



RĪGAS TEHNISKĀ
UNIVERSITĀTE

Artūrs Riekstiņš

CEĻA SEGAS ILGTSPĒJAS NOVĒRTĒŠANAS METODIKAS UN RĪKA IZSTRĀDE UN PIELIETOŠANA DAŽĀDU MATERIĀLU UN TEHNOĻIJU IZVĒRTĒŠANAI

Promocijas darbs



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Būvniecības inženierzinātņu fakultāte

Ceļu un tiltu institūts

Artūrs Riekstiņš

Doktora studiju programmas “Būvniecība” doktorants

**CEĻA SEGAS ILGTSPĒJAS NOVĒRTĒŠANAS
METODIKAS UN RĪKA IZSTRĀDE
UN PIELIETOŠANA DAŽĀDU MATERIĀLU
UN TEHNOĻOĢIJU IZVĒRTĒŠANAI**

Promocijas darbs

Zinātniskais vadītājs

Dr. sc. ing.

VIKTORS HARITONOVŠ

RTU Izdevniecība

Rīga 2023

Riekstiņš, A. Ceļa segas ilgspējas novērtēšanas metodikas un rīka izstrāde un pielietošana dažādu materiālu un tehnoloģiju izvērtēšanai.

Riekstiņš A. Development of road pavement sustainability assessment methodology and tool and application for evaluation of various materials and technologies

Iespiests saskaņā ar promocijas padomes “RTU P-06” 2023. gada 3. februāra lēmumu, protokols Nr. L1.

Published in accordance with the decision of the Promotion Council “RTU P-06” of 3 February 2023, Minutes No. L1.



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu darbības programmas “Izaugsme un nodarbinātība” 8.2.2. specifiskā atbalsta mērķa “Stiprināt augstākās izglītības institūciju akadēmisko personālu stratēģiskās specializācijas jomās” projekta Nr. 8.2.2.0/20/I/008 “Rīgas Tehniskās universitātes un Banku Augstskolas doktorantu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās” ietvaros.

Šis pētījums ir tapis ar Rīgas Tehniskās universitātes Doktorantūras grantu programmas atbalstu.

Pētījumu finansē Latvijas Zinātnes padome projekta “Viedo materiālu, fotonikas, tehnoloģiju un inženierijas ekosistēma” (VPP-EM-FOTONIKA-2022/1-0001) ietvaros.

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2023. gada 12. maijā plkst. 14.15 Rīgas Tehniskās universitātes Būvniecības inženierzinātņu fakultātē, Ķīpsalas ielā 6A, 342. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, *Dr. sc. ing.* Aleksandrs Korjakins, Rīgas Tehniskā universitāte

Dr. ing. Ovidijus Šernas, Viļņas Ģedimina tehniskā universitāte, Lietuva

Asoc. prof. *Ph. D. Dr. Liseane Padilha Thives*, Federal University of Santa Catarina, Brazīlija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnes doktora grāda (*Ph. D.*) iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Artūrs Riekstiņš (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu/angļu valodā, tajā ir ievads, astoņas nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 80 attēli, 29 tabulas, kopā 144 lappuses. Literatūras sarakstā ir 96 nosaukumi.

ANOTĀCIJA

Ilgtspējīga attīstība ir princips, par kuru tiek runāts un diskutēts jau vairākas desmitgades. Neskatoties uz to, tā piemērošana un izmantošana ceļu tīkla uzturēšanā vēl joprojām ir limitēta. Tam par pamatu ir trīs atšķirīgo pamatnostādņu komplicētā iekļaušana lēmumu pieņemšanas procesā – vides, ekonomisko un sociālo faktoru. Šobrīd nav vienotas metodes, kas definētu veicamos soļus, kā arī trūkst rīku, ar kuriem būtu iespējams šos lielumus kvantificēt. Eiropas zaļais kurss šo principu ir aktualizējis, īpaši uzsverot cilvēku ietekmes uz vidi un klimatu mazināšanu. Finansiālās puses aktualitāte nav mazinājusies, it īpaši valstīs, kur jau ilgstoši novērojama iedzīvotāju skaita samazināšanās.

Lai gan ir pieejami dažādi vides un ekonomiskie rīki, ne ar vienu no tiem nav iespējams novērtēt gan vides, gan ekonomiskos parametrus individuāli izstrādātam kalendārajam plānam, kā arī pastāv mērvienību sistēmu atšķirības.

Promocijas darba izstrādes rezultātā tika radīta metodika un rīks, ar kuru ir iespējams novērtēt ceļu atjaunošanas vai izbūves pieeju/risinājumu ilgtspēju. Ar rīku ir iespējams iegūt kvantificētus datus divām no trim ilgtspējīgas attīstības pamatnostādņēm – vides un ekonomisko. Metodika un rīks ir balstīts uz dzīves cikla tehnikām, uz kuru pamata tiek izstrādāts atjaunošanas/izbūves un uzturēšanas plāns noteiktam periodam. Izstrādātā rīka rezultāti tika salīdzināti ar citu pētnieku pētījumu rezultātiem, ar rīku *ECORCE M* un *VSIA* “Latvijas Valsts ceļi” būvdarbu cenu katalogu.

Izstrādātā metodika un rīks tika pielietots šajā promocijas darbā, lai novērtētu dažādu materiālu vides un ekonomiskos parametrus. Novērtētie materiāli un tehnoloģijas ir ļoti plāna asfalta virskārta (*BBTM*), etilēna-oktēna-kopolimērs bitumena modifikators, ar nolietoto riepu gumiju modificēts bitumens, sarkanie māli kā bitumena modifikators, vieglie pelni ceļa segas pamatnes pastiprināšanai un ceļa segas pārbūves tehnoloģijas (pilna dziļuma materiālu nomaiņa un vecās segas pastiprināšana).

Promocijas darbs sastāv no astoņām nodaļām, kuras dalās vairākās apakšnodaļās. Pirmajā nodaļā aprakstīts darba pamatojums, novitāte, izvirzītais mērķis un uzdevumi, praktiskais pielietojums un ar darbu saistīto publikāciju saraksts, aprobācija konferencēs. Otrajā un trešajā nodaļā apskatīts, kas ir ilgtspējīga attīstība un ar kādiem rīkiem to ir iespējams izmērīt. Ceturtajā nodaļā aprakstīta autora izstrādātā metodika. Piektajā, sestajā un septītajā nodaļā ir aprakstīts autora izstrādātā rīka pamatdarbības princips, tā validācijas process, kā arī veikti vides un ekonomiskie aprēķini dažādiem materiāliem un tehnoloģijām, izmantojot autora izstrādāto metodiku un rīku *PAVE/LCA/LCCA*. Astotajā nodaļā ir sniegti secinājumi un ieteikumi turpmākajam darbam.

Darbs satur 144 lappuses, 80 attēlus, 29 tabulas un 96 literatūras avotus. Promocijas darbs sarakstīts latviešu valodā.

ANNOTATION

Sustainable development is a principle that has been around and discussed for several decades. Nevertheless, its application in the road network maintenance is still limited. Sustainable development is based on three pillars - environmental, economic and social and their inclusion in a single approach for policy-making is quite complicated. At the moment, there is no method that would define the steps to be taken. Also, there is a lack of tools with which it would be possible to quantify these values. The European Green Deal has brought the principle up to date, with special emphasis on reducing environmental and climate change impacts. Despite this, the relevance of the financial side has not diminished, especially in countries where a decrease in population has been observed lately.

Although various environmental and economic tools are available, none of them can evaluate the environmental and economic parameters for an individually designed calendar plan. Tools might also have a different unit system (e.g., the imperial system).

As a result of the development of the dissertation, a methodology and tool have been developed, with which it is possible to evaluate sustainability of approach/solution of road rehabilitation or construction. With the tool, it is possible to obtain quantified data for two of three sustainable development dimensions - environmental and economic. The methodology and tools uses life cycle techniques, based on which a renovation/construction and maintenance plan is developed for a certain period. The results of the tool developed have been validated by the information found in the literature with the tool ECORCE M and a local construction price catalogue.

The method developed was applied in this dissertation to assess the environmental and economic parameters of the different materials and technologies. The materials and technologies evaluated were very thin asphalt wearing course (BBTM), ethylene-octene-copolymer bitumen modifier, crumb rubber modified bitumen, red mud as a bitumen modifier, fly ash as a hydraulic binder for the road base and lastly, reconstruction technologies (full depth reconstruction and reinforcement of an old pavement).

The dissertation consists of 8 chapters, further divided into several subsections. The first chapter presents the justification of the work, its novelty, the aim and tasks, practical application and the list of publications related to the thesis and approbation at conferences. Chapters 2 and 3 discuss what sustainable development is and what tools can be used to measure it. Chapter 4 describes the methodology developed by the author. Chapters 5, 6, and 7 include the tool's basic operating principle, validation of the tool, and calculation of the environmental and economic parameters of various materials and technologies by the author's developed methodology and tool PAVE/LCA/LCCA. Chapter 8 presents conclusions and recommendations for future work. The work contains 144 pages, 80 figures, 29 tables and 96 references. The thesis is written in Latvian.

SATURS

Anotācija	4
Annotation	5
1. Ievads	9
1.1. Promocijas darba pamatojums	9
1.2. Pētījuma zinātniskā novitāte	9
1.3. Promocijas darba mērķis	10
1.4. Promocijas darba uzdevumi	10
1.5. Darba praktiskais lietojums.....	10
1.6. Aprobācija konferencēs.....	10
1.7. Doktorantūras laikā izstrādāto publikāciju saraksts.....	11
2. Ilgtspējīga attīstība	13
2.1. Ilgtspējīgas attīstības definīcija un tās pamatnostādnes	13
2.2. Ceļu tīkla uzturēšana saskaņā ar ilgtspējas principiem	15
2.2.1 Standarts <i>EN 15643</i>	17
2.2.2 Ceļa segas dzīves cikls un to posmu ietekme uz ilgtspēju	18
2.2.3 Atjaunošanas metodes izvēle.....	19
2.2.4 Ceļa segā esošo materiālu reciklēšana.....	20
2.2.5 Blakusprodukti, cietie atkritumi no citām nozarēm	21
2.2.6 Neatjaunojamo, ceļu būvei nepieciešamo materiālu aizstāšana ar atjaunojamām alternatīvām	22
2.3. Ilgtspējas pamatnostādņu novērtēšanas metodes	22
2.3.1 Dzīves cikla novērtējums (<i>LCA</i>)	23
2.3.2 Dzīves cikla izmaksu analīze (<i>LCCA</i>).....	26
2.3.3 Dzīves cikla Sociālā analīze (<i>SLCA</i>)	30
2.4. Ilgtspējas novērtēšanas lielākie izaicinājumi, tipiskāko kļūdu cēloņi.....	30
2.4.1 Rīki	30
2.4.2 Datu kvalitāte.....	31
2.4.3 Sistēmas robežu definēšana.....	31
2.4.4 Pieņēmumu noteikšana	32
2.4.5 Kalpošanas laika prognoze	32
3. Pieejamie <i>LCA</i> un <i>LCCA</i> rīki	33
4. Ceļu būvniecības materiālu, tehnoloģiju un stratēģiju ilgtspējas novērtēšanas metodikas izstrāde	37
4.1. Ilgtspējas novērtēšana	37

4.1.1	Segas projektēšana, alternatīvu izstrāde	37
4.1.2	Ilgspējas analīžu veikšana	40
4.1.3	Rezultātu apstrāde, ranga izveide	42
4.1.4	Novērtējums un optimizācija.....	43
4.2.	Ieviešana iepirkuma procedūrā	43
4.2.1	Iepirkuma sistēma - projektēšana/iepirkums/būvniecība	44
4.2.2	Iepirkuma sistēma - projektēšana/būvniecība	45
5.	Rīks <i>PAVE/LCA/LCCA</i>	47
5.1.	Potenciālais lietojums	47
5.2.	Rīka struktūra	48
5.3.	Izbūves konstrukcija un rehabilitācijas plāns.....	53
5.4.	Ievadinformācija un datu avoti	53
5.4.1	Dati par materiāliem	54
5.4.2	Dati par tehnikas vienību produktivitāti un degvielas patēriņu.....	55
5.4.3	Dati par atjaunojamā ceļa posma un tajā izmantoto materiālu ieguves ģeogrāfisko novietojumu.....	55
5.4.4	Kalpošanas laika prognoze	56
5.5.	Matemātiskie aprēķini	57
5.5.1	Vispārējās formulas	57
5.5.2	<i>LCA</i> aprēķinu veikšanai izmantotās formulas	57
5.5.3	<i>LCCA</i> aprēķina veikšanai izmantotās formulas.....	59
5.6.	Rezultātu izteikšana	61
5.6.1	Determinētā pieeja.....	61
5.6.2	Varbūtiskā pieeja	61
6.	Aprēķina rīka <i>PAVE/LCA/LCCA</i> validācija	63
6.1.	SEG vērtību validācija asfalta virskārtai.....	63
6.2.	SEG un enerģijas vērtību validācija A scenārijā, izmantojot rīku <i>ECORCE M</i>	64
6.3.	Izmaksu validācija ceļa segas konstruktīvajām kārtām	65
7.	Materiālu un tehnoloģiju ilgtspējas novērtēšana, izmantojot izstrādāto metodiku un rīku	67
7.1.	Potenciāli ilgtspējīgi risinājumi	68
7.1.1	<i>BBTM</i> dilumkārtā	68
7.1.2	<i>EOC</i> bitumena modifikators.....	68
7.1.3	Ar nolietoto riepu gumiju modificēts bitumens pēc slapjās metodes.....	69

7.1.4	Sarkanie māli bitumena modificēšanai.....	70
7.1.5	Vieglie pelni ceļa segas pamatnes pastiprināšanai	71
7.2.	Metodika	72
7.2.1	Analīzes mērķis	74
7.2.2	Analīzes tvērums	74
7.2.3	Segu scenāriji.....	75
7.2.4	Atjaunošanas stratēģijas	81
7.2.5	Atjaunošanas un uzturēšanas plāns	84
7.3.	Dzīves cikla inventarizācija	88
7.3.1	Ceļa segas dzīves cikli.....	90
7.3.2	Faktori un procesi, kas netiek ietverti analīzē	100
7.3.3	Pieņēmumi.....	100
7.4.	Izmantoto datu avoti.....	101
7.5.	Rezultāti un diskusija.....	103
7.5.1	Izmaksas, enerģijas patēriņš un SEG asfaltu tipiem.....	103
7.5.2	Izmaksas, enerģijas patēriņš un SEG pamata kārtām.....	106
7.5.3	Determinētās pieejas scenāriju rezultāti	108
7.5.4	Determinētās pieejas rezultātu apkopojums	116
7.5.5	Scenāriju varbūtiskās pieejas rezultāti.....	119
7.5.6	Varbūtiskās analīzes rezultātu apkopojums.....	126
7.5.7	Materiālu izmantošanas apjoms	133
7.5.8	Reitinga izveide	135
7.5.9	Novērtējums un optimizācija.....	136
8.	Secinājumi.....	137
	Literatūras saraksts	139

1. IEVADS

1.1. Promocijas darba pamatojums

Ceļu tīkls ir valsts, reģiona un kontinenta asinsrites sistēma, tā blīvums un stāvoklis ir būtisks iedzīvotāju pamatvajadzību nodrošināšanai un attīstībai. Tajā pašā laikā, lai uzturētu šo tīklu, ir nepieciešami lieli finansiālie un mūsu planētas neatjaunojamie resursi. Ceļu tīkla kopgarums Eiropas Savienībā vien ir 5,5 miljoni kilometru, un aplēsts, ka infrastruktūras kopējā vērtība ir aptuveni 8 triljoni [1]. Latvijas ceļu tīkla kopgarums sastāda vien 1,27 % no šī daudzuma, tomēr salīdzinoši mazā iedzīvotāju skaita dēļ mums ir 9. augstākais ceļu kilometru daudzums uz vienu iedzīvotāju pasaulē – 0,0363 km [2]. Tā blīvums ir 1094 km uz 1 km² [3]. Iedzīvotāju skaitam turpinot samazināties, šis apjoms uz vienu iedzīvotāju tikai pieaugs, kas proporcionāli prasīs vēl lielāku daļu no ikgadējā valsts budžeta tā atjaunošanai un uzturēšanai.

Neatkarīgi no iedzīvotāju skaita samazināšanās ceļu tīkls ir jāuztur tā, lai tas būtu pieejams ikvienam un netiktu traucēti ekonomiskie procesi. Neskatoties uz ierobežotajiem līdzekļiem, ceļu tīkls ir jāatjauno un jāuztur ilgtspējīgi, kas šobrīd ir īpaši aktuāli saistībā ar Eiropas zaļo kursu. Viens no Eiropas zaļā kursa mērķiem ir līdz 2030. gadam samazināt kopējo emisiju apjomu par 50 %. Tajā pašā laikā blakus ekonomiskajiem un vides aspektiem eksistē arī sabiedrības vēlmes jeb sociālie aspekti. Sabiedrība vēlas ilgmūžīgākus ceļus, braukšanas komfortu, drošību, zemu trokšņu līmeni. Tādēļ uzskatāms, ka visi iepriekš minētie aspekti (ekonomiskie, vides, sociālie) būtu iekļaujami lēmumu pieņemšanā. Par to, cik katram no faktoriem ir liela ietekme lēmuma pieņemšanā, ir jāizvērtē ceļu tīkla pārvaldītājam, saskaņojot prasības ar vēlmēm un iespējām.

Šī promocijas darba laikā tika izstrādāta ilgtspējīgas attīstības novērtēšanas metodika un aprēķina rīks *PAVE/LCA/LCCA*. Tas ir solis uz priekšu objektīvu kvantitatīvos lielumos balstītu materiālu, tehnoloģiju un/vai atjaunošanas stratēģiju novērtēšanā ceļu būvē un ar to saistītajos procesos.

1.2. Pētījuma zinātniskā novitāte

Promocijas darbā tika izstrādāta metodika un rīks ceļa segas materiālu, tehnoloģiju un atjaunošanas stratēģiju ilgtspējas novērtēšanai, iekļaujot vides, ekonomiskos un sociālos faktorus. Lai gan metodika paredzēta visu trīs ilgtspējas parametru iekļaušanai novērtējumā, izstrādātais rīks iekļauj divus no tiem – vides un ekonomisko. Šobrīd neeksistē aprēķinu rīks, ar ko būtu iespējams novērtēt ceļa segas vides un ekonomiskos parametrus brīvi izstrādātam ekspluatācijas laika kalendārajam plānam. Rīks ir izstrādāts *Microsoft Office Excel*, papildinot ar *Visual Basic for Applications (VBA)*. Pati metode ir būtisks palīgs, lai veicinātu ceļu nozares izpratni par izmantoto materiālu, tehnoloģiju un stratēģiju ietekmi uz izmaksām un vidi, tādējādi veicinot kvantificējamus datus balstītu lēmumu pieņemšanas politiku. Izstrādātais rīks ir publiski pieejams un interesentiem tālāk pilnveidojams un pielāgojams.

1.3. Promocijas darba mērķis

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt ilgtspējīgas attīstības novērtēšanas metodiku un rīku ceļa segas projekta novērtēšanai, analizējot nozarei saistošos standartus, esošās prakses, izmantotos rīkus, to validēt un veikt dažādu materiālu un tehnoloģiju ilgtspējas parametru izvērtējumu.

1.4. Promocijas darba uzdevumi

1. Veikt saistīto normatīvu un standartu analīzi ilgtspējas novērtēšanai.
2. Analizēt pieejamos rīkus ilgtspējas parametru novērtēšanai.
3. Izstrādāt dzīves cikla tehnikās balstītu metodi, kas novērtētu dažādu tehnoloģiju, materiālu, atjaunošanas stratēģiju ekonomiskos un vides aspektus.
4. Izstrādāt rīku uz *Excel* bāzes, papildinot ar *Visual Basic (VB)* kodu varbūtiskajam aprēķinam.
5. Atlasīt ievaddatus dzīves cikla novērtējumam (*LCA*) un dzīves cikla izmaksu analīzei (*LCCA*) no literatūras, datubāzēm, materiālu ražotājiem un vietējiem ceļu būves uzņēmumiem.
6. Veikt izstrādātā rīka validāciju.
7. Veikt aprēķinus, lai novērtētu dažādu potenciāli ilgtspējīgu materiālu un tehnoloģiju vides un ekonomiskos parametrus.

1.5. Darba praktiskais lietojums

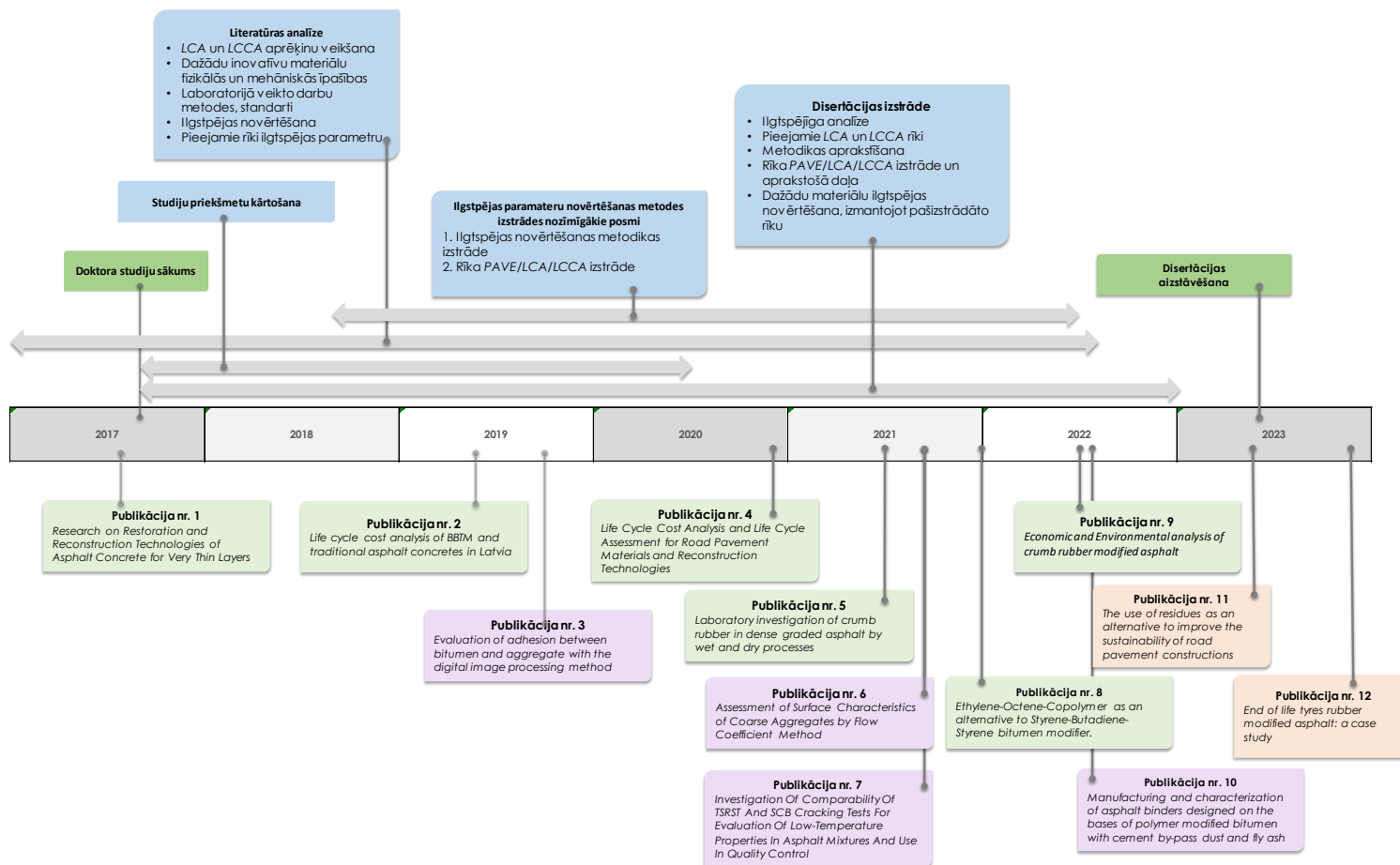
Izstrādāto metodiku un rīku var izmantot jebkurš ceļa īpašnieks/pārvaldītājs Latvijā (pašvaldības, novadi, VSIA “Latvijas Valsts ceļi” un citas organizācijas) un ārpus tās, lai uzlabotu lēmuma pieņemšanas politiku ceļa tīkla ilgtspējīgākai atjaunošanai un uzturēšanai. Izstrādātais rīks ir bezmaksas un pieejams lejupielādei, lietošanai, koriģēšanai ikvienam (<https://drive.google.com/drive/folders/1dhiyB1wVqaGzuybQrc83dihoi4oKNY?usp=sharing>). Tāpat izstrādātā metodika un rīks var kalpot zinātniskiem mērķiem.

1.6. Aprobācija konferencēs

1. 11th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, June 28–30, 2022, Trondheim, Norway.
2. “Use of local materials and by-products of industry in road construction” 8.10.2020. Workshop.
3. BUP VII PhD Students Training in Rogow, Poland, 24–28 November, 2019.
4. 18th International Scientific Conference, Engineering for Rural Development, May 22–24, 2019, Jelgava, Latvia.

1.7. Doktorantūras laikā izstrādāto publikāciju saraksts

1. Riekstins, A., Haritonovs, V., & Straupe, V. (2022). Economic and environmental analysis of Crumb Rubber Modified Asphalt. *Construction and Building Materials*, 335, 127468. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127468>.
2. Riekstins, A., Haritonovs, V., Merijs-Meri, R., & Zicāns, J. (2021). Ethylene-Octene-Copolymer as an alternative to Styrene-Butadiene-Styrene bitumen modifier. *Eleventh International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, Volume 1*, 96–107. <https://doi.org/10.1201/9781003222880-10>.
3. Riekstins, A., Baumanis, J., Krastins K., Kalinka K. (2021). Assessment of Surface Characteristics of Coarse Aggregates by Flow Coefficient Method. *Baltic Road Conference 2021*.
4. Riekstins, A., Baumanis, J., & Barbars, J. (2021). Laboratory investigation of crumb rubber in dense graded asphalt by wet and dry processes. *Construction and Building Materials*, 292, 123459. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123459>.
5. Riekstins, A., Haritonovs, V., & Straupe, V. (2020). Life Cycle Cost Analysis and Life Cycle Assessment for Road Pavement Materials and Reconstruction Technologies. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 15 (5), 118–135. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2020-15.510>.
6. Riekstins, A., Haritonovs, V., & Balodis, A. (2019). Evaluation of adhesion between bitumen and aggregate with the digital image processing method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 660, 012047. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/660/1/012047>.
7. Riekstins, A., Haritonovs, V., Abolins, V., Straupe, V., & Tihonovs, J. (2019). Life cycle cost analysis of BBTM and traditional asphalt concretes in Latvia. *Engineering for Rural Development*. doi:10.22616/erdev2019.18.n400.
8. Riekstins, A., Haritonovs, V. (2017). Research on Restoration and Reconstruction Technologies of Asphalt Concrete for Very Thin Layers. *Baltic Road Conference 2021*.



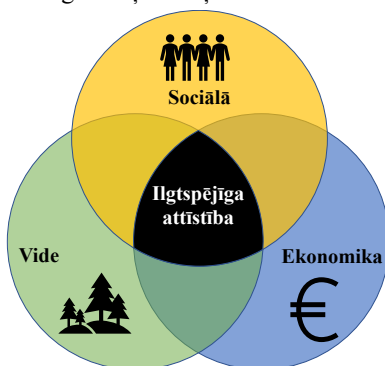
Attēls 1.1. Doktora studiju kopsavilkums.

2. ILGTSPĒJĪGA ATTĪSTĪBA

2.1. Ilgtspējīgas attīstības definīcija un tās pamatnostādnes

Zinātnieku un lēmējvaras līmenī jautājumi par ilgtspēju ir plaši diskutēti jau vairākas desmitgades. Pirmo reizi ilgtspējas jēdziens tika definēts 1987. gadā ANO Pasaules Vides un attīstības komisijas ziņojumā “Mūsu kopējā nākotne”. Vienkāršota ilgtspējīgas attīstības definīcija – ilgtspējīga attīstība ir attīstība, kas nodrošina šodienas vajadzību apmierināšanu, neradot draudus nākamo paaudžu vajadzību apmierināšanai [4]. Definīcija pasaka, ka visiem ir jārūpējas par savu planētu, resursiem un cilvēkiem ilgtspējīgā veidā. Turklāt tā, lai planētas Zeme stāvoklis būtu tāds pats vai labāks, nekā to saņēmām.

Balstoties iepriekš minētajos principos, tiek uzskatīts, ka ilgtspējīgai attīstībai ir trīs pamatnostādnes – vides, ekonomiskās un sociālās (2.1. att.). Lai gan pats koncepts pēc būtības ir vienkāršs, tomēr tā iekļaušana lēmumu pieņemšanā ir izaicinoša, jo neeksistē vienoti principi ilgtspējas novērtēšanai [5–7]. Starp dažādām nozarēm ilgtspējīgas attīstības principi var būtiski atšķirties. Neskatoties uz to, ir skaidrs, ka visās nozarēs ir iespēja iedzīvināt vai jau papildināt esošos ilgtspējīgas attīstības darbības principus. Lai to izdarītu, svarīgi apzināties esošo situāciju un definēt īstermiņa un ilgtermiņa mērķus.



2.1. att. Ilgtspējas attīstības pamatnostādnes.

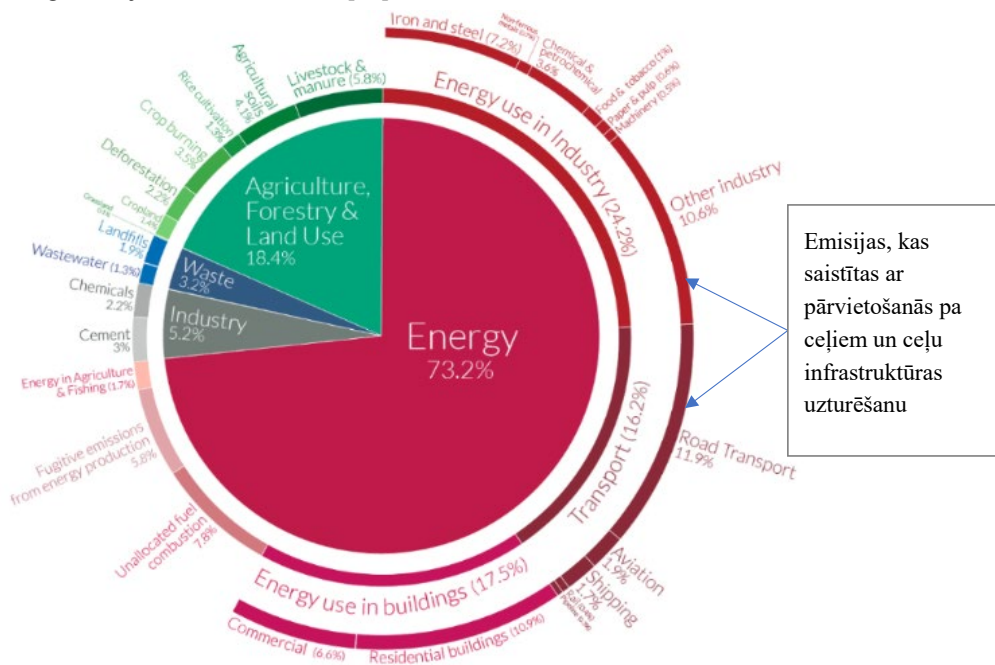
Galvenais katalizators ilgtspējīgas attīstības politikas iedzīvināšanai ir klimata pārmaiņas. Dabā notiekošie procesi un zinātniskie pētījumi to jau gadu desmitiem ir ziņojuši Kopš 1880. gada pasaulē vidējais jūras līmenis ir pieaudzis par 50 cm. Tiek prognozēts, ka līdz 2050. gadam tas pieaugs vēl par 20–30 cm. Šīs izmaiņas var veicināt ekstremālus laikapstākļus, kā ilgu sausumu, izteikti lielus karstuma viļņus, spēcīgas lietus gāzes, plūdus un zemes nogrūvumus [8].

Apzinoties, ka cilvēku radītā ietekme uz vidi, ir lielāka, nekā iepriekš domāts, jau 1972. gadā notika pirmā ANO konference par starptautiskajiem vides jautājumiem. Tā iezīmēja pagrieziena punktu starptautiskās vides politikas attīstībā. Šim notikumam sekoja vairākas būtiskas sanāksmes un vienošanās, piemēram, Rio Zemes samits, Kioto protokols, Parīzes klimata vienošanās u.c. Visas šīs sanāksmes tika organizētas, lai plašākai pasaulei skaidrotu

klimata pārmaiņu riskus un panāktu atbalstu kopīgai starptautiskai rīcībai, lai samazinātu cilvēces virzītās straujās pārmaiņas. Neskatoties uz to, ka lielākā daļa pasaules valstu atzīst klimata pārmaiņu esamību, tomēr jau ilglaicīgi nav bijis iespējams panākt visaptverošu vienošanos un rīcības plānu, kurā iesaistītos lielākie SEG emitētāji.

Eiropas Savienība apzinoties, ka klimata pārmaiņas un vides degradācija ir eksistenciāls drauds, 2019. gadā pieņēma lēmumu par Eiropas zaļo kursu, kas ir saskaņā ar Parīzes nolīgumu. Tās mērķis ir ES pārveidot par modernu, resursu ziņā efektīvu un konkurētspējīgu ekonomiku, kurā līdz 2050. gadam pielikts punkts siltumnīcefektu gāzu neto emisijām un ekonomikas izaugsme nav saistīta ar dabas resursu izmantošanas, un novārtā nav atstāts neviens cilvēks un reģions [9]. Jau līdz 2030. gadam mērķis ir sasniegt 40 % SEG samazinājumu salīdzinājumā ar 1990. gada līmeni. ES vēlas Eiropu padarīt par pirmo klimatneitrālo kontinentu pasaulē, un šī mērķa sasniegšanai ir paredzēts veikt apjomīgas investīcijas visos sektoros. Lai kvalificētos šiem līdzekļiem, ES ir izstrādājusi klasifikāciju sistēmu, sauktu par ES Taksonomijas regulējumu.

Aprēķināts, ka transporta sektors ir atbildīgs par 16,2 % no visām SEG 2016. gadā, no kurām 74,5 % ir tieši saistītas ar transportlīdzekļiem, kas izmanto ceļu infrastruktūru (2.2. att.) [10]. Papildus pieskaitāmas SEG, kas tiek emitētas infrastruktūras izbūves un uzturēšanas laikā. Autoram nav pieejami precīzi dati par emisijām no izbūves un uzturēšanas. 2.2. att. izbūve un uzturēšana nav atsevišķi izšķirta un ietilpst sadaļā *other industry* (cita industrija) kopā ar tādiem procesiem kā mežizstrāde, transportlīdzekļu ražošana un tekstilražošana. Balstoties uz prognozēm, transporta nozarē SEG emisiju apjoms turpinās augt, pateicoties labklājības līmeņa pieaugumam jaunattīstības valstīs [11].



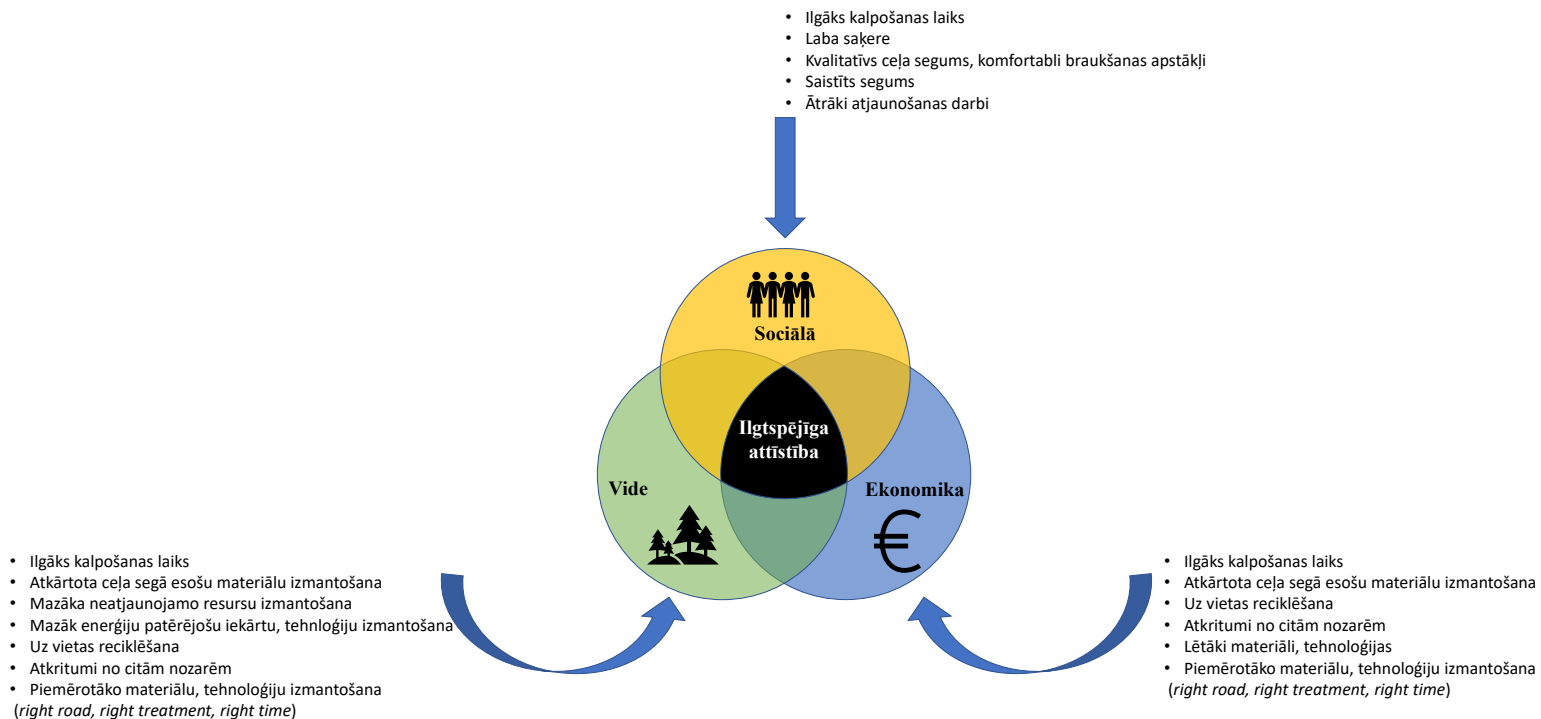
2.2. att. SEG emisijas starp sektoriem [10].

2.2. Ceļu tīkla uzturēšana saskaņā ar ilgtspējas principiem

Ietekmes uz vidi un klimatu mazināšana ir augstākā prioritāte, bet jāņem vērā arī ekonomiskās iespējas un sociālie faktori. Sabalansēt finansiālās iespējas ar vides prasībām un sociālajām vajadzībām ceļu būvē ir nozares 21. gadsimta galvenais izaicinājums. Ilgtspējīgas attīstības izvērtējumā vienmēr jāiekļauj trīs pamatnostādnes (vides, ekonomiskie, sociālie aspekti), lai gan katrai no tām ir nozīme, to pielietojums no projekta uz projektu var atšķirties atkarībā no mērķa, specifikas u. c. lielumiem [12].

Neskatoties uz ceļu nozares apmēriem un vajadzību pēc finanšu un materiālu resursiem, un ietekmi uz vidi, pagaidām nav standarta, kas noteiktu, kā specifiski tajā novērtēt tehnoloģiju, materiālu un/vai stratēģiju ilgtspēju. Zināms, ka notiek darbs pie vienota Eiropas standarta ceļa ilgtspējas novērtēšanai – *EN 17472*, kas ietver būvdarbu ilgtspēju, ilgtspējas novērtējumu, inženiertehniskos darbus un aprēķina metodes. Sagaidāms, ka standarts dos vispārīgus novērtēšanas rāmjus, tādējādi veicinot vienotu un koordinētu ilgtspējas novērtēšanu. Līdz tam izmantojams ir standarts *EN 15643*, kas ir vispārīgs standarts būvniecībai. Par to plašāk arī nākamajā apakšnodaļā.

2.3. attēlā ir uzskaitīti dažādi, potenciāli ietekmējošākie ilgtspējas aspekti katrā no pamatnostādņēm. Kā redzams, vides un ekonomiskās pamatnostādņēs šie ietekmējošie aspekti daļēji pārklājas. Par būtiskākajiem ilgtspēju ietekmējošajiem faktoriem plašāk aprakstīts nākamajās apakšnodaļās.

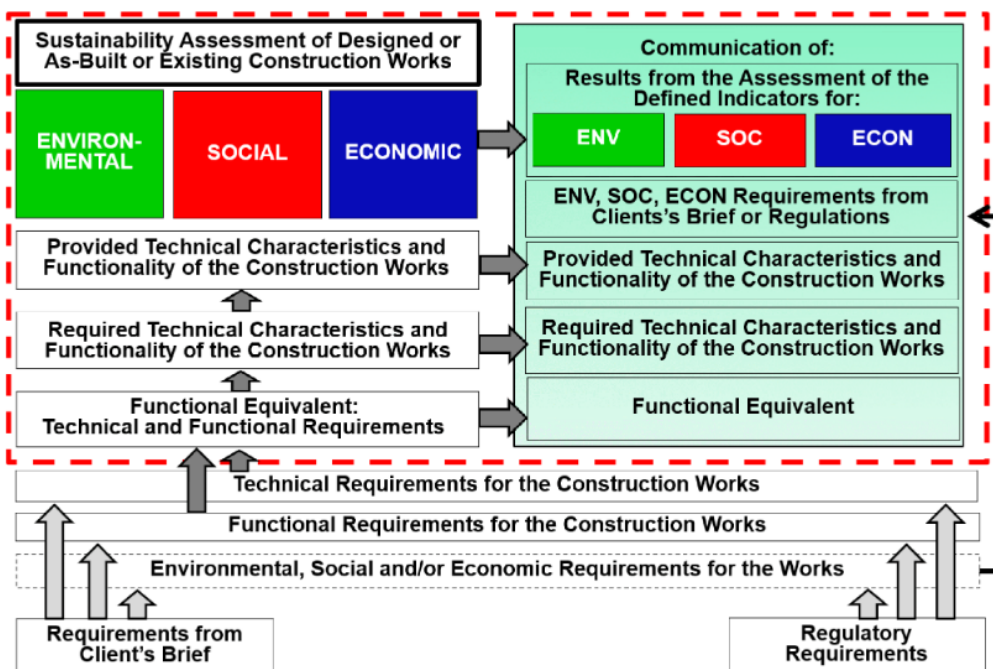


2.3. att. Ilgtspēju ietekmējoši faktori ceļu tīkla uzturēšanā.

2.2.1. STANDARTS EN 15643

Standarts EN 15643 ir daļa no Eiropas standartu sērijas, ko izstrādājis CEN/TC 350 un kas skaidro sistēmu ēku un inženierbūvju, tajā skaitā ceļu un tiltu, ilgtspējas novērtēšanu, izmantojot dzīves cikla tehnikas. Ilgtspējas novērtējums atbilstoši standartam balstās uz kvantificētiem lielumiem un ietekmēm. Standarta mērķis ir nodrošināt novērtējumu rezultātu salīdzināmību [13].

Veicot novērtējumus, būvdarbu līmenī tiek noteikti scenāriji un funkcionālais ekvivalents. Tas nozīmē, ka darbu aprakstošais modelis ar galvenajām tehniskajām un funkcionālajām prasībām ir noteikts pasūtītāja instrukcijā vai noteikumos. Tas ir parādīts 2.4. attēlā. Funkcionālais ekvivalents ņem vērā tehniskās un funkcionālās prasības un veido pamatu novērtējuma rezultātu salīdzināšanai pēc pamatprincipa, ka funkcionālais ekvivalents tiek izpildīts, ja tiek izpildītas vai pārsniegtas noteiktās tehniskās un funkcionālās prasības. Tāpēc šajā kontekstā funkcionālās vienības jēdziena vietā tiek lietots funkcionālā ekvivalenta jēdziens [13].



2.4. att. Būvdarbu ilgtspējas novērtējuma jēdziens [13].

Tāpat standarts nosaka, ka lietotāju darbības, kas saistītas ar uzbūvēto objektu ir daļa no novērtējuma. Šajā novērtējumā var ietvert, piemēram, degvielu, ko patērē automašīnas, kas izmanto ceļu [13].

Standarts rekomendē novērtējumu veikt pēc iespējas ātrāk būvniecības vai renovācijas projekta konceptuālās/sākotnējās plānošanas stadijā, lai to būtu iespējams veikt pēc iespējas plašāku [13].

Līdzīgi kā ISO standartu sērija LCA novērtējumam, arī standarts EN 15643 nosaka nepieciešamību atsevišķi veikt rezultātu kvantificēšanu un to vērtību izvērtējumu.

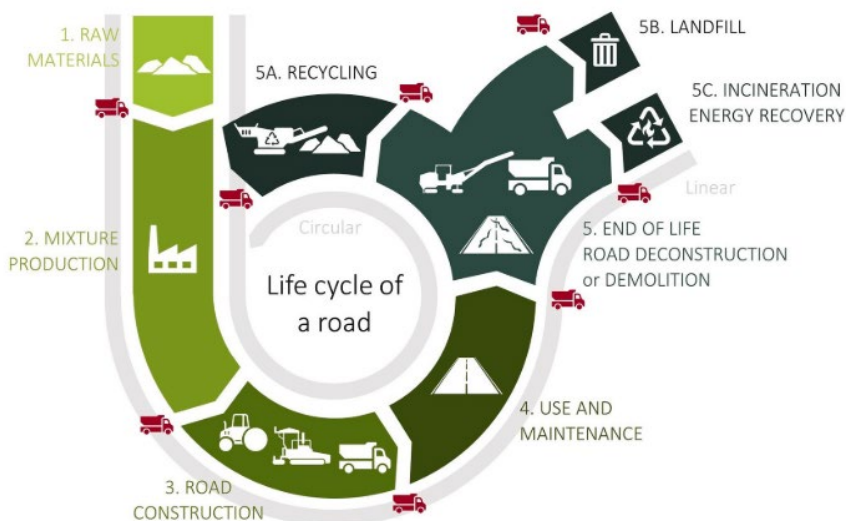
Standartā EN 15643 ir labi aprakstīta terminoloģija, iespējamie novērtējuma mērķi, soļi un ievērojami principi, tomēr piedāvātā metodika ir vispārīga un interpretējama. Tādēļ autora pētījuma mērķis ir piedāvāt metodiku un rīku, lai varētu veikt aprēķinu divām ilgtspējas dimensijām – vides un ekonomiskajai – ko nākotnē būtu iespējams papildināt arī ar sociālo dimensiju, iezīmējoties jau precīzākām novērtēšanas kategorijām un veidam.

2.2.2. CEĻA SEGAS DZĪVES CIKLS UN TO POSMU IETEKME UZ ILGTSPĒJU

Dažādi avoti ceļa segu iedala atšķirīgi, piemēram, kā nebeidzamu ciklu vai lineāru funkciju. Mainoties tendencēm, izmantojot vairāk jau lietotu materiālu (no tās pašas konstrukcijas vai citas konstrukcijas un industrijas), ceļa dzīves cikls kļūst kā nebeidzams cikls (skat. 2.5 att.).

Ceļa segas dzīves cikls sākas ar materiālu iegūšanu, kas var būt jauni vai reciklēti, piemēram, no esošās vai kādas citas ceļa segas. Tradicionāli ceļa segas būvniecībai tiek izmantoti šādi jauni materiāli – minerālmateriāli, bitumens, bitumena modifikatori, bitumena emulsija.

Atkārota materiālu izmantošana uzskatāma par ilgtspējīgu, jo, lai gan tie var izmaksāt vairāk, radīt lielākas emisijas vai prasīt vairāk enerģijas, lai tos sagatavotu, tomēr tādā veidā ir iespējams samazināt vai pat izslēgt neatjaunojamo resursu izmantošanu. Šo pilnīgu vai daļēju tradicionālo ceļa būvniecības materiālu (reciklēts asfalts, reciklēta ceļa sega) atkārtotu izmantošanu veiksmīgi var papildināt dažādu blakusproduktu un cieto atkritumu izmantošana no citām nozarēm, tādējādi veicinot kopējo ilgtspēju.



2.5. att. Ceļa dzīves cikla attēlojums, pamatojoties uz apļveida un lineāru pieeju [14].

Atkarībā no materiālu iegūšanas lokācijas un ceļa atrašanās vietas iegūtie materiāli tiek transportēti uz asfalta rūpnīcu, vai jau pa taisno uz ceļu. Asfalta ražošanai ir nepieciešams

minerālmateriāls, bitumens, piedevas. Gatavais produkts tālāk var tikt transportēts uz objektu iestrādei. Tā kā Latvijā netiek iegūta nafta un veikta tās pārstrāde, jau iegūtajam bitumenam ir jāmēro salīdzinoši garš ceļš līdz asfalta un emulsijas rūpnīcām. Minerālmateriāli augstas intensitātes ceļiem asfalta kārtu izbūvei bieži tiek ievesti no Skandināvijas. Neskatoties uz to, atsevišķos gadījumos šie minerālmateriāli var pat radīt mazāku ietekmi uz vidi kā vietējie, kas augstas kvalitātes materiālu trūkumu dēļ var tikt transportēti pat vairāku simtu kilometru attālumā pa autoceļiem.

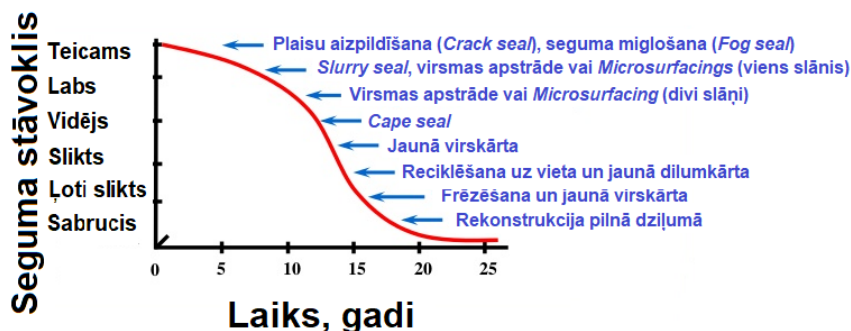
Nogādātie materiāli objektā nokļūst nākamajā ceļa segas dzīves cikla posmā – izbūve. Šajā posmā materiāli ar atbilstošām tehnikas vienībām secīgi tiek iestrādāti ceļa segā. Pēc izbūves vai atjaunošanas ceļa sega ir gatava pilnīgai transporta slodzes uzņemšanai un iestājas trešais dzīves cikla posms – ceļa lietošana. Šajā posmā ceļa segas virskārtas uzdevums ir nodrošināt līdzenu braukšanu, labu saķeri un pēc iespējas arī trokšņu slāpēšanu. Atbilstoši izbūves mērķim esošajai situācijai ceļa segas atjaunošanā jāizvēlas vispiemērotākais risinājums (skat. 2.2.3.). Visoptimālāk to ir preventīvi uzturēt, neļaujot attīstīties bojājumiem dilumkārtā tik tālu, lai radītu riskus citām kārtām zem tās. Pēc atjaunošanas darbiem ceļa sega atgriežas pirmajā posmā – izejmateriālu ieguve (jauni vai reciklēti (skat. 2.2.4.)), ražošana. Atbilstoši aprēķina plānam pēc kādas no atkārtotās ceļa segas lietošanas tā uzskatāma par nokalpojušu, un izpildās ceturtais ceļa segas dzīves cikla posms – kalpošanas laika beigas. Lai gan ceļa sega vēl joprojām potenciāli ir atjaunojama un saglabā kādu vērtību, tomēr aprēķina robežu noteikšanai tiek pieņemta tās kalpošanas beigas.

2.2.3. ATJAUNOŠANAS METODES IZVĒLE

Izbūvējot vai atjaunot ceļa segu, aktuāls ir jautājums par labākā iespējamā risinājuma pielietošanu. Neatbilstošas tehnoloģijas izvēle konkrētai satiksmes intensitātei var rezultēties neapmierinošos braukšanas apstākļos un samazinātā kalpošanas laikā. Zināms, ka preventīva ceļa uzturēšana ir ekonomiski pamatota un videi draudzīga [15]. No tā iegūst arī sabiedrība, jo šo metožu pielietošana salīdzinoši īsu laiku kavē satiksmi atšķirībā no frēzēšanas, reciklēšanas vai rekonstrukcijas darbiem. Preventīvo metožu piemērošana ir jāizvērtē, lai noteiktu, kura no metodēm sniegs lielākos ieguvumus (ilgāku kalpošanas laiku, mazākas izmaksas u.c.). Par preventīvām ceļu uzturēšanas metodēm uzskatāma lokāla bedrīšu lāpīšana, plaisu aizliešana, seguma miglošana (*fog seal*), virsmas apstrāde; emulsēts sīkšķembu maisījums (*slurry seal*, *microsurfacing*), ļoti plāna asfalta kārtā (*BBTM*).

