,6	21,6	28,1	36,3	45,2	54,9	65,1
	6	12,4	13,5	16,8	22,1	29,1	38,3	48,7	59,4	70,4
	10	12,4	13,6	16,9	22,5	30,0	39,7	51,0	63,3	76,5
	>30	12,5	13,7	17,0	22,9	31,0	41,6	53,8	68,2	83,6
Ar lielas stiprības skrūvēm	—	13,7	15,9	20,8	28,4	38,7	51,0	64,2	79,8	94,9

Koeficientu  $c_1$  nosaka pēc 7.6. tabulas atkarībā no attiecības  $a/h_{ef}$  un koeficienta  $\delta$  (metinātām sijām), kuru aprēķina pēc formulas (7.77).

Sieniņām, kurām pamatšķērsības izvietotas reti ( $a/h_{ef} > 0,8$ ),  $\sigma_{cr}$  un  $\sigma_{loc,cr}$  aprēķina atkarībā no attiecības  $\sigma_{loc}/\sigma$ :

ja attiecības  $\sigma_{loc}/\sigma$  vērtības nepārsniedz 7.7. tabulā uzrādītās robežvērtības;  $\sigma_{cr}$  aprēķina pēc formulas (7.76), bet  $\sigma_{loc,cr}$  — pēc formulas (7.84). Pēdējā formulā, aprēķinot  $\bar{\lambda}_a$  un nosakot koeficientu  $c_1$  pēc 7.6. tabulas,  $a$  vietā pieņem  $a/2$ ;

ja attiecības  $\sigma_{loc}/\sigma$  vērtības pārsniedz 7.7. tabulā dotās robežvērtības, kritiskos normālspriegumus aprēķina pēc formulas

$$\sigma_{cr} = c_2 R_y / \bar{\lambda}_w^2, \quad (7.86)$$

kur  $c_2$  — koeficients, kuru pieņem pēc 7.8. tabulas.

7.7. tabula

Attiecības  $\sigma_{loc}/\sigma$  robežvērtības

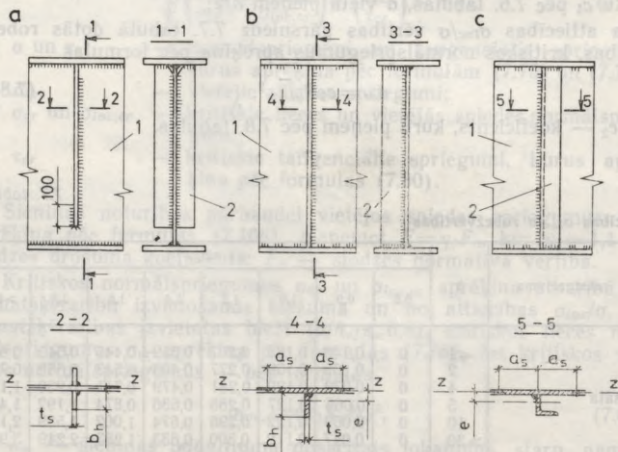
Sijas raksturojums	$\delta$	$a/h_{ef}$							
		0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	>2,0
Metināta	<1	0	0,146	0,183	0,267	0,359	0,445	0,540	0,618
	2	0	0,109	0,169	0,277	0,406	0,543	0,652	0,799
	4	0	0,072	0,129	0,281	0,479	0,711	0,930	1,132
	5	0	0,066	0,127	0,288	0,536	0,874	1,192	1,468
	10	0	0,059	0,122	0,296	0,574	1,002	1,539	2,154
	>30	0	0,047	0,112	0,300	0,633	1,283	2,249	3,939
Ar lielas stiprības skrūvēm	—	0	0,121	0,184	0,378	0,643	1,131	1,614	2,347

Koeficienta  $c_2$  vērtības

$a/h_{ef}$	$<0,8$	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	$>2,0$
$c_2$	Pēc 7.4. tabulas, ja tad $c_2=c_{cr}$	37,0	39,2	45,2	52,8	62,0	72,6	84,7

Sādu sienīņu kritiskos vietējos normālspriegumus  $\sigma_{loc,cr}$  aprēķina pēc formulas (7.84). Ja  $a/h_{ef} > 2$ , tad, aprēķinot  $\lambda_a$  pēc formulas (7.85) un nosakot koeficientu  $c_1$  pēc 7.6. tabulas,  $a$  vietā pieņem  $2h_{ef}$ .

Nesimetrisku siju sienīņas, kura nostiprināta tikai ar pamatšķērsribām, noturības aprēķins. Sijām, kurām plātaka ir spiestā josla, sienīņas noturību pārbauda pēc simetrisku siju sienīņas noturības aprēķina formulām, ievērojot šādas izmaiņas. Formulās (7.76), (7.86) un 7.8. tabulā sienīņas aprēķina augstumu  $h_{ef}$  pieņem viēnādu ar dubultotu atstatumu no neitrālās ass līdz aprēķina nodalījuma spiestās daļas robežai. Ja  $a/h_{ef} > 0,8$  un  $\sigma_{loc} \neq 0$ , sienīņas noturību neatkarīgi no attiecības  $\sigma_{loc}/\sigma$  vērtības pārbauda pēc abiem aprēķina variantiem.



7.19. att. Pamatšķērsribu konstrukcijas:

a — simetriska pāra rība; b — vienpusēja sloksnes rība; c — vienpusēja leņķprofila rība; 1 — sijas sienīņa; 2 — stinguma pamatšķērsriba.

Sieniņas noturības aprēķina metodika sijām, kurām slodze pielikta stieptai joslai, un sijām ar stinguma garenībām un īsām šķērsībām dota projektēšanas normās [22].

Sijas sieniņas nostiprina ar simetriskām pāra (7.19. att. a) un viensusējām (7.19. att. b, c) pamatšķērsībām. Pāra ribas izgatavo no sloksnēm, viensusējās ribas — no sloksnēm vai leņķprofilēm. Vienas pāra šķērsības platums  $b_h \geq h_{ef}/30 + 40$  mm, bet ne mazāks par 90 mm; viensusējas šķērsības platums  $b_h \geq h_{ef}/24 + 50$  mm. No sloksnēm izgatavotu ribu biezums  $t_s \geq 2b_h \sqrt{R_y/E}$ . Leņķprofila izmēriem jāatbilst nosacījumam, ka šķērsgriezuma inerces moments pret asi, kas sakrīt ar ribai tuvāko sieniņas skaldni, nav mazāks par pāra pamatšķērsības inerces momentu pret z asi (7.19. att. a).

Vienpusējas pamatšķērsības, kuras izvietotas augšējai joslai pieliktu, koncentrētu slodžu vietās, aprēķina kā ekscentriski spiestu statni. Statņa aprēķina šķērsgriezumā iekļauj pamatšķērsību un tai katrā pusē  $a_s = 0,65t_w \sqrt{E/R_y}$  platu sieniņas sloksni (sk. 7.19. att. b, c). Par slodzes pielikšanas ekscentritāti pieņem atstatumu no sieniņas vidusplaknes līdz aprēķina šķērsgriezuma smagumcentram, par statņa aprēķina garumu — sieniņas augstumu.

## 7.6. SIJU SALAIDES

Siju salaides klasificē pēc izpildīšanas vietas un konstrukcijas.

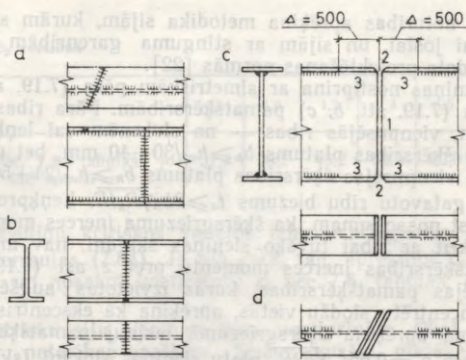
Pēc izpildīšanas vietas izšķir rūpnieciskās un montāžas salaides.

Salaides izpilda rūpnīcās, ja nepieciešams sagalot atsevišķus sijas elementus — sieniņu vai plauktus. To dara, ja noliktavā esošo velmējumu garums ir mazāks par izgatavojamās sijas garumu vai arī konstruktīvu apsvērumu dēļ, piemēram, izgatavojot mainīga šķērsgriezuma sijas. No sagalotiem elementiem siju saliek tā, lai plauktu un sieniņas salaides pa sijas garumu atrastos dažādās vietās (7.20. att. a). Parasti plauktu salaides neizvieto maksimālā lieces momenta šķēlumā un sieniņas salaides — maksimālā šķērsspēka vietā. Velmētu siju plauktus un sieniņu sagalo pa vienu šķēlumu (7.20. att. b).

Montāžas salaides izpilda būvlaukumā. Tās lieto, ja transporta līdzekļa kravnesības vai sijas gabarītmēru dēļ būvlaukumā nevar piegādāt veselu siju. Montāžas salaidēm plauktus un sieniņu sagalo pa vienu šķēlumu (7.20. att. c). Šādu salaižu izveidošanai lieto metināšanu, paaugstinātas precizitātes vai lielas stiprības skrūves.

Pēc konstrukcijas izšķir metinātas sadursalaides; metinātas sadursalaides, pastiprinot plauktus ar uzliktņiem; metinātas salaides, savienojot plauktus un sieniņu ar uzliktņiem, un skrūvsalaides.

**Metinātas sadursalaides** (7.20. att.) lieto velmētu un saliktu siju sagalošanai. Pārbaudot metinājumu kvalitāti ar vizuālām metodēm, sadursalaides izvieto šķēlumos, kuros lieces moments ir vismaz par 15% mazāks nekā sijas maksimālais lieces moments  $M_{max}$ . Ja sadursalaidi izvieto maksimālā lieces momenta šķēlumā, metinājuma



7.20. att. Metinātas siju sadursalaides:

a — saliktas sijas rūpnieciska sadursalaide; b — velmētas sijas sadursalaide; c — saliktas sijas montāžas sadursalaide; d — stiepta plaukta slīpa sadursalaide; 1, 2 un 3 — šuvju metināšanas secība.

kvalitāte jāpārbauda ar fizikālām metodēm vai arī stieptam plauktam jāizveido slīpa sadursalaide (7.20. att. d), ko parasti nedara.

Lai saliktu siju montāžas sadursalaidēs samazinātu metināšanas atliku spriegumus, veic speciālus konstruktīvus un tehnoloģiskus pasākumus (7.20. att. c). Sijas atsevišķiem posmiem (nosūtāmām markām) 500 mm garumā no salaides šķeluma rūpnieciskās šuves neveido. Būvlaukumā pēc šādi izgatavotu posmu salikšanas vispirms sametina sieniņu (šuve 1) un pēc tam plauktus (šuve 2). Tādēļ rukuma deformācijas, kas rodas, atdzīstot plauktu saduršuvēm, attiecināmas uz garumu  $2\Delta$ , pa kuru plaukti un sieniņa nav sametināti. Līdz ar to sijas garenvirzienā ievērojami samazinās rukuma deformāciju relatīvā vērtība un tai proporcionālie metināšanas atliku spriegumi. Kā pēdējās sametina joslu stūra šuves 3, kuru garenrukuma deformācijas ir nelielas.

Metinātas sadursalaides, pastiprinot plauktus ar uzliktņiem (7.21. att. a), lieto velmētu un saliktu siju izgatavošanai, ja plauktus sagalo ar taisnas salaides saduršuvi un sijas salaidei jābūt vienādizturīgai ar pamatmetāla šķēlumu.

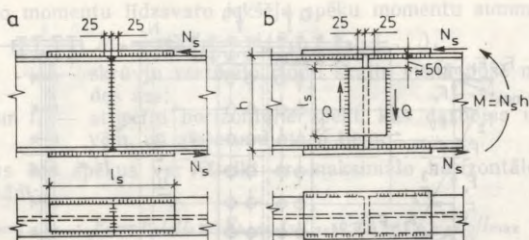
Aprēķina lieces momentu  $M$ , kuru kopīgi uzņem sijas saduršuves un uzliktņi, aprēķina pēc formulas

$$M = WR_{wy} + N_s h, \quad (7.87)$$

kur  $W$  — sijas šķērsgriezuma pretestības moments;  
 $R_{wy}$  — saduršuves aprēķina pretestība;  
 $N_s$  — uzliktņa aprēķina garenspekšs.

No formulas (7.87) izsaka, ka uzliktņa aprēķina garenspekšs

$$N_s = (M - WR_{wy}) / h. \quad (7.88)$$



7.21. att. Metinātas siju salaides ar uzliktņiem:

a — sadursalaide, pastiprinot plauktus; b — salaide, savienojot plauktus un sienīņu ar uzliktņiem.

Nepieciešamais uzliktņa šķērsgriezuma laukums

$$A_{s,cat} = N_s / (R_y \gamma_c). \quad (7.89)$$

Stūra šuves, ar kurām piemetina uzliktņus (uz katru pusi no salaides), pārbauda pēc uzliktņa aprēķina gars spēka.

**Metinātas salaides, savienojot plauktus un sienīņu ar uzliktņiem** (7.21. att. b), lieto statiski slogotu siju izgatavošanai. Sādu salaižu izveidošana ir vienkārša, jo siju gali nav jāpielāgo rūpīgi un, metinot biezas loksnes, nav jāapdarina sadurmalas. Galvenais trūkums — uzliktņu piemetināšanas vietās rodas liela spriegumu koncentrācija, tādēļ šādas salaides nelieto mainīgi slogotām sijām.

Aprēķinot sijas, pieņem, ka salaides šķēlumā lieces momentu uzņem plauktu uzliktņi, bet šķērsspēku — divpusējie sienīņas uzliktņi. Atbilstoši šādam pieņēmumam plaukta uzliktņa aprēķina gars spēks

$$N_s = M/h \quad (7.90)$$

un nepieciešamais šķērsgriezuma laukums  $A_{s,cat} = N_s / (R_y \gamma_c)$ .

Ja salaides šķēlumā šķērsspēks nav liels, sienīņas uzliktņu izmērus pieņem konstruktīvi: biežumu — apmēram vienādu ar sienīņas biežumu, platumu — 150...200 mm.

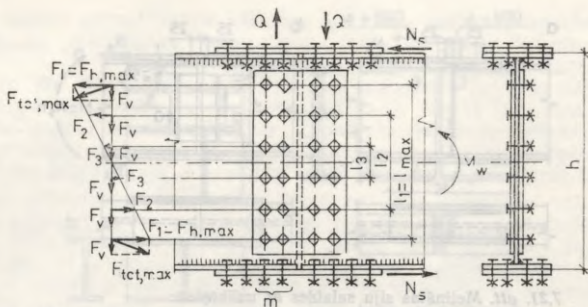
**Skrūvsalaides.** Lai konstrukcijas montējot, izvairītos no metināšanas, metinātu un skrūvētu siju salaides izveidošanai lieto parastās un lielas stiprības skrūves.

Metinātas sijas skrūvsalaides konstrukcija parādīta 7.22. attēlā. Šādā salaidē lieces momentu uzņem plauktu un sienīņas uzliktņi, bet šķērsspēku — sienīņas uzliktņi.

Atbilstoši tam lieces moments

$$M = M_f + M_w, \quad (7.91)$$

kur  $M_f$  un  $M_w$  — lieces momenta daļas, kuras uzņem plaukti un sienīņa.



7.22. att. Sijas skrūvsalaides aprēķina shēma.

Momenta sadalījums starp plauktiem un sienīņu ir proporcionāls to inerces momentiem, tādēļ  $M_w = MI_w/I$  un  $M_f = M - M_w = M(1 - I_w/I)$ , kur  $I_w$  un  $I$  — attiecīgi sienīņas un visas sijas šķērsriezuma inerces momenti.

*Plaukta uzliktņu aprēķins.* Plaukta uzliktņus aprēķina pēc lieces momenta  $M_f$ . Garenspēku  $N_s$  un nepieciešamo uzliktņa neto šķērsriezuma laukumu  $A_{s,n,cat}$  aprēķina pēc formulām

$$N_s = M_f/z; \quad (7.92)$$

$$A_{s,n,cat} = N_s/(R_y \gamma_c), \quad (7.93)$$

kur  $z$  — atstatums starp sijas plauktu smagumcentriem.

Uzliktņu piestiprinājumu (uz katru pusi no salaides šķēluma) aprēķina pēc garenspēka  $N_s$ , kas noteikts pēc formulas (7.92). Nepieciešamais skrūvju skaits

$$n_{b,cat} = N_s/(N_{b,min} \gamma_c) \quad (7.94)$$

vai

$$n_{b,cat} = N_s/(Q_{bh} \gamma_c), \quad (7.95)$$

kur  $N_{b,min}$  — mazākā no cirpes un bīdes spēku vērtībām, kas aprēķinātas pēc formulām (6.3) un (6.4);

$Q_{bh}$  — spēks, kuru pārvada viena lielas stiprības skrūve un aprēķina pēc formulas (6.6).

*Sieniņas uzliktņu aprēķins.* Sieniņas uzliktņus aprēķina pēc lieces momenta  $M_w$  un salaides šķēluma šķērsspēka  $Q$ .

Aprēķinot lieces momenta  $M_w$  radītos spēkus, pieņem, ka sijas salaide deformējas atbilstoši plakano šķēlumu hipotēzei. Lai vienkāršotu aprēķinu, ja uz katru pusi no salaides nav vairāk par divām vertikālām skrūvju rindām, pieņem, ka spēki, kas darbojas uz skrūvēm, ir proporcionāli atstatumam līdz sijas neitrālajai asij.

Ārējo momentu līdzsvaro iekšējo spēku momentu summa, tādēļ

$$M_w = m \sum F_i l_i = m (F_1 l_1 + F_2 l_2 + \dots), \quad (7.96)$$

kur  $m$  — skrūvju vertikālo rindu skaits vienā pusē no salaides ass;

$F_i$  un  $l_i$  — attiecīgi horizontālie spēki, kas darbojas uz skrūvēm, un atstatumi starp tiem.

Visus šos spēkus var izteikt ar maksimālo horizontālo spēku  $F_{h,\max}$  šādi:

$$F_1 = F_{h,\max}; F_2 = F_1 l_2 / l_1 = F_{h,\max} l_2 / l_{\max}; F_3 = F_{h,\max} l_3 / l_{\max} \text{ utt.}$$

Summējot iegūst

$$M_w = m (F_{h,\max} l_1^2 / l_{\max} + F_{h,\max} l_2^2 / l_{\max} + F_{h,\max} l_3^2 / l_{\max} + \dots) = \\ = \frac{m F_{h,\max}}{l_{\max}} (l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 + \dots),$$

no kurienes horizontālais spēks, kas darbojas uz visvairāk slogoto malējo skrūvi,

$$F_{h,\max} = \frac{M_w l_{\max}}{m \sum l_i^2}. \quad (7.97)$$

Aprēķinot vertikālos spēkus  $F_v$ , pieņem, ka šķērsspēks pa skrūvēm sadalās vienmērīgi. Tādēļ

$$F_v = Q / n_b, \quad (7.98)$$

kur  $n_b$  — sienīņas uzliktņu skrūvju skaits vienā pusē no salaides ass.

Rezultējošo spēku, kas iedarbojas uz visvairāk slogoto malējo skrūvi, aprēķina pēc formulas

$$F_{tot,\max} = \sqrt{F_{h,\max}^2 + F_v^2} = \sqrt{\left(\frac{M_w l_{\max}}{m \sum l_i^2}\right)^2 + \left(\frac{Q}{n_b}\right)^2}. \quad (7.99)$$

Ja skrūves izvietotas trīs un vairākās vertikālās rindās ( $m \geq 3$ ), rezultējošo spēku  $F_{tot,\max}$  aprēķina pēc metodikas, kas aprakstīta 6.5. apakšnodalā.

Sienīņas uzliktņu stiprība ir pietiekama, ja

$$F_{tot,\max} \leq N_{b,\min} \gamma_c \quad (7.100)$$

vai

$$F_{tot,\max} \leq k Q_{bh} \gamma_c, \quad (7.101)$$

kur  $k$  — berzes plakņu skaits.

Šajās formulās  $N_{b,\min}$  un  $Q_{bh}$  aprēķina pēc formulām (7.94) un (7.95) dotajiem norādījumiem.

Sienīņas viena uzliktņa biezumu pieņem 2...4 mm mazāku par sienīņas biezumu, bet ne mazāku par 6...8 mm. Lai samazinātu salaides izmērus, skrūvju vertikālo rindu soli pieņem pēc skrūvēm



7.23. att. Skrūvētas sijas montāžas salaide.

izvietojanas minimālajiem atstatumiem, horizontālo rindu soli — ne lielāku par skrūvju izvietojanas maksimālo atstatumu.

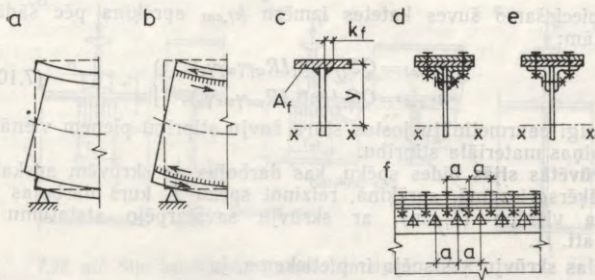
Skrūvētas sijas montāžas salaides konstrukcija parādīta 7.23. attēlā. Apskatāmās sijas plaukts sastāv no leņķprofiliem un divām loksnēm. Sijas darba elementi salaides šķēluma A—A attēlā ir iesvīroti. Montāžas skrūvsalaidēm plaukta loksnes pārsedz ar darba starplikām un uzliktņiem, kuri šķēlumā A—A pārvada uz loksnēm attiecināmo spēka daļu. Plaukta leņķprofilus pārsedz ar uzliktņiem, kas izgatavoti no tādu pašu izmēru leņķprofila, sienīņu — ar sienīņas uzliktņiem. Sienīņas uzliktņus palaiž zem leņķprofila uzliktņiem. Tādēļ šo uzliktņu biezumu pieņem vienādu ar leņķprofila plaukta biezumu. Starp sienīņas uzliktni un plaukta leņķprofilu konstruktīvi ievieto no loksnes izgatavotu starpliku, kuras biezumu arī pieņem vienādu ar leņķprofila plaukta biezumu. Plaukta lokšņu darba starpliku un uzliktņu neto šķērsgriezuma laukumu pieņem ne mazāku par attiecīgās loksnes neto šķērsgriezuma laukumu. Līdzīgi neto šķērsgriezuma laukumu pieņem arī leņķprofilu un sienīņas uzliktņiem.

Skrūvētu siju atsevišķo elementu salaides aprēķina citu no citas neatkarīgi. Aprēķinu izdara katram elementam atsevišķi. Skrūvju skaitu katrā pusē no salaides ass pieņem tādu, lai skrūvju nestspēja būtu vismaz vienāda ar darba uzliktņu un starpliku nestspēju.

## 7.7. SIJU MEZGLI UN SAJŪGUMI

### 7.7.1. SALIKTU SIJU PLAUKTA UN SIENĪNAS SAVIENOJUMA APRĒĶINS

Saliktu siju plauktus un sienīņas sametina vai savieno ar lielas stiprības skrūvēm. Ja elementus nesavienotu, tad, sijai izliecoties, plaukti un sienīņa savstarpēji nobīdītos (7.24. att. a) un to kopējā nestspēja būtu daudz mazāka par vienota liekta elementa nestspēju.



7.24. att. Sijas plaukta un sienas savienojuma darbības un aprēķina shēmas:

*a* un *b* — darbības shēmas; *c*, *d* un *e* — statiskā momenta aprēķina shēmas; *f* — skrūvētu siju joslas bīdes spēka aprēķina shēma.

Plaukta un sienas savienojumu (t. s. joslas savienojumu) aprēķina pēc bīdes spēka  $T$  (7.24. att. *b*), kas rodas savienojuma šķērsgriezumā uz garuma vienību (1 cm):

$$T = \tau_w t_w = QS_f / I, \quad (7.102)$$

kur  $\tau_w$  — sienas cirpes spriegumi savienojuma vietā ar plauktu;  
 $Q$  — aprēķina šķērsspēks apskatāmā sijas šķērsgriezumā;  
 $I$  — šķērsriezuma inerces moments;  
 $S_f$  — šķērsriezuma nobīdāmās daļas statistiskais moments pret neitrālo asi.

Nobīdāmās daļas statisko momentu metinātām sijām nosaka pēc plaukta šķērsriezuma laukuma (7.24. att. *c*)  $S_f = A_f y$ ; skrūvētām sijām, aprēķinot skrūves, ar kurām leņķprofilus piestiprina pie sienas, — pēc plaukta lokšņu un leņķprofilu šķērsriezuma laukuma (7.24. att. *d*), aprēķinot skrūves, kuras piestiprina plaukta lokšnes pie leņķprofiliem, — pēc plaukta loksnēm (7.24. att. *e*).

Metinātās sijās bīdes spēku uzņem joslu stūra šuves, kuru garuma vienības (1 cm) stiprību pārbauda pēc šādām formulām:

$$\tau_{wf} = \frac{T}{n\beta_f k_f} = \frac{QS_f}{n\beta_f k_f I} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (7.103)$$

$$\tau_{wz} = \frac{T}{n\beta_z k_f} = \frac{QS_f}{n\beta_z k_f I} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c, \quad (7.104)$$

kur  $n$  — joslas šuvju skaits.

Vienpusējas joslas šuves ( $n=1$ ) lieto, ja ievēroti to konstruēšanas noteikumi (sk. 5.7. apakšnodaļu) un sienas noturības pārbaudē izteiksmju (7.81) vai (7.83) kreisā puse nav lielāka par  $m\gamma_c = 0,9\gamma_c$ .

Nepieciešamo šuves katetes izmēru  $k_{f,cal}$  aprēķina pēc šādām formulām:

$$\left. \begin{aligned} k_{f,cal} &= QS_f / (n\beta_f IR_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c); \\ k_{f,cal} &= QS_f / (n\beta_z IR_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c). \end{aligned} \right\} \quad (7.105)$$

Pilnīgi caurmetinātu joslas stūra šuvju stiprību pieņem vienādu ar sienīņas materiāla stiprību.

**Skrūvētās sijās** bīdes spēku, kas darbojas uz skrūvēm apskatāmajā šķērsgriezumā, aprēķina, reizinot spēku  $T$ , kurš darbojas uz garuma vienību (1 cm), ar skrūvju savstarpējo atstatumu  $a$  (7.24. att. f).

Joslas skrūvju nestspēja ir pietiekama, ja

$$Ta = \frac{QS_f}{I} a \leq n_b k Q_{bh} \gamma_c, \quad (7.106)$$

kur  $n_b$  — skrūvju skaits aprēķina šķērsgriezumā;

$k$  — berzes virsmu skaits;

$Q_{bh}$  — spēks, kuru uzņem ikviens ar vienu lielas stiprības skrūvi savilkto elementu berzes virsma.

Skrūvju savstarpējo atstatumu  $a$  aprēķina šādi. Atbilstoši joslas lenķprofila izmēriem pieņem skrūvju urbumu diametru, skrūvju kātu diametru (sk. 6.1. tab.) un aprēķina  $Q_{bh}$ . Pēc tam aprēķina atstatumu  $a$  pēc formulas

$$a \leq \frac{n_b k Q_{bh} \gamma_c I}{QS_f}. \quad (7.107)$$

Līdz 12 m garām sijām joslas skrūves parasti izvieta vienādos atstatumos. Garākām sijām pie balstiem, kur šķērsspēka iedarbība ir vislielākā, skrūvju soli pieņem mazāku.

### 7.7.2. KONCENTRĒTU SLODŽU PIELIKŠANAS VIETU STIPRĪBAS APRĒĶINS

Koncentrētu slodžu (spēku) pielikšanas vietās sijas joslā rodas vietējie spriegumi.

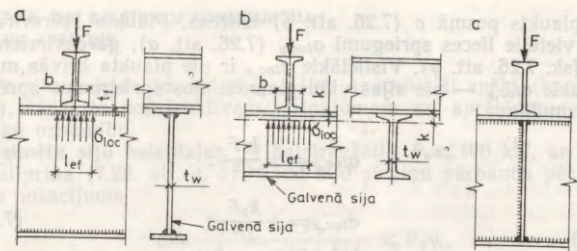
Balstot tieši uz nesošās (galvenās) sijas joslas otru siju (sk. 7.2. apakšnodalā stāvveida sajūgumu), otrās sijas balstreakcija iedarbojas kā koncentrēta slodze. Ja slodze nav liela ( $F \leq 100 \dots 150$  kN), galvenās sijas sienīņu ar stinguma ribām nenostiprina (7.25. att. a, b) un slodzi uzņem tikai sienīņa.

Sijas stiprība ir pietiekama, ja vietējie spiedes spriegumi

$$\sigma_{loc} = F / (t_w l_{ef}) \leq R_y \gamma_c, \quad (7.108)$$

kur  $F$  — slodzes aprēķina vērtība;

$l_{ef}$  — nosacīts slodzes sadalījuma garums pa galvenās sijas sienīņu.



7.25. att. Siju balstījumi uz nesošajām sienām:

a un b — nenostiprinot sienīgu ar stinguma ribām; c — nostiprinot sienīgu ar stinguma ribām.

### Koncentrētas slodzes sadalījuma garums

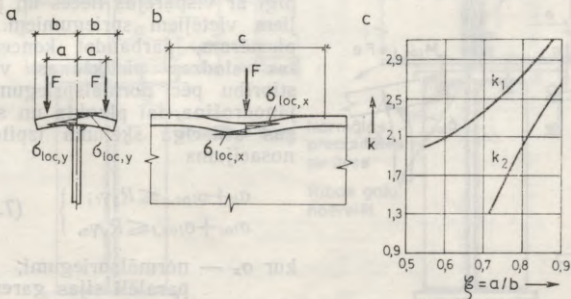
$$l_{ef} = b + 2t_f, \quad (7.109)$$

kur  $b$  — augšējās sijas plaukta platums;

$t_f$  — galvenās (apakšējās) sijas plaukta biezums; velmētām sijām šajos aprēķinos par  $t_f$  pieņem atstatumu  $k$  no plaukta ārējās skaldnes līdz sienīgas iekšējā noapaļojuma sākumam (sk. 7.25. att. b).

Ja koncentrētā slodze  $F > 100 \dots 150$  kN, galvenās sijas sienīgu nostiprina ar stinguma ribām (7.25. att. c). Pie tam, ja slodze ir ļoti liela ( $F > 300 \dots 500$  kN), nostiprinājuma ribas pārbauda pēc virsmas spiedes un noturības analogiski balstribas aprēķinam (sk. 7.7.3. sadaļu), aizvietojojot balstreakcijas spēku  $F_v$  ar koncentrētu spēku  $F$ .

Pārtrauktu siju balstījums attiecībā pret apakšējās sijas sienīgu var būt nobīdīts. Tādēļ koncentrēta spēka pielikšanas vietā galvenās



7.26. att. Sijas plaukta vietējo spriegumu aprēķina shēmas:

a un b — spriegumu epīras un apzīmējumi; c — koeficientu  $k_1$  un  $k_2$  grafiki.

sijas plaukts posmā  $c$  (7.26. att.  $b$ ) izliecas. Plaukta šķērsvirzienā rodas vietējie lieces spriegumi  $\sigma_{loc,y}$  (7.26. att.  $a$ ), garenvirzienā —  $\sigma_{loc,x}$  (sk. 7.26. att.  $b$ ). Vislielākie  $\sigma_{loc,x}$  ir pie plaukta brīvās malas, vislielākie  $\sigma_{loc,y}$  — pie sijas vidusplaknes. Šos spriegumus aprēķina pēc formulām

$$\sigma_{loc,y} = \pm \frac{k_1 F}{t_f^2}; \quad (7.110)$$

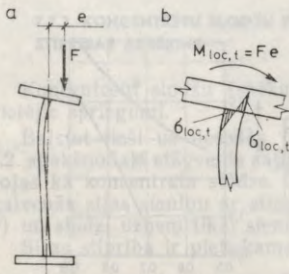
$$\sigma_{loc,x} = \pm \frac{k_2 F}{t_f^2}, \quad (7.111)$$

kur  $k_1$  un  $k_2$  — koeficienti, kurus atkarībā no attiecības  $\xi = a/b$  (sk. 7.26. att.  $a$ ) pieņem pēc 7.26. attēlā  $c$  dotā grafika;  
 $t_f$  — galvenās sijas plaukta biezums; velmētām sijām ar slīpu plaukta iekšējo skaldni, aprēķinot  $\sigma_{loc,y}$ , par  $t_f$  pieņem plaukta biezumu pie sienīņas, kur ar to krustojas plaukta skaldņu līnijas; aprēķinot  $\sigma_{loc,x}$ , par  $t_f$  pieņem plaukta vidējo biezumu.

Ja slodze pielikta ekscentriski (vienpusējs sijas balstījums, ekscentriskis sliežu izvietojums virs celtņu ceļa sijām), rodas vietējs vērpes moments  $M_{loc,t} = Fe$ , kas galvenās sijas sienīņu izliec (7.27. att.). Vietējos vērpes spriegumus, kuru vislielākā vērtība ir sienīņas malās (7.27. att.  $b$ ), aprēķina pēc formulas

$$\sigma_{loc,t} = \pm \frac{M_{loc,t} t_w a}{0,75 I_t h_w} \leq R_y \gamma_c, \quad (7.112)$$

kur  $I_t = b_f t_f^3 / 3$  — sijas plaukta vērpes inerces moments;  
 $a$  — atstatums starp stinguma pamatšķērsribām.



7.27. att. Sijas sienīņas vietējo vērpes spriegumu aprēķina shēmas:  
 $a$  — slodzes (spēka) pielikšanas shēma;  
 $b$  — vietējo vērpes spriegumu epīra.

Pārbaudot siju stiprību, vietējos vērpes spriegumus ievērtē kopīgi ar vispārējās lieces un pārējiem vietējiem spriegumiem. Tā, piemēram, pārbaudot koncentrētas slodzes pielikšanas vietas stiprību pēc normālspriegumiem, jānodrošina, lai plaukta un sienīņas attiecīgā šķēlumā izpildītos nosacījums

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x + \sigma_{loc,x} &\leq R_y \gamma_c; \\ \sigma_{loc,t} + \sigma_{loc,t} &\leq R_y \gamma_c, \end{aligned} \right\} \quad (7.113)$$

kur  $\sigma_x$  — normālspriegumi, kas paralēli sijas garensij un aprēķināti vispārējai liecei pēc formulas (7.10) vai (7.11).

### 7.7.3. SIJU BALSTDAĻU KONSTRUKCIJA UN APRĒĶINS

Uz siju balstdaļām iedarbojas lieli koncentrēti spēki (balstreakcijas), tādēļ to konstruktīvam risinājumam un aprēķinam pievērš sevišķu uzmanību.

**Velmētu siju balstdaļas**, ja balstreakcija  $F_v \leq 100$  kN, ar ribām nenostiprina (7.28. att. a, b). Šādu siju sieniņu pārbauda pēc noturības nosacījuma

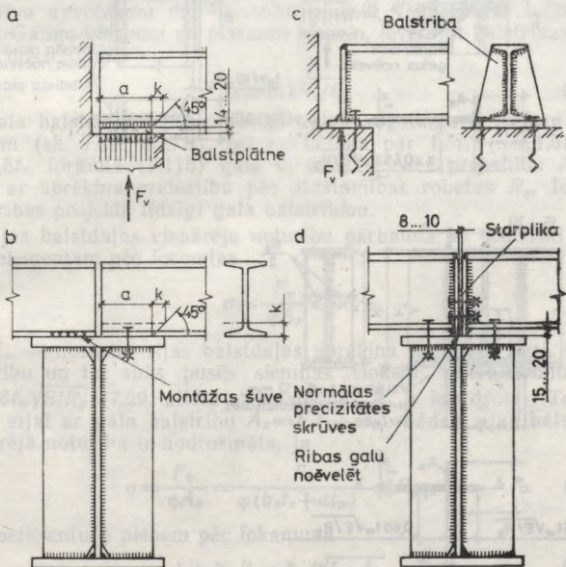
$$\sigma = \frac{F_v}{\varphi A_s} = \frac{F_v}{\varphi (a+k)t_w} \leq R_y \gamma_c, \quad (7.114)$$

kur  $A_s$  — nosacīts sieniņas balstdaļas laukums;  $A_s = (a+k)t_w$ ;

$a$  — virs balsta izvietotās sieniņas daļas garums;

$k$  — atstatums no sijas plaukta ārējās skaldnes līdz sieniņas iekšējā noapaļojuma sākumam.

Koeficientu  $\varphi$  pieņem pēc lokanuma  $\lambda = l_{ef}/i = h_w/(0,289t_w)$  kā centriski spiestam statnim, kura aprēķina garums  $l_{ef}$  vienāds ar velmētās sijas sieniņas augstumu  $h_w$ .

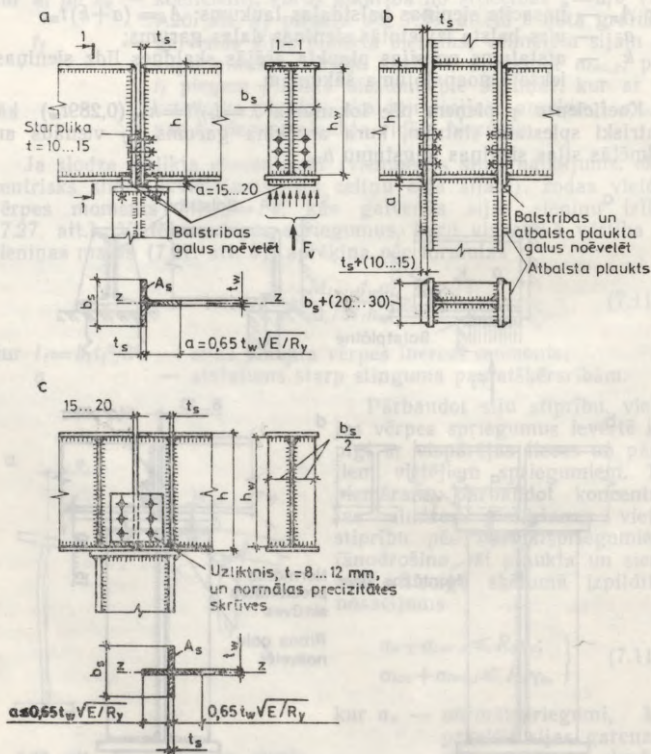


7.28. att. Velmētu siju balstījumi:

a un b — bez balstribām; c un d — ar balstribām.

Ja balstreakcija  $F_v > 100$  kN, velmēto siju balstdaļas nostiprina ar balstribām (7.28. att. *c, d*), kuru nestspēju pārbauda pēc saliktu siju balstribu aprēķina metodikas.

Saliktu siju balstdaļas viennēr nostiprina ar balstribām. Pēc konstruktīvā risinājuma un izvietojuma izšķir gala (7.29. att. *a, b*) un iekšējās (7.29. att. *c*) balstribas. Gala balstribas lieto plašāk, jo tām ir vairākas priekšrocības. Sijas ar galā izvietotu balstribu var sajūgt ar kolonnām no virspuses vai sāniem, tās var balstīt arī uz citām sijām. Gala balstribas precīzi pārvada balstreakciju. Ribas apakšējo galu noēvelē, tādējādi uzlabojot ribas darbību un aprēķina priekšnosacījumus. Iekšējo balstribu izgatavošana ir darbietilpī-



7.29. att. Saliktu siju balstdaļas:

*a* un *b* — balstdaļa ar gala balstribu; *c* — balstdaļa ar iekšēju balstribu.

gāka. Tās nenodrošina centrisku slodžu pārvadīšanu uz kolonnu, un tās lieto galvenokārt sijām, kuras balsta uz sienām.

Sijas balstdaļai ar aprēķinu pārbauda balstribas stiprību pēc ribas gala virsmas spiedes spriegumiem, balstribas noturību, balstdaļas vispārējo noturību un balstribas un sieniņas savienojuma stiprību.

**Balstribas stiprība** pēc ribas gala virsmas spiedes spriegumiem ir pietiekama, ja

$$\sigma_p = F_v/A_p = F_v/(b_s t_s) \leq R_p \gamma_c, \quad (7.115)$$

kur  $\sigma_p$  — gala virsmas spiedes spriegumi;  
 $A_p$  — balstribas gala virsmas laukums;  
 $b_s$  — balstribas platums;  
 $t_s$  — balstribas biezums;  
 $R_p$  — gala virsmas spiedes aprēķina pretestība (sk. pielikumu 2. tab.).

Gala balstribu parasti projektē šādi. Izmantojot stiprības nosacījumu (7.115), aprēķina nepieciešamo balstribas šķēsgriezuma laukumu  $A_{p,cal} = F_v/(R_p \gamma_c)$ . Pēc tam, pieņemot balstribas biezumu  $t_s = 16 \dots 20$  mm, aprēķina balstribas platumu  $b_s = A_{p,cal}/t_s$ . Konstruktīvu apsvērumu dēļ balstribu pieņem vismaz 180...200 mm platu. Galīgo biezumu un platumu pieņem, ievērojot balstribas noturības nosacījumu

$$t_s \geq b_s \sqrt{R_y/E}. \quad (7.116)$$

Gala balstribas lejupizvirzītās daļas augstumu  $a$  pieņem 15...20 mm (sk. 7.29. att. a), bet ne lielāku par  $1,5t_s$  ( $a \leq 1,5t_s$ ). Ja  $a > 1,5t_s$ , formulā (7.115) gala virsmas spiedes pretestību  $R_p$  aizvieto ar aprēķina pretestību pēc plūstamības robežas  $R_y$ . Iekšējās balstribas projektē līdzīgi gala balstribām.

Sijas balstdaļas vispārējo noturību pārbauda kā centriski spiestam elementam pēc formulas

$$\sigma = \frac{F_v}{\varphi A_s} \leq R_y \gamma_c,$$

kur  $A_s$  — nosacīts sijas balstdaļas aprēķina laukums, kurā iekļauj balstribu un tai abās pusēs sieniņas sloksni ar platumu  $a = 0,65t_w \sqrt{E/R_y}$  (7.29. attēlā  $a, c$  laukums  $A_s$  ir iesvītrots). To ievērojot, sijai ar gala balstribu  $A_s = b_s t_s + a t_w$ . Šādas sijas balstdaļas vispārējā noturība ir nodrošināta, ja

$$\sigma = \frac{F_v}{\varphi A_s} = \frac{F_v}{\varphi (b_s t_s + a t_w)} \leq R_y \gamma_c. \quad (7.117)$$

Koeficientu  $\varphi$  pieņem pēc lokanuma

$$\lambda = h_w/i_z = h_w/\sqrt{I_{sz}/A_s}, \quad (7.118)$$

kur  $I_{sz}$  — balstdaļas šķēluma nosacītā laukuma inerces moments pret  $z-z$  asi pa sieniņas vidusplakni (sk. 7.29. att. a).

**Balstribas un sienīgas savienojuma aprēķins.** Metinātās sijās balstreakciju uz balstribu pārvada vertikālās stūra šuves, kas sienīņu savieno ar ribi. Nepieciešamo šuves katetes izmēru aprēķina pēc formulām

$$k_{f,cat} = F_v / (nl_w \beta_f R_{wf} \gamma_w \gamma_c); \quad (7.119)$$

$$k_{f,cat} = F_v / (nl_w \beta_z R_{wz} \gamma_w \gamma_c), \quad (7.120)$$

kur  $n$  — šuvju skaits.

#### 7.7.4. SIJU SAJŪGUMU KONSTRUKCIJA UN APRĒKINS

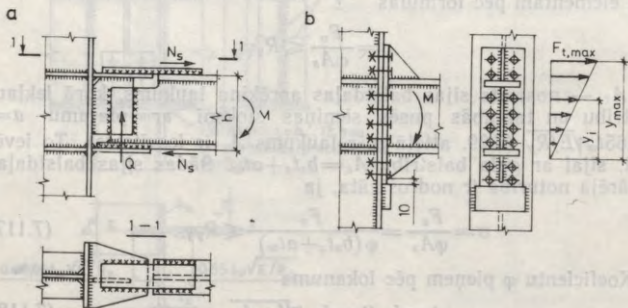
Balstijuma vietās sijas sajūdz ar citiem konstrukcijas elementiem — kolonnām un sijām.

Ar kolonnām sijas var sajūgt no virspuses (sk. 7.29. att. *a, c*) vai arī no sāniem (7.29. att. *b*; 7.30. att.). Izšķir šarnīrveida (sk. 7.29. att.) un stingus (7.30. att.) siju sajūgumus ar kolonnām.

Siju šarnīrveida sajūgšanai ar kolonnām lieto rupjas vai normālas precizitātes skrūves. Tās izvieto balstribas apakšējā daļā —  $(1/3 \dots 1/2)h$  atstatumā no apakšas, jo augstāk izvietotas skrūves balsta šķēsgriezumam neļauj pagriezties un traucē balstijuma darbību pēc šarnīrveida shēmas. Arī savienotājumliktņus (sk. 7.29. att. *c*) izvieto sijas apakšējā daļā.

Sijas, kuras ar kolonnām sajūdz no sāniem, balsta uz atbalstplaukta (sk. 7.29. att. *b*). Ievērojot izgatavošanas neprecizitātes un varbūtēju vienas puses pārslodzi, katras plaukta malas šuves garumu aprēķina pēc  $(2/3)F_v$  liela spēka ( $F_v$  — balstreakcija).

Stingiem sajūgumiem siju izturīgi savieno ar kolonnu no sāniem. Sajūgšanai lieto metināšanu vai skrūves. Lai stingiem, meti-



7.30. att. Siju un kolonnu stingi sajūgumi: *a* — metināts sajūgums; *b* — skrūvēts sajūgums.

nātiem sajūgumiem montāžas apstākļos šuves varētu metināt apakšējā stāvoklī, sijas apakšējo un augšējo joslu ar kolonnu sajūdz atšķirīgi (7.30. att. a).

Sajūguma aprēķina garenspēku  $N_s$  nosaka pēc formulas (7.90).

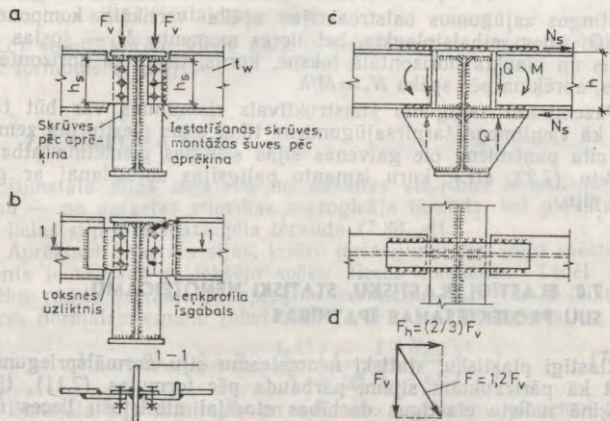
Stings, skrūvēts sijas un kolonnas sajūgums parādīts 7.30. attēlā b. Šāda sajūguma balstreakcijas vertikālo komponenti uzņem atbalstplaukts, bet lieces momentu pārvada sijas galā piemetināts atloks, kuru kolonnai pievieno ar skrūvēm. Uz atloku iedarbojas spiedes un lieces spēki, tādēļ to izgatavo no biezas loksnes (16... 20 mm). Atbilstoši konstrukciju pētījumu rezultātiem šāda sajūguma elastīgā pagrieziņa asi pieņem apakšējā plaukta līmenī. Skrūvju maksimālo stiepes spēku  $F_{t,max}$ , kuru uzņem divas augšējās, uz vienas horizontāles izvietotās skrūves, aprēķina pēc formulas (6.17).

Sijas savā starpā sajūdz dažādi atkarībā no siju režģa tipa un pieļaujamā pārseguma būvaugstuma. Šo sajūgumu klasifikācija dota 7.2. apakšnodaļā.

Stāvveida sajūguma konstruktīvie risinājumi parāditi 7.25. attēlā un 7.28. attēlā b, d.

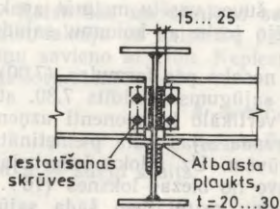
Vienlīmeņa sajūgumi redzami 7.31. attēlā. Izšķir vienlīmeņa šarnīrsajūgumus (7.31. att. a, b) un stingus sajūgumus (7.31. att. c).

Šarnīrsajūgumus lieto, ja siju režģa mezglam nav jāpārvada balstmoments. Ir vairāki šarnīrsajūgumu konstruktīvie risinājumi. Pēc viena no tiem klāja sijas plauktus nogriež (sk. 7.31. att. a) un sieniņu ar skrūvēm piestiprina pie galvenās sijas pamatšķērs-



7.31. att. Siju vienlīmeņa sajūgumi:

a un b — šarnīrsajūgumi; c — stings sajūgums; d — šarnīrsajūguma aprēķina shēma.



7.32. att. Pazemināts palīgsijas un galvenās sijas šarnirsajūgums.

tādēļ, ka skrūvju dēļ aprēķina šķērsgriezumā klāja sija nevar pilnīgi brīvi pagriezties un rodas iespīlējuma moments (spēkpāris), kas papildus slogo skrūvsavienojuma elementus. Pēc palielinātā spēka  $F$  aprēķina arī uzliktņa vai īsgabala piemetināšanas šuves.

Klāja sijas sienīņas vājinātā šķērsgriezuma stiprību pārbauda pēc formulas

$$\tau = \frac{F_v}{A_s} = \frac{F_v}{(h_s - n_b d_c) t_w} \leq R_s \gamma_c, \quad (7.121)$$

kur  $A_s$  — atstātās sienīņas daļas neto šķērsgriezuma laukums;  
 $d_c$  — urbumu diametrs;  
 $h_s$  — sienīņas augstums (sk. 7.31. att. a).

Stingos sajūgumos balstreācijas spēka vertikālo komponenti  $F_v = Q$  uzņem atbalstplaukts, bet lieces momentu  $M$  — joslas uzliktnis un plaukta horizontālā loksne, kurus, tāpat kā horizontālās šuves, aprēķina pēc spēka  $N_s = M/h$ .

Pazeminātu sajūgumu konstruktīvais risinājums var būt tāds pats kā vienlīmeņa šarnirsajūgumiem, tikai sijas piestiprina zemāk. Pēc cita paņēmiena pie galvenās sijas sienīņas piemetina atbalstplauktu (7.32. att.), kuru izmanto palīgsijas sajūgšanai ar galveno siju.

## 7.8. ELASTĪGI PLASTISKU, STATISKI NENOTEICAMU SIJU PROJEKTĒŠANAS ĪPATNĪBAS

Elastīgi plastisku, statiski nenoteicamu siju normālsprīgumus, tāpat kā pārtrauktām sījām, pārbauda pēc formulas (7.11), tikai aprēķinā nelieto elastīgas darbības stadijai atbilstošu lieces momentu, bet citu lieces momenta vērtību.

Atbilstoši projektēšanas normām [22] pastāvīga šķēluma dubult-T sījām, kurām blakus laidumu garumi atšķiras ne vairāk par

20% un kuras izliecas lielākā stinguma plaknē, normālspriegumus pārbauda pēc aprēķina lieces momenta

$$M = \alpha M_{\max}, \quad (7.122)$$

kur  $M_{\max}$  — balsta vai laiduma lieces momenta vislielākā vērtība, kas aprēķināta kā elastīgai sijai;

$\alpha$  — momenta vērtību pārdalīšanas koeficients, kuru aprēķina pēc formulas

$$\alpha = 0,5(1 + M_{ef}/M_{\max}). \quad (7.123)$$

Seit  $M_{ef}$  ir nosacīts lieces moments, kuru atrod šādi:

a) nepārtrauktām, brīvi balstītām sijām kā lielāko no vērtībām

$$M_{ef} = \max(M_1/(1 + a/l)); \quad (7.124)$$

$$M_{ef} = 0,5M_2, \quad (7.125)$$

kur  $M_1$  — malējā laiduma lieces moments, kas aprēķināts kā brīvi balstītai vienlaiduma sijai;

$M_2$  — starplaidumu maksimālais lieces moments, kas aprēķināts kā brīvi balstītai sijai;

$a$  — atstatums no šķēluma, kurā darbojas moments  $M_1$ , līdz malējam balstam;

$l$  — malējā laiduma garums;

b) vienlaiduma iespīlētām sijām un nepārtrauktām sijām ar iespīlētiem galiem

$$M_{ef} = 0,5M_3, \quad (7.126)$$

kur  $M_3$  — momenta maksimālā vērtība, kas aprēķināta kā brīvi balstītai vienlaiduma sijai;

c) sijām, kurām viens gals ir iespīlēts, bet otrs brīvi balstīts, pēc formulas (7.124).

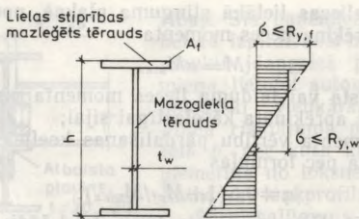
## 7.9. BIMETĀLA SIJAS

Bimetāla sijas izgatavo no dažādas stiprības tēraudiem: sienīņu — no parastas stiprības mazoglekļa tērauda, bet plauktus — no lielas stiprības mazlēģēta tērauda (7.33. att.).

Aprēķinot bimētāla sijas, ievēro nosacījumu, ka ārējo spēku moments ir vienāds ar iekšējo spēku lieces momentu. Tādēļ ārējo spēku radīto pieļaujamo aprēķina momentu  $M_{per}$  var noteikt pēc lieces normālspriegumu robežstāvokļa epīras. Atbilstoši tai

$$M_{per} \approx R_{y,f} A_f h + R_{y,w} \frac{t_w h^2}{4} \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{R_{y,w}}{R_{y,f}} \right)^2 \right). \quad (7.127)$$

Bimetāla siju minimālo un optimālo augstumu, pieņemot  $R_y = R_{y,f}$ , aprēķina kā parastām vienmetāla sijām pēc formulām (7.21) un (7.35). Sienīņas biezuma iepriekšējai pārbaudei pēc šķērsspēka izmanto formulu (7.33) vai (7.34), pieņemot cirpes aprēķina pre-



7.33. att. Bimetāla siju aprēķina shēma.

testību  $R_s$  pēc sienīgas materiāla stiprības.

Pēc sijas augstuma un sienīgas biezuma noteikšanas aprēķina sienīgas uzņemto momenta daļu

$$M_w = R_{y,w} \frac{t_w h^2}{4} \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{R_{y,w}}{R_{y,f}} \right)^2 \right) \quad (7.128)$$

un momentu, kas jāuzņem plauktiem,

$$M_f = M_{per} - M_w = R_{y,f} A_f h. \quad (7.129)$$

Plaukta nepieciešamā šķērsgriezuma aprēķinam izmanto formulu (7.129), no kurienes

$$A_{f,cat} = M_f / (R_{y,f} h). \quad (7.130)$$

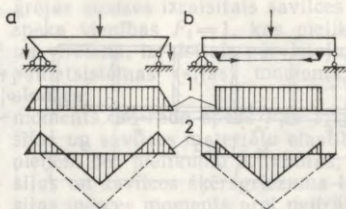
Pēc plaukta izmēru pieņemšanas aprēķina šķērsgriezuma faktiskos ģeometriskos raksturojumus un pārbauda sijas stiprību: normālsprīgumus — pēc formulas (7.127), tangenciālos sprīgumus — pēc formulas (7.12) vai (7.40).

## 7.10. IEPRIEKŠ SASPRIEGTAS SIJAS

Iepriekš saspriegtās sijas speciāli tiek radīti iekšējie sprīgumi, kuri parasti ir ar pretēju zīmi nekā ārējo slodžu izraisītie sprīgumi. Tas palielina materiāla elastīgās darbības diapazonu un sijas nestspēju. Sādu siju izgatavošanai vajag līdz 18% mazāk metāla, un siju izmaksas samazinās līdz 10%.

Iepriekšēju saspriegšanu realizē, regulējot lieces momentu vai lietojot saspriegšanas elementus. Lieces momentu regulē, mainot nepārtrauktai siju balstu augstumu, savēlot siju konsoles (7.34. att. a) u. tml. Saspriegšanai lieto no lielas stiprības stiegrām, stieplēm vai trosēm izgatavotas savilces (7.34. att. b), ar kurām saspiež ārējo slodžu stiepto sijas daļu.

Ar stieptajai joslai paralēli izvietotām, taisnām savilcēm iepriekš saspriegtās sijas darbība parādīta 7.35. attēlā. Iepriekšējās saspriegšanas spēks (savilces spēks)  $F$  sijas šķērsgriezumam pielikts



7.34. att. Iepriekšējas sasprīgšanas paņēmieni:

a — saveļkot siju konsoles; b — lietojot sasprīgšanas elementu; 1 — lieces momentu epīras pēc iepriekšējas sasprīgšanas; 2 — lieces momentu epīras pēc slodžu pielikšanas.

ekscentriski atstatumā  $e$  no sijas neitrālās ass. Šī spēka iedarbībā rodas ekscentriskās spīdes spriegumi (7.35. att. b), kurus aprēķina pēc šādām formulām:

augšējām šķiedrām

$$\sigma_{1\ sup} = -\frac{\gamma_{1f} F}{A} + \frac{\gamma_{1f} F e}{W_{sup}} \leq R_y \gamma_c; \quad (7.131)$$

apakšējām šķiedrām

$$\sigma_{1\ inf} = -\frac{\gamma_{1f} F}{A} - \frac{\gamma_{1f} F e}{W_{inf}} \leq R_y \gamma_c, \quad (7.132)$$

kur  $\gamma_{1f} = 1,1$

— slodzes drošuma koeficients, ar kuru iepriekšējās sasprīgšanas stadijā ievērtē iespējamo sijas pārslodzi;

$A$  — sijas šķēsgriezuma laukums;

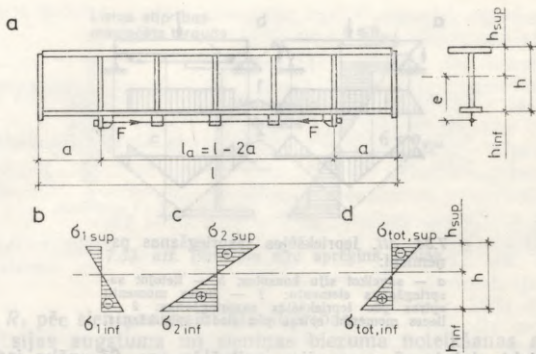
$W_{sup}$  un  $W_{inf}$  — šķēsgriezuma augšējo un apakšējo šķiedru pretestības moments.

Aprēķina šķēsgriezumā spriegumi  $\sigma_{1\ sup}$  un  $\sigma_{1\ inf}$  nedrīkst būt lielāki par  $R_y \gamma_c$ , jo pretējā gadījumā iepriekšējās sasprīgšanas spēks  $F$  siju sagraus.

Ārējo slodžu izraisītajiem spriegumiem ir pretēja zīme (7.35. att. c). Sos spriegumus aprēķina pēc formulām

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{2\ sup} &= -M/W_{sup}; \\ \sigma_{2\ inf} &= M/W_{inf}. \end{aligned} \right\} \quad (7.133)$$

Rezultējošos spriegumus iegūst, summējot iepriekšējās sasprīgšanas spēka un ārējo slodžu radītos spriegumus. Tikai jāievēro, ka, pieliekot ārējās slodzes, sija izliecas un tās apakšējās šķiedras pagarinās. Līdz ar tām pagarinās savilce un tajā pieaug iekšējais stiepes spēks, pēc kura aprēķina ekscentriskās spīdes spriegumus. Tādēļ, summējot spriegumus, formulās (7.131) un (7.132)  $F$  vietā jāievieto spēks  $F + F_1$ , kur  $F_1$  — pašspriedzes spēks. To ievērojot, iepriekš sasprīgtu siju normālsprīgumus (7.35. att. d) pārbauda pēc šādām formulām:



7.35. att. Iepriekš saspriegta sija:

$a$  — konstruktīvā shēma;  $b, c$  un  $d$  — normālspriegumu epīras.

augšējām šķiedrām

$$\sigma_{tot, sup} = -\frac{\gamma_{2f} F + F_1}{A} + \frac{(\gamma_{2f} F + F_1) e}{W_{sup}} - \frac{M}{W_{sup}} \leq R_y \gamma_c; \quad (7.134)$$

apakšējām šķiedrām

$$\sigma_{tot, inf} = -\frac{\gamma_{2f} F + F_1}{A} - \frac{(\gamma_{2f} F + F_1) e}{W_{inf}} + \frac{M}{W_{inf}} \leq R_y \gamma_c, \quad (7.135)$$

kur  $\gamma_{2f} = 0,9$  — slodzes drošuma koeficients, ar kuru ievērtē iepriekšējās saspriegšanas spēka iespējamo samazināšanos, kas palielinātu sijas galīgos spriegumus.

Nodrošinot iepriekšējās saspriegšanas spēka kontroli, drīkst pieņemt slodžu drošuma koeficientus  $\gamma_{1f} = \gamma_{2f} = 1$ .

No lielas stiprības stiegrām un stieplēm izgatavota saspriegšanas elementa (savilces) stiprību pārbauda pēc formulas

$$\sigma = \frac{\gamma_{1f} F + F_1}{A_p} \leq R_{dh} \gamma_c, \quad (7.136)$$

kur  $A_p$  — savilces šķērsriezuma laukums;

$R_{dh}$  — lielas stiprības stiegras vai stieples aprēķina pretestība;

$$R_{dh} = 0,63 R_{un}.$$

Pašspriedzes spēku  $F_1$  nosaka pēc vienreiz statiski nenoteicamas sijas liekā nezināmā aprēķināšanas vispārējās formulas

$$F_1 = -\frac{\Delta_{1P}}{\delta_{11}} = \frac{\int_a^{l-a} \frac{M_1 M}{EI} dx}{\int_a^{l-a} \frac{M_1^2}{EI} dx + \frac{l_a}{EA} + \frac{l_a}{E_p A_p}}, \quad (7.137)$$

- kur  $\Delta_{1F}$  — ārējās slodzes izraisītais savilces pagarinājums;  
 $\delta_{11}$  — spēka vienības  $F_1=1$ , kas pielikta savilces vietā un virzienā, izraisītais pārvietojums;  
 $M$  — pamatsistēmas (sijas) moments, ko rada ārējās slodzes;  
 $M_1$  — moments, ko rada spēks  $F_1=1$ ;  
 $E$  un  $E_p$  — sijas un savilces materiālu elastības moduļi, kurus pieņem pēc pielikumu 3. tabulas;  
 $A$  un  $A_p$  — sijas un savilces šķērsriezuma laukums;  
 $I$  — sijas inerces moments pret neitrālo asi;  
 $a$  — atstatums no sijas balsta līdz savilces nostiprinājuma šķēlumam (7.35. att. a);  
 $l_a$  — savilces garums.

Sijām ar stieptai joslai paralēlām taisnām savilcēm un simetrisku slodzi pašspriedzes spēks

$$F_1 = \frac{\omega e}{\left( e^2 + \frac{EI}{E_p A_p} + \frac{I}{A} \right) l_a}, \quad (7.138)$$

kur  $\omega$  — no ārējām slodzēm aprēķinātā lieces momenta epīras laukums posmā starp savilces nostiprinājuma šķēļumiem.

Sijas apakšējās joslas vispārējo noturību pārbauda pēc iepriekšējās sasprīegšanas spēka  $F$ . Jānodrošina

$$\sigma_{1 inf} \leq \varphi R_y \gamma_c, \quad (7.139)$$

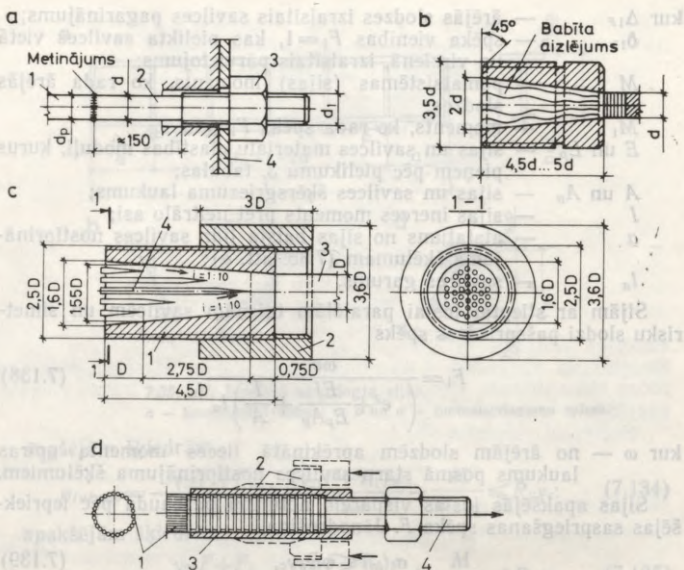
kur  $\varphi$  — apakšējās joslas garenlieces koeficients sijas plaknei perpendikulārā plaknē posmam starp savilces nostiprinājuma šķēļumiem.

Iepriekš sasprīegtas sijas izgatavo no mazoglekļa un mazlēģētajiem tēraudiem. Visizdevīgākās ir nesimetriska šķērsriezuma sijas, kurām augšējā josla platāka par apakšējo joslu un asimetrija

$$\alpha = W_{sup}/W_{inf} = h_{inf}/h_{sup} = 1,6 \dots 1,8. \quad (7.140)$$

Optimālais materiāla sadalījums sijas šķērsriezumā: augšējam plauktam  $A_{f, sup} = (0,3 \dots 0,35)A$ , sānīnai  $A_w = (0,55 \dots 0,6)A$ , apakšējam plauktam  $A_{f, inf} = (0,1 \dots 0,15)A$  ( $A$  — visas sijas šķērsriezuma laukums).

Savilces galos ierīko dažāda tipa enkurus. Ja savilce izgatavota no stiegras, enkurošanai izmanto uzgriežņus, kurus uzskrūvē savilces gala elementiem (7.36. att. a). Grūtāk ir noenkurot no stieplēm izgatavotus kūļus un troses, jo šādās savilcēs iepriekšējās sasprīegšanas spēki ir lieli, bet enkuram jābūt kompaktam un vieglam. Ir izstrādāti vairāki kūļiem un trosēm piemēroti enkuru tipi. Lieto, piemēram, tērauda ietveri (7.36. att. b), kuras paplašinātajā daļā atpitos troses vai stieples galus aizlej ar bābitu. Labi darbojas kūļiem piemērots enkurs (7.36. att. c), kura ietveres paplašinātajā daļā starp stieplēm iedzen dažāda garuma ķīļus. Nelielu no stiep-



7.36. att. Enkuru tipi:

*a* — uzgrieznis; *1* — savilces stiegra; *2* — gala elements; *3* — uzgrieznis; *4* — savilces balsta konstrukcija; *b* — ietvere ar babīta aizlējumu; *c* — ietvere ar sikiem ķīļiem; *1* — enkura ietvere; *2* — uzmaņa; *3* — stieņu kūlis; *4* — ķīļi; *d* — nopresējamā čaula; *1* — stieples; *2* — čaula un apspaides gredzens; *3* — čaula pēc nopresēšanas; *4* — enkura stienis ar uzgriezni.

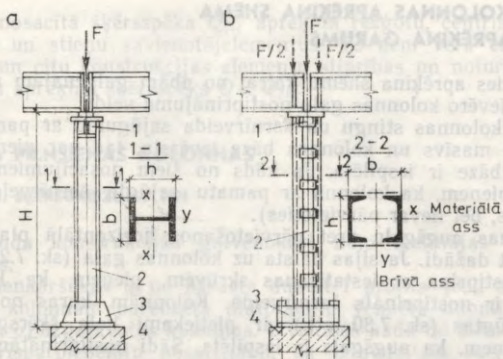
Iēm vai trosēm izgatavotu savilču enkurošanai lieto nopresējamo čaulu (7.36. att. *d*). Pēc šī paņēmiena savilces stieņu galus apliek ap enkura stieni, ievieto nopresējamā čaulā un izspiež caur matrici. Čaula cieši piespiež stieples galus un tos droši notur pie enkura stieņa. Pēc tam enkura stienim uzskrūvē uzgriežņus.

## 8. nodaļa

### CENTRISKI SPIESTAS KOLONNAS

#### 8.1. VISPĀRĪGAS ZIŅAS

Par centriski spiestām sauc kolonnas, kuru šķēlumos ārējo slodžu iedarbībā rodas tikai spiedes garenspēks. Centriski spiestas kolonnas un stieņus plaši lieto dažādās būvkonstrukcijās. Uz ko-



8.1. att. Centriski spiestas kolonnas:

a — pilnsienas; b — režģota; 1 — augšgali; 2 — stienī; 3 — bāzes; 4 — pamati.

lonnām balsta pārsegumu sijas un kopnes, darba laukumus, estakādes, cauruļvadus un citas konstrukcijas.

Kolonnas pārvada slodzi no konstrukcijas augstākajiem elementiem uz pamatu. Atbilstoši uzdevumam kolonnām ir šādas sastāvdaļas (8.1. att.): *augšgals* — kolonnas daļa, uz kuras balsta augstākās konstrukcijas; *stienis* — kolonnas galvenā daļa, kas pārvada slodzi no augšas uz leju, un *bāze* — apakšējā daļa, kas slodzi sadala pa balstlaukumu.

Atkarībā no stieņa konstrukcijas izšķir pilnsienas (8.1. att. a) un režģotas (8.1. att. b) kolonnas. Pēc materiāla izlietojuma ekonomiskākas ir režģotas kolonnas, bet to izgatavošana ir darbietilpīgāka.

Pilnsienas kolonnām ir vismaz divas centrālās galvenās ass, kas krusto šķērsriezumu (tās sauc par materiālām asīm). Režģotām kolonnām vismaz viena centrālā galvenā ass šķērsriezumu nekrusto (to sauc par brīvo asi).

Izvēloties kolonnas veidu, ievēro slodzes lielumu, konstrukcijas elementu sajūgšanas iespēju, ekspluatācijas apstākļus un izgatavošanas iespēju. Ja slodzes ir nelielas, parasti izgatavo režģotas kolonnas. No diviem U profiļiem izgatavotas kolonnas var uzņemt līdz 2700...3500 kN lielu slodzi, no diviem dubult-T profiļiem — līdz 5500...6000 kN. Lielāku slodžu uzņemšanai parasti lieto pilnsienas kolonnas. Pilnsienas kolonnas izmanto arī mazām slodzēm, jo to izgatavošana ir vienkāršāka.

## 8.2. KOLONNAS APRĒKINA SHĒMA UN APRĒKINA GARUMS

Izvēloties aprēķina shēmu katrai no abām galvenajām aprēķina plāknēm, ievēro kolonnas galu nostiprinājuma veidu.

Izšķir kolonnas stingu un šarnirveida sajūgumu ar pamatu. Ja pamats ir masīvs un kolonnas bāze izvērsta, tad var pieņemt, ka kolonnas bāze ir iespīlēta. Ja kāds no šiem nosacījumiem netiek ievērots, pieņem, ka kolonna ar pamatu sajūgta šarnirveidā (var pagriezties, bet nevar pārvietoties).

Kolonnas augšgalu pret pārvietošanos horizontālā plāknē var nodrošināt dažādi. Ja sijas balsta uz kolonnas gala (sk. 7.29. att. a, c) un piestiprina ar iestatīšanas skrūvēm, pieņem, ka kolonnas augšgals ir nostiprināts šarnirveidā. Kolonnām, kuras no sāniem stingi sajūgtas (sk. 7.30. att.) ar pietiekami liela šķērsriezuma sijām, pieņem, ka augšgals ir iespīlēts. Šādi nostiprinātām kolonnām, galīgi izvēloties aprēķina shēmu un pieņemot garuma redukcijas koeficientu  $\mu$  (sk. 4.2. tab.), augšgala iespīlējumu precīzē pēc pārvietošanās iespējas. Ja apskatāmā pārvietošanās virzienā augšgalu nostiprina saites vai arī šajā virzienā izvietotas vismaz trīs kolonnas, var pieņemt, ka kolonnas augšgals ir iespīlēts un nevar pārvietoties.

Kolonnas aprēķina garumu  $l_{ef}$  nosaka pēc formulas

$$l_{ef} = \mu l, \quad (8.1)$$

kur  $l$  — kolonnas ģeometriskais garums (atstatums starp aprēķina plāknē nostiprinātiem kolonnas šķēlumiem);  
 $\mu$  — garuma redukcijas koeficients (sk. 4.2. tab.).

## 8.3. GARENLIECES ŠĶĒRSSPĒKS

Gadījuma ekscentritātes dēļ vai arī zaudējot noturību, taisnā, centriski spīstā stienī rodas lieces moments  $M = Ny$  ( $N$  — stieņa garens spēks;  $y$  — izliece) un līdz ar to arī šķērsspēks  $Q$  (garenlieces šķērsspēks).

Lieces moments maksimālo vērtību sasniedz noturības zaudēšanas brīdī, t. i., kad  $N = N_{cr}$  ( $N_{cr}$  — kritiskais garens spēks). Pieņemot, ka stienis izliecas sinusoidāli, kritiskais šķērsspēks

$$Q_{cr} = \frac{dM}{dx} = N_{cr} \frac{dy}{dx} = \frac{\pi}{l} f_{cr} N_{cr}, \quad (8.2)$$

kur  $f_{cr}$  — stieņa izliekums noturības zaudēšanas brīdī.

Pēc savas izcelsmes garenlieces šķērsspēks ir nosacīts, un to apzīmē ar  $Q_{fic}$ . Saskaņā ar tērauda konstrukciju projektēšanas normām nosacīto šķērsspēku aprēķina pēc formulas

$$Q_{fic} = 7,15 \cdot 10^{-6} (2330 - E/R_y) N / \varphi, \quad (8.3)$$

kur  $N$  — stieņa aprēķina garens spēks;  
 $\varphi$  — garenlieces koeficients.

Pēc nosacītā šķērsspēka  $Q_{fic}$  aprēķina režgotu, centriski spiestu kolonnu un stieņu savienotājelementus. To ņem vērā ekscentriski spiestu un citu konstrukcijas elementu stiprības un noturības aprēķinos, ja aprēķina šķērsspēks  $Q < Q_{fic}$ .

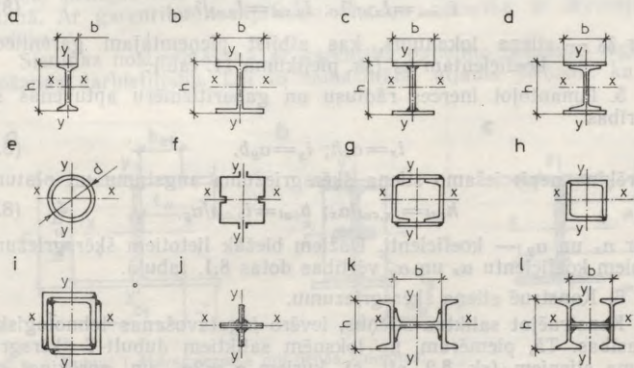
## 8.4. PILNSIENAS KOLONNAS

### 8.4.1. ŠĶĒRSGRIEZUMU TIPI

Tērauda konstrukcijās galvenokārt lieto metinātas pilnsienas kolonnas.

Visvienkāršākās ir no parasta dubult-T profila (8.2. att. *a*) vai speciāli kolonnām paredzēta platplauktu velmēta dubult-T profila (8.2. att. *b*) izgatavotas kolonnas. Izvēloties kādu no šiem profiliem, ievēro vispārpieņemtu nosacījumu, ka izraudzītais šķērsriezuma tips ir racionāls, ja abās aprēķina plaknēs kolonna ir vienādnoturīga, t. i., lokanumi  $\lambda_x = l_{x,ef}/i_x$  un  $\lambda_y = l_{y,ef}/i_y$  ir vienādi ( $l_{x,ef}$ ,  $l_{y,ef}$  un  $i_x$ ,  $i_y$  — attiecīgi reducētie garumi un šķērsriezuma inerces rādiusi pret  $x-x$  un  $y-y$  asi). Parastiem dubult-T profiliem (ГОСТ 8239—72)  $i_x \gg i_y$ . Tādēļ, lai nodrošinātu  $\lambda_x = \lambda_y$ , no tiem izgatavo kolonnas, kas mazākā stinguma plaknē papildus nostiprinātas ar saitēm vai citiem konstrukcijas elementiem. Platplauktu dubult-T profiliem gabarītmēri  $h = b$  un šķērsriezuma inerces rādiusi pret galvenajām asīm ir aptuveni vienādi. Šie profili piemēroti kolonnu izgatavošanai, ja reducētie garumi abās aprēķina plaknēs ir vienādi (aptuveni).

Plaši lieto no trim loksņēm saliktas, metinātas dubult-T kolonnas (8.2. att. *c*). Šādu kolonnu izgatavošana ir diezgan vienkārša.



8.2. att. Pilnsienas kolonnu šķērsriezumu tipi.

To šķērsriezuma izmērus var pieņemt pēc vienādnoturības nosacījuma un izgatavošanas tehnoloģiskajām prasībām.

Pilnsienas kolonnas izgatavo arī no velmēta dubult-T profila un loksņēm (8.2. att. *d*). Šādām kolonnām šķērsriezuma ģeometriskie raksturojumi pret mazākā stinguma asi ir ievērojami labāki.

Pēc materiāla izlietojuma vīsekonomiskākās ir no caurulēm izgatavotas kolonnas (8.2. att. *e*). Nelielu slodžu uzņemšanai kolonnas izgatavo no liektiem profiliem (8.2. att. *f*). Atsevišķos gadījumos vienādnoturīgas kolonnas izgatavo no U profiliem un loksņēm (8.2. att. *g*), no leņķprofiliem (8.2. att. *h, i*) vai arī tikai no loksņēm (8.2. att. *j*). Pārējos šķērsriezuma tipus (8.2. att. *k, l* u. c.) centriski spiestās kolonnās lieto reti.

#### 8.4.2. STIEŅA KONSTRUEŠANA UN APRĒKINS

Metinātu pilnsienas kolonnu stieņa šķērsriezuma izvēli un konstruēšanu veic šādā secībā.

1. Nosaka kolonnas spiedes aprēķina garenspēku.
2. Pieņem kolonnas aprēķina shēmu (sk. 8.2. apakšnodaļu).
3. Pēc formulas

$$A_{cat} = N / (\varphi R_y \gamma_c) \quad (8.4)$$

aprēķina nepieciešamo stieņa šķērsriezuma laukumu.

Šajā formulā ir divi nezināmi lielumi — nepieciešamais šķērsriezuma laukums  $A_{cat}$  un garenlieces koeficients  $\varphi$ , kurus nevar vienu ar otru izteikt. Tādēļ šķērsriezuma laukumu izvēlas pēc pakāpeniskās tuvināšanas metodes, pieņemot garenlieces koeficienta pirmo tuvināto vērtību  $\varphi = \varphi_0 = 0,7 \dots 0,9$ .

4. Aprēķina nepieciešamos inerces rādījumus:

$$i_{x,cat} = I_{x,ef} / \lambda_0; \quad i_{y,cat} = I_{y,ef} / \lambda_0, \quad (8.5)$$

kur  $\lambda_0$  — stieņa lokanums, kas atbilst pieņemtajam garenlieces koeficientam  $\varphi_0$  (sk. pielikumu II. tab.).

5. Izmantojot inerces rādījumu un gabarītmēru aptuvenās sakarības

$$i_x = \alpha_x h; \quad i_y = \alpha_y b, \quad (8.6)$$

aprēķina nepieciešamo stieņa šķērsriezuma augstumu un platumu









$$h_{cat} = i_{x,cat} / \alpha_x; \quad b_{cat} = i_{y,cat} / \alpha_y, \quad (8.7)$$

kur  $\alpha_x$  un  $\alpha_y$  — koeficienti. Dažiem biežāk lietotiem šķērsriezuma tiptiem koeficientu  $\alpha_x$  un  $\alpha_y$  vērtības dotas 8.1. tabulā.

6. Konstruē stieņa šķērsriezumu.

Konstruējot saliktus stieņus, ievēro izgatavošanas tehnoloģiskās prasības. Tā, piemēram, no loksņēm saliktiem dubult-T šķērsriezuma stieņiem (sk. 8.2. att. *c*), kuriem  $\alpha_x \approx 2\alpha_y$ , un, aprēķinot pēc formulām (8.7), iegūst  $h \approx 0,5b$ , šādu izmēru attiecību neievēro, bet,

Pilnsienas kolonnu stieņa šķērsgriezumā inerces rādīšus aptuvenas vērtības ( $i_x = a_x h$  un  $i_y = a_y b$ )

 $i_x = 0,43h$ $i_y = 0,24b$	 $i_x = 0,42h$ $i_y = 0,22b$	 $i_x = i_y = 0,33d$	 $i_x = i_y = 0,41h$
 $i_x = 0,44h$ $i_y = 0,38b$	 $i_x = i_y = 0,21h$	 $i_x = i_y = 0,289h$	 $i_x = 0,32h$ $i_y = 0,58b$

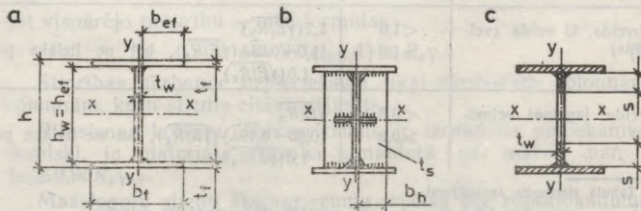
lai plauktus pie sienīgas varētu metināt pēc automātiskā paņēmiena, pieņem  $b \leq h$ .

Lai palielinātu inerces rādīšus  $i_y$ , saliktiem stieņiem (8.3. att. a) līdz 80% no nepieciešamā šķērsgriezuma laukuma izvietoj plauktos. Tad plauktu šķērsgriezuma laukums  $A_f \approx 0,8A_{cal}$  un sienīgas biežums

$$t_w = A_w/h_w = 0,2A_{cal}/h_w. \quad (8.8)$$

Pieņemtiem sienīgas izmēriem jāatbilst 8.2. tabulā dotiem noteikumiem. Ja izmēri neatbilst noteikumiem neatbilst, sienīgu nostiprina ar simetrisku pārgarenību (8.3. att. b), kuru izvietoj sienīgas vidū un iekļauj stieņa šķērsgriezuma aprēķina laukumā. Ar garenību nostiprinātu sienīgu noturība ir ievērojami lielāka.

Sienīgas nostiprināšana ar garenību palielina kolonnas izgatavošanas darbietilpību. Lai to samazinātu, atļauts pieņemt, ka ar



8.3. att. Dubult-T šķērsgriezuma pilnsienas kolonnas:

a — izmēru apzīmējumi; b — stinguma ribu izvietojums; c — šķērsgriezuma laukuma aprēķina shēma.

garenribu nenostiprinātā sienīgas nenoturīgā daļa nedarbojas, un šķērsriezuma aprēķina laukumā iekļaut tikai stieņa plauktus un tiem blakus esošās sienīgas daļas, kuru platums  $s = h_{red}/2$  (8.3. att. c), kur  $h_{red}$  — pēc noturības prasībām reducētais sienīgas augstums, kura aprēķins dots projektēšanas normās [22]. Pie tam sienīgas izmēru faktiskā attiecība  $h_{ef}/t_w$  nedrīkst pārsniegt pēc noturības nosacījumiem pieļaujamo attiecību (sk. 8.2. tab.) vairāk kā 2 reizes. Šādus stieņus aprēķina kā pilnsienas stieņus: šķērsriezuma laukumu un ģeometriskos raksturojumus pret galvenajām asīm aprēķina pēc šķērsriezuma noturīgās (8.3. attēlā c iesvītrotās) daļas.

Stieņu sienīgas, ja  $h_{ef}/t_w \geq 2,3\sqrt{E/R_y}$ , nostiprina ar šķērsribām (sk. 8.3. att. b), kuras izvieta  $(2,5 \dots 3,0)h_{ef}$  atstatumā (arī, ja ir garenribas). Ikvienas kolonnas nosūtāmo vienību nostiprina vismaz ar divām šķērsribām. Vienas pāra šķērsribas vai garenribas minimālais platums  $b_h = h_{ef}/30 + 40$  mm, bet ne mazāks par 90 mm; biežums  $t_s \geq 2b_h\sqrt{R_y/E}$ .

Pēc sienīgas izmēru galīgas pieņemšanas aprēķina nepieciešamo plaukta šķērsriezuma laukumu

$$A_{f,cal} = 0,5(A_{cal} - h_w t_w). \quad (8.9)$$

Plaukta platumu  $b_f$  un biežumu  $t_f$  pieņem pēc universālā plat-slokšņu tērauda standartizmēriem un rekomendācijām par siju plauktu izmēriem (sk. 7.5.2. sadaļu), ievērojot, ka  $A_f = b_f t_f$ .

Dubult-T šķērsriezuma stieņiem (sk. 8.3. att. a), kuru nosacītais lokanums  $0,8 \leq \bar{\lambda} \leq 4$ , neapmalotu plauktu noturība ir nodro-

8.2. tabula

Centriski spiestu stieņu sienīgas noturības nosacījumi

Stieņa šķērsriezums	$\bar{\lambda}$ vērtības	Attiecības $h_{ef}/t_w$ maksimālā vērtība
Dubult-T veida	$< 2,0$	$(1,30 + 0,15\bar{\lambda}^2) (\sqrt{E/R_y})$
	$> 2,0$	$(1,20 + 0,35\bar{\lambda}) (\sqrt{E/R_y})$ , bet ne lielāka par $2,3(\sqrt{E/R_y})$
Kārbveida, U veida (velmēts)	$< 1,0$	$1,2(\sqrt{E/R_y})$
	$> 1,0$	$(1,0 + 0,2\bar{\lambda}) (\sqrt{E/R_y})$ , bet ne lielāka par $1,6(\sqrt{E/R_y})$
U veida, izņemot velmētos	$< 0,8$	$\sqrt{E/R_y}$
	$> 0,8$	$(0,85 + 0,19\bar{\lambda}) (\sqrt{E/R_y})$ , bet ne lielāka par $1,6(\sqrt{E/R_y})$

Tabulā pieņemtie apzīmējumi:

$\bar{\lambda}$  — nosacītais lokanums, pēc kura aprēķina stieņa vispārējo noturību;

$h_{ef}$  — sienīgas aprēķina augstums (sk. 7.18. att.);

$t_w$  — sienīgas biežums.

Piezīme. Par kārbveida profiliem sauc slēgtus (saliktus, liektus) taisnstūra profilus.

šināta, ja faktiskā plaukta pārkāres  $b_{ef}$  un biezuma  $t_f$  attiecība nepārsniedz robežattiecību

$$b_{ef}/t_f = (0,36 + 0,10\bar{\lambda})\sqrt{E/R_y}. \quad (8.10)$$

Ja  $0,8 \leq \bar{\lambda} \leq 4$ ,

U profilu neapmalotiem plauktiem robežattiecība

$$b_{ef}/t_f = (0,43 + 0,08\bar{\lambda})\sqrt{E/R_y}; \quad (8.11)$$

liekto profilu neapmalotiem plauktiem

$$b_{ef}/t_f = (0,40 + 0,07\bar{\lambda})\sqrt{E/R_y}; \quad (8.12)$$

liekto profilu apmalotiem plauktiem

$$b_{ef}/t_f = (0,50 + 0,18\bar{\lambda})\sqrt{E/R_y}. \quad (8.13)$$

Ja stieņa nosacītais lokanums  $\bar{\lambda} < 0,8$  vai  $\bar{\lambda} > 4$ , formulās (8.10) — (8.13) pieņem attiecīgi  $\bar{\lambda} = 0,8$  vai  $\bar{\lambda} = 4$ .

Pieņemtām stieņa šķērsgriezumiem jāatbilst stiprības, noturības un lokanuma prasībām. Tā kā šķērsgriezuma izvēlei izmanto aptuvenas formulas un orientējošu  $\varphi R_y$  vērtību, nepieciešama galīga stieņa pārbaude, ko veic šādā secībā.

1. Pēc pieņemtiem izmēriem aprēķina šķērsgriezuma faktiskos ģeometriskos raksturojumus: laukumu  $A$ , galvenos inerces momentus  $I_x, I_y$ , inerces rādiusus  $i_x, i_y$  un lokanumus  $\lambda_x = l_{x,ef}/i_x, \lambda_y = l_{y,ef}/i_y$ .

2. Pēc lielākā lokanuma  $\lambda_{max}$ , izmantojot pielikumu 11. tabulu vai formulas (4.46) — (4.48), aprēķina garenieces koeficientu  $\varphi_{min} = \varphi_1$ .

Kolonnas maksimālais lokanums nedrīkst pārsniegt robežlokanumu  $\lambda_u$  (sk. pielikumu 8. tab.).

Ja koeficientu  $\varphi_0$  un  $\varphi_1$  vērtības ievērojami atšķiras, izdara pārreķinu un šķērsgriezumu koriģē pēc koeficienta otrās tuvinātās vērtības  $\varphi_2 = (\varphi_0 + \varphi_1)/2$ .

3. Pieņemtā stieņa šķērsgriezuma stiprību pārbauda pēc formulas (4.19), t. i.,

$$\sigma = N/A_n \leq R_y \gamma_c,$$

bet vispārējo noturību — pēc formulas

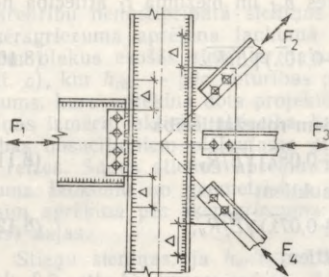
$$\sigma = N/(\varphi_{min} A) \leq R_y \gamma_c. \quad (8.14)$$

Stiprības pārbaude nepieciešama tikai skrūvētām kolonnām un kolonnām, kuru stienis citādi vājināts.

Pilnsienas kolonnu šķērsgriezums ir izraudzīts pietiekami ekonomiski, ja materiāla stiprība izmantota ne mazāk par 95% ( $\sigma \geq 0,95 R_y \gamma_c$ ).

Mazslogotu stieņu šķērsgriezumu izvēlas pēc robežlokanuma  $\lambda_u$ . Nepieciešamo minimālo inerces rādiusu aprēķina pēc formulas

$$i_{min, cat} = l_{ef}/\lambda_u, \quad (8.15)$$



8.4. att. Divpusēja joslas šuvju izvietojuma shēma.

vieno sijas, saites, spraišļus un citus elementus, izveido divpusējas šuves (8.4. att.), kuras izvada no piestiprināmā elementa kontūras uz katru pusi  $\Delta = 30k_f$  garumā ( $k_f$  — šuves katete).

kur  $l_{ef}$  — stieņa aprēķina garums. Stieņa gabarītmērus aprēķina pēc formulām (8.7), sieniņas un plaukta biezumus pieņem minimālus, ievērojot vietējās noturības nosacījumus.

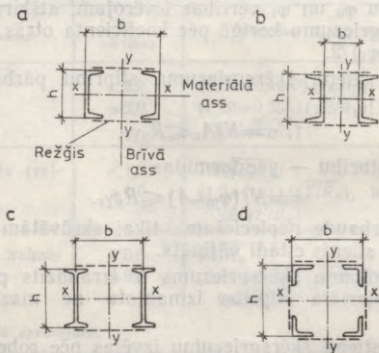
Kolonnas sieniņu un plauktus sametina ar vienlaidu stūra šuvēm. Ja ievēroti 5.7. apakšnodaļā minētie konstruēšanas noteikumi, lieto vienpusējas joslas šuves. Bīdes spēki starp stieņa sieniņu un plauktiem ir mazi, tādēļ šuvju kateti pieņem minimālu (sk. 5.9. tab.).

Kolonnām ar vienpusējām joslas šuvēm vietās, kur pie-

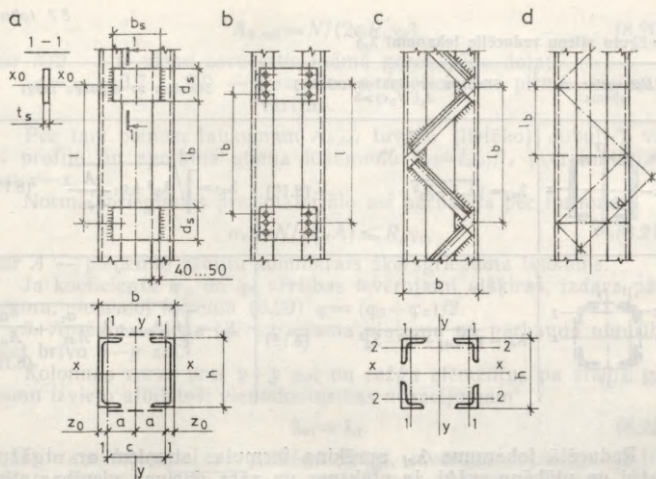
## 8.5. REŽĢOTAS KOLONNAS

### 8.5.1. ŠĶERSGRIEZUMA UN REŽĢA TIPI

Režģotas kolonnas stienis sastāv no diviem vai vairākiem zariem, kurus saista režģis (sk. 8.1. att. b). Visplašāk lieto no velmētiem profiliem izgatavotas divzaru kolonnas. U profiliem plauktus



8.5. att. Režģotu kolonnu šķersgriezumu tipi.



8.6. att. Kolonnu režģu tipi.

orientē uz stieņa iekšpusi (8.5. att. a) vai ārpusi (8.5. att. b). Izdevīgāks ir pirmais variants, jo tam, ja plauktu platumi vienādi, ir lielāks inerces rādiuss  $I_y$ . Ja aprēķina garenspēks lielāks par 2700...3500 kN, zarus izgatavo no velmētiem dubult-T profiļiem (8.5. att. c).

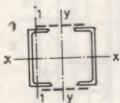
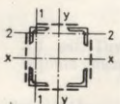
Mazslogotām garām, režģotām kolonnām zarus izgatavo no leņķprofiliem (8.5. att. d), kurus var pietiekami izvērst un tādējādi nodrošināt nepieciešamo stieņa stingumu.

Centriski spiestām kolonnām izšķir plākšņu (8.6. att. a, b) un atgāžņu režģi (8.6. att. c, d). Plākšņu režģi ir vieglāk izgatavot. Taču, ja slodzes un stieņa gabarītmēri ir lieli, plākšņu un zaru deformēšanās spējas dēļ kolonnas stingums nav pietiekams. Tādēļ, ja slodze ir lielāka par 2500 kN un atstatums starp zariem pārsniedz 800 mm, izgatavo atgāžņu režģi.

### 8.5.2. STIENĀ KONSTRUEŠANA UN APRĒĶINS

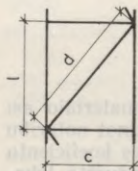
Režģota divzaru stieņa stiprību un noturību pret materiālo asi aprēķina analogiski pilnsienas stieņa aprēķinam. Aprēķinot noturību pret brīvo asi, ievēro režģa pakļāvīgumu un garenlieces koeficientu nosaka nevis kā lokanuma  $\lambda_y$  funkciju, bet gan kā reducētā lokanuma  $\lambda_{ef}$  funkciju ( $\lambda_{ef} > \lambda_y$ ). Ar to režģota stieņa aprēķins būtiski atšķiras no pilnsienas stieņa aprēķina.

Režģotu stieņu reducētie lokanumi  $\lambda_{ef}$ 

Šķērsgriezuma shēma	Stieņiem ar plākšņu režģi, ja $I_s l / (I_b c) \geq 5$	Stieņiem ar atgāžņu režģi
	$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2} \quad (8.16)$	$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \alpha_1 \frac{A}{A_{d1}}} \quad (8.17)$
	$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_{\max}^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2} \quad (8.18)$	$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_{\max}^2 + A \frac{\alpha_1}{A_{d1}} + \frac{\alpha_2}{A_{d2}}} \quad (8.19)$

Reducētā lokanuma  $\lambda_{ef}$  aprēķina formulas stieņiem ar atgāžņu režģi un plākšņu režģi, ja plāksnes un zara garuma vienības stingumu attiecība  $k = (I_s/c) / (I_b/l) = I_s l / (I_b c) \geq 5$ , dotas 8.3. tabulā. Stieņiem, kuriem  $k < 5$ , jāievēro plākšņu lokanuma ietekme un reducētais lokanums jāaprēķina pēc projektēšanas normās dotajām formulām.

8.3. tabulā pieņemtie apzīmējumi:  $I_s$  — vienas plāksnes šķērsgriezuma inerces moments pret pašasi  $x_0-x_0$  (sk. 8.6. att. a);  $I_b$  — viena zara šķērsgriezuma inerces moments pret asi 1-1 (četrzaru kolonnām  $I_b = I_{b1} \leq I_{b2}$ );  $l$  — atstatums starp plākšņu centriem;  $c$  — atstatums starp zaru asīm;  $\lambda_y$  — stieņa lokanums pret  $y-y$  asi;  $\lambda_{\max}$  — lielākais no lokanumiem  $\lambda_x$  un  $\lambda_y$ ;  $\lambda_1, \lambda_2$  — attiecīgi zara posma lokanums plaknē, kas perpendikulāra asīm 1-1 un 2-2; metinātiem stieņiem par posma garumu pieņem atstatumu  $l_b$  starp plāksnēm (sk. 8.6. att. a), skrūvētiem stieņiem — atstatumu starp malējo skrūvju centriem (sk. 8.6. att. b);  $A$  — stieņa šķērsgriezuma laukums;  $A_{d1}$  un  $A_{d2}$  — attiecīgi perpendikulāri 1-1 un 2-2 asīm izvietotā režģa atgāžņa (krustveida režģim — divu atgāžņu) šķērsgriezuma laukums;  $\alpha_1$  un  $\alpha_2$  — koeficienti, kurus aprēķina pēc formulas  $\alpha = 10d^3 / (c^2 l)$ ; lielumi  $c, d$  un  $l$  parādīti 8.7. attēlā.



8.7. att. Režģa shēma.

Režģota divzaru stieņa šķērsgriezuma izvēli un konstruēšanu veic šādā secībā.

1. Nosaka aprēķina garenspekku  $N$  un izvēlas aprēķina shēmu.

2. Aprēķina nepieciešamo zara šķērsgriezuma laukumu  $A_{b,cal}$  un pārbauda stieņa noturību pret materiālo asi  $x-x$ :

$$A_{b,cal} = N / (2\varphi R_y \gamma_c), \quad (8.20)$$

kur  $N/2$  — uz vienu zaru attiecināmā garenspēka daļa;  
 $\varphi = \varphi_0 = 0,7 \dots 0,9$  — garenlieces koeficienta pirmā tuvinātā vērtība.

Pēc tam pieņem laukumam  $A_{b,cal}$  tuvāko (lielāko) dubult-T vai U profilu un aprēķina stieņa lokanumu  $\lambda_x = l_{x,ef} / i_x$  pret materiālo asi  $x-x$ .

Normālspriegumus pret materiālo asi pārbauda pēc formulas

$$\sigma_x = N / (\varphi_x A) \leq R_y \gamma_c, \quad (8.21)$$

kur  $A$  — pieņemto profilu summārais šķērsriezuma laukums.

Ja koeficientu  $\varphi_x$  un  $\varphi_0$  vērtības ievērojami atšķiras, izdara pārreķinu, pieņemot formulā (8.20)  $\varphi = (\varphi_0 + \varphi_x) / 2$ .

3. Aprēķina stieņa šķērsriezuma platumu un pārbauda noturību pret brīvo  $y-y$  asi.

Kolonnas zarus pret  $y-y$  asi un režģa elementus pa stieņa garumu izvieto atbilstoši vienādnoturības nosacījumam

$$\lambda_{ef} = \lambda_x. \quad (8.22)$$

Divzaru kolonnai ar plākšņu režģi, ievērojot formulas (8.16) un (8.22),  $\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_b^2} = \lambda_x$  un nepieciešamais lokanums pret brīvo asi

$$\lambda_{y,cal} = \sqrt{\lambda_x^2 - \lambda_b^2}. \quad (8.23)$$

Parasti zara posmam pieņem lokanumu  $\lambda_b = 30 \dots 40$ . Pret  $y-y$  asi nepieciešamais inerces rādiuss

$$i_{y,cal} = l_{y,ef} / \lambda_{y,cal} \quad (8.24)$$

un nepieciešamais inerces moments

$$I_{y,cal} = i_{y,cal}^2 A. \quad (8.25)$$

Divzaru kolonnas šķērsriezuma inerces momentu pret centrālo galveno  $y-y$  asi aprēķina pēc formulas

$$I_y = 2(I_0 + a^2 A_b), \quad (8.26)$$

kur  $I_0$  — viena zara inerces moments pret pašasi  $I-I$ ;

$A_b$  — viena zara šķērsriezuma laukums;

$a$  — atstatums no zara ass  $I-I$  līdz stieņa galvenajai  $y-y$  asij.

