

D DIGITĀLAIS
MĀCĪBU
LĪDZEKLIS

TATJANA REZNIKA
ANASTASIJA JĒGERMANE

SILTUMAPMAIŅAS
PROCESI ĶĪMISKĀS
RŪPNIECĪBAS
UN TĀS
SASKARNOZARU
UZŅĒMUMOS



Valsts izglītības
satura centrs

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA

Eiropas Sociālais
fonds

I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē

TATJANA REZNIKA
ANASTASIJA JĒGERMANE

SILTUMAPMAINAS PROCESI KĪMISKĀS RŪPNIECĪBAS UN TĀS SASKARNOZARU UZŅĒMUMOS

Digitālais mācību līdzeklis izstrādāts ar Eiropas Savienības finansiālu atbalstu projektā "Nozaru kvalifikācijas sistēmas pilnveide profesionālās izglītības attīstībai un kvalitātes nodrošināšanai" (vienošanās Nr. 8.5.2.0./16/I/001)

2019



Valsts izglītības
satura centrs

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA

Eiropas Sociālais
fonds

Digitālais mācību līdzeklis (turpmāk DML) „**Siltumapmaiņas procesi ķīmiskās rūpniecības un tās saskarozaru uzņēmumos**” izstrādāts atbilstoši ESF projekta „Nozaru kvalifikācijas sistēmas pilnveide profesionālās izglītības attīstībai un kvalitātes nodrošināšanai” (vienošanās Nr. 8.5.2.0/16/I/001) 5. darbībai „Mācību līdzekļu (to skaitā digitālo mācību līdzekļu) un metodisko materiālu, kā arī novērtēšanas materiālu un darba vidē balstītas profesionālās izglītības ieviešanai nepieciešamo mācību līdzekļu izstrāde, iegāde un publiskošana, un atbilstības Latvijas kvalifikācijas ietvarstruktūrai izvērtēšana”. Šis mācību līdzeklis veidots sadarbībā ar sociālajiem partneriem: Latvijas Darba devēju konfederāciju, Latvijas Brīvo arodbiedrību savienību un Izglītības kvalitātes valsts dienestu.

Mācību līdzeklī integrēti vienlīdzīgu iespēju jautājumi neatkarīgi no dzimuma, vecuma, invaliditātes, etniskās piederības un citiem iespējamiem diskriminācijas veidiem, kur tas nav pretrunā ar nozares normatīvo regulējumu par iegūstamajām profesionālajām kvalifikācijām.

DML ir mācību materiālu komplekts, kurā ietilpst:

- PDF mācību materiāls;
- e-mācību materiāls.

Digitālais mācību līdzeklis ir pieejams Izglītības un zinātnes ministrijas nodrošinātā *Moodle* tiešsaistes mācību vietnē www.izm.gov.lv.

Autores: Tatjana Reznika, Anastasija Jēgermane

Nozares eksperti: Roberts Fedorovskis, Madara Pētersone

Literārā redaktore: Iveta Pūtele

Mācību satura digitalizētājs: SIA „Baltijas Datoru akadēmija”

VISC koordinatores: Sarmīte Valaine, Irēna Kuliša, Brigita Pauniņa

Autortiesību atruna: © DML autortiesību īpašnieks ir Valsts izglītības satura centrs. Visas autortiesības uz šo līdzekli tiek aizsargātas atbilstoši autortiesību aizsardzību regulējošām starptautiskām tiesību normām un Latvijas Republikas Autortiesību likumam. DML saturu vai tā daļu drīkst kopēt un lejupielādēt tikai personiskām vai mācību vajadzībām. DML vai tā fragmenta pārpublicēšanas gadījumā atsauce uz autortiesību īpašnieku un ESF projektu „Nozaru kvalifikācijas sistēmas pilnveide profesionālās izglītības attīstībai un kvalitātes nodrošināšanai” ir obligāta. Autortiesības ir attiecināmas uz DML jebkurā atveidojuma formā.

© Valsts izglītības satura centrs, 2019

ISBN 978-9934-540-73-8



Valsts izglītības
satura centrs

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA

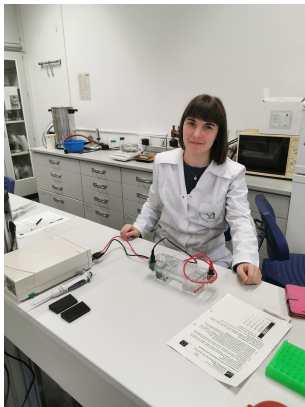
Eiropas Sociālais
fonds

ZIŅAS PAR AUTORIEM



TATJANA REZNIKA

Mg. ing., Olaines Mehānikas un tehnoloģijas koledžas docente. Strādā profesionālās izglītības jomā (ķīmijas tehnoloģijas nozarē) no 1995. gada. Darba pieredze saistīta ar profesionālo priekšmetu mācīšanu, kvalifikācijas prakšu vadīšanu, kā arī modulāro izglītības programmu izstrādi un aprobāciju.



ANASTASIJA JĒGERMANE

Mg. chem., Olaines Mehānikas un tehnoloģijas koledžas lektore (profesionālo mācību priekšmetu pedagoģe). Strādā profesionālās izglītības jomā no 2010. gada. Pieredze modulārās programmas un profesionālo kvalifikācijas eksāmenu satura izstrādē.

ANOTĀCIJA

Digitālais mācību līdzeklis (turpmāk DML) „**Siltumapmaiņas procesi ķīmiskās rūpniecības un tās saskarnozaru uzņēmumos**” paredzēts ķīmiskās rūpniecības un tās saskarnozaru (ķīmija, farmācija, biotehnoloģija, vide) kvalifikāciju struktūrā ietilpstošajām Latvijas kvalifikāciju ietvarstruktūras 3. un 4. līmeņa profesionālo kvalifikāciju „Ķīmiskās produkcijas ražošanas operators”, „Ķīmisko procesu tehniķis”, „Farmaceutisko procesu tehniķis”, „Parfimērijas un kosmētikas procesu tehniķis”, „Materiālu ķīmijas tehniķis”, „Vides tehniķis” izglītojamiem un pedagogiem. Mācību līdzeklis veidots, balstoties uz ķīmiskās rūpniecības un tās saskarnozaru mācību kursu/moduļu programmu saturu, saskaņā ar profesiju standartiem, profesionālās kvalifikācijas prasībām un visām izglītojamo mērķa grupām pieejamu izglītības satura apguves mehānismu mūžizglītības kontekstā.

Šis mācību līdzeklis sniedz iespēju apgūt svarīgākos teorētiskos priekšstatus par siltumapmaiņas procesiem ķīmiskās rūpniecības un tās saskarnozaru uzņēmumos, aparātu konstrukcijām, to darbības un aprēķinu pamatprincipiem, kā arī attīsta izglītojamo prasmi izmantot teorētiskās zināšanās praksē, risinot uzdevumus, sastādot procesa siltuma bilanci un veicot siltummaiņu projektu aprēķinus.

DML ir iekļautas šādas galvenās tēmas: siltumvadīšana, konvekcija, siltumstarošana, siltumpāreja, sildīšana, siltummaiņi.

SATURS

IEVADS	9
SILTUMAPMAIŅAS PROCESU VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS	10
1. SILTUMVADĪŠANA	13
1.1. Vielas siltumvadītspējas koeficients	14
1.2. Siltumvadīšanas vienādojums	16
1.3. Siltumvadīšana plakanā sienā	17
1.4. Siltumvadīšana kārtainā plakanā sienā	18
1.5. Siltumvadīšana cilindriskā sienā	18
1.6. Zināšanu nostiprināšana	19
1.7. Uzdevumu risināšanas piemēri un patstāvīgie uzdevumi par siltumvadīšanu plakanā sienā	21
1.7.1. Uzdevumu risināšanas piemēri	21
1.7.2. Patstāvīgie uzdevumi	23
1.8. Uzdevumu risināšanas piemēri un patstāvīgie uzdevumi par siltumvadīšanu kārtainā plakanā sienā	25
1.8.1. Uzdevuma risināšanas piemērs	25
1.8.2. Patstāvīgie uzdevumi	27
1.9. Uzdevumu risināšanas piemēri un patstāvīgie uzdevumi par siltumvadīšanu cilindriskā sienā	28
1.9.1. Uzdevuma risināšanas piemērs	28
1.9.2. Patstāvīgie uzdevumi	29
2. SILTUMAPMAIŅA KONVEKCIJAS PROCESĀ (SILTUMATDEVE)	30
2.1. Siltumatdeves vienādojums (Ņūtona atdzesēšanas likums)	32
2.2. Siltumatdeves koeficients	33
2.3. Zināšanu nostiprināšana	35
2.4. Uzdevumu risināšanas piemēri un patstāvīgie uzdevumi	36
2.4.1. Uzdevumu risināšanas piemēri	36
2.4.2. Patstāvīgie uzdevumi	37
3. SILTUMSTAROŠANA	39
3.1. Siltumstarošanas raksturojums	39

3.2. Siltumstarošanas likumi	44
3.2.1. Stefana–Bolcmaņa likums	44
3.2.2. Kirhofa likums	46
3.3. Siltumapmaiņa starojot	48
3.4. Siltumatdeve starošanas un konvekcijas rezultātā	49
3.5. Zināšanu nostiprināšana	50
3.6. Uzdevumu risināšanas piemēri un patstāvīgie uzdevumi	51
3.6.1. Uzdevuma risināšanas piemērs	51
3.6.2. Patstāvīgie uzdevumi	52
4. SILTUMPĀREJA	53
4.1. Siltumpārejas vienādojums	54
4.2. Siltumpāreja caur plakanām sienām	55
4.3. Siltumpāreja mainīgā temperatūrā	57
4.4. Plūsmas veida izvēle siltumapmaiņas iekārtās	61
4.5. Siltuma zudumi un siltumizolācija	62
4.6. Zināšanu nostiprināšana	63
4.7. Uzdevumu risināšanas piemēri un patstāvīgie uzdevumi	65
4.7.1. Uzdevumu risināšanas piemēri	65
4.7.2. Patstāvīgie uzdevumi	71
5. SILDĪŠANA ĶĪMIJAS TEHNOLOĢIJĀ UN BIOTEHNOLOĢIJĀ. SILTUMMAIŅI	79
5.1. Siltumnesēji	80
5.2. Sildīšana ar ūdens tvaiku	83
5.2.1. Tiešā sildīšana ar ūdens tvaiku	83
5.2.2. Netiešā sildīšana ar ūdens tvaiku	85
5.2.3. Kondensāta novadīšana	86
5.3. Siltummaiņi	89
5.3.1. Rekuperācijas siltummaiņi	92
5.3.2. Reģenerācijas siltummaiņi	107
5.4. Siltummaiņu aprēķinu pamatprincipi	110
5.4.1. Siltummaiņa siltumtehniskais aprēķins	110
5.4.2. Siltummaiņu izvēle	113
5.4.3. Siltummaiņu aprēķina piemēri	115

5.5. Zināšanu nostiprināšana	130
5.6. Uzdevumu risināšanas piemēri un patstāvīgie uzdevumi	131
5.6.1. Uzdevumu risināšanas piemēri	131
5.6.2. Patstāvīgie uzdevumi	137
5.6.3. Paaugstinātas grūtības uzdevumi	141
IZMANTOTIE TERMINI	143
TERMINU SKAIDROJUMS	145
IZMANTOTIE AVOTI	148
PIELIKUMI	149
1. Pielikums Piesātinātā ūdens tvaika īpašības	149
2. Pielikums Šķidrums blīvuma atkarība no temperatūras	151
3. Pielikums Šķidrums dinamiskās viskozitātes koeficienta atkarība no temperatūras	153
4. Pielikums SI sistēmā pieņemto reizinājumu un daļu mērvienību apzīmējumi	155
5. Pielikums Nomogramma dažu ķīmisko vielu siltumietilpības koeficienta c noteikšanai	156
6. Pielikums Fizikālie lielumi, koeficienti un to mērvienības	157

IEVADS

Ķīmiskās rūpniecības un farmācijas nozare tradicionāli ir bijusi viena no nozīmīgākajām Latvijā un īpaši izceļas ar spēju saražot eksportspējīgus produktus ar augstu pievienoto vērtību. To veido gan vēsturiski spēcīga ķīmijas zinātnes tradīcija, gan pēdējos gados modernizēti ražošanas uzņēmumi un izcili prāti, kas spēj radīt jaunus produktus.

Ķīmijas un farmācijas nozares uzņēmumu modernizācija nav iedomājama bez jaunām iekārtām un inovatīvām tehnoloģijām, kuras praktiski nevar apgūt, ja nav spēcīgas zināšanu bāzes. Uzņēmumiem vienmēr jāseko līdzi zinātnes un tehnoloģiju attīstībai.

Jebkura ķīmiska vai farmācijas ražotne ir sarežģītu tehnoloģisko procesu kopums – no sildīšanas, dzesēšanas un kondensācijas līdz ietvaicei, separēšanai un žāvēšanai. Visu šo procesu īstenošana prasa drošu siltumapmaiņas procesu tehnoloģiju, kā arī siltummaiņu izmantošanu.

Siltumenerģijas izmaksas ķīmiskajās ražotnēs veido būtisku daļu no kopējām enerģijas izmaksām. Dažos ķīmiskās rūpniecības uzņēmumos (cementa, stikla, keramikas rūpniecības uzņēmumi u. c.) siltumenerģijas patēriņš ražošanā ir vēl augstāks. Vairāku tehnoloģisko procesu pamatā ir siltumprocesi, piemēram, ietvaicēšana, žāvēšana, destilācija, dzesēšana u. c. Siltumapmaiņas procesu un aparātu plaša izmantošana ķīmiskās rūpniecības nozarē prasa no darbiniekiem dziļu izpratni par šo procesu teorētiskām likumsakarībām, kā arī prasmi izmantot iegūtās zināšanas praksē. Ņemot vērā iepriekš minēto, ir ļoti būtiski pārzināt siltumapmaiņas procesu pamatnostādnes un ievirzīt topošo speciālistu siltumprocesi un siltummaiņu projektēšanā (aprēķināšanā) un to racionālā izvēlē.

DML „**Siltumapmaiņas procesi ķīmiskās rūpniecības un tās saskarnozaru uzņēmumos**” sniedz atbalstu ķīmiskās rūpniecības un tās saskarnozaru (ķīmija, farmācija, biotehnoloģija, vide) izglītojamiem profesionālās izglītības saturā apgūvē un pedagogiem izglītības programmu īstenošanā.

DML tiek aplūkoti svarīgākie teorētiskie priekšstatī par siltumapmaiņas procesiem ķīmiskās rūpniecības un tās saskarnozaru uzņēmumos, izanalizētas siltumvadīšanas, konvekcijas un siltumstarošanas procesu svarīgākās likumsakarības. Atsevišķā nodaļā tiek iztirzātas sildīšanas metodes un siltummaiņu konstrukcijas sildīšanai ar dažādiem siltumnesējiem, to darbības principi un aprēķinu pamatprincipi, kā arī siltummaiņu aprēķinu piemēri. Katras nodaļas beigās doti raksturīgāko uzdevumu risināšanas piemēri, patstāvīgie uzdevumi patstāvīgai risināšanai ar atbildēm un ieteikumi pedagogiem par ieskaites darbiem. Risinot uzdevumus, izglītojamie izmantos teorētiskās zināšanas praksē, aprēķinu rezultātā iegūs svarīgus datus, sastādot procesa siltuma bilanci un izvēloties siltummaiņi, pilnveidos savu profesionālo kompetenci.

DML ir mācību materiālu komplekts, kurā ietilpst:

- PDF mācību materiāls, kurā ir iekļauts mācību teksts ar uzdevumiem, ko iespējams lejupielādēt un skatīt datorā vai izdrukāt;
- e-mācību materiāls, kurā ir iekļauti konspektīvi kopsavilkumi, audio vizuāli materiāli, attēli, interaktīvi uzdevumi ar pārbaudes iespējām u. c. digitālais saturs, kas papildina PDF materiālu.

Mācību līdzeklis paredzēts ķīmiskās rūpniecības un tās saskarnozaru kvalifikāciju struktūrā ietilpstošajām Latvijas kvalifikāciju ietvarstruktūras 3. un 4. līmeņa profesionālajām kvalifikācijām "Biotehnoloģisko procesu tehniķis", "Ķīmisko procesu tehniķis", "Farmaceutisko procesu tehniķis", "Kosmētikas un parfimērijas procesu tehniķis", "Materiālu ķīmijas tehniķis", "Ķīmisko procesu operators", "Biotehnoloģisko procesu operators", "Vides tehniķis" u. c, apgūstot profesionālo kompetenču kursus (A un B daļas moduļus), kā arī ar ķīmisko rūpniecību un tās saskarnozarēm saistītajām profesijām un daļai no modulārās profesionālās izglītības programmas izstrādāto A un B daļas moduļu satura apguvei saskaņā ar profesiju standartiem.

SILTUMAPMAIŅAS PROCESU VISPĀRĪGS RAKSTUROJUMS

Siltumapmaiņas (siltumpārneses) procesi ir vieni no svarīgākajiem procesiem jebkurā ķīmiskās rūpniecības un tās saskarnozaru uzņēmumā. Aptuveni 25 % [3] no kopējām investīcijām ražošanas tehnoloģiskajās iekārtās tiek tērētas dažādu siltumapmaiņas aparātu iegādei. Dažās ķīmiskās rūpniecības nozarēs (metallurģijā, būvmateriālu ražošanā, stikla pārstrādē, keramikas rūpniecībā u. c.) siltumenerģijas patēriņš ir vēl augstāks. Daudzu ražošanas tehnoloģisko procesu pamatā ir siltumapmaiņas procesi, piemēram, dzesēšana, ietvaicēšana, žāvēšana, pārtvaice u. c.



DEFINĪCIJA

Siltumapmaiņa (siltumpārnese) ir enerģijas transporta process starp cietiem ķermeņiem, šķidrumiem vai gāzēm līdzsvara sasniegšanas virzienā no vietas ar augstāku temperatūru uz vietu ar zemāku temperatūru.

Vielu (ķermeni) ar augstāku temperatūru, kas siltumapmaiņas procesā atdod siltumu, sauc par **karsto siltumnesēju**; savukārt vielu (ķermeni) ar zemāku temperatūru, kas uzņem atdoto siltumu, sauc par **auksto siltumnesēju**.

Tātad siltumapmaiņas (siltumpārneses) procesu virzošais spēks ir temperatūras starpība starp karsto un auksto siltumnesēju (vidi).

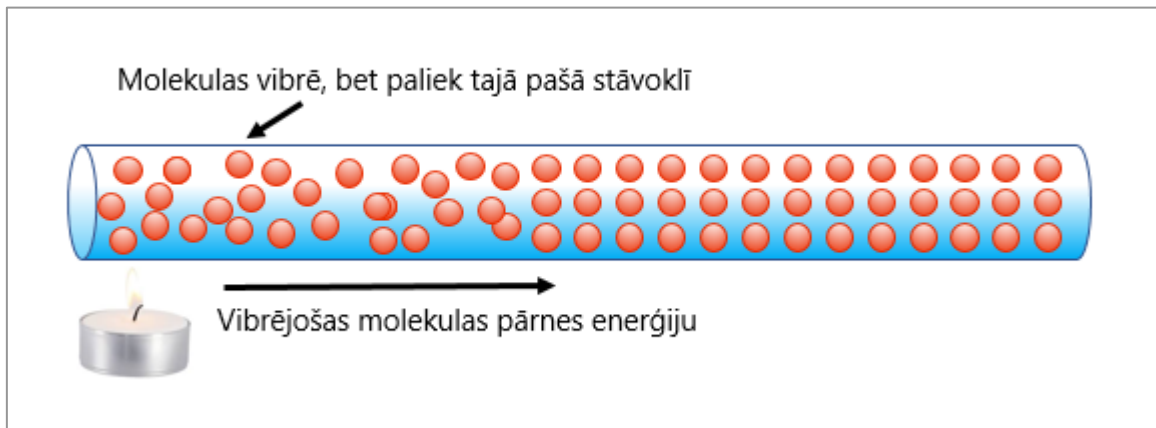


DEFINĪCIJA

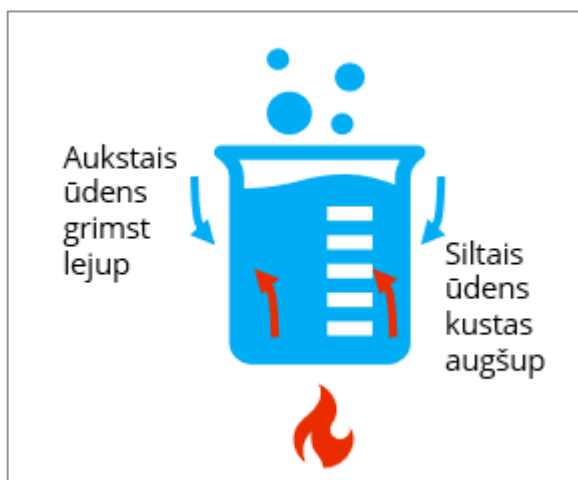
Vielas vai ķermeņus, kas piedalās siltumapmaiņas (siltumpārnese) procesos, sauc par siltumnesējiem.

Siltumapmaiņa (siltumpārnese) noris trīs dažādos veidos, kas pēc savas fizikālās būtības krasi atšķiras:

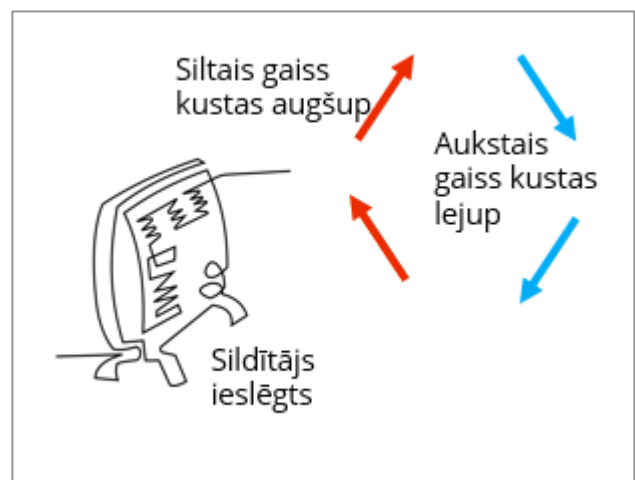
- **siltumvadīšana** (skat. 1. attēlu);
- **konvekcija vai siltumatdeve** (skat. 2., 3. attēlu);
- **siltumstarošana** (skat. 4. attēlu).



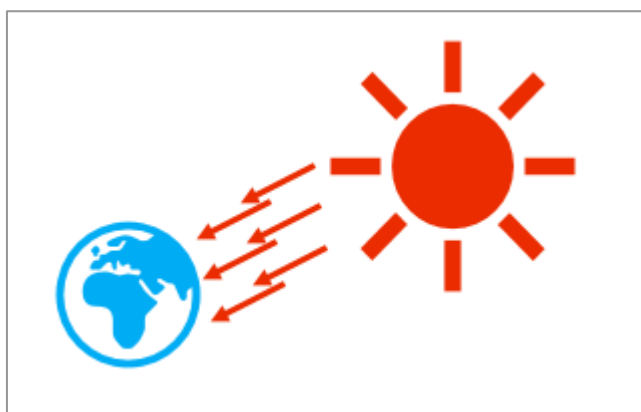
1. attēls. Siltumvadīšana cietvielās



2. attēls. Konvekcijas procesa shēma šķidrumos



3. attēls. Konvekcijas procesa shēma gāzēs



4. attēls. **Siltumstarošanas shēma**

Tomēr praksē reti kad sastopas ar vienu atsevišķu siltumpārnēsi. Parasti tie ir dažādās kombinācijās, piemēram, siltumvadīšana un konvekcija; konvekcija un siltumstarošana u. c. Bieži vien viens siltumpārnēsi process gūst pārsvaru, un pārējiem procesiem var būt niecīga ietekme.



DEFINĪCIJA

Ja siltumpārnēsi process starp gāzēm vai šķidrumiem tiek realizēts caur norobežojošu virsmu, tad šādu siltumapmaiņas procesu sauc par siltumpāreju.

Siltumapmaiņā (pārnēsē) izšķir stacionārus un nestacionārus procesus. Stacionāru procesu gadījumā temperatūra katrā materiālās vides punktā ir pastāvīgs lielums, tā ir atkarīga tikai no punkta atrašanās vietas un nemainās laikā. Saskaņā ar to arī kopējā siltuma plūsma ir nemainīgs (*const*) lielums.

Nestacionāru procesu gadījumā temperatūra ir atkarīga no punkta atrašanās vietas, un tā mainās siltumpārnēsi procesa laikā (nestacionārie procesi noris periodiskās darbības aparātos, tehnoloģisko iekārtu palaišanas, apstādināšanas darbības posmos u. c).

1.

SILTUMVADĪŠANA

Nodaļas mērķis	Attīstīt izglītojamo prasmes veikt mikrobioloģisko testēšanu, sagatavojot šķīdumus, reaģentus vai citus komponentus mikrobioloģisko testu veikšanai.
Sasniedzamie rezultāti	Spēj: veikt siltumapmaiņas aprēķinus siltumvadīšanas procesā, sastādot siltuma bilanci. Zina: siltumapmaiņas aprēķinu paņēmienus siltumvadīšanas procesā, siltumizolācijas materiālus un to izmantošanu, siltuma zudumu aprēķinus siltumvadīšanas procesā.

Siltumvadīšana ir viens no siltumapmaiņas (siltumpārneses) veidiem.



DEFINĪCIJA

Par siltumvadīšanu sauc molekulāro siltumpārnesi starp vielas daļiņām, tām saduroties siltuma kustības rezultātā.

Daļiņu svārstību enerģija šo sadursmju rezultātā izlīdzinās. Siltumvadīšana ir atkarīga no temperatūras sadalījuma ķermenī vai vidē. Molekulārā siltumpārnese ir iespējama materiālā vidē vai ķermenī ar nevienmērīgu temperatūras sadalījumu. Jebkurā ķermenī, savienojot punktus ar vienādu temperatūru, iegūst tā saucamās izotermiskās virsmas.

Temperatūra jebkurā vides vai ķermeņa vietā atkarīga no attiecīga punkta koordinātām un laika, tādēļ var rakstīt:

$$T = f(x; y; z; t) \quad (1.1)$$

Šādi temperatūra mainās gadījumā, ja siltuma plūsma vadīšanas rezultātā ir nestacionāra.

Ja siltuma plūsma ir stacionāra (nemainās atkarībā no laika), tad var rakstīt:

$$T = f(x; y; z) \quad (1.2)$$

Siltumenerģija ķermenī vai materiālā vidē patstāvīgi izplatās tikai temperatūras samazināšanās virzienā.

Siltumprocesus cietos ķermeņos pētījis franču fiziķis Ž. B. Furjē. Viņš atklāja (Furjē likums), ka **siltuma daudzums dQ , kas tiek pārnesti siltumvadīšanas rezultātā, ir proporcionāls temperatūras gradientam dt/dx , virsmas laukumam dS , kas perpendikulārs plūsmas virzienam, un laikam $d\tau$:**

$$dQ = -\lambda dS \frac{dt}{dx} d\tau \quad (1.3)$$

kur

λ – vielas siltumvadītspējas koeficients, $\frac{W}{m \cdot K}$;

$\frac{dt}{dx}$ – temperatūras gradients,

kur

dt – temperatūras starpība starp izotermiskām virsmām, K;

dx – attālums starp šīm virsmām, m.

Temperatūras gradients $\frac{dt}{dx}$ vienmēr ir negatīvs, jo siltums izplatās no augstākas temperatūras uz zemāku. Jo lielāks ir temperatūras gradients, jo spēcīgāka siltumvadīšana.

1.1. VIELAS SILTUMVADĪTSPĒJAS KOEFICIENTS

Siltumvadītspējas koeficients λ ir viens no svarīgākajiem vielas fizikālajiem lielumiem, kas raksturo vielas spēju vadīt siltumu.

No vienādojuma (1.3) iegūstam:

$$[\lambda] = -\frac{Q \cdot dx}{dS \cdot dt \cdot d\tau} = \frac{J \cdot m}{m^2 \cdot s \cdot K} = \frac{W}{m \cdot K}$$



DEFINĪCIJA

Siltumvadītspējas koeficients λ raksturo to siltuma daudzumu džoulos (J), kas izplūst caur 1 m^2 virsmas vienā sekundē (s), ja temperatūras starpība starp virsmām ir 1 K un attālums starp tām 1 m .

Siltumtehnikajos aprēķinos pieņem, ka $1 \text{ K} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Lielākajai daļai materiālu siltumvadītspējas koeficients λ mainās atkarībā no temperatūras pēc vienādojuma (lineāri):

$$\lambda = \lambda_0 \cdot (1 + \alpha t) \quad (1.4)$$

kur

λ_0 – siltumvadītspējas koeficients $0 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrā;

α – konstante, kuru nosaka eksperimentāli (raksturīga katram materiālam).

**BŪTISKI**

Siltumvadītspējas koeficients λ ir atkarīgs no vielas struktūras, blīvuma, mitruma, temperatūras.

Gāzēm un tvaikiem λ ir atkarīgs arī no spiediena.

Siltumtehnikajos aprēķinos siltumvadītspējas koeficienta vērtību izvēlas, izmantojot tabulas un rokasgrāmatas.

Siltumvadītspējas koeficients λ gāzēm svārstās robežās no 0,01 līdz 0,03 $\frac{W}{m \cdot K}$. Siltumvadāmība gāzēm ir maz atkarīga no spiediena, izņemot ļoti zemus spiedienus ($< 0,03$ MPa) un ļoti augstus spiedienus (> 200 MPa).

Siltumvadītspējas koeficients λ šķidrumiem mainās intervālā no 0,1 līdz 0,7 $\frac{W}{m \cdot K}$. Pieaugot temperatūrai, λ samazinās, izņemot ūdeni un glicerīnu. Siltumvadītspējas koeficienti λ cietiem materiāliem ir līdz 100 reizēm lielāki, salīdzinot ar šķidrumiem. Vislabāk siltumu vada metāli.

Siltumvadītspējas koeficienta λ skaitliskā vērtība metāliem ir robežās no 20 līdz 418 $\frac{W}{m \cdot K}$. No metāliem labākais siltumvadītājs ir sudrabs ($\lambda = 418 \frac{W}{m \cdot K}$, diezgan slikti siltumu vada titāns ($\lambda \approx 20 \frac{W}{m \cdot K}$).

Metālu siltumvadītspēju ievērojami ietekmē piemaisījumi. Paaugstinoties temperatūrai, metālu siltumvadītspējas koeficients pieaug (izņēmums – sakausējums bronza).

Būvmateriāliem siltumvadītspējas koeficienta λ skaitliskā vērtība mainās intervālā no 0,02 līdz 3,0 $\frac{W}{m \cdot K}$. Irdeniem, šķiedrainiem un porainiem materiāliem siltumvadītspējas koeficients ir atkarīgs no tilpummasas (porainības) un mitruma. Jo mazāka tilpummasa un mitrums, jo siltumvadāmība sliktāka un siltumvadītspējas koeficients λ mazāks. Materiāli, kuriem siltumvadītspējas koeficients $\lambda < 0,2 \frac{W}{m \cdot K}$, tiek izmantoti kā **siltumizolācijas materiāli**.

Dažu populārāko vielu siltumvadītspējas koeficienti 20 °C temperatūrā apkopoti 1.1. tabulā.

1.1. tabula

Dažu vielu siltumvadītspējas koeficienti 20 °C temperatūrā

Viela	$\lambda, \frac{W}{m \cdot K}$	Viela	$\lambda, \frac{W}{m \cdot K}$
Gāzes (p = 0,2 MPa)		Gāzes (p = 0,2 MPa)	
CO ₂	0,016	CH ₄	0,035
N ₂	0,025	O ₂	0,026
Gaiss	0,026		

Viela	$\lambda, \frac{W}{m \cdot K}$	Viela	$\lambda, \frac{W}{m \cdot K}$
Cietvielas		Šķidrums	
Tērauds	36–54	Ūdens	0,598
Legētie tēraudi	20	Etanols (96 %)	0,175
Čuguns	46–93	Augu eļļas	0,1–0,35
Alumīnijs (99,75 %)	229	Organiskie šķidrums	0,09–0,477
Varš, elektrolītiski tīrs	395	Etilēnglikols	0,25
Sudrabs (99,98 %)	418	Amonjaks	0,541
Titāns	20	Naftas eļļas	0,12
Stikls	0,7–1,2	Silikonēļļa	0,16
Betons	0,8		
Akmens vate, stikla vate	0,03–0,04		
Putu polistirols	0,035		
Azbests	0,15		
Koks	0,1–0,3		
Putubetons	0,05–0,3		
Gāzbetons	0,1–0,3		

Detalizēta informācija par vielu siltumvadītspējas koeficientiem citās temperatūrās atrodama speciālajā literatūrā [3, 11].

1.2. SILTUMVADĪŠANAS VIENĀDOJUMS

Siltumvadīšanas vienādojumu iegūst, pamatojoties uz **enerģijas nezūdamības likumu**.

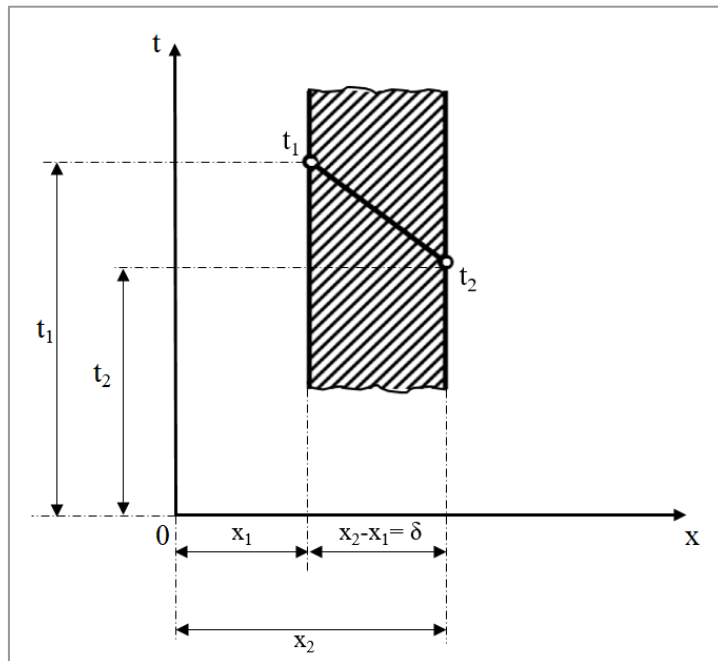
No Furjē likuma, veicot noteiktus matemātiskus pārveidojumus, iegūst siltumvadīšanas diferenciālvienādojumu stacionārā vidē jeb Furjē–Kirhofa vienādojumu:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (1.5)$$

Šis vienādojums apraksta temperatūras izmaiņas siltumvadīšanas procesā laikā un telpā stacionārā vidē.

1.3. SILTUMVADĪŠANA PLAKANĀ SIENĀ

Aplūkosim siltumpārnesi caur plakanu sienu (skat. 1.1. attēlu), kuras garums un platums ir nesalīdzināmi lielāks par tās biezumu.



1.1. attēls. Siltumvadīšana plakanā sienā



DEFINĪCIJA

Lielumu $\frac{\delta}{\lambda}$ sauc par sienas termisko pretestību (apzīmē ar R , mērvienība – $\frac{m^2 \cdot K}{W}$).

Lai piemērotu diferenciālvienādojumu (1.5) konkrētam gadījumam, jānosaka robežnosacījumi.



BŪTISKI

Vienādojums (1.6) ir siltumvadīšanas vienādojums plakanā sienā stacionārā siltumapmaiņas procesa gadījumā.

Risinot diferenciālvienādojumu un veicot integrēšanu temperatūras robežās no t_1 līdz t_2 (robežnosacījumi), izmantojot Furjē likumu (1.3), iegūst:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) S \quad (1.6)$$

kur

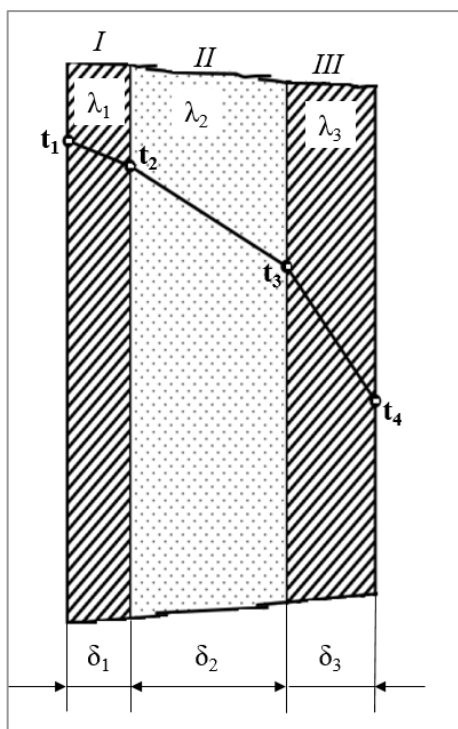
Q – siltuma daudzums, kas izplūst caur sienu laika vienībā, W ;

λ – siltumvadītspējas koeficients, $\frac{W}{m \cdot K}$;

δ – sienas biezums, m ;

S – sienas laukums, m^2 .

1.4. SILTUMVADĪŠANA KĀRTAINĀ PLAKANĀ SIENĀ



1.2. attēls. Siltumvadīšana kārtainā plakanā sienā

Siena, caur kuru notiek siltumvadīšana, praksē bieži sastāv no vairākām dažādu materiālu kārtām δ_1 , δ_2 un δ_3 (skat. 1.2. attēlu). Piemēram, ugunsizturīgo ķieģeļu kārtā un parasto ķieģeļu kārtā krāsnīs, metāla siena un izolācijas kārtā emaljētos reaktoros, siltumapmaiņas aparātos u. tml.

Ņemot vērā, ka katrai šai kārtai ir atšķirīga termiskā pretestība, formula (1.6) jāpārveido, ievērojot atsevišķo kārtu termisko pretestību. Pēc pārveidojumiem iegūst:

$$Q = \frac{t_1 - t_n}{\sum_1^{n-1} \frac{\delta}{\lambda}} \cdot S \quad (1.7)$$

kur

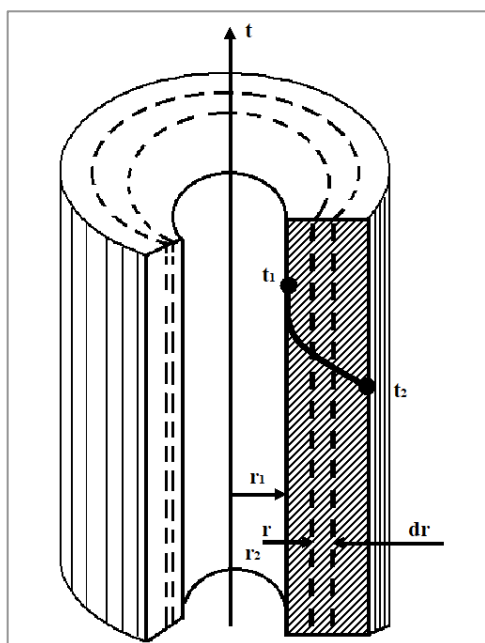
Q – siltuma daudzums, kas izplūst caur sienas kārtām laika vienībā, W;

t_1 – augstākā temperatūra, °C (1. kārtā);

t_n – zemākā temperatūra, °C (n-tā kārtā);

$$\sum_1^{n-1} \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}$$

1.5. SILTUMVADĪŠANA CILINDRISKĀ SIENĀ



1.3. attēls. Siltumvadīšanas shēma viendabīgā cilindriskā sienā

Aplūkosim viendabīgu cilindrisku sienu jeb cauruli (skat. 1.3. attēlu), kuras garums ir L , iekšējais diametrs ir d_1 , ārējais diametrs – d_2 . Uz iekšējās sienas tiek uzturēta temperatūra t_1 , ārējās sienas temperatūra ir t_2 , turklāt $t_1 > t_2$. Temperatūra mainās tikai radiālā virzienā.

Ņemot vērā augstākminēto, izotermiskās virsmas būs cilindriskas. Izdalīsim cilindra sienā gredzenu ar rādiusu r un biezumu dr .

Pēc Furjē likuma (vienādojums 1.3) siltuma plūsma, kas iziet caur šo cilindrisko slāni laika vienībā, ir:

$$dQ = -\lambda S \frac{dt}{dx} = -\lambda 2\pi r L \frac{dt}{dr} \quad (1.8)$$

Pārveidojot vienādojumu (1.8.) un integrējot to, iegūstam:

$$dt = -\frac{Q}{2\pi\lambda L} \frac{dt}{r} \quad (1.9)$$

un

$$t = -\frac{Q}{2\pi\lambda L} \ln r + C \quad (1.10)$$

Uzdevuma robežnosacījumi ir:

$$\text{ja } r = r_1, \text{ tad } t = t_1,$$

$$\text{ja } r = r_2, \text{ tad } t = t_2.$$

Līdz ar to t_1 un t_2 būs:

$$t_1 = -\frac{Q}{2\pi\lambda L} \ln r_1 + C \quad (1.11)$$

$$t_2 = -\frac{Q}{2\pi\lambda L} \ln r_2 + C \quad (1.12)$$

Tad, veicot matemātiska rakstura pārveidojumus, iegūst:

$$t_1 - t_2 = \frac{Q}{2\pi\lambda L} \ln \frac{d_2}{d_1} \quad (1.13)$$

No vienādojuma (1.13) iegūst pilno siltuma plūsmu:

$$Q = \frac{2\pi\lambda L}{\ln \frac{d_2}{d_1}} (t_1 - t_2) \quad (1.14)$$

Iegūtais vienādojums (1.14) dod iespēju aprēķināt siltuma plūsmu caur cilindrisku virsmu. Šī vienādojuma izmantošana ir pieļaujama arī gadījumos, kad $t_1 < t_2$, tas ir, kad siltuma plūsma tiek vērsta virzienā no ārējās virsmas uz iekšu.

Siltuma plūsmas blīvumu cilindriskām caurulēm q var noteikt, attiecinot siltuma plūsmas lielumu Q pret caurules iekšējo vai ārējo virsmu vai arī visbiežāk pret caurules tekošo metru:

$$q = \frac{Q}{L} = \frac{2\pi\lambda}{\ln \frac{d_2}{d_1}} (t_1 - t_2) \quad (1.15)$$

1.6. ZINĀŠANU NOSTIPRINĀŠANA

1. Izotermiskām virsmām ir raksturīgs:

- vienāda temperatūra;
- vienāds spiediens;
- vienāds blīvums;
- vienāds siltumvadītspējas koeficients λ .

Izotermiskām virsmām ir raksturīga vienāda temperatūra.

2. Ar ko atšķiras stacionārie un nestacionārie siltumprocesī?

Stacionāru procesu gadījumā temperatūra katrā materiālās vides punktā ir pastāvīgs lielums, tā ir atkarīga tikai no punkta atrašanās vietas un nemainās laikā. Nestacionāru procesu gadījumā temperatūra ir atkarīga no punkta atrašanās vietas un tā mainās siltumpārnēšanas procesa laikā.

3. Kas ir temperatūras gradients?

Attiecība $\frac{dt}{dx}$ ir temperatūras gradients,

kur

dt – temperatūras starpība starp izotermiskām virsmām, K;

dx – attālums starp šīm virsmām, m.

4. Raksturot siltumvadītspējas koeficienta fizikālo būtību!

Siltumvadītspējas koeficients λ raksturo to siltuma daudzumu džoulos (J), kas izplūst caur 1 m^2 virsmas vienā sekundē (s), ja temperatūras starpība starp virsmām ir 1 K un attālums starp tām 1 m.

5. Kas ir raksturīgs siltumizolācijas materiāliem? Nosaukt siltumizolācijas materiālu veidus (piemērus)!

Siltumizolācijas materiāliem ir zems siltumvadītspējas koeficients λ ($\lambda < 0,2 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$). Siltumizolācijas materiālu veidi – porainie materiāli (putuplasts, putubetons u. c.), minerālvate, akmens vate u. c.

6. Vai siltumvadītspējas koeficients ir atkarīgs no materiāla biezuma? Kāpēc?

Nav atkarīgs, jo siltumvadītspējas koeficients raksturo materiālu (tā īpašības).

7. Kāpēc siltumizolācijas nolūkos bieži izmanto porainos materiālus? (paaugst. grūtības)

Siltumizolācijas nolūkos porainos materiālus bieži izmanto tāpēc, ka materiāla porās ir gaiss, kuram ir ļoti mazs siltumvadītspējas koeficients λ (gaiss slikti vada siltumu).

8. Kādām vielām ir maksimālie siltumvadītspējas koeficienti? Kāpēc? (paaugst. grūtības)

Maksimālie siltumvadītspējas koeficienti ir metāliem to kristāliskā režģa uzbūves dēļ (metālu atomi režģī atrodas ļoti tuvu viens otram).

9. Siltumizolācijas materiāliem ir raksturīgs:

- zems siltumvadītspējas koeficients λ ;
- augsts siltumvadītspējas koeficients λ ;
- zems temperatūras gradients $\frac{dt}{dx}$;
- augsts temperatūras gradients $\frac{dt}{dx}$.

Siltumizolācijas materiāliem ir raksturīgs zems siltumvadītspējas koeficients λ .

10. Kas ir sienas termiskā pretestība?

Lielumu $\frac{\delta}{\lambda}$ sauc par sienas termisko pretestību,

kur

δ – sienas biezums, m;

λ – sienas materiāla siltumvadītspējas koeficients, $\frac{W}{m \cdot K}$

1.7. UZDEVUMU RISINĀŠANAS PIEMĒRI UN PATSTĀVĪGIE UZDEVUMI PAR SILTUMVADĪŠANU PLAKANĀ SIENĀ

1.7.1. UZDEVUMU RISINĀŠANAS PIEMĒRI



BŪTISKI

Risinot uzdevumus par siltumvadīšanu plakanā sienā, jāizmanto SI sistēmas mērvienības! (skat. 6. pielikumu)

1. uzdevums

Noteikt siltuma zudumus ķieģeļu sienā, kuras augstums ir 5 m, platums ir 4 m, biezums 250 mm!

Uz ķieģeļu sienas virsmām tiek uzturēta pastāvīga temperatūra $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_2 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ķieģeļa siltumvadītspējas koeficients

$$\lambda = 0,7 \frac{W}{m \cdot K}$$

Atrisinājums

Nosakām sildvirsmas lielumu S :

$$S = 5 \cdot 4 = 20 \text{ m}^2$$

Izmantojot vienādojumu (1.6), siltuma zudumi Q būs:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) \cdot S = \frac{0,7}{0,25} (20 - (-15)) \cdot 20 = 1960 \text{ W} \approx 1,96 \text{ kW}$$

Tātad siltuma zudumi no 20 m^2 ķieģeļu sienas ir 1,96 kW.

2. uzdevums

Aparāts ar diametru $D = 2 \text{ m}$ un augstumu $H = 5 \text{ m}$ pārklāts ar 30 mm biezu minerālvates izolācijas kārtu. Aparāta sienas temperatūra $t_1 = 145 \text{ }^\circ\text{C}$, izolācijas kārtas ārējās virsmas temperatūra $t_2 = 35 \text{ }^\circ\text{C}$. Minerālvates siltumvadītspējas koeficients $\lambda = 0,04 \frac{W}{m \cdot K}$. Noteikt siltuma zudumus caur izolācijas kārtu!

Atrisinājums

Nosakām sildvirsmas lielumu (aparātam ir cilindriska forma) S :

$$S = \pi \cdot \left(D \cdot H + 2 \frac{D^2}{4} \right) = 3,14 (2,03 \cdot 5 + 2 \frac{2^2}{4}) = 38,15 \text{ m}^2$$

Tad siltuma zudumi caur izolācijas kārtu Q būs (pēc vienādojuma 1.6):

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) \cdot S = \frac{0,04}{0,03} (145 - 35) \cdot 38,15 = 5595,33 \text{ W} \approx 5,6 \text{ kW}$$

Tātad siltuma zudumi Q no aparāta izolācijas kārtas ir 5,6 kW.

3. uzdevums

Cik biežam jābūt minerālvates izolācijas slānim, lai īpatnējie siltuma zudumi no reaktora sienas nepārsniegtu $200 \frac{W}{m^2}$? Temperatūra uz reaktora virsmas ir $t_1 = 500^\circ C$, temperatūra uz izolācijas slāņa virsmas nedrīkst pārsniegt $t_2 = 30^\circ C$. Minerālvates siltumvadītspējas koeficients $20^\circ C$ $\lambda = 0,05 \frac{W}{m \cdot K}$.

Atrisinājums

Īpatnējos siltuma zudumus q nosaka pēc vienādojuma 1.6:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2), \frac{W}{m^2}$$

no kura var izteikt nepieciešamo izolācijas slāņa biezumu δ :

$$\delta = \frac{\lambda}{q} (t_1 - t_2), m$$

Ņemot vērā lielu temperatūras starpību, nosakām siltumvadītspējas koeficientu λ_{1-2} vidējā temperatūrā t_{1-2} :

$$t_{1-2} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{500 + 30}{2} = 265^\circ C$$

λ_{1-2} vērtību atrod pēc tabulām rokasgrāmatās $265^\circ C$: $\lambda_{1-2} = 0,1 \frac{W}{m \cdot K}$.

Tad nepieciešamais izolācijas slāņa biezums δ būs:

$$\delta = \frac{\lambda}{q} (t_1 - t_2) = \frac{0,1}{200} (500 - 30) = 0,235 m \text{ vai } 235 mm$$

Lai siltuma zudumi nepārsniegtu $200 \frac{W}{m^2}$, minerālvates slāņa biezumam δ jābūt 235 mm lielam.

4. uzdevums

Žāvēšanas kamera ar garumu $a = 2 m$, augstumu $b = 5 m$ un platumu $c = 3 m$ pārklāta ar 40 mm biezu akmens vates izolācijas slāni. Žāvēšanas kameras sienas temperatūra $t_1 = 125^\circ C$, izolācijas slāņa ārējās virsmas temperatūra $t_2 = 35^\circ C$. Akmens vates siltumvadītspējas koeficients $\lambda = 0,045 \frac{W}{m \cdot K}$. Noteikt siltuma zudumus caur izolācijas slāni!