Tomēr bieži ir situācijas, kad esošā seguma stāvoklis ir slikts, ļoti slikts vai pat sabrucis. Tādos gadījumos par labu tiek lemts pilna dziļuma rekonstrukcijai, kas nav nepareizi, tomēr iespējams, ka ir lētāks, videi draudzīgāks risinājums, kas var minimāli ietekmēt kalpošanas laiku, tajā pašā laikā atstājot finansējumu citu ceļu sakārtošanai. 2.6. attēlā ir redzams vizuāls piemērs, pie kādiem seguma stāvokļiem, būtu piemērojamas dažādas tehnoloģijas. Ir pieejamas dažādas seguma stāvokļa novērtējuma metodes, lai precīzi palīdzētu identificēt piemērotāko

atjaunošanas metodi, zināmākā no tām ir *Pavement Condition Index (PCI)*, kas ceļa stāvokli novērtē skalā no 1 līdz 100 [16].



2.6. att. Virsmas atjaunošana atbilstoši principam “*Right road, right treatment, right time*” [17]

2.2.4. CEĻA SEGĀ ESOŠO MATERIĀLU RECIKLĒŠANA

Atsevišķos gadījumos autoceļa dzīves cikls var būt 100 % noslēgts, neradot papildus atkritumus tā dzīves cikla noslēguma fāzē – autoceļa kalpošanas laika beigās visus materiālus iespējams atkārtoti izmantot tā paša vai cita ceļa būvniecībā. Atsaucoties uz *EAPA* 2019. gada datiem par Eiropu, 76 % asfalta segumi tiek atkārtoti izmantoti jaunu asfalta maisījumu izgatavošanā un 20 % tiek pārstrādāti kā granulēts materiāls [18]. Jau šobrīd var teikt, ka nozarē tiek pielietoti ilgtspējīgas attīstības principi. Lai gan precīzi nav zināms, tomēr jāatzīmē, ka Latvijā šie rādītāji nav tik augsti. Iemesli ir vairāki – neviendabīgi vecie asfalta segumi, esošās infrastruktūras neatbilstība. 2.1. tabulā norādīta tradicionālā prakse ceļa segā esošo materiālu atkārtotai izmantošanai. Galvenais mērķis, uz ko būtu jātiecas, ir, lai reciklēšana tiktu veikta lineāri, tas ir, ceļa segā esošajām konstruktīvajām kārtām tiktu saglabātas tās pašas funkcijas kā pirms tam. Tādā veidā netiek pazemināta materiālu vērtība, kā arī samazinās nepieciešamība pēc jauniem materiāliem.

2.1. tabula

Ceļa segā esošo materiālu atkārtotas izmantošanas tradicionālie pielietojumi

Ceļa segas komponente	Cieto atkritumu avots	Atkārtotas izmantošanas pielietojums
Pārstrādāts asfalta segums [19,20]	Vecais ceļa segums	Pilnīga vai daļēja izmantošana jaunu bituminētu maisījumu izgatavošanā; Izmantošana saistītas vai nesaistītas pamatnes izbūvei; Uzbēruma veidošanai
Pārstrādāta, ar cementu saistīta konstruktīvā kārtā, nesaistīta konstruktīvā kārtā [21]	Vecās ceļa segas pamata kārtas	Ceļa segas pamatnes izbūvei; Uzbēruma veidošanai
Pārstrādāts betona segums	Vecā betona segums	Rupjais minerālmateriāls jauna betona ceļa izbūvei, materiāls ceļa segas pamatnes izbūvei; Uzbēruma veidošanai

2.2.5. BLAKUSPRODUKTI, CIETIE ATKRITUMI NO CITĀM NOZARĒM

Ceļu būve ir materiālietilpīga nozare, kura lielā daudzumā izmanto neatjaunojamus resursus (minerālmateriālu, bitumenu). Pateicoties tās apmēriem, tā ir interesanta citām nozarēm, kā potenciālā to saražoto atkritumu noglabāšanas vieta. 2.2. tabulā redzami dažādi cietie atkritumi un to iespējamais pielietojums ceļa segā. Vairums šo materiālu jau ir ilgstoši pētīti, un ir veikti aprēķini, kas atzīmē, ka to izmantošanai ir potenciāls veicināt ilgtspējīgāku ceļu atjaunošanu un uzturēšanu. Tomēr tikai atsevišķi no tiem tiek reāli izmantoti, kam ir vairāki iemesli:

- **Pārstrādāto materiālu izmaksas** – bieži jaunu minerālmateriālu izmantošana ir lētāka, nekā to, kuriem ir jāiziet pārstrādes process (drupināšana, atdalīšana no nevēlamiem materiāliem u.c. procesi). Līdz ar to gan pasūtītājs, gan darbu veicējs izvēlas risinājumus, tehnoloģijas un materiālus, kas nesadārdzina izmaksas. Piemēram, šobrīd ceļa uzbēruma vai salizturīgā slāņa būvniecībai izmantotā materiāla izmaksas, galvenokārt, sastāda tā transportēšanas izdevumi, savukārt, lai civilās būvniecības būvgruži būtu lietojami ceļu būvniecībā, tiem nepieciešama pārstrāde, kas atsevišķos gadījumos var ievērojami sadārdzināt gala produktu;
- **Pieredzes trūkums** - būvkompanijām nav pieredzes un pārlicības, ka atkārtoti izmantotais materiāls vai potenciālais aizstājējamais materiāls parādīs līdzvērtīgas īpašības. Tajā pašā laikā ceļa īpašnieks, pārvaldītājs vai pasūtītājs neatkāpjas no izvirzītajām prasībām, kuru samazināšana var radīt riskus būves ilgmūžībai un kvalitātei;
- **Materiālu nevienādība** – pārstrādāto materiālu īpašību mainība tieši ietekmē būvdarbu kvalitāti, kas būtiski var samazināt konstrukcijas kalpošanas laiku un palielināt aprites cikla izmaksas. Pieļaujams izmantot tikai tādus materiālus, kuru iestrāde iespējama ar esošo tehnisko bāzi, kā arī nav pieļaujama tehnikas vienību bojāšana būvniecības procesa laikā;
- **Bīstamo vielu saturs** – būtiski, lai pārstrādātie/atkārtoti izmantotie materiāli neradītu apdraudējumu cilvēkiem un apkārtējai videi. Jābūt pārlicības, ka konkrētais materiāls nesatur bīstamas vielas vai arī izmantošanas laikā tās neizdala.

2.2. tabula

Dažādu cieto atkritumu iespējamā izmantošana ceļu būvē

Cietie atkritumi	Cieto atkritumu avots	Izmantojamā sastāvdaļa	Iespējamais pielietojums ceļa segā
Stikla atkritumi [22,23]	Stikla savākšanas konteineri	Stikla lauskas	Pildviela bituminētajās kārtās; Izmantošana saistītas vai nesaistītas pamatnes izbūvei
Stikla šķiedras atkritumi [24,25]	Stikla šķiedras ražošanas rūpnīcas	Stikla šķiedras pavedieni	Bituminēto maisījumu armējums
Vecās riepas [26–29]	Veco riepu savākšanas punkti	Gumijas granulas	Bitumena modifikators; Smalkā minerālmateriāla aizstājējs bituminētajos maisījumos
Plastmasas atkritumi [30,31]	Sadzīves atkritumi	Augsta un zema blīvuma polietilēns	Bitumena modifikators; Minerālmateriāla aizstājējs

2.2. tabulas turpinājums

Vieglie pelni [32,33]	Katlu mājās (šķelda), enerģijas ieguves spēkstacijas (ogles)	Vieglie pelni	Ceļa pamatnes pastiprināšanai (cementa vietā); Bitumena modifikators
Būvniecības un nojaukšanas procesos radušies atkritumi vai blakusprodukti [34]	Ēku būvniecība un demontāža	Drupināts betons, ķieģeļi, gāzbetons, flīzes u.c.	Pilnīga vai daļēja izmatošana jaunu bituminētu maisījumu izgatavošanā; Izmantošana saistītas vai nesaistītas pamatnes izbūvei
Tēraudkausēšanas sārņi un domnas izdedži [35,36]	Tērauda un metāla ražošanas nozare	Tēraudkausēšanas sārņi un domnas izdedži	Pilnīga vai daļēja izmatošana jaunu bituminētu maisījumu izgatavošanā; Izmantošana saistītas vai nesaistītas pamatnes izbūvei
Sarkanie māli [37,38]	Alumīniju ražošanas nozare	Sarkanie māli	Bitumena modifikators, minerālā aizpildītāja aizstājējs

2.2.6. NEATJAUNOJAMO, CEĻU BŪVEI NEPIECIEŠAMO MATERIĀLU AIZSTĀŠANA AR ATJAUNOJAMĀM ALTERNATĪVĀM

Neskatoties uz materiālu reciklēšanas pieauguma tendencēm un cieto atkritumu, vai blakusproduktu iekļaušanu ceļa dzīves ciklā, tomēr pilnībā nav iespējams izvairīties no jaunu materiālu pievienošanas, īpaši bitumena un cementa. 2.3. tabulā norādīti vairāki materiāli, kas var daļēji aizstāt tos. Tā, piemēram, nepieciešamo bitumena apjomus ir iespējams samazināt, izmantojot lignīnu, kas tiek iegūts no kukurūzas procesa laikā radušajiem blakusproduktiem vai koksnes. Tāpat arī var samazināt izmantotā cementa daudzumu, izmantojot no augiem un organismiem sintezētas piedevas.

2.3. tabula

Tradicionāli izmantotiem neatjaunojamiem ceļu būvmateriāliem atjaunojamas alternatīvas

Materiāls	Iegūšanas avots	Iespējamais pielietojums ceļa segā
Lignīns [25,39,40]	Kukurūzu vāļīšu, kātu atkritumi, koksne	Bitumena modifikators, saistviela ceļa segas pamata pastiprināšanai
Bioloģiska piedeva segas pastiprināšanai [41]	Augi, dzīvi organismi	Augsne, ceļa pamata pastiprināšana

2.3. Ilgtspējas pamatnostādņu novērtēšanas metodes

Ilgtspēju ir iespējams salīdzināt ar dažādām novērtēšanas tehnikām. Trīs no zināmākajām ir – veikspējas novērtējums, ilgtspējas novērtēšanas sistēmas un dzīves cikla tehnikas.

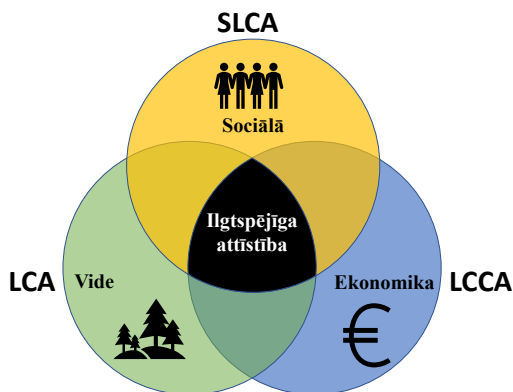
Veikspējas novērtējums nozīmē, ka tiek veikta ceļa segas veikspējas analīze atbilstoši projektētajām prasībām. Piemēram, ja sagaidāms, ka pašreizējās standarta ceļa segas virskārtas kalpošanas laiks pārsniegs 15 gadus, tad alternatīvās segas virskārtas (SMA, BBTM u.c.) kalpošanas laiks tiek salīdzināts ar šo bāzes seguma kalpošanas laiku (šajā gadījumā – 15

gadiem). Visizplatītākais uzskats ir tāds, ka alternatīvai jābūt vienlīdzīgai vai labākai par pašreizējo standartu.

Ilgspējas novērtēšanas sistēmas pamatā ir prakšu un funkciju saraksts, kurš ietekmē ilgspēju. Tas ir izteikts ar kopēju mērvienību (parasti – punktu sistēmu), kas kvantificē relatīvo ietekmi. Tādā veidā dažādu prakšu un funkciju ietekmi ir iespējams salīdzināt, izmantojot kopīgu vienību (reitinga punktus). Galvenais šo reitingu sistēmu mīnuss ir, ka tās nav tieši pielāgotas ceļa segai, bet visam projektam.

Dzīves cikla metodes novērtē produkta vai sistēmas ietekmi tā dzīves cikla laikā, t.i., izmantojot dzīves cikla pieeju un dzīves cikla domāšanu. Produkta vai sistēmas dzīves ciklu nosaka tā dzīves cikla posmi. Dzīves cikls var sākties ar izejvielu ieguvu un enerģijas ražošanu. Materiāli un enerģija ir daļa no ražošanas, transportēšanas, izmantošanas un pārstrādes, atkārtotas izmantošanas vai iznīcināšanas. Visizplatītākās dzīves cikla metodes ir dzīves cikla izmaksu analīze (*LCCA*), dzīves cikla novērtējums (*LCA*), sociālais dzīves cikla novērtējums (*SLCA*) un dzīves cikla ilgspējas novērtējums (*SLCA*) (2.7. att.) [42].

Gan izmaksas, gan ietekme uz vidi ir kvantitatīvi izmērāmi lielumi, tādēļ sociālo aspektu iekļaušana ilgspējas novērtēšanā ir izaicinošāka. Lai gan atsevišķi faktori kā trokšņu līmenis, līdzenums (IRI) vai citi faktori ir laboratoriski izmērāmi vai matemātiski aprēķināmi, tomēr nav skaidra to ietekme (svars) kopējās ilgspējas novērtēšanā, jo sabiedrības attieksme pret šiem lielumiem var būtiski atšķirties. Viegļāk ietveramas un izmērāmas sabiedrības intereses ir labs ceļa stāvoklis un retāki atjaunošanas darbi, kas nozīmē drošākus braukšanas apstākļus un mazāk pavadīta laika ceļā. Plašāk par dzīves cikla tehnikām aprakstīts nākamajās apakšnodaļās.



2.7. att. Ilgspējas faktori un dzīves cikla tehnikas to novērtēšanai.

2.3.1. DZĪVES CIKLA NOVĒRTĒJUMS (*LCA*)

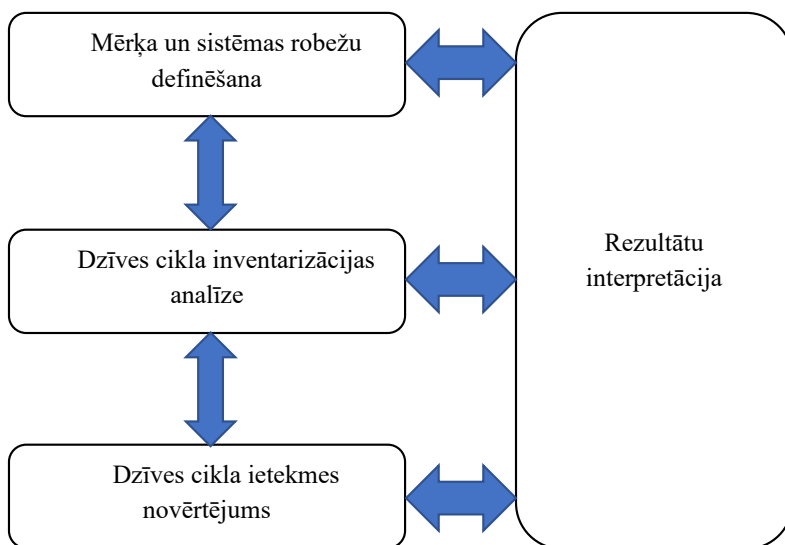
2.3.1.1. IEVADS

LCA ir ietekmes uz vidi novērtēšanas paņēmiens, kas kvantitatīvi analizē noteiktas sistēmas ietekmi visā plānotajā dzīves ciklā, ideālā gadījumā iekļaujot visus procesus, kas saistīti ar produktu no “sūpuļa” (*cradle*) jeb materiālu ieguves līdz “kapam” (*grave*) jeb kalpošanas

beigām [43]. Aprēķins var tikt veikts arī tikai dažiem dzīves cikla posmiem, ja tas nav pretrunā ar definēto mērķi un noteiktajām sistēmas robežām. Šobrīd pasaulē ietekmes uz vidi novērtēšanai, galvenokārt, pētnieki atsaucas uz Starptautiskās standartizācijas organizācijas (ISO) standartu *14040:2006* Vides pārvaldība - aprites cikla novērtēšana - principi un ietvars un *ISO 14044:2006* Vides pārvaldība - aprites cikla novērtēšana – prasības un vadlīnijas. Šajā standartu sērijā ietilpst arī standarts *ISO 14041*, *ISO 14042* un *ISO 14043*, kas plašāk apraksta standartā *ISO 14040* minētos principus un ietvaru. Standarta pirmatnējās versijas tika izdotas 20. gadsimta deviņdesmito gadu beigās un 21. gadsimta sākumā.

Standartu sērija ir vispārīga un ir paredzēta visu industriju *LCA* aprēķinu veikšanai. Tajos nav detalizēti aprakstīta *LCA* veikšanas tehnikas, kā arī nav norādīta metodoloģija dažāda tipa *LCA* veikšanai. Tas ir arī galvenais iemesls, kāpēc zinātniskajos rakstos atrodami pretrunīgi materiālu, tehnoloģiju vai atjaunošanas stratēģiju dzīves cikla inventarizācijas rezultāti un ietekmes novērtējumi.

2.8. attēlā redzami *LCA* aprēķina veikšanas soļi saskaņā ar *ISO 14044*, par ko plašāk nākamajās apakšnodaļās. Visi soļi analīzes veikšanai savstarpēji mijiedarbojas un var mainīties atkarībā no citos soļos iegūtajiem lielumiem un atziņām.



2.8. att. *LCA* soļi saskaņā ar *ISO 14044*.

2.3.1.2. MĒRĶA UN SISTĒMAS ROBEŽU DEFINĒŠANA.

LCA mērķi nosaka persona vai organizācija, kas to veic. Atbilstoši mērķim tiek noteiktas analīzes robežas un pielietojanas mērogs. Robežu definēšanas, tajā skaitā funkcionālās vienības, mērķis ir samazināt nekorektu sistēmu salīdzināšanu. Tipiski ceļa segas novērtēšanā definē posma garumu, ceļa segas biezumu, satiksmes intensitāti u.c. lielumus, kas var ietekmēt rezultātu.

Pastāv divi *LCA* pielietojanas mērogi – (1) uz sistēmu attiecināms (*attributonal*), (2) no sistēmas izrietošs (*consequential*) [44]. Uz sistēmu attiecināms *LCA* aprēķins dod informāciju

par konkrēta materiāla, tehnoloģijas vai atjaunošanas stratēģijas ietekmi uz vidi norādītajās robežās. Lielākā daļa *LCA* pētījumu ir uz sistēmu attiecināmi. Turpretī no sistēmas izrietošs *LCA* tvērums ir plašāks un novērtē makro ietekmi uz nozari vai kādu citu sistēmu.

Pastāv dažādi ceļa segas dzīves cikla iedalījumi. Katrā no ceļa segas dzīves cikla posmiem tiek radīta kāda nosakāma ietekme uz vidi. Atkarībā no izvirzītā mērķa *LCA* ir iespējams veikt visam ceļa dzīves ciklam, sākot no materiālu iegūšanas līdz kalpošanas laika beigām, vai arī tikai kādam atsevišķam posmam [45,46]. Degvielas emisiju kvantificēšanai vēlams izmantot *well to wheel* pieeju, kas nozīmē, ka tiek iekļautas emisijas jau no naftas iegūšanas urbumā [47].

LCA mērogi iespējams iedalīt šādās kategorijās:

- “No vārtiem līdz vārtiem” (*gate to gate*). Pie šī nosacījuma tiek apskatīts tikai ceļa segas dzīves cikla izbūves posms, kas ietver vecās konstrukcijas demontāžu, materiālu transportēšanu, jaunās konstrukcijas izbūvi [48];
- “No šūpuļa līdz vārtiem” (*cradle to gate*). Pie šī nosacījuma tiek iekļauti sekojoši ceļa segas dzīves cikla posmi - izejmateriālu ieguve un materiālu ražošana [48];
- “No šūpuļa līdz kapam” (*cradle to grave*). Pie šī nosacījuma tiek iekļauti visi dzīves cikla posmi, sākot no materiālu ieguves līdz konstrukcijas kalpošanas laika beigām [48];
- “No šūpuļa līdz šūpulim” (*cradle to cradle*). Pie šī nosacījuma tiek iekļauti visi dzīves cikla posmi līdzīgi kā *cradle to grave* pieejā, tomēr šeit papildus ir materiālu atkārtota izmantošana jaunajā konstrukcijā pēc segas kalpošanas laika beigām. Šis ir slēgta cikla *LCA* [48].

Analīzes periodam ir nozīmīga loma korekta *LCA* veikšanai. Tā garumam jābūt pietiekošam, lai varētu objektīvi novērtēt materiālu vai tehnoloģiju ietekmi uz vidi.

2.3.1.3. DZĪVES CIKLA INVENTARIZĀCIJAS ANALĪZE (*LCI*).

Lai veiktu inventarizācijas analīzi, tiek izveidots analizējamā procesa modelis, izmantojot definētās robežas. Pēc tam tiek identificētas un aprēķinātas materiālu un enerģijas plūsmas procesa modelī katram dzīves cikla posmam, kā arī atkritumu un piesārņojuma plūsmas, kas izplūst no procesa [46]. Visbiežāk *LCA* tiek veikts, lai novērtētu ietekmi uz cilvēku, dabu (ekosistēmām) un resursu izsīkšanu [46].

2.3.1.4. DZĪVES CIKLA IETEKMES NOVĒRTĒJUMS (*LCIA*).

Šī soļa mērķis ir veidot labāku izpratni par iegūtajiem kvantitatīvajiem lielumiem. *LCIA* ietver trīs obligātos elementus: 1) ietekmes kategoriju atlasī, 2) *LCI* rezultātu piešķiršanu izvēlētajām ietekmes kategorijām un 3) kategoriju rādītāju modelēšanu. Pastāv iespēja arī veikt rezultātu normalizāciju, grupēšanu un svēršanu, ko lietotāji var izvēlēties atbilstoši konkrētajam projektam [49].

2.3.1.5. REZULTĀTU INTERPRETĀCIJA.

Noslēdzošajā solī tiek analizēti *LCI* un *LCIA* rezultāti, lai varētu izdarīt secinājumus un sniegt ieteikumus saskaņā ar definēto mērķi un tvērumu. Pareiza *LCA* prakse, kā definēts *ISO 14044*, ietver interpretācijas fāzi. Nenoteiktība *LCA* rezultātos ir dabisks datu mainīguma, ievades nenoteiktības un modeļa neprecizitātes rezultāts (*ISO 2006b*) [46].

Interpretācijas solī analīzes veicējs var arī secināt, ka sistēmas robežas vai veiktais aprēķins nedod iespēju korekti salīdzināt scenārijus vai sasniegt izvirzīto mērķi. Tādos gadījumos analīzes veicējs izdara izmaiņas kādā no iepriekšējiem soļiem.

2.3.1.6. NOZARĒ IZMANTOTIE RĪKI

LCA veikšanai pieejams plašs aprēķina rīku un programmu klāsts. Daudzām ceļu administrācijām ir pašizstrādāti rīki un metodikas vides faktoru novērtēšanai, kas lielākoties ir veidoti uz *Excel* bāzes. Tajā pašā laikā ir arī komerciāli pieejami rīki/programmas, kuras dod iespēju ar augstāku detalizācijas pakāpi un tvērumu veikt *LCA*. Daži no zināmākajiem *LCA* rīkiem/programmām ir *SimaPro*, *GaBi*, *DuboCalc*, *ECORCE M*. Par ilgtspējas aspektu novērtēšanas rīkiem plašāk 3. nodaļā.

2.3.2. DZĪVES CIKLA IZMAKSU ANALĪZE (*LCCA*)

2.3.2.1. VISPĀRĪGI

LCCA ir metode, ko veic, lai novērtētu projekta varianta un to alternatīvu (nav obligāti) kopējo ekonomisko vērtību, analizējot sākotnējās izmaksas un diskontētās nākotnes izmaksas, kā piemēram, ceļa uzturēšanas, rekonstrukcijas un/vai lietotāja izmaksas, visā projekta dzīves laikā [50]. *LCCA* var tikt veikta gan projekta, gan ceļa tīkla līmenī. Katrai no plānotajām aktivitātēm dzīves ciklā tiek definētas izmaksas.

LCCA ir noderīgs dažādu konkurējošu materiālu, tehnoloģiju un/vai atjaunošanas stratēģiju salīdzināšanai, par pamatu izmantojot to sākotnējos un nākotnes ieguldījumus visā plānotajā aprēķina periodā. Veicot aprēķinu, ir iespējams salīdzināt gan ceļa īpašnieka (pārvaldītāja), gan ceļa lietotāju izmaksas starp dažādām alternatīvām.

LCCA analīzei nav izstrādāts un apstiprināts starptautisks standarts. Tomēr jau kopš 20. gs. 70. gadiem *LCCA* principi ir tikuši ietverti dažāda līmeņa projektos ASV. *LCCA* analīzes principi plaši ir aprakstīti vairākos ASV Transporta departamenta Federālās lielceļu administrācijas izdotos dokumentos, kuri ir izmantoti teorijas analīzē un aprēķina metodes izstrādē [51–53].

2.3.2.2. EKONOMISKIE RĀDĪTĀJI

LCCA veikšanai var tikt izmantoti vairāki ekonomiskie rādītāji. Zināmākie no tiem ir ieguvumu/izmaksu attiecība, iekšējās atdeves likme (*IRR*), pašreizējā neto vērtība (*NPV*) un līdzvērtīgās vienotās gada izmaksas (*EUAC*) [51]. *NPV* un *EUAC* ir plašāk izmantotie ekonomiskie rādītāji un to, kuru piemērot, nosaka pētījumā salīdzināmo alternatīvu specifika. Šī pētījuma un metodes izstrādes ietvaros *NPV* tika izvēlēts kā vispiemērotākais ekonomiskais rādītājs *LCCA* veikšanai.

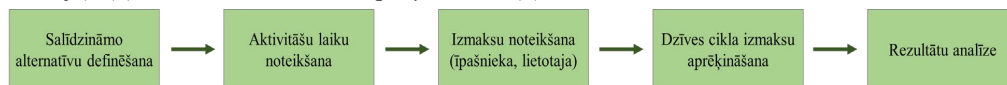
NPV ir paredzamo tīro ieguvumu (t.i., ieguvumi mīnus izmaksas) diskontētā monetārā vērtība. *NPV* tiek aprēķināts, piešķirot ieguvumiem un izmaksām naudas vērtības, diskontējot nākotnes ieguvumus (*PV_{benefits}*) un izmaksas (*PV_{costs}*), izmantojot atbilstošu diskonta likmi un atņemot diskontēto izmaksu kopsummā no diskontēto ieguvumu kopsummā (skat. vienādojumu (2.1.) [51]).

$$NPV = PV_{benefits} - PV_{costs} \quad (2.1)$$

Tā kā ieguvumi dažādu ceļa segas alternatīvu salīdzināšanas gadījumā faktiski neatšķiras, tad iegūtā formula vienkāršojas un NPV kļūst par PV [51].

2.3.2.3. *LCCA* VEIKŠANAS SOĻI

LCCA veikšanas soļi redzami 2.9. attēlā. *LCCA* ietver piecus soļus – (1) salīdzināmo alternatīvu definēšana, (2) aktivitāšu laiku noteikšana, (3) izmaksu noteikšana (īpašnieka, lietotāja), (4) dzīves cikla izmaksu aprēķināšana, (5) rezultātu analīze.



2.9. att. *LCCA* veikšanas soļi.

1. solis - salīdzināmo alternatīvu definēšana

LCCA var tikt uzsākts, kad ir izvēlēts konceptuāls izbūves vai atjaunošanas risinājums un virkne iespējamo alternatīvu tā veikšanai. Analīzes veikšanai nepieciešamas vismaz divas alternatīvas. Analīzes periodam jābūt pietiekami ilgam, lai ietvertu vismaz vienu nozīmīgu rehabilitācijas aktivitāti katrai no alternatīvām [51]. Starp dažādām alternatīvām to kalpošanas laiks un veicamās uzturēšanas un atjaunošanas aktivitātes un to biežums var būtiski atšķirties, neskatoties uz to, ieteicams izmantot vienādu analīzes veikšanas periodu korektu dzīves cikla izmaksu salīdzināšanai. *FHWA* (*Federal Highway Administration*) rekomendētais analīzes periods ir vismaz 35 gadi [51].

2. solis - plānoto aktivitāšu noteikšana

Šajā solī tiek izstrādāts kalendārais plāns ar visām iepļānotajām aktivitātēm izvēlētajam analīzes periodam. Papildus sākotnējai izbūvei, jāparedz arī izdevumi ikdienas uzturēšanas darbiem (lokālu bedrīšu lāpīšana, plaisu aizliešana). Gadījumos, kad ceļa īpašnieks pats neveic izbūvi vai rekonstrukciju, tiek piemērots garantijas periods izpildītajam darbam. Garantijas laikā šie izdevumi, ja tādi ir, ir būvniecības uzņēmuma pārziņā un *LCCA* aprēķinos parasti netiek iekļauti.

Par pamatu kalendārā plāna izstrādei ieteicams ņemt vēsturiskos datus, laboratorijā iegūtos ekspluatācijas īpašību rezultātus un no tiem veikto prognozi, ekspertu viedokļus vai informāciju no literatūras.

3. solis - izmaksu noteikšana

Izmaksu noteikšanai var tikt izmantoti ceļu administrācijām pieejamie dati. Nav nepieciešams iekļaut izmaksas par procesiem vai vienībām, kas neietekmē alternatīvu salīdzināšanu, piemēram, dažādu ceļa segu salīdzināšanas nolūkos horizontālā marķējuma, aizsargbarjeru izmaksas nav būtiskas. Nesvarīgo izmaksu neiekļaušana aprēķinā to padara vienkāršāku, vieglāk uztveramu. *LCCA* izmaksas iedalās divās daļās – (1) ceļa īpašnieka izmaksas, (2) ceļa lietotāju izmaksas.

LCCA, kas iever arī ceļa lietotāju izmaksas, uzskatāma par labo praksi. *LCCA* no lietotāju puses primāri ietver transportlīdzekļa ekspluatācijas izmaksas, pārvietošanās izmaksas un

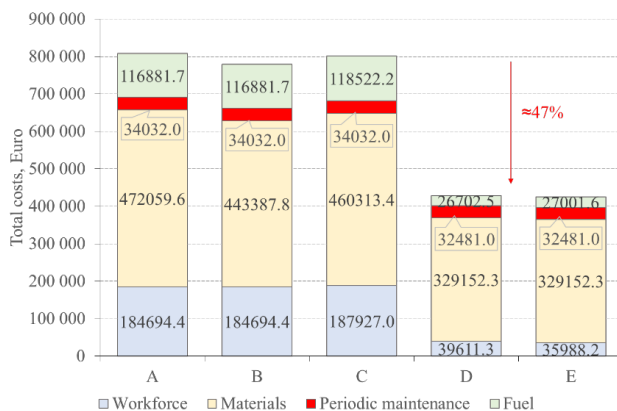
avārijas izmaksas. Šādas ceļa lietotāju izmaksas var ietekmēt atšķirības starp alternatīvu rehabilitācijas biežumiem, ilgumiem, satiksmes ierobežojumiem. Tā kā atjaunošanas darbi ierobežo satiksmes caurlaidspēju, tad izmaksas veido pavadītais laiks ceļā (sastrēgumi, apbraucamie ceļi) un negadījumi. Gadījumos, ja starp alternatīvām neeksistē satiksmi ierobežojošas atšķirības, ceļa lietotāju izmaksas var neiekļaut. Jebkura atjaunošanas un uzturēšanas stratēģija, kas samazina lietotāju izmaksas, prasa papildus resursus no ceļa īpašnieka, to uzturēt ļoti labā stāvoklī [54].

4. solis - dzīves cikla izmaksu aprēķināšana

Šī soļa mērķis ir apvienot ceļa īpašnieka un lietotāju izmaksas visā analīzes periodā, kas noteiktas ar iepriekšējo soļu palīdzību. Tā kā izmaksas ir ielānotas visā analīzes periodā, tad to vērtības šīs dienas cenās ir atšķirīgas un nevar vienkārši tikt saskaitītas. Šī pētījuma ietvaros PV tika izvēlēts kā vispiemērotākais ekonomiskais rādītājs LCCA aprēķina veikšanai. Nākotnes izmaksu un ieguvumu aplēses var veikt, izmantojot konstantu vai nominālu naudas vērtību [51]. Tas pats attiecas arī uz diskonta likmi, tāpēc būtiski abos gadījumos izvēlēties vienu veidu.

2.10. attēlā redzams piemērs rezultātu izteikšanai, izmantojot determinēto pieeju. Rezultāti izmantojot stabiņa veida grafiku ir viegli salīdzināmi. Grafikā labi redzams, ka alternatīvām D un E ir par 47 % zemākas izmaksas, tomēr grafiks nepasaka to, cik liela ir varbūtība, ka šāds scenārijs arī piepildītos dzīvē.

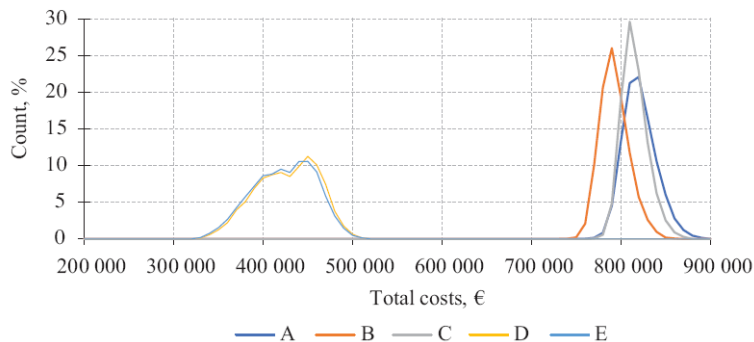
Determinētās analīzes rezultātus var uzlabot, izmantojot metodi, ko sauc par jutīguma analīzi. Šī procedūra ietver viena interesējošā ievades parametra, piemēram, diskonta likmes vai sākotnējās izmaksas, maiņu tā iespējamo vērtību diapazonā, vienlaikus saglabājot visas pārējās ievades nemainīgas, tādējādi novērtējot ietekmi uz PV. Determinētās pieejas jutīguma analīze nav piemērota, ja vienlaikus nepieciešams mainīt vairākas ievades. Tādējādi, lai gan determinētā aprēķina izmantošana ir ērta un viegli saprotama, tā var būt maldinoša, tādēļ tā izmantošana ir jāizvērtē.



2.10. att. LCCA determinētās pieejas attēlojums. [55]

Varbūtības jeb riska analīzes pieeja LCCA aprēķina veikšanai ir ar augstāku ticamības pakāpi, jo tā izmanto statistiskus aprakstus par iespējamo vērtību sadalījumu katrai ievadei (piemēram, vidējo un standarta novirzi katrai normāli sadalītai ievades vērtībai), lai ņemtu vērā

ar ievaddatiem saistīto mainīgumu, kas rada analīzes rezultātu nenoteiktību [56]. Varbūtiskā analīzes pieeja apvieno nenoteiktu mainīgo varbūtības aprakstus un datortsimulācijas metodi, piemēram, Montekarlo simulāciju, lai raksturotu nenoteiktību [51]. Varbūtiskā aprēķina pieeja dod iespēju kvantificēt riskus un salīdzināt tos dažādām alternatīvām.



2.11. att. *LCCA* varbūtiskās pieejas attēlojuma piemērs. [55]

5. solis - rezultātu analīze

Šis solis ietver *LCCA* rezultātu analīzi un interpretāciju. Tā kā determinētājā pieejā katrai alternatīvai ir viens *PV* rezultāts (2.10. att.), tad atšķirībā no varbūtiskās pieejas (2.11. att.) salīdzināšanai izmantotās procedūras ir atšķirīgas. Piemēram, varbūtiskajā sadalījumā ne tik būtiskas var būt izmaksas, cik liela ir iespējamība, ka tās iekļausies kādās noteiktās robežās [53]. Attēls 2.11 ir redzams varbūtiskais sadalījums tiem pašiem rezultātiem, kas redzami 2.10. Kā redzams 2.10. attēlā, izmaksu sadalījums D un E alternatīvai vēl joprojām ir vismazākais, tomēr izpildīšanās varbūtība, ir gandrīz trīs reizes mazāka kā A, B un C alternatīvai. Ja izmaksu starpība starp A, B, C un D, E scenāriju būtu mazāka, tad scenārija papildīšanās varbūtībai būtu lielāka loma, un pastāv iespēja, ka aprēķina veicējam būtu jāizšķiras starp alternatīvu ar mazākām izmaksām, bet lielāku risku, ka izmaksas var būt lielākas, vai alternatīvu ar lielākām izmaksām, bet mazākiem riskiem uz projekta sadārdzināšanos.

Lai gan paraugprakse *LCCA* veikšanā ņem vērā gan īpašnieka, gan lietotāju izmaksas, praksē daudzi analītiķi nevēlas piešķirt tādu pašu nozīmīguma līmeni lietotāju izmaksām, tādējādi, galvenokārt, salīdzinot tikai ceļu īpašnieku izmaksas [53]. *Lee* savā pētījumā konstatēja, ka 70 % ASV ceļu administrācijas *LCCA* aprēķinos ceļa lietotāju izmaksas neiekļauj vispār [57]. Tomēr kā rāda pētījumi, ceļa lietotāju izmaksas var sastādīt būtisku daļu no visām izmaksām [54,57,58].

2.3.2.4. NOZARĒ IZMANTOTIE RĪKI

Atšķirībā no *LCA*, *LCCA* veikšanai zināmo rīku skaits ir minimāls. Iemesls tam ir nepieciešamība izstrādāt specifisku rīku/programmu ceļu būvei, kā arī datiem (izmaksām) ir izteikta reģionāla un laikā mainīga specifika. Tas prasa no lietotāja ne tikai spēju veidot materiālu un procesu plūsmas, bet arī regulāri atjaunot izmaksu datus. Šobrīd zināmākie *LCCA* rīki ir *Real Cost analysis 2.5* un *PaLATE-2.0*. Plašāk par tiem – 3. nodaļā.

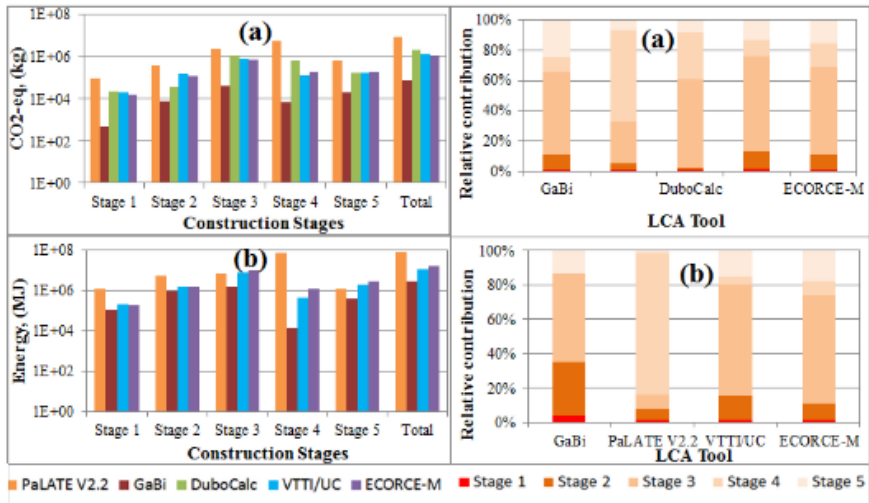
2.3.3. **DZĪVES CIKLA SOCIĀLĀ ANALĪZE (SLCA)**

SLCA ir analīze, ar kuru iespējams novērtēt projekta sociālo ietekmi un salīdzināt ar citām alternatīvām. *SLCA* ir salīdzinoši jauns koncepts, tādēļ līdz šim nav izstrādāts standarts un netiek plaši lietota kāda metodika. Līdz ar to šai dzīves cikla tehnikai gan vispārēji, gan tieši ceļu būvei vēl ir jāpilnveidojas. Zināms, ka notiek darbs pie standarta izstrādes. Tomēr, ņemot vērā to, ka konkrētu vadlīniju *SLCA* veikšanai nav, šajā pētījumā tas netika plašāk apskatīts. Atšķirībā no *LCA* un *LCCA* šos analīzes rezultātus var nebūt viegli savstarpēji salīdzināt. Ir sociāli faktori, kas ir subjektīvi, tāpēc to iekļaušana ir jāizvērtē. Daži no zināmākajiem sociālajiem faktoriem ir braukšanas kvalitāte, drošība, atjaunošanas darbu biežums.

2.4. Ilgtspējas novērtēšanas lielākie izaicinājumi, tipiskāko kļūdu cēloņi

2.4.1 RĪKI

Mūsdienās ir pieejams plašs rīku/programmu klāsts segas dzīves cikla ietekmes uz vidi un/vai izmaksu aprēķināšanai. Tomēr nav universāla rīka/programmas, kas ietver gan vides, gan ekonomiskos lielumus pilnam ceļa segas dzīves ciklam. Zināmākais rīks/programma šim raksturojumam ir *PaLATE 2.0* un tās nākamās versijas. Papildus, *Santos* savā pētījumā noskaidroja, ka dažādu vides rīku izmantošana vienam un tam pašam projekta aprēķinu veikšanai var dot būtiski atšķirīgus rezultātus [59]. Tā, piemēram, 2.12. attēlā redzami *LCA* rezultāti, kas iegūti, izmantojot dažādus rīkus. Atsevišķās pozīcijas pastāv ievērojama atšķirība starp rezultātiem, ņemot vērā, ka izejas lielumi (materiālu apjomu un procesi) ir vienādi. Šādas atšķirības ir izteikti raksturīgas *LCA* rīkiem, kur liela nozīme ir datu bāzēm, no kurām tiek ņemti izejas dati. Turklāt šiem rīkiem var atšķirties aprēķina tvērums, pieņēmumi, materiālu plūsmas. Tādēļ, veicot aprēķinus, ieteicams izmantot tikai vienu rīku. Situācijās, kad izvēlētais rīks nosedz tikai daļu no nepieciešamās informācijas, rūpīgi jāizvērtē, lai materiālu un procesu plūsmas starp rīkiem būtu identiskas. Par pieejamiem rīkiem un to specifiku plašāk 3. nodaļā.



2.12. att. Ietekmes kategoriju vērtību (pa kreisi) un procentuālo ieguldījumu (pa labi) salīdzinājums no dažādiem *LCA* rīkiem šādām ietekmes kategorijām un rādītājiem: (a) CO₂ ekv.; b) enerģijas patēriņš [59].

2.4.2 DATU KVALITĀTE

LCA veikšanas gadījumā parasti izmantotajos rīkos jau ir iekļauti arī materiālu un procesu radītās ietekmes. Atsevišķi komerciālie rīki pat ļauj izvēlēties datubāzes, lietojot savam reģionam atbilstošākos datus. Komerciālo rīku izmantošanas gadījumā lielākais ieguvums ir augstāka ticamība datiem, kā arī tie tiek atjaunoti un papildināti. *LCA* datu avoti ir datubāzes (zināmākās – *EcoInvent*, *GaBi*), literatūra, vides produktu deklarācijas (*EPD*) vai pašu iegūtie dati. Lai gan vides datiem arī ir sava reģionālā specifika, lielākoties tos var pielāgot arī reģioniem, par kuriem šādu datu nav.

Izmaksām ir būtiski izteikta reģionālā specifika. Tās var ietekmēt inflācija, ģeopolitiskie notikumi, piedāvājums un pieprasījums, piegādes ķēdes un citi faktori. Tādēļ arī *LCCA* rezultātu salīdzināšana pat vienas valsts ietvaros var būt problemātiska. Izmaksu dati jāatjauno gadu no gada, atsevišķos gadījumos pat biežāk.

2.4.3 SISTĒMAS ROBEŽU DEFINĒŠANA

Atkarībā no pētījuma mērķa vai izmantotā rīka (vides un/vai ekonomiskā) būtiski noteikt pareizas aprēķina robežas jeb tvērumu. Salīdzinot, piemēram, stingru segu ar elastīgu segu, aprēķina robežas būtu jānosaka, iekļaujot arī izejmateriālu iegūšanas ceļa segas dzīves cikla posmu. Pretējā gadījumā ir augsts risks iegūt maldinošus rezultātus.

Ir rīki, kas aprēķinā ietver tikai dažus ceļa segas dzīves cikla posmus, piemēram, būvniecības un izmantošanas posmus, izejmateriālu ieguves un būvniecības posmus vai citus. Izmaksu aprēķinā atšķirībā no vides aprēķina gala cena precīzi atspoguļo materiāla vai tehnoloģijas pašizmaksu, kas ietver visas iepriekšējo darbību (transports, materiālu ražošana, būvniecība u. c.) vai atsevišķu komponentu (izejvielu) izmaksas.

2.4.4 PIENĒMUMU NOTEIKŠANA

Nekorektu pieņēmumu noteikšana aprēķinu vienkāršošanas nolūkos vai to nenorādīšana ir viena no tipiskākajām kļūdām *LCA* un *LCCA* aprēķinos. Pieņēmumu noteikšana ir kritisks priekšnosacījums korekta rezultāta iegūšanai. Pieņēmumi var būtiski atvieglot un vienkāršot aprēķinu, tādēļ ir svarīgi izvērtēt, vai konkrētajam pieņēmumam ir/nav nozīme galarezultāta iegūšanā. Turklāt visi veiktie pieņēmumi ir jānorāda, lai veiktais aprēķins ir izsekojams un saprotams ikvienam.

2.4.5 KALPOŠANAS LAIKA PROGNOZE

Materiālu, tehnoloģiju un/vai stratēģiju kalpošanas laika prognoze ir milzīgs izaicinājums jebkurai dzīves cikla analīzei. Piemēram, virskārtas, kas būs jāmaina pēc 10 vai 11 gadiem, ilgtspējas atšķirība veido 10 %. Tradicionāli kalpošanas laika prognoze tiek balstīta vēsturiskajos datos vai ekspertu viedokļos par izmantotajām tehnoloģijām. Jāatzīmē, ka ilgmūžību var ietekmēt daudzi faktori un šādas prognozes var būtiski atšķirties no reālā produkta, jau izbūvēta dzīvē. Papildus attīstoties arvien vairāk dažādām inovācijām (materiāliem un tehnoloģijām), šādu pieredzē balstītu prognozi vairs nav iespējams veikt. Tādēļ tieši kalpošanas laika prognoze ir lielākais izaicinājums ilgtspējas novērtēšanai.

3. PIEEJAMIE *LCA* UN *LCCA* RĪKI

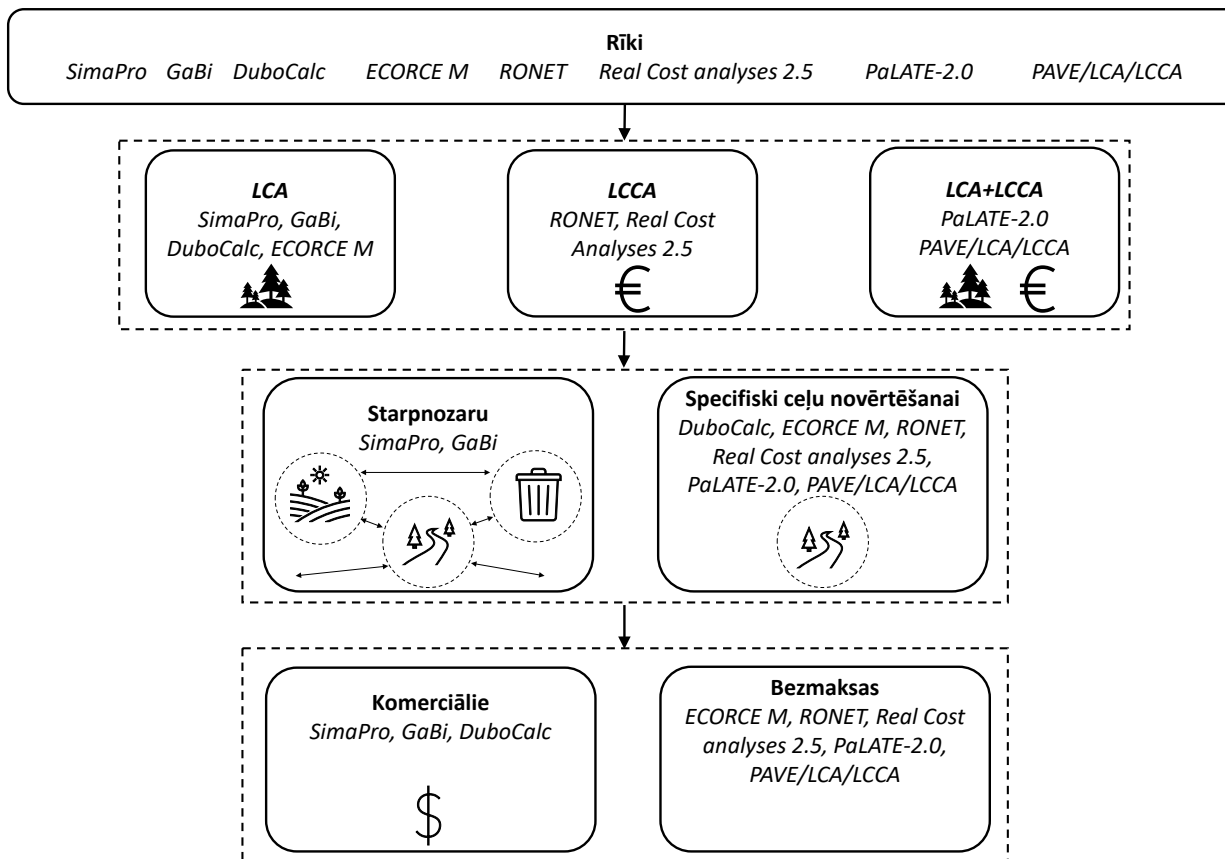
Mūsdienās ir pieejami dažādi rīki ceļa dzīves cikla ietekmes uz vidi un/vai izmaksu aprēķināšanai. Šos rīkus var iedalīt vairākās būtiskās kategorijās: (1) paredzēts vides un/vai izmaksu aprēķiniem; (2) starpnozaru vai specifiski ceļu nozarei; (3) komerciāls vai bezmaksas (3.1. att.). Rīku salīdzinājumā ir iekļauts arī autora izstrādātais rīks *PAVE/LCA/LCCA*.

Zināmākie *LCA* rīki ir *SimaPro*, *GaBi*, *DubuCalc* un *ECORCE M*. Pazīstamākie *LCCA* rīki ir *RONET* un *Real Cost analyses 2.5*. Šobrīd tikai *PaLATE-2.0* ir uzskatāms par tādu rīku, kas ir domāts gan vides, gan izmaksu aprēķināšanai. Rīks izstrādāts 2003. gadā Kalifornijas universitātē. Tā kā rīks ir izstrādāts ASV, tajā tiek izmantotas imperiālās mērvienības, kas ievērojami apgrūrina tā izmantošanu valstīs ar metrisko mērvienību sistēmu. Neskatoties uz to, rīka lietošana ir salīdzinoši vienkārša. Tomēr ar *PaLATE-2.0* nav iespējams modelēt autora izdomātu ceļa segas dzīves ciklu. Tajā ir iespējams iekļaut sākotnējās konstrukcijas un vienas atjaunošanas aprēķinus. Promocijas darba autora izstrādātais rīks *PAVE/LCA/LCCA* ir tikai otrais šāda veida rīks, kas iekļauj gan *LCA*, gan *LCCA* aprēķinus ar iespēju modelēt savu atjaunošanas un uzturēšanas plānu līdz pat septiņiem cikliem.

Būtisks rīku iedalījuma aspekts ir, vai tie paredzēti tieši ceļu nozarei vai ir starpnozaru. Tie, kas paredzēti ceļu nozarei, jau ir ar pielāgotu izkārtojumu veicamajiem darbiem, iespējami plašāku detalizācijas pakāpi dažādiem procesiem, kā arī tos ir salīdzinoši vieglāk apgūt. Autoram nav zināms neviens *LCCA* rīks, ko varētu izmantot dažādu nozaru dzīves cikla izmaksu aprēķināšanai. Potenciālais iemesls tam ir procesu definēšana un lokāla rakstura izmaksas materiāliem un darbiem. *LCCA* rīki ir iedalāmi ar mērķi aprēķināt ceļa īpašnieka izmaksas vai ceļa lietotāju izmaksas. *LCA* un *LCCA* rīki, kas izstrādāti tieši ceļu nozarei, ir *DubuCalc*, *ECORCE M*, *RONET*, *Real Cost analyses 2.5*, *PaLATE-2.0* un *PAVE/LCA/LCCA*. Lielākā priekšrocība šiem rīkiem ir to vienkāršība, kas ļauj salīdzinoši ātri izveidot analīzei nepieciešamo modeli. *LCA* rīki *SimaPro* un *GaBi* ir ar plašu lietošanas spektru. Ar šiem rīkiem ir iespējams veikt gan uz sistēmu attiecināmus, gan no sistēmas izrietošus *LCA* aprēķinus. Ar *SimaPro* un *GaBi* atšķirībā no citiem *LCA* rīkiem ir iespējams veikt detalizētāku *LCA*, jo tiem ir ievērojami plašākas datubāzes par dažādu cieto atkritumu vai blakusproduktu vides indikatoriem. Turklāt plašie un regulāri atjaunotie dati datubāzēs dod pārliecību par rezultātu pareizību.