Pielīdzinot izteiksmju (8.25) un (8.26) labās puses un izsakot atstatumu  $a$ , iegūst

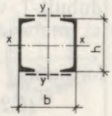

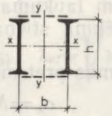
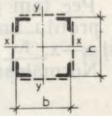
$$a = \sqrt{i_{y,cal}^2 - I_0 / A_b}. \quad (8.27)$$

Pēc tam aprēķina šķērsriezuma platumu  $b$ . Tā, piemēram, no U profiļiem izgatavotam stienim, ja plaukti orientēti uz kolonnas iekšpusi (sk. 8.6. att. a), šķērsriezuma platumš

$$b = 2(a + z_0), \quad (8.28)$$

kur  $z_0$  — profila smagumcentra atstatums.

Režgotu stieņu šķērsriezuma inerces rādusiu aptuvenas vērtības ( $i_x = a_x h$ ;  $i_y = a_y b$ )

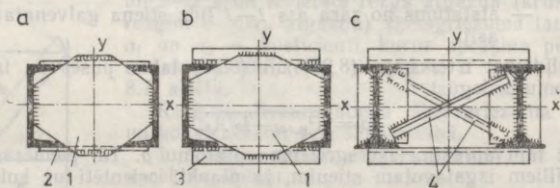
			
$i_x = 0,38h$ $i_y = 0,44b$	$i_x = 0,38h$ $i_y = 0,60b$	$i_x = 0,41h$ $i_y = 0,52b$	$i_x = 0,43h$ $i_y = 0,43b$

Šķērsriezuma augstuma un platuma aprēķinam var izmantot arī režgotu stieņu inerces rādusiu aptuvenas vērtības (sk. 8.4. tab.) un formulas (8.5)–(8.7).

Galīgi pieņemot izmēru  $b$ , starp zaru plauktiem atstāj vismaz 100...150 mm spraugu, kas nepieciešama kolonnas iekšpuses krāsošanai.

Stieņa konstruēšanas stadijā atgāžņu šķērsriezuma laukumus  $A_{d1}$  un  $A_{d2}$  nosaka aptuveni. Režģa elementos garenspekā nav lieli, tādēļ laukumus  $A_{d1}$  un  $A_{d2}$  projektē no savrupiem leņķprofiliem un aprēķina pēc robežlokanuma  $\lambda_u = 210 - 60\alpha = 150$ , kur  $\alpha = 1$  (sk. pielikumu 8. tab.). Vispirms aprēķina nepieciešamo minimālo inerces rādusiu  $i_{\min, cat} = l_d / \lambda_u = l_d / 150$  ( $l_d$  — atgāžņa garums). Pēc tam, izmantojot sortimenta tabulas, pieņem leņķprofilu, kura minimālais inerces rādusiu  $i_{y0} \geq i_{\min, cat}$ .

Lai novērstu režgotu kolonnu sagriešanos, tām ierīko šķērsdiafragmas (8.8. att.). Cetrzaru kolonnām ar šķērsdiafragmām nostiprina nosūtāmās vienības galus, bet divzaru kolonnās atstatums starp diafragmām nedrīkst pārsniegt 4 m.



8.8. att. Režgotu kolonnu diafragmas:

$a$  un  $b$  — izgatavotas no loksņēm;  $c$  — izgatavotas no leņķprofiliem;  
 $1$  — loksnes,  $t = 8 \dots 12$  mm;  $2$  — kolonnas režģa plāksne;  $3$  — režģa sprāsis;  $4$  — leņķprofili.

Pēc stieņa izvēles un konstruēšanas precizē reducēto lokanumu  $\lambda_{ef}$  un pārbauda kolonnas noturību pret brīvo asi pēc formulas

$$\sigma_y = N / (\varphi_y A) \leq R_y \gamma_c, \quad (8.29)$$

kur  $\varphi_y$  — garenlieces koeficients, kuru pēc lokanuma  $\lambda_{ef}$  pieņem no pielikumu 11. tabulas vai aprēķina pēc formulām (4.46)—(4.48), aizvietojot  $\bar{\lambda}$  ar režģota stieņa nosacīto reducēto lokanumu

$$\bar{\lambda}_{ef} = \lambda_{ef} \sqrt{R_y / E}. \quad (8.30)$$

Zara noturību pārbauda pēc formulas

$$\sigma_b = N_b / (\varphi_b A_b) \leq R_y \gamma_c, \quad (8.31)$$

kur  $N_b$  — zara aprēķina garenspēks; divzaru kolonnai ar vienādiem zariem  $N_b = N/2$ ;

$A_b$  — zara šķēsgriezuma laukums;

$\varphi_b$  — zara garenlieces koeficients, kuru divzaru kolonnām aprēķina pēc lokanuma  $\lambda_b = l_b / i_1$ , bet četrzaru kolonnām — pēc lielākā no lokanumiem  $\lambda_1$  un  $\lambda_2$ .

Zara noturību pārbauda tikai pret pašasi, kas paralēla kolonnas šķēsgriezuma brīvajai asij.

Režģotas kolonnas lokanumi  $\lambda_x$ ,  $\lambda_y$  un  $\lambda_{ef}$  nedrīkst pārsniegt robežlokanumu  $\lambda_u$  (sk. pielikumu 8. tab.). Lai nodrošinātu nepieciešamo stingumu, zara posma lokanums  $\lambda_b$  pret pašasi, kas paralēla kolonnas brīvajai asij, stieņiem ar plāksņu režģi nedrīkst pārsniegt 40, stieņiem ar atgāžņu režģi — 80, pie tam tas nedrīkst būt lielāks par reducēto lokanumu  $\lambda_{ef}$ .

### 8.5.3. REŽĢA KONSTRUKCIJA UN APRĒĶINS

Režģa plāksnes un to stiprinājumu pie kolonnas zariem aprēķina pēc cirpes spēka un lieces momenta, ko rada nosacītā šķērspēka iedarbība.

Stieņa zari un plāksnes veido stingu vienādrāmju sistēmu, kuru sloģo šķērsspēki  $Q_{fic}$  (8.9. att. a). Deformāciju simetrijas dēļ lieces momentu nullpunktī atrodas rāmju elementu vidū (8.9. att. b). Izmantojot sistēmas mezglu līdzsvara nosacījumus, iegūst plāksnes cirpes spēku

$$F_s = Q_{fic} l / (2c) = Q_s l / c, \quad (8.32)$$

kur  $Q_s = Q_{fic} / 2$  — uz vienu skaldni attiecināmā spēka daļa;

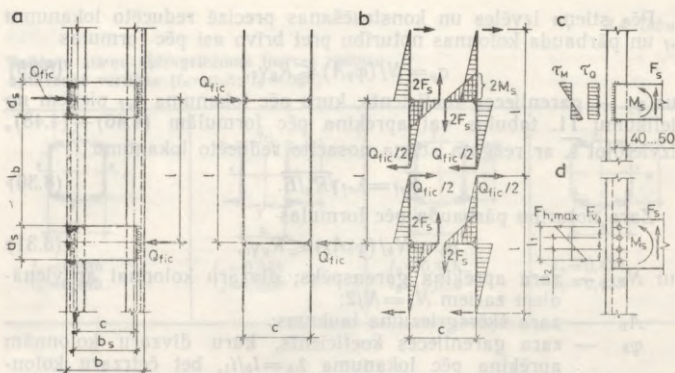
$l$  — atstatums starp plāksņu asīm;

$c$  — atstatums starp zaru smagumcentriem.

Lieces moments

$$M_s = F_s c / 2 = Q_s l / 2. \quad (8.33)$$

Ja projektē stingu kolonnas režģi un reducēto lokanumu aprēķina pēc formulām (8.16) un (8.18), plāksnes izmērus izvēlas pietiekami lielus: platumu  $d_s = (0,5 \dots 0,7) b$ , kur  $b$  — stieņa platumš;



8.9. att. Režģa plākšņu aprēķina shēmas.

biezumu  $t_s=6 \dots 12$  mm. Pie tam, lai nodrošinātu plākšņu noturību, ievēros izmēru savstarpējās attiecības:  $d_s/t_s \leq 30$  un  $b_s/t_s \leq 50$ .

Plāksnes normālspriegumus pārbauda pēc formulas

$$\sigma = M_s / W_{x0} = 6M_s / (t_s d_s^2) \leq R_y \gamma_c, \quad (8.34)$$

kur  $W_{x0}$  — plāksnes šķērsgriezuma pretestības moments pret pašasi  $x_0-x_0$ .

Stūra šuves, ar kurām plākšņu galus piemetina pie zaru plauktiem (8.9. att. c), pārbauda pēc reducētajiem spriegumiem:

$$\tau_{wf,red} = \sqrt{(6M_s / (\beta_f k_f l_w^2))^2 + (F_s / (\beta_f k_f l_w))^2} \leq R_{wf} \gamma_w \gamma_c; \quad (8.35)$$

$$\tau_{wz,red} = \sqrt{(6M_s / (\beta_z k_f l_w^2))^2 + (F_s / (\beta_z k_f l_w))^2} \leq R_{wz} \gamma_w \gamma_c. \quad (8.36)$$

Skruvētām kolonnām (8.9. att. d) plākšņu stiprinājumu aprēķina pēc formulas (7.99), aizvietojot  $M_w$  ar  $M_s$  un  $Q$  ar  $F_s$ .

Režģa atgāžņus un to stiprinājumu pie kolonnas zariem aprēķina pēc garenspēka

$$N_d = Q_{fic} / (2 \sin \alpha). \quad (8.37)$$

Seit  $Q_{fic}/2$  — uz vienu skaldni attiecināmā nosacītā šķērsspēka daļa (8.10. att.).

Atgāžņa noturību pārbauda pēc formulas

$$\sigma = N_d / (\varphi A_d) \leq R_y \gamma_c, \quad (8.38)$$

kur  $\varphi$  — lokanumam  $\lambda_d = l_d / i_{\min}$  atbilstošais garenieces koeficients;

8.10. att. Režģa atgāžņu aprēķina shēma.

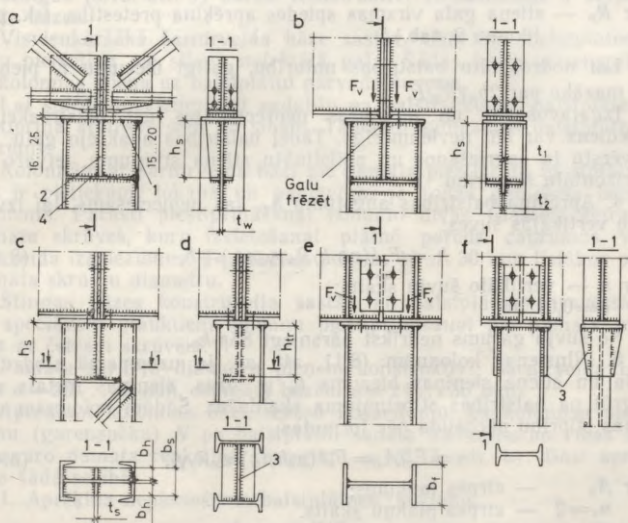
- $A_d$  — viena atgāžņa šķērsriezuma laukums;  
 $\gamma_c$  — darbības apstākļu koeficients; spiestiem elementiem, kas izgatavoti no savrupa vienādplauktu leņķprofila vai nevienādplauktu leņķprofila, ja piemetināts tā šaurais plaukts,  $\gamma_c=0,75$  (sk. pielikumu 5. tab.).

Režģa status izvieta starp atgāžņu mezgliem (8.10. att.), lai samazinātu zara aprēķina garumu (sk. 8.6. att. *d*). Tos pārbauda tāpat kā atgāžņus, tikai, aprēķinot nosacīto šķērsspēku  $Q_{fic}$ , formulā (8.3) kolonnas garenspekū  $N$  aizvieta ar zara garenspekū  $N_b$ .

## 8.6. KOLONNAS AUGŠGALA KONSTRUKCIJA UN APRĒĶINS

Kolonnas augšgals uzņem augstāk esošu konstrukcijas elementu (siju, kopņu) koncentrēta spēka spiedienu (balstreackciju) un sadala to vienmērīgi pa stieņa šķērsriezumu.

Spiedienu vispirms uzņem kolonnas augšgala plātne, kas to pārnes uz balstribām. No tām balstreackciju pārvada uz stieņa sienīņu (8.11. att. *a, b*) vai, izmantojot par starpelementu traversu, uz režģotas kolonnas zariem (8.11. att. *c, d*).



8.11. att. Kolonnu augšgali siju un kopņu balstīšanai virs tiem:  
 1 — balstplātne; 2 — balstriba; 3 — traversa; 4 — šķērsribe.

Plātnes biezumu neaprēķina, bet pieņem konstruktīvi 16... 25 mm. Tā funkcionē arī kā kolonnas šķērsdiafragma, novēršot augšgala sagriešanos.

Pārējos kolonnas augšgala elementus aprēķina šādā secībā.

1. Pieņem augšgala balstribas platumu (izvirzījumu)  $b_h$  (8.11. att. c), ko saskaņo ar augstāk esošo konstrukciju balstribas platumu  $b_s$ .

2. Aprēķina horizontālo šuvju, kuras balstrekciju no plātnes pārvada uz balstribu, nepieciešamo katetes izmēru.

Ja noteicošais ir aprēķins pa šuves metālu (sk. 5.6.3. sadaļu), tad nepieciešamais katetes izmērs

$$k_{f,cat} = F_v / (\beta_f \Sigma l_w R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c), \quad (8.39)$$

kur  $F_v$  — balstrekcijas summārā vērtība;  
 $\Sigma l_w$  — šuvju summārais aprēķina garums.

Ja kolonnas stieņa gala virsmu frēzē, plātne cieši piekļaujas balstribai un balstrekciju tieši pārvada šo elementu kontaktvirsmas. Šādā gadījumā horizontālo šuvju katetes izmēru pieņem minimālu (sk. 5.10. tab.), bet rasējumos norāda, ka stieņa gala virsma jāfrēzē.

3. Aprēķina nepieciešamo balstribas biezumu

$$t_{s,cat} = F_v / (2b_h R_p \gamma_c), \quad (8.40)$$

kur  $R_p$  — stieņa gala virsmas spiedes aprēķina pretestība (sk. pielikumu 2. tab.).

Lai nodrošinātu balstribas noturību, galīgi biezumu  $t_s$  pieņem ne mazāku par  $2b_h \sqrt{R_y / E}$ .

Izgatavošanas un montāžas neprecizitātes dēļ balstrekcijas spiediens var būt nevienmērīgs. Tādēļ balstribas apakšējo galu, lai novērstu tā sagriešanos un palielinātu stieņa stingumu, ietvaro ar horizontālu šķērsribu.

4. Aprēķina balstribas augstumu  $h_s$ , kas nepieciešams, lai izvietotu vertikālās šuves:

$$h_s = F_v / (n \beta_f k_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c) + \delta, \quad (8.41)$$

kur  $n$  — vertikālo šuvju skaits;  
 $\delta = 0,01$  m.

Šo šuvju garums nedrīkst pārsniegt  $85 \beta_f k_f$ .

5. Pilnsienas kolonnām (8.11. att. a), ja uzņemamā slodze ir liela un stieņa sienīņas biezums  $t_w$  ir mazs, sienīņas metāls var sagrūt pa balstribas stiprinājuma skaldnēm. Šādām kolonnām sienīņas stiprību pārbauda pēc formulas

$$\tau = F_v / A_s = F_v / (n_s h_s t_w) \leq R_s \gamma_c, \quad (8.42)$$

kur  $A_s$  — cirpes laukums;  
 $n_s = 2$  — cirpes plakņu skaits.

Ja pēc šīs pārbaudes  $\tau > R_s \gamma_c$ , tad pieņem augstāku balstribu vai palielina sienīņas biezumu (8.11. att. b).

6. Režgotas kolonnas augšgala traversas augstumu  $h_{tr}$  pieņem vienādu ar balstribas augstumu  $h_s$  (8.11. att. *c*) vai arī augstuma  $h_{tr}$  (8.11. att. *d*) aprēķinam izmanto formulu (8.41). Traversas stiprību pārbauda pēc formulas

$$\tau = F_v / (n_s h_{tr} t_{tr}) \leq R_s \gamma_c, \quad (8.43)$$

kur  $n_s = 2$  — cirpes plakņu skaits;  
 $t_{tr}$  — traversas biezums.

Sijas ar iekšējām balstribām balsta virs kolonnas augšgala. Šādos mezglos sijas spiedienu uzņem kolonnas augšgala plātne. No tās balstreakciju pārvada uz kolonnas plauktiem tieši (8.11. att. *e*) vai caur traversu (8.11. att. *f*).

Augšgala konstrukcija un aprēķins, ja konstrukcijas elementus (sijas) sajūdz ar kolonnu no sāniem, apskatīti 7.7.4. sadaļā.

## 8.7. KOLONNAS BĀZES KONSTRUKCIJA UN APRĒĶINS

Kolonnas bāze sadala stieņa koncentrēto spiedienu vienmērīgi pa balstlaukumu. Pēc atbilstības izraudzītai kolonnas aprēķina shēmai (piestiprinājumam pie pamata) izšķir šarnīrveida (8.12. att. *a*) un stingas (8.12. att. *b*) bāzes. Konstruktīvi vienkāršākas ir šarnīrveida bāzes.

Visvienkāršākā šarnīrveida bāze sastāv tikai no balstplātnes, kuru piemetina pie stieņa nefrēzētā gala. Šādās bāzēs garenspekū no kolonnas stieņa uz balstplātņi pārvada šuves.

Lai spiedienu vienmērīgi sadalītu pa balstlaukumu, balstplātnes nostiprina ar traversām un ribām. Tādējādi samazinās balstplātnes biezums.

Kolonnām ar šarnīrveida bāzi pie pamata piestiprina balstplātņi, kas ir pietiekami lokana un pakļāvīga, ja rodas gadījuma lieces moments. Parasti piestiprināšanai izmanto divas (dažreiz četras) pamata skrūves, kuru izvietošanai plātnē paredz caurumus vai osasveida izgriezumus. To izmērus pieņem 10...30 mm lielākus par pamata skrūvju diametru.

Stingas bāzes konstrukcija sastāv no balstplātnes, traversām un speciāliem plauktiem kolonnu piestiprināšanai pie pamata vismaz ar četrām skrūvēm.

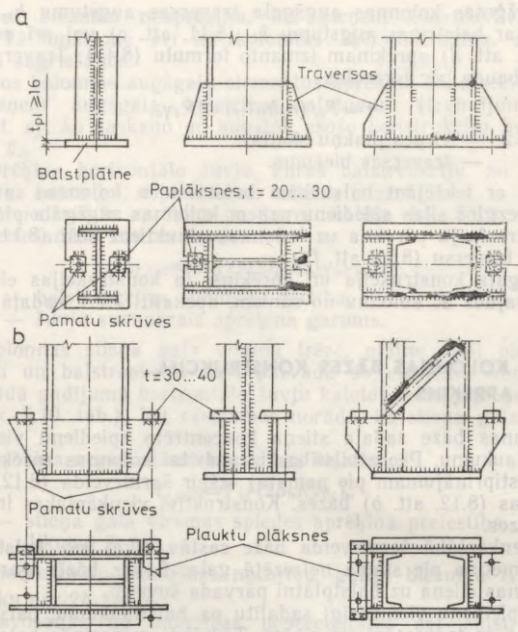
Pamata skrūvju diametru pieņem konstruktīvi: šarnīrveida bāzēm  $d = 20 \dots 30$  mm, stingām bāzēm  $d = 24 \dots 36$  mm.

Aprēķinot kolonnas bāzi, ievēro nosacījumu, ka kolonnas spiedienu (garenspekū)  $N$  pa balstplātņi sadala traversas un ribas un līdzsvaro pamata reakcijas spriegumi  $\sigma_f$  (8.13. att. *a*). Bāzi aprēķina šādā secībā.

1. Aprēķina nepieciešamo balstplātnes laukumu

$$A_{pl,cal} = N / R_{b,loc}, \quad (8.44)$$

kur  $R_{b,loc}$  — betona virsmas spiedes aprēķina pretestība.



8.12. att. Centriski spiestu kolonnu bāzes:  
a — šarnīrveida; b — stingas.

To aprēķina pēc formulas

$$R_{b,loc} = \alpha \varphi_b R_b. \quad (8.45)$$

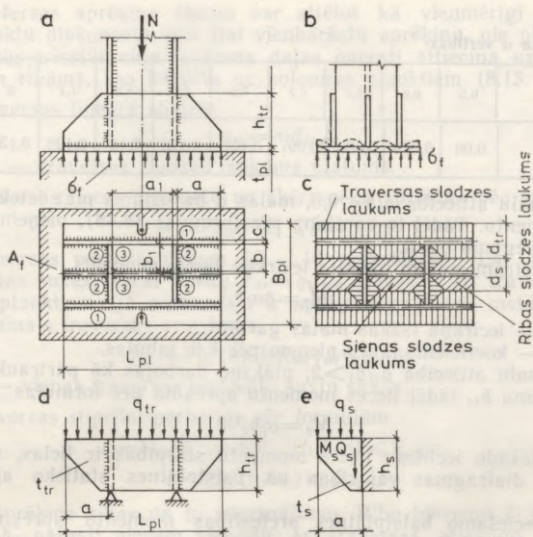
Seit

$$\varphi_b = \sqrt[3]{A_f/A_{pl}} \leq 2,5, \quad (8.46)$$

kur  $A_f = L_f B_f$  — pamata augšējās atkāpes laukums.

Kolonnu pamatam parasti lieto B10; B15 un B20 klases betonus, kuriem  $\alpha = 1$  un spiedes aprēķina pretestība  $R_b$  attiecīgi ir 5,4; 7,7 un 10,4 MPa. Ja bāzi aprēķina pirms pamata projektēšanas, parasti pieņem  $\varphi_b = 1,2$ .

2. Ievērojot traversas, ribu un pamata skrūvju izvietojumu, pieņem balstplātnes platumu  $B_{pl}$ . Lai balstplātne neiznāktu pārāk bieza, konsolas izmēru  $c$  (8.13. att. a) pieņem ne lielāku par 100...120 mm. Pēc tam aprēķina garumu  $L_{pl} = A_{pl,cal}/B_{pl}$ .



8.13. att. Kolonnas bāzes ar traversām un ribām aprēķina shēmas.

3. Aprēķina balstplātnes biezumu. Lai vienkāršotu aprēķinus, pieņem, ka spiediens zem balstplātnes sadalās vienmērīgi. Tādēļ, aprēķinot balstplātni, pieņem, ka tā balstās uz kolonnas stieņa gala, traversām un ribām un to slogo (no apakšas) vienmērīgi sadalīti pamata reakcijas spriegumi (8.13. att. b)

$$\sigma_f = N/A_{pl} = N/(L_{pl}B_{pl}). \quad (8.47)$$

Pēc balstījuma nosacījumiem balstplātni sadala šādos iecirkņos: konsoliecirknī, pa trim malām balstītā iecirknī un pa četrām malām balstītā iecirknī (8.13. att. a). Lieces momentus aprēķina 1 cm platai balstplātnes sloksnei.

Konsoliecirkņa lieces moments

$$M_1 = \sigma_f c^2 / 2. \quad (8.48)$$

Pa trim malām balstītā iecirkņa lieces moments

$$M_2 = \alpha \sigma_f b^2, \quad (8.49)$$

kur  $b$  — plātnes nenostiprinātās malas garums;  
 $\alpha$  — koeficients, kuru pieņem pēc 8.5. tabulas.

Koeficienta  $\alpha$  vērtības

$a/b$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	2	>2
$\alpha$	0,06	0,074	0,088	0,097	0,107	0,112	0,12	0,126	0,132	0,133

Ja malu attiecība  $a/b < 0,5$ , malas  $a$  balstījums maz ietekmē lieces momentu. Tādēļ to aprēķina pēc formulas (8.48), pieņemot konsoles sniegumu  $c=a$ .

Pa četrām malām balstīta iecirkņa lieces moments

$$M_3 = \beta \sigma_f b_1^2, \quad (8.50)$$

kur  $b_1$  — iecirkņa īsākās malas garums;

$\beta$  — koeficients, kuru pieņem pēc 8.6. tabulas.

Ja malu attiecība  $a_1/b_1 > 2$ , plāksne darbojas kā pārtraukta sija ar laidumu  $b_1$ , tādēļ lieces momentu aprēķina pēc formulas

$$M_3 = \sigma_f b_1^2 / 8. \quad (8.51)$$

Ja dažādo iecirkņu lieces momentu starpības ir lielas, uzstāda papildu diafragmas vai ribas un balstplātnes statisko aprēķinu atkārtoti.

Nepieciešamo balstplātnes pretestības momentu aprēķina pēc iecirkņu lielākā lieces momenta

$$W_{p1,cal} = M_{max} / (R_g \gamma_c). \quad (8.52)$$

Ievērojot, ka 1 cm platas sloksnes pretestības moments  $W = 1 \cdot t_{p1}^2 / 6$ , nepieciešamais plātnes biezums

$$t_{p1,cal} = \sqrt{6 M_{max} / (R_g \gamma_c)}. \quad (8.53)$$

4. Aprēķina traversas un to stiprinājumu. Uz bāzes elementiem iedarbojas spēki, kuri proporcionāli balstplātnes laukuma daļām (8.13. att. c), kas konstruētas pēc bisektrišu likuma.

8.6. tabula

Koeficienta  $\beta$  vērtības

$a_1/b_1$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$\beta$	0,048	0,055	0,063	0,069	0,075	0,081
$a_1/b_1$	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	>2,0
$\beta$	0,086	0,091	0,094	0,098	0,100	0,125

Traversas aprēķina shēmu var attēlot kā vienmērīgi slogotu pārtrauktu divkonsoļu siju (lai vienkāršotu aprēķinu, pie plauktiem izvietotās trīsstūrveida laukuma daļas parasti attiecina uz traversām un ribām), kas balstīta uz kolonnas plauktiem (8.13. att. d).

Traversas lineārā slodze

$$q_{tr} = \sigma_f d_{tr}, \quad (8.54)$$

kur  $d_{tr}$  — traversas slodzes laukuma platums.

Traversas lieces momentu un šķērsspēku aprēķina pēc formulām

$$M_{tr} = q_{tr} a^2 / 2; \quad Q_{tr} = q_{tr} a.$$

Traversas parasti pieņem 10...16 mm biezas. Lai izvietotu vertikālās šuves, kuras spēku  $F_{tr} = q_{tr} L_{p1}$  pārvada no traversas uz stieņa plauktiem (ja noteicošais ir aprēķins pa šuves metālu), nepieciešamais traversas augstums

$$h_{tr} = F_{tr} / (n \beta_f k_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c) + \delta, \quad (8.55)$$

kur  $n$  — vienas traversas vertikālo šuvju skaits.

Traversas stiprību pārbauda pēc formulām

$$\sigma = M_{tr} / W_{tr} = 6M_{tr} / (t_{tr} h_{tr}^2) \leq R_y \gamma_c; \quad (8.56)$$

$$\tau = Q_{tr} / (t_{tr} h_{tr}) \leq R_s \gamma_c. \quad (8.57)$$

5. Aprēķina ribas un to stiprinājumu. Ribu biezumu  $t_s$  un augstumu  $h_s$  parasti pieņem vienādu ar traversas attiecīgo izmēru. Ribas aprēķina analogi traversām. To stiprību pārbauda pēc formulām

$$\sigma = M_s / W_s = (q_s a^2 / 2) / (t_s h_s^2 / 6) = 3q_s a^2 / (t_s h_s^2) \leq R_y \gamma_c; \quad (8.58)$$

$$\tau = Q_s / (t_s h_s) = q_s a / (t_s h_s) \leq R_s \gamma_c. \quad (8.59)$$

Sajās formulās  $q_s = \sigma_f d_s$ . Pārējie apzīmējumi doti 8.13. attēlā *c, e*.

Stūra šuves, ar kurām ribas piemetina pie kolonnas stieņa, pārbauda pēc reducētajiem spriegumiem:

$$\tau_{wf,red} = \sqrt{(M_s / (n \beta_f k_f l_w^2 / 6))^2 + (Q_s / (n \beta_f k_f l_w))^2} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (8.60)$$

$$\tau_{wz,red} = \sqrt{(M_s / (n \beta_z k_f l_w^2 / 6))^2 + (Q_s / (n \beta_z k_f l_w))^2} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c, \quad (8.61)$$

kur  $n$  — vertikālo šuvju skaits;

$l_w$  — vienas šuves aprēķina garums:  $l_w = h_s - \delta$ ;  $\delta = 0,01$  m.

6. Ja balstplātņi un kolonnas gala virsmu nefrēzē, aprēķina šuves, ar kurām bāzes elementus piestiprina pie plātnes. Aprēķinot pieņem, ka katra elementa šuves pārvada spēku, kas proporcionāls 8.13. attēlā *c* parādīto laukumu daļām. Tā, piemēram, aprēķinot šuves, kas piestiprina traversu pie balstplātnes (ja noteicošais ir aprēķins pa šuves metālu), nepieciešamo katetes izmēru nosaka pēc formulas

$$k_{f,cat} = F_{tr} / (\beta_f \Sigma l_w R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c), \quad (8.62)$$

kur  $F_{tr} = \sigma_f d_{tr} L_{p1}$ ;  $\Sigma l_w = (L_{tr} - \delta) + 2(a - \delta)$ ;  $\delta = 0,01$  m.

Analogiski aprēķina ribu šuves.

Traversu un ribu sagatavošana un piemetināšana ievērojami palielina bāzes izgatavošanas darbietilpību. Lai to samazinātu, kolonnas stieņa galu frēzē un savieno ar balstplātņi, nelietojot traversas un ribas (8.14. att. *a*). Balstplātņi parasti pieņem kvadrātisku, un tās malas garumu aprēķina pēc formulas

$$B_{pl} = \sqrt{A_{pl,cal}} = \sqrt{N/R_{b,loc}} \quad (8.63)$$

Lai precīzi fiksētu kolonnas stāvokli vertikālā virzienā, balstplātņi uzstāda atsevišķi, izmantojot trīs iestatīšanas skrūves (8.14. att. *a*). Pēc balstplātnes stāvokļa pārbaudes un aizbetonēšanas uz tās uzstāda kolonnas stieni.

Aprēķinot balstplātnes lieces momentu, pieņem, ka tā darbojas kā plāksne uz elastīgas pamatnes un ka slodze koncentrēta iecirknī, kura izmēri atbilst stieņa šķērsriezuma gabarītmēriem (8.14. att. *b*). Pieļaujot nestspējas rezervi, lieces momentu aprēķina kā konsolei pēc vienkāršotas formulas

$$M = \sigma_f A_t c, \quad (8.64)$$

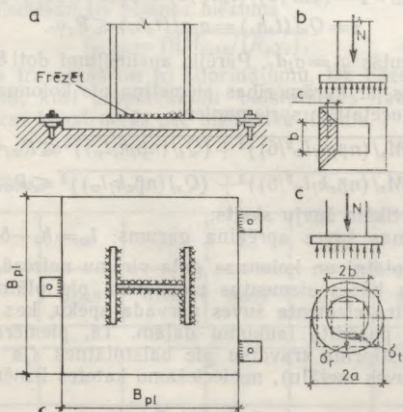
kur  $A_t$  — iesvītrotās trapeces laukums (8.14. att. *b*);

$c$  — atstatums no trapeces laukuma smaguma centra līdz kolonnas stieņa malai.

Nepieciešamais balstribas biezums

$$t_{pl,cal} = \sqrt{6M/(bR_y\gamma_c)}, \quad (8.65)$$

kur  $b$  — trapeces platums pie kolonnas stieņa.



8.14. att. Kolonnas ar frēzētu stieņa galu bāze:  
*a* — bāzes konstrukcija; *b* un *c* — aprēķina shēmas.

Tā kā balstplātni nenostiprina traversas un ribas, tad dažkārt tā iznāk ievērojami bieza. Tādēļ šādu bāzu izgatavošanai izmanto ne vien velmētas loksnes, bet arī lietas tērauda plātnes un slābus.

Precīzs taisnstūrveida balstplātnes aprēķins, ievērojot tās telpisko darbību, ir visai sarežģīts. Aprēķinu var vienkāršot, ja balstplātnes un kolonnas stieņa šķērsriezuma gabarītmēriem atbilstošos laukumus aizvieto ar vienāddielēm riņķa laukumiem (8.14. att. c).

Uz elastīgas pamatnes balstītas plāksnes jebkurā punktā rodas lieces momenti:  $M_r$  — radiālā virzienā un  $M_t$  — tangenciālā virzienā. Šo momentu vērtības, ja aprēķina elementu pieņem 1 cm platu, var aprēķināt pēc formulām

$$M_r = k_r N; \quad (8.66)$$

$$M_t = k_t N, \quad (8.67)$$

kur  $N$  — kolonnas garenspekā aprēķina vērtība, kN;  
 $k_r$  un  $k_t$  — koeficienti, kuru vērtības ir atkarīgas no balstplātnes un kolonnas rādiusu attiecības  $\beta = b/a$ .

Punktiem, kas artodas uz balstplātnes un kolonnas stieņa robežas, koeficientu  $k_r$  un  $k_t$  vērtības dotas 8.7. tabulā.

8.7. tabula

Koeficientu  $k_r$  un  $k_t$  vērtības, cm

$\beta = b/a$	0,3	0,4	0,5	0,6
$k_r$	0,0815	0,0517	0,0331	0,0200
$k_t$	0,1020	0,0752	0,0541	0,0377

Balstplātnes stiprība ir pietiekama, ja normālspriegumi

$$\sigma_r = 6M_r / (t_{p1})^2 \leq R_y \gamma_c; \quad (8.68)$$

$$\sigma_t = 6M_t / (t_{p1})^2 \leq R_y \gamma_c; \quad (8.69)$$

tangenciālie spriegumi

$$\tau = N / (2\pi b t_{p1}) \leq R_s \gamma_c \quad (8.70)$$

un reducētie spriegumi

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_t^2 - \sigma_r \sigma_t + 3\tau^2} \leq R_y \gamma_c. \quad (8.71)$$

Balstplātni aprēķina kā konsoli, ja  $b/a \geq 0,5$ ; ja  $b/a < 0,5$ , tad pareizāk to aprēķināt kā apaļu plāksni.

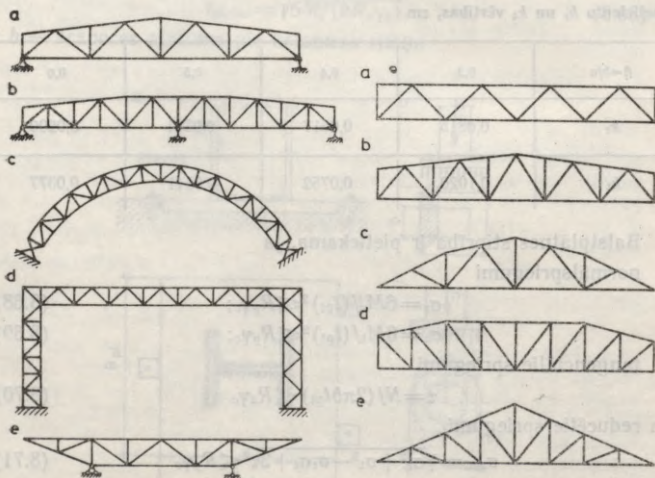
Kolonnas stieņa piestiprinājumu (stūra šuves) pie balstplātnes nosacīti aprēķina pēc šķērsspēka  $Q = 0,15N$ .

## KOPNES

## 9.1. KOPŅU RAKSTUROJUMS UN KLASIFIKĀCIJA

Kopnes ir režģotas konstrukcijas, kuras, tāpat kā sijas, darbojas liecē. Kopne sastāv no atsevišķiem stieņiem, kuri savienoti mezglos un veido ģeometriski nemainīgu sistēmu. Kopnei pieliktā slodze parasti iedarbojas mezglos, tāpēc stieņos galvenokārt rodas spiedes un stiepes garsspēki. Kopnes salīdzinājumā ar sijām ir ekonomiskākas pēc metāla patēriņa, bet to izgatavošana ir darbietilpīgāka. Mūsdienās kopnes lieto dažādās ekās un būvēs. Visbiežāk izmanto pārtrauktu siju sistēmas kopnes (9.1. att. *a*), jo tās ir viegli izgatavojamas un montējamas. Nepārtrauktu siju sistēmas kopnes (9.1. att. *b*) ir racionālas, ja darbojas lielas pastāvīgās slodzes un nepieciešams liels stingums. Saskaņā ar arhitektūras un funkcionālām prasībām celtniecībā lieto arku sistēmas (9.1. att. *c*), rāmju sistēmas (9.1. att. *d*), konsolsistēmas (9.1. att. *e*) un citas kopnes.

Atkarībā no uzdevuma un konstruktīvā risinājuma kopnes var klasificēt pēc dažādām pazīmēm.



9.1. att. Kopņu sistēmas:

*a* — pārtrauktu siju sistēmas kopne; *b* — nepārtrauktu siju sistēmas kopne; *c* — arku sistēmas kopne; *d* — rāmju sistēmas kopne; *e* — divkonsolu kopne.

9.2. att. Kopņu shēmas:

*a* — paralēljoslu kopne; *b* — trapecoidālā kopne; *c* un *d* — poligonālās kopnes; *e* — trīsstūra kopne.

Pēc uzdevuma kopnes iedala tilta, pārseguma, transporta estakādes, elektropārvades līnijas balstu, hidrotehnisko aizvaru un citu būvju kopnēs.

Kopnes ģeometrisko shēmu nosaka joslu apveids un režģa sistēma, kas atkarīga no slodzēm un lieces momentu epīras veida. Pēc joslu apveida izšķir paralēljoslu, trapecoidālās, poligonālās, trīsstūra un citas kopnes (9.2. att.).

Kopnes režģa sistēma uzņem šķērsspēku, izpildot sijas sienīņas funkcijas. No režģa sistēmas ir atkarīga kopnes masa, tās izgatavošanas darbietilpība un ārējais veids. Režģa sistēmai jāatbilst slodžu pielikšanas shēmai, lai slodzes varētu pielikt mezglos un joslās nerastos vietējās lieces momenti, kas palielina kopnes masu.

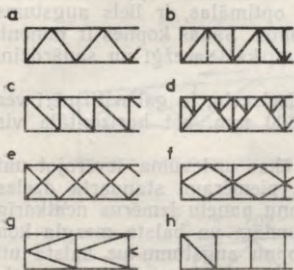
Kopnēm ir šādas režģu sistēmas: trīsstūra, trīsstūra ar papildstatiem, atgāžņu, spraišļu, krusta, rombiskā, bezatgāžņu u. c. (9.3. att.).

Vienkāršākais ir trīsstūra režģis. Papildstatus uzstāda tad, ja to izvietojuma vietās pieliek koncentrētus spēkus vai grib samazināt augšējās spiestās joslas panela garumu.

Atgāžņu režģa īpatnība ir tā, ka visos atgāžņos darbojas vienādas zīmes spēks, bet statos — pretējas zīmes spēks. No atgāžņu režģu sistēmas izdevīgāks ir režģis ar krītošiem atgāžņiem (uz kopnes vidu), jo garākie elementi (atgāžņi) ir stiepti, bet īsākie elementi (stati) — spiesti. Ja režģis ir ar kāpjošiem atgāžņiem, tad tie ir spiesti, bet stati ir stiepti.

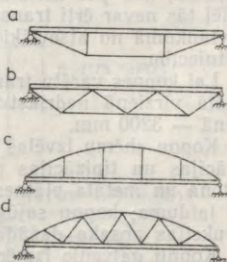
Spraišļu režģi izveido, ja kopnes augšējai joslai bieži tiek pielikta koncentrēta slodze.

Kopnēm, uz kurām darbojas divpusēja slodze, parasti izveido krusta režģi. Ļoti bieži krusta režģi projektē no lokaniem stieņiem. Šai gadījumā darbojas tikai stieptie atgāžņi, jo spiestie atgāžņi



9.3. att. Kopņu režģu sistēmas:

a — trīsstūra; b — trīsstūra ar papildstatiem; c — atgāžņu; d — spraišļu; e — krusta; f — rombiskā; g — pusatgāžņu; h — bezatgāžņu.



9.4. att. Kombinētās sistēmas:

a — spraišļu sija; b — sija apakšā pastiprināta ar kopni; c — sija augšā pastiprināta ar arku; d — sija augšā pastiprināta ar kopni.

lielā lokanuma dēļ no darbības izslēdzas un aprēķina shēmā neietilpst. Tādēļ kopnes ar krusta režģi aprēķina kā statiski noteicamas sistēmas.

Rombiskajam režģim un pusatgāzņu režģim ir liels stingums, un tāpēc tos lieto kopnēs, kurās rodas lieli šķērsspēki.

Bezatkāzņu režģis ir ieteicams kopnēm, kuras izgatavo no caurulēm un liekti metinātiem slēgtiem profiliem, jo industriālajā celtniecībā liela nozīme ir kopņu izgatavošanas un montāžas darbietilpības samazināšanai.

Kopnes pēc maksimālā garenspēka lieluma iedala vieglās (ar laidumu  $l \leq 50$  m un joslas vislielāko garenspēku  $N_{\max} \leq 5000$  kN) un smagās kopnēs. Pēc konstruktīvā risinājuma izšķir parastās, kombinētās un iepriekš sasprīgtās kopnes. Kombinētās kopnes parādītas 9.4. attēlā.

## 9.2. KOPŅU KOMPONĒJUMS

Kopņu komponējumu sāk ar to racionālās shēmas izvēli, ievērojot metāla ekonomijas, konstrukcijas izgatavošanas, transportēšanas, unifikācijas un tipizācijas prasības. Šīs prasības bieži vien ir pretrunīgas, tāpēc jāatrod optimālais risinājums, kas vislabāk apmierinātu to kompleksu.

Kopnes masa galvenokārt ir atkarīga no tās augstuma attiecības pret laidumu. Spēki kopnes joslās ir atkarīgi no lieces momenta, bet spēki režģī — no šķērsspēka. Jo lielāks kopnes augstums, jo mazāki spēki darbojas joslās un mazāka ir joslu masa, bet lielāks ir režģa elementu garums un masa. Teorētiski kopnei ir vismazākā masa, ja joslu masa ir vienāda ar režģa masu. Kopnei ar teorētiski vismazāko masu augstuma attiecība pret laidumu  $h_{\text{opt}}/l = 1/4 \dots 1/6$ . Kopnēm, kas pēc metāla patēriņa ir optimālas, ir liels augstums, tādēļ tās nevar ērti transportēt un montēt. Šādas kopnes ir jāmontē būvlaukumā no atsevišķiem elementiem, kas sarežģī un sadārdzina celtniecību.

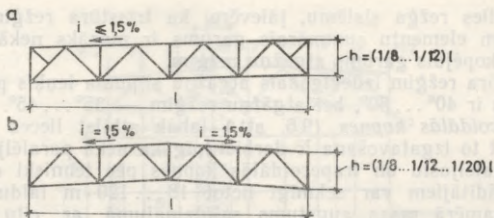
Lai kopnes varētu transportēt pa dzelzceļu, to gabarītmēri vertikālā virzienā nedrīkst pārsniegt 3800 mm, bet horizontālā virzienā — 3200 mm.

Kopņu shēmu izvēlas atkarībā no ēkas uzdevuma, ievērojot unifikācijas un tipizācijas prasības. Tā, piemēram, standarta dzelzsbetona un metāla plātnes nosaka kopņu paneļu izmērus neatkarīgi no laiduma; kopņu sajūgums ar kolonnām un balsta mezgla konstrukcijas nosaka dažāda laiduma kopņu augstumu uz balsta utt.

Kopņu galvenie izmēri ir laidums un augstums. Ražošanas ēku unificētām kopnēm laiduma modulis ir 6 m, t. i., kopņu laidumi ir 18; 24; 30; 36 un 42 m. Tipa kopnēm joslu paneļu modulis ir 3 m, kopņu solis — 6 un 12 m.

Kopņu shēma ir atkarīga no jumta seguma konstrukcijas.

*Paralēljoslu kopnes* (9.5. att.) arvien plašāk lieto rūpniecības un civilo ēku pārsegumos, jo tām ir vairākas konstruktīvas priekš-



9.5. att. Paralēljoslu kopnes:

a — vienslīpu kopne; b — divslīpu kopne.

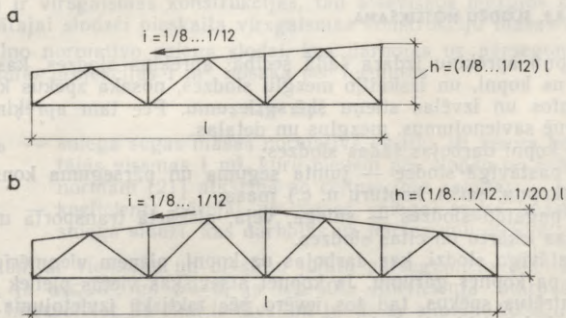
rocības. Šīs kopnes sastāv no vienāda tipa un garuma elementiem (joslām, atgāžņiem un statiem) un vienādas konstrukcijas mezgliem, kas ļauj elementus un mezglus standartizēt un vienkāršot kopņu izgatavošanu.

Paralēljoslu kopnes lieto plakaniem un lēzeniem jumtiem un arī par pakopnēm jumta kopņu balstīšanai, ja visas jumta kopnes nevar atbalstīt uz kolonnām.

Kopņu augstumu parasti pieņem  $1/8 \dots 1/12$  laiduma, bet liel-laidumu kopnēm —  $1/8 \dots 1/20$  laiduma. Tipa unificēto kopņu augstums ir 3150 mm (starp leņķprofilu ārmaļām) un joslu slīpums  $i = 1,5\%$ .

Paralēljoslu kopnēm visbiežāk izveido trīsstūra režģi ar papildstatiem, kā arī spraišļu un atgāžņu režģi.

Atgāžņu režģim ir tā īpatnība, ka stati iesaistās kopnes kopīgajā darbā, bet trīsstūra režģim stati šai darbībā nepiedalās un uzņem tikai vietējo mezglu slodzi.



9.6. att. Trapecoidālās kopnes:

a — vienslīpu kopne; b — divslīpu kopne.

Izvēloties režģa sistēmu, jāievēro, ka trīsstūra režģim ar papildstatiem elementu summārais garums ir mazāks nekā atgāžņu un statu kopējais garums atgāžņu režģim.

Trīsstūra režģim izdevīgākais atgāžņu slīpuma leņķis pret apakšējo joslu ir  $40^\circ \dots 50^\circ$ , bet atgāžņu režģim —  $35^\circ \dots 45^\circ$ .

*Trapeoidālās kopnes* (9.6. att.) labāk atbilst lieces momentu epīrai, bet to izgatavošana ir darbietilpīgāka nekā paralēljoslu kopnēm. Paralēljoslu un trapeoidālās kopnes pēc tehniski ekonomiskajiem rādītājiem var sekmīgi lietot 18...120 m laidumiem, jo tām ir samērā mazs augstums salīdzinājumā ar citu apveidu kopnēm.

Trapeoidālās kopnes lieto pārsegumos ar ruļļmateriālu jumta segumu, izveidojot augšējai joslai slīpumu  $i=1/8 \dots 1/12$ .

Trapeoidālām kopnēm augstumu laiduma vidū parasti pieņem  $1/8 \dots 1/12$  laiduma, bet liellaidumu kopnēm —  $1/8 \dots 1/20$  laiduma. Tipa unificētām trapeoidālām kopnēm augstums uz balsta ir 2200 mm (starp leņķprofilu ārmaļām) un augšējās joslas slīpums  $i=1/12$ .

*Poligonālās kopnes* (sk. 9.2. att. *c* un *d*) pēc ārējā apveida vislabāk atbilst lieces momentu epīrai, bet to izgatavošana ir darbietilpīgāka, jo režģa elementiem ir dažāds garums.

*Trīsstūra kopnes* (sk. 9.2. att. *e*) lieto reti, jo tām joslās darbojas lieli spēki. Trīsstūra kopņu augstumu pieņem  $1/4 \dots 1/2$  laiduma. Tām visbiežāk lieto atgāžņu režģi ar kritošiem atgāžņiem, bet retāk — trīsstūra režģi. Tipa trīsstūra kopnes ir izstrādātas metāla vai azbestcements jumta segumiem, kuriem ir liels slīpums. Tipa kopnēm augšējās joslas slīpums  $i=1/3,5$  un augstums uz balsta ir 450 mm.

## 9.3. KOPŅU APRĒĶINS

### 9.3.1. SLODŽU NOTEIKŠANA

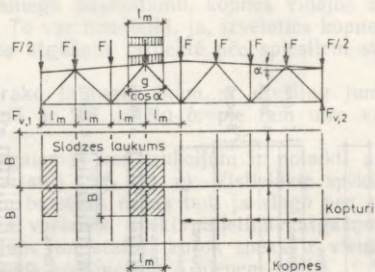
Kopņu aprēķinu izdara šādā secībā: aprēķina slodzes, kas darbojas uz kopni, un izskaitļo mezglu slodzes, nosaka spēkus kopnes elementos un izvēlas stieņu šķērsriezumu. Pēc tam aprēķina un konstruē savienojumus, mezglus un detaļas.

Uz kopni darbojas šādas slodzes:

1) pastāvīgā slodze — jumta seguma un pārseguma konstrukcijas (kopņu, saišu, kopturu u. c.) masa;

2) pagaidu slodzes — sniega, vēja, piekārtā transporta un pacelšanas iekārtu un citas slodzes.

Pastāvīgo slodzi, kas darbojas uz kopni, pieņem vienmērīgi sadalītu pa kopnes garumu. Ja kopnei atsevišķās vietās pieliek lielus koncentrētus spēkus, tad tos ievēro pēc faktiskā izvietojuma. Virsmas slodzē iekļauj slodzi, ko izraisa visu jumta seguma kārtu, kopnes, virsgaismas konstrukciju un saišu masa, pareizinot normatīvās slodžu vērtības ar attiecīgiem slodžu drošuma koeficien-



9.7. att. Mezglu slodžu noteikšanas shēma.

tiem. Kopnes virsmas aprēķina slodzi vislabāk noteikt pēc tabulas (sk. 10.3. tab.).

Pastāvīgo aprēķina slodzi, kas pielikta mezglā, nosaka pēc šādas formulas (9.7. att.):

$$F = \gamma_n (g_k + g_l / \cos \alpha) l_m B, \quad (9.1)$$

kur  $\gamma_n$  — uzdevuma drošuma koeficients (sk. pielikumu 6. tab.);

$g_k$  — kopnes un saišu masas vienmērīgi sadalīta virsmas aprēķina slodze;

$g_l$  — jumta seguma masas vienmērīgi sadalīta virsmas aprēķina slodze;

$l_m$  — kopnes augšējās joslas paneļa garums;

$B$  — kopņu solis;

$\alpha$  — augšējās joslas slīpuma leņķis pret horizontu; jumtiem, kuru slīpums nepārsniedz  $1/8$ ,  $\cos \alpha$  pieņem vienādu ar 1.

Ja ir virsgaismas konstrukcijas, tad atsevišķos mezglās šai aprēķinātajai slodzei pieskaita virsgaismas konstrukciju masas slodzi.

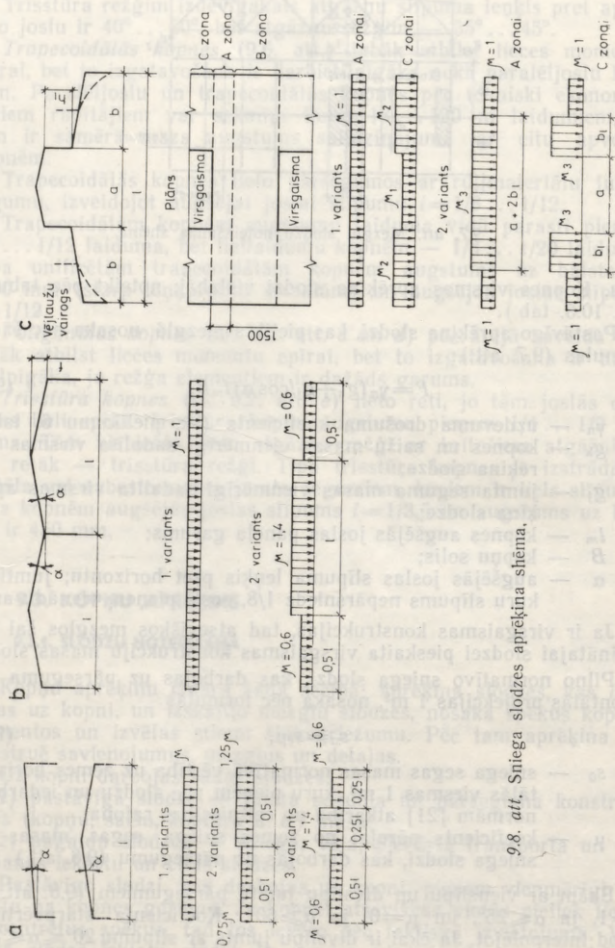
Pilno normatīvo sniega slodzi, kas darbojas uz pārseguma horizontālās projekcijas  $1 \text{ m}^2$ , nosaka pēc formulas

$$S_n = s_0 \mu, \quad (9.2)$$

kur  $s_0$  — sniega segas masas normatīvā vērtība uz zemes horizontālās virsmas  $1 \text{ m}^2$ , kuru pieņem pēc slodžu un iedarbību normām [21] atkarībā no celtniecības rajona;

$\mu$  — koeficients pārejai no zemes sniega segas masas uz sniega slodzi, kas darbojas uz pārsegumu (9.8. att.).

Ekām ar vienslīpu un divslīpu jumtu pārsegumiem (9.8. att. a)  $\mu = 1$ , ja  $\alpha \leq 25^\circ$ , un  $\mu = 0$ , ja  $\alpha \geq 60^\circ$ . Koeficienta starpvērtības atrod interpolējot. Ja ēkai ir divslīpu jumts ar slīpumu  $20^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ , tad ievēro arī otro slogojuma variantu. Trešo variantu ievēro tikai tad, ja  $10^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$  un jumta korē ir izvietoti apkalpes tiltiņi vai aerācijas ietaises.



Sloojot ar sniegu puslaidumu, kopnes vidējos atgāžņos spēks var mainīt zīmi. To var nenoteikt, ja, izvēloties kopnes stieņu šķērs-griezumu, vidējos atgāžņus projektē pēc spiestiem stieņiem izvīzī-tām prasībām.

Divu un vairāku laidumu ēkām ar divslīpu jumtu koeficientu  $\mu$  pieņem saskaņā ar 9.8. attēlu *b*, pie tam otro variantu ievēro, ja  $\alpha \geq 15^\circ$ .

Ēkām ar virsgaismas konstrukcijām ir noteikti divi sniega slodzes aprēķina varianti (9.8. att. *c*). Vislielākie spēki kopnes joslās un atgāžņos tuvu balstiem rodas tad, ja sloģo pēc pirmā varianta. Sloģojot pēc otrā varianta, spēki palielinās atgāžņos, kas atrodas tuvu kopnes vidum, un statos, kuros spēks ir vienāds ar mezģlu slodzi. Sai gadījumā koeficientus  $\mu$  pieņem šādi:

$$\mu_1 = 0; \mu_2 = 1 + 0,1a/b; \mu_3 = 1 + 0,5a/b_l, \quad (9.3)$$

bet ne lielāku par 4 — kopnēm un sijām, ja pārseguma svara nor-matīvā vērtība ir 1,5 kPa un mazāka; 2,5 — kopnēm un sijām, ja pārseguma svara normatīvā vērtība ir lielāka par 1,5 kPa; 2,0 — tērauda profilētam klājam; 2,5 — kopturiem neatkarīgi no laiduma. Sai gadījumā pieņem  $b_l = h_l$ , bet ne lielāku par *b*. Nosakot slodzi *B* zonai virsgaismas konstrukcijas galā, abos variantos koeficienta  $\mu$  vērtību pieņem vienādu ar 1,0. Norādījumi par koeficienta  $\mu$  vērtības samazināšanu doti slodžu un iedarbību normās [21].

Sniega aprēķina slodzi, kas darbojas kopnes mezģlos, atrod pēc formulas

$$F_s = \gamma_n s_0 \mu \gamma_f l_m B, \quad (9.4)$$

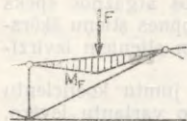
kur  $\gamma_n$  — uzdevuma drošuma koeficients (sk. pielikumu 6. tab.);  $\gamma_f$  — sniega slodzes drošuma koeficients, kuru pieņem pēc slodžu un iedarbību normām [21] (sk. arī pielikumu 4. tab.).

Ja uz kopni darbojas citas slodzes, tad tās aprēķinā ievēro saskaņā ar projektēšanas uzdevumu. Sis slodzes pieliek attiecīgajos kopnes mezģlos kā koncentrētus spēkus.

Vēja slodzi kopnes aprēķinā ievēro tikai tad, ja jumta slīpums ir lielāks par  $30^\circ$ .

### 9.3.2. SPĒKU NOTEIKŠANA KOPNES ELEMENTOS

Aprēķinot kopnes, kuru elementi veidoti no leņķprofiliem vai T profiliem, pieņem, ka sistēmas mezģlos ir ideāli šarnīri, visu stieņu asis ir taisnas, tās atrodas vienā plaknē un mezģlā krustojas vienā punktā. Šādas ideālas sistēmas stieņos darbojas tikai garenspēki. Kopnes, kuru elementiem ir dubult-T veida, H veida un cauruļveida šķērs-griezums, var aprēķināt pēc šarnīrveida shēmas tikai tad, ja šķērs-griezuma augstuma attiecība pret garumu nepārsniedz 1/10 — konstrukcijām, kuras ekspluatē visos klimatiskajos rajonos, izņemot I<sub>1</sub>; I<sub>2</sub>; II<sub>2</sub> un II<sub>3</sub> klimatisko rajonu; 1/15 — I<sub>1</sub>; I<sub>2</sub>; II<sub>2</sub> un



9.9. att. Kopņu joslas vietējā liece.

II<sub>3</sub> klimatiskajā rajonā. Ja šī attiecība ir lielāka, tad elementos jāievēro papildu lieces momenti, kuri rodas mezglu stinguma dēļ. Sai gadījumā garenspekus nosaka pēc šarnīrveida shēmas, bet papildu lieces momentus — pēc aptuvenām metodēm.

Ja slodze vienmērīgi sadalīta pa kopnes augšējo joslu, tad lieces momentus atļauts noteikt pēc šādām formulām:

laiduma moments malējā panelī

$$M_{mp} = gl_m^2/10; \quad (9.5)$$

laiduma moments starppanelos

$$M_{sp} = gl_m^2/12; \quad (9.6)$$

moments balsta mezglā

$$M_{bp} = gl_m^2/18, \quad (9.7)$$

kur  $g$  — lineārās slodzes lielums.

Bez tam kopnes stieņos spriegumus rada lieces momenti, kurus izraisa stieņu nepilnīga centrēšana mezglos. Šie spriegumi nav pamatspriegumi un tos parasti aprēķinā neievēro, jo tie maz ietekmē kopņu nestspēju.

Kopņu aprēķinu izdara ar elektroniskajiem skaitļotājiem, izmantojot skaitļošanas programmu kompleksu (PACK). Tas dod iespēju aprēķināt jebkuru kopni, kas slogota ar statiskām vai dinamiskām slodzēm, ievērojot arī lieces momentus, ko rada mezglu stingums un stieņu asu ekscentritāte. Ar elektroniskajiem skaitļotājiem automātiski iegūst aprēķina spēkus kopnes stieņos un var aprēķināt šķērsgrīzumu stieņiem, kas veidoti no izplatītākiem metinātiem un velmētiem profiliem.

Ja nevar izmantot elektroniskos skaitļotājus, tad spēkus kopnes stieņos nosaka pēc būvmehānikas analītiskajām metodēm vai arī grafiski, konstruējot Kremona diagrammu.

Ja uz kopni darbojas spēki, kas nav pielikti mezglos (9.9. att.), tad joslā bez garenspēkiem rodas arī lieces moments. Sai gadījumā garenspekus kopnes elementos atrod pēc visas slodzes, pieliekot to kopnes mezglos. Spēks  $F$ , kas pielikts starp mezgliem, stieni izraisa papildu lieces momentu  $M_F$ .

Apskatot joslu kā nepārtrauktu siju, kas balstās uz elastīgi pakļāvīgiem balstiem (kopnes mezgliem), var atrast balstmomentu atslogojošo ietekmi uz lieces momentu paneļa vidū. Aprēķini rāda, ka šī ietekme ir neliela. Tāpēc pirmajā panelī vietējās slodzes  $F$  izraisīto lieces momentu nosaka kā vienkāršai sijai:

$$M_{1F} = Fl_m/4. \quad (9.8)$$

Pārējos paneļos atslogojošo ietekmi var ievērot ar koeficientu 0,9, t. i.,

$$M_{2F} = 0,9Fl_m/4. \quad (9.9)$$

Kopne, kuras elementi slogoti vietējā liecē, ir smagāka nekā kopne, kurai ir spraišļu režģis, taču spraišļu režģis ievērojami palielina kopnes izgatavošanas darbietilpību.

### 9.3.3. KOPŅU ELEMENTU APRĒKINA GARUMI UN ROBEŽLOKANUMI

Spiests stienis, zaudējot noturību garenliecē, var izkļauties kopnes plaknē vai arī plaknē, kas perpendikulāra kopnes plaknei (no kopnes plaknes). Stieņa aprēķina garumu nosaka pēc formulas

$$l_{ef} = \mu l, \quad (9.10)$$

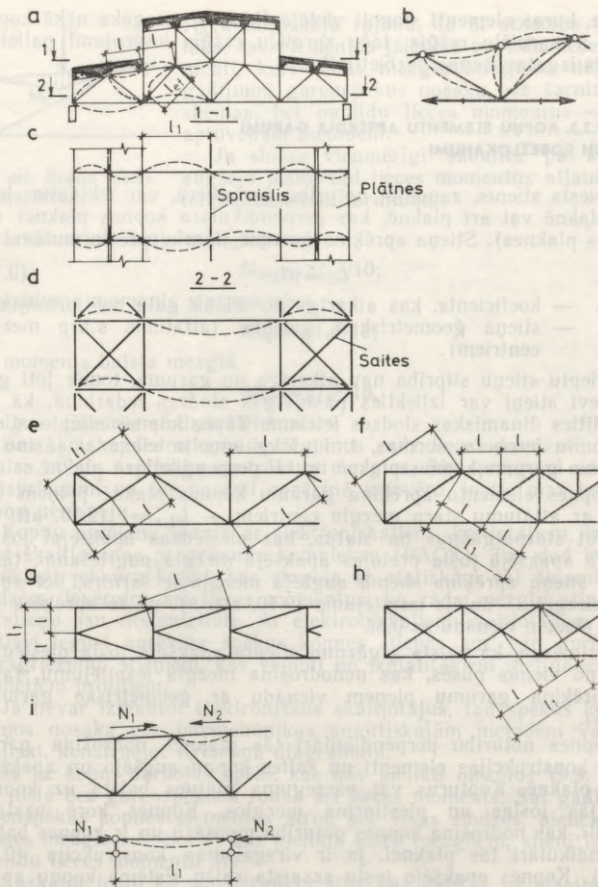
kur  $\mu$  — koeficients, kas atkarīgs no stieņa galu nostiprinājuma;  
 $l$  — stieņa ģeometriskais garums (attālums starp mezglu centriem).

Stieptu stieņu stiprība nav atkarīga no garuma, tomēr ļoti gari un tievi stieņi var izliekties pastāvīgās slodzes iedarbībā, kā arī svārstīties dinamiskas slodzes ietekmē. Tāpēc kopnes stieptu stieņu lokanumu ierobežo normas, t. i., lokanuma noteikšanai jāzina to aprēķina garums kopnes plaknē un tai perpendikulārā plaknē.

Kopnes elementu aprēķina garumu kopnes plaknē pieņem vienādu ar attālumu starp mezglu centriem —  $l_{ef,x} = l$  (9.10. att. a), izņemot starpatgāzņus un status, kas pieslēdzas apakšējai joslai. Stieptā apakšējā josla pretojas apakšējā mezgla pagriešanai, tāpēc režģa stieņu aprēķina shēmā augšējā mezglā ir šarnīrs, bet apakšējā mezglā — daļējs iespīlējums (9.10. att. b), un to aprēķina garumu pieņem vienādu ar  $0,8l$ .

Atzīmēsim, ka balsta atgāzņim stieptā apakšējā josla pieslēdzas tikai no vienas puses, kas nenodrošina mezgla iespīlējumu, tāpēc tā aprēķina garumu pieņem vienādu ar ģeometrisko garumu:  $l_{ef,x} = l$ .

Kopnes noturību perpendikulāri tās plaknei nodrošina pārseguma konstrukcijas elementi un saites kopņu augšējo un apakšējo joslu plaknē. Kopturus vai pārseguma plātnes balsta uz kopnes augšējās joslas un piestiprina mezglos. Kopnes korē uzstāda spraisli, kas nodrošina kopnes noturību montāžā un ir kopnes balsts perpendikulāri tās plaknei, ja ir virsgaismas konstrukcija (9.10. att. c). Kopnes apakšējo joslu sasaista saišu sistēma kopņu apakšējo joslu plaknē (9.10. att. d). Tātad kopņu joslu aprēķina garumu  $l_{ef,y}$  plaknē, kas perpendikulāra kopnes plaknei, pieņem vienādu ar attālumu starp sastiprinājuma punktiem, kas nostiprināti pret izvīzīšanos no kopnes plaknes ar saitēm, plātnēm un kopturim. Jāatzīmē, ka kopturi ir atbalsta punkti kopnes augšējai joslai tikai tad, ja tie nostiprināti horizontālā plaknē un nevar brīvi pārvietoties. No montāžas viedokļa saiti piestiprināt kopturim tā vidū ir grūti, jo saites kopnei piestiprina ik pēc diviem paneļiem. Tāpēc kopnes augšējās joslas aprēķina garumu pieņem vienādu ar divu paneļu



9.10. att. Kopnes stieņu aprēķina garuma noteikšanas shēma.

garumu ( $l_{ef,y}=2l$ ) arī gadījumos, kad katrā mezglā ir uzstādīti kopturi, kuri nav saistīti ar saiti.

Pārsegumiem bez kopturiem plātnes piemetina pie kopnes augšējās joslas. Tās nodrošina kopnes augšējās joslas noturību perpendikulāri kopnes plaknei, tāpēc pieņem aprēķina garumu  $l_{ef,y}=l$ . Arī šajā gadījumā montāžas laikā izveido saites. Ja ir virsgaismas

## Plaknisku kopņu elementu aprēķina garumi

Garenlieces virziens	Aprēķina garums $l_{ef}$		
	joslām	balsta atgāžņiem un balsta statiem	pārējiem režģa elementiem
1. Kopnes plaknē:			
a) kopnēm, izņemot 1.b punktā minētās kopnes	$l$	$l$	$0,8l$
b) kopnēm no savrupa leņķprofila un kopnēm, kurām režģa elementus pie joslām piestiprina sadurā	$l$	$l$	$0,9l$
2. Perpendikulāri kopnes plaknei (no kopnes plaknes):			
a) kopnēm, izņemot 2.b punktā minētās kopnes	$l_1$	$l_1$	$l_1$
b) kopnēm ar joslām no slēgtiem profiliem, ja režģa elementus pie joslām piestiprina sadurā	$l_1$	$l_1$	$0,9l_1$

Apzīmējumi:  $l$  — elementa ģeometriskais garums (attālums starp mezglu centriem) kopnes plaknē;

$l_1$  — attālums starp mezgliem, kas nostiprināti pret izvirkšanos no kopnes plaknes.

konstrukcija, tad kopnes augšējo joslu virsgaismas robežās nostiprina ar spraišļiem.

Atgāžņu un statu aprēķina garumu perpendikulāri kopnes plaknei pieņem vienādu ar to ģeometrisko garumu (9.10. att. *e*, *f* un *g*), jo joslu nelielais vērpes stingums un mezglu fasonlapu lokanums tuvāk atbilst šarnīrveida balstījumam.

Kopnēm, kuru stieņi izveidoti no slēgtiem profiliem un kuru režģa elementi pie joslām piestiprināti sadurā (bez fasonlapām), režģa elementu (izņemot balsta elementus) iespilējums kopnes plaknē ir mazāks, bet perpendikulāri kopnes plaknei — lielāks. Tāpēc to aprēķina garumu gan kopnes plaknē, gan arī perpendikulāri kopnes plaknei pieņem  $0,9$  no ģeometriskā garuma. Joslām, balsta atgāžņiem un balsta statiem aprēķina garumu nosaka kā parastajām kopnēm.

Plaknisku kopņu elementu aprēķina garumi sakopoti 9.1. tabulā (sk. 9.10. att.).

Krusta režģa elementu aprēķina garumu kopnes plaknē (9.10. att. *h*) pieņem vienādu ar attālumu no kopnes mezgla centra līdz elementu krustpunktam:  $l_{ef} = l$ . Spiestiem elementiem perpendikulāri kopnes plaknei aprēķina garumu pieņem pēc 9.2. tabulas, bet stieptiem elementiem — vienādu ar elementa pilno garumu:  $l_{ef} = l_1$ .

Ja uz elementu, kura garums  $l_1$ , darbojas spiedes spēki  $N_1$  un  $N_2 < N_1$  (9.10. att. *i*), tad šī elementa noturību perpendikulāri kop-

Krusta režģa spiesto elementu aprēķina garumi  
perpendikulāri kopnes plaknei (9.10. att. h)

Režģa elementu krustošanās mezgla konstrukcija	Aprēķina garums $l_{ef}$ , ja turētājelements		
	ir stiepts	nedar- bojas	ir spiests
Abi elementi ir nepārtraukti Turētājelements ir pārtraukts un sastiprināts ar fasonlapu:	$l$	$0,7l_1$	$l_1$
aplūkojamais elements ir nepārtraukts	$0,7l_1$	$l_1$	$1,4l_1$
aplūkojamais elements ir pārtraukts un sastip- rināts ar fasonlapu	$0,7l_1$	—	—

nes plaknei pārbauda pēc lielākā spēka  $N_1$  un aprēķina garumu  
nosaka pēc formulas

$$l_{ef} = l_1(0,75 + 0,25N_2/N_1). \quad (9.11)$$

Elementu lokanumu aprēķina pēc formulas

$$\lambda = l_{ef}/i. \quad (9.12)$$

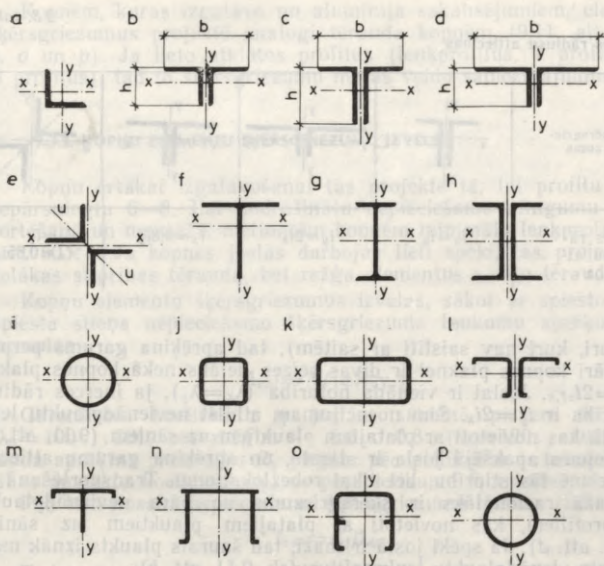
Lai spiestie un stieptie elementi neizliektos pašsvara dēļ, lai  
nodrošinātu to noturību montāžas un ekspluatācijas slodžu iedar-  
bibā un lai šie elementi nevibrētu dinamisko slodžu ietekmē, pro-  
jektēšanas normas [22] nosaka robežlokanumus, kas doti pielikumu  
8. un 9. tabulā.

### 9.3.4. KOPŅU ELEMENTU ŠĶĒRSGRIEZUMI

Kopņu elementu projektē no savrupa lenķprofila, pāra lenķ-  
profilēm, izveidojot T veida šķērsgriezumu, T profilēm, dubult-T  
profilēm, U profilēm, caurulēm un liekti metinātiem slēgtiem pro-  
filēm (9.11. att.).

Savrupa lenķprofila šķērsgriezumu (9.11. att. a) lieto vieglām  
kopnēm, pārsedzot agresīvas vides telpas, jo šādām kopnēm ir lie-  
lāka korozijizturība nekā kopnēm, kuru elementu šķērsgriezumi vei-  
doti no pāra lenķprofilēm. Aprēķinot spiestus elementus no savrupa  
lenķprofila, pieņem darbības apstākļu koeficientu  $\gamma_e = 0,75$ .

Kombinējot lenķprofilu (vienādplauktu un nevienādplauktu)  
tipus un to savienojumu šķērsgriezumā (ar platiem un šauriem  
plauktiem uz sāniem), var konstruēt elementus ar dažādiem inerces  
rādiesiem  $i_x$  un  $i_y$ . Tas dod iespēju projektēt vienādas noturības  
kopņu elementus (ar vienādu lokanumu  $\lambda_x$  un  $\lambda_y$ ), kuriem ir dažāds  
aprēķina garums kopnes plaknē ( $l_{ef,x}$  un perpendikulāri kopnes  
plaknei ( $l_{ef,y}$ ).



9.11. att. Kopņu stieņu šķērs griezumi.

Inerces rādītājus attiecībā dažādiem šķērs griezumam, kas veidoti no lēņprofiliem, dotas 9.3. tabulā.

Ja augšējo spiesto joslu nostiprina perpendikulāri kopnes plaknei katrā mezglā ar saitēm vai pārseguma plātnēm, tad elementu aprēķina garumi ir vienādi ( $l_{ef,x} = l_{ef,y}$ ) un joslai vienādu noturību nodrošina šķērs griezumam, kas veidots no pāra nevienādplauktu lēņprofiliem, tos novietojot ar šaurajiem plauktiem uz sāniem (9.11. att. c). Tomēr šādu šķērs griezumu lieto reti, jo kopnes ar tādu augšējo joslu ir neērtas transportēšanā un montāžā un šaurie plaukti ir nepietiekami plātņi balstīšanai. Šai gadījumā visbiežāk augšējo joslu izveido no pāra vienādplauktu lēņprofiliem (9.11. att. b).

Šķērs griezumam no pāra nevienādplauktu lēņprofiliem, kas novietoti ar šaurajiem plauktiem uz sāniem, lieto gadījumos, kad augšējā josla pakļauta vietējai liecei. Ja ir lieli vietējie lieces momenti, tad izdevīgāks ir šķērs griezumam no dubult-T profila (9.11. att. g) vai diviem U profiliem (9.11. att. h).

Ja augšējā spiestā josla kopnes plaknei perpendikulārā plaknē nostiprināta ar saitēm ik pēc mezglā (piemēram, virsgaismas konstrukcijas daļā, kā arī gadījumos, kad katrā mezglā ir uzstādīti

## Inerces rādusiu attiecības

Šķērsgriezums				
Inerces rādusiu attiecība	$i_x \approx i_y$	$i_y \approx 2i_x$	$i_x \approx 0,8i_y$	$i_x = i_y$ $i_u \approx 0,85i_x$

kopturi, kuri nav saistīti ar saitēm), tad aprēķina garums perpendikulāri kopnes plaknei ir divas reizes lielāks nekā kopnes plaknē:  $l_{ef,y} = 2l_{ef,x}$ . Joslai ir vienāda noturība ( $\lambda_x = \lambda_y$ ), ja inerces rādusiu attiecība ir  $i_y = 2i_x$ . Šim nosacījumam atbilst nevienādplauktu leņķprofili, kas novietoti ar platajiem plauktiem uz sāniem (9.11. att. d).

Kopnes apakšējā josla ir stiepta, un aprēķina garumu attiecība neietekmē tās stiprību, bet tikai robežlokanumu. Transportēšanā un montāžā racionālāks ir šķērsgriezums no pāra nevienādplauktu leņķprofiliem, kas novietoti ar platajiem plauktiem uz sāniem (9.11. att. d). Ja spēki joslā ir mazi, tad šaurais plaukts iznāk mazs un lieto vienādplauktu leņķprofilus (sk. 9.11. att. b).

Spiestiem balsta atgāžņiem, kuriem ir vienāds aprēķina garums kopnes plaknē un perpendikulāri kopnes plaknei, šķērsgriezumus pieņem no pāra nevienādplauktu leņķprofiliem, kas novietoti ar šaurajiem plauktiem uz sāniem (sk. 9.11. att. c), vai arī no pāra vienādplauktu leņķprofiliem. Pārējos spiestos un stieptos režģa elementus projektē no vienādplauktu leņķprofiliem (sk. 9.11. att. b), kuriem inerces rādusiu attiecība aptuveni atbilst aprēķina garumu attiecībai ( $l_{ef,x} = 0,8l_{ef,y}$ ). Izņēmums ir stati, kuriem piestiprina vertikālās saišu kopnes. Tiem lieto krusta šķērsgriezumu (9.11. att. e), kas nodrošina centrisku saišu kopņu piestiprināšanu pie statiem.

Kopnēm, kuru elementu šķērsgriezumi ir izveidoti no pāra leņķprofiliem, ir darbietilpīga izgatavošana un liela masa, tāpēc paredzēts tās aizstāt ar jauniem kopņu konstruktīvajiem risinājumiem no efektīviem velmētiem un liekti metinātiem slēgtiem profiliem.

Kopnes, kuru joslas izveidotas no T profiļiem (9.11. att. f) un režģa elementi — no pāra leņķprofiliem, ir par 12...15% vieglākas nekā kopnes no leņķprofiliem. To izgatavošanas darbietilpība samazinās par 15...20%.

Pēc metāla patēriņa ekonomiskākas ir no caurulēm izgatavotas kopnes (9.11. att. i), tomēr to izgatavošana ir darbietilpīgāka nekā kopnēm no liekti metinātiem slēgtiem profiļiem (9.11. att. j un k). Eksperimentālie un teorētiskie pētījumi rāda, ka šīm kopnēm metāla patēriņš ir par 15...20% mazāks nekā kopnēm no leņķprofiliem.

Kopnēm, kuras izgatavo no alumīnija sakausējumiem, elementu šķērsgriezumus projektē analogi tērauda kopnēm (9.11. att.  $l, m, n, o$  un  $p$ ). Ja lieto atklātos profilus (leņķprofilus, T profilus un U profilus), tad to šķērsgriezumu malās veido sabiezinājumus.

### 9.3.5. KOPŅU ELEMENTU ŠĶĒRSGRIEZUMU IZVĒLE

Kopņu ērtākai izgatavošanai tās projektē tā, lai profilu skaits nepārsniegtu 6—8. Lai nodrošinātu nepieciešamo stingumu transportēšanā un montāžā, metinātām kopnēm minimālo leņķprofilu pieņem  $50 \times 4$ . Ja kopnes joslās darbojas lieli spēki, tās projektē no lielākas stiprības tērauda, bet režģa elementus — no tērauda C73.

Kopņu elementu šķērsgriezumus izvēlas, sākot ar spiesto joslu. Spiesta stieņa nepieciešamo šķērsgriezuma laukumu aprēķina pēc formulas

$$A_{cat} = N / (\varphi R_y \gamma_c). \quad (9.13)$$

Garenieces koeficientu  $\varphi$  joslām sākumā pieņem 0,7...0,9 ( $\lambda_0 = 100 \dots 80$ ), bet režģim — 0,6...0,8 ( $\lambda_0 = 120 \dots 100$ ). Tērauda aprēķina pretestību  $R_y$  pieņem pēc pielikumu 1. tabulas, darbības apstākļu koeficientu  $\gamma_c$  — pēc pielikumu 5. tabulas.

Pēc tam nosaka nepieciešamo šķērsgriezuma inerces rādiusu

$$i_{cat} = l_{ef} / \lambda_0. \quad (9.14)$$

Tad no sortimenta pēc aprēķinātā  $A_{cat}$  un  $i_{cat}$  izvēlas šķērsgriezumu, izraksta  $A$ ,  $i_x$  un  $i_y$  un nosaka elementa lokanumu kopnes plaknē un tai perpendikulārā plaknē:

$$\lambda_x = l_{ef,x} / i_x \quad \text{un} \quad \lambda_y = l_{ef,y} / i_y. \quad (9.15)$$

Nosakot inerces rādiusu no pāra leņķprofiļiem veidotam šķērsgriezumam, jāzina attālums starp leņķprofilu paralēlajiem plauktiem, kuru nosaka kopnes fasonlapu biezums. Tas atkarīgs no spēka, kas darbojas balsta atgāznī, un to parasti pieņem pēc 9.4. tabulas.

9.4. tabula

Kopņu fasonlapu ieteicamie biezumi

Aprēķina spēks balsta atgāznī, kN	Līdz 150	151... 250	251... 400	401... 600	601... 1000	1001... 1400	1401... 1800	Lielāks par 1800
Fasonlapas biezums, mm	6	8	10	12	14	16	18	20

Kopnēm fasonlapas parasti pieņem vienāda biezuma, tomēr lielām kopnēm atļauts balsta fasonlapas izgatavot par 2 mm biezākas nekā pārējās.

Ja tabulās nav dots no pāra leņķprofiliem veidota T veida šķērs-griezuma inerces rādiuss pret brīvo asi, tad to var izskaitļot pēc formulas

$$i_y = \sqrt{i_{y_0}^2 + (z_0 + t_g/2)^2}, \quad (9.16)$$

kur  $i_{y_0}$  — viena leņķprofila inerces rādiuss pret savu centrālo asi, kas paralēla brīvajai asij;

$z_0$  — attālums no leņķprofila smagumcentra līdz plaukta ārējai skaldnei, kas paralēla  $y_0$ — $y_0$  asij;

$t_g$  — attālums starp leņķprofiliem (fasonlapas biezums), kuru pieņem pēc 9.4. tabulas.

Pēc lielākā lokanuma, kurš nedrīkst pārsniegt robežlokanumu (sk. pielikumu 8. tab.), no pielikumu 11. tabulas atrod minimālo garenieces koeficientu  $\varphi_{\min}$ . Ja šī atrastā vērtība daudz atšķiras no sākumā pieņemtās (pēc lokanuma  $\lambda_0$ ) vērtības, tad izdara pārreķini un šķērsgriezumu korigē.

Pieņemto šķērsgriezumu pārbauda pēc formulas

$$\sigma = N/\varphi A \leq R_y \gamma_c. \quad (9.17)$$

Pārbauda arī spiesto leņķprofilu plauktu noturību. Ja nosacītais lokanums  $0,8 \leq \bar{\lambda} \leq 4$ , tad vienādplauktu leņķprofilu plauktu pārkares platuma un biezuma attiecība nedrīkst pārsniegt

$$b_{ef}/t = (0,40 + 0,07\bar{\lambda}) \sqrt{E/R_y}, \quad (9.18)$$

kur  $b_{ef}$  — attālums no plaukta iekšējā noapaļojuma līdz plaukta malai;

$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_y/E}$  — nosacītais lokanums.

Ja  $\bar{\lambda} < 0,8$  vai  $\bar{\lambda} > 4$ , tad formulās (9.18) un (9.19) pieņem  $\bar{\lambda} = 0,8$  vai  $\bar{\lambda} = 4$ .

Nevienādplauktu leņķprofilu platākajam plauktam

$$b_{ef}/t = (0,43 + 0,08\bar{\lambda}) \sqrt{E/R_y}. \quad (9.19)$$

Ja spiestos režģa elementos spēki ir mazi, tad tos izvēlas pēc robežlokanuma  $\lambda_u$  (sk. pielikumu 8. tab.). Vispirms nosaka nepieciešamo inerces rādiusu pēc formulas

$$i_{cat} = l_{ef}/\lambda_u. \quad (9.20)$$

Profilu izvēlas pēc nepieciešamā inerces rādiusa. Spiestiem elementiem no sortimenta izvēlas leņķprofilus ar mazāku plaukta biezumu, jo tiem ir lielāks inerces rādiuss un tātad arī lielāks stingums.

Arī stiepto elementu šķērsgriezumu izvēli sāk ar elementiem, kuros darbojas vislielākie spēki. Nepieciešamo šķērsgriezuma laukumu nosaka pēc formulas

$$A_{n,cat} = N/(R_y \gamma_c). \quad (9.21)$$

Izvēloties no sortimenta profilus pēc nepieciešamā šķērsriezuma laukuma (ja elementi mezglos savienoti ar skrūvēm, tad šķērsriezumu pieņem ar rezervi, ievērojot urbumu radīto vājinājumu), izraksta pieņemtā šķērsriezuma ģeometriskos raksturojumus un nosaka elementu lokanumu kopnes plaknē un perpendikulāri kopnes plaknei. Arī stiepto elementu robežlokanums ir normēts un dots pielikumā 9. tabulā. Ja izraudzītā elementa lokanums nepārsniedz robežlokanumu, tad pārbauda spriegumus pēc formulas

$$\sigma = N/A_n \leq R_y \gamma_c. \quad (9.22)$$

Spēki atgāžnos, tuvojoties kopnes vidum, samazinās, tāpēc vidējo stiepto atgāžņu šķērsriezumu pieņem pēc spiesto elementu robežlokanuma, jo tajos var rasties pretējas zīmes spriegumi, ja uz kopni darbojas vienpusēja sniega slodze.

Kopnēm ar laidumu līdz 24 m joslu šķērsriezumu izvēlas pēc maksimālā spēka un šķērsriezumu nemaina. Lielākām kopnēm maina joslu šķērsriezuma laukumu. Sai gadījumā ieteicams izmainīt leņķprofilu plauktu platumu, neizmainot to biezumu, lai atvieglotu salaides izveidošanu.

Mainot joslu šķērsriezuma laukumu, šķērsriezuma smaguma centra nobīde kopnes joslas augstumā nedrīkst pārsniegt 1,5% joslas augstuma, jo citādi radīsies liela ekscentritāte un papildu lieces moments.

Ja slodzes kopnei tiek pieliktas ārpus mezgliem, tad joslas jāaprēķina pēc garenspēkiem un lieces momentiem kā ekscentriski spiesti stiepi.

Projektējot no caurulēm izgatavotas kopnes, ieteicamākas ir konstruktīvās shēmas ar retu trīsstūra režģi, kuram mezglos savienoti ne vairāk kā divi režģa elementi. Spraišu režģis nav ieteicams, jo grūti konstruēt mezgļus. Cauruļu šķērsriezums ir visefektīvākais, jo konstrukcijas spiesto elementu aprēķina garums ir vienāds kopnes plaknē un perpendikulāri kopnes plaknei, tāpēc spiesto augšējo joslu perpendikulāri kopnes plaknei sastiprina visos mezgļos.

Kopnēm var lietot 40...530 mm diametra elektrometinātās un karstvelmētās caurules, bet ieteicamākas ir caurules ar ārējo diametru līdz 140...180 mm. Kopņu joslām lieto caurules, kuru sienas biezuma un diametra attiecība ir 1/35...1/45, spiestiem režģa elementiem šī attiecība ir 1/70...1/100 un stieptiem režģa elementiem — 1/100. Minimālo caurules sienas biezumu joslām pieņem 3 mm, bet režģa elementiem — 2,5 mm.

Kopņu izlieci, darbojoties pastāvīgām un pagaidu ilgstošām slodzēm vai arī celšanas un transporta iekārtu slodzēm, nosaka pēc slodžu un iedarbību normām [21].

Kopnēm, kuru laidums ir lielāks par 36 m, paredz konstruktīvo pacelumu, kuru izveido vienādu ar pastāvīgās un ilgstošās slodzes radīto izlieci. Plakaniem jumtiem konstruktīvo pacelumu izvēlas neatkarīgi no laiduma — to pieņem vienādu ar summārās normatīvās slodzes radīto izlieci plus 1/200 laiduma.

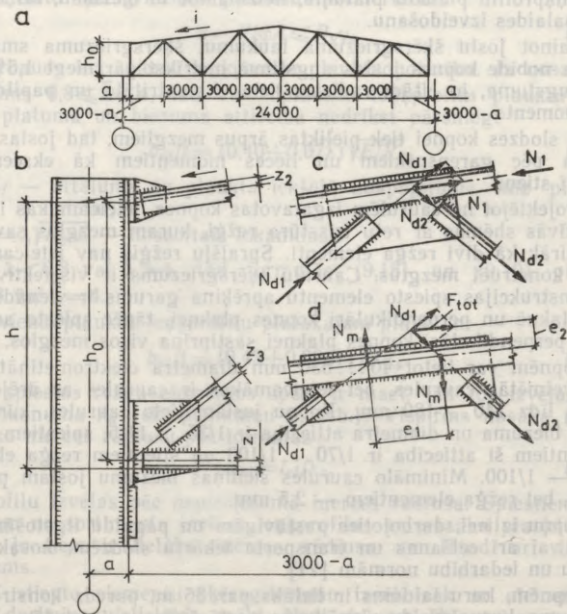
## 9.4. KOPŅU MEZGLU KONSTRUĒŠANA UN APRĒĶINS

### 9.4.1. KOPŅU ĢEOMETRISKĀ SHĒMA UN MEZGLU CENTRĒŠANA

Kopnes konstruējot, vispirms novelk ass līnijas, kas veido kopnes ģeometrisko shēmu (9.12. att. a). Stieņus ģeometriskajā shēmā izvieto tā, lai šķērsriezumu smagumcentri sakristu ar ass līnijām. Metinātām kopnēm, kurām stieņi veidoti no leņķprofiliem, smagumcentra attālumu  $z$  no leņķprofila virsotnes pieņem pēc sortimenta tabulas un noapaļo līdz 5 mm.

Bieži vispirms pieņem kopnes ārējo gabarītu, t. i., kopnes augstumu pa kolonnu koordinācijas asi (9.12. att. b). Sai gadījumā kopnes ģeometriskās shēmas augstums  $h_0$  ir atkarīgs no joslu leņķprofilu piesaistes  $z_1$  un  $z_2$ , kopnes augšējās joslas slīpuma  $i$  un koordinācijas ass attāluma  $a$  no kopnes balsta:

$$h_0 = (h + ia) - (z_1 + z_2)\sqrt{1 + i^2}. \quad (9.23)$$



9.12. att. Kopnes ģeometriskā shēma un mezglu centrēšana:

a — kopnes ģeometriskā shēma; b — balstmezgls; c — starpmezgls;  
d — nepareizi centrēts mezgls.

Stieņu ass līnijām mezglā jākrustojas vienā punktā (9.12. att. c), jo pretējā gadījumā spēki mezglā netiek līdzsvaroti (9.12. att. d) un tajā rodas papildu lieces moments  $M = F_{tot}e_2$ . Šis papildu moments kopnes plaknē izraisa mezgla savērpšanos spēku  $N_m$  ietekmē un līdz ar to stieņos rodas ekscentriskā spiede un stiepe, kas paliecina materiāla patēriņu.

Ja maina kopnes joslu šķēsgriezumu, tad kopnes geometriskajā shēmā pieņem vienu joslu ass līniju un tai piesaista joslu leņķprofilu virsotnes. Šai gadījumā joslas leņķprofilu smagumcentru nobīde no ass līnijas nedrīkst pārsniegt 1,5% no joslas augstuma, jo pretējā gadījumā joslā jāievēro papildu lieces momenti mezglos.

#### 9.4.2. KOPŅU MEZGLI

Kopņu mezglu konstrukcijas parādītas 9.13. attēlā. Lai samazinātu metināšanas spriegumus, starp kopņu režģa elementu galiem un joslu atstāj atstarpi  $a = 6t - 20 \leq 80$  mm ( $t$  — fasonlapas biezums, mm).

Lai noteiktu kopņu fasonlapu izmērus, stieņiem aprēķina metināto šuvju garumu. Režģa elementus pie fasonlapām piemetina ar sāršuvēm (šuvju galus par 20 mm pārļaižot elementu galiem) vai sāršuvēm un gala šuvēm.

Ja režģa elementus pie fasonlapas piemetina ar sāršuvēm, tad garenspēku  $N$  uzņem stūra šuve pie leņķprofila virsotnes un pie malas apgriezti proporcionāli attālumam no leņķprofila smagumcentra līdz tā malām. Šuves garumu pie leņķprofila virsotnes (9.13. att. a)

pa šuves metālu aprēķina pēc formulas

$$l_{w,1} = N(b-z) / (2b\beta_f k_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c) \quad (9.24)$$

un pa sakausēšanas robežas metālu —

$$l_{w,1} = N(b-z) / (2b\beta_z k_f R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c), \quad (9.25)$$

bet pie leņķprofila malas pa šuves metālu —

$$l_{w,2} = Nz / (2b\beta_f k_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c) \quad (9.26)$$

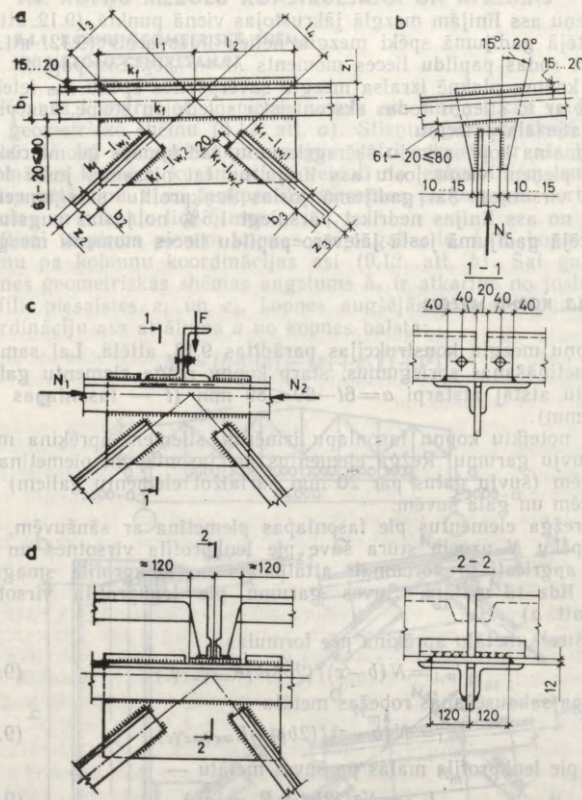
un pa sakausēšanas robežas metālu —

$$l_{w,2} = Nz / (2b\beta_z k_f R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c). \quad (9.27)$$

Rokas metināšanai pieņem  $\beta_f = 0,7$  un  $\beta_z = 1,0$ . Šuves darbības apstākļu koeficienti  $\gamma_{wf}$  un  $\gamma_{wz}$  ir vienādi ar 1 visos gadījumos, izņemot konstrukcijas, kas tiek būvētas I<sub>1</sub>; I<sub>2</sub>; II<sub>2</sub> un II<sub>3</sub> klimatiskajā rajonā. Kopņu savienojumu aprēķinam darbības apstākļu koeficients  $\gamma_c$  dots pielikumā 5. tabulā. Stūra šuves aprēķina pretētibā pa šuves metālu  $R_{wf}$  un pa sakausēšanas robežas metālu  $R_{wz}$  dota 5.5. un 5.6. tabulā.

Praktiskajos aprēķinos garenspēka daļu, ko uzņem stūra šuve pie leņķprofila virsotnes un pie malas, var pieņemt atkarībā no

9.13. KOPŅU MEZGLU KONSTRUEŠANA UN APRĒKŅS



9.13. att. Kopņu mezglu konstruēšana:  
 a — kopnes mezgla konstruēšana un metināto šuvju aprēķins; b — stata un joslu pietiprinājuma pie fasonlapas aprēķins; c — kopturu balstīšana kopnes mezglā; d — dzelzsbetona plātnes balstīšana kopnes mezglā.

Ieņķprofila tipa un metinātās šuves garumu var noteikt pēc šādām formulām:

pie ieņķprofila virsotnes pa šuves metālu

$$l_{w,1} = \alpha_w N / (2\beta_f k_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c) \quad (9.28)$$

un pa sakausēšanas robežas metālu

$$l_{w,1} = \alpha_w N / (2\beta_z k_f R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c); \quad (9.29)$$

pie leņķprofila malas pa šuves metālu

$$l_{w,2} = (1 - \alpha_w) N / (2\beta_f k_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c) \quad (9.30)$$

un pa sakausēšanas robežas metālu

$$l_{w,2} = (1 - \alpha_w) N / (2\beta_z k_f R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c), \quad (9.31)$$

kur  $\alpha_w$  — koeficients, kas atkarīgs no leņķprofila tipa un novietojuma šķērsgriezumā.

Vienādplauktu leņķprofilēm  $\alpha_w = 0,7$ ; nevienādplauktu leņķprofilēm, kuri piemētināti pie fasonlapas ar šauru plauktu,  $\alpha_w = 0,75$  un nevienādplauktu leņķprofilēm, kuri piemētināti ar plato plauktu,  $\alpha_w = 0,68$ .

Leņķprofilēm ar plauktu biezumu  $t$  līdz 6 mm pieņem šuves kateti  $k_f = 4$  mm, leņķprofilēm ar  $t = 7 \dots 16$  mm —  $k_f = t - 2$  mm, leņķprofilēm ar  $t > 16$  mm —  $k_f = t - 4$  mm. Pie leņķprofila virsotnes jābūt šuves katetei  $k_f \leq 1,2t$ , kur  $t$  — leņķprofila vai fasonlapas mazākais biezums. Liels skaits dažāda izmēra šuvju katešu vienā nosūtāmā elementā apgrūtina konstrukcijas izgatavošanu, tāpēc parasti pieņem trīs četrus šuvju katešu izmērus. Atliekot nepieciešamo šuvju garumu fasonlapas izmēru noteikšanai, šuvju garumu palielina par 1 cm.

Ja leņķprofilus piemēta ar sānšuvēm un gala šuvēm, tad nosaka summāro šuvju garumu. Tomēr arī šajā gadījumā sānšuves garumam pie leņķprofila virsotnes un malas jābūt apgriezti proporcionālam šo šuvju attālumam līdz profila asij.

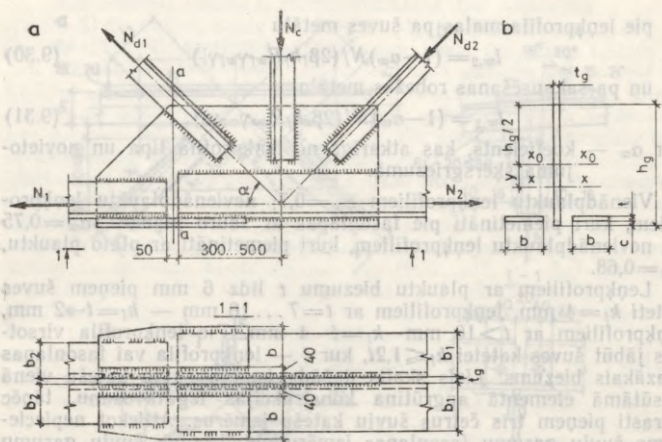
Joslām, kurām šķērsgriezumā nemaina, piestiprinājumu pie fasonlapām aprēķina pēc spēku starpības blakus paneļos  $N_2 - N_1$ . Šīs šuves pēc aprēķina parasti iznāk ar maza izmēra kateti, tāpēc tās konstruktīvi pieņem ar minimālu kateti un izveido nepārtrauktas visā fasonlapas garumā.

Ja mezgla pielikta koncentrēta slodze  $F$  (9.13. att. c), tad šuves aprēķina pēc rezultējošā spēka, kuru iegūst, summējot spēku starpību blakus paneļos ar ārējo mezgla slodzi, t. i.,  $\sqrt{(N_2 - N_1)^2 + F^2}$ .

Spēku starpība joslā, kurai pieslēdzas tikai stabs (9.13. att. b), ir vienāda ar nulli. Stata un arī joslas piestiprinājumu pie fasonlapas šajā gadījumā aprēķina pēc spēka statā  $N_c$ .