Atrisinājums

Nosakām sildvirsmas lielumu (aparātam ir paralēlskaldņa forma) S :

$$S = 2(ab + bc + ac) = 2 \cdot 31 = 62 m^2$$

Tad siltuma zudumi Q caur izolācijas kārtu būs (pēc vienādojuma 1.6):

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) S = \frac{0,045}{0,04} (125 - 35) \cdot 62 = 6277,5 W = 6,28 kW$$

Tātad siltuma zudumi no žāvēšanas kameras izolācijas kārtas ir 6,28 kW.

1.7.2. PATSTĀVĪGIE UZDEVUMI

1. uzdevums

Noteikt siltuma zudumus ķieģeļu sienā, kuras augstums ir 10 m, platums ir 5 m, biezums – 300 mm! Uz ķieģeļu sienas virsmām tiek uzturēta pastāvīga temperatūra $t_1 = 22\text{ }^\circ\text{C}$, $t_2 = -10\text{ }^\circ\text{C}$. Ķieģeļa siltumvadītspējas koeficientu λ , $\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ noteikt patstāvīgi!

Atbilde: 4 kW.

2. uzdevums

Aparāts, kura diametrs $D = 2,5\text{ m}$ un augstums $H = 4\text{ m}$, pārklāts ar 35 mm biezu minerālvates izolācijas kārtu. Aparāta sienas temperatūra $t_1 = 125\text{ }^\circ\text{C}$, izolācijas kārtas ārējās virsmas temperatūra $t_2 = 35\text{ }^\circ\text{C}$. Minerālvates siltumvadītspējas koeficients $\lambda = 0,038\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$. Noteikt siltuma zudumus caur izolācijas kārtu!

Atbilde: 4,03 kW.

3. uzdevums

Cik dziļi sasalst 500 mm bieza ķieģeļu siena, ja uz ķieģeļu sienas virsmām tiek uzturēta pastāvīga temperatūra $t_1 = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $t_2 = -10\text{ }^\circ\text{C}$? Ķieģeļa siltumvadītspējas koeficientu λ , $\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ noteikt patstāvīgi!

Atbilde: 0,167 m.

4. uzdevums

Cik biežam jābūt minerālvates izolācijas slānim, lai īpatnējie siltuma zudumi no reaktora sienas nepārsniegtu $200\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$? Temperatūra uz reaktora virsmas ir $t_1 = 450\text{ }^\circ\text{C}$, temperatūra uz izolācijas slāņa virsmas nedrīkst pārsniegt $t_2 = 30\text{ }^\circ\text{C}$. Minerālvates siltumvadītspējas koeficients $\lambda = 0,045\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$.

Atbilde: 0,095 m.

5. uzdevums

Žāvētavas kamera, kuras garums $a = 3\text{ m}$, augstums $b = 4\text{ m}$ un platums $c = 2\text{ m}$, pārklāta ar 35 mm biezu akmens vates izolācijas slāni. Žāvētavas kameras sienas temperatūra $t_1 = 110\text{ }^\circ\text{C}$, izolācijas slāņa ārējās virsmas temperatūra $t_2 = 30\text{ }^\circ\text{C}$. Akmens vates siltumvadītspējas koeficients $\lambda = 0,045\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$. Noteikt siltuma zudumus caur izolācijas slāni!

Atbilde: 5,35 kW.

6. uzdevums

Aparāts, kura diametrs $D = 1,5\text{ m}$ un augstums $H = 3\text{ m}$, pārklāts ar 30 mm biezu akmens vates izolācijas kārtu. Aparāta sienas temperatūra $t_1 = 100\text{ }^\circ\text{C}$, izolācijas kārtas ārējās virsmas

temperatūra $t_2 = 30\text{ }^\circ\text{C}$. Minerālvates siltumvadītspējas koeficients $\lambda = 0,039 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$. Noteikt siltuma zudumus caur izolācijas kārtu!

Atbilde: 1,61 kW.

7. uzdevums

Cik biežam jābūt minerālvates izolācijas slānim, lai īpatnējie siltuma zudumi no reaktora sienas nepārsniegtu $200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$? Temperatūra uz reaktora virsmas ir $t_1 = 350\text{ }^\circ\text{C}$, temperatūra uz izolācijas slāņa virsmas nedrīkst pārsniegt $t_2 = 35\text{ }^\circ\text{C}$. Minerālvates siltumvadītspējas koeficients $\lambda = 0,05 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$.

Atbilde: 0,079 m.

8. uzdevums

Cik biežam jābūt minerālvates izolācijas slānim, lai īpatnējie siltuma zudumi no reaktora sienas nepārsniegtu $195 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$? Temperatūra uz reaktora virsmas ir $t_1 = 330\text{ }^\circ\text{C}$, temperatūra uz izolācijas slāņa virsmas nedrīkst pārsniegt $t_2 = 35\text{ }^\circ\text{C}$. Minerālvates siltumvadītspējas koeficients $\lambda = 0,035 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$.

Atbilde: 0,053 m.

9. uzdevums

Noteikt siltuma zudumus ķieģeļu sienā, kuras augstums ir 15 m, platums ir 7 m, biezums – 500 mm! Uz ķieģeļu sienas virsmām tiek uzturēta patstāvīga temperatūra $t_1 = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $t_2 = -10\text{ }^\circ\text{C}$. Ķieģeļa siltumvadītspējas koeficientu λ , $\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ noteikt patstāvīgi!

Atbilde: 4,25 kW.

10. uzdevums

Rektifikācijas kolonna, kuras diametrs $D = 3\text{ m}$ un augstums $H = 7\text{ m}$, pārklāta ar 35 mm biezu minerālvates izolācijas kārtu. Aparāta sienas temperatūra $t_1 = 120\text{ }^\circ\text{C}$, izolācijas kārtas ārējās virsmas temperatūra $t_2 = 35\text{ }^\circ\text{C}$. Minerālvates siltumvadītspējas koeficients $\lambda = 0,04 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$. Noteikt siltuma zudumus caur izolācijas kārtu!

Atbilde: 7,79 kW.

11. uzdevums

Noteikt siltuma zudumus caur aparāta metāla kārtu (ja nav siltumizolācijas slāņa)! Aparāta – rektifikācijas kolonnas – diametrs $D = 3$ m un augstums $H = 7$ m, kolonnas sienas iekšējās virsmas temperatūra $t_1 = 120,5$ °C, kolonnas sienas ārējās virsmas temperatūra $t_2 = 120$ °C. Metāla kārtas biezums ir 5 mm, siltumvadītspējas koeficients $\lambda = 52 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$.

Atbilde: 416,4 kW.

12. uzdevums

Noteikt siltuma zudumus caur aparāta metāla kārtu (ja nav siltumizolācijas slāņa)! Aparāta – žāvētavas – garums $a = 4$ m, augstumu $b = 2,5$ m un platumu $c = 2$ m, žāvētavas sienas iekšējās virsmas temperatūra $t_1 = 90,5$ °C, žāvētavas sienas ārējās virsmas temperatūra $t_2 = 90$ °C. Metāla kārtas biezums ir 4,5 mm, siltumvadītspējas koeficients $\lambda = 46,5 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$.

Atbilde: 237,7 kW.

13. uzdevums

Cik dziļi sasilst 500 mm bieza paneļu siena, ja uz paneļu sienas virsmām tiek uzturēta pastāvīga temperatūra $t_1 = 19$ °C, $t_2 = -12$ °C? Betona paneļu materiāla siltumvadītspējas koeficientu $\lambda, \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ noteikt patstāvīgi!

Atbilde: 0,194 m.

14. uzdevums

Cik biežam jābūt minerālvates izolācijas slānim, lai īpatnējie siltuma zudumi no reaktora sienas nepārsniegtu $200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$? Temperatūra uz reaktora virsmas ir $t_1 = 300$ °C, temperatūra uz izolācijas slāņa virsmas nedrīkst pārsniegt $t_2 = 35$ °C. Minerālvates siltumvadītspējas koeficients $\lambda = 0,045 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$.

Atbilde: 0,067 m.

1.8. UZDEVUMU RISINĀŠANAS PIEMĒRI UN PATSTĀVĪGIE UZDEVUMI PAR SILTUMVADĪŠANU KĀRTAINĀ PLAKANĀ SIENĀ

1.8.1. UZDEVUMA RISINĀŠANAS PIEMĒRS

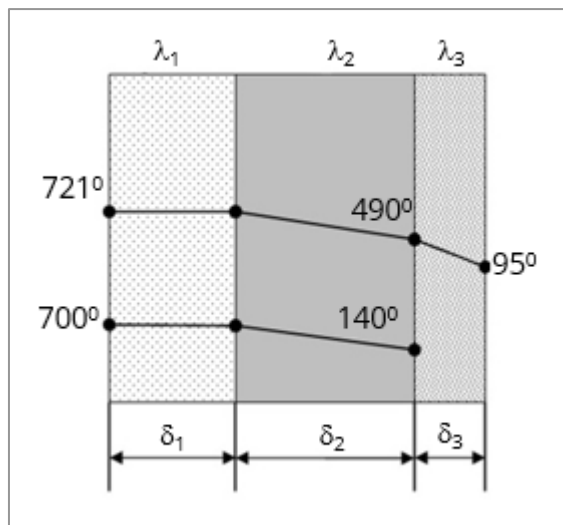


BŪTISKI

Risinot uzdevumus par siltumvadīšanu kārtainā plakanā sienā, jāizmanto SI sistēmas mērvienības! (skat. 6. pielikumu)

Krāsns iekšpuse izmūrēta ar ugunsizturīgiem 120 mm bieziem ķieģeļiem, ārējā siena ir no parastajiem 160 mm bieziem ķieģeļiem (skat. 1.4. attēlu). Krāsns darbojas stacionārā režīmā. Iekšējās sienas temperatūra $t_1 = 700$ °C, ārējās sienas temperatūra $t_3 = 140$ °C. Siltuma zudumu samazināšanas nolūkā ārējā siena tiek pārklāta ar 50 mm biezu magnija oksīda izolācijas kārtu (siltumvadītspējas koeficients $\lambda = 0,085 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$).

Iekšējā temperatūra paaugstinājās līdz $721\text{ }^{\circ}\text{C}$ (t_1), starp ķieģeļu slāņiem – līdz $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ (t_2), uz ķieģeļu un izolācijas robežas – līdz $490\text{ }^{\circ}\text{C}$ (t_3), ārpusē – līdz $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ (t_4). Aprēķināt siltuma zudumus no krāsns ārējās virsmas abos gadījumos!



1.4. attēls. Temperatūras sadalījums kārtainā plakanā sienā

Atrisinājums

Izmantojot vienādojumu daudzkārtainu sienu q aprēķinam (1.7), varam rakstīt:

$$q^I = \frac{t_{iekš} - t_{ār}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}}$$

Īpatnējā siltuma plūsma sākumā:

$$q^n = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (t_{iekš}^{II} - t_2^{II}) = \frac{\lambda_2}{\delta_2} (t_2^{II} - t_3^{II}) = \frac{\lambda_{iz}}{\delta_{iz}} (t_3^{II} - t_{ār}^{II})$$

Īpatnējā siltuma plūsma, pārklājot sienu ar izolācijas slāni, būs:

$$q^I = \frac{(700 - 140)}{\frac{0,12}{\lambda_1} + \frac{0,16}{\lambda_2}}$$

kur λ_1, λ_2 nav zināmi.

$$q^n = \frac{\lambda_1}{0,12} (721 - 660) = \frac{\lambda_2}{0,16} (660 - 490) = \frac{0,085}{0,05} (490 - 95) = 671,5 \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

Zinot īpatnējā siltuma plūsmu, varam noteikt λ_1 un λ_2 :

$$\lambda_1 = 671,5 \cdot \frac{0,12}{61} = 1,32 \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$$

$$\lambda_2 = 671,5 \cdot \frac{0,16}{170} = 0,632 \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$$

Nosakām īpatnējā siltuma plūsmu pirms siltumizolācijas slāņa uzklāšanas:

$$q^I = \frac{(700 - 140)}{\frac{0,12}{1,32} + \frac{0,16}{0,632}} = 1630 \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$$

Uzklājot 50 mm siltumizolācijas slāni, siltuma zudumi samazinās no $1630 \frac{W}{m^2}$ līdz $671,5 \frac{W}{m^2}$.

1.8.2. PATSTĀVĪGIE UZDEVUMI

1. uzdevums

Krāsns iekšpusē atrodas 180 mm bieza ugunsizturīga materiāla siena, ārējā siena ir no parastajiem 200 mm bieziem ķieģeļiem (skat. 1.5. attēlu). Krāsns darbojas stacionārā režīmā. Iekšējās sienas temperatūra ir 600 °C. Ārējās sienas temperatūra – 150 °C. Lai samazinātu siltuma zudumus, ārējā siena pārklāta ar 40 mm biezu magnija oksīda ($\lambda = 0,085 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$) izolācijas kārtu. Iekšējā temperatūra paaugstinājās līdz 621 °C ($t_{\text{iekš}}$), starp materiālu un ķieģeļu slāni temperatūra ir 560 °C (t_2), uz ķieģeļu un izolācijas robežas –390 °C (t_3), ārpusē – 75 °C ($t_{\text{ār}}$). Aprēķināt siltuma zudumus no žāvētavas virsmas abos gadījumos!

Atbilde:

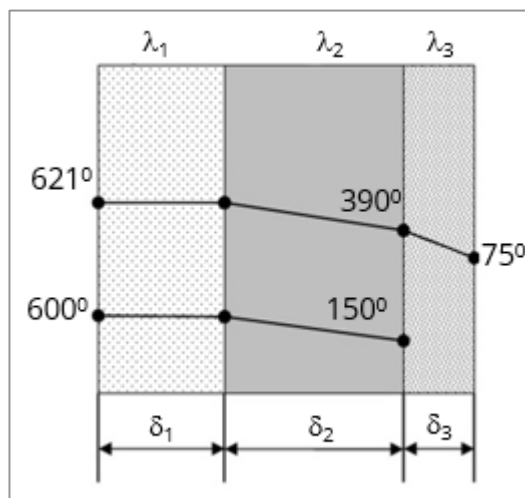
uzklājot 40 mm siltumizolācijas slāni, siltuma zudumi samazinās no $951,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ līdz $431,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

2. uzdevums

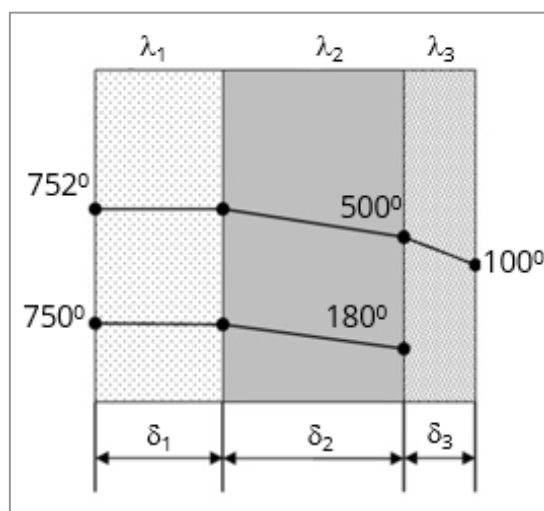
Krāsns iekšpusē izmūrēta ar ugunsizturīgiem 100 mm bieziem ķieģeļiem, ārējā siena – no 150 mm bieziem parastajiem ķieģeļiem (skat. 1.6. attēlu). Krāsns darbojas stacionārā režīmā. Iekšējās sienas temperatūra ir 750 °C, ārējās sienas temperatūra – 180 °C. Lai samazinātu siltuma zudumus, ārējā siena pārklāta ar 50 mm biezu magnija oksīda ($\lambda = 0,085 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$) izolācijas kārtu. Iekšējā temperatūra paaugstinājās līdz 752 °C ($t_{\text{iekš}}$). Temperatūras: starp ķieģeļiem – 680 °C (t_2), uz ķieģeļu un izolācijas robežas – 500 °C (t_3), ārpusē – 100 °C ($t_{\text{ār}}$). Aprēķināt siltuma zudumus no krāsns virsmas abos gadījumos!

Atbilde:

uzklājot 50 mm siltumizolācijas slāni, siltuma zudumi samazinās no $1488,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ līdz $787,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.



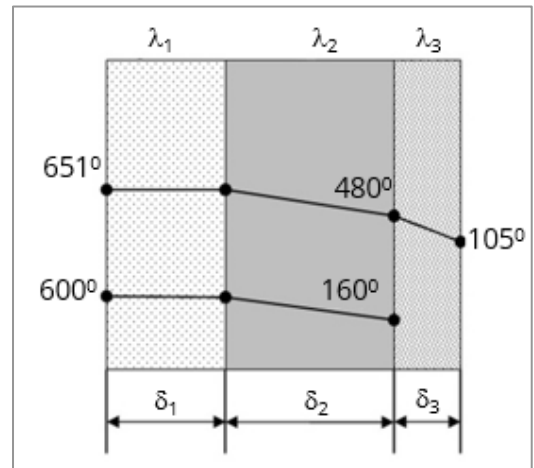
1.5. attēls. Temperatūras sadalījums 1. patstāvīgajam uzdevumam



1.6. attēls. Temperatūras sadalījums 2. patstāvīgajam uzdevumam

3. uzdevums

Žāvētāja iekšpusē atrodas 150 mm bieza ugunsizturīga materiāla siena, ārējā siena būvēta no 190 mm bieziem parastajiem ķieģeļiem (skat. 1.7. attēlu). Žāvētājs darbojas stacionārā režīmā. Iekšējās sienas temperatūra ir 650 °C, ārējās sienas temperatūra – 160 °C. Lai samazinātu siltuma zudumus, ārējā siena pārklāta ar 70 mm biezu magnija oksīda ($\lambda = 0,085 \frac{W}{m \cdot K}$) izolācijas kārtu. Iekšējā temperatūra paaugstinājās līdz 651 °C ($t_{iekš}$). Temperatūras: starp materiālu un ķieģeļu slāni – 600 °C (t_2), uz ķieģeļu un izolācijas robežas – 480 °C (t_3), ārpusē – 105 °C ($t_{ār}$). Aprēķināt siltuma zudumus no žāvētāja virsmas abos gadījumos!



1.7. attēls. Temperatūras sadalījums 3. patstāvīgajam uzdevumam

Atbilde:

uzklājot 70 mm siltumizolācijas slāni, siltuma zudumi samazinās no $1023 \frac{W}{m^2}$ līdz $512,1 \frac{W}{m^2}$.

1.9. UZDEVUMU RISINĀŠANAS PIEMĒRI UN PATSTĀVĪGIE UZDEVUMI PAR SILTUMVADĪŠANU CILINDRISKĀ SIENĀ

1.9.1. UZDEVUMA RISINĀŠANAS PIEMĒRS

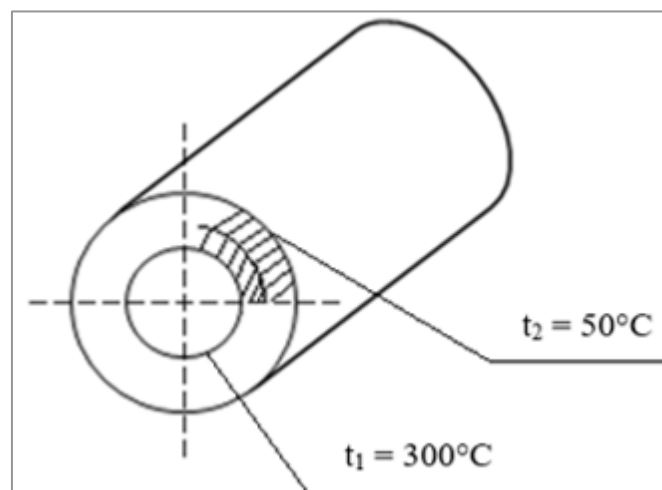


BŪTISKI

Risinot uzdevumus par siltumvadīšanu cilindriskā sienā, jāizmanto SI sistēmas mērvienības! (skat. 6. pielikumu)

Tvaikvads, kura diametrs ir 170/160 mm (biezums $\delta_1 = 10$ mm), pārklāts ar izolācijas slāni. Izolācijas slāņa biezums $\delta_2 = 30$ mm. Attiecīgo slāņu siltumvadītspējas koeficienti: $\lambda_1 = 50 \frac{W}{m \cdot K}$, $\lambda_2 = 0,15 \frac{W}{m \cdot K}$. Iekšējās virsmas temperatūra $t_1 = 300$ °C, ārējās virsmas temperatūra $t_2 = 50$ °C (skat. 1.8. attēlu).

Noteikt siltuma zudumus caur izolācijas slāni no 1 metra tvaikvada!



1.8. attēls Temperatūras sadalījums cilindriskajā sienā

Atrisinājums

Pēc uzdevuma noteikumiem:

$$d_1 = 160 \text{ mm} = 0,16 \text{ m}; d_2 = 170 \text{ mm} = 0,17 \text{ m}$$

$$d_3 = 0,17 + 2 \cdot 0,03 = 0,23 \text{ m}$$

Aprēķinām logaritmu vērtības:

$$\ln \frac{d_2}{d_1} = 0,06; \ln \frac{d_3}{d_2} = 0,302$$

Nosakām siltuma zudumus q_c no 1 metra cilindriskās sienas pēc formulas (1.15):

$$q_c = \frac{2\pi\lambda}{\ln \frac{d_3}{d_2}} (t_1 - t_2)$$

$$q_c = \frac{2\pi \cdot 0,15}{\ln \frac{0,23}{0,17}} (300 - 50) = 785 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

Tātad siltuma zudumi no 1 metra tvaikvada ir 785 W.

1.9.2. PATSTĀVĪGIE UZDEVUMI**1. uzdevums**

Cauruļvads, kura diametrs ir 100/95 mm (biezums $\delta_1 = 5$ mm), pārklāts ar izolācijas slāni. Izolācijas slāņa biezums: $\delta_2 = 40$ mm. Attiecīgo slāņu siltumvadītspējas koeficienti: $\lambda_1 = 52 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$, $\lambda_2 = 0,11 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$. Izolācijas iekšējās virsmas temperatūra $t_1 = 200$ °C, ārējās virsmas temperatūra $t_2 = 45$ °C. Noteikt siltuma zudumus caur izolācijas slāni no 1 metra cauruļvada!

Atbilde: $181,5 \frac{\text{W}}{\text{m}}$.

2. uzdevums

Cauruļvads, kura diametrs ir 70/85 mm (biezums $\delta_1 = 5$ mm), pārklāts ar izolācijas slāni. Izolācijas slāņa biezums $\delta_2 = 30$ mm. Attiecīgo slāņu siltumvadītspējas koeficienti: $\lambda_1 = 52 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$, $\lambda_2 = 0,05 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$. Izolācijas iekšējās virsmas temperatūra $t_1 = 100$ °C, ārējās virsmas temperatūra $t_2 = 40$ °C. Noteikt siltuma zudumus caur izolācijas slāni no 1 metra cauruļvada!

Atbilde: $30,4 \frac{\text{W}}{\text{m}}$.

3. uzdevums

Tvaikvads, kura diametrs 150/140 mm (biezums $\delta_1 = 10$ mm), pārklāts ar izolācijas slāni. Izolācijas slāņa biezums $\delta_2 = 40$ mm. Attiecīgo slāņu siltumvadītspējas koeficienti: $\lambda_1 = 50 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$, $\lambda_2 = 0,1 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$. Izolācijas iekšējās virsmas temperatūra $t_1 = 120$ °C, ārējās virsmas temperatūra $t_2 = 40$ °C.

Noteikt siltuma zudumu caur izolācijas slāni no 1 metra tvaikvada!

Atbilde: $117,7 \frac{\text{W}}{\text{m}}$.

2.

SILTUMAPMAIŅA KONVEKCIJAS PROCESĀ (SILTUMATDEVE)

Nodaļas mērķis	Attīstīt izglītojamo prasmes veikt siltumapmaiņas (siltumatdeves) aprēķinus konvekcijas procesā, veicot siltuma bilances sastādīšanu.
Sasniedzamie rezultāti	Spēj: veikt siltumapmaiņas (siltumatdeves) aprēķinus konvekcijas procesā, sastādot sildīšanas procesa siltuma bilanci. Zina: siltumapmaiņas (siltumatdeves) aprēķinu paņēmienus un siltuma zudumu aprēķinus konvekcijas procesā.

Siltumatdeves procesos siltums vienlaicīgi tiek pārnesta gan konvekcijas, gan siltumvadīšanas ceļā.



DEFINĪCIJA

Konvekcija ir siltuma transporta mehānisms šķidrums un gāzēs, tiem pārvietojoties.

Siltumapmaiņa konvekcijas ceļā notiek starp šķidru vai gāzveida vidi un cieta ķermeņa virsmu, tiem saskaroties.

Izšķir brīvo konvekciju un piespiedu konvekciju. Brīvas konvekcijas gadījumā kustību izraisa blīvumu starpība, ko savukārt nosaka temperatūras starpība dažādās vides vietās.

Sildot vides kustība notiek Arhimēda spēka, kurš pārvieto uz augšu sasildītus (mazāka blīvuma) slāņus, ietekmē. Atbrīvotajā telpā ieplūst auksta vide. Dzesējot –, zemākas temperatūras videi saskaroties ar aukstu virsmu, noris pretējs process.

Piespiedu konvekcijas gadījumā siltumnesēju plūsmu izraisa ārējā iedarbība (sūkņi, ventilatori, gaispūtēji u. c.). Piespiedu konvekcijas virzošais spēks ir spiedienu starpība.



DEFINĪCIJA

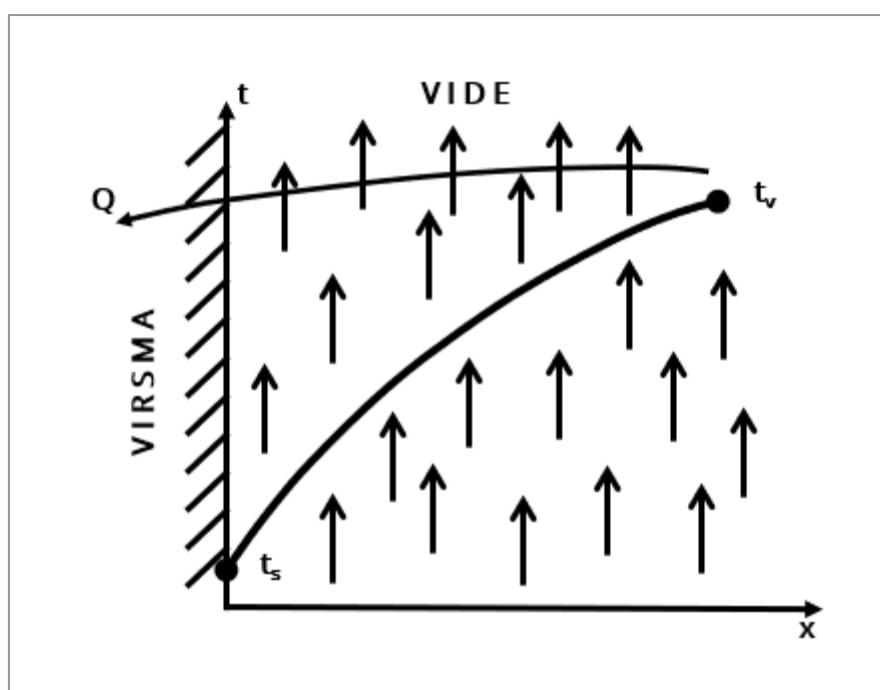
*Siltumapmaiņu konvekcijas ceļā starp šķidru vai gāzveida vidi un cieta ķermeņa virsmu sauc par **siltumatdevi**.*

Konvekcija vienmēr ir saistīta ar siltumvadīšanu. Tomēr galvenā loma kopējā siltumapmaiņas (siltumpārneses) procesā ir konvekcijai.

Viens no svarīgākajiem faktoriem, kas ietekmē siltumapmaiņu konvekcijas procesā, ir **siltumnesēju plūsmas raksturs**.

Lamināras plūsmas gadījumā šķidruma slāņi nesajaucas, siltumpārnese šajā gadījumā noris tikai siltumvadīšanas rezultātā (skat. 2.1. attēlu). Šķidrumiem un gāzēm raksturīgi zemi siltumvadītspējas koeficienti λ , tādēļ siltumapmaiņa siltumvadīšanas rezultātā ir niecīga.

Temperatūra plūsmā mainās no vides plūsmas temperatūras (t_v) līdz sienas temperatūrai (t_s).



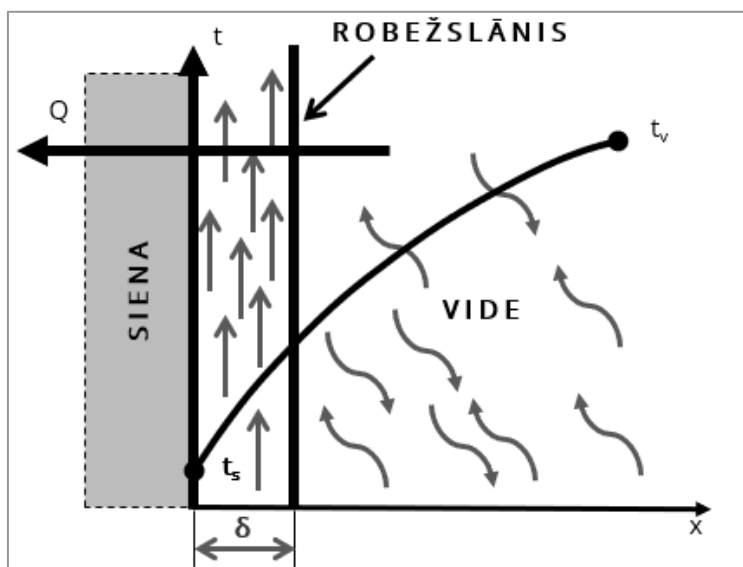
2.1. attēls. Temperatūras sadalījums lamināras plūsmas gadījumā

Turbulentas plūsmas gadījumā notiek haotiska vides sajaušanās. Noris intensīva siltumapmaiņa konvekcijas ceļā (skat. 2.2. attēlu).

Pie pašas virsmas arī turbulentas plūsmas gadījumā veidojas robežslānis (δ), kurā plūsma ir lamināra. Robežslānī siltumapmaiņa noris siltumvadīšanas rezultātā.

Robežslānis rada pretestību siltuma plūsmai, veidojas temperatūras gradients, un temperatūra mainās no sienas temperatūras (t_s) līdz vides plūsmas temperatūrai (t_v).

Pieaugot plūsmas ātrumam, robežslāņa biezums δ samazinās, un rezultātā intensificējas siltumapmaiņas process.



2.2. attēls. Temperatūras sadalījums turbulentas plūsmas gadījumā

Siltumatdeves svarīgākie veidi ir:

- siltumatdeve, videi nemainot agregātstāvokli, siltumapmaiņa brīvas un piespiedu konvekcijas ceļā, siltumapmaiņa divfāžu vidēs;
- siltumatdeve, videi mainot agregātstāvokli, šķidrumam verdot, iztvaikojot, tvaikam kondensējoties, vielai mainot agregātstāvokli cietās fāzes (kristālu) klātbūtnē;
- siltumatdeve īpašos apstākļos – dispersās un bioloģiskās sistēmās, ēkās un būvēs, apkārtējā vidē u. c.

2.1. SILTUMATDEVES VIENĀDOJUMS (ŅŪTONA ATDZESĒŠANAS LIKUMS)

Konvekcijas procesā atdoto vai uzņemto siltuma daudzumu var noteikt pēc empīriskā **Ņūtona atdzesēšanas likuma**:

siltuma daudzums dQ , ko virsma saņem no apkārtējās vides vai atdod videi vienā sekundē, ir proporcionāls temperatūras starpībai $(t_1 - t_2)$ un siltumapmaiņas elementārai sildvirsmi dS .

$$dQ = \alpha (t_1 - t_2) dS \quad (2.1)$$

kur

t_1 – apkārtējās vides temperatūra, K;

t_2 – virsmas temperatūra, K;

α – siltumatdeves koeficients, $\frac{W}{m^2 \cdot K}$.

Stacionāram siltumatdeves režīmam, kad temperatūras t_1 un t_2 ir nemainīgas, siltuma plūsmu (daudzumu) nosaka pēc formulas:

$$Q = \alpha (t_1 - t_2) S \quad (2.2)$$

kur S – sildvirsmas lielums, m^2 .

2.2. SILTUMATDEVES KOEFICIENTS



DEFINĪCIJA

Siltumatdeves koeficients α raksturo siltuma daudzumu, ko 1 m^2 virsmas vienā sekundē atdod (vai uzņem) no apkārtējās vides (siltumnesēja), ja temperatūras starpība starp vidi (siltumnesēju) un virsmu ir 1 K .

Siltumatdeves koeficients raksturo siltumpārnēšanas procesa ātrumu siltumnesējā.

Siltumatdeves koeficienta α atkarību var izteikt kā funkciju:

$$\alpha = f(\omega, \rho, c, \mu, t, d, L, \dots) \quad (2.3)$$



BŪTISKI

Siltumatdeves koeficienta α aprēķina un noteikšanas metodes ir sarežģītas, jo siltumatdeves process ir atkarīgs no daudziem faktoriem un fizikāliem lielumiem (piemēram, no siltumnesēja plūsmas režīma un tā fizikālajām īpašībām, cauruļu ģeometriskajiem parametriem u. c.).

Siltumatdeves koeficientu α nosaka, izmantojot līdzības teoriju.

Empīriski siltumatdeves koeficienta α mērvienību var noteikt pēc vienādojuma (2.2):

$$[\alpha] = \left[\frac{Q}{S(t_1 - t_2)} \right] = \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Siltumatdeves koeficienta α aptuvenas vērtības atkarībā no plūsmas veida apkopotas 2.1. tabulā, no siltumapmaiņas procesa veida – 2.2. tabulā.

2.1. tabula

Siltumatdeves koeficienta α aptuvenas vērtības atkarībā no plūsmas rakstura

Plūsmas veids	Ūdens, $\frac{W}{m^2 \cdot K}$	Gaiss ($p \approx 1 \text{ atm}$), $\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Piespiedu turbulentā plūsma: caurulēs un kanālos	1200–5800	35–60
Šķērsplūsmā ap caurulēm	3100–10000	70–100
Laminārā (brīvā) plūsma	250–900	3–9

Siltumatdeves koeficienta α aptuvenas vērtības dažādos siltumapmaiņas procesos

Siltumapmaiņas procesa veids	Siltumatdeves koeficients α , $\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Gāzu sildīšana vai dzesēšana (atmosfēras spiedienā)	10–50
Organisko šķidrumu sildīšana vai dzesēšana	50–1500
Ūdens sildīšana vai dzesēšana	200–10000
Ūdens vārīšanās (atmosfēras spiedienā)	2000–24000
Ūdens tvaika kondensācija uz horizontālas caurules ārējās virsmas ($p = 4 \text{ at}$)	9300–15000
Ūdens tvaika kondensācija (atmosfēras spiedienā)	500–10000
Organisko šķidrumu tvaiku kondensācija	500–2000

Siltumatdeves koeficienta α vērtību ietekmē šādi faktori:

- Siltumnesēja plūsmas režīms (laminārs vai turbulents), kā arī tās ātrums. Pieaugot siltumnesēja plūsmas ātrumam, samazinās gan robežslāņa biezums δ (skat. 2.2. attēlu), gan robežslāņa termiskā pretestība. Līdz ar to siltumatdeves koeficienta lielums pieaug.
- Siltumnesēja fizikālās īpašības, t. i., viskozitāte, siltumvadītspēja, blīvums, īpatnējais siltums (siltumietilpība). Visbiežāk siltumatdeves koeficients palielinās, samazinoties siltumnesēja viskozitātei un paaugstinoties siltumvadītspējai, blīvumam un īpatnējam siltumam. Tā kā fizikālās īpašības ir atkarīgas no temperatūras, siltumatdeves koeficients joprojām ir atkarīgs no siltumnesēja temperatūras.
- Siltumapmaiņas virsmas laukums (izmērs) un forma.

Tāpat siltumatdeves koeficienta α vērtību nosaka hidrodinamiskie, fizikālie un ģeometriskie faktori. Tā kā šī sakarība ir diezgan sarežģīta, siltumatdeves koeficientu aprēķina pēc formulām, kas iegūtas eksperimentāli. Dažas plašāk izmantojamās formulas, kuras izmanto siltummaiņu aprēķinos, apkopotas šajā DML.

Siltumatdeves koeficienta α vērtību nosaka, izmantojot kriteriālo vienādojumu (2.4):

$$\frac{\alpha \cdot L}{\lambda} = Nu \quad (2.4)$$

kur

Nu – Nuselta kritērijs (nosakāmais), raksturo konvekcijas siltumatdeves intensitāti uz robežas starp vides (siltumnesēja) plūsmu un virsmu;

λ – vides (siltumnesēja) siltumvadītspējas koeficients, $\frac{W}{m \cdot K}$;

L – noteicošais ģeometriskais izmērs (piemēram, caurulēm – diametrs), m.

Detalizētu informāciju par siltumatdeves koeficienta noteikšanas metodēm var atrast speciālajā literatūrā.

2.3. ZINĀŠANU NOSTIPRINĀŠANA

1. Ar ko dabiskā (brīvā) konvekcija atšķiras no piespiedu konvekcijas?

Brīvas konvekcijas gadījumā kustību izraisa blīvumu starpība, ko savukārt nosaka temperatūras starpība dažādās vides vietās. Piespiedu konvekcijas gadījumā siltumnesēju plūsmu izraisa ārējā iedarbība (sūkņi, ventilatori, gaispūtēji u. c.). Piespiedu konvekcijas virzošais spēks ir spiedienu starpība. Piespiedu konvekcijas gadījumā siltumapmaiņas process noris intensīvāk nekā dabiskās (brīvās) konvekcijas gadījumā.

2. Ar kādām metodēm iespējams paaugstināt siltumatdeves procesa intensitāti (ja siltumnesēja agregātstāvoklis nemainās)?

Paaugstināt siltumatdeves procesa intensitāti var, palielinot siltumnesēja ātrumu, temperatūru (samazinās viskozitāte, blīvums). Līdz ar to pieaugs siltumnesēja plūsmas turbulence.

3. Paskaidrojiet siltumatdeves koeficienta α fizikālo būtību!

Siltumatdeves koeficients α raksturo siltuma daudzumu, ko 1 m² virsmas atdod (vai uzņem) no apkārtējās vides (siltumnesēja) vienā sekundē, ja temperatūras starpība starp vidi (siltumnesēju) un virsmu ir 1 K.

4. Kas ir piespiedu konvekcijas virzošais spēks?

Piespiedu konvekcijas virzošais spēks ir temperatūras un spiediena starpība.

5. Kādi faktori ietekmē siltumatdeves koeficienta α vērtību?

Siltumatdeves koeficients α ir atkarīgs no daudziem faktoriem un fizikāliem lielumiem: siltumnesēja plūsmas režīma (laminārs vai turbulents), kā arī tās ātruma; siltumnesēja fizikālajām īpašībām (viskozitātes, siltumvadītspējas, blīvuma, īpatnējā siltuma (siltumietilpības)).

6. Kas ir Nuselta kritērijs?

Nuselta kritērijs raksturo konvekcijas siltumatdeves intensitāti uz robežas starp vides plūsmu un virsmu, ko atspoguļo formula:

$$\frac{\alpha \cdot L}{\lambda} = Nu$$

7. Kas ir dabiskās (brīvās) konvekcijas virzošais spēks?

Dabiskās (brīvās) konvekcijas virzošais spēks ir blīvumu starpība, kuru savukārt izraisa temperatūras starpība dažādās vides vietās.

2.4. UZDEVUMU RISINĀŠANAS PIEMĒRI UN PATSTĀVĪGIE UZDEVUMI

2.4.1. UZDEVUMU RISINĀŠANAS PIEMĒRI



BŪTISKI

Risinot uzdevumus par siltumatdevi, jāizmanto SI sistēmas mērvienības! (skat. 6. pielikumu)

1. uzdevums

Noteikt siltumatdeves rezultātā radušos siltuma zudumus no aparāta, kura diametrs $D = 2,5$ m un augstums $H = 4$ m.

Aparāta sienas temperatūra $t_1 = 75$ °C, gaisa temperatūra telpā $t_2 = 20$ °C. Siltumatdeves koeficients no aparāta sienas gaisam $\alpha = 211 \frac{W}{m^2K}$.

Atrisinājums

Nosakām sildvirsmas lielumu S :

$$S = \pi \cdot (D \cdot H + 2 \frac{D^2}{4}) = 3,14 (2,5 \cdot 4 + 2 \frac{2,5^2}{4}) = 41,21 m^2$$

Tad pēc formulas 2.2 aprēķinām siltumatdeves rezultātā radušos siltuma zudumus Q :

$$Q = \alpha (t_1 - t_2) S = 211 (75 - 20) \cdot 41,21 = 478242,05 W \approx 478,24 kW$$

2. uzdevums

Noteikt siltumatdeves rezultātā radušos siltuma zudumus no žāvētavas, kuras garums $a = 2,5$ m, augstums $b = 4$ m un platums $c = 2$ m. Aparāta sienas temperatūra $t_1 = 70$ °C, gaisa temperatūra telpā $t_2 = 15$ °C. Siltumatdeves koeficients no aparāta sienas gaisam $\alpha = 157 \frac{W}{m^2K}$.

Atrisinājums

Nosakām sildvirsmas lielumu S :

$$S = 2 (ab + bc + ac) = 2 \cdot 23 = 46 m^2$$

Tad pēc formulas 2.2 aprēķinām siltumatdeves rezultātā radušos siltuma zudumus Q :

$$Q = \alpha (t_1 - t_2) S = 157 (70 - 15) \cdot 46 = 397210 \approx 397,2 kW$$

2.4.2. PATSTĀVĪGIE UZDEVUMI

1. uzdevums

Noteikt siltumatdeves rezultātā radušos siltuma zudumus no žāvētavas sienām, kuru garums $a = 3$ m, augstums $b = 4$ m un platumu $c = 2,5$ m! Aparāta sienas temperatūra $t_1 = 75$ °C, gaisa temperatūra telpā $t_2 = 16$ °C. Siltumatdeves koeficients no aparāta sienas gaisam $\alpha = 150 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$.

Atbilde: 522,2 kW.

2. uzdevums

Noteikt siltumatdeves rezultātā radušos siltuma zudumus no aparāta sienas, ja aparāta diametrs $D = 2$ m un augstums $H = 3,5$ m! Aparāta sienas temperatūra $t_1 = 55$ °C, gaisa temperatūra telpā $t_2 = 20$ °C. Siltumatdeves koeficients no aparāta sienas gaisam $\alpha = 200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$.

Atbilde: 197,8 kW.

3. uzdevums

Noteikt siltumatdeves rezultātā radušos siltuma zudumus no žāvēšanas kameras sienām, kuru garums $a = 4$ m, augstums $b = 1,5$ m un platumu $c = 2$ m! Aparāta sienu temperatūra $t_1 = 85$ °C, gaisa temperatūra telpā $t_2 = 18$ °C. Siltumatdeves koeficients no aparāta sienām gaisam $\alpha = 175 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$.

Atbilde: 398,7 kW.

4. uzdevums

Noteikt siltumatdeves rezultātā radušos siltuma zudumus no rektifikācijas kolonnas sienas, kuras diametrs $D = 3$ m un augstums $H = 6,5$ m! Aparāta sienas temperatūra $t_1 = 75$ °C, gaisa temperatūra telpā $t_2 = 20$ °C. Siltumatdeves koeficients no aparāta sienas gaisam $\alpha = 210 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$.

Atbilde: 870,4 kW.

5. uzdevums

Reaktorā sildās reakcijas maisījums. Reaktora diametrs ir 1,5 m, augstums – 2 m. Aparāta sienas temperatūra $t_1 = 65$ °C, gaisa temperatūra telpā $t_2 = 18$ °C. Siltumatdeves koeficients no aparāta sienas gaisam $\alpha = 200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$. Noteikt siltumatdeves rezultātā radušos siltuma zudumus no reaktora sienas!

Atbilde: 33,2 kW.

6. uzdevums

Reaktorā sildās reakcijas maisījums. Reaktora diametrs ir 1 m, augstums – 1,5 m. Aparāta sienas temperatūra $t_1 = 67\text{ }^\circ\text{C}$, gaisa temperatūra telpā $t_2 = 15\text{ }^\circ\text{C}$. Siltumatdeves koeficients no aparāta sienas gaisam $\alpha = 190 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$. Noteikt siltumatdeves rezultātā radušos siltuma zudumus no reaktora sienas!

Atbilde: 24,7 kW.

7. uzdevums

Noteikt siltumatdeves rezultātā radušos īpatnējos siltuma zudumus no 1 m^2 aparāta izolācijas virsmas! Izolācijas virsmas temperatūra $t_1 = 35\text{ }^\circ\text{C}$, gaisa temperatūra telpā $t_2 = 19\text{ }^\circ\text{C}$. Siltumatdeves koeficients no izolācijas virsmas gaisam $\alpha = 10,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$.

Atbilde: $161,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

8. uzdevums

Noteikt siltumatdeves rezultātā radušos īpatnējos siltuma zudumus no 1 m^2 aparāta izolācijas virsmas! Izolācijas virsmas temperatūra $t_1 = 35\text{ }^\circ\text{C}$, gaisa temperatūra telpā $t_2 = 15\text{ }^\circ\text{C}$. Siltumatdeves koeficients no izolācijas virsmas gaisam $\alpha = 7,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$.

Atbilde: $154 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

9. uzdevums

Ietvaices aparāta izolācijas virsmas temperatūra $t_1 = 30\text{ }^\circ\text{C}$, gaisa temperatūra telpā $t_2 = 15\text{ }^\circ\text{C}$. Siltumatdeves koeficients no izolācijas virsmas gaisam $\alpha = 7,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$. Noteikt siltumatdeves rezultātā radušos siltuma zudumus no aparāta izolācijas virsmas (aparāta diametrs ir 1,5 m, augstums – 3,2 m)!

Atbilde: 2,1 kW.

10. uzdevums

Ietvaices aparāta izolācijas virsmas temperatūra $t_1 = 29\text{ }^\circ\text{C}$, gaisa temperatūra telpā $t_2 = 14\text{ }^\circ\text{C}$. Siltumatdeves koeficients no izolācijas virsmas gaisam $\alpha = 6,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$. Noteikt siltumatdeves rezultātā radušos siltuma zudumus no aparāta izolācijas virsmas (aparāta garums $a = 2,5\text{ m}$, augstums $b = 4\text{ m}$ un platums $c = 2\text{ m}$)!

Atbilde: 4,5 kW.

3.

SILTUMSTAROŠANA

Nodaļas mērķis	Attīstīt izglītojamo prasmes veikt siltumapmaiņas aprēķinus starošanas procesā, sastādot sildīšanas procesa siltuma bilanci.
Sasniedzamie rezultāti	Spēj: veikt siltumapmaiņas aprēķinus starošanas procesā, sastādot sildīšanas procesa siltuma bilanci. Zina: siltumapmaiņas aprēķinu paņēmienus un siltuma zudumu aprēķinus starošanas procesā.

Siltumstarošana ir trešais siltumapmaiņas (siltumpārneses) veids. Ražošanā, kur jāstopas ar augstām temperatūrām, piemēram, ceļos, krāsnīs, tvaika katlos u. c., siltumapmaiņa notiek galvenokārt siltumstarošanas veidā. Tādēļ, projektējot tehnoloģiskās iekārtas un aparātus, kas darbojas augstās temperatūrās, maksimāli jāizmanto siltumstarošanas enerģija.

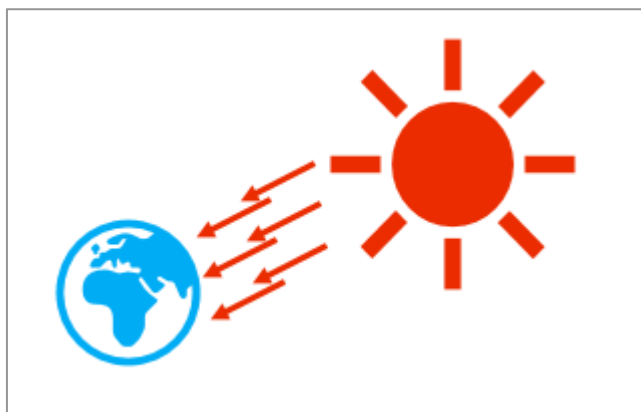
3.1. SILTUMSTAROŠANAS RAKSTUROJUMS



DEFINĪCIJA

Siltumstarošana ir siltuma izplatīšanās process, kad siltums tiek pārnesti elektromagnētiskā starojuma veidā.

Cieti ķermeņi, šķidrums un gāzes izstaro siltumenerģiju elektromagnētisko viļņu veidā. Tie izplatās lineāri uz visām pusēm ar ātrumu $3 \cdot 10^8$ m/s. Materiāla vide var šo starojuma enerģiju daļēji absorbēt. Tad pieaug molekulu kinētiskā enerģija, kas izpaužas kā materiālās vides sasilšana (skat. 3.1. attēlu).



3.1. attēls. Starojuma enerģijas izplatīšanās shēma

Šādas īpašības piemīt tikai noteiktam elektromagnētisko viļņu diapazonam – no $8 \cdot 10^{-7}$ līdz $8 \cdot 10^{-4}$ m. Šos elektromagnētiskos viļņus sauc par **infrasarkano (IS) starojumu** jeb **siltuma stariem**.

Siltumstarojuma viļņu plūsma no kvantu teorijas viedokļa ir fotonu daļiņu plūsma. Fotona pārnestā enerģija ir atkarīga no viļņa garuma un starojuma frekvences:

$$E_{\text{fot}} = h \cdot c \cdot \lambda^{-1} = h \cdot \nu \quad (3.1)$$

kur

Planka konstante $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$, J·s;

ν – svārstību frekvence, s^{-1} ;

λ – viļņa garums, m.



BŪTISKI

Gaismas ātrums retinājumā

$$c = 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Atkarībā no viļņu garuma diapazona izšķir dažādus elektromagnētiskā starojuma veidus (skat. 3.1. tabulu).