Trešā kategorija – komerciāls vai pieejams bez maksas. No apskatītajiem rīkiem tikai *LCA* rīki ir komerciāli. Galvenais iemesls tam ir piesaistītās datubāzes. Rīku lietotājiem par samaksu tiek nodrošināta gan programma, gan dati.

Ņemot vērā to, ka materiāli un procesi *LCA* un *LCCA* daļēji pārklājas, abu analīžu ietveršanai vienā rīkā ir zināmas vairākas priekšrocības: (1) potenciāli mazāk laika nepieciešams, lai izveidotu aprēķinu; (2) informācija ir vienviet; (3) pārskatāmāka ietekmju izvērtēšana. Balstoties šajos apsvērumos un tajā, ka patlaban nozarē nav pieejams rīks, kas apvienoto *LCA* un *LCCA* ar iespēju izstrādāt vēlamu atjaunošanas stratēģiju, tika pieņemts lēmums izstrādāt tādu, kā arī darīt to brīvi pieejamu citiem pētniekiem un praktiķiem gan lietošanai, gan papildināšanai. Plašāk par rīku salīdzinājumu skatīt 3.1. tabulā.



3.1. att. Ilgtspējas parametru lietošanai izmantoto rīku iedalījums pa kategorijām.

Pārskats par dažādiem *LCA* un *LCCA* rīkiem

	<i>LCA</i> rīki				<i>LCCA</i> rīki		<i>LCA+LCCA</i> rīki	
	<i>SimaPro</i>	<i>GaBi</i>	<i>DuboCalc</i>	<i>ECORCE M</i>	<i>RONET</i>	<i>Real Cost analysis 2.5</i>	<i>PaLATE-2.0</i>	<i>PAVE/LCA/LCCA</i>
Izstrādātājs	<i>SimaPro</i>	<i>Sphera</i>	<i>Rijkwaterstaat</i>	<i>IFSTTAR</i>	<i>World Bank</i>	<i>Federal Highway Administration</i>	<i>Consortium on Green Design, University of California-Berkeley</i>	<i>Riga Technical University</i>
Gads	v 9.0 -2020	2021	2021	2014	2009	2017	2003	2021
Pieejamība	Komerציāls	Komerציāls	Komerציāls	Bezmaksas	Bezmaksas	Bezmaksas	Bezmaksas	Bezmaksas
Sarežģītība no 1 līdz 5	nz	nz	nz	2	3	3	2	3
Pilna dziļuma ceļa sega	+	+	+	+	+	+	+	+
Iespējamais tvērums	“No šūpuļa līdz šūpulim”	“No šūpuļa līdz šūpulim”	“No šūpuļa līdz šūpulim”	“No šūpuļa līdz kapam”	“No šūpuļa līdz kapam”	Nav precizēts	“No šūpuļa līdz kapam”	“No šūpuļa līdz šūpulim”
Atlikusī vērtība (<i>LCCA</i>)	-	-	-	-	-	-	-	+
Specifiski ceļu novērtēšanai	-	-	+	+	+	+	+	+
Datu avoti	Datubāze (<i>Ecoinvent</i>) u.c.	<i>GaBi</i> Klientu datu uzņēmumi un organizācijas (piem. <i>Ecoinvent</i>)	Pārvalda <i>Stichting Bouwkwaliiteit</i> . Galvenokārt, dati no Nīderlandes	Francijas nacionālā datubāze - http://ofrir2.ifsttar.fr/	-	Lietotājs	<i>EIO-LCA</i> modelis, <i>EPA AP-42</i> Iekārtu ražotāju publikācijas	Literatūra, datubāze (<i>Ecoinvent</i>), ražotāji, būvuzņēmēji
Vides indikatori	Daudzi	Daudzi	Daudzi	Daudzi	CO ₂	-	Enerģijas patēriņš, ūdens patēriņš, karbonsa dioksīda emisijas, NO _x emisijas, cieto daļiņu-10 emisijas, sēra dioksīda emisijas, oglekļa monoksīda emisijas	SEG, enerģijas patēriņš
Agentūras izmaksas (<i>LCCA</i>)	-	-	-	-	+	+	+	+

3.1. tabulas turpinājums

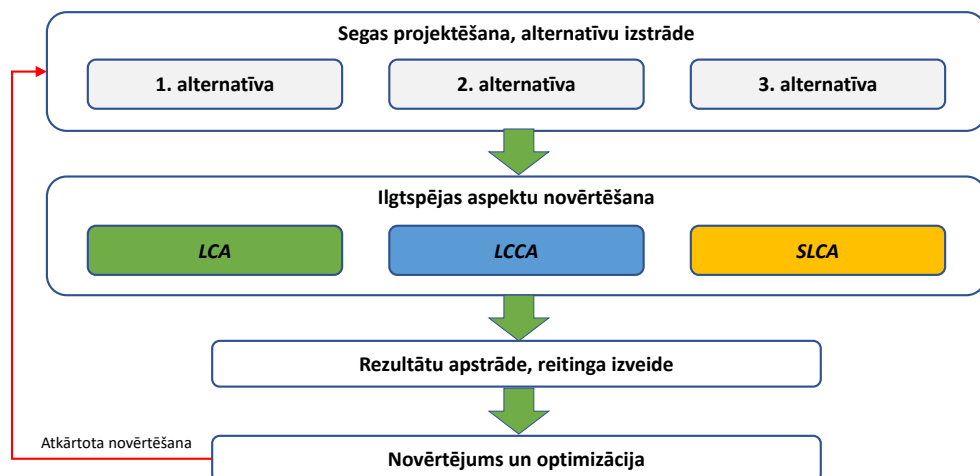
Lietotāju izmaksas	-	-	-	-	+	+	-	-
Ceļa lietotāju ietekme uz vidi	+	+	+	-	+	-	-	-
Determinētais aprēķins	+	+	+	+	+	+	+	+
Varbūtiskais aprēķins	+	+	-	-	-	+	-	+

nz - nav zināms

4. CEĻU BŪVNICĪBAS MATERIĀLU, TEHNOLOĢIJU UN STRATĒGIJU ILGTSPĒJAS NOVĒRTĒŠANAS METODIKAS IZSTRĀDE

4.1. Ilgtspējas novērtēšana

Atbilstoši pētījuma mērķim tika izstrādāts projekta alternatīvu novērtēšanas metodes ietvars, izmantojot dzīves cikla tehnikas (4.1 att.). Šis ietvars izmantojams gan pilnas pārbūves, gan vienkāršotas atjaunošanas pieejās. Ilgtspējīgas ceļa dizaina un atjaunošanas stratēģijas noteikšanas metodika iedalāma četros soļos: (1) segas projektēšana, alternatīvu izstrāde; (2) ilgtspējas aspektu novērtēšana, izmantojot dzīves cikla tehnikas – *LCA*, *LCCA*, *SLCA*; (3) rezultātu apstrāde, reitinga izveide; (4) rezultātu novērtējums un optimizācija. Par ilgtspējīgas ceļa dizaina un rehabilitācijas stratēģijas noteikšanas metodi plašāk aprakstīts nākamajās apakšnodaļās.

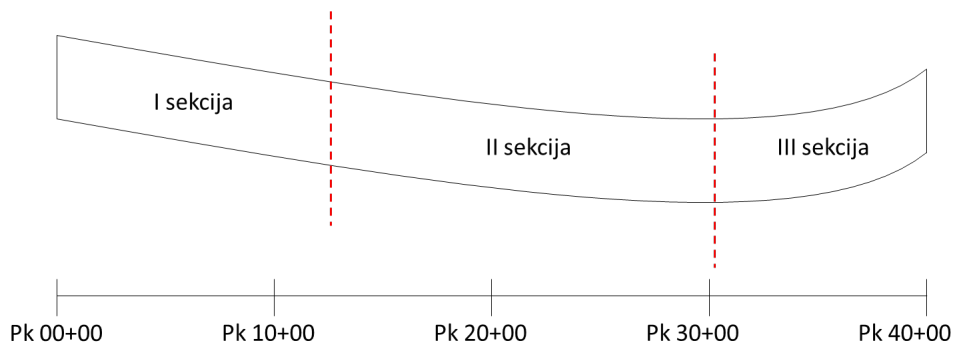


4.1. att. Projekta variantu ilgtspējas novērtēšanas princips.

4.1.1. SEGAS PROJEKTĒŠANA, ALTERNATĪVU IZSTRĀDE

Šī soļa galvenais mērķis ir izstrādāt vairākas (vismaz vienu) alternatīvas references scenārijam. Segas projektēšanu ir iespējams sākt tūlīt pēc nepieciešamo datu saņemšanas (pārbūves objektu gadījumā). Izpētes rezultātā iegūtie dati par grunts sastāvu, gruntsūdens līmeni, ceļa segā esošo materiālu īpašībām, ceļa segas viendabību, nestspēju vai citiem rādītājiem ir būtiski, lai izstrādātu aprēķinos balstītu ceļa segas piedāvājumu. Vienam un tam pašam satiksmes sastāvam, vides apstākļiem seguma konstrukcijas biežums atšķirsies atkarībā no izmantotajiem materiāliem vai tehnoloģijām. Gadījumos, kad ceļa segas pamatu kārtas jau ir ar labām īpašībām, tās iespējams atstāt un iekļaut seguma projekta izstrādē.

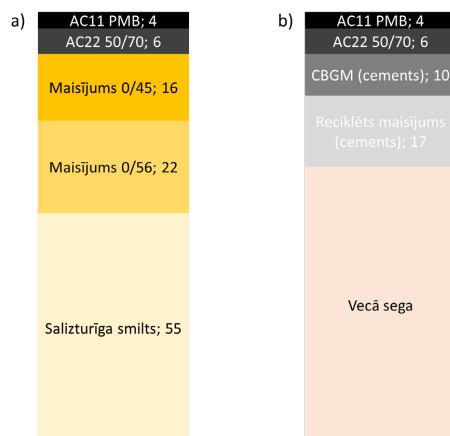
Atjaunošanai paredzētais ceļa posms var būt izteikti nevienmērīgs visā tā garumā (stāvoklis, konstruktīvo kārtu biezumi, grūntis), tādēļ var tikt izmantotas dažādas atjaunošanas metodes (pilna dziļuma rekonstrukcija, reciklēšana u. c. risinājumi) vai konstruktīvo kārtu biezumi. Tādos gadījumos ceļu nepieciešams sadalīt zīmīgās sekcijās (4.2. att.). Ieteikums tomēr izvairīties no pārmērīgi daudz sekciju izveides, kas var ievērojami apgrūtināt aprēķina veikšanu un ilgtspējīgākā risinājuma novērtēšanas procesu.



4.2. att. Ilustratīva ceļa projekta sadalīšana sekcijās, kurās ir izmantota vienāda tipa materiāli, konstruktīvo kārtu biezumi, un/vai izbūves tehnoloģijas.

Neatkarīgi no izvēlēta atjaunošanas risinājuma – pilna pārbūve, daļēja vecā seguma reciklēšana vai cita risinājuma – izstrādātajai ceļa segai jāizpilda izmantotās projektēšanas metodikas pārbaudes prognozētajai satiksmes intensitātei un sastāvam. Visticamāk, izmantotā metodika var neatbalstīt netradicionālu vai inovatīvu materiālu vai tehnoloģiju iekļaušanu aprēķinā. Tādos gadījumos materiālu vai tehnoloģiju iekļaušanu segas projektēšanā ieteicams pielīdzināt esošiem vai balstīt citā pieejā, piemēram, ņemot vērā laboratorijā iegūtos rezultātus. Laboratorijas rezultāti ir būtiski, lai pamatotu to, ka materiāls/tehnoloģija ir līdzvērtīgs vai labāks/sliktāks nekā tradicionāli izmantotais, iekļaujot to aprēķinā.

Veicot alternatīvu segas risinājumu izveidi, svarīgi ir nodrošināt to savstarpēji korektu salīdzināšanu. 4.3. attēlā redzamas ceļa segas konstrukcijas: a) pilnā pārbūve; b) vecās segas reciklēšana, jaunu kārtu izbūve atbilstoši VSIA “Latvijas Valsts ceļi” aprēķinu programmai. Abas konstrukcijas uzskatāmas par līdzvērtīgām. Elastības modulis uz virskārtas abām konstrukcijām ir 1 % robežās.

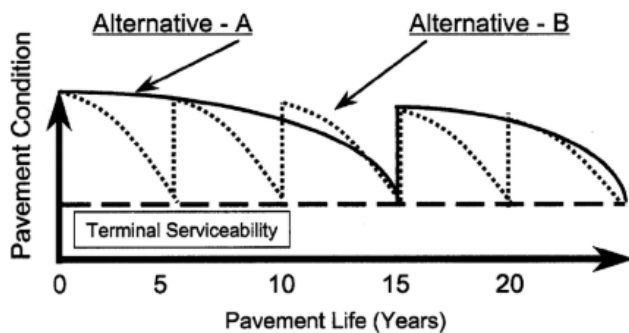


4.3. att. a) Ceļa segas pilna pārbūve; b) Vecās segas reciklēšana un jauna seguma izbūve.

Risinājumu ilgtspējas novērtēšana pēc būtības iedalāma divās daļās – sākotnējā konstrukcija un turpmākā ceļa uzturēšanas un atjaunošanas stratēģija. Atbilstoši plānotajiem uzturēšanas un atjaunošanas darbiem jāizvēlas piemērotākais analīzes perioda garums. Analīzes perioda garumam jābūt tādā, lai tā laikā varētu korekti novērtēt alternatīvu atšķirības. Ieteicamais analīzes perioda garums augsti noslogotiem ceļiem ir no 30 līdz 50 gadiem, vidējas noslodzes asfaltētiem ceļiem – no 20 līdz 30 gadiem, ceļiem ar grants segumu – no 10 līdz 20 gadiem [51]. Vienkāršotu atjaunošanas darbu gadījumā (virsmas apstrāde, *microsurfacing*, *fog seal* u. c.) dzīves cikla garums jābalsta izmantoto metožu kalpošanas laika pieredzē.

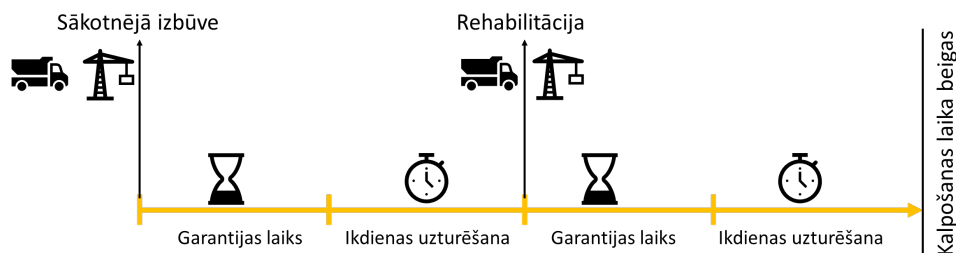
Atbilstoši analīzes perioda garumam tiek izstrādāta detalizēta uzturēšanas un atjaunošanas stratēģija katram no scenārijiem. Uzturēšanas un atjaunošanas stratēģijā jāiekļauj tādas aktivitātes kā garantijas periods, ikdienas uzturēšana, periodiskās uzturēšanas, rehabilitācijas vai citi darbi, kas ietekmē vidi, izmaksas vai sociālos faktorus. Izstrādātajai stratēģijai jābūt reālistiskai, tādēļ ieteicams to balstīt vēsturiskajos datos par dažādu tehnoloģiju vai materiālu kalpošanas laiku, literatūrā pieejamos datos, laboratorijas ekspluatācijas īpašību testēšanas rezultātos, ekspertu viedokļos vai to kombinācijās. Izmantojot citu valstu pieredzes datus, rūpīgi jāizvērtē, vai tie ir pielīdzināmi vietēji izmantotajām tehnoloģijām, materiāliem, klimatiskajiem apstākļiem un ģeoloģijai. Kalpošanas laika prognozei ir augsta ietekme uz rezultātiem.

4.4. attēlā parādītas divu dažādu rehabilitācijas stratēģiju veiktspējas līkņu prognozes. Piemēram, alternatīva A uzskatāma par tradicionālu rehabilitācijas stratēģiju ar retu, finansiāliem ieguldījumiem lielu un dārgu atjaunošanu. Turpretī alternatīva B paredz preventīvu, lētāku tehnoloģiju izmantošanu, lai pagarinātu konstrukcijas kalpošanas laiku. Pieejas ir diametrāli pretējas, neskatoties uz to, bez padziļinātas analīzes veikšanas un citu faktoru apzināšanas (satiksmes intensitāte, ģeogrāfiskais novietojums u.c. ietekmējoši faktori) nav iespējams apgalvot, ka viena vai otra stratēģija ir ilgtspējīgāka. Izrietosi, gan sākotnējai konstrukcijai, gan turpmākajām paredzētajām aktivitātēm ir liela ietekme, potenciāli ilgtspējīgākā risinājuma izvēlē.



4.4. att. Rehabilitācijas un uzturēšanas stratēģiju veikspējas līknes [51].

Vizualizēts kalendārā plāna piemērs no sākotnējās konstrukcijas izbūves līdz kalpošanas laika beigām redzams 4.5. attēlā. Pēc sākotnējās konstrukcijas izbūves seko garantijas laiks, kura ilgums ir atkarīgs no veikto darbu apmēra. Šajā laikā būvuzņēmējs novērš visus radušos defektus par saviem līdzekļiem. Pēc garantijas laika beigām izbūvētajam ceļam tiek veikta ikdienas uzturēšana, tas ir, plaisu un bedrīšu aizpildīšana jau par ceļa īpašnieka līdzekļiem. Pēc noteikta laika konstrukcijai ir nepieciešama atjaunošana, piemēram, virskārtas nomaiņa, kas iekļauj vecās kārtas frēzēšanu un jaunas kārtas ieklāšanu. Pēc seguma atjaunošanas atkal seko garantijas laiks, ikdienas uzturēšana. Tās beigās konkrētā aprēķina robežas noslēdzas, tiek pieņemts, ka iestājas ceļa kalpošanas laika beigas.



4.5. att. Vienkāršota kalendārā plāna vizualizācija.

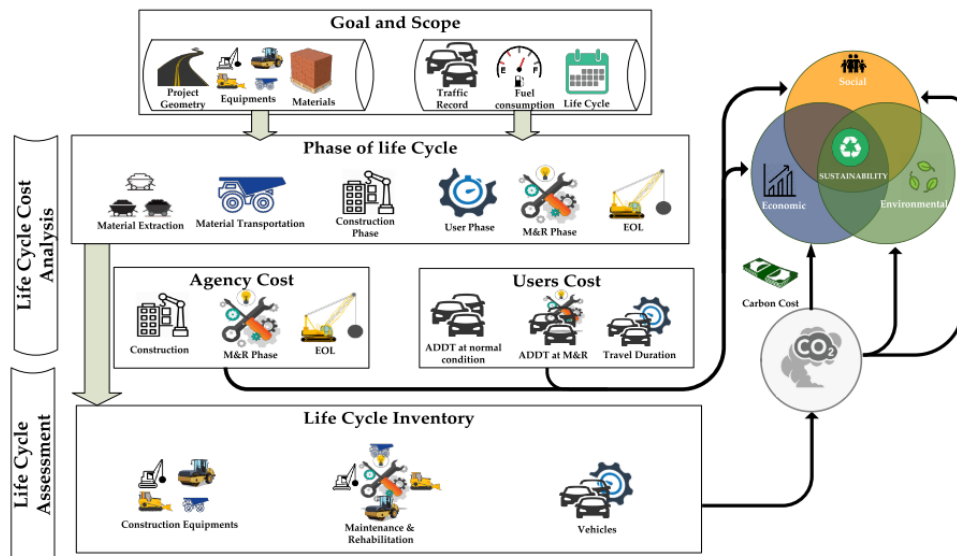
4.1.2. ILGTSPĒJAS ANALĪŽU VEIKŠANA

Pēc alternatīvu izstrādes visam aprēķina periodam analīze pāriet nākamajā fāzē, kas ir ilgtspējas faktoru novērtēšana, izmantojot dzīves cikla tehnikas. Par ilgtspējas galvenajām dimensijām tiek uzskatīta vide, ekonomika un sociālie aspekti (skat. 2. nodaļu). Atbilstoši šīm pamatnostādņēm tiek definēti ilgtspēju ietekmējošie faktori katrā no tām. Izvēloties piemērotu analīzi, iespējams katrā no šīm pamatnostādņēm veikt izvērtējumu. Tas darāms, izmantojot pašizstrādātu aprēķinu vai rīku/programmu vai izmantojot kādu bezmaksas vai komerciāli pieejamu rīku/programmu. Atkarībā no analīzes mērķa un aprēķina tvēruma tās veicējs izvēlas piemērotāko risinājumu. Veicot sava aprēķina izstrādi, būtiski pārliecināties par analīzes tvēruma piemērotību, izmantoto datu kvalitāti un veikto pieņēmumu pamatotību. Kā jau tika

norādīts 3. nodaļā, patlaban nav tāda viena rīka, kas varētu novērtēt alternatīvu ilgtspēju visās trīs dimensijās – vides, ekonomiskās, sociālās. Atsevišķi rīki, piemēram, *PaLATE 2.0* un *PAVE/LCA/LCCA* (autora izstrādātais rīks), novērtē daļu no ilgtspēju ietekmējošajiem lielumiem – vides un ekonomiskos faktorus.

Kā jau tika minēts 2.3.3 nodaļā, *SLCA* tikai tiek pētīta tās potenciālajai izmantošanai ceļu būvē risinājumu ilgtspējas novērtēšanai. Tādēļ patlaban šim nolūkam galvenokārt tiek izmantotas tieši *LCA* un *LCCA*. Vides un ekonomiskie lielumi netieši ietekmē arī sociālos faktorus. Visas šīs pamatnostādnes ir savstarpēji saistītas, no tā izriet, ka arī rezultāti divās no tām jau sniedz plašu informāciju par kopējo scenārija ilgtspēju.

Alaloul savā pētījumā izstrādāja integrētu *LCA* un *LCCA* sistēmu un tās ietekmi uz ilgtspēju (4.6. att.). Izstrādātais ietvars skaidri iezīmē, ka *LCA* un *LCCA* netieši ietekmē arī sociālos faktorus. Veicot pilnīgu *LCCA* novērtējumu, ir iespējams iegūt gan ceļa īpašnieka, gan ceļa lietotāju izmaksas. Kā vienas, tā otras izmaksas tieši vai netieši ietekmē sabiedrību. Līdzīgi arī ar *LCA* rezultātiem – sabiedrības galvenā interese ir dzīvot iespējami “zaļākā” vidē, ko nodrošina alternatīva ar vismazāko ietekmi uz vidi un sabiedrības veselību.



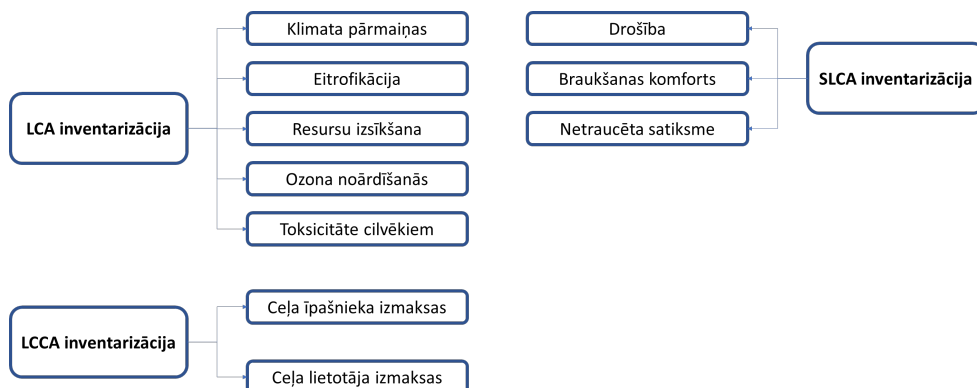
4.6. att. Integrēta *LCA* un *LCCA* sistēma un tās ietekme uz ilgtspēju [60].

Būtiski, lai definētās aprēķina robežas ir viennozīmīgas un piemērotas konkrēto alternatīvu izvērtēšanai. Tas ir īpaši svarīgi *LCA* veikšanai, kur saskaņā ar materiāliem, izmantotajām tehnoloģijām vai stratēģijām, ir jāpielāgo analīzes veikšanas mērogs. Piemēram, veicot dažādu asfalta virskārtu salīdzinājumu, iestrādes process var nebūtiski atšķirties un tikt pieņemts kā vienāds, galveno uzsvāru liekot uz citu procesu iekļaušanu analīzē.

Pieņemumu noteikšana ir būtiska sastāvdaļa ilgtspējas parametru novērtēšanā, kas tiek izmantoti, lai vienkāršotu aprēķinu vai arī izslēgtu nezināmo vai grūti izmērāmu/nosakāmu informāciju no tās. Svarīgi, lai visi izdarītie pieņēmumi ir uzskaitīti.

4.1.3. REZULTĀTU APSTRĀDE, RANGA IZVEIDE

Iegūtie rezultāti no analīžu inventarizācijas veikšanas tiek apstrādāti, sagrupēti. Rezultātu apstrāde ir atšķirīga determinētās un/vai varbūtiskās analīzes izmantošanas gadījumā. Atkarībā no izvirzītā mērķa tiek paturēti tikai tie indikatori, kas tam atbilst. Rezultāti tiek piešķirti izvēlētajām ietekmes kategorijām. Piemēram, no *LCA* inventarizācijas analīzes rezultāti var tikt izdalīti par tādām ietekmes kategorijām kā klimata pārmaiņas, eitrofikācija, resursu izsīkšana, ozona noārdīšanās u.c. Savukārt no *LCCA* inventarizācijas rezultāti var tikt iedalīti, piemēram, ceļa īpašnieka izmaksās un ceļa lietotāju izmaksās. *SLCA* gadījumā var tikt izmantotas tādas kategorijas kā drošība, braukšanas komforts, netraucēta satiksme u.c. (4.7. att.).



4.7. att. Ilgtspējas aspektu izvērtēšanas ietekmju kategoriju piemēri.

To, kāds ir katras kategorijas “svars” jeb nozīmīgums, lēmuma pieņemšanā ir izšķirīgs. To var balstīt, piemēram, izmantojot aptaujas rezultātus, kurā ekspertiem, inženieriem, un/vai citām grupām ir jāatbild uz noteiktiem jautājumiem, tajā skaitā par kategoriju svarīgumu.

4.1. tabulā redzams izsvērts ietekmju kategoriju nozīmīgumu piemērs no *DurabRoad* pētījuma [61]. Šajā pētījumā atšķirībā no ierastās prakses, kurā ilgtspēja tiek iedalīta trīs pamatnostādņēs (vides, ekonomiskā un sociālā), tā ir iedalīta četrās – vides, ekonomiskā, sociālā un tehniskā. Neatkarīgi no tā, katras pamatnostādnes ietekme tālāk tiek iedalīta detalizētākos kritērijos un rādītājos. Kā redzams, tad *DurabRoad* pētījumā tehniskajai kategorijai lēmuma pieņemšanā ir tikuši piešķirta vislielākā ietekme.

4.1. tabula

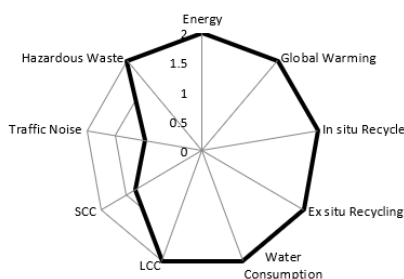
Kategoriju, kritēriju un rādītāju ietekme asfalta virskārtas izvēlē [61]

Pamatnostādne	W_R	Kritērijs	w_c	Rādītājs	W_I
Ekonomiskā	0,199	Izmaksas	0,561	Sākotnējie ieguldījumi	0,320
		Elastīgums	0,439	Dzīves cikla izmaksas	0,677
Vides	0,264	Resursu efektivitāte	0,432	Minerālmateriālu izmantošana	0,332
				Bitumenu izmantošana	0,668
		Patēriņš	0,265	Enerģijas patēriņš	1,000
		Emisijas	0,303	CO ₂ emisijas	1,000

4.1. tabulas turpinājums

Sociālā	0,192	Komforts	0,181	Kavēšanās un sastrēgumi	1,000
		Drošība	0,819	Darba risks	1,000
Tehniskā	0,345	Mehāniskā pretestība	1,000	Pretestība pret sadalīšanos	0,476
				Izturība pret deformācijām	0,524

4.8. attēlā redzams ilgtspējas novērtējums, izmantojot rīku BE2ST-in-Highways™. Šajā konkrētajā novērtējumā tiek izmantotas 9 kategorijas ilgtspējīgākā risinājuma izvērtēšanai. Katras kategorijas vērtība ir 2 punkti un to svars kopējā rezultāta iegūšanā ir identisks. Tā, piemēram, 2 punkti enerģijas kategorijā tiek piešķirti, ja alternatīvas enerģijas patēriņš ir vismaz par 20 % zemāks, nekā references scenārijā. Līdzīgi arī citās kategorijās.



4.8. att. Ilgtspējas novērtējums alternatīvai stratēģijai, izmantojot BE2ST-in-Highways™ rīku.

4.1.4. NOVĒRTĒJUMS UN OPTIMIZĀCIJA

Pēc reitinga izveides tiek secināts par ilgtspējas analīzes rezultātiem un lemts par to, vai potenciāli ilgtspējīgākais risinājums ir saskaņā ar analīzes mērķi vai citiem nosacījumiem. Ja tas tā nav, tad analīzes veicējam jāatgriežas pirmajā solī – segas projektēšana, alternatīvu izstrāde. Tādējādi ilgtspējīgākā risinājuma izstrāde un meklēšana jāsāk no jauna.

4.2. Ieviešana iepirkuma procedūrā

Lai varētu īstenot ilgtspējīgas attīstības politiku ceļu administrācijas izbūves, rehabilitācijas un uzturēšanas stratēģijās, novērtējumam jābūt iekļautam tās iepirkuma sistēmā. Caur iepirkumiem ceļu administrācijas veic pasākumus ceļu tīkla atjaunošanas un uzturēšanas darbiem. Tradicionāli izmantotā iepirkuma sistēma ir Projektēšana/iepirkums/būvniecība. Šādas iepirkuma sistēmas galvenais trūkums ir tas, ka darbu izpilde ir secīga, tādējādi līdz gala rezultātam – projekta realizācijai – pāiet salīdzinoši ilgs laiks. Turpretī iepirkuma sistēma Projektēšana/būvniecība paātrina projekta ieviešanu un veicina sadarbību starp projektētāju un būvuzņēmēju labākā iespējamā rezultāta sasniegšanā, un rada iespēju plašāk izmantot dažādas inovācijas. Nākamajās apakšnodalās plašāk aprakstīts autora redzējums, kā iekļaut ilgtspējas parametru novērtēšanu katrā no iepirkuma sistēmas veidiem.

4.2.1. IEPIRKUMA SISTĒMA - PROJEKTĒŠANA/IEPIRKUMS/BŪVNIECĪBA

Ilgspējas parametru izvērtēšanas iekļaušana tradicionālajā iepirkuma procesā redzama 4.9. attēlā. Pie šādas iepirkuma sistēmas ilgspējas parametrus ietekmē gan projektā izvēlētie tehniskie risinājumi, gan būvuzņēmēja izbūves piedāvājums. Viss sākas ar pasūtītāja ideju veikt ceļa atjaunošanu. No pieejamiem datiem ceļa pārvaldītājs izvērtē, vai objekts klasificējas pārbūvei, vai iespējama tā vienkāršota atjaunošana, sastādot darba daudzumu sarakstu (DDS) (VSIA "Latvijas Valsts ceļi" prakse). Vienkāršotas atjaunošanas gadījumā, tehnoloģijas izvēle ir jāpamato, veicot ilgspējas novērtēšanu un izvēloties labāko no variantiem.

Ja nepieciešama pilna pārbūve, tad tiek izsludināts iepirkums būvprojekta izstrādei. Izvēlētajam komersantam saskaņā ar pieejamajiem datiem jāveic projektēšanas darbi, kuru beigās tiek veikts izstrādāto alternatīvu salīdzinājums. Izvēlētajām alternatīvām tiek izveidots datos balstīts kalendārais plāns vismaz 35 gadu periodam. Papildus aprēķinā iespējams iekļaut ceļa lietotāju ietekmējošus faktorus būvniecības laikā – pieaugošas braukšanas izmaksas, ilgāks pavadītais laiks ceļā, vairāk patērēta degviela u.c. Atbilstoši pasūtītāja izvērtēšanas kritērijiem (katra faktora ietekmes nozīmīgums), tiek izvēlēta ilgspējīgākā no alternatīvām.

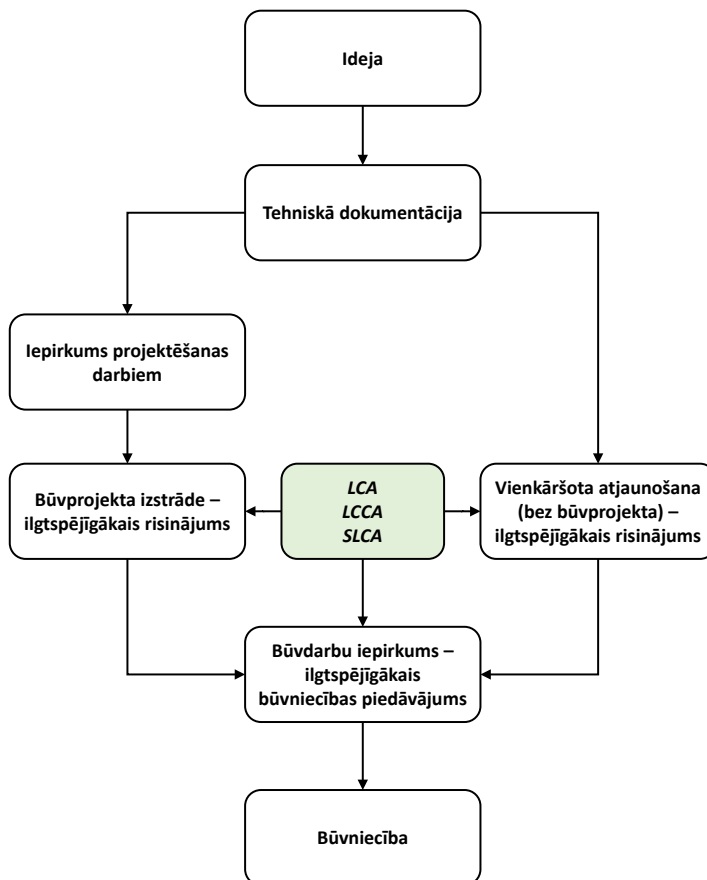
Pēc projekta varianta apstiprināšanas seko iepirkuma procedūra, kurā būvuzņēmēji iesniedz savu piedāvājumu konkrētā objekta izbūvēšanai. Šis piedāvājums var iekļaut jau veiktu konkrēta būvuzņēmēja ilgspējas izvērtējumu savam piedāvājumam vai arī tikai konkrētu pasūtītāja prasītu informāciju, kā piemēram –

1. Transporta klase, kuru plānots izmantot materiālu transportēšanai, to iestrādei, demontāžai;
2. Materiālu avoti un to attālums līdz būvobjektam;
3. Reciklēta un atkārtoti pārstrādāta materiāla izmantošanas daudzums un to attālums līdz būvobjektam;
4. Plānoto videi draudzīgo tehnoloģiju izmantošana (siltais asfalts, lignīns, biodegviela, u.c.);
5. Cenas piedāvājums;
6. Izbūves laiks.

1.-4. punktā prasīto ar vides aspektiem saistīto informāciju var arī prasīt jau apvienotā vides produkta deklarācijas (VPD) izskatā. Tādā veidā būvuzņēmējiem, piesaistot kvalificētu komersantu, ir jāizstrādā sava ražotā vai iestrādātā produkta VPD, kas pasūtītājam dod informāciju par konkrētā būvuzņēmēja radīto ietekmi uz vidi (CO₂ ekv., enerģijas patēriņš u.c. rādītāji), veicot konkrētu darbu.

Atbilstoši iegūtās informācijas veidam, pasūtītājs veic tās apstrādi un salīdzina iesniegto piedāvājumu rādītājus (izmaksas, ietekmi uz vidi, sociālos faktorus), un izvēlas ilgspējīgāko variantu.

Visbeidzot seko arī būvniecības darbi, kuros pasūtītāja pārstāvji seko līdzīgi projekta izpildei atbilstoši iesniegtajam piedāvājumam.



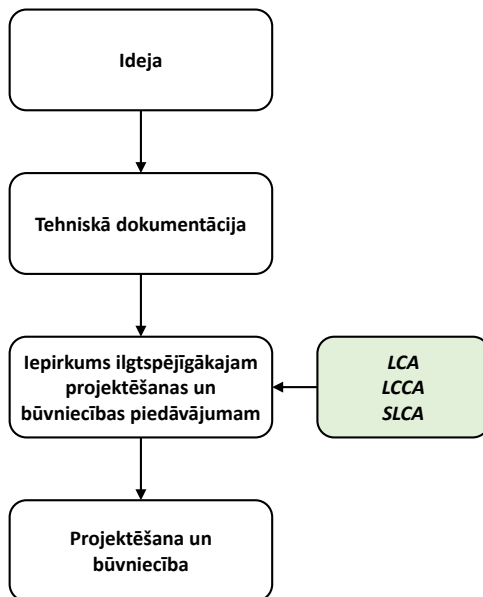
4.9. att. Ilgtspējīgākās ceļa konstrukcijas izvēles ietvars tradicionālajai projektu ieviešanas sistēmai – Projektēšana/iepirkums/būvniecība.

4.2.2. IEPIRKUMA SISTĒMA – PROJEKTĒŠANA/BŪVNICĪBA

Iepirkuma sistēma Projektēšana/būvniecība no Projektēšana/iepirkums/būvniecība atšķiras ar to, ka ir tikai viens iepirkums, kas apvieno projektēšanas un būvniecības darbus. Tādējādi mainās arī ilgtspējas izvērtējums (4.10. att.). To nav nepieciešams sadalīt divos posmos. Tādā veidā tiek iegūts kopīgs projektētāja un būvnieka ceļa atjaunošanas piedāvājums. Šāda iepirkuma sistēma paver plašākas iespējas ilgtspējīgu inovāciju ienākšanai nozarē, jo starp projektētāju un būvnieku notiek aktīvs darbs labākā iespējamā piedāvājuma izstrādei. Atbilstoši pasūtītāja izstrādātajiem kritērijiem projektētājs-būvnieks iesniedz ilgtspējas izvērtējuma analīzi vienam vai vairākiem atjaunošanas variantiem (pilna rekonstrukcija, pastiprināšana, ģeokompozītu izmantošana utt.).

Pēc piedāvājuma saņemšanas pasūtītājs izvērtē iesniegto piedāvājumu atbilstību un risinājumu piemērotību, veic ilgtspējas parametru izvērtēšanu (to var lūgt darīt arī pretendentam, ja ir sagatave tās novērtēšanai) un izvēlas iepirkuma uzvarētāju.

Pēc lēmuma pieņemšanas norit tehniskā projekta izstrāde un, ja iespējams, tad paralēli jau tiek veikti būvniecības darbi, kas dod iespēju paātrināt procesu no idejas līdz ceļa nodošanai ekspluatācijā.



4.10. att. Ilgtspējīgākās ceļa konstrukcijas izvēles ietvars projektu ieviešanas sistēmai – Projektēšana/būvniecība.

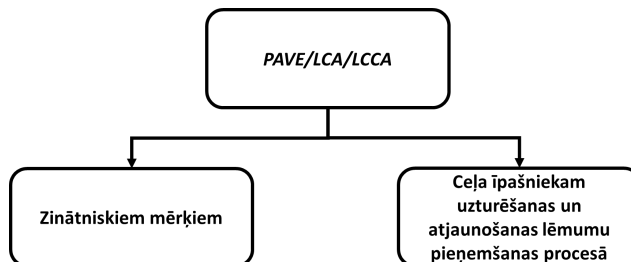
5. RĪKS PAVE/LCA/LCCA

Lai varētu veikt ilgtspējas novērtēšanu dažādiem materiāliem, tehnoloģijām vai stratēģijām saskaņā ar metodiku, tika izstrādāts rīks *PAVE/LCA/LCCA*. Ar to iespējams novērtēt vides (CO_2 ekv., patērēto enerģiju) un ekonomiskos (ceļa īpašnieka izmaksas) parametrus izstrādātajam scenārijam. Rīks tika izstrādāts *MS Office* programmā *Excel*, papildinot ar *Visual Basic* kodu. Rīks tika izstrādāts ar mērķi, lai to var piemērot gan pilnas pārbūves objektiem, gan vienkāršotas atjaunošanas objektiem. Izstrādātajam rīkam tika piešķirts nosaukums – *PAVE/LCA/LCCA*. Nosaukumā ir iestrādāts paredzamais lietojums, *PAVE* ir saīsinājums no vārda *PAVEMENT* (ceļa sega), *LCA* un *LCCA* apzīmē ilgtspējas aspektu novērtēšanas analīzes, proti, vides un ekonomisko faktoru novērtēšanai. Rīks izstrādāts angļu valodā.

Rīks *PAVE/LCA/LCCA* ir pieejams visiem interesentiem noteiktu laika periodu <https://drive.google.com/drive/folders/1dhiyB1wVqaGzuybQrc83dihoi4oKKNY?usp=sharing>.

5.1. Potenciālais lietojums

Potenciālais lietojums izstrādātajam rīkam ir tā lietošana zinātniskiem mērķiem un ceļa īpašniekam lēmuma pieņemšanas procesā, veicot ilgtspējas analīzi dažādām alternatīvām (5.1. att.). Izveidotais rīks nav aizsargāts, lai aprēķina veicējs vajadzības gadījumā var veikt korekcijas, papildināt materiālu sadaļu, mainīt iekārtu produktivitāti, degvielas patēriņu, pielāgot to analīzes veikšanai. Tādējādi tiek dota iespēja turpināt attīstīt un pilnveidot rīku.



5.1. att. Rīka *PAVE/LCA/LCCA* potenciālais pielietojums.

Bez papildu aprēķinu veikšanas ar rīku *PAVE/LCA/LCCA* ir iespējams veikt izvērtēšanu sekojošām ietekmēm:

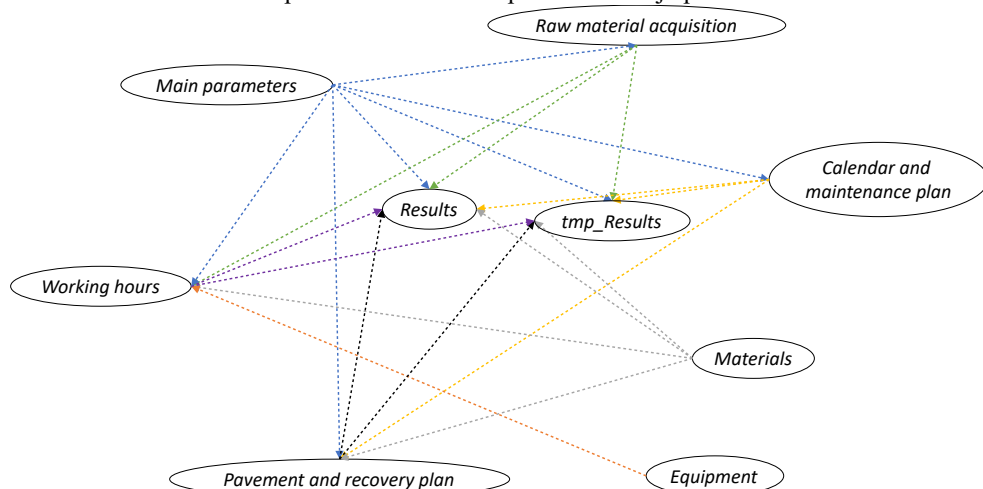
- transportēšanas distanču ietekme;
- reciklētā asfalta (RA) un reciklētās ceļa segas (RAP) ietekme;
- bitumena, cementa, vieglo pelnu saturs izmaiņu ietekme;
- vietējo un importēto materiālu ietekme;
- konstruktīvo kārtu biezumu, asfalta tipu un atjaunošanas stratēģiju;
- diskonta likmes ietekme uz dzīves cikla izmaksām;
- izmantotā degvielas tipa ietekme;
- tehnikas vienību (produktivitātes, degvielas patēriņa) ietekme.

Lai izvērtētu specifisku, piemēram, ar gumiju modificēta asfalta ietekmi uz vidi un izmaksām, ir jāveic papildu aprēķini. Ar gumiju modificēta asfalta izmantošanas gadījumā būtiska ietekme ir bitumena modificēšanas procesam, līdzīgi arī citu modificēšanas procesu gadījumā. Esošā rīka versijā šāds process nav iekļauts, tādēļ šāda procesa aprēķins, ja ir nepieciešams, jāveic manuāli un vēlāk jāiekļauj rīka rezultātu sadaļā gala rezultāta iegūšanai.

5.2. Rīka struktūra

Aprēķina veikšanai kopumā tika izveidotas deviņas izklājlapas. Visas minētās izklājlapas ir savstarpēji saistītas (5.2. att.).

Šī sasaiste ir attēlota ar dažādas krāsas raustītām līnijām. Piemēram, *Main parameters* izklājlapā ir dati vēl sešām citām izklājlapām. Šāda sasaiste nodrošina efektīvu rīka darbību un izslēdz datu dublēšanas nepieciešamību. Plašāk par katru izklājlapu zemāk.



5.2. att. Rīkā izmantotās izklājlapas un to savstarpējā sasaiste.

- *Main parameters*. Tiek ievadīta informācija par projektu (lokācija, piketāža u.c.), konstrukciju (garums, platums u.c.), satiksmes intensitāti, aprēķina analīzes garumu, ekonomiskajiem lielumiem (degvielas cena, darbspēka izmaksas u.c.) (5.3. att.).

1. Project details	
State Route	P5
Project Name	Tīnūži-Ogre
Region	Ogres novads
Country	Latvia
Analyst	Riekstins
Mileposts Begin	111:10
Mileposts End	116:20
Number of pavement alternatives	5

5.3. att. Piemērs no *Main parameters* izklājlapas.

- *Raw material acquisition.* Tiek ievadīta informācija par dažādu materiālu, šķembu, bitumena, bitumena emulsijas un citu materiālu CO₂ ekv. un enerģijas vērtībām (5.4. att.). Izejmateriāli var būt vietējas izcelsmes vai importēti. Materiālus iespējams piegādāt no dažādām valstīm, piemēram, Zviedrija, Norvēģija, Polija. Lietotājs atbilstoši izmantotajiem materiāliem un pieejamajai informācijai var mainīt materiālu izcelsmes valstis un CO₂ ekv., un enerģijas vērtības. Materiālu ietekme uz SEG un patērētā enerģija nokļūšanai objektā var būtiski atšķirties pat pie nemainīgām izmaksām.

Material	Route	Description	Crude oil extraction	
			CO ₂ e, kg/t	Energy, MJ/t
Bitumen	Land route 1	From Lithuania	146.3	45094.1
	Land route 2	From Russia/Belarus	146.3	45094.1
	Land route 3	From Poland	146.3	45094.1
	Sea route 1	From Sweden	146.3	45094.1
	Sea route 2	From Norway	146.3	45094.1
	Sea route 3	From other countries	146.3	45094.1

5.4. att. Piemērs no *Raw material acquisition* izklājlapas.

- *Calendar and maintenance plan.* Tiek definēts projekta sākums, garantijas un uzturēšanas periods, rekonstrukcija un aprēķina beigas (5.5. att.). Izstrādātā kalendārā plāna informācija tiek ievadīta šajā sadaļā ar soli viens gads. Visi procesi prasa vismaz vienu gadu, tajā skaitā sākotnējā izbūve un atjaunošana. Tas darīts aprēķina vienkāršošanas nolūkos.

Type of wearing course	AC				
Year	Reconstruction plan	Acronym of mayor	Mean process plan	Maintenance cost plan	Net present value for mean scenario
0	2019	IC	Initial construction	0	0
1	2020		Warranty	0	0
2	2021		Warranty	0	0
3	2022		Warranty	0	0
4	2023		Warranty	0	0
5	2024		Warranty	0	0
6	2025		Maintenance	3000	2371
7	2026		Maintenance	3000	2280
8	2027		Maintenance	3000	2192
9	2028		Maintenance	3000	2108
10	2029	1R	Surface Relaying (SR)	0	0

5.5. att. Piemērs no *Calendar and maintenance plan* izklājlapas.

- *Materials.* Tiek ievadīta detalizēta informācija par materiāliem – asfaltu, ar cementu un/vai ar bitumenu saistītiem maisījumiem pamata kārtās, šķembām, smiltīm u.c. (skat. 5.6. att.). Lai korekti novērtētu ceļa segas ilgtspēju, par katru izmantoto materiālu ir nepieciešama detalizēta informācija (piemēram, par asfaltu – bitumena saturs, minerālmateriālu saturs, reciklētā asfalta u.c. komponentu saturs maisījumā). Tāpat svarīgas ir arī maisījuma tilpuma īpašības. Papildus jāievada arī viena asfalta tonnas materiāla izmaksas. Šajās izmaksās nav jāiekļauj asfalta transportēšana un iestrāde objektā, tikai saražotā produkta izmaksas.

Wearing course	SMA8	Dolomite	89.20	100.00	4.00	-	2.50	3.50	PG 50/70	6.80
	SMA11	Granite	89.80	100.00	4.00	-	2.50	3.50	PG 50/70	6.20
	SMA+RAP	Dolomite	90.20	60.20	4.00	-	2.50	3.50	PG 50/70	5.80
	AC8	Dolomite	90.40	100.00	4.00	-	2.50	4.00	PG 50/70	5.60
	AC11	Granite	90.80	100.00	4.00	-	2.50	3.00	PG 50/70	5.20
	AC+RAP	Dolomite	90.80	60.80	4.00	-	2.50	3.00	PG 50/70	5.20
	BBTМ8	Dolomite	91.00	100.00	4.00	-	2.50	5.00	PG 50/70	5.00
	BBTМ11	Granite	91.00	100.00	4.00	-	2.50	5.00	PG 50/70	5.00
	BBTМ+RAP	Dolomite	91.00	61.00	4.00	-	2.50	5.00	PG 50/70	5.00
	PA11	Dolomite	91.00	100.00	4.00	-	2.50	10.00	PG 50/70	5.00
	AC16	Dolomite	90.80	100.00	4.00	-	2.50	5.00	PG 50/70	5.20
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

5.6. att. Piemērs no *Materials* izklājlapas.

- *Equipment*. Tiek ievadīta informācija par tehnikas vienībām (5.7. att.). Izmantotajām tehnikas vienībām, pieņemot, ka operatoram nav ietekmes, mainās potenciālā produktivitāte, degvielas patēriņš. Šajā sadaļā ir norādīti dažādu tehnikas vienību tipi. Katram no tiem ir iespējams norādīt arī vairākus ražotājus/modeļus. Produktivitāte tiek norādīta kā spēja pārvest, sagatavot, iestrādāt, nofrēzēt noteiktu materiāla daudzumu stundā (t/h). Tāpat šajā sadaļā tiek norādīta informācija par tehnikas vienību degvielas tipu (benzīns, dīzelis, dabasgāze) un patēriņu (l/h, m³/h). Piemēram, veicot asfalta ražošanu rūpnīcā, tiek patērēta kā degviela, tā elektrība. Līdz šim kā galvenais degvielas veids Latvijā strādājošajās asfalta rūpnīcās izmantota dabasgāze. Pārējās iekārtas, kas transportē materiālus vai veic darbības objektos, tradicionāli nozarē ir ar dīzeļmotoriem. Neatkarīgi no tā visu iekārtu izmantotās degvielas tipus ir iespējams mainīt vai papildināt ar citiem. Šī sadaļa ir kā bibliotēka *Working hours* sadaļai.