Kopnēm, kurām augšējās joslas leņķprofila biezums ir mazāks par 10 mm, ja kopņu solis 6 m, un mazāks par 14 mm, ja kopņu solis 12 m, joslu leņķprofilus pastiprina mezglos, kuros balstās dzelzsbetona plātnes, ar 10...12 mm bieziem lokšņu uzliktņiem (9.13. att. d).

Ja izmaina joslu šķērsgriezumā, tad leņķprofili jāpārsedz ar leņķprofilu vai lokšņu uzliktņiem (9.14. att.). Risinājums ar lokšņu uzliktņiem ir universālāks, jo ar leņķprofilu uzliktņiem var pārsegt tikai vienāda biezuma leņķprofilus. Mezgla ar pārtrauktu joslu darbība ir sarežģīta, tāpēc to aprēķina nosacīti. Leņķprofilu, kurā spēks ir lielāks, pārlaiž 300...500 mm aiz mezgla centra, starp savienojamām joslām atstājot 50 mm atstarpi. Uzliktņa biezumu pieņem ne mazāku par fasonlapas biezumu, bet tā platumam jābūt



9.14. att. Joslas šķērsriezuma izmaiņa:

a — šķērsriezuma izmaiņa; b — aprēķina šķēlums.

ne mazākam par mazākā leņķprofila plauktu platumu. Uzliktna šķērsriezuma laukumu pieņem tādu, lai nodrošinātu tā stiprību vājinātā šķēlumā pa līniju a—a (9.14. att. a). Šim šķēlumam ir T veids (9.14. att. b), un tas darbojas ekscentriskā stiepē vai spiedē. Stiprību pārbauda pēc formulas

$$\sigma = N_{cat}/A + M/W \leq R_y \gamma_c, \quad (9.32)$$

kur  $N_{cat}$  — aprēķina spēks elementā. Mezgla nenoteiktās darbības dēļ ieteicams pieņemt  $N_{cat} = 1,2N_1$ ;

$M$  — lieces moments;  $M = N_{cat}e$ ;

$e$  — spēka  $N_1$  ekscentritāte pret T veida šķēluma smagumcentru;

$A$  un  $W$  — T veida šķēluma laukums un pretestības moments.

So šķēlumu var pārbaudīt ar vienkāršotu paņēmieni pēc formulas

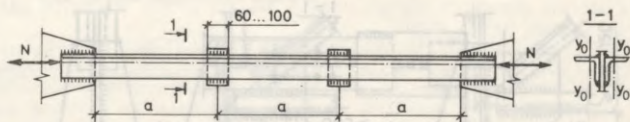
$$\sigma = N_{cat}/A_{ef} \leq R_y \gamma_c, \quad (9.33)$$

kur  $A_{ef}$  — nosacītais aprēķina šķērsriezums, kas vienāds ar uzliktna šķērsriezuma laukumu un fasonlapas daļas šķērsriezuma laukumu  $2b$  augstumā summu ( $b$  — piestiprinātā leņķprofila plaukta platums);  $A_{ef} = A_u + t_g \cdot 2b$ .

Suves, kas piestiprina lokšņu uzliktni pie joslas, aprēķina pēc spēka uzliktnī:

$$N_u = A_u \sigma, \quad (9.34)$$

kur  $\sigma$  — spriegums uzliktnī, ko nosaka pēc formulas (9.33).

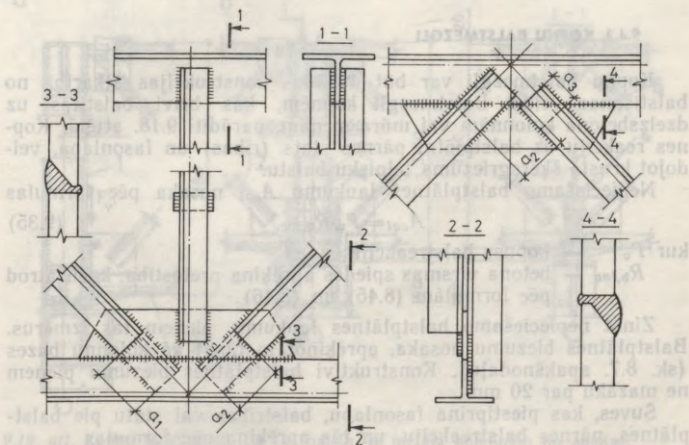


9.15. att. Starpliku izvietojums.

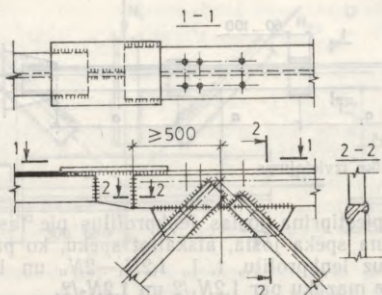
Suves, kas piestiprina joslas leņķprofilus pie fasonlapas, aprēķina pēc aprēķina spēka joslā, atskaitot spēku, ko pārnes uzliktnis no leņķprofila uz leņķprofilu, t. i.,  $1,2N_1 - 2N_u$  un  $1,2N_2 - 2N_u$ . Šo spēku pieņem ne mazāku par  $1,2N_1/2$  un  $1,2N_2/2$ .

Konstruējot kopņu mezglus, fasonlapas izlaiž uz āru par 15...20 mm, lai varētu ērti metināt. Ja mezglā balstās kopturis, tad tajā vietā fasonlapu uz āru neizlaiž. Mezglu fasonlapas veido vienkāršas formas, lai pēc iespējas samazinātu atgriezumu daudzumu.

Lai kopņu elementi, kas veidoti no pāra leņķprofiliem, darbotos kopīgi, tos savā starpā savieno ar starplikām (9.15. att.). Spiestos elementos starplikas izvieto attālumā  $a \leq 40i$ , bet stieptos elementos —  $a \leq 80i$  (kur  $i$  — leņķprofila inerces rādiuss pret galveno asi, kas paralēla starpliku izvietošanas plaknei). Spiestiem elementiem starp mezgliem izvieto vismaz divas starplikas. Tās izveido 60...100 mm platas un 20...50 mm garākas par leņķprofila plaukta platumu.



9.16. att. Kopņu, kuru stieņi veidoti no T veida profiliem, mezgli.



9.17. att. Kopņu joslas, kura veidota no T veida profiliem, šķēsgriezuma izmaiņa.

Kopnēm, kurām joslu izveido no T veida profiliem, mezglu konstruktīvie risinājumi izstrādāti pēc parastās kopņu izgatavošanas tehnoloģijas. Atgāžņu leņķprofilu galus nobīda atgāžņa ass virzienā vienu pret otru (9.16. att.) tā, lai vienā mezglā leņķprofilus piestiprinātu pie T veida profila sienīņas un pie mezgla fasonlapas, bet otrajā mezglā — tikai pie mezgla fasonlapas.

Joslu šķēsgriezumu izmaiņa parādīta 9.17. attēlā; to izveido 500 mm aiz mezgla, izmantojot vertikālu lokšņu ieliktni un horizontālu uzliktni.

#### 9.4.3. KOPŅU BALSTMEZGLI

Kopņu balstmezgli var būt dažādas konstrukcijas atkarībā no balstīšanas veida. Balstmezgli kopnēm, kas brīvi balstītas uz dzelzsbetona kolonnām vai mūra sienām, parādīti 9.18. attēlā. Kopnes reakciju uz balstplātni pārnēs stats (ribas) un fasonlapa, veidojot krusta šķēsgriezuma telpisku balstu.

Nepieciešamo balstplātnes laukumu  $A_{cat}$  nosaka pēc formulas

$$A_{cat} = F_v / R_{b,loc}, \quad (9.35)$$

kur  $F_v$  — kopnes balstrekcija;

kur  $R_{b,loc}$  — betona virsmas spiedes aprēķina pretestība, kuru atrod pēc formulām (8.45) un (8.46).

Zinot nepieciešamo balstplātnes laukumu, pieņem tās izmērus. Balstplātnes biezumu nosaka, aprēķinot to tāpat kā kolonnu bāzes (sk. 8.7. apakšnodāju). Konstruktīvi balstplātnes biezumu pieņem ne mazāku par 20 mm.

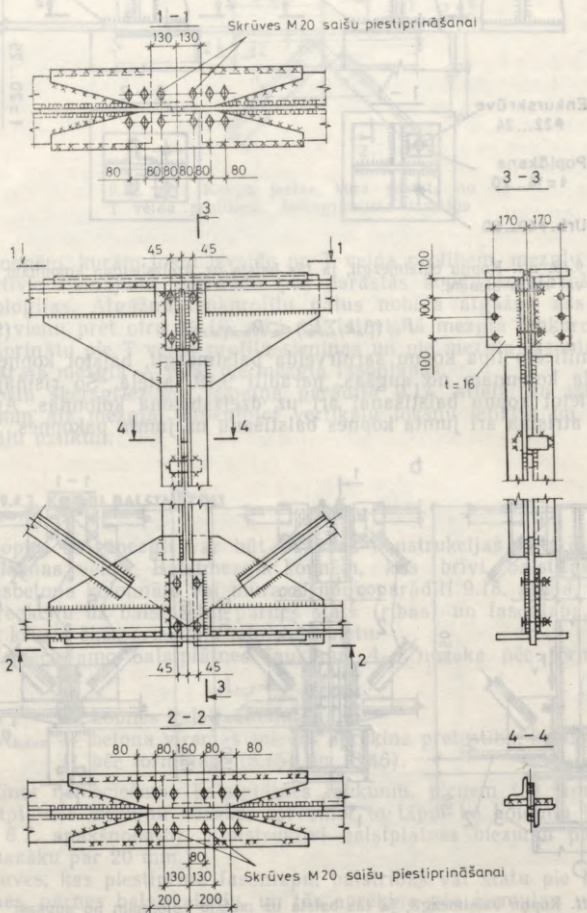
Suves, kas piestiprina fasonlapu, balstribas vai statu pie balstplātnes, pārnēs balstrekciju, un tās aprēķina pēc formulas

$$F_v / (\beta_f k_f \Sigma l_w) \leq R_w / \gamma_w \gamma_c \quad (9.36)$$



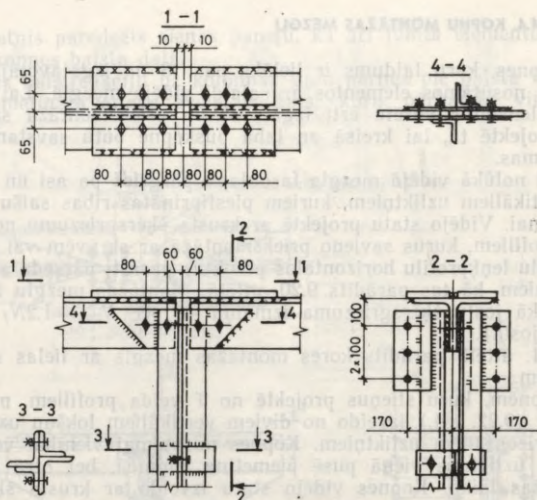
balsta statnis paredzēts sienas panelu, kā arī jumta elementu balstīšanai kopnes balsta daļā.

Kopnes balstreakciju uz kolonnas galu pārnes pie balsta fasonlapas piemetināta atloka ēvelētais gals, kuru pārbauda virsmas spiedē.



9.20. att. Metināts montāžas mezgls ar lokšņu uzliktņiem.





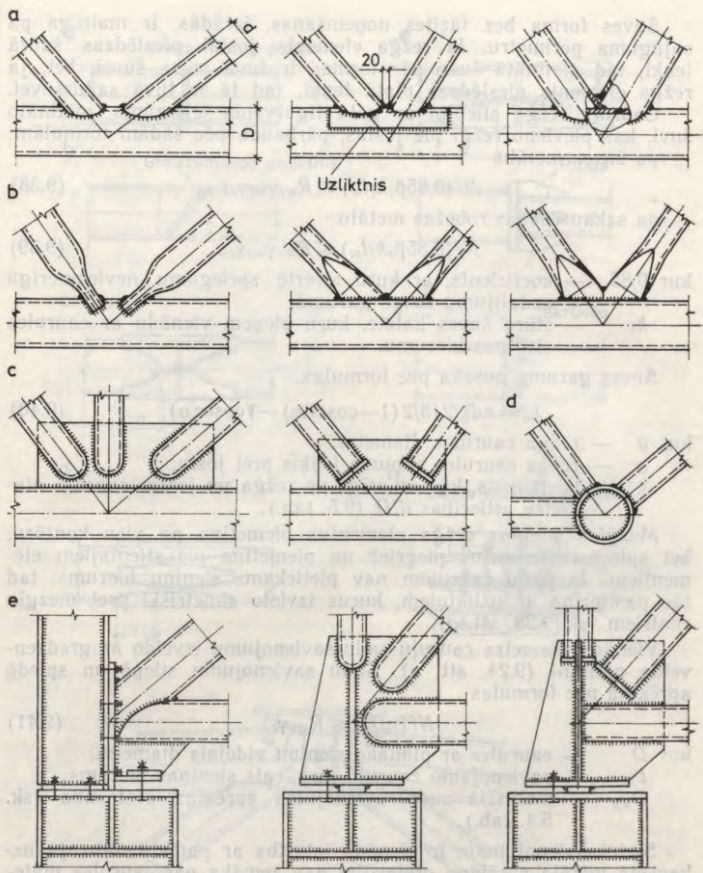
9.22. att. Kopnes, kuras joslas veidotas no T veida profiliem, metināts kores montāžas mezgls.

Šuves, kas savieno mezglu fasonlapas ar joslu T veida profilu sieniņu, aprēķina bīdē pēc aprēķina spēku summas atgāžņos, spēkus projicējot uz joslas ass.

#### 9.4.5. CAURUĻKOPŅU UN NO LIEKTI METINĀTIEM SLĒGTIEM PROFILIEM PROJEKTĒTU KOPŅU MEZGLI

Cauruļkopņu un kopņu, kuru elementi veidoti no liekti metinātiem slēgtiem profiliem, mezgli var būt bez fasonlapām (bez fasonlapu — 9.23. att. a un b), ar mezglu fasonlapām (9.23. att. c) un ar cilindriskas, prizmatiskas vai sfēriskas formas ieliktniem (9.23. att. d). Pēc materiāla patēriņa izdevīgāki ir bezfasonlapu mezgli, kad režģa elementus pievieno tieši pie joslām. Cauruļu galu figūrgriešanu izdara ar speciālām gāzgriešanas mašīnām, kuras vienkāršus noņem fāzīti. Mezglos nav ieteicama režģa elementu savstarpēja krustošanās, tāpēc stieņu ass atļauts nobīdīt no mezgla centra. Kopņu balstmezglus izveido bez ekscentritātes (9.23. att. e). Bezfasonlapu mezglus var izveidot, ja režģa elementu slīpuma leņķis pret joslu nav mazāks par  $30^\circ$  un režģa elementu un joslu diametru attiecība nav mazāka par  $1/3$ .

Kopņu mezgliem ar fasonlapām metinātās šuves aprēķina tāpat kā kopnēm, kuru elementi veidoti no leņķprofiliem. Ārī šai gadījumā šuves garumu sadala simetriski stieņa abās pusēs.



9.23. att. Cauruļkopņu mezglis:

a un b — bezfasonlapu mezglis; c — mezglis ar fasonlapām; d — mezglis ar cilindriskas formas ieliktni; e — balstmezglis.

Bezfasonlapu mezglu sajūgumu precīzais aprēķins ir ļoti sarežģīts un pagaidām vēl nav izstrādāts. Spriegumi metinātās šuves garumā sadalās nevienmērīgi un ir atkarīgi no savienojamo cauruļu diametra, joslu cauruļu sienīgas biezuma, cauruļu sajūguma leņķa, joslu cauruļu materiāla stiprības raksturojuma utt.

Šuves forma bez fāzītes noņemšanas, izrādās, ir mainīga pa sajūguma perimetru. Ja režģa elements joslai pieslēdzas šaurā leņķī, tad metinātā šuve pēc formas ir tuva stūra šuvei, bet, ja režģa elements pieslēdzas platā leņķī, tad tā ir tuva sadursuvei.

Cauruļu režģa stienim ar galu figūrveida griezumu metināto šuvi, kas pievieno režģi pie joslas, pārbauda pēc šādām formulām: pa šuves metālu

$$N/(0,85\beta_f k_f l_w) \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (9.38)$$

pa sakausēšanas robežas metālu

$$N/(0,85\beta_z k_f l_w) \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c, \quad (9.39)$$

kur 0,85 — koeficients, ar kuru ievērtē spriegumu nevienmērīgu sadalījumu šuves garumā;

$k_f$  — stūra šuves katete, kuru pieņem vienādu ar caurules sienīgas biezumu.

Šuves garumu nosaka pēc formulas

$$l_w = \pi d \xi / 2 (3/2 (1 - \operatorname{cosec} \alpha) - \sqrt{\operatorname{cosec} \alpha}), \quad (9.40)$$

kur  $d$  — režģa caurules diametrs;

$\alpha$  — režģa caurules slīpuma leņķis pret joslu;

$\xi$  — koeficients, kas atkarīgs no režģa un joslas cauruļu diametru attiecības  $d/D$  (9.5. tab.).

Mezglos stieptos režģa elementus piemetina pa visu kontūru, bet spiestos elementus piegriež un piemetina pie stieptajiem elementiem. Ja joslu caurulēm nav pietiekams sienīņu biezums, tad tās pastiprina ar uzliktņiem, kurus izvieto simetriski pret mezglu centriem (sk. 9.23. att. a).

Vienāda diametra cauruļu sadursavienojumu izveido ar gredzenveida paliktņi (9.24. att. a). Šādu savienojumu stiepē un spiedē aprēķina pēc formulas

$$N/(\pi D t) \leq R_{wy} \gamma_c, \quad (9.41)$$

kur  $D$  — caurules ar plānāko sienīņu vidējais diametrs;

$t$  — savienojamo cauruļu mazākais sienīgas biezums;

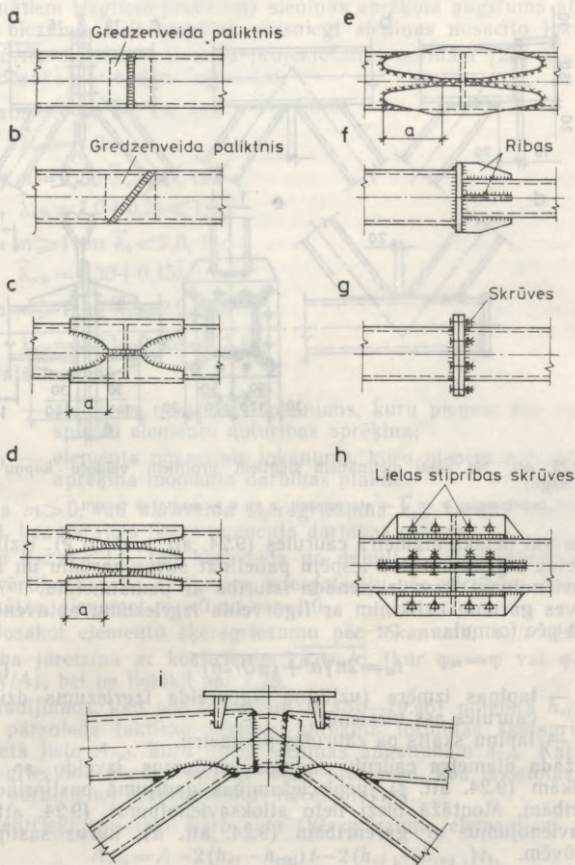
$R_{wy}$  — metinātā sadursavienojuma aprēķina pretestība (sk. 5.4. tab.).

Sadursavienojumam ir vienāda izturība ar pamatmetālu, ja uzkausētā metāla aprēķina pretestība nav zemāka par caurules mate-

9.5. tabula

Koeficienta  $\xi$  vērtības

$d/D$	0,2	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
$\xi$	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,08	1,12	1,22

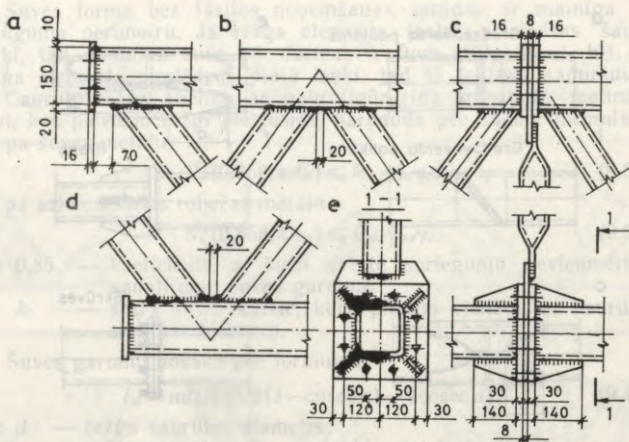


9.24. att. Cauruļstieņu metinātie un skrūvju savienojumi:

*a* un *b* — sadursavienojumi ar gredzenveida paliktņiem; *c*, *d* un *e* — sadursavienojumi ar gredzenveida uzliktņiem; *f* — sadursavienojums ar gala starpliku un garenribām; *g* — atloksavienojums ar skrūvēm; *h* — savienojums ar lielas stiprības skrūvēm un garenribām; *i* — spiestās joslas montāžas salaide ar mucveida paliktņi.

riāla aprēķina pretestību. Ja uzkausētā metāla aprēķina pretestība ir zemāka, tad izveido slīpu šuvi (9.24. att. *b*).

Vienāda diametra cauruļu sadursavienojumus var izveidot arī ar gredzenveida uzliktņiem, kurus izliec no loksnes vai izgriež no



9.25. att. No liekti metinātiem slēgtiem profiliem veidotu kopņu mezgli:

*a* — balstmezgls; *b* un *d* — starpmezgli; *c* un *e* — montāžas mezgli.

tā paša vai lielāka diametra caurules (9.24. att. *c*, *d* un *e*). Uzliktnu figūrveida izgriezumi dod iespēju palielināt šuves garumu un izveidot savienojumu, kam ir vienāda izturība ar pamatmetālu.

Suves garumu uzliktnim ar figūrveida izgriezumu aptuveni var noteikt pēc formulas

$$l_w = 2n\sqrt{a^2 + (\pi D/2n)^2}, \quad (9.42)$$

kur *a* — lapiņas izmērs (uzliktna figūrveida izgriezuma dziļums caurules ass virzienā);

*n* — lapiņu skaits pa caurules perimetru.

Dažāda diametra cauruļu sadursavienojumus izveido ar gala starplikām (9.24. att. *f*), nepieciešamības gadījumā pastiprinot ar garenribām. Montāžā bieži lieto atloksavienojumus (9.24. att. *g*) vai savienojumus ar garenribām (9.24. att. *h*), kurus sastiprina ar skrūvēm.

Augšējās spiestās joslas montāžas salaide ar mucveida paliktni parādīta 9.24. attēlā *i*. Sāds paliktnis atvieglo cauruļu centrēšanu mezglā, it sevišķi, ja joslā ir lūzums (kores mezglā).

Kopnes, kuru elementi veidoti no liekti metinātiem slēgtiem profiliem, projektē ar bezfasonlapu mezgliem (9.25. att.). Lai vienkāršotu mezglu konstrukciju, kopnes shēmu pieņem ar retinātu režģa sistēmu, kurā mezglos pie joslām pieslēdzas ne vairāk kā divi režģa elementi.

Centriski spiesti ( $m=0$ ), kā arī ekscentriski spiesti un spiesti liekti ( $m>0$ ) kārbveida šķērsriezuma elementiem (liekti

metinātiem slēgtiem profiliem) sienīgas aprēķina augstuma attiecība pret biezumu  $h_{ef}/t$  nedrīkst pārsniegt sienīgas nosacīto lokanumu  $\bar{\lambda}_{uw} \sqrt{E/R_y}$ . Atbilstoši tērauda projektēšanas normām [22]  $\bar{\lambda}_{uw}$  vērtības nosaka pēc šādām formulām:

$$\text{ja } m=0 \text{ un } \bar{\lambda} < 1,0, \text{ tad} \\ \bar{\lambda}_{uw} = 1,2; \quad (9.43)$$

$$\text{ja } m=0 \text{ un } \bar{\lambda} \geq 1,0, \text{ tad} \\ \bar{\lambda}_{uw} = 1,0 + 0,2\bar{\lambda} \leq 1,6; \quad (9.44)$$

$$\text{ja } m \geq 1 \text{ un } \bar{\lambda}_1 < 2,0, \text{ tad} \\ \bar{\lambda}_{uw} = 1,30 + 0,15\bar{\lambda}_1; \quad (9.45)$$

$$\text{ja } m \geq 1 \text{ un } \bar{\lambda}_1 \geq 2,0, \text{ tad} \\ \bar{\lambda}_{uw} = 1,20 + 0,35\bar{\lambda}_1 \leq 3,1. \quad (9.46)$$

Sajā formulā

$\bar{\lambda}$  — elementa nosacītais lokanums, kuru pieņem pēc centriski spiestu elementu noturības aprēķina;

$\bar{\lambda}_1$  — elementa nosacītais lokanums, kuru pieņem pēc noturības aprēķina momenta darbības plaknē.

Ja  $m > 0$ , tad kārbveida šķērsgriezumā  $\bar{\lambda}_{uw}$  vērtību nosaka sienīgai, kas paralēla lieces momenta darbības plaknei.

Ja  $0 < m < 1,0$ , tad kārbveida un dubult-T veida šķērsgriezumā  $\bar{\lambda}_{uw}$  vērtību nosaka ar lineāru interpolāciju pēc vērtībām, kuras aprēķinātas, pieņemot  $m=0$  un  $m=1,0$ .

Nosakot elementu šķērsgriezumu pēc lokanuma,  $h_{ef}/t$  vislielākā vērtība jāreizina ar koeficientu  $\sqrt{R_y \varphi_m / \sigma}$  (kur  $\varphi_m = \varphi$  vai  $\varphi_m = \varphi_e$ ,  $\sigma = N/A$ ), bet ne lielāku par 1,25.

Gadījumos, kad pēc formulām (9.43)–(9.46) noteiktā  $h_{ef}/t$  vērtība pārsniedz faktisko vērtību, aprēķina formulās šķērsgriezuma  $A$  vietā lieto  $A_{red}$ , kuru atrod sienīgas augstumam  $h_{red}$ . Kārbveida šķērsgriezumā nosaka  $h_{red}$  un  $h_{red 1}$  plāksnēm, kas izvietotas atbilstoši paralēli un perpendikulāri lieces plaknei.

Centriski spiesti kārbveida šķērsgriezuma elementiem

$$A_{red} = A - 2(h_{ef} - h_{red})t - 2(h_{ef 1} - h_{red 1})t_1,$$

bet ekscentriski spiesti un spiesti liektiem elementiem

$$A_{red} = A - 2(h_{ef} - h_{red})t.$$

Centriski spiesti kārbveida šķērsgriezuma elementiem

$$h_{red} = t(\bar{\lambda}_{uw} - (\bar{\lambda}_w / \bar{\lambda}_{uw} - 1)(\bar{\lambda}_{uw} - k))\sqrt{E/R_y}, \quad (9.47)$$

kur  $\bar{\lambda}_{uw}$  — atbilstoša šķērsgriezuma sienīgas nosacītais lokanums, kuru nosaka pēc formulām (9.43)–(9.46), pieņemot  $m=0$ ;

$\bar{\lambda}_w = h_{ef} / t \sqrt{R_y / E}$  — sienīgas nosacītais lokanums; aprēķinot  $h_{red 1}$ ,  $\bar{\lambda}_{w1} = h_{ef 1} / t_1 \sqrt{R_y / E}$ ;  
 $k$  — koeficients. Kārbeveida šķērsgriezumam  $k = 2,9 + 0,2\bar{\lambda} - 0,7\bar{\lambda}_w$  (ja  $\bar{\lambda}_w > 2,3$ , tad pieņem  $\bar{\lambda}_w = 2,3$ ), kur  $\bar{\lambda}$  — elementa nosacītais lokanums pēc formulām (9.43)–(9.46).

Režģa stieņu platumu  $b_r$  pieņem atkarībā no garenšuvju metināšanas apstākļiem (9.26. att.), bet ne lielāku par  $B - 3(t_j + t_r)$  un ne mazāku par joslas šķērsgriezuma  $0,6B$  vērtību.

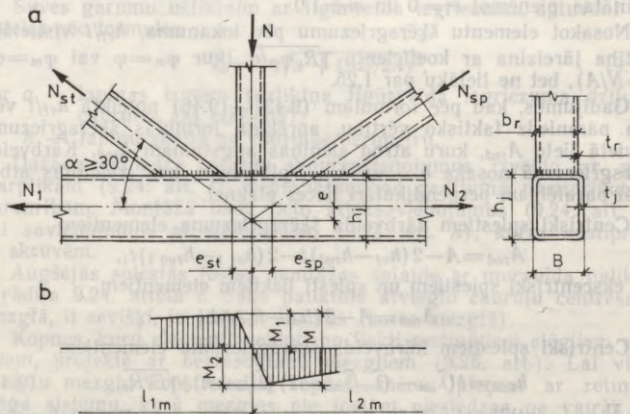
Lai nodrošinātu kvalitatīvas šuves izveidošanu šaurā leņķa pusē, režģa pieslēguma leņķi pie joslas pieņem ne mazāku par  $30^\circ$ . Mezgla ekscentritāti, kura nepārsniedz  $0,25h_j$ , aprēķinā neievēro. Ja mezgla ekscentritāte ir lielāka par  $0,25h_j$ , tad josla uzņem mezgla lieces momentus (sk. 9.26. att. b)

$$M_1 = M(l_{1m} - e_{st})(l_{2m}/l_{1m}) / (l_{1m} + l_{2m}); \quad (9.48)$$

$$M_2 = M(l_{2m} - e_{sp})(l_{1m}/l_{2m}) / (l_{1m} + l_{2m}), \quad (9.49)$$

kur  $l_{1m}$  un  $l_{2m}$  — paneļu, kuri pieslēdzas mezglam, garumi.

Rūpnīcas apstākļos stieņu savienojumus ieteicams izveidot ar saduršuvēm uz paliekoša paliktņa. Montāžas salaides izveido ar atlokiem, kurus savieno ar skrūvēm. Metinātās šuves, kas piestiprina režģa stieņus pie joslu plauktiem, pilnīgi izkausējot profila sienīņu, aprēķina kā saduršuves.



9.26. att. Izcentrēta mezgla aprēķina shēma:  
 a — aprēķina shēma; b — lieces momenta epūra.

## 9.5. SMAGO KOPŅU PROJEKTĒŠANAS ĪPATNĪBAS

Smagās kopnes parasti lieto pārsegumos, kuru laidumi ir lielāki par 50 m. Tām atšķirībā no vieglajām kopnēm elementu šķēsgriezumi ir izveidoti spēcīgāki. Smago kopņu stieņiem visbiežāk lieto divsieniņu šķēsgriezumus, kuros mezglos savā starpā savieno divās plaknēs. Visvairāk lieto metinātos H veida un Π veida šķēsgriezumus (9.27. att. *a*), kuriem var izveidot vienkāršu stieņu sajūgumu mezglos. 9.27. attēlā *b* parādīti alumīnija sakausējumu presēto profilu šķēsgriezumi, kurus lieto smagajām kopnēm.

Smagajām kopnēm var būt dažāds joslu apveids atkarībā no projektējamās ēkas arhitektoniskā risinājuma. Tām visbiežāk lieto trīsstūra vai rombisko režģi ar spraišļiem, kuri samazina augšējās spiestās joslas aprēķina garumu kopnes plaknē.

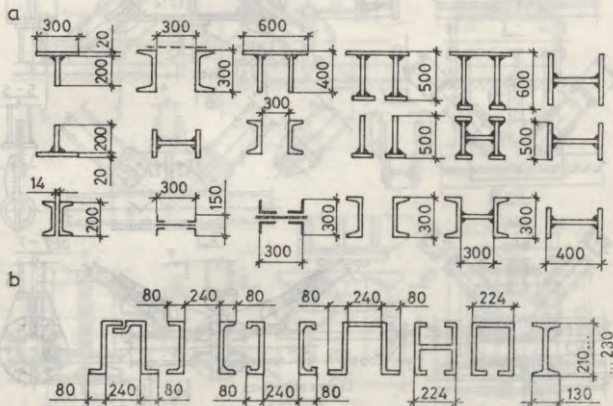
Kopņu elementu šķēsgriezumu izvēlas tāpat kā vieglajām kopnēm — pēc formulām (9.13) un (9.21).

Spiestiem stieņiem pirmajā tuvinājumā garenlieces koeficientu var pieņemt šādu: joslām —  $\varphi = 0,8 \dots 0,85$ , režģim —  $\varphi = 0,7 \dots 0,8$ .

Ja montāžas savienojumus izveido ar skrūvēm, tad stiepiem stieņiem pieņem šķēsgriezuma vājinājuma koeficientu  $a = 0,8 \dots 0,85$ .

Smago kopņu joslu šķēsgriezuma augstums nedrīkst pārsniegt  $1/15 l_m$ , platums — 400...500 mm.

Pēc šķēsgriezumu izvēles tos pārbauda. Spiestos stieņus pārbauda tāpat kā centriski spiestās kolonnas: H veida šķēsgriezuma



9.27. att. Smago kopņu elementu šķēsgriezumi:  
*a* — tērauda; *b* — alumīnija sakausējumu.

stieņus — kā pilnsienas kolonnas, no diviem U profiļiem veidotus stieņus — kā režģotās kolonnas.

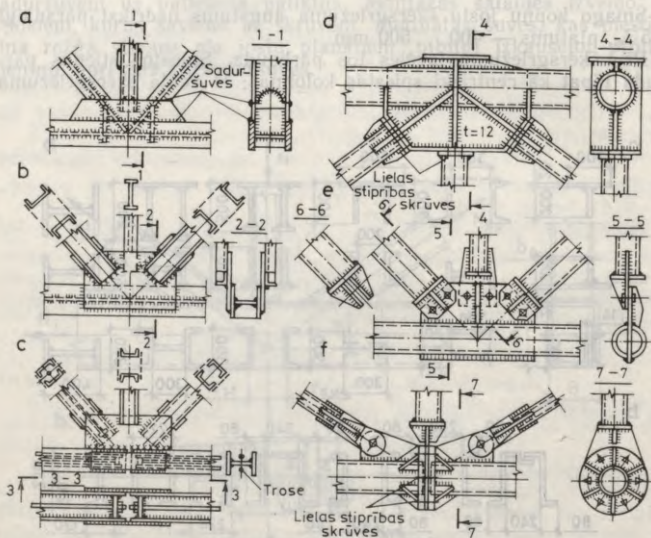
Smago kopņu konstruēšanas īpatnība ir tā, ka izmaina joslu un režģa elementu šķērsriezumu formu atkarībā no spēka lieluma un zīmes, bet saglabā šķērsriezumu platumu, lai varētu ērti izveidot sajūgumu mezglos.

Smago kopņu elementi stingri jācentrē mezglos, jo pat neliela ekscentritāte izraisa lielus lieces momentus. Ekscentritāte nedrīkst pārsniegt 1,5% no joslas šķērsriezuma augstuma.

Montāžas salaides izveido mezglos vai to tuvumā, jo liellaiduma kopņu elementu rūpnīcā parasti izgatavo kā atsevišķas nosūtāmas markas. Šīs salaides izveido metinot vai ar skrūvēm. Smagajām kopnēm, kuras montē no atsevišķiem stieņiem, ieteicams lietot lielas stiprības skrūvju savienojumus.

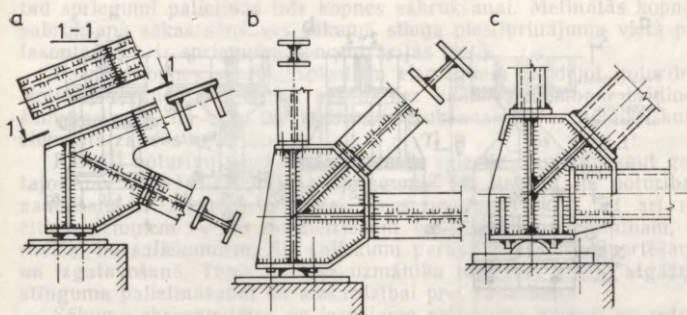
Smago kopņu raksturīgākie starpmezgli parādīti 9.28. attēlā, bet balstmezgli — 9.29. attēlā.

Smagajām liellaiduma kopnēm, kā arī kopnēm no lielas stiprības tēraudiem un alumīnija sakausējumiem, stieņu garendeformāciju ietekmē rodas ievērojama vertikālā izliece un balstmezglu horizontāli pārvietojumi, tāpēc kopnēm izveido konstruktīvu pacēlumu.



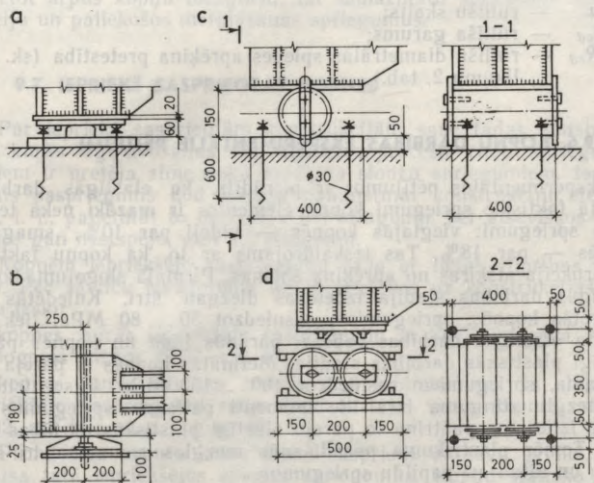
9.28. att. Smago kopņu starpmezgli:

a, b un c — metnātie starpmezgli; d, e un f — starpmezgli ar lielas stiprības skrūvēm.



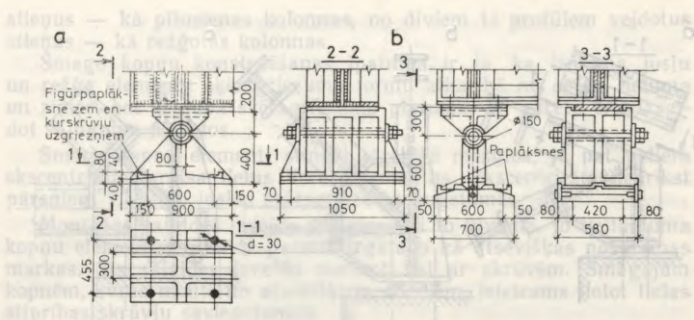
9.29. att. Smago kopņu balstmezgli.

Lai novērstu horizontālo pārvietojumu ietekmi uz kopņu un ēkas karkasa darbību, smagajām kopnēm projektē nekustīgo un kustīgo balstu. 30...60 m laiduma kopnēm nekustīgo balstu projektē plātnes vai tangenciāla šarnīra veidā (9.30. att. a un b), bet kustīgo balstu — rullīšu veidā (9.30. att. c).



9.30. att. Smago kopņu balstu tipi:

a un b — nekustīgie balsti; c un d — rullīšu balsti.



9.31. att. Smago kopņu balansieru balsti:  
 a — nekustīgais balsts; b — kustīgais balsts.

nekustīgo balstu lieto balansiera balstu (9.31. att. a), par kustīgo balstu — rullīšu balstu (sk. 9.30. att. d) vai balansiera balstu (9.31. att. b).

Cilindriskā rullīša diametru var noteikt pēc formulas

$$d = F_v / n l_{cd} R_{cd}, \quad (9.50)$$

kur  $F_v$  — balstreackcija;

$n$  — rullīšu skaits;

$l_{cd}$  — rullīša garums;

$R_{cd}$  — rullīšu diametrālās spiedes aprēķina pretestība (sk. pielikumu 2. tab.).

## 9.6. KOPŅU DARBĪBAS EKSPERIMENTĀLIE PĒTĪJUMI

Eksperimentālos pētījumos ir pierādīts, ka elastīgās darbības stadijā faktiskie spriegumi kopņu elementos ir mazāki nekā teorētiskie spriegumi: vieglajās kopnēs — vidēji par 10%, smagajās kopnēs — par 18%. Tas izskaidrojams ar to, ka kopņu faktiskā konstrukcija atšķiras no aprēķina shēmas. Pirmajā slogojumā kopņu elastīgās darbības stadija izbeidzas diezgan ātri. Kniedētās un skrūvētās kopnēs, spriegumiem sasniedzot 50...80 MPa, tiek sasniegta elastīgās darbības robeža, parādās bīde un kopnes pāriet elastīgi plastiskās darbības stadijā. Metinātās kopnēs šī pāreja novērojama, spriegumiem sasniedzot 100...150 MPa. Ekscentritātes un mezgļu stinguma izraisītie momenti palielina spriegumus un kopņu izlieci un paātrina to pāreju elastīgi plastiskās darbības stadijā. Tomēr plastiskuma parādīšanās mezglos samazina to stingumu un tātad arī papildu spriegumus.

Atkārtoti slogojot, parādās histerēzes cilpas, kuras paaugstina elastīgās darbības robežu līdz spriegumiem, kas tika sasniegti iepriekšējā slogojumā. Ja kopnes elementu noturība ir nodrošināta,

tad spriegumi palielinās līdz kopnes sabrukšanai. Metinātās kopnēs sabrukšana sākas sānšuves sākumā stieņa piestiprinājuma vietā pie fasonlapas t. i., spriegumu koncentrācijas vietā.

Parasti kopnes sabruk, spiestiem elementiem zaudējot noturību. Noturības zaudēšana notiek pēkšņi bez kādām redzamām brīdināšām pazīmēm, un visai bieži pirms sabrukšanas nevar noteikt, kurš elements zaudēs noturību.

Parasti noturību zaudē vidējo paneļu spiestie elementi, kaut gan tajos nav vislielākie aprēķina spriegumi. Tas norāda, ka noturības zaudēšana ir atkarīga ne tikai no spriegumstāvokļa, bet arī no citiem cēloņiem — no geometriskām vai fizikālām nepilnībām, it sevišķi no saliekumiem. Šie saliekumi parasti rodas transportēšanā un izgatavošanā. Tāpēc sevišķa uzmanība jāpievērš vidējo atgāzņu stinguma palielināšanai un aizsardzībai pret saliekšanu.

Sākuma ekscentritātes un iespējamo saliekumu ietekmi uz režģa galveno spiesto elementu (izņemot balsta) darbību tērauda projektēšanas normas ievērtē ar darbības apstākļu koeficientu  $\gamma_c=0,8$  (ja lokanums  $\lambda \geq 60$ ).

Metināto kopņu sabrukums vibrāciju slodžu iedarbībā parasti notiek elementu pievienojuma vietās pie mezglu fasonlapām, t. i., spriegumu koncentrācijas vietās.

Trauslā sabrukuma varbūtība palielinās, kopnes ekspluatējot temperatūrā, kas zemāka par  $-40^\circ\text{C}$ . Sai gadījumā jāievēro mezglu stinguma radītie papildu spriegumi un joslu salaides ieteicams izvietot ārpus kopņu mezgliem, lai samazinātu spriegumu koncentrāciju un paliekošos metināšanas spriegumus.

## 9.7. IEPRIEKŠ SASPRIEGTAS KOPNES

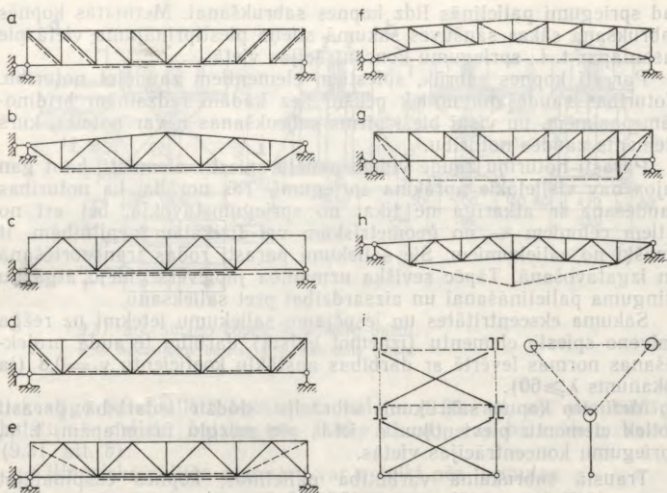
Par iepriekš saspriegtām konstrukcijām sauc tādas konstrukcijas, kurās izgatavošanas vai montāžas procesā rada spriegumus, kuriem ir pretēja zīme nekā aprēķina slodžu spriegumiem. Iepriekšējais saspriegums dod iespēju paaugstināt konstrukciju efektivitāti, t. i., palielināt to nestspēju vai stingumu, bet atsevišķos gadījumos gan nestspēju, gan arī stingumu.

Kopnēm iepriekšējo saspriegumu rada ar lielas stiprības savilcēm. Pēc savilču izvietojuma un to ietekmes uz konstrukcijas darbību izšķir

kopnes, kurās iepriekšējo saspriegumu ar savilcēm rada vairāk noslogotos stieņos (9.32. att. a);

kopnes, kurās savilces izvieto visā laidumā vai tā daļā un iepriekšējo saspriegumu rada daudzos vai visos kopnes stieņos (9.32. att. b, c, d, e, f, g un h).

Pirmā tipa kopnēs katru stieni saspriedz ar savu savilci, kura izraisa tajā iepriekšējos spiedes spriegumus. Kopņu statisko aprēķinu izdara bez iepriekšējā sasprieguma. Šī tipa kopnes ir racionālas lieliem laidumiem un slodzēm, kad katrs saspriegtais stienis



9.32. att. Savilču izvietojums iepriekš sasprīgtās kopnēs:  
 a, b, c, d un e — savilce izvietota kopnes gabarīta robežās; f, g un h — savilce izvietota ārpus kopnes gabarīta; i — kopņu apvienošana telpiskā blokā.

ir nosūtāmā marka. Stieņus iepriekš sasprīdz rūpnīcā izgatavošanas procesā vai būvlaukumā, izdarot priekšmontāžu.

Otrā tipa kopņu shēmas ir daudzveidīgākas, un šīs kopnes ir efektīvākas salīdzinājumā ar pirmā tipa kopnēm. Izvietojot vienu vai vairākas savilces gar stiepto apakšējo joslu (9.32. att. b un c), tiek radīts iepriekšējais sasprīgums vairākos vai visos joslas paneļos atkarībā no savilču izvietojuma.

Ja visu apakšējo joslu iepriekš vienmērīgi sasprīdz ar vienu savilci, tad iepriekšējā sasprīguma lielumu nosaka malējo paneļu nestspēja spiedē. Šo shēmu var lietot neliela laiduma kopnēm, kuru joslām ir pastāvīgs šķērsriezums.

Savilču sasprīgšanu ieteicams izdarīt pirms kopņu uzstādīšanas projektā paredzētajā vietā. Lai apakšējā josla nezaudētu noturību sasprīgšanas procesā, savilces saista ar joslu, piestiprinot joslai ik pēc  $(40 \dots 50) i_{\min}$  (kur  $i_{\min}$  — joslas šķērsriezuma minimālais inerces rādiuss) diafragmas vai ribas.

Spraišļu savilces izvieto kopnes gabarīta robežās (9.32. att. d un e) vai arī ārpus gabarīta (9.32. att. f, g un h). Pirmajā gadījumā iepriekšējo sasprīgumu var radīt joslās un režģa elementos, kuri izvietoti savilces slīpā iecirkņa robežās. Augšējās joslas malējos paneļos iepriekšējais sasprīgums rada spiedes spriegumus, ku-

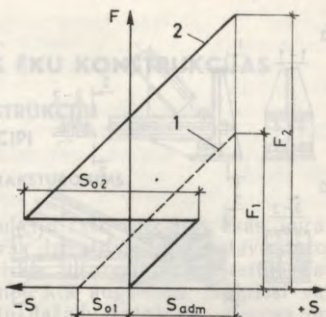
riem nav būtiskas nozīmes, ja augšējo joslu projektē ar pastāvīgu šķēsgriezumu visā garumā.

Spraišļu savilci izvietojo ar kopnes gabarīta, iegūst lielāku metāla ekonomiju, jo, saspriedzot savilci, pretējās zīmes iepriekšējie spriegumi rodas gan apakšējā joslā (spiede), gan arī augšējā joslā (stiepe) un galvenajos režģa elementos. Šai gadījumā palielinās kopnes gabarīts un savilce nav saistīta ar apakšējo joslu, tāpēc savilci var saspriegt tikai tad, kad kopne uzstādīta projektā paredzētajā stāvoklī un nostiprināta ar saitēm vai montāžā izveidoti telpiski bloki (9.32. att. i).

Kopnes iepriekšējās saspriegšanas efektivitāte ir atkarīga no savilces saspriegšanas secības. Savilces saspriegšana pēc kopnes uzstādīšanas projektētajā stāvoklī un pēc daļējas vai pilnas pastāvīgās slodzes pārņemšanas dod lielāku efektu nekā saspriegšana pirms kopnes slogošanas (9.33. att.).

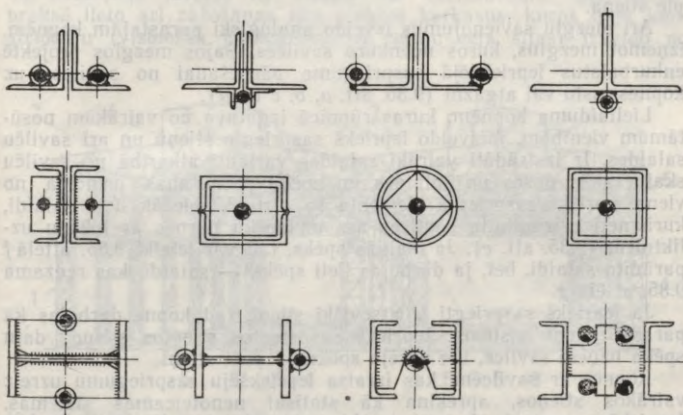
Iepriekš saspriegotu kopņu izmaksas ir par 6...10% mazākas nekā parasto kopņu izmaksas.

Iepriekš saspriegotu kopņu stieņu šķēsgriezumi var būt tādi paši kā parastajām kopnēm (9.34. att.). Savilces jāizvieto simetriski

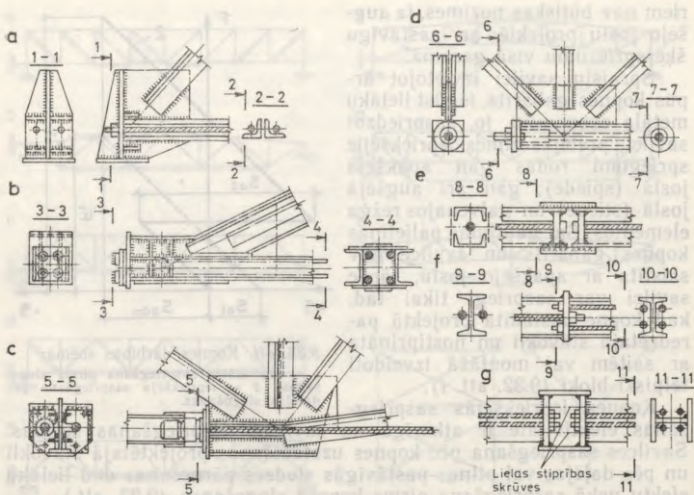


9.33. att. Kopnes darbības shēma:

1 — iepriekšēja saspriegšana pirms slogošanas; 2 — iepriekšēja saspriegšana pēc daļējas slogošanas.



9.34. att. Iepriekš saspriegotu kopņu stieņu šķēsgriezumi un savilces izvietojums.



9.35. att. Iepriekš saspriegtų kopņu mezgli un salaides:

a, b, c un d — kopņu mezgli; e, f un g. — salaides.

attiecībā pret kopnes vertikālo plakni. Pēc konstruktīviem apsvērumiem tās bieži projektē no diviem zariem. Savilces stieņa garumā fiksē ar caurules īsgabaliem vai stinguma ribām, kurus piemetina pie stieņa.

Arī mezglu savienojumus izveido analogiski parastajām kopnēm, izņemot mezglus, kuros noenkuro savilces. Šajos mezglos projektē enkurbalstus iepriekšējā sasprieguma pārņemšanai no savilces uz kopnes joslu vai atgāzni (9.35. att. a, b, c un d).

Liellaiduma kopnēm, kuras rūpnīcā izgatavo no vairākām nosūtāmām vienībām, jāizveido iepriekš saspriegoti stieņi un arī savilču salaides. Ir izstrādāti vairāki salaides varianti atkarībā no savilču skaita abās pusēs no salaides un spēka pārņemšanas principa no viena iepriekš saspriegtā elementa uz otru. Visbiežāk lieto salaidi, kurā netiek izmainīta savilces ass un spēku pārnes ar lokšņu uzliktņiem (9.35. att. e). Ja mainās spēks, tad var ieteikt 9.35. attēlā f parādīto salaidi, bet, ja darbojas lieli spēki, — salaidi, kas redzama 9.35. attēlā g.

Ja iepriekš saspriegoti ir atsevišķi stieņi, tad kopne darbojas kā parastā stieņu sistēma. Iepriekš saspriegotos stieptos stieņos daļu spēka uzņem savilce, bet pārējo spēku — paši stieņi.

Kopnes ar savilcēm, kas izraisa iepriekšēju saspriegumu uzreiz vairākos stieņos, aprēķina kā statiski nenoteicamas sistēmas. Iepriekš saspriegtų kopņu aprēķina jautājumi aplūkoti literatūrā [3], [14], [22].

## VIENSTĀVA RAŽOŠANAS ĒKU KONSTRUKCIJAS

10.1. RAŽOŠANAS ĒKU KONSTRUKCIJU  
PROJEKTĒŠANAS PAMATPRINCIPI

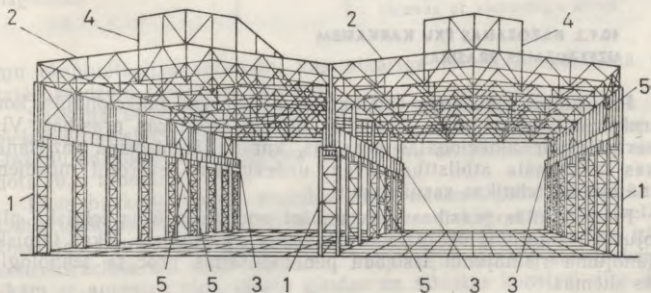
## 10.1.1. RAŽOŠANAS ĒKU KARKASU RAKSTUROJUMS

Dažāda veida rūpniecības produkciju ražo speciālās ēkās, kuras sauc par ražošanas ēkām. Visvairāk izplatītas ir vienkārša ražošanas ēkas, kurās uzstādīti elektriskie tilta celtni. Šie celtni, kas pārvietojas pa celtnu ceļa sijām noteiktā augstumā, praktiski var apkalpot visu cehu, nodrošinot ērtu dažādu ražošanas procesu organizāciju.

Ražošanas ēkām ir lieli laidumi, liels augstums, un tajās tiek uzstādīti lielas celtnespējas tilta celtni, tāpēc nesošās konstrukcijas uzņem ievērojamas slodzes.

Ēkas nesošās konstrukcijas, kas saistītas nemainīgā telpiskā sistēmā un uzņem norobežojošo konstrukciju (jumta, sienu paneļu, logu u. c.) masu, atmosfēras (sniega un vēja), tilta celtnu un atsevišķos gadījumos arī tehnoloģisko iekārtu slodzi, sauc par *ēkas karkasu*. Projektējot ēkas karkasu, to parasti sadala divās plakniskās sistēmās — šķērssistēmā un garen sistēmā, kuru darbību slodžu ietekmē pieņem par neatkarīgu.

Ēkas karkasa konstruktīvos elementus atkarībā no ēkas izmēriem, celtnu celtnespējas un darbības režīma, celtniecības apstākļiem un termiņiem izveido no metāla vai dzelzsbetona. Celtniecības praksē lieto arī ražošanas ēku jauktos karkasus, kuros daļu konstrukciju (visbiežāk pārsegumu un celtnu ceļa sijas) izveido no



10.1. att. Ražošanas ēkas metāla karkasa konstruktīvā shēma:

1 — kolonnas; 2 — jumta kopnes; 3 — celtnu ceļa sijas; 4 — virsgaismas konstrukcijas;  
5 — vertikālās saites.

metāla, bet pārējās konstrukcijas (kolonnas) — no saliekamā dzelzsbetona.

Ražošanas ēkas metāla karkasa konstruktīvā shēma parādīta 10.1. attēlā.

Karkasa šķērssistēmu neatkarīgi no konstruktīvās un aprēķina shēmas nosacīti sauc par rāmi.

Atkarībā no karkasa elementu savstarpējā sajūguma izšķir šādas shēmas:

šarnīrshēmu, kurā visi elementi savā starpā sajūgti šarnīrveidā; stingu shēmu, kurā visi elementi stingi sajūgti cits ar citu;

jauktu shēmu, kurā daļa elementu sajūgti šarnīrveidā, bet daļa elementu — stingi.

Šķērssistēmā karkasa kolonnas parasti projektē stingi iespīlētas pamatā, kas nodrošina rāmju nemainīgumu un palielina to stingumu, bet garensistēmā kolonnas projektē šarnīrveidā balstītas. Šai gadījumā garensistēmas nemainību nodrošina, uzstādot starp kolonnām vertikālās saites.

Attālumu starp kolonnu koordinācijas asīm ēkas šķērsvirzienā sauc par laidumu, attālumu starp rāmjiem — par rāmju soli. Ražošanas ēkas iedala vienlaiduma un daudzlaidumu ēkās. Garenvirzienā uz rāmi balstās celtņu ceļa sijas, pārseguma un virsgaismas konstrukciju elementi.

Karkasa un tā atsevišķo elementu stingumu un noturību nodrošina saišu sistēma — vertikālās saites starp kolonnām, kuras uzņem vēja slodzi no ēkas galasienas un celtņu garenbremzēšanas spēkus, un pārseguma horizontālās un vertikālās saites, kas nodrošina pārseguma konstrukciju noturību.

Pie karkasa elementiem piestiprina arī norobežojošās konstrukcijas. Uz rāmju rīģeļiem uzliek pārseguma elementus. Sienu, logu un vārtu slodzes uzņemšanai izveido sienu karkasu, kura elementus saista ar rāmjiem.

#### **10.1.2. RAŽOŠANAS ĒKU KARKASIEM UZSTĀDĀMĀS PRASĪBAS**

Projektējot ražošanas ēku karkasus, jāievēro funkcionālās, konstruktīvās, ekonomiskās, tehniskās un arī estētiskās prasības. Vis svarīgākās ir funkcionālās prasības, kurām jānodrošina ražošanas ēkas maksimāla atbilstība savam uzdevumam, ievērojot mūsdienu zinātnes un tehnikas sasniegumus.

Funkcionālās prasības galvenokārt nodrošina ēkas telpiskā plānojuma risinājums un inženiertehniskais iekārtojums. Ēkas telpiskā plānojuma risinājumu izstrādā pēc ražošanas procesa tehnoloģiskās shēmas.

Ēkas karkasa darbību sevišķi ietekmē tilta celtņi, kuru izraisītās lielās dinamiskās slodzes uz karkasu pārnēs celtņu ceļa sijas. Tāpēc, projektējot ēkas karkasu, sevišķa uzmanība jāpievērš tilta cel-

## Tilta celtņu un piekarceltņu darbības režīmu grupas

Celtņi	Darbības režīma grupa	Izmantošana
Visu veidu rokas celtņi Ar piedziņas piekartrīšiem, arī ar uzkares satvērējiem Ar vinčas kravas ratiņiem, arī ar uzkares satvērējiem	1K—3K	Jebkuri darbi Ierobežotas intensitātes remontdarbi un pārkraušanas darbi Elektrostaciju mašīnu zāles, montāžas darbi, ierobežotas intensitātes pār- kraušanas darbi
Ar vinčas kravas ratiņiem, arī ar uzkares satvērējiem  Ar divtrošu tipa greiferiem, magnētiskajiem greiferiem Magnētiskie	4K—6K	Vidējās intensitātes pārkraušanas darbi, tehnoloģiskie darbi mehānis- kajos cehos, būvmateriālu uzņē- mumu gatavās produkcijas nolikta- vas, metālu realizācijas noliktavas Jauktas noliktavas, darbi ar dažādām kravām Pusfabrikātu noliktavas, darbi ar da- žādām kravām
Rūditavu, kalšanas un lie- tuvju celtņi Ar divtrošu tipa greiferiem, magnētiskajiem greiferiem Ar vinčas kravas ratiņiem, arī ar uzkares satvērējiem	7K	Metalurģijas uzņēmumu cehi  Beramo kravu un metāllūžņu nolikta- vas ar viendabīgu kravu Tehnoloģiskie celtņi, kurus izmanto visu diennakti
Traversu, muldas greiferu, muldās ievēlmesānas, lietņu apdares un stāv- ceplu celtņi Magnētiskie	8K	Metalurģijas uzņēmumu cehi  Metalurģijas uzņēmumu cehi un no- liktavas ar viendabīgu kravu

tnu ekspluatācijas režīmam, kas atkarīgs no ēkas uzdevuma un tajā paredzētā ražošanas procesa.

Saskaņā ar valsts standartu ГOCT 25546—82 tilta celtņu un piekarceltņu slodzes nosaka atkarībā no to darbības režīma grupas. Dažādu darbības režīmu grupu tilta celtņu un piekarceltņu saraksts dots 10.1. tabulā.

Ēkas būvkonstrukciju darbību stipri ietekmē cehu iekšējā vide. Cehu iekšējās vides agresīvās iedarbības pakāpi raksturo metāla korozijas ātrums, mm gadā, kas savukārt atkarīgs no agresīvo gāzu koncentrācijas un vides mitruma. Projektējot metāla konstrukcijas ēkām ar agresīvu vidi, jālieto gludas un atklātas konstrukcijas, kas viegli pieejamas tīrīšanai un krāsošanai.

Dažās metalurģiskajās ražotnēs uz metāla konstrukcijām iedarbojas augsta temperatūra (sakarsē līdz 150°C un vēl vairāk),

izkusis metāls vai uguns. Tērauda konstrukcijām sakarstot līdz 100 ... 150 °C, bojājas krāsu aizsargpārklājums, sakarstot virs 200 ... 300 °C, konstrukciju elementi izliecas un savērpjas, bet, sakarstot virs 400 ... 500 °C, samazinās tērauda stiprība. Projektējot šādu ēku metāla konstrukcijas, tās jāaizsargā pret pārmērīgu sakaršanu, izveidojot iekārtus metāla ekrānus, ķieģeļu oderējumu u. c.

Projektējot ražošanas ēku karkasus klimatiskajiem rajoniem ar zemām temperatūrām, jāievēro speciālas prasības. Konstrukcijas aprēķina tikai pēc materiāla elastīgās darbības stadijas, pārsegumam paredz papildu saites, samazina temperatūras bloka izmērus, kā arī veic pasākumus spriegumu koncentrāciju samazināšanai konstrukcijās, lai novērstu tērauda trauslo sabrukumu.

Ražošanas ēku konstruktīvajam risinājumam jāatbilst funkcionālam uzdevumam un jānodrošina labvēlīgi ražošanas apstākļi. Būvkonstrukcijām tiek uzstādītas šādas prasības: celtniecība ar industriālām metodēm, konstrukciju stiprība un stingums, ilggadība un stabilitāte, konstrukciju atbilstība tehniskās estētikas prasībām, konstrukciju ekonomiska izgatavošana, montāža un ekspluatācija.

Projektējot ražošanas ēkas, sevišķa uzmanība jāpievērš ekonomikai. Visos gadījumos karkasa konstrukcijas materiāla izvēlē galvenais kritērijs ir izmaksas, kuras nosaka ar variantu projektēšanu. Projektētajā stāvoklī uzstādīto metāla konstrukciju izmaksas galvenokārt nosaka metāla, konstrukciju izgatavošanas un montāžas izmaksas. Bez tam nepieciešams ievērot arī ekonomisko efektu sakarā ar celtniecības termiņa saīsināšanos un rūpniecības uzņēmuma ātrāku nodošanu ekspluatācijā, kā arī izdevumus metāla konstrukciju normālu ekspluatācijas apstākļu nodrošināšanai.

Ekonomikas jautājumi ir ļoti sarežģīti — nereti tie ir atkarīgi no konjunktūras apsvērumiem un pat ir pretrunīgi, piemēram, metāla patēriņš un konstrukcijas izgatavošanas darbietilpība u. c. Projektējot ražošanas ēkas konstrukcijas, ir jāatrod optimālais tehniski ekonomiskais risinājums, kas vislabāk atbilstu visiem noteikumiem.

Ražošanas ēkas karkasam materiālu izvēlas, ievērojot ēkas uzdevumu un ekonomiskos apsvērumus.

Metāla karkass ir racionāls ēkām ar 7K un 8K darbības režīma grupas tilta celtniem, jo, darbojoties lielām dinamiskām slodzēm, metāla konstrukcijas ir visdrošākās.

Sevišķi racionāls ir metāla karkass ražošanas ēkām, kuras būvē grūti pieejamos rajonos un tālu no celtniecības bāzēm, jo metāla konstrukcijām ir relatīvi maza masa.

Ievērojot metāla ekonomiju, metāla karkass jālieto ēkām ar lieliem laidumiem ( $l \geq 30$  m, bet neapkurināmām ēkām ar  $l \geq 18$  m), lielu augstumu (lietderīgais augstums lielāks par 14 m), lielu kolonnu soli ( $B \geq 12$  m), ēkām ar 50 t un lielākas celtspējas celtniem un ēkām ar celtniem divos līmeņos.

Jaukto karkasu ir racionāli lietot ēkām, ja laidumi un augstumi ir mazāki un tiek uzstādīti tilta celtni ar celtspēju līdz 30 t. Ja ēkas parametri ir vēl mazāki, var lietot dzelzsbetona karkasu.

Arī šai gadījumā celtnu ceļa sijas ieteicams izgatavot no metāla.

Ražošanas ēku un būvju optimālo tehniski ekonomisko risinājumu izstrādāšanā liela nozīme ir tipizācijai un unifikācijai, kas ir mūsdienu projektēšanas galvenais virziens.

*Tipizācija* celtniecībā ir vislabāko telpisko plānojumu un konstruktīvo risinājumu, kā arī atsevišķu konstrukciju projektu izstrāde un atlase. Sos risinājumus pieņem par tipa risinājumiem un iesaka daudzkārtējai lietošanai ražošanas ēku un būvju celtniecībā.

Tipizācijas galvenais virziens ražošanas ēku un būvju celtniecībā ir tipa būvkonstrukciju, detaļu un mezglu risinājumu izstrādāšana. Tipa konstrukciju darba rasējumus izstrādā sērijās, kurās ietilpst savstarpēji saskaņotu celtniecības risinājumu komplekss.

Ēku un būvju telpiskā plānojuma, konstruktīvo elementu, būvdetaļu un iekārtu izmēru koordinācijai projektēšanā, celtniecībā un būvkonstrukciju ražošanā lieto *vienoto moduļu sistēmu*.

Vienotajā moduļu sistēmā par pamatmoduli pieņem  $M=100$  mm. Lai samazinātu būvkonstrukciju tipizmēru skaitu, atsevišķiem telpiskā plānojuma un konstruktīvajiem izmēriem noteikti palielinātie moduļi  $2M$ ;  $3M$ ;  $6M$  utt. Vienstāva ražošanas ēku plānojuma izmēriem — laidumiem un kolonnu soļiem ir noteikts palielinātais modulis  $60M=6$  m. Ēku lietderīgajam augstumam (no grīdas līdz pārseguma apakšai) lieto moduli  $6M=600$  mm. Šim modulim atbilst norobežojošo konstrukciju (sienu paneļu, logu un vārtu ailu) augstums. Virsgaismas konstrukciju platumu pieņem  $6$  un  $12$  m, kas dalās ar palielināto moduli  $60M$ .

*Unifikācija* celtniecībā ir vienādu telpisko plānojumu un konstruktīvo risinājumu izmantošana dažādām ēkām un būvēm. Tā tiek plaši ieviesta celtniecībā un dod iespēju izstrādāt tipa konstrukcijas daudzkārtējai lietošanai. Tagad ražošanas ēkām ir izstrādāti tipa kolonnu, kopņu, celtnu ceļa siju un palīgkonstrukciju rasējumi, kuru izmantošana paātrina konstrukciju projektēšanu un izgatavošanu, kā arī samazina to izmaksas, uzlabo kvalitāti un palielina drošumu.

## 10.2. KARKASU KONSTRUKTĪVO SHĒMU KOMPONĒŠANA

### 10.2.1. KOLONNU TĪKLS

Ražošanas ēkas karkasa projektēšanu sāk ar tā konstruktīvās shēmas komponēšanu. Sai nolūkā izmanto tehnoloģisko shēmu, kurā dots tehnoloģiskās iekārtas izvietojums un gabarīti, celtnu skaits, to celtspēja un darbības režīma grupa. Tehnoloģiskajā shēmā sniegtas ziņas arī par ēkas celtniecības rajonu un ekspluatācijas apstākļiem (apgaisojums, iekšējais temperatūras režīms u. c.).

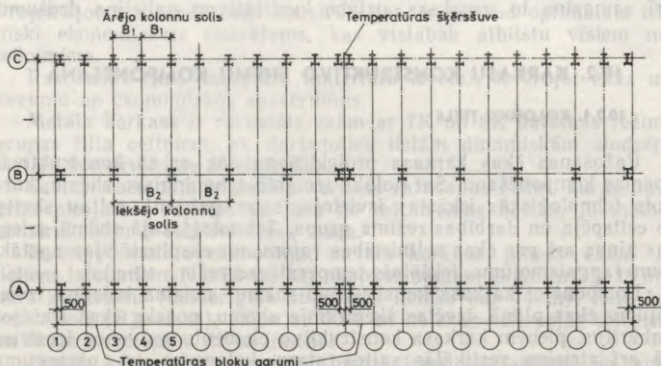
Komponējot karkasa konstruktīvo shēmu, atrisina kolonnu izvietojumu ēkas plānā, izvēlas šķērsrāmja shēmu, nosaka ēkas iekšējos gabarītus, pieņem karkasa konstruktīvo elementu galvenos izmērus, kā arī atrisina vertikālās saites starp kolonnām un pārseguma saišu sistēmu.

Kolonnas plānā izviesto, ievērojot tehnoloģiskās, konstruktīvās un ekonomiskās prasības. To izvietojumu saista ar tehnoloģiskās iekārtas gabarītiem, izvietojumu un kravu plūsmu virzienu.

Saskaņā ar ražošanas ēku unifikācijas prasībām kolonnas plānā izviesto pa koordinācijas asu moduļu tīklu. Laidumu izmērus pieņem saskaņā ar moduli 6 m (12; 18; 24; 30; 36; 42 m utt.), bet visbiežāk lieto 24; 30 un 36 m laidumus. Arī attālumu starp kolonnām ēkas garenvirzienā — kolonnu soli pieņem saskaņā ar moduli 6 m. Kolonnu solis vienlaiduma ēkām, kā arī malējo rindu kolonnu solis daudzlaidumu ēkām nav atkarīgs no tehnoloģiskās iekārtas izvietojuma, un to pieņem vienādu ar 6 vai 12 m. Katrā konkrētajā gadījumā kolonnu soli 6 vai 12 m nosaka, salīdzinot variantus. Ēkas galos kolonnas nobīda no moduļu tīkla koordinācijas ass par 500 mm, lai ēkas stūrus varētu noformēt ar standarta norobežojošo konstrukciju paneļiem un pārseguma plātnēm, kuru moduļu izmēri ir 6 un 12 m.

Daudzlaidumu ražošanas ēkām, ievērojot tehnoloģiskās prasības, bieži pieņem palielinātu vidējo rindu kolonnu soli, bet tam jādalās ar malējo rindu kolonnu soli. Parasti vidējo rindu kolonnu soli pieņem 6; 12; 18 m un lielāku (10.2. att.). Šai gadījumā starp vidējo rindu kolonnām uzstāda jumta pakopnes, uz kurām balsta jumta kopnes.

Garu ražošanas ēku karkasu garenelementos temperatūras izmaiņu dēļ var rasties lieli papildu spriegumi. Tāpēc nepieciešamības gadījumā ēkas sadala temperatūras blokos, izveidojot temperatūras šķērssuvis un garenšuves. Projektēšanas normas [22] doti maksimālie temperatūras bloku izmēri, kad temperatūras iedarbību var neievērot (10.2. tab.).

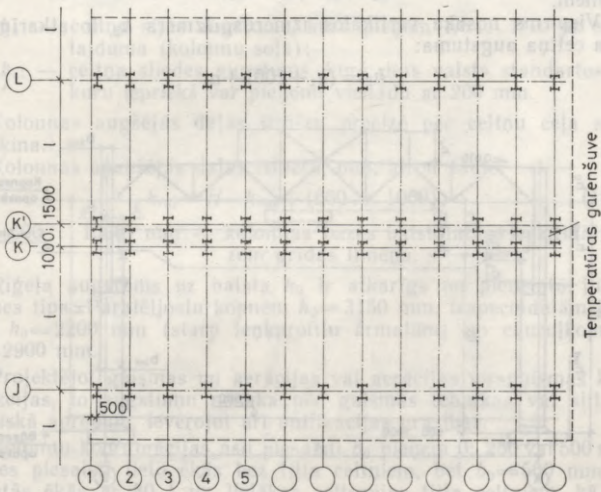


10.2. att. Daudzlaidumu ražošanas ēkas kolonnu tīkls.

## Eku un būvju temperatūras bloku robežizmēri

Eku un būvju raksturojums	Maksimālais attālums, m					
	starp temperatūras šuvēm				no temperatūras šuves vai ēkas gala līdz tuvākajām vertikālajām saitēm	
	bloka garumā		bloka platumā			
	celtniecības klimatiskajos rajonos					
visos, izņemot I <sub>1</sub> ; I <sub>2</sub> ; II <sub>2</sub> un II <sub>3</sub> rajonu	I <sub>1</sub> ; I <sub>2</sub> ; II <sub>2</sub> un II <sub>3</sub> rajonā	visos, izņemot I <sub>1</sub> ; I <sub>2</sub> ; II <sub>2</sub> un II <sub>3</sub> rajonu	I <sub>1</sub> ; I <sub>2</sub> ; II <sub>2</sub> un II <sub>3</sub> rajonā	visos, izņemot I <sub>1</sub> ; I <sub>2</sub> ; II <sub>2</sub> un II <sub>3</sub> rajonu	I <sub>1</sub> ; I <sub>2</sub> ; II <sub>2</sub> un II <sub>3</sub> rajonā	
Apkurināmas ēkas	230	160	150	110	90	60
Neapkurināmas ēkas un karstie cehi	200	140	120	90	75	50
Atklātas estakādes	130	100	—	—	50	40

Temperatūras šķērsšuves izveido, šuves vietā uzstādot divus šķērsrāmjus, kurus nobīda no koordinācijas ass par 500 mm uz katru pusi (sk. 10.2. att.) un nesaista savā starpā ar garenelementiem.



10.3. att. Ēkas plāna fragments ar temperatūras garenšuvi.

Temperatūras garenšuves izveido, daudzslaidumu rāmi sadalot divos vai vairākos rāmjos, kurus uzstāda dažādās koordinācijas asīs 1000 vai 1500 mm attālumā vienu no otra (10.3. att.).

### 10.2.2. ŠĶERSRĀMJI

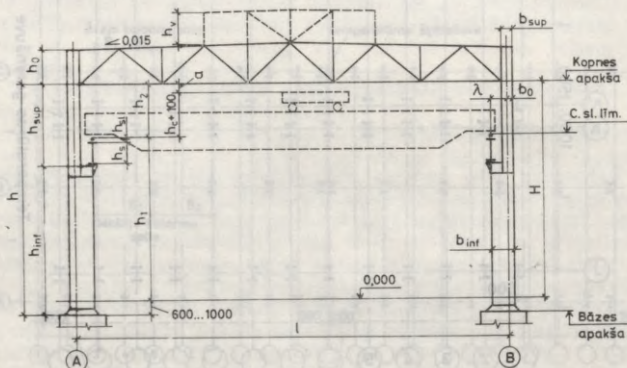
Ražošanas ēku metāla karkasu šķerssistēmu veido rāmji, kas sastāv no pamatos iespīlētām kolonnām un pilnsienas vai režģotiem rīģeļiem (jumta kopnēm), kuri stingri vai šarnīrveidā savienoti ar kolonnām. Pilnsienas rīģeļu izgatavošana ir mazāk darbietilpīga, tie ir vieglāk transportējami un tiem ir mazāks augstums, bet lielāks metāla patēriņš nekā režģotiem rīģeļiem.

Stings rīģeļu sajūgums ar kolonnām jāparedz vienlaiduma ražošanas ēkām ar tilta celtniem, ja ēkas augstums ir lielāks par 20 m, ēkām ar 7K un 8K darbības režīma grupas tilta celtniem, ēkām ar vairāk nekā 100 t celtspējas tilta celtniem, kā arī ēkām ar divos stāvos izvietotiem tilta celtniem. Pārējos gadījumos, ieskaitot arī daudzslaidumu ražošanas ēkas, jācenšas projektēt šarnīrveida rīģeļu sajūgumu ar kolonnām, jo tas atvieglo tipa metāla jumta kopņu izmantošanu.

Šķersrāmja komponēšanu sāk ar konstrukcijas elementu galveno izmēru noteikšanu rāmja plaknē (10.4. att.). Vertikālos izmērus piesaista grīdas līmeņa atzīmei, bet horizontālos izmērus — ēkas garenasim. Visus izmērus pieņem saskaņā ar unifikācijas noteikumiem.

Vispirms nosaka vertikālos izmērus. Izmērs  $h_2$  ir atkarīgs no tilta celtna augstuma:

$$h_2 = (h_c + 100) + a, \quad (10.1)$$



10.4. att. Vienlaiduma ražošanas ēkas šķersrāmja shēma.

kur  $h_c+100$  — gabarīzizmērs no sliedes galvas līdz celtņa ratiņu augšējam punktam, ieskaitot drošības atstarpi no šī punkta līdz konstrukcijām, kas vienāda ar 100 mm;

$a$  — izmērs, kurš ievēro pārseguma izlieci un kuru pieņem vienādu ar 200...400 mm.

Tilta celtņu gabarīzizmēri doti valsts standartos vai rūpnīcu katalogos. Galīgi izmēru  $h_2$  pieņem tādu, lai tas dalītos ar 200 mm.

Ēkas lietderīgo augstumu no grīdas līmeņa līdz jumta kopņu apakšai aprēķina pēc formulas

$$H = h_1 + h_2, \quad (10.2)$$

kur  $h_1$  — celtņu ceļa sliedes galvas augstums no grīdas līmeņa saskaņā ar tehnoloģiskā procesa prasībām.

Saskaņā ar unifikāciju ēkas lietderīgā augstuma modulis ir 1,2 m augstumiem līdz 10,8 m, bet 1,8 m — lielākiem augstumiem (8,4; 9,6; 10,8; 14,4; 16,2; 18,0 m utt.). Atsevišķos gadījumos, to pamatojot, lietderīgajam augstumam var pieņemt moduli 0,6 m.

Pēc tam nosaka kolonnas augšējās daļas izmēru  $h_{sup}$ , apakšējās daļas izmēru  $h_{inf}$  un rīģeļa augstumu uz balsta  $h_0$ .

Kolonnas augšējās daļas izmērs

$$h_{sup} = h_s + h_{s1} + h_2, \quad (10.3)$$

kur  $h_s$  — celtņu sijas augstums, kuru pieņem 1/8...1/10 no sijas laiduma (kolonnu soļa);

$h_{s1}$  — celtņa sliedes augstums, kurš dots valsts standartos un kuru iepriekš var pieņemt vienādu ar 200 mm.

Kolonnas augšējās daļas izmēru precīzē pēc celtņu ceļa sijas aprēķina.

Kolonnas apakšējās daļas izmēru, mm, atrod šādi:

$$h_{inf} = H - h_{sup} + (600 \dots 1000), \quad (10.4)$$

kur (600...1000) mm — kolonnas bāzes balstplātnes iedziļinājums zem grīdas līmeņa.

Rīģeļa augstums uz balsta  $h_0$  ir atkarīgs no pieņemtā jumta kopnes tipa. Paralēljoslū kopnēm  $h_0=3150$  mm, trapecoidālām kopnēm  $h_0=2200$  mm (starp leņķprofilu ārmaļām) un cauruļkopnēm  $h_0=2900$  mm.

Projektējot gaismas un aerācijas vai aerācijas virsgaismas konstrukcijas, to augstumu nosaka pēc gaismas tehnikas vai siltumtehnikā aprēķina, ievērojot arī unifikācijas prasības.

Kolonnu koordinācijas asu piesaisti  $b_0$  pieņem 0; 250 vai 500 mm. Nulles piesaisti lieto ēkās bez tilta celtņiem, bet  $b_0=500$  mm — augstās ēkās ar 80 t un lielākas celtspejas tilta celtņiem, kā arī ēkās ar 8K darbības režīma grupas tilta celtņiem, ja kolonnu augšējā daļā jāierīko aillas ejai, kuras minimālais platums ir 400 mm un augstums 1800 mm. Pārējos gadījumos pieņem  $b_0=250$  mm.

Lai nodrošinātu nepieciešamo stingumu, kolonnas augšējās daļas platumam  $b_{sup}$  jābūt ne mazākam par  $1/12h_{sup}$ . Ļoti bieži  $b_{sup}$  pieņem vienādu ar 450; 500 vai 1000 mm, bet retāk — 750 mm.

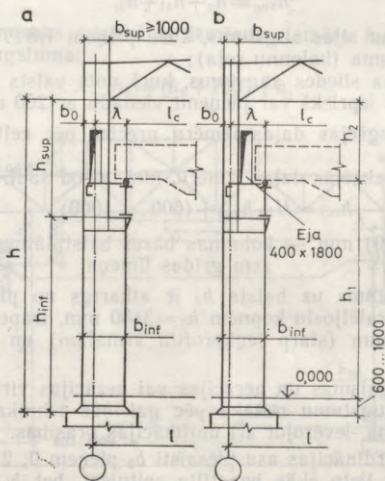
Lai tilta celtnis, pārvietojoties ēkas garenvirzienā, neaizķertu kolonnu, attālumam  $\lambda$  no celtnu ceļa sijas ass līdz kolonnas koordinācijas asij jābūt šādam:

$$\lambda \geq B_2 + (b_{sup} - b_0) + 75, \quad (10.5)$$

- kur  $B_2$  — celtna daļa, kura izvirzās aiz sliedes ass un kuru pieņem pēc tilta celtnu standartiem vai katalogiem;  
 $b_{sup} - b_0$  — attālumš no koordinācijas ass līdz kolonnas augšējās daļas ārējai skaldnei;  
 75 — sprauga, mm, starp tilta celtni un kolonnu pēc drošības tehnikas prasībām.

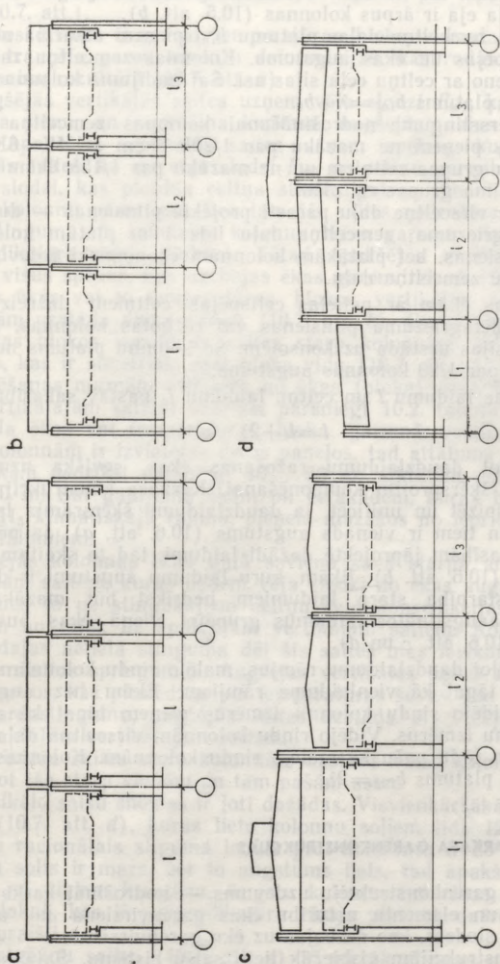
Ja eju ierīko ārpus kolonnas, tad izmērā  $\lambda$  ieskaita vēl 450 mm (400 mm — ejas gabarīts un 50 mm — norobežojums). Tilta celtnu laidumu modulis ir 500 mm, tāpēc izmēram  $\lambda$  jādalās ar 250 mm. Ievērojot to, pieņem

$\lambda = 750$  mm — celtniem ar celtspeju līdz 50 t (ieskaitot), ja kolonnas virsceltna daļā nav ejas;



10.5. att. Malējo rindu kolonnas ar eļām gar celtnu ceļiem:

a — iekšējā eja; b — eja ārpus kolonnas.



10.6. att. Daudzlaidumu ēku šķērskrājumu shēmas.

$\lambda = 1000$  mm — celtņiem ar celtspēju, lielāku par 50 t, ja nav ejas, un celtņiem ar celtspēju līdz 125 t, ja ir iekšējā eja (10.5. att. a);  
 $\lambda = 1250$  mm un lielāku — dažiem speciāliem celtņiem, kā arī gadījumos, ja eja ir ārpus kolonnas (10.5. att. b).

Kolonnas zemceltņa daļas platumu  $b_{inf}$  pieņem atkarībā no tilta celtņu celtspējas un ēkas augstuma. Kolonnas zemceltņa zara asi parasti savieno ar celtņu ceļa sijas asi. Sai gadījumā kolonnas zemceltņa daļas platums  $b_{inf} = \lambda + b_0$ .

Ēkas šķērsstinguma nodrošināšanai kolonnas zemceltņa daļas platumu  $b_{inf}$  pieņem ne mazāku par  $1/20h$  ēkām ar 4K—6K darbības režīma grupas celtņiem un ne mazāku par  $1/15h$  ēkām ar 7K darbības režīma grupas celtņiem.

Kolonnas virsceltņa daļu parasti projektē pilnsienas — dubult-T veida šķērsgriezuma; zemceltņa daļu līdz 1 m platām kolonnām pieņem pilnsienas, bet platākām kolonnām ekonomiski izdevīgāk ir lietot režģotu zemceltņa daļu.

Ražošanas ēkām ar nelielas celtspējas celtņiem dažreiz lieto pastāvīga šķērsgriezuma pilnsienas vai režģotas kolonnas, kurām celtņu ceļa sijas uzstāda uz konsolēm. Šo kolonnu platums nedrīkst būt mazāks par  $1/20$  kolonnas augstuma.

Starp ēkas laidumu  $l$  un celtņu laidumu  $l_c$  pastāv sakarība

$$l = l_c + 2\lambda. \quad (10.6)$$

Projektējot daudzlaidumu ražošanas ēkas, sevišķa uzmanība jāpievērš to šķērsprofilu komponēšanai. Karkasa konstrukcijas var maksimāli tipizēt un unificēt, ja daudzlaidumu šķērsrāmja laidumi ir vienādi un tiem ir vienāds augstums (10.6. att. a). Ja pēc tehnoloģijas prasībām jāprojektē dažādi laidumi, tad to skaitam jābūt minimālam (10.6. att. b). Ēkām, kuru laidumu augstumi ir dažādi, augstumu starpība starp laidumiem nedrīkst būt mazāka par 1800 mm, paaugstinātos laidumus grupējot vienā ēkas pusē vai vidusdaļā (10.6. att. c un d).

Komponējot daudzlaidumu rāmjus, malējo rindu kolonnām izmērus pieņem tāpat kā vienlaiduma rāmjiem. Ēkām bez augstuma izmaiņām vidējo rindu kolonnu izmērus pieņem tāpat kā malējo rindu kolonnu izmērus. Vidējo rindu kolonnām virsceltņa daļas platumu pieņem tādu pašu kā malējo rindu kolonnām. Kolonnas zemceltņa daļas platums  $b_{inf} = 2\lambda$ .

### 10.2.3. KARKASA GARENKONSTRUKCIJAS

Karkasa garenkonstrukciju uzdevums — nodrošināt karkasa nemainīgumu un elementu noturību ēkas garenvirzienā un uzņemt visas ārējās slodzes, kas darbojas uz ēku garenvirzienā.

Garenkonstrukcijām visbiežāk lieto saišu sistēmu. Sajā sistēmā katrā kolonnu garenrindā veido vertikālās saites, kuras izvieto kolonnu virsceltņa un zemceltņa daļā. Saites kolonnu virsceltņa daļā

sauc par augšējām saitēm, zemceltņa daļā — par apakšējām saitēm (10.7. att.).

Saites izvieto ēkas vai temperatūras bloka vidusdaļā, lai tās mazāk traucētu garenelementu deformācijas, kas rodas temperatūras izmaiņu rezultātā (10.7. att. a).

Augšējās vertikālās saites uzņem vēja slodzi  $F_{w1}$ , kas darbojas uz gala sienu, un nodrošina karkasa augšējās daļas garenstingumu. Apakšējās vertikālās saites uzņem spēkus, kurus pārnēs augšējās saites, kā arī vēja slodzi  $F_{w2}$  un celtņu garenbremzēšanas radīto slodzi, kas pielikta celtņa sliedes galvas limenī, un pārnēs tos uz kolonnu pamatiem. Bez tam šīs saites nodrošina visas ēkas garenstingumu un samazina kolonnu brīvo garumu plāknē, kas ir perpendikulāra rāmja plaknei. Tātad apakšējās vertikālās saites uzņem visus spēkus, kas darbojas ēkas garenvirzienā (10.7. att. b).

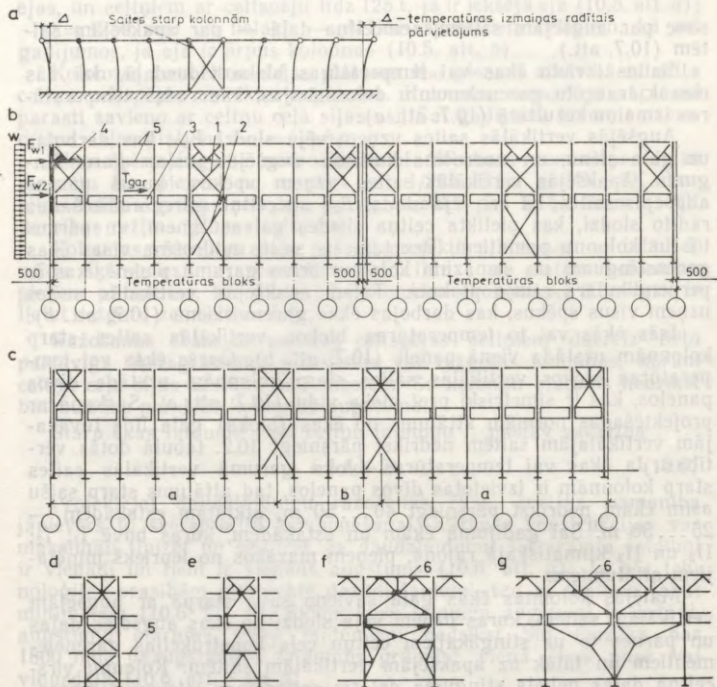
Isās ēkās vai to temperatūras blokos vertikālās saites starp kolonnām uzstāda vienā panelī (10.7. att. b). Garās ēkās vai temperatūras blokos vertikālās saites starp kolonnām uzstāda divos paneļos, kas ir simetriski pret bloka vidu (10.7. att. c). Saskaņā ar projektēšanas normām attālums no ēkas (bloka) gala līdz tuvākajām vertikālajām saitēm nedrīkst pārsniegt 10.2. tabulā dotās vērtības. Ja ēkas vai temperatūras bloka garumā vertikālās saites starp kolonnām ir izvietotas divos paneļos, tad attālums starp saišu asīm ēkām nedrīkst pārsniegt 40...50 m, atklātām estakādēm — 25...30 m. Šai gadījumā ēkām un estakādēm, kuras būvē  $I_1$ ;  $I_2$ ;  $II_2$  un  $II_3$  klimatiskajā rajonā, pieņem mazākos no iepriekš minētajiem attālumiem.

Malējās kolonnas ēkas galā savieno savā starpā ar augšējām vertikālām saitēm, kuras uzņem vēja slodzi no ēkas augšējās daļas un pārnēs to uz stingākajiem celtņu ceļa konstrukcijas garenelementiem un tālāk uz apakšējām vertikālām saitēm. Kolonnu virsceltņa daļas nelielā stinguma dēļ šīs saites maz ietekmē temperatūras izraisītos spriegumus. Augšējās vertikālās saites uzstāda arī ēkas paneļos, kas pieslēdzas pie temperatūras šuves. Lai palielinātu ēkas garenstingumu, augšējās saites uzstāda arī vidējos paneļos virs apakšējām vertikālajām saitēm.

Vertikālās saites starp kolonnām uzstāda visās kolonnu rindās, izvietojot tās starp vienām un tām pašām asīm.

Vertikālo saišu shēmas ir ļoti dažādas. Visvienkāršākās ir krusta saites (10.7. att. d), kuras lieto kolonnu soļiem līdz 12 m. Saišu atgāzņu racionālais slīpuma leņķis pret horizontu ir  $35^\circ \dots 55^\circ$ . Ja kolonnu solis ir mazs, bet to augstums liels, tad apakšējās saites izveido no diviem krustiem. Augstu kolonnu noturības nodrošināšanai plāknē, kas ir perpendikulāra rāmja plaknei, dažreiz ir jāizveido spraišļi.

Pusatgāzņu saites (10.7. att. e) ir mazāk stingas nekā krusta saites. Projektējot saites vidējo rindu kolonnām zemceltņa daļā, bieži pēc tehnoloģiskajām prasībām ir vajadzīga brīva telpa starp kolonnām. Šai gadījumā projektē portālsaites (10.7. att. f) vai pusportālsaites (10.7. att. g).



10.7. att. Saišu izvietojums starp kolonnām:

*a* — karkasa garenkonstrukciju deformācijas, ko izraisa temperatūras izmaiņa; *b* — saišu izvietojums šīs ēkās vai temperatūras blokos; *c* — saišu izvietojums garās ēkās vai temperatūras blokos; *d* — krusta saišes; *e* — pusaiņģažņu saišes; *f* — portālsaišes; *g* — pusportālsaišes; *1* — augšējās saišes; *2* — apakšējās saišes; *3* — celtnu ceļa sija; *4* — vertikālās saišes rīģeļa augstumā; *5* — spraišļi; *6* — jumta pakopnes.

Divzaru kolonnām vertikālās saišes zemceltnā daļā ir jāizvieto katrā kolonnas zara plaknē (pāra saišes). Pastāvīga un pakāpjveida (mainīga) šķērsgriezuma kolonnu virsceltnā daļā saišes starp kolonnām izvieto pa kolonnu asi, ja to šķērsgriezuma augstums nepārsniedz 600 mm. Augstāka šķērsgriezuma kolonnām izveido pāra saišes, t. i., kolonnas katrā skaldnē. Divzaru saišu zari jāsavieno savā starpā ar savienotājriņķi.

Vertikālās saišes rīģeļa augstumā ēkas (temperatūras bloka) galos un saišu paneļos projektē kā kopnes (saišu kopnes), bet pārējos paneļos kolonnu galus sasaista ar spraišļiem (sk. 10.7. att.).

Izvēloties saišu šķērsriezuma tipu, jāievēro saišu darbības apstākļi, spēku zīme un aprēķina garumi abās plaknēs, pieņemot šādnirus visos mezglos.

Saišu elementu aprēķina garumu saišu kopnes plaknē pieņem vienādu ar attālumu starp malējiem mezgliem un centrālo mezglu, bet saišu kopnes plaknei perpendikulārā plaknē — vienādu ar attālumu starp malējiem mezgliem.

Saišu stiepto elementu šķērsriezumu pieņem no viena vai diviem leņķprofiliem, bet spiesto spraišļu šķērsriezumu — saliktu no velmētiem profiliem.

Krusta režģa saitēs spēkus bieži aprēķina pēc nosacītas shēmas, pieņemot, ka atgāžņi uzņem tikai stiepes spēkus. Saišu lokanums ir atkarīgs no to izvietojuma un ēkas darbības režīma un dots pielikumā 10. un 11. tabulā.

#### 10.2.4. PĀRSEGUMU SAITES

Karkasa telpiskā stinguma, pārseguma un tā elementu noturības nodrošināšanai uzstāda pārseguma saites. Tās izvieto (10.8. att.) šādi:

jumta kopņu augšējo joslu plaknē — horizontālās šķērssaišu kopnes un garenelementus starp tām;

jumta kopņu apakšējo joslu plaknē — horizontālās šķērssaišu un garsaišu kopnes, reizēm arī garenstieņus starp šķērssaišu kopnēm;

starp jumta kopnēm — vertikālās saites;

virsgaismas konstrukciju daļā.

Saites jumta kopņu augšējo joslu plaknē sastāv no šķērssaišu kopnēm un garenelementiem starp tām (10.8. att. a).

Jumta kopņu augšējo joslu elementi ir spiesti, tāpēc jānodrošina to noturība arī plaknē, kas ir perpendikulāra kopnes plaknei. Jumta seguma plātņu ribas un kopturus var uzskatīt par balstiem, kas neļauj kopņu augšējiem mezgliem izvirzīties no kopņu plaknes, ja tie ir nostiprināti pret garenpārvietošanos ar saitēm, kuras izvietotas jumta seguma plaknē. Šīs saites izvieto ēkas vai temperatūras bloka galos, lai kopā ar horizontālajām šķērssaišu kopnēm kopņu apakšējo joslu plaknē un vertikālajām saitēm nodrošinātu pārseguma telpisko stingumu. Ja ēkas vai temperatūras bloka garums ir lielāks par 144 m, tad paredz vēl horizontālās šķērssaišu kopnes ēkas vai temperatūras bloka vidusdaļā, kuras samazina kopņu joslu šķērspārvietojumu saišu pakļāvīguma dēļ.

Lai nodrošinātu kopņu augšējo joslu noturību, sevišķa uzmanība jāpievērš kopņu mezglu sasaistīšanai virsgaismas konstrukcijas daļā, kur nav jumta seguma. Šai gadījumā kopņu augšējo joslu mezglu nostiprināšanai pret izvirzīšanos no kopņu plaknes paredz speciālus spraišļus. Šie spraišļi obligāti ir jāuzstāda kopnes kores mezglā. Ja kores spraišlis nenodrošina kopņu augšējo joslu robežlokanumu  $\lambda_u$  montāžas laikā, kad vēl nav uzstādītas pārseguma

plātnes vai kopturi, tad starp to un spraisli kolonnu plaknē uzstāda papildu spraisli.

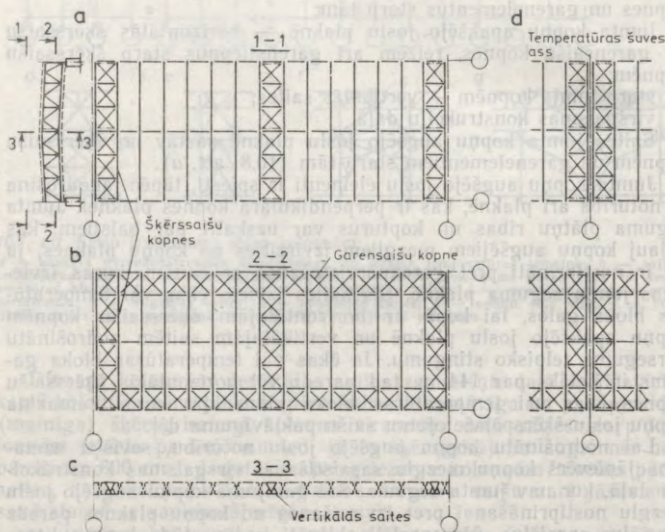
Ja ir stings jumta seguma disks, tad šķērssaišu kopnes uzstāda tikai kopņu apakšējo joslu plaknē, veidojot stingu bloku, bet kopņu augšējo joslu plaknē paredz inventāras izņemamas saites konstrukciju pārbaudei un to noturības nodrošināšanai montāžas laikā. Sai gadījumā vertikālās saites uzstāda ik pēc 6 m.

Saites jumta kopņu apakšējo joslu plaknē sastāv no horizontālām šķērssaišu un garensaišu kopnēm, reizēm arī no garenstiepiņiem starp šķērssaišu kopnēm (10.8. att. b).