3.1. tabula

Elektromagnētiskā starojuma veidi

Viļņu garums, mm	Starojuma veids
$0,05 \cdot 10^{-9}$	Kosmiskie stari
$(0,5 - 1,0) \cdot 10^{-9}$	γ -starojums
$1 \cdot 10^{-9} - 2 \cdot 10^{-5}$	Rentgena stari
$2 \cdot 10^{-5} - 0,4 \cdot 10^{-3}$	Ultravioletie stari
$(0,4 - 0,8) \cdot 10^{-3}$	Redzamā gaisma
$0,8 \cdot 10^{-3} - 0,4$	Siltuma stari (IS starojums)
$0,2 - 9 \cdot 10^5$	Radioviļņi

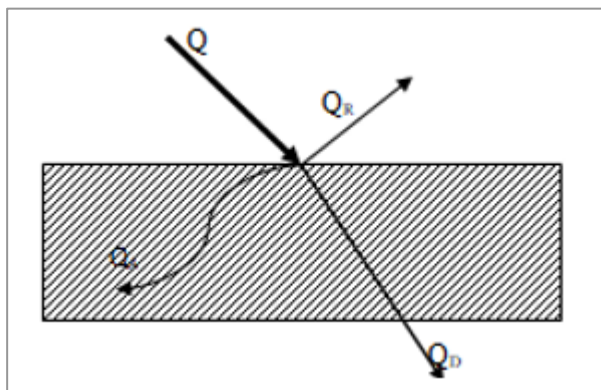
No siltumtehnikā viedokļa interese izraisa tie starojuma veidi, kuru rašanos nosaka ķermeņa temperatūra un optiskās īpašības. Šādas īpašības piemīt infrasarkanajam starojumam ar viļņu garumu $0,8 \cdot 10^{-3} - 0,4$ mm. Šos elektromagnētiskos viļņus sauc par **siltuma stariem**.



BŪTISKI

Siltumstarošana raksturīga jebkuram ķermenim, kura temperatūra ir lielāka par absolūto nulli. Ķermeni siltumenerģiju izstaro nepārtraukti. Starojuma enerģijas lielumu nosaka ķermeņa temperatūra, un tā ir atkarīga tikai no temperatūras.

Aplūkosim piemēru, kad uz kāda ķermeņa virsmas krīt zināma siltumstarojuma plūsma Q (skat. 3.2. attēlu).



3.2. attēls. Starojuma enerģijas bilances shēma

Elektromagnētiskais starojums daļu savas enerģijas atdod ķermenim (Q_a), bet daļa var atstaroties no virsmas (Q_r). Tā starojuma daļa, kas nokļūst ķermenī, var izplūst tam cauri (Q_d) vai arī palikt tanī, pārejot siltumā. Tātad saskaņā ar enerģijas nezūdamības likumu var uzrakstīt šādu vienādojumu:

$$Q = Q_a + Q_r + Q_d \quad (3.2)$$

kur

Q_a – starojuma enerģijas absorbētā daļa;

Q_r – starojuma enerģijas atstarotā daļa;

Q_d – cauri izplūdušā starojuma daļa.

Ja abas vienādojuma (3.2) puses dala ar Q , tad iegūst:

$$\frac{Q_a}{Q} + \frac{Q_r}{Q} + \frac{Q_d}{Q} = 1 \quad (3.3)$$

kur

$\frac{Q_a}{Q} = A$ – raksturo ķermeņa absorbcijas spēju;

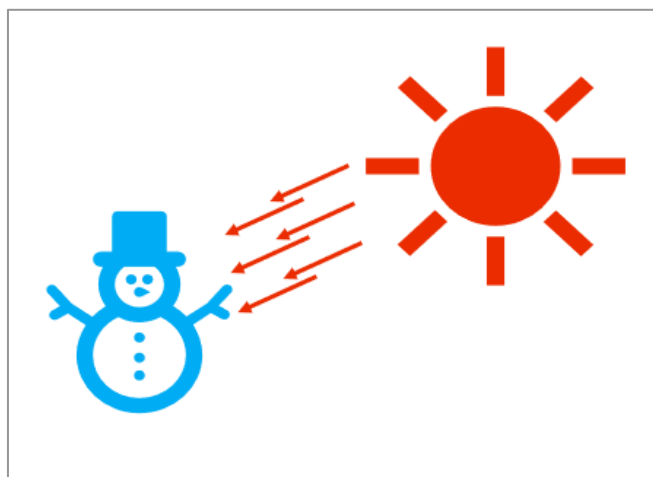
$\frac{Q_r}{Q} = R$ – raksturo ķermeņa atstarošanas spēju;

$\frac{Q_d}{Q} = D$ – raksturo ķermeņa caurlaidības spēju.

No iegūtām izteiksmēm izriet, ka:

$$A + R + D = 1 \quad (3.4)$$

Šiem lielumiem nav mērvienību, tie mainās intervālā no 0 līdz 1, un to skaitliskā vērtība ir atkarīga no ķermeņa īpašībām (skat. 3.3., 3.4., 3.5. attēlu).



3.3. attēls. Saules siltuma absorbēšanas piemērs.
Objekts var absorbēt izstaroto siltumu, ja tas staro virsū



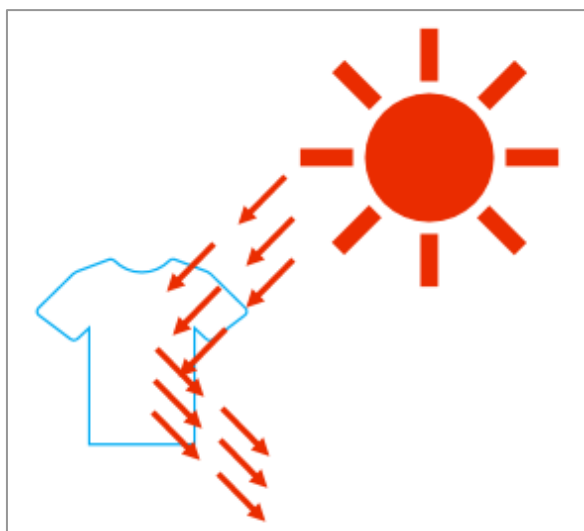
BŪTISKI

Atkarībā no tā, kā uz ķermeni krītošā starojuma enerģija sadalās, iespējami **šādi robežgadījumi:**

1.

Ja $A = D = 0$, tad $R = 1$, un šādu ķermeni sauc par absolūti baltu ķermeni (tas atstaro pilnīgi visu starojumu).

Baltas krāsas ķermenis absorbē mazāk siltumstarojuma (skat. 3.4. attēlu).



3.4. attēls. Saules starojuma absorbēšana

2. Ja $R = D = 0$, tad $A = 1$, un šādu ķermeni sauc par **absolūti melnu ķermeni** (tas absorbē absolūti visu elektromagnētisko starojumu).

Melnas krāsas ķermenis absorbē vairāk siltumstarojuma (skat. 3.5. attēlu).



3.5. attēls. Saules starojuma absorbēšana

3. Ja $A = R = 0$, tad $D = 1$, un šādu ķermeni sauc par **absolūti caurspīdīgu (diatermisku) ķermeni**.

Tehnoloģijā lietojamie cietie ķermeņi (izņemot stikla aparātus) un šķidrums ir siltuma staru necaurlaidīgi, t. i., $D = 0$, tad

$$A + R = 1 \quad (3.5)$$

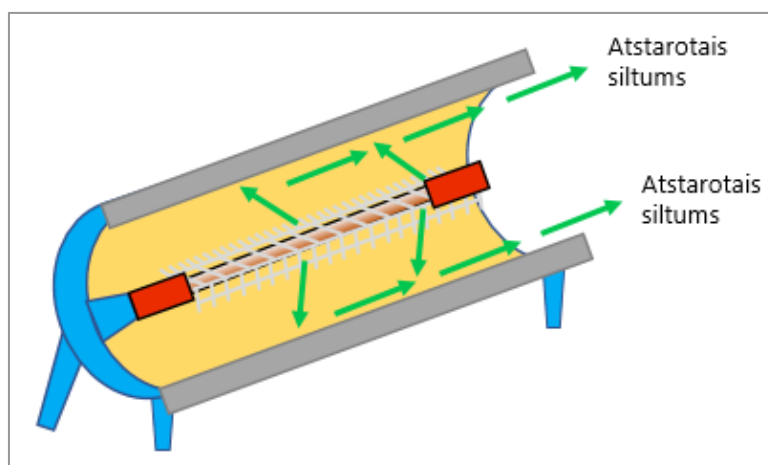
No vienādojuma (3.5) izriet: jo labāk ķermenis saista infrasarkanos (siltuma) starus, jo mazāk tas tos atstaro – un otrādi.



DEFINĪCIJA

Ķermeņus, kas neatbilst šiem absolūtajiem nosacījumiem, sauc par **pelēkiem**.

Siltuma staru saistīšanas un atstarošanas procesos liela nozīme ir virsmai. Gludas un pulētas virsmas siltuma starus atstaro daudz labāk nekā negludas virsmas. Šīs virsmas īpašības izmanto gaisa sildīšanas ierīcēs – kaloriferos (skat. 3.6. attēlu), kā arī termosos, lai labāk saglabātu esošo vielas siltumu (skat. 3.7. attēlu).



3.6. attēls. Gludo un pulēto virsmu izmantošana, atstarojot siltumu (kalorifers)



3.7. attēls. Gludo un pulēto virsmu izmantošana, atstarojot siltumu (termoss)

Gluda pulēta virsma absorbē mazāk. Tā atstaro lielāko daļu siltuma.

Starojuma plūsmu, ko ķermenis izstaro no laukuma vienības uz visām pusēm, sauc par izstarošanas spēju (starojuma plūsmas blīvumu) E ($\frac{W}{m^2}$):

$$E = \frac{dQ}{dS} \quad (3.6)$$

3.2. SILTUMSTAROŠANAS LIKUMI

3.2.1. STEFANA–BOLCMAŅA LIKUMS

Šis likums nosaka summāro enerģijas daudzumu, ko izstaro absolūti melna ķermeņa laukuma vienība laika vienībā. Likumu eksperimentāli atklāja slovēņu fiziķis un matemātiķis J. Stefans 1879. gadā un teorētiski pamatoja austriešu fiziķis L. Bolcmanis 1884. gadā.

Enerģijas plūsmas blīvumu, ko izstaro absolūti melns ķermenis no 1 m² virsmas, iegūst pēc Stefana–Bolcmaņa likuma:

$$E_0 = \sigma_0 T^4 \quad (3.7)$$

kur

σ_0 – absolūti melna ķermeņa starošanas konstante jeb Stefana–Bolcmaņa konstante;

$$\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4};$$

T – absolūti melna ķermeņa temperatūra, K.

Enerģija, ko izstaro absolūti melns ķermenis, ir tieši proporcionāla ķermeņa virsmas temperatūrai ceturtajā pakāpē.

Tehniskajos aprēķinos Stefana–Bolcmaņa likumu ērtāk izmantot šādā izteiksmē:

$$E_0 = \sigma_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (3.8)$$

kur

$C_0 = \sigma_0 \cdot 10^8 = 5,7 \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$ – absolūti melna ķermeņa izstarošanas koeficients.

Stefana-Bolcmaņa likumu var piemērot arī pelēkajiem ķermeņiem. Šai gadījumā izmanto jēdzienu **ķermeņa melnuma pakāpe ε** . Ķermeņa melnuma pakāpe tiek noteikta kā pelēkā ķermeņa izstarošanas spējas attiecība pret absolūti melna ķermeņa izstarošanas spēju tajā pašā temperatūrā:

$$\varepsilon = \frac{E}{E_0} = \left(\frac{C \left(\frac{T}{100} \right)^4}{C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4} \right) = \frac{C}{C_0} \quad (3.9)$$

Ķermeņa melnuma pakāpe ε svārstās no 0 līdz 1. Dažiem materiāliem vērtības apkopotas 3.2 tabulā.

3.2. tabula

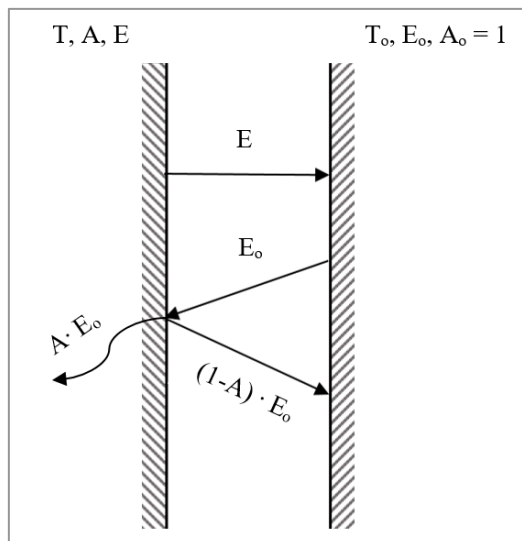
Dažu materiālu melnuma pakāpe ε

Materiāls	Melnuma pakāpe ε
Alkīda emalja	0,92–0,96
Asfalts	0,9–0,98
Betons	0,93–0,95
Čuguns	0,45–0,75
Keramika	0,90–0,99
Koks	0,85–0,95
Nerūsējošais tērauds	0,4–0,5
Oksidējusies dzelzs	0,78–0,80
Oksidējies alumīnijs	0,2–0,8
Oksidējies varš	0,75–0,85
Papīrs	0,8–0,9
Pulēts alumīnijs	0,04–0,10
Pulēta dzelzs	0,17–0,20
Pulēts sudrabs	0,02–0,04
Pulēts varš	0,03–0,10
Sarkanie ķieģeļi	0,91–0,95
Stikls	0,90–0,95
Šamots	0,8–0,9
Ūdens	0,92–0,96

Zinot ķermeņa melnuma pakāpes vērtību, iespējams viegli aprēķināt konkrētā ķermeņa izstaroto enerģiju E . Šai gadījumā vienādojumu (3.8) var pārrakstīt šādā veidā:

$$E = \varepsilon \cdot E_0 = \varepsilon \cdot C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (3.10)$$

3.2.2. KIRHOFA LIKUMS



3.8. attēls. Siltumapmaiņa, starojot starp divām virsmām

Šis likums nosaka sakarību starp ķermeņa izstarošanas un absorbcijas spēju.

Aplūkosim siltumapmaiņu, starojot starp divām virsmām, no kurām viena ir absolūti melna un tās temperatūra ir T_0 . Otra virsma ir pelēka, tās absorbcijas spēja ir A , un tās temperatūra ir T , turklāt $T > T_0$. Šīs virsmas novietotas paralēli viena otrai (skat. 3.8. attēlu).

Tā kā $T > T_0$, starp virsmām notiek siltumapmaiņa starojot. Sastādīsim šā procesa siltuma bilanci.

No kreisās virsmas laika vienībā tiek izstarota enerģija E , kas uz melnās virsmas pilnīgi absorbējas.

Savukārt melnā virsma izstaro enerģiju E_0 . Šī enerģija, nonākot uz pelēkās virsmas, daļēji absorbējas – $A \cdot E_0$, pārējā enerģijas daļa atstarojas – $(1 - A) E_0$. Atstarotā enerģija pilnīgi absorbējas uz melnās virsmas. Process turpinās, kamēr temperatūra starp virsmām izlīdzinās, $T = T_0$.

Līdz ar to kreisā puse siltumstarojuma veidā saņem enerģijas daudzumu $A \cdot E_0$, un no tās tiek aizvadīta enerģija – E . Ņemot vērā augstākminēto, siltumstarojuma bilance būs:

$$E_{rez} = q = E - A \cdot E_0 \quad (3.11)$$

Siltumstarošana no virsmām turpinās līdz momentam, kad temperatūras izlīdzinās, $T = T_0$, sistēmas atrodas termodinamiskajā līdzsvarā un $q = 0$.

Šajā gadījumā iegūst:

$$E - A \cdot E_0 = 0 \text{ vai} \quad (3.12)$$

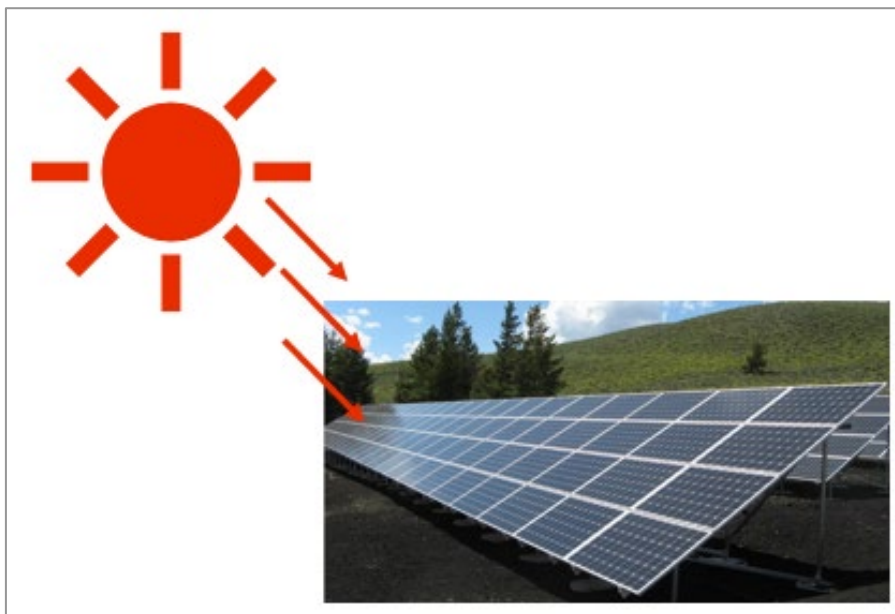
$$\frac{E}{A} = E_0$$

Iegūto attiecību var izmantot jebkuriem ķermeņiem (Kirhofa likums):

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \frac{E_3}{A_3} = \dots = \frac{E_0}{A_0} = E_0 = f(T) \quad (3.13)$$

Izstarošanas spēja un absorbcijas spēja attiecībā uz visiem ķermeņiem ir nemainīgs lielums (*const*), kas vienlīdzīgs absolūti melna ķermeņa izstarošanas spējai un ir atkarīgs tikai no temperatūras.

Reālu ķermeņu gadījumā to absorbcijas spēja vienmēr ir mazāka par absolūti melna ķermeņa izstarošanas spēju, tomēr ir dažādi varianti absorbcijas spējas paaugstināšanai (piemēram, izmantojot melnu metāla virsmu saules kolektoros un virtuves traukos (skat. 3.9. attēlu un 3.10. attēlu). Tātad jebkurā temperatūrā absolūti melna ķermeņa izstarošana būs maksimāla.



3.9. attēls. Starojuma absorbcēšanas piemērs ar saules kolektoru (melnā metāla virsma palielina saules starojuma siltuma absorbciju)



3.10. attēls. Starojuma absorbcēšanas piemērs ar virtuves trauku pamatni
Ķermeņiem ar zemu absorbcijas spēju ir zema izstarošanas spēja.

3.3. SILTUMAPMAIŅA STAROJOT

Ja ir zināmi starošanas, sorbcijas un atstarošanas likumi, var iegūt siltumapmaiņas aprēķinu formulas starošanai starp necaurspīdīgiem ķermeņiem. Siltumtehnikajos aprēķinos visbiežāk jānosaka starošanas rezultātā notikusi siltumapmaiņa starp ķermeņiem, kuru parametri (izmēri, virsmas stāvoklis un temperatūra) ir zināmi. Šajos gadījumos abu ķermeņu izstaroto enerģiju var aprēķināt, pamatojoties uz Stefana–Bolcmaņa likumu. Turklāt jāatzīmē, ka siltumapmaiņa starojot ir sarežģīts siltumprocess, kurā novērojama daudzkārtēja siltuma staru absorbcija un atstarošanās. Daļa enerģijas, ko izstaro ķermenis, atgriežas pie tā, bremsējot siltumapmaiņu.

Lai noteiktu to siltuma (enerģijas) daudzumu, ko siltumstarošanas rezultātā uzņem virsma ar augstāku temperatūru, no siltākās virsmas izstarotās primārās enerģijas jāatskaita, pirmkārt, to enerģijas daudzumu, kas atgriežas un tiek absorbēts no otras virsmas izstarotās enerģijas (saskaņā ar Kirhofa likumu).

Tā kā šī aprēķinu daļa ir ļoti sarežģīta, uzrakstīsim gala vienādojumu, kuru iegūst, veicot minētos aprēķinus un sastādot šī procesa siltuma bilanci. Enerģijas daudzums būs:

$$E = \varepsilon_p \cdot C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (3.14)$$

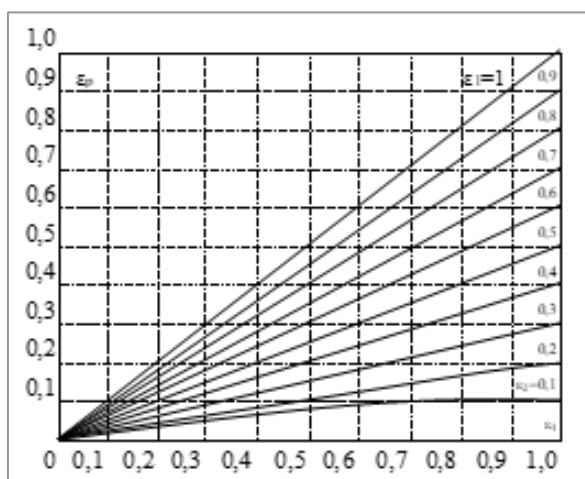
kur

$$\varepsilon_p = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

Koeficientu ε_p sauc par pielīdzināto melnuma pakāpi. Pielīdzināta melnuma pakāpe ir konkrētam ķermeņu pārim, starp kuru noris siltumapmaiņa. Starojot tā var mainīties robežās no 0 līdz 1. Kopējais siltuma daudzums, kas radies starošanas rezultātā Q , atrodams šādi:

$$Q = \varepsilon_p \cdot C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot S \quad (3.15)$$

Pielīdzinātās melnuma pakāpes ε_p noteikšanai izmanto nomogrammas (skat. 3.11. attēlu).



3.11. attēls. Nomogramma ε_p noteikšanai

3.4. SILTUMATDEVE STAROŠANAS UN KONVEKCIJAS REZULTĀTĀ

Siltumapmaiņas iekārtās, kur sildvirsmā saskaras ar gāzveida vidi (siltumnesēju), siltums vienlaikus izplatās konvekcijas un starošanas rezultātā. Piemēram, sildot ar karsto gaisu vai dūmgāzēm, notiek siltumapmaiņas iekārtas zudumi apkārtējā vidē u. c.

Ja sienas temperatūra t_s lielāka par vides (siltumnesēja) temperatūru t_v (vai otrādi) un ja vide ir gāzveida, tad konvekcijas siltums Q_k un starošanas siltums Q_{st} aizplūst no virsmas vienlaikus. Kopējo no virsmas aizplūstošo siltuma plūsmu izsaka vienādojums:

$$Q = Q_k + Q_{st} \quad (3.16)$$

No sadaļas 2.1. ir zināms, ka

$$Q_k = \alpha (t_s - t_v) \cdot S \quad (3.17)$$

kur

Q_k – siltuma plūsma konvekcijas rezultātā, W;

α – siltuma atdeves koeficients, $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;

t_s – sienas temperatūra, °C;

t_v – apkārtējās vides temperatūra, °C;

S – siltumapmaiņas virsma, m^2 .

Siltumu, kas izplūst starošanas rezultātā, nosaka pēc šādas formulas:

$$Q_{st} = \frac{C_{1-2} \left[\left(\frac{T_s}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_v}{100} \right)^4 \right] \Phi}{t_s - t_v} \cdot (t_s - t_v) \cdot S \quad (3.18)$$

kur

C_{1-2} – kopējais starošanas koeficients, $\frac{W}{m^2 \cdot K^2}$;

T_s – sienas temperatūra, K;

T_v – apkārtējās vides temperatūra, K;

Φ – starošanas leņķa koeficients, kas atkarīgs no virsmu novietojuma.

Vienādojuma (3.18) izteiksmi $\frac{C_{1-2} \left[\left(\frac{T_s}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_v}{100} \right)^4 \right] \Phi}{t_s - t_v}$ apzīmē ar a_{st} . Siltuma starošanas vienādojums tad ir šāds:

$$Q_{st} = a_{st} \cdot (t_s - t_v) \cdot S \quad (3.19)$$



DEFINĪCIJA

Koeficientu a_{st} sauc par **tiešo siltumatdeves koeficientu**.

Siltumatdeves koeficients rāda siltuma daudzumu W, ko starojot atdod vai uzņem $1 m^2$ virsmas 1 sekundē, ja temperatūras starpība starp virsmu un vidi ir $1 ^\circ C$.

Saskaņā ar vienādojumu (3.19) siltumatdeves koeficienta mērvienība būs:

$$a_{st} = \frac{[Q_{st}]}{[S][t_s - t_v]} = \frac{W}{m^2 K}$$

Kopējo siltuma plūsmu, ko virsma atdod (vai uzņem) apkārtējai videi starošanas un konvekcijas rezultātā (vienādojums 3.16), var izteikt šādi:

$$Q = a_k \cdot (t_s - t_v) + a_{st} \cdot (t_s - t_v) \cdot S \quad (3.20)$$

jeb

$$Q = (a_k + a_{st}) \cdot (t_s - t_v) \cdot S = a \cdot (t_s - t_v) \cdot S$$

Izteiksmi $a_k + a_{st} = a$ (dažreiz apzīmē ar β) sauc par konvekcijas un starošanas kopējo (summāro) siltumatdeves koeficientu, tā mērvienības ir $\frac{W}{m^2 \cdot K}$.

3.5. ZINĀŠANU NOSTIPRINĀŠANA

1. No kādiem faktoriem ir atkarīga ķermeņa izstarošanas spēja?

Ķermeņa izstarošanas spēja ir atkarīga no starojuma viļņu garuma un temperatūras.

2. Kas ir absolūti melns ķermenis (absolūti balts, absolūti caurspīdīgs)?

Absolūti melns ķermenis absorbē absolūti visu elektromagnētisko starojumu.

Absolūti balts ķermenis atstaro pilnīgi visu starojumu.

Absolūti caurspīdīgs (diatermisks) ķermenis laiž cauri visu uz ķermeni krītošo starojuma enerģiju.

3. Kādu sakarību (starp kādiem raksturlielumiem) nosaka Stefana–Bolcmaņa likums?

Stefana–Bolcmaņa likums nosaka absolūti melna ķermeņa izstarošanas enerģijas lieluma atkarību no tā temperatūras 4. pakāpē.

4. Kādā veidā Stefana–Bolcmaņa likumu var piemērot pelēkajiem ķermeņiem?

Stefana–Bolcmaņa likumu var piemērot pelēkajiem ķermeņiem šādā veidā:

$$E = \varepsilon \cdot E_0 = \varepsilon \cdot C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4$$

kur ε – pelēkā ķermeņa melnuma pakāpe.

5. Kas ir raksturīgs infrasarkanajam starojumam?

No siltumtehnikā viedokļa interese izraisa tie starojuma veidi, kuru rašanos nosaka ķermeņa temperatūra un optiskās īpašības. Šādas īpašības piemīt **infrasarkanajam starojumam** ar viļņu garumu $0,8 \cdot 10^{-3} - 0,4$ mm.

6. Kas ir ķermeņa melnuma pakāpe?

Ķermeņa melnuma pakāpe tiek noteikta kā pelēkā ķermeņa izstarošanas spējas attiecība pret absolūti melna ķermeņa izstarošanas spēju tajā pašā temperatūrā:

$$\varepsilon = \frac{E}{E_0} = \left(\frac{C \left(\frac{T}{100} \right)^4}{C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4} \right) = \frac{C}{C_0}$$

7. Kirhofa likuma būtība!

Izstarošanas spēja un absorbcijas spēja attiecībā uz visiem ķermeņiem ir nemainīgs lielums (*const*), kas vienlīdzīgs absolūti melna ķermeņa izstarošanas spējai un ir atkarīgs tikai no temperatūras.

8. Kādā veidā izplatās siltums gadījumos, kad siltummaiņa sildvirsmā saskaras ar gāzveida vidi (siltumnesēju)?

Siltums vienlaikus izplatās konvekcijas un starošanas rezultātā.

3.6. UZDEVUMU RISINĀŠANAS PIEMĒRI UN PATSTĀVĪGIE UZDEVUMI

3.6.1. UZDEVUMA RISINĀŠANAS PIEMĒRS



BŪTISKI

Risinot uzdevumus par siltumstarošanu, jāizmanto SI sistēmas mērvienības! (skat. 6. pielikumu)

Noteikt starošanas rezultātā radušos siltuma zudumus no dzelzs caurules, kuras diametrs $d = 75$ mm, garums $L = 7$ m. Caurules temperatūra $t_1 = 227$ °C. Caurule atrodas ar ķieģeļiem izmūrētā telpā. Telpas sienu temperatūra $t_2 = 27$ °C.

Noteikt starošanas rezultātā radušos siltuma zudumus no dzelzs caurules, kuras diametrs $d = 75$ mm, garums $L = 7$ m. Caurules temperatūra $t_1 = 227$ °C. Caurule atrodas ar ķieģeļiem izmūrētā telpā. Telpas sienu temperatūra $t_2 = 27$ °C.

Atrisinājums

Ņemot vērā uzdevuma nosacījumus, $S_1 < S_2$, līdz ar to var pieņemt, ka $\varepsilon_p = \varepsilon_1$. Atrodam oksidētas dzelzs virsmas melnuma pakāpi ε_1 (skat. 3.2. tabulu) $\varepsilon_1 = 0,79$ (oksidētai dzelzij).

Kopējo siltuma plūsmu no caurules virsmas Q saskaņā ar vienādojumu (3.15) nosaka šādi:

$$Q = \varepsilon_p \cdot C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot S$$

Nosakām caurules virsmas laukumu:

$$S = \pi \cdot d \cdot L = 3.14 \cdot 0.075 \cdot 7 = 1,65 \text{ m}^2$$

Kopējā siltuma plūsma no caurules virsmas:

$$Q = 0,79 \cdot 5,7 \cdot \left[\left(\frac{500}{100} \right)^4 - \left(\frac{300}{100} \right)^4 \right] \cdot 1,65 = 4038,21 \text{ W}$$

Siltuma plūsma Q_{ip} no 1 m caurules būs:

$$Q_{ip} = \frac{Q}{L} = \frac{4038,21}{7} = 576,9 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

3.6.2. PATSTĀVĪGIE UZDEVUMI

1. uzdevums

Noteikt starošanas rezultātā radušos siltuma zudumus no dzelzs caurules, kuras diametrs $d = 55$ mm, garums $L = 10$ m. Caurules temperatūra $t_1 = 127$ °C. Caurule atrodas ar ķieģeļiem izmūrētā telpā. Telpas sienu temperatūra $t_2 = 21$ °C.

Atbilde: 1410,3 W.

2. uzdevums

Noteikt starošanas rezultātā radušos siltuma zudumus no vara caurules, kuras diametrs $d = 25$ mm, garums $L = 5$ m. Caurules temperatūra $t_1 = 97$ °C. Caurule atrodas ar ķieģeļiem izmūrētā telpā. Telpas sienu temperatūra $t_2 = 18$ °C.

Atbilde: 207 W.

3. uzdevums

Noteikt starošanas rezultātā radušos siltuma zudumus no dzelzs caurules, kuras diametrs $d = 32$ mm, garums $L = 12$ m. Caurules temperatūra $t_1 = 80$ °C. Caurule atrodas ar ķieģeļiem izmūrētā telpā. Telpas sienu temperatūra $t_2 = 15$ °C.

Atbilde: 469,8 W.

4. uzdevums.

Noteikt starošanas rezultātā radušos siltuma zudumus no cilindriskas formas tērauda aparāta, kas atrodas telpā ar sienu flīžu apdari. Aparāta izmēri: diametrs $d = 1$ m, augstums $H = 2$ m. Aparāta sienas temperatūra $t_1 = 70$ °C, gaisa temperatūra telpā $t_2 = 20$ °C.

Atbilde: 2490 W.

5. uzdevums.

Noteikt starošanas rezultātā radušos siltuma zudumus no cilindriskas formas nerūsējošā tērauda aparāta, kas atrodas telpā ar sienu flīžu apdari. Aparāta izmēri: diametrs $d = 1,5$ m, augstums $H = 3$ m. Aparāta sienas temperatūra $t_1 = 65$ °C, gaisa temperatūra telpā $t_2 = 20$ °C.

Atbilde: 3115 W.

4.

SILTUMPĀREJA

Nodaļas mērķis	Attīstīt izglītojamo prasmes veikt siltumpārejas procesa aprēķinus, sastādot sildīšanas procesa siltuma bilanci.
Sasniedzamie rezultāti	Spēj: veikt siltumpārejas procesu aprēķinus, sastādot sildīšanas procesa siltuma bilanci. Zina: siltumpārejas vienādojumu, siltumpārejas procesa posmus, siltumpārejas procesa aprēķinu paņēmienus, siltuma bilances sastādīšanu, siltuma zudumu aprēķinus siltumpārejas procesā.

Līdz šim DML tika aplūkota siltuma izplatīšanās vadīšanas, konvekcijas un starošanas rezultātā. Reālos apstākļos, īstenojot tehnoloģiskus procesus ražošanā, ir jāstopas ar jauktiem siltuma izplatīšanās veidiem, kad vienlaikus noris konvekcija un starošana vai pat visi trīs siltumapmaiņas (siltumpārneses) veidi.

Jaukta siltumapmaiņa (siltumpārnese) var notikt nemainīgos un mainīgos temperatūras apstākļos.



DEFINĪCIJA

Siltumpāreja ir siltumapmaiņas process starp gāzēm vai šķidrumiem caur norobežojošu virsmu (noris siltumapmaiņas iekārtās vai aparātos).

Siltumpārejas gadījumā rezultējas siltumatdeves procesi abās virsmas pusēs un siltumvadīšana sienā.

Siltumpārejā izšķir **stacionārus un nestacionārus** procesus. Stacionāru procesu gadījumā temperatūra katrā materiālās vides punktā ir atkarīga tikai no punkta atrašanās vietas un nemainās laikā. Tātad

$$t = f(x; y; z)$$

Saskaņā ar augstākminēto arī kopējā siltuma plūsma ir nemainīgs lielums (*const*).

Nestacionāru procesu gadījumā temperatūra ir atkarīga no punkta atrašanās vietas un mainās siltumpārneses procesa laikā. Attiecīgi:

$$t = f(x; y; z; \tau)$$

4.1. SILTUMPĀREJAS VIENĀDOJUMS

Tehnoloģiskajos aprēķinos plaši izmanto **siltumpārejas vienādojumu**, kurš apraksta sakarību starp siltuma plūsmu **Q** un siltumpārejas virsmu **S**:

$$Q = K S \Delta t_{vid} \quad (4.1)$$

kur

K – siltumpārejas koeficients, $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;

Δt_{vid} – vidējā temperatūru starpība starp karsto un auksto siltumnesēju, K;

S – siltumpārejas virsma, m^2 .



DEFINĪCIJA

Siltumpārejas koeficients *K* raksturo to siltuma daudzumu, kas tiek pārnesti no karsta siltumnesēja uz aukstu siltumnesēju caur $1 m^2$ virsmas vienā sekundē, ja temperatūras starpība starp siltumnesējiem ir $1 K$.

Siltumpārejas koeficients *K* raksturo siltumpārneses procesa intensitāti (ātrumu). Siltumpārejas koeficienta *K* mērvienību var atrast pēc vienādojuma (4.1):

$$[K] = \left[\frac{Q}{S \Delta t_{vid}} \right] = \frac{W}{m^2 K}$$

Siltumpārejas koeficienta *K* aptuvenas mērvienības atkarībā no siltumnesēju veida apkopotas 4.1. tabulā.

4.1. tabula

Siltumpārejas koeficienta *K* aptuvenas vērtības

Siltumpārejas veids	$K, \frac{W}{m^2 \cdot K}$
No gāzes uz gāzi ($p = 0,1 \text{ MPa}$)	4–70
No gāzes uz gāzi ($p = 20 \text{ MPa}$)	150–500
No gāzes uz šķidrumu	6–60
No piesātināta tvaika uz gāzi	6–60
No šķidruma uz šķidrumu (ogļūdeņraži, eļļas)	30–270
No šķidruma uz šķidrumu (ūdens)	140–1700
No piesātināta tvaika uz organiskiem šķidrumiem	60–340
No organisko šķidrumu piesātināta tvaika uz ūdeni	230–800
No piesātināta tvaika uz verdošu ūdeni	300–2500
No tvaika kondensāta uz ūdeni	1500–5000

Siltuma plūsmu Q parasti nosaka, sastādot siltuma bilances vienādojumu:

$$Q = Q_1 = Q_2 \quad (4.2)$$

kur

Q_1 – siltuma daudzums, ko atdod karstais siltumnesējs, W;

Q_2 – siltuma daudzums, ko iegūst aukstais siltumnesējs, W.



BŪTISKI

Siltuma zudumi apkārtējā vidē parasti ir 3–5 % no Q skaitliskās vērtības.

Ja siltumnesēji nemaina savu agregātstāvokli, tad siltuma bilances vienādojumu var uzrakstīt šādi:

$$Q = G_1 C_1 (t_{1s} - t_{1b}) = G_2 C_2 (t_{2s} - t_{2b}) \quad (4.3)$$

kur

G_1 – karstā siltumnesēja patēriņš, $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$;

G_2 – aukstā siltumnesēja patēriņš, $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$;

C_1 – karstā siltumnesēja īpatnējais siltums, $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$;

C_2 – aukstā siltumnesēja īpatnējais siltums, $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$;

t_{1s} – karstā siltumnesēja sākuma temperatūra, K;

t_{1b} – karstā siltumnesēja beigu temperatūra, K;

t_{2s} – aukstā siltumnesēja sākuma temperatūra, K;

t_{2b} – aukstā siltumnesēja beigu temperatūra, K.

Siltuma daudzuma (patēriņa) mērvienība **SI sistēmā ir W (vats)**:

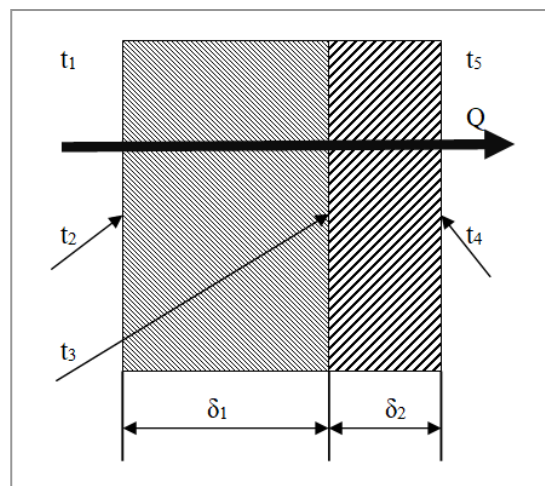
$$1W = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

Bieži vien aprēķinos izmanto mērvienību *kal* (kalorija): 1 kal = 4,19 J.

4.2. SILTUMPĀREJA CAUR PLAKANĀM SIENĀM

Aplūkosim siltumpārejas gadījumu (skat. 4.1. attēlu) no karsta siltumnesēja ar temperatūru t_1 uz aukstu siltumnesēju ar temperatūru t_5 ($t_1 > t_5$) caur plakanu sienu, kas sastāv no diviem dažādu materiālu slāņiem, kuru biezums ir δ_1 un δ_2 un siltumvadītspējas koeficienti – λ_1 un λ_2 .

Vienkāršākā gadījumā pieņemam, ka temperatūras nemainās laikā un siltumpārejas process ir stacionārs.



4.1. attēls. Siltumpārejas caur plakanām sienām shēma

Siltumpāreja noris četros posmos:**1. posms**

Konvektīvā siltumatdeve no karstā siltumnesēja plūsmas sienai:

$$Q_1 = \alpha_1 S (t_1 - t_2) \quad (4.4)$$

kur

α_1 – siltumatdeves koeficients no karsta siltumnesēja sienai

2. posms

Siltumpāreja caur pirmo sienas slāni, kura biezums ir δ_1 un siltumvadītspējas koeficients

$$\lambda_1 : Q_2 = \frac{\lambda_1}{\delta_1} S (t_2 - t_3) \quad (4.5)$$

3. posms

Siltumpāreja caur otro sienas slāni, kura biezums ir δ_2 un siltumvadītspējas koeficients λ_2 :

$$Q_3 = \frac{\lambda_2}{\delta_2} S (t_3 - t_4) \quad (4.6)$$

4. posms

Konvektīvā siltumatdeve no sienas aukstā siltumnesēja plūsmai:

$$Q_4 = \alpha_2 S (t_4 - t_5) \quad (4.7)$$

kur

α_2 – siltumatdeves koeficients no sienas otrā slāņa aukstajam siltumnesējam.

Stacionārā procesa gadījumā siltuma plūsma visos posmos būs vienāda, t. i., $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q$.

Līdz ar to vienādojumus (4.4, 4.5, 4.6, 4.7) var uzrakstīt šādi:

$$\begin{aligned} t_1 - t_2 &= \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{Q}{S} & t_2 - t_3 &= \frac{\delta_1}{\lambda_1} \cdot \frac{Q}{S} \\ t_3 - t_4 &= \frac{\delta_2}{\lambda_2} \cdot \frac{Q}{S} & t_4 - t_5 &= \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{Q}{S} \end{aligned}$$

Saskaitot kopā visus vienādojumus, iegūst:

$$t_1 - t_5 = \frac{Q}{S} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$$

vai

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot S \cdot (t_1 - t_5) \quad (4.8)$$

kur

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}$$

No siltumpārejas vienādojuma $Q = K \cdot S \cdot (t_1 - t_5)$ iegūst:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{a_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_2}}} \quad (4.9)$$

vai

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{a_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_2} \quad (4.10)$$

kur

$$\begin{aligned} \frac{1}{K} & - \text{kopējā siltumapmaiņas pretestība } \left(\text{m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \right); \\ \frac{1}{a_1}, \frac{1}{a_2} & - \text{termiskā siltumapmaiņas pretestība, } \left(\text{m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \right); \\ \sum \frac{\delta}{\lambda} & - \text{daudzslāņu sienas termiskā pretestība, } \left(\text{m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \right). \end{aligned}$$

Temperatūras uz plakanās sienas virsmām (t_2 un t_4) vai arī starp tām (t_3) var noteikt pēc vienādojumiem (4.4, 4.5, 4.6, 4.7):

$$t_2 = t_1 - \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{Q}{S} \quad (4.11)$$

$$t_3 = t_2 - \frac{\delta_1}{\lambda_1} \cdot \frac{Q}{S} = t_4 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \cdot \frac{Q}{S} \quad (4.12)$$

$$t_4 = t_5 + \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{Q}{S} \quad (4.13)$$

4.3. SILTUMPĀREJA MAINĪGĀ TEMPERATŪRĀ

Līdz šim, apskatot siltumapmaiņas procesus, tika pieņemts, ka siltumnesējiem (sildvirsmām) atsevišķos punktos temperatūra ir vienāda. Praksē šādi gadījumi ir ļoti reti. Aptuvenos aprēķinos var uzskatīt, ka šādas situācijas realizējas, šķidrumam verdot vai tvaikam kondensējoties. Parasti siltumnesēju temperatūra siltumapmaiņas iekārtās mainās: karstais atdziest, aukstais uzsilst. Līdz ar to mainās arī temperatūru starpība (diference) starp tiem:

$$\Delta t_i = (t_1 - t_2)_i \quad (4.14)$$

Šādos apstākļos siltumpārejas vienādojums (4.1) ir lietojams tikai diferenciālā formā, attiecināts uz siltummaiņa sildvirsmas elementu dS :

$$dQ = K_i \Delta t_i dS_i \quad (4.15)$$

Kopējo siltuma daudzumu, kas tiek pārnestas caur visu aparāta sildvirsmu, var noteikt, integrējot izteiksmi (1.31):

$$Q = \int_0^S K_i \Delta t_i dS_i = K \Delta t_{vid} S \quad (4.16)$$

kur Δt_{vid} – vidējā visas sildvirsmas temperatūru starpība.

Siltumprocesu un aparātu aprēķinos svarīga loma ir siltumnesēja ūdens ekvivalentam W , $\frac{W}{K}$ ($^{\circ}\text{C}$). Ūdens ekvivalenta skaitliskā vērtība ir vienāda ar ūdens daudzumu, kas pēc siltumietilpības ir proporcionāls konkrēta siltumnesēja masas patēriņa siltumietilpībai laika vienībā:

$$W = GC \left[\frac{W}{K} \right] \quad (4.17)$$

kur

G – siltumnesēja masas patēriņš, $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$;

C – siltumnesēja īpatnējais siltums, $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$.

Siltummaiņa *siltuma bilances* vienādojums ir šāds:

$$Q_1 = Q_2 + Q_z \quad (4.18)$$

kur

$Q_1 = G_1 C_1 (t_{1s} - t_{1b})$ – siltuma daudzums, ko atdod karstais siltumnesējs;

$Q_2 = G_2 C_2 (t_{2s} - t_{2b})$ – siltuma daudzums, ko saņem aukstais siltumnesējs;

Q_z – siltuma zudumi apkārtējā vidē.

Ja **siltuma bilances** vienādojumā (4.18) ievietot ūdens ekvivalentus W , tad iegūst šādu vienādojumu:

$$W_1(t_{1s} - t_{1b}) = W_2(t_{2s} - t_{2b}) \quad (4.19)$$

no kā izriet, ka

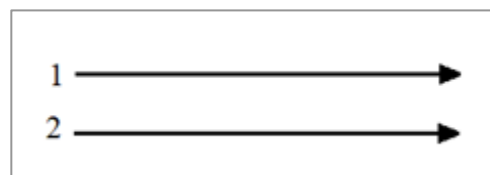
$$\frac{t_{1s} - t_{1b}}{t_{2s} - t_{2b}} = \frac{W_2}{W_1} \quad (4.20)$$

Darba šķidrumu (siltumnesēju) temperatūras izmaiņu attiecība ir apgriezti proporcionāla to ūdens ekvivalentu attiecībai.

Darba šķidrumu (siltumnesēju) temperatūras izmaiņu raksturs pa sildvirsmu ir atkarīgs no to plūsmu kustības shēmas siltummaiņī un to ūdens ekvivalentu attiecības.

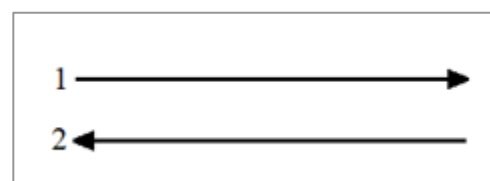
Siltumapmaiņas nepārtrauktajos procesos izšķir šādas siltumnesēju plūsmu kustības shēmas (skat. 4.2. attēlu).

līdzplūsma (jeb paralēlā plūsma), kad siltumnesēji (karstais un aukstais) plūst vienā virzienā (4.2. attēls, a)



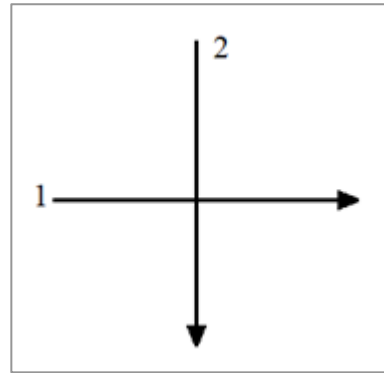
4.2. attēls, a

pretplūsma, kad siltumnesēji plūst pretējos virzienos (4.2. attēls, b);



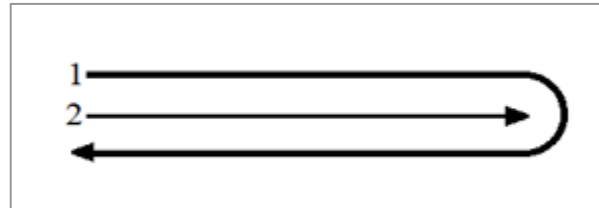
4.2. attēls, b

šķērsplūsma, kad siltumnesēji plūst perpendikulārā virzienā attiecībā viens pret otru (4.2. attēls, c);



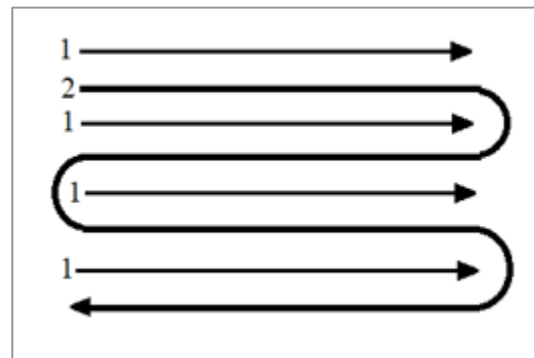
4.2. attēls, c

vienreizējā jauktā plūsma (4.2. attēls, d);



4.2. attēls, d

daudzkārtējā jauktā plūsma (4.2. attēls, e), kad viens siltumnesējs plūst vienā virzienā, bet otrs maina savu virzienu – plūst gan pretplūsmā, gan līdzplūsmā attiecībā pret pirmo.



4.2. attēls, e

Pareizi izvēloties siltumnesēju plūsmu kustības shēmu, var nodrošināt siltumnesēja patēriņa samazināšanu, vienmērīgāku sildīšanu un dzesēšanu, kā arī citus tehnoloģiskus efektus.

Pēc siltumpārejas vienādojuma (4.1) kopējais siltuma daudzums, kas tiek pārnesti caur visu aparāta sildvirsmu, ir proporcionāls Δt_{vid} (vidējā visas sildvirsmas temperatūru starpība).