Type of machine	Model	Brand/Model (notes)	Speed, km/h	Power/productivity/capacity	Unit of measure (notes)
Tipper truck	Tipper truck 1 (for base layers)	Mercedes BENZ	-	20.0	t
	Tipper truck 2 (for bound material)	-	-	20.0	t
	Tipper truck 3 (milling)	-	-	20.0	t
	Tipper truck 4 (excavation)	-	-	20.0	t
	Tipper truck 5	-	-	?	t

5.7. att. Piemērs no *Equipment* izklājlapas.

- *Pavement and recovery plan*. Tiek ievadīta detalizēta informācija par sākotnējo ceļa segas konstrukciju un ceļa segu pēc plānotajām atjaunošanas aktivitātēm (5.8. att.). Šajā sadaļā tiek norādītas sākotnējās un nākotnes konstrukcijas materiālu tipi, tehnoloģijas, segas biezumi. Tāpat tiek ietverta arī informācija par demontāžas darbiem un to apmēriem. Blakus ievadinformācijai, balstoties uz ievadīto informāciju, ir iespējams redzēt arī vizualizētu ceļa segu.

IR	Year	10							
Layer	Type of material and fraction	Thickness before reconstruction, m	Milling	Volume of milled material, t	Excavation of old material	Volume of unbound material, t	Construction of the layer	Road pavement after repairs	Thickness after construction, m
Overlay	-	0.00	No	0.0	-	-	No	-	0.00
Wearing course	AC11	0.04	Yes	731.4	-	-	Yes	AC11	0.04
Binder course	-	0.00	No	0.0	-	-	No	-	0.00
Base course	AC22	0.06	No	0.0	-	-	No	AC22	0.06
Upper road base	CBGM1	0.10	-	-	No	0.0	No	CBGM1	0.10
Lower road base	Recycled old pavement1	0.17	-	-	No	0.0	No	Recycled old pavement1	0.17
Upper subbase	-	0.00	-	-	No	0.0	No	-	0.00
Lower subbase	-	0.00	-	-	No	0.0	No	-	0.00
Subgrade	Medium coarse sand	-	-	-	No	-	-	Medium coarse sand	-

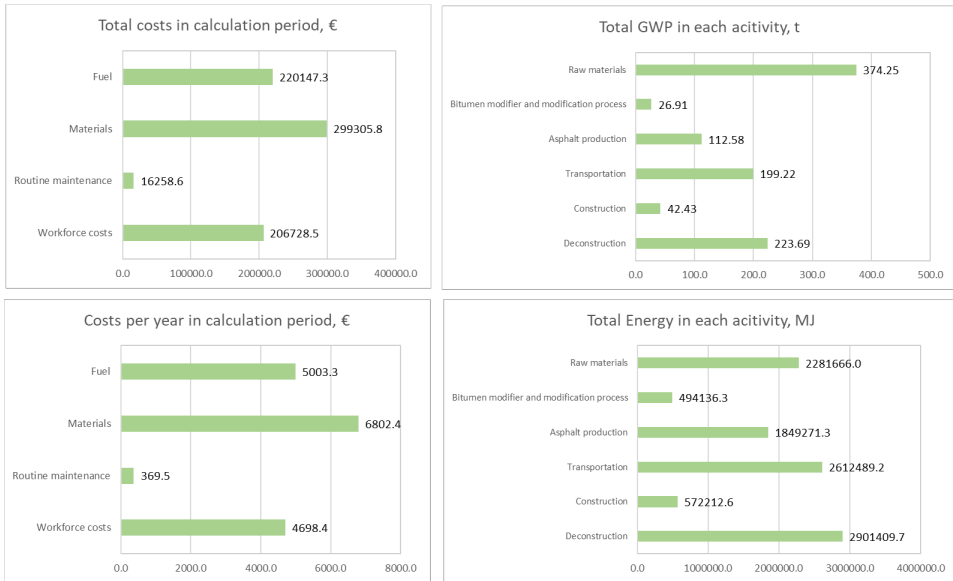
5.8. att. Piemērs no *Pavement and recovery plan* izklājlapas.

- *Working hours.* Šo izklājlapu iespējams iedalīt trīs daļās – (1) izejmateriālu avotu definēšana un materiālu apjomi pa rehabilitācijas etapiem, (2) tehnikas vienību specificēšana konkrētas kārtas izbūvei, (3) nepieciešamo stundu skaits materiālu ražošanai un iestrādei pie noteikta tehnikas vienību skaita (5.9. att.). Šajā sadaļā jau parādās pirmie rezultāti par potenciālo ietekmi uz vidi, kopējām darba stundām, materiālu apjomiem.

Layer	Equipment	Fuel type	Fuel consumption l/hr	Units in situ	IC	
					Hours per equipment type	Fuel costs, €
Chip seal Overlay	Emulsion sprayer	Diesel	50	1	0	0
	Dispenser	Diesel	30	1	0	0
	Pneumatic tyred roller	Diesel	8	1	0	0
	Smooth wheeled roller	Diesel	8	1	0	0
	Combination roller	Diesel	8	1	0	0
	Tipper truck	Diesel	20	3	0	0
	Semi-trailer tipper	Diesel	30	0	0	0

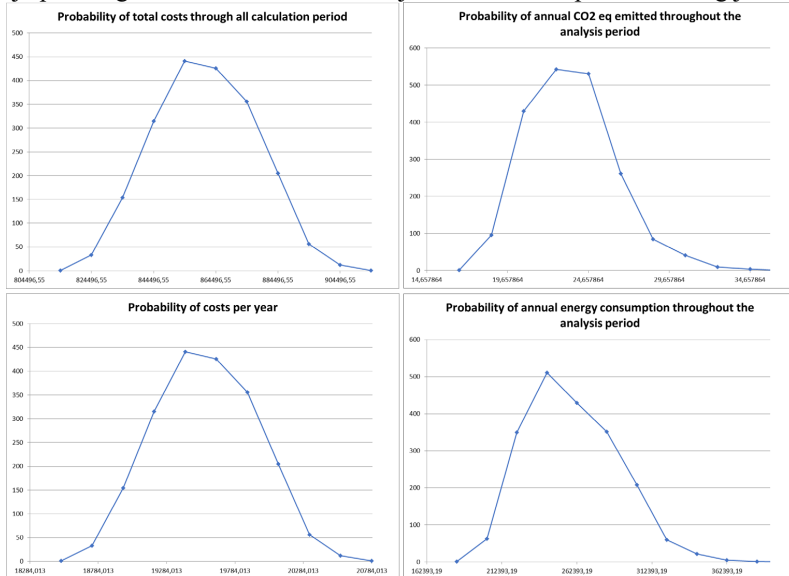
5.9. att. Piemērs no *Working hours* izklājlapas.

- *Results.* Šajā izklājlapā ir rezultāti, sagrupēti pa ceļa segas konstruktīvajām kārtām (5.10. att.). Katrā no konstruktīvajām kārtām ir informācija par komponentu saturu, CO₂ ekv., enerģijas patēriņu un izmaksām. Tāpat ir papildu informācija par kopējām darba stundām un patērēto degvielu, kas nepieciešama kārtas izbūvei. Informācija par konstrukciju ir apkopota, to sadalot pa atsevišķiem atjaunošanas posmiem (sākotnējā izbūve, 1. atjaunošana, 2. atjaunošana utt.) vai kategorijām. *LCA* aprēķinam rezultāti tiek iedalīti sešās kategorijās – izejmateriāli, bitumena modifikators un modificēšanas process, asfalta ražošana, materiālu transportēšana, izbūve un demontāža. *LCCA* aprēķinā rezultāti tiek iedalīti piecās kategorijās – degviela, materiāli, ikdienas uzturēšana, darba spēks un atlikusī vērtība (atkarībā no aprēķina). Šajā sadaļā visi rezultāti ir izteikti ar determinēto pieeju.



5.10. att. Piemērs no *Results* izklājlāpas.

- *tmp_Results*. Šīs izklājlāpas mērķis ir attēlot *Results* sadaļā iegūtos rezultātus varbūtiskā formā (5.11. att.). Vienīgais varbūtiskais komponents, ko aprēķina rīks iekļauj sadalījuma veidošanā, ir prognozētā kalpošanas laika mainība. Pie noteikta aprēķina perioda garuma izmaksas, patērētā enerģija un SEG mainās, tehnoloģiju kalpošanas laikam samazinoties/pieaugot. Tādējādi, izmantojot Montekarlo simulāciju, šajā izklājlāpā tiek ģenerēts varbūtiskais sadalījums izmaksām, patērētai enerģijai un SEG.



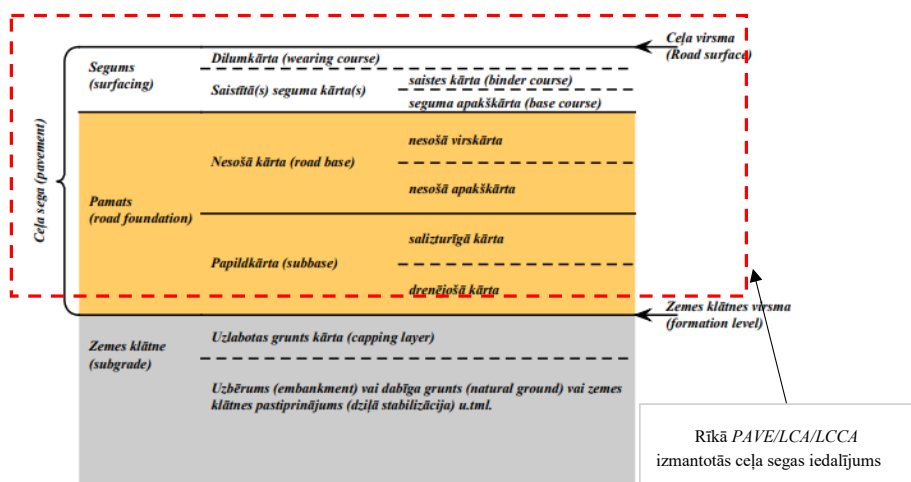
5.11. att. Piemērs no *tmp_Results* izklājlāpas.

5.3. Izbūves konstrukcija un rehabilitācijas plāns

Rīka *PAVE/LCA/LCCA* ceļa segas konstruktīvās kārtas ir veidotas saskaņā ar VSIA “Latvijas Valsts ceļi” Ceļu specifikācijas 2019 un “Ieteikumi ceļu projektēšanai. Ceļa sega”. Neskatoties uz to, rīku ir iespējams pielāgot arī cita tipa ceļa segu analīzēm.

Izveidotais aprēķina rīks paredzēts tikai ceļa segas konstruktīvo kārtu novērtēšanai, tādējādi ar to nav iespējams veikt *LCA* un *LCCA* aprēķinus zemes klātnes pastiprināšanas risinājumu izvērtēšanai. Nomaļas un ar tām saistītie darbi nav iekļauti aprēķinā, jo vairumā gadījumu tie ir identiski starp alternatīvām vai var nebūtiski atšķirties.

Ceļa sega ir ceļa konstrukcijas daļa virs zemes klātnes, kas sastāv no vairākām konstruktīvajām kārtām. Rīkā izmantotie ceļa segas konstruktīvo kārtu nosaukumi un funkcijas atbilst pasaulē izmantotajai praksei (5.12. att.). Ceļa segā esošais pamats iedalās nesošajā kārtā un papildkārtā. Papildkārtā, savukārt, iedalās salizturīgajā kārtā un drenējošajā kārtā. Parasti tiek izmantota viena vai otra. Nesošā kārtā tālāk iedalāma nesošajā virskārtā un nesošajā apakškārtā. Šajās kārtās var tikt izmantoti tādi materiāli kā šķembu maisījums, grants maisījums, ar cementu un/vai bitumenu saistīts maisījums. Segums, savukārt (elastīgas segai) iedalāms apakškārtā un virskārtā. Uz augstas satiksmes intensitātes ceļiem tiek izmantota arī trešā kārtā starp abām iepriekšminētajām – saistes kārtā. Rīkā *PAVE/LCA/LCCA* aprēķinā ir iespējams iekļaut arī preventīvus atjaunošanas risinājumus, kā *Microsurfacing*, *Slurry seal*, *Chip seal* un *BBTM*, kuri būtu kā vēl viena kārtā, pildot segas pārklāšanas funkciju (*overlay*).



5.12. att. Ceļa konstruktīvās kārtas [62].

5.4. Ievadinformācija un datu avoti

Lai objektīvi novērtētu scenāriju ilgtspēju, ir nepieciešami kvalitatīvi dati. Rīka *PAVE/LCA/LCCA* lietošanai ir nepieciešami šādi būtiskākie datu veidi:

- Dati par materiāliem (sastāvs, tilpuma īpašības, izejmateriālu ietekme uz vidi, cena);

- Dati par tehnikas vienību produktivitāti un degvielas patēriņu;
- Dati ar atjaunojamā ceļa posma un tajā izmantoto materiālu ieguves ģeogrāfisko novietojumu;
- Kalpošanas laika prognoze;

Par šiem datu veidiem plašāk aprakstīts nākamajās apakšnodaļās.

5.4.1. DATI PAR MATERIĀLIEM

Saskaņā ar plānoto ceļa segas konstrukciju, aprēķina veicējam ir jādefinē informācija par plānotajiem materiāliem. Visbūtiskākais solis ir definēt izejmateriālu izcelsmi. Latvijā tradicionāli ceļa pamatā tiek izmantots vietējas izcelsmes minerālmateriāls. Savukārt, ar bitumenu saistītā segumā, it īpaši virskārtā, bieži tiek izmantots no Skandināvijas ievests minerālmateriāls ar augstu mehānisko izturību. Bitumens tradicionāli tiek ievests no Lietuvas, Krievijas, Baltkrievijas, kur tiek veikta naftas pārstrāde. Informācija par ražoto produktu ietekmi uz vidi bieži nav publiski pieejama, apgrūtinot *LCA* aprēķina veikšanu. Tādos gadījumos, lai neradītu kādam konkrētam materiālam nepamatotas priekšrocības, ir ieteicams pieņemt, ka visos gadījumos naftai ceļā uz pārstrādes rūpnīcu un/vai pārstrādes procesam ir bijusi vienāda ietekme. Datus par dažādas izcelsmes minerālmateriāliem, bitumenu, cementu ir iespējams iegūt gan literatūrā, gan dažādās starptautiskās datu bāzēs. Būtiski, lai izmantotie dati būtu piemērojami analīzes veikšanas vietai. Datu bāzēs piedāvātie dati ir vidējie rādītāji nozarē, tāpēc, ja ir vēlme veikt ļoti precīzu analīzi, tad produkta vides deklarācijas (EPD) būtu labāka izvēle. Tomēr ne visiem materiālu ražotājiem tādas ir vai arī tiem nav pienākums ar tām dalīties.

Reciklētā materiāla izmantošanas īpatsvaram ir liela ietekme gan uz izmaksām, gan vidi. Rīkā *PAVE/LCA/LCCA* asfalta tipi vai ceļa pamatā izmantotie materiāli ar reciklētu materiālu sastāvā ir atsevišķi izdalīti. Reciklētā materiāla īpatsvars var būt līdz 100 %. Reciklētā materiāla izmantošanas gadījumā tiek pieņemts, ka tā vides rādītāji ir nulle, izņemot, protams, demontāžu, transportēšanu vai atkārtotu izbūvi, kam ir noteikta ietekme uz vidi un izmaksām. Rīkā *PAVE/LCA/LCCA* ir iespējams iekļaut arī blakusproduktu, kā vieglo pelnu, izmantošanu. Vienīgā ietekme uz vidi no vieglo pelnu izmantošanas veidojas no to transportēšanas uz objektu.

Lietotāja uzdevums ir definēt materiāla tilpuma īpašības (Proktora blīvums, maksimālais blīvums, poru saturs), bitumena saturu, cementa saturu, minerālā aizpildītāja saturu. Šie lielumi jau ir tieši atkarīgi no būvuzņēmēja izmantoto projektēto materiālu īpašībām.

Atšķirībā no vides datiem izmaksām ir izteikti nacionāla un pat apvidum raksturīga specifika. Ir jāizvērtē, vai pieņemtie dati ir derīgi konkrētas analīzes veikšanai. Regulāri veicot aprēķinus, izmantojot rīku vai jebkuru citu aprēķina metodi, ir jāņem vērā, ka izmaksas gadu no gada ir jāatjauno, atsevišķos gadījumos – pat biežāk. Tādēļ aprēķina veicējs ir atbildīgs, lai izmantotie dati būtu aktuāli (*up to date*) un reprezentētu esošo situāciju. Rīkā *PAVE/LCA/LCCA* visu materiālu izmaksas ir izteiktas par vienu tonnu. Šādas informācijas iegūšanai var izmantot kādu izstrādātu aprēķina modeli vai cenu katalogu par iepriekšējo sezonu. Cenu kataloga izmantošanas gadījumā jāizvērtē, vai tajā atrodama informācija jau neiekļauj arī izbūves izmaksas.

5.4.2. DATI PAR TEHNIKAS VIENĪBU PRODUKTIVITĀTI UN DEGVIELAS PATĒRIŅU

Tehnikas vienību produktivitāte un degvielas patēriņš ir būtiski lielumi *LCA* un *LCCA*. Būvobjekts var tikt izbūvēts ar dažādu ražotāju un vecuma iekārtām, kuru produktivitāte un degvielas patēriņš var ievērojami atšķirties. Tādēļ analīzes veikšanai ieteicams definēt tādas tehnikas vienības, kas patiešām tiek izmantotas. Atsevišķu informāciju ir iespējams iegūt no iekārtu specifikācijām, tomēr ražotāji bieži vien šādu informāciju nenorāda augstās nenoteiktības (veicamā darba specifika, operatora pieredze) dēļ. Ir valstis, kurās notiek šādu datu ievākšana un tiek veidotas speciālas datu bāzes. Datus no šādām datu bāzēm var izmantot, iepriekš pārliecinoties par to piemērotību. Tāpat iepriekš minēto informāciju ir iespējams iegūt sadarbībā ar vietējiem būvuzņēmējiem.

5.4.3. DATI PAR ATJAUNOJAMĀ CEĻA POSMA UN TAJĀ IZMANTOTO MATERIĀLU IEGUVES ĢEOGRĀFISKO NOVIOJUMU

Objektā izmantoto materiālu attālumi līdz analīzē izmantotajam ceļa posmam ir tieši atkarīgi no būvuzņēmēja un tā izmantoto materiālu piegāžu ķēdēm. Šādu datu pieejamību ietekmē izmantotā iepirkuma sistēma. Iepirkuma sistēmas Projektēšana/ iepirkums/ būvniecība gadījumā tie ir pieejami vien būvniecības iepirkuma solī, kad būvuzņēmējs piedāvājumā norāda izcelsmi plānotajiem materiāliem. Ja aprēķins tiek veikts, lai potenciāli plānotu nākotnes atjaunošanas darbus, tad ir ieteicams balstīt izmantoto materiālu ieguves ģeogrāfisko novietojumu uz vēsturiskajiem datiem no tā paša reģiona līdzīga rakstura darbiem.

5.13. attēlā ir redzams ģeogrāfiskā novietojuma piemērs materiālu ieguves vietām. Ņemot vērā, ka ceļš ir lineāra būve, atjaunojamais posms var būt pat vairākus desmitus kilometru garš. Transportējamā materiāla distances objekta vienā un otrā galā var būtiski atšķirties. Tādēļ aprēķina veicējam ir jāizvērtē, vai, piemērojot vidējo ģeogrāfisko novietojumu, būtiski netiek uzlaboti vai pasliktināti kādas alternatīvas rezultāti. Aprēķina veikšanai svarīgas ir šādas attālumu pozīcijas:

- attālums starp naftas pārstrādes rūpnīcu un bitumena emulsijas, asfalta rūpnīcu, km;
- attālums starp minerālmateriālu karjeru un asfalta rūpnīcu, km;
- attālums starp minerālmateriālu karjeru un analīzei izvēlēto ceļa posmu, km;
- attālums starp bitumena emulsijas rūpnīcu un analīzei izvēlēto ceļa posmu, km;
- attālums starp asfalta rūpnīcu un analīzei izvēlēto ceļa posmu, km.

Rīks *PAVE/LCA/LCCA* nedod iespēju izmantot vairākus minerālmateriālu, asfalta vai emulsijas avotus vienai un tai pašai konstruktīvajai kārtai, tādēļ gadījumā, ja tiek izmantots vairāk nekā viens avots kādā no šo materiālu ražošanas pozīcijām, tad rīka lietotājam aprēķins ir jāsadala vairākos vai jāreducē tas uz vienu vidējo attālumu, ņemot vērā kopējā transportētā materiāla īpatsvaru konkrētajā pozīcijā.



5.13. att. Atjaunojamā ceļa posma novietojums un izmantoto materiālu izcelsmes vietas.

5.4.4. KALPOŠANAS LAIKA PROGNOZE

Kalpošanas laika prognozei ir būtiska loma kvalitatīva *LCA* un *LCCA* veikšanā. Lai veiktu kvalitatīvu prognozi, noder labi attīstīta aktīvu pārvaldības sistēma (*pavement management system*). Šāda sistēma ietver plaša spektra datus par izbūvētajiem posmiem. Ar tās palīdzību ir iespējams izvērtēt materiālu vai tehnoloģiju potenciālo kalpošanas laiku, atmetot maldinošos datus. Neskatoties uz potenciālajiem ieguvumiem, šādas sistēmas pieejamība starp ceļu administrācijām šobrīd ir limitēta.

Gadījumos, kad par materiāliem un tehnoloģijām nav pieejama vēsturiskā informācija vai tā ir nepilnīga, ieteicams ir veikt literatūras analīzi, kas var sniegt datus par materiālu vai tehnoloģiju kalpošanas laiku citās valstīs. Zinātniskajos rakstos var atrast informāciju par izbūvētu eksperimentālo posmu kalpošanas laika ilgtermiņa novērtēšanu. Tomēr kritiski jāizvērtē, vai norādītie dati ir lietojami, ņemot vērā ģeogrāfisko novietojumu un ģeoloģisko specifiku.

Kalpošanas laika prognozi var balstīt arī uz ekspertu aptauju. Vietējiem ekspertiem var būt viedoklis par to, kā dažādi gan tradicionāli, gan inovatīvi materiāli pēdējos gados ir kalpojuši.

Ieteicama ir kalpošanas laika prognozi balstīt uz laboratorijā iegūtiem ekspluatācijas īpašību testiem. Gadījumos, kad tiek izmantoti inovatīvi materiāli, šī pieeja ir rekomendējama. Tādi ekspluatāciju īpašību testi kā riteņu sliežu tests (*WTT*), četrpunktu lieces tests, izturība zemās temperatūrās (*TSRST*) var dot plašu priekšstatu, uz kā rezultātiem var balstīt arī kalpošanas laika prognozi. Trūkums šai pieejai ir visaptverošas uz ekspluatācijas īpašību testēšanas rezultātiem balstītas metodikas neesamība.

5.5. Matemātiskie aprēķini

Izstrādātā rīka *PAVE/LCA/LCCA* aprēķini balstās uz matemātiskajām formulām. Tās ir iedalāmas divās daļās – (1) vides dzīves cikla aprēķiniem (*LCA*), (2) ekonomiskajiem dzīves cikla aprēķiniem (*LCCA*). Nākamajās apakšnodalās aprakstītas rīkā iekļautās formulas.

5.5.1. VISPĀRĒJĀS FORMULAS

Konstruktīvajā kārtā nepieciešamo materiālu daudzumu aprēķina, zinot tās dimensijas un izmantotā materiāla tilpumbūvumu (skat. 5.1.).

$$M_L = D_L \times D_W \times D_T \times \rho \quad (5.1.)$$

M_L – nepieciešamais materiāla daudzums kārtas izbūvei, t;

D_L – ceļa garums, m;

D_W – ceļa platums, m;

D_T – kārtas biezums, m;

ρ – Materiāla tilpumbūvums, m³/t.

5.5.2. LCA APRĒĶINU VEIKŠANAI IZMANTOTĀS FORMULAS

5.5.2.1. KOPĒJĀ ENERĢIJA UN CO₂ EKV.

Kopējais patērētais enerģijas apjoms un CO₂ ekv. veidojas, sākot no materiālu iegūšanas līdz pat tā demontāžai (skat. 5.2. un 5.3.).

$$T_E = E_{RM} + E_{PM} + E_T + E_{C/D} \quad (5.2.)$$

T_E – kopējā enerģija, MJ;

E_{RM} – patērētā enerģija izejvielu ieguves posmā, MJ. Rīka *PAVE/LCA/LCCA* lietotājs atbilstoši materiālu izcelsmei ievada datus par tādiem materiāliem kā minerālmateriāls, aizpildītājs, bitumens, bitumena emulsija, cements, vieglie pelni;

E_{PM} – patērētā enerģija materiālu ražošanas posmā, MJ. Atbilstoši asfalta rūpnīcas produktivitātei un degvielas un elektrības patēriņam tiek aprēķināts enerģijas patēriņš šajā pozīcijā;

E_T – patērētā enerģija izejvielu un saražoto materiālu transportēšanā uz asfalta rūpnīcu un/no objekta, MJ;

$E_{C/D}$ – patērētā enerģija materiālu iestrādes un demontāžas posmā, MJ.

$$T_{CO_2_{eq}} = C_{RM} + C_F + C_C + C_{C/D} \quad (5.3.)$$

$T_{CO_2_{eq}}$ – kopējais CO₂ ekv., t;

C_{RM} – emitētais CO₂ ekv. izejvielu ieguves posmā, t. Rīka *PAVE/LCA/LCCA* lietotājs atbilstoši materiālu izcelsmei ievada datus par tādiem materiāliem kā minerālmateriāls, aizpildītājs, bitumens, bitumena emulsija, cements, vieglie pelni;

C_F – emitētais CO₂ ekv. materiālu ražošanas posmā, t. Atbilstoši asfalta rūpnīcas produktivitātei un degvielas un elektrības patēriņam tiek aprēķināts enerģijas patēriņš šajā pozīcijā;

C_C – emitētais CO₂ ekv. izejvielu un saražoto materiālu transportēšanā uz asfalta rūpnīcu un objektu, t;

$C_{C/D}$ – emitētais CO₂ ekv. materiālu iestrādes un demontāžas posmā, t.

5.5.2.2. DEGVIELAS ENERGOIETILPĪBA UN CO₂ EKV.

Degvielas energoietilpība un CO₂ ekv. tika rēķināts pēc *well to wheel* pieejas, kas nozīmē, ka tiek iekļauta visa patērētā enerģija un radītās emisijas, sākot ar naftas vai dabasgāzes ieguvē, transportēšanu, pārstrādi (nafta pārstrāde benzīnā vai dīzelī), atkārtotu transportēšanu un emisijas, kas rodas degvielas sadegšanas procesā. Skatīt 5.4. un 5.5 vienādojumu.

$$E_F = \frac{W}{P} \times C \times I \quad (5.4.)$$

E_F – patērētās enerģijas apjoms darba veikšanai, MJ;

C – darba režīmā esošās tehnikas vienības degvielas patēriņš, l/h;

P – produktivitāte, t/h;

W – kopējais darba apjoms tonnās, t;

I – degvielas energoietilpība pēc *well to wheel* pieejas (benzīns, dīzelis, dabas gāze), MJ/l.

$$CO_2_{eq} = \frac{W}{P} \times C \times G \quad (5.5.)$$

CO_2_{eq} – CO₂ ekv., t;

C – darba režīmā esošās tehnikas vienības degvielas patēriņš, l/h;

P – produktivitāte, t/h;

W – kopējais darba apjoms tonnās, t;

G – degvielas CO₂ ekv. pēc *well to wheel* pieejas (benzīns, dīzelis, dabas gāze), CO₂ ekv./l.

5.5.2.3. KONSTRUKTĪVAJĀ KĀRTĀ IESTRĀDĀTO MATERIĀLU ENERGOIETILPĪBA UN CO₂ EKV.

$$E_M = M_A + M_B + M_E + M_T + M_P \quad (5.6.)$$

E_M – kopējais enerģijas apjoms, MJ;

M_A – patērētā enerģija minerālmateriālu ieguvē, MJ;

M_B – patērētā enerģija bitumena ieguvē, MJ;

M_E – patērētā enerģija emulsijas ieguvē, MJ;

M_T – patērētā enerģija minerālmateriālu, bitumena, bitumena emulsijas un asfalta transportēšanā, MJ;

M_P – patērētā enerģija asfalta un bitumena emulsijas ražošanā, MJ.

$$CO_2 eq_M = CO_2 eq_A + CO_2 eq_B + CO_2 eq_E + CO_2 eq_T + CO_2 eq_P \quad (5.7.)$$

$CO_2 eq_M$ – kopējais CO_2 ekv., t;

$CO_2 eq_A$ – emitētais CO_2 ekv. minerālmateriālu ieguvē, t;

$CO_2 eq_B$ – emitētais CO_2 ekv. bitumena ieguvē, t;

$CO_2 eq_E$ – emitētais CO_2 ekv. emulsijas ieguvē, t;

$CO_2 eq_T$ – emitētais CO_2 ekv. minerālmateriālu, bitumena, bitumena emulsijas un asfalta transportēšanā, t;

$CO_2 eq_P$ – emitētais CO_2 ekv. asfalta un bitumena emulsijas ražošanā, t.

5.5.3. LCCA APRĒKINA VEIKŠANAI IZMANTOTĀS FORMULAS

5.5.3.1. KOPĒJĀS IZMAKSAS

Divas lielākās izmaksu veidojošās pozīcijas ir ceļu īpašnieku izmaksas un ceļa lietotāju izmaksas (skat. vienādojumu 5.8.). Ceļu īpašnieku izmaksas ir viss, kas saistīts ar projekta realizāciju un tālāku izbūvētā ceļa uzturēšanu. Ceļa lietotāju izmaksas ir viss, kas veidojas projekta realizācijas laikā un tālākā ceļa lietošanā. Šis promocijas darbs ietver tikai ceļa īpašnieka izmaksas.

$$TC = R_O + R_U \quad (5.8.)$$

TC – kopējās izmaksas, €;

R_O – Ceļa īpašnieka izmaksas, €;

R_U – Ceļa lietotāju izmaksas, €.

5.5.3.2. PAŠREIZĒJĀ NETO VĒRTĪBA

Pašreizējā neto vērtība (NPV) tika izvēlēta kā vispiemērotākais ekonomiskais rādītājs $LCCA$ aprēķina veikšanai (skat. vienādojumu 5.9.). Kopējās izmaksas veido sākotnējās būvniecības izmaksas, uzturēšanas izmaksas, rehabilitācijas izmaksas un atlikusī vērtība.

$$NPV = IC + \sum_{k=1}^n MC_k \left[\frac{1}{(1+i)^{n_k}} \right] + \sum_{k=1}^n RC \left[\frac{1}{(1+i)^{n_k}} \right] - SV \left[\frac{1}{(1+i)^{n_a}} \right] \quad (5.9.)$$

NPV – pašreizējā neto vērtība, €;

IC – sākotnējās izbūves izmaksas, €;

MC – periodiskās uzturēšanas izmaksas, €;

RC – atjaunošanas izmaksas, €;

i – diskonta likme procentos, %;

n – izdevumu gads;

n_k – laika periods no sākotnējās izbūves, gadi;

n_a – analīzes perioda ilgums, gadi.

5.5.3.3. ATLIKUSĪ VĒRTĪBA

Ceļa sega var kalpot vairāk, nekā analīzes periods. Piemēram, virskārtas nomaiņa ir iepļānota 37. gadā ar kalpošanas laiku – 10 gadi. Ja analīzes periods ir 40 gadi, tad pēc tā šī kārtā vēl joprojām satur zināmu vērtību. Tādā gadījumā korekti ir aprēķināt pēdējās

atjaunošanas atlikušo vērtību, kas tālāk kalpo kā izejas lielums NPV aprēķinam (skat. vienādojumu 5.10.).

$$SV = \frac{RSL}{PSL} \times VOI \quad (5.10.)$$

SV – atlikusī vērtība, €;

RSL – atlikušais kalpošanas laiks, gadi;

PSL – prognozētais izbūves/atjaunošanas darbu kalpošanas laiks, gadi;

VOI – ieguldījumu vērtība, €.

5.5.3.4. CEĻA ĪPAŠNIEKA IZMAKSAS

Ceļa īpašnieka pusē iekļauj izmaksas, par kurām jānorēķinās, veicot izvēlēto darbību ceļam. Izmaksu sadalījums var būt dažāds, tomēr galvenokārt tās veido materiālu, transportēšanas, izbūves, darba spēka un ikdienas uzturēšanas izmaksas (skat. vienādojumu 5.11.).

$$R_O = C_M + C_T + C_C + C_{WF} + C_{DM} \quad (5.11.)$$

R_O – ceļa īpašnieka izmaksas, €;

C_M – materiālu izmaksas, €;

C_T – materiālu transportēšanas izmaksas (degviela), €;

C_C – materiālu izbūves izmaksas (degviela), €;

C_{WF} – darba spēka izmaksas (transportēšana un iestrāde), €;

C_{DM} – ikdienas uzturēšanas izmaksas, €.

5.5.3.5. CEĻA LIETOTĀJU IZMAKSAS

Ceļa lietotāju izmaksu iekļaušana atsevišķu alternatīvu salīdzināšanā var būt būtiska objektīva rezultāta iegūšanā, un to nozīmīgums ir aprakstīts dažādos pētījumos [54,57,58]. Ceļa lietotāju izmaksām pieskaita, galvenokārt, transportlīdzekļu ekspluatācijas izmaksu (VOC) pieaugumu remontdarbu laikā un pieaugumu/samazinājumu ceļa lietošanas fāzē, kavēšanas izmaksas (DC) un avārijas izmaksas (CC) (skat. vienādojumu 5.12.). Pie lietotāju izmaksām var pieskaitīt arī tādas grūti novērtējamas lietas kā lietotāju komforts, konkrēta projekta vietējā ekonomiskā ietekme un troksnis. Tomēr tie parasti netiek iekļauti, jo ne vienmēr ir iespējams tos korekti kvantificēt.

Neskatoties uz to, ka lietotāju izmaksas var būt ļoti būtiskas atsevišķu $LCCA$ veikšanai, šajā pētījumā tās netika iekļautas. Ceļa lietotāju izmaksu vienkāršoto formulu skatīt zemāk.

$$R_U = VOC + DC + CC \quad (5.12.)$$

R_U – Ceļa lietotāju izmaksas, €;

VOC – transportlīdzekļa ekspluatācijas izmaksas, €;

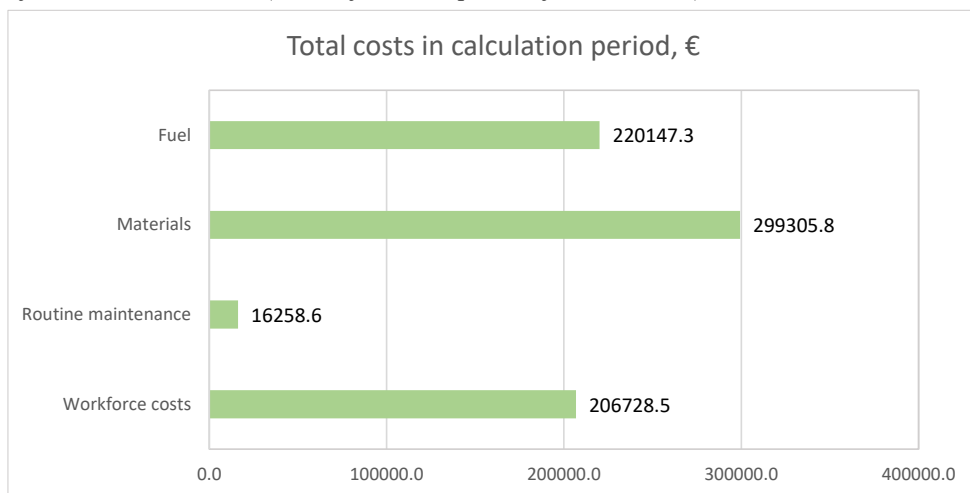
DC – kavēšanas izmaksas, €;

CC – avārijas izmaksas, €.

5.6. Rezultātu izteikšana

5.6.1. DETERMINĒTĀ PIEEJA

Ar rīku *PAVE/LCA/LCCA* ir iespējams izteikt gan ekonomiskos, gan vides ietekmes datus, izmantojot determinēto pieeju (5.14. att.). Determinētās pieejas pamatā ir konstantu ievaddatu izmantošana. Tajā tiek ignorēta mainīgā rašanās iespēja, pieņemot, ka iegūtais rezultāts atbilst konkrētam noteiktības līmenim, nevis varbūtībai. Tādējādi, metodes galvenais trūkums ir tas, ka tā nedod iespēju novērtēt potenciālo ievaddatu mainīguma ietekmi uz gala rezultātu. Ar rīku *PAVE/LCA/LCCA*, izmantojot determinēto pieeju, ir iespējams rezultātus izteikt pa pozīcijām (materiālu izmaksas, degvielas izmaksas, uzturēšanas izmaksas, darba spēka izmaksas) vai pa atjaunošanas aktivitātēm (sākotnējā izbūve, pirmā atjaunošana, utt.).



5.14. att. Izmaksas izteiktas determinēti (izvilkums no rīka *PAVE/LCA/LCCA*).

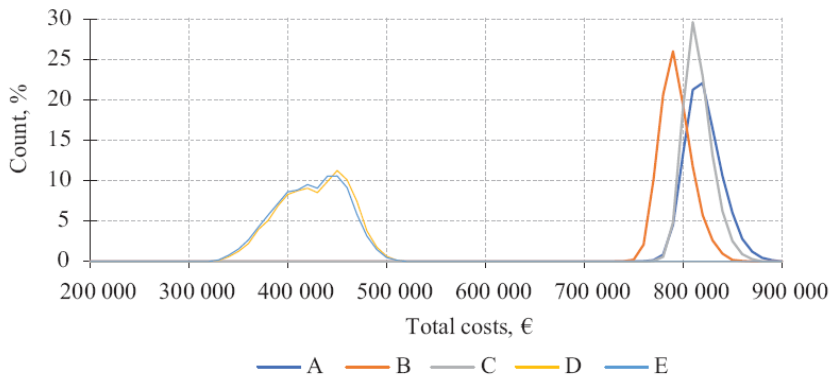
5.6.2. VARBŪTISKĀ PIEEJA

Papildus determinētajai pieejai ar rīku *PAVE/LCA/LCCA* ir iespējams izteikt rezultātus arī varbūtiski. Iemesls varbūtības pieejas izmantošanai ir ievaddatu ticamība. Visiem ievadītajiem datiem eksistē nenoteiktība, kas var mainīties laikā. Neskatoties uz to, rīks *PAVE/LCA/LCCA* varbūtiskā aprēķina izteikšanai izmanto tieši kalpošanas laiku, jo tas ir viens no grūtāk prognozējamajiem lielumiem. Tajā pašā laikā tas ir arī visvairāk rezultātu ietekmējošais lielums. Konstrukcijas kalpošanas laiku var ietekmēt satiksmes intensitātes prognoze, ceļa segas izvēle, esošais stāvoklis, būvniecības kvalitāte.

Rīks *PAVE/LCA/LCCA* varbūtiskā aprēķina veikšanai kā pamatu izmanto lietotāja definēto determinēto projekta kalendāro plānu, standartnovirzi, īsāko un garāko kalpošanas laiku katrā no cikliem. Tādā veidā analīzes matemātiskais algoritms kļūst sarežģītāks un tiek pielietotas tuvinātas aprēķinu metodes (Montekarlo simulācijas). Iegūtie rezultāti vairs nav viens precīzs skaitlis, bet drīzāk tiek interpretēti kā jauns varbūtības sadalījums, kas pārsvarā ir specifisks un

katram piemēram individuāls; tiek iegūta dzīves cikla analīzes parametra nozīmīgākā vērtība, kā arī tā paredzamā izkliede.

5.15. attēlā redzami piecu alternatīvu *LCCA* rezultāti. Šajā grafikā redzami izmaksu sadalījumi ir attēloti ar soli 10 000 €. Atbilstoši izmaksu raksturam šo soli var arī koriģēt. Konkrētie sadalījumi tika iegūti, veicot 20 000 iterācijas. Rīks *PAVE/LCA/LCCA* ir elastīgs, tas ļauj viegli mainīt izmantoto iterāciju skaitu aprēķina programmā, ja tas ir nepieciešams. Jāņem vērā, ka tas var ievērojami palielināt rīka aprēķina veikšanas laiku. Samazinot iterāciju skaitu, ir iespējams paātrināt aprēķina veikšanas laiku, tomēr tādā veidā ir risks samazināt ģenerētā sadalījuma precizitāti.



5.15. att. Izmaksas izteiktas ar varbūtisko pieeju dažādiem segu variantiem [55].

6. APRĒĶINA RĪKA *PAVE/LCA/LCCA* VALIDĀCIJA

Lai pārliecinātos par to, ka aprēķina rīks *PAVE/LCA/LCCA* un tajā ievadītie dati dod ticamas *LCA* un *LCCA* vērtības, tika definēti trīs uzdevumi: (1) salīdzināt siltumnīcefekta gāzu (SEG) un enerģijas patēriņu asfalta virskārtai no A scenārija (7. nodaļa) ar citām literatūras avotos atrodamām vērtībām; (2) salīdzināt SEG un enerģijas patēriņu visam dzīves ciklam no scenārija A (7. nodaļa) ar rīka *ECORCE M* vērtībām; (3) salīdzināt izmaksas ceļa segas konstruktīvajām ar LVC 2022. gada autoceļu būvniecības cenu katalogu. Par šiem salīdzinājumiem plašāk aprakstīts nākamajās apakšnodaļās.

LCCA rezultātus, kas iegūti ar *PAVE/LCA/LCCA*, nav iespējams salīdzināt ar citu rīku rezultātiem vai literatūrā atrodamu informāciju. Šobrīd autoram zināmie *LCCA* rīki nav pielīdzināmi *PAVE/LCA/LCCA*. Piemēram, rīks *PaLATE-2.0* neatbalsta iespēju definēt vairākus atjaunošanas ciklus, kā arī tajā norādītās iekārtu produktivitātes un degvielas patēriņi būtiski atšķiras no praksē izmantotajiem. *PaLATE-2.0* ir izstrādāts 2003. gadā, tādēļ tajā lietotie dati ir novecojuši un tā izmantošana salīdzināšanas nolūkā ir jāizvērtē. Savukārt ar literatūru nav iespējams salīdzināt, jo izmaksas ir mainīgas laikā un tām ir reģionāla specifika.

6.1. SEG vērtību validācija asfalta virskārtai

A scenārijā iegūtās SEG vērtības tika salīdzinātas ar citu autoru pētījumu rezultātiem (6.1. tab.). Šajā analizē iegūtā SEG emisiju vērtība A scenārijā vienai tonnai *AC11* virskārtai ir salīdzināma ar citu pētījumu rezultātiem. Ar pētnieku *Rathore, Hammond, un Jones* vērtības ir izteikti tuvas un atšķiras 0,5-1,1 % robežās. Turpretī, salīdzinot ar *Giani* un *Miliutenko* iegūtā vērtība 63,7 ir augstāka līdz pat 13,0 %. Neskatoties uz to, var uzskatīt, ka kopumā iegūtā SEG vērtība ir ļoti tuva citu pētnieku aprēķinātajām vērtībām. Jāatzīmē, ka katrs *LCA* aprēķins ceļa posmam ir unikāls, tieši ģeogrāfiskais novietojums to par tādu padara, jo neskatoties uz to, ka izejmateriālu ietekmes uz vidi vērtības var būt identiskas, transporta attālumi var ievērojami atšķirties un būtiski izmainīt *LCA* gala rezultātu.

6.1. tabula

Rīka *PAVE/LCA/LCCA* iegūto rezultātu salīdzinājums ar literatūrā atrodamajām vērtībām vienai tonnai asfalta

	<i>PAVE/LCA/LCCA</i>	<i>Rathore</i> [63]	<i>Giani</i> [64]	<i>Miliutenko</i> [65]	<i>Hammond un Jones</i> [66]
SEG, kg CO ₂ ekv/t	63,7	63,0	52,0-60,2	57,0	64,0

6.2. SEG un enerģijas vērtību validācija A scenārijā, izmantojot rīku *ECORCE M*

A scenārijā iegūtās SEG vērtības tika salīdzinātas ar rīka *ECORCE M* vērtībām (6.2. tab.). Rīks *ECORCE M* tika izvēlēts, jo tas ir izstrādāts Eiropā (Francijā) un tā izmantošana ir bezmaksas. Plašāk par rīku var lasīt 3. nodaļā.

Tika salīdzināts visa A scenārija dzīves cikls – no sākotnējās izbūves līdz kalpošanas laika beigām. Funkcionālā vienība atbilstoši 7.2 nodaļā aprakstītajam.

Rīkā *ECORCE M* nav iespējams izdarīt sekojošas darbības:

- definēt SEG un enerģijas vērtības ikdienas uzturēšanas darbiem;
- apskatīt un koriģēt asfalta rūpnīcas degvielas un elektrības patēriņu.

Kopumā iegūtie rezultāti parāda būtisku atšķirību starp SEG emisijām, kas konkrētajā piemērā ir 45,6 %. Tajā pašā laikā atšķirība starp patērētās enerģijas vērtībām ir būtiski mazāka, tas ir, 12,0 %. Rezultātu izvilcumi no rīka *ECORCE M* redzami 6.1. att. un 6.2. att.

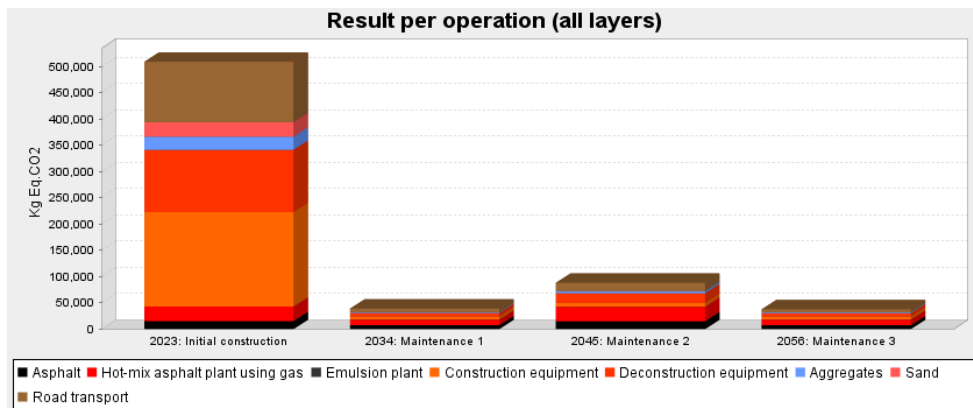
Pēc detalizētākas rezultātu analīzes redzams, ka būtiskākās SEG atšķirības starp šo rīku SEG kategorijām parāda minerālmateriālu pozīcijas. Piemēram, smilts materiāla pozīcijā rīkā *ECORCE M* kopējais CO₂ ekv. ir 27,4 t, savukārt rīkā *PAVE/LCA/LCCA* šī vērtība ir vairākas reizes lielāka – 128,9 t. Tas pats novērojams arī citu minerālmateriālu veidiem. Salīdzinot pārējās kategorijas (demontāža, izbūve, transports, asfalta ražošana un bitumens) starp rīkiem, iegūstamas līdzīgākas vērtības – tikai 3,2 % atšķirību. Ņemot vērā to, ka, izstrādājot šo pētījumu, CO₂ ekv. un enerģijas patēriņa vērtības tika iegūtas, apskatot vairākus avotus, iespējams, ka rīkā *ECORCE M* izmantotās vērtības minerālmateriāliem ir noteiktas pārāk zemes.

6.2. tabula

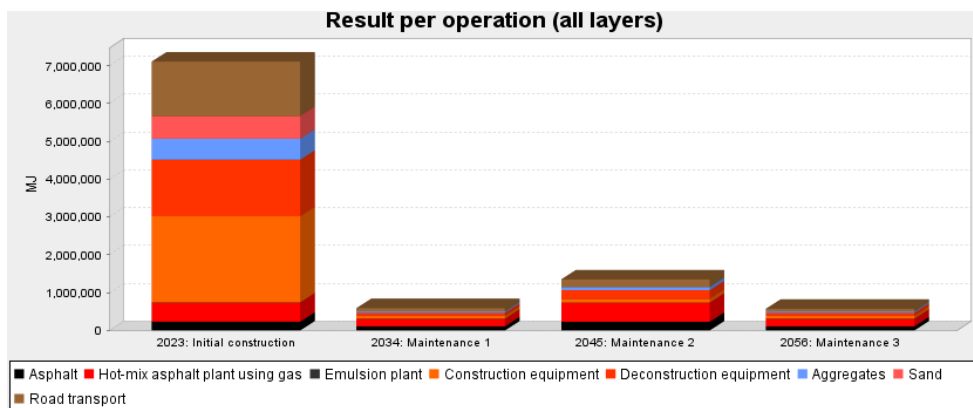
Rīka *PAVE/LCA/LCCA* iegūto rezultātu salīdzinājums ar rīkā *ECORCE M* iegūtajiem rezultātiem 1 km ceļa segai

	<i>PAVE/LCA/LCCA</i>	<i>ECORCE M</i>	Atšķirība, %
SEG, t	979,2	675,0	45,6
Enerģija, MJ	10712635	9607000	12,0

Neskatoties uz to, ka SEG vērtības starp *PAVE/LCA/LCCA* un *ECORCE M* būtiski atšķiras, lielākajā daļā kategoriju iegūtās vērtības ir ļoti līdzīgas, kas dod pārliecību par izstrādātā rīka funkcionalitāti un izmantoto ievaddatu kvalitāti. Santos iepriekš ir uzsvēris to, ka vides ietekmes aprēķināšanai starp alternatīvām ir ieteicams izmantot tikai vienu rīku tieši šo potenciāli būtisko atšķirību dēļ [67].



6.1. att. Rezultātu izvilks no rīka *ECORCE M* SEG kategorijai.



6.2. att. Rezultātu izvilks no rīka *ECORCE M* patērētās enerģijas kategorijai.

6.3. Izmaksu validācija ceļa segas konstruktīvajām kārtām

A un B scenārija konstruktīvo kārtu izmaksas, iegūtas ar rīku *PAVE/LCA/LCCA*, tika salīdzinātas ar VSIA “Latvijas Valsts ceļi” 2022. gada autoceļu būvniecības cenu katalogu. Rīkā *PAVE/LCA/LCCA* materiāli tiek izteikti kvadrātmetros (m^2), Autoceļu būvniecības cenu katalogā tonnās (t). Lai salīdzināšana būtu iespējama, Autoceļu būvniecības cenu kataloga izmaksas tika pārrēķinātas no m^2 uz t. Salīdzinājums redzams 6.3. tabulā.

Rezultāti parāda, ka visās pozīcijās iegūtās tonnas izmaksas ar rīku *PAVE/LCA/LCCA* ir mazākas, nekā tās, kas minētas Autoceļu būvniecības cenu katalogā. Atšķirība ir diapazonā no 2,7 % līdz 20,4 %.

Veicot analīzi, autora mērķis nebija nodrošināt pēc iespējas tuvākas izmaksu vērtību pozīcijas esošajiem līgumiem. Izmaksas var ietekmēt konkurence un materiālu pieejamība konkrētajā reģionā, ko ne vienmēr ir iespējams precīzi novērtēt. Iegūtie rezultāti ir apmierinoši, ņemot vērā to, ka peļņas sadaļa analizē nav iekļauta, tādēļ no izmaksu validācijas pozīcijas var apgalvot, ka plānotie *LCCA* rezultāti būs ar augstu ticamības pakāpi.

Rīka *PAVE/LCA/LCCA* izmaksu salīdzinājums ar LVC Autoceļu būvniecības cenu katalogu

Konstruktīvā kārtā	Rīks <i>PAVE/LCA/LCCA</i>	Autoceļu būvniecības cenu katalogs	Atšķirība, %
Seguma virskārta, €/t	86,6	105,1	-17,6
Seguma apakškārta, €/t	63,2	79,4	-20,4
Pamata kārtā ar šķembām, €/t	14,4	14,8	-2,7
<i>CBGM</i> (ar cementu saistīts maisījums), €/t	20,8	21,8	-4,6
Reciklēts pamats, €/t	3,0	3,6*	-16,7
Salizturīgā kārtā, €/t	11,8	10,7	-10,3

* Interpolēta 2021. gada cena.