Šīs saites nodrošina karkasa konstrukciju telpisko nemainību plānā, samazina atsevišķu plaknisko rāmju pārvietošanos un pārdaļa celtņu koncentrētās slodzes uz blakus rāmjiem, noder par gala sienu karkasa statņu augšējo balstu, kā arī nodrošina jumta kopņu apakšējo joslu sasaukti perpendikulāri rāmju plaknei.

Ēkas ar tilta celtņiem jānodrošina karkasa horizontālais stingums šķērsvirzienā un garenvirzienā. Darbojoties tilta celtņiem, rodas inerces spēki, kas izraisa ēkas karkasa šķērsdeformācijas un garendeformācijas.

Tilta celtņu horizontālie inerces spēki ir pielikti celtņu ceļa siju sliekšņu līmenī, un tie ēkas šķērsvirzienā darbojas kā koncen-



10.8. att. Pārseguma saites:

a — kopņu augšējo joslu plaknē; b — kopņu apakšējo joslu plaknē; c — vertikālās saites starp kopnēm; d — saites pie temperatūras šuves.

trēti spēki  $T$  uz vienu vai diviem blakus izvietotiem plakniskiem rāmjiem. Saites nodrošina plaknisko rāmju sistēmas kopīgu darbību, ievērojami samazinot karkasa šķērsdeformācijas koncentrētā spēka iedarbībā (10.9. att.).

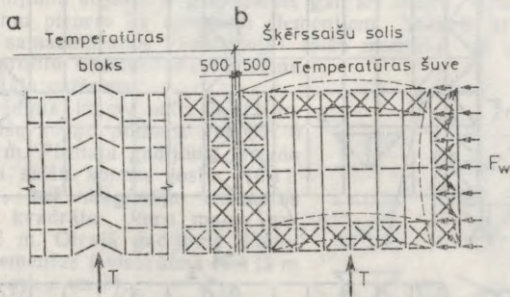
Horizontālās šķērssaišu kopnes izvieto ēkas vai temperatūras bloka galos, tās uzņem vēja slodzi  $F_w$ , ko pārnes gala sienas karkasa statņi. Šie statņi pārnes vēja slodzi uz horizontālo gala šķērs-saišu kopni, kuras joslas ir gala un blakus jumta kopņu apakšējās joslas (10.9. att.). Šķērssaites kopā ar garsensaitēm veido noslēgtu sistēmu, kas izvietota pa ēkas kontūru un nodrošina tās telpisko stingumu. Horizontālās šķērssaišu kopnes kopņu apakšējo joslu plaknē parasti izveido tajos pašos paneļos kā šķērssaites kopņu augšējo joslu plaknē (sk. 10.8. att.).

Karkasa telpiskā stinguma palielināšanas garsensaišu kopnēm jābūt pietiekami platām, lai kopīgā darbībā iesaistītu vairāk šķērs-rāmju.

Konstruktīvu apsvērumu dēļ garsensaišu kopņu platumu parasti pieņem vienādu ar jumta kopnes apakšējās joslas balsta paneļa garumu. Ja pārsegumā ir pakopnes, tad pakopņu joslu izmanto par horizontālo saišu joslu.

Horizontālās garsensaišu kopnes jumta kopņu apakšējo joslu plaknē paredz gar malējo rindu kolonnām ēkās ar 7K un 8K darbības režīma grupas celtniem, pārsegumos ar jumta pakopnēm, vienkalduma un divkalduma ēkās ar tilta celtniem, kuru celtspēja ir 10 t un lielāka, bet ēkās, kurās rīgeļa apakšas atzīme ir lielāka par 18 m, garsensaišu kopnes paredz neatkarīgi no celtnu celtspējas.

Daudzkaldumu ēkās ar vairāk nekā trim kaldumiem, kurās uzstādīti 7K un 8K darbības režīma grupas celtni, horizontālās garsensaišu kopnes izvieto arī gar vidējo rindu kolonnām ne retāk kā



10.9. att. Karkasa šķērsdeformācijas tilta celtna inerces spēka iedarbībā:

a — šķērsdeformācijas, ja kopņu apakšējo joslu plaknē nav horizontālo saišu; b — šķērsdeformācijas, ja kopņu apakšējo joslu plaknē ir horizontālas saites.

pēc viena laiduma, bet pārējās ēkās — ne retāk kā pēc diviem laidumiem.

Garās ēkās, kas sastāv no vairākiem temperatūras blokiem, šķērssaišu kopnes jūmta kopņu augšējo un apakšējo joslu plaknē izveido pie katras temperatūras šuves (sk. 10.8. att. d), lai katrs temperatūras bloks veidotu atsevišķu telpisku kompleksu.

Jumta kopnēm ir mazs sāniskais stingums, tāpēc izveido speciālas vertikālās saites starp kopnēm. Šīs saites uzstāda horizontālo šķērssaišu izvietojuma vietās, tā radot stingus telpiskus blokus ēkās vai temperatūras bloka galos. Uzstādot spraišļus vai stieņņus, šiem blokiem piesaista starpkopnes.

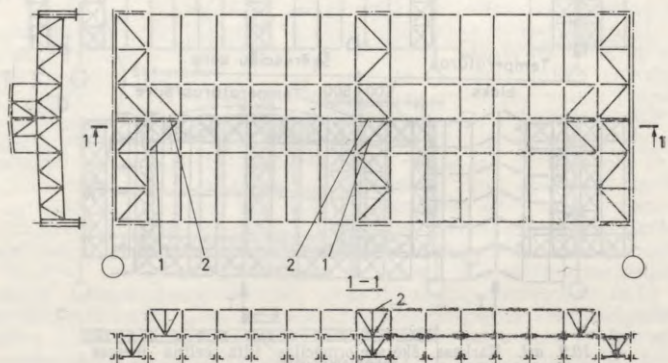
Vertikālās saites starp kopnēm izvieto jumta kopņu vertikālo statu vietās vai arī ārpus tiem. Lai saišu elementus varētu ērti piestiprināt, šos status projektē ar krusta šķērsgriezumu, kas veidots no pāra leņķprofiliem.

$I_1$ ;  $I_2$ ;  $II_2$  un  $II_3$  klimatiskajā rajonā ēku pārsegumiem papildus paredz vertikālās saites katra laiduma vidū visā ēkas garumā.

Ēkās ar piekarināmo transportu vertikālās saites pārdala celtna slodzi starp kopnēm, kurām tā pielikta. Šai gadījumā vertikālās saites izvieto piekaru plaknē visā ēkas garumā.

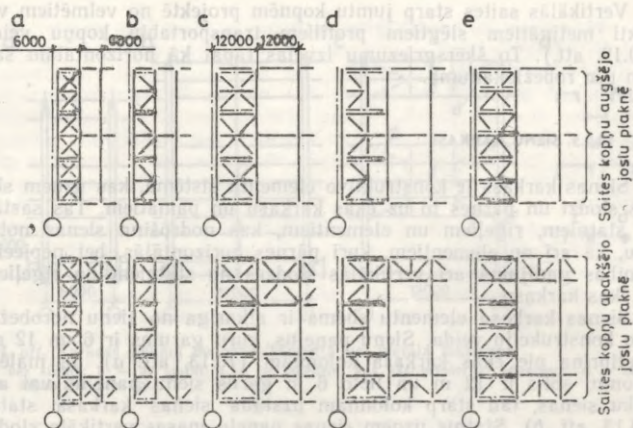
Ēkām ar virsgaismas konstrukcijām arī izveido horizontālās saites virsgaismas konstrukciju augšējo joslu līmenī, kā arī vertikālās saites (10.10. att.).

Virsgaismas konstrukciju galos augšējo joslu plaknē uzstāda šķērssaišu kopni tāpat kā jumta kopņu augšējo joslu plaknē. Šai pašā vietā izvieto arī vertikālās saites starp virsgaismas konstrukcijām, nodrošinot to noturību garenvirzienā. Ja virsgaismas konstrukcijas garums ir lielāks par 60 m, tad arī tās vidusdaļā uzstāda šķērssaišu kopnes, kuras izvieto tajos pašos kopņu soļos,



10.10. att. Virsgaismas konstrukciju saites:

1 — šķērssaišu kopnes; 2 — vertikālās saites.



10.11. att. Pārseguma saišu sistēmas:

a un b — kopņu solis 6 m; c, d un e — kopņu solis 12 m.

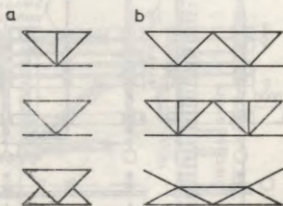
kuros uzstādītas pārseguma šķērssaišu kopnes. Virsgaismas konstrukcijas malējos status perpendikulāri kopnes plaknei saista ar iestiklojuma kopturiem.

Saišu konstruktīvā shēma ir atkarīga no jumta kopņu soļa. Ja kopņu solis ir 6 m, tad var lietot krusta režģi (10.11. att. a). Šai gadījumā saites atļauts aprēķināt pēc nosacītas shēmas, pieņemot, ka atgāžņi darbojas tikai stiepē.

Pēdējā laikā lieto saišu kopnes ar trīsstūra režģi (10.11. att. b). Šai gadījumā atgāžņi ir gan spiesti, gan arī stiepti, tāpēc to robežlokanumu pieņem kā spiestiem elementiem. Sakarā ar elementu skaita samazināšanos vienkāršojas saišu montāža, bet cauruļu un liekto profilu izmantošana samazina arī metāla patēriņu.

Ja jumta kopņu solis ir 12 m, tad saišu kopņu platums var būt 6 vai 12 m. Pirmajā gadījumā izveido papildu saišu kopnes joslu (10.11. att. d), bet diagonāļu elementus izvieto kvadrātos, kuru malas garums 6 m. Otrajā gadījumā diagonāļu elementus izvieto šūnā  $12 \times 12$  m (10.11. att. c un e).

Parasti saišu elementu šķērsgrīzumu izvēlas no leņķprofiliem, caurulēm un liekti metinātiem slēgtiem profiliem pēc robežlokanuma (sk. pielikumu 8. un 9. tab.).



10.12. att. Vertikālo saišu shēmas:

a — kopņu solis 6 m; b — kopņu solis 12 m.

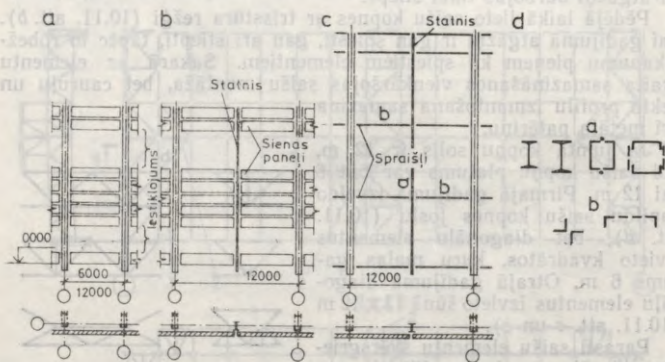
Vertikālās saites starp jumtu kopnēm projektē no velmētiem vai liekti metinātiem slēgtiem profiliem transportablu kopņu veidā (10.12. att.). To šķēsgriezumu izvēlas tāpat kā horizontālām saitēm pēc robežlokanuma.

### 10.2.5. SIENU KARKASI

Sienas karkass ir konstruktīvo elementu sistēma, kas uzņem sienas slodzi un pārnes to uz ēkas karkasu un pamatiem. Tas sastāv no statņiem, rīģeļiem un elementiem, kas nodrošina sienas noturību, kā arī no elementiem, kuri pārnes horizontālās, bet nepieciešamības gadījumā arī vertikālās slodzes no statņiem un rīģeļiem uz ēkas karkasu.

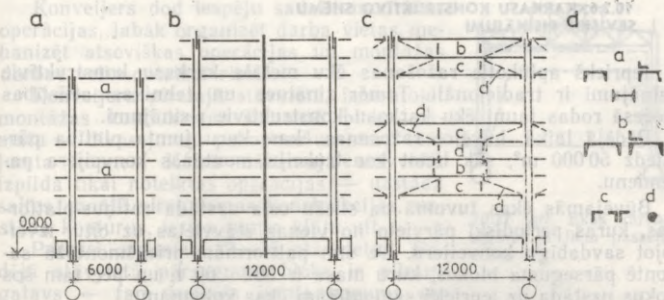
Sienas karkasa elementu shēma ir atkarīga no sienu norobežojošo konstrukciju veida. Sienu paneļus, kuru garums ir 6 un 12 m, piestiprina pie ēkas karkasa kolonnām (10.13. att. a). Ja malējo kolonnu solis ir 12 m un lieto 6 m garus sienu paneļus vai arī bloku sienas, tad starp kolonnām uzstāda sienas karkasa statni (10.13. att. b). Statnis uzņem sienas paneļu masas vertikālo slodzi un vēja slodzi. Tā augšējais gals balstās uz garensaišu kopni jumta kopņu apakšējo joslu plaknē. Augstos ceļos statņu noturības nodrošināšanai sienas plaknē uzstāda spraišļus (10.13. att. c).

Ja sienas ierīko no viļņotā azbestcements, tērauda vai alumīnija loksņēm, tad to karkasiem izveido rīģeļus lokšņu piestiprināšanai (10.14. att.). Rīģeļi uzņem lokšņu masas slodzi un vēja slodzi. Sienām, kuras ierīko no tērauda loksņēm, attālumu starp rīģe-



10.13. att. Sienas karkass paneļu un bloku sienām:

a — paneļu piestiprināšana tieši pie kolonnām; b — paneļu piestiprināšana pie kolonnām un statņa; c — sienas karkasa statnis un spraišļi; d — elementu šķēsgriezumu tipi.

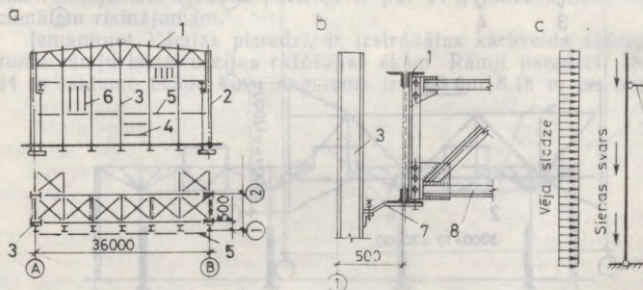


10.14. att. Karkass sienām no azbestcements vai metāla loksņēm:

*a* — bez statņa; *b* — ar statni; *c* — ar rīģelēm, kas sastiprināti ar stieppiem; *d* — elementu šķērsgrīzumu tipi.

ļiem pieņem ne lielāku par 2,25 m, bet sienām, kuras veido no viļņotām azbestcements loksņēm, — 2,40 m. Sienas karkasa rīģeļu izvietojums jāaskaņo ar logu un vārtu ailu izvietojumu.

Gala sienas karkass sastāv no statņiem, kurus izvieto ik pēc 6 vai 12 m. Statņu augšējais gals piestiprināts pie šķērssaišu apakšējās kopnes (10.15. att. *a*). Lai slodžu iedarbībā jumta kopne varētu brīvi izliekties, statņu balstu izveido kā lokšņu šarnīru (10.15. att. *b*). Šarnīru veido no 8...10 mm biezas un 150...200 mm platas sloksnes, kura vertikālā plaknē viegli var izliekties, bet horizontālā virzienā darbojas kā stings elements, pārnesot sienas karkasa statņa reakciju uz saišu kopni. Gala sienas karkasa statņus aprēķina ekscentriskā spiedē (10.15. att. *c*).



10.15. att. Gala sienas karkasa shēma:

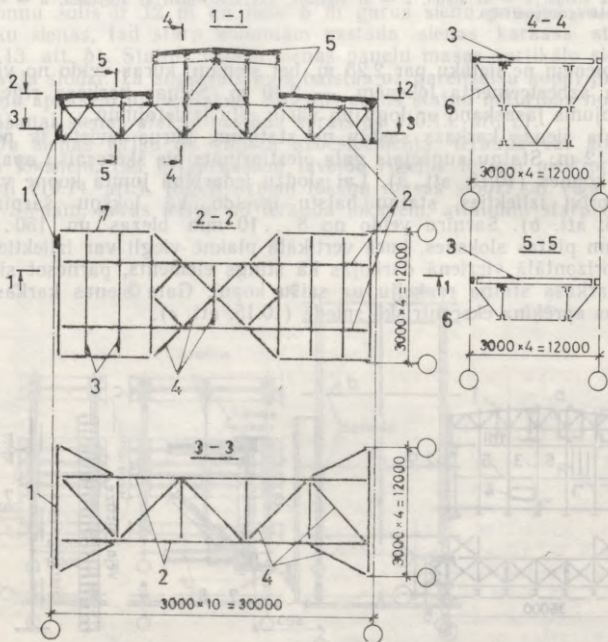
*a* — sienas karkass; *b* — sienas karkasa mezgls; *c* — statņa aprēķina shēma; 1 — jumta kopne; 2 — kolonna; 3 — statnis; 4 — rīģelis; 5 — sprāiss; 6 — starpstātnis; 7 — lokšņu šarnīrs; 8 — vertikālā saiše starp kopnēm.

### 10.2.6. KARKASU KONSTRUKTĪVO SHĒMU SEVIŠĀJĀ RISINĀJUMI

Iepriekš aplūkotie ražošanas ēku metāla karkasu konstruktīvie risinājumi ir tradicionāli. Tomēr zinātnes un tehnikas attīstības procesā rodas jauni ēku karkasu konstruktīvie risinājumi.

Pēdējā laikā, būvējot ražošanas ēkas, kuru jumta platība pārsniedz 50 000 m<sup>2</sup>, sāk lietot konstrukciju montāžas konveijera paņēmieni.

Būvējamās ēkas tuvumā uz sliežu ceļa uzstāda ratiņus-platformas, kuras periodiski pārvieto no vienas stāvvietas uz citu, izveidojot savdabīgu konveijeru. Uz šīm platformām priekšmontāžā samontē pārseguma blokus, kuru masa ir 30...60 t, un pēc tam šos blokus uzstāda uz iepriekš samontētām ēkas kolonnām.



10.16. att. Bloka konstruktīvā shēma:

1 — jumta pakopnes; 2 — jumta kopnes; 3 — kopturi; 4 — saites; 5 — profilētais klājs; 6 — atgāznis; 7 — garsenija.

Konveijers dod iespēju sadalīt montāžas operācijas, labāk organizēt darba vietas, mehānizēt atsevišķas operācijas un montāžas darbus veikt noteiktā ritmā.

Konveijera pirmajā stāvvietā, izmantojot montāžas konduktoru, samontē bloka pamatu — divas jumta pakopnes un starp tām jumta kopnes. Katrā nākamajā stāvvietā izpilda tikai noteiktas operācijas — uzstāda saites, montē virsgaismas konstrukcijas, uzstāda kopturus, ierīko jumta klāju utt.

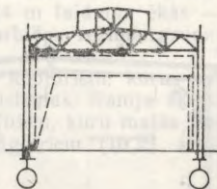
Parasti organizē 12—15 stāvvietas. Pēdējā stāvvietā pārseguma bloks ir pilnīgi gatavs — tam ierīkots jumta segums un metāla konstrukcijas ir nokrāsotas. Gatavo bloku torņa celtnis uzstāda uz kolonnām vai arī padod speciālam uzstādītājam, kuru ar vinču pārvieto pa celtņu ceļu uz bloka uzstādīšanas vietu.

Lietojot montāžas konveijera paņēmieni, izmainās pārseguma konstrukcijas komponējums. Ēkas pārseguma šūnas izgatavo kā stingus telpiskus blokus. Bloku pamatu veido jumta pakopnes. Vidējo kolonnu rindās blakus uzstāda divas jumta pakopnes. Bloka telpiskā stinguma nodrošināšanai ierīko saišu sistēmu. Bloka konstrukcijas shēmas risinājuma piemērs parādīts 10.16. attēlā.

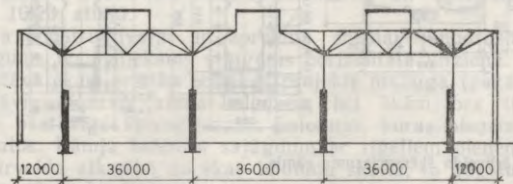
Tilta celtņu iedarbību uz ēkas karkasu var novērst, ja tehnoloģiskā procesa apkalpei izmanto pastatņu celtņus (10.17. att.). Sai gadījumā ēkas karkass uzņem atmosfēras un norobežojošo konstrukciju slodzes, bet celtņu slodzes tiek pārnestas uz celtņu ceļiem grīdas līmeni.

Jauna tipa karkasa konstrukcija parādīta 10.18. attēlā. Šai gadījumā rīgelis izveidots kā divkonsoļu kopne, uz kuras balsta virsgaismas konstrukciju. Kopnes izgatavo no caurulēm vai liekti metinātiem slēgtiem profiliem. Tehniski ekonomiskā analīze rāda, ka šim risinājumam tērauda patēriņš ir par 11% mazāks nekā tradicionālam risinājumam.

Izmantojot Vācijas pieredzi, ir izstrādātas kārbveida šķērsgrīzuma rāmju konstrukcijas ražošanas ēkām. Rāmji paredzēti 18 un 24 m laidumu ēkām, kuru augstums ir 6,98 un 8,18 m un nesošo



10.17. att. Ēkas karkasa shēma, ja lieto pastatņu celtni.



10.18. att. Ēkas ar divkonsoļu kopnēm shēma.



konstrukciju solis ir 6 m. Ēkās ar 18 m laidumu var izmantot vienu 8 t celtspējas rokas tilta celtni, bet 24 m laiduma ēkās — vienu 5 t celtspējas 1K—3K un 4K—6K darbības režīma grupas tilta celtni.

Karkass sastāv no plakniskiem rāmjiem, kopturiem, kurus uzstāda uz rīģeļiem ar 2,9 m soli, un saišu sistēmas. Rāmju šķēsgriezumu izveido no diviem velmētiem U profiliem, kuru malās piemetina loksnes, kas pastiprinātas ar garengofriem (10.19. att.).

### 10.3. ĒKU ŠĶĒRSRĀMJU APRĒĶINS

#### 10.3.1. RĀMJU APRĒĶINA SHĒMAS

Rāmja aprēķina shēmu izvēlas pēc izstrādātās karkasa konstruktīvās shēmas. Aprēķina shēmā rāmja stieņu garumu un konfigurāciju nosaka pēc shematiska rasējuma, kuru izpilda pa stieņu ģeometriskajām asīm. Par elementa ģeometrisko asi pieņem līniju, kas iet caur šķēsgriezuma smagumcentru.

Ja iepriekš nav pieņemti rāmja elementu šķēsgriezumi, tad šo elementu ģeometriskās asi var izvēlēties pa šķēsgriezuma vidu. Rāmjiem, kuriem rīģelis ar kolonnām savienots šarnīrveidā, par rīģeļa ģeometrisko asi pieņem līniju, kas savieno šarnīrus. Ja rīģelis ir stingri savienots ar kolonnām, tad par ģeometrisko asi režģotam rīģelim parasti pieņem apakšējās joslas asi, bet pilnsienas rīģelim — šķēsgriezuma vidu. Nelielus rīģeļa apakšējās joslas lūzumus (līdz 1/10) laiduma vidū aprēķina shēmā pieņem taisnus. Rīģeļus, kuriem ir neliels slīpums, aprēķina shēmā pieņem horizontālus.

Rāmja aprēķina shēmā jāievēro ēkas karkasa konstruktīvās īpatnības, un tai pēc iespējas tuvāk jāatbilst konstruktīvajai shēmai. Aprēķina shēmā jānosaka

visu elementu un to atsevišķo iecirkņu, kuriem ir dažāds inerces moments, garums;

elementu inerces momentu attiecība;

elementu sajūguma veids citam ar citu un ar pamatu (pilnīgi vai nepilnīgi iespīlējumi vai šarnīri);

sistēmas un tās atsevišķo elementu nostiprinājums pret pārbīdīšanos (pilnīgs vai elastīgs nostiprinājums, nav nostiprinājuma).

Vienlaiduma ražošanas ēkas konstruktīvā un aprēķina shēma parādīta 10.20. attēlā.

Rāmja konstruktīvajai un aprēķina shēmai jānodrošina ēkas nemainīgums un pietiekams stingums horizontālā virzienā.

Vienstāva ēkām ar tilta celtnēm projektē mainīga (pakāpjveida) vai pastāvīga šķēsgriezuma kolonnas, bet ēkām bez tilta celtnēm — pastāvīga šķēsgriezuma kolonnas, kuras pieņem iespīlētas pamatos. Rāmja kolonnu sajūgumu ar rīģeļiem pieņem stingu vai šarnīrveida atkarībā no ēkas laidumu skaita, to augstuma, celtni un grunšu raksturojuma.



Kolonnņu stings sajūgums ar rīgeļi jāpieņem vienlaiduma ražošanas ēkām, kuru augstums ir lielāks par 20 m, ēkām ar 7K un 8K darbības režīma grupas tilta celtņiem, ēkām ar celtņiem, kuru celtspēja ir lielāka par 100 t, kā arī ēkām ar divos līmeņos izvietotiem celtņiem. Daudzlaidumu ražošanas ēkām parasti pieņem kolonnņu šarnīrveida sajūgumu ar rīgeļiem (10.21. att. a). Sarežģītas konfigurācijas ēkām, kurām ir dažādi laidumi, kolonnņu augstumi un šķērsgrīezumi, ieteicams izdalīt vienu vai vairākus stingu rāmju laidumus, kuriem pievieno pārējos laidumus ar kolonnņu un rīgeļu šarnīrveida sajūgumu (10.21. att. b).

Lai noteiktu pakāpjveida kolonnas ass nobīdi  $e$ , kolonnas apakšējās daļas inerces momentu  $I_1$  un augšējās daļas inerces momentu  $I_2$ , kā arī rīgeļa inerces momentu  $I_b$ , jāzina to šķērsgrīezuma laukumi, kas sākumā nav zināmi. Tāpēc, pieņemot rāmja aprēķina shēmu, izmanto analogu ēku karkasu projektēšanas datus vai aptuvenu rāmja aprēķinu un šķērsgrīezumu izvēli. Kā rāda pārbaudes aprēķini, rāmja elementu inerces momentu attiecību starpība līdz 30% maz ietekmē aprēķina spēkus rāmī, bet lielākas starpības gadījumā rāmja aprēķins ir jāatkārto.

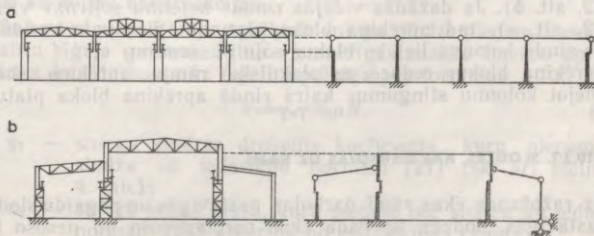
Pēc projektēšanas pieredzes ir zināms, ka pakāpjveida kolonnām ar nesimetrisku kolonnas zemceltna daļas šķērsgrīezumu attālumu starp kolonnas augšējās un apakšējās daļas šķērsgrīezumu smagumcentriem atrod šādi:

$$e = (0,45 \dots 0,55) b_{inf} - 0,5b_{sup}, \quad (10.7)$$

kur  $b_{inf}$  un  $b_{sup}$  — kolonnas apakšējās un augšējās daļas šķērsgrīezuma platums.

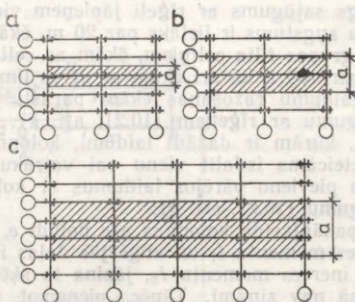
Rāmja statistiskajam aprēķinam jāzina tikai tā elementu inerces momentu attiecība, bet nevis to skaitliskās vērtības. Vienlaiduma ēku karkasiem parasti pieņem  $I_1/I_2 = 7 \dots 10$  un  $I_b/I_2 = 20 \dots 40$ .

Kolonnas horizontālā iecirkņa (pakāpiena) inerces momentu pieņem vienādu ar bezgalību. Daudzlaidumu rāmjos (10.21. att.) vidējās kolonnas ir lielāka šķērsgrīezuma nekā malējās kolonnas, tāpēc



10.21. att. Daudzlaidumu ražošanas ēku konstruktīvās un aprēķina shēmas:

a — daudzlaidumu ražošanas ēka; b — sarežģītas konfigurācijas ēkas.



10.22. att. Aprēķina bloka shēmas (a — bloka platums).

vidējo kolonnu apakšējās daļas inerces momenta  $I_3$  un to augšējās daļas inerces momenta  $I_4$  attiecības ar attiecīgām ārējo kolonnu daļām parasti pieņem šādas:

$I_3/I_2=10 \dots 30$ , ja vidējo un malējo rindu kolonnu soli ir vienādi;

$I_3/I_2=20 \dots 60$ , ja vidējo rindu kolonnu solis ir divreiz lielāks nekā malējo rindu kolonnu solis;

$I_4/I_2=1,5 \dots 3,0$ , ja vidējo un malējo rindu kolonnu soli ir vienādi;

$I_4/I_2=2,5 \dots 7$ , ja vidējo rindu kolonnu solis ir divreiz lielāks nekā malējo rindu kolonnu solis.

Rāmja aprēķina shēmā ieskaita starp divām paralēlām plaknēm izgrieztu ēkas šūnu, kuru sauc par *aprēķina bloku*. Ja malējo un vidējo rindu kolonnu soli ir vienādi, tad aprēķina bloka platumu pieņem vienādu ar šo soli (10.22. att. a). Ja vidējo rindu kolonnu solis ir pastāvīgs, bet lielāks par malējo kolonnu soli, tad aprēķina bloka platumu pieņem vienādu ar vidējo rindu kolonnu soli (10.22. att. b). Ja dažādās vidējās rindās kolonnu soli nav vienādi (10.22. att. c), tad aprēķina bloka platumu pieņem vienādu ar vidējo rindu kolonnu lielāko blakus soļu pussummā.

Aprēķina blokus reducē uz plaknisku rāmju aprēķina shēmu, summējot kolonnu stingumus katrā rindā aprēķina bloka platumā.

### 10.3.2. SLODZES, KAS DARBOJAS UZ RĀMI

Uz ražošanas ēkas rāmi darbojas pastāvīgās un pagaidu slodzes: pastāvīgās slodzes, ko rada ēkas norobežojošo un nesošo konstrukciju masa;

sniega slodze uz pārsegumu;

celtņu slodzes — tilta celtņa riteņu vertikālais spiediens uz kolonnu un ratiņu šķērsbremzēšanas horizontālie spēki;

vēja slodze uz garensienām, rāmja rīgeļi un virsgaismas konstrukciju;

pārējās slodzes un iedarbības — temperatūras, seismiskās un citas iedarbības, kas atkarīgas no ēkas ekspluatācijas apstākļiem.

Rāmi katrai slodzei aprēķina atsevišķi, lai aprēķina spēkus rāmja elementos varētu noteikt pēc visneizdevīgākās slodžu kombinācijas.

**Pastāvīgās slodzes.** Pastāvīgo slodzi, ko rada nesošo konstrukciju masa, parasti pieņem vienmērīgi sadalītu visā rīgeļa garumā (10.23. att.). Pastāvīgo virsmas aprēķina slodzi parasti nosaka 10.3. tabulas veidā.

Pastāvīgo lineāro aprēķina slodzi  $g$ , kas darbojas uz rīgeļi, nosaka pēc formulas

$$g = \gamma_n q B, \quad (10.8)$$

kur  $\gamma_n$  — uzdevuma drošuma koeficients (sk. pielikumu 6. tab.);  
 $B$  — slodzes laukuma platums.

Lai vienkāršotu aprēķinu, pārējās pastāvīgās slodzes nosaka kā koncentrētus spēkus, kas nosacīti pielikti kolonnas virsceltņā un zemceltņa daļā pa kolonnas šķērsriezuma asi. Šais spēkos ieskaita pastāvīgo slodzi, ko rada kolonnas atsevišķo daļu un sienu norobežojošo konstrukciju masa. Celtņu ceļa siju pastāvīgo slodzi parasti summē ar celtņu slodzi.

Ja lieto jumta pakopnes, tad to pastāvīgo slodzi pieliek kolonnu galos kā kopņu balstreakcijas.

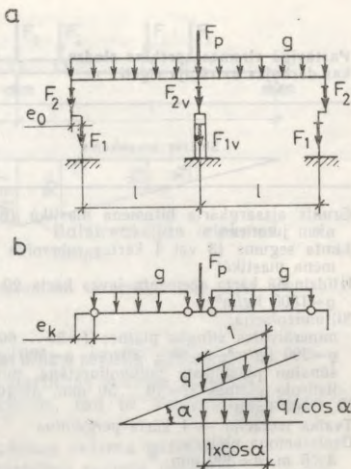
**Sniega slodze.** Rāmja aprēķinā sniega slodzi pieņem vienmērīgi sadalītu rīgeļa garumā. Pilno vienmērīgi sadalīto lineāro aprēķina slodzi  $s$ , kas darbojas uz rīgeļi, aprēķina pēc formulas

$$s = \gamma_f \gamma_r s_0 \mu B, \quad (10.9)$$

kur  $\gamma_f$  — sniega slodzes drošuma koeficients, kuru pieņem pēc slodžu un iedarbību normām [21] (sk. arī pielikumu 4. tab.);

$s_0$  — sniega segas masa, kuru pieņem pēc slodžu un iedarbību normām [21] atkarībā no celtniecības rajona;

$\mu$  — koeficients pārejai no sniega segas masas (uz zemes) uz pārseguma sniega slodzi.



10.23. att. Pastāvīgo slodžu noteikšanas shēmas:

a — rāmja aprēķina shēma; b — rīgeļa aprēķina shēma; c — pārseguma pastāvīgās slodzes projicēšana uz horizontālās virsmas.

Pastāvīgā virsmas aprēķina slodze,  
kas darbojas uz rāmja riģeli

Slodzes nosaukums	Normatīvā slodze $q_n$ , $\text{kN/m}^2$	Slodzes drošuma koeficients, $\gamma_f$	Aprēķina slodze $q$ , $\text{kN/m}^2$
Grunts aizsargkārtā bitumena mastikā (plakaniem jumtiem)	0,40...0,60	1,3	...
Jumta segums (3 vai 4 kārtas ruberoīda bitumena mastikā)	0,10...0,15	1,3	...
Izlidzinošā kārtā (cementa javas kārtā 20 mm, $q=1800 \text{ kg/m}^3$ )	0,36	1,3	...
Siltumizolācija:			
minerālvates stingās plātnes ( $t=50...60 \text{ mm}$ , $q=300 \text{ kg/m}^3$ ; $t=50...80 \text{ mm}$ , $q=500 \text{ kg/m}^3$ )	...	1,2	...
šūnaino plastmasu, putupoliuretāna, putupolistirola plātnes ( $t=40...50 \text{ mm}$ , $q=100...200 \text{ kg/m}^3$ )	...	1,2	...
Tvaika izolācija — 1 kārtā pergāmīna	0,04	1,3	...
Dzelzsbetona plātnes:			
$3 \times 6 \text{ m}$ , $h=300 \text{ mm}$	1,45	1,1	...
$3 \times 12 \text{ m}$ , $h=450 \text{ mm}$	1,80...2,10	1,1	...
Kopnes un saišu masa	...	1,05	...
Kopā	...	—	...

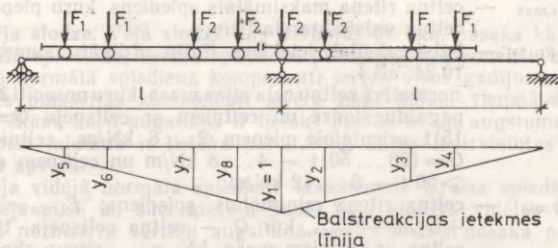
Vienlaiduma ražošanas ēkām, kurām jumta slīpums  $\alpha \leq 25^\circ$ ,  $\mu = 1,0$ .

**Celtņu slodzes.** Slodzes, ko rada tilta celtņi un piekarceltņi, nosaka atkarībā no to darbības režīma grupas (ГОСТ 25546—82), piedziņas veida un kravas piekāršanas paņēmiena.

Vienlaiduma ražošanas ēkām ar tilta celtņiem rāmju, kolonnu un pamatu aprēķinā vertikālo slodzi pieņem ne vairāk kā no diviem visnelabvēlīgākās iedarbības celtņiem. Daudzlaidumu ražošanas ēkām ar tilta celtņiem vairākos laidumos (katrā laidumā vienā līmenī) šo slodzi pieņem uz katra celtņu ceļa ne vairāk kā no diviem visnelabvēlīgākās iedarbības celtņiem, bet divos blakus laidumos — ne vairāk kā no četriem visnelabvēlīgākās iedarbības celtņiem.

Celtņu ceļa siju, kolonnu, rāmju, jumta kopņu un pakopņu un pamatu aprēķinā horizontālo slodzi pieņem ne vairāk kā no diviem visnelabvēlīgākās iedarbības celtņiem, kas novietoti uz viena celtņu ceļa vai dažādiem ceļiem vienā vietā. Bez tam katram celtnim ievēro tikai vienu horizontālo slodzi (šķērsslodzi vai garenslodzi). Ja uz celtņu ceļa ir tikai viens celtnis un otrs netiks uzstādīts ēkas ekspluatācijas laikā, tad ievēro tikai viena celtņa slodzi.

Ja aprēķinā ievēro divus celtņus, tad to slodzes pareizina ar šādu kombinācijas koeficientu:



10.24. att. Shēma celtņa izvietoņumiem uz celtņu ceļa sijas un balstreācijas ietekmes līnija.

$\psi = 0,85$  — 1K—6K celtņu darbības režīma grupām;

$\psi = 0,95$  — 7K un 8K celtņu darbības režīma grupām.

Ja aprēķinā ievēro četrus celtņus, tad to slodzes pareizina ar šādu kombinācijas koeficientu:

$\psi = 0,7$  — 1K—6K celtņu darbības režīma grupām;

$\psi = 0,8$  — 7K un 8K celtņu darbības režīma grupām.

Ja ievēro tikai vienu celtņi, tad vertikālās un horizontālās slodzes pieņem nesamazinātas.

Celtņu vertikālo spiedienu uz rāmi nosaka pēc to neizdevīgākā izvietoņuma uz celtņu ceļa sijas, konstruējot sijas balstreācijas ietekmes līniju (10.24. att.).

Uz kolonnu, pie kuras piebraukuši celtņa ratiņi (10.25. att. a), darbojas aprēķina spiediens

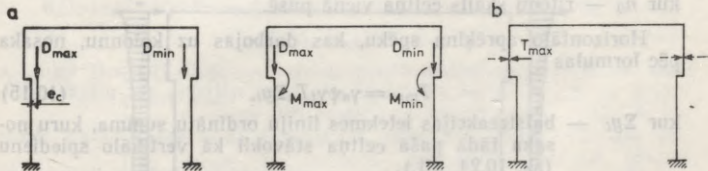
$$D_{\max} = \gamma_n \psi \gamma_f \sum F_{i,\max} y_i + \gamma_f G_s; \quad (10.10)$$

uz otru kolonnu darbojas spiediens

$$D_{\min} = \gamma_n \psi \gamma_f \sum F_{i,\min} y_i + \gamma_f G_s, \quad (10.11)$$

kur  $\psi$  — kombinācijas koeficients;

$\gamma_f$  — celtņa slodzes drošuma koeficients, kas vienāds ar 1,1;



10.25. att. Shēma tilta celtņu slodžu noteikšanai uz rāmi:

a — vertikālais spiediens; b — celtņa ratiņu šķērsbremzēšana.

$F_{i,max}$  — celtņa riteņa maksimālais spiediens, kuru pieņem pēc celtņu valsts standartiem;

$\Sigma y_i$  — balstreakcijas ietekmes līniju ordinātu summa (sk. 10.24. att.);

$G_s$  — normatīvā celtņu ceļa sijas masa, kuru nosacīti ieskaita pagaidu slodzē un celtņiem ar celtspēju  $Q = (5 \dots 15)t$  orientējoši pieņem  $2 \dots 6$  kN/m, celtņiem ar  $Q = (20 \dots 50)t - 4 \dots 8$  kN/m un celtņiem ar  $Q > 50t - 6 \dots 12$  kN/m;

$F_{i,min}$  — celtņa riteņa minimālais spiediens;  $F_{i,min} = (10Q + G)/n_0 - F_{i,max}$ , kur  $Q$  — celtņa celtspēja, t;  $G$  — celtņa ar ratiņiem masa, kN;  $n_0$  — riteņu skaits celtņa vienā pusē.

Celtņu ceļa sijas uzstāda ekscentriski attiecībā pret kolonnas asi, tāpēc rāmi vertikālais spiediens izraisa koncentrētus momentus

$$M_{max} = D_{max}e_c \text{ un } M_{min} = D_{min}e_c, \quad (10.12)$$

kur  $e_c$  — attālums no celtņu ceļa sijas ass līdz kolonnas zemceltņa daļas šķērsgriezuma smagumcentram, pie tam

$$e_c = b_{inf} - b_{sup}/2 - e = (0,5 \dots 0,6) b_{inf}.$$

Celtņa ratiņu horizontālo šķērsbremzēšanas spēku, kas darbojas rāmja plaknē, nosaka pēc formulas

$$T_0 = f(10Q + G_r)n_{wb}/n_w, \quad (10.13)$$

kur  $f$  — koeficients, kuru celtņiem ar lokanu piekaru pieņem vienādu ar 0,05, celtņiem ar stingu piekaru — 0,1;

$G_r$  — celtņa ratiņu masa, kuru pieņem pēc celtņu valsts standartiem;

$n_{wb}$  — ratiņu bremzētājriteņu skaits;

$n_w$  — ratiņu riteņu skaits.

Celtņiem parasti ir četrriteņu ratiņi ar diviem bremzētājriteņiem, tāpēc  $n_{wb}/n_w = 1/2$ .

Nosacīti pieņem, ka uz rāmi ratiņu šķērsbremzēšanas spēku pārnes celtņa riteņi, kas atrodas tā vienā pusē. Tāpēc normatīvo horizontālo spēku, kas darbojas uz celtņa riteņi, atrod šādi:

$$T_n = T_0/n_0, \quad (10.14)$$

kur  $n_0$  — riteņu skaits celtņa vienā pusē.

Horizontālo aprēķina spēku, kas darbojas uz kolonnu, nosaka pēc formulas

$$T_{max} = \gamma_n \psi \gamma_f T_n \Sigma y_i, \quad (10.15)$$

kur  $\Sigma y_i$  — balstreakcijas ietekmes līniju ordinātu summa, kuru nosaka tādā pašā celtņa stāvoklī kā vertikālo spiedienu (sk. 10.24. att.).

Spēku  $T_{max}$  rāmim pieliek celtņu ceļa sijas augšējā plaukta līmenī, bet vertikālo spiedienu  $D$  — apakšējā plaukta līmenī.

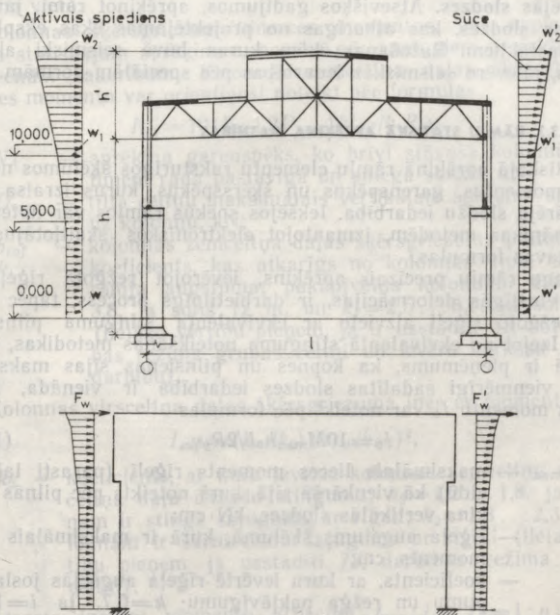
**Vēja slodze.** Vēja slodzi, kas darbojas uz ēku, nosaka kā vidējā normālā spiediena, berzes spēku un pulsācijas komponentu summu. Vidējā normālā spiediena komponenti ievēro visos gadījumos. Vēja slodzes pulsācijas komponenti ievēro tikai tādām vienstāva ražošanas ēkām, kuru augstums ir lielāks par 36 m un augstuma attiecība pret laidumu ir lielāka par 1,5 un kuras ir izvietotas A vai B tipa apvidū.

Vēja vidējā normālā spiediena komponente izraisa spiedienu uz ēku vēja pusē un sūci aizvēja pusē. Vēja slodzes vidējās komponentes normatīvo vērtību augstumā  $z$  virs zemes nosaka pēc formulas

$$w_m = w_0 k c, \quad (10.16)$$

kur  $w_0$  — vēja spiediena normatīvā vērtība, kuru pieņem pēc slodžu un iedarbību normām [21] atkarībā no celtniecības vietas;

$k$  — koeficients, ar kuru ievērtē vēja spiediena izmaiņu atkarībā no ēkas augstuma;



10.26. att. Vēja slodzes aprēķina shēma.

$c$  — aerodinamiskais koeficients, kas atkarīgs no ēkas konfigurācijas un dots slodžu un iedarbību normās [21] 4. pielikumā.

Vienstāva ražošanas ēkām pieņem  $c=0,8$  aktīvam spiedienam un  $c_{e3}=-0,4 \dots -0,6$  sūcei atkarībā no ēkas garuma un augstuma attiecības pret laidumu.

Aktīvā spiediena un sūces lineāro aprēķina slodzi, kas darbojas uz rāmi aprēķina pēc šādām formulām (10.26. att.):

$$\left. \begin{aligned} \omega &= \gamma_n \gamma_f \omega_m B = \gamma_n \gamma_f \omega_0 k c_e B; \\ \omega' &= \gamma_n \gamma_f \omega'_m B = \gamma_n \gamma_f \omega'_0 k c_{e3} B, \end{aligned} \right\} \quad (10.17)$$

kur  $\gamma_f$  — vēja slodzes drošuma koeficients, kas vienāds ar 1,4;

$B$  — rāmju solis vai aprēķina bloka platums.

Vēja slodzi, kas darbojas uz rāmi iecirknī no rīģeļa apakšas līdz ēkas jumta korei, aizvieto ar koncentrētu spēku, kurš pielikts rāmja rīģeļa apakšas līmenī (sk. 10.26. att.). Šos aktīvā spiediena un sūces radītos spēkus nosaka pēc formulām

$$F_w = ((\omega_1 + \omega_2)/2)h' \quad \text{un} \quad F'_w = ((\omega'_1 + \omega'_2)/2)h'. \quad (10.18)$$

**Pārējās slodzes.** Atsevišķos gadījumos, aprēķinot rāmi, jāievēro arī citas slodzes, kas atkarīgas no projektējamās ēkas ekspluatācijas apstākļiem. Ražošanas ēkām, kuras būvē seismiski aktīvos rajonos, jāievēro seismiskās iedarbības pēc speciālām normām.

### 10.3.3. RĀMJU STATISKĀ APRĒKINA ĪPATNĪBAS

Statiskajā aprēķinā rāmju elementu raksturīgos šķēlumos nosaka lieces momentus, garens spēkus un šķērsspēkus, kurus izraisa atsevišķu ārējo slodžu iedarbība. Iekšējos spēkus rāmjos var noteikt ar būvmehānikas metodēm, izmantojot elektroniskos skaitļotājus vai arī gatavas formulas.

Stingu rāmju precīzais aprēķins, ievērojot režģotā rīģeļa un stieņu elastīgās deformācijas, ir darbietilpīgs process, tāpēc aprēķinā režģoto rīģeļi aizvieto ar ekvivalenta stinguma pilnsienas rīģeļi. Izejot no ekvivalentā stinguma noteikšanas metodikas, kuras pamatā ir pieņēmums, ka kopnes un pilnsienas sijas maksimālā izliece vienmērīgi sadalītas slodzes iedarbībā ir vienāda, rīģeļa inerces momentu  $I_b$  var noteikt pēc formulas

$$I_b = 10M_{\max} h_b k / 2R_y \gamma_c, \quad (10.19)$$

kur  $M_{\max}$  — maksimālais lieces moments rīģeļi (parasti laiduma vidū) kā vienkāršā sijā, kurš noteikts pēc pilnās aprēķina vertikālās slodzes,  $kN \cdot cm$ ;

$h_b$  — rīģeļa augstums šķēlumā, kurā ir maksimālais lieces moments,  $cm$ ;

$k$  — koeficients, ar kuru ievērtē rīģeļa augšējās joslas slīpumu un režģa pakļāvīgumu;  $k=0,7$ , ja  $i=1/8 \dots 1/10$ ;  $k=0,8$ , ja  $i=1/15$ , un  $k=0,9$ , ja  $i=0$  (paralēljoslu kopne).

Aprēķinot rāmi pēc slodzēm, kas pieliktas kolonnām, rīģeļa elastīgās īpašības var neievērot, ja

$$v \geq 6 / (1 + 1,1\sqrt{\mu}), \quad (10.20)$$

kur  $v = (I_b/l) / (I_1/h)$  un  $\mu = I_1/I_2 - 1$ .

Seit  $I_1$  un  $I_2$  — pakāpjveida kolonnas zemceltņa un virsceltņa daļas šķērsriezuma inerces moments;

$l$  — rīģeļa laidums;

$h$  — kolonnas pilnais augstums.

Šis pieņēmums dod iespēju rīģeli uzskatīt par absolūti stingu ( $I_b = \infty$ ) un vienkāršot rāmja aprēķinu.

Shematizējot rāmja konstrukciju, pastāvīga šķērsriezuma kolonnām aprēķina asi pieņem taisnu visa rāmja augstumā, bet mainīga šķērsriezuma kolonnām — lauzītu (sk. 10.20. att.).

Lai vienkāršotu rāmja ar pakāpjveida kolonnām aprēķinu, kolonnu zemceltņa daļas asi savieto ar virsceltņa daļas asi. Vertikālās slodzes ekscentritāti pret kolonnu zemceltņa daļas asi ievēro, slogojot rāmi ar koncentrētiem momentiem pakāpjveida kolonnu lūzuma vietā.

Kolonnas šķērsriezuma inerces momentus, kas nepieciešami rāmja statiskajam aprēķinam, nosaka pēc analogiem projektiem vai aptuvenām sakarībām. Kolonnas zemceltņa daļas šķērsriezuma inerces momentu var orientējoši noteikt pēc formulas

$$I_{inf} = 10(N_A + 2D_{max})b^{2inf}/k_1R_{yC}, \quad (10.21)$$

kur  $N_A$  — aprēķina garenspēks, ko brīvi stāvošā kolonnā bāzes līmenī rada pastāvīgā un sniega slodze, kN;

$D_{max}$  — tilta celtņu maksimālais vertikālais aprēķina spiediens uz kolonnu, kN;

$b_{inf}$  — kolonnas zemceltņa daļas šķērsriezuma platums, cm;

$k_1$  — koeficients, kas atkarīgs no kolonnas tipa, soļa un rāmja augstuma; pakāpjveida kolonnām  $k_1 = 3,2 \dots 3,8$ , ja solis 12 m, un  $k_1 = 2,5 \dots 3,0$ , ja solis 6 m (lielāko vērtību pieņem, ja ir uzstādīti 4K—6K darbības režīma grupas celtņi un ievēro karkasa telpisko darbību).

Kolonnas virsceltņa daļas šķērsriezuma inerces moments

$$I_{sup} = (I_{inf}/k_2)(b_{sup}/b_{inf})^2, \quad (10.22)$$

kur  $k_2$  — koeficients, ar kuru ievērtē kolonnas zemceltņa un virsceltņa daļu dažādo stingumu;  $k_2 = 1,2 \dots 1,8$ , ja kolonnām ir stings sajūgums ar rīģeli;  $k_2 = 1,8 \dots 2,3$ , ja kolonnām ir šarnīrveida sajūgums ar rīģeli (lielāko vērtību pieņem, ja uzstādīti 7K darbības režīma grupas celtņi).

Atrasto inerces momentu attiecību  $I_{sup} : I_{inf} : I_b = 1 : n : m$  (ja  $I_{sup} = 1$ ) noapaļo un izmanto rāmja statiskajā aprēķinā.

Daudzlaidumu rāmjiem ar vienāda augstuma laidumiem ir liels summārais šķērsstingums un pārvietojums rīģeļa līmenī ir tik neliels, ka, aprēķinot rāmi pēc slodzēm, kas pieliktas atsevišķām kolonnām, var neievērot kolonnu galu pārvietojumu un kolonnas var aprēķināt kā stieņus ar nekustīgiem balstiem.

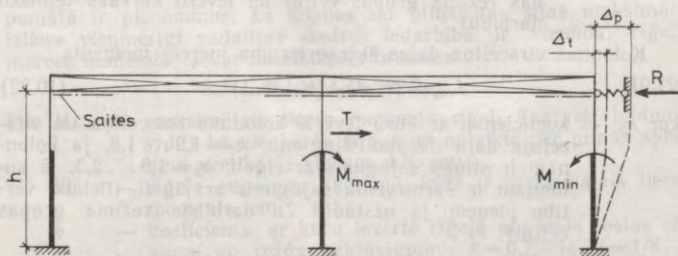
Aprēķinot sarežģītas konfigurācijas rāmjus, tos var sadalīt atsevišķās aprēķina shēmās, neievērojot šo shēmu savstarpējo saistību citai ar citu, jo šī ietekme ir neliela.

#### 10.3.4. RĀMJU APRĒĶINS, IEVĒROJOT KARKASU TĒLPISKO DARBĪBU

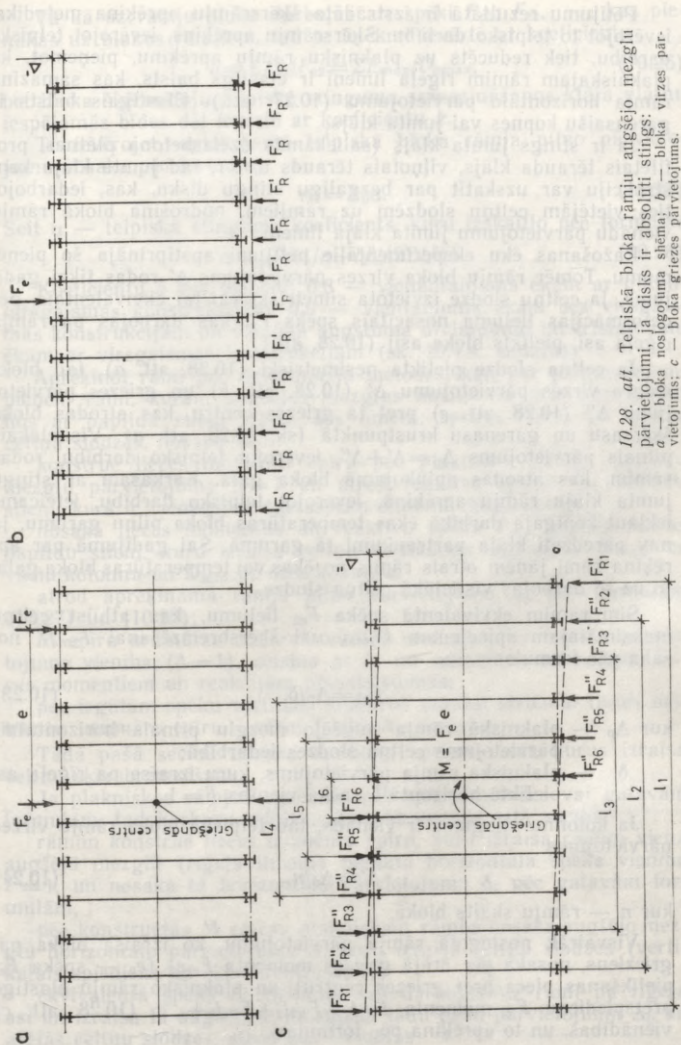
Vienstāva ražošanas ēku konstrukciju telpiskās darbības teorētiskie un eksperimentālie pētījumi rāda, ka ir būtiska atšķirība starp plaknisko šķērsrāmju un telpisko sistēmu darbību, jo garenkonstrukcijas — saites, celtņu ceļa sijas, jumta klājs, sienas karkass un citi garenlementi plakniskos rāmjus apvieno telpiskā karkasā. Telpiskās sistēmas patieso spēku un spriegumu lielumi, kā arī horizontālie pārvietojumi parasti ir ievērojami mazāki par tiem, kas iegūti, aprēķinot atsevišķi plakniskos rāmjus.

Karkasa garenkonstrukcijas — tā sauktie garendiski kopīgā darbībā iesaista vairākus plakniskos rāmjus un līdz ar to daļēji atslogo tieši noslogoto rāmi, pārdalot spēkus un deformācijas starp plakniskajiem rāmjiem. Karkasa telpisko darbību visvairāk ietekmē jumta klājs un garensaišu kopnes kopņu apakšējo joslu plaknē. Bremzēšanas siju (kopņu) stinguma ietekme parasti ir neliela, jo to platums nav liels.

Pētījumi rāda, ka vislielākos spēkus karkasa garenkonstrukcijās izraisa vietējā celtņu slodze. Ja visiem rāmjiem ir vienāds stingums, tad pastāvīgās, sniega un vēja slodzes neizraisa spēku pārdalīšanos starp rāmjiem. Ja rāmju stingums ir dažāds, šīs slodzes maz ietekmē karkasa telpisko darbību.



10.27. att. Rāmja deformācijas telpiskā blokā.



10.28. att. Telpiskā bloka rāmju augšējo mezglu parvietoējumi, ja disks ir absolūti stingrs:  
 a — bloka noslogojuma shēma; b — bloka virzēs parvietoējums; c — bloka griezes parvietoējums.

Pētījumu rezultātā ir izstrādāta šķērsrāmju aprēķina metodika, ievērojot to telpisko darbību. Šķērsrāmju aprēķins, ievērojot telpisko darbību, tiek reducēts uz plaknisku rāmju aprēķinu, pieņemot, ka plakniskajam rāmim rīģeļa līmenī ir elastīgs balsts, kas samazina rāmja horizontālo pārvietojumu (10.27. att.). Elastīgais balsts ir garensaišu kopnes vai jumta klājs.

Ja ir stings jumta klājs (saliekamās dzelzsbetona plātnes, profilētais tērauda klājs, viļņotais tērauds u. c.), tad jumta klāja konstrukciju var uzskatīt par bezgalīgu stingu disku, kas, iedarbojoties vietējām celtņu slodzēm uz rāmjiem, nodrošina bloka rāmju vienādu pārvietojumu jumta klāja līmenī.

Ražošanas ēku eksperimentālie pētījumi apstiprināja šo pieņēmumu. Tomēr rāmju bloka virzes pārvietojums  $\Delta'$  rodas tikai gadījumā, ja celtņu slodze izvietota simetriski vai tai ekvivalents, pēc deformācijas lieluma nosacītais spēks  $F_e$ , kas darbojas pa rāmja rīģeļa asi, pielikts bloka asij (10.28. att.).

Ja celtņa slodze pielikta nesimetriski (10.28. att. a), tad bloks izdara virzes pārvietojumu  $\Delta'$  (10.28. att. b) un griezes pārvietojumu  $\Delta''$  (10.28. att. c) pret tā griezes centru, kas atrodas bloka šķērsasu un garenasu krustpunktā (sk. 10.28. att. a). Vislielākais pilnais pārvietojums  $\Delta_p = \Delta' + \Delta''$ , ievērojot telpisko darbību, rodas rāmim, kas atrodas aplūkojamā bloka galā. Karkasam ar stingu jumta klāju rāmju aprēķinā, ievērojot telpisko darbību, ieteicams iekļaut kopīgajā darbībā ēkas temperatūras bloka pilnu garumu, ja nav paredzēti klāja pārtraukumi tā garumā. Sai gadījumā par aprēķina rāmi jāņem otrais rāmis no ēkas vai temperatūras bloka gala, jo uz to darbojas vislielākā celtņa slodze.

Šim rāmim ekvivalentā spēka  $F_{e2}$  lielumu, kas atbilst celtņu maksimālajam spiedienam  $D_{2\max}$  vai šķērsbremzēšanai  $T_{2\max}$ , nosaka pēc formulas

$$F_{e2} = \Delta_p / \delta, \quad (10.23)$$

kur  $\Delta_p$  — plakniskā rāmja augšējo mezglu pilnais horizontālais pārvietojums celtņa slodzes iedarbībā;

$\delta$  — plakniskā rāmja pārvietojums, kuru izraisa pa rīģeļa asi pieliktā horizontālā spēka vienība  $F = 1$ .

Ja kolonnu stingums ir vienāds, tad telpiskā bloka rāmja virzes pārvietojums

$$\Delta' = \Delta_p / n, \quad (10.24)$$

kur  $n$  — rāmju skaits blokā.

Visvairāk noslogotā rāmja pārvietojumu, ko izraisa bloka pagrieziens, nosaka pēc ārējā griezes momenta  $F_{e2}e_2$  ( $e_2$  — spēka  $F_{e2}$  pielikšanas plecs pret griezes centru) un plaknisko rāmju elastīgo pretspiedienu  $F_R$  momenta  $F_{R1}l_1 + F_{R2}l_2 + F_{R3}l_3 + \dots$  (10.28. att. c) vienādības, un to aprēķina pēc formulas

$$\Delta'' = (\Delta_p l^2) / (2 \sum l_i^2). \quad (10.25)$$

Tā kā uz rāmju bloku darbojas arī spēki  $F_{e1}$ ;  $F_{e3}$ , ..., kas pieņākas uz blakus rāmjiem, tad to ietekmi ievērtē ar koeficientu

$$\mu = \Sigma F_{ei} / F_{e2} = \Sigma F_{max} / D_{2max}, \quad (10.26)$$

bet bloka šķērsrāmju telpiskā stinguma samazināšanos klāja plātņu iespējamās bīdes dēļ ievērtē ar koeficientu  $k$ .

To ievērojot, aplūkojamā telpiskā bloka rāmja pilno pārvietojumu nosaka pēc formulas

$$\Delta_t = \Delta_p \alpha. \quad (10.27)$$

Šeit  $\alpha$  — telpiskā stinguma koeficients, kuru izskaitļo pēc formulas

$$\alpha = \mu / k (1/n + l_2^2 / (2\Sigma l_i^2)). \quad (10.28)$$

Koeficientu  $k$  var pieņemt 0,8 — vienādslaiduma ēkām ar garenvirsgaismas konstrukcijām, 0,9 — vienlaiduma ēkām bez virsgaismas konstrukcijām un vienāda augstuma divlaidumu un trislaidumu ēkām ar virsgaismas konstrukcijām (sk. 10.4.4. sadaļu).

Aprēķinot rāmi pēc deformāciju metodes, kad par pamatsistēmu pieņem rāmi, kuram augšējos mezglus nostiprina pret pārvietošanos ar papildu stieni rīģeļa ass līmenī, spēkus rāmī, ko izraisa celtņa slodzes, nosaka šādi:

konstruē lieces momentu epīru pēc plakniskā rāmja augšējo mezglu pārvietojuma  $\Delta = 1$  un atrod reaktīvo spēku  $F_{R1}$  papildu stieni, kurš ir vienāds ar šķērsspēku summu rāmja statos;

nosaka lieces momentus un reaktīvo spēku  $F_{Rp}$  pamatsistēmas papildu stienī, kuru izraisa celtņu vertikālais spiediens  $D_{max}$  uz vienu kolonnu un  $D_{min}$  uz otru kolonnu;

atrod aprēķināmā rāmja pilno pārvietojumu  $\Delta_t$  pēc formulām (10.27) un (10.28);

M epīru ordinātas un horizontālās reakcijas, ko izraisa pārvietojuma vienība ( $\Delta = 1$ ), reizina ar  $\Delta_t$  un summē ar attiecīgiem lieces momentiem un reakcijām pamatsistēmās;

pēc iegūtām spēku vērtībām konstruē dotajai sistēmai lieces momentu summāro epīru, ievērojot telpisko darbību.

Tādā pašā secībā nosaka aprēķina spēkus rāmī, kurus izraisa celtņu šķērsbremzēšana.

Ja plakniskos rāmjus aprēķina pēc spēku metodes vai gatavām formulām, tad karkasu telpisko darbību ievērtē citā secībā:

rāmim konstruē lieces momentu epīru, kuru izraisa rāmim vienā augšējā mezglā (rīģeļa līmenī) pieliktā horizontālā spēka vienība  $F = 1$ , un nosaka tā horizontālo pārvietojumu  $\delta_1$  pēc gatavām formulām;

pēc konstruētās M epīras plakniskam rāmim nosaka augšējo mezglu horizontālo pārvietojumu  $\Delta$ , kuru izraisa celtņu slodzes (vertikālais spiediens un šķērsbremzēšana);

ekvivalentā spēka  $F_e$  lielumu, kas darbojas uz rāmi pa rīģeļa asi un izraisa tā augšējiem mezgliem tādu pašu pārvietojumu  $\Delta_p$  kā ārējās celtņu slodzes, atrod pēc formulas

$$F_e = \Delta / \delta_1; \quad (10.29)$$

izskaitļo telpiskā stinguma koeficientu  $\alpha$  pēc formulas (10.28) un telpiskā bloka pārējo rāmju pretspiedienu

$$F_R = F_e(1 - \alpha), \quad (10.30)$$

kas vērstis rāmja pārvietojumam pretējā virzienā;

M epīras ordinātas, kuras izraisa spēka vienība  $F=1$ , reizina ar  $F_R$ ; reizinājumus summē ar lieces momentiem, kurus dotajā plakniskajā sistēmā izraisa celtnu slodzes, un konstruē summāro M epīru rāmim, ievērojot telpisko darbību.

Ja jumta klājs nav stings, tad karkasa telpisko stingumu nodrošina tikai garensaišu kopnes kopņu apakšējo joslu plaknē, kuras uzskata par garendiskiem. Tās jāaprēķina kā nepārtrauktas sistēmas, kuras balstītas uz elastīgiem balstiem.

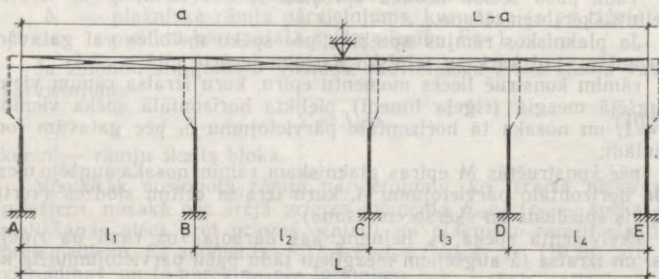
Ievērojot ražošanas ēku karkasu telpisko darbību, samazinās aprēķina spēki rāmjos un tie pēc lieluma tuvojas patiesajiem spēkiem, kā arī samazinās konstrukciju masa. Vislielāko ekonomisko efektu iegūst, ja rāmjiem ir liels augstums, neliels kolonnu solis un kolonnām ir mazs stingums. Ēkās ar 7K un 8K darbības režīma grupas tilta celtniem karkasu telpisko darbību parasti neievēro, lai palielinātu to šķērsstingumu.

### 10.3.5. RĀMJU APRĒKINS PĒC TEMPERATŪRAS IEDARBĪBAS

Ja daudzlaidumu rāmjos, kuru platums pārsniedz 10.2. tabulā dotos lielumus, nav ierīkotas temperatūras garenšuves, tad jāievēro papildu spēki, kas rodas temperatūras iedarbībā.

Nosakot rāmja elementos temperatūras izraisītos spriegumus, rīģeļa elastīgās deformācijas neievēro.

Apskatīsim daudzlaidumu rāmi (10.29. att.), kuram ir laidumi  $l_1, l_2, l_3, \dots$ . Vispirms jānosaka punkts, kas paliek nekustīgs, rīģelim pagarinoties vai saīsinoties temperatūras iedarbībā. Attālumu no šī



10.29. att. Rāmja aprēķina shēma, nosakot temperatūras izraisītos pārvietojumus.

punkta līdz malējai kreisai kolonnai apzīmēsim ar  $a$ , bet līdz malējai labai kolonnai — ar  $L-a$ , kur  $L$  — visu rāmja laidumu summa.

Rīgelim pagarinoties (vai saīsinoties) temperatūras iedarbībā, kolonnu pārvietojumi (skaitot pārvietojumu pa kreisi negatīvu, bet pa labi pozitīvu) ir šādi:

$$\begin{aligned} \text{kolonnai } A & - & -ata \\ \text{kolonnai } B & - & -at(a-l_1) \\ \text{kolonnai } C & - & +at(L-a-l_3-l_4) \\ \text{kolonnai } D & - & +at(L-a-l_4) \\ \text{kolonnai } E & - & +at(L-a) \end{aligned}$$

Šeit  $\alpha=0,000012$  ir tērauda lineārās izplešanās koeficients,  $t$  — temperatūras gradients.

Kolonnu  $A, B, C, D$  un  $E$  elastīgo pretspiedienu horizontālās reakcijas, ko izraisa rīģeļa pārvietojuma vienība, apzīmēsim ar  $F_{1v}, F_{2v}, F_{3v}, F_{4v}$  un  $F_{5v}$ . Reakciju  $F_i$  lielumu mainīga šķēsgriezuma kolonnām var noteikt pēc formulas

$$F = 12EI_{inf}d/h^3, \quad (10.31)$$

kur  $E$  — tērauda elastības modulis;

$I_{inf}$  — kolonnas zemceltņa daļas inerces moments;

$d$  — kolonnas inerces momenta redukcijas koeficients, kuru pieņem pēc rāmju aprēķina grafiķiem;

$h$  — kolonnas augstums.

Uzrakstīsim līdzsvara vienādojumu:

$$\begin{aligned} -ataF_{1v} - at(a-l_1)F_{2v} + at(L-a-l_3-l_4)F_{3v} + \\ + at(L-a-l_4)F_{4v} + at(L-a)F_{5v} = 0, \end{aligned} \quad (10.32)$$

no kurienes

$$\begin{aligned} a = (l_1(F_{2v} + F_{3v} + F_{4v} + F_{5v}) + l_2(F_{3v} + F_{4v} + F_{5v}) + l_3(F_{4v} + F_{5v}) + \\ + l_4F_{5v}) / (F_{1v} + F_{2v} + F_{3v} + F_{4v} + F_{5v}). \end{aligned} \quad (10.33)$$

Nosakot lielumu  $a$ , var atrast katras kolonnas gala patieso pārvietojumu  $\Delta_k$ , rīģelim deformējoties temperatūras iedarbībā, t. i.,

$$\Delta_k = a\alpha_k, \quad (10.34)$$

kur  $\alpha_k$  — attālums no rīģeļa nekustīgā punkta līdz aplūkojamai kolonnai.

Zinot  $\Delta_k$ , pēc rāmja aprēķina nosaka lieces momentus, kas rodas temperatūras izraisīto pārvietojumu ietekmē, kā arī temperatūras radītos papildu spriegumus kolonnu šķēļumos un rāmja režģotā rīģeļa elementos.

### 10.3.6. APRĒĶINA SPĒKU NOTEIKŠANA RĀMJA ELEMENTOS

Aprēķina spēkus rāmī atrod, slogojot to ar pastāvīgo slodzi, sniega slodzi, celtņu vertikālo spiedienu, celtņu šķērsbremzēšanas spēkiem un vēja slodzi.

Rāmja noslogojumam ar pastāvīgo slodzi ir trīs sastāvdaļas: uz rīgeļi vienmērīgi sadalīta lineārā slodze un koncentrētie spēki, kas pielikti pa kolonnām asīm: pastāvīgā slodze uz jumta starpkopnēm, kuru uz kolonnām pārnes jumta pakopnes; garensienu masa, kuru uz kolonnām pārnes speciāli balstgaldiņi; kolonnu masa u. c. Šajā noslogojumā lieces momentus un šķērsspēkus rada tikai uz rīgeļi vienmērīgi sadalītā lineārā slodze; konstruējot garenspēku epīras, koncentrētos spēkus, kas pielikti pa kolonnām asīm, summē ar rīgeļa reakcijām, kuras izraisa vienmērīgi sadalītās lineārās slodzes;

rāmja noslogojums ar lieces momentiem tā augšējos mezglos, kurus izraisa pārseguma slodzes un sienu masas rīgeļa augstumā pārvešana uz kolonnas virsceltņa daļas asīm;

rāmja noslogojums ar lieces momentiem pakāpjveida kolonnu šķērsriezuma izmaiņas vietā, kurus izraisa garenspēku pārvešana no kolonnas virsceltņa daļas uz kolonnas zemceltņa daļas asi, kā arī sienas daļas masa, kas pielikta šī šķēluma tuvumā.

Rāmja noslogojumam ar sniega slodzi ir trīs sastāvdaļas, analogi kā noslogojumam ar pastāvīgo slodzi.

Simetriska vienlaiduma rāmja noslogojumā ar celtņu vertikālo spiedienu ietilpst divi lieces momenti  $M_{max}$  un  $M_{min}$ , kurus izraisa celtņu attiecīgo balstu spiedienu  $D_{max}$  un  $D_{min}$  pārvešana uz kolonnām asīm. Šos spiedienus ievēro, konstruējot garenspēku epīras.

Rāmja noslogojums ar celtņu šķērsbremzēšanas spēkiem tiek pārvests uz kolonnām bremzēšanas sijas līmenī un pielikts vienai aplūkojamā laiduma kolonnai. Simetriskiem vienlaiduma rāmjiem pietiek aplūkot tikai vienu kolonnām.

Rāmja noslogojums ar vēja slodzi sastāv no divām trim sastāvdaļām:

noslogojums ar sadalītu šķērsslodzi, kas pielikta abām kolonnām, t. i., ar vēja aktīvo spiedienu un sūci;

noslogojums ar horizontāliem koncentrētiem spēkiem, kas pielikti rīgeļa līmeni.

Pēc rāmja aprēķina rezultātiem, kurus iegūst, noslogojot rāmi ar atsevišķām pastāvīgās, sniega, celtņu un vēja slodzes sastāvdaļām, konstruē summārās  $M$ ,  $N$  un  $Q$  epīras pilnam noslogojumam ar šīm atsevišķām slodzēm un sastāda aprēķina spēku tabulu (sk. 10.4. tab.) raksturīgiem kolonnas šķēlumiem.

Šķērsspēku lielumus tabulā ieraksta tikai augšējam un apakšējam kolonnas šķēlumam, jo tie nepieciešami tikai kolonnas virsceltņa daļas sienuņas noturības pārbaudei un režģotas kolonnas zemceltņa daļas režģa aprēķinam.

Saskaņā ar projektēšanas normām [21] sastāda šādas slodžu kombinācijas:

pamatslodžu kombinācijas, kuras sastāv no pastāvīgām, ilgstošām un īslaicīgām slodzēm;

sevišķo slodžu kombinācijas, kuras sastāv no pastāvīgām, ilgstošām, iespējamām īslaicīgām un vienas sevišķās slodzes.

Aprēķinot konstrukcijas pēc pamatslodžu kombinācijām, kurās ietilpst tikai viena īslaicīgā slodze, pēdējās vērtību ievēro bez samazinājuma, t. i., kombinācijas koeficienti  $\psi_1 = \psi_2 = 1$ , bet, aprēķinot konstrukcijas pēc pamatslodžu kombinācijām, kurās ietilpst divas vai vairākas īslaicīgās slodzes, šo slodžu vai to izraisīto spēku aprēķina vērtības pareizina ar kombinācijas koeficientiem: ilgstošām slodzēm ar  $\psi_1 = 0,95$ , īslaicīgām slodzēm ar  $\psi_2 = 0,9$ . Ja pamatslodžu kombinācijās ietilpst trīs vai vairākas īslaicīgās slodzes, tad to aprēķina vērtības var pareizināt ar kombinācijas koeficientu  $\psi_2$ , pie tam pēc ietekmes pakāpes pirmajai īslaicīgai slodzei pieņem  $\psi_2 = 1,0$ , otrai slodzei —  $\psi_2 = 0,8$ , bet pārējām slodzēm —  $\psi_2 = 0,6$ .

Aprēķinot konstrukcijas pēc sevišķo slodžu kombinācijām, ilgstošo slodžu vai to izraisīto spēku aprēķina vērtības pareizina ar kombinācijas koeficientu  $\psi_1 = 0,95$ , bet īslaicīgo slodžu vai to spēku aprēķina vērtības — ar  $\psi_2 = 0,8$ . Šai gadījumā sevišķā slodze jāievēro bez samazinājuma.

Sastādot slodžu kombinācijas, sniega un celtņu slodzes pilno normatīvo vērtību un vēja slodzi pieņem par īslaicīgām slodzēm, viena celtņa vertikālo spiedienu un šķērsbremzēšanu uzskata par vienu īslaicīgu slodzi.

Pēc rāmja statiskā aprēķina datiem sastāda vairākas aprēķina spēku kombinācijas. Katram kolonnas raksturīgam šķēlumam (sk. 10.4. tab.) nosaka

vislielāko pozitīvo lieces momentu  $M_{max}$  un atbilstošo garenspēku  $N_{atb}$ ;

vismazāko (algebriski) lieces momentu  $M_{min}$  un atbilstošo garenspēku  $N_{atb}$ ;

vislielāko spiedes garenspēku  $N_{max}$  un atbilstošo pozitīvo lieces momentu  $+M_{atb}$ ;

vislielāko spiedes garenspēku  $N_{max}$  un atbilstošo negatīvo lieces momentu  $-M_{atb}$ .

10.4. tabula

Iekšējo spēku aprēķina vērtības

Kolonnas shēma	Sīkklums	Iekšējo spēki	Spēki no atsevišķiem noslogojumiem										Noslogojuma numuri un iekšējo spēku aprēķina vērtību kombinācijas					
			vēja slodze		celtņa slodze iaidumus								$M_{max}$	$M_{min}$	$ N _{max}$	$N_{atb}$		
			pasta vīga slodze	sniega slodze	pirmais				otrais									
					no kreisās puses	no labās puses	$D_{max}$ uz kolonnas kreisā labā	$T_{max}$ uz kolonnas kreisā labā	$D_{max}$ uz kolonnas kreisā labā	$T_{max}$ uz kolonnas kreisā labā								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	IV-IV	M N Q																
	III-III	M N																
	II-II	M N																
	I-I	M N Q																

Bez tam šķēlumā  $I-I$  sastāda pamatu skrūvju aprēķinam nepieciešamo slodžu kombināciju — vismazāko spiedes garenspekku  $N_{\min}$  ar atbilstošiem iespējami lielākiem lieces momentiem  $\pm M_{\text{atb}}$ . Pamatu skrūvju aprēķinā konstrukcijas masas samazinājums var pasliktināt tās darbības apstākļus, tāpēc pastāvīgās aprēķina slodzes noteikšanai slodzes drošuma koeficientu pieņem 0,9 [21]. To ievērojot, pastāvīgās slodzes izraisītos spēkus pieņem, dalot tabulā atrastās vērtības ar pastāvīgās slodzes vidējo drošuma koeficientu 1,1 un pēc tam atrasto slodzes normatīvo vērtību reizinot ar slodzes drošuma koeficientu 0,9.

Sastādot slodžu kombinācijas ikvienam šķēlumam, jāievēro šādi apsvērumi:

pastāvīgo slodžu izraisītie spēki jāievēro visos gadījumos neatkarīgi no zīmes;

celtņu šķērsbremzēšanas spēkam  $T$  uz katru kolonnu var būt dažāds virziens, tāpēc lieces momentiem un šķērsspēkiem vienlaikus ir zīme «+» un «-»;

celtņu šķērsbremzēšanas spēki nerodas, ja nav celtņu vertikālā spiediena, un otrādi — vertikālais spiediens var rasties, ja nav bremsēšanas.

## 10.4. PĀRSEGUMU KONSTRUKCIJAS

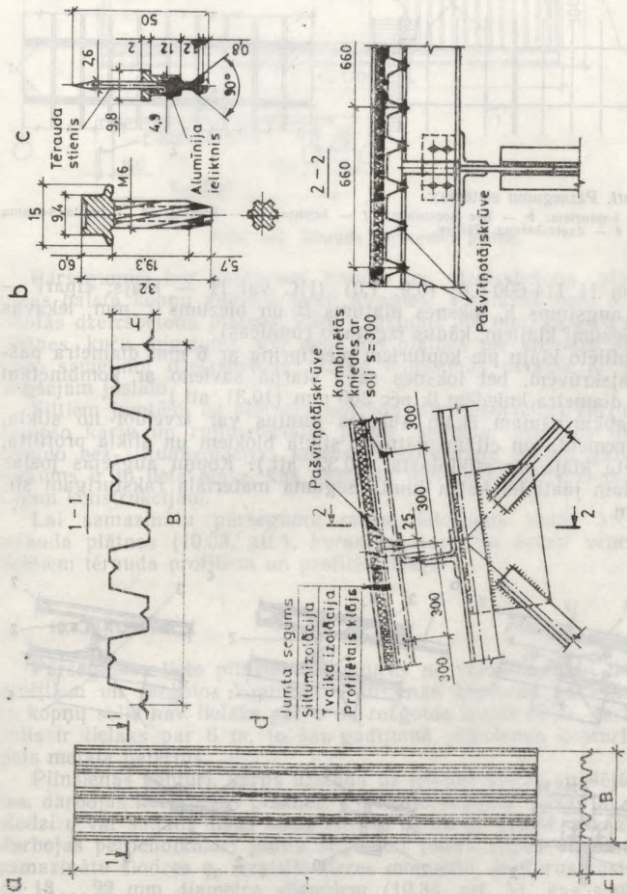
### 10.4.1. PĀRSEGUMU SISTĒMAS

Ražošanas ēku pārsegumu konstrukcijas sastāv no jumta (norobežojošām) konstrukcijām — nesošajiem elementiem (kopturiem, klājiem, plātnēm, kopnēm un virsgaismas konstrukcijām), jumta seguma un pārseguma saitēm, kas nodrošina visa pārseguma telpisko nemainīgumu, stingumu un noturību, kā arī atsevišķo elementu noturību.

Apkurināmām ražošanas ēkām izbūvē siltos jumtus, neapkurināmām ēkām — aukstos jumtus. Ražošanas ēkām lieto divu tipu pārsegumu sistēmas — ar kopturiem un bez kopturiem (10.30. att.).

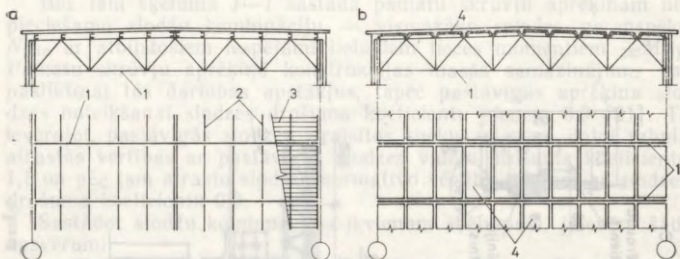
Pārsegumiem ar kopturiem jumta kopņu augšējo joslu mezglos ik pēc 1,5 vai 3,0 m uzstāda kopturus, uz kuriem novieto cinkotā tērauda profilēto klāju vai 3,0 m garas keramzītbetona vai azbestcimenta plātnes. Uz klāja ierīko tvaika izolācijas kārtu, efektīvu siltumizolācijas, asfalta vai cementa javas izlīdzinošo slāni un ruļvmateriālu jumta segumu. Keramzītbetona plātnes apvieno nesošās un arī siltumizolācijas kārtas funkcijas.

Profilētais klājs ir viegls, un to lieto ražošanas ēku pārsegumos. Profilēto klāju izgatavo no 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 un 1,0 mm biezām cinkotā tērauda loksnēm, kuru platums ir 600; 750; 800; 845 un 1000 mm, gofru augstums 40; 44; 57; 60; 75 un 114 mm un garums 3...12 m. Saskaņā ar ГОСТ 24045—86 lieto klāju apzīmējumus HC 40-800-0,6; (0,7); HC 44-1000-0,7; H 57-750-0,7; (0,8); H 60-845-0,7; (0,8; 0,9); H 75-750-0,8; (0,9); H 114-750-0,8; (0,9;



10.31. att. Pārsegums ar kopturietiem:

a — jumta segums; b — pārsegums ar kopturietiem; c — pašvītņotājskrūve; d — kombinētā kniede; e — pārseguma mezgls.



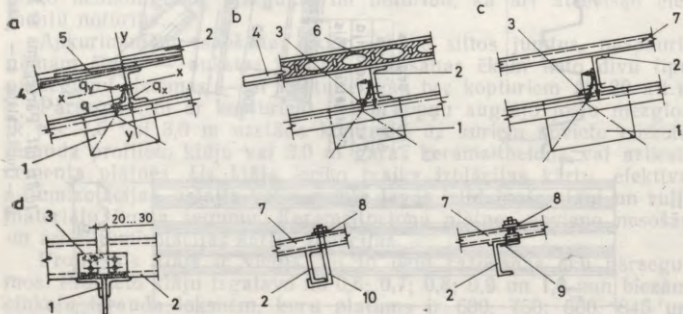
10.30. att. Pārsegumu sistēmas:

*a* — ar kopturiem; *b* — bez kopturiem; 1 — kopnes; 2 — kopturi; 3 — jumta seguma plātnes; 4 — dzelzsbetona plātnes.

1,0) un H 114-600-0,8; (0,9; 1,0) (HC vai H — klājs; cipari — gofru augstums  $h$ , loksnes platums  $B$  un biezums  $t$ , mm; iekavās doti biezumi klājiem, kādus izgatavo rūpnīcās).

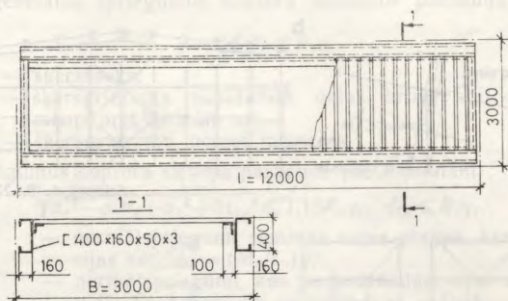
Profilētā klāju pie kopturiem piestiprina ar 6 mm diametra pašvītņotājskrūvēm, bet loksnes savā starpā savieno ar kombinētām 5 mm diametra kniedēm ik pēc 300 mm (10.31. att.).

Neapkurināmām ēkām aukstos jumtus var izveidot no stikla, azbestcimenta un citām plātnēm, stikla blokiem un stikla profilīta, profilētā klāja un stiklplasta (10.32. att.). Kopņu augšējās joslas apveidam jāatbilst katra jumta seguma materiāla raksturīgam slīpumam.



10.32. att. Aukstie jumti:

*a* — no plakanām (stikla, azbestcimenta u. c.) plātnēm; *b* — no stikla profilīta un stikla blokiem; *c* — no profilētām loksņēm (tērauda, alumīnija sakausējumu, stiklplasta u. c.); *d* — jumta detaļas; 1 — kopne; 2 — kopturi; 3 — lenkprofila izgabals; 4 — T profils; 5 — plakana plātnes; 6 — stikla bloki; 7 — profilīta loksne; 8 — blīvējoša starplika; 9 — veidplāksne; 10 — skava.



10.33. att. Tērauda pārseguma plātne.

Pārsegumus bez kopturiem izveido no dzelzsbetona plātnēm, kuras balsta kopņu augšējo joslu mezglos. Visplašāk lieto  $3 \times 6$  m ribotās dzelzsbetona plātnes, kuru augstums 300 mm, kā arī  $3 \times 12$  m plātnes, kuru augstums 450 mm. Šīs plātnes pie kopnēm piestiprina, sametinot dzelzsbetona plātņu ieliekamās detaļas ar kopņu augšējām joslām.

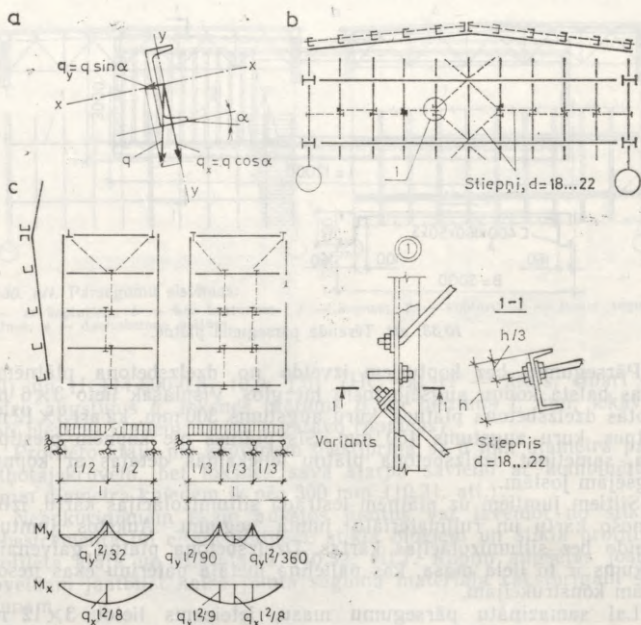
Siltiem jumtiem uz plātnēm iestrādā siltumizolācijas kārtu, izlīdzinošo kārtu un ruļļmateriālu jumta segumu. Aukstos jumtus izveido bez siltumizolācijas kārtas. Dzelzsbetona plātņu galvenais trūkums ir to lielā masa, kas palielina metāla patēriņu ēkas nesošajām konstrukcijām.

Lai samazinātu pārsegumu masu, ieteicams lietot  $3 \times 12$  m tērauda plātnes (10.33. att.), kuras izgatavo no auksti velmētiem liektiem tērauda profiliem un profilētā klāja.

#### 10.4.2. KOPTURI

Pārsegumos lieto pilnsienas kopturus no velmētiem vai liektiem profiliem un režģotos kopturus. Pilnsienas kopturus parasti lieto, ja kopņu solis nav lielāks par 6 m, režģotos kopturus —, ja kopņu solis ir lielāks par 6 m, jo šai gadījumā pilnsienas kopturiem ir liels metāla patēriņš.

Pilnsienas kopturi, kurus uzstāda uz kopnes slīpās augšējās joslas, darbojas liecē divās plaknēs. Vertikālo seguma masas un sniega slodži  $q$  var sadalīt divās komponentēs  $q_x$  un  $q_y$  (10.34. att. a), kas darbojas perpendikulāri jumta slīpei un jumta slīpes virzienā. Lai samazinātu slodzes  $q_y$  izraisīto lieces momentu, kopturus sastiprina ar 18...22 mm diametra stieņiem (10.34. att. b), kas samazina kopturu aprēķina laidumu jumta slīpes plaknē. Stieņņus uzstāda starp visiem kopturiem, izņemot tikai kores kopturi. Stieņņus paneļos pie kores izviēto slīpi un piestiprina pie kopnes vai arī kores koptura balstu tuvumā.



10.34. Kopturu aprēķina shēmas:

a — slodzes darbības shēma; b — stiepņu izvietojums jumta slīpes plaknē; c — koptura aprēķina spēku noteikšanas shēma.

Slodzes komponentes atkarībā no jumta slīpuma leņķa nosaka pēc formulām

$$q_x = q \cos \alpha \text{ un } q_y = q \sin \alpha. \quad (10.35)$$

Lieces moments koptura mazākā stinguma plaknē ir atkarīgs no stiepņu skaita (10.34. att. c). Ja kopņu solis ir 6 m, tad parasti uzstāda vienu stiepni, bet, ja kopņu solis ir 12 m vai jumta slīpums ir liels, tad ieteicams uzstādīt divus stiepņus.

Uzstādot vienu stiepni, lieces momentu jumta slīpes plaknē nosaka kā balstmomentu divlaidumu sijai (tajā pašā šķēlumā, kur  $M_x$  ir maksimālais). Lieces momentu lielumi, uzstādot vienu vai divus stiepņus, doti 10.34. attēlā c.

Kopturu stiprību pārbauda pēc formulas

$$(M_x / I_{xn}) y \pm (M_y / I_{yn}) x \leq R_y \gamma_c, \quad (10.36)$$

kur  $x$  un  $y$  — šķērsriezuma aplūkojamā punkta koordinātas pret galvenajām asīm.

Tangenciālos spriegumus koptura šķēļumos pārbauda pēc formulas

$$\tau = QS/It \leq R_s \gamma_c. \quad (10.37)$$

kur  $Q$  — šķērsspēks;

$S$  — šķērsriezuma nobīdāmās daļas bruto statistiskais moments pret neitrālo asi;

$I$  — šķērsriezuma inerces moments.

Spriegumus koptura sienīnā pārbauda pēc formulām

$$\sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq 1,15 R_y \gamma_c; \quad \tau_{xy} \leq R_s \gamma_c, \quad (10.38)$$

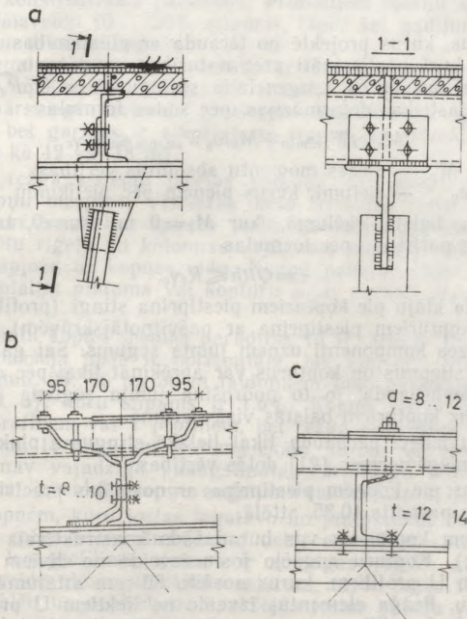
kur  $\sigma_x$  — normālspriegumi sienīņas vides plaknē, kuri paralēli sijas asij;  $\sigma_x = (M_x/I_n)y$ ;

$\sigma_y$  — normālspriegumi, kas perpendikulāri sijas asij;

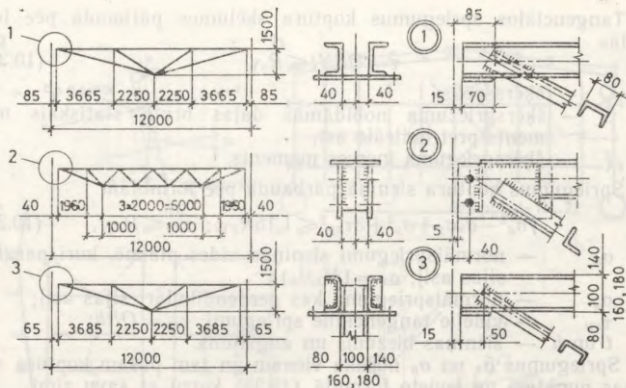
$\tau_{xy}$  — vidējie tangenciālie spriegumi;  $\tau_{xy} = Q/th$ ;

$t$  un  $h$  — sienīņas biezums un augstums.

Spriegumus  $\sigma_x$  un  $\sigma_y$  nosaka vienam un tam pašam koptura sienīņas punktam un ievieto formulā (10.38) katru ar savu zīmi.



10.35. att. Kopturu piestiprināšanas mezgli.



10.36. att. Tipa režģoto kopturu shēmas un mezgli.

Kopturus, kurus projektē no tērauda ar plūstamības robežu līdz 580 MPa, kuri nostiprināti pret noturības zaudēšanu, uzņem statisku slodzi un kuros tangenciālie spriegumi  $\tau \leq 0,5R_s$ , aprēķina, ievērojot plastiskās deformācijas, pēc šādas formulas:

$$M_x/c_x W_{xn, \min} + M_y/c_y W_{yn, \min} \leq R_f \gamma_c, \quad (10.39)$$

kur  $M_x$  un  $M_y$  — lieces momentu absolūtās vērtības;  
 $c_x$  un  $c_y$  — lielumi, kurus pieņem pēc pielikumu 10. tabulas.

Koptura balsta šķēlumā, kur  $M_x=0$  un  $M_y=0$ , tangenciālos spriegumus pārbauda pēc formulas

$$\tau = Q/th \leq R_s \gamma_c. \quad (10.40)$$

Ja jumta klāju pie kopturiem piestiprina stingi (profilēto tērauda klāju pie kopturiem piestiprina ar pašvītņotājskrūvēm), tad jumta slīpes slodzes komponenti uzņem jumta segums. Sai gadījumā var neuzstādīt stieņus un kopturus var aprēķināt tikai pēc  $q_x$ . Kopturu noturību nepārbauda, jo to nodrošina jumta seguma plātnes vai klājs, kas uz kopturiem balstās visā garumā.

Kopturu izlieci pārbauda tikai lielākā stinguma plaknē. Tā nedrīkst pārsniegt normās [21] dotās vērtības.

Kopturus pie kopnēm piestiprina ar normālas precizitātes skrūvēm, kā tas parādīts 10.35. attēlā.

Režģotiem kopturiem var būt dažāds konstruktīvais risinājums (10.36. att.). Kopturu augšējo joslu izveido no diviem velmētiem vai liektiem U profiļiem, kurus novieto 80 mm attālumā ar plauktiem uz āru. Režģa elementus izveido no liektiem U profiļiem vai velmētiem leņķprofīļiem un pie joslām piemetina bez fasonlapām.

Režģotos kopturus aprēķina kā kopnes ar atbilstošu režģa sis-

tēmu un nepārtrauktu augšējo joslu. Koptura augšējā josla darbojas spiedē un liecē (vienā plaknē, ja nedarbojas komponente  $q_y$ , vai divās plaknēs), bet pārējie elementi uzņem garenspēkus.

### 10.4.3. JUMTA KOPNES UN PAKOPNES

Kopņu projektēšanas galvenie jautājumi iztirzāti 9. nodaļā, bet šeit aplūkosim tikai kopņu lietošanu ražošanas ēku pārsegumos.

Ražošanas ēku pārsegumiem lieto dažāda apveida kopnes. Noteikta tipa kopnes izvēle ir atkarīga no ražotņu tehnoloģiskajām prasībām. Šīs prasības nosaka ēkas šķērsriezuma konfigurāciju, atsevišķo laidumu izmērus, augstumu utt.

Parastajām ražošanas ēkām ir izstrādātas tipa pārseguma konstrukcijas. Kopņu augšējo joslu slīpums ir atkarīgs no jumta seguma materiāliem. Ruļļu un mastikas materiāliem šo slīpumu pieņem 1,5...5,0%, kas dod iespēju lietot paralēljoslu kopnes, kurām augšējās joslas nepieciešamo slīpumu (1,5%) ūdens notecei nodrošina konstruktīvais pacelums. Profiliētiem lokšņu seguma materiāliem jāizveido 10...20% slīpums, tāpēc šai gadījumā projektē vienslīpu un divslīpu kopnes.

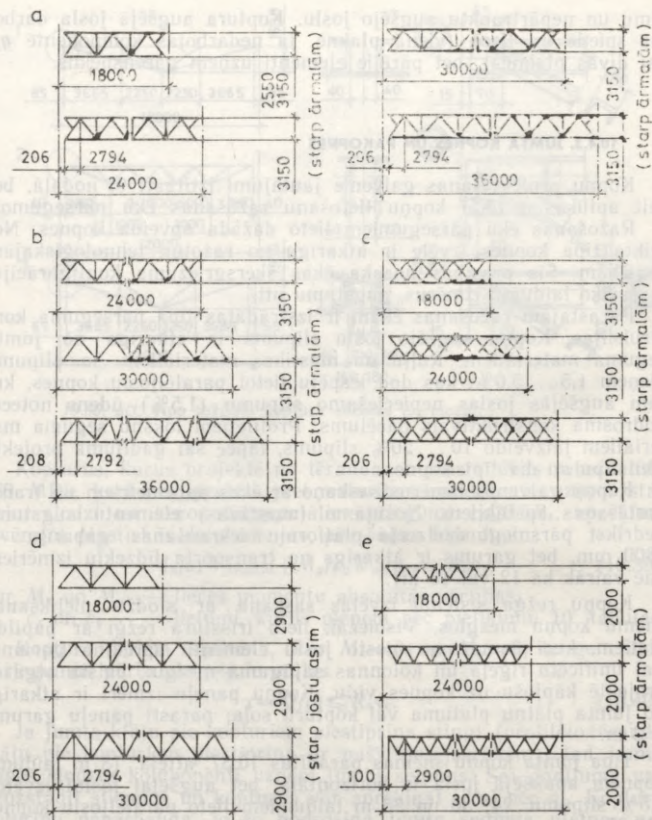
Kopņu galvenos izmērus saskaņo ar ēkas parametriem un transportēšanas apstākļiem. Nosūtāmo (montāžas) elementu augstums nedrīkst pārsniegt dzelzceļa platformu iekraušanas gabarītu — 3800 mm, bet garums ir atkarīgs no transporta līdzekļu izmēriem (ne vairāk kā 12 vai 18 m).