Veicot matemātiskos pārveidojumus, iegūst Δt_{vid} (vidējās temperatūru starpības) aprēķināšanas izteiksmes. Kad temperatūras pa sildvirsmu mainās vienmērīgi un $\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}} \leq 2$ (Δt_{max} – lielākā temperatūru starpība siltummaiņa galos, Δt_{min} – mazākā temperatūru starpība siltummaiņa galos), tad vidējo temperatūru starpību nosaka kā **vidējo aritmētisko**:

$$\Delta t_{vid} = \frac{\Delta t_{max} + \Delta t_{min}}{2} \quad (4.21)$$

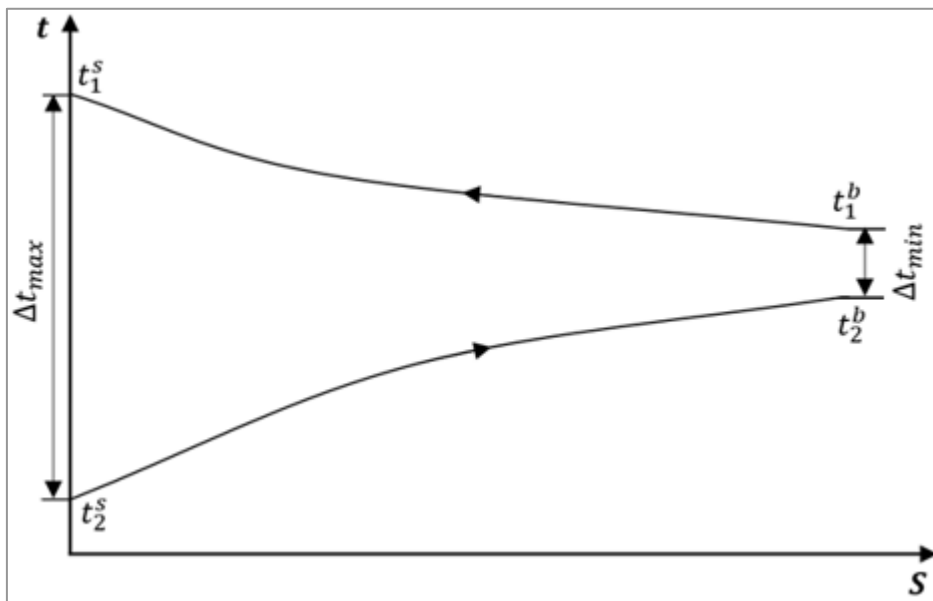
Kad siltumapmaiņa ir intensīvāka un temperatūru starpības ir lielākas ($\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}} > 2$), tad temperatūras pa sildvirsmu mainās nevienmērīgi. Šajos gadījumos Δt_{vid} (vidējās temperatūru starpības) noteikšanai izmanto logaritmisko formulu:

$$\Delta t_{vid} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} \quad (4.22)$$

Visām plūsmām, ja temperatūra mainās pa sildvirsmu, siltuma daudzumu siltumpārejā Q aprēķina pēc vienādojuma (4.1), mainās tikai vidējās logaritmiskās temperatūru starpības Δt_{vid} noteikšana.

Ķīmijas tehnoloģijā visbiežāk izmanto līdzplūsmas (skat. 4.3. attēlu) un pretplūsmas (skat. 4.4. attēlu) shēmas. Attēlotajos zīmējumos ir redzams, kā mainās darba šķidrumu temperatūra uz sildvirsmas. **Līdzplūsmas** gadījumā (skat. 4.3. attēlu) aukstā siltumnesēja galīgā temperatūra t_2^b vienmēr ir mazāka nekā karstā siltumnesēja galīgā temperatūra t_1^b .

Pretplūsmas gadījumā (skat. 4.4. attēlu) aukstā siltumnesēja galīgā temperatūra t_2^b var būt augstāka nekā karstā siltumnesēja galīgā temperatūra t_1^b . Tātad, ja ir viena un tā pati sākuma temperatūra, pretplūsmas gadījumā auksto šķidrumu var uzsildīt līdz augstākām temperatūrām.



4.3. attēls. Vidējās temperatūru starpības noteikšana līdzplūsmas gadījumā

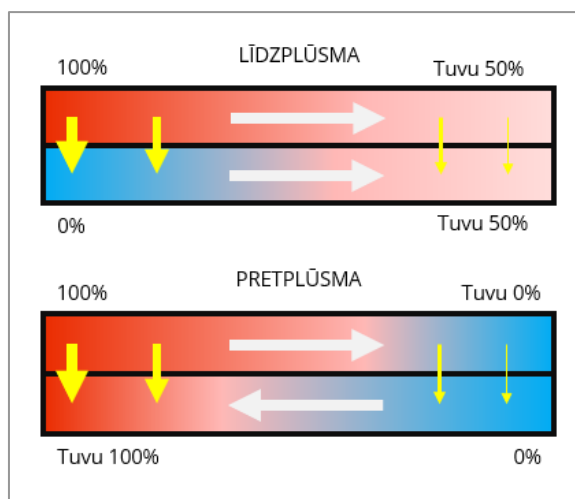


4.4. attēls. Vidējās temperatūru starpības noteikšana pretplūsmas gadījumā

Tādēļ siltumnesēju pretplūsmas shēmas izmantošana ir izdevīgāka nekā līdzplūsmas shēmas izmantošana. Tas izskaidrojams ar to, ka vidējā temperatūru starpība pretplūsmas gadījumā ir lielāka nekā līdzplūsmas gadījumā, bet siltumnesēju patēriņš ir vienāds (ja siltumnesēju sākuma un beigu temperatūras sakrīt) un siltumapmaiņas procesa ātrums ir lielāks.

4.4. PLŪSMAS VEIDA IZVĒLE SILTUMAPMAIŅAS IEKĀRTĀS

Ir gadījumi, kad siltummaiņos vienam vai abiem siltumnesējiem (vidēm) temperatūra nemainās vai arī mainās abiem siltumnesējiem. Ja vienam vai abiem siltumnesējiem temperatūra nemainās, tad nav svarīgi, kāds ir plūsmas virziens, jo tas neietekmē siltumpārejas procesu un siltumnesēja patēriņu. Ja temperatūra mainās abiem siltumnesējiem, tad jāizvēlas plūsmas veids, kurš nodrošinās vislielāko vidējo temperatūru starpību Δt_{vid} (samazina nepieciešamo sildvirsmas lielumu S), mazāko siltumnesēja patēriņu, zemāku maksimālo sienas temperatūru (samazina termisko deformāciju) un maksimālo siltumpārejas koeficientu K (skat. 4.5. attēlu).



4.5. attēls. Temperatūru maiņa plūsmās

(sarkanā krāsa – maksimālā temperatūra; zila krāsa – minimālā temperatūra)

Avots: en.wikipedia.org/wiki/Countercurrent_exchange

Pretplūsmas iekārtās siltumnesēja temperatūru iespējams mainīt (sildīšanas vai dzesēšanas procesā) ievērojami plašākā intervālā nekā līdzplūsmas siltummaiņos. Pretplūsmas iekārtā salīdzinājumā ar vienādas sildvirsmas līdzplūsmas iekārtu ir mazāks siltumnesēja (aukstumnesēja) patēriņš, jo tas tiek izmantots pilnīgāk. Pretplūsmas aparātos lietderīgāk izmantojot siltumnesēju, samazinās vidējā temperatūru starpība Δt_{vid} , tādēļ, salīdzinot vienāda ražīguma līdzplūsmas un pretplūsmas iekārtas, lielāka sildvirsmas ir pretplūsmas iekārtām.

Samazinātais siltumnesēja patēriņš pretplūsmas aparātos dod lielāko ekonomisko efektu, neskatoties uz izdevumiem, kas saistīti ar siltumiekārtas iegādi un ekspluatāciju. Ņemot vērā augstākminēto, tehnoloģijā plašāk lieto pretplūsmas iekārtas. Līdzplūsmas iekārtās maksimālā virsmas temperatūra ir zemāka nekā pretplūsmas iekārtās, tādēļ, ja vienam siltumnesējam ir ļoti augsta temperatūra, termiskās deformācijas samazināšanai lieto līdzplūsmu. Līdzplūsmas iekārtas lieto arī termiski labilu vielu sildīšanai, lai pasargātu tās no augstās sienas temperatūras iedarbības.

Jauktai plūsmai, izveidojot vairākas virzienu maiņas, siltumpārejas koeficients K palielinās. Siltummaiņos, sadalot sekcijās (grupās) cauruļu un starpcauruļu telpas, iespējams paaugstināt vidējo temperatūru starpību Δt_{vid} , līdz tā tuvojas pretplūsmas vidējai temperatūru starpībai. Jaukto plūsmu un šķērsplūsmu siltumapmaiņas iekārtās lieto gadījumos, kad konstruktīvi nav iespējams nodrošināt pretplūsmu.

Siltumpāreja, temperatūrai mainoties laikā

Ja temperatūra mainās laikā, piemēram, sildot šķidrumus ar tvaiku, iegūst tādas pašas aprēķina formulas, kā mainoties temperatūrai pa sildvirsmu.

4.5. SILTUMA ZUDUMI UN SILTUMIZOLĀCIJA

Siltumapmaiņas iekārtu siltuma zudumi apkārtējā vidē atkarīgi no sildvirsmas lieluma un apkārtējās vides temperatūras, kā arī no gaismas kustības (plūsmas) ātruma. Siltuma zudumus apkārtējā vidē aprēķina kā kopējos zudumus, kas saistīti ar konvekciju un starošanu, pēc vienādojuma (3.15):

$$Q = \alpha(t_s - t_v)S$$

kur

Q – siltuma zudumi apkārtējā vidē, W;

α – kopējais (summārais) siltumatdeves koeficients, $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;

t_s – sienas temperatūra, °C;

t_v – vides (siltumnesēja) temperatūra, °C;

S – sienas virsma, m².

Kopējo siltumatdeves koeficientu iekārtām, kurām sienas temperatūra nepārsniedz 150 °C un kuras novietotas telpās, var aprēķināt pēc formulas:

$$\alpha = 9,3 + 0,058 t_s \quad (4.23)$$

Lai samazinātu siltuma zudumus apkārtējā vidē, jāsamazina siltumpāreja no iekārtas (caurules) iekšienes (kur temperatūra ir augstākā) uz apkārtējo vidi.

To iespējams panākt, palielinot termisko pretestību. Praktiski tas realizējams, appliekot aparāta (iekārtas) ārējo virsmu ar siltumizolācijas materiāla kārtu (informāciju par siltumizolācijas materiāliem skat. sadaļā 1.1.). Irdenam izolācijas materiālam pievieno saistvielas. Izolējot sildvirsmas, kurām ir augsta temperatūra, izolācijas slāni izveido no vairākām dažādu materiālu kārtām. Siltumizolācijas kārtas biezumu δ caurulēm apkārtējās vides temperatūrā (20 °C) var noteikt pēc šādas formulas:

$$\delta = \frac{\lambda (t - t_s)}{\alpha (t_s - t_v)} \quad (4.24)$$

kur

λ – izolācijas materiāla siltumvadītspējas koeficients, $\frac{W}{m \cdot K}$;

t – sienas temperatūra zem izolācijas (pieņem, ka tā ir vienāda ar siltumnesēja temperatūru, °C);

t_s – izolācijas ārējās virsmas temperatūra, pieņem, ka $t_s = 35 - 40$ °C;

t_v – apkārtējās vides temperatūra, °C.

Ja apkārtējās vides temperatūra ir augstākā par 20 °C, tad uz katriem 5 °C siltuma zudumi samazinās aptuveni par 1,5 %.

Jāņem vērā, ka, palielinot izolācijas kārtas biezumu, tā veicina siltumizolāciju tikai līdz kritiskajam diametram, ko nosaka pēc formulas:

$$d_{kr} = \frac{2\lambda}{\alpha} \quad (4.25)$$

Izolācijas kārtas biezums, kurš ir lielāks par kritisko diametru d_{kr} , pavājina siltumizolācijas procesu. Ļoti biežai izolācijas kārtai siltuma zudumi nesamazinās, bet pat pieaug.

4.6. ZINĀŠANU NOSTIPRINĀŠANA

1. Siltumpārejas koeficienta fizikālā būtība!

Siltumpārejas koeficients K raksturo to siltuma daudzumu, kas tiek pārnesti no karsta siltumnesēja uz aukstu siltumnesēju caur 1 m^2 virsmas vienā sekundē, ja temperatūras starpība starp siltumnesējiem ir 1 K . **Siltumpārejas koeficients K** raksturo siltumpārejas procesa intensitāti (ātrumu).

2. Kas ir siltumnesēja ūdens ekvivalents W ?

Ūdens ekvivalenta skaitliskā vērtība ir vienāda ar ūdens daudzumu, kas pēc siltumietilpības ir proporcionāls konkrēta siltumnesēja masas patēriņa siltumietilpībai laika vienībā:

$$W = G C \left[\frac{W}{K} \right]$$

kur

G – siltumnesēja masas patēriņš, $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$,

C – siltumnesēja īpatnējais siltums, $\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$.

3. Raksturojiet siltumpārejas vienādojumu!

Siltumprocesu aprēķinos plaši izmanto *siltumpārejas vienādojumu*, kurš apraksta sakarību starp siltuma plūsmu Q un siltumpārejas virsmu S :

$$Q = K S \Delta t_{vid}$$

kur

K – siltumpārejas koeficients, $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$;

Δt_{vid} – vidējā temperatūras starpība starp karsto un auksto siltumnesēju, K ;

S – siltumpārejas virsma, m^2 .

4. Kāda siltumnesēju plūsmu organizācijas shēma – līdzplūsma vai pretplūsma – ir ekonomiski izdevīgāka un kāpēc?

Izdevīgāka ir pretplūsmas shēma, jo, realizējot pretplūsmas shēmu, ir lielāka vidējā temperatūru starpība Δt_{vid} .

5. Kā nosaka vidējo temperatūru starpību Δt_{vid} ?

Kad temperatūras pa sildvirsmu mainās vienmērīgi un $\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}} \leq 2$ (Δt_{max} – lielākā temperatūru starpība siltummaiņa galos, Δt_{min} – mazākā temperatūru starpība siltummaiņa galos), tad vidējo temperatūru starpību nosaka kā **vidējo aritmētisko**:

$$\Delta t_{vid} = \frac{\Delta t_{max} + \Delta t_{min}}{2}$$

Kad siltumapmaiņa ir intensīvāka un temperatūru starpības ir lielākas ($\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}} > 2$), tad temperatūras pa sildvirsmu mainās nevienmērīgi. Šajos gadījumos Δt_{vid} (vidējās temperatūru starpības) noteikšanai izmanto logaritmisko formulu:

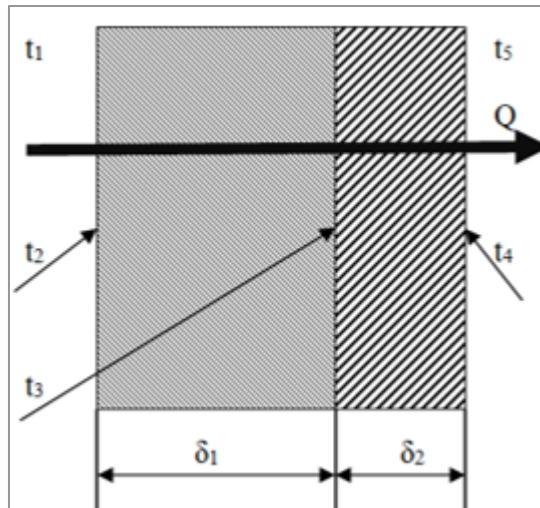
$$\Delta t_{vid} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}}$$

6. Kādi raksturlielumi ietekmē siltumpārejas koeficienta K vērtību?

Siltumpārejas koeficienta K vērtību ietekmē:

- sieniņu materiālu siltumvadītspējas koeficienti λ_1 un λ_2 , sieniņu biezumi δ_1 un δ_2 ;
- α_1 – siltumatdeves koeficients no karsta siltumnesēja sienai;
- α_2 – siltumatdeves koeficients no sienas otrā slāņa aukstajam siltumnesējam.

7. Uzzīmējiet shematiski siltumpārejas procesa shēmu plakanā divslāņu sienā un raksturojiet to!



Siltumpāreja noris četros posmos:

1. posms

Konvektīvā siltumatdeve no karstā siltumnesēja plūsmas sienai:

$$Q_1 = \alpha_1 S (t_1 - t_2)$$

kur

α_1 – siltumatdeves koeficients no karsta siltumnesēja sienai

2. posms

Siltumpāreja caur pirmo sienas slāni, kura biezums ir δ_1 un siltumvadītspējas koeficients λ_1 :

$$Q_2 = \frac{\lambda_1}{\delta_1} S (t_2 - t_3)$$

3. posms

Siltumpāreja caur otro sienas slāni, kura biezums ir δ_2 un siltumvadītspējas koeficients λ_2 :

$$Q_3 = \frac{\lambda_2}{\delta_2} S (t_3 - t_4)$$

4. posms

Konvektīvā siltumatdeve no sienas aukstā siltumnesēja plūsmi:

$$Q_4 = \alpha_2 S (t_4 - t_5)$$

kur

α_2 – siltumatdeves koeficients no sienas otrā slāņa aukstajam siltumnesējam.

8. Kas ir siltumpārejas procesa virzošais spēks?

Siltumpārejas procesa virzošais spēks ir temperatūras starpība starp karsto un auksto siltumnesēju.

4.7. UZDEVUMU RISINĀŠANAS PIEMĒRI UN PATSTĀVĪGIE UZDEVUMI**4.7.1. UZDEVUMU RISINĀŠANAS PIEMĒRI****BŪTISKI**

Risinot uzdevumus par siltumpāreju, jāizmanto SI sistēmas mērvienības! (skat. 6. pielikumu)

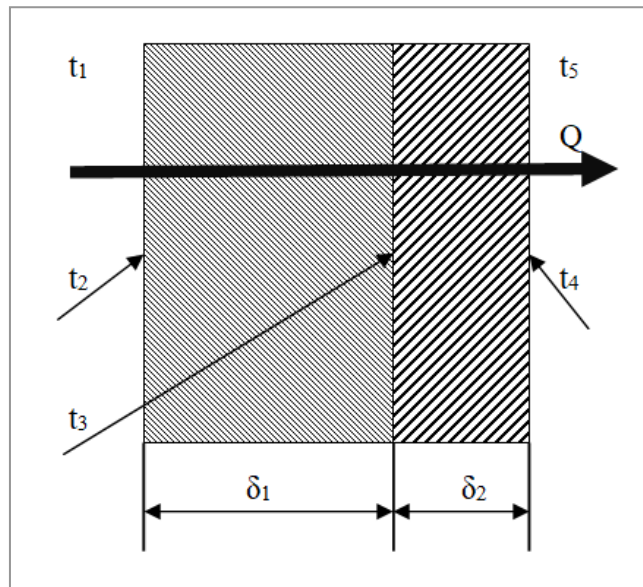
1. uzdevums

Krāsns siena sastāv no diviem slāņiem (skat. 4.6. attēlu):

1) ugunsizturīgo ķieģeļu slānis, kura biezums

$\delta_1 = 500$ mm;

2) parasto ķieģeļu slānis, kura biezums $\delta_2 = 250$ mm.



4.6. attēls. Temperatūras sadalījuma shēma 1. uzdevumam

Temperatūra krāsnī $t_1 = 1300\text{ °C}$, apkārtējās vides temperatūra $t_5 = 25\text{ °C}$. Siltumatdeves koeficients no dūmgāzēm sienai $\alpha_1 = 34,8\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$; siltumatdeves koeficients no sienas apkārtējai videi $\alpha_2 = 16,2\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$. Ugunsizturīga ķieģeļa siltumvadītspējas koeficients $\lambda_1 = 1,16\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$; parasta ķieģeļa siltumvadītspējas koeficients $\lambda_2 = 0,58\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$.

Noteikt:

- 1) siltuma zudumus no 1 m^2 sienas virsmas;
- 2) temperatūru t_3 starp ķieģeļu slāņiem!

Atrisinājums

1. Nosakām siltumpārejas koeficientu, izmantojot vienādojumu (4.9):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{34,8} + \frac{0,5}{1,16} + \frac{0,25}{0,58} + \frac{1}{16,2}} = 1,05\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$$

Tad pēc vienādojuma (4.8) aprēķinām siltuma zudumus no 1 m^2 sienas virsmas:

$$Q = K(t_1 - t_5) = 1,05(1300 - 25) = 1339\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

2. Temperatūru t_3 starp ķieģeļu slāņiem var noteikt, izmantojot vienādojumu (4.5) un (4.6) sistēmu:

$$Q = \alpha_1(t_1 - t_2) = \frac{\lambda_1}{\delta_1}(t_2 - t_3)$$

tad

$$t_2 = t_1 - \frac{Q}{\alpha_1} = 1300 - \frac{1339}{34,8} = 1261,5\text{ °C}$$

$$t_3 = t_2 - \frac{Q\delta_1}{\lambda_1} = 1261,5 - \frac{1339 \cdot 0,5}{1,16} = 684,3\text{ °C}$$

3. Pārbaudīsim rezultāta (t_3) pareizību, rēķinot uzdevumu no „aukstās” puses. Sastādām vienādojumu (4.7) un (4.8) sistēmu:

$$Q = \alpha_2(t_4 - t_5) = \frac{\lambda_2}{\delta_2}(t_3 - t_4)$$

tad

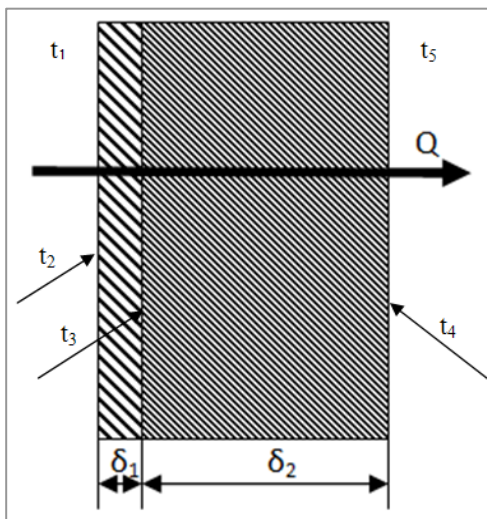
$$t_4 = t_5 + \frac{Q}{\alpha_2} = 25 + \frac{1339}{16,2} = 107,7^\circ\text{C}$$

$$t_3 = t_4 + \frac{Q\delta_2}{\lambda_2} = 107,7 + \frac{1339 \cdot 0,25}{0,58} = 684,8^\circ\text{C}$$

Aprēķināšanas rezultāti (t_3) praktiski sakrīt.

2. uzdevums

Noteikt siltummaiņa sienas iekšējās un ārējās virsmas temperatūras t_2 , t_3 , kā arī siltummaiņa izolācijas ārējās virsmas temperatūru t_4 (skat. 4.7. attēlu)!



4.7. attēls. Temperatūras sadalījuma shēma 2. uzdevumam

Šķidrums temperatūra aparātā $t_1 = 80^\circ\text{C}$, ārējā gaisa temperatūra $t_5 = 10^\circ\text{C}$. Siltummainis izgatavots no tērauda; tērauda sieniņas biezums $\delta_1 = 5\text{ mm}$, izolācijas (minerālvate) slāņa biezums $\delta_2 = 40\text{ mm}$. Siltumatdeves koeficients no karsta šķidrums sienai $\alpha_1 = 232 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$, siltumatdeves koeficients no izolācijas slāņa apkārtējai videi $\alpha_2 = 7,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$, tērauda slāņa siltumvadītspējas koeficients $\lambda_1 = 46,5 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$, izolācijas slāņa (minerālvates) siltumvadītspējas koeficients $\lambda_2 = 0,046 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$.

Atrisinājums

1. Nosakām siltumpārejas koeficientu, izmantojot vienādojumu (4.9):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{232} + \frac{0,005}{46,5} + \frac{0,04}{0,046} + \frac{1}{7,2}} = 0,99 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

kur

$$\delta_1 = 5\text{ mm} = 0,005\text{ m};$$

$$\delta_2 = 40\text{ mm} = 0,04\text{ m}.$$

Tad pēc vienādojuma 4.8 aprēķinām siltuma zudumus no 1 m^2 sienas virsmas:

$$Q = K(t_1 - t_5) = 0,99(80 - 10) = 69,17 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

2. Temperatūras t_2 , t_3 , t_4 var noteikt, izmantojot vienādojumu (4.5, 1.6) un (1.7) sistēmu:

$$Q = \alpha_1(t_1 - t_2) = \frac{\lambda_1}{\delta_1}(t_2 - t_3) = \alpha_2(t_4 - t_5)$$

Tad siltummaiņa iekšējās sienas temperatūra t_2 būs:

$$t_2 = t_1 - \frac{Q}{\alpha_1} = 80 - \frac{69,17}{232} = 79,7^\circ\text{C}$$

Siltummaiņa ārējās sienas temperatūra t_3 būs:

$$t_3 = t_2 - \frac{Q \delta_1}{\lambda_1} = 79,7 - \frac{69,17 \cdot 0,005}{46,5} = 79,69^\circ\text{C} \approx 79,7^\circ\text{C}$$

Izolācijas ārējās virsmas temperatūra t_4 būs:

$$t_4 = t_5 + \frac{Q}{\alpha_2} = 10 + \frac{69,17}{7,2} = 19,6^\circ\text{C}$$

No aprēķina redzams, ka tērauda sienas termiskā pretestība ir minimāla (jo $t_2 \approx t_3$) un šo lielumu var neņemt vērā.

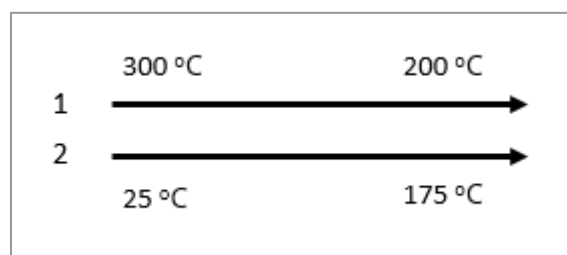
3. uzdevums

Krekinga atlikuma siltums, kas izplūst no krekinga iekārtas, tiek izmantots jēlnaftas, kas tiek pārstrādāta šajā iekārtā, sildīšanai. Noteikt vidējo temperatūru starpību siltummaiņī starp sildošo krekinga atlikumu un sildāmo naftu, ja: **krekinga atlikuma** sākuma temperatūra $t_{1s} = 300^\circ\text{C}$, beigu temperatūra $t_{1b} = 200^\circ\text{C}$; **naftas** sākuma temperatūra $t_{2s} = 25^\circ\text{C}$, beigu temperatūra $t_{2b} = 175^\circ\text{C}$!

Izskatīt 2 gadījumus: līdzplūsmu un pretplūsmu!

Atrisinājums

1. gadījums. Līdzplūsma – abi šķidrumi plūst vienā virzienā:



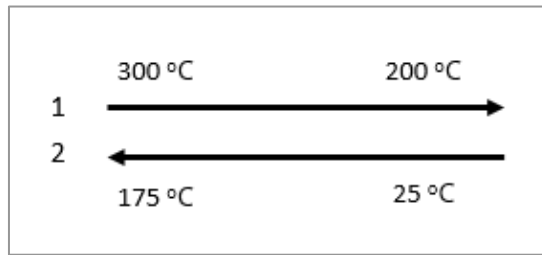
Δt_{\max} – lielākā temperatūru starpība siltummaiņa galos būs: $\Delta t_{\max} = 300 - 25 = 275^\circ\text{C}$;

Δt_{\min} – mazākā temperatūru starpība siltummaiņa galos būs: $\Delta t_{\min} = 200 - 175 = 25^\circ\text{C}$.

$\frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}} > 2$, tad Δt_{vid} (vidējās temperatūru starpības) noteikšanai izmanto **logaritmisko** vienādojumu (4.22):

$$\Delta t_{\text{vid}} = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} = \frac{275 - 25}{\ln \frac{275}{25}} = 104^\circ\text{C} = 104\text{ K}$$

2. gadījums. Pretplūsma – abi šķidrumi plūst pretējos virzienos:



Δt_{\max} – lielākā temperatūru starpība siltummaiņa galos būs: $\Delta t_{\max} = 300 - 175 = 125 \text{ °C}$;

Δt_{\min} – mazākā temperatūru starpība siltummaiņa galos būs: $\Delta t_{\min} = 200 - 25 = 175 \text{ °C}$.

Attiecība būs $\frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}} \leq 2$, tad vidējo temperatūru starpību nosaka kā **vidējo aritmētisko** (izmantojam vienādojumu 4.21):

$$\Delta t_{\text{vid}} = \frac{\Delta t_{\max} + \Delta t_{\min}}{2} = \frac{175 + 125}{2} = 150 \text{ °C} = 150 \text{ K}$$

Ja vidējo temperatūru starpību pretplūsmas gadījumā izrēķina pēc logaritmiskā vienādojuma (4.22), rezultāts būs $149 \text{ °C} = 149 \text{ K}$.

No aprēķina izriet, ka pretplūsmas gadījumā vidējā temperatūru starpība būs lielāka nekā līdzplūsmas gadījumā, ja pārējie nosacījumi nemainās.

4. uzdevums

Apvalkcauruļu siltummainī 10 t/h izopropilspirta tiek sildītas ar karsto ūdeni. Jāuzsilda no 15 °C līdz 50 °C . Izopropilspirta īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C = 0,72 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ ķīmisko vielu īpatnējo siltumu (siltumietilpības koeficientu) C nosakām pēc nomogrammas (skat. 4. pielikumu) vai no rokasgrāmatām). Noteikt izopropilspirta uzsildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu, ja siltuma zudumi apkārtējā vidē ir 5 %!

Atrisinājums

Tā kā, ka $1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$, izopropilspirta īpatnējais siltums C SI sistēmas mērvienībās būs:

$$C = 0,72 \cdot 4,19 = 3,017 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Izmantojot vienādojumu 4.18, nosakām izopropilspirta sildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu Q (neievērojot zudumus):

$$Q = G C (t_{1s} - t_{1b}) = \frac{10000}{3600} 3,017 (50 - 15) = 293,32 \text{ kW}$$

kur

$$G = 10 \frac{\text{t}}{\text{h}} = \frac{10000}{3600} = 2,78 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Ņemot vērā 5 % zudumu, siltuma daudzums Q būs:

$$Q = 1,05 \cdot 293,32 = 307,99 \text{ kW}$$

Tātad, lai uzsildītu $10 \frac{\text{t}}{\text{h}}$ izopropilspirta no 15 °C līdz 50 °C (ņemot vērā siltuma zudumus – 5 %), nepieciešams $307,99 \text{ kW}$ siltuma.

5. uzdevums

Plākšņveida siltummainī $5 \frac{t}{h}$ alus misas tiek sildītas ar karsto ūdeni. Jāuzsilda no 20°C līdz 75°C . Alus misas īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C_1 = 1,02 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$. Noteikt alus misas uzsildīšanai no 20°C līdz 75°C nepieciešamo siltuma daudzumu un siltuma aģenta (karstais ūdens) patēriņu sildīšanai, ja siltuma zudumi apkārtējā vidē ir 3%! Ūdens īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C_2 = 1,05 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$; ūdens dzesējas no 97°C līdz 80°C .

Atrisinājums

Tā kā $1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}\cdot\text{K}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$, alus misas īpatnējs siltums C_1 SI sistēmas mērvienībās būs:

$$C_1 = 1,02 \cdot 4,19 = 4,27 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

karstā ūdens īpatnējs siltums C_2 SI sistēmas mērvienībās būs:

$$C_2 = 1,05 \cdot 4,19 = 4,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

Izmantojot formulu (4.18), nosakām nepieciešamo siltuma daudzumu Q alus misas sildīšanai (neievērojot zudumus):

$$Q = G_1 c_1 (t_{1s} - t_{1b}) = \frac{5000}{3600} 4,27 (75 - 20) = 326,18 \text{ kW}$$

kur

$$G = 5 \frac{t}{h} = \frac{5000}{3600} = 1,39 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Ņemot vērā 3 % zudumus, Q būs:

$$Q = 1,03 \cdot 326,18 = 335,97 \text{ kW}$$

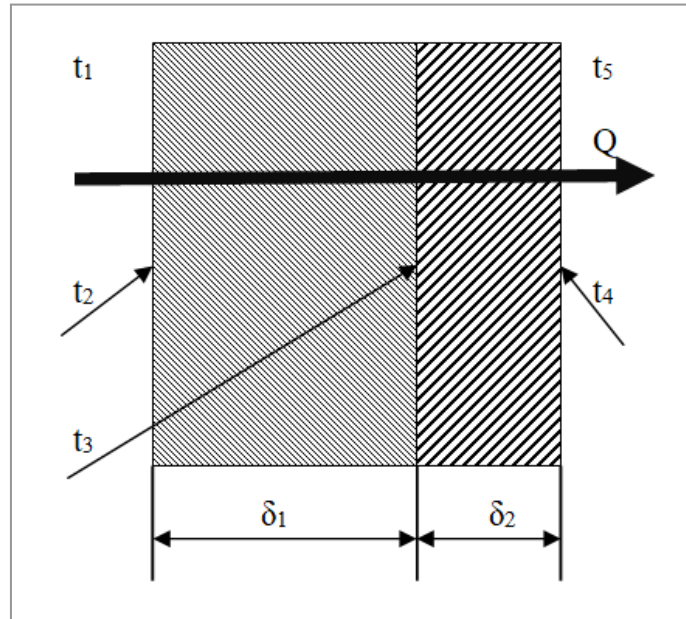
Izmantojot formulu (4.18), nosakām nepieciešamo siltuma aģenta (karstā ūdens) patēriņu G_2 alus misas sildīšanai:

$$G_2 = \frac{Q}{C_2 (t_{2s} - t_{2b})} = \frac{335,97}{4,4 (97 - 80)} = 4,49 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Tātad, lai uzsildītu $10 \frac{t}{h}$ alus misas no 20°C līdz 75°C (ņemot vērā siltuma zudumus – 3 %), nepieciešams $307,99 \text{ kW}$ siltuma un $4,49 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ siltuma aģenta (karstais ūdens).

4.7.2. PATSTĀVĪGIE UZDEVUMI

1.-3. patstāvīgā uzdevuma shēma



4.8. attēls. Temperatūras sadalījuma shēma 1. – 3. patstāvīgajam uzdevumam

1. uzdevums

Krāsns siena sastāv no diviem slāņiem (skat. 4.8. attēlu):

- 1) ugunsizturīgo ķieģeļu slānis, kura biezums $\delta_1 = 500$ mm;
- 2) parasto ķieģeļu slānis, kura biezums $\delta_2 = 250$ mm.

Temperatūra krāsni $t_1 = 1200$ °C, apkārtējās vides temperatūra $t_5 = 20$ °C. Siltumatdeves koeficients no dūmgāzēm sienai $\alpha_1 = 31,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$; siltumatdeves koeficients no sienas apkārtējai videi $\alpha_2 = 15,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$. Ugunsizturīgo ķieģeļu siltumvadītspējas koeficients $\lambda_1 = 1,1 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$; parasto ķieģeļu siltumvadītspējas koeficients $\lambda_2 = 0,65 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$.

Noteikt:

- siltuma zudumus no 1 m² sienas virsmas;
- temperatūru t_3 starp ķieģeļu slāņiem!

Atbilde: $Q = 1097 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$; $t_3 = 667$ °C.

2. uzdevums

Krāsns siena sastāv no diviem slāņiem (skat. 4.8. attēlu)

- 1) ugunsizturīgo ķieģeļu slānis, kura biezums $\delta_1 = 400$ mm;
- 2) parasto ķieģeļu slānis, kura biezums $\delta_2 = 200$ mm.

Temperatūra krāsnī $t_1 = 1300$ °C, apkārtējās vides temperatūra $t_5 = 25$ °C. Siltumatdeves koeficients no dūmgāzēm sienai $\alpha_1 = 33,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$; siltumatdeves koeficients no sienas apkārtējai videi $\alpha_2 = 12,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$. Ugunsizturīgo ķieģeļu siltumvadītspējas koeficients $\lambda_1 = 1,15 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$; parasto ķieģeļu siltumvadītspējas koeficients $\lambda_2 = 0,75 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$.

Noteikt:

- Siltuma zudumus no 1 m² sienas virsmas;
- Temperatūru t_3 starp ķieģeļu slāņiem!

Atbilde: $Q = 1744 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$; $t_3 = 689$ °C.

3. uzdevums

Krāsns siena sastāv no diviem slāņiem (skat. 4.8. attēlu):

- 1) ugunsizturīgo ķieģeļu slānis, kura biezums $\delta_1 = 500$ mm;
- 2) parasto ķieģeļu slānis, kura biezums $\delta_2 = 200$ mm.

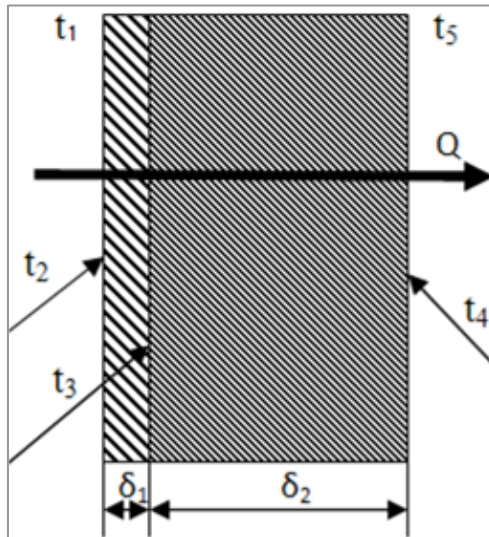
Temperatūra krāsnī $t_1 = 1100$ °C, apkārtējās vides temperatūra $t_5 = 20$ °C. Siltumatdeves koeficients no dūmgāzēm sienai $\alpha_1 = 34,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$; siltumatdeves koeficients no sienas apkārtējai videi $\alpha_2 = 14,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$. Ugunsizturīgo ķieģeļu siltumvadītspējas koeficients $\lambda_1 = 1,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$; parasto ķieģeļu siltumvadītspējas koeficients $\lambda_2 = 0,75 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$.

Noteikt:

- Siltuma zudumus no 1 m² sienas virsmas;
- Temperatūru t_3 starp ķieģeļu slāņiem!

Atbilde: $Q = 1369 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$; $t_3 = 589,5$ °C.

4.-6. patstāvīgā uzdevuma shēma



4.9. attēls. Temperatūras sadalījuma shēma 4. – 6. patstāvīgajam uzdevumam

4. uzdevums

Noteikt: (skat. 4.9. attēlu)

- t_2 (iekšējās) siltummaiņa sienas virsmu temperatūras;
- t_3 (ārējās) siltummaiņa sienas virsmu temperatūras;
- siltummaiņa izolācijas ārējās virsmas temperatūru t_4 !

Šķidruma temperatūra aparātā $t_1 = 95\text{ °C}$, ārējā gaisa temperatūra $t_5 = 15\text{ °C}$. Siltummainis izgatavots no tērauda; tērauda sieniņas biezums $\delta_1 = 4,5\text{ mm}$, izolācijas (minerālvate) slāņa biezums $\delta_2 = 43\text{ mm}$. Siltumatdeves koeficients no karsta šķidruma aparāta sienai $\alpha_1 = 250\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$, siltumatdeves koeficients no izolācijas slāņa apkārtējai videi $\alpha_2 = 7,7\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$, tērauda slāņa siltumvadītspējas koeficients $\lambda_1 = 46,5\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$, izolācijas slāņa (minerālvates) siltumvadītspējas koeficients $\lambda_2 = 0,044\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$.

Atbilde: $t_2 = 94,6\text{ °C}$; $t_3 \approx 94,6\text{ °C}$; $t_4 = 26,5\text{ °C}$.

5. uzdevums

Noteikt: (skat. 4.9. attēlu)

- t_2 (iekšējās);
- t_3 (ārējās) siltummaiņa sienas virsmu temperatūras;
- siltummaiņa izolācijas ārējās virsmas temperatūru t_4 !

Šķidruma temperatūra aparātā $t_1 = 105\text{ °C}$, ārējā gaisa temperatūra $t_5 = 18\text{ °C}$. Siltummainis izgatavots no tērauda; tērauda sieniņas biezums $\delta_1 = 5\text{ mm}$, izolācijas (minerālvate) slāņa biezums $\delta_2 = 45\text{ mm}$. Siltumatdeves koeficients no karsta šķidruma aparāta sienai $\alpha_1 = 255\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$, siltumatdeves koeficients no izolācijas slāņa apkārtējai videi $\alpha_2 = 6,7\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$, tērauda slāņa siltumvadītspējas koeficients $\lambda_1 = 52\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$, izolācijas slāņa (minerālvates) siltumvadītspējas koeficients $\lambda_2 = 0,04\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$.

Atbilde: $t_2 = 104,6\text{ °C}$; $t_3 \approx 104,6\text{ °C}$; $t_4 = 34,5\text{ °C}$.

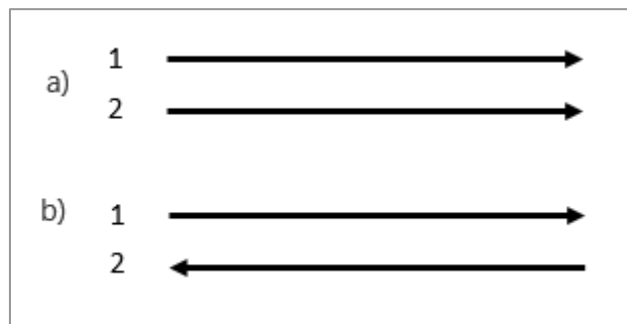
6. uzdevums

Noteikt: (skat. 4.9. attēlu)

- t_2 (iekšējās);
- t_3 (ārējās) siltummaiņa sienas virsmu temperatūras;
- siltummaiņa izolācijas ārējās virsmas temperatūru t_4 !

Šķidrums temperatūrā aparātā $t_1 = 100\text{ °C}$, ārējā gaisa temperatūra $t_5 = 20\text{ °C}$. Siltummainis izgatavots no tērauda; tērauda sieniņas biezums $\delta_1 = 3\text{ mm}$, izolācijas (minerālvate) slāņa biezums $\delta_2 = 40\text{ mm}$. Siltumatdeves koeficients no karsta šķidrums aparāta sienai $\alpha_1 = 245\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$, siltumatdeves koeficients no izolācijas slāņa apkārtējai videi $\alpha_2 = 7,3\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$, tērauda slāņa siltumvadītspējas koeficients $\lambda_1 = 52\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$, izolācijas slāņa (minerālvates) siltumvadītspējas koeficients $\lambda_2 = 0,045\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$.

Atbilde: $t_2 = 99,7\text{ °C}$; $t_3 \approx 99,7\text{ °C}$; $t_4 = 31,3\text{ °C}$.

7.-14. patstāvīgā uzdevuma shēma

4.10. attēls. Siltumnesēju plūsmu shēma siltummaiņos
7. – 14. patstāvīgajam uzdevumam

7. uzdevums

Siltummainī ar karsto ūdeni tiek sildīts izopropilspirts. Noteikt vidējo temperatūru starpību siltummainī starp izopropilspirtu un sildošo ūdeni, ja izopropilspirta sākuma temperatūra $t_{1s} = 15\text{ °C}$, beigu temperatūra $t_{1b} = 60\text{ °C}$; karstā ūdens temperatūra $t_{2s} = 95\text{ °C}$, beigu temperatūra $t_{2b} = 67,5\text{ °C}$!

Izskatīt 2 gadījumus (skat. 4.10. attēlu):

- līdzplūsmu (4.10. a));
- pretplūsmu (4.10. b)).

Atbilde: līdzplūsmas gadījumā – $43,8\text{ °C}$; pretplūsmas gadījumā – $30,6\text{ °C}$.

8. uzdevums

Noteikt vidējo temperatūru starpību siltummainī starp sildāmo etilspirtu un sildošo ūdens tvaika kondensātu, ja etilspirta sākuma temperatūra $t_{1s} = 20\text{ °C}$, beigu temperatūra $t_{1b} = 70\text{ °C}$; ūdens tvaika kondensāta temperatūra $t_{2s} = 105\text{ °C}$, beigu temperatūra $t_{2b} = 77\text{ °C}$!

Izskatīt 2 gadījumus (skat. 4.10. attēlu):

- līdzplūsmu (4.10. a));
- pretplūsmu (4.10. b)).

Atbilde: līdzplūsmas gadījumā – $31,2\text{ °C}$; pretplūsmas gadījumā – 46 °C .

9. uzdevums

Karsto koncentrēto šķīdumu, kas izplūst no ietvaices aparāta ar temperatūru 106 °C , izmanto auksta atšķaidīta šķīduma sildīšanai. Aukstais šķīdums, kas tiek padots uz ietvaices aparātu ar temperatūru 15 °C , tiek sildīts līdz 50 °C temperatūrai. Koncentrētais šķīdums dzesējas līdz 60 °C . Noteikt vidējo temperatūru starpību starp koncentrēto šķīdumu un atšķaidīto šķīdumu līdzplūsmas (a) un pretplūsmas (b) shēmu gadījumos (skat. 4.10. attēlu)!

Atbilde: līdzplūsmas gadījumā – $36,7\text{ °C}$; pretplūsmas gadījumā – $50,5\text{ °C}$.

10. uzdevums

Apvalkcauruļu siltummainī toluols tiek atdzesēts ar auksto ūdeni no 106 °C līdz 30 °C . Aukstais ūdens, kas plūst pa caurulēm, sildās no 11 °C līdz 24 °C .

Noteikt vidējo temperatūru starpību siltummainī starp toluolu un ūdeni līdzplūsmas (a) un pretplūsmas (b) shēmu gadījumos (skat. 4.10. attēlu)!

Atbilde: līdzplūsmas gadījumā – $32,2\text{ °C}$; pretplūsmas gadījumā – $43,2\text{ °C}$.

11. uzdevums

Karsto koncentrēto KNO_3 šķīdumu, kas izplūst no ietvaices aparāta ar temperatūru 100 °C , izmanto auksta atšķaidīta šķīduma sildīšanai. Aukstais KNO_3 šķīdums, kas tiek padots uz ietvaices aparātu ar temperatūru 12 °C , tiek sildīts līdz temperatūrai 53 °C . Koncentrētais šķīdums dzesējas līdz 61 °C .

Noteikt vidējo temperatūru starpību starp koncentrēto šķīdumu un atšķaidīto šķīdumu līdzplūsmas (a) un pretplūsmas (b) shēmu gadījumos (skat. 4.10. attēlu)!

Atbilde: līdzplūsmas gadījumā – $33,3\text{ °C}$; pretplūsmas gadījumā – 48 °C .

12. uzdevums

Noteikt vidējo temperatūru starpību siltummainī starp sildāmo izobutilspirtu un sildošo ūdens tvaika kondensātu, ja: izobutilspirta sākuma temperatūra $t_{1s} = 15\text{ °C}$, beigu temperatūra $t_{1b} = 65\text{ °C}$; ūdens tvaika kondensāta temperatūra $t_{2s} = 100\text{ °C}$, beigu temperatūra $t_{2b} = 71\text{ °C}$! Izskatīt 2 gadījumus: līdzplūsmu (a) un pretplūsmu (b) (skat. 4.10. attēlu).

Atbilde: līdzplūsmas gadījumā – $29,8\text{ °C}$; pretplūsmas gadījumā – $73,5\text{ °C}$.

13. uzdevums

Spirālveida siltummainī pasterizēts piens tiek atdzesēts ar aukstu ūdeni no 72 °C līdz 30 °C. Aukstais ūdens uzsildās no 10 °C līdz 22 °C.

Noteikt vidējo temperatūru starpību siltummainī starp pasterizēto pienu un ūdeni līdzplūsmas (a) un pretplūsmas (b) shēmu gadījumos (skat. 4.10. attēlu)!

Atbilde: līdzplūsmas gadījumā – 26,3 °C; pretplūsmas gadījumā – 32,6 °C.

14. uzdevums

Plākšņveida siltummainī alus misa tiek atdzesēta ar auksto ūdeni no 97 °C līdz 22 °C. Aukstais ūdens, kas plūst pa caurulēm, uzsildās no 10 °C līdz 17 °C.

Noteikt vidējo temperatūru starpību siltummainī starp alus misu un ūdeni līdzplūsmas (a) un pretplūsmas (b) shēmu gadījumos (skat. 4.10. attēlu)!

Atbilde: līdzplūsmas gadījumā – 28,7 °C; pretplūsmas gadījumā – 35,8 °C.

15. uzdevums

Apvalkcauruļu siltummainī 7 t/h izobutilsipirta tiek sildītas ar karsto ūdeni no 10 °C līdz 65 °C. Izopropilsipirta īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C = 0,72 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$.

Noteikt nepieciešamo siltuma daudzumu, lai uzsildītu izopropilsipirtu, ja siltuma zudumi apkārtējā vidē ir 5 %!

Atbilde: nepieciešamais siltuma daudzums $Q = 338,1 \text{ kW}$.

16. uzdevums

Plākšņveida siltummainī 4 t/h ūdens tiek sildītas ar karsto ūdeni no 20 °C līdz 60 °C. Ūdens īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C = 1 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$.

Noteikt ūdens uzsildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu, ja siltuma zudumi apkārtējā vidē ir 4 %!

Atbilde: nepieciešamais siltuma daudzums $Q = 193,2 \text{ kW}$.

17. uzdevums

Reaktorā 500 kg reakcijas masas tiek sildīti no 15 °C līdz 70 °C. Reakcijas masas īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C = 0,77 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$.

Noteikt reakcijas masas uzsildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu, ja siltuma zudumi apkārtējā vidē ir 5 %!

Atbilde: nepieciešamais siltuma daudzums $Q = 93 \text{ MJ}$.

18. uzdevums

Reaktorā 250 kg reakcijas masas tiek sildīti no 15 °C līdz 80 °C. Reakcijas masas īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C = 0,7 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$.

Noteikt reakcijas masas uzsildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu, ja siltuma zudumi apkārtējā vidē ir 2 %!

Atbilde: nepieciešamais siltuma daudzums $Q = 48,6 \text{ MJ}$.

19. uzdevums

Fermentatorā 100 kg biomasas tiek sildīti no 10 °C līdz 43 °C. Reakcijas masas īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C = 0,9 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$. Noteikt biomasas uzsildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu, ja siltuma zudumi apkārtējā vidē ir 3 %!

Atbilde: nepieciešamais siltuma daudzums $Q = 11,5 \text{ MJ}$.

20. uzdevums

Noteikt siltuma slodzi Q plākšņveida siltummainī, lai ar auksto ūdeni atdzesētu 10 t/h metilspirta no 60 °C līdz 30 °C. Metilspirta īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C = 0,64 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$.

Atbilde: $Q = 223 \text{ kW}$.

21. uzdevums

Noteikt siltuma slodzi Q plākšņveida siltummainī, lai ar auksto ūdeni atdzesētu 500 kg/h alus misas no 90 °C līdz 15 °C. Alus misas īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C = 1,02 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$.

Atbilde: $Q = 44,5 \text{ kW}$.

22. uzdevums

Spirālveida siltummainī 2,5 t/h etanola (80 %) tiek sildītas ar karsto ūdeni no 20 °C līdz 70 °C. Etanola (80 %) īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C = 0,4 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$.

Noteikt etanola uzsildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu, ja siltuma zudumi apkārtējā vidē ir 3 %!

Atbilde: nepieciešamais siltuma daudzums $Q = 59,8 \text{ kW}$.

23. uzdevums

Apvalkcauruļu siltummainī 7500 kg/h hlorbenzola tiek sildīti ar karsto ūdeni no 15 °C līdz 76 °C. Hlorbenzola īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C = 0,34 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$.