7. MATERIĀLU UN TEHNOLOĢIJU ILGTSPĒJAS NOVĒRTĒŠANA, IZMANTOJOT IZSTRĀDĀTO METODIKU UN RĪKU

Atbilstoši izstrādātajai metodei, šajā nodaļā ir veikts ilgtspējas parametru (vides un ekonomiskais) novērtējums dažādiem materiāliem un tehnoloģijām. Iegūtie rezultāti salīdzināti ar tradicionālo praksi. Izvēlētie materiāli un tehnoloģijas balstās uz autora iepriekš publicētajām un nākotnē plānotajām publikācijām. Tās iedalāmas divās daļās – (1) publikācijas, kurās ar rīku *PAVE/LCA/LCCA* veikta segumu vai ceļa segu salīdzinājums, aprakstīta analīžu veikšanas metodika, (2) laboratoriski novērtēta dažādu materiālu ietekme uz bitumena un asfalta maisījumu fizikālajām un mehāniskajām īpašībām. Autora izstrādātās publikācijas:

- Riekstins, A., Haritonovs, V., & Straupe, V. (2022). Economic and environmental analysis of Crumb Rubber Modified Asphalt. *Construction and Building Materials*, 335, 127468. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127468>
- Riekstins, A., Haritonovs, V., Merijs-Meri, R., & Zicāns, J. (2021). Ethylene-Octene-Copolymer as an alternative to Styrene-Butadiene-Styrene bitumen modifier. *Eleventh International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields*, Volume 1, 96–107. <https://doi.org/10.1201/9781003222880-10>
- Riekstins, A., Baumanis, J., & Barbars, J. (2021). Laboratory investigation of crumb rubber in dense graded asphalt by wet and dry processes. *Construction and Building Materials*, 292, 123459. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123459>
- Riekstins, A., Haritonovs, V., & Straupe, V. (2020). Life Cycle Cost Analysis and Life Cycle Assessment for Road Pavement Materials and Reconstruction Technologies. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 15(5), 118–135. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2020-15.510>
- Riekstins, A., Haritonovs, V., Abolins, V., Straupe, V., & Tihonovs, J. (2019). Life cycle cost analysis of BBTM and traditional asphalt concretes in Latvia. *Engineering for Rural Development*. doi:10.22616/erdev2019.18.n400
- Riekstins, A., Haritonovs, V. (2017). Research on Restoration and Reconstruction Technologies of Asphalt Concrete for Very Thin Layers. *Baltic Road Conference 2017*.

Publikācijas, kas ir izstrādes stadijā, bet kuras papildina šo promocijas darbu:

- *The use of residues as an alternative to improve the sustainability of road pavement constructions: An analysis of asphalt mixtures composed of dolomite, limestone, fly ash, and red mud.*
- *End of life tyres rubber modified asphalt: a case study.*

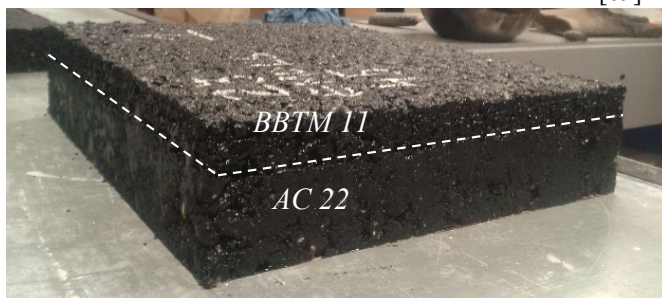
7.1. Potenciāli ilgtspējīgi risinājumi

7.1.1. *BBTM* DILUMKĀRTA

Ļoti plāna asfalta virskārta jeb *BBTM* (no franču valodas *Béton Bitumineux Très Mince*) ir plašs dažādās konfigurācijās izmantots risinājums Eiropā. 7.1 attēlā redzams laboratorijā izgatavots paraugs ar *BBTM* virskārtu un apakškārtu *AC22*. *BBTM* asfalta tips ir labs risinājums, kā samazināt izmaksas un ietekmi uz vidi jauna ceļa izbūvē vai esoša ceļa atjaunošanā. Atšķirībā no tradicionāliem asfalta tipiem, kā asfaltbetons (*AC*), šķembu mastikas asfalts (*SMA*), *BBTM* kārtas biezums ir 20-30 mm tradicionālo 35-40 mm vietā. Ņemot vērā, ka virskārtas galvenais mērķis ir nodrošināt līdzenu braukšanu, saķeri un slodzes pārneši uz pārējo segas konstrukciju, *BBTM* asfalta tips ir labs risinājums, jo to ir iespējams iekļāt salīdzinoši plānā kārtā, nemainot esošo tehnoloģisko procesu. Virskārtas biezuma samazinājumu var kompensēt, izmantojot biežākas apakškārtas vai arī augstākas kvalitātes minerālmateriālu un modificēto bitumenu [68]. Tādām valstīm kā Latvija, kas plaši importē gan bitumenu, gan augstas kvalitātes minerālmateriālu, *BBTM* ir piemērots risinājums, lai veicinātu ilgtspējīgu attīstību.

BBTM tipu līdzīgi kā *SMA* var izmantot uz ceļiem ar augstu satiksmes intensitāti, pateicoties pret risēm noturīgajam minerālajam karkasam. Minimālais pievienojamā bitumena saturs *BBTM* tipam ir mazāks, nekā tradicionāli lietotajiem *AC* un *SMA*, ļaujot samazināt gan izmaksas, gan ietekmi uz vidi.

BBTM dilumkārtā nodrošina samazinātu darbu apjomu visos posmos, sākot ar izejvielu ieguvu, beidzot ar iestrādi un demontāžu. Valstīs, kur klimatiskie apstākļi atļauj, *BBTM* dilumkārtā tiek izmantota arī kā troksni samazinoša konstruktīvā kārtā [69].



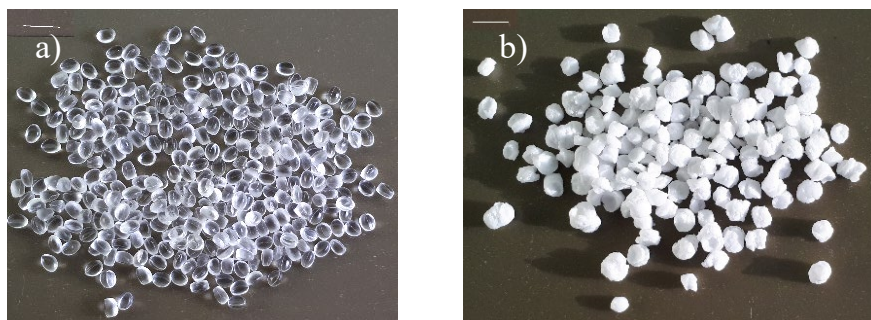
7.1. att. Divu slāņu sistēma riteņu sliežu testam. Ar baltu raustītu līniju ir iezīmēta kārtu kontaktvirsma.

7.1.2. *EOC* BITUMENA MODIFIKATORS

Pieaugot modificēto bitumenu izmantošanas apjomiem, ievērojami aug arī to cena. Modificētā bitumena cenu veido bitumens, modifikators un modificēšanas process. Stirols-butadiēns-stirols (*SBS*) ir visplašāk izmantotais bitumena modifikators pasaulē. Lielais pieprasījums pēc polimērmodificētā bitumena (*PMB*) to padara par aizvien dārgāku produktu. Daudzsološa un lētāka alternatīva varētu būt etilēns-oktēns-kopolimērs (*EOC*) – elastomērs,

kas līdz šim nav izmantots komerciālai bitumena modificēšanai. Polimēru salīdzinājums redzams 7.2. attēlā un 7.1. tabulā.



Iepriekšējos pētījumos *EOC* ir parādījis uzlabotas bitumena īpašības augstā temperatūrā, kā arī novecošanās izturību, kas liecina, ka šo termoplastisko elastomēru var izmantot kā bitumena modifikatoru [70]. Iegūtie bitumena reoloģisko īpašību rezultāti liecina, ka ar *EOC* modifikatoru ir iespējams sasniegt līdzvērtīgas īpašības kā ar *SBS*, lietojot to mazākā apjomā. Tādējādi tā izmantošana varētu samazināt kopējās saistvielas izmaksas.



7.2. att. Polimēri, a) *EOC*, b) *SBS* [71].

7.1. tabula

EOC un *SBS* modifikatoru salīdzinājums [71]

Tips	<i>EOC</i>	<i>SBS</i>
Atkārtojošo struktūru vienība	$-\text{[CH-CH}_2\text{]}_n\text{-[CH}_2\text{-CH}_2\text{]}_m\text{-}$ $\begin{array}{c} \\ \text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3 \end{array}$	$-\text{[CH}_2\text{-CH]}_x\text{-[CH}_2\text{-CH}_2\text{]}_y\text{-[CH}_2\text{-CH]}_z\text{-}$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>
Blīvums, kg/m ³	870	940
Kušanas plūsmas ātrums, g/10 min.	5(190°C/2.16kg)	1(200°C/5kg)
Bitumena modificēšanai izmantotais daudzums, wt. %	2-4	2-4

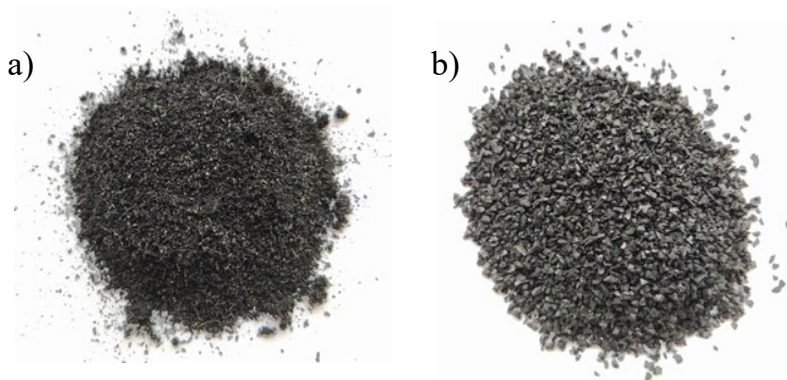
7.1.3. AR NOLIETOTO RIEPU GUMIJU MODIFICĒTS BITUMENS PĒC SLAPJĀS METODES

Nolietotās transportlīdzekļu riepas ir aktuāla problēma ne tikai Latvijā, bet arī pasaulē. Pieaugošais transportlīdzekļu un nobraukto kilometru skaits tieši ietekmē nolietoto riepu apjomus. 2019. gadā Eiropā tika pārdoti 324 miljoni riepu [72], no kā var secināt, ka līdzīgs apjoms riepu katru gadu arī vairs nav turpmāk izmantojams. Turklāt ievērojams skaits nolietoto riepu jau atrodas krautnēs un poligonos. Reģistrēts, ka Latvijā 2019. gadā bija uzkrātas vairāk

nekā 100 000 tonnas nolietoto riepu [73]. Zināms, ka līdz pat 35 % nolietoto riepu tiek izmantotas enerģijas iegūšanai, lai ražotu, piemēram, cementu, tomēr tādā veidā netiek izmantots šī materiāla potenciāls [74,75].

Uzskats, ka nolietotās riepas ir tikai cietais atkritums, mainās, un šobrīd tās tiek uzskatītas arī par materiālu, ko var plaši izmantot dažādos veidos. Pēdējos gados no nolietotajām riepiņām atgūtā gumija, tiek plaši izmantota stadionu skrejceļu, bērnu laukumu un sporta laukumu izveidē. Tomēr izmantojamais apjoms šiem mērķiem ir limitēts. 7.3. attēlā redzamas drupinātas gumijas granulas no nolietotajām riepiņām.

Riepu gumijas izmantošana asfalta maisījumos tiek pētīta jau kopš 20. gadsimta 60. gadiem [28,29]. Neskatoties uz to, vēl joprojām tās izmantošana ir salīdzinoši maza. Tieši bitumena modificēšana ar gumiju pēc slapjās metodes dažādos pētījumus ir parādījusi lieliskus rezultātus un uzskatāma par ilgtspējīgu risinājumu [26,29]. Tomēr jāņem vērā, ka gan riepu pārstrādes process, gan bitumena modificēšanas process ir energoietilpīgs. Tāpat, ar gumiju modificēts bitumens ir ar augstu viskozitāti, kas nozīmē, ka nepieciešama augstāka asfalta ražošanas temperatūra vai arī ir jāsamazina viskozitāte, izmantojot piedevas. Rezultātā ar gumiju modificētam asfaltam potenciāli ir augstākas sākotnējās izmaksas un ietekme uz vidi [76]. Tomēr jāņem vērā, ka šāda tipa asfaltam arī ir potenciāls kalpot ilgāku laiku salīdzinājumā ar asfaltu, kurā izmantots ceļa bitumens vai *PMB* [26].



7.3. att. Riepu gumijas granulas, a) 0.01/0.8 mm, b) 0.8/2.0 mm.

7.1.4. SARKANIE MĀLI BITUMENA MODIFICĒŠANAI

Sarkanie māli ir cietais atkritums, kas rodas boksītu pārvēršot alumīnijā [77] (7.4. att.). Šis process tiek saukts par Bajera procesu (*Bayer process*). Nātrija hidroksīda klātbūtnes dēļ sarkanajiem māliem piemīt sārmainības īpašības un tā sastāvā ir daži smagie metāli [37,78]. Neskatoties uz to, ir pētnieki, kas šo materiālu klasificē kā neinertu materiālu, tas ir, nekaitīgu apkārtējai videi. Viedokļu dažādības dēļ šī cietā atkrituma izmantošana ir bijuši ierobežota. Atsaucoties uz Internacionālā Alumīnija Institūta datiem, no 1973. līdz 2022. gadam ir saražoti vairāk, nekā 3 miljoni tonnu alumīnija, kas nozīmē, ka sarkano mālu daudzums ir divtik no šī apjoma [37,79].

Sarkanie māli eksperimentāli ir tikuši izmantoti jumta dakstiņos, flīzēs, ķieģeļos, cementā, bituminētos maisījumos un citos materiālos [37]. Sarkano mālu izmantošanai bituminētos maisījumos ir liels potenciāls uzlabot asfalta maisījumu mehāniskās īpašības, tajā pašā laikā veicinot aprites ekonomiku (minimizējot potenciālu noplūdi dabā) [38]. Alumīnija ražošana turpināsies, tādēļ paredzams, ka sarkano mālu apjomi turpinās augt, kas, savukārt, rada ekoloģiskus draudus, tādēļ to racionāla un videi draudzīga atkārtota izmantošana ir īpaši būtiska valstīm, kurās vēsturiski ir attīstījusies alumīnija ražošanas industrija (Ķīna, Krievija, Vācija, Brazīlija u.c. valstis).



7.4. att. Sarkanie māli pēc ūdens iztvaikošanas [80].

7.1.5. VIEGLIE PELNI CEĻA SEGAS PAMATNES PASTIPRINĀŠANAI

Vieglie pelni ir blakusprodukts, kas rodas, sadedzinot koksni vai tās izstrādājumus (malku, granulas, šķeldu). Sākot ar 2010. gadu, bio-kurināmā izmantošanas apjomi ir ievērojami auguši [81]. Līdz ar to uzkrāto pelnu apjoms arī pieaug. Ik gadu Latvijā tiek saražoti vairāki desmiti tūkstoši tonnu bio-kurināmā pelnu kā blakusprodukts koģenerācijas stacijās [81]. Ņemot vērā Eiropas zaļos mērķus, atjaunojamo energoresursu izmantošanas īpatsvars enerģijas iegūšanā nākotnē tikai pieaugs, tajā skaitā arī koksnes izmantošana. Atkarībā no pelnu sastāva tos ir iespējams izmantot lauksaimniecībā, mežsaimniecībā, būvniecībā [81].

Vieglajiem pelniem, kas tiek iegūti katlu mājās pēc šķeldas dedzināšanas, ir potenciāls tikt izmantotiem ceļa segas pamatu pastiprināšanā. Vieglie pelni uzskatāmi par blakusproduktu, kam šobrīd nav stabilas vietas citos aprites ciklos. Neskatoties uz to, pētījumi rāda, ka vieglajiem pelniem ir potenciāls daļēji aizstāt cementu ceļa segas pastiprināšanas projektos [32,33]. Šajā gadījumā ieguvums ir ne tikai finansiāls, jo pelni nemaksā neko (īpašniekam vēl pašam ir jāmaksā par to deponēšanu), bet arī samazina ietekmi uz vidi. Zināms, ka cements ir viens no videi nedraudzīgākajiem materiāliem, jo tā iegūšana ir energoietilpīga un rada ievērojamas SEG. Vieglo pelnu īpašības ir atšķirīgas atkarībā no to izcelsmes. Veicot vieglo pelnu iestrādi ceļa pamatā, jāņem vērā, ka to spēja saistīt un pastiprināt ir ievērojami zemāka nekā cementam, tādēļ tie jāparedz ievērojami lielākā apjomā nekā cements līdzīga pastiprinošā

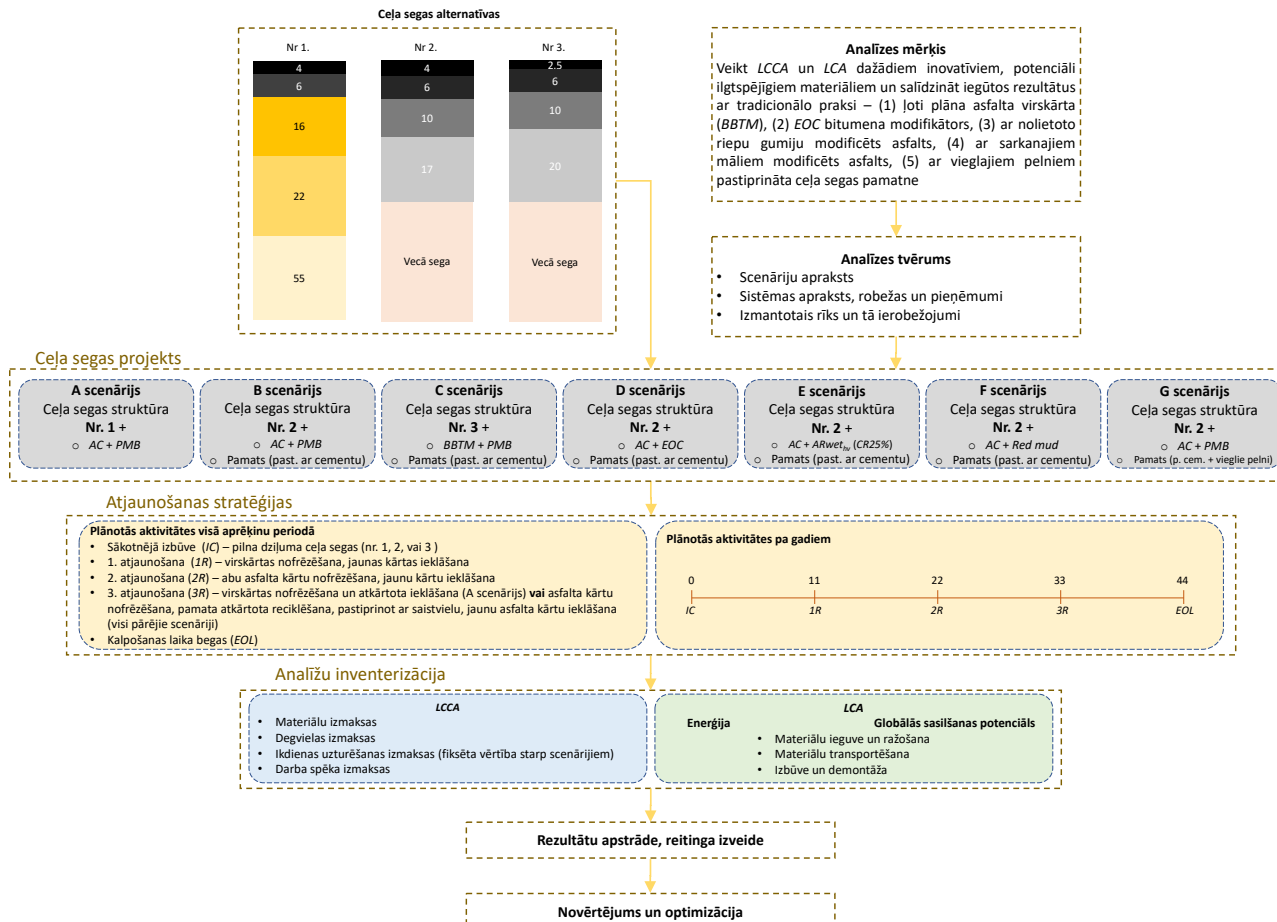
efekta sasniegšanai. 7.5. attēlā redzams ceļa pamats, kurā iestrādāti vieglie pelni pamata pastiprināšanas nolūkā.



7.5. att. Vieglie pelni iestrādāti ceļa segā [33].

7.2. Metodika

Plūsmas diagramma ar plānotajiem soļiem redzama 7.6. attēlā. Vispirms tika definēts analīzes mērķis un tvērums. Atbilstoši analīzes mērķim un tvērumam tika izstrādāti septiņi scenāriji, kuriem tika doti šādi apzīmējumi – A, B, C, D, E, F un G. A un B ir references scenāriji, ar kuriem plānots salīdzināt citos scenārijos iegūtos rezultātus. Starp visiem scenārijiem ir iespējamās trīs dažādas ceļa segas konstrukcijas (Nr. 1, Nr. 2 un Nr. 3). Pēc scenāriju konstruktīvo kārtu definēšanas tika izstrādātas atjaunošanas un uzturēšanas stratēģijas. Pēc tam, kad tika definēti visi scenāriji un iegūti ar to saistītie vides un ekonomiskie dati, izmantojot rīku *PAVE/LCA/LCCA*, tika veiktas *LCA* un *LCCA* analīzes, kas tika papildinātas ar individuāliem aprēķiniem specifisku procesu iekļaušanai gala rezultātā. Pēc rezultātu iegūšanas tika veikta to apstrāde, reitinga izveide, novērtējums un optimizācija.



7.6. att. Analīzes veikšanas blokshēma.

7.2.1. ANALĪZES MĒRĶIS

Analīzes mērķis ir, izmantojot izstrādāto metodiku un rīku *PAVE/LCA/LCCA*, novērtēt dažādu patlaban reti lietotu vai ceļu būvei inovatīvu materiālu vides un ekonomiskos parametrus un salīdzināt tos ar tradicionālo praksi. Izmantotie materiāli/tehnoloģijas: (1) ļoti plāna asfalta virskārta (*BBTM*); (2) *EOC* bitumena modifikators; (3) ar nolietoto riepu gumiju modificēts asfalts; (4) ar sarkanajiem māliem modificēts asfalts; (5) ar vieglajiem pelniem pastiprināta ceļa segas pamatne.

7.2.2. ANALĪZES TVĒRUMS

Aprēķina veikšanai tika definēta izmantotā sistēma, tās robežas un būtiskākie pieņēmumi. Visi vērā ņemtie procesi ir saskaņoti ar izstrādātā rīka *PAVE/LCA/LCCA* aprēķina iespējām, kas detalizētāk tika aprakstītas 5. nodaļā. Šajā pētījumā ir šādi ietekmes novērtējuma indikatori:

- izmaksas, €;
- SEG, t;
- enerģijas patēriņš, MJ;
- materiālu daudzums, t.

7.2.2.1. FUNKCIONĀLĀ VIENĪBA

Analīzes funkcionālā vienība ir 1 km garš divvirzienu (viena josla katrā virzienā) ceļš. Ceļa platums – 7,5 m, nomales no aprēķina tiek izslēgtas. Analīzes periodā ir četri cikli (sākot no sākotnējās būvniecības līdz kalpošanas laika beigām). Projektēto segu nestspējas rādītāji ir maksimāli pietuvināti, lai izprojektētās konstrukcijas varētu uzskatīt par līdzvērtīgām. Esošā un plānotā satiksmes intensitāte ir nemainīga visos scenārijos.

7.2.2.2. SISTĒMAS APRAKSTS

Atbilstoši mērķim un aprēķina rīka iespējām tika noteiktas aprēķina sistēmas robežas. Analīze tika veikta pēc *cradle-to-cradle* pieejas, kas nozīmē, ka ietekme uz vidi tiek skaitīta, jau sākot ar materiālu iegūšanu (nafta, minerālmateriāli karjeros), līdz pat materiālu atkārtotai izmantošanai. Atkārtoti izmantotajiem materiāliem tiek iekļauta tikai demontāža un to transportēšana, ja tas ir nepieciešams.

Ceļa segas aprites ciklā ir vairāki posmi. Pastāv vairāki iedalījumi, šī pētījuma veikšanā tika izmantota četru ceļa dzīves cikla posmu pieeja. Šo posmu iedalījums redzams 7.2. tabulā, kas papildināts ar indikatoriem un procesiem, kas iekļauti katrā posmā.

Ceļa segas dzīves cikla posmi, aktivitātes un procesi, kas tika iekļauti analīzē

Ceļa segas dzīves cikla posmi	Procesi, kas tika iekļauti katrā dzīves cikla posmā
1. posms. Izejmateriālu iegūšana, kompozītmateriālu ražošana	Indikatori, kas tika iekļauti – izmaksas, enerģija, CO ₂ ekv., materiālu apjomi. <i>LCA</i> – ietver enerģiju, kas tiek patērēta un CO ₂ ekv., kas tiek emitēts, lai iegūtu izejvielas. Demontētā materiālu transportēšana uz atbērtņi vai asfalta rūpnīcu. Izejvielu transportēšana uz asfalta rūpnīcu un emulsijas ražotni. Asfalta, emulsijas un cementa ražošana. <i>LCCA</i> – materiālu, darbaspēka, degvielas izmaksas.
2. posms. Izbūve	Indikatori, kas tika iekļauti – izmaksas, enerģija, CO ₂ ekv., materiālu apjomi. <i>LCA</i> – izejvielu transportēšana no karjera uz objektu vai asfalta rūpnīcu. Materiālu transportēšana no asfalta rūpnīcas uz objektu. Izbūve - emulsijas izsmidzināšana, materiāla iekļāšana, blīvēšana u.c. darbi. Demontāžas procesi - frēzēšana, izrakšana. Nokalpojušo materiālu transportēšana uz atbērtņi, asfalta rūpnīcu. <i>LCCA</i> – materiālu, darbaspēka, degvielas izmaksas.
3. posms. Eksploatācija	Indikatori, kas tika iekļauti – izmaksas, enerģija, CO ₂ ekv., materiālu apjomi. Ietver visus vides un ekonomikas procesus, sākot no izejvielu ieguves un ražošanas stadijas (1. posms) un izbūves (2. posms). Papildus tiek iekļautas nemainīgas uzturēšanas izmaksas pēc garantijas laika beigām līdz ceļa atjaunošanai (plaisu un bedrīšu labošanai).
4. posms. Kalpošanas laika beigas	Indikatori, kas tika iekļauti – materiālu apjomi.

7.2.3. SEGU SCENĀRIJI

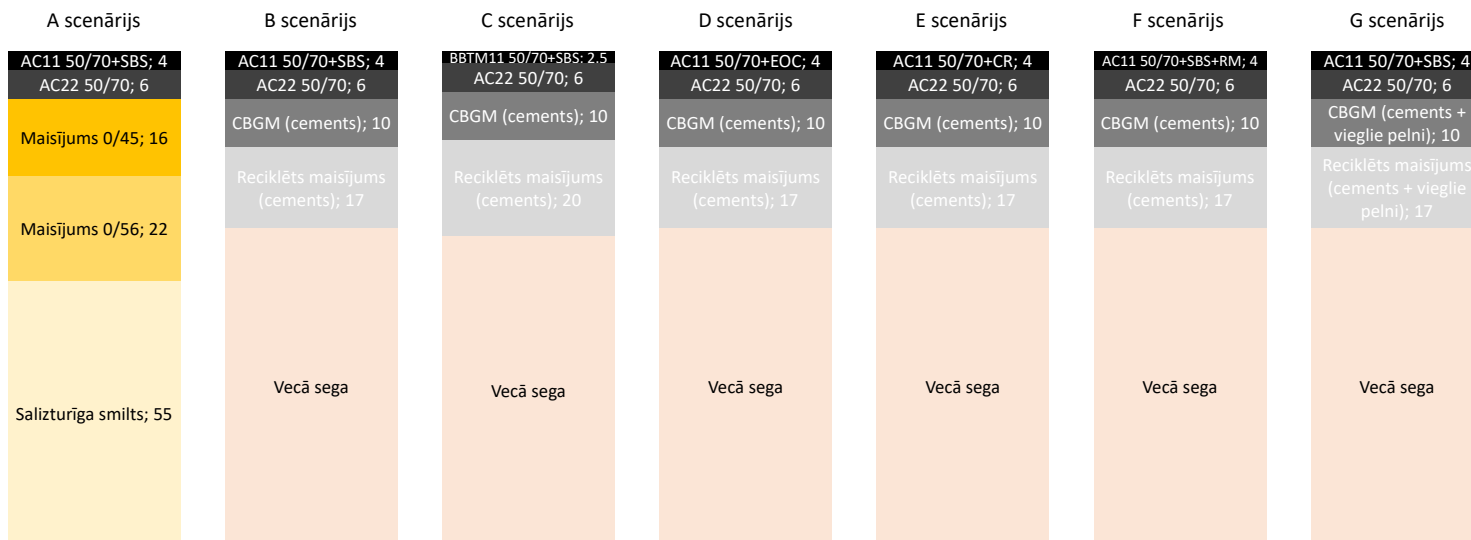
Atbilstoši promocijas darba mērķim tika izprojektētas septiņas dažādas ceļa segas konstrukcijas (7.7. att.). A scenārijs ir pilna ceļa segas konstrukcija, kurā esošajam ceļam ir paredzēts veikt vecās segas pilnīgu demontāžu un jaunas izbūvi. Šajā scenārijā paredzēts izbūvēt salizturīgo kārtu 55 cm biežumā, nesošās kārtas apakškārtu 22 cm biežumā, nesošās kārtas virskārtu 16 cm biežumā, bituminētu AC22 apakškārtu 6 cm biežumā un AC11 virskārtu, kurai izmantots SBS PMB 4 cm biežumā. Plānotā konstrukcija ir 103 cm bieza. Šādas konstrukcijas izbūve nerada riskus, tomēr prasa lielu materiālu apjomu, kas jāiegūst karjeros, jāpārvieta un jāizbūvē.

B, C, D, E, F un G scenārijā ir paredzēts izmantot veco konstrukciju un veikt daļēju tās reciklēšanu, iegūstot saistītu reciklēta maisījumu kārtu 17 cm biežumā (C scenārijā 20 cm biežumā), CBGM kārtu 10 cm biežumā, bituminētu apakškārtu 6 cm biežumā un bituminētu virskārtu 4 cm biežumā (C scenārijā 2,5 cm biežumā). Visos scenārijos visās no jauna būvētajās kārtās paredzēts izmantot dolomītu. Vienīgā atšķirība starp A un B scenāriju ir izvēlēta ceļa atjaunošanas tehnoloģija. A un B scenārijs ir uzskatāms par references scenāriju, un pārējie scenāriji pētījumā tika salīdzināti ar tiem.

C scenārijā paredzēts izmantot BBTM virskārtu 2,5 cm biežumā. Virskārtas biezuma samazinājumu paredzēts kompensēt ar par 3 cm biežāku reciklētās kārtas biežumu. D, E un F

scenārijā virskārtas atšķiras ar izmantotajiem modifikatoriem. Visos šajos scenārijos bitumena modificēšanai paredzēts izmantot ceļu bitumenu 50/70. D scenārijā paredzēts izmantot *EOC* modifikatoru bitumena modificēšanai. *EOC* modifikators paredzēts 4 % apjomā no kopējās saistvielas masas, identiski kā ar *SBS* modifikatoru virskārtā A, B un G scenārijā. E scenārijā paredzēts izmantot *ARwet_{lv}* (ar riepu gumiju modificēts asfalts pēc slapjās metodes) virskārtas tipu, kurā gumijas daudzums ir 15 % no kopējās saistvielas masas. F scenārijā papildus *SBS* modifikatoram paredzēts pievienot sarkanos mālus (*RM*) 7 % apmērā no saistvielas kopējās masas (bitumens kopā ar *SBS*).

G scenārijā atšķirībā no pārējiem ir paredzēts veikt ceļa segas pamata kārtu daļēju pastiprināšanu, izmantojot vieglos pelnus. Vieglos pelnus ir paredzēts izmantot, lai par 50 % samazinātu izmantotā cementa daudzumu. Vieglie pelni nespēj saistīt kārtu tikpat efektīvi kā cements, līdz ar to tie jāizmanto lielākā apjomā.



7.7. att. Plānoto segu konstrukciju salīdzinājums.

7.3. tabulā ir redzamas segumā izmantoto materiālu atšķirības. Visos scenārijos virskārtai paredzēts izmantot ceļa bitumenu 50/70. Jāatzīmē, ka no bitumena ražotājiem nav pieejami uzticami dati par polimēru klātbūtni un modificēšanas procesa ietekmi uz vidi, un enerģijas patēriņu. Tādēļ šīs analīzes ietvaros tika pieņemts, ka A, B, C un G scenārijā izmantotā PMB saistviela tiks iegūta līdzīgos apstākļos kā citiem modifikatoriem modificētās virskārtas (EOC, sarkanie māli, drupināta riepu gumija).

AC asfalta tipam paredzētais kopējais saistvielas saturs (kopā ar modifikatoru) ir 5,2 %, *BBTM* – 0 %, *ARwet_{hv}* – 6,2 %. *ARwet_{hv}* gadījumā gan jāņem vērā, ka faktiskais bitumena saturs ir zemāks – 5,27 %.

ARwet_{hv} saistvielai atbilstoši autora publikācijas norādījumiem ir plānots pievienot *WMA* piedevu asfalta maisījuma izgatavošanas temperatūras samazināšanai par 20 °C. [26]. Tādējādi visos scenārijos virskārtas izgatavošanas temperatūra ir vienāda – 160 °C.

Visos scenārijos izmantotā seguma apakškārta ir identiska. Izmantotais bitumena tips tajā ir 50/70, saistvielas saturs – 3,8 %, asfalta maisījuma izgatavošanas temperatūra – 160 °C.

Tika pieņemts, ka visiem maisījumiem ir vienādas tilpuma īpašības.

7.4. tabulā ir redzamas ceļa pamatā izmantoto materiālu īpašības. Scenāriji iedalāmi trīs grupās atkarībā no pamatā izmantotajiem materiāliem. A scenārijā, kura pamatā ir izmantota salizturīga smilts un šķembu maisījums. B, C, D, E un F scenārijā, kura pamatā ir izmantots reciklēts maisījums, pastiprināts ar cementu, un *CBGM* kārtā, saistīta ar cementu. Visbeidzot, scenārijā G, kura pamatā ir izmantots reciklēts maisījums, pastiprināts ar cementu un vieglajiem pelniem, un *CBGM*, saistīts ar cementu un vieglajiem pelniem.

7.3. tabula

Segumā izmantoto materiālu īpašības

Scenārijs	Tips	Bitumena tips	Minerālmateriāla tips	Bitumena saturs, %	Modifikators	Modifikatora saturs pret kopējo saistvielas daudzumu, %	Kopējais saistvielas saturs, %	Bāzes bitumena cena, €/t	Izmantotās WMA piedevas daudzums pret kopējās saistvielas daudzumu, %	Izgatavošanas temperatūra, °C	Asfalta maisījuma maksimālais blīvums, t/m ³	Poru saturs, %
Virskārta												
A	AC11+SBS	50/70	Dolomīts	5,2	SBS	4	5,2	500	0	160	2,5	4
B	AC11+SBS			5,2	SBS	4	5,2		0			
C	BBTMI1+SBS			5,0	SBS	4	5,0		0			
D	AC11+EOC			5,2	EOC	4	5,2		0			
E	AC11+CR			5,27	Riepu gumijas granulas	15	6,2		0,5			
F	AC11+RM			5,2	SBS, sarkanie māli	4 un 7	5,2		0			
G	AC11+SBS			5,2	SBS	4	5,2		0			
Apakškārta												
A	AC22	50/70	Dolomīts	3,8	-	-	3,8	500	-	160	2,5	4
B												
C												
D												
E												
F												
G												

Ceļa pamatnē izmantoto materiālu īpašības

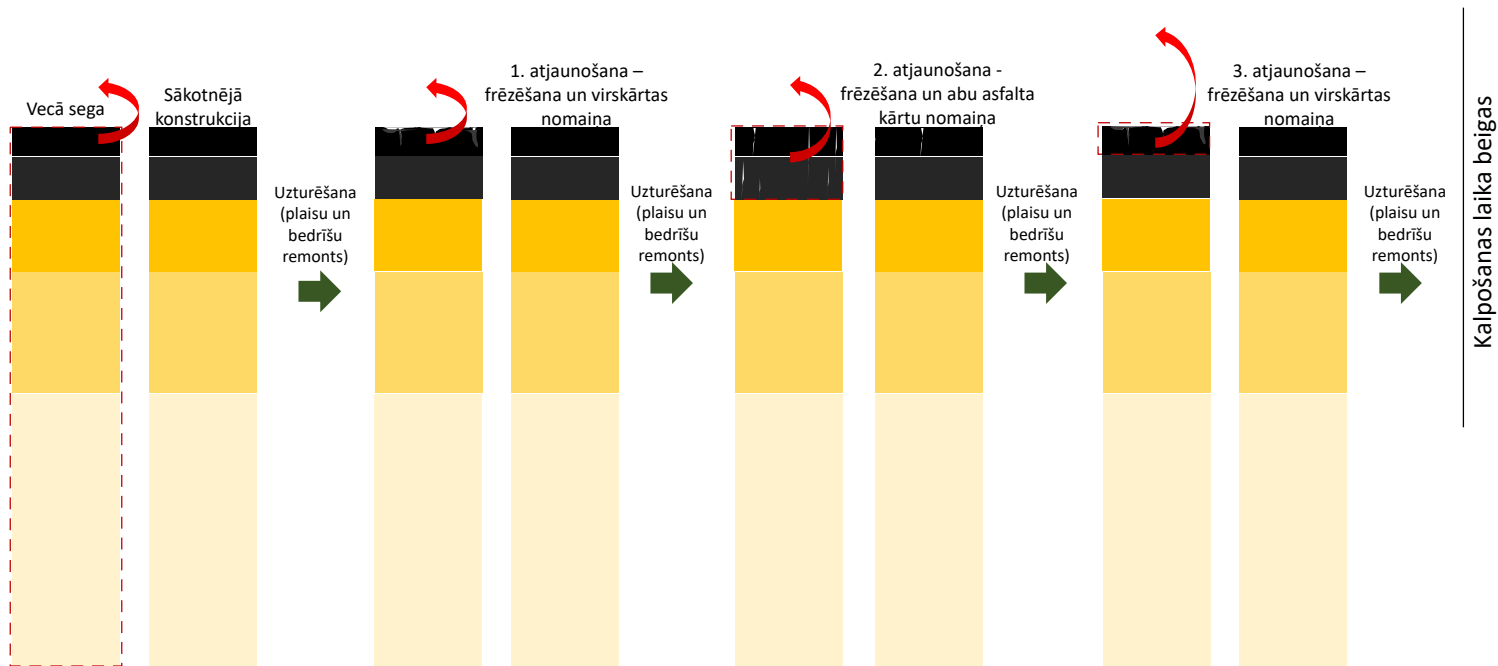
Scenārijs	Papildkārtā	Papildkārtas tilpumbļivums, t/m ³	Nesošā apakškārtā	Nesošās apakškārtas tilpumbļivums, t/m ³	Cementa saturs nesošajā apakškārtā, %	Vieglo pelnu saturs nesošajā apakškārtā, %	Nesošā virskārtā	Nesošās virskārtas tilpumbļivums, t/m ³	Cementa saturs nesošajā virskārtā, %	Vieglo pelnu saturs nesošajā virskārtā, %
A	Salizturīga smilts	1,952	Šķembu maisījums 0/56	2,33	-	-	Šķembu maisījums 0/45	2,33	-	-
B	-	-	Reciklēts maisījums saistīts ar cementu	2,356	3	-	CBGM kārtā saistīta ar cementu	2,331	3	-
C										
D										
E										
F										
G			Reciklēts maisījums saistīts ar cementu un vieglajiem pelniem		1,5	10	CBGM kārtā saistīta ar cementu un vieglajiem pelniem		1,5	10

7.2.4. ATJAUNOŠANAS STRATĒGIJAS

Atbilstoši aprēķina periodam, kas tika izvēlēts 44 gadi, tika izstrādātas divas dažādas ceļa segu atjaunošanas stratēģijas, kuru vizualizācijas ir redzamas 7.8. attēlā un 7.9. attēlā. Šīs stratēģijas iedalās atbilstoši sākotnējai ceļa konstrukcijai – (1) vecās konstrukcijas demontāža pilnā dziļumā un jaunas izbūve, (2) daļēja vecās segas demontāža, tās pastiprināšana, jaunas samazinātas konstrukcijas izbūve. Tas nozīmē, ka 1. atjaunošanas stratēģija tika piemērota A scenārijā un 2. stratēģija – B, C, D, E, F, G scenārijā.

7.2.4.1. STRATĒGIJA NR. 1

Atjaunošanas stratēģija nr. 1 paredz pilnīgu vecās ceļa segas konstrukcijas demontāžu un jaunas izbūvi. Sākotnēji paredzēts izbūvēt drenējošo kārtu, ceļa pamata kārtu ar divu dažādu frakciju šķembu maisījumiem, asfalta apakškārtu un virskārtu. Starp visām atjaunošanām ir iekļauta preventīva ceļa uzturēšana, veicot plaisu un bedrīšu remontu. Pirmajā atjaunošanā paredzēts veikt virskārtas nomaiņu, to nofrēzējot un ieklājot identisku virskārtu iepriekšējai. Otrajā atjaunošanā paredzēts veikt abu asfalta kārtu nomaiņu pret jaunām. Trešajā atjaunošanā atkal ir iekļauta virskārtas nomaiņa pret jaunu, tāda paša materiāla virskārtu. Visbeidzot, konstrukcija nokalpo līdz paredzētajām aprēķina perioda beigām.

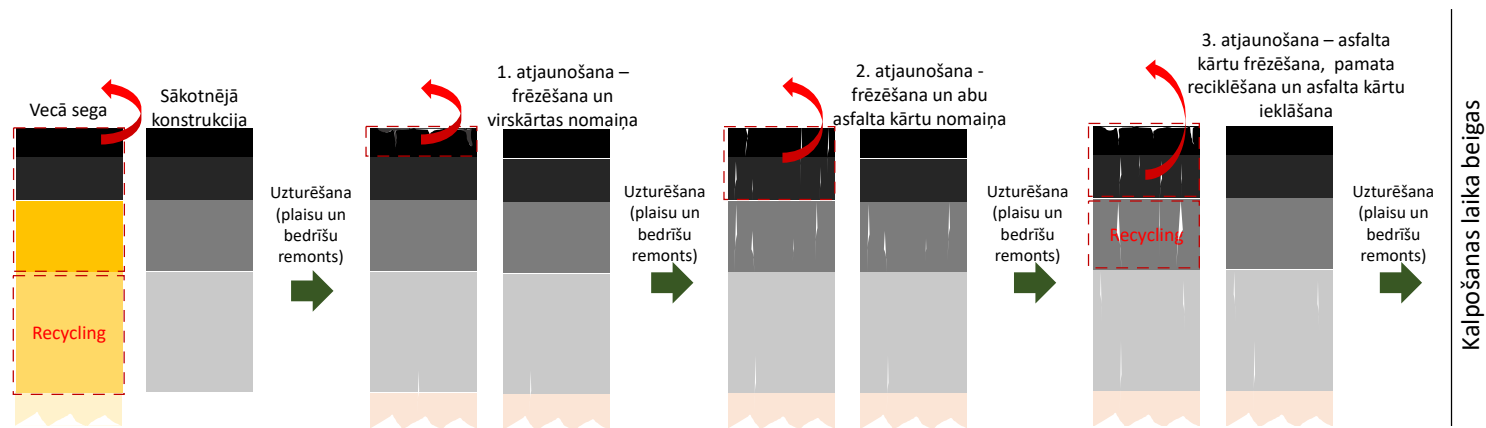


7.8. att. Atjaunošanas stratēģija, kas iekļauj pilna dziļuma vecās konstrukcijas demontāžu un jaunas izbūvi.

7.2.4.2. STRATĒGIJA NR. 2

Atjaunošanas stratēģija nr. 2 paredz daļēju vecās konstrukcijas demontāžu, vecā pamata pastiprināšanu, *CBGM* un asfalta kārtu izbūvi. Pēc daļējas vecās konstrukcijas demontāžas, ir paredzēta ceļa pamata apakškārtas izbūve, reciklējot veco konstrukciju ar cementa saistvielu. Pēc tās tiek izbūvēta *CBGM* kārtā un divas asfalta kārtas. Identiski kā atjaunošanas stratēģijā nr. 1, starp atjaunošanām paredzēta preventīva uzturēšana (plaisu un bedrīšu remonts). Pirmajā atjaunošanā paredzēts veikt virskārtas nomaiņu, to nofrēzējot un ieklājot identisku iepriekšējai virskārtai. Otrajā atjaunošanā paredzēts veikt abu asfalta kārtu nomaiņu pret identiskām tādām pašām. Trešajā atjaunošanā paredzēts veikt asfalta kārtu

nomaiņu un *CBGM* kārtas reciklēšanu. Iemesls *CBGM* kārtas nomaiņai ir progresējošās plaisas no reciklētās kārtas, tādēļ, lai nodrošinātu konstrukcijas kalpošanu un atjaunotu nestspēju, ir iepļānota šīs kārtas pārreciklēšana, izmantojot cementa saistvielu. Pēc trešās atjaunošanas konstrukcija nokalpo līdz paredzētajam aprēķina perioda beigām.



7.9. att. Atjaunošanas stratēģija, kas iekļauj daļēju vecās konstrukcijas demontāžu, pastiprināšanu un jaunu konstruktīvo kārtu izbūvi.

7.2.5. ATJAUNOŠANAS UN UZTURĒŠANAS PLĀNS

Saskaņā ar atjaunošanas stratēģijām visos scenārijos tika izstrādāts detāls atjaunošanas un uzturēšanas plāns (7.10. att.). Tikai A scenārijā ir paredzēta pirmā atjaunošanas stratēģija, savukārt pārējos scenārijos (B, C, D, E, F, G) – otrā stratēģija.

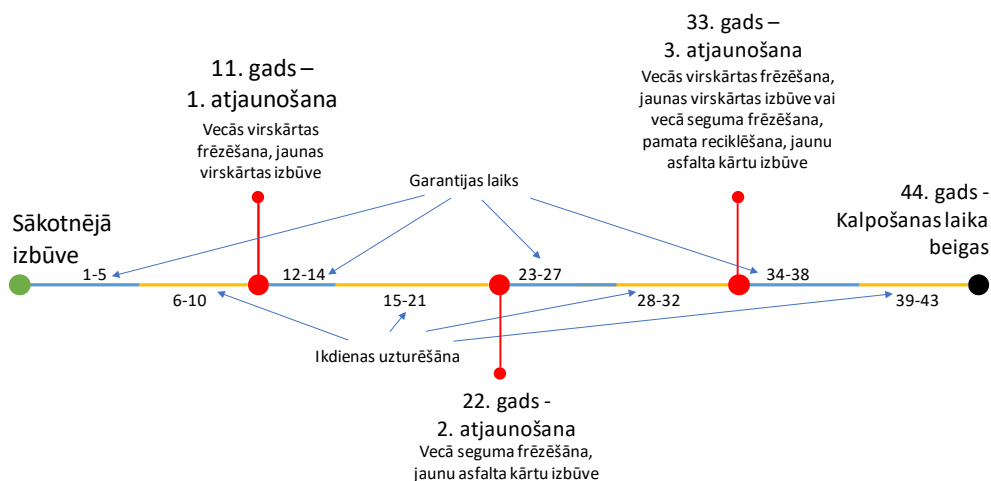
Atbilstoši analīzes mērķim, tika pieņemts, ka asfalta kārtu kalpošanas laiks visos scenārijos ir identisks. Iemesls šādai pieejai ir uzticamu datu neesamība par izvēlēto materiālu un tehnoloģiju kalpošanas laiku, un tā dod iespēju vienlīdzīgi novērtēt pamata ietekmes, nedodot kādam priekšrocību. Tādējādi rezultātus ir iespējams interpretēt, iegūstot datus par ilgtermiņa kalpošanas īpašībām. Vidējais determinētais kalpošanas laiks vienam ciklam visos scenārijos ir 11 gadi. Šāds cikla garums tika noteikts konsultējos ar nozares ekspertiem.

Tika pieņemts, ka visi atjaunošanas darbi aprēķina vienkāršošanas nolūkos aizņem tieši vienu gadu. Analīzes periods sākas ar sākotnējās konstrukcijas izbūvi (IC) 2023. gadā. Atbilstoši LVC garantijas noteikumiem, garantijas laiks pilnas pārbūves gadījumā ir pieci gadi, asfalta kārtas(u) nomaiņas gadījumā – trīs gadi. Pēc sākotnējās konstrukcijas izbūves 2024. gadā sākas garantijas periods, kas ilgst līdz 2028. gadam, kura laikā būvuzņēmējs ir atbildīgs par defektiem, kas radušies ceļa posmā, un tos novērš par saviem līdzekļiem. Tiek pieņemts, ka šajā periodā netiek radītas papildu izmaksas vai ietekme uz vidi. Pēc garantijas laika beigām ceļa īpašnieks pārņem tā uzturēšanu, kas ilgst no 2029. līdz 2033. gadam. Šajā laikā ceļa īpašniekam var būt nepieciešams ieguldīt līdzekļus preventīvas uzturēšanas darbos, kā plaisu aizpildīšana vai bedrīšu lāpīšana. 2034. gadā ir iepļānota virskārtas nomaiņa (1R), kas iekļauj gan nolietoto virskārtas demontāžu, gan jaunās kārtas ieklāšanu. Pēc tās seko garantijas periods, kas šāda veida darbiem ir trīs gadi un kalendārajā plānā iezīmēts no 2035. līdz 2037. gadam. Pēc garantijas laika beigām seko uzturēšanas periods, kas ilgst no 2038. līdz 2044. gadam, kura laikā ceļa īpašnieks preventīvi rūpējas par segas virskārtu. 2045. gadā iepļānota abu asfalta kārtu nomaiņa (2R), lai atjaunotu segumu visā dziļumā. Pēc asfalta kārtu nomaiņas seko garantijas laiks no 2046. līdz 2048. gadam. Garantijas laikam beidzoties, sākas preventīvās uzturēšanas darbi par ceļa īpašnieka līdzekļiem, kas ilgst no 2049. gada līdz 2055. gadam. Pēc šī perioda beigām seko 3. atjaunošanas process (3R), kas A scenārijā atšķiras no citiem. Tajā ir iepļānota tikai virskārtas nomaiņa, turpretim pārējo scenāriju gadījumā ir paredzēts veikt asfalta kārtu frēzēšanu, pamata atkārtotu reciklēšanu un jaunu asfalta kārtu ieklāšanu. Iemesls šādai pieejai ir tāds, ka ar cementu pastiprinātās kārtas ir pusstingas, kas laika gaitā noved pie plaisu veidošanas satiksmes slodzes un zemes klātnes kustību rezultātā. A scenārijā, kurā sākotnēji tika izbūvēta pilna drenējošā kārtā un nesaistītu šķembu kārtā, šādu risku nav, tādēļ preventīvi uzturētam segumam pārbūve nav nepieciešama. Pēc 3. atjaunošanas darbiem A scenārijā garantijas periods ir no 2057. līdz 2059. gadam. Pārējos scenārijos garantijas laiks ir ilgāks, jo veikto darbu apjoms konstrukciju ietekmē vairāk. Šiem scenārijiem garantijas periods ir pieci gadi – no 2057. gada līdz 2061. gadam. Pēc garantijas perioda konstrukcija atkārtoti tiek periodiski uzturēta no 2062. līdz 2066. gadam. Pēc uzturēšanas analīzes periods noslēdzas (EOL) 2067. gadā ar kopējo dzīves cikla garumu 44 gadi (2023-2067).

Year	Reconstruction plan	Acronym of mayor construction	Scenario A	Scenarios B, C, D, E, F, G
0	2023	IC	Initial construction	Initial construction
1	2024		Warranty	Warranty
2	2025		Warranty	Warranty
3	2026		Warranty	Warranty
4	2027		Warranty	Warranty
5	2028		Warranty	Warranty
6	2029		Maintenance	Maintenance
7	2030		Maintenance	Maintenance
8	2031		Maintenance	Maintenance
9	2032		Maintenance	Maintenance
10	2033		Maintenance	Maintenance
11	2034	1R	Surface Relaying (SR)	Surface Relaying (SR)
12	2035		Warranty	Warranty
13	2036		Warranty	Warranty
14	2037		Warranty	Warranty
15	2038		Maintenance	Maintenance
16	2039		Maintenance	Maintenance
17	2040		Maintenance	Maintenance
18	2041		Maintenance	Maintenance
19	2042		Maintenance	Maintenance
20	2043		Maintenance	Maintenance
21	2044		Maintenance	Maintenance
22	2045	2R	Surface-Binder- Relaying (SBR)	Surface-Binder- Relaying (SBR)
23	2046		Warranty	Warranty
24	2047		Warranty	Warranty
25	2048		Warranty	Warranty
26	2049		Maintenance	Maintenance
27	2050		Maintenance	Maintenance
28	2051		Maintenance	Maintenance
29	2052		Maintenance	Maintenance
30	2053		Maintenance	Maintenance
31	2054		Maintenance	Maintenance
32	2055		Maintenance	Maintenance
33	2056	3R	Surface Relaying (SR)	Recycling (R) and laying of asphalt courses
34	2057		Warranty	Warranty
35	2058		Warranty	Warranty
36	2059		Warranty	Warranty
37	2060		Maintenance	Warranty
38	2061		Maintenance	Warranty
39	2062		Maintenance	Maintenance
40	2063		Maintenance	Maintenance
41	2064		Maintenance	Maintenance
42	2065		Maintenance	Maintenance
43	2066		Maintenance	Maintenance
44	2067	EOL	-	-

7.10. att. Atjaunošanas un uzturēšanas plāns scenārijos (izvilums no rīka *PAVE/LCA/LCCA*).