Kopņu režģa sistēmu izvēlas saskaņā ar slodžu pielikšanas shēmu kopņu mezglos. Visbiežāk lieto trīsstūra režģi ar papildu statiem, kuri samazina spiesto joslu elementu aprēķina garumu. Lai unificētu rīgeļa un kolonnas sajūguma mezglu, balsta atgāzni projektē kāpjošu uz kopnes vidu. Kopņu paneļu izmēri ir atkarīgi no jumta plātņu platuma vai kopturu soļa; parasti paneļu garums ir 3 m.

Tipa jumta kopņu shēmas parādītas 10.37. attēlā. 18 m laiduma kopnēm apakšējā josla ir horizontāla, bet augšējai joslai izveido 1,5% slīpumu. 24; 30 un 36 m laidumiem lieto paralēljoslu kopnes (10.37. att. a), kuru slīpums ir 1,5%. Kopņu joslas izgatavo no pāra leņķprofiliem vai T profiļiem, bet režģa elementus — no pāra leņķprofiliem. 18 un 24 m laiduma ēkām, kurām pēc ekspluatācijas prasībām nav vajadzīga paaugstināta starpkopņu telpa, no pāra leņķprofiliem izveidotu kopņu augstumu var samazināt līdz 2550 mm.

Tipa kopnēm, kuru joslas izgatavo no platplauktu dubult-T profiļiem, bet režģa elementus — no liekti metinātiem slēgtiem profiļiem vai leņķprofiliem, shēmas ir analogas (10.37. att. b). Šīm kopnēm izveido atloku montāžas salaides, tāpēc šajās vietās režģa stati ir dublēti un nobīdīti uz apakšējās joslas paneļa vidu.

Kopnēm ar krusta režģi, kas izveidots no savrupa leņķprofila (10.37. att. c), ir vienkāršs mezglu sajūgums, jo režģa elementus



10.37. att. Tipa jumta kopņu shēmas:

*a* — joslas izveidotas no pāra lenkprofiliem un T profiļiem; *b* — joslas izveidotas no platplauktu dubult-T profiļiem, režģis — no slēgtiem profiļiem vai lenkprofiliem; *c* — joslas izveidotas no T profiļiem, režģis — no savrupa lenkprofila; *d* — joslas izveidotas no caurulēm; *e* — joslas izveidotas no liekti metinātiem slēgtiem profiļiem.

tieši piemetina pie joslām. Šīm kopnēm joslas izgatavo no T profiļiem.

Tipa kopnēm, kas izveidotas no caurulēm (10.37. att. *d*), ir tradicionālā režģa sistēma, izņemot 24 m laiduma kopnes. Jumta kopņu apakšējā josla ir horizontāla, bet augšējai joslai ir 1,5% slīpums. Kopņu augstums asīs uz balsta ir 2900 mm, bet to pilnais

augstums ir atkarīgs no joslu cauruļu diametra un mainās no 3000 līdz 3380 mm.

Vienlaiduma un daudzlaidumu ražošanas ēkām, kuru laidumi 18; 24 un 30 m un kolonnu solis malējās un vidējās rindās 12 m, ir izstrādātas kopnes no liekti metinātiem slēgtiem profiliem (10.37. att. *e*). Šīs kopnes lieto pārsegumu sistēmām bez kopturiem, profilēto klāju ik pēc 4 m balsta tieši uz jumta kopņu augšējām joslām. Jumta kopņu joslām ir 1,5% slīpums un trīsstūra režģa sistēma ar kritošiem balsta atgāžņiem. Jumta starpkopņu balstīšanai ēkas kolonnu rindās uzstāda jumta pakopnes. Jumta kopnes un pakopnes uz kolonnām un jumta starpkopnes uz pakopnēm balsta šarnirveidā.

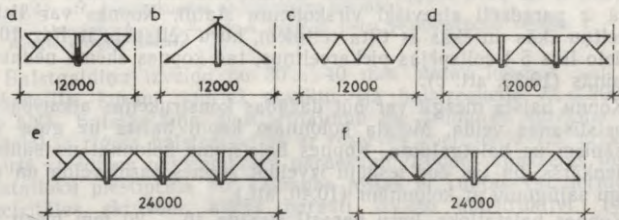
Pārseguma nemainību horizontālā plaknē nodrošina vienlaidu disks, ko veido profilētais klājs, kas piestiprināts pie kopņu augšējām joslām. Klājs sasaista kopņu augšējās joslas perpendikulāri kopņu plaknei un uzņem visus horizontālos spēkus, pārnesot tos uz pārsegumu.

Ja ēkās kolonnu solis nesakrīt ar kopņu soli, tad uz malējo un vidējo rindu kolonnām uzstāda jumta pakopnes, uz kurām balsta jumta starpkopnes.

Tipa jumta pakopnes ir paralēljoslū vai trīsstūra. To elementu šķērsgrīzumu pieņem saskaņā ar jumta kopņu risinājumu — no pāra leņķprofiliem, platplauktu dubult-T un T profiļiem, kā arī no caurulēm un liekti metinātiem slēgtiem profiļiem.

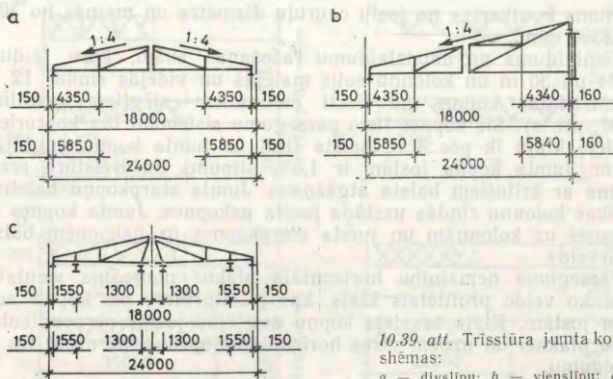
Paralēljoslū jumta kopņu un pakopņu (10.38. att. *a*) sajūgumu izveido, savienojot to malējās skaldnes vienā līmenī. Jumta pakopņu augstums starp joslu ārmaļām ir 3130 mm.

Kopnes ar joslām, kas izveidotas no platplauktu dubult-T profiļiem, T profiļiem un caurulēm, balsta uz trīsstūra pakopnēm (10.38. att. *b*), kuru augstumu laiduma vidū starp apakšējās joslas ārmaļu un fasonlapu koptura piestiprināšanai pieņem vienādu ar jumta kopnes augstumu.



10.38. att. Jumta pakopņu shēmas:

*a*, *d* un *e* — pakopnes izveidotas no pāra leņķprofiliem; *b* — pakopnes izveidotas no platplauktu T profiļiem un caurulēm; *c* — pakopnes izveidotas no liekti metinātiem slēgtiem profiļiem; *f* — pakopnes izveidotas no pāra leņķprofiliem.



10.39. att. Trīsstūra jumta kopņu shēmas:  
 a — divslīpu; b — vienslīpu; c — ar piekarceltņi.

No liekti metinātiem slēgtiem profiliem izveidotu jumta pakopņu augstums ir 1700 mm (10.38. att. c). Jumta kopnes balsta uz to augšējām joslām mezglu vietās.

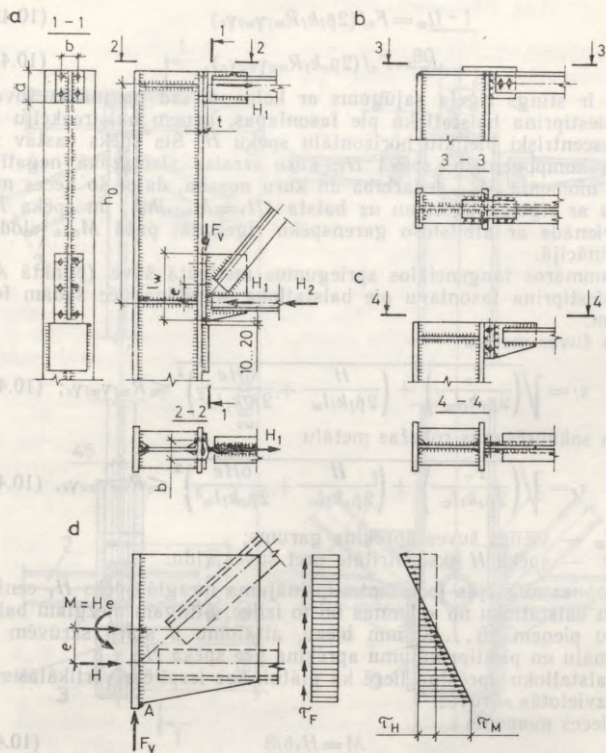
Ja kolonnu solis vidējās rindās ir 18 vai 24 m, var lietot jumta pakopnes, kurām jumta kopnes uzstāda ar 6 vai 12 m soli (10.38. att. d, e un f). So pakopņu augstums ir 3130 mm.

Neapkurināmām ēkām, kurām jumta segumu ieklāj no viļņotām azbestcements loksēm, pārsegumu izveido no trīsstūra kopnēm, kuru augšējās joslas slīpums 1:4. Vienlaiduma ēkām ar 18 un 24 m laidumu ir izstrādātas divslīpu kopnes (10.39. att. a), bet divlaidumu ēkām — vienslīpu kopnes (10.39. att. b), kurām ir izretināts režģis un stinga augšējā josla. Kopturus uz augšējās joslas balsta ik pēc 1,5 m, tāpēc augšējā josla ir ekscentriski spiesta un projektēta no platplauktu dubult-T profila, bet apakšējā josla un režģa elementi ir no pāra leņķprofiliem. Divlaidumu ēkām vidējā kolonnu rindā ir paredzēti atsevišķi virskolonnu statņi. Kopnes var lietot bezceltņu ēkās un ēkās ar tilta celtņiem, kuru celtspēja ir līdz 10 t. Ja lieto līdz 5 t celtspējas piekarceltņus, tad kopnes shēma nedaudz izmainās (10.39. att. c).

Kopņu balsta mezgli var būt dažādas konstrukcijas atkarībā no to balstīšanas veida. Metāla kolonnām kopni balsta uz gala vai no sāniem uz balstgaldiņa. Kopnes balstījums kolonnai no sāniem ir vienkāršs, un tas dod iespēju izveidot kopnes šarnīrveida un arī stingu sajūgumu ar kolonnām (10.40. att.).

Kopnes balstatloks, kuru parasti izveido 16...20 mm biezu un kuram galu nofrēzē, pārnēs vertikālo balstreakciju  $F_v$  uz balstgaldiņu. Balstatloka gala šķērsriezumu aprēķina virsmas spiedē:

$$A_{cat} = F_v / (R_p \gamma_c). \quad (10.41)$$



10.40. att. Jumta kopnes sajūgums ar kolonnu:

a — kopskats; b un c — kopnes augšējās joslas piestiprināšanas varianti; d — mezgla aprēķina shēma.

Balstgaldiņu izveido no 30...40 mm biezas loksnes vai arī lenķprofila, kuram nogriež plauktu (ja balstreakcija  $F_v \leq 200 \dots 250$  kN). Balstgaldiņa piestiprinājumu pie kolonnas aprēķina pēc vislielākās rīģeļa balstreakcijas ar rezerves koeficientu 1,3, ar kuru ievērtē spiediena nevienmērīgu pārnesanu. Kopnes apakšējās joslas balstatloku piestiprina pie kolonnas joslas ar rupjas vai normālas precizitātes skrūvēm, kuras parasti izvieto konstruktīvi (6—8 skrūves).

Ja kopnei ar kolonnu izveido šarnīrveida sajūgumu, tad metinātās šuves, kuras piestiprina balstatloku pie fasonlapas, uzņem balstreakciju, un to garumu nosaka pēc formulas

$$l_w = F_v / (2\beta_f k_f R_{wf} \gamma_w \gamma_c) \quad (10.42)$$

vai

$$l_w = F_v / (2\beta_z k_f R_{wz} \gamma_w \gamma_c). \quad (10.43)$$

Ja ir stings rīgeļa sajūgums ar kolonnu, tad metinātās šuves, kas piestiprina balstatloku pie fasonlapas, uzņem balstreakciju  $F_v$  un ekscentriski pieliktu horizontālu spēku  $H$ . Šis spēks sastāv no divām komponentēm: spēka  $H_1$ , kuru izraisa vismazākā negatīvā lieces momenta  $M_{\min}$  iedarbība un kuru nosaka, daļot šo lieces momentu ar rīgeļa augstumu uz balsta ( $H_1 = M_{\min}/h_0$ ), un spēka  $H_2$ , kas vienāds ar atbilstošo garenspēku rīgelī tai pašā  $M_{\min}$  slodžu kombinācijā.

Summāros tangenciālos spriegumus metinātā šuvē (punktā  $A$ ), kas piestiprina fasonlapu pie balstatloka, aprēķina pēc šādām formulām:

pa šuves metālu

$$\tau_f = \sqrt{\left(\frac{F_v}{2\beta_f k_f l_w}\right)^2 + \left(\frac{H}{2\beta_f k_f l_w} + \frac{6He}{2\beta_f k_f l_w^2}\right)^2} \leq R_{wf} \gamma_w \gamma_c; \quad (10.44)$$

pa sakausēšanas robežas metālu

$$\tau_z = \sqrt{\left(\frac{F_v}{2\beta_z k_f l_w}\right)^2 + \left(\frac{H}{2\beta_z k_f l_w} + \frac{6He}{2\beta_z k_f l_w^2}\right)^2} \leq R_{wz} \gamma_w \gamma_c, \quad (10.45)$$

kur  $l_w$  — vienas šuves aprēķina garums;

$e$  — spēka  $H$  ekscentritāte pret šuves vidu.

Kopnes augšējās joslas piestiprinājuma mezglā spēks  $H_1$  cenšas atraut balstatloku no kolonnas un to izliec. Stingam mezglam balstatloku pieņem 16...20 mm biezu, attālumu  $b$  starp skrūvēm — minimālu un piestiprinājumu aprēķina pēc spēka  $H_1$ .

Balstatloku aprēķina liecē kā plātni, kas iespilēta vertikālās rindās izvietotās skrūvēs.

Lieces moments

$$M = H_1 b / 8 \quad (10.46)$$

un spriegumi

$$\sigma = M/W = (H_1 b / 8) / (at^2 / 6) = (3/4 H_1 b) / (at^2) \leq R_v \gamma_c, \quad (10.47)$$

kur  $a$  un  $t$  — balstatloka garums un biezums;

$b$  — attālums starp vertikālajām skrūvju rindām.

Parasti augšējo mezglu projel'e tā, lai spēka  $H_1$  darbības līnija ietu caur balstatloka centru, jo šai gadījumā šuvē rodas tikai cirtes spriegumi.

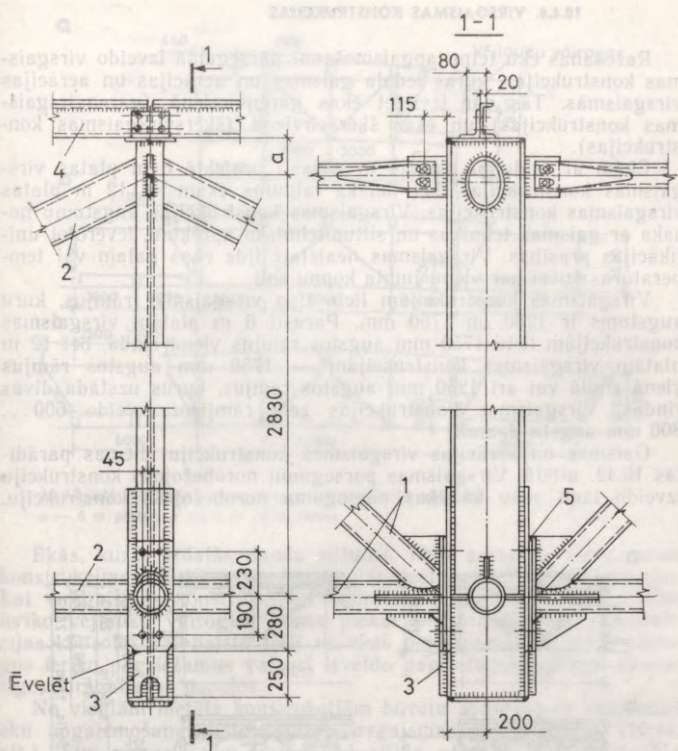
Nepieciešamo skrūvju skaitu balstatloka piestiprināšanai pie kolonnas aprēķina pēc formulas

$$n = H_1 / N_b, \quad (10.48)$$

kur  $N_b$  — skrūves aprēķina stiepes spēks;  $N_b = R_{bt} A_{bn}$ .

Seit  $R_{bt}$  — skrūves aprēķina stiepes pretestība;

$A_{bn}$  — skrūves neto šķērsriezuma laukums.



10.41. att. No apaļām caurulēm izveidotas jumta kopnes balstišana uz jumta pakopnes:

1 — jumta kopne; 2 — pakopne; 3 — balsigaldiņš; 4 — kopturis; 5 — montāžas starplika.

Ja kopnes augšējās joslas balstatloku izveido 8...10 mm biezu un iespējami īsu, bet attālumu starp skrūvēm pieņem pietiekami lielu ( $b=160 \dots 200$  mm), tad tas būs tik lokans, ka nespēs uzņemt horizontālo spēku  $H$ . Sai gadījumā rīgeļa (kopnes) sajūgumu ar kolonnu var uzskatīt par šarnīrveida.

Jumta kopnes uz jumta pakopnēm var balstīt dažādi atkarībā no to konstruktīvā risinājuma. Jumta kopnes, kas izveidota no caurulēm, balstišana uz jumta pakopnes parādīta 10.41. attēlā. Jumta pakopnes uz kolonnām balsta pēc tā paša principa kā jumta kopnes.

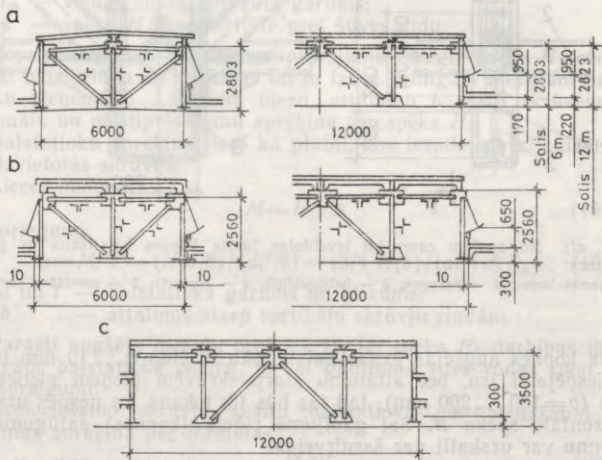
#### 10.4.4. VIRSGAISMAS KONSTRUKCIJAS

Ražošanas ēku telpu apgaismošanai pārsegumā izveido virsgaismas konstrukcijas, kuras iedala gaismas un aerācijas un aerācijas virsgaismās. Tās var izvietot ēkas garenvirzienā (garenvirsgaismas konstrukcijas) un ēkas šķērsvirzienā (šķērsvirsgaismas konstrukcijas).

Ēkām ar laidumu līdz 24 m parasti projektē 6 m platas virsgaismas konstrukcijas, bet lielāka laiduma ēkām — 12 m platas virsgaismas konstrukcijas. Virsgaismas konstrukcijas augstumu nosaka ar gaismas tehnikas un siltumtehniko aprēķinu, ievērojot unikācijas prasības. Virsgaismas neaizlaiž līdz ēkas galam vai temperatūras šuvei par vienu jumta kopņu soli.

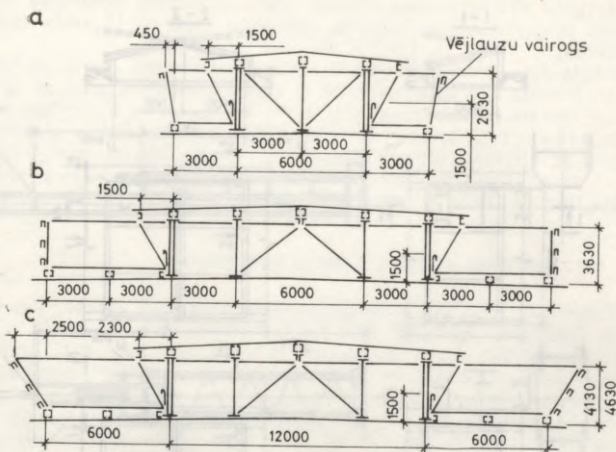
Virsgaismas konstrukcijām lieto tipa virsgaismas rāmjus, kuru augstums ir 1250 un 1750 mm. Parasti 6 m platām virsgaismas konstrukcijām lieto 1750 mm augstos rāmjus vienā rindā, bet 12 m platām virsgaismas konstrukcijām — 1750 mm augstos rāmjus vienā rindā vai arī 1250 mm augstos rāmjus, kurus uzstāda divās rindās. Virsgaismas konstrukcijās zem rājiem izveido 600... 800 mm augstu apmali.

Gaismas un aerācijas virsgaismas konstrukciju shēmas parādītas 10.42. attēlā. Virsgaismas pārsegumu norobežojošo konstrukciju izveido tādu pašu kā ēkas pārseguma norobežojošo konstrukciju.



10.42. att. Gaismas un aerācijas virsgaismas konstrukciju shēmas:

a un b — logi vienā rindā, pārsegumam lieto profilēto tērauda klāju un dzelzsbetona plātnes; c — logi divās rindās.



10.43. att. Aerācijas virsgaismas konstrukciju shēmas:  
 a — 6 m platas; b un c — 12 m platas.

Ekās, kurās izdalās daudz siltuma, lieto aerācijas virsgaismas konstrukcijas (10.43. att.), kuras paredzētas tikai telpu aerācijai. Lai virsgaismas konstrukcijām nodrošinātu normālu darbību, tām ierīko vējlauzu vairogus, kurus piekar pie virsgaismas konstrukcijas konsoles vai balsta tieši uz ēkas pārseguma. Vējlauzu vairogus ierīko pagriežamus vai arī izveido pagriežamas vērtnes nekustīgos virsgaismas paneļos.

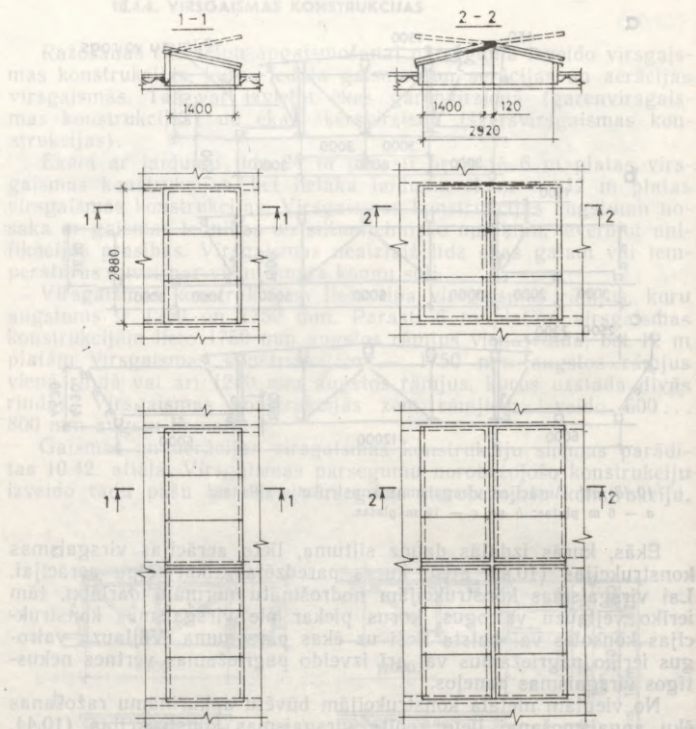
No vieglām metāla konstrukcijām būvētu apkurināmu ražošanas ēku apgaismošanai lieto zenīta virsgaismas konstrukcijas (10.44. att.). Šīm virsgaismām izveido no stikla paketēm vai profilstikla divkārtu gaismcaurlaidīgu aizpildījumu.

## 10.5. KOLONNAS

### 10.5.1. KOLONNU TIPI

Vienstāva ražošanas ēku kolonnas klasificē pēc šķērsgriezuma tipa un tā izmaiņām kolonnas garumā. Izšķir trīs tipu kolonnas: pastāvīga šķērsgriezuma, mainīga šķērsgriezuma (pakāpjveida) un dalīta tipa kolonnas.

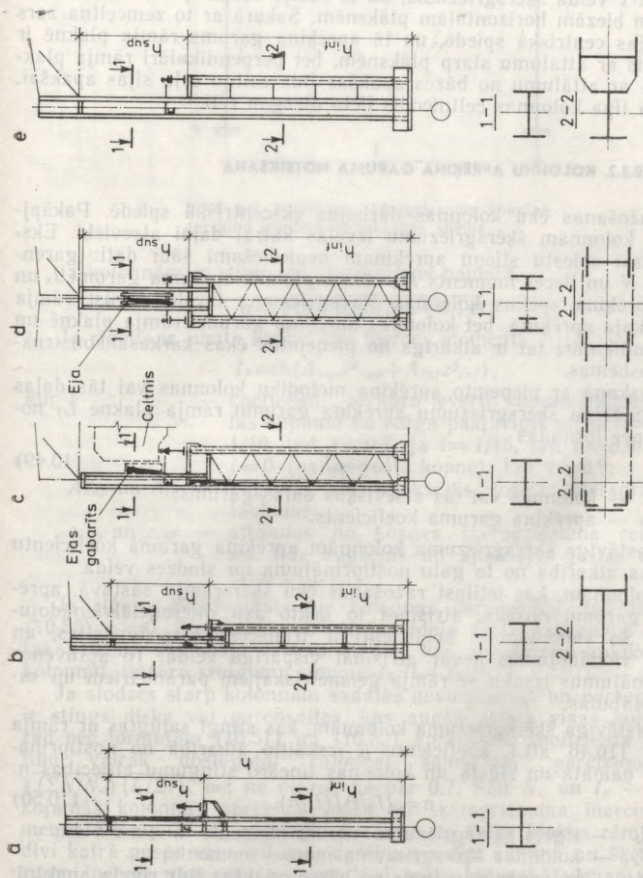
Pastāvīgā šķērsgriezuma kolonnām (10.45. att. a) tilta celtnu slodzi uz kolonnas stieni pārnes konsole, uz kuras balsta celtnu ceļa siju. Kolonnas var būt pilnsienas vai režģota šķērsgriezuma. Tās lieto, ja ir nelielas celtnu slodzes ( $Q \leq 15 \dots 20$  t) un neliels ēkas augstums ( $h \leq 8 \dots 10$  m).



10.44. att. Zenīta virsgaismas konstrukcija.

Ja celtņu celtpēja ir lielāka, tad lieto pakāpveida kolonnas (10.45. att. b, c un d). Celtņu ceļa sija šai gadījumā balstās uz kolonnas apakšējās (zemceltņa) daļas pakāpes pa zemceltņa zara asi. Kolonnas virsceltņa daļa parasti tiek projektēta pilnsienas, bet zemceltņa daļa — pilnsienas šķēsgriezuma līdz 1 m platām kolonnām un režģota šķēsgriezuma platakām kolonnām.

Ēkās ar 7K un 8K darbības režīma grupas celtņiem jānodrošina celtņu ceļa apskate un remonts, nepārtraucot tilta celtņu ekspluatāciju. Šai nolūkā ēkās paplašina kolonnas zemceltņa daļu (10.45. att. c), lai nodrošinātu ejas gabarītu gar celtņi un kolonnas iekšējo skaldni, vai kolonnas virsceltņa daļā ierīko ailu (10.45. att. d).



10.45. att. Ražošanas ēku kolonnas:

a — pastāvīga šķērsgriezuma; b, c un d — pakāpiņveida kolonnas; e — dalīta tipa kolonna.

Režģota šķērsriezuma malējo rindu kolonnām zemeltņa zaru parasti projektē dubult-T veida, bet ārējo zaru — U veida šķērsriezuma.

Dalīta tipa kolonnām (10.45. att. e) zemeltņa zaru projektē dubult-T veida šķērsriezuma, un to rāmja zaram pievieno ar 10... 12 mm biežām horizontālām plāksnēm. Sakarā ar to zemeltņa zars darbojas centriskā spiedē, un tā aprēķina garums rāmja plaknē ir vienāds ar attālumu starp plāksnēm, bet perpendikulāri rāmja plaknei — ar attālumu no bāzes apakšas līdz celtņu ceļa sijas apakšai. Dalīta tipa kolonnas celtniecībā lieto diezgan reti.

### 10.5.2. KOLONNU APRĒKINA GARUMA NOTEIKŠANA

Ražošanas ēku kolonnas darbojas ekscentriskā spiedē. Pakāpjveida kolonnām šķērsriezumu izvēlas katrai daļai atsevišķi. Ekscentriski spiestu stieņu aprēķinam nepieciešami šādi dati: garenspēks  $N$  un lieces moments  $M_x$  rāmja plaknē, aprēķina garumi  $l_x$  un  $l_y$ . Aprēķina spēkus kolonnas šķērsriezuma izvēlei iegūst rāmja statistiskajā aprēķinā, bet kolonnas aprēķina garums rāmja plaknē un perpendikulāri tai ir atkarīgs no pieņemtās ēkas karkasa konstruktīvās shēmas.

Saskaņā ar pieņemto aprēķina metodiku kolonnas vai tās daļas ar pastāvīgu šķērsriezumu aprēķina garumu rāmja plaknē  $l_{ef}$  nosaka pēc formulas

$$l_{ef} = \mu l, \quad (10.49)$$

kur  $l$  — kolonnas vai tās atsevišķas daļas garums;

$\mu$  — aprēķina garuma koeficients.

Pastāvīga šķērsriezuma kolonnām aprēķina garuma koeficientu nosaka atkarībā no to galu nostiprinājuma un slodzes veida.

Kolonnām, kas ietilpst ražošanas ēku šķēsrāmju sastāvā, aprēķina garumu nosaka, atrisinot to liekto asu diferenciālvienādojumus. Šo vienādojumu koeficienti ir transcendentas funkcijas, un tāpēc vienādojumus nevar atrisināt vispārīgā veidā. To aptuvenos atrisinājumus izsaka ar rāmja ģeometriskajiem parametriem un sako po tabulās.

Pastāvīga šķērsriezuma kolonnām, kas stingri sajūgtas ar rāmja rīģeli (10.46. att.), koeficientu  $\mu$  izskaitļo atkarībā no nostiprinājuma pamatā un rīģeļa un kolonnas lineāro stingumu attiecības  $n$ :

$$n = (I_b/l) / (I_c/h), \quad (10.50)$$

kur  $I_b$  — rīģeļa šķērsriezuma inerces moments laiduma vidū;

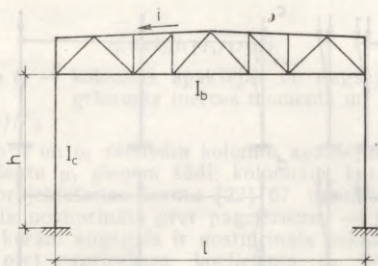
$I_c$  — kolonnas šķērsriezuma inerces moments;

$h$  — kolonnas augstums no bāzes apakšas līdz rīģeļa apakšai;

$l$  — rīģeļa laidums.

Ja kolonnām ir šarnīrveida nostiprinājums pamatā,

$$\mu = 2\sqrt{1 + 0,38/n}; \quad (10.51)$$



10.46. att. Pastāvīga šķērsriezuma kolonnu aprēķina garuma noteikšanas shēma.

ja kolonnām ir stings nostiprinājums pamatā,

$$\mu = \sqrt{(n+0,56)/(n+0,14)}. \quad (10.52)$$

Ja rīgelis ir jumta kopne, tad inerces moments

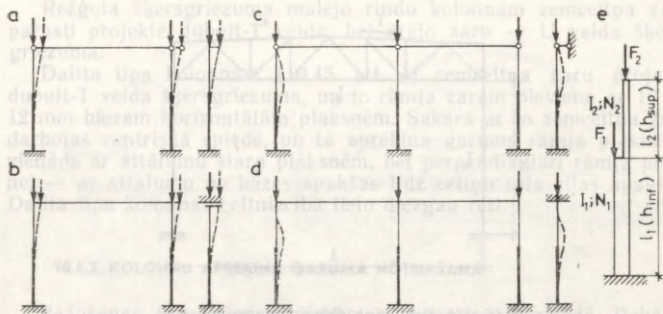
$$I_b = k(A_{sup}z_{sup}^2 + A_{inf}z_{inf}^2), \quad (10.53)$$

- kur  $k$  — koeficients, ar kuru ievērtē kopnes augšējās joslas slīpumu un režģa pakļāvīgumu; ja  $i=1/8 \dots 1/10$ , tad  $k=0,7$ , ja  $i=1/15$ , tad  $k=0,8$  un, ja  $i=0$  (paralēljoslu kopne), tad  $k=0,9$ ;
- $A_{sup}$  un  $A_{inf}$  — augšējās un apakšējās joslas šķērsriezuma laukums;
- $z_{sup}$  un  $z_{inf}$  — attālums no kopnes šķērsriezuma centrālās ass līdz augšējās un apakšējās joslas centrālajai asij.

Ja rīgelis piestiprināts pie kolonnas šarnirveidā, tad formulā (10.55)  $n=0$ . Daudzlaidumu rāmju vidējo rindu kolonnām formulas (10.53) skaitītājā ievieto rīgeļu, kas pieslēdzas aplūkojamai kolonnai, lineāro stingumu summu  $I_{b1}/l_1 + I_{b2}/l_2$ .

Ja slodzes starp kolonnām sadalās nevienmērīgi un pārsegumam ir stings disks vai garsaites, kas augšā saista visas kolonnas, tad pēc formulām (10.51) un (10.52) aprēķināto koeficienta  $\mu$  vērtību vairāk noslogotai kolonnai samazina, pareizinot ar  $\sqrt{(\sum N/N_c)(I_c/\sum I)}$ , bet ne mazāk kā par 0,7. Šeit  $N_c$  un  $I_c$  — aplūkojamās kolonnas aprēķina spēks un šķērsriezuma inerces moments,  $\sum N$  un  $\sum I$  — aplūkojamā rāmja un četrus blakus rāmju (pa divi katrā pusē) visu kolonnu aprēķina spēku summa un šķērsriezumu inerces momentu summa. Visi spēki jānosaka vienam noslogojumam, kas aplūkojamā kolonnā izraisa spēku  $N_c$ .

Vienstāva ražošanas ēku pakāpjveida kolonnām rāmja plaknē pieņem iespīlējumu pamatā, bet atkarībā no rīgeļa sajūguma ar kolonnām un laidumu skaita izšķir četras aprēķina shēmas.



10.47. att. Pakāpjveida kolonnu aprēķina garuma noteikšanas shēma.

1. Vienlaiduma rāmju kolonnas ar rīģeļa šarnīrveida sajūgumu (10.47. att. a). Pieņem, ka abas kolonnas atrodas vienādos apstākļos un vienlaikus var zaudēt noturību. Uzskata, ka kolonnu augšgals ir brīvs.

2. Vienlaiduma rāmju kolonnas ar rīģeļa stingu sajūgumu (10.47. att. b). Abas kolonnas atrodas vienādos apstākļos un vienlaikus var zaudēt noturību, bet atšķirībā no pirmā gadījuma kolonnu gali nepagriežas. Uzskata, ka kolonnu augšgals ir nostiprināts tikai pret pagriezienu.

3. Divu un vairāku laidumu rāmju kolonnas ar rīģeļu šarnīrveida sajūgumu (10.47. att. c). Sai gadījumā uzskata, ka noturības zaudēšanas momentā aprēķināmās kolonnas augšgals nepārvietojas, bet tikai pagriežas, jo to notur pārējās noturīgās kolonnas. Uzskata, ka kolonnām ir nekustīgs, šarnīrveidā nostiprināts augšgals.

4. Divu un vairāku laidumu rāmju kolonnas ar rīģeļu stingu sajūgumu (10.47. att. d). Sai gadījumā kolonnai ir nekustīgs, pret pagriezienu nostiprināts augšgals.

Vienpakāpes kolonnām aprēķina garumu nosaka atsevišķi apakšējai un augšējai daļai.

Rāmja plāknē (10.47. att. e)

$$l_{ef,sup} = \mu_2 h_{sup}; \quad (10.54)$$

$$l_{ef,inf} = \mu_1 h_{inf}, \quad (10.55)$$

kur  $\mu_1$  — aprēķina garuma koeficients kolonnas apakšējai daļai;  
 $\mu_2$  — aprēķina garuma koeficients kolonnas augšējai daļai.

Koeficienta  $\mu_1$  vērtības ir atkarīgas no attiecības

$$n = I_2 l_1 / (I_1 l_2) \quad (10.56)$$

un

$$\alpha_1 = l_2/l_1 \sqrt{I_1/(I_2\beta)}, \quad (10.57)$$

kur  $I_1, I_2, l_1$  un  $l_2$  — kolonnas apakšējās un augšējās daļas šķersgriezuma inerces moments un garums;

$$\beta = (F_1 + F_2)/F_2.$$

Atkarībā no  $n$  un  $\alpha_1$  vērtībām kolonnu apakšējai daļai aprēķina garuma koeficientu  $\mu_1$  pieņem šādi: kolonnām, kurām augšgals ir brīvs, — pēc projektēšanas normu [22] 67. tabulas, bet kolonnām, kurām augšgals nostiprināts pret pagriezienu, — pēc 68. tabulas.

Kolonnām, kurām augšgals ir nostiprināts nekustīgi šarnīrveidā vai nekustīgi pret pagriezienu, koeficienta  $\mu_1$  vērtību kolonnas apakšējai daļai aprēķina pēc formulas

$$\mu_1 = \sqrt{(\mu_{12}^2 + \mu_{11}^2(\beta - 1))}/\beta, \quad (10.58)$$

kur  $\mu_{12}$  — apakšējās daļas aprēķina garuma koeficients, ja  $F_1 = 0$ ;

$\mu_{11}$  — apakšējās daļas aprēķina garuma koeficients, ja  $F_2 = 0$ .

Kolonnām ar nekustīgi šarnīrveidā nostiprinātu augšgalu koeficientu  $\mu_{12}$  un  $\mu_{11}$  vērtības pieņem pēc projektēšanas normu [22] 69. tabulas, bet kolonnām ar nekustīgi pret pagriezienu nostiprinātu augšgalu — pēc 70. tabulas.

Visos gadījumos kolonnas augšējai daļai aprēķina garuma koeficientu  $\mu_2$  nosaka pēc formulas

$$\mu_2 = \mu_1/\alpha_1 \leq 3. \quad (10.59)$$

Nosakot aprēķina garuma koeficientu vienstāva ražošanas ēku kolonnām, atļauts

neievērot blakus kolonnu noslogojuma pakāpi un stingumu;

noteikt aprēķina garumu tikai slodžu kombinācijai, kas dod vislielākos garenspēkus kolonnas atsevišķās daļās, un iegūtās  $\mu$  vērtības izmantot citām kombinācijām;

daudzslaidumu rāmjiem (ar diviem un vairākiem laidumiem), ja ir stings pārseguma disks vai garenašaites, kas augšā saista visas kolonnas un nodrošina ēkas telpisku darbību, kolonnu aprēķina garumu noteikt kā statņiem, kas nekustīgi nostiprināti rīgeļu līmenī.

10.5. tabula

#### Aprēķina garuma koeficienti

Kolonnas augšgala nostiprinājums	$\mu_1$ , ja		$\mu_2$
	$0,1 < I_2/I_1 < 0,3$	$0,05 < I_2/I_1 < 0,1$	
Brīvs (10.47. att. a)	2,5	3,0	3,0
Nostiprināts tikai pret pagriezienu (10.47. att. b)	2,0	2,0	3,0
Nekustīgs, šarnīrveidā nostiprināts (10.47. att. c)	1,6	2,0	2,5
Nekustīgs, nostiprināts pret pagriezienu (10.47. att. d)	1,2	1,5	2,0

Vienpakāpes kolonnām, ja  $l_2/l_1 \leq 0,6$  un  $N_1/N_2 \geq 3$ , aprēķina garuma koeficientus pieņem pēc 10.5. tabulas.

Kolonnu atsevišķo daļu aprēķina garumu perpendikulāri rāmja plaknei (no rāmja plaknes) pieņem vienādu ar attālumu starp kolonnu sastiprinājuma punktiem ēkas garenvirzienā (kolonnas balstiem, celtņu ceļa sijām, jumta pakopnēm, saišu un rīgeļu nostiprinājuma mezgliem u. c.).

### 10.5.3. PILNSIENAS KOLONNU APRĒĶINS UN KONSTRUEŠANA

Pastāvīga šķērsriezuma kolonnu un pakāpjveida kolonnu virsceltna daļu parasti projektē simetriska platplauktu dubult-T veida šķērsriezuma (10.48. att. a). Atsevišķos gadījumos, ja darbojas vienpusējs lieces moments, projektē nesimetriska dubult-T veida šķērsriezuma kolonnas (10.48. att. d).

Pakāpjveida kolonnu zemceltna daļu projektē pilnsienas šķērsriezuma, ja kolonnas šķērsriezuma augstums  $b \leq 1$  m, bet, ja augstums ir lielāks, tad projektē režģotas kolonnas.

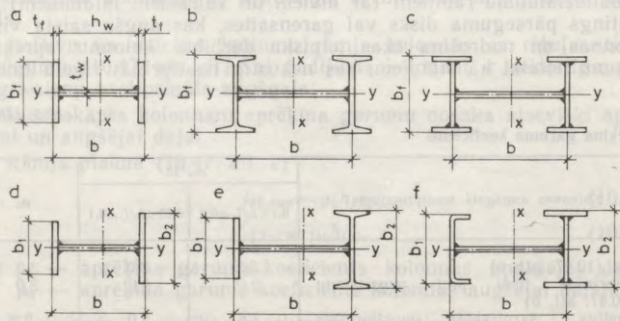
Simetrisku šķērsriezumu (10.48. att. b, c) lieto vidējo rindu kolonnām, bet nesimetrisku šķērsriezumu (10.48. att. e, f) — maļejo rindu kolonnām.

Pilnsienas kolonnas šķērsriezumu izvēlas šādi. Pastāvīga šķērsriezuma kolonnas daļai pēc rāmja statiskā aprēķina nosaka visneizdevīgāko  $M_x$  un  $N$  kombināciju.

Izētot no F. Jasinska aptuvenas formulas,

$$\sigma = N/(\varphi A) + M_x/W_x, \quad (10.60)$$

to pārveidojot un ievietojot vidējās vērtības  $\varphi = 0,8$  un  $r_x = 0,45b$ , orientējoši nosaka nepieciešamo šķērsriezuma laukumu



10.48. att. Pilnsienas kolonnu šķērsriezumi:  
a, b un c — simetriski; d, e un f — nesimetriski.

$$A_{cal} = (N/R_y \gamma_c) (1/\varphi + e_x A/W_x) = (N/R_y \gamma_c) (1/\varphi + e_x/r_x) \approx \\ \approx (N/R_y \gamma_c) (1,25 + 2,2e_x/b). \quad (10.61)$$

Seit  $e_x$  — garenspēka ekscentritāte;  $e_x = M_x/N$ ;  
 $b$  — kolonnas šķērsriezuma augstums;  
 $r_x$  — šķērsriezuma kodola attālums;  $r_x = W_x/A$ .

Pēc tam saskaņā ar 10.2.2. sadaļas norādījumiem un velmētā metāla sortimentu izvēlas kolonnas šķērsriezumu. Lai pastāvīga šķērsriezuma kolonnām nodrošinātu nepieciešamo stingumu, to šķērsriezuma augstumu pieņem  $1/15 \dots 1/20$  kolonnas augstuma. Pakāpjveida kolonnām pieņem virsceltna daļas šķērsriezuma augstumu  $b \geq 1/12 h_{sup}$ . Ēkām ar vidējas celtspejas tilta celtniem  $b$  parasti pieņem 450 vai 500 mm. Ja ēkās uzstādīti tilta celtni, kuru celtspeja ir lielāka par 100 t, tad šo izmēru palielina, bet tam jādalās ar 250 mm. Pēdējos tipa projektos ēkām ar viegliem tilta celtniem pieņemts  $b = 400$  mm.

Sieniņas biezumu  $t_w$  nosaka stiprība cirpē, un parasti to pieņem tā, lai attiecība  $h_{ef}/t_w$  būtu 60...120. Mazāko attiecību pieņem, ja ir lieli garenspēki un mazi lieces momenti, bet lielāko attiecību — pretējos gadījumos. Sieniņas biezumu nav ieteicams pieņemt mazāku par 8 mm. Galīgi par sieniņas noturību var pārliecināties tikai pēc kolonnas šķērsriezuma izvēles, jo tā ir atkarīga no faktiskiem spriegumiem sieniņas malās.

Lai nodrošinātu kolonnu noturību perpendikulāri lieces momenta darbības plaknei, pieņem plauktu platumu  $b_f = 1/20 \dots 1/30$  no kolonnas augstuma.

Pēc šķērsriezuma izraudzīšanās galīgi pārbauda kolonnas noturību abās plaknēs, bet nepieciešamības gadījumā — arī stiprību. Stiprība parasti ir jāpārbauda tikai spēcīgām neliela augstuma kolonnām, kurām ir vājināts šķērsriezums. Noturības aprēķinu izdara šādā secībā.

Izraudzītajam šķērsriezumam izskaitļo ģeometriskos raksturojumus —  $A$ ,  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $i_x$  un  $i_y$  — un aprēķina kolonnas lokanumu abās plaknēs:

$$\lambda_x = I_x/i_x; \quad \lambda_y = I_y/i_y. \quad (10.62)$$

Tālāk aprēķina nosacīto lokanumu lieces momenta  $M_x$  darbības plaknē:

$$\bar{\lambda}_x = \lambda_x \sqrt{R_y/E}. \quad (10.63)$$

Kolonnas noturību lieces momenta  $M_x$  darbības plaknē (rāmja plaknē) pārbauda pēc formulas

$$N/\varphi_e A \leq R_y \gamma_c. \quad (10.64)$$

kur  $\varphi_e$  — koeficients aprēķina pretestības samazināšanai ekscentriskā spiedē.

Koeficientu  $\varphi_e$  pieņem pēc pielikumu 14. tabulas atkarībā no

nosacītā lokanuma  $\bar{\lambda}$  un reducētās relatīvās ekscentritātes  $m_{ef}$ , kuru nosaka pēc formulas

$$m_{ef} = \eta m, \quad (10.65)$$

kur  $\eta$  — šķērsriezuma formas ietekmes koeficients, kas dots pielikumu 12. tabulā;

$m$  — relatīvā ekscentritāte;  $m = eA/W_c$ , kur  $e$  — ekscentritāte;  $W_c$  — šķērsriezuma pretestības moments vairāk spiestām šķiedrām.

Izskaitļojot ekscentritāti  $e = M/N$ , lieces momentu un garenspēku pieņem pēc vienas un tās pašas slodžu kombinācijas.

Rāmju sistēmas pastāvīga šķērsriezuma kolonnām par lieces momenta  $M_x$  vērtību pieņem vislielāko lieces momentu kolonnas garumā, pakāpjveida kolonnām — vislielāko lieces momentu pastāvīga šķērsriezuma kolonnas daļā; kolonnām ar vienu iespilētu un otru brīvu galu par lieces momenta  $M_x$  vērtību pieņem lieces momentu iespilējumā, bet ne mazāku par lieces momentu šķēlumā, kas atrodas 1/3 kolonnas garuma attālumā no iespilējuma. Jāatzīmē, ka pilnsienas šķērsriezuma stieņiem noturība nav jāpārbauda, ja  $m_{ef} > 20$ .

Ekscentriski spiestu kolonnu noturību perpendikulāri lieces momenta darbības plaknei pārbauda pēc formulas

$$N/c\varphi_y A = R_y \gamma c, \quad (10.66)$$

kur  $c$  — koeficients;

$\varphi_y$  — garenlieces koeficients, kuru pieņem pēc pielikumu 11. tabulas atkarībā no lokanuma  $\lambda_y = l_y/l_y$ .

Koeficients  $c$  ievērtē lieces momenta ietekmi uz ekscentriski spiestu stieņu noturību plaknē, kas perpendikulāra lieces momenta darbības plaknei, un to nosaka šādi.

Ja relatīvā ekscentritāte  $m_x \leq 5$ , tad

$$c = \beta / (1 + \alpha m_x), \quad (10.67)$$

kur  $\alpha$  un  $\beta$  — koeficienti (sk. pielikumu 16. tab.).

Ja  $m_x \geq 10$ , tad

$$c = 1 / (1 + m_x \varphi_y / \varphi_b), \quad (10.68)$$

kur  $\varphi_b$  — koeficients, kuru nosaka kā sijām ar diviem un vairākiem spiestās joslas nostiprinājumiem pēc projektēšanas normu [22] 7. pielikuma; slēgtiem šķērsriezumiem  $\varphi_b = 1,0$ .

Režgotiem stieņiem ar režģi (vai plāksnēm) koeficientu  $\alpha$  un  $\beta$  vērtības pieņem kā pilniem šķērsriezumiem, ja stieņa garumā ir ne mazāk kā divas šķērsdiafragmas. Pretējā gadījumā koeficientus pieņem tāpat kā atklāta dubult-T veida šķērsriezuma stieņiem. Ja  $5 < m_x < 10$ , tad

$$c = c_5 (2 - 0,2 m_x) + c_{10} (0,2 m_x - 1), \quad (10.69)$$

kur  $c_5$  nosaka pēc formulas (10.67), pieņemot  $m_x = 5$ , bet  $c_{10}$  — pēc formulas (10.68), pieņemot  $m_x = 10$ .

Nosakot relatīvo ekscentritāti  $m_x$ , par aprēķina lieces momentu  $M_x$  pieņem: stieņiem ar šarnīrveidā balstītiem galiem, kas nostiprināti pret pārvietošanos perpendikulāri lieces momenta darbības plaknei, — maksimālo lieces momentu garuma vidējā trešdaļā (bet ne mazāku par vislielākā lieces momenta pusi stieņa garumā); stieņiem ar vienu iespīlētu un otru brīvu galu — lieces momentu iespīlējumā (bet ne mazāku par lieces momentu šķēlumā, kas atrodas garuma trešdaļas attālumā no iespīlējuma).

Ja lokanums  $\lambda_y > \lambda_c = 3,14\sqrt{E/R_y}$ , tad slēgta šķērsgriezuma stieņiem koeficients  $c$  nedrīkst pārsniegt vērtību 1, bet dubult-T veida šķērsgriezuma stieņiem ar divām simetrijas asīm — vērtību, kuru nosaka pēc formulas

$$c_{\max} = 2 / (1 + \delta + \sqrt{(1 - \delta)^2 + 16 / \mu (M_x / N h)^2}), \quad (10.70)$$

kur  $\delta = 4Q/\mu$ ;  $Q = (I_x + I_y) / (A h^2)$ ;  $\mu = 2 + 0,156 (I_t / A h^2) \lambda_y^2$ ;  $I_t = 0,433 \Sigma b_i t_i^3$ .

Šeit  $b_i$  un  $t_i$  — lokšņu, kas veido šķērsgriezumu, platums un biezums;  $h$  — attālums starp joslu asīm.

Dubult-T veida un T veida šķērsgriezumiem, kuriem ir viena simetrijas ass, koeficienta  $c_{\max}$  vērtību nosaka pēc projektēšanas normu [22] 6. pielikuma.

Ekscentriski spīestos elementus, kas liekti mazākā stinguma plaknē ( $I_y < I_x$  un  $e_y \neq 0$ ), ja  $\lambda_x > \lambda_y$ , aprēķina pēc formulas (10.64). Šo elementu noturību plaknē, kas perpendikulāra lieces momenta darbības plaknei, pārbauda kā centriski spīestiem stieņiem pēc formulas

$$N / (\varphi_x A) \leq R_y \gamma_c, \quad (10.71)$$

kur  $\varphi_x$  — garenlieces koeficients, kas dots pielikumu 11. tabulā.

Ja  $\lambda_x \leq \lambda_y$ , tad noturības pārbaude perpendikulāri lieces momenta darbības plaknei nav jāizdara.

Pēc tam pārbauda kolonnu plauktu (joslu) noturību. Kolonnām ar lokanumu  $0,8 \leq \bar{\lambda} \leq 4$  plauktu pārkāres  $b_{ef}$  un biezuma  $t$  attiecību nedrīkst pieņemt lielāku par to, kas noteikta pēc formulām (8.10) — (8.13). Ja  $\bar{\lambda} < 0,8$  vai  $\bar{\lambda} > 4$ , tad šajās formulās pieņem  $\bar{\lambda} = 0,8$  vai  $\bar{\lambda} = 4$ .

Kārbeveida šķērsgriezuma ekscentriski spīestām kolonnām vislielāko pārkāres aprēķina platuma  $b_{ef}$  attiecību pret biezumu  $t$  pieņem šādi:

ja  $m \leq 0,3$ , tad kā centriski spīestiem elementiem (sk. 8.4.2. sadaļu);

ja  $m \geq 1,0$  un  $\bar{\lambda} \leq 2 + 0,04m$ , tad  $b_{ef}/t = \sqrt{E/R_y}$ ;

ja  $m \geq 1,0$  un  $\bar{\lambda} > 2 + 0,04m$ , tad  $b_{ef}/t = (0,4 + 0,3\bar{\lambda}) \times (1 - 0,01m) \sqrt{E/R_y}$ .

Ja relatīvā ekscentritāte  $0,3 < m < 1$ , tad  $b_{ef}/t$  attiecību nosaka ar lineāro interpolāciju starp vērtībām  $b_{ef}/t$ , kas izskaitļotas, pieņemot  $m = 0,3$  un  $m = 1,0$ .

Ja ekscentriski spiestiem elementiem šķērsgriezumu nosaka pēc robežlokanuma, tad vislielāko  $b_{ef}/t$  vērtību pareizina ar koeficientu  $\sqrt{R_y \varphi_m / \sigma}$ , bet ne lielāku par 1,25. Šeit  $\varphi_m$  — mazākā no  $\varphi_e$  un  $c\varphi$  vērtībām, kuru izmantojam noturības pārbaudē;  $\sigma = N/A$ .

Kolonnas sienīņas noturību pārbauda atkarībā no vidējiem tangenciāliem spriegumiem  $\tau$  aplūkojamā šķēlumā un parametra

$$\alpha = (\sigma - \sigma_1) / \sigma, \quad (10.72)$$

kur  $\sigma$  — vislielākie spiedes spriegumi sienīņas malējās šķiedrās, kurus pieņem ar plusa zīmi un izskaitļo, neievērojot koeficientu  $\varphi_e$ ,  $\varphi_{exy}$  vai  $c\varphi$ ;  $\sigma = N/A + (M_x/I_x)y$ ;

$\sigma_1$  — atbilstošie spriegumi sienīņas pretējās malas šķiedrās;  $\sigma_1 = N/A - (M_x/I_x)y_1$ ;

$y$  un  $y_1$  — atbilstošie attālumi no kolonnas šķērsgriezuma smagumcentra līdz sienīņas spiestai malai un malai, kuru atslogo lieces moments  $M_x$ .

Ja  $\alpha \leq 0,5$ , tad ekscentriski spiestām kolonnām ( $m > 0$ ) sienīņas aprēķina augstuma attiecība pret biežumu  $h_{ef}/t$  parasti nedrīkst pārsniegt vislielākā nosacītā lokanuma  $\bar{\lambda}_{uw} \sqrt{E/R_y}$  vērtības, kuras nosaka šādi. Ja  $m \geq 1$  un  $\bar{\lambda}_1 < 2,0$ , tad dubult-T veida un kārbveida šķērsgriezuma kolonnām

$$\bar{\lambda}_{uw} \leq 1,30 + 0,15\bar{\lambda}_1, \quad (10.73)$$

bet, ja  $\bar{\lambda}_1 \geq 2,0$ , tad

$$\bar{\lambda}_{uw} = 1,20 + 0,35\bar{\lambda}_1 \leq 3,1, \quad (10.74)$$

kur  $\bar{\lambda}_1$  — elementa nosacītais lokanums, kuru noturības aprēķinā pieņem lieces momenta darbības plaknē.

Kārbveida šķērsgriezuma kolonnām, ja  $m > 0$ ,  $\bar{\lambda}_{uw}$  vērtību nosaka sienīņai, kura ir paralēla lieces momenta plaknei. Dubult-T veida un kārbveida šķērsgriezuma kolonnām, ja  $0 < m < 1,0$ ,  $\bar{\lambda}_{uw}$  vērtību nosaka ar lineāru interpolāciju starp vērtībām, kuras izskaitļotas, pieņemot  $m = 1,0$  un  $m = 0$ . Centriski spiestu kolonnu ( $m = 0$ ) nosacītā lokanuma  $\bar{\lambda}_{uw}$  aprēķins dots 8.4.2. sadaļā.

Ja  $\alpha \geq 1$ , tad

$$h_{ef}/t = 4,35 \sqrt{(2\alpha - 1)E / (\sigma(2 - \alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\beta^2}))} \leq 3,8 \sqrt{E/R_y}, \quad (10.75)$$

kur  $\beta = 1,4(2\alpha - 1)\tau/\sigma$ ;

$\tau = Q/th$  — vidējie tangenciālie spriegumi aplūkojamā šķēlumā.

Intervālā  $0,5 < \alpha < 1$  vislielāko  $h_{ef}/t$  vērtību nosaka ar lineāru interpolāciju starp vērtībām, kas izskaitļotas, ja  $\alpha = 0,5$  un  $\alpha = 1$ . No dubult-T veida un kārbveida (izņemot T veida šķērsgriezumu) šķērsgriezuma atšķirīgiem kolonnu šķērsgriezumiem  $h_{ef}/t$  vērtības, kas aprēķinātas pēc formulām (10.73) — (10.75), pareizina ar koeficientu 0,75.

Ja kolonnas šķērsriezumu aprēķina pēc robežlokanuma, tad vislielāko  $h_{ef}/t$  attiecību pareizina ar koeficientu  $\sqrt{R_y \varphi_m / \sigma} \leq 1,25$ , kur  $\sigma = N/A$  un  $\varphi_m = \varphi_e$ .

Ja faktiskā  $h_{ef}/t$  vērtība pārsniedz lielumu, kas noteikts pēc formulām (10.73) un (10.74), tad aprēķina formulās par šķērsriezuma  $A$  vērtību pieņem reducēto šķērsriezumu  $A_{red}$ , kurš izskaitļots sienaiņai ar augstumu  $h_{red}$ . Šai gadījumā aprēķina šķērsriezumā  $A_{red}$  ieskaita tikai daļu sienaiņas, bet pārējos ģeometriskos raksturojumus nosaka visam kolonnas šķērsgriezumam.

Ekscentriski spiestām dubult-T un U veida šķērsriezuma kolonnām (10.49. att.)

$$A_{red} = A - (h_{ef} - h_{red})t; \quad (10.76)$$

kārbveida šķērsriezuma kolonnām

$$A_{red} = A - 2(h_{ef} - h_{red})t, \quad (10.77)$$

kur  $h_{red} = t(\bar{\lambda}_{uw} - (\bar{\lambda}_w / \bar{\lambda}_{uw} - 1)(\bar{\lambda}_{uw} - k))\sqrt{E/R_y}$ .

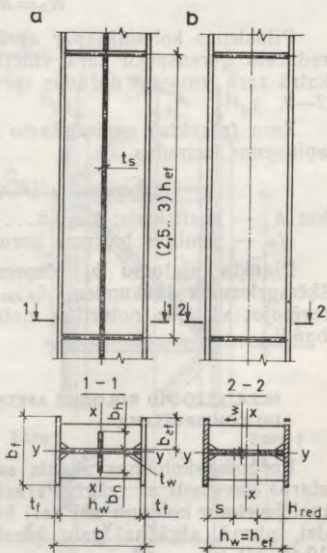
Seit  $\bar{\lambda}_{uw}$  — sienaiņas vislielākais nosacītais lokanums pēc formulām

(10.73) un (10.74);  $\bar{\lambda}_w = h_{ef}/t\sqrt{R_y/E}$ ;  $k$  — koeficients. Dubult-T veida šķērsgriežumiem pieņem  $k = 1,2 + 0,15\bar{\lambda}_1$  (ja  $\bar{\lambda}_1 > 3,5$ , tad pieņem  $\bar{\lambda}_1 = 3,5$ ), bet kārbveida šķērsgriežumiem —  $k = 2,9 + 0,2\bar{\lambda}_1 - 0,7\bar{\lambda}_w$  (ja  $\bar{\lambda}_w > 2,3$ , tad pieņem  $\bar{\lambda}_w = 2,3$ ).

Pilnsienas kolonnu sienaiņas nostiprina ar stinguma šķērsribām, ja  $h_{ef}/t \geq 2,3\sqrt{E/R_y}$ . Tās izvietotas  $(2,5 \dots 3,0)h_{ef}$  attālumā citu no citas. Katrā nosūtāmā elementā jāuzstāda vismaz divas ribas. Pieņem šķērsribu platumu  $b_n \geq h_{ef}/30 + 40$  mm un biezumu  $t_s \geq 2b_n\sqrt{R_y/E}$ .

Ekscentriski spiestu kolonnu stiprības aprēķins nav jāizdara, ja reducētā ekscentritāte  $m_{ef} \leq 20$  un šķērsgriezumam nav vājinājumu.

Kolonnām, kuras projektē no tērauda ar plūstamības robežu līdz 580 MPa un kurām  $\tau \leq 0,5R_s$  un  $N/A_n R_y > 0,1$ , stiprību pārbauda pēc formulas



10.49. att. Kolonnas sienaiņas noturības nodrošināšana:

$a$  — stinguma ribas;  $b$  — aprēķina šķēslums nenoturīgai sienaiņai.

$$(N/A_n R_y \gamma_c)^n + M_x / (c_x W_{x_n, \min} R_y \gamma_c) + M_y / (c_y W_{y_n, \min} R_y \gamma_c) \leq 1, \quad (10.78)$$

kur  $N$ ,  $M_x$  un  $M_y$  — garens spēka un lieces momentu absolūtās vērtības pēc neizdevīgākās slodžu kombinācijas (parasti  $M_y = 0$ );

$n$ ,  $c_x$  un  $c_y$  — koeficienti, kas doti pielikumā 10. tabulā.

Ja  $N/(A_n R_y) \leq 0,1$ , tad, lietojot formulu (10.78), jāievēro formulas (7.82) un 7.3. tabulas prasības.

Pārējos gadījumos aprēķinu izdara pēc formulas

$$N/A_n \pm (M_x/I_{x_n})y + (M_y/I_{y_n})x \leq R_y \gamma_c, \quad (10.79)$$

kur  $x$  un  $y$  — šķēluma aplūkojamā punkta koordinātas pret tā galvenajām asīm.

Lai izvēlētos nesimetriska šķērsgriezuma kolonnā, jāapskata divi noslogojuma gadījumi — ar pozitīvo un negatīvo lieces momentu. Zaru (plaukta) šķērsgriezuma noteikšanai izmanto reducētos garens spēkus, kurus nosaka pēc formulas (sk. 10.48. att.)

$$N_b = N/2 + M/b.$$

Pilnsienas kolonnās par aprēķina garens spēku pieņem vislielāko reducēto garens spēku zara vidējā trešdaļā. Sai gadījumā atļauts katrā zarā izmantot dažādas spēku kombinācijas šķēlumos  $I-I$  vai  $2-2$ .

Zara (plaukta) nepieciešamo šķērsgriezuma laukumu nosaka pēc aptuvenas formulas

$$A_{b, \text{cat}} = N_b / (R_y \gamma_c k) - 0,5 t_w^2 \sqrt{E/R_y},$$

kur  $k$  — koeficients;  $k = 0,8 \dots 0,9$  (vidēji 0,85);

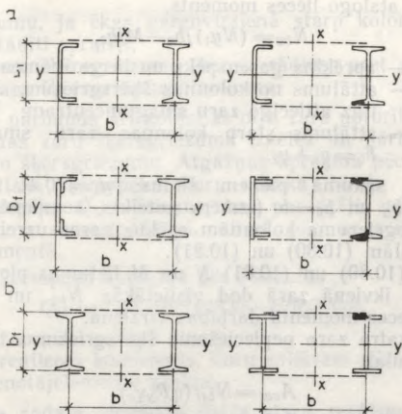
$t_w$  — sienīņas biezums, kuru orientējoši pieņem (1/80 ... 1/120)  $b$ .

Plaukta platumu  $b_f$  pieņem (0,3 ... 0,5)  $b$ . Pēc aprēķinātiem šķērsgriezuma laukumiem  $A_{b, \text{cat}}$  komponē šķērsgriezuma izmērus, ievērojot vietējās noturības noteikumus, un izdara kolonnas pārbaudi.

#### 10.5.4. REŽĢOTU KOLONNU APRĒĶINS UN KONSTRUEŠANA

Režģotas kolonnas stienis sastāv no diviem zariem, kas savā starpā savienoti ar režģi. Parasti režģi uzstāda divās plaknēs. Lai malējo rindu kolonnā abi zari kopīgi uzņemtu celtņa vertikālo slodzi, pirmā atgāžņa galu piestiprina pie zemceltņa zara (sk. 10.45. att. c).

Režģotu kolonnā izplatītākie šķērsgriezumi parādīti 10.50. attēlā. Malējo rindu kolonnām visbiežāk lieto nesimetrisku šķērsgriezumu (10.50. att. a), kura ārējam zaram ir U veida forma. Vidējo rindu kolonnas parasti projektē simetriska šķērsgriezuma, to zarus veido



10.50. att. Režgotu kolonnu šķērs griezumi:  
a – nesimetriski; b – simetriski.

no velmētiem dubult-T profiļiem vai salikta šķērs griezumā (10.50. att. b).

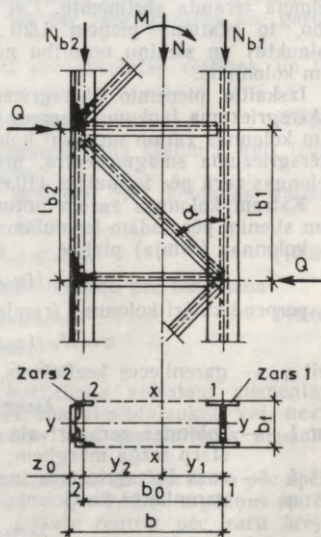
Režgotu kolonnu aprēķina, pieņemot, ka aprēķina spēku  $M$  un  $N$  iedarbībā tās zaros rodas tikai garens spēki (10.51. att.), bet šķērs spēku  $Q$  uzņem režģis.

Kolonna var zaudēt nestspēju, ja noturība zūd atsevišķam zaram (rāmja plaknē vai perpendikulāri rāmja plaknei) vai visai kolonnai (pieņemot, ka tā darbojas kā viens salikta šķērs griezumā stienis).

Režgotas kolonnas zaru šķērs griezumā aprēķina šādā secībā. Vispirms nosaka garens spēkus nesimetriska šķērs griezumā zaros (sk. 10.51. att.) pēc šādām formulām:

zarā, kuru pieslogo lieces moments,

$$N_{b1} = (Ny_2)/b_0 + M/b_0; \quad (10.80)$$



10.51. att. Režgotas kolonnas aprēķina shēma.

zarā, kuru atslogo lieces moments,

$$N_{b2} = (Ny_1)/b_0 - M/b_0, \quad (10.81)$$

kur  $N$  un  $M$  — aprēķina garens spēks un lieces moments;  
 $y_1$  un  $y_2$  — attālums no kolonnas šķērsgriezuma smagumcentra līdz attiecīgo zaru smagumcentram;  
 $b_0$  — attālums starp kolonnas zaru smagumcentriem;  
 $b_0 = y_1 + y_2$ .

Attālumus sākumā pieņem šādus:  $y_1 = (0,4 \dots 0,6) b_0$ ;  $y_2 = (0,6 \dots 0,4) b_0$  un  $b_0 = b$  (izmērs noteikts, komponējot rāmi). Simetriska šķērsgriezuma kolonnām spēkus zaros uzreiz nosaka precīzi pēc formulām (10.80) un (10.81).

Formulās (10.80) un (10.81)  $N$  un  $M$  lielumus pieņem pēc kombinācijas, kas ikvienā zarā dod vislielākās  $N_{b1}$  un  $N_{b2}$  vērtības atkarībā no lieces momenta darbības virziena.

Kolonnas katra zara nepieciešamo šķērsgriezuma laukumu aprēķina pēc formulas

$$A_{cat} = N_{bi} / (\varphi R_y \gamma_c), \quad (10.82)$$

kur  $\varphi$  — garenlieces koeficients; sākumā pieņem  $\varphi = 0,7 \dots 0,9$ .

Pēc aprēķinātiem nepieciešamiem šķērsgriezuma laukumiem izvēlas zaru šķērsgriezumus, ievērojot 10.2.2. sadaļas norādījumus un velmētā tērauda sortimentu. Lai nodrošinātu zaru vispārējo noturību, to platumu pieņem  $1/20 \dots 1/30$  no garuma. Zaru joslu (plauktu) un sienu noturību nodrošina tāpat kā centriski spiestām kolonnām.

Izskaitļo pieņemto šķērsgriezumu ģeometriskos raksturojumus (šķērsgriezuma laukumu, inerces momentu un inerces rādiusu) katram kolonnas zaram un visai kolonnai. Izejot no noteiktā kolonnas šķērsgriezuma smagumcentra, precīzē garens spēku vērtības katrā kolonnas zarā pēc formulām (10.80) un (10.81).

Katram kolonnas zaram noturību pārbauda kā centriski spiestam stienim pēc šādām formulām:

kolonnas (rāmja) plaknē

$$\sigma = N_{b1} / (\varphi_1 A_{b1}) \leq R_y \gamma_c; \quad (10.83)$$

perpendikulāri kolonnas (rāmja) plaknei

$$\sigma = N_{b1} / (\varphi_y A_{b1}) < R_y \gamma_c. \quad (10.84)$$

Šeit  $\varphi_1$  — garenlieces koeficients, kuru nosaka pēc zara lokanuma

$$\lambda_{b1} = l_{b1} / i_1, \quad (10.85)$$

kur  $l_{b1}$  — kolonnas zara brīvais garums, kas vienāds ar attālumu starp režģa mezgliem;

$i_1$  — zara šķērsgriezuma inerces rādiuss pret  $I-I$  asi;

$\varphi_y$  — garenlieces koeficients, kuru nosaka pēc lokanuma

$$\lambda_y = l_y / i_y, \quad (10.86)$$

kur  $l_y$  — zara aprēķina garums perpendikulāri kolonnas plaknei, kurš parasti vienāds ar kolonnas apakšējās daļas ga-

rumu, ja ēkas garenvirzienā starp kolonnām nav uzstādīti spraišļi;

$i_y$  — zara šķersgriezuma inerces rādiuss pret  $y-y$  asi;

$A_{b1}$  — zara šķersgriezuma laukums.

Analoģiski pārbauda arī kolonnas otra zara noturību.

Pēc kolonnas zaru šķersgriezuma izvēles un pārbaudes nosaka režģa elementu šķersgriezumu. Atgāžņus aprēķina pēc lielākā šķersspēka — faktiskā šķersspēka, kuru nosaka rāmja aprēķinā, vai nosacītā šķersspēka  $Q_{fic}$ . Stieņus, kas paredzēti spiesto elementu aprēķina garuma samazināšanai, atrod pēc nosacītā šķersspēka  $Q_{fic}$  pamatelementā.

Nosacīto šķersspēku aprēķina pēc formulas

$$Q_{fic} = 7,15 \cdot 10^{-6} (2330 - E/R_y) N / \varphi, \quad (10.87)$$

kur  $N$  — garenspēks saliktā stienī;

$\varphi$  — garenlieces koeficients, kuru saliktam stienim pieņem savienotājelementu plaknē.

Šķersspēku sadala vienādās daļās starp režģiem plaknēs, kas ir perpendikulāras pret asi, attiecībā pret kuru pārbauda noturību.

Atgāžņu režģa elementus parasti konstruē no savrupa leņķprofila. Iepriekš tos izvēlas pēc robežlokanuma  $\lambda_a = 210 - 60\alpha$ , kur  $\alpha$  sākumā pieņem ne mazāku par 0,5, bet pēc tam aprēķina pēc garenspēka  $N_d$ , kuru izraisa šķersspēks.

Spēki visos atgāžņos ir vienādi pēc absolūtās vērtības, un tos aprēķina pēc formulas

$$N_d = Q_{fic} / (k \sin \alpha), \quad (10.88)$$

kur  $k$  — režģa atgāžņu skaits kolonnas vienā šķēlumā, kuri izvietoti divās paralēlās plaknēs;

$\alpha$  — atgāžņu slīpuma leņķis attiecībā pret kolonnas zariem.

Atgāžņu noturību pārbauda pēc formulas

$$\sigma = N_d / (\varphi A_d) \leq R_y \gamma_c. \quad (10.89)$$

Šeit  $\varphi$  — garenlieces koeficients, kuru nosaka pēc lokanuma

$$\lambda = l_d / i_{\min}, \quad (10.90)$$

kur  $l_d$  — atgāžņa aprēķina garums;

$A_d$  — atgāžņa šķersgriezuma laukums;

$\gamma_c = 0,75$  — darbības apstākļu koeficients spiestam elementam, kas izveidots no savrupa vienādplauktu vai nevienādplauktu leņķprofila, kurš piestiprināts ar šauru plauktu.

Atgāžņu piestiprinājumu pie kolonnas zariem aprēķina pēc spēka  $N_d$ , kad darbības apstākļu koeficients  $\gamma_c = 1$ . Lai atgāžņus varētu piestiprināt bez fasonlapām, tos atļauts centrēt pēc zaru ārējās malas. Ja atgāžņus pie zariem piestiprina ekscentriski, tad mezglos rodas vietējs lieces moments. Tas zaros bieži izraisa vietēju plastisku deformāciju, tāpēc jācenšas ekscentritātes samazināt.

Režgotu kolonnu nosūtāmie elementi, kuros režģi ir divās plaknēs, jānostiprina ar diafragmām, ko izvieto nosūtāmo elementu galos.

Lai režgotai kolonnai kā veselam stienim pārbaudītu noturību lieces momenta darbības plaknē pēc formulas (10.64), jānosaka relatīvā ekscentritāte  $m_x$  un nosacītais reducētais lokanums  $\bar{\lambda}_{ef}$ .

Relatīvo ekscentritāti režgotai kolonnai atrod pēc formulas

$$m_x = e_x (A/I_x), \quad (10.91)$$

kur  $e_x$  — spēka ekscentritāte;  $e_x = M_x/N$ ;

$A$  — kolonnas šķērsriezuma laukums;

$a$  — attālums no šķērsriezuma galvenās ass, kas perpendikulāra lieces plaknei, līdz vairāk spiestā zara asij, bet ne mazāks par attālumu līdz zara sienīgas asij;

$I_x$  — kolonnas šķērsriezuma inerces moments pret  $x-x$  asi.

Lai režgotai kolonnai noteiktu nosacīto reducēto lokanumu, vispirms nosaka reducēto lokanumu

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + a_1 (A/A_{d1})}, \quad (10.92)$$

kur  $\lambda_y$  — aprēķina lokanums plaknē, kas perpendikulāra  $y-y$  asij;

$a_1$  — koeficients;  $a_1 = 10 (a^3/b^2l)$ ;

$a, b, l$  — izmēri, kurus nosaka pēc 10.52. attēla;

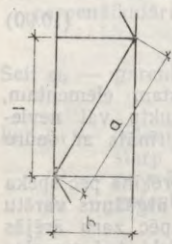
$A_{d1}$  — režģa atgāžņa šķērsriezuma laukums.

Režgotas kolonnas nosacīto reducēto lokanumu aprēķina pēc formulas

$$\bar{\lambda}_{ef} = \lambda_{ef} \sqrt{R_y/E}. \quad (10.93)$$

Pēc relatīvās ekscentritātes  $m_x$  un nosacītā reducētā lokanuma  $\bar{\lambda}_{ef}$  no pielikumu 15. tabulas atrod koeficientu  $\varphi_e$  un pārbauda kolonnas noturību lieces momenta darbības plaknē (formula (10.64)).

Ekscentriski spiestu režgotu kolonnu noturība nav jāpārbauda, ja  $m > 20$ .



10.52. att. Atgāžņu režģa shēma.

Kolonnas zemceltņa daļas noturību perpendikulāri lieces momenta darbības plaknei nepārbauda, jo to nodrošina atsevišķu zaru noturība.

Aprēķina beigās nosaka kolonnas zemceltņa un virselcēņa daļu šķērsriezumu faktisko inerces momentu pret  $x-x$  asi attiecību:

$$v' = I'_1/I'_2. \quad (10.94)$$

Režgotas kolonnas režģa pakļāvīgumu ievērtē ar koeficientu 0,9. Faktisko inerces momentu attiecība  $v'$  no rāmja statistiskajā aprēķinā pieņemto inerces momentu attiecības  $v = I_1/I_2$  nedrīkst atšķirties vairāk par 30%, t. i.,

$$\Delta v = ((v' - v)/v) \cdot 100 \leq 30\%. \quad (10.95)$$

Kolonnu augšgalu konstruktīvais risinājums ir atkarīgs no jumta kopņu sajūguma ar kolonnām, kurš var būt šarnīrveida vai stings. Kopnes balsta uz kolonnām galiem, ja izveido rīgeļa šarnīrveida sajūgumu ar kolonnām. Jumta kopnes balstreakciju  $F_v$  vispirms pārnes uz kolonnas gala balstplātņi, bet pēc tam gala balstribas to pārnes uz kolonnas sienīņu un tālāk sadala pa visu kolonnas šķērsgrīzumu. Šāda kolonnas gala konstrukcija un aprēķins aplūkoti 8. nodaļā.

Jumta kopnes kolonnām balstot no sāniem, var izveidot gan šarnīrveida, gan arī stingu rīgeļa sajūgumu ar kolonnām. Šo mezglu konstrukcija un aprēķins aplūkoti 10.4.3. sadaļā.

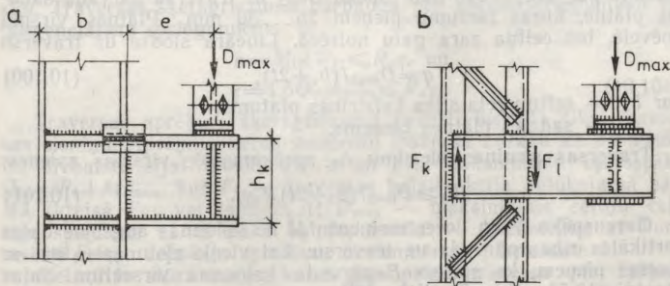
Pastāvīga šķērsgrīzuma kolonnām celtņu ceļa sijas balsta uz speciālas konsoles (10.53. att.). Pilnsienas kolonnām projektē dubult-T veida šķērsgrīzuma viensieniņas konsoles, bet režģotām kolonnām konsoles izveido no diviem U profiļiem.

Pilnsienas kolonnu konsoles un metinātās šuves, kuras piestiprina tās pie kolonnām (10.53. att. a), atļauts aprēķināt, pieņemot, ka lieces moments  $M$  uzņem tikai konsoles plaukti (neievērojot sienīņu), bet vertikālo spiedienu  $D_{max}$  (šķērsspēku) — konsoles sienīņa (neievērojot plauktus). Šai gadījumā normālsprīgumus un tangenciālos sprīgumus konsoles plauktos un sienīņā nosaka pēc formulām

$$\sigma_f = M / (h_k A_f) \leq R_y \gamma_c; \quad (10.96)$$

$$\tau_w = D_{max} / A_w \leq R_s \gamma_c, \quad (10.97)$$

kur  $M$  — lieces moments konsoles balsta šķēlumā, kas viendabns ar  $D_{max}e$ ;



10.53. att. Konsoles:

a — pilnsienas kolonnai; b — režģotai kolonnai.

$h_k$  — attālums starp konsoles plauktu centrālajām asīm;

$A_f$  un  $A_w$  — konsoles plauktu un sienīgas šķērsriezuma laukums.

Metinātām šuvēm, kas piestiprina konsoles plauktus pie kolonnas, kā arī ribu šuvēm jāuzņem spēks  $S=M/h_k$ . Kolonnas ribas pieņem tāda paša biezuma kā konsoles plauktus.

Kolonnas sienīnā konsoles pievienojuma vietā rodas salikts spriegumstāvoklis, jo sienīnā darbojas normālspriegumi un tangenciālie spriegumi. Šajā šķēlumā jāizpildās noteikumam

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1,15R_y \gamma_c, \quad (10.98)$$

kur  $\sigma$  — summārie normālspriegumi kolonnas sienīgas malā (pie joslu šuvēm), kurus izraisa garens spēks  $N$  un lieces moments  $M$  kolonnā augšējās ribas līmenī;  $\sigma = \sigma_N + \sigma_M$ ;

$\tau$  — summārie tangenciālie spriegumi sienīnā, kurus izraisa kolonnas šķērsspēks un horizontālais spēks  $S$ ;

$$\tau = (Q + S) / A_w, \quad (10.99)$$

kur  $A_w$  — kolonnas sienīgas šķērsriezuma laukums.

Režgotām kolonnām viensienīgas konsoli aprēķina analogi.

Režgotām kolonnām divsienīgu konsoli (10.53. att. *b*) aprēķina pēc lieces momenta  $M = D_{\max} e$  un šķērsspēka  $D_{\max}$ . Spēkus šuvēs, kas piestiprina konsoli pie kolonnas zariem, atrod pēc sviras likuma:  $F_l = k D_{\max} (b + e) / b$  un  $F_k = k D_{\max} e / b$ , kur  $k = 1,2$  — koeficients, ar kuru ievērtē  $D_{\max}$  nevienmērīgu pārvešanu uz kolonnu.

Pakāpjveida kolonnām celtņu ceļa sijas balsta uz kolonnas kāples virsceltņa un zemceltņa daļas sajūguma vietā. Spēku pārvadīšanai no kolonnas augšējās daļas un celtņu ceļa sijām uz apakšējo daļu kāples vietā izveido traversu. Traversas augstumu pieņem vienādu ar  $0,5 \dots 0,8$  no kolonnas zemceltņa daļas platumā un ne mazāku par  $400 \dots 500$  mm. Spēku  $D_{\max}$  uz traversu pārvada sadales plātne, kuras biezumu pieņem  $25 \dots 30$  mm. Plātnes virsmu noēvelē, bet celtņa zara galu nofrēzē. Lineārā slodze uz traversu

$$q = D_{\max} / (b_s + 2t), \quad (10.100)$$

kur  $b_s$  — celtņu ceļa sijas balstribas platums;

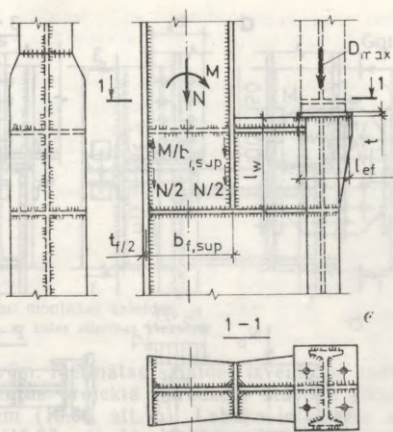
$t$  — sadales plātnes biezums.

Traversas sienīgas biezumu  $t_{tr}$  aprēķina pēc virsmas spiedes:

$$t_{tr} \geq D_{\max} / (b_s + 2t) R_p \gamma_c. \quad (10.101)$$

Garens spēku  $N$  un lieces momentu  $M$  no kolonnas augšējās daļas vertikālās ribas pārvada uz traversu. Lai vienkāršotu aprēķinu, ar rezervi pieņem, ka spēkus  $F$  pārvada kolonnas virsceltņa daļas plaukti (10.54. att.):  $F = N/2 \pm M/b_{f, sup}$ .

Drošāka savienojuma iegūšanai dažreiz kolonnas plauktā izveido izgriezumu, kurā iebīda kolonnas zemceltņa daļas sienīgu. Ievērojot



10.54. att. Pilnsienas kolonnas virsceltņa un zemceltņa daļu sajūgums.

to, ka vertikālo ribu piestiprina ar četrām metinātām šuvēm, var noteikt šuvju garumu:

$$l_w = F / (4\beta_f k_f R_{wf} \gamma_w \gamma_c) \quad (10.102)$$

vai

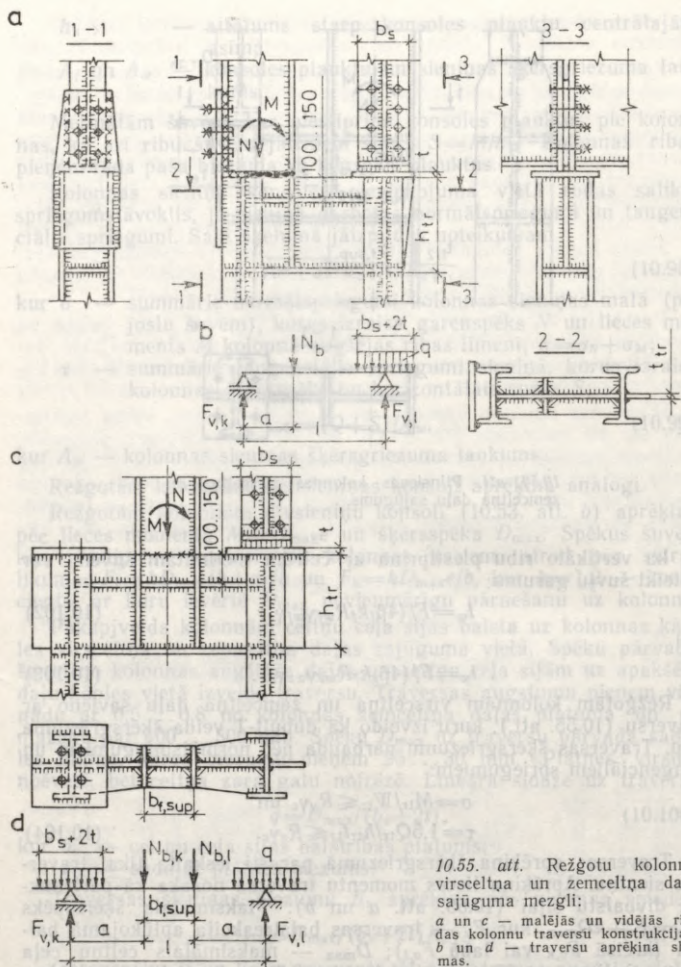
$$l_w = F / (4\beta_z k_f R_{wz} \gamma_w \gamma_c). \quad (10.103)$$

Režģotām kolonnām virsceltņa un zemceltņa daļu savieno ar traversu (10.55. att.), kuru izveido kā dubult-T veida šķērsgriezuma siju. Traversas šķērsgriezumu pārbauda pēc normālsprigumiem un tangenciāliem sprigumiem:

$$\begin{aligned} \sigma &= M_{tr} / W_{tr} \leq R_y \gamma_c \text{ un} \\ \tau &= 1,5 Q_{tr} / h_{tr} t_{tr} \leq R_s \gamma_c. \end{aligned} \quad (10.104)$$

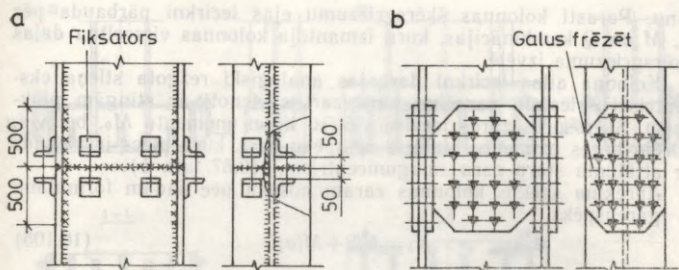
Traversas aprēķina šķērsgriezumā parasti ieskaita tikai traversas sienīņu. Aprēķina lieces momentu traversā nosaka kā pārtrauktai divbalstu sijai (10.55. att. a un b). Maksimālais šķērsspēks  $Q_{tr} = F_v + k D_{max}$ , kur  $F_v$  — traversas balstrekcija aplūkojamā balstā (kreisā  $F_{v,k}$  vai labā  $F_{v,l}$ );  $D_{max}$  — maksimālais celtņu ceļa siju spiediens uz tā paša balsta;  $k = 0,6$  — koeficients, ar kuru ievērtē celtņu ceļa siju spiediena nevienmērīgu pārvešanu.

Metinātās stūra šuves, kuras piestiprina traversu pie zariem, aprēķina pēc traversas balstrekcijas, bet šuves, kuras piestiprina vertikālās ribas pie sienīņas, — pēc reducētā  $N_b$ . Drošākai savienošanai celtņa zara sienīņā izveido izgriezumu, kurā iebīda traversu



un piemetina ar četrām stūra šuvēm, kuras aprēķina pēc trāversas summārās balstreakcijas  $F_{v,l} = F_v + D_{\max}$ .

Ja ražošanas ēku kolonnu garums ir lielāks par 18 m, tad izveido montāžas salaides, kuras izpilda ar metināšanu vai lielas.

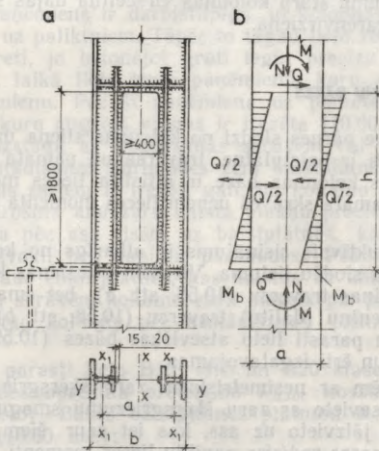


10.56. att. Kolonnu montāžas salaides:

a — metināta; b — ar lielas stiprības skrūvēm.

stiprības skrūvēm. Metinātas salaides izveido ar saduršuvēm, sagalojamos elementus projektā paredzētā stāvoklī fiksējot ar speciāliem fiksatoriem (10.56. att. a). Labāka ir salaide ar lielas stiprības skrūvēm (10.56. att. b). Uzliktņu šķērsriezuma laukumu pieņem vienādu ar elementu šķērsriezumu, bet skrūvju skaitu aprēķina pēc tās pašas slodžu kombinācijas kā pašu kolonnu.

Ja kolonnas virsceltņa daļā ierīko ailu (10.57. att. a) tilta celtni apkalpei, tad kolonnas vājinātais iecirknis jāpārbauda ar aprē-



10.57. att. Ejas aila kolonnas sienīgā:

a — konstruktīvais noformējums; b — aprēķina shēma.

kinu. Parasti kolonnas šķērsriezumu ejas iecirknī pārbauda pēc  $N$ ,  $M$  un  $Q$  kombinācijas, kuru izmantoja kolonnas virsclētņa daļas šķērsriezuma izvēlē.

Kolonna ailas iecirknī darbojas analogiski režģota stieņa ekscentriski spiestam panelim, kura zari savienoti ar stingām plāksnēm. Šķērsspēks zaros izraisa vietēju lieces momentu  $M_b$ , bet vispārējo lieces momentu aizvieto ar spēku pāri, kura plecs ir vienāds ar attālumu starp zaru smagumcentriem (10.57. att. *b*).

Aprēķina spēkus kolonnas zaram nosaka pēc šādām formulām: garenspēks

$$N_b = N/2 + M/a; \quad (10.105)$$

lieces moments

$$M_b = (Q/2)(h/2) = Qh/4. \quad (10.106)$$

Zara noturību pārbauda pēc ekscentriskās spiedes formulām: lieces momenta darbības plaknē

$$\sigma = N_b / (\varphi_{ex} A_b) \leq R_y \gamma_c; \quad (10.107)$$

plaknē, kas perpendikulāra lieces momenta darbības plaknei,

$$\sigma = N_b / (c \varphi_y A_b) \leq R_y \gamma_c, \quad (10.108)$$

kur  $A_b$  — viena zara šķērsriezuma laukums.

Izskaitļojot koeficientu  $\varphi_{ex}$ , zara aprēķina garumu pieņem vienādu ar ailas augstumu, bet, izskaitļojot koeficientu  $\varphi_y$  plaknē, kas perpendikulāra lieces momenta plaknei, aprēķina garumu pieņem vienādu ar attālumu starp kolonnas virsclētņa daļas sastiprinājuma punktiem ēkas garenvirzienā.

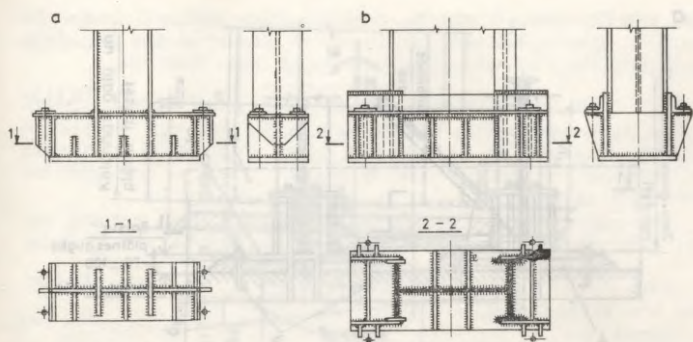
#### 10.5.6. KOLONNU BĀZES

Kolonnas bāze pārnes slodzi no kolonnas stieņa uz pamatu. Tās galvenie elementi ir balstplātne, traversa un pamata skrūves. Ekscentriski spiestas kolonnas bāze ir attīstīta lieces momenta darbības plaknē un pamata skrūves uzņem lieces momenta izraisītos stiepes spēkus.

Bāzes konstruktīvais risinājums ir atkarīgs no kolonnas šķērsriezuma tipa un slodžu lieluma. Viegļām pilnsienas kolonnām lieto bāzi ar viensieniņas traversu (10.58. att. *a*), bet smagākām kolonnām — ar divsieniņu (dalītu) traversu (10.58. att. *b*). Platām režģotām kolonnām parasti lieto atsevišķas bāzes (10.59. att.), kuras ir ekonomiskas un ērti izgatavojamas.

Kolonnų bāzēm ar nesimetriskiem zaru šķērsriezumiem balstplātņu centri jāsavieto ar zaru šķērsriezumu smagumcentriem un pamata skrūves jāizvieto uz ass, kas iet caur šiem centriem, jo citādi kolonnas zaros radīsies papildu lieces momenti.

Projektējot kolonnų bāzes, jāievēro arī paņēmieni kolonnų uzstādīšanai uz pamata. Montāžā lieto trīs paņēmienus:



10.58. att. Pilnsienas kolonnu bāzes:

a — ar viensienīgas traversu; b — ar dalītām traversām.

1) kolonnas uzstāda uz 40...60 mm bieziem tērauda paliktņiem, kas novietoti starp balstplātņi un pamata augšu, spraugu pēc tam aizlejot ar cementa javu;

2) kolonnas uzstāda uz pārbaudīta pamata virsmas bez cementa javas palējuma;

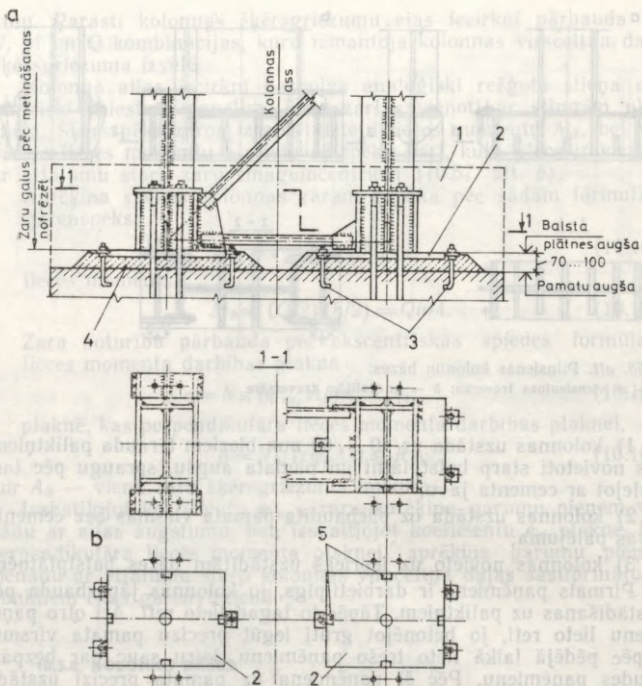
3) kolonnas novieto uz iepriekš uzstādītām bāzes balstplātnēm.

Pirmais paņēmieni ir darbietilpīgs, jo kolonnas jāpārbauda pēc uzstādīšanas uz paliktņiem. Tāpēc to tagad lieto reti. Arī otro paņēmieni lieto reti, jo betonējot grūti iegūt precīzu pamata virsmu. Tāpēc pēdējā laikā lieto trešo paņēmieni, kuru sauc par bezpārbaudes paņēmieni. Pēc šī paņēmiena uz pamata precīzi uzstāda balstplātnes, kuru augšējā virsma ir frēzēta (10.60. att.). Balstplātnes precīzi uzstāda ar iestatīšanas skrūvēm vai speciālu konduktoru. Pēc uzstādīšanas pārbaudes zem balstplātnēm palej cementa javu. Kolonnas zariem ir frēzēti gali, un kolonnu samontē konduktorā, kas nodrošina abu zaru balsta plakņu precīzu sakrišanu. Kolonnu uzstāda pēc asu risēm uz balstplātnes, kas nodrošina tai projektēto stāvokli bez papildu pārbaudes. Pēc tam uz pamata skrūvēm uzmauc enkurlātnes, kas balstās uz kolonnas traversām, un ar pamata skrūvēm kolonnu cieši pievelk pie pamata. Ja ir lieli bīdes spēki, tad kolonnu pēc uzstādīšanas piemetina pie balstplātnes.

Pamatam parasti lieto B10; B15 un B20 klases betonu, kuram virsmas spiedes aprēķina pretestību  $R_{b,loc}$  nosaka pēc formulām (8.45) un (8.46). Bāzes balstplātnes platumu  $B_{pl}$  parasti pieņem konstruktīvi (10.60. att.):

$$B_{pl} = b_f + 2t_{tr} + 2c, \quad (10.109)$$

kur  $b_f$  — kolonnas platumš;



10.59. att. Režgotas kolonnas bāze bezpārbaudes montāžai:

a — bāzes konstrukcija; b — balstplātņu uzstādīšana; 1 — bāzes apbetonējums; 2 — balstplātne; 3 — iestāšanās skrūves; 4 — cementa javas palējums; 5 — asu rīses.

$t_{tr}$  — traversas biezums;

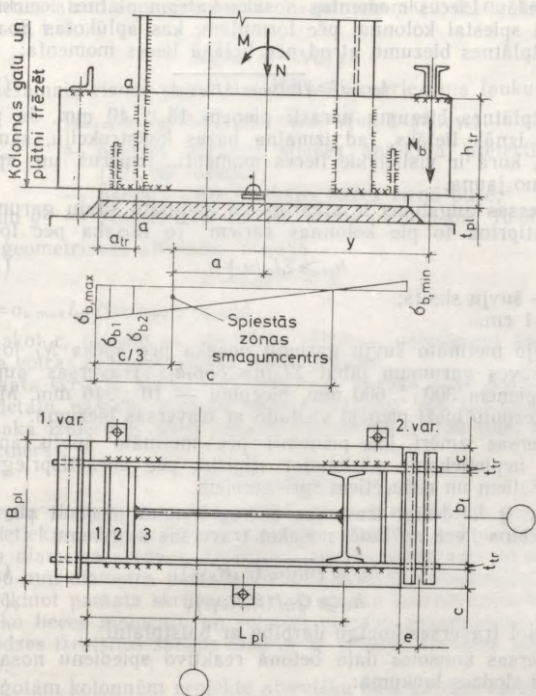
$c$  — plātnes konsole, kuru pieņem ne lielāku par 100...120 mm.

Plātnes garumu nosaka pēc formulas

$$L_{pl} = N / (2B_{pl}R_{b,loc}) + \sqrt{(N / (2B_{pl}R_{b,loc}))^2 + 6M / (B_{pl}R_{b,loc})}. \quad (10.110)$$

Aprēķinu izdara pēc spēku  $N$  un  $M$  kombinācijas, kas izraisa vislielākos betona spiedes spriegumus plātnes malā.