Noteikt hlorbenzola uzsildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu, ja siltuma zudumi apkārtējā vidē ir 5 %!

Atbilde: nepieciešamais siltuma daudzums $Q = 189,9 \text{ kW}$.

24. uzdevums

Plākšņveida siltummainī 2,5 t/h alus misas tiek sildītas ar ūdens tvaika kondensātu no 10 °C līdz 85 °C. Alus misas īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C_1 = 1,02 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$. Noteikt alus misas uzsildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu un siltuma aģenta (ūdens tvaika kondensāta) patēriņu sildīšanai, ja siltuma zudumi apkārtējā vidē ir 3 %! Ūdens tvaika kondensāta īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C_2 = 1,05 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$; ūdens tvaika kondensāts dzesējas no 97 °C līdz 80 °C.

Atbilde: nepieciešamais siltuma daudzums $Q = 228,8 \text{ kW}$; ūdens tvaika kondensāta patēriņš $W = 3,1 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$.

25. uzdevums

Reaktorā 700 kg reakcijas masas tiek sildīti no 15 °C līdz 60 °C. Reakcijas masas īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C_1 = 0,47 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$. Reaktora apvalkā padod siltuma aģentu – karsto ūdeni, kas dzesējas no 87 °C līdz 69 °C. Karstā ūdens īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C_2 = 1,0 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$.

Noteikt reakcijas masas uzsildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu un siltuma aģenta patēriņu, ja siltuma zudumi apkārtējā vidē ir 4 %!

Atbilde: nepieciešamais siltuma daudzums $Q = 64,4 \text{ MJ}$; karstā ūdens patēriņš $W = 855,2 \text{ kg}$.

26. uzdevums

Bioreaktorā 7,5 t fermentētas masas tiek sildītas no 10 °C līdz 44 °C. Fermentētās masas īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C_1 = 1,04 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$. Siltuma aģents – karstais ūdens, dzesējas no 67 °C līdz 55 °C. Noteikt fermentētās masas uzsildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu un siltuma aģenta (ūdens) patēriņu sildīšanai, ja siltuma zudumi apkārtējā vidē ir 5 %! Karstā ūdens īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C_2 = 0,98 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$.

Atbilde: nepieciešamais siltuma daudzums $Q = 1167 \text{ MJ}$; karstā ūdens patēriņš $W = 23,7 \text{ t}$.

27. uzdevums

Apvalkcauruļu siltummainī 10 t/h etiķskābes šķīduma (25 %) tiek sildītas no 15 °C līdz 50 °C. Etiķskābes šķīduma (25 %) īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C_1 = 0,57 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$. Siltuma aģents – karstais ūdens, dzesējas no 73 °C līdz 55 °C. Noteikt etiķskābes šķīduma (25 %) uzsildīšanai nepieciešamo siltuma daudzumu un siltuma aģenta (karstais ūdens) patēriņu sildīšanai, ja siltuma zudumi apkārtējā vidē ir 5 %! Karstā ūdens īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C_2 = 0,99 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$.

Atbilde: nepieciešamais siltuma daudzums $Q = 243,8 \text{ kW}$; karstā ūdens patēriņš $W = 3,67 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$.

5.

SILDĪŠANA ĶĪMIJAS TEHNOĻIJĀ UN BIOTEHNOĻIJĀ. SILTUMMAIŅI

Nodaļas mērķis	Attīstīt izglītojamo prasmes veikt siltummaiņu aprēķinu un to izvēli atbilstoši darba (projekta) uzdevumam.
Sasniedzamie rezultāti	Spēj: veikt siltummaiņu aprēķinu un to izvēli atbilstoši darba (projekta) uzdevumam. Zina: siltummaiņu veidus, siltumnesēju veidus un to patēriņa noteikšanas metodes, siltummaiņu aprēķinu paņēmienus, siltummaiņu izvēles kārtību atbilstoši aprēķinu rezultātiem.

Ķīmijas tehnoloģijā, būvmateriālu ražošanas tehnoloģijā, smalkajā organiskajā sintēzē, farmaceitiskajā ražošanā un biotehnoloģijā gatavā produkta iegūšanai izejvielas, to maisījumi un pusfabrikāti jāapstrādā ļoti plašos temperatūru intervālos – temperatūrās, kas ir zemākas par $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ un augstākas par $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sildīšana ir nepieciešama tādu tehnoloģisko procesu norisei kā ietvaice, pārtvaice, žāvēšana, ķīmisko reakciju veicināšana u. c.

Masas apmaiņas, biotehnoloģisko un ķīmisko procesu optimālai norisei bieži vien nepieciešama noteikta temperatūra. Temperatūras un tehnoloģiskie nosacījumi nosaka siltumnesēja, sildīšanas veida un siltummaiņa izvēli.

5.1. SILTUMNESĒJI

Ķīmijas tehnoloģijas un biotehnoloģijas nozarē sildīšanas procesos par siltumnesējiem izmanto dažādas gāzes, tvaikus, ūdeni, minerāleļļas un citus šķidrumus.



DEFINĪCIJA

Siltumnesēji ir vielas (ķermeņi), kas piedalās siltumapmaiņas (siltumpārneses) procesos.

Siltumnesējus var klasificēt:

- pēc izmantojuma;
- pēc agregātstāvokļa;
- pēc darba temperatūras diapazona.



BŪTISKI

Siltumnesēji ir vielas (ķermeņi), kas piedalās siltumapmaiņas (siltumpārneses) procesos.

Atbilstoši tam siltumnesējus var iedalīt šādās grupās:

- **augstas** temperatūras siltumnesēji;
- **vidējas** temperatūras siltumnesēji;
- **zemas** temperatūras siltumnesēji;
- **kriogēnas** temperatūras siltumnesēji.

Pie **augstas temperatūras** siltumnesējiem pieskaita dūmgāzes, cepļu un krāšņu atgāzes. Parasti to temperatūra ir robežās no 1000 līdz 1500 °C. Par **šķidriem augstas temperatūras** siltumnesējiem uzskata vielas, kuru viršanas temperatūra atmosfēras spiedienā ir augstāka par 200 °C. Pie šīs grupas pieder minerāleļļas, silīcijorganiskie un difenilsavienojumi, sāļu kausējumi un šķidrie metāli (skat. 5.1. tabulu).

5.1. tabula

Dažu augstas temperatūras siltumnesēju raksturojums

Siltumnesējs	Viršanas temperatūra atmosfēras spiedienā, °C
Minerāleļļa	300–500
Difenils	255
Silīcijorganiskie savienojumi	440
Nātrijs	880
Nātrija un kālija sakausējums	780

Pie **vidējas temperatūras** siltumnesējiem pieskaita ūdeni, ūdens tvaiku un gaisu. Ūdens tvaiku var izmantot līdz 650 °C temperatūrai, ūdeni – līdz 375 °C temperatūrai (visbiežāk – tvaika katlos, tvaika turbīnās, siltuma ražotnēs), savukārt gaisu – līdz 100 °C.

Zemas temperatūras siltumnesēji parasti ir tādi, kuru viršanas temperatūra atmosfēras spiedienā nepārsniedz 0 °C. Pie šīs grupas pieskaita aukstuma aģentus: CO₂, NH₃, freonus.

Pie **kriogēniem siltumnesējiem** parasti pieskaita sašķidrinātas gāzes: N₂, He, O₂ u. c., un to izmantošanas diapazons visbiežāk ir temperatūrās zem –150 °C.

5.2. tabulā ir apkopoti dažādu populārāko siltumnesēju darba temperatūru un spiediena diapazoni, ko izmanto siltummaiņos.

5.2. tabula

Siltumnesēju darba temperatūru un spiediena diapazoni

Siltumnesējs		Temperatūra, °C	Spiediens, MPa
Sašķidrinātas gāzes:	He	Līdz –272	Līdz 0,1
	N ₂ , O ₂ , gaiss	Līdz –210	Līdz 20,0
	H ₂	Līdz –257	Līdz 1,0
Freons – 12,22; NH ₃ , CO ₂		–70–0	Līdz 1,5
Antifrīzi		–65–40	0,1–0,2
Minerāleļļas		0–215	Līdz 0,1
Ūdens		0–374	0,1–22,5
Ūdens tvaiks		0–650	0,1–30,0
Silīcijorganiskie savienojumi		Līdz 320	0,1
Sāļu kausējums	40 % NaNO ₂ , 7 % NaNO ₃ , 50 % KNO ₃	150–530	0,1
Dūmgāzes		450–1000	0,1
Elektriskā strāva		~ 3200	~ 0,1
Zemas temperatūras plazma		~ 3500	0,1

**BŪTISKI**

Siltumapmaiņas procesu intensitāte lielākoties ir atkarīga no siltumnesēju piespiedu plūsmas ātruma siltummaiņu caurulēs un kanālos.

5.3. tabulā apkopoti rekomendējamie siltumnesēju plūsmu ātrumi siltummaiņu caurulēs un kanālos.

5.3. tabula

Rekomendējamie siltumnesēju plūsmu ātrumi

Vide	Ātrums, $\frac{m}{s}$
Mazviskozi šķidrums (ūdens, spirti, petroleja)	0,5–3
Viskozi šķidrums (eļļas u. c.)	0,2–1
Gāzes atmosfēras spiedienā	10–14
Gāzes paaugstinātā spiedienā (līdz desmitiem MPa)	15–30
Piesātināts ūdens tvaiks	30–50
Dūmgāzes	2–8

Svarīgākās siltumnesējiem izvirzītās prasības:

- pietiekami augsta viršanas temperatūra atmosfēras spiedienā (tad augstā temperatūrā iespējams lietot siltummaiņus ar plānām sienām);
- liela siltumietilpība (īpatnējais siltums) un iztvaikošanas siltums, lai ar mazu siltumnesēja tilpumu varētu pārvietot lielu siltuma daudzumu;
- termiskā stabilitāte;
- zema viskozitāte;
- zema korozijaktivitāte (lai uz sildvirsmas neveidotos nogulumu kārtā un palielinātos aparāta kalpošanas ilgums);
- zems toksiskums;
- ugunsdrošība, sprādziendrošība;
- reaģētspēja;
- zemas izmaksas.

**BŪTISKI**

Siltumnesēja izvēli nosaka sildīšanas procesa īpatnības (maksimālā sildīšanas temperatūra, pieļaujamās temperatūras svārstības, siltumnesēja plūsmas ātrums u. c.), kā arī tehniski ekonomiskie apsvērumi.

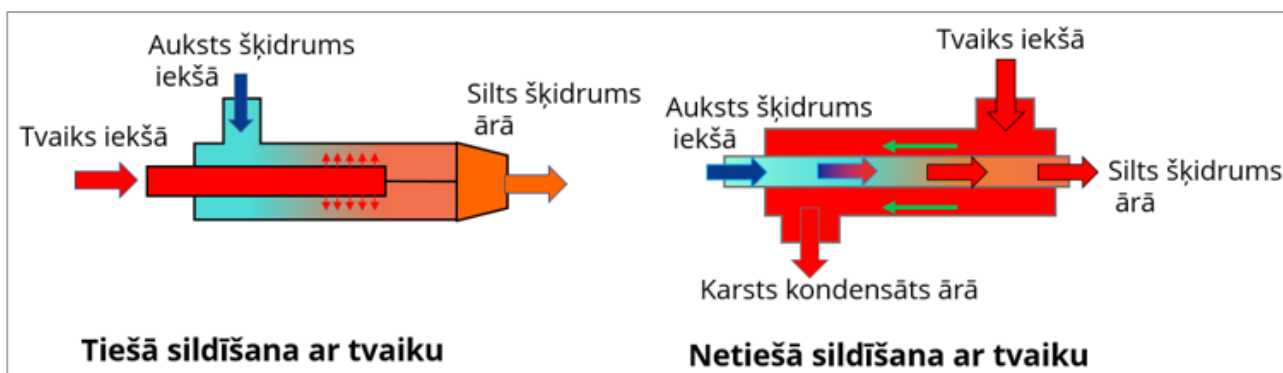
Paši izplatītākie siltumnesēji, kurus ķīmijas tehnoloģijas un biotehnoloģijas nozarē izmanto sildīšanai, ir **ūdens**, **ūdens tvaiks** (piesātināts, pārkarsēts), **gaiss** un **dūmgāzes**. Tas izskaidrojams ar to izplatību dabā, salīdzinoši zemām izmaksām, kā arī ar to, ka šie siltumnesēji nav toksiski.

Ņemot vērā augstākminēto, tālāk detalizēti izskatīsim vienu no ķīmijas tehnoloģijā un biotehnoloģijā plaši izmantotiem sildīšanas veidiem – sildīšanu ar ūdens tvaiku.

5.2. SILDĪŠANA AR ŪDENS TVAIKU

Sildīšanai nepieciešamo tvaiku iegūst tvaika katlos vai arī izmanto attvaiku no spēkmašīnām un sekundāro tvaiku no ietvaices aparātiem.

Ķīmijas tehnoloģijā sildīšanu ar ūdens tvaiku veic tieši un netieši. Schematiski abas metodes sildīšanai ar tvaiku parādītas 5.1. attēlā.



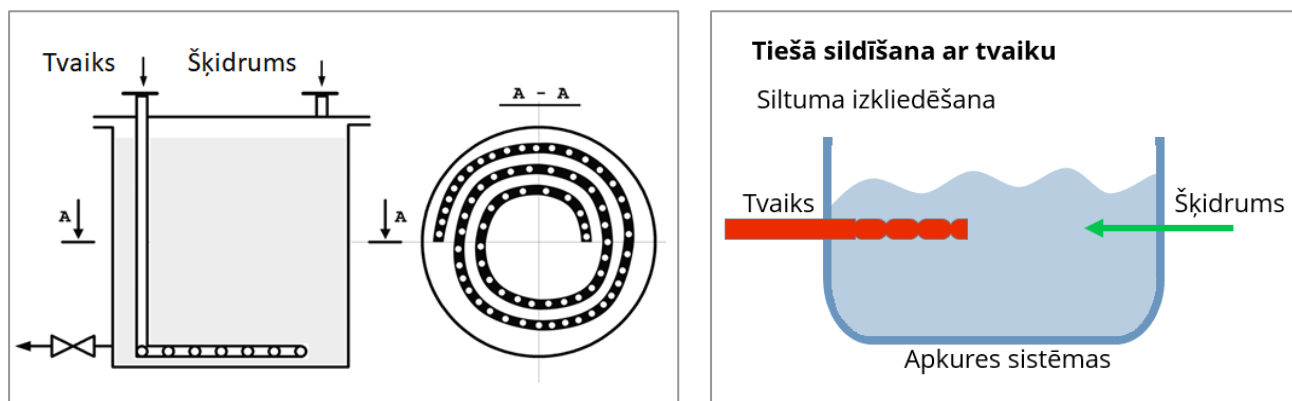
5.1. attēls. Sildīšana ar ūdens tvaiku – tiešās un netiešās metodes principiālās shēmas

Avots: en.wikipedia.org/wiki/Countercurrent_exchange

5.2.1. TIEŠĀ SILDĪŠANA AR ŪDENS TVAIKU

Šīs sildīšanas metodes pamatā ir ūdens tvaika ievadīšana tieši sildāmajā šķīdumā (skat. 5.2. attēlu). Tvaiks, saskaroties ar auksto šķīdumu, kondensējas. Vienlaikus ar šķīduma temperatūras paaugstināšanos tajā uzkrājas kondensāts. Tas turpinās līdz šķīduma viršanai.

Sildot verdošus ūdens šķīdumus, uz katru kilogramu ievadīta tvaika no šķīduma virsmas izdalās 1 kg tvaika. Tādēļ tieši ar tvaiku parasti tikai silda.



5.2. attēls. Tiešās sildīšanas ar tvaiku iekārtas shēma

Avots: www.forbesmarshall.com/fm_micro/news_room.aspx?Id=boilers&nid=155



BŪTISKI

Piemēram, kondensējoties 1 kg ūdens tvaika 0,1 MPa spiedienā, izdalās kondensācijas siltums

$$r = 2268 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Tehnoloģijā ar tiešo metodi veic arī destilāciju, lai pazeminātu grūti gaistošu komponentu viršanas temperatūru.

Aprēķinot šādu sildīšanas iekārtu, jānosaka sildīšanai nepieciešamā tvaika masa D (kg). To nosaka, sastādot siltuma bilanci (skat. vienādojumu 4.18).

Pamatojoties uz enerģijas nezūdamības likumu, sistēmā ievadītajam siltumam jābūt vienādam ar siltuma daudzumu, kas tiek aizvadīts no sistēmas:

$$D H + G C t_1 = G c t_2 + D C_k t_2 + Q_z \quad (5.1)$$

kur

H – tvaika entalpija, $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$;

G – sildāmā šķidruma masa, kg;

C – sildāmā šķidruma siltumietilpības koeficients, $\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$;

t_1 – sildāmā šķidruma sākuma temperatūra, °C;

t_2 – sildāmā šķidruma beigu temperatūra, °C;

C_k – kondensāta siltumietilpības koeficients, $\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$;

Q_z – siltuma zudumi apkārtējā vidē, J.

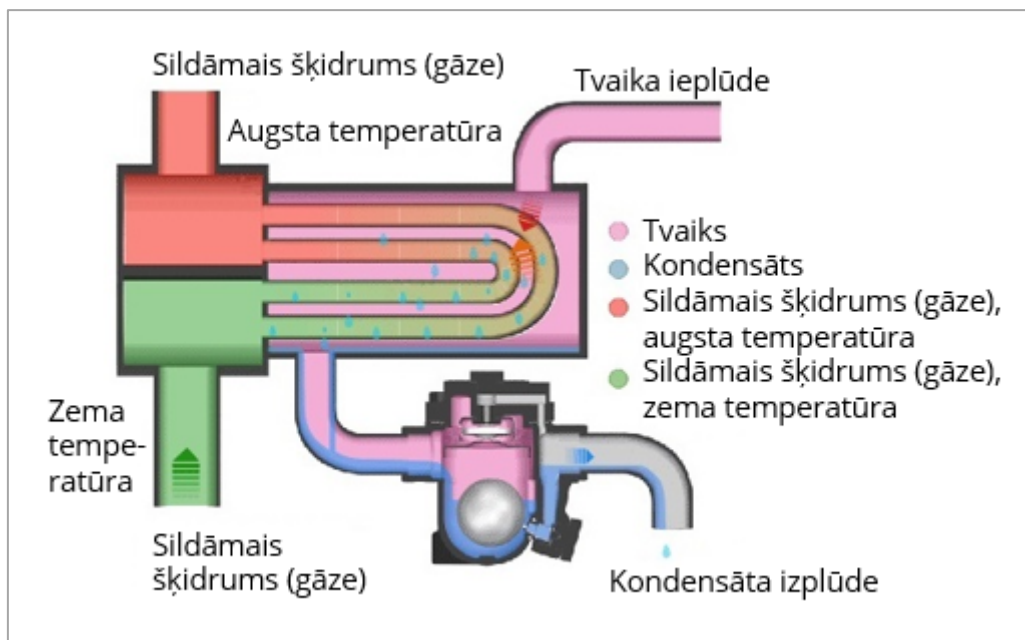
Pēc vienādojuma (5.1) tiek aprēķināta sildīšanai nepieciešamā tvaika masa (kg):

$$D = \frac{G C (t_2 - t_1) + Q_z}{H_{tv} - C_k t_2} \quad (5.2)$$

Ja nav pieļaujama kondensāta piejaukšanās sildāmajam šķidrumam, izmanto netiešo sildīšanu ar tvaiku.

5.2.2. NETIEŠĀ SILDĪŠANA AR ŪDENS TVAIKU

Sildot ar ūdens tvaiku netieši, sildāmais šķidrums (gāze) ar tvaiku nesaskaras. Tvaiks kondensējas sildvirsmas vienā pusē, vienlaikus sasildot sienu. Sildvirsmas otru pusi apskalo sildāmā vide (skat. 5.3. attēlu).



5.3. attēls. Netiešās sildīšanas ar tvaiku shēma

Avots: www.tlv.com/global/TI/steam-theory/heating-with-steam.html

Netiešo sildīšanu ar tvaiku veic dažāda veida rekuperācijas siltummaiņos (tvaika apvalkos, glodenēs, apvalkcauruļu siltummaiņos, spirālveida siltummaiņos, plākšņveida siltummaiņos, kaloriferos u. c.).

Netiešai sildīšanai ar tvaiku lieto **piesātināto** ūdens tvaiku, kuram siltumatdeves koeficients ir ievērojami lielāks nekā pārkarsētam tvaikam. Pārkarsēta tvaika izmantošana pazemina siltummaiņa ražīgumu.

Šajās sildīšanas iekārtās tvaiku parasti pievada no augšas, lai tvaika plūsma netraucētu kondensāta noplūdi pa sildvirsmu. Kondensātu izvada no aparāta zemākās vietas. Siltummaiņos izmanto lielākoties **tvaika kondensācijas siltumu**.



BŪTISKI

Siltumtehnikajos aprēķinos pieņem, ka kondensāta temperatūra ir vienāda ar tvaika temperatūru:

$$t_{tv} = t_k \quad (5.3)$$

Aprēķinot **rekuperācijas siltummaini**, jānosaka sildīšanai nepieciešamais tvaika patēriņš D ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$). To nosaka, sastādot siltuma bilanci (skat. vienādojumu 1.22).

Pamatojoties uz enerģijas nezūdamības likumu, sistēmā ievadītajam siltumam jābūt vienādam ar siltuma daudzumu, kas tiek aizvadīts no sistēmas:

$$D H_{tv} + G C t_1 = G C t_2 + D H_k + Q_z \quad (5.4)$$

kur

H_{tv} – tvaika entalpija, $\frac{J}{kg}$;

H_k – kondensāta entalpija, $\frac{J}{kg}$;

G – sildāmā šķidruma masas patēriņš, $\frac{kg}{s}$;

C – sildāmā šķidruma siltumietilpības koeficients, $\frac{J}{kg \cdot K}$;

t_1 – sildāmā šķidruma sākuma temperatūra, °C;

t_2 – sildāmā šķidruma beigu temperatūra, °C;

Q_z – siltuma zudumi apkārtējā vidē, J.

Pēc vienādojuma 5.4 tiek aprēķināts sildīšanai nepieciešamais tvaika patēriņš D ($\frac{kg}{s}$):

$$D = \frac{G C (t_2 - t_1) + Q_z}{H_{tv} - H_k} \quad (5.5)$$

5.2.3. KONDENSĀTA NOVADĪŠANA

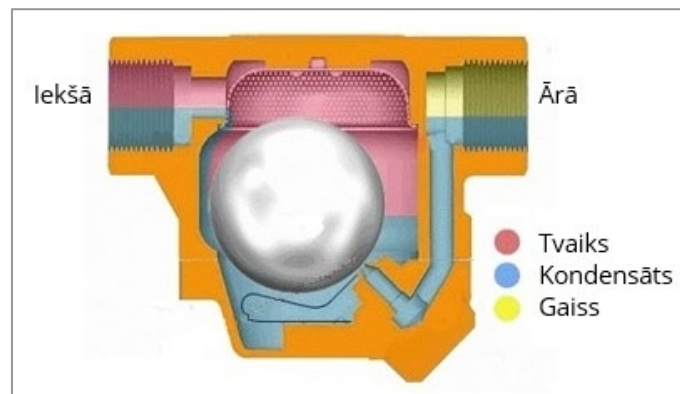
Ar tvaiku apsildāmie aparāti darbojas ekonomiski un efektīvi tikai tad, ja tiek nodrošināta kondensāta savlaicīga novadīšana, savākšana un tālāka izmantošana tehnoloģiskajā procesā. Kondensāta atkārtota izmantošana (ja tās laikā nav kondensāta piesārņošanas riska) ražošanas ciklā ievērojami ietaupa ūdens patēriņu uzņēmumā. Tīrs kondensāts ir ideāls tvaika katlu barošanas ūdens, kā arī ūdens tvaika kondensātu var izmantot par siltumnesēju.

Kondensāta uzkrāšana siltummaiņa sildīšanas kamerā pazemina aparāta ražīgumu, jo tajā daļā, kur atrodas kondensāts, siltumpārejas koeficients ir zemāks nekā tur, kur kondensējas tvaiks.

Kondensāta novadīšanai kalpo **kondensāta novadītāji**. Kondensāta novadītājiem jānodrošina automātiska kondensāta novadīšana tā, lai ar kondensātu nenoplūstu tvaiks.

Kondensāta novadītājus pēc darbības principa iedala:

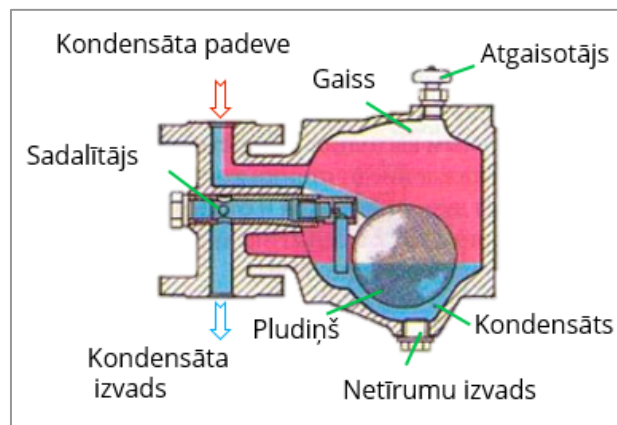
- pludiņa kondensāta novadītāji;
- termostatiskie kondensāta novadītāji;
- termodinamiskie kondensāta novadītāji.



5.4. attēls. **Vaļējā pludiņa kondensāta novadītāja shēma**

Avots: www.tlv.com

Pludiņš nogrimst un paceļas, reaģējot uz kondensāta plūsmu, un attiecīgi bloķē vai atver vārstu, ļaujot kondensāta novadītājam nepārtraukti darboties.

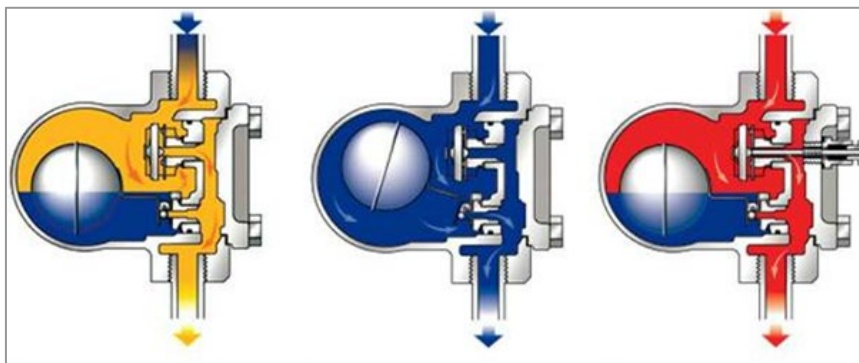


5.5. attēls. **Vaļējais pludiņa kondensāta novadītājs**

Avots: nvph.ru/kondensatootvodchiki-naznachenie-sfera-primeneniya

Pludiņa kondensāta novadītāju veidi:

- ar vaļēju pludiņu (skat. 5.4. un 5.5. attēlu);
- ar slēgtu pludiņu (skat. 5.6. attēlu).



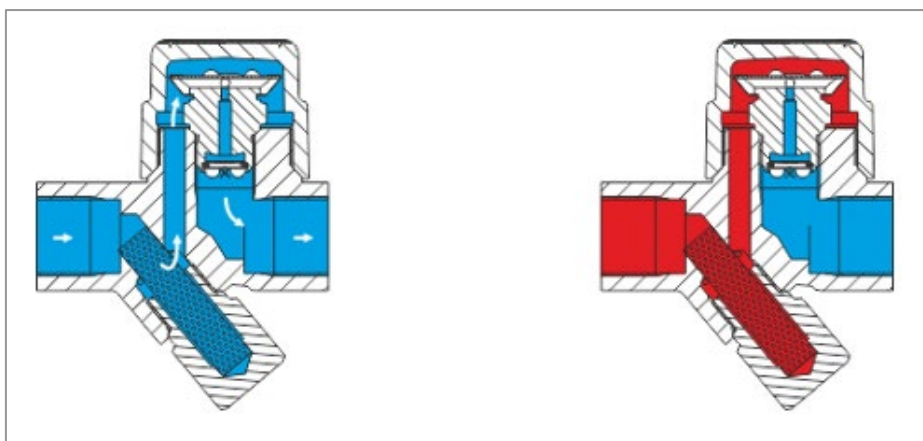
5.6. attēls. **Slēgta pludiņa kondensāta novadītāja darbības shēma**

Avots: www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3747

Šie kondensāta novadītāji nodrošina nepārtrauktu kondensāta novadīšanu arī gadījumos, kad ir ievērojamas kondensāta daudzuma svārstības. Kondensāta novadītājus ar vaļēju pludiņu izmanto zemākā spiedienā, savukārt ar slēgtu pludiņu – vidējā spiedienā (līdz 1,6 MPa).

Termostatisko kondensāta novadītāju darbība pamatojas uz metālu dažādu termisko izplešanos (skat. 5.7. attēlu). Visiem šī veida kondensāta novadītājiem, ieplūstot tvaikam, izbeidzas kondensāta noplūde (tādēļ ka tvaikam ir augstāka temperatūra nekā kondensātam).

Termostatiskiem kondensāta novadītājiem ir diezgan vienkārša konstrukcija, tie ir darbam droši un ievērojami mazāki par pludiņa kondensāta novadītājiem. Tomēr šie kondensāta novadītāji ir jūtīgi pret tvaika spiediena maiņu. Temperatūras starpībai starp tvaiku un kondensātu jābūt vismaz 2–4 °C.

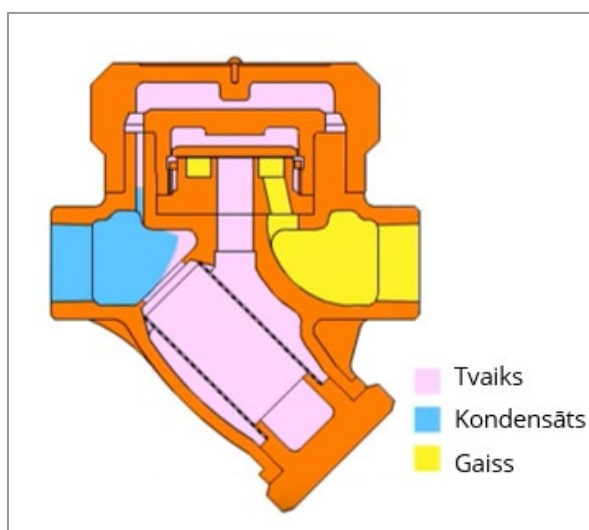


5.7. attēls. **Termostatiskā kondensāta novadītāja darbības shēma**

Avots: www.energopribor.zp.ua/libr_condensat_ts.html

Termodinamisko kondensāta novadītāju darbības pamatā ir caurplūstošas vides ātruma (līdz ar to arī spiediena) maiņa dažādās ierīces joslās (skat. 5.8. attēlu).

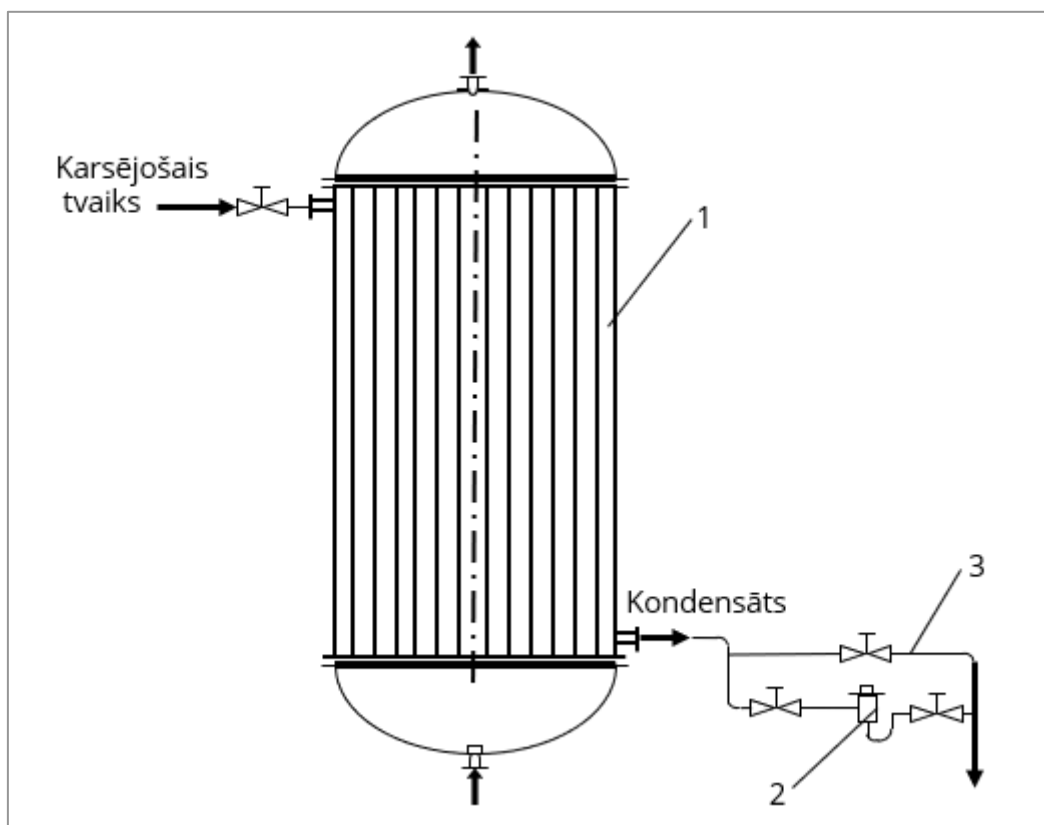
Spiediena maiņu izmanto kondensāta izvadīšanai un tā plūsmas pārtraukšanai, kad kondensāta novadītājā ieplūst tvaiks.



5.8. attēls. **Termodinamiskais kondensāta novadītājs**

Avots: www.energopribor.zp.ua/libr_condensat_td.html

Kondensāta novadītāja pievienošana siltummainim shematiski parādīta 5.9. attēlā. Katram siltummainim ieteicams ierīkot atsevišķu kondensāta novadītāju.



5.9. attēls. Kondensāta novadītāja pievienošanas siltummainim shēma
(1 – siltummainis, 2 – kondensāta novadītājs, 3 – apvadlīnija)

5.3. SILTUMMAIŅI

Sildīšanu ar tvaiku, kā arī ar citiem siltumnesējiem veic aparātos – dažādu veidu siltummaiņos.



DEFINĪCIJA

Siltumapmaiņas aparāti (siltummaiņi) ir iekārtas, kurās notiek siltumapmaiņas (siltumpārneses) procesi no viena siltumnesēja uz otru.

Siltummaiņi tiek klasificēti pēc dažādām pazīmēm:

- pēc to izmantojuma;
- pēc konstruktīvajām īpatnībām;
- pēc darba vides īpatnībām;

pēc siltumapmaiņas (siltumpārneses) veida.

Atkarībā **no izmantojuma** siltummaiņus iedala:

- sildītājos;
- dzesētājos;
- kondensatoros u. c.

Tradicionāli siltummaiņus klasificē pēc **siltumapmaiņas (siltumpārnēses) veida**. Izmantojot šo klasifikācijas principu, izšķir šādus siltummaiņu veidus:

- rekuperācijas;
- reģenerācijas;
- saplūdes.

Rekuperācijas siltummaiņos vienlaicīgi atrodas abas darba vides (siltumnesēji) – aukstā un karstā. Nepieciešamais siltuma daudzums tiek pārnests caur dažādas konfigurācijas siltumapmaiņas virsmu.

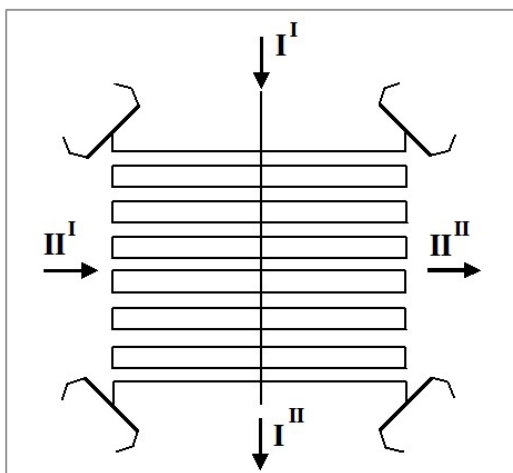
Reģenerācijas siltummaiņos viena un tā pati virsma noteiktā secībā tiek apskalota ar karsto un auksto vidi (siltumnesēju). Siltumapmaiņas process noris, izmantojot siltumakumulējošu virsmu vai masu, ko sauc par pildījumu.

Saplūdes siltummaiņos siltumapmaiņa notiek, abām vidēm (siltumnesējiem) tieši kontaktējoties (saskaroties).

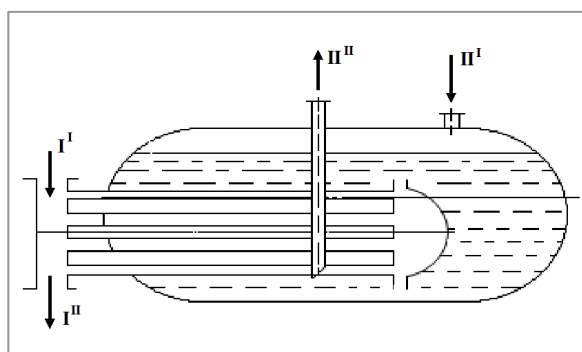
5.10., 5.11., 5.12., 5.13. attēlā parādītas rekuperācijas un reģenerācijas siltummaiņu principiālās shēmas. Rekuperācijas siltummaiņi var darboties nepārtrauktā vai periodiskā režīmā.

Nepārtrauktās darbības rekuperācijas siltummaiņi visbiežāk darbojas stacionārā režīmā; tajos uztur pastāvīgu siltumnesēju patēriņu un to temperatūras aparāta ieejā un izejā (skat. 5.10. attēlu).

Periodiskās darbības rekuperācijas siltummaiņi (skat. 5.11. attēlu) parasti tiek izgatavoti kā liela tilpuma tvertnes, kuras periodiski piepilda ar uzsildāmo šķidrumu.

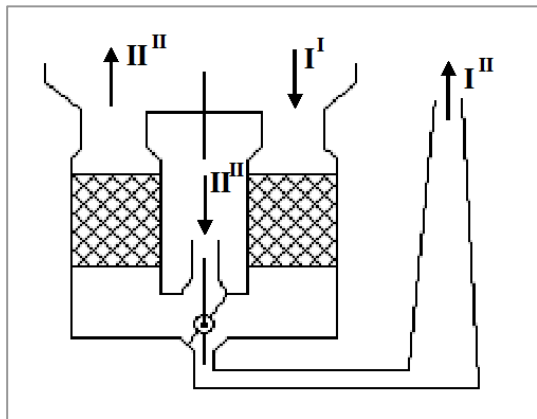


5.10. attēls. Nepārtrauktās darbības rekuperācijas siltummaiņa shēma



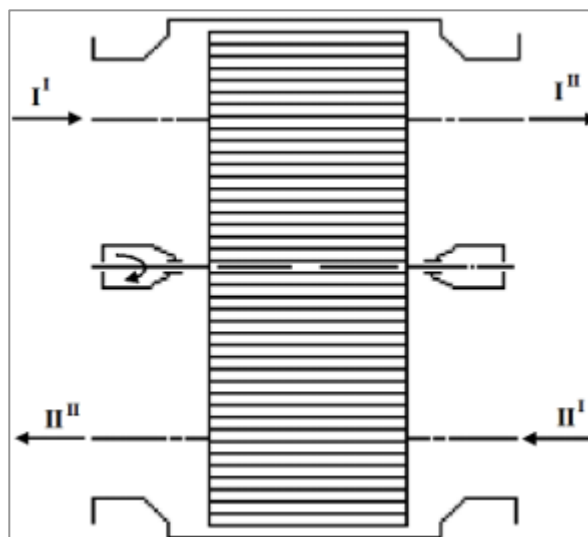
5.11. attēls. Periodiskās darbības rekuperācijas siltummaiņa shēma

Reģenerācijas siltummaiņi var darboties gan periodiskajā (skat. 5.12. attēlu), gan nepārtrauktajā (skat. 5.13. attēlu) režīmā. Visbiežāk reģenerācijas siltummaiņus lieto gaisa vai gāzu sildīšanai. Gaisu vai gāzi iekārtā silda ar ugunsizturīgā pildījumā akumulēto siltumu, pārmaiņus laižot caur pildījumu karsto siltumnesēju (gāzi) un sildāmo vidi.



5.12. attēls. **Periodiskās darbības reģenerācijas siltummaiņa shēma**

(I, II – siltumnesēju plūsmas)

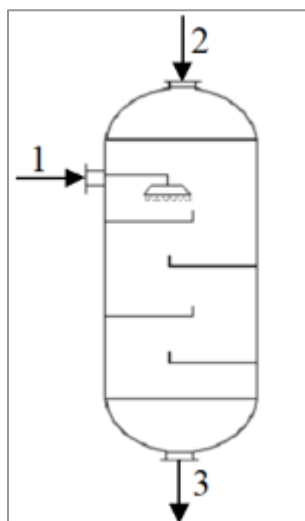


5.13. attēls. **Nepārtrauktās darbības reģenerācijas siltummaiņa shēma**

(I, II – siltumnesēju plūsmas)

Ķīmijas tehnoloģijā, pārtikas rūpniecībā un citās nozarēs izmanto arī saplūdes siltummaiņus (skat. 5.14. attēlu). Saplūdes siltumapmaiņas aparātos siltumpārnese no viena siltumnesēja uz otru notiek, siltumnesējiem tieši saskaroties un sajaucoties. Šādus siltummaiņus lielākoties izmanto, lai kondensētu tvaiku, atdzesētu gāzes ar ūdeni, lai atdzesētu gaisu ar ūdeni gaisa atputeļošanas procesos, absorbcijas procesos.

Saplūdes siltummaiņos starpfāžu (šķidrums–gāze) robežvirsmas lielums, siltumpārejas koeficientu vērtības ir atkarīgas no iekārtas konstruktīvajām īpatnībām un abu siltumnesēju plūsmu hidrodinamiskajiem parametriem.



5.14. attēls. **Saplūdes siltummaiņa shēma – slapjais līdzplūsmas kondensators**
(1 – šķidruma (ūdens) padeve, 2 – tvaika padeve, 3 – kondensāta aizvadišana)

5.3.1. REKUPERĀCIJAS SILTUMMAIŅI

Rekuperācijas siltummaiņi ir visizplatītākie un svarīgākie siltumapmaiņas aparātu pārstāvji ķīmijas tehnoloģijas, farmācijas un biotehnoloģijas nozarēs, kā arī pārtikas rūpniecībā. Turklāt tos plaši izmanto, realizējot kriogēnus procesus.

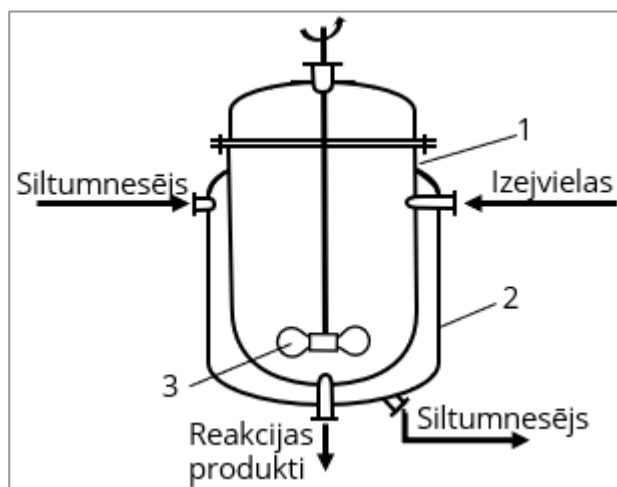
Apvalki

Vienkāršākie rekuperācijas siltummaiņi ir **sildošie vai dzesējošie apvalki** (skat. 5.15. attēlu), kuri piestiprināti (piemetināti) aparāta korpusam. Nepieciešamais siltumnesējs (ūdens tvaiks, karstais ūdens, silīcijorganiskie savienojumi u. c.) cirkulē starptelpā (spraugā) starp apvalku un aparātu. Apvalkus izmanto neliela šķidrums daudzuma sildīšanai vai dzesēšanai.



5.15. attēls. Aparāts (reaktors) ar apvalku

Avots: penzahim.ru/emkosti/apparaty-emkostnye-s-meshalkami/



5.16. attēls. Aparāta ar sildošo vai dzesējošo apvalku shēma

(1 – aparāts (reaktors), 2 – apvalks, 3 – maisītājs)

Apsildot aparātu (reaktoru) ar tvaiku, to ievada starptelpā starp aparātu un apvalku no augšas (skat. 5.16. attēlu). Tvaiks kondensējas, un radies kondensāts virzās pa īsāko ceļu uz leju, uz kondensāta izplūdes vietu.

Ja aparāta (reaktora) diametrs ir lielāks par 1 m, tvaika pievadīšanu iekārto divās vai vairāk vietās, lai vienmērīgāk apsildītu sildvirsmu. Ievadot tvaiku apvalkā no vairākām pusēm, siltumpārejas koeficients K var palielināties līdz 1,5 reizēm, bet, izmantojot maisītāju aparātā, – līdz pat 2 reizēm.

Tvaika apvalka priekšrocība ir tā, ka pa vertikāli novietotu sildvirsmu kondensāts ātri plūst uz leju un neuzkrājas aparātā, šādi pasliktinot siltuma atdevi no tvaika vides uz sieniņu. Nekondensējamās gāzes sakrājas apvalka augšējā daļā, no kurienes tās tiek aizvadītas.

Aparātus ar apvalku izgatavo no dažādiem materiāliem – no čuguna, tērauda, vara un no speciāliem sakausējumiem (piemēram, *Hastalloy*). Tehnoloģisko procesu pētniecības un mērogošanas vajadzībām izmanto neliela izmēra stikla aparātus ar apvalku (skat. 5.17. attēlu).

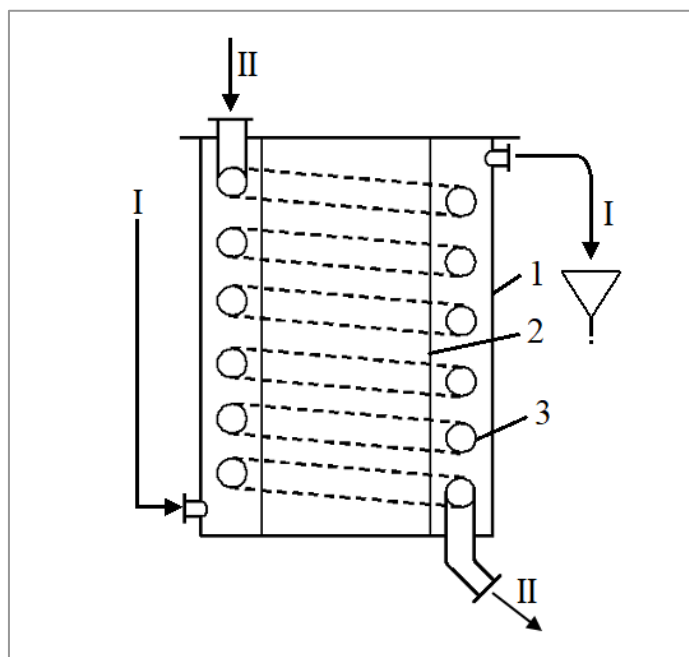


5.17. attēls. Stikla aparāts ar apvalku

Avots: firststepglass.com/

Glodenes

Lai sildīšanas procesā nodrošinātu lielāko īpatnējo sildvirsmu, aparātu iekšienē var ievietot **glodenes** veida siltummaiņi (skat. 5.18. attēlu). Glodenes var lietot arī kā atsevišķus siltummaiņus (ārējus – skat. 5.19. attēlu, iekšējus – skat. 5.20. attēlu). To sildvirsmu jāizgatavo no speciāla ķīmiski inerta un izturīga materiāla, ja šķidrā fāze satur mehāniskus piemaisījumus (ir abrazīva).



5.18. attēls. Glodenes tipa siltummaiņa shēma
(I, II – siltumnesēju plūsmas; 1 – korpuss, 2 – ieliktnis, 3 – glodene)

Glodenes veida siltummaiņus ievieto tvertnēs (reaktoros) stacionāri, kā arī tie var būt iegremdējami un izceļami. Siltumapmaiņa norisinās labāk, ja šķidrums gar glodenes ārējo virsmu plūst straujāk. To panāk, ievietojot aparātā cilindrisku ieliktni 2.



5.19. attēls. **Glodenes tipa siltummainis (ārējais)**

Avots: sarrz.ru/produkcija/apparaty_emkostnye/apparat_vpp.html



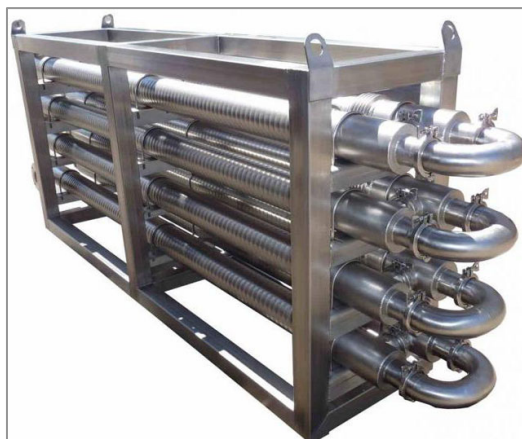
5.20. attēls. **Glodenes tipa siltummainis (iekšējais)**

Avots: www.hotspotenergy.com/titanium-pool-heat-exchangers/

Glodenes un tvaika apvalki parasti darbojas kā **periodiskās darbības iekārtas**. Šiem siltummaiņiem ir salīdzinoši zems ražīgums, siltumapmaiņas procesi tajos ir sarežģīti regulējami un kontrolējami. Tas ievērojami samazina to izmantošanas iespējas.