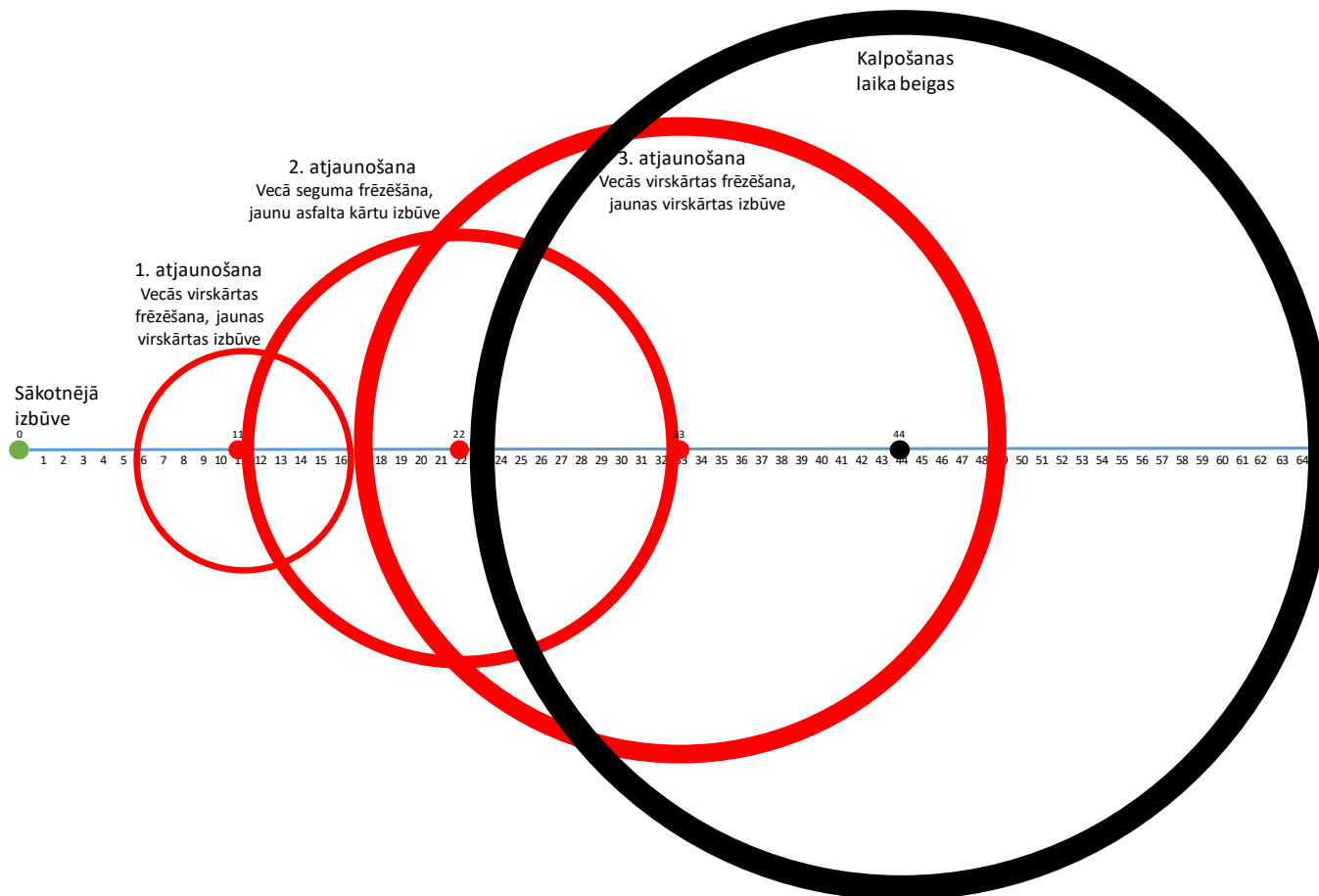
Vizualizēts atjaunošanas un uzturēšanas plāna piemērs A scenārija determinētajai un varbūtiskajai pieejai redzams 7.11. attēlā un 7.12. attēlā. Determinētās pieejas atjaunošanas un uzturēšanas plāns ir saskaņā ar Attēls 7.10. Attēls 7.11. dzeltenās līnijas apzīmē ikdienas uzturēšanas posmus. Sarkanie punkti apzīmē segas atjaunošanas darbus, un melnais – kalpošanas laika beigas.



7.11. att. Determinētās pieejas kalendārais plāns.

Varbūtiskās pieejas plāns ir saskaņā ar determinētās pieejas kalendāro plānu, kam ir pievienotas potenciālās maksimālās un minimālās kalpošanas laika robežas. Rīks *PAVE/LCA/LCCA* atbalsta varbūtisko sadalījumu. Pēc konkrētā uzturēšanas un atjaunošanas plāna 1. atjaunošana jāveic ne ātrāk kā 6. kalpošanas gadā un ne vēlāk kā 16. kalpošanas gadā. Savukārt, 2. atjaunošanas potenciālais diapazons ir plašāks, un atjaunošana var notikt starp 12. un 32. gadu. 3. atjaunošanas diapazons ir vēl plašāks, un atjaunošana var būt starp 18. un 48. gadu. Visbeidzot, analīzes perioda garums varbūtiskajai pieejai, iekļaujot trīs atjaunošanas var būt diapazonā no 24. (negatīvākajā scenārijā) līdz 60. gadam (pozitīvākajā scenārijā).

Varbūtiskās pieejas kalendārais plāns redzams Attēls 7.12. Krāsainie aplī apzīmē to pašu, ko Attēls 7.11., zaļš ir sākotnējā izbūve, sarkans – atjaunošana, melns – kalpošanas laika beigas. Atšķirībā no determinētās pieejas varbūtiskajā pieejā ir pieņemts, ka kalpošanas laiks var mainīties. Šī pētījuma ietvaros tika pieņemts, ka kalpošanas laiks var mainīties pēc normālsadalījuma funkcijas. Piemēram, lai gan visticamākais ir variants, ka 1. atjaunošana notiks 11. gadā (ekspertu pieņēmums), tomēr pastāv iespēja, ka to ir nepieciešams atjaunot ātrāk vai tieši pretēji – vēlāk. Tika pieņemts, ka šī nobīde var būt +/- 5 gadi. Pie katras nākamās atjaunošanas šī potenciālā novirze no vidēji iespējamākā kalpošanas laika vēl vairāk pieaug, kas atspoguļojas aplū izmēros



7.12. att. Varbūtiskās pieejas kalendārais plāns.

7.3. Dzīves cikla inventarizācija

Šajā apakšnodaļā ir aprakstīti visi dzīves cikla posmi, tajos veiktie darbi, lai radītu labāku priekšstatu par plānoto analīzi, tajā iekļautajiem dzīves cikla posmiem un aprēķina rīka darbību, kā arī izvēlētajiem aprēķina lielumiem konkrētās analīzes veikšanai. Ceļa segas dzīves cikls tika izvērsti, papildinot to ar materiālu transportēšanas procesiem un iespējamām izvēlēm dažādos posmos (7.13. att.). Ceļa segai un tajā esošajiem materiāliem var būt ilgāks kalpošanas laiks nekā noteiktais analīzes garums, kā arī jau sākotnēji plānotajā konstrukcijā var tikt izmantoti materiāli no atjaunojamā ceļa. Tas jāņem vērā – dzīves ciklā tos var izmantot arī atkārtoti.

Izmantotā degviela *LCA* tika iekļauta pēc *well-to-wheel* pieejas, ņemot vērā arī naftas ieguves, transportēšanas un pārstrādes procesu laikā radītās ietekmes. *LCA* un *LCCA* aprēķiniem vajadzīgie lielumi redzami 7.5. tabulā un 7.6. tabulā.

7.5. tabula

Degvielas veidu SEG, enerģija un cena

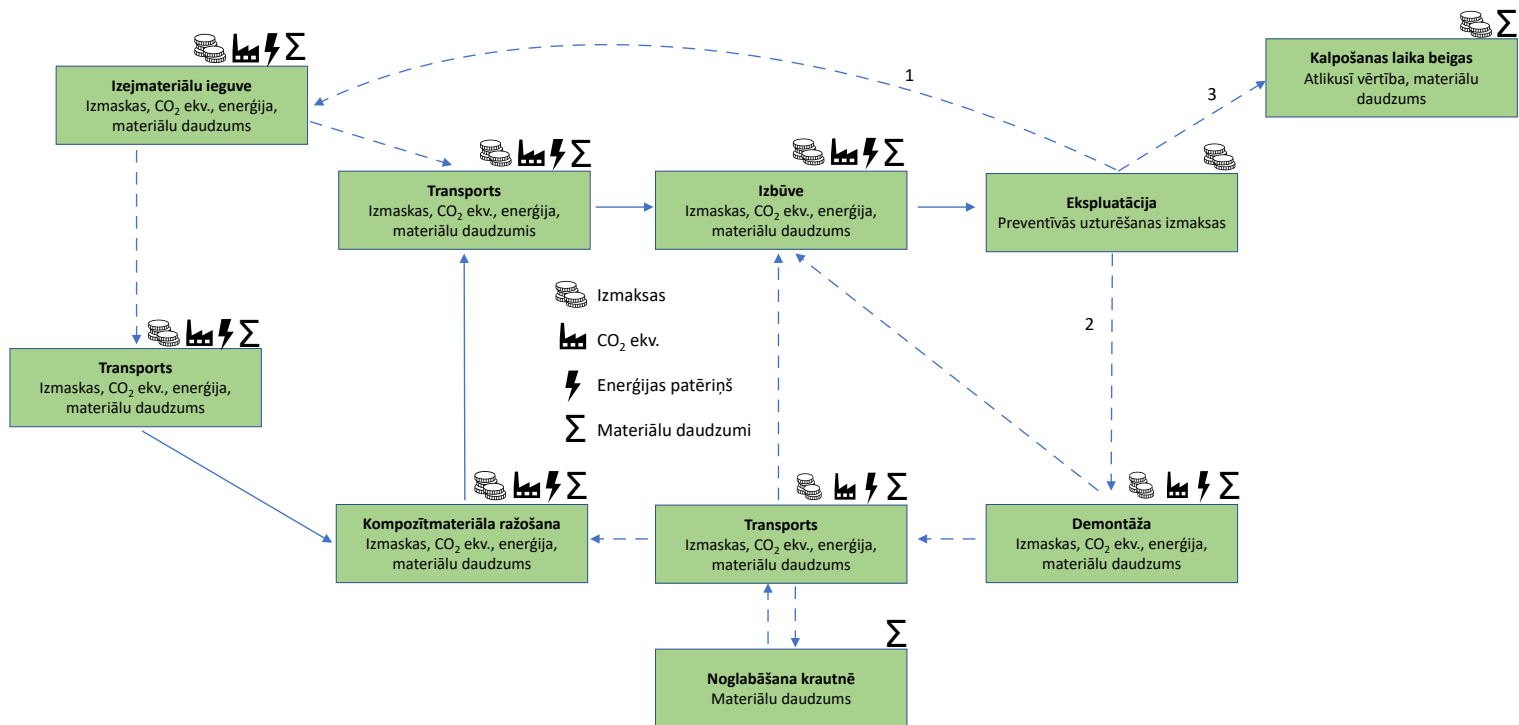
Degvielas veids	CO ₂ ekv., kg/l	Enerģija, MJ/l	Cena, €/l
Benzīns	2,88	37,7	1,70
Dīzeļdegviela	3,24	42,7	1,65
Dabasgāze	0,00246	0,0404	0,0012

7.6. tabula

Elektroenerģijas SEG, enerģija un cena

	CO ₂ ekv. Kg/kWh	Enerģija, MJ/kWh	Cena, €/kWh
Elektroenerģija*	0,218224	3,6	0,15

*Tiek pieņemts, ka puse no izmantotās elektroenerģijas ir no atjaunīgiem resursiem.



7.13. att. Ceļa segas materiālu plūsmu diagramma [76].

7.3.1. CEĻA SEGAS DZĪVES CIKLI

7.3.1.1. IZEJMATERIĀLU IEGUVE, KOMPOZĪTMATERIĀLU RAŽOŠANA

Veicot ceļa izbūvi vai rekonstrukciju, viss sākas ar jaunu izejmateriālu ieguvu. Būtiskākās materiālu grupas ir bitumens, cements un minerālmateriāls. Izmantotais rīks neparedz detalizētu vides ietekmes novērtējumu šādiem materiāliem, bet atbalsta to definēšanu. Tam ir paredzēta rīka *PAVE/LCA/LCCA* izklājlapa – *Raw material acquisition*. Pavisam šajā izklājlappā ir iespējams definēt ietekmes astoņām materiālu grupām – minerālmateriāliem, bitumenam, cementam, atgūtam asfaltam, atgūtai ceļa segai, emulsijai, asfalta aizpildītājam un vieglajiem pelniem. Minerālmateriāliem, bitumenam un cementam ir iespējams definēt līdz sešiem dažādiem izcelsmes avotiem, kā arī var detalizēti izšķirt to vides ietekmes. Piemēram bitumena CO₂ ekv. un enerģijas patēriņš veidojas jau no naftas ieguves, tās transportēšanas, pārstrādes, bitumena uzglabāšanas un tā transportēšanas uz asfalta rūpnīcu. Analīzei izmantotās CO₂ ekv. un enerģijas patēriņa vērtības, kā arī izmaksas izmantotajiem materiāliem redzamas 7.7. tabulā.

7.7. tabula

Galveno materiālu grupu SEG, enerģijas patēriņš un izmaksas (bez transportēšanas)

Materiāls	Piezīme	CO ₂ ekv., t/t	Enerģija, MJ/t	Izmaksas, €/t
Minerālmateriāls	Salizturīga smiltis	0,01	40	2,5
	Maisījums 0/45, 0/56	0,01	40	6
	Šķembas asfalta apakškārtai	0,0115	60	18
	Šķembas asfalta virskārtai	0,01324	82,7	25
Bitumens	Asfalta kārtām	0,2075	3069,92	600
Cements	Pamata pastiprināšanai	0,792	2424	120
Atgūts asfalts	Pamata izbūvei	0,01	40	0
Atgūta ceļa sega	Pamata izbūvei	0,01	40	
Bitumena emulsija	Starp asfalta kārtām	0,15*	2500*	600
Minerālais aizpildītājs	Asfalta kārtām	0,03	160	38
Vieglie pelni	Pamata pastiprināšanai	0,01	100	0

*Tiek ņemta vērā tikai bitumena ietekme

Atbilstoši pētījuma mērķim, CO₂ ekv. un enerģijas vērtības tika iegūtas arī iepļānotajiem bitumena modifikatoriem – riepu gumijas granulas, *SBS*, *EOC* un sarkanajiem māliem (7.8.

tab.). Cena *SBS* un *EOC* tika noskaidrota, aptaujājot piegādātājus no *www.alibaba.com*. Cena iekļauj gan materiāla izmaksas, gan to piegādi līdz Rīgas ostai.

7.8. tabula

Bitumena modifikatoru SEG un enerģijas patēriņš bez transporta

Materiāls	Piezīme	CO ₂ ekv., t/t	Enerģija, MJ/t	Cena, €/t	Transporta veids
Riepu gumijas granulas	Bitumena modifikators	1,22	4968	180	Kravas transports
<i>SBS</i>		1,2	37 800	1818*	Jūras transports
<i>EOC</i>		1,2	35 000	1875*	+ kravas transports
Sarkanie māli		Tikai materiāla transportēšana			Kravas transports

*materiāla cena Rīgas ostā piegādātam materiālam (materiāla cena un transportēšana).

E scenārijā papildus klāt pievienojama siltā asfalta piedeva (*WMA*) temperatūras samazināšanai (7.9. tab.).

7.9. tabula

Siltās asfalta piedevas SEG un enerģijas patēriņš

Materiāls	Piezīme	CO ₂ ekv., t/t	Enerģija, MJ/t	Cena, €/t	Transporta veids
<i>WMA</i>	Viskozitātes samazināšana	4,750	9560	4000	Kravas transports

Izejmateriālu nepieciešamais daudzums ir tieši atkarīgs no izprojektētās ceļa segas konstrukcijas. Zinot plānotās konstrukcijas dimensijas un izbūvējamā materiāla tilpumīpašības (7.3. tab. un 7.4. tab.), tika aprēķināts nepieciešamais materiālu daudzums katrā no kārtām. Izvēlētais projekta risinājums nosaka, vai un cik daudz plānots jaunās konstrukcijas izbūvē, izmantot materiālus no nokalpojušās konstrukcijas. Ja tas ir plānots, tad aprēķinos jāņem vērā ietekme gan uz vidi, gan izmaksām, kas radusies demontāžas procesā. Demontāžas process var ietvert asfalta frēzēšanas darbus, materiālu demontāžu ar frontālo iekrāvēju. Demontētais materiāls var tikt atkārtoti izmantots tajā pašā vai citā konstrukcijā. Līdz ar to jāņem vērā arī transporta ietekmes. Pēc materiālu ieguves (jaunu vai no vecās segas) tie tiek transportēti uz objektu vai arī uz rūpnīcu kompozītmateriālu, piemēram, asfalta, izgatavošanai. Pēc kompozītmateriāla izgatavošanas arī tas tiek transportēts uz objektu iestrādei. Šajā analizē B, C, D, E, F un G scenārija pamatā tika izmantots jau esošs materiāls ceļa segā. Šim atkārtoti

izmantotajam materiālam ņemtas vērā demontāžas ietekmes. Reciklēšanas procesā demontāža pilda arī iestrādes funkciju un tādēļ iekļaujas 2. dzīves cikla posmā.

Šajā dzīves cikla posmā ieskaitāms arī transports no naftas pārstrādes rūpnīcas un minerālmateriālu karjera līdz asfalta rūpnīcai (7.10. tab.). Pārējie transporta maršruti, kur galapunkts ir objekts, tiek skaitīti otrajā dzīves cikla posmā – izbūve. Šajā analīzē bitumena izcelsme ir Mažeiki, Lietuvā. Minerālmateriāls virskārtai tiek iegūts no vietēja dolomīta karjera. Ar šo arī noslēdzas 1. dzīves cikla posms. Rezultātā rīks *PAVE/LCA/LCCA* kvantificē izmaksas, SEG un patērēto enerģiju, ņemot vērā lietotāju definētās materiālu ietekmes (*raw material acquisition*) (7.7. tab., 7.8. tab. un 7.9. tab.) un izejmateriālu (bitumena, minerālmateriāla) transportēšanas ietekmes uz asfalta rūpnīcu (7.10. tab.).

7.10. tabula

Izejmateriālu transportēšanas attālumi, kas tiek veikti ar kravas transportu

Būtiskākie attālumi materiālu ieguves posmā	Attālums, km
Attālums no naftas pārstrādes rūpnīcas līdz asfalta rūpnīcai	200
Attālums no karjera līdz asfalta rūpnīcai	50

7.3.1.2. IZBŪVE

Izbūves posms ir 2. solis atbilstoši izmantotajam ceļa dzīves cikla sadalījumam. Izbūves posmā ir iekļautas gan materiālu piegādes uz objektu, gan arī pats izbūves process. Šajā aprēķinā izbūves posmā tiek skaitīts transports, kura gala pietura ir ceļš (objekts), kur tiek nogādāti materiāli. Izejmateriālu un kompozītmateriālu transportēšanas apjomi izmantoti analīzes veikšanai attālumi redzami 7.11. tabulā.

7.11. tabula

Izejmateriālu un kompozītmateriālu transportēšanas attālumi, kas tiek veikti ar kravas transportu

Būtiskākie attālumi izbūves posmā	Attālums, km
Attālums no karjera līdz asfalta rūpnīcai	50
Attālums no asfalta rūpnīcas līdz objektam	50
Attālums no emulsijas rūpnīcas līdz objektam	100
Attālums no cementa rūpnīcas līdz objektam	100
Attālums no vieglo pelnu glabāšanas vietas līdz objektam	100
Attālums no objekta līdz krautnei vai atbērtnei	50

Pēc materiālu piegādes tie tiek iestrādāti ceļa segā. Lai korekti novērtētu darbaspēka izmaksas, transporta un izbūves procesi tika saskaņoti. Tehnikas vienības, kas tika izmantotas šajā analīzē, ir sadalītas vairākās tabulās – 7.12., 7.13. un 7.14. atbilstoši ceļa segas kārtām –

segums (virskārta, apakškārta), nesaistīts pamats (smilts, šķembu maisījums) un saistīts pamats (reciklēts maisījums, *CBGM*). Katrā no šiem iedalījumiem ir iekļautas būtiskākās tehnikas vienības, kam ir vismaz 5 % ietekme uz degvielas patēriņu konkrētajā kārtā. Visi dati ir iegūti sadarbībā ar Latvijā strādājošajiem būvuzņēmējiem. Veicot seguma izbūvi, zināms, ka jo biežāka asfalta kārta, jo vairāk tonnas asfalta stundā ir iespējams iestrādāt. Tomēr ņemot vērā, ka kārta ir biežāka, tās izbūve visā garumā prasa ilgāku laiku.

Atbilstoši atjaunošanas stratēģijām A scenārija gadījumā viss sākas ar nokalpojušās konstrukcijas demontāžu. Demontāža ietver asfalta frēzes, ekskavatora un kravas transporta izmantošanu. Tā kā A scenārijā materiālu nav plānots atkārtoti izmantot, tad tas tiek transportēts uz atbērti. B, C, D, E, F un G scenārijā viss sākas ar demontāžu, tomēr atšķirībā no A scenārija, materiālu nav plānots transportēt, tikai sagatavot reciklēšanai. Tādēļ šo scenāriju gadījumā nākamais solis ir izbūve.

Seguma izbūvei izmantoto tehnikas vienību degvielas patēriņš un produktivitāte stundā

Tehnikas vienības veids	Tehnikas vienību skaits, gab.	Ar tehnikas vienību saistīto darbinieku skaits, gab.	Pozīcija	Seguma virskārta	Seguma apakškārta
Asfalta rūpnīca	1	6	Degvielas patēriņš, l/st	1 020 000, dabasgāze	1 020 000, dabasgāze
			Elektrības patēriņš, kWh	660	660
			Produktivitāte, t/st	120	120
Asfalta ieklājējs	1	4	Degvielas patēriņš, l/st	15	20
			Produktivitāte, t/st	120	120
Gudronātors	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	15	15
			Produktivitāte, m ³ /st	2	2
Pneimatiskais veltnis	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	8	8
			Produktivitāte, t/st	120	120
Gludais valču veltnis	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	8	8
			Produktivitāte, t/st	120	120
Kombinētais veltnis	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	8	8
			Produktivitāte, t/st	120	120
Vilcējs ar puspiekabi	8	8	Degvielas patēriņš, l/st	35	35
			Produktivitāte, t/st	19,05	19,05

Ceļa nesaistītā pamata izbūvei izmantoto tehnikas vienību degvielas patēriņš un produktivitāte stundā

Tehnikas vienības veids	Tehnikas vienību skaits, gab.	Ar tehnikas vienību saistīto darbinieku skaits, gab.	Pozīcija	Smilts	Šķembu maisījums
Ieklājējs	1	6	Degvielas patēriņš, l/st	-	20
			Produktivitāte, t/st		200
Buldozers	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	16	-
			Produktivitāte, t/st	60	
Frontālais iekrāvējs	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	13	13
			Produktivitāte, t/st	60*	200*
Pneimatiskais veltnis	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	8	8
			Produktivitāte, t/st	150	150
Gludais valču veltnis	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	8	8
			Produktivitāte, t/st	150	150
Kombinētais veltnis	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	8	8
			Produktivitāte, t/st	150	150
Pašizgāzējs (uz vietas objektā)	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	15	15
			Produktivitāte, t/st	60*	200*
Vilcējs ar puspiekabi, 25 t	10	10	Degvielas patēriņš, l/st	35	35
			Produktivitāte, t/st	19,05	19,05

*Produktivitāte ir saskaņota ar ieklājēja vai buldozera produktivitāti.

Ceļa saistīta pamata izbūvei izmantoto tehnikas vienību degvielas patēriņš un produktivitāte stundā

Tehnikas vienības veids	Tehnikas vienību skaits, gab.	Ar tehnikas vienību saistīto darbinieku skaits, gab.	Pozīcija	Reciklēts maisījums	CBGM
Aukstā pārstrādes rūpnīca	1	6	Degvielas patēriņš, l/st	-	35
			Produktivitāte, t/st		200
Ieklājējs	1	4	Degvielas patēriņš, l/st	-	20
			Produktivitāte, t/st		200
Reciklers	1	2	Degvielas patēriņš, l/st	82	-
			Produktivitāte, t/st	150	
Buldozers	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	16	-
			Produktivitāte, t/st	150*	
Greiders	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	12.5	-
			Produktivitāte, t/st	150	
Frontālais iekrāvējs	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	13	-
			Produktivitāte, t/st	150*	
Pneimatiskais veltnis	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	8	8
			Produktivitāte, t/st	150*	200*
Gludais valču veltnis	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	8	8
			Produktivitāte, t/st	150*	200*
Kombinētais veltnis	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	8	8
			Produktivitāte, t/st	150*	200*
Pašizgāzējs	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	10	-
			Produktivitāte, t/st	150*	

Cementa kaisītājs + autocisterna	1	1	Degvielas patēriņš, l/st	23	23
			Produktivitāte, t(cementa)/st	2	2
Vilcējs ar puspiekabi, 25 t	7	7	Degvielas patēriņš, l/st	-**	35
			Produktivitāte, t(cementa)/st		19,05

* Produktivitāte ir saskaņota ar reciklera vai ieklājēja produktivitāti.

** Reciklētajam materiālam nav paredzēts pievienot jaunu minerālmateriālu.

7.3.1.3. CEĻA LIETOŠANA

Ceļa lietošanas dzīves posms ir garākais no visiem posmiem, tas ir periods pēc sākotnējās izbūves līdz segas kalpošanas laika beigām. Šo periodu var iedalīt trīs grupās – garantijas laiks, ikdienas uzturēšana un atjaunošanas darbi. Kā jau tika minēts 7.2.5 nodaļā, garantijas laiks tika piemērots atbilstoši VSIA “Latvijas Valsts ceļi” garantijas politikai (7.15. tab.). Šajā periodā būvuzņēmējs ir atbildīgs par defektu novēršanu, ar saviem līdzekļiem. Būvuzņēmējs nav ieinteresēts sava darba pārtaisīšanā, tādēļ lielākajā daļā gadījumu šāda prakse nebūs novērojama, tādēļ var pieņemt, ka garantijas periodā netiek radītas emisijas, patērēta enerģija un radītas papildu izmaksas ceļa segas uzturēšanai labā stāvoklī.

7.15. tabula

Garantijas laiks atkarībā no veikto atjaunošanas darbu mēroga

Atjaunošanas veids	Garantijas laiks, gadi
Virskārtas frēzēšana un jaunas kārtas ieklāšana	3
Asfalta kārtu frēzēšana un jaunu kārtu ieklāšana	3
Daļēja seguma frēzēšana, reciklēšana ar cementa saistvielu, jauna seguma ieklāšana	5
Vecās segas demontāža, jaunas segas izbūve	5

Pēc garantijas laika beigām ceļš tiek nodots pārvaldītājam. Uzticamu datu neesamības dēļ un aprēķina vienkāršošanas nolūkos šajā periodā lielumi tiek pieņemti saskaņā ar 7.16. tabulu. Tiek pieņemts, ka uzturēšanas laikā plaisu aizliešana rada tikai papildu izmaksas.

7.16. tabula

Garantijas laikā pieņemtās ikgadējās SEG, enerģija un izmaksas

Scenārijs	CO ₂ ekv., t/km	Enerģija, MJ/km	Izmaksas, €/km
A	0	0	1500
B			
C			
D			
E			
F			
G			

Pēc zināma nolietojuma līmeņa sasniegšanas konstrukcija ir jāatjauno. Atbilstoši atjaunošanas un uzturēšanas plānam šīs analīzes ietvarā, atjaunošanas darbi ir iepļānoti 11., 22. un 33. gadā pēc sākotnējās konstrukcijas izbūves.

Citos gadījumos pēc lietošanas posma beigām pastāv trīs nākotnes virzieni esošajai konstrukcijai – (1) rekonstrukcija, atjaunošana, (2) demontāža ar nolietojušā materiāla aizvešanu uz krautnēm un atbērtnēm vai demontāža ar atkārtotu materiālu izmantošanu uz vietas objektā, vai pilnībā vai daļēji to pārstrādājot jaunā materiālā (3) kalpošanas laika beigas, pēc kā ir iespējams analizē iekļaut nolietojušās konstrukcijas paliekošo vērtību un kvantificēt materiālu apjomu.

Ceļa lietošanas posmā ceļa segai var tikt veikti dažāda lieluma un nozīmes atjaunošanas darbi, piemēram, reciklēšanas darbi, izbūvētas/atjaunotas asfalta kārtas, izbūvēts segas pārklājslānis (*overlay*), lai uzlabotu braukšanas kvalitāti un aizsargātu segu no ūdens iekļūšanas tajā. To, vai kāds no šiem darbiem uzskatāms jau par pilnīgi citas konstrukcijas izbūvi, kas nav saskaņā ar aprēķina mērķi vai robežām, nosaka aprēķina veicējs. Svarīgi ir novērtēt, lai veiktais salīdzinājums starp scenārijiem ir korekts.

7.3.1.4. KALPOŠANAS LAIKA BEIGAS

Lai aprēķins būtu pabeidzams un tam būtu robežas, ir nepieciešams definēt kādu noteiktu nogriezni jeb analīzes periodu. Lai adekvāti novērtētu dažādu materiālu, tehnoloģiju vai stratēģiju ietekmi, ir ieteicams noteikt tādu aprites cikla garumu, lai starp sākotnējo izbūvi un kalpošanas laika beigām būtu vismaz divas atjaunošanas. Šai analīzes veikšanai par analīzes periodu tika noteikti 44 gadi, kuru laikā tiek veikti 3 dažāda veida atjaunošanas darbi. Kalpošanas laiks starp cikliem un arī analīzes perioda garums visos scenārijos ir identisks.

Analīzes periodam noslēdzoties, šajā solī iespējams noteikt kopējos izlietotā materiāla apjomus un konstrukcijas atlikušo vērtību (*salvage value*). Ņemot vērā, ka 3. atjaunošana ir paredzēta 33. gadā, analīze noslēdzas ar 44. gadu, kas sakrīt ar analīzes veikšanas garumu, kas, savukārt, nozīmē, ka nav jāaprēķina atlikusī vērtība.

7.3.2. FAKTORI UN PROCESI, KAS NETIEK IETVERTI ANALĪZĒ

Ne visiem saistītajiem faktoriem un procesiem analīzes veikšanā ir būtiska ietekme uz gala rezultātu. Analīzes saprotamības un vienkāršošanas nolūkos nav nepieciešams iekļaut informāciju, kas scenārijos neatšķiras un kurai nav tiešas ietekmes. Sekojoši faktori un procesi netika ietverti analīzē:

- iekārtu, rūpnīcu, ofisu izbūve, apkope, uzturēšana;
- horizontālās un vertikālās ceļa zīmes, barjeras, luksofori un citas konstrukcijas;
- darbaspēka, aprīkojama un iekārtu mobilizācija uz objektu un atpakaļ;
- ceļu tīkla pārvaldītāja un būvnieka administratīvās izmaksas un to ietekme uz vidi;
- ar būvniecības procesu tieši nesaistīto darbinieku atalgošana;
- atkritumi, blakusprodukti, kas rodas, veicot izejvielu ieguvī, materiālu ražošanu;
- ceļa lietotāju izmaksas.

7.3.3. PIENĒMUMI

Izdarītajiem pieņēmumiem ir būtiska ietekme uz gala rezultātu, tādēļ tiem jābūt racionāliem un pārdomātiem, lai neradītu kādam scenārijam papildu priekšrocības. Pirms šīs analīzes veikšanas tika pieņemti sekojoši pieņēmumi

- nepastāv funkcionalitātes atšķirības dažādos scenārijos visā analīzes perioda laikā;
- iestrādes procesi dažādos scenārijos neatšķiras;
- atjaunošana aizņem vienu pilnu gadu;
- neatkarīgi no ceļa segas tipa vai konstruktīvo kārtu atšķirībām visos scenārijos pieņemtas identiskas gada vidējās uzturēšanas izmaksas;
- aprēķinā netiek iekļautas izmaksas un potenciālās ietekmes uz vidi garantijas laikā;
- asfalta rūpnīcas produktivitāte neatšķiras, izņemot ar gumiju modificēta bitumena izmantošanas gadījumā;
- bitumena modifikācijas iekārtas atrodas blakus asfalta rūpnīcai;
- tehnikas vienību operatoram nav ietekmes uz tās produktivitāti;
- vieglie pelni kā materiāls ir bezmaksas, izņemot to transportēšanu;
- vieglo pelnu izmantošana ceļa segas pamatā nesamazina kalpošanas laiku;
- reciklēts asfalts vai reciklēta sega kā materiāls ir bezmaksas, izņemot to reciklēšanu un/vai transportēšanu.

7.4. Izmantoto datu avoti

Analīzes veikšanai tika iegūti dati gan *LCA*, gan *LCCA*. *LCA* datu avoti, galvenokārt ir literatūra, produkta ražotājs, vietējo būvuzņēmēju aptaujas vai Ecoinvent datubāze. Turpretī *LCCA* datu avoti ir vietējie ražotāji un būvuzņēmēji, kuriem ir jaunākā informācija par materiālu cenām. Kalpošanas laika prognoze tika balstīta uz vietējo ekspertu viedokli. Visi datu veidi, to avoti un atsauces ir redzami 7.17. tabulā.

7.17. tabula

Analīzes veikšanai izmantoto datu veidi, avoti un atsauces

Datu veids	Datu avoti	Atsauces
CO ₂ ekv. un patērētā enerģija bitumenam (ekstrakcija, pārstrāde, uzglabāšana)	<i>Eurobitume</i>	[82]
CO ₂ ekv. un patērētā enerģija dažādiem minerālmateriālu tipiem, kā dolomītu maisījums, šķembas asfaltam, asfalta aizpildītājs (materiāla ieguve, sijāšana)	Literatūra	[83,84]
CO ₂ ekv. un patērētā enerģija cementa ieguvei (izejmateriālu ieguve, maisīšana, karsēšana)	<i>SCHWENK</i> Latvija SIA <i>EPD</i> 2019, <i>Ecoinvent</i>	-
CO ₂ ekv., patērētā enerģija un izmaksas <i>SBS</i> bitumena modifikatoram	Literatūra	[84]
CO ₂ ekv., patērētā enerģija un izmaksas <i>EOC</i> bitumena modifikatoram	Literatūra	[85]
CO ₂ ekv., patērētā enerģija un izmaksas siltai asfalta piedevai	<i>Ingevity</i>	[86]
CO ₂ ekv., patērētā enerģija un izmaksas, riepu gumijas granulām (riepu smalcināšana, attīrīšana no metāla, tekstila, vajadzīgās gumijas granulū frakcijas iegūšana)	Literatūra, Eco Baltia Vide	[87,88]
Izmaksas sarkanajiem māliem	Autora aprēķini (transports)	-
Izmaksas vieglajiem pelniem	Autora aprēķini (transports)	-
Informācija par ražošanas (asfalta rūpnīca) transportēšanas un izbūvei nepieciešamo tehnikas vienību degvielas patēriņiem, produktivitāti, nepieciešamo cilvēkresursu skaitu	Vietējo būvuzņēmēju aptaujas, <i>Wirtgen</i>	-

7.17. tabulas turpinājums

Materiālu izmaksas (bitumens, minerālmateriāls, bitumena emulsija)		
Darbaspēka izmaksas		
Degvielas izmaksas		
CO ₂ ekv. un patērētā enerģija tehnikas vienībām, kas transportē un iestrādā materiālus ceļa segā	<i>EN 16258;</i> SEG emisiju aprēķināšana kravas transportam un loģistikas pakalpojumiem	[47,89]
CO ₂ ekv. un patērētā enerģija asfalta ražošanā (gāze, elektrība)	Vietējo būvuzņēmēju aptaujas	-
Kalpošanas laika prognoze	Vietējie eksperti	-

7.5. Rezultāti un diskusija

7.5.1. IZMAKSAS, ENERĢIJAS PATĒRIŅŠ UN SEG ASFALTU TIPIEM

Šajā apakšnodaļā iespējams redzēt segumam izmantoto materiālu izmaksas, enerģijas patēriņu un SEG daudzumu vienai tonnai izejmateriālu un kopējās izmaksas šim pašam materiālam, jau iestrādātām ceļā. Kopumā visos scenārijos ir pieci dažādi virskārtu tipi un viens apakškārtas tips.

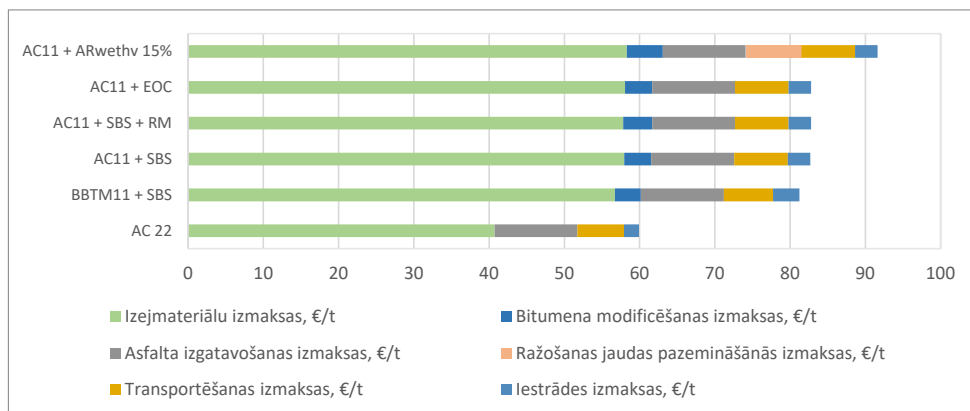
Izmaksu salīdzinājums dažādiem asfalta maisījumiem redzams 7.14. attēlā. Visiem virskārtu tipiem asfalta izgatavošanas un transportēšanas izmaksas vienai tonnai materiāla ir nemainīgas. Visiem AC tipa asfaltiem iestrādes izmaksas ir nemainīgas. *BBTM* tipam tās konkrētajā aprēķinā ir nedaudz augstākas, kam iemesls ir izmantotā metodika, kas aprēķina izmaksas par iestrādātu asfalta tonnu. *BBTM* asfalta tipa gadījumā virskārta ir plānāka, kas nozīmē, ka viena tonna asfalta tiek ieklāta lielākā laukumā. Tādējādi, lai gan stundā ir iespējams ieklāt lielāku asfalta laukumu, ieklātā materiāla daudzums ir mazāks.

Cenu diapazons visām virskārtām ir no 81,2 € līdz 91,6 € par tonnu. Vismazākās sākotnējās prognozējamās izmaksas ir *BBTM11* (ar *SBS*) asfalta tipam, kam par pamatu ir mazāks bitumena saturs maisījumā. Salīdzinājumā ar *AC11* asfalta tipiem (*AC11* ar *SBS*, *AC11* ar *SBS* un *RM*, *AC11* ar *EOC*) *BBTM* tas ir par 0,2 % mazāks no kopējās minerālmateriālu masas. Otras augstākās izmaksas parāda *AC11* ar *EOC*, kam par pamatu ir augstākas bitumena modifikatora *EOC* izmaksas salīdzinājumā ar *SBS* bitumena modifikatoru. *EOC* bitumena modifikators ir par 3,13 % dārgāks par *SBS*, kas tādējādi arī ietekmē kopējās izmaksas. Tajā pašā laikā redzams, ka atšķirība starp *BBTM11* ar *SBS*, *AC11* ar *SBS*, *AC11* ar *SBS* un *RM* un *AC11* ar *EOC* ir salīdzinoši maza, tie ir 1,6 € par tonnu jau iestrādātām materiālam.

No visiem virskārtu tipiem *AC11* ar *ARwet_{hv} 15 %* ir visaugstākās izmaksas, kam par pamatu ir augstākas bitumena modificēšanas izmaksas un asfalta rūpnīcas efektivitātes samazināšanās izmaksas. Bitumena modificēšanas izmaksas *AC11* ar *ARwet_{hv} 15 %* asfalta tipam ir lielākas augstākas saistvielas viskozitātes dēļ. Bitumena modificēšanas rūpnīca strādā pie augstākas slodzes, tādējādi patērējot vairāk enerģijas modificētās saistvielas iegūšanai. Cenas aprēķinā ņemta vērā tiek arī asfalta rūpnīcas produktivitātes samazināšanās. Autora publikācijā asfaltam rūpnīcas produktivitātes samazināšanās izmaksas *AC11* ar *ARwet_{hv} 15 %* asfalta tipam tika novērtētas kā 10 % no izejmateriālu, bitumena modificēšanas un asfalta izgatavošanas izmaksām [76]. Starp visām asfalta virskārtām tikai *AC11* ar *ARwet_{hv} 15 %* ir ražošanas jaudas pazemināšanās pozīcija. Ražošanas jaudas pazemināšanās izmaksas padara šo asfalta tipu par visdārgāko. Tomēr jāņem vērā, ka ar gumiju modificētam asfaltam pēc slapjās metodes ir potenciāls būt ar garāku kalpošanas laiku, tādējādi zemākām dzīves cikla izmaksām [26].

Visos segu scenārijos tika izmantots viens un tas pats apakškārtas tips – *AC22*. Atšķirībā no virskārtas apakškārtā izmantoto minerālmateriālu kvalitāte var būt zemāka, kā arī saistvielu nav nepieciešams izmantot tik daudz, kas ļauj samazināt izejmateriālu izmaksas. Tāpat arī apakškārtai nav paredzēts izmantot modificētu bitumenu, tādēļ pie izmaksām netiek pieskaitīts

bitumena modificēšanas process. Rezultātā vienas tonnas asfalta apakškārtas cena ir par vairāk nekā 25 % zemāka salīdzinājumā ar jebkura tipa virskārtu.



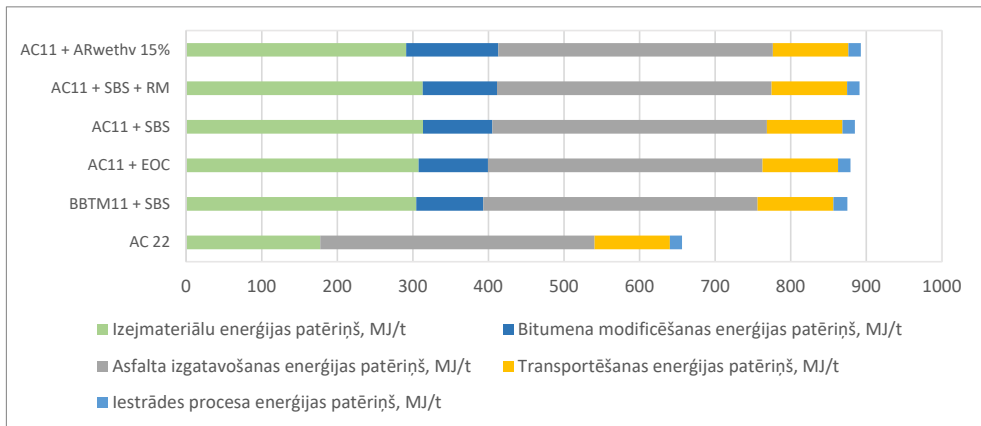
7.14. att. Izejmateriālu un jau izbūvētas kārtas materiālu izmaksu salīdzinājums vienai tonnai dažādu asfalta tipu.

Enerģijas patēriņa salīdzinājums asfalta maisījumiem redzams 7.15. attēlā. Starp visiem virskārtu maisījumiem visaugstākais enerģijas patēriņš ir $AC11 + AR_{wet_{hv}} 15\%$. Atšķirība starp visiem AC tipa maisījumiem ir maza, tā ir 18 MJ/t robežās. Enerģijas patēriņš $AC11 + AR_{wet_{hv}} 15\%$ ir faktiski vienāds ar citiem AC11 asfalta maisījumiem. $AC11 + AR_{wet_{hv}} 15\%$ vairāk enerģijas tiek patērēts bitumena modificēšanas procesā, tomēr šo pieaugumu kompensē mazāks enerģijas patēriņš izejmateriālu pozīcijā. Salīdzinājumā ar SBS modifikatoru gumijas bitumena modifikatora vienas tonnas iegūšanā tiek patērētas gandrīz septiņas reizes mazāk enerģijas, kas tādējādi samazina enerģijas patēriņu izejmateriālu pozīcijā.

Tā kā visi virskārtas maisījumi tiek izgatavoti pie vienas temperatūras, tad to enerģijas patēriņš ir identisks. Zināms, ka ar gumiju modificētam bitumenam ir augstāka asfalta izgatavošanas temperatūra nekā nemodificētiem vai ar polimēriem modificētiem bitumeniem. Tomēr šajā pētījumā $AC11 + AR_{wet_{hv}} 15\%$ ir paredzēts kombinācijā ar ķīmisko siltā asfalta piedevu, lai izlīdzinātu izgatavošanas temperatūras ar citiem maisījumiem. WMA izmaksas, enerģijas patēriņš un SEG daudzums ir iekļauts šajos un turpmākajos aprēķinos. WMA daudzums ir 0,5 % no kopējās saistvielas masas, kam ir samērā maza ietekme.

Pieņemts, ka ražošanas jaudu pazemināšanās neietekmē enerģijas patēriņu un SEG.

Līdzīgi izmaksām arī enerģijas patēriņa pozīcijā apakškārtai vērtība ir par aptuveni 25 % zemāka nekā pārējiem virskārtas maisījumiem. Salīdzinot ar virskārtu, zemāks bitumena saturs, rupjāks un zemākas kvalitātes minerālmateriāls visvairāk ietekmē enerģijas patēriņa samazinājumu. Apakškārtai paredzētais bitumens netiek modificēts, kas kombinācijā ar izejmateriālu pozīciju rada šo 25 % samazinājumu enerģijas patēriņa sadaļā.



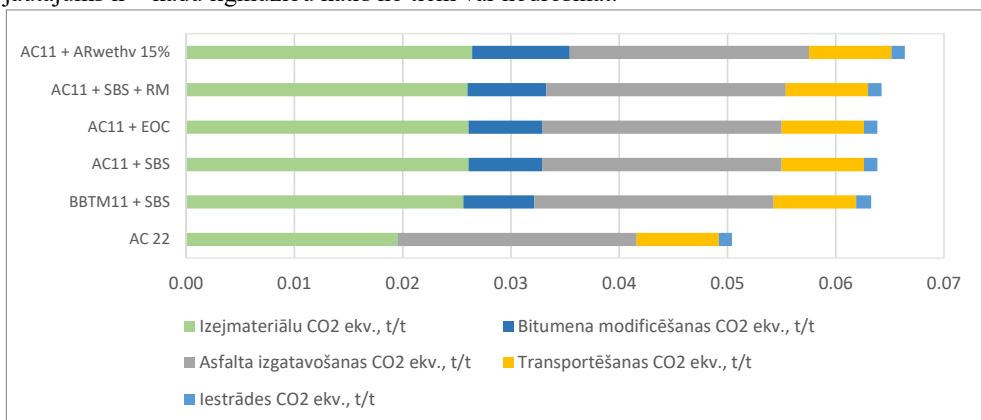
7.15. att. Izejmateriālu un jau izbūvētas kārtas materiālu enerģijas patēriņu salīdzinājums vienai tonnai dažādu asfalta tipu.

SEG daudzumu salīdzinājums asfalta maisījumiem redzams 7.16. attēlā. Tas izteikts CO₂ ekv. mērvienībā. Līdzīgi kā enerģijas patēriņa rezultāti, arī šeit *AC11 + ARwethv 15 %* parāda vislielāko CO₂ ekv. vērtību starp visām virskārtām, šeit gan atšķirība ar citiem *AC* maisījumiem ir lielāka, kam par pamatu ir augstākas emisijas izejmateriālu pozīcijā. Starp pārējiem *AC* maisījumiem *AC11 + SBS + RD* parāda otru augstāko CO₂ ekv. vērtību, kam seko *AC11 + SBS* un *AC11 + EOC*. Iepriekš minēto maisījumu CO₂ ekv. vērtības ir identiskas, jo to modifikatoru emisijas, atsaucoties uz izmantotajiem datiem, ir vienādas.

Identiski enerģijas patēriņa rezultātiem arī SEG daudzuma ziņā vismazākās vērtības ir *BBTM11 + SBS*, kas saistītas ar nedaudz zemāku bitumena saturu asfalta tipā.

AC22 apakškārta arī SEG pozīcijā parāda ievērojami mazākas CO₂ ekv. vērtības nekā virskārtu maisījumi.

Kopumā visi iegūtie asfalta maisījumu rezultāti parāda līdzīgu tendenci, un galvenais jautājums ir – kādu ilgmūžību katrs no tiem var nodrošināt.



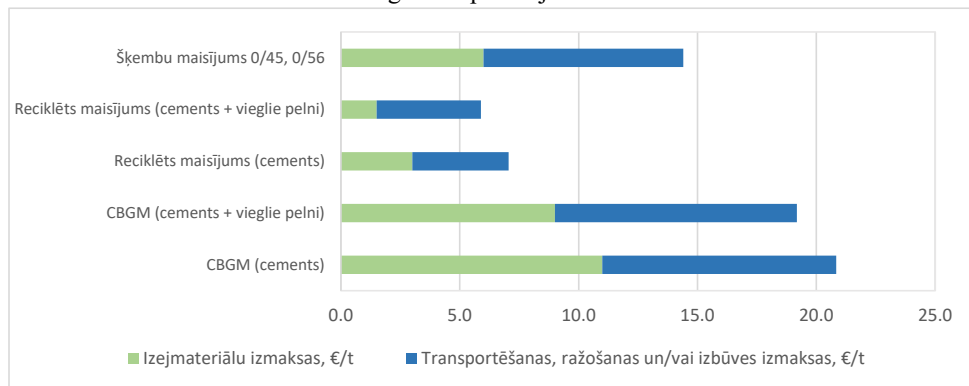
7.16. att. Izejmateriālu un jau izbūvētas kārtas materiālu SEG salīdzinājums vienai tonnai dažādu asfalta tipu.

7.5.2. IZMAKSAS, ENERĢIJAS PATĒRIŅŠ UN SEG PAMATA KĀRTĀM

Šajā apakšnodaļā var redzēt pamatam izmantoto materiālu izmaksas, enerģijas patēriņu un SEG daudzumu vienai tonnai izejmateriālu un kopējās izmaksas šim pašam materiālam, jau iestrādātām ceļā.

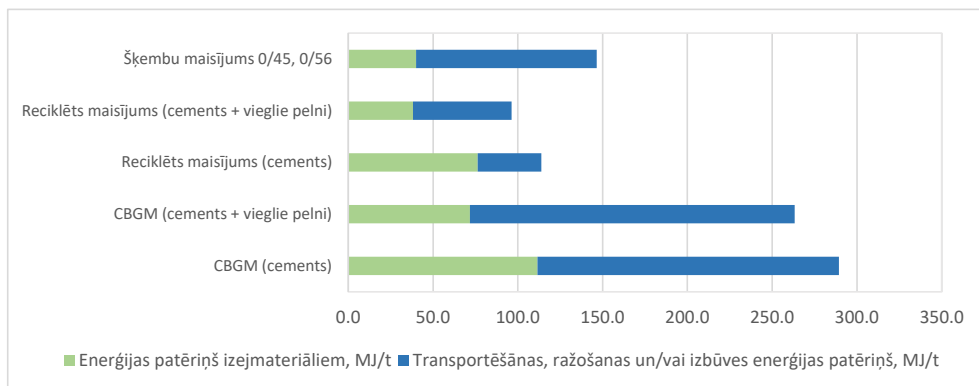
7.17. attēlā redzams izejmateriālu un jau izbūvētas kārtas materiālu izmaksu summa vienai tonnai materiāla. Vislielākās kopējās izmaksas ir materiālam *CBGM* ar cementu, kam seko *CBGM* ar cementu un vieglajiem pelniem, šķembu maisījums 0/45 vai 0/56, reciklēts maisījums ar cementu un, visbeidzot, reciklēts maisījums ar cementu un vieglajiem pelniem. Iemesls tam, ka *CBGM* maisījumi ir visdārgākie, ir jaunu izejmateriālu (minerālmateriālu) izmantošana, kā arī materiāla ražošanas un transportēšanas process. Pieņemot, ka vieglie pelni ir bezmaksas, ar tiem ir iespējams samazināt sākotnējās konstrukcijas izmaksas *CBGM* kārtai par 7,9 %.