Bāzi izvietoj simetriski attiecībā pret kolonnas asi, ja balsta šķēlumā lieces momenti pēc vērtības ir tuvi, bet ar dažādām zīmēm, vai arī tie ir mazi. Pretējā gadījumā bāzi ieteicams nobīdīt uz lielākā lieces momenta pusi.



10.60. att. Pilnsienas kolonnas bāzes aprēķina shēma.

Galīgi pieņem balstplātnes izmērus, bāzes konstruktīvo risinājumu un izskaitļo faktiskos malējos spriegumus pamata betonā pēc šādām formulām:

$$\sigma_{b,max} = N/A_{pl} + 6M/(B_{pl}L_{pl}^2); \quad (10.111)$$

$$\sigma_{b,min} = N/A_{pl} - 6M/(B_{pl}L_{pl}^2). \quad (10.112)$$

Spriegumus nosaka arī epīras punktos, kas atrodas iecirkņū 2 un 3 malās (sk. 10.60. att.).

Balstplātnes biezumu nosaka pēc stiprības liecē, apskatot to kā plātni, kas balstās uz kolonnas stieņa gala, traversām, diafragmām un stinguma ribām un noslogota (nosacīti) ar vienmērīgi sadalītu pamata reaktīvo spiedienu. Nosakot lieces momentus dažādos iecirkņos,  $\sigma_b$  vērtību pieņem vienādu ar maksimālo vērtību katra iecir-

kņa robežās. Lieces momentus nosaka katram plātnes iecirknim kā centriski spiestai kolonnai pēc formulām, kas aplūkotas 8. nodaļā.

Balstplātnes biezumu atrod pēc lielākā lieces momenta:

$$t_{pl,cal} \geq \sqrt{6M_{max}/(R_y \gamma_c)}. \quad (10.113)$$

Balstplātnes biezumu parasti pieņem 16...40 mm. Ja plātnes biezums iznāk lielāks, tad izmaina bāzes konstrukciju, samazinot iecirkņa, kurā ir vislielākie lieces momenti, izmērus un aprēķinu izdarot no jauna.

Traversas augstums ir atkarīgs no metināto šuvju garuma, kuras piestiprina to pie kolonnas zariem. To nosaka pēc formulas

$$h_{tr} \geq \Sigma l_w/n + \delta, \quad (10.114)$$

kur  $n$  — šuvju skaits;

$$\delta = 1 \text{ cm.}$$

Kopējo metināto šuvju garumu nosaka pēc spēka  $N_f$  joslā, un katras šuves garumam jābūt  $\Sigma l_w/n \leq 85\beta_f k_f$ . Traversas augstumu parasti pieņem 300...600 mm, biezumu — 10...16 mm. Metināto šuvju biezumu bieži pieņem vienādu ar traversas biezumu.

Traversas izmēri, kas pieņemti pēc metināto šuvju aprēķina, bieži ir nepietiekami, pārbaudot stiprību pēc normālspriegumiem, tangenciāliem un reducētiem spriegumiem.

Tāpēc ir lietderīgi traversas šķērsgriezumu pieņemt pēc stiprības aprēķina liecē un bīdē, nosakot traversas augstumu

$$h_{tr} \geq \sqrt{6M_{tr}/(t_{tr} R_y \gamma_c)}; \quad (10.115)$$

$$h_{tr} \geq Q_{tr}/(t_{tr} R_s \gamma_c), \quad (10.116)$$

neievērojot traversas kopīgu darbību ar balstplātņi.

Traversas konsoles daļā betona reaktīvo spiedienu nosaka pēc attiecīgā slodzes laukuma:

$$Q_{tr} = B_{pl} a_{tr} (\sigma_{b,max} + \sigma_{b2})/4, \quad (10.117)$$

kur  $a_{tr}$  — plātnes iecirkņa aprēķina garums;

$\sigma_{b,max}$  un  $\sigma_{b2}$  — vislielākie spiedes spriegumi zem balstplātnes aprēķina iecirkņa malās.

Vislielākais lieces moments šķēlumā  $a-a$  (sk. 10.60. att.) ir

$$M_{tr} = Q_{tr} y_0, \quad (10.118)$$

kur  $y_0$  — attālums no bāzes konsoles spriegumu epīras smagumcentra līdz šķēlumam  $a-a$ .

Traversu, diafragmu un stinguma ribu šķērsgriezumu un stiprības aprēķina pēc pamata reaktīvā spiediena, kuru pārnes attiecīgie balstplātnes slodzes laukumi.

Pamata skrūvju aprēķinam sastāda līdzsvara vienādojumu pret betona spiestās zonas smagumcentru (sk. 10.60. att.):

$$M - Na - N_{by} = 0. \quad (10.119)$$

No šejienes atrod summāro spēku  $N_b$  pamata skrūvēs no bāzes vienas puses, t. i.,

$$N_b = (M - Na)y. \quad (10.120)$$

Nepieciešamais vienas pamata skrūves šķērsgriezuma laukums

$$A_{bn,cal} = N_b / (nR_{ba}\gamma_c) = (M - Na) / (nyR_{ba}\gamma_c), \quad (10.121)$$

kur  $R_{ba}$  — pamata skrūvju stiepes aprēķina pretestība (sk. [22] 60. tabulu);

$n$  — pamata skrūvju skaits bāzes vienā pusē;

$a$  un  $y$  — ģeometriskie izmēri, kurus pieņem pēc 10.60. attēla.

No ģeometriskās attiecības nosaka

$$a = L_{pl}/2 - c/3, \quad (10.122)$$

kur  $c = \sigma_{b,max}L_{pl} / (\sigma_{b,max} + \sigma_{b,min})$ .

Nosakot  $c$ , pieņem  $\sigma_b$  absolūtās vērtības, neievērojot spriegumu zīmi, ja epīras raksturs atbilst 10.60. attēlam.

Pamata skrūvju plecu, t. i., izmēru  $y$ , nosaka šādi. Sākumā konstruē detaļu pamata skrūvju piestiprināšanai pie kolonnas bāzes un nosaka izmēru  $e$ , kuru parasti pieņem 75...100 mm. Meklējama izmērs

$$y = L_{pl} - c/3 + e. \quad (10.123)$$

Pamata skrūvju diametru parasti pieņem ne lielāku par 72 mm. Ja nepietiek ar divām 72 mm diametra skrūvēm, tad pieņem četras mazāka diametra skrūves. Ja betonā stiepes spriegumi nerodas, tad 24...36 mm diametra pamata skrūves uzstāda konstruktīvi.

Aprēķinot pamata skrūves, pieņem slodžu kombināciju, kas rada vislielāko lieces momentu un relatīvi mazāko garenspēku. Pastāvīgās slodzes izraisītos spēkus pieņem ar slodzes drošuma koeficientu  $\gamma_f = 0,9$ .

Režģotām kolonnām projektē atsevišķu bāzi katram zaram, izvietojot to simetriski pret zara asi. Atsevišķas bāzes ir ekonomiskas un vienkārši izgatavojamas. Bāzes konstruktīvais risinājums parādīts 10.59. attēlā. Tā sastāv no balstplātnes, traversām, ribām un galdiem pamata skrūvēm. Pamata skrūves izvieto pa zara asi vai simetriski pret to.

Kolonnas atsevišķo bāzi aprēķina pēc maksimālā spiedes garenspēka kolonnas zaros, kuru aprēķina pēc formulas (10.80).

Balstplātnes nepieciešamo laukumu aprēķina pēc formulas

$$A_{pl} = N_b / R_{b,loc}. \quad (10.124)$$

Balstplātnes platumu pieņem pēc formulas (10.109), bet garumu aprēķina šādi:

$$L_{pl} = A_{pl} / B_{pl}. \quad (10.125)$$

Balstplātnes biezumu nosaka liecē kā plātnei, kas balstīta uz zara gala, traversām un ribām, tāpat kā centriski spīestai kolonnai.

Režģotas kolonnas bāzes pamata skrūves aprēķina pēc maksimālā stiepes spēka ikvienā kolonnas zarā. Vislielākais stiepes spēks kolonnas zarā parasti ir, ja darbojas pastāvīgā un vēja slodze.

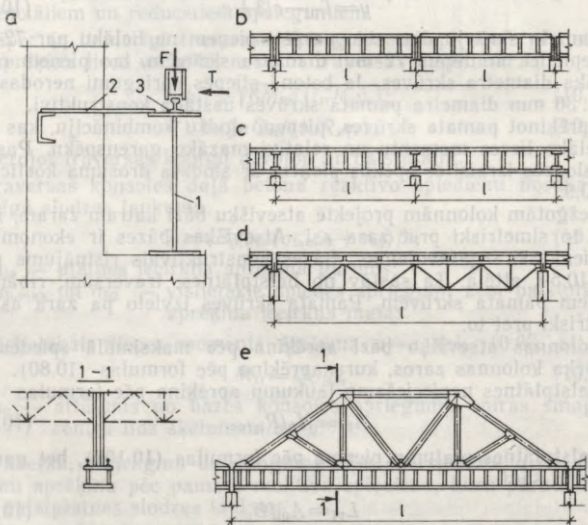
Ja starp bāzes plātņi un pamatu nerodas stiepes spriegumi, tad to piestiprina pie pamata ar skrūvēm, kuru diametrs ir 24 ... 36 mm.

## 10.6. CELTŅU CEĻA KONSTRUKCIJAS

### 10.6.1. CELTŅU CEĻA KONSTRUKCIJU RAKSTUROJUMS

Tilta celtņu ceļa konstrukciju kompleksā (10.61. att. *a*) ietilpst celtņu ceļa sija, bremzēšanas sija, siju stiprinājums pie kolonnām, celtņa sliede un detaļas tās piestiprināšanai pie celtņu ceļa sijas un celtņa atturi ēkas galos.

Galvenajiem nesošajiem elementiem — celtņu ceļa sijām ir dažāda konstruktīvā forma. Visplašāk lieto pilnsienas celtņu ceļa sijas, kuras var būt pārtrauktas (10.61. att. *b*) vai nepārtrauktas (10.61. att. *c*).



10.61. att. Celtņu ceļu konstrukcijas:

*a* — elementi; *b* — pārtraukta celtņu ceļa sija; *c* — nepārtraukta celtņu ceļa sija; *d* — celtņu ceļa kopne; *e* — celtņu ceļa un jumta pakopne; *l* — sija; 2 — bremzēšanas sija; 3 — celtņa sliede.

Ja ir viegli celtņi un lieli kolonnu soļi, tad ieteicamas ir režģotas celtņu ceļa sijas (10.61. att. *d*), kurām ir mazāks metāla patēriņš. Ja ir lieli siju laidumi un smagi celtņi, tad lieto kombinētas sistēmas — celtņu ceļa un jumta pakopnes, kurās apvienota celtņu ceļa sija un jumta pakopne (10.61. att. *e*).

Ražošanas ēkām lieto arī cita veida speciālas celtņu ceļa sijas — celtņiem, kuri brauc pa sijas apakšējo joslu, piekarceltņiem u. c.

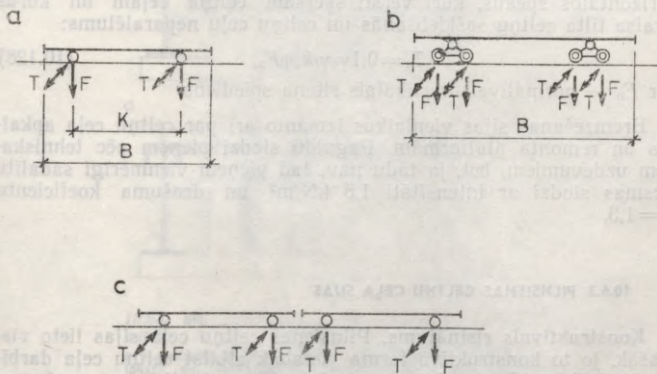
Celtņu ceļa konstrukcijas darbojas ļoti smagos apstākļos, jo tās uzņem kustīgu vertikālu slodzi un ir pakļautas horizontālo šķērsbremzēšanas spēku iedarbībai, kuru uzņemšanai izveido speciālu bremzēšanas siju.

Sevišķi smagos apstākļos darbojas celtņu ceļa konstrukcijas ēkās, kurās ekspluatē 7K un 8K darbības režīma grupas tilta celtņus.

### 10.6.2. CELTŅU SLODZU APRĒKINS

Celtņa slodzi uz celtņu ceļa konstrukciju pārnes celtņa riteņi, kas uzstādīti uz celtņa tilta šķērssijas. Tilta vienā pusē izvietoti divi, četri vai vairāki riteņi (10.62. att. *a*). Daudzriteņu celtņiem lieto balansierīces vertikālo spēku vienmērīgai pārnesšanai no riteņiem.

Celtņu ceļa konstrukciju aprēķinā parasti ievēro vertikālo un horizontālo slodzi, ko rada divi tilta celtņi (10.62. att. *c*), kuri tuvināti kopīgai darbībai un kuru ratiņi bremzē vienas kolonnas



10.62. att. Celtņu slodzes:

*a* — četrriteņu celtņi; *b* — astoņriteņu celtņi; *c* — divu tuvinātu celtņu aprēķina slodze.

tuvumā, t. i., stāvoklī, kad uz celtņu ceļa siju vienlaikus darbojas vislielākie vertikālie un horizontālie spēki.

Vertikālos un horizontālos aprēķina spēkus nosaka pēc formulām

$$F = \gamma_n \gamma_f k_1 \psi F_{\max}; \quad (10.126)$$

$$T = \gamma_n \gamma_f k_2 \psi T_n, \quad (10.127)$$

kur  $\gamma_n$  — uzdevuma drošuma koeficients (sk. pielikumu 6. tab.);

$\gamma_f$  — celtņa slodzes drošuma koeficients, kas vienāds ar 1,1;

$k_1$  un  $k_2$  — dinamiskuma koeficienti, kurus pieņem šādi: ja kolonnu solis  $B \leq 12$  m, tad 8K darbības režīma grupas tilta celtņiem  $k_1 = 1,2$ , bet 6K un 7K darbības režīma grupas tilta celtņiem un visu darbības režīmu grupu piekarceltņiem  $k_1 = 1,1$ ; ja kolonnu solis  $B > 12$  m, tad 8K darbības režīma grupas tilta celtņiem  $k_1 = 1,1$ ; pārējos gadījumos dinamiskuma koeficientu  $k_1$  pieņem vienādu ar 1,0; horizontālai celtņu slodzei  $k_2 = 1,1$  tikai 8K darbības režīma grupas tilta celtņiem;

$\psi$  — kombināciju koeficients, kuru pieņem pēc 10.3.2. sadaļas;

$F_{\max}$  — celtņa riteņa maksimālais spiediens, kuru pieņem no celtņu valsts standartiem;

$T_n$  — normatīvais horizontālais spēks, kurš darbojas uz celtņa riteņi un kuru nosaka pēc formulām (10.13) un (10.14).

Ēkās ar 7K un 8K darbības režīma grupas tilta celtņiem ievēro horizontālos spēkus, kuri vērsti šķērsām celtņa ceļam un kurus izraisa tilta celtņu sašķiešanās un celtņu ceļu neparalēlums:

$$T_t = 0,1 \gamma_n \gamma_f k_2 \psi F_n, \quad (10.128)$$

kur  $F_n$  — normatīvais vertikālais riteņa spiediens.

Bremzēšanas sijas vienlaikus izmanto arī par celtņu ceļa apkalpes un remonta platformām. Pagaidu slodzi pieņem pēc tehniskajiem uzdevumiem, bet, ja tādu nav, tad pieņem vienmērīgi sadalītu virsmas slodzi ar intensitāti  $1,5 \text{ kN/m}^2$  un drošuma koeficientu  $\gamma_f = 1,3$ .

### 10.6.3. PILNSIENAS CELTŅU CEĻA SIJAS

**Konstruktīvais risinājums.** Pilnsienas celtņu ceļa sijas lieto visplašāk, jo to konstruktīvā forma vislabāk atbilst celtņu ceļa darbības īpatnībām. Pārtraukto un nepārtraukto siju lietošana galvenokārt ir atkarīga no balstu padevīguma. Nepārtrauktās sijas ir par 10...15% vieglākas nekā pārtrauktās sijas, bet balstu nevienmē-

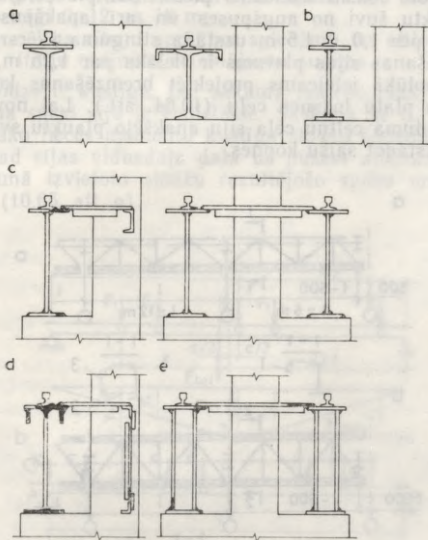
rīga sēšanās izraisa lielus papildu spriegumus. Balstu elastīgu sēšanos var ievērtēt ar koeficientu

$$c = \Delta EI / l^3, \quad (10.129)$$

kur  $\Delta$  — deformācija, ko izraisa balstam pielikta spēka vienība;  
 $EI$  — celtņu ceļa sijas stingums;  
 $l$  — sijas laidums.

Ja  $c \geq 0,05$ , tad nepārtrauktas celtņu ceļa sijas nav ieteicamas.

Celtņu ceļa siju šķēsgriezumu tipi ir atkarīgi no slodzes, laiduma un celtņu darbības režīma grupas. Tilta celtņiem, kuru celtspēja nepārsniedz 10 t, 6 m laiduma celtņu ceļa sijas var izveidot no velmētiem dubult-T profiļiem, kuriem augšējo plauktu pastiprina ar loksni vai leņķprofiliem, vai nesimetriska šķēsgriezuma dubult-T metinātām sijām (10.63. att. *a, b*). Lielākas celtspējas celtņiem visbiežāk lieto metinātas dubult-T šķēsgriezuma sijas ar horizontālu bremsēšanas siju (10.63. att. *c*), kuru vienlaikus izmanto celtņu apkalpei.



10.63. att. Pilnsienas celtņu ceļa siju šķēsgriezumi:

*a* — velmēts dubult-T profiļs, kas augšā pastiprināts ar loksni vai leņķprofiliem; *b* — nesimetrisks dubult-T šķēsgriezums; *c* — nesimetrisks dubult-T šķēsgriezums ar bremsēšanas siju; *d* — dubult-T šķēsgriezums, kura augšējā josla pastiprināta ar vertikālām loksņēm; *e* — divsienīgu sija.

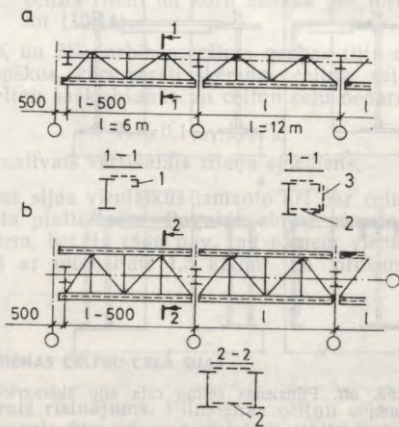
Ekās ar 8K darbības režīma grupas tilta celtņiem celtņu ceļa siju sienīgas augšējā zonā nereti rodas bojājumi. Tāpēc tādās ekās lietderīgi lietot sijas, kuru augšējā josla pastiprināta ar vertikāliem elementiem (10.63. att. *d*), vai arī divsieniņu sijas (10.63. att. *e*). Šie konstruktīvie risinājumi samazina sienīgā celtņa ratiņu spiediena izraisītos vietējos spriegumus un palielina augšējās joslas un sienīgas izturību pret vērpi, kas rodas, ja celtņa sliedes ass nobīdās no sienīgas ass.

Bremzēšanas sijas, kuru platums nepārsniedz 1,25 m, parasti projektē no 6...8 mm biezām rievotām loksņēm.

Bremzēšanas siju rievoto loksni celtņu ceļa sijām, kuras uzstāda uz malējo rindu kolonnām, vienā pusē balsta uz sijas augšējā plaukta, bet otrā pusē — uz palīgsijas U profila (10.63. att. *c*), ja laidums ir 6 m, vai uz palīgkopnes joslas (10.63. att. *d*), ja laidums ir 12 m un lielāks.

Celtņu ceļa sijām, kuras uzstāda uz vidējo rindu kolonnām, augšējie plaukti vienlaikus ir arī bremsēšanas siju plaukti. Bremzēšanas siju rievoto loksni ieteicams piemetināt pie celtņu ceļa sijām ar nepārtrauktu šuvi no augšpusē un arī apakšpusē. Loksnes apakšpusē ik pēc 1,0...1,5 m uzstāda stinguma šķērsības.

Ja bremsēšanas sijas platums ir lielāks par 1,25 m, tad metāla ekonomijas nolūkā ieteicams projektēt bremsēšanas kopni ar vismaz 600 mm platu loksnes ceļu (10.64. att.). Lai novērstu 12 m un lielāka laiduma celtņu ceļa siju apakšējo plauktu svārstības, tos sastiprina, uzstādot saišu kopnes.



10.64. att. Bremzēšanas kopnes:

*a* — pa malējo rindu kolonnām; *b* — pa vidējo rindu kolonnām; 1 — palīgsija (U profils); 2 — saišu kopne; 3 — vertikāla palīgkopne.

**Celtnu ceļa siju aprēķins.** Celtnu ceļa siju aprēķins ir analogs parasto siju aprēķinam, tikai jāievēro vairākas īpatnības:

uz sijām darbojas kustīga slodze, kas izraisa lielus vietējos spriegumus zem celtnu riteņiem;

sijas uzņem ne tikai vertikālus, bet arī horizontālus spēkus; slodze ir dinamiska.

Ievērojot to, ka parasto siju aprēķins iztirzāts 7. nodaļā, šeit aplūkosim tikai celtnu ceļa siju aprēķina īpatnības un papildinājumus, kas izriet no to specifiskās darbības.

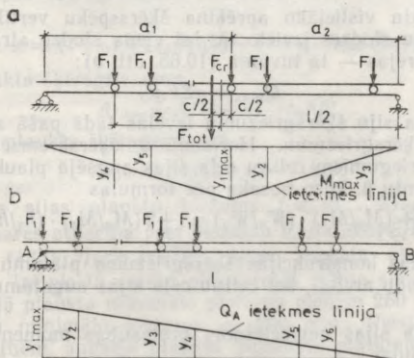
Aprēķina spēkus — vislielākos lieces momentus un šķērsspēkus — celtnu ceļa sijās atrod pēc divu kopīgai darbībai tuvinātu tilta celtnu slodzes. Spēkus nosaka, izmantojot ietekmes līnijas. Vertikālās slodzes izraisītais aprēķina lieces moments

$$M_x = M_F = a \Sigma F_i y_i, \quad (10.130)$$

kur  $a$  — koeficients, ar kuru ievērtē celtnu ceļa sijas masu. To pieņem 1,03; 1,05 un 1,08 sijām, kuru laidums ir attiecīgi 6; 12 un 18 m;

$\Sigma F_i y_i$  — celtna riteņu aprēķina spiedienu un attiecīgo ietekmes līniju ordinātu reizinājumu summa.

Tā kā slodze ir kustīga, tad sākumā jāatrod tāds stāvoklis, kurā aprēķina spēki sijā ir vislielākie. Saskaņā ar E. Vinklera teorēmu vislielāko lieces momentu kustīgo slodžu sistēma izraisa tajā gadījumā, kad sijas vidusdaļa daļa uz pusēm attālumu starp visu dotajā laidumā izvietoto slodžu rezultējošo spēku un tuvāko kritisko slodzi (10.65. att. a).



10.65. att. Aprēķina spēku noteikšanas shēma:

a — vislielākais lieces moments; b — vislielākais šķērspēks.

Saskaņā ar P. Varinjona teorēmu visu slodžu rezultējošā spēka  $F_{tot} = \Sigma F_i$  stāvokli pret malējā kreisā riteņa asi nosaka

$$z = \Sigma M_k / F_{tot}. \quad (10.131)$$

Vienkāršā sija ir visneizdevīgāk noslogota ar kustīgo slodzi gadījumā, kad lieces momenta ietekmes līnijas trīsstūra virsotnē izvietots kritiskais spēks  $F_{cr}$ , kuru nosaka pēc šādām divām nevienādībām:

$$\left. \begin{aligned} (F_{tot,k} + F_{cr}) / a_1 &\geq F_{tot,l} / a_2; \\ F_{tot,k} / a_1 &\leq (F_{cr} + F_{tot,l}) / a_2, \end{aligned} \right\} \quad (10.132)$$

kur  $F_{tot,k}$  — slodžu, kas atrodas pa kreisi no kritiskā spēka, rezultējošais spēks;

$F_{tot,l}$  — slodžu, kas atrodas pa labi no kritiskā spēka, rezultējošais spēks;

$a_1$  un  $a_2$  — attālumi no kritiskā spēka līdz balstiem.

Nevienādības (10.132) izsaka nepieciešamo un pietiekamo kritiskā spēka pazīmi. Risinājums ir spēkā, ja, novietojot celtņus atrastajā kritiskajā stāvoklī, neviena no apskatāmajām slodzēm nenoiet no sijas. Pretējā gadījumā analīze jāatkārto, ievērojot tikai tās slodzes, kas atrodas uz sijas.

Ja nevienādības (10.132) ievērotas, tad atrod attālumu  $c$  starp kritisko slodzi un rezultējošo spēku (sk. 10.65. att. a). Šai gadījumā vislielākais lieces moments ir zem kritiskās slodzes.

Aprēķina lieces momentu, ko izraisa šķērsbremzēšana, nosaka pēc tās pašas ietekmes līnijas kā lieces momentu, darbojoties vertikālām slodzēm:

$$M_y = M_T = T \Sigma y_i. \quad (10.133)$$

Lai noteiktu vislielāko aprēķina šķērsspēku vertikālās slodzes ietekmē, celtņu slodzes izvieto tā, lai viena slodze atrastos tieši uz balsta, bet pārējās — tā tuvumā (10.65. att. b):

$$Q_{max} = \alpha \Sigma F_i y_i. \quad (10.134)$$

Celtņu ceļa siju šķērsgriezumu izvēlas tādā pašā secībā kā parasto siju šķērsgriezumu. Horizontālo šķērsbremzēšanas spēku ietekmi uz spriegumiem celtņu ceļa sijas augšējā plauktā var ievērtēt ar koeficientu  $\beta$ , kuru nosaka pēc formulas

$$\beta = 1 + (M_y / M_x) \cdot (W_x / W_y) \approx 1 + 2 (M_y / M_x) \cdot (h_s / h_{br.s}). \quad (10.135)$$

Bremzēšanas konstrukcijas šķērsgriezuma platumu  $h_{br.s}$  pieņem aptuveni vienādu ar  $b_{inf}$ , bet celtņu ceļa sijas augstumu  $h_s = (1/6 \dots 1/10)l$ .

Celtņu ceļa sijas nepieciešamo pretestības momentu  $W_{x,cat}$  nosaka pēc formulas

$$W_{x,cat} = M_x \beta / (R_y \gamma_c). \quad (10.136)$$

Nosakot sijas minimālo augstumu, jāievēro, ka celtņu ceļa siju stingumu pārbauda ar slodzi, ko rada viens celtņš

pēc ietekmes līnijām vai E. Vinklera teorēmas jāaprēķina maksimālais normatīvais lieces moments  $M_n$ , siju slogojot ar vienu celtņi.

Sijas minimālo augstumu nosaka, ievērojot normatīvā lieces momenta  $M_n$  attiecību pret aprēķina lieces momentu  $M_x$ , pēc šādas formulas:

$$h_{\min} = IR_y / (10^5 [f/l]) (M_n / M_x), \quad (10.137)$$

kur  $[f/l]$  — relatīvā izliece, kas dota pielikumū 7. tabulā.

Orientējoši nosaka sienīņas biezumu:

$$t_w = 7 + 3h/1000, \quad (10.138)$$

kur  $h_{\min}$  — sijas augstums, mm.

Ievērojot celtņu ceļa siju spriegumstāvokļa īpatnības, ieteicams projektēt nesimetrisku šķērsriezumu. Nesimetriska šķērsriezuma siju optimālais augstums

$$h_{\text{opt}} = \sqrt[3]{(3/(1+\eta)) W_{x,\text{cat}}/t_w}, \quad (10.139)$$

kur  $\eta$  — asimetrijas koeficients, kas raksturo vertikālās slodzes izraisīto sprieguma daļu augšējā plauktā attiecībā pret aprēķina pretestību, t. i.,  $\eta = \sigma_{\text{sup}}/R_y$ .

Celtņu ceļa sijām ar bremsēšanas siju var pieņemt  $\eta = 0,9$ .

Sienīņas augstumu  $h_w$  izvēlas, ievērojot sortimentu, un pieņem pēc moduļa 100 mm. Pēc bīdes stiprības minimālais sienīņas biezums

$$t_{w,\min} \geq 1,5Q_{\max}/(h_w R_s). \quad (10.140)$$

Pēc sienīņas šķērsriezuma izvēles nosaka visu sijas šķērsriezumu

$$A = (1+\eta) W_{x,\text{cat}}/(\eta h) + (1+\eta)^2 h t_w / (6\eta); \quad (10.141)$$

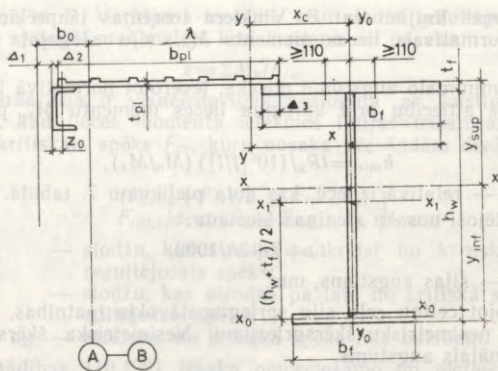
augšējā plaukta šķērsriezumu

$$A_{f,\text{sup}} = A/(1+\eta) - t_w h/2 \quad (10.142)$$

un apakšējā plaukta šķērsriezumu

$$A_{f,\text{inf}} = A\eta/(1+\eta) - t_w h/2. \quad (10.143)$$

Metinātas sijas plauktu biezums  $t_f \leq (2 \dots 3)t_w$ , bet spiestā plaukta pārkares attiecība pret biezumu  $b_{ef}/t \leq 0,5\sqrt{E/R_y}$ . Ja  $h_{ef}/t_w \leq 2,7\sqrt{E/R_y}$ , tad  $b_{ef}/t \leq 0,3\sqrt{E/R_y}$ . Sijas augšējā plaukta platumu izvēlas tādu, lai pie tā varētu piestiprināt celtņa sliedi. Celtņu ceļa sijām augšējā plaukta minimālo platumu pieņem 250 mm, bet apakšējā plaukta minimālo platumu — 200 mm. Piestiprinot celtņa sliedi ar plātnēm, augšējā plaukta minimālo platumu pieņem šādu: celtņiem ar celtspēju līdz 80 t — 320 mm, ja nav bremsēšanas sijas, — 360 mm, ja ir režģota bremsēšanas sija, un 400 mm, ja ir pilnsienas bremsēšanas sija; celtņiem ar celtspēju virs 80 t — 400...450 mm.



10.66. att. Celtņu ceļa sijas šķērsgriezums.

Bremzēšanas sijas platumu pieņem (10.66. att.) šādu:

$$b_{br.s} = (b_0 + \lambda) - (\Delta_1 + \Delta_2 + b_f/2) + \Delta_3.$$

Palīgsiju (palīgkopni) nobīda par  $\Delta_1 = 40 \dots 50$  mm no kolonnas ārējās malas uz ēkas iekšpusi.

Laī pārbaudītu celtņu ceļa sijas stiprību, izskaitļo tās ģeometriskos raksturojumus. Pieņemot par  $x_0 - x_0$  asi apakšējā plaukta asi, nosaka šķērsgriezuma smagumcentra koordinātu

$$y_c = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}, \quad (10.144)$$

attālumus no neitrālās ass līdz apakšējā plaukta ( $y_{inf}$ ) un augšējā plaukta ( $y_{sup}$ ) malējām šķiedrām, šķērsgriezuma neto inerces momentu  $I_{xn}$  un šķērsgriezuma nobīdāmās daļas statisko momentu  $S_x$ . Pēc tam nosaka bremzēšanas sijas smagumcentra koordināti  $x_c$  pret celtņu ceļa sijas centrālo  $y_0 - y_0$  asi, attālumus  $x$  no  $y - y$  ass līdz sijas augšējā plaukta malējām šķiedrām un šķērsgriezuma neto inerces momentu  $I_{yn}$ .

Normālspriegumus celtņu ceļa sijas augšējā plauktā pārbauda pēc formulas

$$\sigma_{sup} = (M_x/I_{xn}) y_{sup} + (M_y/I_{yn}) x \leq R_y \gamma_c, \quad (10.145)$$

apakšējā plauktā — pēc formulas

$$\sigma_{inf} = (M/I_{xn}) y_{inf} \leq R_y \gamma_c. \quad (10.146)$$

Tangenciālie spriegumi uz balsta

$$\tau = Q_{max} S_x / (I_{tw}) \leq R_s \gamma_c. \quad (10.147)$$

Ja ir režģota bremsēšanas sija — kopne, tad celtņu ceļa sijas augšējai joslai noturību pārbauda pēc formulas

$$\sigma_{sup} = (M_x/I_x) y_{sup} + N_T / (\varphi A_{f,sup}) + M_{loc} / W_{f,sup} \leq R_y \gamma_c. \quad (10.148)$$

Seit  $N_T$  — aprēķina garespēks sijas augšējā joslā, ko izraisa horizontālā slodze ( $M_T$  aizvieto ar spēku pāri, kura plecs ir vienāds ar bremsēšanas kopnes augstumu  $h_{br.a}$ );  $N_T = M_T / h_{br.a}$ ;

$A_{f,sup}$  — sijas augšējās joslas bruto šķēsgriezuma laukums;  
 $\varphi$  — augšējās joslas garenlieces koeficients perpendikulāri sijas plaknei, kuru nosakot aprēķina garumu pieņem vienādu ar attālumu starp bremsēšanas kopnes mezgliem;

$M_{loc}$  — vietējais lieces moments sijas augšējās joslas horizontālajā plaknē, ko izraisa celtņa riteņa sāniskais spiediens;  $M_{loc} = 0,9 T l_m / h$ , kur 0,9 — koeficients, ar kuru ievērtē joslas nepārtrauktību mezglos,  $l_m$  — paneļa garums;

$W_{f,sup}$  — sijas augšējās joslas bruto pretestības moments pret vertikālo asi.

Sijas sienīgai jāizpilda šādi nosacījumi (izņemot sijas 7K un 8K celtņu darbības režīma grupai):

$$\sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq 1,15 R_y \gamma_c; \quad (10.149)$$

$$\tau_{xy} \leq R_s \gamma_c, \quad (10.150)$$

kur  $\sigma_x$  — normālspriegumi sienīgas vides plaknē, kuri ir paralēli sijas asij;  $\sigma_x = (M_x / I_{xn}) y$ ;

$\sigma_y$  — normālspriegumi sienīgas vides plaknē, kuri ir perpendikulāri sijas asij, ieskaitot vietējos spriegumus  $\sigma_{loc}$ ;

$\tau_{xy}$  — sienīgas vidējie tangenciālie spriegumi, ievērojot sienīgas vājinājumus;  $\tau_{xy} = Q / (l_w h_w)$ .

Vietējos spriegumus, kuri ir perpendikulāri celtņu ceļa sijas asij, nosaka pēc formulas

$$\sigma_{loc,y} = \gamma_{f1} F / (t l_{ef}), \quad (10.151)$$

kur  $\gamma_{f1}$  — koeficients, ar kuru ievērtē vertikālās koncentrētās slodzes palielināšanos uz tilta celtņa atsevišķo riteni; šo koeficientu 8K darbības režīma grupas celtņiem ar stingu piekaru pieņem 1,6; tiem pašiem celtņiem ar lokanu piekaru — 1,4; 7K darbības režīma grupas celtņiem — 1,3; pārējo darbības režīma grupu celtņiem — 1,1;

$F$  — celtņa riteņa aprēķina spiediens, neievērojot dinamiskuma koeficientu;

$l_{ef}$  — nosacītais garums, kuru nosaka pēc formulas

$$l_{ef} = c \sqrt[3]{I_{1f} / t}, \quad (10.152)$$

kur  $c$  — koeficients, kuru metinātām un velmētām sijām pieņem 3,25, sijām ar lielas stiprības skrūvēm — 4,25;  
 $I_{lf}$  — sijas plaukta un celtna sliedes inerces momentu summa vai sliedes un plaukta kopējais inerces moments, ja sliede piemetināta ar šuvēm, kas nodrošina sliedes un plaukta kopīgu darbību.

Spriegumi  $\sigma_x$  un  $\sigma_y$  jānosaka vienā un tajā pašā sijas sienīņas punktā un formulā (10.149) jāievieto katrs ar savu zīmi. Aprēķinot nepārtrauktu siju šķēlumu uz balsta, šajā formulā koeficienta 1,15 vietā pieņem koeficientu 1,3.

Dubult-T veida šķērsriezuma celtnu ceļa siju noturību pārbauda pēc formulas

$$M/(\varphi_b W_c) \leq R_y \gamma_c, \quad (10.153)$$

kur  $W_c$  — pretestības moments, ko nosaka spiestam plauktam;

$\varphi_b$  — koeficients, kuru nosaka pēc normu [22] 7. pielikuma.

Nosakot koeficientu  $\varphi_b$ , par sijas aprēķina garumu  $l_{ef}$  pieņem attālumu starp spiestā plaukta nostiprinājuma punktiem pret šķērs-pārbīdīšanos.

Noturība nav jāpārbauda

sijām ar pilnsienas bremsēšanas siju;

simetriska un nesimetriska dubult-T šķērsriezuma sijām ar attīstītu spiesto plauktu, kurām stieptā plaukta platums ir ne mazāks par 0,75 no spiestā plaukta platuma, ja

$$l_{ef}/b \leq (0,35 + 0,0032b/t + (0,76 - 0,02b/t)b/h) \sqrt{E/R_y} \quad (10.154)$$

gadījumos, kad  $1 \leq h/b < 6$  un  $15 \leq b/t \leq 35$ . Ja  $b/t < 15$ , tad formulā (10.154) pieņem  $b/t = 15$ . Seit  $b$  un  $t$  — spiestā plaukta platums un biezums;  $h$  — attālums starp plauktu asīm.

Sais gadījumos spiestā plaukta nostiprinājums horizontālā plaknē jāaprēķina pēc faktiskā vai nosacītā šķērsspēka. Ja nostiprinājums ir atsevišķos punktos, tad nosacīto šķērsspēku aprēķina pēc formulas

$$Q_{fic} = 7,15 \cdot 10^{-6} (2330 - E/R_y) N / \varphi, \quad (10.155)$$

kur  $\varphi$  nosaka lokanumam  $\lambda = l_{ef}/i$  (šeit  $i$  — spiestā plaukta šķērs-griezuma inerces rādiuss horizontālajā plaknē), bet garspēku aprēķina pēc formulas

$$N = (A_f + 0,25A_w) R_y. \quad (10.156)$$

Ja ir nepārtraukts nostiprinājums, tad

$$q_{fic} = 3Q_{fic}/l, \quad (10.157)$$

kur  $q_{fic}$  — nosacītais šķērsspēks uz sijas plaukta garuma vienību;

$Q_{fic}$  — nosacītais šķērsspēks, kuru nosaka pēc formulas (10.155), pieņemot  $\varphi = 1$  un aprēķinot  $N$  pēc formulas (10.156).

Celtnu ceļa sijām, kurām noslogojuma ciklu skaits  $n \geq 10^5$ , jāaprēķina izturība saskaņā ar projektēšanas normu [22] 9. sadaļas nosacījumiem.

Celtņu ceļa sijām 7K un 8K darbības režīma grupas celtņiem papildus jāpārbauda sienīgas stiprība un izturība.

Celtņu ceļa siju sienīgām, kuras projektē no tērauda ar plūstamības robežu līdz 430 MPa, spiestajā zonā jāizpildās nosacījumiem

$$\sqrt{(\sigma_x + \sigma_{loc,x})^2 - (\sigma_x + \sigma_{loc,x})\sigma_{loc,y} + \sigma_{loc,y}^2 + 3(\tau_{xy} + \tau_{loc,xy})^2} \leq \beta R_y; \quad (10.158)$$

$$\sigma_x + \sigma_{loc,x} \leq R_y; \quad (10.159)$$

$$\sigma_{loc,y} + \sigma_{fy} \leq R_y; \quad (10.160)$$

$$\tau_{xy} + \tau_{loc,xy} + \tau_{f,xy} \leq R_s; \quad (10.161)$$

kur

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= M/W_{xn}; \quad \tau_{xy} = Q/(ht); \\ \sigma_{loc,y} &= \gamma_{f1} F/(t l_{ef}); \\ \sigma_{loc,x} &= 0,25 \sigma_{loc,y}; \quad \tau_{loc,xy} = 0,3 \sigma_{loc,y}; \\ \sigma_{fy} &= 2M_f/t I_f; \quad \tau_{f,xy} = 0,25 \sigma_{fy}; \end{aligned} \right\} \quad (10.162)$$

$\beta$  — koeficients, kuru pieņem vienādu ar 1,15 pārtrauktām sijām un 1,30 nepārtrauktām sijām, aprēķinot balstu šķēlumus;

$M$  un  $Q$  — aprēķina slodzes izraisītais lieces moments un šķērsspēks sijas šķēlumā;

$\gamma_{f1}$  — koeficients, ar kuru ievērtē vertikālās koncentrētās slodzes palielināšanos uz celtņa atsevišķo riteņi (sk. formulu (10.151));

$I_f$  — sliedes un plaukta vērpes inerces momentu summa;

$l_{ef}$  — nosacītais garums, kuru nosaka pēc formulas (10.152);

$M_f$  — vietējais vērpes moments, kuru nosaka pēc formulas

$$M_f = Fe + 0,75 T_t h_r, \quad (10.163)$$

kur  $e$  — nosacītā ekscentritāte, kuru pieņem vienādu ar 15 mm;

$T_t$  — aprēķina horizontālā šķērsslodze, kuru izraisa tilta celtņa sašķiešanās un celtņu ceļu neparalēlums un nosaka pēc formulas (10.128);

$h_r$  — celtņa sliedes augstums.

Metinātai celtņu ceļa sijai sienīgas augšējās zonas izturību pārbauda pēc formulas

$$0,5 \sqrt{\sigma_x^2 + 0,36 \tau_{xy}^2} + 0,4 \sigma_{loc,y} + 0,5 \sigma_{fy} \leq R_v, \quad (10.164)$$

kur  $R_v$  — noguruma aprēķina pretestība; visām tērauda markām pieņem  $R_v = 75$  MPa sienīgas augšējā spiestajā zonā (šķēlumiem laidumā) un  $R_v = 65$  MPa sienīgas augšējā stieptajā zonā (nepārtrauktām sijām balsta šķēlumos).

Celtņu ceļa sijām izlieci pārbauda pēc būvmehānikas likumiem. Pārtrauktām sijām relatīvo izlieci var noteikt pēc formulas

$$f/l = M_n l / (10EI) \leq [f/l], \quad (10.165)$$

kur  $M_n$  — viena celtņa normatīvās slodzes izraisītais lieces moments.

Siju izliece 1K—6K darbības režīma grupas celtņiem nedrīkst pārsniegt  $1/400l$ , 7K darbības režīma grupas celtņiem —  $1/500l$  un 8K darbības režīma grupas celtņiem —  $1/600l$ .

Ievērojot ekonomiskos apsvērumus, sijas sienīņu pieņem plānu, tāpēc tā slodžu iedarbībā var zaudēt noturību. Sijas sienīņas noturības nodrošināšanai izveido šķērsribas, bet retāk — šķērsribas un garenribas, kā arī isās ribas.

Celtņu ceļa sijas sienīņas noturība nav jāpārbauda ar aprēķinu, ja nosacītais lokanums

$$\bar{\lambda}_w = (h_{ef}/t) \sqrt{R_y/E} \leq 2,5, \quad (10.166)$$

kur  $h_{ef}$  — sienīņas aprēķina augstums, kas metinātām sijām ir vienāds ar sienīņas pilno augstumu;

$t$  — sienīņas biezums.

Simetriska šķērsgriezuma sijas sienīņu, kas nostiprināta tikai ar stinguma šķērsribām, pārbauda, ievērojot spriegumu komponentes  $\sigma$ ,  $\tau$  un  $\sigma_{loc}$ :

$$\sqrt{(\sigma/\sigma_{cr} + \sigma_{loc}/\sigma_{loc,cr})^2 + (\tau/\tau_{cr})^2} \leq \gamma_c, \quad (10.167)$$

kur  $\sigma = (M/I_x)y$ ;  $\tau = Q/(th)$ ;

$M$  un  $Q$  — lieces momenta un šķērsspēka vidējie lielumi nodalījuma robežās; ja nodalījuma garums ir lielāks par tā aprēķina augstumu, tad  $M$  un  $Q$  izskaitļo vairāk noslogotai nodalījuma daļai, kuras garums ir vienāds ar nodalījuma augstumu;

$\sigma_{loc}$  — vietējais spriegums sienīņā zem koncentrētās slodzes, kuru nosaka pēc formulas (10.151), pieņemot  $\gamma_{f1} = 1,1$ ;

$\sigma_{cr}$ ,  $\sigma_{loc,cr}$  un  $\tau_{cr}$  — kritiskie spriegumi, kurus nosaka pēc 7. daļā aplūkotajām formulām.

Pārtrauktām celtņu ceļa sijām sienīņas noturību parasti pārbauda vidējos nodalījumos, kur ir vislielākais  $M$  un atbilstošais  $Q$ , un malējos nodalījumos, kur ir vislielākais  $Q$  un atbilstošais  $M$ . Ja sijām maina plauktu šķērsgriezumu, tad pārbaudi izdara arī šķērsgriezuma maiņas vietā.

Nesimetriska šķērsgriezuma sijai sienīņas noturību pārbauda pēc formulas (10.167),  $h_{ef}$  lielumu pieņemot vienādu ar dubultotu attālumu no neitrālās ass līdz aprēķina nodalījuma spiestai robežai un ievērojot projektēšanas normu [22] norādījumus.

Celtņu ceļa sijas sienīņu nostiprina ar stinguma šķērsribām, ja nosacītais lokanums  $\bar{\lambda}_w > 2,2$ . Attālums starp šķērsribām nedrīkst pārsniegt  $2h_{ef}$ , ja  $\bar{\lambda}_w > 3,2$ , un  $2,5h_{ef}$ , ja  $\bar{\lambda}_w \leq 3,2$ .

Simetriskām pāra šķērsribām pieņem platumu  $b_h \geq h_{ef}/30 + 40 \geq 90$  mm, bet viņpusējām šķērsribām —  $b_h \geq h_{ef}/24 + 50 \geq 90$  mm. Šķērsribas biezums  $t_s \geq 2b_h \sqrt{R_y/E}$ .

Stinguma šķērsribas blīvi piespiež pie sijas augšējā plaukta, bet nepiemetina. Sijām ar 7K un 8K darbības režīma grupas tilta celtniem jānoēvelē ribu gali, kas pieslēdzas pie augšējā plaukta.

Sijām 1K—5K darbības režīma grupas celtniem atļauts lietot viņpusējas stinguma šķērsribas, kuras piemetina pie sienīņas un augšējā plaukta.

Celtnu ceļa sijas balstreackciju uz kolonnu pārnes stinguma balstribas ēvelētais apakšējais gals. Nepieciešamo balstribas šķērsriezuma laukumu nosaka virsmas spiedē pēc formulas

$$A_{cat} = F_v / R_p \gamma_c, \quad (10.168)$$

kur  $R_p$  — balstribas galavirsmas spiedes aprēķina pretestība (sk. pielikumu 2. tab.).

Sijas sienīņas iecirkni ar stinguma balstribu aprēķina gareniecē perpendikulāri sienīņas plaknei kā statni, kas noslogots ar balstreackciju:

$$F_v / (\varphi A_{cat}) \leq R_y \gamma_c, \quad (10.169)$$

kur  $A_{cat}$  — aprēķina šķērsriezums, kurā ieskaita stinguma balstribu un sienīņas joslu ar platumu  $0,65 t_w \sqrt{E/R_y}$ .

Statņa aprēķina garumu pieņem vienādu ar sienīņas augstumu.

Pēc tam aprēķina metinātās šuves balstribas piestiprināšanai pie sijas sienīņas.

Metinātās šuves, kas savieno saliktu siju sienīņu un plauktus, pārbauda pēc formulām

$$\sqrt{T^2 + V^2} / (2\beta_f k_f) \leq R_{wf} \gamma_w \gamma_c, \quad (10.170)$$

$$\sqrt{T^2 + V^2} / (2\beta_z k_f) \leq R_{wz} \gamma_w \gamma_c, \quad (10.171)$$

kur  $T$  — šķērsspēka izraisītais bīdes spēks plauktā uz garuma vienību;  $T = QS/I_x$ ;

$S$  — sijas plaukta bruto statiskais moments pret neitrālo asi;

$V$  — koncentrētās slodzes  $F$  spiediens (celtnu ceļa sijām celtna riteņa spiediens, kuru pieņem bez dinamiskuma koeficienta);  $V = \gamma_f F / l_{ef}$ ;

$\gamma_f$  — koeficients, kuru pieņem pēc formulā (10.151) dotajiem norādījumiem;

$l_{ef}$  — koncentrētās slodzes nosacītais sadalīšanās garums, kuru nosaka pēc formulas (10.152).

Metinātām plauktu šuvēm, kas izpildītas ar sakusumu visā sienīņas biezumā, ir vienāda stiprība ar sienīņu.

#### 10.6.4. REŽĢOTAS CELTŅU CEĻA SIJAS

Režģotas sistēmas var izveidot kā celtņu ceļa kopnes vai celtņu ceļa un jumta pakopnes. Celtņu ceļa kopnes ieteicams lietot, ja laidumi ir 18 m un lielāki un tilta celtņu celtspēja nepārsniedz 20...30 t. Ja turpretī laidumi ir 36 m un lielāki un ir lielas celtspējas tilta celtņi, ieteicams lietot celtņu ceļa un jumta pakopnes.

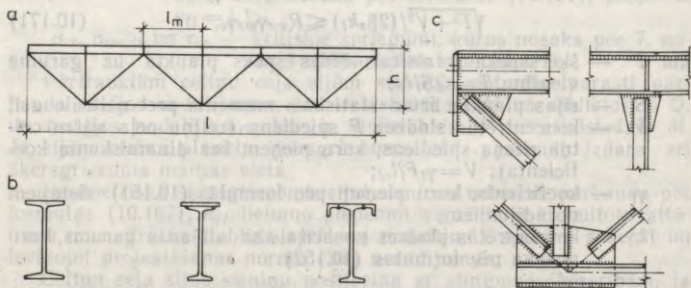
**Celtņu ceļa kopnes** projektē kā paralēljoslū kopnes (10.67. att. a), kurām izveido trisstūra režģa sistēmu ar papildu stabiem. Kopņu augstumu pieņem  $1/5 \dots 1/7$  laiduma, ja laidums ir 12...18 m, un  $1/7 \dots 1/10$  laiduma, ja laidums — 24...36 m.

Celtņu ceļa kopnes paneļu garumu ieteicams pieņemt vienādu ar kopnes augstumu, bet ne lielāku par 3 m, lai augšējo joslu varētu izveidot no platplauktu dubult-T profila vai parastā dubult-T profila, kas pastiprināts ar horizontālu lapu vai diviem leņķprofiliem (10.67. att. b). Apakšējo joslu izveido no platplauktu T profila vai pāra leņķprofiliem, bet režģa elementus — no pāra leņķprofiliem. Režģa elementus centrē uz augšējās joslas malu (10.67. att. c), kas atvieglo mezglu konstruktīvo risinājumu.

Celtņu ceļa kopnes elementos rodas mainīgas zīmes spēki, tāpēc sevišķa uzmanība jāpievērš spriegumu koncentratoru samazināšanai.

Režģota celtņu ceļa sija pēc statistiskās shēmas ir kombinēta sistēma — kopne ar stingru augšējo joslu. Celtņu ceļa kopne ir statiski nenoteicama sistēma, kurai ir  $n-1$  nezināmais ( $n$  — augšējās joslas paneļu skaits), tāpēc to aprēķinam ieteicams izmantot elektroniskos skaitļotājus.

Celtņu ceļa kopņu praktiskajos aprēķinos pieņem vairākus būtiskus vienkāršojumus. Lai noteiktu garenspēkus kopnes stieņos, pieņem nosacītu aprēķina shēmu — kopni ar šarnīrveida mezgliem, atgāžņu centrēšanas līniju savienojot ar augšējās joslas asi. Sai shēmai ar ietekmes līniju starpniecību nosaka garenspēkus visos



10.67. att. Celtņu ceļa kopne:

a — shēma; b — augšējās joslas šķērsgriezuma tip; c — mezgli.

kopnes elementos, bet vietējos lieces momentus augšējā joslā atrod pēc formulas

$$M_{loc} = (Fl_m)/3, \quad (10.172)$$

kur  $F$  — celtņa riteņa aprēķina spiediens;

$l_m$  — augšējās joslas paneļa garums.

Pēc tam celtņu ceļa kopnes augšējā joslā nosaka horizontālās slodzes izraisītos lieces momentus (ja ir pilnsienas bremsēšanas sija) vai garenspekus (ja ir režgota bremsēšanas kopne). Jāatzīmē, ka horizontālās slodzes izraisītos spēkus atrod tai pašā stāvoklī, kurā tika noteikti vertikālās slodzes vislielākie spēki.

Pēc aprēķina spēkiem izvēlas elementu šķērsgriezumus un pārbauda spriegumus. Celtņu ceļa kopnes augšējai joslai galvenā ir noturības pārbaude, kuru var izdarīt pēc aptuvenām formulām:

ja ir pilnsienas bremsēšanas sija,

$$\sigma = N/(\varphi_x A_{sup}) + M_T/W_y + M_{loc}/W_{x,sup} \leq R_y \gamma_c; \quad (10.173)$$

ja ir režgota bremsēšanas kopne,

$$\sigma = (N + N_T)/(\varphi_{min} A_{sup}) + M_{loc}/W_{x,sup} + M_{T,loc}/W_{y,sup} \leq R_y \gamma_c, \quad (10.174)$$

kur  $N$  — vertikālās slodzes izraisītais vislielākais garenspekus augšējās joslas panelī;

$M_T$  — horizontālās slodzes izraisītais lieces moments;

$M_{loc}$  — vertikālās slodzes izraisītais vietējais lieces moments;

$N_T$  — horizontālās slodzes izraisītais garenspekus augšējās joslas panelī;  $N_T = M_T/h_T$  ( $h_T$  — bremsēšanas kopnes augstums);

$M_{T,loc}$  — celtņa riteņa sānspiediena izraisītais vietējais lieces moments celtņu ceļa kopnes augšējās joslas panelī horizontālā plaknē;  $M_{T,loc} = 0,9(Tl_m/4)$ ;

$\varphi_x$  — garenlieces koeficients, kuru nosaka pēc lokanuma pret horizontālo asi (aprēķina garums ir vienāds ar paneļa garumu);

$\varphi_{min}$  — mazākais no garenlieces koeficientiem  $\varphi_x$  un  $\varphi_y$  (nosaka pēc lokanuma pret vertikālo asi, aprēķina garumu pieņemot vienādu ar bremsēšanas kopnes paneļa garumu);

$A_{sup}$  — augšējās joslas bruto šķērsgriezuma laukums;

$W_{x,sup}$  — augšējās joslas bruto pretestības moments pret horizontālo asi;

$W_{y,sup}$  — stingās joslas augšējā plaukta bruto pretestības moments pret vertikālo asi;

$W_y$  — bremsēšanas sijas bruto pretestības moments pret vertikālo asi.

Celtņu ceļa kopnes pārējos elementus aprēķina centriskā spiedē vai stiepē.

Celtņu ceļa kopnes izlieci normatīvās slodzes iedarbībā aprēķina pēc aptuvenas formulas

$$f = (M_n l^2 / 10EI) \mu, \quad (10.175)$$

kur  $\mu$  — koeficients, kuru pieņem vienādu ar 1,4, ja augstuma un laiduma attiecība  $h/l = 1,6$ , un pieņem 1,3, ja  $h/l = 1/8$  (intervālā interpolējot);

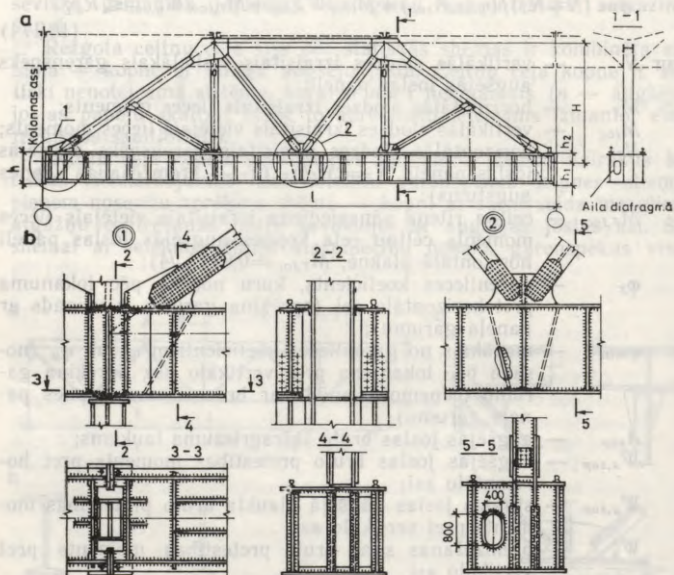
$I$  — kopnes inerces moments, kuru aprēķina pēc formulas

$$I = A_{sup} z_{sup}^2 + A_{inf} z_{inf}^2, \quad (10.176)$$

kur  $A_{sup}$  un  $A_{inf}$  — augšējās un apakšējās joslas šķērsriezuma laukums;

$z_{sup}$  un  $z_{inf}$  — augšējās un apakšējās joslas smagumcentra attālums līdz to kopīgam smagumcentram.

**Celtņu ceļa un jumta pakopnes** (10.68. att.) augstums  $H$  ir atkarīgs no tilta celtņa gabarita un jumta kopnes augstuma uz balsta; pieņem  $H = (1/6 \dots 1/8)l$ . Apakšējās stingās joslas augstums  $h = (1/5 \dots 1/7)l_m$  ( $l_m$  — paneļa garums). Jumta kopņu balstīšanai paneļu garumu pieņem 6 m. Celtņu ceļa un jumta pakopnes apakšējā



10.68. att. Celtņu ceļa un jumta pakopne:

a — konstrukcija; b — mezgli.

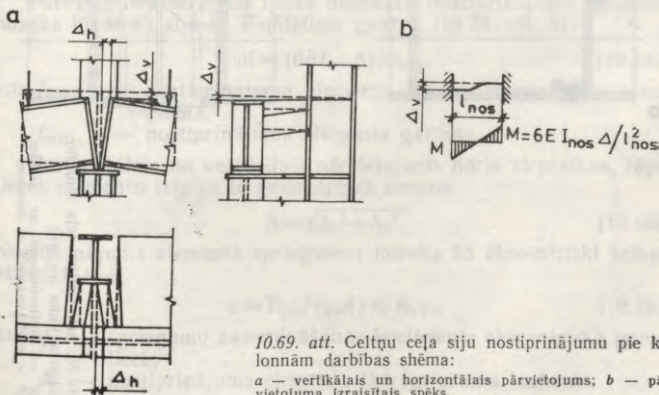
josla darbojas stiepē, liecē un arī vērpē. Tāpēc to projektē metināta kārbveida šķērsgriezuma, bet pārējos režģa elementus izveido no metinātiem dubult-T profiliem. Kopnes mezglos kārbveida apakšējo joslu nostiprina ar pilnsienas diafragmām, bet starp kopnes mezgliem uzstāda pilnsienas vai režģotas diafragmas (1,2...1,5)h attālumā citu no citas, bet ne retāk kā pēc 4 m. Pilnsienas diafragmās izveido vismaz 400×800 mm ailas.

Celtņu ceļa un jumta pakopne pēc statistiskās shēmas ir kombinēta sistēma — kopne ar stingu apakšējo joslu, tāpēc tās statisko aprēķinu izdara tāpat kā celtņu ceļa kopnei. Tās apakšējā joslā bez stiepes un lieces normālspriegumiem rodas arī ierobežotās vērpes papildu normālspriegumi, jo celtņu vertikālā spiediena un sānisko spēku rezultējošais spēks nesakrīt ar lieces centru. Celtņu ceļa un jumta pakopņu aprēķins dots literatūrā [13].

### 10.6.5. CELTŅU CEĻA KONSTRUKCIJU MEZGLI UN DETAĻAS

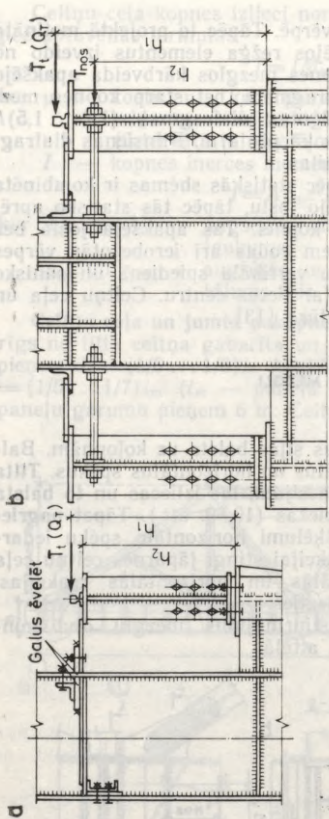
Celtņu ceļa sijas un bremzēšanas sijas balsta uz kolonnām. Balstīšanas vietas pārnes lielus vertikālus un horizontālus spēkus. Tilta celtņiem pārvietojoties pa celtņu ceļa sijām, tās izliecas un to balsta šķēlumi nedaudz pagriežas un saspiežas (10.69. att.). Tāpat pagriežas arī bremzēšanas siju balsta šķēlumi horizontālo spēku iedarbībā. Tāpēc nostiprinājuma konstrukcijai stingi jāpārnes celtņu ceļa sijas un bremzēšanas sijas vertikālās un horizontālās reakcijas, balsta šķēlumiem ļaujot brīvi pagriezties.

Pārtrauktu celtņu ceļa siju nostiprinājuma mezglu divi konstruktīvie risinājumi parādīti 10.70. attēlā.

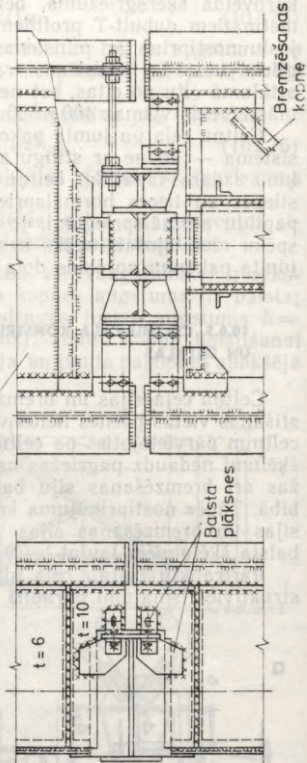


10.69. att. Celtņu ceļa siju nostiprinājumu pie kolonnām darbības shēma:

a — vertikālais un horizontālais pārvietojums; b — pārvietojuma izraisītais spēks.



Rievotais tērauds,  $t = 6 \dots 8$  Bremzēšanas sija



10.70. att. Celtnu ceļa siju nostiprinājuma mezgli:  
 a — nostiprinājums ar plāksni;  
 b — nostiprinājums ar stiepieni.

Celtnu ceļa siju nostiprinājumu aprēķina pēc horizontālā spēka  $T_{nos}$  (10.70. att.) šādi:

$$T_{nos} = Q_T h_1 / h_2, \quad (10.177)$$

kur  $Q_T$  — bremzēšanas šijas vislielākais horizontālais šķērsspēks;

$$Q_T = Q_{max} T_n / F_{max}, \quad (10.178)$$

kur  $h_1$  — attālums no šijas apakšas līdz spēkam  $Q_T$ ;

$h_2$  — attālums no šijas apakšas līdz nostiprinājuma konstrukcijas limenim.

Ēkās ar 8K darbības režīma grupas un speciāliem tiltu celtniem spēku  $Q_T$  atrod pēc horizontālā spēka  $T_t$ , kuru nosaka pēc formulas (10.128).

Aprēķinot nostiprinājumu, ieteicams ievērot papildu lieces spriegumus, kurus nostiprinājuma elementā izraisa šijas balsta šķēluma pārvietojumi (sk. 10.69. att.). Šos pārvietojumus var noteikt ap-  
tuveni:

horizontālais pārvietojums

$$\Delta_h = (Mlh) / (6EI); \quad (10.179)$$

vertikālais pārvietojums

$$\Delta_v = (F_v h) / (EA_{cat}), \quad (10.180)$$

kur  $M$  — šijas aprēķina lieces moments;

$F_v$  — vertikālā balstreakcija;

$l$  un  $h$  — šijas laidums un augstums;

$I$  — šijas šķērsriezuma inerces moments;

$A_{cat}$  — šijas balsta šķēluma aprēķina šķērsriezums (šijas balstribu un sienīņas joslu  $0,65t\sqrt{E/R_y}$  platumā ribām katrā pusē).

Pārvietojuma izraisīto lieces momentu nostiprinājuma elementā nosaka tāpat kā šijā ar iespīlētiem galiem (10.70. att. b):

$$M = (6EI_{nos}\Delta) / l_{nos}^2, \quad (10.181)$$

kur  $I_{nos}$  — nostiprinājuma elementa šķērsriezuma inerces moments;

$l_{nos}$  — nostiprinājuma elementa garums.

Horizontālais un vertikālais pārvietojums noris vienlaikus, tāpēc lieces momentu izraisa to ģeometriskā summa

$$\Delta = \sqrt{\Delta_h^2 + \Delta_v^2}. \quad (10.182)$$

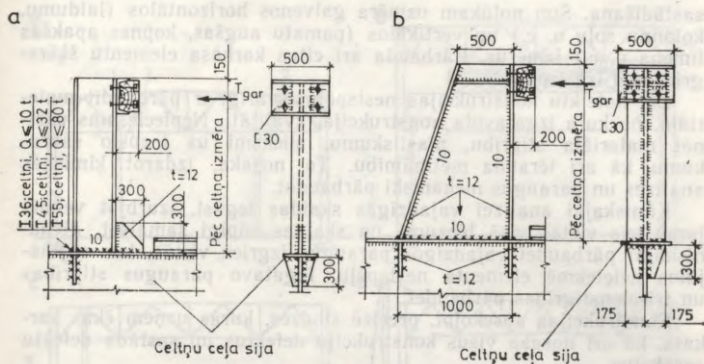
Nostiprinājuma elementā spriegumus nosaka kā ekscentriski spiestā stienī, t. i.,

$$\sigma = T_{nos} / (\varphi_e A) \leq R_y \gamma_c, \quad (10.183)$$

kur  $\varphi_e$  — spriegumu pazemināšanas koeficients ekscentriskā garenliecē;

$A$  — nostiprinājuma elementa šķērsriezuma laukums.





10.72. att. Atturi:

a — celtņiem ar celtspēju līdz 50 t; b — 80 t un lielākas celtspējas celtņiem.

Vertikālās skrūves, kuras piestiprina celtņu ceļa siju pie kolonas balstplātnes, pārbauda bīdē pēc celtņu garenbremzēšanas spēka

$$T_{gar} = 0,1 \Sigma F_{max} \gamma_n \gamma_f \psi k_2, \quad (10.184)$$

kur  $\Sigma F_{max}$  — tilta celtņa bremzēšanas riteņu spiedienu summa uz siju (parasti bremzēšanas riteņu skaits ir vienāds ar pusi no celtņa riteņu skaita).

Tilta celtņiem lieto speciālās celtņu sliedes KP (ГОСТ 4121—76). Sliedes tips norādīts tilta celtņu valsts standartā. Tilta celtņiem ar celtspēju līdz 20 t atļauts lietot arī dzelzceļa sliedes P43 (ГОСТ 7173—54). Dažreiz par celtņa sliedi lieto arī kvadrātteraudu.

Speciālās celtņa sliedes KP piestiprina celtņu ceļa sijai ar plātnēm ik pēc 600...750 mm, bet dzelzceļa sliedes — ar āķiem (10.71. att.).

Ekas galos uz celtņu ceļa sijas uzstāda celtņu atturus, kuri ierobežo tilta celtņu darbības zonu (10.72. att.).

## 10.7. RAZOŠANAS ĒKU KARKASU REKONSTRUKCIJA

### 10.7.1. ESOŠO KARKASU KONSTRUKCIJU APSEKOŠANA

Rekonstruējot ražošanas uzņēmumus, jānosaka nesošo un norobežojošo konstrukciju tehniskais stāvoklis, to tālākās ekspluatācijas iespējas, kā arī jāizstrādā atsevišķu konstrukciju vai to elementu pastiprināšanas projekti.

Konstrukcijas izgatavojot, var būt pieļautas novirzes no projekta, tāpēc pirmais apsekošanas uzdevums ir uzmērījumu rasējumu

sastādīšana. Šim nolūkam uzmēra galvenos horizontālos (laidumu, kolonnu soļu u. c.) un vertikālos (pamatu augšas, kopnes apakšas līmeņa u. c.) izmērus. Pārbauda arī citus karkasa elementu šķērs-griezumu izmērus.

Lai noteiktu konstrukcijas nestspēju, svarīgi ir pārbaudīt materiāla, no kura izgatavota konstrukcija, kvalitāti. Nepieciešams uzzināt materiāla stiprību, plastiskumu, sliksmi uz trauslo sabrukumu, kā arī tērauda metināmību. To nosaka, izdarot ķīmiskās analīzes un paraugus mehāniski pārbaudot.

Ķīmiskajai analīzei vajadzīgās skaidas iegūst, izurbjot velmējumu trīs vietās visā biezumā un skaidas rūpīgi samaisot. Mehāniskajai pārbaudei vajadzīgos paraugus izgriež vietās, kur vājinājums neietekmē elementa nestspēju. Izgatavo paraugus stiprības un triecienstīgrības pārbaudei.

Konstrukcijas apsekojot, precīzē slodzes, kuras uzņem ēkas karkass, kā arī nosaka visus konstrukciju defektus un sastāda defektu sarakstus.

Pēc ēkas karkasa konstrukciju apsekošanas izdara pārbaudes aprēķinu, ievērojot konstrukciju faktisko stāvokli un darbību.

#### **10.7.2. KARKASA KONSTRUKCIJU PASTIPRINĀŠANA UN APRĒKINA ĪPATNĪBAS**

Atkarībā no darbu veikšanas apstākļiem konstrukcijas var pastiprināt zem slodzes, daļēji atslogojot vai daļēji demontējot. Visizdevīgākā, bet ne vienmēr iespējamā, ir konstrukciju pastiprināšana zem slodzes, jo tad vismazāk tiek traucēts ražošanas process ēkā.

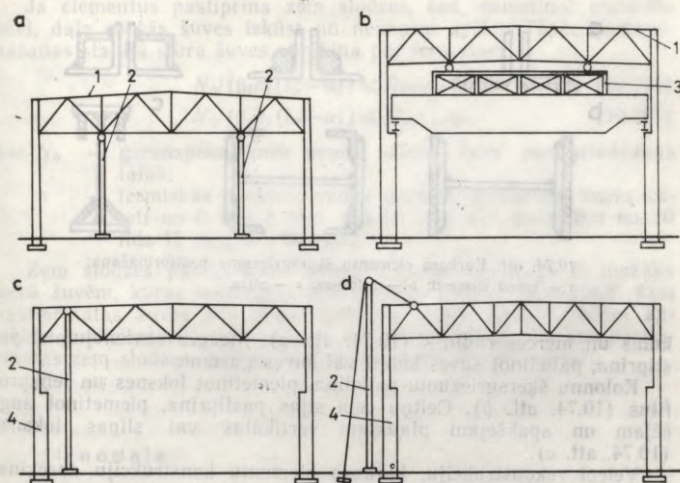
Daļēja atslogošana ir nepieciešama, kad pastiprināšanas laikā jāpavājina elementi un savienojumi, kuri uzņem lielas slodzes. Daļēja konstrukciju demontāža ir jāizdara tad, ja daļa elementu bojājumu dēļ jāaizvieto ar jauniem elementiem. Šie elementi pirms demontāžas ir pilnīgi jāatslogo.

Atslogošanas paņēmieni pastiprināšanas laikā ir dažādi, un tie ir atkarīgi no konkrētajiem apstākļiem. Jumta kopnes visvienkāršāk var atslogot, uzstādot pagaidu statņus, kurus balsta uz pagaidu pamatiem (10.73. att. a). Statņu galā nostiprina domkratu vai palīgierīci, ar kuru var pacelt kopņu apakšējās joslas mezglus. Liela augstuma cehos uz tilta celtniem uzstāda turas ar domkratiem jumta kopņu atslogošanai (10.73. att. b).

Kolonnas var atslogot ar statņiem, kurus uzstāda ēkā (10.73. att. c) vai ārpus ēkas (10.73. att. d).

Celtnu ceļa konstrukcijas var pastiprināt, ierobežojot tikai tilta celtna darbības zonu, jo pastāvīgā slodze, ko rada konstrukciju masa, sastāda tikai niecīgu daļu no summārās slodzes.

Ikviens atslogošanas paņemiens jāpamato ar aprēķinu, jo, mainot balstīšanas apstākļus, izmainās spēku sadalījums elementos.



10.73. att. Konstruktiju atslodšanas paņēmieni pastiprināšanas laikā:  
 a un b — kopņu atslodšana; c un d — kolonnu atslodšana; 1 — atslodjamā kopne;  
 2 — statņi; 3 — turas; 4 — atslodjamā kolonna.

Konstruktiju pastiprināšanas paņēmienus pēc konstruktīvām pazīmēm iedala šādi:

pastiprināšana, mainot statisko shēmu vai slodžu pielikšanas vietas;

pastiprināšana, mainot elementu šķērsgriezumu;

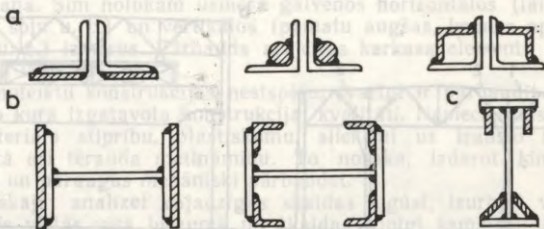
kombinētais paņmiens, pēc kura maina statisko shēmu un palielina dažu elementu šķērsgriezumu.

Ja ēkas gabarīti atļauj, tad jumta kopņu nestspēju var palielināt, uzstādot zem apakšējās joslas spraisli. Ja nepietiekama nestspēja ir kopņu apakšējai joslai, tad to var pastiprināt, uzstādot savilci un to saspriedzot. Kopņu augšējās joslas nestspēju var palielināt, uzstādot papildu spraisļu režģi, kas samazina joslas un arī režģa elementu aprēķina garumu kopnes plaknē.

Kolonnu nestspējas palielināšanai bieži izmanto papildu statņus, kuri uzņem daļu kolonnu slodzes.

Ja konstrukcijas pastiprina, mainot statisko shēmu, tad plaši izmanto visus iepriekš saspriego konstrukciju izveidošanas paņēmienus.

Konstrukciju elementu šķērsgriezuma izmaiņas piemēri parādīti 10.74. attēlā. Kopņu elementiem, kas veidoti no pāra leņķprofiliem, šķērsgriezumu var izmainīt, piemetinot pie tiem sloksnes, apaļtēraudu un leņķprofilus. Šai gadījumā izmainās šķērsgriezuma lau-



10.74. att. Karkasa elementu šķērsriezuma pastiprināšana:  
*a* — kopņu elementi; *b* — kolonnas; *c* — sijas.

kums un inerces rādiuss (10.74. att. *a*). Mezglu savienojumus pastiprina, palielinot šuves kateti vai šuves garumu.

Kolonnū šķērsriezumu palielina, piemērinot loksnes un leņķprofilus (10.74. att. *b*). Celtņu ceļa sijas pastiprina, piemērinot augšējam un apakšējam plauktam vertikālas vai slīpas loksnes (10.74. att. *c*).

Veicot rekonstrukciju, karkasa elementu konstrukciju aprēķina, ievērojot to patieso darbību.

Ja maina konstrukciju statisko shēmu, tad tās aprēķina pastiprināšanas stadijā un darbības stadijā, iedarbojoties slodzēm.

Konstrukciju elementus un savienojumus, kuru šķērsriezumu palielina, pilnīgi atslogojot (izņemot svara pastāvīgo slodzi), aprēķina, ievērojot visus spriegumstāvokļu veidus, pēc nepastiprinātu elementu un metinātu šuvju formulām.

Ja stieptos elementus pastiprina zem slodzes ar metināšanu, tad, darbojoties statiskai slodzei, tajos spriegumi robežstāvokli izlīdzinās. Tāpēc tos pēc pastiprināšanas aprēķina, ievērojot pilnu šķērsriezuma laukumu, kā jaunus elementus. Ja darbojas dinamiskas vai vibrāciju slodzes, tad šādus elementus ieteicams pārbaudīt pēc vecā šķērsriezuma malējo šķiedru plūstamības, t. i.,

$$(N - N_0) / A_n + N_0 / A_{n0} \leq \gamma_c R_y, \quad (10.185)$$

kur  $N$  — aprēķina garenspekšs;

$N_0$  — garenspekšs elementā pastiprināšanas laikā;

$A_n$  — neto šķērsriezuma laukums pēc pastiprināšanas;

$A_{n0}$  — neto šķērsriezuma laukums līdz pastiprināšanai (ievērojot apsekošanā noteiktos defektus).

Spiestu elementu zem slodzes var pastiprināt, ja nosacītie spriegumi  $N_0 / (\varphi A)$  ir par 20...30% mazāki nekā tērauda aprēķina pretestība. Spiestu, ekscentrisku spiestu un spiesti liektu elementu noturību un stiprību pārbauda pēc nepastiprinātu elementu formulām. Pastiprinātos liektos elementus aprēķina pēc elastīgās darbības stadijas.

Ja elementus pastiprina zem slodzes, tad, uzmetinot metināto šuvi, daļa esošās šuves izkūst un neuzņem spēku. Tāpēc pastiprināšanas stadijā stūra šuves aprēķina pēc formulām

$$N_0 / (\beta_f k_f (l_w - a)) \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (10.186)$$

$$N_0 / (\beta_z k_f (l_w - a)) \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c, \quad (10.187)$$

kur  $N_0$  — garenspēks, kuru uzņem viena šuve pastiprināšanas laikā;

$a$  — termiskās ietekmes zonas garums (palielinot šuves katei no 6 līdz 8 mm,  $a=30$  mm, bet, palielinot no 10 līdz 12 mm,  $a=50$  mm).

Zem slodzes pastiprināto metināto šuvju nestspēja ir mazāka nekā šuvēm, kuras izveidotas bez slodzes. Tāpēc, aprēķinot šādi pastiprinātas šuves pēc pilnā aprēķina spēka, lieto darbības apstākļu koeficientu, kas vienāds ar 0,9. Metinātās šuves, kas pastiprinātas zem slodzes, palielinot garumu, aprēķina kā parasti.

## 11. nodaļa

### LIELLAIDUMA PĀRSEGUMU KONSTRUKCIJAS

#### 11.1. LIELLAIDUMA PĀRSEGUMU RAKSTUROJUMS

Liellaiduma pārsegumu ( $l > 40$  m) konstrukcijas lieto sabiedrisko ēku (teātru, izstāžu paviljonu, koncertzāļu, sporta zāļu, slēgto stadionu, tirgus paviljonu u. c.), speciāla uzdevuma ēku (angāru, garāžu u. c.) un arī ražošanas ēku (lidmašīnu, kuģu būves, mašīnbūves cehu u. c.) celtniecībā. Liellaiduma pārsegumus atkarībā no konstruktīvā risinājuma iedala plakniskās un telpiskās sistēmās. Plakniskās sistēmas sastāv no atsevišķiem plakniskiem nesošajiem elementiem, kuru asis atrodas vienā plaknē. Telpiskajām sistēmām ir raksturīgs spēku telpisks sadalījums, jo nesošo elementu asis neatrodas vienā plaknē.

Liellaiduma pārsegumus pēc statiskās shēmas iedala *siju, rāmju, arku, čaulu* (cilindrisko, divliekumu), *krustisko stieņu* un *iekarinātās sistēmās*.

Nesošo konstrukciju shēmas izvēle ir atkarīga no laiduma liellaiduma, arhitektoniskā plānojuma risinājuma, ēkas plāna formas, iekārtā transporta, apgaismojuma un aerācijas, jumta seguma, slodžu sadalījuma un citiem faktoriem. Liellaiduma pārsegumiem galvenā slodze ir pastāvīgā slodze — konstrukciju svars, tāpēc tā samazināšanai lieto paaugstinātas un augstas stiprības tēraudus vai vieglus alumīnija sakausējumus. Jumta seguma nesošo klāju veido no profiltērauda vai alumīnija sakausējumu loksņēm, bet siltumizolāciju — no viegliem, efektīviem materiāliem.

## 11.2. SIJU SISTĒMAS PĀRSEGUMI

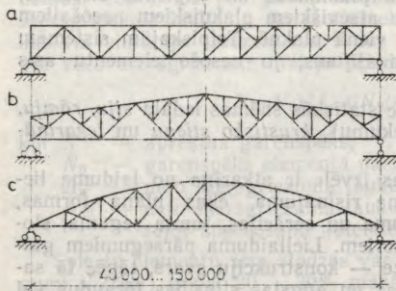
Siju sistēmas pārsegumus balsta uz mūra sienām vai dzelzsbetona kolonnām, kuras nevar uzņemt balstbīdi. Tie ir smagāki par rāmju un arku konstrukcijām, bet to izgatavošana un montāža ir vienkāršāka. Liellaiduma siju sistēmas pārsegumu galvenie nesošie elementi parasti ir plakniskas vai telpisku bloku kopnes.

Liellaiduma kopņu apveidu un režģa shēmu pieņem atkarībā no ēkas laiduma jumta tipa un piekargriestu konstrukcijas. Siju sistēmas pārsegumos visbiežāk lieto paralēljoslu, trapecoidālās, segmenta un poligonālās kopnes (11.1. att.). Kopņu režģa shēmas izvēle ir atkarīga no slodžu pielikšanas rakstura, kopņu apveida un augstuma. Visbiežāk lieto trīsstūra režģi ar papildu stabiem, retāk — atgāzņu, rombisko, pusatgāzņu un krusta režģi (sk. 9.4. att.).

Siju sistēmas pārsegumiem parasti lieto normālo un komplicēto shēmu. Normālā shēma sastāv no kopnēm un kopturiem vai jumta vairogiem. Pēc šīs shēmas kopnes izvieto ēkas šķērsvirzienā ar 6 vai 12 m soli. Komplicētā shēma sastāv no galvenajām šķērskopnēm, garenstarpkopnēm un kopturiem vai jumta vairogiem. Galvenās šķērskopnes izvieto ar 18...36 m soli. Šī shēma ir racionāla, ja ir lieli laidumi un mazas slodzes.

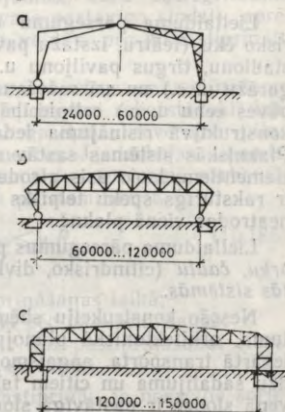
## 11.3. RĀMJU SISTĒMAS PĀRSEGUMI

Rāmju sistēmas pārsegumus lieto 40...150 m laidumiem. Rāmju sistēmai salīdzinājumā ar siju sistēmu ir mazāka masa, lielāks stingums un mazāks rīģeļu augstums, bet lielāks



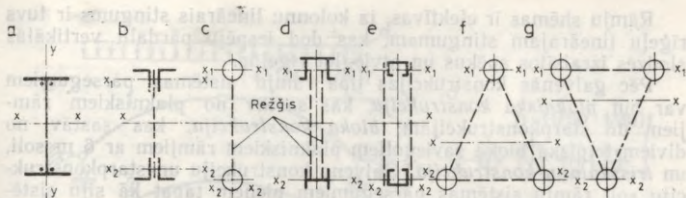
11.1. att. Liellaiduma kopņu shēmas:

a — paralēljoslu kopnes; b — trapecoidālā kopne; c — segmenta kopne.



11.2. att. Rāmju shēmas:

a — trīsstārnīru rāmis; b — divstārnīru rāmis; c — bezstārnīru rāmis.

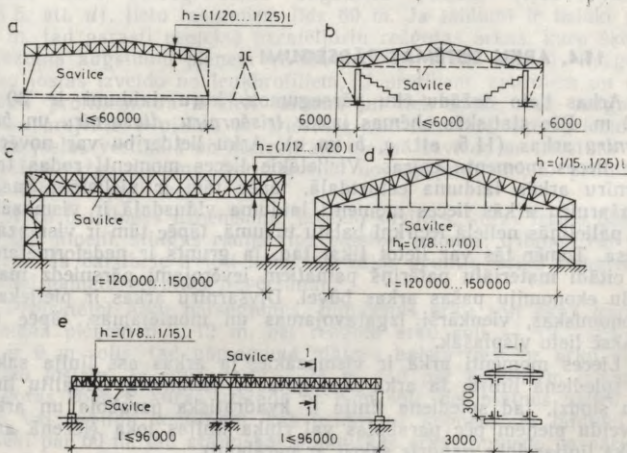


11.3. att. Rīgeļu šķērsriezumu tipi:

a — pilnsienas; b, c, d, e, f un g — režģotie.

kolonnu platums, lielāka jutība pret balstu nevienmērigu sēšanos un temperatūras izmaiņām.

Pēc statiskās shēmas rāmjus iedala trīsšarnīru, divšarnīru un bezšarnīru (iespilētos) rāmjos (11.2. att.). Trīsšarnīru rāžiem ir vislielākā masa, tāpēc tos lieto tikai 24...60 m lieliem laidumiem. Divšarnīru rāžus lieto visbiežāk, jo tajos var sasniegt vispilnīgāko rīgeļu iespīlējuma efektu kolonnās un tie ir maz jutīgi pret pamatu sēšanos. Bezšarnīru rāžiem ir vismazākā masa, tādēļ tos lieto vislielākajiem laidumiem — 120...150 m. Tomēr šie rāžji ir ļoti jutīgi pret temperatūras izmaiņām un pamatu nevienmērigu sēšanos.



11.4. att. Iepriekš saspriegto rāžju shēmas.

Rāmju shēmas ir efektīvas, ja kolonnu lineārais stingums ir tuvs rīģeļu lineārajam stingumam, kas dod iespēju pārdalīt vertikālās slodzes izraisītos spēkus un atvieglot rīģeļus.

Pēc galvenās konstrukcijas tipa rāmju sistēmas pārsegumiem var būt *plakniska konstrukcija*, kas sastāv no plakniskiem rāmjiem un starpkonstrukcijām; *bloka konstrukcija*, kas sastāv no diviem telpiskā blokā savienotiem plakniskiem rāmjiem ar 6 m soli, un *trisskaldņu konstrukcija*. Galveno konstrukciju un starpkonstrukciju soli rāmju sistēmas pārsegumiem pieņem tāpat kā siju sistēmas pārsegumiem.

Trīsšarnīru un divšarnīru pilnsienas rāmjiem parasti projektē dubult-T veida šķērsgriezumu no trim loksņēm (11.3. att.), kuru rīģeļiem un kolonnām maina atbilstoši spēku epīrai. Šķērsgriezuma augstumu pieņem  $(1/30 \dots 1/40)l$ .

Ja laidumi ir lielāki par 60...80 m, tad pilnsienas rāmjus aizvieto ar režģotiem rāmjiem, kuru rīģeļus un kolonnas (11.3. att. b—g) projektē analogi smagajām kopnēm. Divšarnīru rāmjiem rīģeļa šķērsgriezuma augstumu pieņem  $(1/8 \dots 1/15)l$ , bezšarnīru rāmjiem —  $(1/12 \dots 1/20)l$ .

Režģotiem bezšarnīru rāmjiem kolonnu šķērsgriezuma augstumu pieņem vienādu ar rīģeļa paneļa garumu (3...6 m).

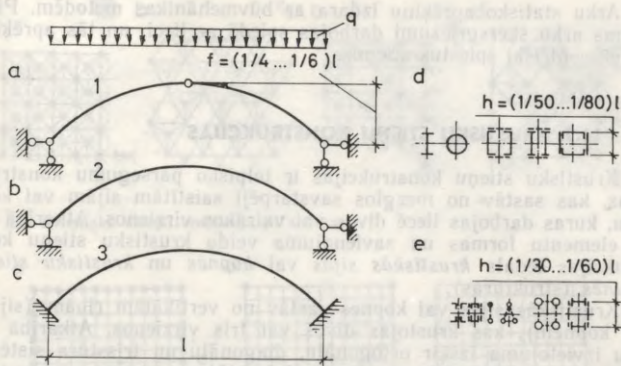
Režģotā rāmja rīģeļi visvairāk var atslēgt, izmantojot rīģeļa un kolonnu iepriekšēju saspriegšanu. Iepriekš saspriegto rāmju shēmas ir parādītas 11.4. attēlā. Rāmju sistēmas pārsegumu telpiskā stinguma nodrošināšanai izveido saišu sistēmu analogi kā vienkārša ražošanas ēkām.

#### 11.4. ARKU SISTĒMAS PĀRSEGUMI

Arkas lieto dažādu ēku pārsegumos, kuru laidumi ir 30...200 m. Pēc statiskās shēmas izšķir *trīsšarnīru*, *divšarnīru* un *bezšarnīru* arkas (11.5. att. a, b un c). Arku lietderību var novērtēt pēc lieces momentu epīras. Vislielākie lieces momenti rodas trīsšarnīru arkās laiduma ceturtdaļā, tāpēc tām ir vislielākā masa. Bezšarnīru arkās lieces momenti laiduma vidusdaļā ir vismazākie un palielinās nelielā iecirknī balstu tuvumā, tāpēc tām ir vismazākā masa. Tomēr tās var lietot tikai tad, ja grunts ir nedeformējama, jo citādi materiālu patēriņš pamatiem ievērojami pārsniedz materiālu ekonomiju pašas arkas būvei. Divšarnīru arkas ir pietiekami ekonomiskas, vienkārši izgatavojamas un montējamas, tāpēc tās praksē lieto visplašāk.

Lieces momenti arkā ir vismazākie, ja arkas ass līnija sakrīt ar spiediena līniju. Ja arka noslogota ar vienmērīgi sadalītu lineāru slodzi, tad spiediena līnija ir kvadrātiska parabola un arkas apveidu pieņem pēc parabolas vai riņķa līnijas loka (lēzenā arkā riņķa līnijas loks gandrīz sakrīt ar parabolu).

Visizdevīgākais arku augstums ir  $f = (1/4 \dots 1/6)l$ , bet atkarībā no ekspluatācijas apstākļiem to pieņem dažādu. Minimālo aug-



11.5. att. Arku shēmas un šķērsgriezumu tipi:

a — trīssārnīru; b — divsārnīru; c — bezsārnīru; d — pilnsienas; e — režģotās arkas.

stumu parasti pieņem ne mazāku par  $1/8l$ , bet maksimālo augstumu smailloka arkām — ne lielāku par diviem laidumiem.

Pēc konstrukcijas izšķir *pilnsienas* un *režģotās arkas*. Pilnsienas arkas, kuru šķērsgriezuma augstumu pieņem  $(1/50 \dots 1/80)l$  (11.5. att. d), lieto laidumiem līdz 60 m. Ja laidumi ir lielāki par 60 m, tad parasti projektē paralēljoslū režģotas arkas, kuru šķērsgriezuma augstumu pieņem  $(1/30 \dots 1/60)l$  (11.5. att. e). Režģotu arku joslas izveido no leņķprofiliem, U profiļiem, caurulēm un dubult-T profiļiem. Ja ir lieli laidumi un lieli spēki, tad režģotās arkas projektē telpiskas ar trīsstūra vai četrstūra šķērsgriezumu. Arku joslas vertikālā un horizontālā plaknē savieno ar trīsstūra vai atgāžņu režģa sistēmu, kuru izveido no leņķprofiliem, U profiļiem vai dubult-T profiļiem.

Arku balstbīdes uzņemšanai izveido savilces, kuras ierīko balsta mezglu līmenī, stingus rāmja tipa balstus, pilonus, tribīnes vai pamatus. Ja balstbīde ir ļoti liela, tad vājās gruntis ierīko zemgrīdas savilci pamatu pārbīdes novēršanai.

Projektējot arku pārsegumus, pilnsienas arku soli ēkas garenvirzienā pieņem  $6 \dots 12$  m, bet režģoto arku soli —  $12 \dots 24$  m. Ja ir 6 m solis, tad pārseguma plātnes balsta tieši uz arku augšējām joslām. Ja solis ir  $12 \dots 24$  m, tad par kopturiem izmanto režģotas kopnes, kuras uzstāda ar 6 m soli, bet plātnes uzliek uz tām vai papildu kopturiem, kas uzlikti uz kopnēm. Ja laidumi ir lielāki par 60 m, tad atsevišķās plakniskās arkas apvieno pa pāriem  $3 \dots 6$  m platos blokos, bet attālumu starp blokiem pieņem  $18 \dots 24$  m. Pārseguma vispārējo noturību paaugstina, uzstādot papildu horizontālās saites cekulā starp blokiem augšējo joslu plaknē.

Arku statisko aprēķinu izdara ar būvmehānikas metodēm. Pilnsienas arku šķērsgrīzumi darbojas spiedē ar lieci, un tās aprēķina kā ekscentriski spiestus stieņus.

### 11.5. KRUSTISKU STIEŅU KONSTRUKCIJAS

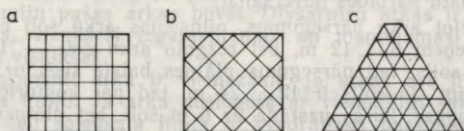
Krustisku stieņu konstrukcijas ir telpisko pārsegumu konstrukcijas, kas sastāv no mezglos savstarpēji saistītām sijām vai kopnēm, kuras darbojas liecē divos vai vairākos virzienos. Atkarībā no šo elementu formas un savienojuma veida krustisku stieņu konstrukcijas iedala *krustiskās sijās* vai *kopnēs* un *krustisku stieņu plātnēs* (struktūrās).

Krustiskās sijas vai kopnes sastāv no vertikālām ribām (sijām vai kopnēm), kas krustojas divos vai trīs virzienos. Atkarībā no ribu izvietojuma izšķir ortogonālu, diagonālu un trīsstūra sistēmu (11.6. att.). Ortogonālā un diagonālā sistēma neuzņem vērpes momentus, jo ribām ir mazs vērpes stingums. Krustisku stieņu plātnes sastāv no daudzām elementārām šūnām (piramīdām, prizmām u. c.), kuras konstruētas pēc kristalogrāfijas likumiem.

Celtniecības praksē tagad plašāk ir izplatītas regulāras ortogonālās stieņu sistēmas uz pentaedru (piecskaldņu) pamatnes (11.7. att. *a*) un uz tetraedru pamatnes (11.7. att. *b*). Krustisku stieņu plātnēm var būt vienāda vai atšķirīga augšējo un apakšējo joslu tīkla uzbūve (11.7. att. *c* un *d*), kas ievērojami ietekmē lieces un vērpes momentus sistēmā, kā arī plātņu metālietilpību un izgatavošanas darbietilpību. Krustisku stieņu plātnes sastāv no nelieliem unificētiem stieņu un mezglu elementiem, kurus izgatavo rūpniecā.

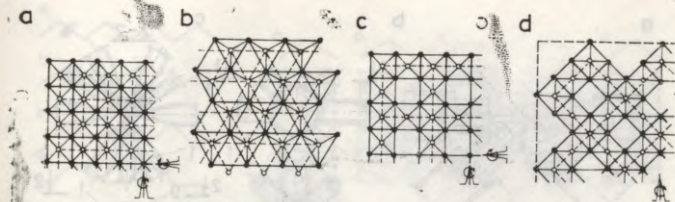
Krustisku stieņu konstrukcijas balsta tajos ribu krustpunktos, kas izvietoti pa sistēmas kontūru vai arī kontūras iekšpusē, veidojot konsolpārkares (11.8. att.).

Krustisku stieņu konstrukciju optimālais augstums ir atkarīgs no daudziem faktoriem. To pieņem  $(1/15 \dots 1/20)l$ , ja balsta pa kontūru, un  $(1/15 \dots 1/40)l$ , ja balsta kontūras iekšpusē vai pēc daudzslaidumu nepārtrauktā varianta. Atgāžņu optimālais slīpums ir  $45^\circ \dots 60^\circ$ .

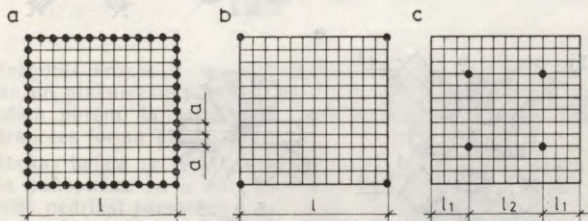


11.6. att. Pārsegumu, kas veidoti no vertikālām krustiskām sijām un kopnēm, shēmas:

*a* — ortogonālā sistēma; *b* — diagonālā sistēma; *c* — trīsstūra sistēma.



11.7. att. Krustisku stieņu konstrukciju shēmas.



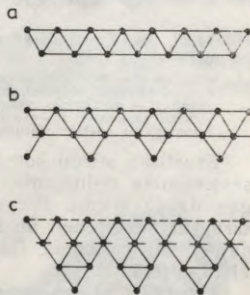
11.8. att. Krustisku stieņu konstrukciju balstīšanas varianti:

a — pa kontūru; b — stūros; c — kontūra iekšpusē.

Izejot no stieņu elementu optimizācijas, pamatmoduli (joslu tīkla izmēru joslu asīs) pieņem 3 m, papildu izmērus — 1,5; 2,0 un 4,5 m. Mūsu zemes un ārzemju celtniecības praksē visvairāk lieto krustisku stieņu konstrukcijas, kuras montē no atsevišķiem stieņu un mezglu elementiem. Šādām konstrukcijām visi joslu un režģa stieņi ir vienāda garuma: sistēmām ar pentaedru pamatni  $h=0,707a$ , bet sistēmām ar tetraedru pamatni  $h=0,81a$ , kur  $h$  — konstrukcijas augstums joslu asīs;  $a$  — šūnas modulizmērs.

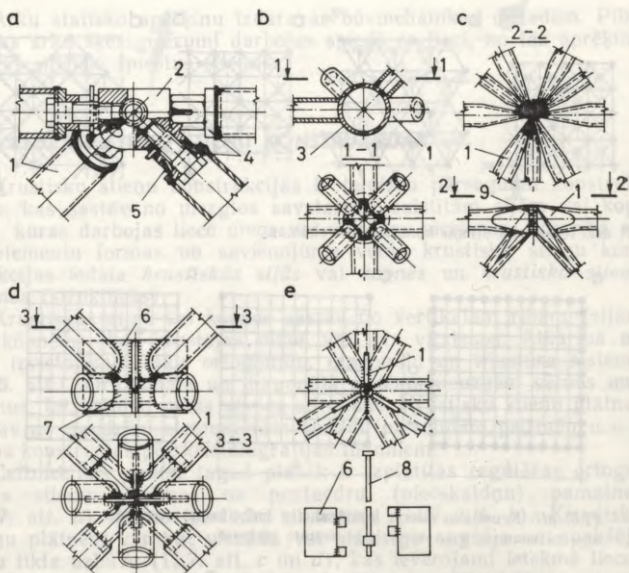
Ar krustisku stieņu konstrukcijām var pārsegt līdz 100 m un vēl lielākus laidumus. Divjoslu (vienkārtas) sistēmas (11.9. att. a) lieto laidumiem līdz 60 m, bet trīsjoslu vai četrjoslu (divkārtu vai trīskārtu) sistēmas — lielākiem laidumiem (11.9. att. b un c).