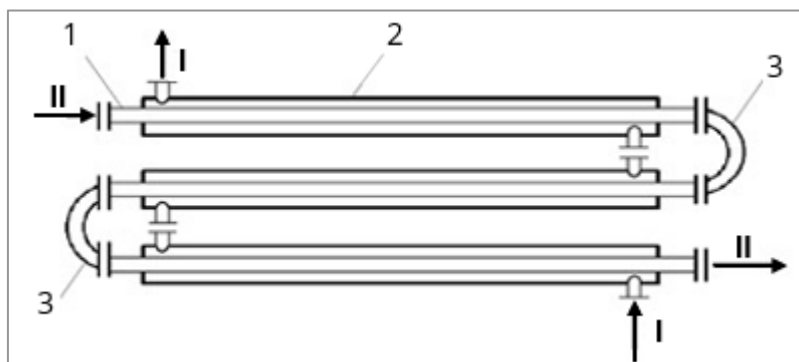
„Caurule caurulē” tipa siltummaiņi

Neliela siltumnesēju patēriņa gadījumos izmanto „**caurule caurulē**” tipa siltummaiņus (skat. 5.21. attēlu). Tie izveidoti no atsevišķiem elementiem, kas sastāv no virknes lielāka diametra ārējo cauruļu, kurās novietotas mazāka diametra caurules.



5.21. attēls. „**Caurule caurulē**” tipa siltummainis

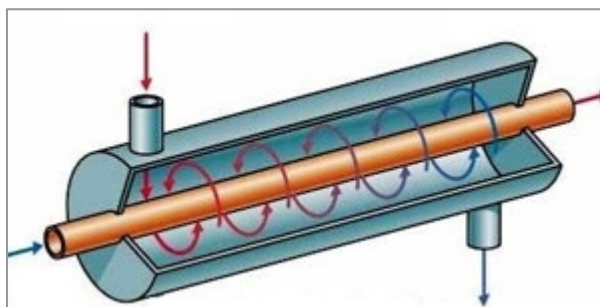
Avots: trubaspec.com/dlya-otopleniya/kak-rabotaet-teploobmennik-truba-v-trube-preimushchestva-i-nedostatki-ustroystva.html



5.22. attēls. „Caurule caurulē” tipa siltummaiņa shēma

(I, II – siltumnesēju plūsmas; 1 – iekšējā caurule, 2 – ārējā caurule, 3 – savienotāji)

Siltummaiņa atsevišķie elementi (caurules) savienoti virknē (skat. 5.22. attēlu), izmantojot savienotājus. Viens no siltumnesējiem – I – plūst starpcauruļu telpā, bet otrais siltumnesējs – II – plūst pa iekšējo cauruli. Siltumapmaiņas process noris caur iekšējās caurules sienīgu. Šādos siltummaiņos var panākt samērā lielu abu siltumnesēju ātrumu, kas savukārt nodrošina augstas siltumpārejas koeficienta vērtības (skat. 5.23. attēlu).



5.23. attēls. Siltumnesēju plūsmu shēma „Caurule caurulē” tipa siltummaiņī

Avots: teplosniks.ru/teplosnabzhenie/teploobmennik-truba-v-trube.html

Visbiežāk šādus siltummaiņus izmanto augstā spiedienā un agresīvos šķidrums (jo ir ātrāka sildīšanas procesa norise).

Apvalkcauruļu siltummaiņi

Apvalkcauruļu siltummaiņi (skat. 5.24. attēlu) ir ļoti plaši izmantojami nepārtrauktās darbības rekuperācijas siltummaiņu grupas pārstāvji. Šādus aparātus izmanto, lai realizētu siltumapmaiņas procesu starp dažādā agregātstāvoklī esošām siltumnesēju plūsmām (tvaiks-šķidrums, šķidrums-šķidrums, gāze-šķidrums).

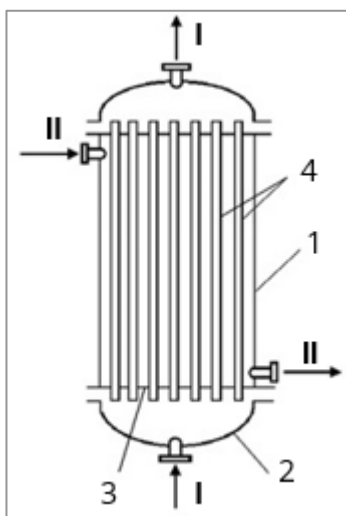


5.24. attēls. Apvalkcauruļu siltummaiņis

Avots: www.oaobhm.ru/products/kozhukhotrubchatye-teploobmenniki/apparaty-teploobmennyje-kozhukhotrubchatye-s-nepodvizhnymi-trubnymi-reshetkami-i-komponovki-iz-nikh/

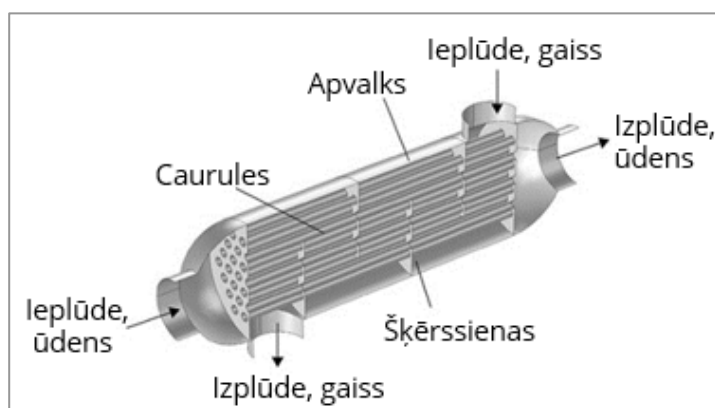
Apvalkcauruļu siltummainis (skat. 5.25. attēlu) sastāv no caurulēm 4, kas ar galiem iestiprinātas cauruļu režģos 3. Caurules ievietotas apvalkā 1, un to vaļējie gali izbeidzas apakšējā un augšējā kamerā. Apvalks no augšas un apakšas ir noslēgts ar vākiem 2.

Cauruļu un starpcauruļu telpas ir nodalītas. Viens siltumnesējs plūst pa caurulēm, otrs pārvietojas starpcauruļu telpā. Visbiežāk izmanto caurules ar diametru no 12 līdz 38 mm; cauruļu garums var sasniegt 6 m. Lielākas sildvirsmas izvietojšanai siltummaiņa tilpuma vienībā lieto maza diametra caurules. Viskoziem šķidrumiem un šķidrumiem, kas satur cietus piemaisījumus, izmanto lielāka diametra caurules. Tomēr **siltumpārejas koeficients K** maza diametra caurulēm ir augstāks nekā liela diametra caurulēm.



5.25. attēls. Vienpakāpes apvalkcauruļu siltummaiņa shēma

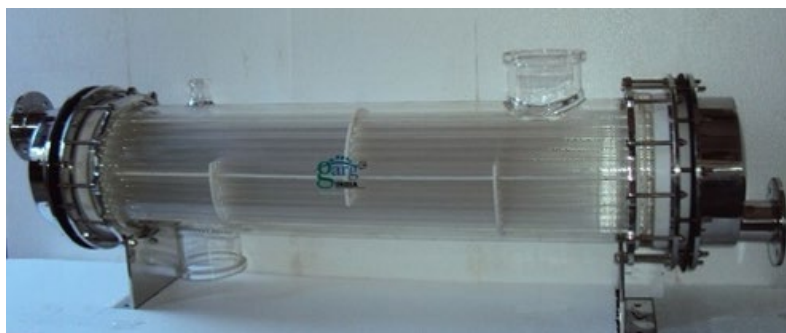
(I, II – siltumnesēju plūsmas; 1 – apvalks, 2 – siltummaiņa vāks, 3 – cauruļu režģis; 4 – caurules)



5.26. attēls. Vienpakāpes apvalkcauruļu siltummainis

Avots: www.rednewswire.com/shell-tube-heat-exchanger-market-show-exponential-growth-by-2025/

5.25. attēlā parādīto apvalkcauruļu siltummaini sauc par **vertikālo siltummaini**. Ja caurules novietotas horizontāli, tad siltummaiņus sauc par **horizontāliem siltummaiņiem** (skat. 5.26. attēlu). Atkarībā no sildāmā šķidruma īpašībām siltummaiņa cauruļu izgatavošanai izmanto nerūsējošo (lēģēto) tēraudu, varu, misiņu, tantalu vai dažādus metālu sakausējumus, kā arī speciālu borosilikātu stiklu (skat. 5.27. attēlu).

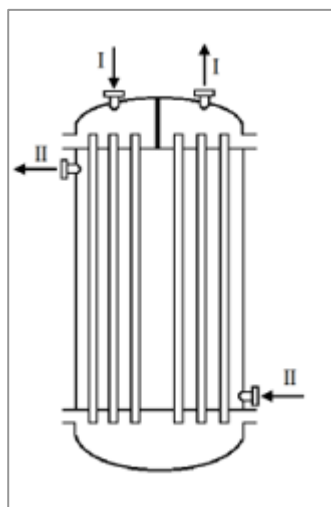


5.27. attēls. Vienpakāpes stikla apvalkcauruļu siltummainis

Avots: www.glassdistillationassembly.com/glass-heat-exchangers.html

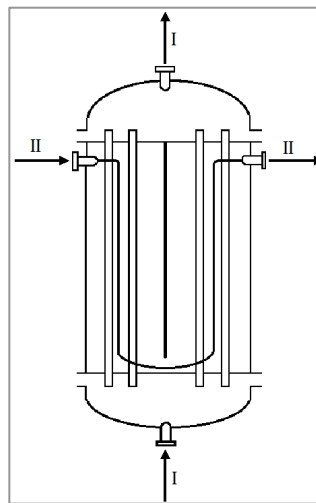
Lai palielinātu siltumnesēja ātrumu un siltumapmaiņas procesa intensitāti, vienlaicīgi uzturot nepieciešamo beigu temperatūru, izmanto **vairāpkāpju apvalkcauruļu siltummaiņus** (skat. 5.28. un 5.29. attēlu). Ievietojot šķērssienu, aparāta caurules sadala vairākās grupās. Šādi divpakāpju siltummaiņi, pateicoties šķērssienu augšējā kamerā, siltumnesējs I plūst cauri tikai pusei cauruļu, apakšā pagriežas un plūst cauri otrai pusei cauruļu.

Siltumapmaiņas procesa intensitātes palielināšana vairāpkāpju apvalkcauruļu siltummaiņos vienlaikus izraisa hidrauliskās pretestības pieaugumu, sarežģītāka kļūst arī siltummaiņa konstrukcija. Ņemot vērā ekonomiskos apsvērumus, pakāpju skaits apvalkcauruļu siltummaiņos parasti nepārsniedz 6.



5.28. attēls. Divpakāpju (pēc cauruļu telpas) apvalkcauruļu siltummaiņa shēma

(I, II – siltumnesēju plūsmas)



5.29. attēls. Divpakāpju (pēc starpcauruļu telpas) apvalkcauruļu siltummaiņa shēma

(I, II – siltumnesēju plūsmas)

Apvalkcauruļu siltummaiņos darba laikā rodas ievērojama temperatūras starpība starp cauruļu sienu temperatūru un apvalka temperatūru. Tas rada termisko deformāciju (termisko spriegumu), kas ir sevišķi bīstama (var saplēst caurules), ja apvalks un caurules ir izgatavoti no dažādiem materiāliem. Ja temperatūras starpība apvalkā un caurulēs pārsniedz 50 °C, izmanto dažādus paņēmienus termiskās izplešanās kompensēšanai – izmanto **siltummaiņus ar termiskās deformācijas kompensatoriem**.

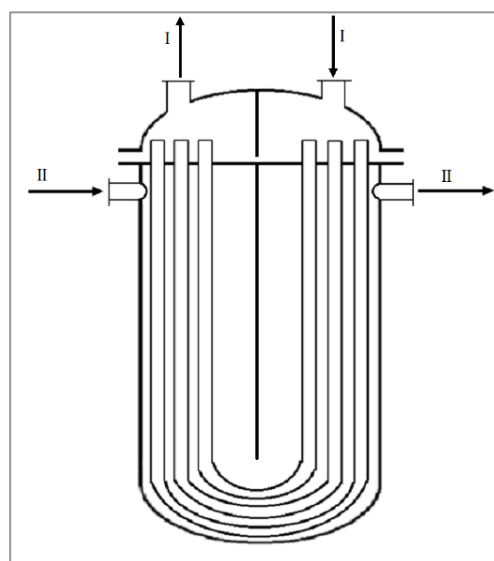
Daži termiskās izplešanās efekta samazināšanas veidi parādīti 5.30., 5.31., 5.32., 5.33., 5.34., 5.35. attēlā.

Siltummainī ar U veida caurulēm (skat. 5.30., 5.31. attēlu) abi caurules gali tiek iestiprināti vienā cauruļu režģī, kas ļauj caurulēm brīvi deformēties (pagarināties). Tomēr šādiem aparātiem ir apgrūtināta cauruļu iekšējo sieniņu tīrīšana, kā arī ir diezgan sarežģīta to izgatavošana.



5.30. attēls. **Apvalkcauruļu siltummainis ar U veida caurulēm**

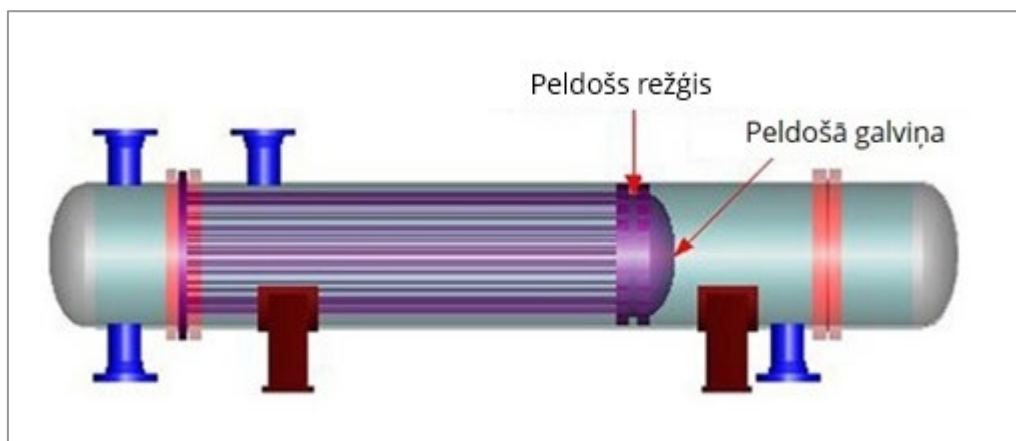
Avots: cdn11.bigcommerce.com/s-lej68b8h/images/stencil/1280x1280/products/3858/4248/bell_and_gossett_tube_bundle_overview_2_98279.1380946328.png?c=3?imbyypass=on



5.31. attēls. **Apvalkcauruļu siltummaiņa ar U veida caurulēm shēma**

(I, II – siltumnesēju plūsmas)

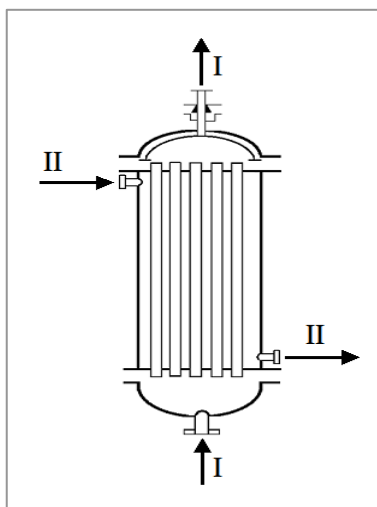
5.32. attēlā redzams divpakāpju **apvalkcauruļu siltummainis ar kustīgu režģi** (peldošo galviņu).



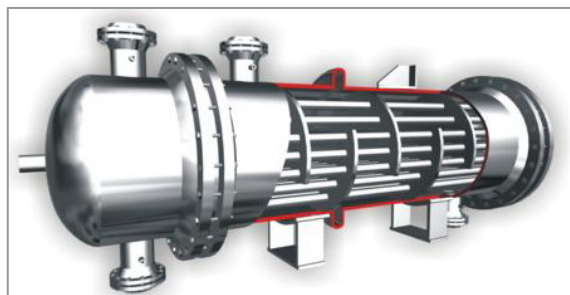
5.32. attēls. **Divpakāpju apvalkcauruļu siltummainis ar kustīgu režģi**

Avots: www.theculminates.com/heat_exchan_desi_analy.html

Šādu aparātu izmanto ievērojamu savstarpēju apvalka un caurulīšu pārbīžu un deformāciju gadījumos, jo viens no cauruļu režģiem nav savienots ar korpusu (apvalku) un var brīvi pārvietoties (skat. 5.33. attēlu).



5.33. attēls. **Apvalkcauruļu siltummaiņa ar kustīgu režģi shēma** (I, II – siltumnesēju plūsmas)

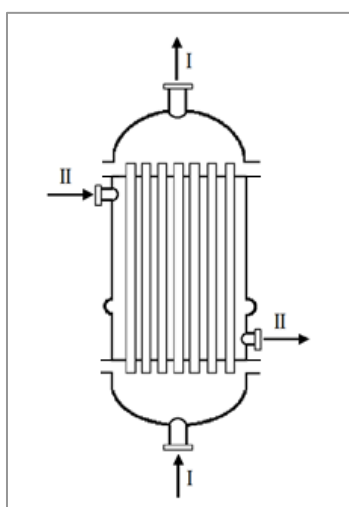


5.34. attēls. **Apvalkcauruļu siltummaiņš ar lēcveida kompensatoru**

Avots: kompensator.by/Teploobmennik_kojyhotrybchati

5.34. attēlā redzams **apvalkcauruļu siltummaiņš ar lēcveida kompensatoru** uz apvalka (korpusa). Šajā aparātā termiskās deformācijas kompensējas, lēcveida kompensatoram saspiežoties vai izplešoties. Siltummaiņus ar lēcveida kompensatoriem izmanto gadījumos, ja termiskā izplešanās ir 10–15 mm un spiediens starpcauruļu telpā nepārsniedz 0,25 MPa. Viens lēcveida paplašinājums kompensē 4–5 mm termiskās deformācijas, tādēļ vienā apvalkā var būt vairāki šādi kompensatori.

5.35. attēlā parādīta apvalkcauruļu siltummaiņa ar lēcveida kompensatoru shēma.



5.35. attēls. **Apvalkcauruļu siltummaiņa ar lēcveida kompensatoru shēma**
(I, II – siltumnesēju plūsmas)

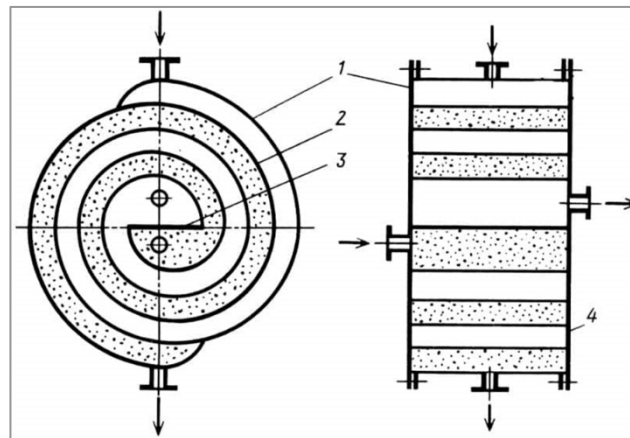
Spirālveida siltummaiņi

Spirālveida siltummaiņi ir aparāti, kuros siltumnesēju kanāli ir izveidoti no divām spirālē salocītām metāla loksnes (skat. 5.36., 5.37. attēlu). Šādu siltummaiņu izgatavošanai izmanto legētā tērauda, niķeļa, titāna, alumīnija un to sakausējumu loksnes, kuru platums ir no 0,1 līdz 1,8 m, biezums – no 2 līdz 8 mm. Attālums starp plāksnēm var būt no 5 līdz 25 mm. Siltumapmaiņas virsmas lielums var svārstīties no 0,5 līdz 160 m².



5.36. attēls. Spirālveida siltummainis

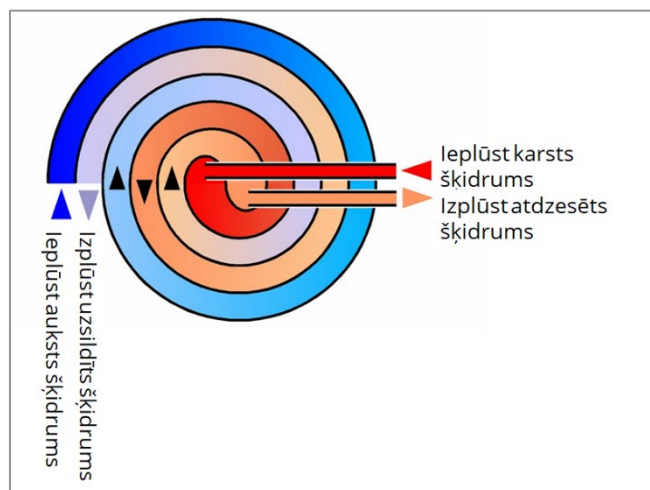
Avots: www.phxequip.com/equipment.22865/309-57-sq-ft-alfa-laval-spiral-heat-exchanger.aspx



5.37. attēls. Spirālveida siltummaiņa shēma (1.2 – salocītās loksnes, 3 – starpsiens, 4 – vāki)

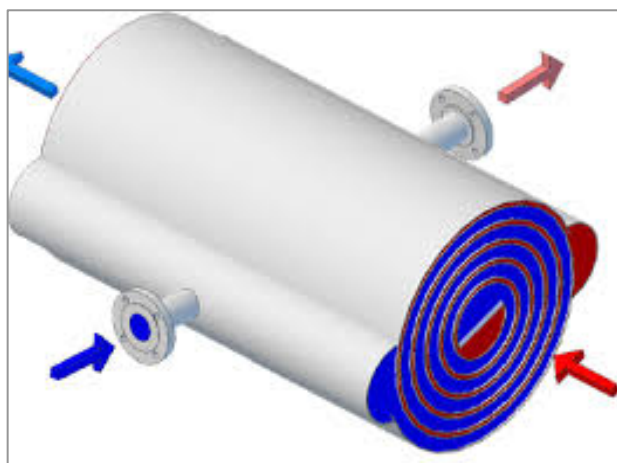
Avots: sn22.ru/teplobmennik/spiralnye-teplobmenniki/

Siltumnesēju plūsmu shēma spirālveida siltummainī parādīta 5.38. un 5.39. attēlā.



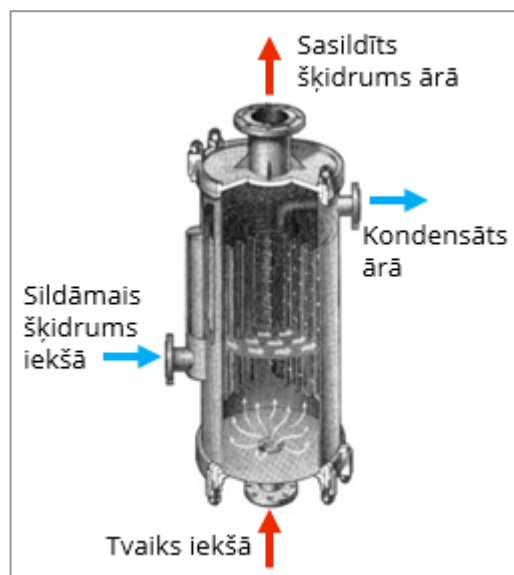
5.38. attēls. Siltumnesēju plūsmu shēma spirālveida siltummainī

Avots: sourceforge.net/p/flash-presentation-apps/wiki/DescriptionHeatExchangers/



5.39. attēls. Horizontālā spirālveida siltummaiņa plūsmu shēma

Avots: www.elancoheatexchangers.com/spiral-heat-exchangers.html



5.40. attēls. Vertikālais spirālveida siltummainis

Avots: www.slideshare.net/GerardBHawkins/refluxing-condensation-systems-dephlegmators

Spirālveida siltummaiņi var būt novietoti horizontāli (skat. 5.39. attēlu) vai vertikāli (skat. 5.40. attēlu).

Konstruktīvi spirālveida siltummaiņus iedala:

- atsevišķajos;
- sekcijveida;
- blokveida.

Salīdzinājumā ar apvalkcauruļu siltummaiņiem spirālveida aparātiem ir augsts siltumpārejas koeficients K , jo iespējams siltumnesēju ātrumu palielināt līdz 2 m/s un pretestība ir neliela. Šie siltummaiņi ir kompakti, vienā kubikmetrā var izvietot līdz 72 m² sildvirsmas.

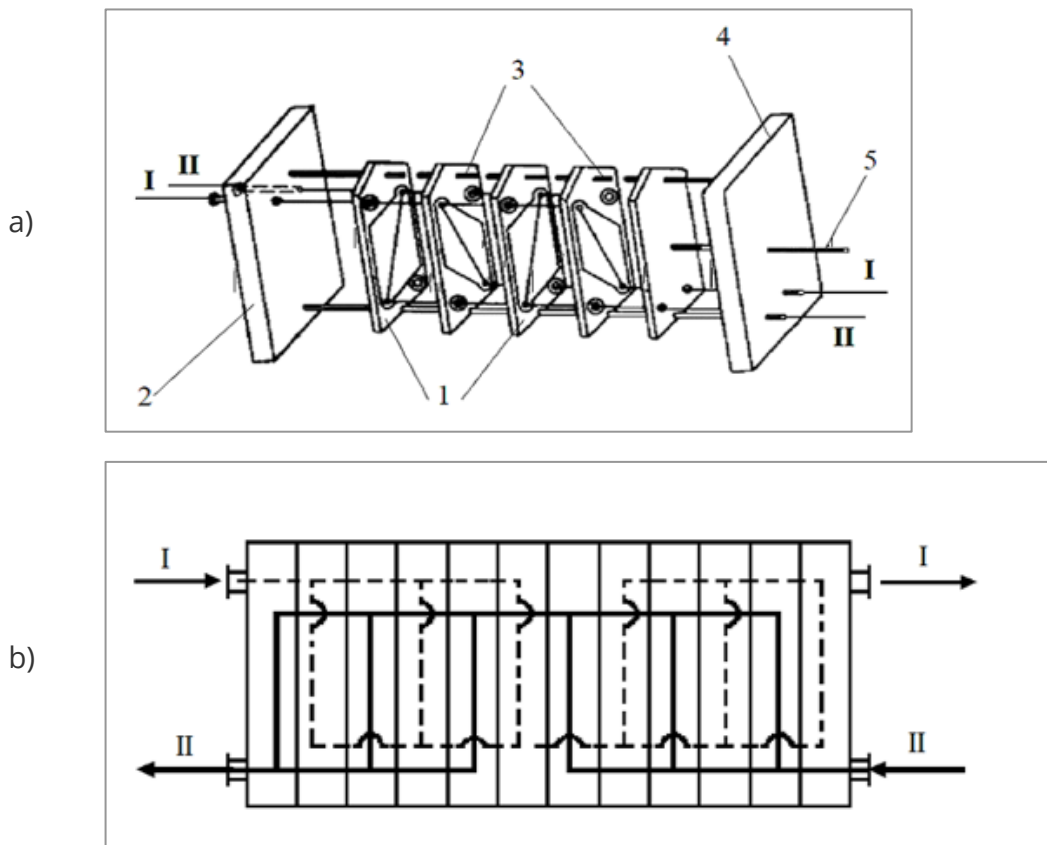
Plākšņveida siltummaiņi

Diezgan plaši dažādos ķīmijas tehnoloģijas, biotehnoloģijas, pārtikas pārstrādes ražošanas procesos izmanto **plākšņveida siltummaiņus**. Šie aparāti ir ļoti kompakti un vienkārši, taču īpatnējā sildvirsmā var sasniegt līdz pat 1500 m²/m³ (skat. 5.41. attēlu).



5.41. attēls. Plākšņveida siltummainis

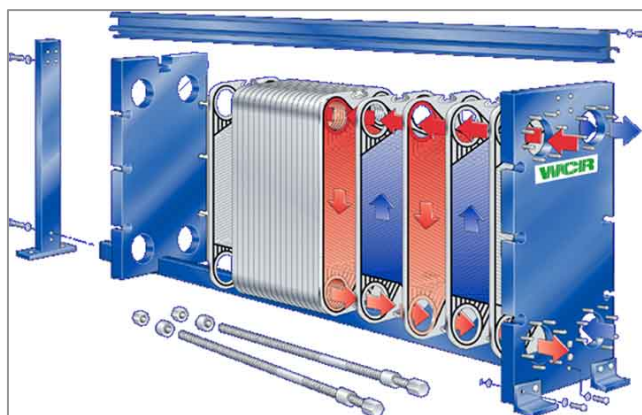
Plākšņveida siltummaiņi sastāv no gofrētām plāksnēm 1, kuras vienu no otras atdala elastīgas starplikas (skat. 5.42. attēlu – a). Saspiežot šādas plāksnes, tiek izveidoti šauri (3–6 mm) izolēti kanāli, pa kuriem pretplūsmā pārvietojas siltumnesējs un sildāmais (dzesējamois) šķidrums. Šķidrums plūsmas ātrums kanālos var sasniegt 2–3 m/s, kas arī nodrošina intensīvu turbulenci (skat. 5.42. attēlu – b, 5.43. attēlu). Tādēļ siltumatdeves koeficienta vērtības palielināsies līdz $3000\text{--}4000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ salīdzinoši zemās hidrauliskās pretestībās.



5.42. attēls. Plākšņveida siltummaiņa shēma

a) 1 – plāksnes ar nepāra kanāliem, 2, 4 – fiksējošās plates,
3 – plāksnes ar pāra kanāliem, 5 – skrūves ierīce;

b) siltumnesēju plūsmu shēma siltummaiņī, I – aukstais siltumnesējs, II – karstais siltumnesējs.

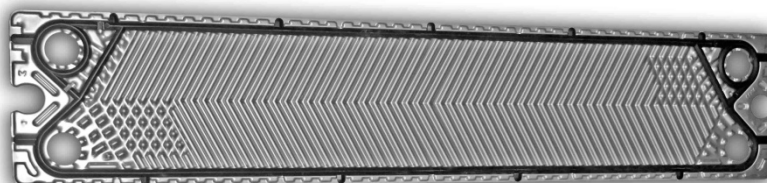
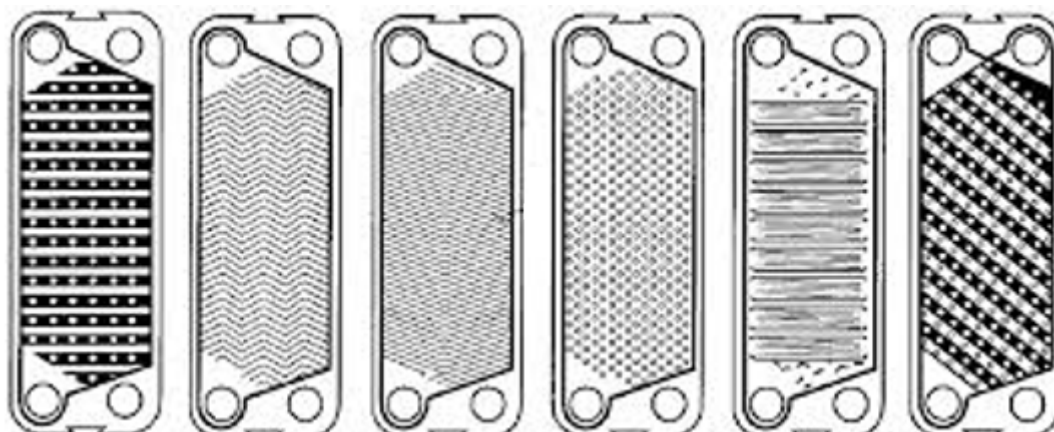


5.43. attēls. Siltumnesēju plūsmu shēma plākšņveida siltummaiņī

Avots: www.wermac.org/equipment/equipment_img/plate_exchanger1.jpg

Siltummaiņa plāksnes izgatavo no lokšņu tērauda, alumīnija, titāna, melhiora, kā arī no citiem materiāliem un sakausējumiem, to konstrukcijas mēdz būt dažādas (skat. 5.44. attēlu). Vienas plāksnes biezums var būt 0,5–2 mm, plāksnes sildvirsmas lielums – 0,5 –1,4 m².

Plākšņveida siltummaiņus izgatavo **izjaucamus** un **neizjaucamus** (**velmētus** (skat. 5.41. attēlu) un **metinātus**). Izjaucamie siltummaiņi var darboties temperatūras intervālā no 20 °C līdz 150 °C, spiediens parasti nepārsniedz 2 MPa. Neizjaucamiem aparātiem darbības temperatūru intervāls ir līdz 400 °C un spiediens – līdz 3 MPa.

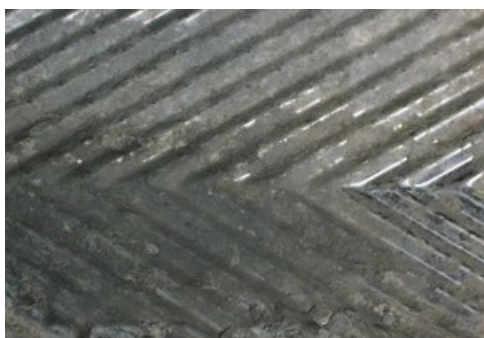


5.44. attēls. Plākšņveida siltummaiņa plākšņu veidi

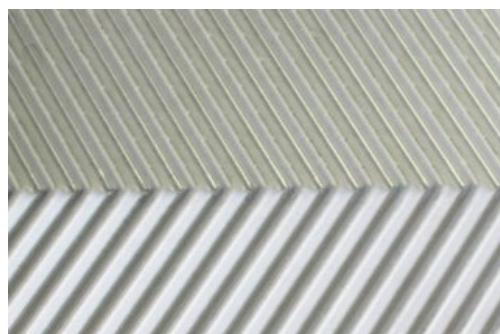
Avots: www.intechopen.com/books/heat-transfer-studies-and-applications/modeling-and-design-of-plate-heat-exchanger

Uz aparātu plāksnēm darbības laikā bieži veidojas nogulšņu (rūsas, kaļķakmens) kārtas, kas pasliktina siltumapmaiņas procesu. Izjaucamiem siltummaiņiem ir iespēja veikt plākšņu tīrīšanu (skat. 5.45. attēlu), lai atjaunotu aparātu darbības efektivitāti.

Pirms tīrīšanas



Pēc tīrīšanas



5.45. attēls. Plākšņveida siltummaiņa plāksnes pirms attīrīšanas un pēc attīrīšanas

Avots: www.processpower.com/heat-exchanger-cleaning.php

Plākšņveida siltummaiņus plaši izmanto šķidrumu sildīšanai un dzesēšanai (skat. 5.46. attēlu), tīra tvaika kondensēšanai, kā arī kā sildīšanas kameras ietvaices aparātos.

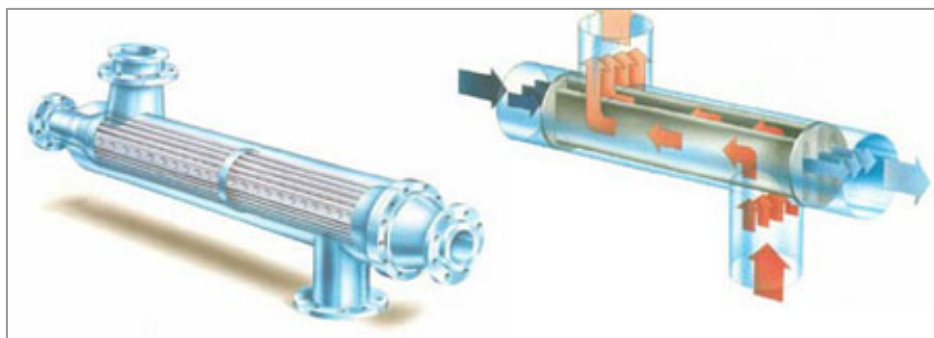


5.46. attēls. Plākšņveida siltummaiņu izmantošana ūdens sildīšanas sistēmā

Avots: www.mechequip.com/wp-content/uploads/2016/02/tranter-heat-exchangers-for-ethanol.png

Lameļu tipa siltummaiņi

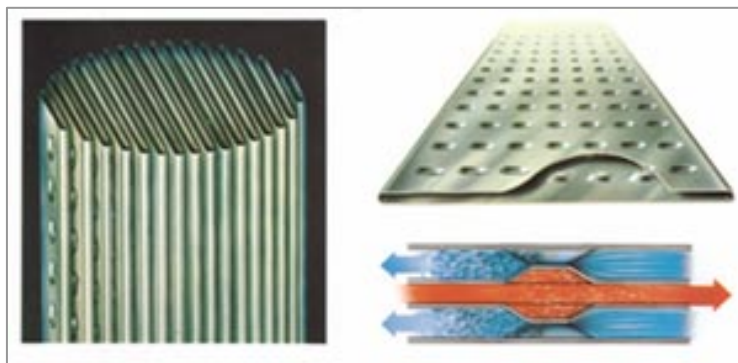
Lameļu tipa siltummainis (skat. 5.47. attēlu) sastāv no korpusa, kurā izvietotas plakanas caurulītes. Tās izgatavo no divām periodiski sametinātām plāksnēm (skat. 5.48. attēlu), kuru biezums ir 1,5–2 mm.



5.47. attēls. Lameļu tipa siltummainis

Avots: tapiro.fi/tuotteet/lammonsiirtimet_e.html

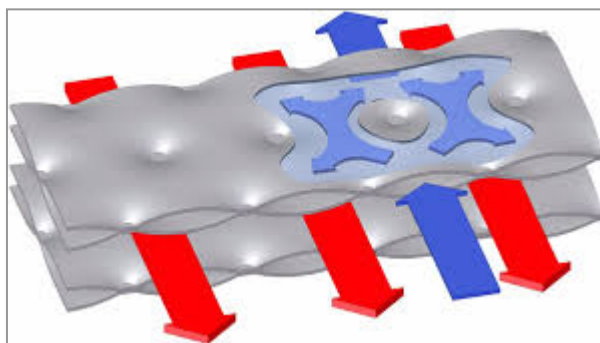
Šo plakano caurulīšu jeb lameļu garums ir no 2 līdz 6 m, korpusa diametrs var būt no 100 līdz 1000 mm. Darba spiediens šādos aparātos var sasniegt 4,5 MPa.



5.48. attēls. **Lameļu izvietojums**

Avots: tapiro.fi/tuotteet/lammonsiirtimet_e.html

Lameļu tipa siltummaiņi paredzēti darbam dažādās sistēmās: šķidrums–šķidrums, šķidrums–tvaiks (gāze), gāze–gāze (skat. 5.49. attēlu). Lielākā darbības efektivitāte būs temperatūrās, kas ir augstākas par 150 °C, un darba spiediena intervālā no 1 līdz 4,5 MPa.



5.49. attēls. **Siltumnesēju plūsmu shēma lamelēs**

Avots: www.deg-engineering.de/de/thermobleche.php

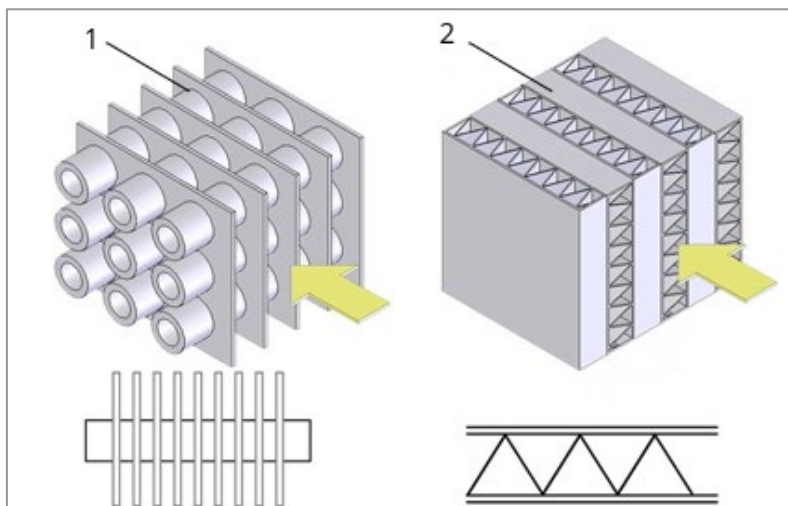
Siltummaiņi ar ribotām virsmām

Parasti siltummaiņus ar ribotām virsmām izmanto, kad siltumapmaiņa noris starp vidēm (siltumnesējiem) ar stipri atšķirīgiem siltumatdeves koeficientiem, piemēram, sildot gaisu (siltumatdeves koeficients $\alpha = 10 - 60 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$) ar ūdens tvaiku (siltumatdeves koeficients $\alpha \approx 11600 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$). Šādos gadījumos siltumapmaiņas procesa veicināšanai tajā pusē, kur atrodas siltumnesējs (vide) ar mazāku siltumatdeves koeficientu, palielina virsmu, izveidojot ribas. Visbiežāk siltumnesējs (vide), kuram ir mazāks siltumatdeves koeficients, atrodas ārpusē, tādēļ arī ribas ir ārpusē (skat. 5.50. attēlu). Šis princips tiek izmantots, sildot vai dzesējot šķidrumus un gāzes ar augstu viskozitāti.

**DEFINĪCIJA**

*Siltummaiņus ar ribotām virsmām, kurus lieto gaisa sildīšanai, sauc par **kalorifieriem**.*

Kaloriferos par siltumnesēju parasti lieto karstu ūdeni vai tvaiku. Sildāmās gāzes plūsma jāvirza perpendikulāri caurulēm, jo tad sildvirsmu var izmantot pilnīgāk (skat. 5.50. attēlu).

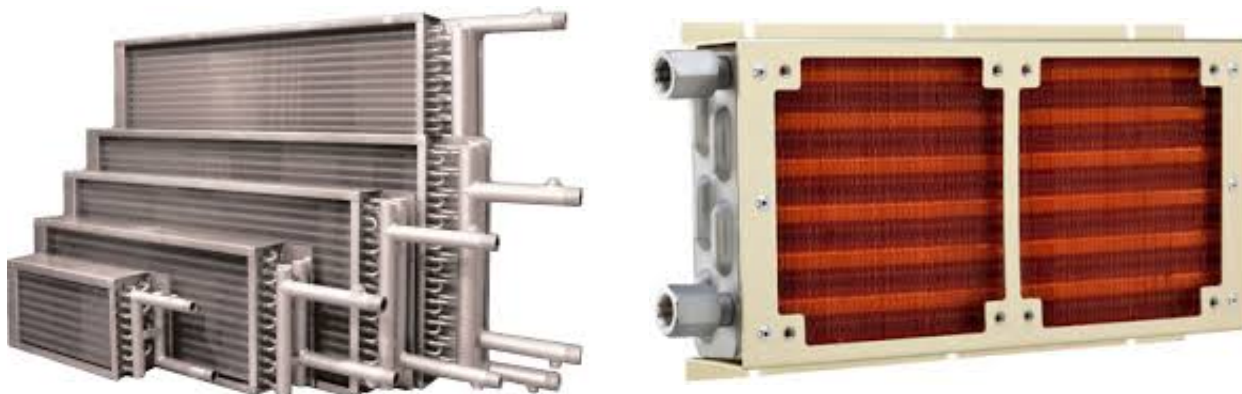


5.50. attēls. **Riboto siltummaiņu elementu veidi**
(1 – ar plākšņveida šķērsribām, 2 – ar gofrētām ribām plakanām sildvirsmām)

Avots: fchart.com/ees/heat_transfer_library/compact_hx/hs100.htm

Rūpniecībā kaloriferus izmanto gaisa sildīšanai, žāvēšanas procesos, telpu apsildei, kā arī gaisa kondicionēšanas iekārtās. Visbiežāk šādām vajadzībām izmanto kaloriferus ar plākšņveida šķērsribām (skat. 5.50. attēlu – 1). Tie sastāv no caurulēm, kurām piestiprinātas plāksnes. Ribotās caurules izgatavo no materiāliem, kuriem ir pietiekami augsti siltumvadītspējas koeficienti. Ribojuma forma mēdz būt dažāda (skat. 5.50. attēlu – 2).

Kaloriferu caurules sagrupē sekcijās (skat. 5.51. attēlu). Vienā sekcijā var būt 4 līdz 8 caurules. Sekciju skaits – 2–7. Par siltumnesēju izmanto ūdens tvaiku. Kaloriferus parasti novieto vertikāli, jo tad tvaika kondensāts labāk noplūst un siltumpārejas koeficients ir augstāks.



5.51. attēls. **Kaloriferu gaisa sildīšanas elementi**

Avots: www.teploobmenik.ru/img/2018-08/Catalog/to_duct-2.png
climstore.ru/upload/iblock/e87/e873ca84243ad835d91747561bcde4fd.jpg

Gaisa kaloriferi var būt:

- ar sildāmā gaisa dabisko cirkulāciju;
- ar sildāmā gaisa piespiedu cirkulāciju.

Dabiskās cirkulācijas kaloriferiem ir vienkāršāka konstrukcija un samērā lēta ekspluatācija, bet tie ir mazāk efektīvi siltumapmaiņas ziņā. Savukārt gaisa kaloriferi ar piespiedu cirkulāciju ir sarežģītāki un dārgāki ekspluatācijas laikā (jāizmanto gaisa ventilators cirkulācijas nodrošināšanai), bet ļoti efektīvi, ja nepieciešams uzsildīt lielus gaisa daudzumus īsā laikā.

Siltumpārejas koeficients K kaloriferiem ir atkarīgs no materiāla, konstrukcijas veida, gaisa ātruma un citiem faktoriem. To nosaka pēc empīriskām formulām. Vispārīgā formula ir šāda:

$$K = A (w \rho)^n \quad (5.6)$$

kur

K – siltumpārejas koeficients, $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;

A un n – konstantes, kas atkarīgas no kalorifera virsmas un siltumnesēja veida;

w – gaisa ātrums aktīvā šķērsgriezumā, $\frac{m}{s}$;

ρ – gaisa blīvums, $\frac{kg}{m^3}$.



BŪTISKI

*Kalorifera izvēles pamatā ir **sildvirsmas lieluma S** noteikšana un tās izveidošana no atsevišķiem kalorifera elementiem.*

Izvēloties kaloriferu, jāzina šādi parametri:

- darba vide (siltumnesējs) – ūdens, tvaiks, dūmgāzes, minerālēja u. c.;
- darba spiediens un maksimāli pieļaujamais spiediens siltumnesēja padeves sistēmā;
- kalorifera hidrauliskā pretestība;
- apkārtējā gaisa temperatūra (padeves sistēmā) – vidējā, maksimālā, minimālā;
- kalorifera ražīgums pēc sasildītā gaisa.

5.3.2. REĢENERĀCIJAS SILTUMMAIŅI

Ķīmijas tehnoloģijā, stikla pārstrādes procesos un būvmateriālu ražošanā izmanto reģenerācijas siltummaiņus.



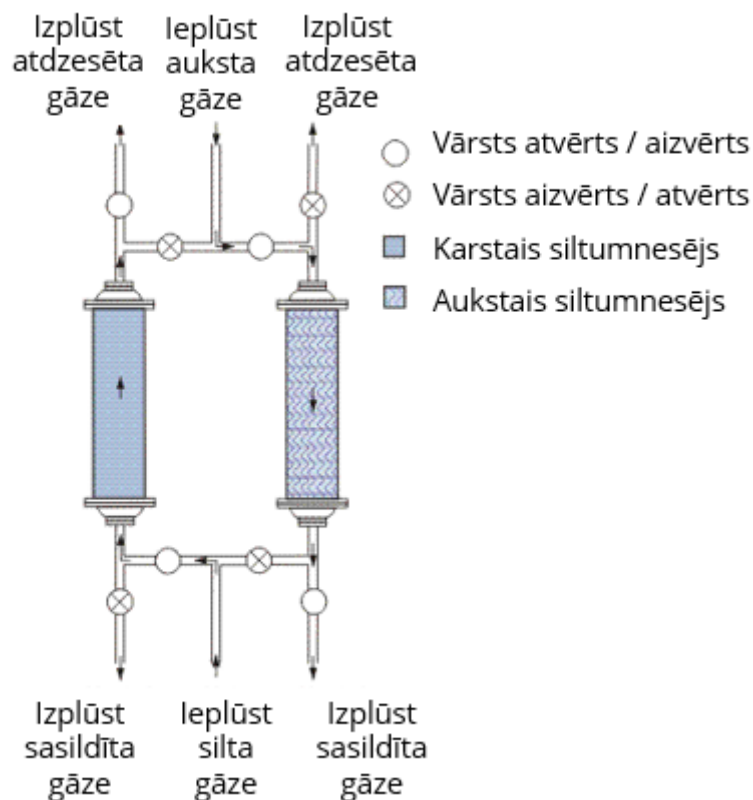
DEFINĪCIJA

Reģenerācijas siltummainis ir aparāts, kurā siltumpāreja no viena siltumnesēja uz otru noris ar siltumu akumulējošas masas (pildījuma) palīdzību.

Caur pildījumu periodiski padod karsto siltumnesēju (vidi), kas pats atdziest, un auksto siltumnesēju (vidi), kas savukārt uzsilst. Pirmā perioda laikā tiek uzsildīts pildījums, otrā perioda laikā pildījums tiek atdzesēts, sildot auksto siltumnesēju. Pildījuma uzsildīšanas un atdzesēšanas periodi var ilgt no dažām minūtēm līdz dažām stundām.

Ķīmijas tehnoloģijā izmanto šādas reģenerācijas siltummaiņu konstrukcijas:

- siltuma reģenerators ar stacionāru (nekustīgu) pildījuma slāni;
- siltuma reģenerators ar kustīgu dispersu pildījuma slāni;
- rotācijas siltuma reģenerators.