100 % reciklēta esošā ceļa sega ļauj ievērojami samazināt izmaksas salīdzinājumā ar *CBGM*. Reciklēts maisījums gan nav tieši salīdzināms ar *CBGM*, jo B, C, D, E, F, G scenārija plānotajā ceļa segā tiek izmantoti abi materiāli – reciklēts maisījums pamata nesošās kārtas apakškārtā un *CBGM* maisījums pamata nesošās kārtas virskārtā. Reciklēta maisījuma vienīgās izmaksas veido saistviela, tās transportēšana un darbs objektā. Atkārtota minerālmateriāla izmantošana šajā konkrētajā aprēķinā ļauj samazināt sākotnējās izmaksas iestrādātām materiālam par 66,2 %. Reciklētie maisījumi arī ir vienīgie, kam transportēšanas, ražošanas un/vai izbūves izmaksas ir izteikti augstākas par izejmateriālu izmaksām.



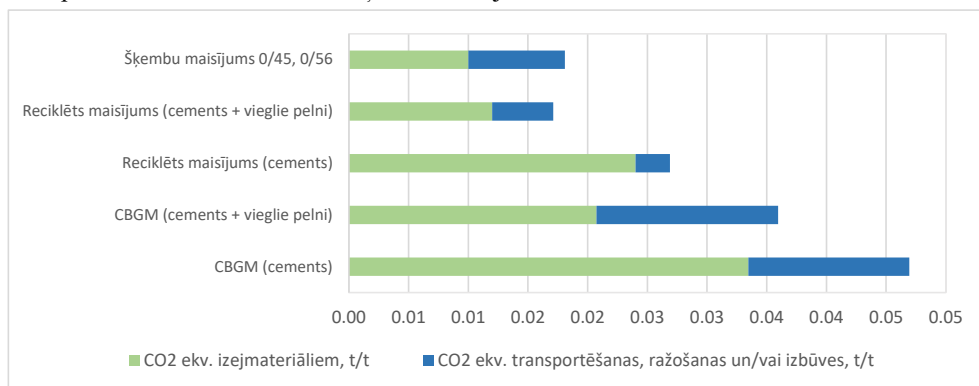
7.17. att. Izejmateriālu un jau izbūvētas kārtas materiālu izmaksu salīdzinājums vienai tonnai materiāla.

7.18. attēlā redzams šo pašu materiālu patērētās enerģijas vērtību salīdzinājums. Arī šeit augstākās vērtības ir *CBGM* maisījumam ar cementu vai ar cementu un vieglajiem pelniem. Pretēji 7.17. attēlā redzamajām izmaksām enerģijas vērtības *CBGM* maisījumiem ir ievērojami augstākas nekā šķembu maisījumam 0/45, 0/56. Interesanti, ka reciklētam maisījumam, kas saistīts tikai ar cementu, ir augstāks enerģijas patēriņš izejmateriālu pozīcijā nekā *CBGM* maisījumam saistītam ar cementu un vieglajiem pelniem.



7.18. att. Izejmateriālu un jau izbūvētas kārtas materiālu enerģijas patēriņa salīdzinājums vienai tonnai materiāla.

7.19. attēlā redzams šo pašu pamata materiālu SEG salīdzinājums. Iegūtie rezultāti parāda atšķirīgu tendenci no iepriekšējiem izmaksu un enerģijas patēriņa rezultātiem. *CBGM* maisījumiem vēl joprojām ir augstākās vērtības, bet pārējo materiālu sadalījums ir atšķirīgs. Cements ir materiāls, kam ir ļoti augstas SEG emisijas, tādēļ reciklētais maisījums, kas saistīts ar cementu, ir ar augstākām SEG nekā šķembu maisījums, kas izbūvēts uz ceļa, ar 100 % jaunu materiālu. Reciklēts maisījums, kas saistīts gan ar cementu, gan vieglajiem pelniem, arī parāda tikai par 5,3 % mazāk SEG nekā šķembu maisījums.



7.19. att. Izejmateriālu un jau izbūvētas kārtas materiālu SEG salīdzinājums vienai tonnai materiālu.

7.18. tabulā ir redzams A scenārijā izmantotās salizturīgās kārtas kopējo iestrādāto materiālu daudzums, izmaksas, enerģijas patēriņš un SEG emisijas vienai tonnai materiāla. Kopumā smilšu iestrāde ceļa pamatnes papildkārtā ir par gandrīz 6 % lētāka nekā šķembu maisījuma iestrāde pamatā. Enerģijas patēriņš un SEG emisijas ir līdzīgas.

Ceļa pamata papildkārtā izbūvētā materiāla daudzums un izmaksas, enerģijas patēriņš un SEG vienai tonnai materiāla

Kārta	Kopējais iestrādātā materiāla daudzums, t	Kārtā izbūvētā materiāla izmaksas, €/t	Kārtā izbūvētā materiāla enerģijas patēriņš, MJ/t	Kārtā izbūvētā materiāla CO ₂ ekv., t/t
Salizturīgā kārta	11 863,28	11,76	160,13	0,019

7.5.3. DETERMINĒTĀS PIEEJAS SCENĀRIJU REZULTĀTI

Visi nākamajās apakšnodalās redzami rezultāti ir iegūti, izmantojot rīku *PAVE/LCA/LCCA*. Katrs no attēliem apkopo četrus grafikus – (1) kopējās izmaksas aprēķinu periodā, (2) ikgadējās izmaksas aprēķinu periodā, (3) kopējās SEG aprēķinu periodā, (4) kopējais enerģijas patēriņš aprēķinu periodā. Abos izmaksu grafikos ir iedalītas četras pozīcijas – (1) degvielas izmaksas, (2) materiālu izmaksas, (3) ikdienas uzturēšanas izmaksas, (4) darbaspēka izmaksas. Pozīciju atšifrējumi redzami 7.19. tabulā.

Pozīciju atšifrējumi *LCCA* un *LCA* grafikiem

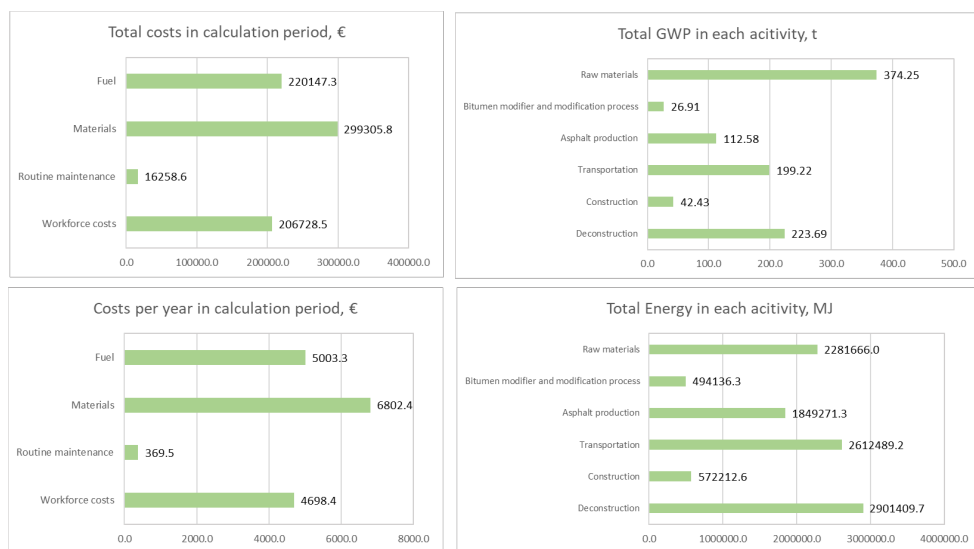
<i>LCCA</i> grafiki		<i>LCA</i> grafiki	
<i>Fuel</i>	Izmaksas par degvielu, kas tiek patērēta transportējot materiālus uz objektu, veicot šo materiālu iestrādi, vēlāk arī veicot šo materiālu demontāžu un transportēšanu uz krautnēm un atbērtnēm.	<i>Raw materials</i>	Iekļauj visas lielās izejmateriālu grupas – minerālmateriālus, aizpildītāju, bitumenu, bitumena emulsiju, cementu, vieglos pelnus, atgūto materiālu no ceļa segas.
<i>Materials</i>	Iekļauj materiālu izmaksas (minerālmateriāli ceļa pamatam, ar cementu saistīti maisījumi, ar bitumenu saistīti maisījumi, bitumena emulsija).	<i>Bitumen modifier and modification process</i>	Iekļauj kādu no bitumena modifikatoriem vai to kombinācijas (<i>SBS</i> , <i>EOC</i> , riepu gumijas granulas, sarkanie māli, <i>SBS</i> + sarkanie māli) un bitumena modificēšanas procesu.
<i>Routine maintenance</i>	Iekļauj ikgadējās ceļa uzturēšanas izmaksas uzturēšanas periodā.	<i>Asphalt production</i>	Iekļauj asfalta ražošanas procesā patērēto dabasgāzi un elektroenerģiju.
<i>Workforce costs</i>	Iekļauj darbaspēka izmaksas asfalta izgatavošanai, materiālu transportēšanai uz objektu un to iestrādei, nolietojušā materiāla demontāžai un tā transportēšanai uz krautnēm un atbērtnēm.	<i>Transportation</i>	Iekļauj transportēšanas procesa laikā patērēto degvielu.
		<i>Construction</i>	Iekļauj sākotnējai izbūvei nepieciešamo degvielu un atjaunošanas darbību laikā patērēto degvielu.
		<i>Deconstruction</i>	Iekļauj demontāžas darbus un materiālu transportēšanu uz krautnēm, atbērtnēm.

7.5.3.1. A SCENĀRIJS

A scenārija determinētās pieejas izmaksu, SEG un enerģijas patēriņa rezultāti redzami 7.20. attēlā. A scenārijā ir plānota pilna ceļa segas pārbūve, veicot pilnīgu vecās segas demontāžu dzīves cikla sākumā. *LCCA* rezultāti šajā scenārijā parāda to, ka visdārgākā ir materiālu pozīcija, kam seko degvielas izmaksas, darbspēks un ikdienas uzturēšana.

LCA rezultāti, savukārt, parāda, ka vislielākā ietekme uz SEG ir izejmateriālu pozīcijai, kam seko demontāža, transportēšana, asfalta ražošana, visbeidzot, bitumena modifikators un modificēšanas process. Iemesls augstajām SEG izejmateriālu pozīcijā ir liels materiālu daudzums, kas nepieciešams gadījumā, ja tiek veikta pilna pārbūve, pilnībā demontējot segu. Vairāk nekā 38 % no visām SEG veido izejmateriālu pozīcija. Līdz ar to arī pats demontāžas process (demontāža un demontētā materiāla transportēšana) ir SEG ietilpīgs – gandrīz 23 % no kopējā SEG apjoma.

Vislielākais enerģijas patēriņš ir demontāžas pozīcijā, kam seko transportēšana, izejmateriāli, asfalta ražošana, izbūve un bitumena modifikators un modificēšanas process. Demontāžas, transportēšanas un asfalta ražošanas pozīcijām atšķirībā no SEG rezultātiem, ir lielāka ietekme, tām veidojot attiecīgi 27 %, 24 % un 17 % no kopējā enerģijas patēriņa.



7.20. att. A scenārija determinētās pieejas izmaksu, SEG un enerģijas patēriņa rezultāti.

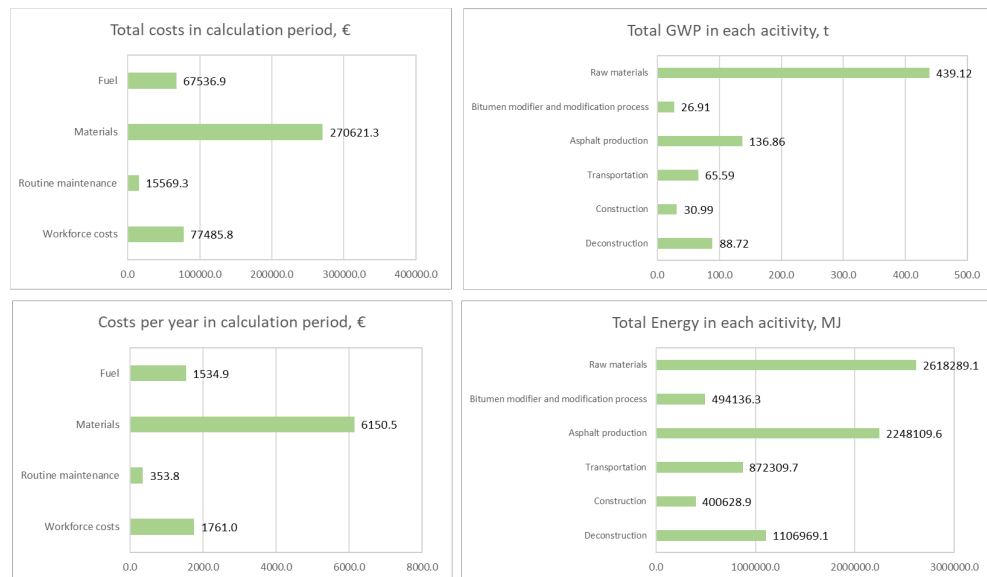
7.5.3.2. B SCENĀRIJS

B scenārija determinētās pieejas izmaksu, SEG un enerģijas patēriņa rezultāti redzami 7.21. attēlā. B scenārijā ir plānota pilna ceļa segas pārbūve, veicot daļēju vecās segas reciklēšanu. *LCCA* rezultāti šajā scenārijā parāda to, ka visdārgākā ir materiālu pozīcija, kam seko darbspēks, degviela, un visbeidzot, ikdienas uzturēšana.

LCA rezultāti, savukārt, parāda, ka pārliecinoši vislielākā ietekme uz SEG ir izejmateriālu pozīcijai, kam seko asfalta ražošana, demontāža, transportēšana, izbūve un bitumena

modifikators un modificēšanas process. Šajā scenārijā izejmateriālu pozīcija veido vairāk nekā pusi, tas ir, gandrīz 56 % no visām SEG emisijām visā plānotajā ceļa segas dzīves ciklā.

Līdzīgi kā SEG, arī vislielākais enerģijas patēriņš ir izejmateriālu pozīcijai, kam seko asfalta ražošana, demontāža, transportēšana, bitumena modifikators un bitumena modificēšanas process un, visbeidzot, iestrādes process. Izejmateriālu un asfalta ražošanas pozīcija veido 63 % no kopējā enerģijas patēriņa visā ceļa segas dzīves ciklā.



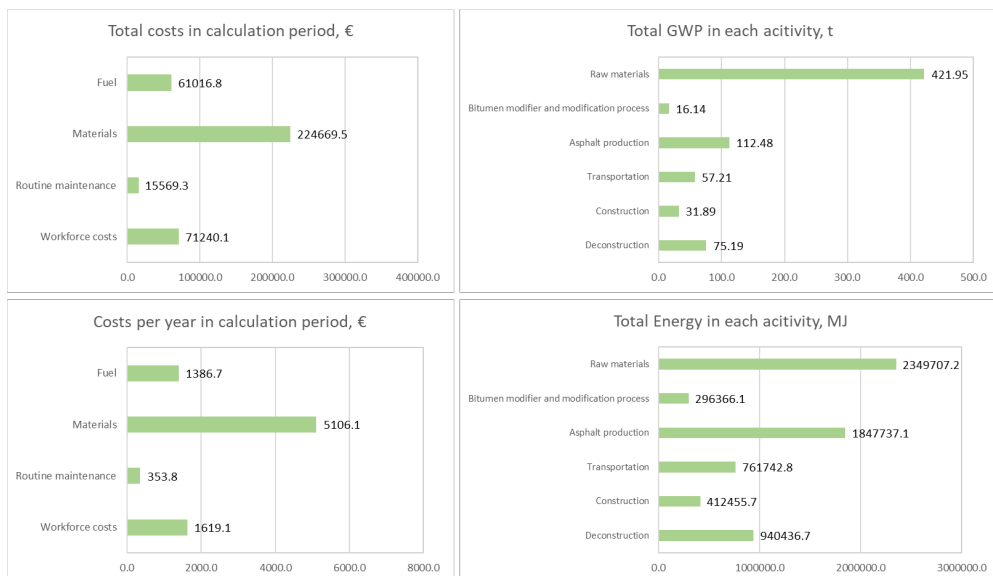
7.21. att. B scenārija determinētās pieejas izmaksu, SEG un enerģijas patēriņa rezultāti.

7.5.3.3. C SCENĀRIJS

C scenārija determinētās pieejas izmaksu, SEG un enerģijas patēriņa rezultāti redzami 7.22. attēlā. C scenārijā tiek izmantota *BBTM* virskārta, to kompensējot ar nedaudz biežāku reciklētā maisījuma kārtu. *LCCA* rezultāti šajā scenārijā parāda, ka pārliecinoši visdārgākā ir materiālu pozīcija, kam seko darbspēks, degviela un ikdienas uzturēšana.

Vislielākā ietekme uz SEG ir izejmateriālu pozīcijai, kam seko asfalta ražošana, demontāža, transportēšana, izbūve, visbeidzot – bitumena modifikators un modificēšanas process. Izejmateriālu pozīcija veido gandrīz 59 % no visām SEG.

Vislielākā ietekme uz kopējo enerģijas patēriņu arī ir izejmateriālu pozīcijai, kam seko asfalta ražošana, demontāža, transportēšana, izbūve un bitumena modifikators un bitumena modificēšanas process. Izejmateriālu un asfalta ražošanas pozīcija veido 36 % un 28 % no kopējā enerģijas patēriņa.



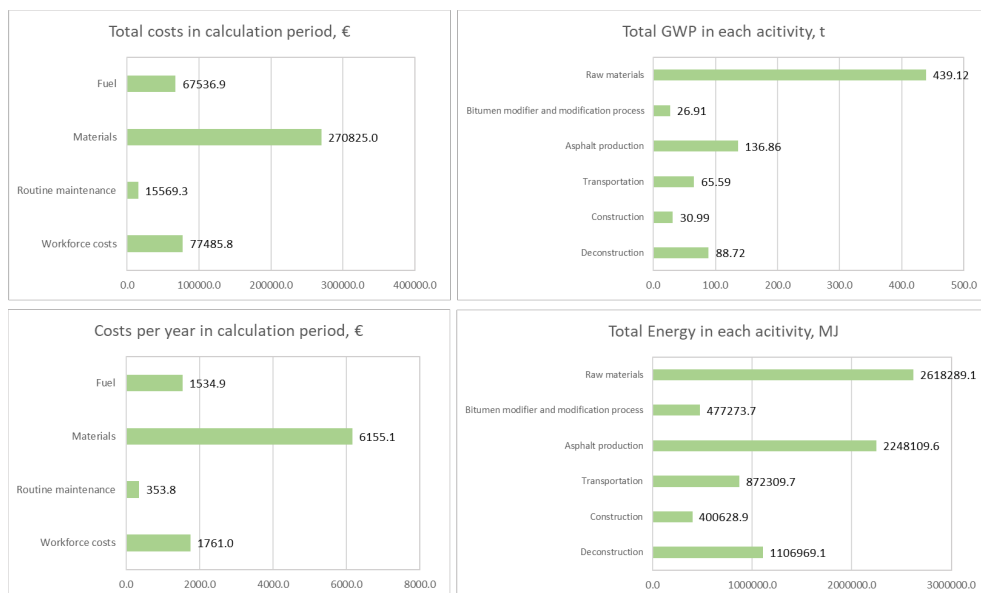
7.22. att. C scenārija determinētās pieejas izmaksu, SEG un enerģijas patēriņa rezultāti.

7.5.3.4. D SCENĀRIJS

D scenārija determinētās pieejas izmaksu, SEG un enerģijas patēriņa rezultāti redzami 7.23. attēlā. D scenārijā tiek izmantots *EOC* elastomers asfalta virskārtas modificēšanai tradicionālā SBS vietā. *LCCA* rezultāti parāda, ka pārliecinoši visdārgākā ir materiālu pozīcija, kam seko darbaspēks, degviela, visbeidzot, ikdienas uzturēšana.

Rezultāti parāda to, ka arī D scenārijā, līdzīgi iepriekšējiem scenārijiem, vislielākā ietekme uz SEG ir izejmateriālu pozīcijai, kam seko asfalta ražošanas, demontāža, transportēšana, izbūve un bitumena modifikators un bitumena modificēšanas process. Šajā scenārijā izejmateriālu pozīcija veido gandrīz 56 % no kopējām emisijām.

Savukārt, vislielākā enerģijas patēriņa ietekme uz kopējo rezultātu arī ir tiem pašiem izejmateriāliem, kam seko asfalta ražošanas, demontāža, transportēšana, bitumena modifikators un modificēšanas process un izbūve. Izejmateriālu un asfalta ražošanas pozīcija veido 63 % no kopējā enerģijas patēriņa visā ceļa dzīves ciklā.



7.23. att. D scenārija determinētās pieejas izmaksu, SEG un enerģijas patēriņa rezultāti.

7.5.3.5. E SCENĀRIJS

E scenārija determinētās pieejas izmaksu, SEG un enerģijas patēriņa rezultāti redzami 7.24. attēlā. E scenārijā tiek izmantotas drupinātas riepu granulas kā bitumena modifikators asfalta virskārtas saistvielas modificēšanai. Identiski iepriekš apskatītajiem scenārijiem arī šim *LCCA* rezultāti parāda to, ka visdārgākā ir materiālu pozīcija, kam seko darbaspēks, degviela un visbeidzot – ikdienas uzturēšana.

Vislielākā ietekme uz SEG emisijām ir izejmateriālu pozīcijai, kam seko asfalta ražošanas, demontāžas, transportēšanas, bitumena modifikatora un modificēšanas procesa un izbūves pozīcija. E scenārijā izejmateriālu pozīcija veido nedaudz vairāk par 55 % no visām SEG visā dzīves ciklā. Gumijas kā modifikatora pievienošana nedaudz palielina SEG bitumena modifikatora un modificēšanas procesā.

Vislielākā ietekme uz enerģijas patēriņu ir izejmateriāliem, kam seko asfalta ražošana, demontāža, transportēšana, bitumena modifikators un modificēšanas process un izbūve. Divas lielākās enerģijas patēriņa pozīcijas – izejmateriāli un asfalta ražošana – veido 63 % no kopējā enerģijas patēriņa visā ceļa segas dzīves ciklā.



7.24. att. E scenārija determinētās pieejas izmaksu, SEG un enerģijas patēriņa rezultāti.

7.5.3.6. F SCENĀRIJS

F scenārija determinētās pieejas izmaksu, SEG un enerģijas patēriņa rezultāti redzami 7.25. attēlā. F scenārijā ceļa segas virskārta tiek modificēta ar elastomēra un aizpildītāja kombināciju – *SBS* un sarkanie māli. Arī šim scenārijam *LCCA* rezultāti parāda to, ka pārliecinoši visdārgākā ir materiālu pozīcija, kam seko darbaspēks, degviela un ikdienas uzturēšana.

Vislielākais SEG emisiju veidotājs ir izejmateriāli, kam seko asfalta ražošana, demontāža, transportēšana, bitumena modifikators un modificēšanas process un izbūve. Izejmateriālu pozīcija veido gandrīz 56 % no kopējām SEG.

Vislielākā ietekme uz enerģijas patēriņu ir izejmateriāliem, kam seko asfalta ražošana, demontāža, transportēšana, bitumena modifikators un modificēšanas process un izbūve. Izejmateriālu un asfalta ražošanas pozīcijas veido gandrīz 63 % no kopējā enerģijas patēriņa.



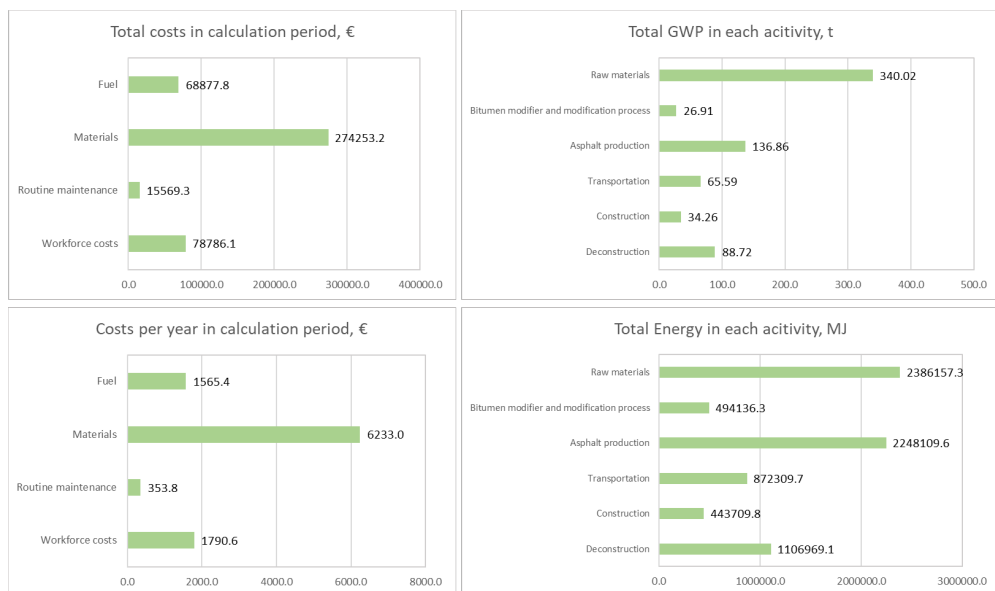
7.25. att. F scenārija determinētās pieejas izmaksu, SEG un enerģijas patēriņa rezultāti.

7.5.3.7. G SCENĀRIJS

G scenārija determinētās pieejas izmaksu, SEG un enerģijas patēriņa rezultāti redzami 7.26. attēlā. G scenārijā pamata pastiprināšanai cements tiek daļēji aizstāts ar vieglajiem pelniem. Arī šajā scenārijā *LCCA* rezultāti kā visdārgāko pozīciju parāda materiālu pozīciju, kam seko darbspēks, degviela un ikdienas uzturēšana.

Vislielākais SEG emisiju veidotājs ir izejmateriāli, kam seko asfalta ražošana, demontāža, transportēšana, bitumena modifikators un modificēšanas process un izbūve. Atšķirībā no citiem scenārijiem šajā izejmateriālu pozīcija veido gandrīz 50 %, kas ir mazāk nekā citos scenārijos. Tas saistīts ar cementa apjomu, kas šajā scenārijā ir uz pusi mazāks nekā citos.

Vislielākā enerģijas patēriņa ietekme uz kopējo rezultātu ir izejmateriāliem, kam seko asfalta ražošana, demontāža, transportēšana, bitumena modifikators un modificēšanas process un izbūve. Neskatoties uz izmantotā cementa apjoma samazinājumu, izejmateriālu un asfalta ražošanas pozīcija šajā scenārijā veido nelielu daļu vairāk nekā 61 % no kopējā enerģijas patēriņa.



7.26. att. G scenārija determinētās pieejas izmaksu, SEG un enerģijas patēriņa rezultāti.

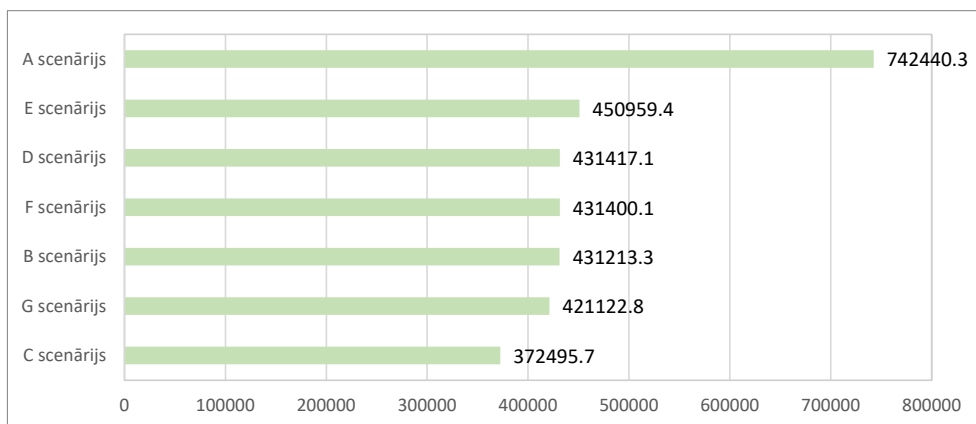
7.5.4. DETERMINĒTĀS PIEEJAS REZULTĀTU APKOPOJUMS

Izmaksu rezultātu apkopojums redzams 7.27. attēlā. Iegūtie *LCCA* rezultāti parāda, ka A scenārijā, kurā paredzēta pilna pārbūve, veicot vecās segas pilnīgu demontāžu, ir ievērojami augstākas dzīves cikla izmaksas plānotajā analīzes periodā nekā citos scenārijos, kuros paredzēta vecās segas pastiprināšana. Galvenais iemesls šādām izmaksām ir augstākas demontāžas un jaunu materiālu izmaksu pozīcijas. Izmaksu pieaugums A scenārijā, salīdzinot ar B (otrs references scenārijs), ir 72,2 %. Šāds pieaugums ir visnotaļ ievērojams. Tajā pašā laikā jāņem vērā, ka vecās segas pilnīga vai daļēja atstāšana un tās reciklēšana negarantē, ka tās kalpošanas laiks būs līdzvērtīgs pilnīgi jaunas konstrukcijas kalpošanas laikam, tādējādi pasūtītājam ir jāizvērtē, kāda tehnoloģija ir piemērojama izvēlētajam ceļam, izvēli pamatojot ar aprēķiniem.

Otras augstākās izmaksas ir E scenārijā, kas saistīts ar augstākām bitumena modificēšanas izmaksām, siltās asfalta piedevas izmantošanu, augstāku bitumena saturu un rūpnīcas efektivitātes samazināšanos. Rezultātā šīs komponentes 44 gadu laikā rada izmaksu pieaugumu par 4,6 %. No visiem iepriekš minētajiem komponentiem vislielāko izmaksu sadārdzinājumu rada asfalta rūpnīcas efektivitātes samazināšanās. Tas saistīts ar augstākas viskozitātes saistvielu, ko asfalta rūpnīcām ir apgrūtināši transportēt caur sistēmu un iesmidzināt maisīšanas bunkurā. Potenciāli šīs apgrūtinājums dažādām asfalta rūpnīcām var atšķirties, un šo trūkumu ir iespējams atrisināt, pilnīgi vai daļēji veicot uzlabojumus asfalta rūpnīcas aprīkojumā.

Izmaksu pieaugums ir arī D un F scenārijā. Tomēr jāteic, ka šo scenāriju izmaksu pieaugums ir pavisam niecīgs, tas nav pat 0,1 %, līdz ar to D un F scenārijā dzīves cikla izmaksas aprēķina periodam uzskatāmas par identiskām ar B references scenāriju.

Izmaksu samazinājums, salīdzinot ar B references scenāriju, ir C un G scenārijā. G scenārijā ir par 2,3 % zemākas dzīves cikla izmaksas nekā B references scenārijā. Tas saistīts ar vieglo pelnu izmantošanu G scenārijā. Konkrētajā aprēķinā vieglie pelni samazina cementa patēriņu par 50 %, kā arī jauna minerālmateriāla patēriņu par 8,8 %. C scenārijā ir viszemākās dzīves cikla izmaksas, tās ir par 13,6 % zemākas nekā B scenārijā. Galvenais iemesls izmaksu samazinājumam ir *BBTM* virskārta, kas ir par 37,5 % plānāka nekā citos scenārijos. Jāatzīmē, ka plānāka virskārta C scenārijā tika kompensēta ar 3 cm biezāku pamata apakškārtu.



7.27. att. Izmaksu determinētās pieejas rezultātu apkopojums visos scenārijos.

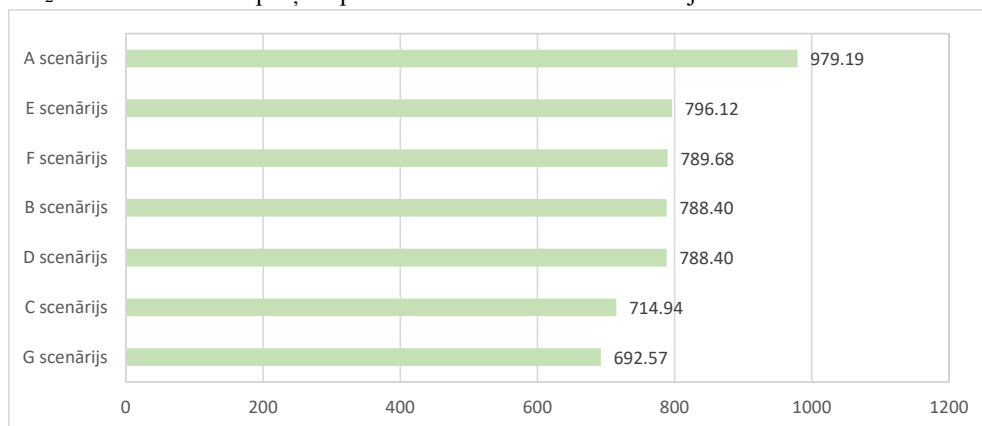
SEG emisiju determinētās pieejas rezultātu apkopojums redzams 7.28. attēlā. *LCA* rezultāti parāda, ka A scenārijā ir par 24,2 % augstākas dzīves cikla SEG plānotajā analīzes periodā nekā B scenārijā. Interesanti, ka A scenārijā ir par 14,5 % mazākas SEG izejmateriālu pozīcijā, kas saistīts ar to, ka, lai gan kopējo jauno materiālu daudzums A scenārijā ir ievērojami augstāks, tomēr B scenārijā visā dzīves ciklā divreiz tiek veikta pamata reciklēšana, pievienojot cementu (tā ražošanas procesā tiek emitēts ievērojams daudzums SEG). Neskatoties uz to, A scenārijā tiek radītas būtiski lielākas emisijas materiālu transportēšanā un demontāžā – attiecīgi par 204 % un 152 % vairāk nekā B scenārijā, un tā rezultātā būtiski palielinās dzīves cikla kopējās SEG emisijas.

Lielāks dzīves cikla SEG daudzums tiek parādīts arī E scenārijā. E scenārijā šīs emisijas visā dzīves ciklā ir par 0,98 % lielākas nekā B scenārijā. Emisiju pieaugumu rada bitumena modificēšanas process, *WMA* ķīmiskā piedeva un nedaudz augstāks bāzes bitumena saturs.

F scenārijā SEG emisiju pieaugums ir par 0,16 % lielāks, salīdzinot ar B references scenāriju. Šis pieaugums saistīts ar lielākām emisijām bitumena modificēšanas procesā. Dodot iespēju utilizēt sarkanos mālus un samazinot tradicionālā aizpildītāja nepieciešamo daudzumu, šāds pieaugums ir niecīgs 44 gadu aprēķina periodā.

D scenārijā SEG emisijas ir identiskas, salīdzinot ar B scenāriju. Tas saistīts ar to, ka dažādiem bitumena modifikatoriem – *EOC* un *SBS* – CO₂ ekv. vērtības neatšķiras.

Savukārt C un G scenārijā ir vērojams SEG emisiju samazinājums. C scenārijā tiek parādīta otra zemākā CO₂ ekv. vērtība, kam pamatā ir plānākas virskārtas izmantošana. F scenārijā savukārt tiek parādīts vislielākais SEG emisiju samazinājums, un tā iemesls ir par 50 % mazāks cementa daudzums visā ceļa segas dzīves ciklā. Vieglajiem pelniem, ja tie spēj efektīvi aizstāt cementu, neradot citu bīstamību videi, ir milzīgs potenciāls SEG emisiju samazināšanā. G scenārijā ir viszemākās CO₂ ekv. vērtības no visiem scenārijiem un pat par 12,2 % zemākas CO₂ ekv. vērtības visā aprēķina periodā nekā B references scenārijā.

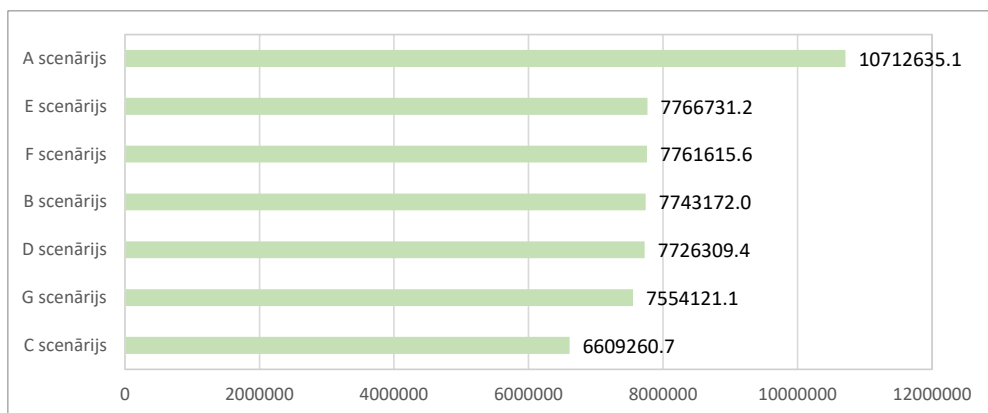


7.28. att. SEG emisiju determinētās pieejas rezultātu apkopojums visiem scenārijiem.

Enerģijas patēriņa determinētās pieejas rezultātu apkopojums redzams 7.29. attēlā. Līdzīgi izmaksām un SEG emisijām, arī šeit augstākās vērtības ir A references scenārijā, kurā paredzēta pilna dziļuma vecās segas demontāža un jaunas izbūve. Kopumā A scenārijā ir par 38,3 % augstāks enerģijas patēriņš nekā otrajā references scenārijā – B scenārijā.

Enerģijas patēriņa pieaugums, salīdzinot ar B scenāriju, ir arī E un F scenārijā, attiecīgi par 0,30 % un 0,24 %. E un F scenārijā dzīves cikla enerģijas pieaugums saistīts ar lielāku enerģijas patēriņu bitumena modificēšanas procesā, neskatoties uz to, pieaugums ir salīdzinoši mazs.

Savukārt C, D un G scenārijā enerģijas patēriņš samazinās, salīdzinot ar B references scenāriju. Vislielākais samazinājums ir C scenārijā, tas ir, 14,6 %, kas saistīts ar plānāku asfalta virskārtu. Bitumena iegūšanai tiek patērēta liels enerģijas daudzums, tādējādi, samazinot kopējo asfalta kārtu biezumu, ir iespējams būtiski samazināt kopējās enerģijas patēriņa vērtības. G scenārijā, kurā cementi tiek daļēji aizstāti ar pelniem, ir iespējams par 2,4 % samazināt kopējo enerģijas patēriņu, salīdzinot ar B scenāriju. Vismazākais samazinājums ir D scenārijā – 0,21 %. Šis samazinājums saistīts ar *EOC* bitumena modifikatora izmantošanu. Elastomēra vides deklarācijas dati liecina, ka *EOC* modifikatora iegūšanai ir nepieciešams mazāk enerģijas, salīdzinot ar tradicionālo *SBS* modifikatoru.



7.29. att. Enerģijas patēriņa determinētās pieejas rezultātu apkopojums.

7.5.5. SCENĀRIJU VARBŪTISKĀS PIEEJAS REZULTĀTI

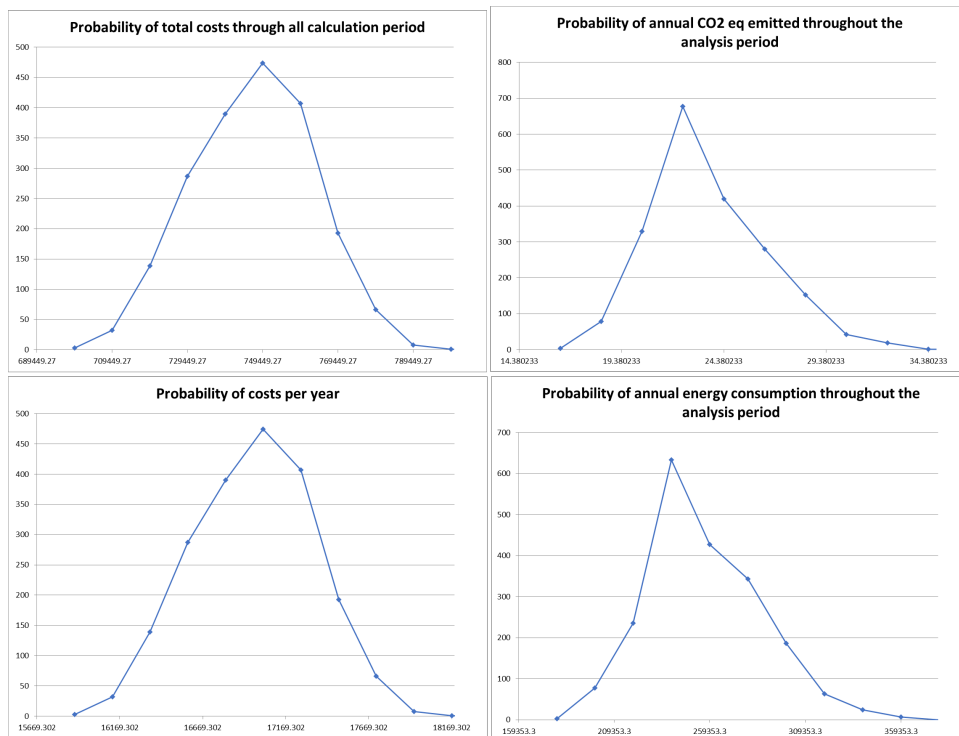
Visu scenāriju determinētās un varbūtiskās pieejas rezultāti redzami nākamajās apakšnodaļās. Varbūtiskās pieejas rezultātu ģenerēšanai tika izmantota Montekarlo simulācija. Katrā scenārijā tika ģenerētas 2000 vērtības jeb iterācijas, kas ir ievērojami mazāk nekā autora iepriekšējos pētījumos, kur tika veiktas pat 20 000 iterācijas [55,90]. Iemesls tam ir ievērojami ilgāks simulācijai nepieciešamais laiks, kas saistīts ar veiktajiem papildinājumiem analīzē un kodā. Sadalījumu veidošanā papildus tika izmantoti šādi parametri:

- izmaksu ģenerēšanas intervāls – 10 000 €;
- SEG ģenerēšanas intervāls – 2 t;
- enerģijas patēriņa ģenerēšanas intervāls – 20 000 MJ;
- standartnovirze – trīs gadi;
- minimālās un maksimālās vērtības no vidējā prognozētā kalpošanas laika – pieci gadi.

7.5.5.1. A SCENĀRIJS

Varbūtisko analīžu rezultāti A scenārijā redzami 7.30. attēlā. Abi izmaksu grafiki (kopējās izmaksas un gada izmaksas) parāda izteiktu normālsadalījumu. Rezultātus sākotno intervālos ar garumu 10000 €, visticamākās kopējās izmaksas visam dzīves ciklam būs intervālā ar vidējo vērtību 749 449 €. Šāds intervāls ģenerējās 474 iterācijās. Ņemot vērā, ka gada izmaksu veidošanās princips ir ekvivalents, tad iegūtais sadalījums ir identisks kopējo izmaksu sadalījumam.

Ticamākā CO₂ ekv. vērtība gadā ir intervālā ar vidējo vērtību 22,4 t, veidojot izteiktu pīķa vērtību. Šāds intervāls ģenerējās 677 iterācijās. Otra augstākā CO₂ ekv. vērtība ir intervālā ar vidējo vērtību 24,4 t, kas ģenerējās 419 iterācijās. Ticamākā enerģijas patēriņa vērtība ir intervālā ar vidējo vērtību 239 353 MJ. Šāds intervāls ģenerējās 633 iterācijās.

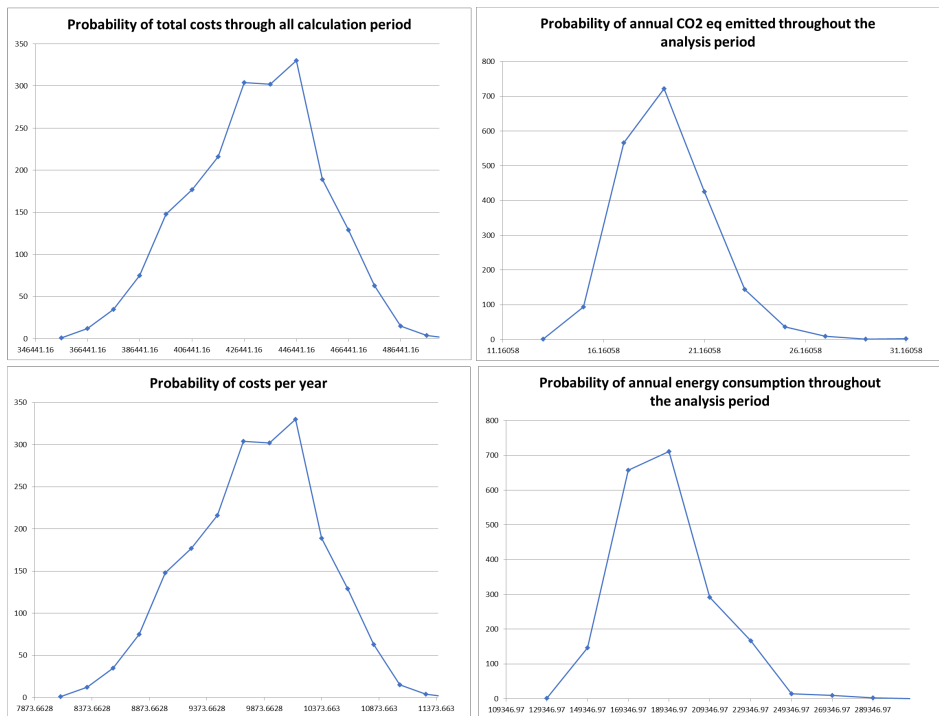


7.30. att. A scenārija varbūtiskās pieejas rezultātu apkopojums.

7.5.5.2. B SCENĀRIJS

Varbūtisko analīžu rezultāti B scenārijā redzami 7.31. attēlā. Iegūtie rezultāti parāda, ka visticamākais kopējais izmaksu lielums 44 gados ir intervālam ar vidējo vērtību 446 441 €. Šāds intervāls ģenerējās 304 iterācijās. Līdzīgi augsta varbūtība ir intervālam ar vidējo vērtību par 10 000 € un 20 000 € lētākam.

Ticamākā CO₂ ekv. vērtība gadā ir intervālam ar vidējo vērtību 19,2 t. Šāds intervāls ģenerējās 722 iterācijās. Arī šajā scenārijā novērojama izteikta CO₂ ekv. varbūtiskā sadalījuma izteikta pīķa vērtība. Ticamākā enerģijas patēriņa vērtība ir intervālam ar vidējo vērtību 189 347 MJ. Šāds intervāls ģenerējās 711 iterācijās.

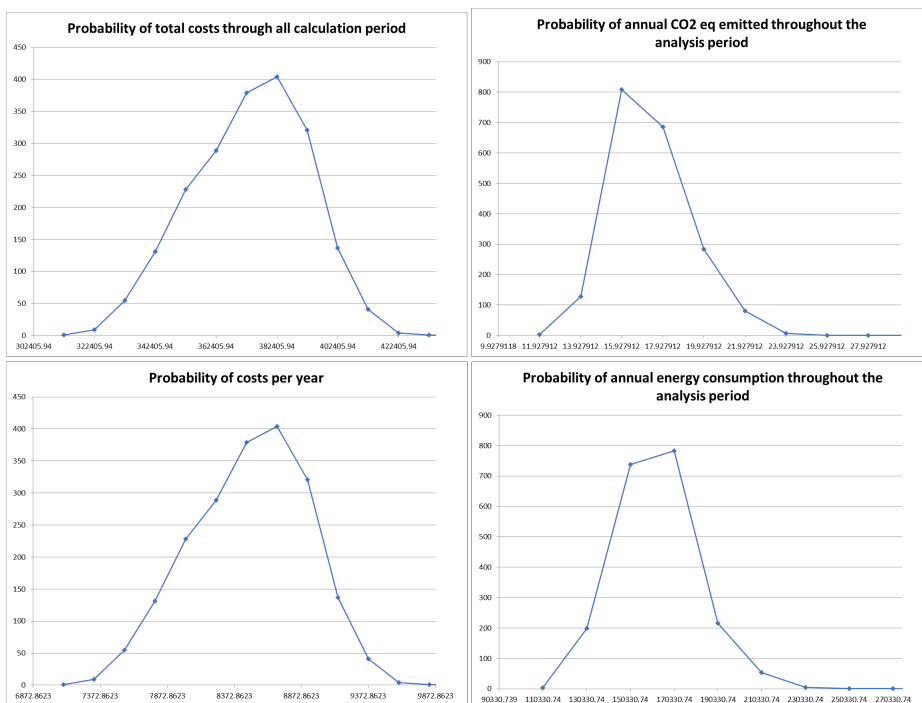


7.31. att. B scenārija varbūtiskās pieejas rezultātu apkopojums.

7.5.5.3. C SCENĀRIJS

Varbūtisko analīžu rezultāti C scenārijā redzami 7.32. attēlā. Iegūtie rezultāti parāda, ka C scenārijā visticamākais izmaksu lielums 44 gados ir diapazonā ar vidējo vērtību 382 406 €. Šāds diapazons ģenerējās 404 iterācijās. Nedaudz mazāka izpildīšanās iespēja ir C scenārijam, esot par 10 000 € lētākam, šāds intervāls ģenerējās 379 iterācijās.

Ticamākā CO₂ ekv. vērtība gadā C variantā ir diapazonā ar vidējo vērtību 15,9 t. Šāds intervāls ģenerējās 809 iterācijās, kas ir ievērojams skaits. Nedaudz zemāka izpildīšanās varbūtība ir diapazonam ar vidējo vērtību 17,9 t, kas ģenerējās 686 iterācijās. Ticamākais enerģijas patēriņa diapazons ir ar vidējo vērtību 170 331 MJ. Šāds intervāls ģenerējās 783 iterācijās. Enerģijas patēriņam gan nav izteiktas pīķa vērtības, un izpildīšanās varbūtība tam ir līdzīgi augsta arī intervālā ar vidējo vērtību 150 331 MJ.

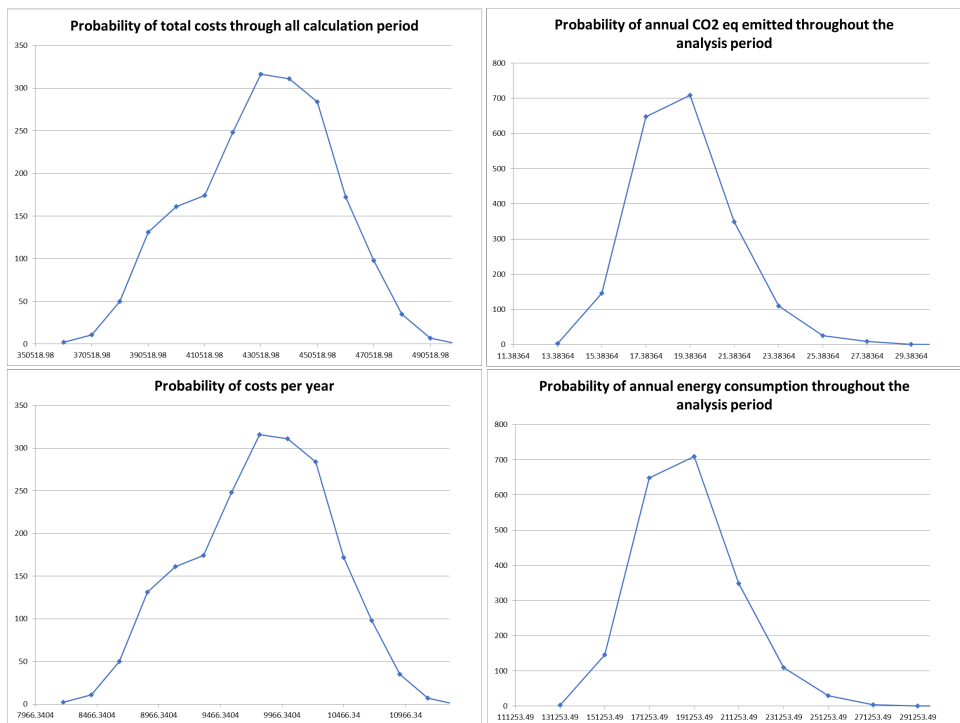


7.32. att. C scenārija varbūtiskās pieejas rezultātu apkopojums.