Konstrukciju stieņus visbiežāk izveido no apaļa šķērsriezuma caurulēm, bet var lietot arī vienādplauktu leņķprofilus, T profilus, U profilus un apaļstieņus.



11.9. att. Krustisku stieņu konstrukciju šķērsriezumu varianti:

a — divjoslu sistēma; b — trīsjoslu sistēma; c — četrjoslu sistēma.



11.10. att. Krustisku stieņu konstrukciju sajūguma mezgli, kas izstrādāti:

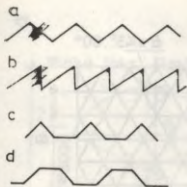
*a, d un e* — Maskavas Arhitektūras institūta; *b* — institūta «Oktaplatt» (Vācija); *c* — Centrālajā būvkonstrukciju zinātniskās pētniecības institūta; *1* — cauruļstieņi; *2* — pussferisks mezgla elements; *3* — dobs lodveida fasonelements; *4* — plakana paplāksne; *5* — savilcejskrūve; *6* — lokšņu fasonlapa; *7* — zvaigznveida fasonlapa ar apaļām caurulēm; *8* — montāžas tapa; *9* — metinājums.

Krustisku stieņu konstrukciju efektivitāte ir atkarīga no mezglu savienojuma risinājuma, jo mezglā dažādos leņķos jāsavienoj diezgan daudz stieņu. Pēc stieņu savienojuma izšķir izjaucamus (ar skrūvēm, perforētām un ķīlveida ietverēm) un neizjaucamus (metinātus) savienojumus. Dažādi sajūguma mezglu risinājumi parādīti 11.10. attēlā.

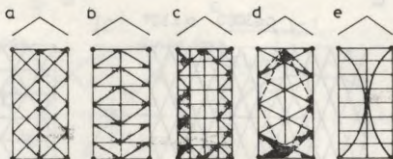
Krustisku stieņu konstrukcijas ir daudzkārt statiski nenoteicamas sistēmas. To precīzais aprēķins ir sarežģīts, tāpēc jālieto elektroniskie skaitļotāji. Tehniskā projekta stadijā var izmantot aptuvenās aprēķina metodes, apskatot konstrukciju kā ortotropu vai izotropu plātņi ar elastīgiem raksturojumiem, kuri ir ekvivalenti diskretās sistēmas raksturojumiem.

## 11.6. KROKAS UN CILINDRISKĀS TĪKLVEIDA KONSTRUKCIJAS

Celtniecības praksē plaši lieto telpiskos tīklveida čaulu pārsegumus — krokas, velves un cilindriskās čaulas, kuras veido no taisniem metāla stieņiem.



11.11. att. Kroku formas.



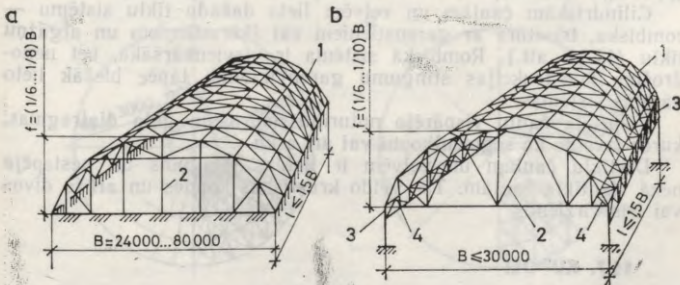
11.12. att. Režgotu kroku sistēmas:

*a* — krusta; *b* — atgāžņu; *c* — kombinētā; *d* — trīsstūra ar papildu sprāšļiem; *e* — bezatgāžņu ar arku.

Režgotās krokeris ir visvienkāršākās telpiskās konstrukcijas, kas sastāv no plakniskām kopnēm, kuras novietotas pārmaiņus slīpi uz dažādām pusēm, lai pārseguma šķērsgrīzumā izveidotu trīsstūra vai trapeces formu (11.11. att.).

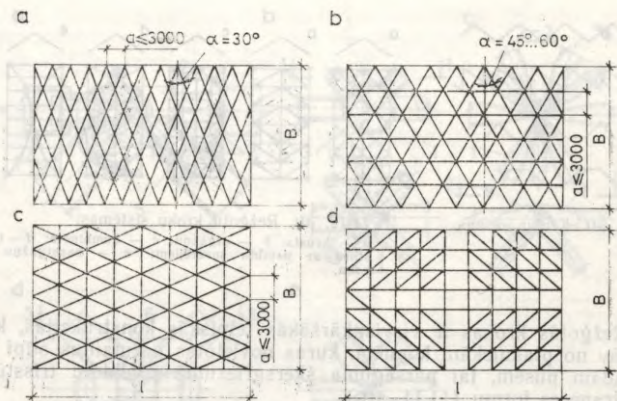
Krokas balsta uz metāla vai dzelzsbetona kolonnām, sienām vai jumta pakopnēm. Ja krokeris balsta uz kolonnām, tad krokeris viļņa platums nedrīkst pārsniegt 6 m. Krokeris pārseguma noturības nodrošināšanai kolonnu plaknē balsta mezglu līmenī abos galos izveido savilces, bet malējos viļņos joslu garumā uzstāda horizontālas kopnes vai savilču sistēmu balstbīdes uzņemšanai. Režgotām krokerim ir lielāks stingums nekā plakniskām kopnēm, tāpēc to augstumu var pieņemt (1/10...1/15)l.

Visplašāk lieto trīsstūra krokeris ar dažādu režģu sistēmu (11.12. att.). Vislielāko interesi izraisa krusta režģis, kura elementi ir stiepti un kuru var projektēt no lokaniem lielas stiprības tērauda elementiem.



11.13. att. Vientikla čaulu formas:

*a* — cilindriska velve; *b* — cilindriska čaula; 1 — tīkveida čaula; 2 — režģota diafragma; 3 — vertikālais apmales elements; 4 — horizontālais apmales elements.



11.14. att. Tīklveida čaulu sistēmas:

a — rombiska; b — trīsstūra ar garenstieņiem; c — trīsstūra ar šķērsstieņiem; d — atgāžņu.

Vientikla (vienjoslas) čaulas, kuru vidusvirsmu veido taisne, rotējot pa liku vaduli, sauc par cilindriskām čaulām. Vientikla cilindriskām velmēm, kuras balstās uz sienām vai pamatiem, galvenais elements ir tīklveida čaula un režģotas gala diafragmas (11.13. att. a). Cilindriskās čaulās, kas balstās uz četrām kolonnām stūros, laiduma virzienā papildus izveido vertikālus un horizontālus režģotus apmales elementus (11.13. att. b).

Vientikla velves laidums ir attālumš perpendiculari vilnim, kurš var būt 24...80 m. Vientikla velmēm pacēluma augstumu pieņem  $1/6 \dots 1/8$  laiduma, bet cilindriskām čaulām —  $1/6 \dots 1/10$  laiduma.

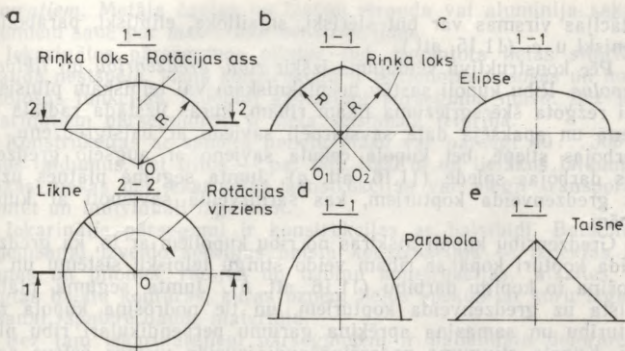
Cilindriskām čaulām un velmēm lieto dažādu tīklu sistēmu — rombisku, trīsstūra ar garenstieņiem vai šķērsstieņiem un atgāžņu tīklu (11.14. att.). Rombiskā sistēma ir visvienkāršākā, bet nenodrošina konstrukcijas stingumu garenvirzienā, tāpēc biežāk lieto pārējās sistēmas.

Vientikla čaulu vispārējo noturību nodrošina gala diafragmas, kuras izveido kā segmentkopni vai arī arku.

Dīvtīklu čaulām un velmēm ir lielāks stingums un nestspēja nekā vientikla čaulām. Tās veido krustiskas kopnes un arkas divos vai trīs virzienos.

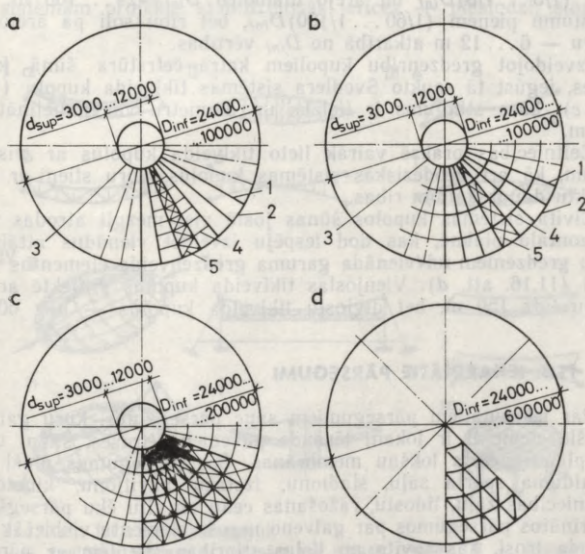
## 11.7. KUPOLI

Kupoli ir pozitīvā Gausa liekuma telpiski pārsegumi, kuru virsmu veido likne, rotējot ap nekustīgu vertikālu taisni. Celtniecības praksē visvairāk izplatīti ir apļveida plāna kupoli, kuri atkarībā no



11.15. att. Kupoli:

a — sfērīssks; b — smailloka; c — eliptisks; d — parabolisks; e — konisks.



11.16. att. Kupolu sistēmas:

a — ribu; b — gredzenribu; c — Svedlera tīklveida; d — Civita tīklveida; 1 — meridionāla riba; 2 — balstgredzens; 3 — augšējais gredzens; 4 — kopturi; 5 — saites.

rotācijas virsmas var būt sfēriski, smailloka, eliptiski, paraboliski, koniski u. c. (11.15. att.).

Pēc konstruktīvā veidojuma izšķir *ribu*, *gredzenribu* un *tīklveida kupolus*. Ribu kupoli sastāv no plakniskām vai telpiskām pilnsienas vai režgota šķērsgriezuma likām ribām, kuras uzstāda radiālā virzienā un apakšējā daļā savstarpēji savieno ar balstgredzenu, kas darbojas stiepē, bet kupola cekulā savieno ar augšējo gredzenu, kas darbojas spiedē (11.16. att. a). Jumta seguma plātnes uzliek uz gredzenveida kopturiem, kas šarnīrveidā savienoti ar kupola ribām.

Gredzenribu kupoli atšķiras no ribu kupoliem ar to, ka gredzenveida kopturi kopā ar ribām veido stingu telpisku sistēmu un nodrošina to kopīgu darbību (11.16. att. b). Jumta seguma plātnes balsta uz gredzenveida kopturiem, un tie nodrošina kupola ribu noturību un samazina aprēķina garumu perpendikulāri ribu plaknei. Kupola stinguma nodrošināšanai izveido vismaz četrus saišu paneļus, kuros divas blakus ribas savieno vienu ar otru, uzstādot saites un spraišļus — kopturus.

Ribu un gredzenribu kupoliem pacēluma augstumu parasti pieņem  $(1/5 \dots 1/8)D_{inf}$  un ārējo diametru  $D_{inf} = 24 \dots 100$  m. Ribu augstumu pieņem  $(1/60 \dots 1/100)D_{inf}$ , bet ribu soli pa ārējo diametru —  $6 \dots 12$  m atkarībā no  $D_{inf}$  vērtības.

Izveidojot gredzenribu kupoliem katrā četrstūra šūnā krusta saites, iegūst tā saukto Svedlera sistēmas tīklveida kupolu (11.16. att. c), kura stingums ir lielāks un diametru var palielināt līdz 200 m.

Celtniecības praksē vairāk lieto tīklveida kupolus ar trīsstūra šūnām, kā arī ģeodēziskās sistēmas kupolus, kuru stieņi ir sfērā ievilkta daudzskaldņu ribas.

Civita sistēmas kupolos šūnas joslā visi mezgli atrodas vienā horizontālā plaknē, kas dod iespēju izveidot vienādus attālumus starp gredzeniem un vienāda garuma gredzenveida elementus vienā joslā (11.16. att. d). Vienjoslas tīklveida kupolus projektē ar diametru līdz 150 m, bet divjoslu tīklveida kupolus — līdz 600 m.

## 11.8. IEKARINĀTIE PĀRSEGUMI

Par iekarinātiem pārsegumiem sauc pārsegumus, kuru galvenie nesošie elementi ir lokani tērauda pavedieni (trošes, stieņi u. c.) vai plānu metāla lokšņu membrānas. Šos pārsegumus plaši lieto lielaaiduma sporta zāļu, stadionu, izstāžu paviljonu, kinoteātru, tirdzniecības zāļu, lidostu, ražošanas ceļu un citu ēku pārsegšanai. Iekarinātos pārsegumos par galveno nesošo elementu visbiežāk lieto tērauda trosi, kas savita no lielas stiprības stieplēm ar pārejošo pretestību  $1200 \dots 1800$  MPa. Ja lieto trošes vai stieģrojuma stieņus, tad saka, ka *sistēma ir iekarināta ar lokanām vantīm*. Ja vantis veidotas no stingiem stieņiem (dubult-T profiliem vai kopnēm), tad *sistēma ir iekarināta ar stingām vantīm vai ar liekti stingiem*

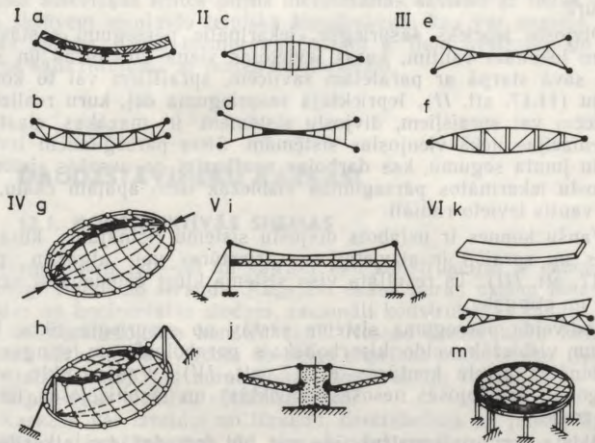
*elementiem.* Metāla čaulas no lokšņu tērauda vai alumīnija sakausējumiem sauc par *membrānu konstrukcijām.*

Iekarinātos pārsegumos pilnībā tiek izmantota lielas stiprības tērauda nestspēja, vienā konstrukcijā ir apvienotas nesošās un norobežojošās funkcijas, tādējādi samazinot pārseguma masu. Bez tam iekarinātiem pārsegumiem ir liela seismiskā izturība.

Konstrukcijas ar samērā nelielu masu var pārsegt 40...300 m lielus laidumus, bet tiltos — pat līdz 1000 m un lielākus laidumus. Mazās masas dēļ iekarinātās konstrukcijas var viegli transportēt, montēt un individuāli izgatavot.

Iekarinātie pārsegumi ir konstrukcijas ar balstbīdi. Balstbīdes uzņemšanai izveido spēcīgas balsta konstrukcijas — izliektas kolonnas un pilonus, rāmjus un tribīņu konstrukcijas, atsaites un slēgtas balsta kontūras, kuras uzņem lielus spēkus un kuru izgatavošanai jāpatērē daudz materiāla.

Bez tam iekarinātajiem pārsegumiem ir palielināta deformēšanās spēja, jo lielas stiprības tēraudiem ir mazāks elastības modulis ( $E = (1,5 \dots 1,8) 10^5$  MPa) nekā velmētajiem tēraudiem un mazāks sistēmas kinemātiskais mainīgums, ja darbojas nevienmērīgi sadalīta slodze. Lai samazinātu kinemātiskos pārvietojumus, iekarinātajām sistēmām projektē stabilizējošās ierīces — pieslodzi, slogojot



11.17. att. Iekarinātie pārsegumi:

I — vienjoslas sistēmas ar lokanām vai stingām vantīm; II — divjoslu iekarinātās sistēmas; III — vanšu kopnes; IV — sedveida tīkli; V — kombinētās sistēmas; VI — membrānu čaulas; a — pieslogota, b — liekti stinga, c — izliekta, d — ieliekta, e — saspriegta vanšu sistēma; f — vanšu sistēma ar stingiem šķērsstatiem; g — tīkls ar nesošo arku; h — tīkls ar savācējtrosi; i — vienlaiduma; j — divkonsoļu; k — pieslogota; l — ar vanšu kopni saspriegta, m — iekarināta vanšu sistēma.

ar slodzi, lielāku par  $1 \text{ kN/m}^2$  (11.17. att. *a* un *b*), vai iepriekš saspriedzot nesošo (ieliekto) vanti ar stabilizējošo (izliekto) vanti, vai arī izveidojot spraišļu elementus (11.17. att. *c*, *d*, *i*).

Iekarinātos pārsegumus atkarībā no konstruktīvās formas, galvenā nesošā elementa veida, pārseguma stabilizācijas paņēmiena un citām pazīmēm iedala sešās grupās — vienjoslas sistēmās ar lokanām vai stingām vantīm, divjoslu iekarinātās sistēmās, vanšu kopnēs, sedlveida tīklos, kombinētās sistēmās un membrānu čaulās (11.17. att.).

Pie vienjoslas iekarinātiem pārsegumiem pieskaitāmas sistēmas, kuras sastāv no lokaniem nesošajiem stieņiem vai trosēm un kuru stabilizāciju nodrošina ar uzliekamā klāja svaru; sistēmas, kas sastāv no stingām vantīm vai kopnēm; sistēmas, kas sastāv no lokanām vantīm, kuras nospriego ar šķērssijām vai kopnēm (11.17. att. *J*). Vienjoslas iekarinātos pārsegumus lieto taisnstūra, apaļa, eliptiska un citas formas plāna ēkām.

Vienjoslas iekarinātiem pārsegumiem, kas sastāv no stiepti liektiem, stingiem elementiem, kuri izveidoti no metinātiem vai velmētiem dubult-T profiliem vai kopnēm, nav jāveic papildu pasākumi stabilizācijai.

Vanšu siju sistēmām ir paaugstināts lieces stingums, kas palielinās, ja par šķērskonstrukciju lieto kopnes, kuras iespīlētas balsta kontūrā.

Divjoslu iepriekš saspriegtie, iekarinātie pārsegumi sastāv no divām lokanām vantīm, kuras izvietotas viena virs otras un saistītas savā starpā ar paralēlām savīlcēm, spraišļiem vai to kombināciju (11.17. att. *II*). Iepriekšējā sasprieguma dēļ, kuru realizē ar savīlcēm vai spraišļiem, divjoslu sistēmām ir mazākas elastīgās deformācijas nekā vienjoslas sistēmām. Šiem pārsegumiem izveido vieglu jumta segumu, kas darbojas neatkarīgi no nesošās sistēmas. Divjoslu iekarinātos pārsegumus visbiežāk lieto apaļām ēkām, pie tam vantis izvieto radiāli.

Vanšu kopnes ir uzlabots divjoslu sistēmu risinājums, kurā savilces un spraišļi ir aizvietoti ar trīsstūra vai atgāzņu režģi (11.17. att. *III*). Tā rezultātā visa sistēma kļūst ģeometriski nemainīga un stingāka.

Sedlveida pārseguma sistēma sastāv no saspriegta tīkla, kura virsmu visbiežāk veido hiperboliskais paraboloids un stingas vai kombinētas balsta kontūras (11.17. att. *IV*). Vanšu tīklu veido ortogonāli krustojošās nesošās (ieliektās) un stabilizējošās (izliektās) troses.

Balsta kontūru konstrukcijas var būt ļoti dažādas atkarībā no arhitektoniski konstruktīvā risinājuma. Visbiežāk balsta kontūru izveido no divām trim slīpi novietotām arkām, kuras balstās uz pamatiem, kolonnām vai nesošajām sienām.

Attālums starp trosēm ir atkarīgs no jumta seguma nesošajiem elementiem. Sauljuma un plēves segumiem to pieņem ne lielāku par  $1 \text{ m}$ , bet stingiem klājiem — ne lielāku par  $3 \text{ m}$ .

Kombinētās pārseguma sistēmas sastāv no stieptām vantīm un spiesti liektām sijām, kopnēm vai citiem stingriem elementiem (11.17. att. V). Šais sistēmās lokanās vantis un stingie elementi darbojas kopīgi, tādējādi ļaujot samazināt konstrukciju masu.

Membrānu pārsegumi ir telpiska konstrukcija, kuru izveido no plānām metāla loksņēm un stingas balsta kontūras (11.17. att. VI). Plānai loksnei ir mazs lieces stingums, tāpēc tā galvenokārt darbojas stiepē, kas dod iespēju pilnīgāk izmantot metāla nestspēju šalīdzinājumā ar citām plakniskām un telpiskām pārseguma konstrukcijām. Membrānu pārsegumu galvenā atšķirība no citām iekarinātām konstrukcijām ir tā, ka vienā materiālā ir apvienotas nesošās un norobežojošās funkcijas, tā papildus samazinot konstrukciju masu.

Pārsedzot lielus laidumus, metāla membrānas biezums pēc stiprības nosacījumiem nepārsniedz 1,0...1,5 mm, bet pēc korozijizturības apsverumiem loksņu biezumu pieņem ne mazāku par 3...4 mm.

Membrānu čaulu formas ir analogas iepriekš aplūkoto iekarināto pārsegumu virsmām.

Membrānu plānlokšņu pārsegumus pēc darbības rakstura iedala divos tipos — lentes pārsegumos un membrānu čaulās. Lentes pārsegumus izveido no atsevišķām savā starpā nesaistītām lentēm, un tie darbojas analogi vienjoslas vanšu konstrukcijām. Membrānu čaulās atsevišķās lentes pirms metināšanas savieno ar lielas stiprības skrūvēm vienlaidu telpiskā konstrukcijā, kas var uzņemt lielus bīdes spēkus. Tādēļ membrānu čaulām ir liela nestspēja un stingums šalīdzinājumā ar lentes membrānām.

## 12. nodaļa

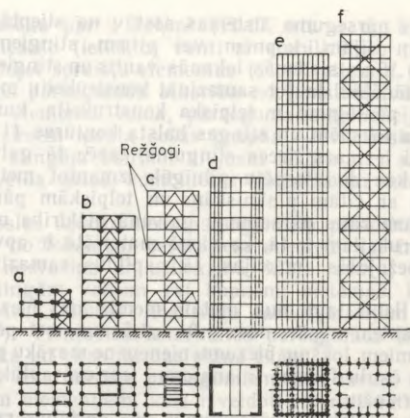
### DAUDZSTĀVU ĒKU KARKASI

#### 12.1. KONSTRUKTĪVĀS SHĒMAS

Daudzstāvu (20—30 un vairāk) ēku konstrukcijas ir ekonomiski izdevīgi veidot no tērauda. Augstām ēkām, kuras uzņem lielas vertikālās un horizontālās slodzes, racionāli konstrukcijas sadalīt nesošās un norobežojošās konstrukcijās. Nesošo konstrukciju funkcijas izpilda karkass, kas veidots no lielas stiprības materiāliem (tērauda un dzelzsbetona), bet norobežojošo konstrukciju funkcijas — viegli sienu paneli ar efektīvu siltumizolāciju.

Karkasu var izveidot no tērauda, dzelzsbetona un jaukta tipa — apakšējo stāvu kolonnas no tērauda, bet augšējo stāvu kolonnas no dzelzsbetona. Materiālus karkasam izvēlas pēc tehniski ekonomiskās analīzes, ievērojot konkrētos celtniecības apstākļus.

Karkasa elementi ir kolonnas, pārsegumu sijas (rīģeļi), vertikālās stinguma saites un pārsegumu horizontālie diskus. Ēkas karkass uzņem un pārnes uz pamatu visas vertikālās un horizontālās slodzes. Palielinoties ēkas augstumam, bīstamāka kļūst horizontā-



12.1. att. Daudzstāvu ēku konstruktīvās shēmas.

lās vēja slodzes iedarbība, tāpēc mūsdienu daudzstāvu ēku karkasu klasifikācija ir saistīta ar horizontālo slodžu uzņemšanas paņēmieni (12.1. att.).

Ēkās, kurās ir līdz 20 stāviem, visvairāk izplatītas ir *saišu shēmas* ar pakļāvīgiem mezglu savienojumiem (12.1. att. a). So shēmu galvenā priekšrocība ir vienkāršais siju un kolonnu sajūgums un minimālā darbietilpība. Karkasu horizontālo stingumu nodrošina vertikālās saites, kuras izvieto garenrāmju un šķērsrāmju plaknēs. Ja eksploataācijas apstākļu dēļ karkasā nevar izvietot saites, tad ēkās, kurās ir līdz 50 stāviem, var lietot *rāmju* vai kombinēto *rāmju-saišu shēmu* (12.1. att. b). Lai palielinātu karkasu horizontālo stingumu, saišu laidumus aizpilda ar betonu, izveidojot stinguma diafragmu vai kārbveida dzelzsbetona kodolu, kuru vienlaicīgi izmanto kā vertikālo komunikāciju šahtu. Šīs shēmas karkasa stingumu var vēl vairāk palielināt, izveidojot divos vai vairākos stāvos stingus režģotus režģogus (12.1. att. c).

Ēkās ar 60 un vairāk stāviem lieto *bezarkarkasu shēmas ar nesošajām šķērssienām*, kuras izpilda stinguma diafragmu funkcijas (12.1. att. d). Šķērssienu kopīgo darbību nodrošina pārsegumu diski un sienu aizpildījums.

Lai samazinātu ēku karkasu masu un palielinātu to stingumu, lieto *kārbveida čaulu shēmas* ar iekšējo karkasu un *kārbveida daudzsekciju shēmas* (12.1. att. e).

Vislielākais horizontālais stingums ir kārbveida sistēmai ar telpisku atgāzņu režģi (12.1. att. f).

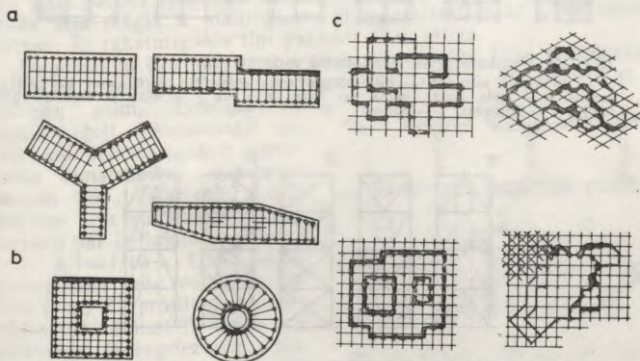
## 12.2. ĒKU PLĀNOJUMS

Daudzstāvu ēku plānojums ir atkarīgs no funkcionālā uzdevuma (dzīvojamā, administratīvā ēka, viesnīca, mācību iestāde u. c.) un arhitektoniskā risinājuma. Konstruktīvi izdevīgs ir plānojums, kurā kolonnu tīkls izveidots, ievērojot noteiktu moduli. Šai gadījumā var maksimāli tipizēt karkasa elementus — kolonnas un sijas, kā arī norobežojošo konstrukciju elementus.

Tērauda izlietojums karkasam ir atkarīgs no kolonnu soļa, jo, palielinot kolonnu soli, kopējā kolonnu masa samazinās, siju masa palielinās, — un otrādi. Daudzstāvu ēkām optimālais kolonnu solis ir 4...6 m, bet arhitektonisku apsvērumu dēļ to nereti pieņem lielāku. Ēkas plānojot, visbiežāk lieto kvadrāta var taisnstūra kolonnu tīklu.

Dažādu ēku plānojumi parādīti 12.2. attēlā. Izstieptām, šaurām ēkām parasti ir divas kolonnu rindas pie ārsienām un viena vai divas papildu kolonnu rindas ēkas iekšpusē (12.2. att. a). Kompaktām ēkām kolonnas izvieto gar ārsienām un pie centrālā stinguma kodola (12.2. att. b). Sarežģīta plāna ēkas sadala atsevišķās taisnstūra kontūrās, kuru iekšpusē kolonnas izvieto pēc kāda noteikta principa (12.2. att. c).

Kolonnas parasti iet nepārtraukti cauri visā ēkas augstumā. Ja ēkā nepieciešams ierīkot lielas telpas, tad kolonnas pārtrauc. Šai gadījumā augstākā stāva kolonnas balsta uz pārseguma, kuru izveido kā smago kopni viena stāva augstumā vai kā spēcīgu pilnsienas siju. Šāds risinājums sarežģī ēkas karkasa konstrukciju, tāpēc tas nav ieteicams.



12.2. att. Ēku plānojumi:

a — izstieptas, šauras ēkas; b — kompakts ēkas; c — sarežģīta plāna ēkas.

### 12.3. SAITES

Daudzstāvu ēku karkasi bez vertikālām slodzēm uzņem arī liekas horizontālās slodzes, kuras izraisa vēja iedarbība. Vēja slodze uz ēku iedarbojas jebkurā virzienā, tāpēc saišu izvietojumam jānodrošina ēkas telpiskais stingums un spēja pretoties vērpei.

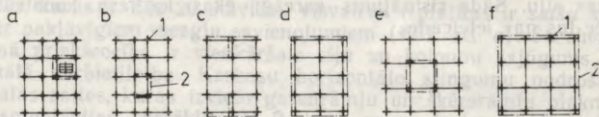
Rāmju shēmās, kurās rāmji izvietoti ēkas šķērsvirzienā un garenvirzienā, telpisko stingumu nodrošina rāmju stingie mezgli.

Lai nodrošinātu stingumu ēkas šķērsvirzienā un garenvirzienā, saišu kopnes cenšas izvietot pēc iespējas simetriski pret ēkas galveno asi (12.3. att.). Ja vertikālās saites izvietotas nesimetriski, tad vēja slodze var izraisīt vērpi un papildu spēkus saitēs.

Saites, kas izvietotas ēkas šķērsvirzienā, uzņem lielāku vēja slodzi, un tām ir lielāka nozīme ēkas stinguma nodrošināšanā. Saitēm, kas izvietotas ēkas garenvirzienā, ir mazāka nozīme, jo lielais kolonnu skaits, sienu garums, aizpildījums un pārsegumu elementi papildus palielina ēkas stingumu.

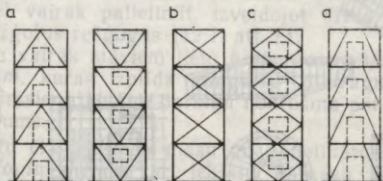
Saites parasti izvietotas nepārtraukti visā ēkas augstumā, bet, ja tas nav iespējams, tad saites pārnes uz blakus paneļiem. Lai labāk pārnestu horizontālos spēkus, blakus paneļos apakšējo stāvu saites izvieto vienu stāvu augstāk par augšējām saitēm.

Vertikālajām saišu kopnēm var būt dažāda režģa sistēma (12.4. att.). Visbiežāk lieto pusatgāžņu režģa sistēmu (12.4. att. a), kas saišu paneļos ļauj ierīkot durvju un logu ailas un uzņemt ma-



12.3. att. Vertikālo saišu izvietojuma varianti:

a — ap kāpņu telpu; b — pa iekšējām asīm (lentveida iestiklojums pa perimetru); c — gala sienās, kurās nav logu; d, e un f — ēkas ar lielu stāvu skaitu; 1 — kolonnas; 2 — saites.



12.4. att. Saišu shēmas:

a — pusatgāžņu; b — krusta; c — rombiskā; d — nepilnā.

zākus papildu spiedes spēkus, ko izraisa kolonnu saīsinājums slo-džu iedarbībā. Krusta režģis (12.4. att. *b*) ir visstingākais, bet to var ierīkot tikai bezailu sienu paneļos. Šo saišu atgāžņi uzņem lielus papildu spēkus no kolonnu spiediena. Atsevišķos gadījumos, ja jāierīko ailas, lieto rombiskās un nepilnās saites (12.4. att. *c* un *d*), kuras ir mazāk stingas nekā pusatgāžņu saites.

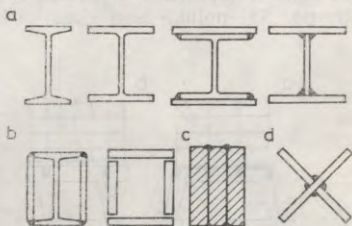
## 12.4. KARKASU KONSTRUKCIJAS

Daudzstāvu ēku karkasu kolonnas projektē ar dažādu šķērsgriezumu (12.5. att.). Visbiežāk lieto dubult-T veida šķērsgriezumu (12.5. att. *a*), kuru izveido no velmētiem profiliem vai sametina no loks-nēm. Saliktām taisnstūra kolonnām lieto kārbveida vai pilna taisnstūra šķērsgriezumu. Kārbveida šķērsgriezuma kolonnas (12.5. att. *b*) lieto, ja darbojas lieli garenspēki un lieces momenti abās plaknēs vai ir liels brīvais garums. Pilna taisnstūra šķērsgriezuma kolonnām (12.5. att. *c*) ir vismazākie gabarīti. Slēgta apveida šķērsgriezuma kolonnas izveido arī no taisnstūra, kvadrāta šķērsgriezuma vai apaļām caurulēm, kurām ir liels stingums un labs ārējais izskats. Krusta šķērsgriezuma kolonnas no leņķprofiliem (vieglas) vai loks-nēm (smagas) (12.5. att. *d*) ir izdevīgas tad, ja tās uzstāda starpsienu krustpunktos un pēc tam apdarina.

Kolonnu montāžas salaides augstumā parasti izveido ik pēc diviem stāviem, izvietojot tās 0,5...1,0 m augstāk par starpstāvu pārseguma līmeni. Kolonnas šķērsgriezumu vienas nosūtāmās mar-kas robežās nemaina. Lai vienkāršotu montāžas salaides, tās izveido ar frēzētiem kolonnu galiem, kas atvieglo montāžu.

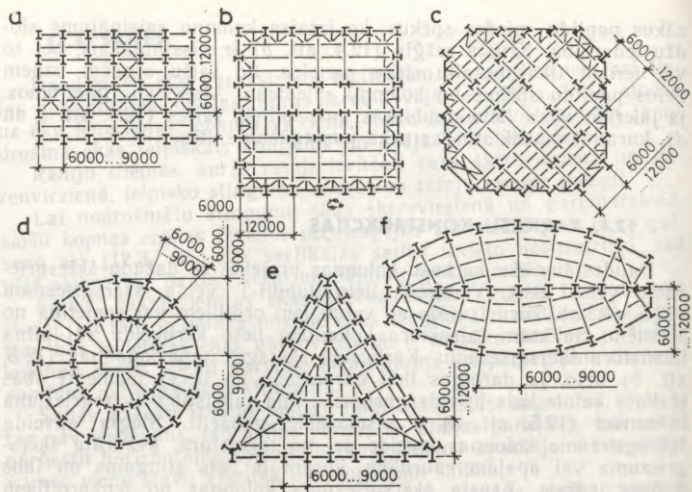
Kolonnu bāzes arī projektē ar frēzētiem galiem. Kolonnas frēzē-tais gals pārnes spiedienu uz ēvelētu balstplātni. Starpstāvu pārse-guma siju režģis ir atkarīgs no ēkas arhitektoniski konstruktīvās formas. To raksturīgākie tipi parādīti 12.6. attēlā.

Daudzstāvu ēku pārsegumu sijas veido režģi, kura projektēšana aplūkota 7. nodaļā. Karkasu rāmju shēmās sijas, kas izvietotas pa kolonnu asīm, darbojas kā rāmju rīģeļi. Ekonomisku ap-svērumu dēļ starpstāvu pārse-guma konstruktīvo augstumu pieņem 350...400 mm, tāpēc galveno siju augstumu pieņem mazāku par optimālo augstumu, t. i.,  $h/l=1/10...1/18$ . Sijām galvenokārt lieto velmētos du-bult-T un U profilus, kā arī metinātās dubult-T veida un kārbveida šķērsgriezuma sijas. Ja ir lieli laidumi, tad var lie-tot krustiskās sijas vai kopnes,



12.5. att. Kolonnu šķērsgriezuma tipi:

*a* — dubult-T veida; *b* — kārbveida; *c* — pilna taisnstūra; *d* — krusta.



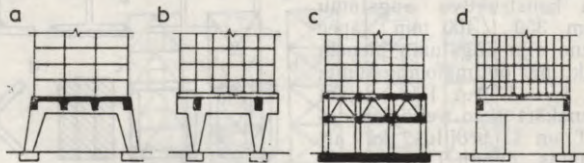
12.6. att. Starpstāvu pārseguma siju režģu raksturīgākie tipi:

a — geometriski mainīgs siju un dzelzsbetona plātņu pārseguma disks, kura stingumu palielina garenvirzienā un šķērsvirzienā izvietotas saišu kopnes; b un c — geometriski mainīgi pārseguma diski, kuru stingumu palielina pa kontūru izvietotas saišu kopnes; d, e un f — geometriski nemainīgi siju režģa un dzelzsbetona plātņu pārseguma diski.

kas darbojas divos vai vairākos virzienos atkarībā no ēkas plāna formas.

Siju sajūgums ar kolonnām var būt šarnīrveida vai stings. Šarnīrveida sajūguma gadījumā sijas uz kolonnām pārnes tikai vertikālās reakcijas, stinga sajūguma gadījumā — vertikālās reakcijas un balstmomentus.

Nereti arhitektonisku apsvērumu dēļ zem ēkas galvenā būvķermeņa ir jāprojektē brīva telpa, paceļot ēkas karkasu virs zemes līmeņa. Šai nolūkā zem ēkas karkasa izbūvē balsta konstrukciju,



12.7. att. Portāli:

a un b — rāmju; c — krustisku kopņu; d — siju.

ko sauc par portālu (12.7. att.). Portāla konstrukciju veido šķēsrāmji vai garenrāmji, kuri telpiski saistīti ar spēcīgām sijām vai kopnēm. Portālus būvē no monolītā dzelzsbetona, stiegrojot ar stingo un lokano stiegrojumu.

## 12.5. KARKASU APRĒĶINA ĪPATNĪBAS

Daudzstāvu ēku tērauda karkasam nestspēju aprēķina pēc pirmās grupas robežstāvokļa, stingumu — pēc otrās grupas robežstāvokļa.

Vertikālās un horizontālās slodzes, kas darbojas uz daudzstāvu ēkas karkasu, nosaka pēc slodžu un iedarbību normām [21]. Saišu shēmās rīģeļi un kolonnas uzņem tikai vertikālās slodzes, bet horizontālās slodzes uzņem vertikālās saišu kopnes.

Telpisko saišu shēmas karkasu statiskajā aprēķinā sadala atsevišķās plakniskās sistēmās, kas parasti darbojas šķērsvirzienā. Aprēķina shēmā pieņem daudzstāvu rāmi, kuram rīģeļu sajūgums ar kolonnām ir šarnīrveida un saišu kopne izvietota vienā laidumā. Šāda rāmja rīģeļi, kas noslogoti ar lineāru pastāvīgo un pagaidu slodzi, darbojas kā pārtrauktas sijas. Rīģeļu balstreācijas pārnēs uz kolonnām kā garenspekus.

Ja rīģeļi visos stāvos noslogoti simetriski, tad kolonnās rodas tikai centriskās spiedes spēks. Kolonnu nestspēja jāpārbauda papildus, ja ir vienpusējs noslogojums ar pagaidu slodzi, jo šai gadījumā rodas vietējs lieces moments.

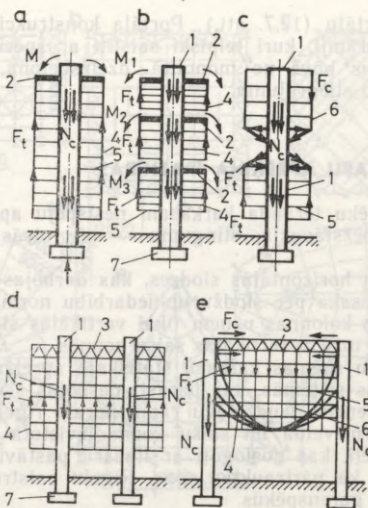
Horizontālo vēja slodzi saišu sistēmai pieliek kā koncentrētus spēkus. Šādu sistēmu aprēķina kā statiski noteicamu konsolkopni, kas iespīlēta pamatā.

Rāmju konstruktīvo shēmu ar stingiem mezgliem kā daudzkārt statiski nenoteicamu sistēmu aprēķina ar būvmehānikas metodēm, lietojot elektroniskos skaitļotājus.

## 12.6. DAUDZSTĀVU ĒKAS AR PIEKARSTĀVIEM

Daudzstāvu ēkas ar piekarstāviem konstruktīvi atšķiras no karkasu ēkām. Konstruktīvās shēmas skeletu veido telpiski stinguma kodoli — šahtas, kurās izvieto kāpnes un lifius un kuras uzņem visas vertikālās un horizontālās slodzes. Stāvus piekar pie konsolēm, kuras izveido kā siju režģogus vai krustisku kopņu sistēmas un balsta uz ēkas vertikālo kodolu.

Pēc galveno balstu skaita konstruktīvās shēmas var iedalīt divās grupās: *vienkodola* un *vairākkodolu sistēmās*. Praksē biežāk lieto vienkodola sistēmas ar konsolu režģogu (12.8 att. *a, b, c*). Režģogu izveido kā siju vai kopņu sistēmu. Lai samazinātu lieces momentus siju režģogus, kodola augstumā izveido divus vai vairākus režģogus atkarībā no stāvu skaita. Var izveidot arī kombinētas sistēmas,



12.8. att. Vienkodola un vairākkodolu ēku ar piekarstāviem konstruktīvās shēmas:

*a* — vienkodola iekārtā sistēma; *b* — vienkodola grupveida iekārtā sistēma; *c* — vienkodola kombinētā grupveida sistēma; *d* — divkodolu iekārtā sistēma; *e* — divkodolu kombinētā (tilta tipa) sistēma; 1 — kodols; 2 — siju režģogs; 3 — režģots režģogs; 4 — piekari; 5 — siju režģis; 6 — kolonna; 7 — pamati.

stāvus daļēji piekarot un daļēji balstot uz konsolu režģogiem (12.8. att. *e*).

Divkodolu sistēmās par ēkas galvenajiem vertikālajiem elementiem izmanto divas kāpņu-liftu šahtas, uz kurām līdzīgi tiltu laidumu konstrukcijām balsta balstkonstrukcijas pārseguma sijas vai kopnes (12.8. att. *d* un *e*). Starpstāvu pārsegumus, kurus izveido pēc siju režģu vai krustisku kopņu tipa, piekar pie balstkonstrukcijas ar piekariem.

## 13. nodaļa

### AUGSTBŪVES

#### 13.1. AUGSTBŪVJU RAKSTUROJUMS

Par augstbūvēm sauc būves, kuru augstums daudzkārt pārsniedz to šķērsriezuma izmērus. Pie augstbūvēm pieder antenu būves (radio un televīzijas torņi un masti), elektropārvades gaisa līniju

balsti, urbšanas torņi, apgaismes torņi, ūdenstorņi, velkmes torņi, dūmeņi, bākas un citas līdzīgas konstrukcijas (13.1. att.).

Pēc konstruktīvās shēmas augstbūves iedala divos galvenajos tipos — torņos un mastos.

*Tornis* ir augstbūve, kas stingri nostiprināta pamatnē, tās stumbru nostiprinot uz speciāli būvēta pamata.

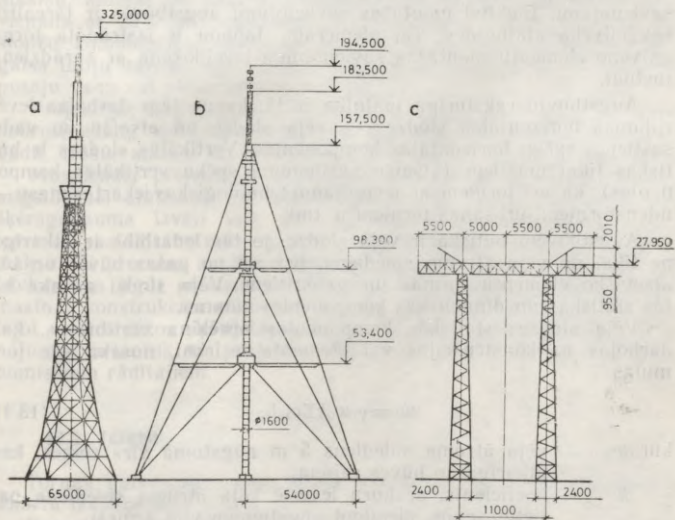
*Masts* ir augstbūve, kuras stāvokļa stabilitāti nodrošina atsaīšu sistēmas.

Praksē sastopamas arī kombinētas sistēmas, t. i., konstrukcijas, kas nostiprinātas pamatnē līdzīgi kā torņi, bet papildus pastiprinātas ar atsaītēm.

Torņus galvenokārt projektē kā režģotas konstrukcijas. Atsevišķos gadījumos režģis tiek apšūts ar dekoratīvām metāla loksņēm. Ja arhitektonisku vai citu apsvērumu dēļ torņa platums ir neliels, to izveido kā pilnsienas konstrukciju.

Masta galvenās sastāvdaļas ir stumbrs, kas balstās uz pamata, un atsaītes, kuras nostiprinātas pie enkurspantiem. Mastu stumbru parasti projektē kā režģotu konstrukciju, bet atsevišķos gadījumos — kā pilnsienas konstrukciju ar apaļu šķērsriezumu.

Racionālākais materiāls augstbūvju izgatavošanai ir metāls (tērauds vai alumīnija sakausējumi), jo tas nodrošina augstbūvēm



13.1. att. Augstbūves:

a — torņis; b — masts; c — elektropārvades gaisa līnijas balsts.

vismazāko masu un iespēju tās izgatavot rūpnieciski, ērti transportēt un ātri samontēt.

Antenu augstbūves ir unikālas un ļoti izplatītas būves. To attīstība ir cieši saistīta ar radio, televīzijas un kosmisko sakaru ieviešanu. Ir paredzams, ka zinātnes un tehnikas speciālo nozaru attīstība arī turpmāk veicinās jauna tipa antenu būvju ar paplašinātu izmantošanas diapazonu radīšanu. Šim augstbūvēm tiks palielināts augstums, samazinātas deformācijas, uzlabotas aerodinamiskās īpašības, samazināta masa, izgatavošanas un montāžas darbietilpība un izmaksas. Tās varēs izveidot, ieviešot jaunus oriģinālus augstbūvju konstruktīvos risinājumus, jaunus materiālus, optimālas elementu šķērsgriezuma formas, uzlabotu tehnoloģiju un precizētas aprēķina metodes.

Mūsdienu metalurģija ir devusi iespēju izmantot augstbūvēm jaunas tēraudu un alumīnija sakausējumu markas, it īpaši sakausējumus ar minimālu termiskās izplešanās koeficientu.

Izmantojot materiāla iepriekšējo saspriegumu, PSRS un ārzemēs ir radīti oriģināli torņi un masti ar samazinātu masu.

Augstbūvju tehniski ekonomiskos rādītājus sevišķi ietekmē rūpniecisko un montāžas savienojumu izveidošana. Tādēļ augstbūvju attīstība ir atkarīga no metināšanas tālākās attīstības. Perspektīvi ir arī līmētie savienojumi uz epoksīdsveķu bāzes un savienojumi ar lielas stiprības skrūvēm, kā arī kombinētie skrūvētie un līmētie savienojumi. Efektīvi montāžas savienojumi augstbūvēs ir jārealizē bez cilvēka klātbūtnes. Tā, piemēram, Japānā ir izstrādāta torņu galveno elementu montāžas savienojumu izveidošana ar sprādziena metodi.

Augstbūvju raksturīga īpatnība ir tā, ka uz tām darbojas ievērojamas horizontālās slodzes — vēja slodze un atsaišu un vadu sastiepes spēku horizontālās komponentes. Vertikālās slodzes ir būtiskas tikai mastiem (atsaišu sastiepuma spēku vertikālās komponentes), kā arī torņiem ar ievērojamu tehnoloģiskās iekārtas masu — ūdenstorņiem, urbšanas torņiem u. tml.

Augstbūvēm būtiska ir vēja slodze, jo tās iedarbība ir atkarīga ne tikai no vēja ātruma spiediena, bet arī no pašas būves un tās atsevišķo elementu formas un gabarītiem. Vēja slodzi nosaka kā tās statiskās un dinamiskās komponentes summu.

Vēja slodzes statiskās komponentes aprēķina vērtību  $w_i$ , kas darbojas uz konstrukcijas vai elementa iecirkni, nosaka pēc formulas

$$w_i = \gamma_f w_0 k \sum C_{xi} f_i, \quad (13.1)$$

kur  $w_0$  — vēja ātruma spiediens 5 m augstumā virs zemes, kas atkarīgs no būves rajona;

$k$  — koeficients, ar kuru ievērtē vēja ātruma spiediena palielināšanos, pieaugot augstumam virs zemes;

$\gamma_f$  — slodzes drošuma koeficients, kuru pieņem vienādu ar 1,4;

- $c_{xi}$  —  $i$ -tā iecirkņa aerodinamiskuma koeficients;  
 $f_i$  —  $i$ -tā iecirkņa laukuma projekcija uz plaknes, kas perpendikulāra vēja darbības virzienam.

Vēja slodzes dinamiskās (pulsāciju) komponentes aprēķina vērtību  $\omega_p$ , kas darbojas uz konstrukcijas vai elementa iecirkni, nosaka pēc formulas

$$\omega_p = \omega_m \xi \zeta v, \quad (13.2)$$

- kur  $\omega_m$  — vēja ātruma vidējā spiediena komponente  $z$  metru augstumā virs zemes;  
 $\xi$  — dinamiskuma koeficients;  
 $\zeta$  — vēja spiediena pulsāciju koeficients  $z$  metru augstumā;  
 $v$  — vēja spiediena pulsāciju telpiskās korelācijas koeficients.

Lielumus izteiksmēm (13.1) un (13.2) atrod pēc literatūras [21].

Apledojuma slodzei ir būtiska nozīme, projektējot elektropārvaides gaisa līniju balstus, kā arī mastu antenu iekārtas.

Temperatūras iedarbību ievēro gadījumos, kad tā ietekmē atsevišķu elementu spriegumstāvokli.

Augstbūvēm parasti raksturīgas šādas slodžu pamatkombinācijas: konstrukcijas un iekārtas masa; atsaīšu, antenu un vadu sastiepums un viesuļvējš vai arī konstrukcijas un iekārtas masa; atsaīšu, antenu un vadu sastiepums; vēja slodzes intensitāte, kas vienāda ar 25% no viesuļvēja, un apledojuma slodze. Pēc sevišķo slodžu kombinācijas aprēķina antenu būves un elektropārvades gaisa līniju balstus seismiskajiem rajoniem un gadījumiem ar vienspēju vadu vai piekarantenu pārrāvumu.

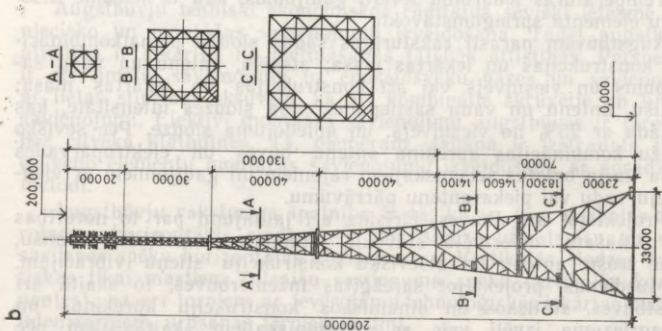
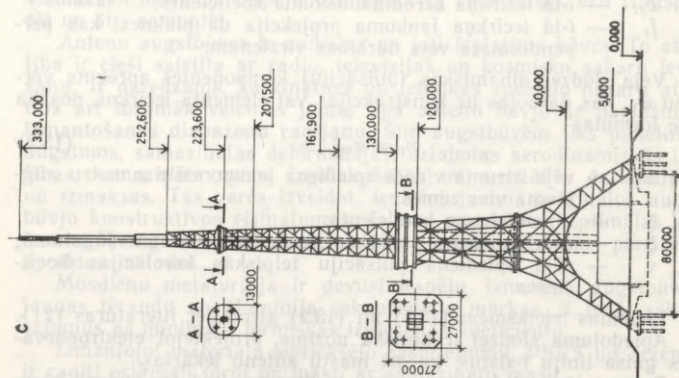
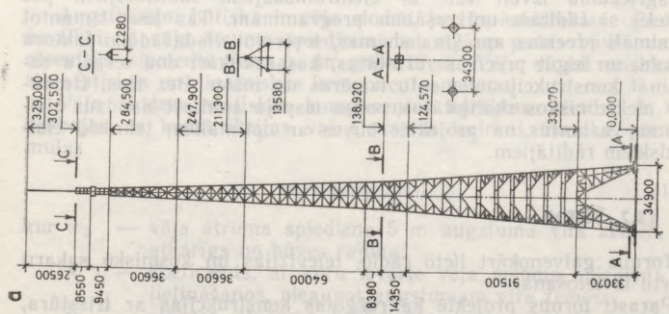
Projektējot augstbūves, jārisina arī jautājumi par to noturības nodrošināšanu deformētā stāvoklī, stumbru svārstībām, vanšu, vadu, trošu, antenu un atsevišķu konstrukciju stieņu vibrācijām.

Mūsdienās, projektējot sarežģītas inženierbūves, to skaitā arī augstbūves, statiskos un dinamiskos konstrukciju aprēķinus un šķērsgrīzuma izvēli veic ar elektroniskajiem skaitļotājiem pēc iepriekš sastādītām universālām programmām. Tas ļauj izmantot maksimāli precīzas aprēķina shēmas, ievērojot visdažādāko faktoru ietekmi, un iegūt precīzus rezultātus, kas savukārt dod iespēju samazināt konstrukciju elementu izmērus un masu. Bez tam, izmantojot elektroniskos skaitļotājus, rodas iespēja analizēt daudzus risinājuma variantus un projektēt būves ar optimāliem tehniski ekonomiskiem rādītājiem.

### 13.2. TORŅI

Torņus galvenokārt lieto radio, televīzijas un kosmisko sakaru iekārtu izvietošanai.

Parasti torņus projektē kā režģotas konstrukcijas ar trīsstūra, kvadrāta vai daudzstūra formas plānu (13.2. att.). Pēc savas statiskās shēmas tornis ir pamatā stingri iespīlēta konsole.



13.2. att. Torņi:  
a — televīzijas tornis ASV Viskonasinas štātā; b — radiotornis Beļģijā; c — televīzijas tornis Japānā.

Torņiem var racionāli izmantot 130...450 mm diametra caurules, jo tām ir vislabākā applūstamība. Lai samazinātu materiāla patēriņu un nodrošinātu torņu stāvokļa stabilitāti, darbojoties vēja un citām horizontālām slodzēm, tos parasti projektē ar paplašinātu apakšējo daļu atbilstoši lieces momentu epīrai.

Torņu režģa sistēma ir atkarīga no joslu šķērsriezuma ģeometriskās formas, jo to stingums nosaka paneļu pieļaujamos izmērus. Torņu augšdaļā var lietot trīsstūra vai atgāžņu režģa sistēmu. Ja torņa skaldne ir plata, tad lieto rombisko vai pusatgāžņu režģa sistēmu, izveidojot spraišļu režģa aizpildījumu, lai nodrošinātu joslas aprēķina garumu pēc pieļaujamā lokanuma. Tērauda ekonomiju var iegūt, lietojot krusta režģa sistēmu, kurai iepriekš saspriedz lokanos atgāžņus.

Atkarībā no tehnoloģiskajām, ekonomiskajām un citām prasībām, kā arī no celtniecības attīstības līmeņa pasaulē ir uzbūvēti un tiek būvēti dažādu izmēru un formas torņi. Padomju Savienībā ir plaši izplatīti piramidāla tipa kvadrātiska plāna torņi, kuru augstums ir 150...200 m. Uzbūvēto individuālās konstrukcijas torņu augstums sasniedz 325...550 m. Kā vienu no pēdējiem var minēt 368 m augsto unikālas tērauda konstrukcijas televīzijas torni Rīgā (13.3. att.).

Torņus būvē no tērauda, alumīnija sakausējumiem, dzelzsbetona vai kombinētus — apakšdaļu no dzelzsbetona, bet augšdaļu no metāla. Salīdzinošā analīze rāda, ka dzelzsbetona torņi ir visneekonomiskākie, un tāpēc tos būvē tikai tad, ja jāievēro speciālas tehnoloģiskas vai arhitektoniskas prasības.

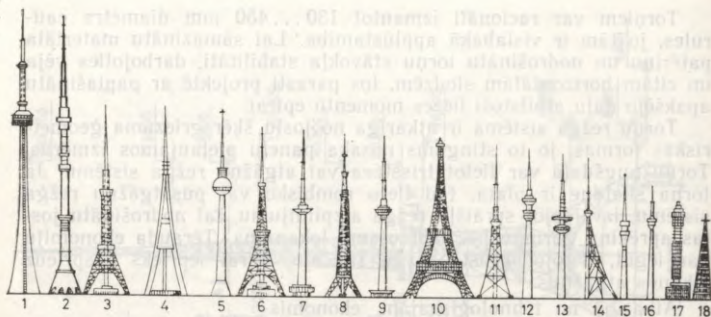
Raksturīgākie dažādās valstīs uzbūvētie torņi parādīti 13.4. attēlā. Pašreizējās celtniecības iespējas raksturo Japānā izstrādātie 3750 m un 4000 m augsto torņu projekti.

Torņus parasti aprēķina kā telpiskas konstrukcijas pēc slodžu pamatkombinācijām. Pētījumi rāda, ka vislielākie spiedes garenspēki torņu joslās rodas, ja kvadrāta vai astoņstūra plāna torņiem vēja slodze darbojas uz joslām, bet trīsstūra vai sešstūra plāna torņiem — uz skaldnēm.

Torņu joslām noturību aprēķina pēc lielākā spiedes garenspēka, bet režģa elementus — pēc šķērsspēka, kas darbojas skaldnes plaknē. Ja spiesto režģa elementu loka-



13.3. att. 368 m augstais televīzijas tornis Rīgā.



13.4. att. Dažādās pasaules pilsētās uzbūvētie torņi:

1 — Toronto, 550 m; 2 — Maskavā, 540 m; 3 — Kijevā, 372 m; 4 — Rīgā — 368 m; 5 — Berlīnē, 365 m; 6 — Tokijā, 333 m; 7 — Viļņā, 326 m; 8 — Ļeņingradā, 316 m; 9 — Tallinā, 314 m; 10 — Parīzē (Eifeļa tornis), 312 m; 11 — Erevānā, 300 m; 12 — Minhenē, 290 m; 13 — Hamburgā, 284 m; 14 — Tbilisi, 275 m; 15 — Drēzdenē, 240 m; 16 — Stutgartē, 212 m; 17 — Londonā, 184 m; 18 — Maskavā (Suhova tornis), 160 m.

nums  $\lambda \geq 100$ , tad to aprēķinā jāievēro greizā liece, ko izraisa elementu masas un vēja iedarbība.

Torņa virsotnes horizontālais pārvietojums nedrīkst pārsniegt 1/100 no torņa augstuma. Tomēr, lai palielinātu torņa vibroizturību, vēlams nodrošināt šo pārvietojumu 1/150...1/300 no augstuma.

Dažāda augstuma tipa televīzijas torņus montē no atsevišķām sekcijām. Šīs sekcijas izveidotas tā, ka lielāka augstuma torni var iegūt, pievienojot mazāka augstuma tornim apakšdaļā papildu sekcijas. Šajos torņos lieto unificētus stieņu savienojumus (13.5. att.), kas ļauj paātrināt torņu montāžu.

Tipa torņu joslas izgatavo no caurulēm un apvieno ar krusta režģi, kas sastāv no stingiem cauruļu spraišļiem un lokaniem apaļtērauda atgāžņiem ar speciālām savilcēm to saspriegšanai. Montāžas mezglos joslām izveidoti biezi atloki, kurus savieno ar skrūvēm. Torņu montāžu veic ar pagarināšanas paņēmienu, katru nākamo sekciju paceļot un pievienojot jau samontētajai zemākstāvošajai daļai.

### 13.3. MASTI

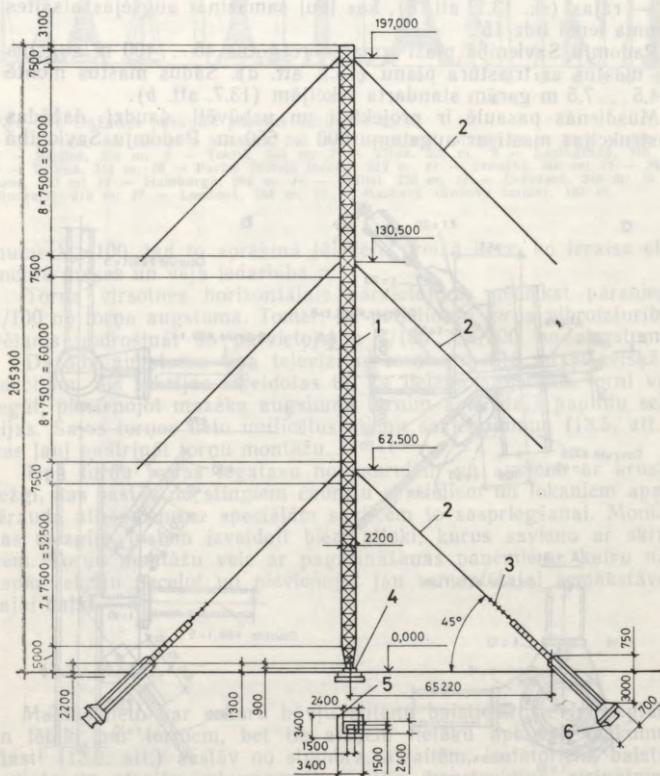
Mastus lieto par sakaru būvju antenu balstiem. Tie ir vieglāki un lētāki par torņiem, bet tie aizņem lielāku apbūves laukumu. Masti (13.6. att.) sastāv no stumbra, atsaitēm, izolatoriem, balsta, pamata un atsaišu enkurpamatiem. Pēc konstruktīvā risinājuma izšķir *režģotos* un *pilnsienas mastus*, bet pēc stumbra šķērsriezuma formas — *trisstūra*, *kvadrātiskos* un *apaļos mastus*. Apaļā pilnsienas masta diametru parasti pieņem 900...2500 mm, un tā



ir izstrādāti projekti arī 1000 (13.8. att.) un 4000 m augstiem tērauda mastiem.

Masta aprēķinu veic pēc pamatslodžu kombinācijām, kas aplūkotas iepriekš. Bez tam aprēķinā jāievēro arī vēja slodze un apledojuma slodze gan uz pašu mastu, gan arī uz atsaitēm. Masti jāaprēķina arī montāžas slodzēm, ja vēja ātrums ir 15 m/s.

Mastu šķēlumus, kuros pieslēdzas atsaites, elastīgie horizontālie pārvietojumi nedrīkst pārsniegt 1/100 no attāluma starp šiem šķēlumiem un pamatu. Mastu virsotnes elastīgais horizontālais pārvie-



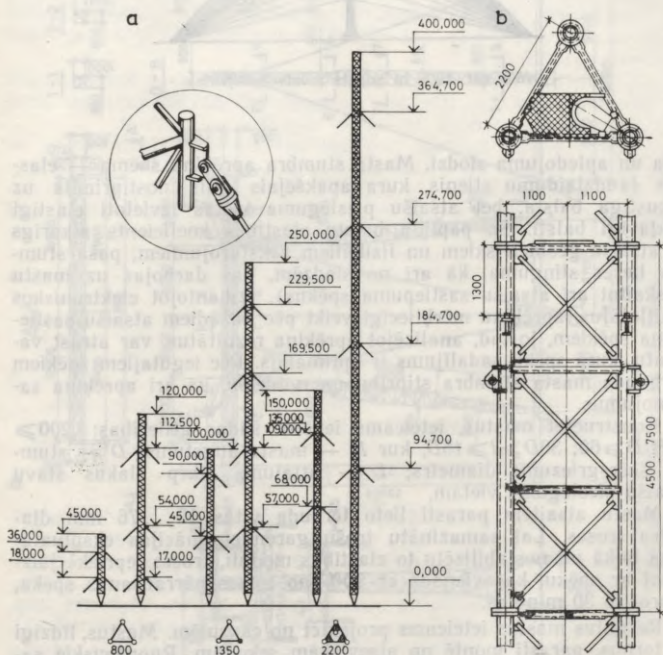
13.6. att. Radiomasts:

1 — stumbrs; 2 — atsaites; 3 — izolatori; 4 — balsts; 5 — pamats; 6 — atsaišu enkurpamats.

tojums savukārt nedrīkst pārsniegt 1/100 no brīvās konsoles garuma.

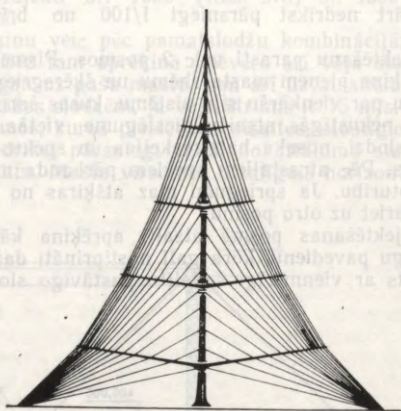
Mastu projektēšanu parasti veic 2 posmos. Pirmajā posmā pēc vienkārša aprēķina pieņem masta shēmu un šķērsriezuma izmērus. Uzskatot mastu par vienkāršu siju sistēmu, kuras šarnīrveidā savienotas nosacīti nekustīgās atsaišu pieslēguma vietās, un slogojot sijas ar vēja slodzi, nosaka balstreakcijas un spēkus masta stumburā un atsaitēs. Pēc atrastajiem spēkiem pārbauda masta stumbra stiprību un noturību. Ja spriegumi maz atšķiras no aprēķina pretestības, tad pāriet uz otro posmu.

Otrajā projektēšanas posmā atsaiti aprēķina kā iepriekš sašņegtu elastīgu pavedienu, kura gali nostiprināti dažādos līmeņos un kurš slogots ar vienmērīgi sadalītu pastāvīgo slodzi — svara,



13.7. att. Padomju Savienībā būvējamie tipa radiomasti:

a — shēmas; b — tipa sekcija.



13.8. att. 1000 m augsts masts (projekts).

vēja un apledojuma slodzi. Masta stumbra aprēķina shēma — elastīgs daudzslaidumu stienis, kura apakšējais gals nostiprināts uz nekustīga balsta, bet atsaišu pieslēguma vietās izvietoti elastīgi pakļāvīgi balsti. So papildu balstu elastības koeficients atkarīgs no atsaišu ģeometriskiem un fizikāliem raksturojumiem, paša stumbra lieces stinguma, kā arī no slodzēm, kas darbojas uz mastu (ieskaitot arī atsaišu sastiepuma spēkus). Izmantojot elektroniskos skaitļotājus, aprēķinu mērķtiecīgi veikt pēc dažādiem atsaišu sastiepuma spēkiem, jo tad, analizējot aprēķina rezultātus, var atrast variantu, kurā spēku sadalījums ir optimālais. Pēc iegūtajiem spēkiem pārbauda masta stumbra stiprību un noturību, kā arī aprēķina savienojumus.

Konstruējot mastus, ieteicams ievērot šādas attiecības:  $200 \geq H/D \geq 60$ ;  $30D \geq l \geq 15D$ , kur  $H$  — masta augstums;  $D$  — stumbra šķersgriezuma diametrs;  $l$  — attālums starp blakus stāvu atsaišu pieslēguma vietām.

Mastu atsaitēm parasti lieto tērauda vītās 12...76 mm diametra troses. Lai samazinātu trošu garendeformācijas ekspluatācijas laikā un nostabilizētu to elastības moduli, troses iepriekš jāizstiep ar spēku, kas vienāds ar 50% no troses pārraušanas spēka, izturot to 30 minūtes.

Režģotus mastus ieteicams projektēt no caurulēm. Mastus, līdzīgi kā torņus, parasti montē no atsevišķām sekcijām. Rūpnieciskie savienojumi parasti ir metināti, bet montāžas savienojumi — izveidoti ar skrūvēm.



## 13.4. ELEKTROPĀRVADES GAISA LĪNIJU BALSTI

Elektropārvades gaisa līniju (GL) balsti paredzēti vadu piekāršanai. Pēc konstruktīvā risinājuma tie var būt brīvi stāvoši vai nostiprināti ar atsaitēm (13.9. att.). Balsti ir masveida būves, jo katrā elektropārvades GL jāuzstāda liels skaits (pat vairāki tūkstoši) balstu. Šī iemesla dēļ balstus parasti izgatavo tikai pēc tipa projektiem.

Atkarībā no uzdevuma GL balstus iedala starpbalstos, kas paredzēti tikai vadu piekāršanai; enkurbalstos, kas paredzēti vadu nospriegošanai; stūra balstos, kurus uzstāda GL pagriezienu vietās; gala balstos, kurus uzstāda GL galos, un pārejas balstos, kurus uzstāda abās pusēs liellaiduma pārejām (pāri upēm, ezeriem, gravām u. tml.).

Galvenais GL balstu tips ir starpbalsti, kuri sastāda apmēram 85% no kopējā balstu skaita.

Izvēloties balstu tipu, jāņem vērā GL spriegums, vadu skaits un izvietojums, līnijas augstums un klimatiskie apstākļi. Balstu augstums parasti ir 22...42 m, bet, ja laidumi ir lieli, to augstums sasniedz pat 226 m.

GL balstus parasti projektē kā režģotas telpiskas konstrukcijas ar trīsstūra režģi, kas izveidots no leņķprofiliem. Elementu savstarpējo savienojumu parasti izveido ar skrūvēm vai metinot.

Projektējot GL balstus, jāievēro, ka augstsprieguma līnijās uz tiem jānostiprina 1 vai 2 zibensnovēdēja troses.

GL balstus aprēķina pēc slodzēm, kas darbojas trīs iespējamās režīmos: normālajā ekspluatācijas režīmā; montāžas režīmā, kad vadu montāža noris no vienas balstu puses, un avārijas režīmā, kad daļa no vadiem ir pārrauta. GL balstu aprēķinu veic kā telpiskām režģotām konstrukcijām, lietojot parastās būvmehānikas metodes.

## 14. nodaļa

### LOKŠŅU KONSTRUKCIJAS

#### 14.1. LOKŠŅU KONSTRUKCIJU RAKSTUROJUMS

Lokšņu konstrukcijas izgatavo no metāla loksņēm un lieto šķidrumu, gāzu un beramu vielu glabāšanai un transportēšanai. Tās iedala rezervuāros naftas produktu, ūdens un citu šķidrumu glabāšanai; gāzholderos gāzu glabāšanai un sadalei; bunkuros un silosos beramu vielu glabāšanai un pārkraušanai; liela diametra cauruļvados ( $d \geq 0,6$  m) šķidrumu, gāzu un sasmalcinātu vai sašķidrinātu cietu vielu transportēšanai; metalurģisko un ķīmisko ražotņu speciālās konstrukcijās (domnu apvalki, gaissilži u. c.); skursteņos, atomelektrostaciju aizsargbūvēs — čaulās u. c.

Darbības apstākļi lokšņu konstrukcijām ir ļoti dažādi: tās var būt virszemes, apakšzemes, pusiegregmēdas un zemūdens; var uzņemt statiskas un dinamiskas slodzes, darboties pazeminātā, vidējā un augstā spiedienā, vakuumā, zemā, normālā un augstā temperatūrā, kā arī neitrālā vai agresīvā vidē.

Lokšņu konstrukcijas ir plānsienas telpiskas konstrukcijas — cilindriskas, koniskas, sfēriskas un cita veida čaulas, kurām raksturīgs divasu spriegumstāvoklis. Dažādu čaulu sajūguma vietās un iespīlējuma vietās pie stinguma gredzeniem rodas vietējie spriegumi (malu efekts), kuri strauji samazinās, attālinoties no šīm vietām.

Saskaņā ar elastības teoriju plānsienas čaulās pamatspriegumstāvokli var noteikt pēc bezmomentu teorijas, izņemot iecirkņus, kuros rodas malu efekts.

Izgatavojot lokšņu konstrukcijas, metinātās šuves jāveido ne tikai izturīgas, bet arī blīvas (necaurlaidīgas). Lokšņu konstrukciju izgatavošana ir darbietilpīgāka nekā parasto metāla konstrukciju izgatavošana, jo loksnes pirms metināšanas speciāli jāsgatavo — jāpiegriež, jāvalcē, jāštancē.

## 14.2. REZERVUĀRI

### 14.2.1. REZERVUĀRU IEDALĪJUMS

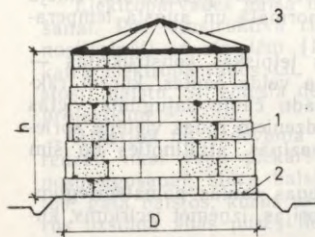
Rezervuārus atkarībā no formas iedala *cilindriskos* (vertikālos vai horizontālos) un *sfēriskos rezervuāros*. Tie var būt ar pastāvīgu un mainīgu tilpumu. Rezervuāra tipu izvēlas atkarībā no glabājamā šķidruma īpašībām, ekspluatācijas režīma un rajona klimatiskajiem apstākļiem. Visplašāk lieto vertikālos un horizontālos cilindriskos rezervuārus, kurus var vienkāršāk izgatavot un montēt. Zemspiediena rezervuāros ar stacionāro juntu spiediens parasti nepārsniedz 2,0 kPa. Viegli gaistošu naftas produktu glabāšanai lieto rezervuārus ar peldošu juntu un pontonu, jo tajos praktiski nerodas pārspiediens un vakuums.

Paaugstināta spiediena (līdz 30 kPa) rezervuārus lieto viegli gaistošu naftas produktu un sašķidrinātu gāzu glabāšanai. Sai nolūkā galvenokārt lieto sfēriskos rezervuārus.

### 14.2.2. VERTIKĀLIE CILINDRISKIE REZERVUĀRI

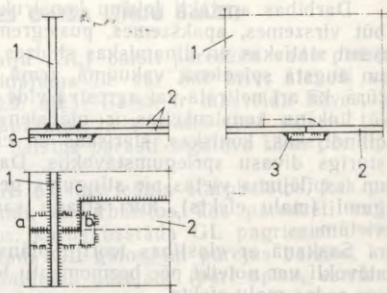
Vertikālos cilindriskos rezervuārus galvenokārt lieto naftas produktu glabāšanai. To tilpums mainās plašās robežās — no 100 līdz pat 50 000 m<sup>3</sup>.

Rezervuāra galvenie elementi ir korpuss (siena), dibens un jumts (pārsegums), kurus izveido no lokšņu tērauda (14.1. att.). Ievērojot to, ka Padomju Savienībā visus rezervuārus ar tilpumu līdz 30 000 m<sup>3</sup> izgatavo pēc ruļļu paņēmiena, rezervuāru augstumu



14.1. att. Vertikālais cilindriskais rezervuārs ar stacionāru cilindrisko jumtu un plakano dibenu:

1 — korpuss; 2 — dibens; 3 — jumts.



14.2. att. Vertikālā cilindriskā rezervuāra korpusa un dibena sajūgums:

1 — korpuss; 2 — dibens; 3 — lokšņu paliktņis;  
abc — dibena loksnes izgriezuma līnija.

$h$  pieņem 12 m, ja  $h_{opt} \leq 14$  m, un  $h = h_{opt}$ , bet ne lielāku par 18 m, ja  $h_{opt} > 14$  m. Sienas augstumu pieņem tādu, lai tas dalītos ar standarta lokšņu platumu (1400; 1500; 2000 mm).

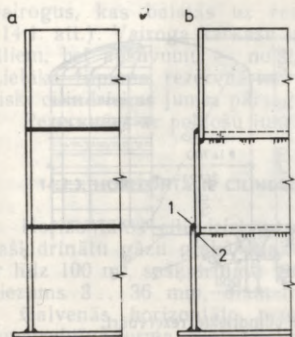
Reservuāra dibenu balsta uz smilšu pamatnes. Tā biezumu izvēlas konstruktīvi, ievērojot metināšanas ērtības un korozijizturības prasības. Dibena biezumu  $t$  pieņem 4 mm, ja rezervuāra diametrs  $D < 18$  m;  $t = 5$  mm, ja  $D = 18 \dots 25$  m, un  $t = 6$  mm, ja  $D > 25$  m.

Dibena konstrukciju sadala divās vai vairākās nosūtāmās vienībās, kuras rūpnīcā izgatavo no loksņēm, tās sametinot ar saduršuvēm. Izgatavoto nosūtāmo vienību satin rullī uz centrālā rezervuāra statņa, šahtu kāpnes vai speciāla inventāra karkasa. Montāžā pēc atritināšanas uz sagatavotās pamatnes dibena rullis sametina ar pārlaidšuvi, kura korpusa sienas sajūguma vietā ar dibenu pāriet saduršuvē ar apakšējo paliktņi (14.2. att.).

Reservuāra korpusa siena sastāv no vairākām joslām, kuru augstums ir vienāds ar lokšņu platumu. Joslas savā starpā savieno ar saduršuvēm vai pārlaidšuvēm. Saduršuves lieto, izgatavojot sienu rūpnīcā, bet pārlaidšuves — gan rūpnīcā, gan arī montāžā (14.3. att.).

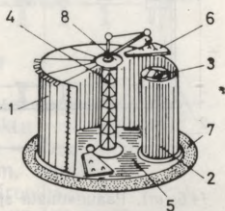
Izgatavojot pēc rullu paņēmiena (14.4. att.), rezervuāra korpusa sienas biezums nedrīkst pārsniegt 17 mm. Ja pēc aprēķina korpusa sienas biezums iznāk lielāks, tad ieteicams izveidot sienu no vairākiem slāņiem vai korpusa apakšējā daļā sienu pastiprināt ar bāndžu vai iepriekšējo saspriegšanu, uztinot uz sienas lielas stiprības stiepli vai lenti.

Reservuāra korpusa sienas stiprības aprēķinu izdara pēc bezmomentu teorijas kā cilindriskai čaulai, kura darbojas stiepē, ko izraisa šķidrums hidrostatisks spiediens un gāzes pārspiediens.



14.3. att. Korpasa elementu aploces savienojumi:

*a* — saduršuves; *b* — pārlaidšuves; 1 — nepārtraukta šuve; 2 — pārtraukta šuve.



14.4. att. Vertikālā rezervuāra ar iekārinātu jumtu izgatavošana pēc ruļļu paņēmiena:

1 — korpasa čaula; 2 — rullis; 3 — karkass; 4 — centrālais statnis; 5 — plakānais dibens; 6 — iekārināts valvogs; 7 — smilšu spilvens.

Aprēķina spiedienu attālumā  $x$  no rezervuāra dibena (14.5. att.) atrod pēc formulas

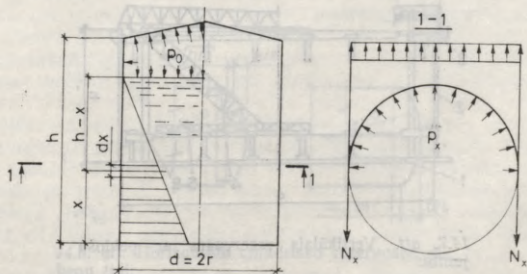
$$p_x = Q_{sk} (h-x) \gamma_{f1} + p_0 \gamma_{f2}, \quad (14.1)$$

kur  $Q_{sk}$  — šķidruma blīvums;

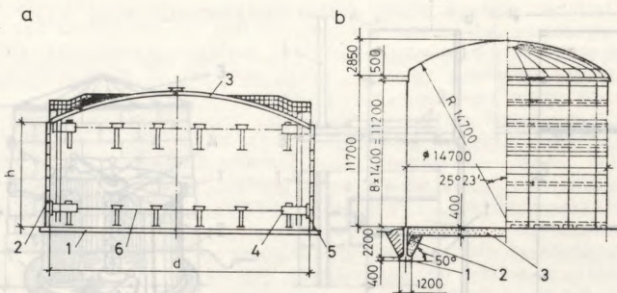
$\gamma_{f1}$  — slodzes drošuma koeficients hidrostatiskajam spiedienam;

$p_0$  — tvaika un gaisa maisījuma pārspiediens;

$\gamma_{f2}$  — slodzes drošuma koeficients pārspiedienam.



14.5. att. Vertikālā cilindriskā rezervuāra korpasa aprēķina shēma.



14.6. att. Paaugstināta spiediena vertikālie cilindriskie rezervuāri:

*a* — ar sfērisko jumtu un plakano dibenu: 1 — dibens, 2 — korpuss (siena), 3 — sfēriskais jumts, 4 — pontona kārbā, 5 — blīve, 6 — pontona membrāna ar statiem; *b* — ar sfērocilindrisko jumtu un plakano dibenu: 1 — enkurstēplene, 2 — enkurstlēpnis, 3 — smilšu spilvens.

Cilindriskās čaulās gredzenvirziena spriegumi ir 2 reizes lielāki par meridoniāliem spriegumiem, tāpēc rezervuāra sienas biezumu  $t$  attālumā  $x$  no dibena var noteikt pēc formulas

$$t = (\gamma_{f1} Q_{sk} (h-x) + \gamma_{f2} p_0) r / (\gamma_c R_{wy}), \quad (14.2)$$

kur  $\gamma_c$  — darba apstākļu koeficients;

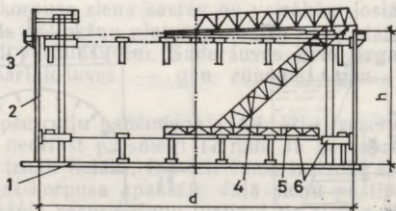
$R_{wy}$  — aprēķina pretestība.

Sienas izlieci (radiālo pārvietojumu)  $y$  nosaka pēc normatīvā spiediena:

$$y = \Delta r = (Q_{sk} (h-x) + p_0) r / (Et) = pr^2 / (Et) = pk, \quad (14.3)$$

kur  $k$  — gultnes koeficients;  $k = r^2 / (Et)$ .

Reservuāru pārsegumam var būt dažāda konstruktīvā forma. Rezervuāriem ar tilpumu līdz 5000 m<sup>3</sup> lieto koniskus pārseguma



14.7. att. Vertikālais rezervuārs ar peldošu jumtu:

1 — dibens; 2 — korpuss (siena); 3 — stinguma gredzens; 4 — kustīgas kāpnes; 5 — balsta korpuss; 6 — peldošs jumts.

vairoģus, kas balstās uz rezervuāra sienu un centrālo statni (14.1. att.). Vairoģa karkasu izveido no velmētiem vai liektiem profiliem, bet apšuvumu — no 2,5...3 mm biežām tērauda loksnēm. Lielāka tilpuma rezervuāriem lieto iekarinātus, sfēriskus vai sfēriski cilindriskus jumta pārsegumus (14.1., 14.6. att.).

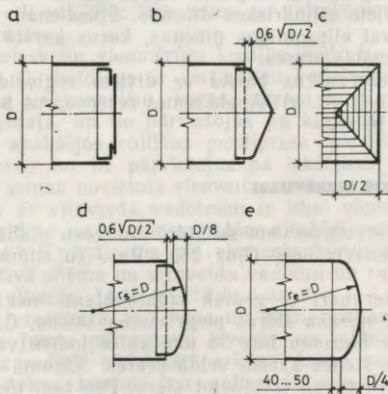
Reservuārs ar peldošu juntu parādīts 14.7. attēlā.

### 14.2.3. HORIZONTĀLIE CILINDRISKIE REZERVUĀRI

Horizontālos cilindriskos rezervuārus lieto naftas produktu un sašķidrinātu gāzu glabāšanai. Naftas produktu rezervuāru tilpums ir līdz 100 m<sup>3</sup>, sašķidrinātu gāzu rezervuāru — līdz 300 m<sup>3</sup>, sienas biezums 3...36 mm, diametrs 1,4...4,0 m, garums 2...30 m.

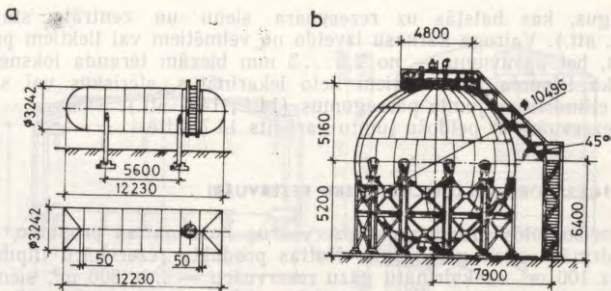
Galvenās horizontālo rezervuāru priekšrocības ir vienkārša konstruktīvā forma, rūpnieciska izgatavošana un tas, ka var izveidot gan virszemes, gan arī apakšzemes konstrukcijas. Trūkumi — jāizveido speciāli balsti un grūti izmērit produkta daudzumu rezervuārā.

Horizontālā rezervuāra korpusu izveido no vairākiem lokšņu gredzeniem, bet katru gredzenu — no vienas vai vairākām loksnēm, kuras izvalcētas uz cilindriskiem valčiem, vai arī no karstvelmētas tērauda lentes. Lokšņu platums — 1500...2000 mm. Loksnes un gredzenus savā starpā sametina ar saduršuvēm. Lai nodrošinātu rezervuāra stingumu transportēšanā, montāžā un rodoties vakuamam, katrā lokšņu gredzenā izveido stinguma gredzenu, ja  $D/t \geq$



14.8. att. Horizontālo cilindrisko rezervuāru dibenu tipi:

a — plakana; b — koniskais; c — cilindriskais; d — sfēriskais; e — elipsoidālais.



14.9. att. Paaugstināta spiediena rezervuāri:

a — horizontālais cilindriskais; b — sfēriskais.

$\geq 400$ , vai arī stinguma gredzenu liek tikai uz balstiem, ja  $D/t < 400$  ( $D$  — korpusa diametrs,  $t$  — sienas biezums).

Horizontālo cilindrisko rezervuāru dibena konstruktīvais izveidojums ir atkarīgs no spiediena lieluma un rezervuāra diametra. Ir izstrādāti pieci dibenu tipi: *plakanie, koniskie, cilindriskie, sfēriskie un elipsoidālie dibeni* (14.8. att.). Plakanie dibeni ir vienkārši izgatavojami, bet tie ir deformatīvi, tāpēc tos lieto maziem rezervuāriem (līdz  $100 \text{ m}^3$ ) ar pārspiedienu līdz  $40 \text{ kPa}$ . Tāda paša tilpuma rezervuāriem ar pārspiedienu līdz  $50 \text{ kPa}$  lieto arī koniskos dibenus. Rezervuāriem ar tilpumu  $75 \dots 150 \text{ m}^3$  un pārspiedienu  $70 \dots 150 \text{ kPa}$  lieto cilindriskos dibenus. Spiedienam līdz  $200 \text{ kPa}$  lieto sfēriskos vai elipsoidālos dibenus, kurus karstā veidā štancē no loksņēm specialās presēs.

Virszemes rezervuārus balsta uz diviem seglveida vai statņu tipa balstiem (14.9. att. a). Apakšzemes rezervuārus balsta uz vienlaidu seglveida balstu.

#### 14.2.4. SFĒRISKIE REZERVUĀRI

Sfēriskos rezervuārus lieto sašķidrinātu gāzu glabāšanai, ja iekšējais pārspiediens ir liels (līdz  $250 \text{ kPa}$ ). To tilpums —  $400 \dots 4000 \text{ m}^3$ .

Sfēriskie rezervuāri ir grūtāk izgatavojami nekā cilindriskie rezervuāri — to nosaka sfēras piegriezuma shēma. Čaulas elementus (lapiņas) ar biezumu līdz  $36 \text{ mm}$  valcē lodīšu valčos, bet biežākus elementus štancē karstā veidā presēs. Sākumā elementus savieno, pieķerot šuves un izveidojot sfēru. Pēc tam tos sametina ar speciāliem metināšanas automātiem. Metināto šuvju kvalitāti pārbauda ar paaugstinātas kontroles metodēm.

Sfēriskos rezervuārus balsta uz gredzenveida balstu vai statņiem, kurus izveido no caurulēm vai dubult-T profiliem (14.9. att. b).

### 14.3. GĀZHOLDERI

#### 14.3.1. GĀZHOLDERU NOMENKLATŪRA

Gāzholderos paredzēta gāzu uzglabāšana un sajaukšana. Tos lieto metalurģiskajās, ķīmiskajās, gāzes, naftas rūpniecās, komunālajā saimniecībā un citur.

Atkarībā no konstrukcijas un iekšējā spiediena gāzholderus iedala divās klasēs: *mainīga tilpuma zemspiediena gāzholderi*, kuros iekšējais spiediens nepārsniedz 5 kPa, un *pastāvīga tilpuma augstspiediena gāzholderi*, kuru iekšējais spiediens ir 250...2000 kPa.

Pastāvīga tilpuma augstspiediena gāzholderus iedala horizontālos un vertikālos, cilindriskos un sfēriskos (lodveida) gāzholderos.

#### 14.3.2. MAINĪGU TILPUMU GĀZHOLDERI

**Slapjie gāzholderi.** Tipa konstrukcijas gāzholderu tilpums ir 100...3000 m<sup>3</sup>. Tie sastāv no vertikāla cilindriskā rezervuāra, kas piepildīts ar ūdeni, viena vai vairākiem starpposmiem (teleskopiem), zvana un vadotnēm (14.10. att.).

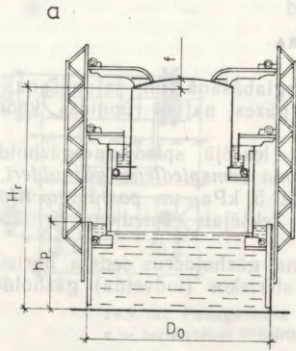
Caur rezervuāra dibenu ievada gāzes vadus tās piedevei un patērēšanai. Atsevišķo posmu gāzu necaur laidīgumu nodrošina hidrauliskie aizslēgi. Iepildot gāzi gāzholderā, zvans ceļas uz augšu, iesmej ūdeni no rezervuāra savā apakšējā silē, aizķer ar to teleskopa augšējo sili utt. Pēc tam zvans ar teleskopiem paceļas līdz augšējam stāvoklim.

Zvana un teleskopu vienmērīgu kustību nodrošina vadotnes un rullīšu sistēma. Gāzholderos ar vertikālām vadotnēm augšējos rullīšus nostiprina uz konsolēm, kuras katram kustīgajam posmam piestiprina augšdaļā, un tie pārvietojas pa karkasa statņu ārējām vadotnēm, bet apakšējos rullīšus piestiprina pie kustīgā posma apakšējā gredzena un tie pārvietojas pa iekšējiem statņiem, kuri piemetināti pie zemāk novietotā elementa sienīņas.

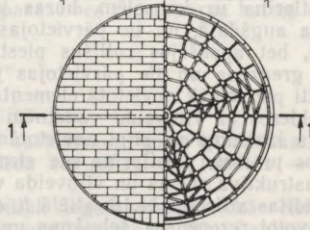
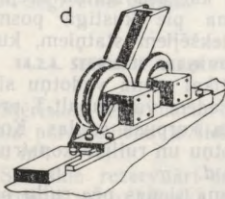
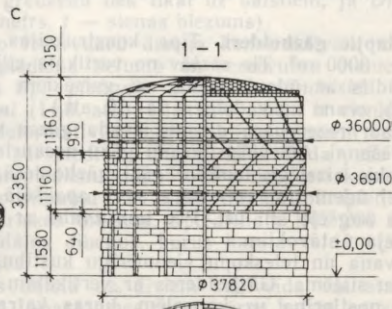
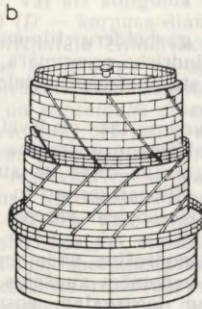
Gāzholderos ar vītņveida vadotnēm ir tikai viena vadotņu sistēma, kura izveidota no slīpi novietotām sliedēm vai dubult-T profiļiem. Sos profilus piestiprina pie elementa korpusa čaulas. Kopskats, konstruktīvā shēma un vītņveida vadotņu un rullīšu konstrukcijas parādītas attiecīgi 14.10. attēlā *b*, *c* un *d*.

Izgatavojot rezervuāra, teleskopa un zvana sienas pēc ruļļu paņēmiena, zvana jumta pārsegumu izveido no plānlokšņu čaulas, kura balstās uz radiāli izvietotām arkām. Arkas savieno gredzenveida kopturi. Arkas, kopturi un saites izveido kupola sistēmu (14.10. att. *c*). Praksē bieži lieto «elpojošo» jumtu, kad plānlokšņu jumta čaulu piestiprina tikai pie ārējā balstgredzena, bet uz arkām un gredzena kopturiem čaula balstās brīvi. Sakarā ar to pārspiedienu uzņem kupola čaula kā membrāna, bet jumta nesošie ele-

14.10. att. Slapjo gāzholderu tipi:

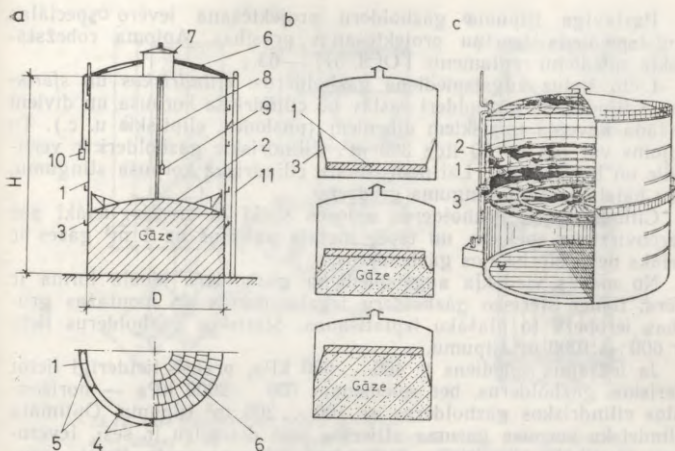


*a* — ar vertikālām vadotnēm; *b* — slapjā gāzholdera ar vītņveida vadotnēm kopskats; *c* — konstruktīvā shēma; *d* — vītņveida vadotņu un virzošo rulliņu konstrukcijas.



menti (ribas, kopturi) netiek noslogoti. Tādai konstrukcijai jumta plānlokšņu biezumu var noteikt kā sfēriskai čaulai.

**Sausie gāzholderi.** To tilpums ir 10 000... 600 000 m<sup>3</sup>. Sauso gāzholderu konstrukcija sastāv no cilindriskas čaulas (korpusa) ar plakānu dibenu uz smilšu spilvena un sfēriska jumta no 3 mm biezas plānlokšņu čaulas. Zem jumta korpusa pārvietojas disks (vir-



14.11. att. Sauso gāzholderu tipi:

*a* — ar virzuli: 1 — korpuss, 2 — virzulis, 3 — laukumi, 4 — statņi no dubult-T profila, 5 — gredzeni no U profila, 6 — jumts, 7 — virsgaismas konstrukcija, 8 — ķēžu kāpnes, 9 — ceļamās kāpnes, 10 — atsvars, 11 — šahtas celtnis; *b* — ar lokano sekciju; *c* — konstruktīvā shēma: 1 — virzulis, 2 — virzošais rullītis, 3 — lokanā sekcija (gumijota auduma aizturis).

zulis), kas blīvi pieguļ cilindra iekšējai virsmai. Gāzi ievada zem virzuļa, tā rezultātā paaugstinās iekšējais spiediens un virzulis ceļas uz augšu; gāzi patērējot, iekšējais spiediens samazinās un virzulis slid uz leju. Gāzes spiediens sausā gāzholderā ir atkarīgs no virzuļa svara un berzes spēkiem, kuri attīstās, virzulum pārvietojoties (14.11. att. *a*, *c*). Virzuļa un gāzholdera sienas saskares blīvumu panāk ar konsistentu ziedi. Vislabāko saskares blīvumu iegūst, lietojot virzuli ar cilindrisko, lokano sekciju (14.11. att. *b*).

Sausu gāzholderu sienas neatkarīgi no tilpuma izgatavo no 5 mm biezām loksņēm. Sienas lokšņu horizontālās salaides pārsedz ar U profilu gredzeniem, vertikālās salaides — ar dubult-T statņiem (14.11. att. *a* pozīc. 4; 5). Lai nodrošinātu virzuļa brīvu gājienu, korpasa čaulas iekšpusei jābūt gludai. Virzuļa vienmērīgu kustību un horizontālu stāvokli nodrošina rulliņu sistēma.

### 14.3.3. PASTĀVĪGA TILPUMA AUGSTSPIEDIENA GĀZHOLDERI

Pastāvīga tilpuma gāzholderus lieto dabiskās gāzes uzglabāšanai, kuru transportē zem augsta spiediena pa caurulēm. To iekšējais spiediens var būt no 70 līdz 2000 kPa, kas ļauj glabāt lielu gāzes apjomu mazākā tilpuma gāzholderos. Tiem metāla patēriņš uz 1 m<sup>3</sup> uzglabājamās gāzes ir ievērojami mazāks.

Pastāvīga tilpuma gāzholderu projektēšanā ievēro speciālas augstspiediena tvertņu projektēšanas prasības. Apjoma robežstāvokļa spiedienu reglamentē ГOCT 5172—63.

Lieto šādus augstspiediena gāzholderus: *cilindriskos* un *sfēriskos*. Cilindriskie gāzholderi sastāv no cilindriska korpusa un diviem dažāda apveida telpiskiem dibieniem (puslodes, eliptiskie u. c.). To apjoms var būt no 50 līdz 300 m<sup>3</sup>. Cilindriskie gāzholderi ir vertikālie un horizontālie. Lai nodrošinātu cilindriskā korpusa stingumu, virs balsta izveido stinguma gredzenu.

Cilindriskajos gāzholderos aploces spēki ir divreiz lielāki par garenvirziena spēkiem, un tāpēc metāla patēriņš uz 1 m<sup>3</sup> gāzes ir lielāks nekā sfēriskajos gāzholderos.

No masas viedokļa augstspiediena gāzholderu ideālā forma ir sfēra, tomēr sfērisko gāzholderu izgatavošanas un montāžas grūtības ierobežo to plašāku izplatīšanos. Sfēriskos gāzholderus lieto ar 600...1000 m<sup>3</sup> tilpumu.

Ja iekšējais spiediens ir 400...600 kPa, praksē lietderīgi lietot sfēriskos gāzholderus, bet spiedienam 700...2000 kPa — horizontālos cilindriskos gāzholderus ar 100...200 m<sup>3</sup> tilpumu. Optimāla cilindriska korpusa garuma attiecība pret diametru ir seši. Ievērojams vertikālo cilindrisko gāzholderu trūkums ir to lielais augstums, kas apgrūtina ekspluatāciju, un arī to relatīvi mazais tilpums.

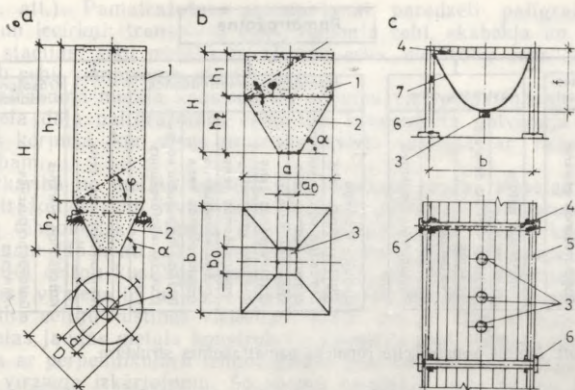
#### 14.4. BUNKURI UN SILOSI

Par bunkuriem un silosiem sauc tilpnes, kas paredzētas beramu materiālu glabāšanai un pārkraušanai. Glabātavas, kurām korpusa sienas augstums ne vairāk kā pusotras reizes pārsniedz mazāko šķērsgrīzuma izmēru, sauc par bunkuriem. Augstākas glabātavas sauc par silosiem. Silosu plānam ir apaļa forma. Bunkuru konstruktīvais risinājums var būt dažāds. Tos iedala *piramidāli prizmatiskos*, *teknēs veida prizmatiskos*, *lokanos (paraboliskos)*, *lokanos ar stingām izkraušanas piltuvēm* un *koniski cilindriskos bunkuros*.