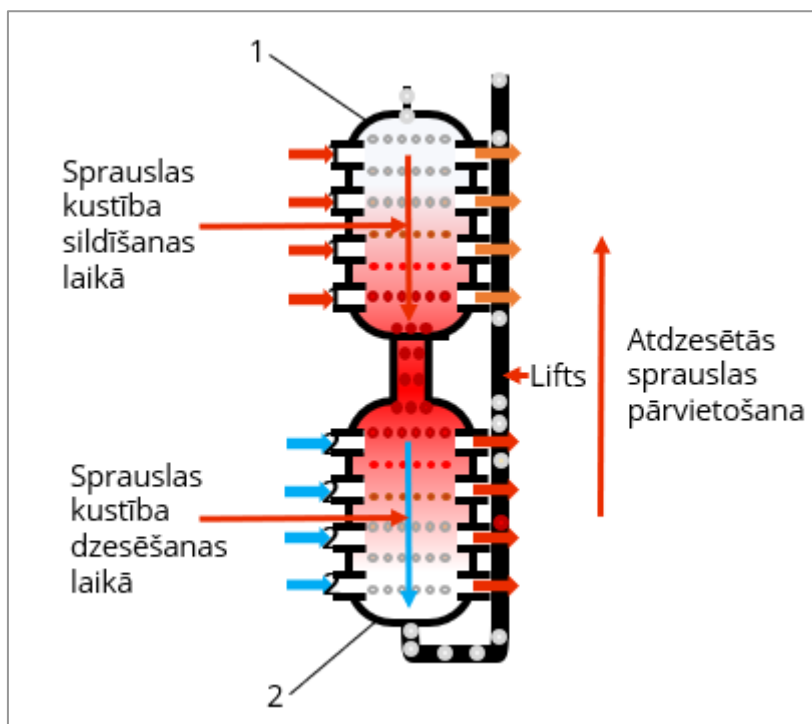


5.52. attēls. Siltuma reģenerators ar stacionāru (nekustīgu) pildījuma slāni shēma

Avots: www.thermopedia.com/content/5508/945RHEFig1.gif

Reģenerācijas siltummaiņi ar stacionāru (nekustīgu) pildījuma slāni (skat. 5.52. attēlu) parasti sastāv no diviem aparātiem, kuru korpusu piepilda ar pildījuma materiālu (ugunsizturīgie ķieģeļi, ruļļos satīta gofrēta alumīnija lente, kvarcīta granulas, metāliskie sieti no vara, misiņa u. c.). Pildījuma uzsildīšanas periodā caur vienu aparātu tiek laists karsts gaiss vai dūmgāzes, kas atdziest un tiek novadītas tālākai apstrādei, caur otru siltummaiņi – auksts gaiss, kas atņem siltumu pildījumam, kas tika uzsildīts iepriekšējā ciklā. Katrs cikls tād sastāv no diviem periodiem – uzsildīšanas perioda un atdzesēšanas perioda. Aparātu pārslēgšana pēc katra perioda notiek automātiski, izmantojot vārstus.

Dažādās rūpniecības nozarēs izmanto nepārtrauktās darbības siltuma reģeneratorus ar kustīgu dispersu karstumizturīga materiāla slāni (skat. 5.53. attēlu). Iekārta sastāv no diviem siltummaiņiem (1, 2), kas ir izveidoti kā šahtas, kurās no augšas uz leju nepārtraukti pārvietojas dispersais pildījuma slānis. Augšējā aparātā (1) pildījums tiek uzsildīts ar dūmgāzēm, apakšējā siltummaiņī (2) – atdzesēts ar aukstu gaisu vai citām tehnoloģiskām gāzēm.

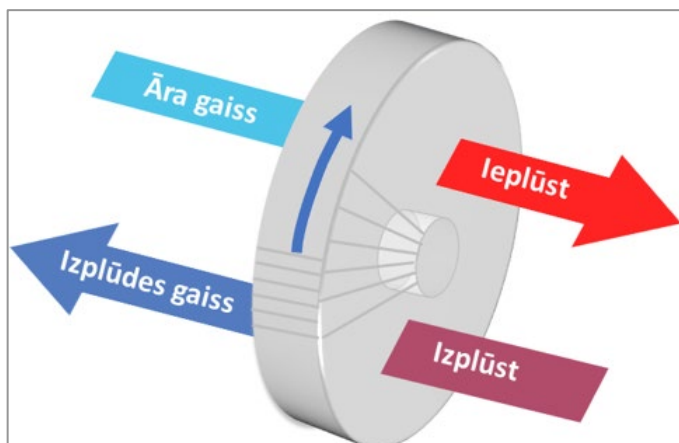


5.53. attēls. Siltuma reģeneratora ar kustīgu dispersu pildījumu shēma (1, 2 – siltummaiņi)

Avots: teploobmenniki.pro/teploobmenniki/klassifikacija-teploobmenikov/regenerativnye-teploobmenniki/

Atdzesēto pildījumu nepārtraukti aizvada no iekārtas un ar pneimotransportu (elevatoru) padod gaisa atdalīšanai.

Vidējas temperatūras siltumprocesos izmanto nepārtrauktās darbības rotācijas reģeneratīvos siltummaiņus (skat. 5.54. attēlu).



5.54. attēls. Rotācijas reģeneratora shēma

Avots: www.klingenburg-usa.com/products/rotary-heat-exchangers/rotors-for-heating-ventilation-and-air-conditioning-systems-hvac/purge-sector/

Bieži tie darbojas elektrostacijās, lai gaisa uzsildīšanai izmantotu izstrādātu dūmgāzu siltumu. Par pildījumu rotācijas reģeneratoros lieto uz ass nostiprinātas plakanas vai profilētas metāla plāksnes. Pildījums lēnām griežas (apmēram 3 apgriezieni minūtē), tam periodiski garām plūst karstās gāzes un auksts gaiss. Šīs konstrukcijas reģenerācijas siltummaiņi ir kompakti un nodrošina pastāvīgu gaisa temperatūru.

5.4. SILTUMMAIŅU APRĒĶINU PAMATPRINCIPI

Ķīmijas tehnoloģijas siltumapmaiņas aparatūras projektēšanā tiek izmantoti divu veidu **siltummaiņu aprēķini**:

- projekta aprēķins;
- kontroles aprēķins.

Projekta aprēķins tiek veikts, projektējot siltumapmaiņas aparātu, kad ir zināms nepieciešamais siltumnesēja (sildāmā šķidrums) patēriņš un tā parametri (raksturlielumi) – *tehniskais uzdevums*. Šī aprēķina mērķis ir siltummaiņa sildvirsmas un aparāta konstruktīvo izmēru noteikšana.

Kontroles aprēķinus veic, lai noskaidrotu, vai esošais (projektētais) siltummainis nodrošinās nepieciešamo ražīgumu, un lai izvēlētos optimālo sildīšanas variantu.

Projekta aprēķins ietver arī siltummaiņa tipa un konstrukcijas izvēli. Tajā ietilpst:

- siltumtehniskais aprēķins;
- konstruktīvais aprēķins;
- hidrauliskais aprēķins;
- mehāniskais aprēķins;
- tehniski ekonomiskais aprēķins.

Tomēr šajā digitālajā metodiskajā līdzeklī lielāku uzmanību pievēršsim siltummaiņa siltumtehniskajam aprēķinam, jo konstruktīvais, hidrauliskais, mehāniskais un tehniski ekonomiskais aprēķins ir pārāk sarežģīts LKI 3. un 4. kvalifikācijas līmeņa profesionālo kvalifikāciju audzēkņiem.

Siltummaiņa projekta aprēķins pilnībā jāveic, projektējot konkrētu ķīmisko, farmācijas vai biotehnoloģisko ražotni (apgūstot attiecīgos augstskolas studiju kursus, kā arī projektēšanas iestādēs).

5.4.1. SILTUMMAIŅA SILTUMTEHNISKAIS APRĒĶINS



BŪTISKI

Siltummaiņa siltumtehnisko aprēķinu pamatā ir aparāta nepieciešamās **sildvirsmas S** noteikšana.

Sildvirsmas laukumu (S) nosaka, izmantojot siltumpārejas vienādojumu (4.1):

$$S = \frac{Q}{K \Delta t_{vid}}, m^2$$



DEFINĪCIJA

Par **siltummaiņa siltuma slodzi Q** sauc siltuma daudzumu, kas pāriet no karstā siltumnesēja uz auksto siltumnesēju laika vienībā.

To parasti nosaka pēc siltuma bilances vienādojuma. Siltummaiņa siltuma bilances vienādojums, ņemot vērā siltuma zudumus, ir:

$$Q_1 = Q_2 + Q_z \quad (5.6)$$

kur

Q_1 – siltuma daudzums, ko atdod karstais siltumnesējs, W;

Q_2 – siltuma daudzums, ko saņem aukstais siltumnesējs, W;

Q_z – siltuma zudumi apkārtējā vidē, W.

Ja siltumapmaiņa notiek bez agregātstāvokļa maiņas, tad:

$$Q_1 = G_1 C_1 (t_{1s} - t_{1b}) \quad (5.7)$$

$$Q_2 = G_2 C_2 (t_{2b} - t_{2s}) \quad (5.8)$$

kur

G_1, G_2 – siltumnesēju masas patēriņš, $\frac{m}{s}$;

C_1, C_2 – siltumnesēju īpatnējais siltums, $\frac{kJ}{kg \cdot K}$;

t_s, t_b – attiecīgas siltumnesēju sākuma un beigu temperatūras, °C.

Šajā gadījumā siltuma bilances vienādojumu var uzrakstīt šādi:

$$G_1 C_1 (t_{1s} - t_{1b}) = G_2 C_2 (t_{2b} - t_{2s}) \quad (5.9)$$

Pēc vienādojuma 5.9 var aprēķināt siltumnesēja patēriņu G_2 :

$$G_2 = \frac{G_1 \cdot C_1 (t_{1s} - t_{1b})}{C_2 (t_{2b} - t_{2s})} \quad (5.10)$$

Ja siltumnesējs maina agregātstāvokli, siltuma slodzi Q nosaka šādi:

$$Q = G_1 r \quad (5.11)$$

kur r – īpatnējais tvaiku kondensācijas siltums, $\frac{kJ}{kg}$.

Ja siltummainim ir siltumizolācija, tad siltuma zudumi ir nelieli (līdz 3–5 %). Aptuvenos aprēķinos tos var neņemt vērā. Tomēr, veicot precīzu siltumtehniko aprēķinu, ar siltuma zudumiem ir jārēķinās.

Siltuma bilances vienādojums tiek sastādīts arī ar mērķi noteikt nepieciešamo siltumnesēju daudzumu. Ja siltumnesējs ir tvaiks, tad tvaika patēriņu sildīšanai nosaka pēc formulas 5.5:

$$D = \frac{G \cdot C \cdot (t_2 - t_1) + Q_z}{H_{tv} - H_k}, \frac{kg}{s}$$

Vidējā temperatūras starpība ir atkarīga no siltumnesēju plūsmu organizēšanas shēmas (skat. 4.2. nodaļu).

Nedaudz atšķirīgi aprēķina vidējo temperatūras starpību periodiskā siltumapmaiņas procesa gadījumā. Vienkāršā periodiskajā sildīšanas (dzesēšanas) procesā siltumnesēju temperatūra mainās ne tikai laikā, bet arī dažādās siltumapmaiņas virsmas vietās.

Ja siltumapmaiņas aparātā noris sildīšanas (dzesēšanas) process, tad notiek periodiska karstā siltumnesēja atdzesēšana no t_{1s} līdz t_{1b} . Aukstā siltumnesēja beigu temperatūra visā procesa laikā mainīsies – procesa sākumā to noteiks t_{1s} , procesa beigās to limitēs t_{1b} . Līdz ar to aukstā siltumnesēja beigu temperatūra samazināsies no t'_{2b} līdz t_{2b} .

Vidējo temperatūras starpību periodiskā procesa gadījumā nosaka šādi:

$$\Delta t_{vid} = \frac{t_{1s} - t_{1b}}{\ln \frac{t_{1s} - t_{2s}}{t_{1b} - t_{2s}}} \cdot \frac{A - 1}{A \ln A} \quad (5.12)$$

kur

$$A = \frac{t_{1s} - t_{2s}}{t_{1s} - t_{2b}} \approx \frac{t_{1b} - t_{2s}}{t_{1b} - t_{2b}} \quad (5.13)$$

Vidējā dzesējošā aģenta beigu temperatūra:

$$t_{2b}^{vid} = t_{2s} + t_{vid}^{dz} \cdot \ln A \quad (5.14)$$

Siltuma bilances vienādojums šajā gadījumā būs:

$$Q = G_1 C_1 (t_{1s} - t_{1b}) = G_2 C_2 (t_{2b}^{vid} - t_{2s}) \quad (5.15)$$

Analoģiski, ja notiek periodiskā sildīšana no t_{2s} līdz t_{2b} , tad sildošā aģenta beigu temperatūra mainīsies no t'_{1b} līdz t_{1b} pastāvīgā sākuma temperatūrā t_{1s} un:

$$t_{vid}^{sild} = \frac{t_{2b} - t_{2s}}{\ln \frac{t_{1s} - t_{2s}}{t_{1s} - t_{2b}}} \cdot \frac{A - 1}{A \ln A} \quad (5.16)$$

kur

$$A = \frac{t_{1s} - t_{2s}}{t_{1b} - t_{2s}} \approx \frac{t_{1s} - t_{2b}}{t_{1b} - t_{2b}} \quad (5.17)$$

Vidējā sildošā aģenta beigu temperatūra:

$$t_{1b}^{vid} = t_{1s} - t_{vid}^{sild} \cdot \ln A. \quad (5.18)$$

Siltuma bilances vienādojums šajā gadījumā būs:

$$Q = G_2 C_2 (t_{2b} - t_{2s}) = G_1 C_1 (t_{1s} - t_{1b}^{vid}) \quad (5.19)$$

Siltumpārejas koeficienta K un siltumatdeves koeficienta α noteikšanas metodes atsevišķiem siltumapmaiņas gadījumiem iztirzātas 2. un 4. nodaļā.

Šajā aprēķina posmā noteikt precīzu siltumpārejas koeficienta vērtību nav iespējams, jo siltumatdeves koeficienta α_1 un α_2 skaitliskās vērtības būs atkarīgas no aprēķināmā siltummaiņa konstrukcijas. Tādēļ vispirms, pamatojoties uz aptuvenām siltumpārejas koeficienta vērtībām (skat. 4.1. tabulu), nosaka orientējošo siltumapmaiņas virsmu S_{or} .

Izmantojot atbilstošos standartus vai aparātu ražotājfirmu katalogus, izvēlas konkrēto siltummaiņa konstrukciju. Tālāk aprēķina precīzās koeficientu α_1 , α_2 un K skaitliskās vērtības, nosaka precizēto aparāta siltumapmaiņas virsmu S . Salīdzinot to ar normalizēta (standartizēta) aparāta sildvirsmu, spriež par tā izmantošanas iespējām noteiktā siltumprocesa realizācijai. Ja ir pietiekami lielas atšķirības starp aprēķināto un standartizēto sildvirsmu, izvēlas citu siltummaiņu un veic atkārtotu precizēto aprēķinu.

5.4.2. SILTUMMAIŅU IZVĒLE

Izvēloties siltummaiņu, jāņem vērā šādi **parametri**:

- **siltumapmaiņas virsmas laukums;**
- **procesa temperatūras režīms;**
- **spiediens aparātā;**
- **materiāls, no kura siltummainis tiek izgatavots.**

Materiālu siltummaiņa izgatavošanai nosaka šādi sildīšanas procesa raksturlielumi:

- siltumnesēju (vides) fizikālķīmiskās īpašības (galvenokārt korozijaktivitāte);
- procesa temperatūras un spiediena režīms;
- tehnoloģiskās vai standarta (vai citu normatīvo aktu) prasības gatavā produkta (starpprodukta) tīrības pakāpei.

Siltummaiņu izgatavošanai izmanto dažādus materiālus:

- metālus (dzelzs, nerūsējošais tērauds, tantals u. c.);
- stiklu;
- grafitu;
- keramiskos materiālus;
- ar emaljas pārklājumu pārklātu metālu;
- ar polimēru pārklājumu pārklātu metālu.

Parasto melno tēraudu aparātu izgatavošanai izmanto gadījumos, kad siltummainis tiek lietots sildīšanas vai dzesēšanas aģenta (siltumnesēja) sagatavošanas sistēmās. **Nerūsējošo tēraudu** siltummaiņu izgatavošanai izmanto ļoti plaši gan organiskajā sintēzē (aktīvo vielu ražošanā), gan arī farmācijā gatavā (medicīniskā) produkta iegūšanas stadijās. Svarīgākā **nerūsējošā tērauda priekšrocība** – spēja izturēt lielās temperatūras starpības (svārstības) sildīšanas (dzesēšanas) procesos. Turklāt ķīmijas tehnoloģijā, biotehnoloģijā, kā arī pārtikas pārstrādē ļoti svarīga īpašība ir **nerūsējošā tērauda** ķīmiskā izturība. **Stikla siltummaiņus** visbiežāk izmanto pētnieciskās laboratorijās, pilotaražošanas procesos (mērogošanā) un siltumprocesos, kas noris atmosfēras spiedienā. **Ar emaljas pārklājumu pārklātus metāla siltummaiņus** plaši izmanto visās ražošanas tehnoloģiskā procesa stadijās, jo tiem ir augsta korozijizturība. Taču jāņem vērā, ka stikla, keramikas un ar emalju pārklātie siltummaiņi pārāk lielas temperatūras starpības vai augstas mehāniskās slodzes dēļ var saplīst (tā saucamais temperatūras (termiskais) „šoks” vai mehāniskais „šoks”). Tādēļ, izmantojot stikla, keramikas vai ar emaljas pārklājumu pārklātus metāla siltummaiņus, jāņem vērā ražotāja informācija par

materiāla izturību pret termisko „šoku” un stingri jāievēro standarta ISO 28721-3:2008 prasības (emaljas lietošanas temperatūru piemēru aparātam ar apvalku skat. 5.4. tabulā).

5.4. tabula

Emaljas DD3009 lietošanas temperatūras aparātam ar apvalku (pēc ISO 28721-3:2008 un ražotāja *De Dietrich* specifikācijas)

Siltumnesēja temperatūra, °C (aparāta apvalkā)		Produkta (aparāta sieniņas) temperatūra, °C
T _{min}	T _{max}	
-25	120	-25
-25	125	-20
-25	135	-10
-25	145	0
-25	155	10
-25	165	20
-25	170	30
-25	175	40
-25	180	50
-25	185	60
-25	190	70
-25	195	80
-25	200	90
-25	200	100
-25	200	110
-20	200	120
-10	200	130
0	200	140
10	200	150
20	200	160
30	200	170
40	200	180
50	200	190
60	200	200

Izvēloties siltummaiņa konstrukciju, jāņem vērā siltumapmaiņas procesa intensitāte, siltummaiņa izmēri, procesa drošības aspekti, kā arī aparāta ekspluatācijas nosacījumi.

Siltummaiņa galīgo izvēli veic, pamatojoties uz tehniski ekonomisko analīzi (aprēķinu), ņemot par pamatu kādu no optimizācijas parametriem (piemēram, izmaksas).

5.4.3. SILTUMMAIŅU APRĒĶINA PIEMĒRI



BŪTISKI

Siltummaiņu aprēķinu piemēros tiek izmantotas SI sistēmas mērvienības! (skat. 6. pielikumu)

1. uzdevums

Aprēķināt spirālveida siltummaiņu, lai uzsildītu $G=20000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ 10 % NaOH šķīduma no $t_{1s} = 50^\circ\text{C}$ līdz $t_{1b} = 85^\circ\text{C}$. Sildošā aģenta – ūdens tvaika kondensāta, patēriņš $W = 18000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$, sākotnējā temperatūra $t_{2s} = 95^\circ\text{C}$. Pieņem, ka masas patēriņš kondensātam $W_1 = 1500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$.

Atrisinājums

1. Beigu kondensāta temperatūras un siltuma slodzes noteikšana

Siltuma patēriņš (slodze) Q , lai uzsildītu 10 % NaOH šķīdumu (10 % NaOH šķīduma siltumietilpības koeficients (īpatnējais siltums) $C_1 = 3860 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ ($0,92 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$)) būs:

$$Q = \frac{20000}{3600} \cdot 3860(85 - 50) = 750000 \text{ W}$$

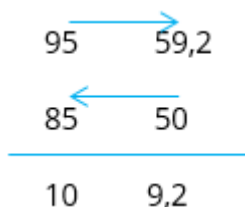
Nosaka kondensāta (kondensāta siltumietilpības koeficients (īpatnējs siltums) $C_2 = 4190 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ ($1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$)) beigu temperatūru t_2 pēc izteiksmes:

$$750000 = \frac{18000}{3600} \cdot 4190(95 - t_2)$$

$$t_2 = 59,2^\circ\text{C}.$$

2. Vidējās temperatūras starpības un siltumnesēju vidējo temperatūru noteikšana

Nosaka vidējo temperatūras starpību sildīšanas procesā:



$$t_{vid} = \frac{10 + 9,2}{2} = 9,6^\circ\text{C}$$

Vidējā temperatūra NaOH šķīdumam:

$$t_{1vid} = \frac{50 + 85}{2} = 67,5^\circ\text{C}$$

Vidējā temperatūra kondensātam:

$$t_{2vid} = 67,5 + 9,6 = 77,1^\circ\text{C}$$

3. Kanālu šķērsriezuma noteikšana

Aparāta kanāla nepieciešamais šķērsriezums būs:

$$S_1 = \frac{W}{W_1}$$

$$S_1 = \frac{18000}{3600 \cdot 1500} = 0,00333 \text{ m}^2$$

Pieņemot, ka kanāla platums $b = 6 \text{ mm}$, nosakām spirāles platumu:

$$B = \frac{S_1}{b}$$

$$B = \frac{0,00333}{0,006} = 0,555 \text{ m}$$

Pieņemot, ka spirāles darba platums $B = 0,58 \text{ m}$, nosakām šķērsriezumu:

$$S_1 = 0,58 \cdot 0,006 = 0,0035 \text{ m}^2$$

Tad masas patēriņš būs:

$$W_1 = \frac{18000}{3600 \cdot 0,0035} = 1400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

Pieņem, ka NaOH šķīduma uzsildīšanai spirāles kanāla platums ir tāds pats, un nosaka masas patēriņu šķīdumam:

$$W_2 = \frac{20000}{3600 \cdot 0,0035} = 1600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

4. Siltumpārejas koeficienta noteikšana

Ekvivalents kanāla diametrs:

$$d_{ekv} = \frac{4S}{2B} = \frac{4Bb}{2B} = 2b$$

$$d_{ekv} = 2 \cdot 0,006 = 0,012 \text{ m}$$

Aprēķinam nepieciešamie kondensāta fizikālķīmiskie parametri apkopoti 5.5. tabulā (skat. 1.–3. pielikumu)

5.5. tabula

Kondensāta fizikālķīmiskie parametri

Nr.	Parametra nosaukums	Parametra vērtība
1.	Viskozitātes koeficients μ	$0,373 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
2.	Siltumvadītspējas koeficients λ	$0,67 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
3.	Īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) C	$4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Atrod līdzības kritērijus Re (Reinoldsa kritērijs) un Pr (Prandtla kritērijs) kondensātam.

Re kritēriju nosaka pēc formulas (5.20):

$$Re = \frac{W_1 \cdot d_{ekv}}{\mu} \quad (5.20)$$

$$Re = \frac{1400 \cdot 0,012}{0,373 \cdot 10^{-3}} = 45000$$

Pr kritēriju nosaka pēc formulas (5.21):

$$Pr = \frac{\mu \cdot C}{\lambda} \quad (5.21)$$

$$Pr = \frac{0,373 \cdot 10^{-3} \cdot 4190}{0,67} = 2,32$$

Siltuma līdzības kritēriju Nu (Nuselta kritērijs) nosaka pēc formulas (5.22):

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (5.22)$$

$$Nu = 0,023 \cdot 45000^{0,8} \cdot 2,32^{0,4} = 170$$

Nosaka siltumatdeves koeficientu α_1 pēc formulas (5.23):

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{ekv}} \quad (5.23)$$

$$\alpha_1 = \frac{170 \cdot 0,67}{0,012} = 9500 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Aprēķinām nepieciešamie NaOH šķīduma fizikālķīmiskie parametri apkopoti 5.6. tabulā (skat. 2.,3.,5. pielikumu).

5.6. tabula

NaOH (10 %) šķīduma fizikālķīmiskie parametri

Nr.	Parametra nosaukums	Parametra vērtība
1.	Viskozitātes koeficients μ	$0,715 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
2.	Siltumvadītspējas koeficients λ	$0,578 \frac{W}{m \cdot K}$
3.	Īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) C	$3860 \frac{J}{kg \cdot K}$

Nosaka līdzības kritērijus Re un Pr NaOH (10 %) šķīdumam (pēc formulām (5.20) un (5.21)):

Re kritērijs:

$$Re = \frac{1600 \cdot 0,012}{0,715 \cdot 10^{-3}} = 26900$$

Pr kritērijs:

$$Pr = \frac{0,715 \cdot 10^{-3} \cdot 3860}{0,578} = 4,75$$

Nosaka siltuma līdzības kritēriju Nu pēc formulas (5.22):

$$Nu = 0,023 \cdot 26900^{0,8} \cdot 4,75^{0,4} = 152$$

Tad aprēķina siltumatdeves koeficientu a_2 pēc formulas (5.23):

$$a_2 = \frac{152 \cdot 0,578}{0,012} = 7300 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Ņemot vērā, ka tērauda sienīgas biezums ir $\delta = 5$ mm, siltumvadītspējas koeficients $\lambda = 45 \frac{W}{m \cdot K}$ un sienīgu piesārņojuma termiskā pretestība ir $r'_{pies} = 0,00009 \frac{m^2 \cdot K}{W}$ (no kondensāta puses) un $r''_{pies} = 0,00027 \frac{m^2 \cdot K}{W}$ (no NaOH šķīduma puses), siltumpārejas koeficientu K nosaka pēc vienādojuma 4.9:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{9500} + 0,00009 + \frac{0,005}{45} + 0,00027 + \frac{1}{7300}} = 1400 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

5. Siltumapmaiņas virsmas noteikšana

Siltumapmaiņas virsmu S nosaka pēc vienādojuma (4.1):

$$S = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{vid}} = \frac{750000}{1400 \cdot 9,6} \approx 56 m^2$$

$$S = \frac{750000}{1400 \cdot 9,6} \approx 56 m^2$$

Darba spirāles garums L :

$$L = \frac{S}{2B}$$

$$L = \frac{56}{2 \cdot 0,58} = 48,3 m$$

Spirāles gājiens t , ja tērauda loksnes biezums ir $\delta = 5$ mm:

$$t = b + \delta = 6 + 5 = 11 mm$$

Pieņem, ka sākuma spirāles diametrs $d = 300$ mm, un nosaka katras spirāles vītņu skaitu N :

$$N = \sqrt{\frac{2L}{\pi t} + x^2} - x = \sqrt{\frac{2 \cdot 48,3}{3,14 \cdot 0,011} + 13,1^2} - 13,1 = 41,5$$

kur

$$x = \frac{1}{2} \left(\frac{d}{t} - 1 \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{300}{11} - 1 \right) = 13,1$$

Tad spirāles ārējais diametrs D būs:

$$D = d + 2Nt + \delta = 300 + 2 \cdot 41,5 \cdot 11 + 5 \approx 1220 \text{ mm}$$

2. uzdevums

Aprēķināt spirālveida siltummaini, lai uzsildītu $G = 5000 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ etanola $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ no $t_{1s} = 20$ °C līdz $t_{1b} = 78$ °C. Sildošā aģenta – ūdens tvaika kondensāta, sākotnējā temperatūra $t_{2s} = 98$ °C, beigu temperatūra $t_{2b} = 59$ °C.

Atrisinājums

1. Plūsmu vidējo temperatūru nosaka kā vidējās aritmētiskās temperatūras ieejā un izejā siltummainī, °C:

- darba videi (etanolam):

$$t_1^{\text{vid}} = \frac{20 + 78}{2} = 49^\circ\text{C}$$

- siltumnesējam (ūdens tvaika kondensātam):

$$t_2^{\text{vid}} = \frac{98 + 59}{2} = 78,5^\circ\text{C}$$

2. Siltumnesēju plūsmu fizikālķīmiskās īpašības (skat. 5.7., 5.8. tabulā):

- blīvumu ρ , $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$;
- īpatnējo siltumietilpību C , $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$;
- siltumvadītspējas koeficientu λ , $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$;
- dinamisko viskozitātes koeficientu μ , Pa · s ,

nosaka pēc siltumnesēju vidējām temperatūrām, izmantojot 1.–3., 5. pielikumu vai attiecīgas rokasgrāmatas.

Kondensāta fizikālķīmiskie parametri

Nr.	Parametra nosaukums	Parametra vērtība
1.	Blīvums ρ	$973 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
2.	Viskozitātes koeficients μ	$0,86 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
3.	Siltumvadītspējas koeficients λ	$0,674 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
4.	Īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) C	$4195 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Etanola fizikālķīmiskie parametri

Nr.	Parametra nosaukums	Parametra vērtība
1.	Blīvums ρ	$763 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
2.	Viskozitātes koeficients μ	$1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
3.	Siltumvadītspējas koeficients λ	$0,173 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
4.	Īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) C	$1610 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

3. Siltuma slodzi (kW) nosakām pēc formulas (5.7):

$$Q_1 = G_1 C_1 (t_{1s} - t_{1b})$$

kur C_1 – etanola siltumietilpības koeficients, $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$$Q = \frac{5000}{3600} \cdot 1,61 \cdot (78 - 20) = 150,342 \text{ kW}$$

4. Ūdens tvaika kondensāta patēriņu etanola sildīšanai (kg/s) nosakām pēc formulas (5.10):

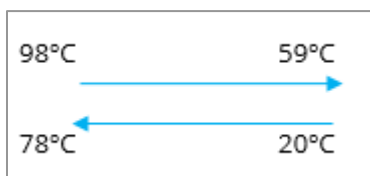
$$G_2 = \frac{G_1 C_1 (t_{1s} - t_{1b})}{C_2 (t_{2b} - t_{2s})}$$

kur C_2 – siltumnesēja siltumietilpība, $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$$G_2 = \frac{150,342}{4,195 \cdot (98 - 59)} = \frac{150,342}{163,61} = 0,919 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

5. Lai aprēķinātu siltummaiņa atdzesēšanas virsmu, ir jānosaka aukstā un karstā siltumnesēja (etanola un ūdens tvaika kondensāta) vidējā temperatūru starpība

Vidējo temperatūru starpību nosaka pēc formulas (4.20) (°C):



$$\frac{t_{max}}{t_{min}} = \frac{59 - 20}{98 - 78} = \frac{39}{20} = 1,95 < 2$$

$$\Delta t_{vid} = \frac{39 + 20}{2} = 29,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6. Spirālveida siltummaiņa kanāla ekvivalentais diametrs, m:

$$d_{ekv} = \frac{4 \cdot b \cdot \delta}{2 \cdot b} = 2\delta$$

kur $\delta = 0,008 \text{ m}$ – spirāles kanāla platums siltummaiņī:

$$2\delta = 0,008 \cdot 2 = 0,016 \text{ m}$$

7. Lai aprēķinātu siltumapmaiņas aparāta šķērsriezuma laukumu un loksnes platumu, jāņem vērā vides plūsmas ātrums ω_1 intervālā $\omega_1 = 0,3 - 0,7 \text{ m/s}$ un jānosaka siltummaiņa kanāla laukums f' , m^2 :

$$f' = \frac{G_2}{\rho_1 \cdot \omega_1}$$

$$f' = \frac{1,39}{763 \cdot 0,5} = 0,004 \text{ m}^2$$

No tā izriet, ka efektīvais siltummaiņa kanāla augstums (efektīvais loksnes platums) būs (m):

$$b'_c = \frac{f'}{\delta}$$

$$b'_c = \frac{0,004}{0,008} = 0,5 \text{ m}$$

Reālajam lentes platumam jābūt 8–15 % lielākam par aprēķināto lielumu. Tātad kanāla šķērsriezuma laukums būs:

$$f = (1,08 - 1,15) \cdot \delta \cdot b'_c$$

$$f = (1,08 - 1,15) \cdot 0,008 \cdot 0,5 = 0,00028 \text{ m}^2$$

Reālais šķērsriezuma laukums:

$$f = f - f' = 0,004 - 0,00028 = 0,00372 \text{ m}^2$$

Reālais etanola plūsmas ātrums siltummaiņa kanālā būs (m/s):

$$\omega_1 = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot f}$$

$$\omega_1 = \frac{1,39}{763 \cdot 0,00372} = 0,49 \frac{m}{s}$$

Reālais ūdens tvaika kondensāta (siltumnesēja) plūsmas ātrums siltummaiņa kanālā būs (m/s):

$$\omega_2 = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot f}$$

$$\omega_2 = \frac{0,919}{973 \cdot 0,00372} = 0,25 \frac{m}{s}$$

8. Siltumatdeves koeficients α no šķīduma siltummaiņa sienīnai pēc formulas (5.23) būs ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$):

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{ekv}}$$

kur

λ – šķīduma (siltumnesēja) siltumvadītspējas koeficients, $\frac{W}{m \cdot K}$;

d_{ekv} – spirāles ekvivalentais diametrs, m;

Nu – Nuselta kritērijs turbulentam šķīduma plūsmas režīmam.

Nuselta kritēriju (Nu) šajā gadījumā nosakām pēc formulas (5.24):

$$Nu = 0,0253 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \quad (5.24)$$

Pr kritēriju etanolam nosakām pēc formulas (5.21):

$$Pr_1 = \frac{1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 1610}{0,173} = 5,30$$

Pr kritēriju ūdens tvaika kondensātam nosakām pēc formulas (5.21):

$$Pr_2 = \frac{0,86 \cdot 10^{-3} \cdot 4195}{0,674} = 5,41$$

Tātad Pr kritērijs etanola plūsmai ir $Pr_1 = 5,30$, Pr kritērijs ūdens tvaika kondensāta plūsmai ir $Pr_2 = 5,41$.

Nosakām Re_1 – Reinoldsa kritēriju etanolam:

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_{ekv} \cdot \rho_1}{\mu_1}$$

$$Re_1 = \frac{0,49 \cdot 0,016 \cdot 763}{0,0011} = 5438,11$$

Nosakām Re_2 – Reinoldsa kritēriju ūdens tvaika kondensātam:

$$Re_2 = \frac{\omega_2 \cdot d_{ekv} \cdot \rho_2}{\mu_2}$$

$$Re_2 = \frac{0,25 \cdot 0,016 \cdot 973}{0,00086} = 4525,58$$

Tad nosakām Nuselta kritēriju (Nu_1) etanola plūsmai:

$$Nu_1 = 0,0253 \cdot 5438,11^{0,8} \cdot 5,30^{0,33} = 0,0253 \cdot 973,55 \cdot 1,73 = 42,61$$

Nosakām Nuselta kritēriju (Nu_2) ūdens tvaika kondensāta plūsmai:

$$Nu_2 = 0,0253 \cdot 4525,58^{0,8} \cdot 5,41^{0,33} = 0,0253 \cdot 840,5 \cdot 1,75 = 37,21$$

Nosakām siltumatdeves koeficientu α_2 no ūdens tvaika kondensāta siltummaiņa sienīņai:

$$\alpha_2 = \frac{37,21 \cdot 0,674}{0,016} = 1567,47 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Nosakām siltumatdeves koeficientu α_1 no silptumapmainītāja sienīņas etanolam:

$$\alpha_1 = \frac{42,61 \cdot 0,173}{0,016} = 460,72 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Ņemot vērā sildīšanas procesa nosacījumus, izvēlamies spirālveida siltummaiņa sienīņas (loksnes) biezumu $\delta_s = 0,002-0,006$ m un loksnes materiālu – nerūsējošo tēraudu [AISI 304](#) ar siltumvadītspējas koeficientu $\lambda_s = 16 \frac{W}{m \cdot K}$, aprēķinām siltumpārejas koeficientu K pēc formulas (4.9):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{460,72} + \frac{0,004}{16} + \frac{1}{1567,47}} = \frac{1}{0,0022 + 0,00025 + 0,00064} = 323,63 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

9. Siltumapmaiņas virsmas un konstruktīvo parametru noteikšana spirālveida siltummainim

Nepieciešamo aparāta siltumapmaiņas virsmas laukumu S , m^2 nosakām pēc formulas (4.1):

$$S = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{vid}}$$

$$S = \frac{150342}{323,63 \cdot 29,5} = 15,75 m^2$$

Spirāles loksnes garums, L , m

$$L = \frac{S}{2B}$$

$$L = \frac{15,75}{2 \cdot 0,5} = 15,75 m$$

Katras spirāles vītņu skaitu N , kurš nepieciešams, lai aprēķinātu efektīvu loksnes garumu, nosakām pēc formulas:

$$N = \sqrt{\frac{2L}{\pi t} + x^2} - x$$

kur

$$x = \frac{1}{2} \left(\frac{d}{t} - 1 \right)$$

Spirāles gājiens t , m:

$$t = \delta + \delta_s$$

$$t = 0,008 + 0,004 = 0,012 \text{ m}$$

Spirāles sākumdiametrs d , m

$$d = 2r + t$$

kur $r = 0,015 \text{ m}$ – aparāta konstrukcijai atbilstošs izmērs

$$d = 2 \cdot 0,015 + 0,012 = 0,042 \text{ m}$$

Nosakām x un N (vītņu skaitu):

$$x = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{0,015}{0,012} - 1 \right) = 0,125$$

$$N = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 15,75}{3,14 \cdot 0,012} + 0,125^2 \right)} - 0,125 = \sqrt{\left(\frac{31,5}{0,38} + 0,016 \right)} - 0,125 = \sqrt{82,91} - 0,125 = 9,106 - 0,125 = 8,98 \approx 9$$

Ārējo siltummaiņa diametru D , m nosakām pēc formulas:

$$D = d + 2 N t + \delta_s$$

$$D = 0,042 + 2 \cdot 9 \cdot 0,012 + 0,008 = 0,266 \text{ m}$$

3. uzdevums

Aprēķināt un izvēlēties plākšņveida siltummaini, lai uzsildītu $5,4 \frac{\text{t}}{\text{h}}$ butanola no $t_{2s} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ līdz $t_{2b} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$. Sildīšanai izmanto piesātinātu ūdens tvaiku ar spiedienu $p = 0,5 \text{ MPa}$.

Butanola plūsmas fizikālķīmiskās īpašības (skat. 5.9. tabulā):

- blīvumu ρ , $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$;
- īpatnējo siltumietilpību C , $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$;
- siltumvadītspējas koeficientu λ , $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$;
- dinamisko viskozitātes koeficientu μ , $\text{Pa} \cdot \text{s}$;
- Prandtla kritēriju (Pr),

nosaka pēc siltumnesēja vidējās temperatūras t_2^{vid} , izmantojot 1.-3., 5. pielikumu vai attiecīgas rokasgrāmatas.

$$t_2^{vid} = \frac{10 + 90}{2} = 50^\circ\text{C}$$

Butanola fizikālķīmiskie parametri

Nr.	Parametra nosaukums	Parametra vērtība
1.	Blīvums ρ_2	$788 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
2.	Viskozitātes koeficients μ_2	$1,41 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
3.	Siltumvadītspējas koeficients λ_2	$0,151 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
4.	Īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) C_2	$2723 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
5.	Prandtla kritērijs (Pr_2)	25

Piesātinātā ūdens tvaika parametrus, ja $p = 0,5 \text{ MPa}$ nosakām, izmantojot 1. pielikumu (skat. 5.10. tabulā).

Piesātinātā ūdens tvaika parametri, ja $p = 0,5 \text{ MPa}$

Nr.	Parametra nosaukums	Parametra vērtība
1.	Ūdens tvaika kondensācijas temperatūra t_1	$151 \text{ }^\circ\text{C}$
2.	Kondensācijas siltums r_1	$2117 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
3.	Ūdens tvaika īpatnējā entalpija H_{tv}	$2754 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
4.	Kondensāta īpatnējā entalpija H_k	$637,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

1. Aprēķinām siltummaiņa siltuma slodzi Q pēc vienādojuma (5.7):

$$Q = G_2 C_2 (t_{2s} - t_{2b})$$

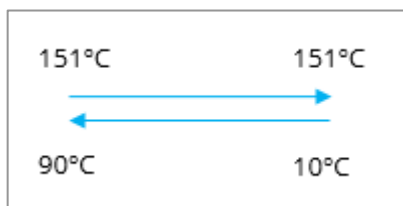
$$Q = \frac{5400}{3600} \cdot 2723 \cdot (90 - 10) = 326760 \text{ W} = 326,76 \text{ kW}$$

2. No siltuma bilances vienādojuma (5.6) nosakām tvaika patēriņu sildīšanai, ņemot vērā formulu (5.5) (pieņem, ka siltuma zudumi $Q_z = 1 \%$):

$$D = \frac{G C (t_2 - t_1) + Q_z}{H_{tv} - H_k}$$

$$D = \frac{1,01 \cdot 326,76}{2754 - 637,7} = 0,156 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

3. Vidējo temperatūru starpību nosaka pēc formulas (4.21) (°C):



$$\frac{t_{max}}{t_{min}} = \frac{151 - 10}{151 - 90} = \frac{141}{61} = 2,31 > 2$$

$$\Delta t_{vid} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}}$$

$$\Delta t_{vid} = \frac{141 - 61}{\ln \frac{141}{61}} = 96,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4. Pēc 4.3. tabulas datiem pieņem aptuveno siltumpārejas koeficienta K vērtību gadījumam, ja ar piesātinātu ūdens tvaiku silda organisku šķidrumu, $K_{or} = 1500 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$

Tad šajā gadījumā pēc vienādojuma (4.1) orientējošā nepieciešamā sildvirsmas S_{or} ir:

$$S_{or} = \frac{Q}{K_{or} \cdot \Delta t_{vid}}$$

$$S_{or} = \frac{330027,6}{1500 \cdot 96,4} = 2,28 \text{ m}^2$$

5. Izmantojot ražotājfirmu katalogus, EN, ISO vai ГOCT standartus, piemeklē šim gadījumam visatbilstošāko plāksņveida siltummaiņi

Atbilstoši ГOCT 15518-87 „Аппараты теплообменные пластинчатые” izvēlamies siltummaiņi ar šādiem raksturlielumiem (skat. 5.11. tabulu):

5.11. tabula

Izvēlētā plāksņveida siltummaiņa raksturlielumi

Nr.	Raksturlieluma nosaukums	Raksturlieluma vērtība
1.	Sildvirsmas laukums S	3,0 m ²
2.	Vienas plāksnes laukums	0,3 m ²
3.	Plāksņu skaits N	12
4.	Plāksnes biezums	0,5 mm
5.	Kanālu nosacītais garums siltummaiņī L	1,12 m
6.	Kanāla šķērsriezuma laukums s	0,0011 m ²
7.	Kanāla ekvivalentais diametrs	0,008 m

Siltummaiņa materiāls – legēts tērauds.

6. Nosakām butanola plūsmas ātrumu siltummaiņa kanālos atbilstoši siltumnesēju plūsmas shēmai (skat. attēlu zemāk):



$$\omega_2 = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot \frac{N}{2} \cdot s}$$

$$\omega_2 = \frac{1,5}{788 \cdot \frac{12}{2} \cdot 0,0011} = 0,29 \frac{m}{s}$$

7. Re kritērija Re_2 vērtība ir:

$$Re_2 = \frac{\omega_2 \cdot d_{ekv} \cdot \rho_2}{\mu_2}$$

$$Re_2 = \frac{0,29 \cdot 0,008 \cdot 788}{0,00141} = 1297$$

8. Siltumatdeves koeficientu α , siltumnesējam pārvietojoties plāksņveida siltummaiņa kanālos, nosaka, izmantojot vienādojumu 2.4 (skat. 2. nodaļu):

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{ekv}}$$

Nuselta kritēriju Nu nosaka, izmantojot vispārīgo vienādojumu:

$$Nu = A \cdot Re^n \cdot Pr^m \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{0,25} \quad (5.22)$$

Koeficientu A plāksņveida siltummaiņos nosaka atkarībā no plāksnes veida un siltumnesēja plūsmas režīma (skat. 5.12. tabulu):

5.12. tabula

Koeficienta A noteikšana atkarībā no plāksnes veida un siltumnesēja plūsmas režīma

Plāksnes veids (laukums), m ²	0,2	0,3	0,6	1,3
Turbulents režīms	0,065	0,1	0,135	0,135
Laminārs režīms	0,46	0,6	0,6	0,6

Pakāpes rādītājus n un m nosaka saskaņā ar plūsmas režīmu (skat. 5.13. tabulu):

5.13. tabula

Pakāpes rādītāju n un m noteikšana

Plūsmas režīms	n	m
Turbulents režīms ($Re > 2300$)	0,73	0,43
Laminārs režīms ($Re < 2300$)	0,33	0,33

Tad Nuselta kritērijs Nu_2 būs:

$$Nu_2 = 0,1 \cdot 1297^{0,73} \cdot 25^{0,43} = 74,8$$

9. Siltumatdeves koeficients α_2 no plāksnes virsmas butanolam ir:

$$\alpha_2 = \frac{74,8 \cdot 0,151}{0,008} = 1412 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

10. Lai noteiktu siltumatdeves koeficientu ūdens tvaika pusē α_1 , pieņem, ka

$$\Delta t = t_{kond} - t_s \geq 10$$

kur t_{kond} – ūdens tvaika kondensācijas temperatūra, t_s – plāksnes temperatūra.

Šajā gadījumā Nu kritēriju Nu_1 aprēķinām pēc vienādojuma:

$$Nu_1 = A \cdot Re^{0,7} \cdot Pr^{0,4} \quad (5.23)$$

Re kritēriju Re_1 nosaka pēc formulas:

$$Re_1 = \frac{D \cdot L}{\mu_1 \cdot S}$$

kur S – siltummaiņa kopējais siltumapmaiņas laukums, m^2 .

Koeficients A ir atkarīgs no gofrētās plāksnes veida (laukuma) (skat. 5.14. tabulu).

5.14. tabula

Koeficienta A noteikšana atkarībā no gofrētās plāksnes laukuma

Plāksnes laukums, m^2	0,2	0,3	0,6	0,3
Koeficients A	800	322	240	201

Kondensāta fizikālķīmiskās īpašības (skat. 5.15. tabulā) nosaka pēc kondensāta temperatūras, izmantojot 1.–3., 5. pielikumu vai attiecīgas rokasgrāmatas.

5.15. tabula

Kondensāta fizikālķīmiskie parametri

Nr.	Parametra nosaukums	Parametra vērtība
1.	Blīvums ρ_1 (pēc piel. 2)	$916 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
2.	Viskozitātes koeficients μ_1 (pēc piel. 3)	$0,184 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
3.	Siltumvadītspējas koeficients λ_1	$0,684 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
4.	Īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) C_1	$2723 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
5.	Prandtla kritērijs (Pr_1)	1,16

11. Re kritērijs Re_1 kanālos ar nosacīto garumu $L = 1,12 \text{ m}$ ir:

$$Re_1 = \frac{0,15 \cdot 1,12}{0,00184 \cdot 3} = 304$$

12. Nu kritērijs Nu_1 tvaika pusē pēc formulas (5.23):

$$Nu_1 = 322 \cdot 304^{0,7} \cdot 1,16^{0,4} = 18670$$

13. Siltumatdeves koeficientu tvaika pusē α_1 nosaka pēc formulas (5.24):

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{L} \quad (5.24)$$

$$\alpha_1 = \frac{18670 \cdot 0,684}{1,12} = 11402 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

14. Pieņemot, ka uz siltummaiņa plāksnēm kaļķakmens nosēdumi neveidojas un to termiskā pretestība nav jāņem vērā, siltumpārejas koeficients K pēc formulas (4.9) ir:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1412} + \frac{0,0005}{16} + \frac{1}{11402}} = 1205 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

15. Nepieciešamais plāksņveida siltummaiņa sildvirsmas laukums S pēc vienādojuma (4.1) ir:

$$S = \frac{330027,6}{1205 \cdot 96,4} = 2,84 \text{ m}^2$$

16. Pārbaudām izvēlētajā siltummaiņa sildvirsmas laukuma pietiekamību. Plāksņveida siltummainis ar nominālo sildvirsmu $S = 3 \text{ m}^2$ ir izmantojams, sildvirsmas rezerve ir $\Delta t = 5,3 \%$.

5.5. ZINĀŠANU NOSTIPRINĀŠANA

1. Kas ir siltumnesējs?

Siltumnesējs ir viela (ķermenis), kas piedalās siltumapmaiņas (siltumpārneses) procesos.

2. Kādus siltumnesējus izmanto sildīšanai ķīmiskās rūpniecības un biotehnoloģijas nozarē?

Sildīšanai **izmanto augstas** temperatūras (dūmgāzes, cepļu un krāšņu atgāzes, minerāleļļas, silīcijorganiskos un difenilsavienojumus, sāļu kausējumus un šķīdros metālus) un **vidējas** temperatūras (ūdeni, ūdens tvaiku un gaisu) siltumnesējus.

3. Kas ir siltummainis?

Siltummainis ir iekārta, kurā notiek siltumapmaiņas (siltumpārneses) procesi no viena siltumnesēja uz otru.

4. Kas ir svarīgākais raksturlielums siltummaiņa izvēlē?

Svarīgākais raksturlielums siltummaiņa izvēlē ir aparāta sildvirsmas lielums S , m^2 .

5. Pēc kādām pazīmēm tiek klasificēti siltummaiņi?

Siltummaiņi tiek klasificēti pēc šādām pazīmēm:

- pēc to izmantojuma;
- pēc konstruktīvajām īpatnībām;
- pēc darba vides īpatnībām;
- pēc siltumapmaiņas (siltumpārneses) veida.

6. Kādēļ izmanto vairākpakāpju apvalkcauruļu siltummaiņus?

Vairākpakāpju apvalkcauruļu siltummaiņus izmanto, lai palielinātu siltumnesēja ātrumu un siltumapmaiņas procesa intensitāti, vienlaicīgi uzturot nepieciešamo beigu temperatūru.

7. Kuros gadījumos lietderīgi izmantot kaloriferus (siltummaiņus ar ribotām virsmām)?

Siltummaiņus ar ribotām virsmām (kaloriferus) izmanto, kad siltumapmaiņa noris starp vidēm (siltumnesējiem) ar stipri atšķirīgiem siltumatdeves koeficientiem, piemēram, sildot gaisu ar ūdens tvaiku.

8. Kādēļ ķīmiskās rūpniecības un biotehnoloģijas nozarē sildīšanai plaši izmanto piesātināto ūdens tvaiku?

Iekārtās, kas apsildāmas ar ūdens tvaiku, iespējams sasniegt augstu siltumpārejas koeficientu K , nodrošināt vienmērīgu sildīšanu un viegli regulēt sildīšanas procesu. Metode ir ugunsdroša.

5.6. UZDEVUMU RISINĀŠANAS PIEMĒRI UN PATSTĀVĪGIE UZDEVUMI

5.6.1. UZDEVUMU RISINĀŠANAS PIEMĒRI



BŪTISKI

Risinot uzdevumus par tvaika patēriņa D , siltummaiņa sildvirsmas lieluma S , dzesējošā ūdens daudzuma G_2 , dzesēšanas ilguma τ noteikšanu, jāizmanto SI sistēmas mērvienības! (skat. 6. pielikumu)

1. uzdevums

Nepieciešams uzsildīt 3 t ūdens tieši ar tvaiku no 25 °C līdz 70 °C. Ūdens siltumietilpības koeficients $c = 1 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 1,6$ at. Siltuma zudumi sildīšanas procesā ir 5 %. Noteikt tvaika daudzumu sildīšanai!

Atrisinājums

Uzdevuma risināšanai izmantojam formulu (5.5):

$$D = \frac{G C (t_2 - t_1) + Q_z}{H_{tv} - C_k t_2}$$

Sildāmā ūdens daudzums:

$$G = 3 \text{ t} = 3 \cdot 1000 = 3000 \text{ kg}$$

Ūdens siltumietilpības koeficients:

$$C = 1 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Pēc 1. pielikuma nosakām sildošā tvaika entalpiju (sildošā tvaika spiediens $p = 1,6$ at):

$$H_{tv} = 2703 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Kondensāta siltumietilpības koeficients:

$$C = 1 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Tāpat nepieciešamais sildošā tvaika daudzums, ņemot vērā 5 % siltuma zudumus, būs:

$$D = \frac{G C (t_2 - t_1) + Q_z}{H_{tv} - C_k t_2} = \frac{1,05 \cdot 3000 \cdot 4,19 \cdot (70 - 25)}{2703 - 4,19 \cdot 70} = 246,48 \text{ kg}$$

2. uzdevums

Siltummaiņī nepieciešams uzsildīt 5 t/h alus misas no 25 °C līdz 90 °C. Alus misas siltumietilpības koeficients $C = 1,04 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 2$ at. Siltuma zudumi ir 3 %. Noteikt tvaika patēriņu sildīšanai!

Atrisinājums

Uzdevuma risināšanai izmantojam formulu (5.5):

$$D = \frac{G C (t_2 - t_1) + Q_z}{H_{tv} - H_k}$$

Sildāmās alus misas patēriņš būs:

$$G = 5 \frac{t}{h} = \frac{5000}{3600} = 1,39 \frac{kg}{s}$$

Alus misas siltumietilpības koeficients:

$$C = 1,04 \frac{kcal}{kg \cdot K} \cdot 4,19 = 4,36 \frac{kJ}{kg \cdot K}.$$

Pēc 1. pielikuma nosakām sildošā tvaika un kondensāta entalpiju (sildošā tvaika spiediens $p = 2$ at):

$$\text{Tvaika entalpija: } H_{tv} = 2710 \frac{kJ}{kg}$$

$$\text{Kondensāta entalpija: } H_k = 502,4 \frac{kJ}{kg}$$

Tātad nepieciešamais sildošā tvaika daudzums, ņemot vērā 3 % siltuma zudumus, būs:

$$D = \frac{G C (t_2 - t_1) + Q_z}{H_{tv} - H_k} = \frac{1,03 \cdot 1,39 \cdot 4,36 \cdot (90 - 25)}{2710 - 502,4} = 0,18 \frac{kg}{s}$$

3. uzdevums

Spirālveida siltummaiņī $2 \frac{t}{h}$ izopropilspirta (IPS) tiek sildītas no 20°C līdz 70°C . Izopropilspirta siltumietilpības koeficients $C = 0,74 \frac{kcal}{kg \cdot K}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 1,4$ at. Siltumpārejas koeficients $K = 700 \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Noteikt spirālveida siltummaiņa sildvirsmas lielumu S!

Atrisinājums

Uzdevuma risināšanai izmantojam formulu (4.1):

$$S = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{vid}}$$

IPS uzsildīšanai no 20°C līdz 70°C nepieciešamo siltuma daudzumu Q nosakām pēc vienādojuma (5.7):

$$Q = G C (t_{1s} - t_{1b})$$

Sildāmā IPS patēriņš būs:

$$G = 2 \frac{t}{h} = \frac{2000}{3600} = 0,56 \frac{kg}{s}$$

IPS siltumietilpības koeficients:

$$C = 0,74 \frac{kcal}{kg \cdot K} \cdot 4,19 = 3,1 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

Nosakām siltuma daudzumu Q , kāds nepieciešams IPS uzsildīšanai no 20 °C līdz 70 °C :

$$Q = G C (t_{1s} - t_{1b}) = 0,56 \cdot 3,1 \cdot (70 - 20) = 86,8 \text{ kW} = 86800 \text{ W}$$

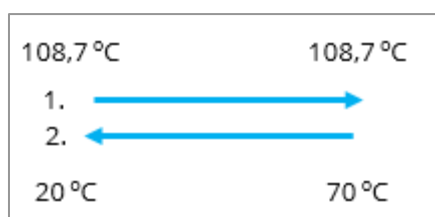
Nosakām vidējo temperatūru starpību Δt_{vid} siltummaiņī. Kondensāta temperatūra ir vienāda ar tvaika temperatūru (formula 5.3):

$$t_{tv} = t_k$$

Tātad pēc 1. pielikuma nosakām sildošā tvaika un kondensāta temperatūru (sildošā tvaika spiediens $p = 1,4 \text{ at}$):

$$t_{tv} = t_k = 108,7\text{ °C}$$

Ņemot vērā, ka kondensāta temperatūra ir vienāda ar tvaika temperatūru, sastādām siltumnesēju plūsmu temperatūras shēmu (līdzplūsmai):



Δt_{max} – lielākā temperatūru starpība siltummaiņa galos būs:

$$\Delta t_{\text{max}} = 108,7 - 20 = 88,7\text{ °C}$$

Δt_{min} – mazākā temperatūru starpība siltummaiņa galos būs:

$$\Delta t_{\text{min}} = 108,7 - 70 = 38,7\text{ °C}$$

$\frac{\Delta t_{\text{max}}}{\Delta t_{\text{min}}} > 2$, tad Δt_{vid} (vidējās temperatūru starpības) noteikšanai izmanto **logaritmisko vienādojumu** (4.21):

$$\Delta t_{\text{vid}} = \frac{\Delta t_{\text{max}} - \Delta t_{\text{min}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{max}}}{\Delta t_{\text{min}}}} = \frac{88,7 - 38,7}{\ln \frac{88,7}{38,7}} = 60,24\text{ °C} = 60,24 \text{ K}$$

Siltumnesēju plūsmu shēma pretplūsmas gadījumā temperatūras ziņā neatšķiras no līdzplūsmas shēmas, jo kondensāta un tvaika temperatūra ir vienāda. Tādēļ, sildot ar ūdens tvaiku, var izvēlēties jebkuru siltumnesēju plūsmu temperatūras shēmu (līdzplūsmu vai pretplūsmu) vidējo temperatūru starpību Δt_{vid} noteikšanai (rezultāts nemainīsies).

Nosakām spirālveida siltummaiņa sildvirsmas lielumu S :

$$S = \frac{Q}{K \Delta t_{\text{vid}}} = \frac{86800}{700 \cdot 60,24} = 2,06 \text{ m}^2$$

Nepieciešamais spirālveida siltummaiņa sildvirsmas lielums 2 t/h izopropilspirta (IPS) uzsildīšanai no 20 °C līdz 70 °C būs $2,06 \text{ m}^2$.

4. uzdevums

Apvalkcauruļu siltummaiņī 5 t/h etanola (90 %) tiek sildītas ar karsto ūdeni no 15 °C līdz 50 °C. Etilspirta (90 %) īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C = 0,42 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Silošais aģents (siltumnesējs) – karstais ūdens, dzesējas no 95 °C līdz 65 °C. Noteikt apvalkcauruļu siltummaiņa sildvirsmas lielumu S līdzplūsmas un pretplūsmas gadījumos! Siltumpārejas koeficients $K = 450 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$.

Atrisinājums

Uzdevuma risināšanai izmantojam formulu (4.1):

$$S = \frac{Q}{K \Delta t_{vid}}$$

Etanola (90 %) uzsildīšanai no 15 °C līdz 50 °C nepieciešamo siltuma daudzumu Q nosakām pēc vienādojuma (5.7):

$$Q = G C (t_{1s} - t_{1b})$$

Sildāmā etanola patēriņš būs:

$$G = 5 \frac{\text{t}}{\text{h}} = \frac{5000}{3600} = 1,39 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

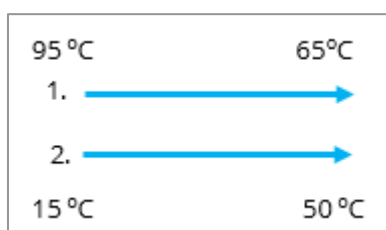
Etanola siltumietilpības koeficients:

$$C = 0,42 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 4,19 = 1,76 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Nosakām etanola uzsildīšanai no 15 °C līdz 50 °C nepieciešamo siltuma daudzumu Q :

$$Q = G C (t_{1s} - t_{1b}) = 1,39 \cdot 1,76 \cdot (50 - 15) = 85,62 \text{ kW} = 85620 \text{ W}$$

Nosakām Δt_{vid} (vidējo temperatūru starpību) līdzplūsmas gadījumā – abi šķidrums plūst vienā virzienā:



Δt_{max} – lielākā temperatūru starpība siltummaiņa galos būs:

$$\Delta t_{max} = 95 - 15 = 80 \text{ °C}$$

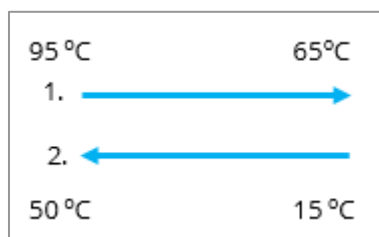
Δt_{min} – mazākā temperatūru starpība siltummaiņa galos būs:

$$\Delta t_{min} = 65 - 50 = 15 \text{ °C}$$

$\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}} > 2$, tad Δt_{vid} (vidējās temperatūru starpības) noteikšanai izmanto *logaritmisko* vienādojumu (4.21):

$$\Delta t_{vid} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}} = \frac{80 - 15}{\ln \frac{80}{15}} = 38,92 \text{ °C} = 38,92 \text{ K}$$

Nosakām Δt_{vid} (vidējo temperatūru starpību) pretplūsmas gadījumā – abi šķidrumi plūst pretējos virzienos:



Δt_{max} – lielākā temperatūru starpība siltummaiņa galos būs:

$$\Delta t_{max} = 65 - 15 = 50^{\circ}\text{C}$$

Δt_{min} – mazākā temperatūru starpība siltummaiņa galos būs:

$$\Delta t_{min} = 95 - 50 = 45^{\circ}\text{C}$$

Attiecība būs $\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}} \leq 2$, tādā gadījumā vidējo temperatūru starpību nosaka kā **vidējo aritmētisko** (izmantojam vienādojumu 4.20):

$$\Delta t_{vid} = \frac{\Delta t_{max} + \Delta t_{min}}{2} = \frac{50 + 45}{2} = 47,5^{\circ}\text{C} = 47,5\text{ K}$$

Nosakām siltummaiņa sildvirsmas lielumu S līdzplūsmas gadījumā:

$$S = \frac{Q}{K \Delta t_{vid}} = \frac{85620}{450 \cdot 38,92} = 4,89\text{ m}^2$$

Nosakām siltummaiņa sildvirsmas lielumu S pretplūsmas gadījumā:

$$S = \frac{Q}{K \Delta t_{vid}} = \frac{85620}{450 \cdot 47,5} = 4,01\text{ m}^2$$

No aprēķiniem izriet, ka siltummaiņa sildvirsmas lielums S līdzplūsmas gadījumā būs $4,89\text{ m}^2$, pretplūsmas gadījumā – $4,01\text{ m}^2$. Tātad vienu un to pašu šķidrums daudzumu var uzsildīt, izmantojot siltummaiņi ar mazāku sildvirsmu, ja tiek realizēta siltumnesēju pretplūsmas temperatūras shēma.

5. uzdevums

Fermentācijas reaktors ar tilpumu $V = 1800\text{ L}$ ir aprīkots ar siltumapmaiņas apvalku (sildvirsmas laukums $S = 6\text{ m}^2$). Reaktors izgatavots no nerūsējošā tērauda, tā kopējā masa ir $G_r = 870\text{ kg}$.

Noteikt nepieciešamo dzesējošā ūdens daudzumu (sākuma ūdens temperatūra $t_{uds} = 7^{\circ}\text{C}$)!

Cik ilgi jādzesē reaktors no sterilizācijas temperatūras $t_1 = 121^{\circ}\text{C}$ līdz fermentācijas temperatūrai $t_2 = 38^{\circ}\text{C}$?

AtrisinājumsNosakām kopējo siltuma slodzi (siltuma daudzumu) Q :

$$Q = Q_1 + Q_2$$

kur

 Q_1 – siltuma daudzums reaktora dzesēšanai, J; Q_2 – siltuma daudzums gaisa dzesēšanai reaktorā, J.Nosakām Q_1 – siltuma daudzumu reaktora dzesēšanai:

$$Q_1 = G_r \cdot C_r \cdot (t_1 - t_2) = 870 \cdot 502 \cdot (121 - 38) = 36249420 \text{ J}$$

kur $C_r = 502 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ – nerūsējošā tērauda siltumietilpības koeficients (īpatnējā siltumietilpība).Nosakām Q_2 – siltuma daudzumu gaisa dzesēšanai reaktorā:

$$Q_2 = G_g \cdot C_g \cdot (t_1 - t_2) = 2,16 \cdot 1,06 \cdot (121 - 38) = 190036 \text{ J}$$

kur

 $G_g = 1,8 \cdot 1,2 = 2,16 \text{ kg}$ – gaisa masa reaktorā; $C_g = 1,06 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ – gaisa siltumietilpības koeficients (īpatnējā siltumietilpība), ja $p = 0,1 \text{ MPa}$;Nosakām kopējo siltuma slodzi (siltuma daudzumu) Q :

$$Q = 36249420 + 190036 = 36439456 \text{ J}$$

Vidējo temperatūras starpību dzesēšanas gadījumā nosaka pēc formulām (5.12) un (5.13), pieņemot, ka dzesējošā ūdens beigu temperatūra ir $t_{\text{ūdb}} = 7^\circ\text{C}$.

$$A = \frac{t_{1b} - t_{2s}}{t_{1b} - t_{2b}} = \frac{38 - 7}{38 - 30} = 3,9$$

$$\Delta t_{\text{vid}} = \frac{121 - 38}{\ln \frac{121 - 7}{38 - 7}} \cdot \frac{3,9 - 1}{3,9 \ln 3,9} = 34,9^\circ\text{C}$$

Vidējā dzesējošā ūdens beigu temperatūra pēc formulas (5.14) ir:

$$t_{\text{ūdb}}^{\text{vid}} = t_{2s} + \Delta t_{\text{vid}} \cdot \ln A$$

$$t_{\text{ūdb}}^{\text{vid}} = 7 + 34,9 \cdot \ln 3,9 = 54,5^\circ\text{C}$$

Izmantojot siltuma bilances vienādojumu (5.15), nosakām nepieciešamo ūdens daudzumu:

$$G_2 = \frac{Q}{C_2 (t_{\text{ūdb}}^{\text{vid}} - t_{2s})}$$

kur $C_2 = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ – ūdens siltumietilpības koeficients (īpatnējā siltumietilpība).

$$G_2 = \frac{36439456}{4190 \cdot (54,5 - 7)} = 183,1 \text{ kg}$$

Izmantojot 4.8. tabulā dotās orientējošās siltumpārejas koeficienta K vērtības (pieņemam, ka siltumpārejas koeficients $K = 400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$), nosakām dzesēšanas laiku τ pēc formulas:

$$\tau = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{vid} \cdot S}$$

$$\tau = \frac{36439456}{400 \cdot 34,9 \cdot 6} = 435 \text{ s} = 7,25 \text{ min}$$

5.6.2. PATSTĀVĪGIE UZDEVUMI

1. uzdevums

Nepieciešams ar tvaiku tieši uzsildīt 5 t tehniskā ūdens no 15 °C līdz 75 °C. Ūdens siltumietilpības koeficients $C = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 1,8$ at. Siltuma zudumi ir 4 %. Noteikt tvaika daudzumu sildīšanai!

Atbilde: $D = 684$ kg.

2. uzdevums

Nepieciešams ar tvaiku tieši uzsildīt 2,5 t ūdens no 10 °C līdz 90 °C. Ūdens siltumietilpības koeficients $C = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 2$ at. Siltuma zudumi ir 5 %. Noteikt tvaika daudzumu sildīšanai!

Atbilde: $D = 468$ kg.

3. uzdevums

Spirālveida siltummaiņī nepieciešams uzsildīt 6 t/h etilspirta no 25 °C līdz 70 °C. Etilspirta siltumietilpības koeficients $C = 0,4 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 1,4$ at. Siltuma zudumi ir 3,5 %. Noteikt tvaika patēriņu sildīšanai!

Atbilde: $D = 0,07$ kg/s.

4. uzdevums

Apvalkcauruļu siltummaiņī nepieciešams uzsildīt 10 t/h sagatavotā ūdens no 20 °C līdz 95 °C. Sagatavotā ūdens siltumietilpības koeficients $C = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 2$ at. Siltuma zudumi ir 5 %. Noteikt tvaika patēriņu sildīšanai!

Atbilde: $D = 0,54$ kg/s.

5. uzdevums

Plākšņveida siltummainī nepieciešams uzsildīt 15 t/h tehniskā ūdens no 15 °C līdz 65 °C. Tehniskā ūdens siltumietilpības koeficients $C = 1,01 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 2$ at. Siltuma zudumi ir 2 %. Noteikt tvaika patēriņu sildīšanai!

Atbilde: $D = 0,53$ kg/s.

6. uzdevums

Nepieciešams ar tvaiku tieši uzsildīt 2 t tehniskā ūdens no 15 °C līdz 85 °C. Ūdens siltumietilpības koeficients $C = 1 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 1,6$ at. Siltuma zudumi ir 2 %. Noteikt tvaika daudzumu sildīšanai!

Atbilde: $D = 319,8$ kg.

7. uzdevums

Nepieciešams ar tvaiku netieši uzsildīt 2,5 t/h tehniskā ūdens no 25 °C līdz 90 °C. Ūdens siltumietilpības koeficients $C = 1 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 2$ at. Siltuma zudumus neņemt vērā. Noteikt tvaika patēriņu sildīšanai!

Atbilde: $D = 0,11$ kg/s.

8. uzdevums

Plākšņveida siltummainī 3 t/h izopropilspirta (IPS) tiek sildītas no 21 °C līdz 65 °C. Izopropilspirta siltumietilpības koeficients $C = 0,75 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 1,4$ at. Siltumpārejas koeficients $K = 600 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$. Noteikt plākšņveida siltummaiņa sildvirsmas lielumu S !

Atbilde: $S = 2,92$ m².

9. uzdevums

Spirālveida siltummainī 2,5 t/h metilspirta tiek sildītas no 10 °C līdz 70 °C. Metilspirta siltumietilpības koeficients $C = 0,59 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 1,2$ at. Siltumpārejas koeficients $K = 550 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$. Noteikt spirālveida siltummaiņa sildvirsmas lielumu S !

Atbilde: $S = 3,15$ m².

10. uzdevums

Apvalkcauruļu siltummainī 5 t/h sagatavotā ūdens nepieciešams uzsildīt no 20 °C līdz 95 °C. Sagatavotā ūdens siltumietilpības koeficients $C = 1 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 2$ at. Siltumpārejas koeficients $K = 950 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$.

Noteikt apvalkcauruļu siltummaiņa sildvirsmas lielumu S !

Atbilde: $S = 8.57 \text{ m}^2$.

11. uzdevums

Apvalkcauruļu siltummainī 7,5 t/h piena sūkalu nepieciešams uzsildīt no 20 °C līdz 100 °C. Piena sūkalu siltumietilpības koeficients $C = 1,01 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 2$ at. Siltumpārejas koeficients $K = 900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$.

Noteikt apvalkcauruļu siltummaiņa sildvirsmas lielumu S !

Atbilde: $S = 16 \text{ m}^2$.

12. uzdevums

Plākšņveida siltummainī nepieciešams pasterizēt 5 t/h alus. Sākuma temperatūra ir 10 °C, beigu (pasterizācijas) temperatūra – 72 °C. Alus siltumietilpības koeficients $C = 1,03 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Pasterizācijas procesam izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 1,8$ at. Siltumpārejas koeficients $K = 750 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$. Noteikt plākšņveida siltummaiņa sildvirsmas lielumu S !

Atbilde: $S = 7 \text{ m}^2$.

13. uzdevums

Plākšņveida siltummainī nepieciešams pasterizēt 2 t/h piena. Sākuma temperatūra ir 15 °C, beigu (pasterizācijas) temperatūra – 70 °C. Piena siltumietilpības koeficients $C = 1,07 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Pasterizācijas procesam izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 2$ at. Siltumpārejas koeficients $K = 700 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$. Noteikt plākšņveida siltummaiņa sildvirsmas lielumu S !

Atbilde: $S = 2,7 \text{ m}^2$.

14. uzdevums

Apvalkcauruļu siltummainī 2,5 t/h alus misas nepieciešams uzsildīt no 20 °C līdz 98 °C. Alus misas siltumietilpības koeficients $C = 1,05 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 2$ at. Siltumpārejas koeficients $K = 800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$. Noteikt apvalkcauruļu siltummaiņa sildvirsmas lielumu S un tvaika patēriņu sildīšanai D !

Atbilde: $S = 5,84 \text{ m}^2$; $D = 0,11 \text{ kg/s}$.

15. uzdevums

Apvalkcauruļu siltummainī 1,5 t/h kafijas ekstrakta nepieciešams uzsildīt no 20 °C līdz 100 °C. Kafijas ekstrakta siltumietilpības koeficients $C = 1,1 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 2$ at. Siltumpārejas koeficients $K = 850 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$. Noteikt apvalkcauruļu siltummaiņa sildvirsmas lielumu S un tvaika patēriņu sildīšanai D !

Atbilde: $S = 3,6 \text{ m}^2$; $D = 0,07 \text{ kg/s}$.

16. uzdevums

Plākšņveida siltummainī 3 t/h cukurbiešu ekstrakta nepieciešams uzsildīt no 15 °C līdz 99 °C. Cukurbiešu ekstrakta siltumietilpības koeficients $C = 1,07 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Sildīšanai izmanto piesātināto ūdens tvaiku, kura spiediens $p = 2,5$ at. Siltumpārejas koeficients $K = 900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$. Noteikt plākšņveida siltummaiņa sildvirsmas lielumu S un tvaika patēriņu sildīšanai D !

Atbilde: $S = 4,4 \text{ m}^2$; $D = 0,14 \text{ kg/s}$.

17. uzdevums

Apvalkcauruļu siltummainī 4 t/h etanola (90 %) tiek sildītas ar karsto ūdeni no 15 °C līdz 70 °C. Etilspirta (90 %) īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C = 0,42 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Silošais aģents (siltumnesējs) – karstais ūdens, dzesējas no 95 °C līdz 75 °C. Noteikt apvalkcauruļu siltummaiņa sildvirsmas lielumu S līdzplūsmas un pretplūsmas gadījumos! Siltumpārejas koeficients $K = 500 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$.

Atbilde: līdzplūsmas gadījumā $S = 7,9 \text{ m}^2$; pretplūsmas gadījumā $S = 5,4 \text{ m}^2$.

18. uzdevums

Spirālveida siltummainī 2 t/h izopropilspirta tiek sildītas ar ūdens tvaika kondensātu no 10 °C līdz 60 °C. Izopropilspirta īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C = 0,73 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Silošais aģents (siltumnesējs) – ūdens tvaika kondensāts, dzesējas no 100 °C līdz 75 °C. Noteikt spirālveida siltummaiņa sildvirsmas lielumu S līdzplūsmas un pretplūsmas gadījumos! Siltumpārejas koeficients $K = 550 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$.

Atbilde: līdzplūsmas gadījumā $S = 3,6 \text{ m}^2$; pretplūsmas gadījumā $S = 2,9 \text{ m}^2$.

19. uzdevums

Spirālveida siltummainī 1 t/h glicerīna (50 %) tiek sildīta ar karsto ūdeni no 10 °C līdz 60 °C. Glicerīna (50 %) īpatnējais siltums (siltumietilpības koeficients) $C = 0,55 \frac{\text{kkal}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Silošais aģents (siltumnesējs) – karstais ūdens dzesējas no 90 °C līdz 70 °C. Noteikt spirālveida siltummaiņa sildvirsmas lielumu S līdzplūsmas un pretplūsmas gadījumos! Siltumpārejas koeficients $K = 450 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$.

Atbilde: līdzplūsmas gadījumā $S = 2,1 \text{ m}^2$; pretplūsmas gadījumā $S = 1,6 \text{ m}^2$.

5.6.3. PAAUGSTINĀTAS GRŪTĪBAS UZDEVUMI

1. uzdevums

Fermentācijas reaktors, kura tilpums $V = 1000 \text{ L}$, ir aprīkots ar siltumapmaiņas apvalku (sildvirsmas laukums $S = 3,5 \text{ m}^2$). Reaktors izgatavots no nerūsējošā tērauda, tā kopējā masa $G_r = 570 \text{ kg}$.

Noteikt nepieciešamo dzesējošā ūdens daudzumu (sākuma ūdens temperatūra $t_{\text{ūds}} = 6 \text{ }^\circ\text{C}$)! Cik ilgi jādzesē reaktors no sterilizācijas temperatūras $t_1 = 122 \text{ }^\circ\text{C}$ līdz fermentācijas temperatūrai $t_2 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$?

Atbilde: $G_2 = 121 \text{ kg}$; $\tau = 270 \text{ s}$.

2. uzdevums

Fermentācijas reaktors, kura tilpums $V = 500 \text{ L}$, ir aprīkots ar siltumapmaiņas apvalku (sildvirsmas laukums $S = 2,3 \text{ m}^2$). Reaktors izgatavots no nerūsējošā tērauda, tā kopējā masa $G_r = 350 \text{ kg}$.

Noteikt nepieciešamo dzesējošā ūdens daudzumu (sākuma ūdens temperatūra $t_{\text{ūds}} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$)! Cik ilgi jādzesē reaktors no sterilizācijas temperatūras $t_1 = 124 \text{ }^\circ\text{C}$ līdz fermentācijas temperatūrai $t_2 = 42 \text{ }^\circ\text{C}$?

Atbilde: $G_2 = 79 \text{ kg}$; $\tau = 154 \text{ s}$.

3. uzdevums

Reaktors, kura tilpums $V = 500 \text{ L}$, ir aprīkots ar siltumapmaiņas apvalku (sildvirsmas laukums $S = 2,5 \text{ m}^2$). Reaktors izgatavots no nerūsējošā tērauda, tā kopējā masa $G_r = 380 \text{ kg}$. Reaktorā tiek atdzesēta reakcijas produktu masa $G_m = 355 \text{ kg}$ (reakcijas produktu masas blīvums $\rho = 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$).

Noteikt nepieciešamo dzesējošā ūdens daudzumu (sākuma ūdens temperatūra $t_{\text{ūds}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$)! Cik ilgi jādzesē reaktors no reakcijas temperatūras $t_1 = 92 \text{ }^\circ\text{C}$ līdz produktu masas izkraušanas temperatūrai $t_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$?

Atbilde: $G_2 = 90 \text{ kg}$; $\tau = 124 \text{ s}$.

4. uzdevums

Reaktors, kura tilpums $V = 250 \text{ L}$, ir aprīkots ar siltumapmaiņas apvalku (sildvirsmas laukums $S = 1,75 \text{ m}^2$). Reaktors izgatavots no nerūsējošā tērauda, tā kopējā masa $G_r = 270 \text{ kg}$. Reaktorā tiek atdzesēta reakcijas produktu masa $G_m = 160 \text{ kg}$ (reakcijas produktu masas blīvums $\rho = 1100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$).

Noteikt nepieciešamo dzesējošā ūdens daudzumu (sākuma ūdens temperatūra $t_{\text{ūds}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$)!

Cik ilgi jādzesē reaktors no reakcijas temperatūras $t_1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ līdz produktu masas izkraušanas temperatūrai $t_2 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$?

Atbilde: $G_2 = 67 \text{ kg}$; $\tau = 89 \text{ s}$.

5. uzdevums

Fermentācijas reaktors, kura tilpums $V = 50 \text{ L}$, ir aprīkots ar siltumapmaiņas apvalku (sildvirsmas laukums $S = 0,53 \text{ m}^2$). Reaktors izgatavots no borosilikātu stikla, tā kopējā masa $G_r = 75 \text{ kg}$.

Noteikt nepieciešamo dzesējošā ūdens daudzumu (sākuma ūdens temperatūra $t_{\text{ūds}} = 7 \text{ }^\circ\text{C}$)!

Cik ilgi jādzesē reaktors no sterilizācijas temperatūras $t_1 = 121 \text{ }^\circ\text{C}$ līdz fermentācijas temperatūrai $t_2 = 42 \text{ }^\circ\text{C}$?

Atbilde: $G_2 = 16,5 \text{ kg}$; $\tau = 32 \text{ s}$.

6. uzdevums

Fermentācijas reaktors ar tilpumu $V = 150 \text{ L}$ ir aprīkots ar siltumapmaiņas apvalku (sildvirsmas laukums $S = 1,13 \text{ m}^2$). Reaktors izgatavots no borosilikātu stikla, tā kopējā masa ir $G_r = 175 \text{ kg}$.

Noteikt nepieciešamo dzesējošā ūdens daudzumu (sākuma ūdens temperatūra $t_{\text{ūds}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$)!

Cik ilgi jādzesē reaktors no sterilizācijas temperatūras $t_1 = 121 \text{ }^\circ\text{C}$ līdz fermentācijas temperatūrai $t_2 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$?

Atbilde: $G_2 = 49 \text{ kg}$; $\tau = 70 \text{ s}$.

IZMANTOTIE TERMINI

LATVIEŠU	KRIEVU	ANĢĻU
Arvalkcauruļu siltummainis	Кожухотрубчатый теплообменник	Tube and shell heat exchanger
Aukstais siltumnesējs	Холодный теплоноситель	Cold stream
Beigu temperatūra	Конечная температура	Outlet temperature
Dabiskā konvekcija	Естественная конвекция	Natural convection
Karstais siltumnesējs	Горячий теплоноситель	Hot stream
Konvekcija	Конвекция	Convection
Līdzplūsmas režīms	Прямоток (режим)	Parallel flow
Piespiedu konvekcija	Вынужденная конвекция	Forced convection
Piesātinātais ūdens tvaiks	Насыщенный водяной пар	Saturated water steam
Plākšņveida siltummainis	Пластинчатый теплообменник	Plate heat exchanger
Pretplūsmas režīms	Противоток (режим)	Counter flow
Sākuma temperatūra	Начальная температура	Inlet temperature
Siltumapmaiņa (siltumpārnese)	Теплообмен (перенос тепла)	Heat exchange
Siltumatdeve	Теплоотдача	Film heat transfer
Siltumatdeves koeficients	Коэффициент теплоотдачи	Film heat transfer's coefficient
Siltumnesējs	Теплоноситель	Stream
Siltumstarošana	Тепловое излучение	Heat (thermal) radiation
Siltumpāreja	Теплопередача	Heat transfer
Siltumpārejas vienādojums	Уравнение теплопередачи	Heat transfer equation

LATVIEŠU	KRIEVU	ANĢĻU
Siltumpārejas koeficients	Коэффициент теплопередачи	Overall heat transfer coefficient
Siltuma slodze	Тепловая нагрузка	Heat load
Siltumietilpība (īpatnējais siltums)	Теплоемкость (удельная теплота)	Heat capacity
Šķērsplūsmas režīms	Перекрестный ток (режим)	Cross flow
Tiešā sildīšana ar tvaiku	Нагревание острым паром	Direct heating with steam
Netiešā sildīšana ar tvaiku	Нагревание глухим паром	Undirect heating with steam
Siltummainis	Теплообменник	Heat exchanger
Siltumvadīšana	Теплопроводность	Heat conductivity
Siltumvadītspējas koeficients	Коэффициент теплопроводности	Heat conductivity's coefficient
Spirālveida siltummainis	Спиральный теплообменник	Spiral heat exchanger
Siltumapmaiņas virsmas laukums	Площадь поверхности теплообмена	Heat transfer area
Temperatūru starpība	Разность температур	Temperature difference
Vidējā logaritmiskā temperatūru starpība	Средняя логарифмическая разность температур	Log mean temperature difference

TERMINU SKAIDROJUMS

ABSOLŪTI BALTS ĶERMENIS

Ķermenis, kurš atstaro pilnīgi visu starojumu.

ABSOLŪTI CAURSPĪDĪGS (DIATERMISKS) ĶERMENIS

Ķermenis, kurš laiž cauri visu uz ķermeni krītošo starojuma enerģiju.

ABSOLŪTI MELNS ĶERMENIS

Ķermenis, kurš absorbē absolūti visu elektromagnētisko starojumu.

KALORIFERI

Siltummaiņi ar ribotām virsmām, kurus lieto gaisa sildīšanai.

KONDENSĀTA NOVADĪTĀJI

Ierīces, kas kalpo kondensāta novadīšanai.

KONVEKCIJA

Siltuma transporta mehānisms šķidrumos un gāzēs, tiem pārvietojoties.

PELĒKIE ĶERMEŅI

Kermeņi, kas neatbilst absolūtajiem nosacījumiem (absolūti melns ķermenis, absolūti balts ķermenis, absolūti caurspīdīgs ķermenis).

REĢENERĀCIJAS SILTUMMAIŅI

Aparāti, kuros caur vienu un to pašu virsmu noteiktā secībā padod karsto un auksto vidi (siltumnesēju).

REĢENERĀCIJAS SILTUMMAIŅA PILDĪJUMS

Siltumakumulējoša virsma vai masa aparātā.

SILTUMAPMAIŅA (SILTUMPĀRNESE)

Enerģijas transporta process starp cietiem ķermeņiem, šķidrumiem vai gāzēm līdzsvara sasniegšanas virzienā no vietas ar augstāku temperatūru uz vietu ar zemāku temperatūru.

SAPLŪDES SILTUMMAIŅI

Aparāti, kuros siltumapmaiņa notiek, abām vidēm (siltumnesējiem) tieši kontaktējoties (saskaroties).

SILTUMNESĒJI

Vielas (ķermeņi), kas piedalās siltumapmaiņas (siltumpārneses) procesos.

KARSTAIS SILTUMNESĒJS

Vielā (ķermeņi) ar augstāku temperatūru, kas siltumapmaiņas procesā atdod siltumu.

AUKSTAIS SILTUMNESĒJS

Vielā (ķermeņi) ar zemāku temperatūru, kas siltumapmaiņas procesā uzņem atdoto siltumu.

SILTUMVADĪŠANA

Molekulārā siltumpārnese starp vielas daļiņām, tām saduroties siltuma kustības rezultātā.

SILTUMVADĪTSPĒJAS KOEFICIENTS λ

Raksturo to siltuma daudzumu džoulos (J), kas izplūst caur 1 m² virsmas vienā sekundē (s), ja temperatūras starpība starp virsmām ir 1 K un attālums starp tām 1 m.

SILTUMATDEVE

Siltumapmaiņa konvekcijas procesā, notiek starp šķidru vai gāzveida vidi un cieta ķermeņa virsmu.

SILTUMATDEVES KOEFICIENTS A

Raksturo siltuma daudzumu, ko 1 m² virsmas atdod (vai uzņem) vienā sekundē no apkārtējās vides (siltumnesēja), ja temperatūras starpība starp vidi (siltumnesēju) un virsmu ir 1 K.

SILTUMAPMAIŅAS APARĀTI (SILTUMMAIŅI)

Iekārtas, kurās notiek siltumapmaiņas (siltumpārneses) procesi no viena siltumnesēja uz otru.

SILTUMSTAROŠANA

Siltuma izplatīšanas process, kad siltums tiek pārnesta elektromagnētiskā starojuma veidā.

SILTUMPĀREJA

Siltumapmaiņas process starp gāzēm vai šķidrumiem caur norobežojošu virsmu (noris siltumapmaiņas iekārtās vai aparātos).

SILTUMPĀREJAS KOEFICIENTS K

Raksturo to siltuma daudzumu, kas tiek pārnesta no karstā siltumnesēja uz auksto siltumnesēju caur 1 m² virsmas vienā sekundē, ja temperatūras starpība starp siltumnesējiem ir 1 K.

SILTUMA SLODZE Q

Siltuma daudzums, kas pāriet no karstā siltumnesēja uz auksto siltumnesēju laika vienībā.

TIEŠAIS SILTUMATDEVES KOEFICIENTS A_{ST}

Rāda siltuma daudzumu vatos (W), ko starojot atdod vai uzņem 1 m² virsmas 1 sekundē, ja temperatūras starpība starp virsmu un vidi ir 1 °C.

TERMISKĀ PRETESTĪBA

Lielums $\frac{\delta}{\lambda}$ (apzīmē ar R, mērvienība - $\frac{m^2 \cdot K}{W}$).

IZMANTOTIE AVOTI

1. *An introduction to industrial chemistry*. 3rd edition. Edited by Heaton Alan. London: Blackie Academic & Professional, 1996.
2. Davis Mackenzie L., Cornwell David A. *Introduction to Environmental Engineering*. 4th edition. New York: Mc Graw-Hill, 2008.
3. Ozoliņš Jurijs. *Siltuma apmaiņas procesi ķīmijas tehnoloģijā*. Mācību līdzeklis. Rīga: RTU izdevniecība, 2013.
4. Osipovs Leonīds *Ķīmijas tehnoloģijas pamatprocesi un aparāti*. Rīga: Zvaigzne, 1991.
5. *Perry's chemical engineer's handbook*. 1 vol., 8th edition. Edited by Green Don W., Perry Robert H. New York: Mc Graw-Hill, 1 vol., 2008.
6. Kakaç Sadik, Liu Hongtan. *Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design*. 2nd edition. London: CRC Press, 2002.
7. Дытнерский Ю. *Процессы и аппараты химической технологии*. Учебник для вузов. В 2 частях. Часть 1. Москва: Химия, 2002.
8. Иоффе И. Л. *Проектирование процессов и аппаратов химической технологии*. Ленинград: Химия, 1991.
9. Касаткин А. Г. *Основные процессы и аппараты химической технологии*. Москва: Химия, 1973.
10. *Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию*. Издание 2-е. Под редакцией Дытнерского Ю. И. Москва: Химия, 1991.
11. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. *Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии*. Издание 10-е. Ленинград: Химия, 1987.
12. *Процессы и аппараты химической промышленности*. Под редакцией Романкова П.Г. Ленинград: Химия, 1989.

PIELIKUMI

1. PIELIKUMS

PIESĀTINĀTĀ ŪDENS TVAIKA ĪPAŠĪBAS [4]

1 at = 98100 Pa

Spiediens (abs), at	Temperatūra, °C	Blīvums, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Kondensāta entalpija (īp.), $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	Tvaika entalpija (īp.), $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	Iztvaikošanas siltums (īp.), $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
0,01	6,6	0,0076	27,7	2506	2478
0,015	12,7	0,01116	53,2	2518	2465
0,02	17,1	0,01465	71,6	2526	2455
0,025	20,7	0,01809	86,7	2533	2447
0,03	23,7	0,02149	99,3	2539	2440
0,04	28,6	0,0282	119,8	2548	2429
0,05	32,5	0,03481	136,2	2556	2420
0,06	35,8	0,04133	150,0	2562	2413
0,08	41,1	0,0542	172,2	2573	2400
0,10	45,4	0,06686	190,2	2581	2390
0,12	49,0	0,07937	205,3	2588	2382
0,15	53,6	0,09789	224,6	2596	2372
0,2	59,7	0,1283	250,1	2607	2358
0,3	68,7	0,1876	287,9	2620	2336
0,4	75,4	0,2456	315,9	2632	2320
0,5	80,9	0,3027	339,0	2642	2307
0,6	85,5	0,3590	358,2	2650	2296
0,7	89,3	0,4147	375,0	2657	2286
0,8	93,0	0,4699	389,7	2663	2278
0,9	96,2	0,5246	403,1	2668	2270
1,0	99,1	0,5790	415,2	2677	2264

Spiediens (abs), at	Temperatūra, °C	Blīvums, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Kondensāta entalpija (īp.), $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	Tvaika entalpija (īp.), $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	Iztvaikošanas siltums (īp.), $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
1,2	104,2	0,6865	437,0	2686	2249
1,4	108,7	0,7931	456,3	2693	2237
1,6	112,7	0,898	473,1	2703	2227
1,8	116,3	1,003	483,6	2709	2217
2,0	119,6	1,107	502,4	2710	2208
3,0	132,9	1,618	558,9	2730	2171
4,0	142,9	2,12	601,1	2744	2141
5,0	151,1	2,614	637,7	2754	2117
6,0	158,1	3,104	667,9	2768	2095
7,0	164,2	3,591	694,3	2769	2075
8,0	169,6	4,075	718,4	2776	2057
9,0	174,5	4,536	740,0	2780	2040
10,0	179,0	5,037	759,6	2784	2024

2. PIELIKUMS

ŠĶIDRUMU BLĪVUMA ATKARĪBA NO TEMPERATŪRAS [4]

Šķidrums	Blīvums, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$					
	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C
Amonjaks	639	610	580	545	510	462
Amonjaka ūdens 25 %	918	907	897	887	876	866
Acetons	813	791	768	746	719	693
Benzols	900	879	858	836	815	793
Butanols	824	810	795	781	766	751
Glicerīns (50 % šķīdums)	1136	1126	1116	1106	1006	996
Dihloretāns	1282	1254	1224	1194	1163	1133
Etanols (100 % šķīdums)	806	789	772	754	735	716
Etanols (80 % šķīdums)	857	843	828	813	797	783
Etanols (60 % šķīdums)	904	891	878	864	849	835
Etanols (40 % šķīdums)	947	935	923	910	897	885
Etiķskābe (100 % šķīdums)	1072	1048	1027	1004	981	958
Etiķskābe (50 % šķīdums)	1074	1058	1042	1026	1010	994
Hlorbenzols	1128	1107	1085	1065	1041	1021
Heksāns	677	660	641	622	602	581
Izopropanols	801	785	768	752	735	718
m-Ksilols	882	865	847	831	796	776
Metanols 100 %	810	792	774	756	736	714
Metanols 40 %	946	935	924	913	902	891
Nitrobenzols	1223	1203	1183	1163	1143	1123
NaOH (50 % šķīdums)	1540	1525	1511	1497	1483	1469
NaOH (20 % šķīdums)	1230	1219	1208	1196	1183	1170

Šķidrums	Blīvums, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$					
	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C
NaCl (20 % šķīdums)	1157	1148	1139	1130	1120	1120
Propanols	819	804	788	770	752	733
Sērskābe (98 % šķīdums)	1857	1837	1817	1798	1779	1761
Sērskābe (60 % šķīdums)	1515	1498	1482	1466	1450	1434
Sērskābe (30 % šķīdums)	1161	1149	1138	1126	1115	1103
Slāpekļskābe (100 % šķīdums)	1547	1513	1478	1443	1408	1373
Toluols	884	866	847	828	808	788
Ūdens	1000	998	992	983	972	958

3. PIELIKUMS

ŠĶIDRUMU DINAMISKĀS VISKOZITĀTES KOEFICIENTA ATKARĪBA NO TEMPERATŪRAS [4]

Šķidrums	Dinamiskās viskozitātes koeficients μ , mPa·s					
	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C
Amonjaks	0,244	0,226	0,208	0,19	-	-
Amonjaka ūdens 25 %	-	1,3	0,855	0,6	0,42	0,32
Acetons	0,395	0,322	0,268	0,23	0,2	0,17
Benzols	0,91	0,65	0,492	0,39	0,316	0,261
Butanols	5,19	2,95	1,78	1,14	0,76	0,54
Glicerīns (50 % šķīdums)	12	6,05	3,5	2	1,2	0,73
Dihloretāns	1,08	0,84	0,65	0,51	0,42	0,36
Etanols (100 % šķīdums)	1,78	1,19	0,825	0,591	0,435	0,326
Etanols (80 % šķīdums)	3,69	2,01	1,2	0,79	0,57	0,52
Etanols (60 % šķīdums)	5,75	2,67	1,45	0,9	0,6	0,45
Etanols (40 % šķīdums)	7,14	2,91	1,48	0,89	0,6	0,44
Etiķskābe (100 % šķīdums)	-	1,22	0,9	0,7	0,56	0,46
Etiķskābe (50 % šķīdums)	4,35	2,21	1,35	0,92	0,65	0,5
Hlorbenzols	1,06	0,8	0,64	0,52	0,435	0,37
Heksāns	0,397	0,32	0,264	0,221	0,19	0,158
Izopropanols	4,6	2,39	1,33	0,8	0,52	0,38
m-Ksilols	0,713	0,622	0,53	0,462	0,391	0,354
Metanols 100 %	0,817	0,584	0,45	0,351	0,29	0,24
Metanols 40 %	3,65	1,84	-	-	-	-
Nitrobenzols	3,09	2,01	1,44	1,09	0,87	0,7
NaOH (50 % šķīdums)	-	-	25	8,03	5,54	3,97
NaOH (20 % šķīdums)	-	4,48	2,48	1,63	1,27	1,15
NaCl (20 % šķīdums)	2,67	1,56	1,03	0,74	0,57	0,46

Šķidrums	Dinamiskās viskozitātes koeficients μ , mPa·s					
	0 °C	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C
Propanols	3,62	2,28	1,22	0,73	0,45	0,34
Sērskābe (98 % šķīdums)	55	25,8	12,9	7,5	4,1	2,7
Sērskābe (60 % šķīdums)	10,5	5,52	3,42	2,4	1,5	1,07
Sērskābe (30% šķīdums)	-	1,7	1,3	-	-	-
Slāpekļskābe (100 % šķīdums)	1,05	0,8	0,64	0,5	0,39	0,35
Toluols	0,768	0,586	0,466	0,381	0,319	0,271
Ūdens	1,79	1,0	0,656	0,469	0,357	0,284

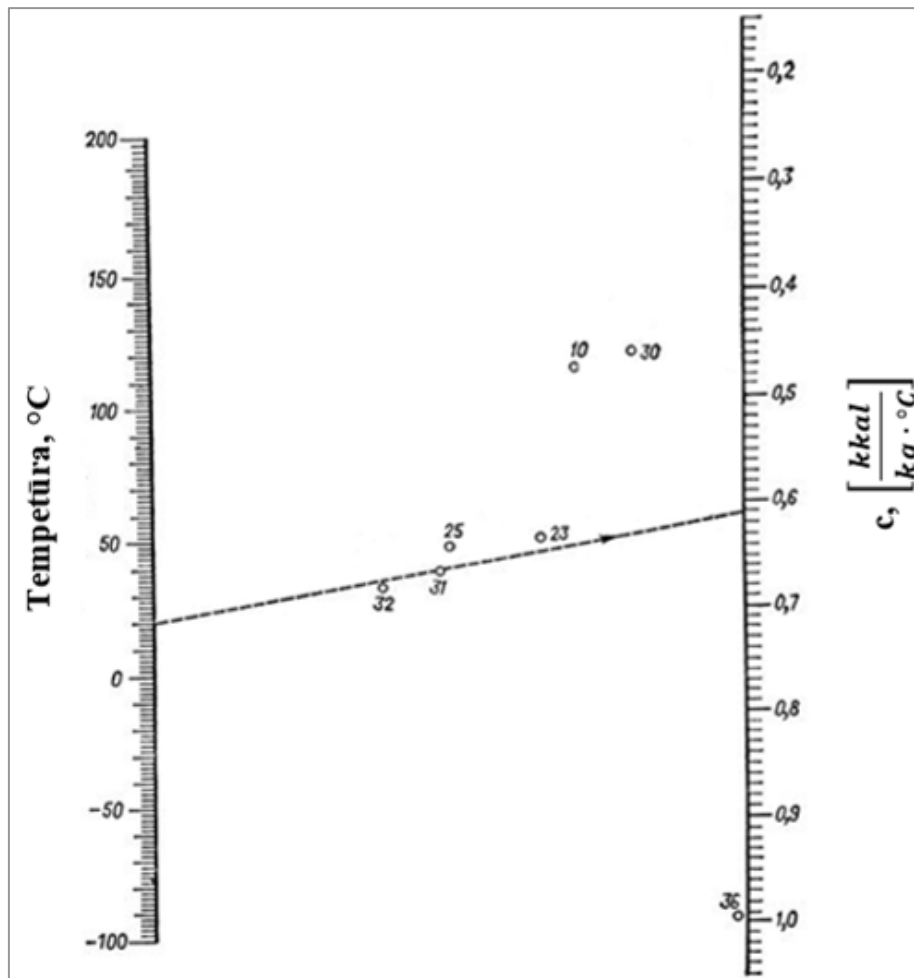
4. PIELIKUMS

SI SISTĒMĀ PIENĒMTO REIZINĀJUMU UN DAĻU MĒRVIENĪBU APZĪMĒJUMI

Reizinājumi un daļas	Nosaukumi	Saīsinājumi
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hekto	h
10^1	deka	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	mikro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	piko	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	ato	a

5. PIELIKUMS

NOMOGRAMMA DAŽU ĶĪMISKO VIELU SILTUMIETILPĪBAS KOEFIICIENTA C NOTEIKŠANAI [4]



$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Viela	Punkta Nr.
Ūdens	36
IPS	32
Metanols	23
Etanols	31
p-Ksilols	10
Propanols	25
Toluols	30

6. PIELIKUMS

FIZIKĀLIE LIELUMI, KOEFICIENTI UN TO MĒRVIENĪBAS

Fizikālie lielumi	Vērtība, mērvienība (SI sistēmā)
Siltuma slodze (plūsma, patēriņš) Q: <ul style="list-style-type: none"> ▪ periodiskajā procesā ▪ nepārtrauktajā procesā 	J (džouls) W (vats)
Siltuma zudumi Q_z : <ul style="list-style-type: none"> ▪ periodiskajā procesā ▪ nepārtrauktajā procesā 	J (džouls) W (vats)
Siltumatdeves koeficients α	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Siltumvadītspējas koeficients λ	$\frac{W}{m \cdot K}$
Siltumpārejas koeficients K	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Stefana-Bolcmaņa konstante σ_0	$5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$
Siltumietilpības koeficients (īpatnējais siltums) C	$\frac{J}{kg \cdot K}$
Siltummaiņa sildvirsmas lielums, S	m^2
Tvaika patēriņš sildīšanai D	$\frac{kg}{s}$
Vidējā temperatūru starpība Δt_{vid}	K (°C)
Sieniņas biezums δ	m
Dzesēšanas laiks τ	s