Bunkuriem, kurus lieto cietu beramu gabalmateriālu glabāšanai, iekšējo slīpo sienu virsmu oderē. Oderējuma tips ir atkarīgs no beramo materiālu dilšanas raksturojuma.

Bunkuriem ar plakanām sienām un silosiem galvenās nesošās konstrukcijas izgatavo no mazoglekļa tērauda, bet lokaniem bunkuriem — no mazlēģētā tērauda. Silosa un bunkuru kopskati parādīti 14.12. attēlā.

Bunkuriem ar plakanām sienām ir stinga konstrukcija, jo tie saglabā nemainīgu ģeometrisko formu iekraušanas un izkraušanas procesā. Tie sastāv no augšējās prizmatiskās daļas un apakšējās daļas — piltuves, kurai ir nošķeltas piramīdas vai garas teknes forma.



14.12. att. Bunkuru un silosa shēmas:

a — siloss; b un c — bunkuri; 1 — vertikāla siena, 2 — piltuve, 3 — izlaides caurums, 4 — šķērsvirziena sija, 5 — garenvirziena sija, 6 — kolonna, 7 — nenoslēgta cilindriska čaula.

Vertikālās sienas veido bunkura nesošās sijas, kā arī vertikālās un horizontālās stinguma ribas. Piltuves apšuvumu parasti nostiprina tikai ar horizontālām stinguma ribām.

Bunkurus uz kolonnām balsta ar nesošajām sijas, kuras ar kolonnām veido šķērsrāmjus. Bunkuru estakādes formas nemainīgumu garenvirzienā nodrošina, uzstādot garensaites.

## 15. nodaļa

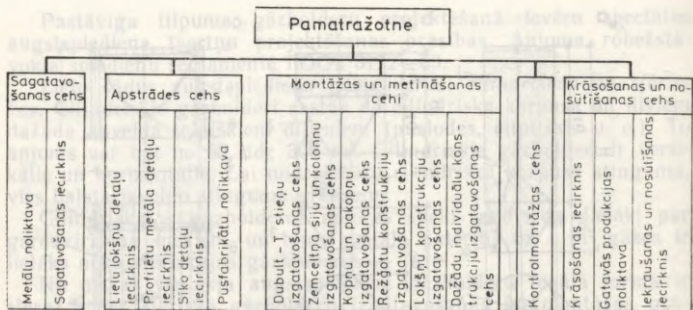
### METĀLA KONSTRUKCIJU IZGATAVOŠANAS TEHNOLOĢIJA UN EKONOMIKA

#### 15.1. METĀLA KONSTRUKCIJU IZGATAVOŠANAS TEHNOLOĢIJA

##### 15.1.1. METĀLA KONSTRUKCIJU IZGATAVOŠANAS ORGANIZĀCIJA

Metāla konstrukcijas izgatavo galvenokārt lielās specializētās rūpnīcās. Šāda ražošanas koncentrācija ļauj palielināt darba ražīgumu, paaugstināt produkcijas kvalitāti un samazināt ražošanas izmaksas.

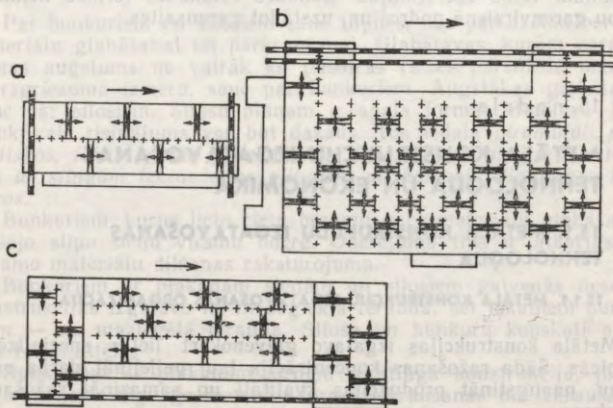
Metāla konstrukciju izgatavošanai rūpnīca saņem KM darba rasējumus, kurus izstrādājusi projektēšanas organizācija. Pēc šiem



15.1. att. Metāla konstrukciju rūpnīcas pamatražotnes struktūra.

rasējumiem pasūta metālu un rūpnīcas konstruktoru birojā izstrādā KMD darba rasējumus. To izstrādāšanā tiek ievērotas rūpnīcas tehnoloģiskās īpatnības — esošie darbgaldi, iekārtas, plūsmas līnijas, metināšanas aparātūra u. c. KMD darba rasējumi ir galvenais tehniskais dokuments metāla konstrukciju izgatavošanai.

Metāla konstrukciju izgatavošanas procesā ietilpst dažādas operācijas, kuru veikšanai rūpnīcā tiek organizēti pamatražotnes cehi: sagatavošanas cehs, apstrādes cehs, montāžas un metināšanas cehi, kontroles cehs, krāsošanas un gatavās produkcijas nosūtīšanas cehs



15.2. att. Metāla konstrukciju rūpnīcas tehnoloģiskais plāns:

a — paralēlai plūsmai; b — perpendikulārai plūsmai; c — jauktai plūsmai.

(15.1. att.). Pamatražotnes apkalpošanai paredzēti palīgražotnes cehi un iecirkņi: transporta cehs, remonta cehi, skābekļa un acetilēna stacijas, siku metalizstrādājumu cehs, elektrodu cehs, instrumentu cehi, kompresoru stacija u. c.

Vairākumā metāla konstrukciju rūpnīcu visi pamatražotnes cehi un liela daļa palīgražotnes cehu tiek koncentrēta galvenajā ražošanas korpusā, kur visus procesus izvieto saskaņā ar ražošanas prasībām.

Atkarībā no metāla konstrukciju rūpnīcas jaudas iespējami trīs pamatražotnes cehu izvietojuma varianti galvenajā ražošanas korpusā: tehnoloģiskā plūsma izvietota paralēli tilta celtņu kustības virzienam (15.2. att. a); tehnoloģiskā plūsma izvietota perpendikulāri tilta celtņu kustības virzienam (15.2. att. b) un tehnoloģiskās plūsmas virziens ir jaukts — daļēji paralēli, bet daļēji perpendikulāri tilta celtņu kustības virzienam (15.2. att. c). Gan vidējas, gan arī lielas jaudas metāla konstrukciju rūpnīcās sevi vislabāk attaisno shēma ar perpendikulāru tehnoloģiskās plūsmas un tilta celtņu kustības virziena izkārtojumu. Šo shēmu visplašāk lieto arī no jauna būvējamās rūpnīcās.

#### 15.1.2. PAMATRAŽOTNES CEHOS VEICAMĀS OPERĀCIJAS

*Sagatavošanas cehs* ir pirmais no pamatražotnes cehiem, kura precīzs un kvalitatīvs darbs ir pamats visas rūpnīcas veiksmīgai darbībai. Sagatavošanas cehā veic šādas operācijas: metāla velmējumus izkrauj, pieņem, izšķiro, marķē, iztaiso, uzglabā un izsniedz apstrādes cehiem. Atvestos metāla velmējumus izkrauj speciālā laukumā, atbrīvo no iesaiņojuma un sašķiro pa profiliem. Izlases veidā pārbauda metāla atbilstību standartiem un nepieciešamības gadījumā sastāda reklamāciju. Tad metāla velmējumus marķē, uzrādot akta numuru, ar kuru tie rūpnīcā pieņemti, un sakrauj metāla noliktavā krautnēs, lietojot koka vai metāla starplikas. Starplikas izvieto tādos attālumos, lai metāla profili nedeformētos. Vajadzības gadījumā atvesto metālu tīra un taisno. Speciālos norādījumos noteikti izliekumu lielumi, kuru gadījumā jāveic iepriekšējā taisnošana. Parasti metāla velmējumus taisno aukstā stāvoklī, bet, ja izliekumi ir lieli, tad lieto iepriekšēju karsēšanu līdz 1000...1100 °C temperatūrai. Vajadzības gadījumā metāla virsmu tīra un konservē, pārklājot ar ātri žūstošu krāsu.

*Apstrādes cehā* veic operācijas, kuras nepieciešamas detaļu izgatavošanai no metāla velmējumiem. Vajadzības gadījumā veic aizzīmēšanu (uz metāla virsmas atzīmē izgatavojamās detaļas kontūras, urbumu centrus utt.). Pa aizzīmētajām līnijām detaļas izgriež ar mehāniskiem vai termiskiem paņēmieniem. Caurumus detaļās veido urbjot vai štancējot. Nepieciešamības gadījumā veic detaļu liekšanu (aukstā vai karstā stāvoklī), malu ēvelēšanu un galu frēzēšanu.

Detaļu apstrādes tehnoloģiskās operācijas grupē pa velmējumu veidiem (loksnes, leņķprofili u. c.), un to apstrāde noris paralēlās

tehnoloģiskās plūsmās. Katra plūsma apgādāta ar nepieciešamo iekārtu metāla padošanai, apstrādei, gatavo detaļu novākšanai un transportēšanai.

*Montāžas un metināšanas cehos* veic konstrukciju montāžu no atsevišķām detaļām, kuras piegādā no pusfabrikātu noliktavas. Konstrukciju montāžas procesā detaļas izvieto saskaņā ar rasējumiem un savstarpēji savieno ar īsām metinātām šuvēm. Pēc tam detaļas sametina ar automātisko (zem kušņu kārtas) vai pusautomātisko (ogļskābās gāzes vidē) paņēmieni.

Atsevišķām liелgabarīta un sevišķi sarežģītām konstrukcijām veic papildu operācijas, lai nodrošinātu montāžas savienojumu augstu kvalitāti (konstrukciju galu frēzēšana, precizēta montāžas caurumu urbšana, vispārējā un kontroles montāža u. c.).

Izgatavotās konstrukcijas marķē — uzkrāso pasūtījuma numuru un konstrukcijas marku — un pēc tam transportē uz krāsošanas un gatavās produkcijas nosūtīšanas cehu.

*Krāsošanas un gatavās produkcijas nosūtīšanas cehā* konstrukcijas gruntē, krāso, nokrauj krautnēs un pēc vajadzības iekrauj transporta līdzekļos nogādāšanai pasūtītājam.

### 15.1.3. METĀLA KONSTRUKCIJU IZGATAVOŠANAS DARBIETILPĪBAS NOTEIKŠANA

Metāla konstrukciju izgatavošanas procesā vislielākais īpatsvars ir trim galvenajām operācijām: apstrāde — 25%, montāža — 30%, metināšana — 30%. Metāla konstrukciju izgatavošanas darbietilpību, %, sadala šādi:

metāla taisnošana	4...7
aizzīmēšana	5...9
griešana	2...4
urbumu veidošana	4...8
malu apstrāde	2...4
liekšana	2...4
atkārtota taisnošana	0...5 (pēc apstrādes)
montāža	24...27
metināšana	30...35
gruntēšana un krāsošana	3...4
pārējās operācijas	2...5

Metāla konstrukciju izgatavošanas darbietilpība ir atkarīga no izgatavojamo viena veida detaļu partijas lieluma. Jo lielāka šī partija, jo zemāka ir darbietilpība. Tas izskaidrojams ar to, ka

iespējams ieviest jaunu, progresīvāku tehnoloģiju (dažu detaļu dēļ tas bieži vien neatmaksājas);

strādnieki apgūst speciālas iemaņas;

samazinās tehnoloģiskās pauzes, kas saistītas ar darbvaldu iestādīšanu jaunu detaļu izgatavošanai;

samazinās aizzīmēšanas darbu apjoms, jo pietiek ar vienu šablonu (izgatavojot lokšņu detaļas, var aizzīmēt uzreiz veselu paketi); atmaksājās speciālu konduktoru un citu palīgierīču ieviešana, kas sekmē darba ražīguma celšanos.

Metāla konstrukciju izgatavošanas darbietilpība ir atkarīga no lietojamā tērauda markas. Lietojot lielas stiprības tēraudus, kuri ir cietāki un kuriem cits ķīmiskais sastāvs, par 10...20% palielinās detaļu mehāniskās apstrādes un metināšanas darbietilpība, turpretim samazinās apstrādājamo detaļu masa, kas savukārt samazina darbietilpību.

Praksē ir pierādījies, ka metāla konstrukciju izgatavošanas darbietilpību var ērti noteikt, nosacīti iedalot visas izgatavojamās konstrukcijas detaļas galvenajās (nesošajās) detaļās un papilddetaļās. Darbietilpību tieši nosaka tikai galvenajām detaļām, bet papilddetaļu izgatavošanas darbietilpību ievērtē ar tā saucamo konstruktīvo koeficientu, kurš raksturo attiecību starp pilno darbietilpību un galveno detaļu izgatavošanas darbietilpību attiecīgajam konstrukcijas tipam. Konstruktīvais koeficients samazinās, palielinoties konstrukcijas masai un izmēriem. Tā skaitlisko vērtību atrod pēc īpašām tabulām un nomogrammām.

Metāla konstrukciju izgatavošanas pilno darbietilpību nosaka pēc formulas

$$T = AK_c \sqrt{G_0 n_0}, \quad (15.1)$$

kur  $G_0, n_0$  — galveno detaļu masa un skaits;

$K_c$  — sērijveidīguma koeficients;

$A$  — empīrisks tehnoloģiskuma koeficients, kas galvenokārt atkarīgs no galveno (nesošo) detaļu un papilddetaļu skaitliskās attiecības.

#### 15.1.4. METĀLA KONSTRUKCIJU IZGATAVOŠANAS PIELAIDES

Pielaides (pieļaujamās novirzes) projektā dotajiem konstrukciju izmēriem stingri reglamentē celtniecības normas СНП III-18-75.

Izgatavojot metāla konstrukcijas, projektā paredzētajiem parametriem var izdalīt trīs veidu pielaides:

atsevišķu detaļu lineāro izmēru noviržu pieļaujamās vērtības ir atkarīgas no detaļu izmēriem un apstrādes tehnoloģiskajiem paņēmieniem;

izgatavoto konstrukciju nosūtāmo vienību gabarītmēru noviržu pieļaujamās vērtības ir atkarīgas no elementu izmēriem un tehnoloģisko operāciju izpildes veida;

nosūtāmo vienību novirzes no projektētās ģeometriskās formas (detaļu izliekums, nepareiza lokšņu detaļu konfigurācija, neprecīzi liekuma rādiusi u. c.).

Izgatavoto metāla konstrukciju kvalitāte ir atkarīga no rūpnīcas tehniskās apgādātības, iekārtu stāvokļa, tehnoloģisko procesu

līmeņa, strādnieku un inženiertehnisko darbinieku kvalifikācijas, kā arī no kvalitātes kontroles sistēmas.

Pirmo divu veidu novirzes konstrukcijas darbību būtiski neietekmē, jo var izraisīt tikai grūtības montāžā. Trešā veida novirzes ir bistamākas, jo metāla konstrukciju elementi pārsvarā ir relatīvi lokāni. Sevišķi bistamas šī veida novirzes ir spiestiem elementiem, jo ievērojamas novirzes no taisnā stāvokļa pasliktina to darbību un var būt par cēloni visas konstrukcijas avārijai. Tāpēc, izgatavojot metāla konstrukcijas, sevišķa uzmanība jāpievērš tam, lai šī veida novirzes nepārsniegtu tām paredzētās pieļaujamās vērtības.

### **15.1.5. METĀLA KONSTRUKCIJU IZGATAVOŠANAS DARBIETĪPĪBAS SAMAZINĀŠANAS GALVENIE VIRZIENI**

Metāla konstrukciju izgatavošanas darbietilpības samazināšanā liela nozīme ir konstrukciju tipizācijai un unifikācijai. Metāla konstrukciju tipizācija mūsu zemē ir plaši attīstīta, jo izstrādāti tipa risinājumi bieži lietojamiem konstruktīvajiem elementiem — kolonnām, kopnēm, celtņu ceļa sijām, loģu un virsgaismas rāmjiem. Šajos tipa risinājumos ir unificēti elementu izmēri un sajūgumi, bet dažiem elementiem izstrādāti standarti. Tipa risinājumi izstrādāti tādām būvēm kā radiomasti, torņi, elektropārvades gaisa līniju balsti, rezervuāri, gāzholderi, dažu ražotņu ražošanas ēkas u. c. Tipizācija, unifikācija un standartizācija dod iespēju plaši izstrādāt un ieviest plūsmas metodi metāla konstrukciju izgatavošanā un montāžā.

## **15.2. METĀLA KONSTRUKCIJU EKONOMIKA**

### **15.2.1. METĀLA KONSTRUKCIJU IZMAKSU STRUKTŪRA**

Konstrukciju izmaksas ir viens no to galvenajiem ekonomiskajiem rādītājiem. Metāla konstrukciju kopējās izmaksas summējas no vairākām sastāvdaļām. Izmantojot spēkā esošās metālu cenas un izgatavošanas un montāžas izmaksas, metāla konstrukciju kopējo izmaksu struktūru un atsevišķo sastāvdaļu orientējošās attiecības, %, ir šādas:

projektēšana	2...3
metāls un citi materiāli	40...60
konstrukciju izgatavošana	20...25
transporta izdevumi	5...7
montāžas izdevumi	15...25

Mūsdienās metāla konstrukcijas galvenokārt izgatavo specializētās rūpnīcās, un to montāžu veic specializētas montāžas organizācijas. Šāda specializācija ļauj ievērojami samazināt izgatavošanas un montāžas darbu izmaksas.

### 15.2.2. METĀLA KONSTRUKCIJU IZMAKSU NOTEIKŠANA

Celtniecības objekta noliktavā nogādāto metāla konstrukciju kopējās izmaksas  $C_i$  nosaka pēc formulas

$$C_i = C_{g.m} + aT(1 + k_{pie}) + C_e + C_{n.1} + P + C_t, \quad (15.2)$$

- kur  $C_{g.m}$  — galveno materiālu izmaksas;  
 $C_e$  — ražošanā izmantojamās enerģijas izmaksas;  
 $C_{n.1}$  — neražošanas izmaksas;  
 $C_t$  — transporta (ieskaitot rekvizītu, izkraušanas, sagādes un noliktavu izdevumus) izdevumi;  
 $aT$  — strādnieku darba alga galveno tehnoloģisko operāciju veikšanai;  
 $a$  — strādnieku vidējā stundas darba alga, rbl./h;  
 $T$  — darbietilpība, cilvēkstundas;  
 $k_{pie}$  — pieskaitāmo izmaksu koeficients;  
 $P$  — plānotā peļņa, kuru ieskaita vairumcenā.

Saskaņā ar pašlaik spēkā esošo metāla konstrukciju cenu veidošanas sistēmu parametriem ir šādas skaitliskās vērtības:  $a = 0,82$  rbl./h;  $k_{pie} = 4$ ;  $C_e = 2,1$  rbl./t;  $C_{n.1} = 3,13$  rbl./t;  $P$  pieņem 15% apmērā no konstrukciju izgatavošanas pilnās pašizmaksas.

Metāla konstrukciju *montāžas izmaksas* nosaka pēc formulas

$$C_{mont} = C_m k_r k_m k_n k_p, \quad (15.3)$$

- kur  $C_m$  — attiecīgo darbu veidu vienības izcenrojumi;  
 $k_r, k_m, k_n, k_p$  — koeficienti, ar kuriem ievērtē celtniecības rajonu, montāžas darbu sadārdzināšanos sakarā ar palielinātas stiprības tēraudu lietošanu, projektēšanā lietoto uzdevuma drošuma koeficientu  $\gamma_n$ , darbu īpatnības (būves, augstbūves, karkasa tips u. tml.).

Konstrukciju montāžā ieskaita šādus darbu veidus: iekraušanu, izkraušanu un transportēšanu būvlaukuma robežās; šķirošanu; konstrukciju notīrīšanu; defektu izlabošanu (ja tādi radušies transportēšanas laikā); konstrukciju priekšmontāžu, ierīkojot un demontējot sastates; konstrukciju padošanu montāžas zonā; elementu stinguma nodrošināšanu montāžas laikā; palīgkonstrukciju uzstādīšanu un nojaukšanu; konstrukciju uzstādīšanu projektā paredzētajā stāvoklī; montāžas mezglu izveidošanu; dažāda rakstura palīgdarbus.

Projektētā stāvoklī pilnīgi samontētu konstrukciju izmaksas  $C_i$  nosaka pēc formulas

$$C_i = (C_{izg} + C_{mont}) k_{pie} k_p, \quad (15.4)$$

- kur  $k_{pie}$  un  $k_p$  — pieskaitāmo izmaksu un peļņas koeficienti; pieņem  $k_{pie} = 1,086$  un  $k_p = 1,08$ .

Lai noteiktu metāla konstrukciju lietošanas efektivitāti salīdzinājumā ar citām konstrukcijām, aprēķina *reducētās izmaksas*, kurās ievēro ne tikai projektētā stāvoklī uzstādīto konstrukciju izmaksas,



## TĒRAUDA KONSTRUKCIJU MATERIĀLI UN TO APRĒĶINA PRETESTĪBAS

1. tabula

Tērauda velmējumu normatīvās un aprēķina pretestības  
(izvilcums no projektēšanas normām [22])

Tērauda marka	Valsts standarts vai tehniskie noteikumi	Velmējums	Biezums, mm	Normatīvā pretestība, MPa		Aprēķina pretestība, MPa	
				$R_{yn}$	$R_{un}$	$R_y$	$R_u$
1	2	3	4	5	6	7	8
18кп	ГОСТ 23570-79	Loksne	4...20	225	365	220	355
			21...40	215	365	210	355
18пс	"	"	4...16	235	370	230	360
18сп			4...20	235	370	230	360
18Гпс	"	"	4...20	235	370	230	360
			21...30	225	370	220	360
18Гсп	"	"	31...40	235	390	230	380
18кп			4...20	235	365	230	355
18пс; 18сп; 18Гпс	"	"	4...20	245	370	240	360
18Гпс			21...30	225	370	220	360
18Гсп	"	"	31...40	235	390	230	380
ВСт3кп2-1	ТУ 14-1-3023-80	Loksne	4...20	225	360	220	355
ВСт3пс6-1			"	4...20	235	370	230
ВСт3пс6-2	"	"	4...10	275	380	270	370
			11...20	265	370	260	360
ВСт3сп5-1; ВСт3Гпс5-1	"	"	4...10	245	380	240	370
ВСт3сп5-2; ВСт3Гпс5-2			11...20	235	370	230	360
ВСт3кп2-1	"	Profil- tērauds	4...10	275	390	270	380
			11...20	265	380	260	370
	"	"	4...10	235	365	230	355
			11...20	235	360	230	355
ВСт3пс6-1	"	"	21...30	215	360	210	355
			4...10	245	370	240	360
	"	"	11...20	245	370	240	360
			21...30	225	370	220	360
ВСт3пс6-2	"	"	4...10	275	390	270	380
			11...20	275	380	270	370
ВСт3сп5-1; ВСт3Гпс5-1	"	"	4...10	255	380	250	370
			11...20	245	370	240	360
	"	"	21...30	235	370	230	360
			4...10	285	400	280	390
ВСт3сп5-2; ВСт3Гпс5-2	"	"	11...20	275	390	270	380
ВСт3пс			10...40	295	430	280	410
09Г2гр1	ГОСТ 14637-79 ТУ 14-1-3023-80	Loksne	4...10	315	450	305	440
			11...20	305	440	300	430
	"	Profil- tērauds	21...30	295	440	290	430

## 1. tabulas turpinājums

1	2	3	4	5	6	7	8
09Г2р2	ТУ 14-1-3023-80	Loksne, profil- tērauds	4...10 11...20	345 335	470 460	335 325	460 450
09Г2Ср1	"	Loksne, profil- tērauds	4...10 11...20	345 325	490 470	335 315	480 460
09Г2Ср2	"	Профил- тērauds Loksne	21...30 4...10 11...20	305 365 345	460 510 490	300 355 335	450 500 480
09Г2С	ГОСТ 19282-73; ГОСТ 19281-73 ГОСТ 19282-73	Профил- тērauds Loksne, profil- tērauds Loksne	4...10 11...20 4...9 10...20 21...32 33...60 61...80 81...160	370 355 345 325 305 285 275 265	520 500 490 470 460 450 440 430	360 345 330 310 290 270 260 250	505 490 465 450 440 420 410
14Г2р1	ТУ 14-1-3023-80	Профил- тērauds	4...10 11...30	335 325	460 450	325 315	450 440
14Г2р2	"	"	4...10 11...30	360 355	480 470	350 345	470 460
14Г2	ГОСТ 19282-73; ГОСТ 19281-73	Loksne, profil- tērauds	4...9 10...32	335 325	460 450	320 310	440 430
15ХСНД	ГОСТ 19282-73 ГОСТ 19281-73	Loksne Профил- тērauds	4...32 4...9 10...32	345 345 325	490 490 470	330 330 310	465 465 450
10ХСНД	ГОСТ 19282-73 ГОСТ 19281-73	Loksne Профил- тērauds	4...32 33...40 4...15	390 390 390	530 510 530	355 355 355	480 465 480
ВСт3кп2	ГОСТ 380-71	Loksne	4...20 21...40 41...100 >100 <10	225 215 205 185 225	365 265 365 365 370	215 205 195 175 215	350 350 350 350 350
ВСт3кп; ВСт3пс; ВСт3сп ВСт3кп	ГОСТ 10705-80 ГОСТ 10706-76	Сaurule " "	4...15	235	365	225	350
ВСт3пс4; ВСт3сп4 09Г2С	" ТУ 14-3-500-76	" "	4...15 8...15	245 265	370 470	235 250	350 450

Piezīmē. Профилтēraudam par biezumu pieņem plaukta biezumu.

Tērauda velmējumu gala virsmas spiedes, cilindrisko šarnīru lokālas virsmas spiedes un rullīšu diametrālas spiedes aprēķina pretestības (izvilks no projektēšanas normām [22])

Velmējuma pārejoša pretestība, MPa	Aprēķina pretestība, MPa		
	virsmas spiede		rullīšu diametrālā spiede (brīvi saskaroties, konstrukcijās ar ierobežotu kustīgumu)
	gala virsmai (pieslīpetai)	cilindriskos šarnīros (rēdzēs), cieši saskaroties	
360	327	164	8
365	332	166	8
370	336	168	8
380	346	173	9
390	355	178	9
430	391	196	10
440	400	200	10
450	409	205	10
460	418	209	10
470	427	214	11
480	436	218	11
490	445	223	11
500	455	228	11
510	464	232	12
520	473	237	12
530	473	237	12

2. pielikums

## MATERIĀLU FIZIKĀLIE RAKSTUROJUMI

3. tabula

Tērauda konstrukciju materiālu fizikālie raksturojumi

Raksturojums	Vērtība
Blīvums $\rho$ , kg/m <sup>3</sup> :	
tērauda velmējumu un lējumu	7850
čuguna lējumu	7200
Lineārās izplešanās koeficients $\alpha$ , °C <sup>-1</sup>	0,12·10 <sup>-4</sup>
Elastības modulis $E$ , MPa:	
tērauda velmējumu un lējumu	2,06·10 <sup>5</sup>
C415 markas čuguna lējumu	0,83·10 <sup>5</sup>
C420; C425 un C430 markas čuguna lējumu	0,98·10 <sup>5</sup>
paralēlu stieplu kūļu un šķipsnu tērauda trošu:	1,96·10 <sup>5</sup>
nesošu spirālveida un segtu tērauda tauvu	1,67·10 <sup>5</sup>
dubultvijuma tērauda tauvu	1,47·10 <sup>5</sup>
dubultvijuma tērauda tauvu ar nemetāla serdeni	1,27·10 <sup>5</sup>
Tērauda velmējumu un lējumu bīdes modulis $G$ , MPa	0,78·10 <sup>5</sup>
Šķērsdeformācijas (Puasona) koeficients $\nu$	0,3

**BŪVKONSTRUKCIJU APREĶĪNA NORMATĪVIE DATI**

4. tabula

**Biezāk lietojamie slodzes drošuma koeficienti  $\gamma$**   
(izvilkums no projektēšanas normām [2])

Slodze	Koeficients $\gamma$
<b>Pastāvīgās slodzes:</b>	
metāla konstrukciju	1,05
viegla betona konstrukciju (blīvums $\rho < 1,6 \text{ t/m}^3$ ), kā arī izolācijas, izlīdzinošo un apdares slāņu (plātnes, ruļļmateriāli, uzberumi u. c.), tos izveidojot rūpnīcā	1,2
būvlaukumā	1,3
betona (blīvums $\rho > 1,6 \text{ t/m}^3$ ), dzelzsbetona, mūra, stiegrota mūra un koka konstrukciju	1,1
dabiska saguluma grunts	1,1
uzbērtas grunts	1,15
<b>Pagaidu slodzes:</b>	
vienmērīgi sadalītas uz pārsegumiem un kāpnēm, ja to normatīvā vērtība	
$q_n < 2 \text{ kN/m}^2$	1,3
$q_n \geq 2 \text{ kN/m}^2$	1,2
stacionāro iekārtu	1,05
tilta un piekārtu celtni	1,1
sniega (izņemot tālāk minētos aprēķinus)	1,4
sniega slodze, aprēķinot pārseguma konstrukcijas elementus, ja šo elementu vienmērīgi sadalītās pastāvīgās slodzes normatīvās vērtības un $1 \text{ m}^2$ zemes horizontālās virsmas sniega segas slodzes normatīvās vērtības $s_0$ attiecība ir mazāka par 0,8	1,6
vēja	1,4

Tērauda konstrukciju elementu darbības apstākļu koeficienti  $\gamma_c$  (izvilcums no projektēšanas normām [22])

Nr. p. k.	Konstrukciju elementi	Koeficients $\gamma_c$
1.	Pilnsienas sijas un pārsegumu kopņu spiestie elementi zem teātru, klubu, kinoteātru zālēm un tribīnēm, veikalu, grāmatu glabātavu, arhīvu un citām telpām, ja pārseguma svars ir vienāds vai lielāks par pagaidu slodzi	0,9
2.	Sabiedrisko ēku kolonnas un ūdenstorņu balsti	0,95
3.	Pārsegumu metināto kopņu (piemēram, jumta kopņu un tām analogisku) režģa galvenie elementi, kuri veidoti no pāra leņķprofiliem (izņemot balsta elementus), ja lokānums $\lambda > 60$	0,8
4.	Pilnsienas sijas, ja aprēķina vispārējo noturību un $\varphi_b < 1,0$	0,95
5.	No velmēta tērauda izgatavotas savilces, stieņi, atsaites un piekari	0,9
6.	Pārsegumu stieņu konstrukcijas: spiestie elementi (izņemot slēgtus cauruļveida šķērssriegzumus), ja aprēķina noturību metināti stieptie elementi skrūvētu konstrukciju (izņemot konstrukcijas ar lielas stiprības skrūvēm) stieptie un spiestie elementi, kā arī salaižu uzliktņi, kas uzņem statisku slodzi un izgatavoti no tērauda, kura plūstamības robeža nepārsniedz 440 MPa, ja aprēķina stiprību	0,95 0,95 1,05
7.	Skrūvētas (izņemot ar lielas stiprības skrūvēm izgatavotas) saliktas pilnsienas sijas un kolonnas, kā arī salaižu uzliktņi, kas uzņem statisku slodzi un izgatavoti no tērauda, kura plūstamības robeža nepārsniedz 440 MPa, ja aprēķina stiprību	1,1
8.	Velmēti un metināti elementi, kā arī uzliktņi, kas uzņem statisku slodzi un izgatavoti no tērauda, kura plūstamības robeža nepārsniedz 440 MPa, ja aprēķina šķērssriegzumu stiprību skrūvsalaižu vietās (izņemot skrūvsalaides ar lielas stiprības skrūvēm): pilnsienas sijām un kolonnām pārsegumu stieņu konstrukcijām	1,1 1,05
9.	Spiesti savrupa leņķprofila elementi (izņemot plakniskās kopnēs un telpiskās režģotās konstrukcijās), kas piestiprināti ar vienu plauktu (nevienādplauktu leņķprofili — ar mazāko plauktu)	0,75
10.	Balsta plātnes no tērauda ar plūstamības robežu līdz 285 MPa, kuras uzņem statisku slodzi un kuru biezums ir līdz 40 mm 41...60 mm 61...80 mm	1,2 1,15 1,1

Piezīme. Norādījumi par koeficienta  $\gamma_c$  vērtību vienlaicīgu lietošanu doti projektēšanas normās [22].

Ēku un būvju uzdevuma drošuma koeficienti  $\gamma_n$ 

Objekta klase	Objekta atbildīguma pakāpe	Objektu piemēri	Koeficients $\gamma_n$
I	Sevišķi svarīga tautsaimnieciska un (vai) sociāla nozīme	Rūpniecības uzņēmumu galvenie cehi, TEC galvenie korpusi, slēgtas sporta būves ar tribinēm, teātri, kinoteātri, muzeji, bērnu dārzi, slimnīcas u. c.	1
II	Svarīga tautsaimnieciska un (vai) sociāla nozīme	Objekti, kas neietilpst I un III klasē	0,95
III	Ierobežota tautsaimnieciska un sociāla nozīme	Lauksaimniecības produktu, minerālmēslu, ogļu, ķīmikāliju un citas noliktavas, kurās nav paredzēti šķirošanas un iesaiņošanas darbi, siltumnīcas, pagaidu būves u. c.	0,9

7. tabula

## Tērauda konstrukciju elementu relatīvās robežizlieces

Konstrukcijas elementi	Relatīvā robežizliece laiduma daļās
Celtnu ceļa sijas un kopnes, ja celtnu darbības režīms (ГОСТ 25546-82) atbilst	
1K—6K grupai	1/400
7K grupai	1/500
8K grupai	1/600
Ražošanas ēku darba laukumu sijas, ja ir	
platsliežu ceļi	1/600
šaursliežu ceļi	1/400
Ražošanas ēku darba laukumu sijas, ja nav sliežu ceļu, un starpstāvu pārsegumu sijas:	
galvenās sijas	1/400
pārējās sijas un kāpņu laidi	1/250
tērauda klājs	1/150
Jumta un bēniņu pārsegumu sijas un kopnes:	
nesošās, piekarināmo pacelšanas un transporta vai tehnoloģisko iekārtu	1/400
pārējās	1/250
kopturi	1/200
profilētais klājs	1/150
Sienas karkasa elementi:	
rīgeļi	1/300
iestiklojuma garensijas	1/200

Spiešu tērauda konstrukciju elementu robežlokanumi  $\lambda_u$   
(izvilums no projektēšanas normām [22])

Nr. p. k.	Konstrukcijas elementi	$\lambda_u$
1.	Plaknisku kopņu un struktūrkonstrukciju joslas un balstreakciju pārvadoši atgāžņi un stati	180—60 $\alpha$
2.	1. punktā neminētie plaknisko kopņu un struktūrkonstrukciju elementi	210—60 $\alpha$
3.	Nenostiprinātas kopņu augšējās joslas montāžas procesā (pēc montāžas joslu robežlokanumiem jāatbilst 1. punktā noteiktiem)	220
4.	Galvenās kolonnas	180—60 $\alpha$
5.	Palīgkolonnas (sienu karkasa un virsgaismas konstrukcijas statņi u. tml.), kolonnu režģa elementi, kolonnu vertikālo saišu elementi (zem celtņu ceļa sijām)	210—60 $\alpha$
6.	5. punktā nenorādītie saišu elementi, kā arī stiepi, kuri samazina spiesto stieņu aprēķina garumu, un citi nenoslogoti elementi	200

Apzīmējums:  $\alpha$  — koeficients, kuru pieņem ne mazāku par 0,5 (attiecinātos gadījumos  $\phi$  vietā jālieto  $\phi_c$ );  $\alpha = N / (\phi AR_y \gamma_c)$ .

Stieptu tērauda konstrukciju elementu robežlokanumi  $\lambda_u$   
(izvilums no projektēšanas normām [22])

Nr. p. k.	Konstrukcijas elementi	$\lambda_u$ , ja uz konstrukciju darbojas		
		dinamiska slodze, kas pielikta tieši konstrukcijai	statiska slodze	celtņu (sk. 4. piezīmi) un dzelzceļa sastāvu slodze
1.	Plaknisku (arī bremsēšanas) kopņu un struktūrkonstrukciju joslas un balsta atgāžņi	250	400	250
2.	1. punktā neminētie kopņu un struktūrkonstrukciju elementi	350	400	300
3.	Celtņu ceļa siju un kopņu apakšējās joslas	—	—	150
4.	Kolonnu vertikālo saišu elementi (zem celtņu sijām)	300	300	200
5.	Citi saišu elementi	400	400	300

Piezīmes. 1. Ja būves netiek dinamiski slogotas, stieptu elementu lokanus jāpārbauda tikai vertikālā plaknē.

2. Iepriekš saspiestu stieptu elementu lokanus netiek ierobežots.

3. Ja slodzes nelabvēlīgas novietošanas gadījumā iekšējo spēku zīme var mainīties, robežlokanums stieptiem elementiem jāpieņem tāpat kā spiestiem elementiem.

4. Celtņu slodzes iedarbības gadījumā tabulas pēdējā ailē uzrādītie robežlokanumi jāpieņem, ja celtņu darbības režīms (ГОСТ 25546—82) atbilst 7K un 8K grupai.

5. Par tieši pieliktām dinamiskām slodzēm uzskata slodzes, pēc kurām aprēķina konstrukcijas elementu izturību, kā arī slodzes, kuru aprēķina vērtību nosaka, lietojot dinamiskuma koeficientu.

**PLASTISKO DEFORMĀCIJU ATTISTĪBAS IEVĒRTĒŠANAS KOEFICIENTI**  
(izvilums no projektēšanas normām [22])

10. tabula

Koeficienti  $c$ ,  $c_x$ ,  $c_y$  un  $n$

Šķersgriezuma tips	Šķersgriezuma shēma	$A_f/A_w$	Koeficienti		
			$c; c_x$	$c_y$	$n$ , ja $M_y=0$
1		0,25	1,19	1,47	1,5
		0,5	1,12		
		1,0	1,07		
		2,0	1,04		
2		0,5	1,40	1,47	2,0
		1,0	1,28		
		2,0	1,18		
3		0,25	1,19	1,07	1,5
		0,5	1,12	1,12	
		1,0	1,07	1,19	
		2,0	1,04	1,26	
4		0,25	1,47	1,04	3,0
		0,5		1,07	
		1,0		1,12	
		2,0		1,19	
5		—	1,60	1,47	3,0
				1,0	1,0

Piezīmes. 1. Ja  $M_y \neq 0$ , tad  $n=1,5$ .

2.  $A_f/A_w$  starplielumiem atbilstošās koeficientu vērtības nosaka ar lineārās interpolācijas metodi.

## CENTRISKI UN EKSCENTRISKI SPIESTU UN SPIESTI LIEKTU ELEMENTU NOTURĪBAS APRĒKINA KOEFICIENTI

11. tabula

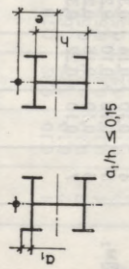
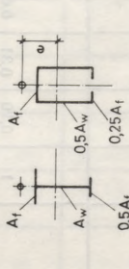
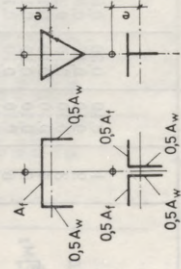
Centriski spiestu elementu garenieces koeficienti  $\varphi$ 

Loka- numus $\lambda$	Koeficients $\varphi$ tērauda elementiem, kuru aprēķina pretestība $R_y$ , MPa, ir											
	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640
10	988	987	985	984	983	982	981	980	979	978	977	977
20	967	962	959	955	952	949	946	943	941	938	936	934
30	939	931	924	917	911	905	900	895	891	887	883	879
40	906	894	883	873	863	854	846	839	832	825	820	814
50	869	852	836	822	809	796	785	775	764	746	729	712
60	827	805	785	766	749	721	696	672	650	628	608	588
70	782	754	724	687	654	623	595	568	542	518	494	470
80	734	686	641	602	566	532	501	471	442	414	386	359
90	665	612	565	522	483	447	413	380	349	326	305	287
100	599	542	493	448	408	369	335	309	286	267	250	235
110	537	478	427	381	338	306	280	258	239	223	209	197
120	479	419	366	321	287	260	237	219	203	190	178	167
130	425	364	313	276	247	223	204	189	175	163	153	145
140	376	315	272	240	215	195	178	164	153	143	134	126
150	328	276	239	211	189	171	157	145	134	126	118	111
160	290	244	212	187	167	152	139	129	120	112	105	099
170	259	218	189	167	150	136	125	115	107	100	094	089
180	233	196	170	150	135	123	112	104	097	091	085	081
190	210	177	154	136	122	111	102	094	088	082	077	073
200	191	161	140	124	111	101	093	086	080	075	071	067
210	174	147	128	113	102	093	085	079	074	069	065	062
220	160	135	118	104	094	086	077	073	068	064	060	057

Piezīme. Koeficienti  $\varphi$  tabulā palielināti 1000 reizi.

Skērsgriezuma formas ietekmes koeficienti  $\eta$   
(izvilcums no projektēšanas normām [22])

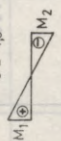
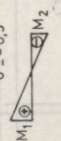
Skērsgriezuma tips	Skērsgriezuma shēma	$A_f/A_w$	$\eta$ lielums, ja		
			$0 < \bar{\lambda} < 5$		$\bar{\lambda} > 5$
			$0,1 < m < 5$	$5 < m < 20$	$0,1 < m < 5$ $5 < m < 20$
1	<p style="text-align: center;"><math>a_f/h \leq 0,15</math></p>	0,25 (1,45 - 0,05m) - 0,01(5 - m) $\bar{\lambda}$	1,2	1,2	
2	<p style="text-align: center;"><math>a_f/h \leq 0,15</math></p>	0,5 $\geq 1,0$	1,25 1,4 - 0,02 $\bar{\lambda}$	1,25 1,3	
		—	$\eta_1(1 - 0,3(5 - m)a_f/h)$	$\eta_1$	

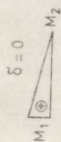
3	 $a/h \leq 0,15$	—	$\eta_1 (1 - 0,8a_1/h)$	$\eta_1 (1 - 0,8a_1/h)$	$\eta_1 (1 - 0,8a_1/h)$
4	 $A_f$ , $A_w$ , $0,25A_f$ , $0,5A_w$	0,5 1,0 2,0	1,4 $1,6 - 0,01(5 - m)\sqrt{\lambda}$ $1,8 - 0,02(5 - m)\sqrt{\lambda}$	1,4 1,6 1,8	1,4 $1,35 + 0,05m$ $1,3 + 0,1m$
5	 $A_f$ , $0,5A_w$ , $0,5A_f$ , $0,5A_w$	0,5 1,0 1,5 2,0	$1,45 + 0,04m$ $1,8 + 0,12m$ $2,0 + 0,25m + 0,1\sqrt{\lambda}$ $3,0 + 0,25m + 0,1\sqrt{\lambda}$	1,65 2,4 — —	$1,45 + 0,04m$ $1,8 + 0,12m$ — —

Piezīmes. 1. 1., 2. un 3. šķēsgriezuma tipam, izskaitļojot  $A_f/A_w$  vērtību, plauktu vertikālo elementu šķēsgriezumam neievēro.  
2. 2. un 3. šķēsgriezuma tipam  $\eta_1$  vērtību pieņem vienādu ar 1. tipa  $\eta$  vērtību atbilstoši attiecīgai  $A_f/A_w$  vērtībai.

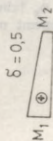
Reducētās relatīvās ekscentritātes  $m_{ef}$  stiepiem  
ar šarnīrvēdā balstītiem galiem

13. tabula

$\delta = M_2/M_1$	$\bar{\lambda}$	$m_{ef}$ vērtības, ja $m_{ef1}$ ir										
		0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	10,0	20,0
$\delta = -1,0$ 	1	0,10	0,30	0,68	1,12	1,60	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,40
	2	0,10	0,17	0,39	0,68	1,03	1,80	2,75	3,72	5,65	8,60	18,50
	3	0,10	0,10	0,22	0,36	0,55	1,17	1,95	2,77	4,60	7,40	17,20
	4	0,10	0,10	0,10	0,18	0,30	0,57	1,03	1,78	3,35	5,90	15,40
	5	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,23	0,48	0,95	2,18	4,40	13,40
	6	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,18	0,40	1,25	3,00	11,40
	7	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,50	1,70	9,50
$\delta = -0,5$ 	1	0,10	0,31	0,68	1,12	1,60	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,40
	2	0,10	0,22	0,46	0,73	1,05	1,88	2,75	3,72	5,65	8,60	18,50
	3	0,10	0,17	0,38	0,58	0,80	1,33	2,00	2,77	4,60	7,40	17,20
	4	0,10	0,14	0,32	0,49	0,66	1,05	1,52	2,22	3,50	5,90	15,40
	5	0,10	0,10	0,26	0,41	0,57	0,95	1,38	1,80	2,95	4,70	13,40
	6	0,10	0,16	0,28	0,40	0,52	0,95	1,25	1,60	2,50	4,00	11,50
	7	0,10	0,22	0,32	0,42	0,55	0,95	1,10	1,35	2,20	3,50	10,80



1	0.10	0.32	0.70	1.12	1.60	2.62	3.55	4.55	6.50	9.40	19.40
2	0.10	0.28	0.60	0.90	1.28	1.96	2.75	3.72	5.65	8.40	18.50
3	0.10	0.27	0.55	0.84	1.15	1.75	2.43	3.17	4.80	7.40	17.20
4	0.10	0.26	0.52	0.78	1.10	1.60	2.20	2.83	4.00	6.30	15.40
5	0.10	0.25	0.52	0.78	1.10	1.55	2.10	2.78	3.85	5.90	14.50
6	0.10	0.28	0.52	0.78	1.10	1.55	2.00	2.70	3.80	5.60	13.80
7	0.10	0.32	0.52	0.78	1.10	1.55	1.90	2.60	3.75	5.50	13.00



1	0.10	0.40	0.80	1.23	1.68	2.62	3.55	4.55	6.50	9.40	19.40
2	0.10	0.40	0.78	1.20	1.60	2.30	3.15	4.10	5.85	8.60	18.50
3	0.10	0.40	0.77	1.17	1.55	2.30	3.10	3.90	5.55	8.13	18.00
4	0.10	0.40	0.75	1.13	1.55	2.30	3.05	3.80	5.30	7.60	17.50
5	0.10	0.40	0.75	1.10	1.55	2.30	3.00	3.80	5.30	7.60	17.00
6	0.10	0.40	0.75	1.10	1.50	2.30	3.00	3.80	5.30	7.60	16.50
7	0.10	0.40	0.75	1.10	1.40	2.30	3.00	3.80	5.30	7.60	16.00

$$\text{Piezime, } m_{\text{ep}} = \eta \frac{M_1}{N} \cdot \frac{A}{W_c}$$

Ekscentriski spiestu (spiesti liektu) pilnsienas stieņu, kuru simetrijas plakne sakrīt ar momenta darbības plakni, noturības pārbaudes koeficienti  $\varphi_e$

Nosacītais lokanums $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_0} = \lambda \sqrt{R_y/E}$	$\varphi_e$ vērtības,													
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	
0,5	967	922	850	782	722	669	620	577	538	469	417	370	337	
1,0	925	854	778	711	653	600	563	520	484	427	382	341	307	
1,5	875	804	716	647	593	548	507	470	439	388	347	312	283	
2,0	813	742	653	587	536	496	457	425	397	352	315	286	260	
2,5	742	672	587	526	480	442	410	383	357	317	287	262	238	
3,0	667	597	520	465	425	395	365	342	320	287	260	238	217	
3,5	587	522	455	408	375	350	325	303	287	258	233	216	198	
4,0	505	447	394	356	330	309	289	270	256	232	212	197	181	
4,5	418	382	342	310	288	272	257	242	229	208	192	178	165	
5,0	324	326	295	273	253	239	225	215	205	188	175	162	150	
5,5	302	280	256	240	224	212	200	192	184	170	158	148	138	
6,0	258	244	223	210	198	190	178	172	166	153	145	137	128	
6,5	223	213	196	185	176	170	160	155	149	140	132	125	117	
7,0	194	186	173	163	157	152	145	141	136	127	121	115	108	
8,0	152	146	138	133	128	121	117	115	113	106	100	095	091	
9,0	122	117	112	107	103	100	098	096	093	088	085	082	079	
10,0	100	097	093	091	090	085	081	080	079	075	072	070	069	
11,0	083	079	077	076	075	073	071	069	068	063	062	061	060	
12,0	069	067	064	063	062	060	059	059	058	055	054	053	052	
13,0	062	061	054	053	052	051	051	050	049	049	048	048	047	
14,0	052	049	049	048	048	047	047	046	045	044	043	043	042	

Piezīmes. 1. Koeficienti  $\varphi_e$  tabulā palielināti 1000 reizi.

2. Koeficienta  $\varphi_e$  vērtību pieņemot ne lielāku par  $\varphi$  vērtību.

ja  $m_{ef}$  ir

4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10	12	14	17	20
307	280	260	237	222	210	183	164	150	125	106	090	077
283	259	240	225	209	196	175	157	142	121	103	086	074
262	240	223	207	195	182	163	148	134	114	099	082	070
240	222	206	193	182	170	153	138	125	107	094	079	067
220	204	190	178	168	158	144	130	118	101	090	076	065
202	187	175	166	156	147	135	123	112	097	086	073	063
183	172	162	153	145	137	125	115	106	092	082	069	060
168	158	149	140	135	127	118	108	098	088	078	066	057
155	146	137	130	125	118	110	101	093	083	075	064	055
143	135	126	120	117	111	103	095	088	079	072	062	053
132	124	117	112	108	104	095	089	084	075	069	060	051
120	115	109	104	100	096	089	084	079	072	066	057	049
112	106	101	097	094	089	083	080	074	068	062	054	047
102	098	094	091	087	083	078	074	070	064	059	052	045
087	083	081	078	076	074	068	065	062	057	053	047	041
075	072	069	066	065	064	061	058	055	051	048	043	038
065	062	060	059	058	057	055	052	049	046	043	039	035
057	055	053	052	051	050	048	046	044	040	038	035	032
051	050	049	048	047	046	044	042	040	037	035	032	029
045	044	043	042	041	041	039	038	037	035	033	030	027
041	040	040	039	039	038	037	036	036	034	032	029	026

Ekscentriski spiestu (spiesti liektu) režgotu stienņu, kuru simetrijas plakne sakrīt ar momenta darbības plakni, noturības pārbaudes koeficienti  $\varphi_e$

Nosacītais reducētais lokanums $\bar{\lambda}_{ef} = \frac{1}{\sqrt{R_y/E}}$	$\varphi_e$ vērtības,												
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
0,5	908	800	666	571	500	444	400	364	333	286	250	222	200
1,0	872	762	640	553	483	431	387	351	328	280	243	218	197
1,5	830	727	600	517	454	407	367	336	311	271	240	211	190
2,0	774	673	556	479	423	381	346	318	293	255	228	202	183
2,5	708	608	507	439	391	354	322	297	274	238	215	192	175
3,0	637	545	455	399	356	324	296	275	255	222	201	182	165
3,5	562	480	402	355	320	294	270	251	235	206	187	170	155
4,0	484	422	357	317	288	264	246	228	215	191	173	160	145
4,5	415	365	315	281	258	237	223	207	196	176	160	149	136
5,0	350	315	277	250	230	212	201	186	178	161	149	138	127
5,5	300	273	245	223	203	192	182	172	163	147	137	128	118
6,0	255	237	216	198	183	174	165	156	149	135	126	119	109
6,5	221	208	190	178	165	157	149	142	137	124	117	109	102
7,0	192	184	168	160	150	141	135	130	125	114	108	101	095
8,0	148	142	136	130	123	118	113	108	105	097	091	085	082
9,0	117	114	110	107	102	098	094	090	087	082	079	075	072
10,0	097	094	091	090	087	084	080	076	073	070	067	064	062
11,0	082	078	077	076	073	071	068	066	064	060	058	056	054
12,0	068	066	064	063	061	060	058	057	056	054	053	050	049
13,0	060	059	054	053	052	051	050	049	049	048	047	046	045
14,0	050	049	048	047	046	046	045	044	043	043	042	042	041

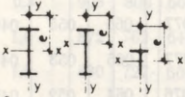
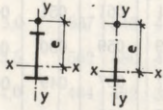
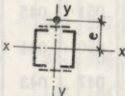
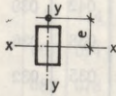
Piezīmes. 1. Koeficienti  $\varphi_e$  tabulā palielināti 1000 reizi.

2. Koeficienta  $\varphi_e$  vērtību pieņemot ne lielāku par  $\varphi$  vērtību.

ja m ir

4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10	12	14	17	20
182	167	154	143	133	125	111	100	091	077	067	056	048
180	165	151	142	131	121	109	098	090	077	066	055	046
178	163	149	137	128	119	108	096	088	077	065	053	045
170	156	143	132	125	117	106	095	086	076	064	052	045
162	148	136	127	120	113	103	093	083	074	062	051	044
153	138	130	121	116	110	100	091	081	071	061	051	043
143	130	123	115	110	106	096	088	078	069	059	050	042
133	124	118	110	105	100	093	084	076	067	057	049	041
124	116	110	105	100	096	089	079	073	065	055	048	040
117	108	104	100	095	092	086	076	071	062	054	047	039
110	102	098	095	091	087	081	074	068	059	052	046	039
103	097	093	090	085	083	077	070	065	056	051	045	038
097	092	088	085	080	077	072	066	061	054	050	044	037
091	087	083	079	076	074	068	063	058	051	047	043	036
079	077	073	070	067	065	060	055	052	048	044	041	035
069	067	064	062	059	056	053	050	048	045	042	039	035
060	058	056	054	052	050	047	045	043	041	038	036	033
053	052	050	048	046	044	043	042	041	038	035	032	030
048	047	045	043	042	040	039	038	037	034	032	030	028
044	044	042	041	040	038	037	036	035	032	030	028	026
041	040	039	039	038	037	036	035	034	031	029	027	025

Lieces momenta ietekmes ievērošanas koeficienta  $c$   
noteikšanas koeficienti  $\alpha$  un  $\beta$

Šķēsgriezuma tips	$\alpha$ lielums, ja		$\beta$ lielums, ja	
	$m_x < 1$	$1 < m_x < 5$	$\lambda_y < \lambda_c$	$\lambda_y > \lambda_c$
Atklāti:				
	0,7	$0,65 + 0,05m_x$	1	$\sqrt{\varphi_c/\varphi_y}$
	$1 - 0,31/I_2$	$1 - (0,35 - 0,05m_x)I_2/I_1$	1	$1 - (1 - \sqrt{\varphi_c/\varphi_y}) \times (2I_2/I_1 - 1)$ ; ja $I_2/I_1 < 0,5$ , $\beta = 1$
Slēgti: ar režģi vai plāksnēm				
	0,6	$0,55 + 0,05m_x$	1	$\sqrt{\varphi_c/\varphi_y}$
				

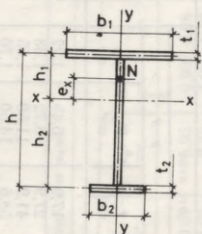
Pieņemtie apzīmējumi:

$I_1$  un  $I_2$  — attiecīgi lielākā un mazākā plaukta inerces moments pret šķēsgriezuma simetrijas asi  $y-y$ ;

$\varphi_c$  — garenlieces koeficienta  $\varphi_y$  vērtība, ja lokanums  $\lambda_y < \lambda_c = 3,14 \sqrt{E/R_y}$ .

Piezīme. Režģotiem stieniem, kuriem stieņu garumā ir vismaz divas starpdiafragmas, koeficientu  $\alpha$  un  $\beta$  vērtības pieņem kā slēgtiem šķēsgriezumiem. Pretējā gadījumā koeficientus pieņem kā atklāta dubult-T veida šķēsgriezuma stieniem.

Lieces momenta ietekmes koeficienta maksimālās vērtības  $c_{max}$  noteikšana dubult-T veida šķēsgriežumiem



Dubult-T veida šķēsgriežumiem, kuriem ir viena simetrijas ass, koeficientu  $c_{max}$  aprēķina pēc formulas

$$c_{max} = 2 / (1 + \delta B + \sqrt{(1 - \delta B)^2 + 16 / \mu \cdot (\alpha_x - e_x / h)^2}), \quad (1)$$

kur  $\alpha_x = (h_1 I_1 - h_2 I_2) / (I_y h)$ ;

$e_x$  — spiedes spēka pielikšanas ekscentritāte, kuru pieņem ar savu zīmi pret  $x-x$  asi (attēlā parādītais  $e_x$  pieņemts ar plusa zīmi);  $e_x = M_x / N$ ;

$h$  — atstāts starp plauktu asīm;

$$\mu = \frac{8 I_1 I_2}{I_y^2} + 0,156 \frac{I_t}{A h^2} \cdot \lambda_y^2;$$

$$B = 1 + \frac{2\beta}{Q} \cdot \frac{e_x}{h};$$

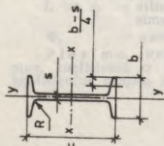
$$\delta = 4Q / \mu.$$

Seit  $I_t = 0,417 \Sigma b_i t_i^3$ , kur  $b_i$  un  $t_i$  — attiecīgi šķēsgriežumu veidojošo lokšņu plātums un biezums;

$$\beta = (0,47 - 0,035 (b_1 / h) (1 + b_1 / h - 0,072 (b_1 / h)^2)) \left( \frac{2 I_1}{I_1 + I_2} - 1 \right);$$

$$Q = (I_x + I_y) / (A h^2) + \alpha_x^2.$$

## VELMETĀ TERAUDA SORTIMENTS



## 17. tabula

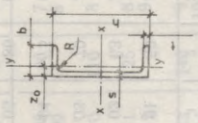
Karstvelmētais tērauds. Dubult-T sijas (samazināts sortiments pēc ГОСТ 8239—72)

Apzīmējumi:  $h$  — sijas augstums;  $b$  — plaukta platums;  $s$  — sienīgas biezums;  $t$  — vidējais plaukta biezums;  $R$  — liekuma rādītājs;  $I$  — inerces moments;  $W$  — pretestības moments;  $S$  — šķēsgriezuma puslaukuma statiskais moments;  $I_x$  — inerces moments vērņē;  $I_y$  — inerces rādītājs

Sijas nu- murs	Izmēri, mm				Skērs- grie- zuma lau- kums, cm <sup>2</sup>	Lineā- rāis blī- vums, kg/m	Geometriskie raksturojumi pret asini							
	$h$	$b$	$s$	$t$			$x-x$			$y-y$				
							$I_x$ , cm <sup>4</sup>	$W_x$ , cm <sup>3</sup>	$t_x$ , cm	$S_x$ , cm <sup>3</sup>	$I_y$ , cm <sup>4</sup>	$W_y$ , cm <sup>3</sup>	$t_y$ , cm	
10	100	55	4,5	7,2	7,0	9,46	198	39,7	4,06	23,0	17,9	6,49	1,22	2,28
12	120	64	4,8	7,3	7,5	11,50	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38	2,88
14	140	73	4,9	7,5	8,0	13,70	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,50	1,55	3,59
16	160	81	5,0	7,8	8,5	15,90	873	109,0	6,57	62,3	58,6	14,50	1,70	4,46
18	180	90	5,1	8,1	9,0	18,40	1290	143,0	7,42	81,4	82,6	18,40	1,83	5,6
20	200	100	5,2	8,4	9,5	21,00	1840	184,0	8,28	104,0	115,0	23,10	2,07	6,92
22	220	110	5,4	8,7	10,0	24,00	2550	232,0	9,13	131,0	157,0	28,60	2,27	8,6
24	240	115	5,6	9,5	10,5	27,30	3460	289,0	9,97	163,0	198,0	34,50	2,37	11,1
27	270	125	6,0	9,8	11,0	31,50	5010	371,0	11,20	210,0	260,0	41,50	2,54	13,6
30	300	135	6,5	10,2	12,0	36,50	7080	472,0	12,30	268,0	337,0	49,90	2,69	17,4
36	360	145	7,5	12,3	14,0	48,60	13380	743,0	14,70	423,0	516,0	71,10	2,89	31,4
40	400	155	8,3	13,0	15,0	57,00	19062	953,0	16,20	545,0	667,0	86,10	3,03	40,6
45	450	160	9,0	14,2	16,0	66,50	27696	1231,0	18,10	708,0	808,0	101,00	3,09	54,7
50	500	170	10,0	15,2	17,0	78,50	39727	1589,0	19,90	919,0	1043,0	123,00	3,23	75,4
55	550	180	11,0	16,5	18,0	92,60	55962	2035,0	21,80	1181,0	1356,0	151,00	3,39	100,0
60	600	190	12,0	17,8	20,0	108,00	76806	2560,0	23,60	1491,0	1725,0	182,00	3,54	135,0

Karstvelmētais tērauds. U profili ar parocīgiem plauktu skaldnēm (samazināts sortiments pēc ГОСТ 8240—72)

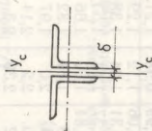
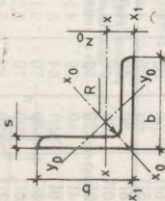
18. tabula



Apzīmējumi: *h* — profila augstums; *b* — plaukta platums; *s* — sienas biezums; *t* — plaukta biezums; *R* — noapaļojuma rādītājs; *I* — inerces moments; *I* — inerces rādītājs; *W* — pretestības moments; *S* — šķersgriezuma puslaukuma statiskais moments;  $\lambda_0$  — atstatums no smaguma centra līdz sienas ārējai

Pro- fila nu- murs	Izmēri, mm				Skērs- grie- zuma lau- kums, cm <sup>2</sup>	Līnē- rais bli- vums, kg/m	Geometriskie raksturojumi pret asi						<i>z<sub>0</sub></i> , cm			
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>t</i>			<i>R</i>	<i>x-x</i>			<i>y-y</i>					
								<i>I<sub>x</sub></i> , cm <sup>4</sup>	<i>W<sub>x</sub></i> , cm <sup>3</sup>	<i>i<sub>x</sub></i> , cm	<i>S<sub>x</sub></i> , cm <sup>3</sup>	<i>I<sub>y</sub></i> , cm <sup>4</sup>		<i>W<sub>y</sub></i> , cm <sup>3</sup>	<i>i<sub>y</sub></i> , cm	
5T	50	32	4,4	7	6	6,10	4,84	1,090	121	7,26	8,08	1,92	5,61	2,99	5,95	1,21
65T	65	36	4,4	7,2	6	7,51	5,90	1 530	153	8,08	8,8	2,55	9,02	4,06	9,35	1,29
8T	80	40	4,5	7,4	6,5	8,98	7,05	2 120	212	8,9	111	3,16	13,3	4,06	13,9	1,38
10T	100	46	4,5	7,6	7	10,9	8,59	2 910	291	9,5	139	3,99	20,5	5,31	22,6	1,44
12T	120	52	4,8	7,8	7,5	13,3	10,4	3 890	389	10,9	178	4,79	29,7	7,37	34,9	1,53
14T	140	58	4,9	8,1	8	15,6	12,3	5 080	508	12,3	248	5,61	40,9	9,84	46,7	1,66
16T	160	64	5	8,4	8,5	18,1	14,2	6 540	654	14,2	318	6,44	54,3	12,9	51,5	1,81
18T	180	70	5,1	8,7	9	20,7	16,3	8 380	838	16,3	400	7,26	70	16,4	72,8	1,97
20T	200	76	5,2	9	9,5	23,4	18,4	10 600	1060	18,4	500	8,08	88	20,6	92,2	2,14
22T	220	82	5,4	9,5	10	26,7	21	13 300	1330	21	611	8,9	111	25,2	100	2,3
24T	240	90	5,6	10	10,5	30,6	24	16 500	1650	24	748	9,75	139	31	117	2,47
27T	270	95	6	10,5	11	35,2	27,7	21 200	2120	27,7	910	10,9	178	39,5	146	2,72
30T	300	100	6,5	11	12	40,5	31,8	26 800	2680	31,8	1120	12	224	46,7	178	2,99
40T	400	115	8	13,5	15	61,5	48,3	45 200	4520	48,3	1526	15,8	445	89,9	283	3,12
																3,05

Velniņā tērauda vienādplauktu lenkprofili (samazināts sortiments pēc ГОСТ 8509—72)



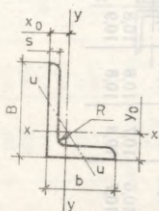
Apzīmējumi:  $b$  — plaukta platumš;  $I$  — ineres moments;  
 $s$  — plaukta biezums;  $i$  — ineres rādšuss;  
 $R$  — lēkuma rādšuss;  $z_0$  — atštatšms no smagšmcentra līdz plaukta ārmalai

Pro- fila nu- murs	Izmēri, mm		Skērs- grēka lau- kums, cm <sup>2</sup>	Lineā- rāis bli- vums, kg/m	Geometriskie raksturojumi pret asīm							Divu lenkprofilu ineres rādšuss $i_{y_0}$ , ja $\delta$ , mm, ir					$z_0$ , cm	
					x-x		x <sub>0</sub> -x <sub>0</sub>		y <sub>0</sub> -y <sub>0</sub>		8	10	12	14	16	17		18
	$I_{x^*}$ cm <sup>4</sup>	$i_{x^*}$ cm			$I_{x_1}$ cm <sup>4</sup>	$i_{x_1}$ cm	$I_{x_0}$ cm <sup>4</sup>	$i_{x_0}$ cm	$I_{y_0}$ cm <sup>4</sup>	$i_{y_0}$ cm								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
01	50	5	5,5	4,80	3,77	11,2	1,53	20,9	17,8	1,92	4,63	0,98	2,38	2,45	2,53	2,61	2,70	1,42
02	63	5	7	6,13	4,81	23,1	1,94	41,5	36,6	2,44	9,52	1,25	2,89	2,96	3,04	3,12	3,20	1,74
03	70	5	8	6,86	5,38	31,9	2,16	56,7	50,7	2,72	13,2	1,39	3,16	3,23	3,30	3,38	3,46	1,9
04	75	6	9	8,78	6,89	46,6	2,3	83,9	73,9	2,9	19,3	1,48	3,37	3,44	3,52	3,6	3,67	2,06
05	80	6	9	9,38	7,36	57,0	2,47	102	90,4	3,11	23,5	1,58	3,58	3,65	3,72	3,8	3,88	2,19
06	90	6	10	10,6	8,33	82,1	2,78	145	130	3,5	34,0	1,79	3,97	4,04	4,11	4,19	4,26	2,43
07		7		12,3	9,64	94,3	2,77	169	150	3,49	38,9	1,78	3,99	4,06	4,13	4,21	4,29	2,47

19. tabulas turpinājums

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
08	100	7	12	13,8	10,8	131	3,08	231	207	3,88	54,2	1,98	4,38	4,45	4,52	4,6	4,67	2,71
09		8		15,6	12,2	147	3,07	265	233	3,87	60,9	1,98	4,4	4,47	4,54	4,62	4,69	2,75
10	110	8	12	17,2	13,5	198	3,39	353	315	4,28	81,8	2,18	4,80	4,87	4,95	5,02	5,09	3,0
11	125	8	14	19,7	15,5	294	3,87	516	467	4,87	122	2,49	5,40	5,47	5,54	5,61	5,68	3,36
12		9		22	17,3	327	3,86	582	520	4,86	135	2,48	5,41	5,49	5,56	5,63	5,70	3,4
13	140	9	14	24,7	19,4	466	4,34	818	739	5,47	192	2,79	6,02	6,1	6,16	6,24	6,31	3,78
14		10		27,3	21,5	512	4,33	911	814	5,46	211	2,78	6,05	6,12	6,19	6,26	6,33	3,82
15	160	10	16	31,4	24,7	774	4,96	1356	1229	6,25	319	3,19	6,84	6,91	6,97	7,05	7,11	4,3
16		11		34,4	27,0	844	4,95	1494	1341	6,24	348	3,18	6,86	6,93	7,0	7,07	7,14	4,35
17	180	11	16	38,8	30,5	1216	5,6	2128	1933	7,06	500	3,59	7,67	7,74	7,81	7,88	7,95	4,85
18		12		42,2	33,1	1317	5,59	2324	2093	7,04	540	3,58	7,69	7,76	7,83	7,90	7,98	4,89
19	200	12	18	47,1	37,0	1823	6,22	3182	2896	7,84	749	3,99	8,48	8,55	8,62	8,69	8,76	5,37
20		14		54,6	42,8	2097	6,2	3722	3333	7,81	861	3,97	8,52	8,6	8,66	8,73	8,81	5,46
21	220	20	20	76,5	60,1	2871	6,12	5355	4560	7,72	1182	3,93	8,65	8,72	8,79	8,86	8,93	5,7
22		30		111,5	87,6	4020	6,0	8130	6351	7,55	1688	3,89	8,83	8,9	8,97	9,05	9,12	6,07
23	220	14	21	60,4	47,4	2814	6,83	4941	4470	8,60	1159	4,38	9,31	9,38	9,45	9,52	9,59	5,93
24		16		68,6	53,8	3175	6,81	5661	5045	8,58	1306	4,36	9,36	9,45	9,50	9,57	9,64	6,02
25	250	16	24	78,4	61,5	4717	7,76	8286	7492	9,78	1942	4,98	10,6	10,6	10,7	10,8	10,8	6,75
26		20		97,0	76,1	5765	7,71	10401	9160	9,72	2370	4,94	10,6	10,7	10,8	10,8	10,9	6,91

Veimētā čerāuda nevienādplauktu lenķprofili (samazināts sortiments  
pēc GOCT 8510—72)



Apzīmējumi:  $B$  — lielā plaukta platums;  
 $s$  — plaukta biezums;  
 $I$  — inerces moments;  
 $i$  — inerces rādītājs;

Profila numurs	Izmēri, mm				Šķērsgrīzuma laukums, $\text{cm}^2$	Lineārais blīvums, $\text{kg/m}$	Geometriskie raksturojumi pret asīm					
	$B$	$b$	$s$	$R$			$x-x$		$y-y$		$u-u$	
							$I_{x^*}$ , $\text{cm}^4$	$i_{x^*}$ , cm	$I_{y^*}$ , $\text{cm}^4$	$i_{y^*}$ , cm	$I_{u^*}$ , $\text{cm}^4$	$i_{u^*}$ , cm
01	75	50	5	8	6,11	4,79	34,8	2,39	12,5	1,43	7,24	1,09
02	90	56	5,5	9	7,86	6,17	65,3	2,88	19,7	1,58	11,8	1,22
03	100	63	6	10	9,59	7,53	98,3	3,2	30,6	1,79	18,2	1,38
04					11,1	8,7	113	3,19	35,0	1,78	20,8	1,37
05	110	70	8	10	13,9	10,9	172	3,51	54,6	1,98	32,2	1,52
06	125	80	8	11	16	12,5	256	4	83	2,28	48,8	1,75
07					19,7	15,5	312	3,98	100	2,26	59,3	1,74
08	140	90	8	12	18	14,1	364	4,49	120	2,58	70,3	1,98
09					22,2	17,5	444	4,47	146	2,56	85,5	1,96
10	160	100	9	13	22,9	18	606	5,15	186	2,85	110	2,2
11					25,3	19,8	667	5,13	204	2,84	121	2,19
12					30	23,6	784	5,11	239	2,82	142	2,18
13	180	110	10	14	28,3	22,2	952	5,8	276	3,12	165	2,42
14					33,7	26,4	1123	5,77	324	3,1	194	2,4
15	200	125	11	14	34,9	27,4	1449	6,45	446	3,58	264	2,75
16					37,9	29,7	1568	6,43	482	3,57	285	2,74
17					43,9	34,4	1801	6,41	551	3,54	327	2,73
18					49,8	39,1	2026	6,38	617	3,52	367	2,72

Latvian University of Agriculture and Forestry  
 Pilsdārzniecības fakultāte  
 Rīga, Latvija

LITERATŪRA

- $b$  — maza plaukta platums;
- $R$  — liekuma rādiuss;
- $x_0, y_0$  — atstatums no smagumcentra līdz plaukta ārmalām



Divu lēņķprofilu inerces rādītājs $I_{y_c}$ , ja $\delta$ , mm, ir					Divu lēņķprofilu inerces rādītājs $I_{x_c}$ , ja $\delta$ , mm, ir					$y_0$ , cm	$x_0$ , cm
8	10	12	14	16	8	10	12	14	16		
2,12	2,20	2,28	2,36	2,43	3,67	3,75	3,83	3,9	3,99	2,39	1,17
2,29	2,37	2,44	2,52	2,60	4,40	4,47	4,55	4,63	4,71	2,92	1,26
2,55	2,62	2,7	2,77	2,85	4,84	4,92	4,99	5,07	5,15	3,23	1,42
2,57	2,64	2,72	2,80	2,88	4,87	4,95	5,02	5,1	5,18	3,28	1,46
2,84	2,92	2,99	3,07	3,14	5,33	5,41	5,49	5,56	5,64	3,61	1,64
3,19	3,27	3,34	3,41	3,49	5,98	6,06	6,13	6,21	6,29	4,05	1,84
3,23	3,31	3,37	3,46	3,54	6,04	6,11	6,19	6,27	6,34	4,14	1,92
3,55	3,61	3,69	3,76	3,83	6,64	6,72	6,79	6,86	6,94	4,49	2,03
3,59	3,67	3,74	3,82	3,88	6,69	6,77	6,84	6,92	6,99	4,58	2,12
3,83	3,95	4,02	4,09	4,16	7,60	7,67	7,75	7,82	7,90	5,19	2,23
3,90	3,97	4,04	4,12	4,19	7,62	7,69	7,77	7,84	7,92	5,23	2,28
3,95	4,02	4,09	4,16	4,24	7,67	7,74	7,82	7,9	7,98	5,32	2,36
4,22	4,29	4,36	4,43	4,50	8,55	8,62	8,7	8,77	8,85	5,88	2,44
4,26	4,33	4,4	4,47	4,54	8,6	8,67	8,75	8,82	8,89	5,97	2,52
4,79	4,86	4,93	5	5,06	9,44	9,51	9,59	9,66	9,74	6,5	2,79
4,81	4,88	4,95	5,02	5,09	9,46	9,5	9,62	9,68	9,76	6,54	2,83
4,85	4,92	4,99	5,06	5,13	9,5	9,58	9,65	9,73	9,81	6,62	2,91
4,89	4,95	5,03	5,1	5,17	9,55	9,63	9,7	9,78	9,85	6,71	2,99

21. СНД. 3077 — Латвия, 1963 г.  
 22. СНД. 3077 — Латвия, 1963 г.  
 23. СНД. 3077 — Латвия, 1963 г.  
 24. СНД. 3077 — Латвия, 1963 г.  
 25. СНД. 3077 — Латвия, 1963 г.

**Platslokšņu universālais velmētais tērauds**  
 (samazināts sortiments pēc ГOCT 82—76)

Biezums, mm	Slokšņu platums, mm
6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 36; 40	200; 220; 240; 250; 280; 300; 360; 380; 400; 420; 450; 480; 500; 560; 600; 630; 650; 670; 700; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1050

Piezīme. Sloksnes piegādā 5...12 m garas.

**Karstvelmētais lokšņu tērauds (izviliums no ГOCT 19903—74)**

Biezums, mm	Platums, mm	Garums, mm
4; 5	700; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1100; 1250; 1400; 1420; 1500; 1600; 1700; 1800	2000...6000
6	700; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1100; 1250; 1400; 1420; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900; 2000	2000...7000
8; 10	700; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1100; 1250; 1400; 1420	2000...8000
8; 10	1500; 1600; 1700; 1800; 1900; 2000; 2100; 2200; 2300; 2400; 2500	2000...12 000
12	1000; 1100; 1250; 1400; 1420; 1500 1600; 1700; 1800 1900; 2000; 2200; 2400; 2500	2000...12 000 3000...12 000 3000...10 000
14; 16; 18; 20; 22; 25	1000; 1100; 1250; 1400; 1420 1500; 1600; 1700 1800; 1900; 2000; 2200; 2400; 2500	2500...12 000 3000...11 000 3200...10 000
28; 30; 32	1250; 1400; 1500; 1600; 1700; 1800; 2000; 2200; 2400; 2500	2500...12 000
36; 40	1500; 1600; 1800; 2000; 2200; 2500	2500...10 000
50; 60; 80; 100	1250; 1400; 1500; 1600; 1800; 2500; 2600; 2800; 3000	2500...9000

## LITERATURA

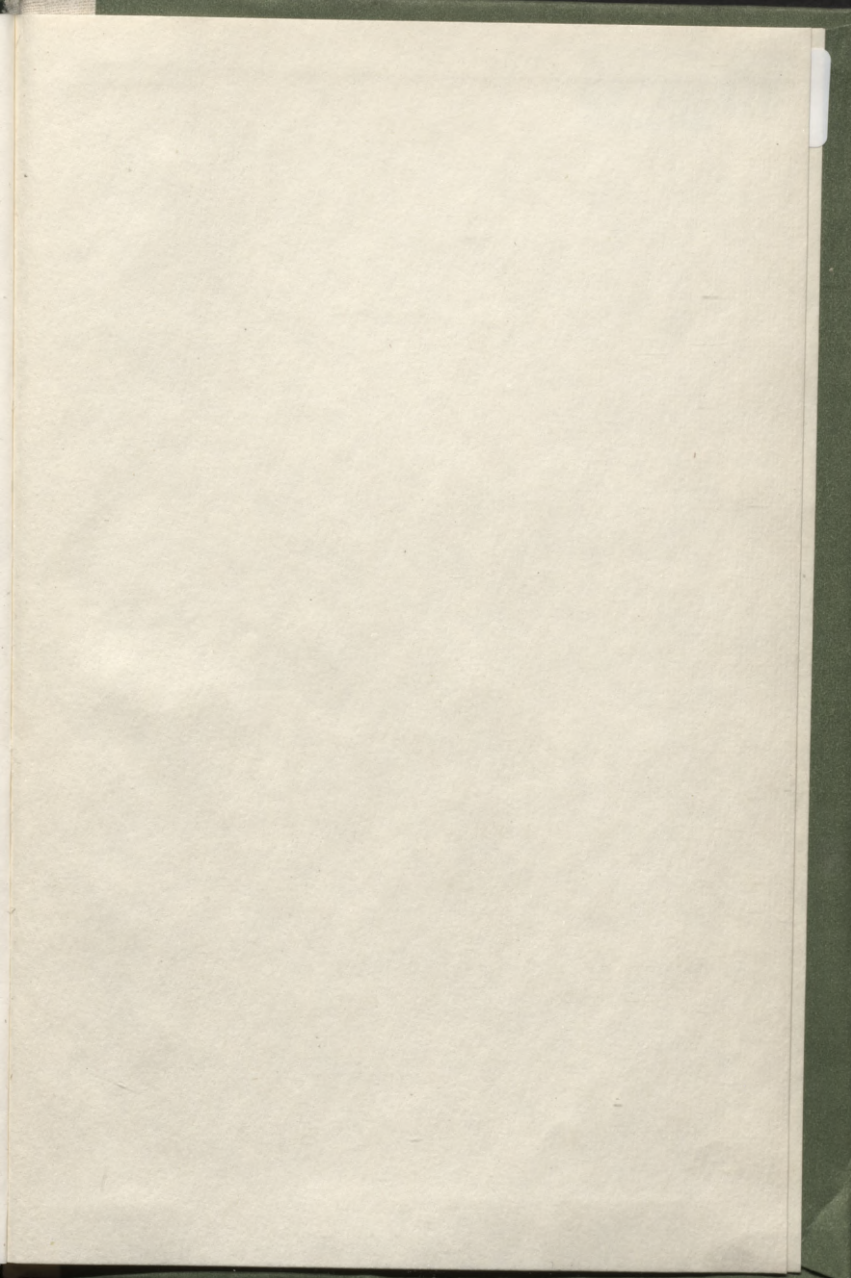
1. *Абаринов А. А., Петров В. П.* Технология изготовления металлических конструкций. — М.: Высшая школа, 1969. — 304 с.
2. *Беленя Е. И.* Предварительно-напряженные несущие металлические конструкции. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1975. — 416 с.
3. *Файбишенко В. К.* Металлические конструкции: Учеб. пособие для студентов вузов. — М.: Стройиздат, 1984. — 336 с.
4. *Ханапетов М. В.* Контроль качества сварных соединений. — М.: Стройиздат, 1979. — 136 с.
5. Изготовление стальных конструкций: Справ. монтажника / Под ред. *В. М. Краснова*. — М.: Стройиздат, 1978. — 335 с.
6. *Кохарь-Хармандарян И. Г.* Большепролетные купольные здания. — М.: Стройиздат, 1972. — 149 с.
7. *Корниенко В. С.* Изготовление строительных металлических конструкций. — М.: Стройиздат, 1977. — 176 с.
8. Легкие металлические конструкции одноэтажных производственных зданий: Справ. проектировщика / Под ред. *И. И. Ищенко*. — М.: Стройиздат, 1979. — 196 с.
9. *Лихтарников Я. М.* Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. — М.: Стройиздат, 1979. — 319 с.
10. *Лихтарников Я. М.* Металлические конструкции. Методы технико-экономического анализа при проектировании. — М.: Стройиздат, 1968. — 264 с.
11. *Мельников Н. П.* Металлические конструкции. Современное состояние и перспективы развития. — М.: Стройиздат, 1983. — 543 с.
12. Металлические конструкции: Справ. проектировщика / Под ред. *Н. П. Мельникова*. — М.: Стройиздат, 1980. — 776 с.
13. Металлические конструкции. Общий курс: Учебник для студентов вузов / *Е. И. Беленя, В. А. Болдин, Г. С. Ведеников* и др.; Под ред. *Е. И. Белени*. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1986. — 560 с.
14. *Михайлов А. М.* Сварные конструкции. — М.: Стройиздат, 1983. — 367 с.
15. *Муханов К. К.* Металлические конструкции: Учебник для студентов вузов. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: Стройиздат, 1978. — 572 с.
16. *Нейфельд И. Е., Фалькевич А. С., Лившиц Л. С.* Контроль качества сварных соединений в строительстве. — 2-е изд., перераб. — М.: Стройиздат, 1968. — 176 с.
17. *Пешковский О. И.* Технология изготовления металлических конструкций. — М.: Стройиздат, 1978. — 316 с.
18. *Попов С. А.* Алюминиевые строительные конструкции: Учеб. пособие для студентов строит. вузов. — 2-е изд. — М.: Высшая школа, 1969. — 320 с.
19. Пособие по расчету и конструированию сварных соединений стальных конструкций (к главе СНиП II-23-81) / ЦНИИСК им. Кучеренко. — М.: Стройиздат, 1984. — 40 с.
20. СНиП 2.03.06-85. Алюминиевые конструкции / Госстрой СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. — 48 с.
21. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. — 36 с.
22. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции / Госстрой СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. — 96 с.
23. Строительные конструкции из алюминиевых сплавов / Под ред. *С. В. Тарановского*. — М.: Стройиздат, 1962. — 338 с.
24. *Шинкарев Б. М., Суптель А. М.* Сварка строительных металлоконструкций порошковой проволокой. — Киев: Будівельник, 1978. — 174 с.
25. *Трущев А. Г.* Пространственные металлические конструкции. — М.: Стройиздат, 1983. — 215 с.

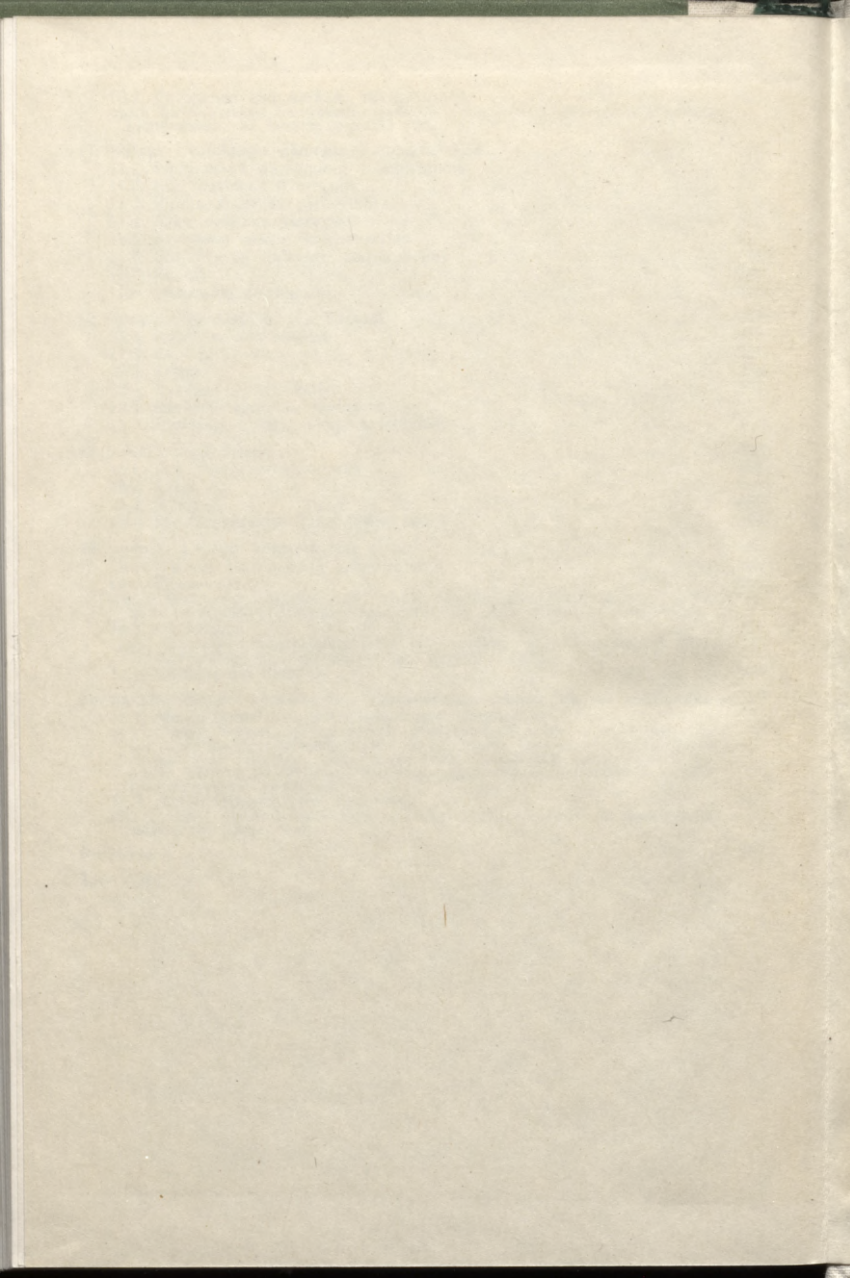
**SATURS**

Priekšvārds . . . . .	3
<b>1. nodaļa. Metāla konstrukciju raksturojums</b>	5
1.1. Metāla konstrukciju attīstības vēsturiskais apskats . . . . .	5
1.2. Metāla konstrukciju priekšrocības un trūkumi . . . . .	8
1.3. Metāla konstrukciju lietošana celtniecībā . . . . .	9
<b>2. nodaļa. Metāla konstrukciju materiāli</b>	10
2.1. Tēraudi . . . . .	10
2.1.1. Vispārīgs raksturojums (10). 2.1.2. Parastas stiprības tēraudi (14). 2.1.3. Palielinātas un lielas stiprības tēraudi (14). 2.1.4. Tēraudu darbība dažādu spēku ietekmē (15).	
2.2. Alumīnija sakausējumi . . . . .	23
<b>3. nodaļa. Sortimenti</b>	24
3.1. Tēraudu sortiments . . . . .	24
3.2. Alumīnija sakausējumu sortiments . . . . .	27
<b>4. nodaļa. Metāla konstrukciju projektēšanas pamati</b>	28
4.1. Metāla konstrukciju projektēšanas organizācija . . . . .	28
4.2. Konstrukciju robežstāvokļi . . . . .	29
4.3. Slodzes un slodžu kombinācijas . . . . .	30
4.4. Materiālu aprēķina pretestības . . . . .	31
4.5. Konstrukciju aprēķins pēc robežstāvokļu metodes . . . . .	33
4.6. Centriski stieptu elementu robežstāvokļi un aprēķins . . . . .	35
4.7. Liektu elementu robežstāvokļi un aprēķins . . . . .	36
4.8. Centriski spiestu elementu robežstāvokļi un aprēķins . . . . .	41
4.9. Ekscentriski spiestu un stieptu elementu robežstāvokļi un aprēķins . . . . .	45
4.10. Konstrukciju elementu vietējas noturības aprēķins . . . . .	50
4.11. Konstrukciju elementu izturības aprēķins . . . . .	51
<b>5. nodaļa. Metināti savienojumi</b>	52
5.1. Vispārīgas ziņas . . . . .	52
5.2. Metināšanas pagēmienu un to raksturojums . . . . .	53
5.3. Metināšanas materiāli . . . . .	55
5.4. Metinātu savienojumu un šuvju klasifikācija . . . . .	58
5.5. Metināšanas termiskā ietekme . . . . .	62
5.6. Metinātu savienojumu darbība un aprēķins . . . . .	66
5.6.1. Aprēķina pretestības (66). 5.6.2. Sadursavienojumu darbība un aprēķins (68). 5.6.3. Pārļāidsavienojumu un savienojumu ar uzliktiem darbība un aprēķins (71). 5.6.4. T veida un leņķisko savienojumu darbība un aprēķins (77). 5.6.5. Kombinēto savienojumu darbība un aprēķins (79).	
5.7. Metinātu savienojumu konstruēšana . . . . .	80
<b>6. nodaļa. Skrūvsavienojumi</b>	84
6.1. Skrūvju un skrūvsavienojumu raksturojums . . . . .	84
6.2. Ar parastās stiprības skrūvēm izveidotu skrūvsavienojumu darbība un bīdes aprēķins . . . . .	87
6.3. Ar lielas stiprības skrūvēm izveidotu skrūvsavienojumu darbība un bīdes aprēķins . . . . .	91
6.4. Stieptu skrūvsavienojumu darbība un aprēķins . . . . .	94
6.5. Liektu skrūvsavienojumu darbība un aprēķins . . . . .	95
6.6. Mainīgi slogotu skrūvsavienojumu darbība un aprēķins . . . . .	96
6.7. Skrūvsavienojumu konstruēšana . . . . .	98
<b>7. nodaļa. Sijas un siju konstrukcijas</b>	102
7.1. Siju tipi . . . . .	102
7.2. Siju izkārtojums . . . . .	104
7.3. Siju režģu klāji . . . . .	105

7.4. Velmētas sijas . . . . .	108
7.4.1. Šķērsgriezuma izvēle (108). 7.4.2. Stiprības pārbaude (109). 7.4.3. Noturības pārbaude (110). 7.4.4. Stinguma pārbaude (112).	
7.5. Saliktas sijas . . . . .	112
7.5.1. Simetrisku siju optimālā augstuma un sienas biezuma noteikšana (112). 7.5.2. Simetrisku metinātu siju šķērsgriezuma izvēle, stiprības un stinguma pārbaude (117). 7.5.3. Nesimetrisku metinātu siju šķērsgriezuma izvēle un pārbaude (119). 7.5.4. Skrūvētu siju šķērsgriezuma izvēle un pārbaude (121). 7.5.5. Šķērsgriezuma maiņa pa sijas garumu (123). 7.5.6. Sijas un tās elementu noturības nodrošināšana un pārbaude (125).	
7.6. Siju salaides . . . . .	135
7.7. Siju mezgli un sajūgumi . . . . .	140
7.7.1. Saliktu siju plaukta un sienas savienojuma aprēķins (140). 7.7.2. Koncentrēto slodžu pielikšanas vietu stiprības aprēķins (142). 7.7.3. Siju balstdaļu konstrukcija un aprēķins (145). 7.7.4. Siju sajūgumu konstrukcija un aprēķins (148).	
7.8. Elastīgi plastisku, statistiski nenoteicamu siju projektēšanas īpatnības	150
7.9. Bimetāla sijas . . . . .	151
7.10. Iepriekš saspriestas sijas . . . . .	152
<b>8. nodaļa. Centriski spiestas kolonnas . . . . .</b>	<b>156</b>
8.1. Vispārīgas ziņas . . . . .	156
8.2. Kolonnas aprēķina shēma un aprēķina garums . . . . .	158
8.3. Garenlieces šķērsspēks . . . . .	158
8.4. Pilnsienas kolonnas . . . . .	159
8.4.1. Šķērsgriezumu tipi (159). 8.4.2. Stieņa konstruēšana un aprēķins (160).	
8.5. Režģotas kolonnas . . . . .	164
8.5.1. Šķērsgriezuma un režģa tipi (164). 8.5.2. Stieņa konstruēšana un aprēķins (165). 8.5.3. Režģa konstrukcija un aprēķins (169).	
8.6. Kolonnas augšgala konstrukcija un aprēķins . . . . .	171
8.7. Kolonnas bāzes konstrukcija un aprēķins . . . . .	173
<b>9. nodaļa. Kopnes . . . . .</b>	<b>180</b>
9.1. Kopņu raksturojums un klasifikācija . . . . .	180
9.2. Kopņu komponenti . . . . .	182
9.3. Kopņu aprēķins . . . . .	184
9.3.1. Slodžu noteikšana (184). 9.3.2. Spēku noteikšana kopnes elementos (187). 9.3.3. Kopņu elementu aprēķina garumi un robežlokanumi (189). 9.3.4. Kopņu elementu šķērsgriezumi (192). 9.3.5. Kopņu elementu šķērsgriezumu izvēle (195).	
9.4. Kopņu mezglu konstruēšana un aprēķins . . . . .	198
9.4.1. Kopņu geometriskā shēma un mezglu centrēšana (198). 9.4.2. Kopņu mezgli (199). 9.4.3. Kopņu balstmezgli (204). 9.4.4. Kopņu montāžas mezgli (207). 9.4.5. Caurkopņu un no liekti metinātiem slēgtiem profiliem projektētu kopņu mezgli (208).	
9.5. Smago kopņu projektēšanas īpatnības . . . . .	215
9.6. Kopņu darbības eksperimentālie pētījumi . . . . .	218
9.7. Iepriekš saspriestas kopnes . . . . .	219
<b>10. nodaļa. Vienstāva ražošanas ēku konstrukcijas . . . . .</b>	<b>223</b>
10.1. Ražošanas ēku konstrukciju projektēšanas pamatprincipi . . . . .	223
10.1.1. Ražošanas ēku karkasu raksturojums (233). 10.1.2. Ražošanas ēku karkasem uzstādāmās prasības (224).	
10.2. Karkasu konstruktīvo shēmu komponēšana . . . . .	227
10.2.1. Kolonnu tīkls (227). 10.2.2. Šķērsrāmji (230). 10.2.3. Karkasa garenkonstrukcijas (234). 10.2.4. Pārsegumu saites (237). 10.2.5. Sienu karkasi (242). 10.2.6. Karkasu konstruktīvo shēmu sevišķie risinājumi (244).	
10.3. Ēku šķērsrāmju aprēķins . . . . .	248
10.3.1. Rāmju aprēķina shēmas (248). 10.3.2. Slodzes, kas darbojas uz rāmi (250). 10.3.3. Rāmju statiskā aprēķina īpatnības (256). 10.3.4. Rāmju aprēķins, ievērojot karkasu telpisko darbību (258). 10.3.5. Pāmju aprēķins pēc temperatūras iedarbības (262). 10.3.6. Aprēķina spēku noteikšana rāmja elementos (263).	
10.4. Pārsegumu konstrukcijas . . . . .	266
10.4.1. Pārsegumu sistēmas (266). 10.4.2. Kopturi (269). 10.4.3. Jumta kopnes un pakopnes (272). 10.4.4. Virsgaismas konstrukcijas (280).	
10.5. Kolonnas . . . . .	281
10.5.1. Kolonnu tipi (281). 10.5.2. Kolonnu aprēķina garuma noteikšana (284). 10.5.3. Pilnsienas kolonnu aprēķins un konstruēšana (288). 10.5.4. Režģotu kolonnu aprēķins un konstruēšana (294). 10.5.5. Kolonnu mezgli un detaļas (299). 10.5.6. Kolonnu bāzes (304).	
10.6. Celtnu ceļa konstrukcijas . . . . .	310
10.6.1. Celtnu ceļa konstrukciju raksturojums (310). 10.6.2. Celtnu slodžu aprēķins (311). 10.6.3. Pilnsienas celtnu ceļa sijas (312). 10.6.4. Režģotas celtnu ceļa sijas (324). 10.6.5. Celtnu ceļa konstrukciju mezgli un detaļas (327).	

10.7. Ražošanas ēku karkasu rekonstrukcija . . . . .	331
10.7.1. Esošo karkasu konstrukciju apsekošana (331). 10.7.2. Karkasu konstrukciju pastiprināšana un aprēķina īpatnības (332).	
<b>11. nodaļa. Liellaiduma pārsegumu konstrukcijas . . . . .</b>	<b>335</b>
11.1. Liellaiduma pārsegumu raksturojums . . . . .	335
11.2. Siju sistēmas pārsegumi . . . . .	336
11.3. Rāmju sistēmas pārsegumi . . . . .	336
11.4. Arku sistēmas pārsegumi . . . . .	338
11.5. Krustisku stieņu konstrukcijas . . . . .	340
11.6. Cilindriskās tīklveida konstrukcijas . . . . .	342
11.7. Kupoli . . . . .	344
11.8. Iekarinātie pārsegumi . . . . .	346
<b>12. nodaļa. Daudzstāvu ēku karkasi . . . . .</b>	<b>349</b>
12.1. Konstruktīvās shēmas . . . . .	349
12.2. Ēku plānojums . . . . .	351
12.3. Saites . . . . .	352
12.4. Karkasu konstrukcijas . . . . .	353
12.5. Karkasu aprēķina īpatnības . . . . .	355
12.6. Daudzstāvu ēkas ar piekarstāviem . . . . .	355
<b>13. nodaļa. Augstbūves . . . . .</b>	<b>356</b>
13.1. Augstbūvju raksturojums . . . . .	356
13.2. Torņi . . . . .	359
13.3. Masti . . . . .	362
13.4. Elektropārvades gaisa līniju balsti . . . . .	368
<b>14. nodaļa. Lokšņu konstrukcijas . . . . .</b>	<b>368</b>
14.1. Lokšņu konstrukciju raksturojums . . . . .	368
14.2. Rezervuāri . . . . .	369
14.2.1. Rezervuāru iedalījums (369). 14.2.2. Vertikālie cilindriskie rezervuāri (369). 14.2.3. Horizontālie cilindriskie rezervuāri (373). 14.2.4. Sfēriskie rezervuāri (374).	
14.3. Gāzholderi . . . . .	375
14.3.1. Gāzholderu nomenklatūra (375). 14.3.2. Mainīgu tilpumu gāzholderi (375). 14.3.3. Pastāvīga tilpuma augstspiediena gāzholderi (377).	
14.4. Bunkuri un silosi . . . . .	378
<b>15. nodaļa. Metāla konstrukciju izgatavošanas tehnoloģija un ekonomika . . . . .</b>	<b>379</b>
15.1. Metāla konstrukciju izgatavošanas tehnoloģija . . . . .	379
15.1.1. Metāla konstrukciju izgatavošanas organizācija (379). 15.1.2. Pamatražotnes celos veicamās operācijas (381). 15.1.3. Metāla konstrukciju izgatavošanas darbietilpības noteikšana (382). 15.1.4. Metāla konstrukciju izgatavošanas pielaides (383). 15.1.5. Metāla konstrukciju izgatavošanas darbietilpības samazināšanas galvenie virzieni (384).	
15.2. Metāla konstrukciju ekonomika . . . . .	384
15.2.1. Metāla konstrukciju izmaksu struktūra (384). 15.2.2. Metāla konstrukciju izmaksu noteikšana (385).	
<b>Pielikumi . . . . .</b>	<b>387</b>
<b>Literatūra</b>	





LATVIJAS NACIONĀLA BIBLIOTEKA



0306060741

1 rbl. 10 kap.