7.5.5.4. D SCENĀRIJS

Varbūtisko analīžu rezultāti D scenārijā redzami 7.33. attēlā. Iegūtie rezultāti parāda, ka D scenārijā visticamākais kopējais izmaksu lielums 44 gados ir intervālā ar vidējo vērtību 430 519 €. Šāds intervāls ģenerējās 316 iterācijās. Faktiski identiska izpildīšanās iespējamība ir D scenārijam, esot par 10 000 € dārgākam.

Ticamākā CO₂ ekv. vērtība gadā ir intervālā ar vidējo vērtību 19,4 t. Šāds intervāls ģenerējās 709 iterācijās. Augsta izpildīšanās varbūtība ir arī CO₂ ekv. vērtībai diapazonā ar vidējo vērtību 17,4 t, kas ģenerējās 648 iterācijās. Ticamākā enerģijas patēriņa vērtība ir diapazonā ar vidējo vērtību 191 253 MJ. Šāds intervāls ģenerējās 709 iterācijās. Nedaudz zemāka izpildīšanās varbūtība ir enerģijas patēriņa diapazonam esot par 20000 MJ mazākam, kas ģenerējās 648 iterācijās.

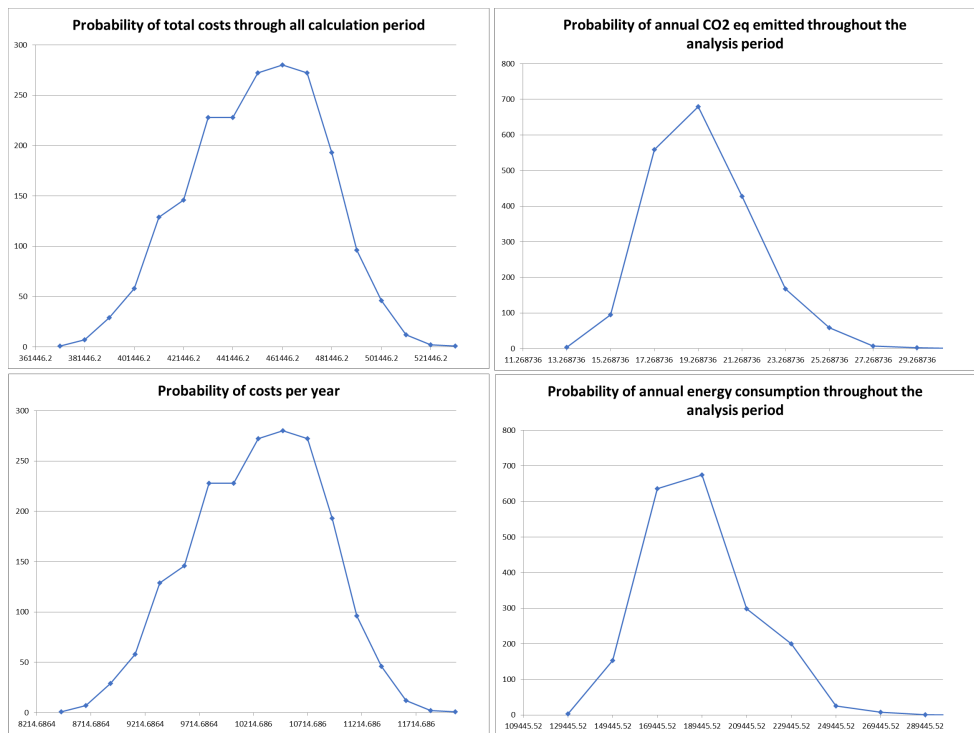


7.33. att. D scenārija varbūtiskās pieejas rezultātu apkopojums.

7.5.5.5. E SCENĀRIJS

Varbūtisko analīžu rezultāti E scenārijā redzami 7.34. attēlā. Iegūtie rezultāti parāda, ka E scenārijā visticamākais kopējais izmaksu lielums 44 gados ir intervālā ar vidējo vērtību 461 446 €. Šāds intervāls ģenerējās 280 iterācijās. Nedaudz mazāka izpildīšanās varbūtība ir intervāla vidējai vērtībai esot par 10 000 € dārgākai un lētākai. Šādi intervāli ģenerējās 272 iterācijās.

Ticamākā CO₂ ekv. vērtība gadā ir intervālam ar vidējo vērtību 19,3 t. Šāds intervāls ģenerējās 680 iterācijās. Nedaudz mazāka izpildīšanās varbūtība – ar 559 iterācijām ir CO₂ ekv. intervālam ar vidējo vērtību 17,3 t. Ticamākā enerģijas patēriņa vērtība ir intervālam ar vidējo vērtību 189 446 MJ. Šāds intervāls ģenerējās 675 iterācijās. Arī enerģijas patēriņa intervālam ar vidējo vērtību 169 446 MJ ir augsta iespēja izpildīties, tam esošajā aprēķinā ģenerējoties 636 iterācijās.

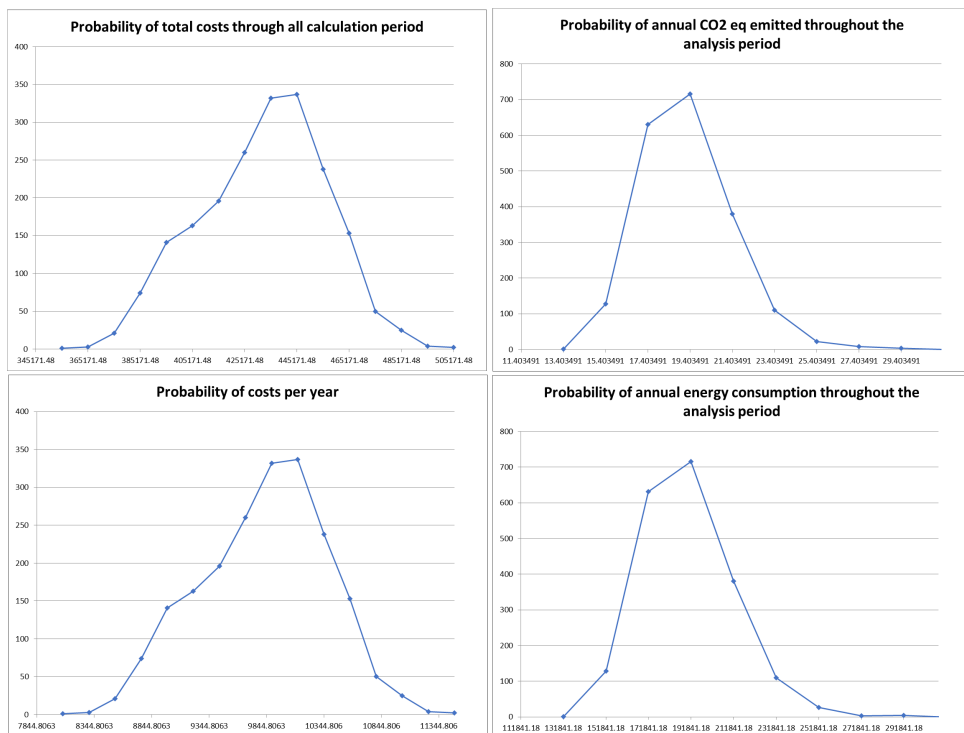


7.34. att. E scenārija varbūtiskās pieejas rezultātu apkopojums.

7.5.5.6. F SCENĀRIJS

Varbūtisko analīžu rezultāti F scenārijā redzami 7.35. attēlā. Iegūtie rezultāti parāda, ka visticamākais kopējais izmaksu lielums 44 gados ir intervālam ar vidējo vērtību 445 171 €. Šāds intervāls ģenerējās 337 iterācijās. Nedaudz zemāka izpildīšanās iespējamība ir izmaksu intervālam ar vidējo vērtību 435 171 €.

Ticamākā CO₂ ekv. vērtība gadā ir intervālam ar vidējo vērtību 19,4 t. Šāds intervāls tika ģenerēts 716 iterācijās. Nedaudz zemāka izpildīšanās varbūtība ar 631 iterāciju ir, intervālam ar vidējo vērtību 17,4 t. Ticamākā enerģijas patēriņa vērtība ir intervālam ar vidējo vērtību 191 841 MJ. Šāds rezultāts ģenerējās 716 iterācijās. Nedaudz zemāka izpildīšanās varbūtība ir, enerģijas patēriņam esot 171 841 MJ, kas ģenerējās 549 iterācijās.

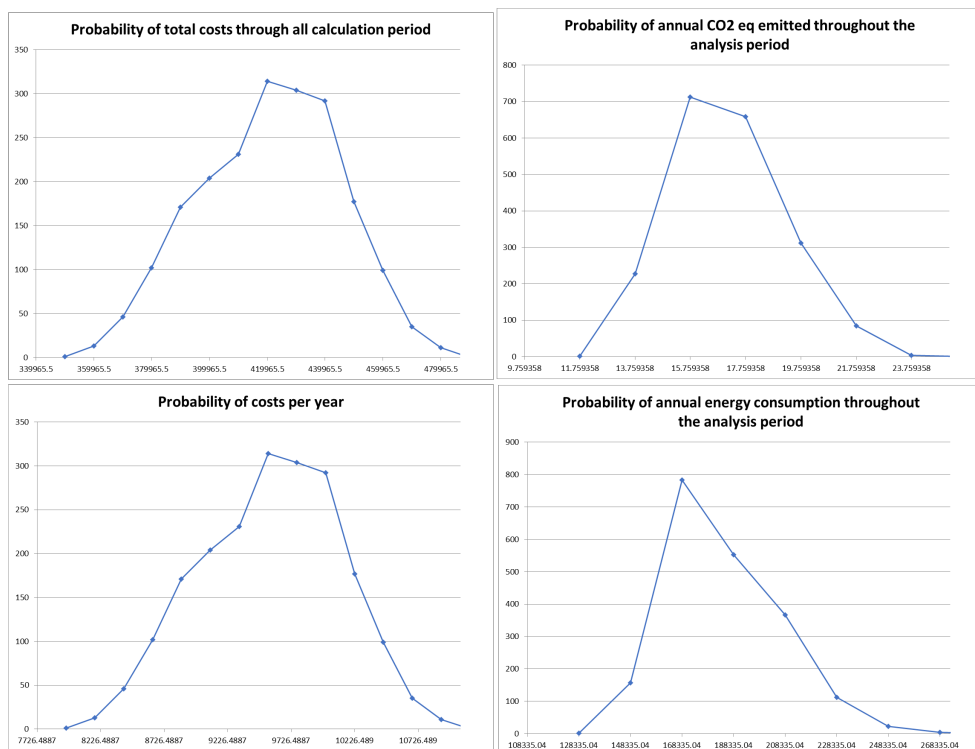


7.35. att. F scenārija varbūtiskās pieejas rezultātu apkopojums.

7.5.5.7. G SCENĀRIJS

Varbūtisko analīžu rezultāti G scenārijā redzami 7.36. attēlā. Iegūtie rezultāti parāda, ka G scenārijā visticamākais kopējais izmaksu lielums 44 gados ir intervālam ar vidējo vērtību 419 966 €. Šāds intervāls ģenerējās 314 iterācijās. Nedaudz zemāka izpildīšanās varbūtība ir, izmaksām esot par 10 000 € un 20 000 € augstākām, kas šajā aprēķinā ģenerējās attiecīgi 304 un 292 iterācijās.

Ticamākā CO₂ ekv. vērtība gadā ir intervālam ar vidējo vērtību 15,8 t. Šāds rezultāts ģenerējās 713 iterācijās. Augsta izpildīšanās varbūtība ar 659 iterācijām ir intervālam ar vidējo vērtību 17,8 t. Ticamākā enerģijas patēriņa vērtība ir intervālam ar vidējo vērtību 168 335 MJ. Šāds intervāls ģenerējās 783 iterācijās. Augsta izpildīšanās varbūtība ar 553 iterācijām ir enerģijas patēriņam intervālā ar vidējo vērtību 188 335 MJ.



7.36. att. G scenārija varbūtiskās pieejas rezultātu apkopojums.

7.5.6. VARBŪTISKĀS ANALĪZES REZULTĀTU APKOPOJUMS

7.5.6.1. IZMAKSU APKOPOJUMS

Varbūtiskās analīzes kopējo izmaksu rezultātu apkopojums redzams 7.37. attēlā. Visi sadalījumi parāda simetrisku normālsadalījumu. Visi varbūtiskie sadalījumi pārklājas, izņemot sadalījumu A scenārijā. Rezultāti parāda, ka augstākās izmaksas ir A scenārijā, kurās tās arī tādas būs neatkarīgi no kalpošanas laika garuma. Tā pamatā ir augstās sākotnējās konstrukcijas izbūves izmaksas. Kā jau iepriekš tika minēts, augstās izmaksas saistītas ar pilna dziļuma segas pārbūvi, kas ietver lielu demontējamā materiāla un jauna materiāla izmantošanas daudzumu. Šajā scenārijā lielāko izmaksu daļu veido sākotnējās konstrukcijas izbūve, tāpēc izmaksas visā dzīves ciklā ir iespējams prognozēt ar samērā augstu ticamību. Šajā scenārijā ticamākā intervāla izpildīšanās varbūtība ir tuvu 25 %.

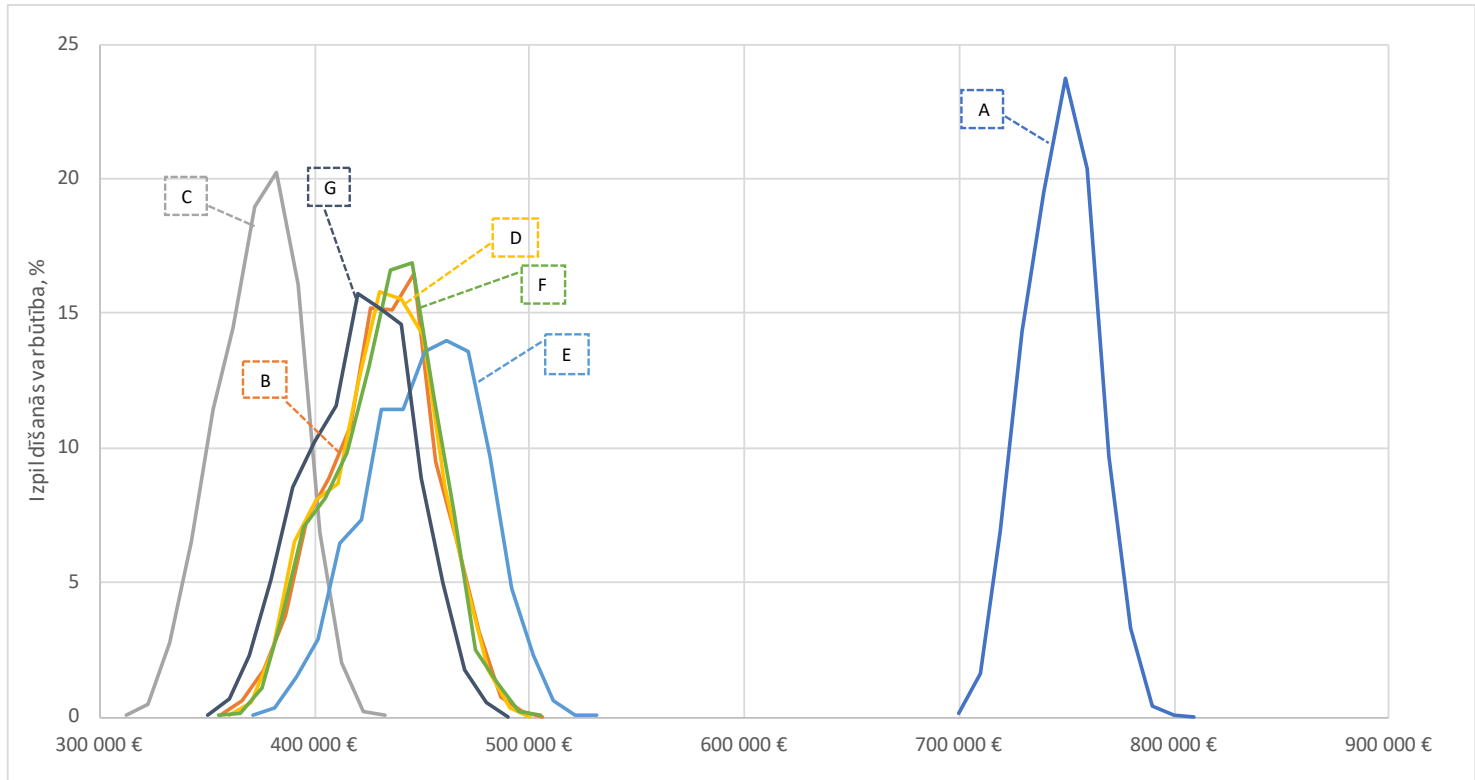
Otras augstākās izmaksas tiek prognozētas E scenārijā, kam tiek izmantota ar gumiju modificēta asfalta virskārta pēc slapjās metodes. Tas, ka ar gumiju modificēta asfalta izmaksas ir augstākas, tika apstiprināts arī iepriekšējā autora publikācijā, kur tika secināts, ka šāda tipa ceļa segai ir jākalpo ilgāk, lai tai būtu zemākas vidējās gada izmaksas [76].

B, D un F scenārijā izmaksu sadalījums ir līdzīgs, nedaudz atšķiroties izpildīšanās varbūtībai ticamākajām izmaksām, kas ir 1,05 % robežās. No tā var secināt, ka *EOC* vai sarkano

mālu izmantošana nesadārdzina kopējās izmaksas, salīdzinot ar tradicionālo praksi, kur kā bitumena modifikators tiek izmantots *SBS* (B scenārijā). Sarkanie māli ir kā papildu bitumena modifikators *SBS*, tādēļ šajā scenārijā tie varētu uzlabot ekspluatācijas īpašības izmantotajai virskārtai, salīdzinot ar citiem scenārijiem, kuros paredzēts tikai viens modifikators.

Otras zemākās izmaksas ir G scenārijā, kurā ar cementu pastiprinātajās kārtās tas tiek izmatots par 50 % mazāk, to aizstājot/kompensējot ar vieglajiem pelniem.

Viszemākās izmaksas no visiem scenārijiem ir C scenārijā, kur virskārtā tiek izmantots *BBTM* asfalta tips kombinācijā ar 3 cm biežāku reciklētā maisījuma kārtu ceļa segā. Šī scenārija ticamākā izmaksu papildīšanās intervāla varbūtība arī ir augstāka – virs 20 %, kas saistīts ar zemākiem nākotnes izdevumiem tieši plānākas kārtas frēzēšanas un atkārtotas izbūves darbos.



7.37. att. Kopējo izmaksu varbūtiskās pieejas rezultātu apkopojums.

7.5.6.2. SEG EMISIJU APKOPOJUMS

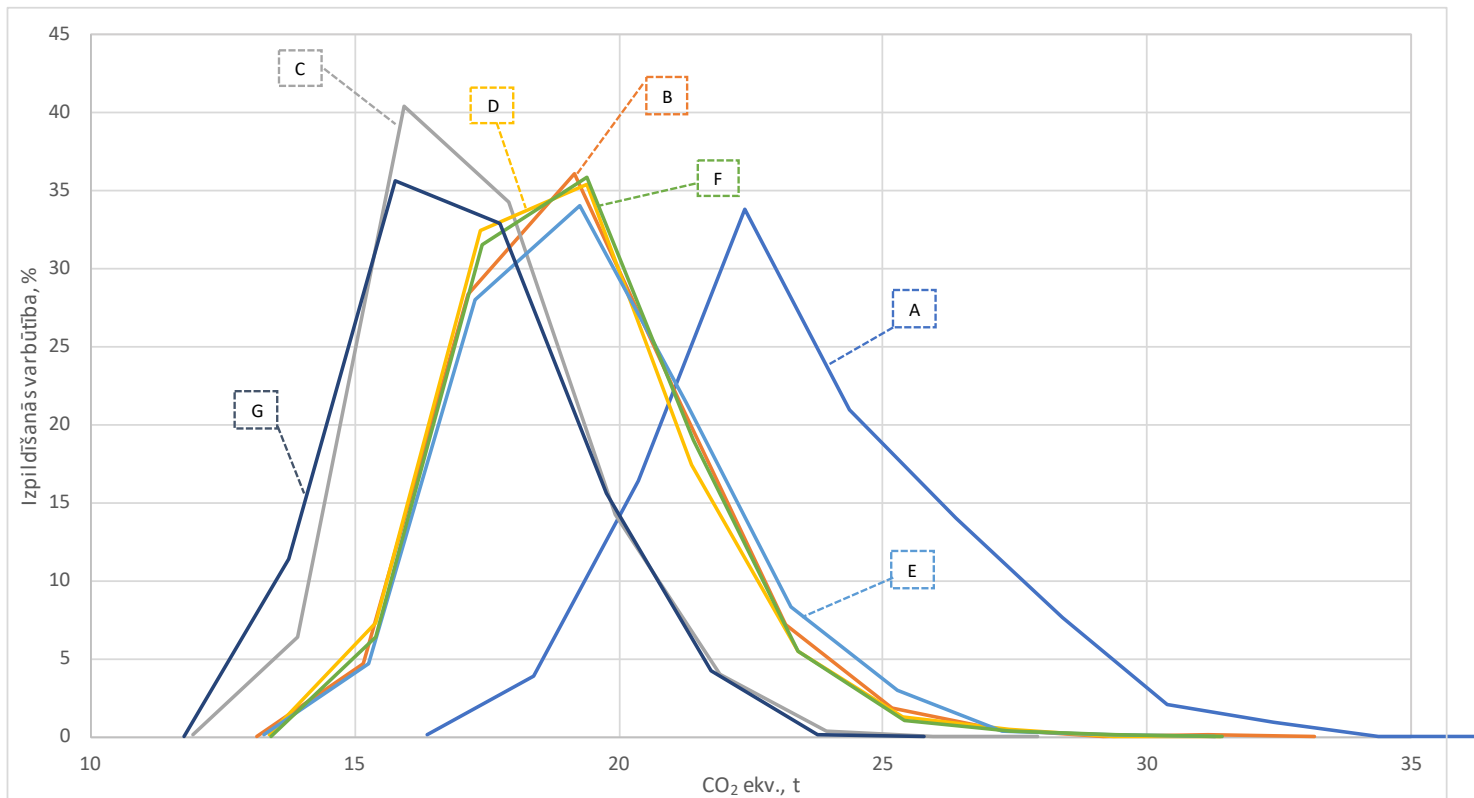
SEG emisiju apkopojums redzams 7.38. attēlā. Visi normālsadalījumi savstarpēji pārklājas. Arī šeit lielākās CO₂ ekv. vērtības ir A scenārijā. Atšķirībā no izmaksu varbūtiskā sadalījuma ilgākā kalpošanas laikā A scenārijā var būt pat mazāka gada vidējā CO₂ ekv. vērtība nekā jebkuram citam scenārijam.

Ļoti līdzīgs varbūtiskais sadalījums SEG pozīcijā ir B, D un F scenārijā. Šo scenāriju galvenā atšķirība ir izpildīšanās varbūtība ticamākajam intervālam, tā ir 0,65 % robežās. Līdz ar to var teikt, ka gan *EOC* modifikatoram, gan sarkanajiem māliem nav negatīva (lielāka) SEG emisiju ietekme uz kopējo ceļa segu, salīdzinot ar tradicionālo praksi ar *SBS* bitumena modifikatoru virskārtai.

E scenārijā, kurā bitumens tiek modificēts ar gumijas granulām pēc slapjās metodes, CO₂ ekv. vērtību sadalījums ir nedaudz zemāks nekā iepriekš minētajā B, D un F scenārijā. Tajā pašā laikā atšķirība starp ticamāko intervālu vidējām vērtībām ir maza – 0,3–2,1 %.

Otrs zemākais CO₂ ekv. ir C scenārijā, kurā kā virskārta tiek izmantots *BBTM* asfalta tips. *BBTM* virskārta ir par 37,5 % plānāka, salīdzinot ar virskārtām citos scenārijos. Plānāka virskārta ļauj samazināt jauna bitumena un minerālmateriālu nepieciešamo daudzumu, tādējādi samazinot arī gada CO₂ ekv. daudzumu.

Viszemākais CO₂ ekv. ir G scenārijā, kurā par 50 % ir samazināts cementa patēriņš, to daļēji aizstājot ar vieglajiem pelniem. Pētījumi rāda, ka vieglie pelni spēj daļēji aizstāt cementu, tādējādi samazinot tā nepieciešamo daudzumu [32,33]. Šajā scenārijā varbūtiskais sadalījums parāda tikai vienu izteikti ticamāko intervāla CO₂ ekv. vērtību, bet divus ar augstu izpildīšanās varbūtību. Interesanti, ka iespēja izpildīties diviem ticamākajiem intervāliem ir 68,6 %. Neskatoties uz acīmredzamo vieglo pelnu pozitīvo ietekmi uz CO₂ ekv. vērtību samazināšanu, to izmantošana ir rūpīgi jāizvērtē lielās kvalitātes mainības dēļ, kas var negatīvi ietekmēt konstrukcijas kopējo kalpošanas laiku.



7.38. att. SEG varbūtiskās pieejas rezultātu apkopojums.

7.5.6.3. ENERĢIJAS PATĒRIŅU APKOPOJUMS

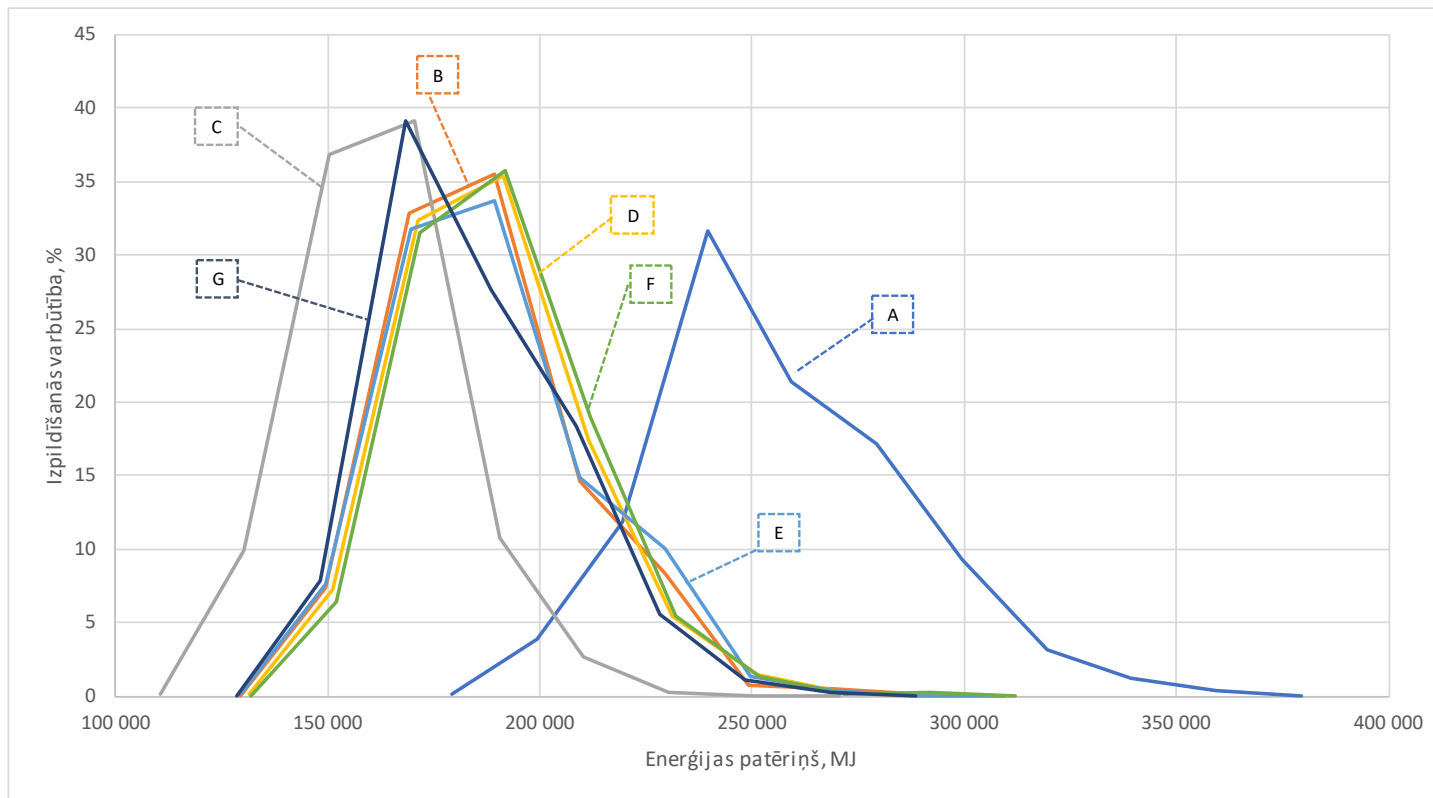
Enerģijas patēriņu rezultātu apkopojums redzams 7.39. attēlā. Tāpat kā izmaksu un SEG emisiju gadījumā, arī lielākās enerģijas patēriņa vērtības ir A scenārijā. Visi varbūtiskie sadalījumi savstarpēji pārklājas. Tādēļ pastāv iespēja, ka A scenārijā var būt pat zemāks gada vidējais patēriņš (salīdzinot ar B, D, E, F un G scenāriju), un šī iespēja ir aptuveni 20 %. A scenārijā iegūtais sadalījums veido zemāku, bet plašāku iegūstamo vērtību iestāšanās diapazonu.

Līdzvērtīgs varbūtiskais sadalījums ir arī B, D un F scenārijā. Šo scenāriju galvenā redzamā atšķirība ir izpildīšanās varbūtība ticamākajam intervālam – 0,35 % robežās. Līdz ar to var teikt, ka gan *EOC* modifikatoram, gan sarkanajiem māliem ar *SBS* ir maza enerģijas patēriņa ietekme uz kopējo ceļa segu, salīdzinot ar tradicionālo praksi asfalta virskārtai izmantot tikai ar *SBS* modificētu bitumenu.

E scenārijā, kurā bitumens tiek modificēts ar riepu gumiju, varbūtiskais sadalījums ir nedaudz zemāks nekā iepriekš minētajā B, D un F scenārijā, tajā pašā laikā atšķirība starp ticamākajām vērtībām ir tikai 1,7 % robežās.

Otrs zemākais enerģijas patēriņš ir G scenārijā, kurā par 50 % ir samazināts cementa patēriņš vieglo pelnu izmantošanas dēļ. G scenārijā ticamākā varbūtiskā sadalījuma intervāla vidējā vērtība ir gandrīz identiska ar C scenāriju. Sadalījums G scenārijā gan ir plašāk vērsts uz augstāku enerģijas patēriņu nekā C scenārijā.

Viszemākais enerģijas patēriņš ticamākā intervāla vidējai vērtībai ir C scenārijā, kurā kā virskārta tiek izmantots *BBTM* asfalta tips. Līdzīgi kā B, D, E un F scenārijā, CO₂ ekv. pozīcijā C scenārijā nav izteikta viena ticamākā intervāla, bet gan divi augstas ticamības intervāli ar 76,1 % kopējo piepildīšanās varbūtību. Bitumena iegūšana patērē daudz enerģijas, tāpēc, izmantojot plānāku virskārta, ir iespējams būtiski samazināt šo patēriņu. Rezultātā *BBTM* virskārta ļauj samazināt gan enerģijas patēriņu, gan neatjaunojamo resursu izmantošanas apjomu.



7.39. att. Energijas patēriņa varbūtiskās pieejas rezultātu apkopojums.

7.5.7. MATERIĀLU IZMANTOŠANAS APJOMS

Visos scenārijos tika aprēķināts izmantoto materiālu apjoms (7.20. tab.). A references scenārijā, kuram paredzēta pilna vecās segas demontāža, visā dzīves ciklā ir par 17,6 % mazāk patērētu minerālmateriālu asfalta kārtās nekā otrajā references scenārijā – B scenārijā. Minerālā aizpildītāja un bitumena pozīcijās A scenārijā arī redzams samazinājums – attiecīgi par 11,4 % un 16,6 %. Tāpat A scenārijā netiek izmantots cements, tādējādi netiekot saražotām 284,9 t cementa visā aprēķinu dzīves ciklā, kā tas ir B, D, E un F scenārijā. Neskatoties uz to, ka atsevišķās pozīcijās potenciālais materiālu izmantojums samazinās vai nav vispār, A scenārijā tiek izmantots liels apjoms jaunu minerālmateriālu pamata kārtās. Salīdzinīgās kārtas izbūvēšanai 55 cm biezumā ir nepieciešamas 12 893,9 t smilšu. Pamata nesošās kārtas izbūvei ir nepieciešamas 9810,2 t šķembu maisījuma, kas ir aptuveni 4 reizes vairāk nekā citos scenārijos, kuros paredzēta vecās segas reciklēšana un pastiprināšana.

C scenārijā, kurā paredzēta plānākas asfalta virskārtas izmantošana, arī nepieciešams mazāks apjoms jaunu minerālmateriālu un svaiga bitumena, salīdzinot ar B references scenāriju. Kopējais minerālmateriālu samazinājums segumā ir 17,3 %. Virskārtā minerālmateriāla samazinājums ir 37,5 %. Šāds samazinājums ir īpaši būtisks valstīs, kurās augstas kvalitātes minerālmateriāls tiek importēts. Līdzīgi arī ar bitumenu, kas *BBTM* virskārtā ir par 40 % mazāk, plānākās kārtas un mazāka bitumena satura dēļ. Tāpat C scenārijā par 12,2 % vairāk tiek izmantots materiāls no vecās segas, salīdzinot ar B, D, E, F un G scenāriju.

Materiālu apjoma atšķirību B un D scenārijā nav. Vienīgā atšķirība ir izmantotais bitumena modifikators (*SBS* vai *EOC*), kam nav ietekmes uz materiālu apjomiem.

Riepu gumijas izmantošana bitumena modificēšanā izslēdz nepieciešamību ražot bitumena modifikatoru. Šāda modifikatora izmantošana veicina aprites ekonomiku un dod iespēju utilizēt 26,93 t riepu gumijas, kas ir vairāk nekā 50 t riepu uz 1 km ceļa. Negatīvais aspekts gan ir tas, ka par 3 % palielinās jaunā bitumena daudzums.

F scenārijā atšķirībā no citiem tiek izmantoti divi bitumena modifikatori – *SBS* un sarkanie māli. Neskatoties uz to, ka sarkanie māli varētu papildus *SBS* nodrošināt vēl augstākus ekspluatāciju īpašību rezultātus, tas netika izvērtēts šajā pētījumā. Sarkano mālu izmantošana bitumena modificēšanā ļauj utilizēt 10,53 t šī blakusprodukta, kas rodas alumīnija iegūšanas procesā, tādā pašā apjomā ļaujot samazināt jauna minerālā aizpildītāja nepieciešamo daudzumu.

G scenārijā vieglo pelnu izmantošana ļauj samazināt nepieciešamā cementa daudzumu par 50 % jeb 142,4 t. Lai panāktu līdzvērtīgu pastiprināšanas efektu, vieglie pelni tiek izmantoti ievērojami vairāk nekā cements. Tas dod iespēju 1 km garā posmā utilizēt 949,6 t šī produkta. Tāpat pelnu izmantošana par 8,8 % ļauj samazināt nepieciešamību pēc jauna minerālmateriāla pamata nesošajā kārtā.

7.20. tabulā redzams, ka A scenārijā visā plānotajā dzīves ciklā tiek izmantots būtiski vairāk jauna materiāla. Šī atjaunošanas pieeja nav vēlama, ja vien vecajā ceļa segā esošie materiāli ir absolūti neatbilstoši aktuālajām specifikācijām un rada ilgmūžības riskus. Katram no pārējiem scenārijiem ir kāda pozitīva ietekme uz jaunu minerālmateriālu daudzuma samazināšanu vai blakusproduktu vai industriālo atkritumu iekļaušanu ceļa segas dzīves ciklā. Kombinācija starp vairākiem scenārijiem būtu visilgtspējīgākais risinājums, ja tam nebūtu negatīva ietekme uz ceļa segas kalpošanas laiku.

7.20. tabula

Izmantoto materiālu daudzums visa dzīves cikla laikā

Pozīcija	A scenārijs	B scenārijs	C scenārijs	D scenārijs	E scenārijs	F scenārijs	G scenārijs
Jauns minerālmateriāls asfalta kārtās, t	4725,2	5732,3	4737,5	5732,3	5730,3	5730,3	5732,3
Jauns minerālais aizpildītājs asfalta kārtās, t	160,9	181,7	137,9	181,7	181,7	171,2	181,7
Jauns minerālmateriāls nesošajā kārtā, t	9810,2	2441,9	2435,17	2441,9	2441,9	2441,9	2228,0
Jauns minerālmateriāls papildkārtā, t	12893,9	0	0	0	0	0	0
Minerālmateriāls no vecās segas, t	0	6768,9	7597,1	6768,9	6768,9	6768,9	6175,7
Svaigs bitumens (bez modifikatoriem), t	224,9	269,72	211,4	269,72	277,8	269,72	269,72
Rūpnieciski ražots bitumena modifikators, t	6,08	6,08	3,61	6,08	0	6,08	6,08
Drupināta riepu gumija, t	0	0	0	0	26,93	0	0
Sarkanie māli, t	0	0	0	0	0	10,53	0
Cements, t	0	284,9	307,92	284,9	284,9	284,9	142,4
Vieglie pelni, t	0	0	0	0	0	0	949,6

7.5.8. REITINGA IZVEIDE

Aprakstītos rezultātus iespējams sagrupēt un izveidot scenāriju rangu tabulu (7.21. tab.). Šī pētījuma gaitā tas tika darīts, balstoties tikai determinētās pieejas rezultātos. Izstrādātajā promocijas darbā nav informācijas, kā interpretēt varbūtiskās analīzes rezultātus reitinga izveidei, tas tikai piedāvā tādus iegūt, izmantojot rīku *PAVE/LCA/LCCA*.

Visos scenārijos ir četrās kategorijās: (1) gada izmaksas; (2) gada enerģijas patēriņš; (3) gada SEG; (4) materiālu izmantošanas apjomi. Gada rezultāti tiek iegūti, dalot dzīves cikla kopējo vērtību ar analīzes periodu. Katra kategorijā tiek ierindota reitinga pozīcijā no 1 (augstākā) līdz 7 (zemākā). Gada izmaksu kategorija visaugstākajā pozīcijā ir C scenārijā, kam seko G un B scenārijs. Gada enerģijas patēriņa kategorija visaugstākajā pozīcijā ir G scenārijā, kam seko C un D. Gada SEG kategorija visaugstākajā pozīcijā ir C scenārijā, kam seko G un D scenārijs. Materiālu izmantošanas apjomu kategorijā vietu sadalījums vairs nav tik viennozīmīgs, jo katrā scenārijā šī kategorija dod kādu noteiktu ieguvumu. Tādēļ, lai varētu izveidot rangu, tika vērtēts no Latvijai izdevīgām pozīcijām, piemēram, kādu materiālu utilizēšanā ir vietējs pieprasījums. Līdz ar to šī kategorija visaugstākajā pozīcijā ir G scenārijā, kam seko C un E scenārijs.

No visiem scenārijiem augstāko vietu reitingā ieņem C un G scenārijs. C scenārijs ieņem pirmo vietu gada izmaksu un SEG kategorijā, otro vietu gada enerģijas patēriņa un materiālu izmantošanas kategorijā. Savukārt G scenārijs ieņem pirmo vietu gada enerģijas patēriņa un materiālu izmantošanas kategorijā, otro vietu gada izmaksu un SEG kategorijā. Viszemāko vietu visās kategorijās ieņem A scenārijs, kurā izmantota pilna dziļuma vecās segas demontāža un jaunās izbūve. Līdz ar to šīs tehnoloģijas izmantošana ir kritiski izvērtējama, jo tā ir gan dārga, gan videi nedraudzīga. Ja tomēr tā ir jāveic, tad būtu ieteicams meklēt risinājumu, lai uzlabotu ilgtspēju, piemēram, iekļaujot kādu no blakusproduktiem vai industriālajiem atkritumiem asfaltu kārtu ražošanā.

7.21. tabula

Scenāriju reitings				
Scenārijs	Gada izmaksas	Gada enerģijas patēriņš	Gada SEG	Materiālu izmantošanas apjomi
A	7	7	7	7
B	3	4	4	6
C	1	2	1	2
D	5	3	3	5
E	6	6	5	3
F	4	5	6	4
G	2	1	2	1

7.5.9. NOVĒRTĒJUMS UN OPTIMIZĀCIJA

Izmantotajiem materiāliem un tehnoloģijām nav noteikti kādi ierobežojumi, tādēļ visi scenāriji praksē būtu īstenojami. Rezultāti gan iezīmē to, ka potenciāli kombinācija starp izmantotajiem materiāliem un tehnoloģijām dažādos scenārijos būtu visilgtspējīgākais risinājums. *BBTM* virskārtas izmantošana (C scenārijs) kombinācijā ar drupinātu riepu gumiju modificētu bitumenu (E scenārijs) un daļēja cementa aizstāšana ar vieglajiem pelniem pamata pastiprināšanā (G scenārijs) būtu potenciāli visilgtspējīgākais ceļa segas risinājums, nodrošinot viszemākās gada izmaksas, SEG, enerģijas patēriņu un vislielāko industriālo atkritumu un blakusproduktu izmantošanas apjomu. Jāņem vērā, ka tas ir ar nosacījumu, ka šī materiālu un tehnoloģiju kombinācija nerada saīsinātu ceļa segas kalpošanas laiku.

8. SECINĀJUMI

Promocijas darbs ir oriģināls pētniecības projekts, kurā izstrādāta metodika un rīks ceļu būvniecības materiālu, tehnoloģiju un stratēģiju ilgtspējas novērtēšanai, izmantojot dzīves cikla tehnikas. Promocijas darbs ietver dažādu potenciāli ilgtspējīgu materiālu un tehnoloģiju novērtēšanu atbilstoši izstrādātajai metodikai, izmantojot darba autora izstrādāto rīku *PAVE/LCA/LCCA*. Balstoties pētījuma rezultātos, definēti vairāki secinājumi.

- Izstrādātā metode dod iespēju kvantitatīvi novērtēt ceļa atjaunošanas vai izbūves pieejas, dodot iespēju uzlabot lēmumu pieņemšanas politiku. Līdz šim realizētā zemākās cenas politikas prakse kā primārais kritērijs ietver būtiskus ilgtspējīgu attīstību ietekmējošus riskus. Šis promocijas darbs ir būtisks solis uz priekšu, lai veidotu izpratni un veicinātu ilgtspējīgas attīstības principu ieviešanu ceļu būves nozarē.
- Patlaban ceļu būves nozarē nav pieejams viens rīks, kas apvieno *LCA* un *LCCA*, ar iespēju pilnībā izstrādāt savām prasībām nepieciešamo atjaunošanas stratēģiju. Ņemot vērā to, ka materiālu plūsmas un procesi analizēs daļēji pārklājās, to apvienošana vienā rīkā ir loģiska, jo optimizē darbības, informācija ir vienuviet un ietekmju izvērtēšana ir pārskatāmāka.
- Izstrādātais rīks *PAVE/LCA/LCCA* ir inovatīvs ar to, ka tas dod iespēju aprēķināt ceļa atjaunošanai vai izbūvei izmantoto materiālu, tehnoloģiju vai stratēģiju vides un ekonomiskos parametrus vienā rīkā. Papildus ar to iespējams veikt aprēķinus visai ceļa segai ar tvērumu no izejmateriālu iegūšanas līdz kalpošanas laika beigām. Turklāt ar šo rīku rezultātus var izteikt gan determinēti, gan varbūtiski.
- Vienkāršotai izpratnes veidošanai ir izmantojama determinētā rezultātu izteikšanas pieeja, tomēr varbūtiskā pieeja arī ir ieteicama, jo ietver tādu būtisku parametru kā izpildīšanās varbūtība. Tādēļ, lai iegūtu plašāku informāciju par dažādu pieeju rezultātiem, tiek rekomendēts iegūt varbūtiskos rezultātus.
- Ceļa segas pilna dziļuma rekonstrukcija, veicot pilnīgu vecā materiāla demontāžu un jaunas ceļa segas izbūvi pēc determinētās pieejas, 44 gados ir par 72,2 % dārgāks, 38,3 % energoietilpīgāks un 24,2 % SEG emitējošāks risinājums nekā pārbūve, kas daļēji izmanto veco segu jaunas izbūvei. Varbūtiskā aprēķina rezultāti gan parāda, ka ilgākā kalpošanas laikā pilna dziļuma rekonstrukcija, veicot pilnīgu vecā materiāla aizvietošanu un jaunas ceļa segas izbūvi, var būt pat ar mazāku gada vidējo enerģijas un SEG apjomu, nekā daļēji izmantojot veco segu, to reciklējot.
- Ceļa sega ar *BBTM* asfalta virskārtu pēc determinētās pieejas 44 gados ir par 13,6 % lētāks, 14,6 % mazāk energoietilpīgs un 9,3 % mazāk SEG emitējošs risinājums nekā ceļa sega ar tradicionālu virskārtu. Ņemot vērā to, ka Latvijā bitumens un augstas kvalitātes minerālmateriāls tiek importēts, *BBTM* virskārtas izmantošana ir ilgtspējīga.
- Ceļa segai, kuras pamata pastiprināšanā 50 % cementa tiek aizstāti ar vieglajiem pelniem, ir potenciāls samazināt dzīves cikla izmaksas par 2,3 %, enerģijas patēriņu par 2,4 % un SEG daudzumu par 12,2 %. Cementa ražošana ir energoietilpīgs un videi

nedraudzīgs process. Tajā pašā laikā koģenerācijas stacijās kā blakusprodukts tiek radīti vieglie pelni, kuriem ir limitēts lietojums. Neskatoties uz augsto potenciālu, vieglo pelnu izmantošanai jābūt atbildīgai (jāveic individuālas pārbaudes), jo tajos var būt dažādi videi un cilvēkam kaitīgi smagie metāli.

- Ar gumiju modificēta bitumena izmantošana pēc slapjās metodes ceļa segas virskārtā par 4,6 % palielina kopējās dzīves cikla izmaksas visai segai 44 gados, tomēr tā ietekme uz kopējajām SEG un enerģijas patēriņu ir mazāka – attiecīgi 1,0 % un 0,3 %. Autora veiktajā pētījumā tika noskaidrots, ka ar gumiju modificēts bitumens var pagarināt kalpošanas laiku, tādējādi samazinot gada izmaksas, enerģijas patēriņu un SEG. Savukārt riepu pārstrāde un iegūtā materiāla izmantošana veicina aprites ekonomikas principu darbību un samazina riepu uzglabāšanas apjomu.
- Sarkano mālu izmantošana bitumena modificēšanas procesā faktiski nepalielina izmaksas, SEG vai enerģijas patēriņu, salīdzinot ar tradicionālo praksi. Tajā pašā laikā sarkano mālu izmantošana, kas ir industriālais blakusprodukts, par 16 % samazina nepieciešamību pēc tradicionāliem aizpildītājiem, tā samazinot neatjaunojamo resursu izmantošanu un veicinot aprites ekonomikas principus, kas ir īpaši būtiska valstīs, kur tiek veikta rūpnieciska alumīnija iegūšana.
- *EOC* kā bitumena modifikatora izmantošana nepalielina izmaksas, SEG vai enerģijas patēriņu, salīdzinot ar tradicionālo praksi ar *SBS* bitumena modifikatoru. Šis elastomers nav rūpnieciski izmantots bitumena modificēšanai, līdz ar to tā izmantošanā ir potenciāli riski. Līdz šim veiktie laboratoriskie ekspluatāciju īpašību testi liecina, ka ar esošo pieeju *EOC* nav labāks par *SBS*, kas nozīmē, ka tā izmantošana bitumena modificēšanā pagaidām nav gaidāma.
- Visilgtspējīgākie scenāriji ir tie, kuros tiek izmantota ceļa sega ar *BBTM* virskārtu, un ceļa sega, kurā tiek izmantoti vieglie pelni pamata izbūvē, aizstājot cementu 50 % apmērā. Turpretī vismazāk ilgtspējīgākā pieeja ir veikt pilna dziļuma vecās segas demontāžu un jaunas izbūvi. Šī tehnoloģija būtu piemērojama tikai gadījumos, kad ir augsti riski nodrošināt ilgmūžību, izmantojot kādu citu tehnoloģiju.
- Visilgtspējīgākais risinājums būtu materiālu un tehnoloģiju kombinācija no dažādiem scenārijiem. Dažādās valstīs un reģionos šīs kombinācijas var atšķirties. Ņemot vērā reitinga rezultātus un Latvijas apstākļus, visilgtspējīgākā kombinācija būtu *BBTM* virskārtas izmantošana kopā ar drupinātu riepu gumiju modificētu bitumenu un vecā pamata pastiprināšana, daļēji aizstājot cementu ar vieglajiem pelniem.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] EAPA, A European Green Deal. The asphalt industry's contributions to climate-neutrality and preservation of Europe's natural environment, (2019) 1–4.
- [2] City population, Length of the road networks in the countries of the world, (n.d.). <https://www.citypopulation.de/en/world/bymap/roadways/>.
- [3] SJJC Latvian State Roads, Valsts autoceļu tīkls - statistika, Rīga, 2019. https://lvceli.lv/wp-content/uploads/2020/09/LVC_Statistika_2019.pdf.
- [4] W. Visser, G.H. Brundtland, Our Common Future ('The Brundtland Report'): World Commission on Environment and Development, 1987. https://doi.org/10.9774/gleaf.978-1-907643-44-6_12.
- [5] J. Mensah, Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review, Cogent Soc. Sci. 5 (2019). <https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531>.
- [6] W.S. Alaloul, M. Altaf, M.A. Musarat, M.F. Javed, A. Mosavi, Systematic review of life cycle assessment and life cycle cost analysis for pavement and a case study, Sustain. 13 (2021). <https://doi.org/10.3390/su13084377>.
- [7] S. He, O. Salem, B. Salman, Decision Support Framework for Project-Level Pavement Maintenance and Rehabilitation through Integrating Life Cycle Cost Analysis and Life Cycle Assessment, J. Transp. Eng. Part B Pavements. 147 (2021) 04020083. <https://doi.org/10.1061/jpeodx.0000239>.
- [8] Eiropas Parlaments, Kas ir oglekļa neitralitāte, un kā šo mērķi sasniegt līdz 2050. gadam?, (2021).
- [9] Eiropas Komisija, Eiropas zaļais kurss, (2019). https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_lv.
- [10] Our World in Data, Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from?, (n.d.). <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>.
- [11] PIARC, Transport Strategies for Climate Change Mitigation and Adaptation, (2016).
- [12] A.J. Del Barco Carrion, G. Buttita, L. Neves, D. Lo Presti, Sustainability Assessment for road pavements: State-of-the-Art, 2021.
- [13] European Committee For Standardization, EN 15643, (2021).
- [14] B. Moins, C. France, W. Van den bergh, A. Audenaert, Implementing life cycle cost analysis in road engineering: A critical review on methodological framework choices, Renew. Sustain. Energy Rev. 133 (2020) 110284. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110284>.
- [15] P. Babashamsi, N. Izzi, H. Ceylan, N. Ghani, N.I. Md Yusoff, H. Ceylan, N.G. Md Nor, H. Salarzadeh Jenatabadi, Evaluation of pavement life cycle cost analysis: Review and analysis, Int. J. Pavement Res. Technol. 9 (2016) 241–254. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.08.004>.
- [16] F.M.A. Karim, K.A.H. Rubasi, A.A. Saleh, The Road Pavement Condition Index (PCI) Evaluation and Maintenance: A Case Study of Yemen, Organ. Technol. Manag. Constr. an Int. J. 8 (2016) 1446–1455. <https://doi.org/10.1515/otmcj-2016-0008>.
- [17] V. Haritonovs, PLĀNKĀRTAS CEĻA SEGAS DILUMKĀRTAS SLĀŅU (BBTM) UN CITU BITUMINĒTO SEGUMU ATJAUNOŠANAS UN PĀRBŪVES TEHNOĻIJU IZPĒTE (3. KĀRTA), 2020.
- [18] European Asphalt Pavement Association, Asphalt in figures 2019, (2019) 13. https://096.wpcdnnode.com/eapa.org/wp-content/uploads/2020/12/Asphalt-in-figures_2019.pdf.
- [19] R. Izaks, V. Haritonovs, I. Klasa, M. Zaumanis, Hot Mix Asphalt with High RAP

- Content, *Procedia Eng.* 114 (2015) 676–684. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.009>.
- [20] L. Loria, E.Y. Hajj, P.E. Sebaaly, M. Barton, S. Kass, T. Liske, Performance evaluation of asphalt mixtures with high recycled asphalt pavement content, *Transp. Res. Rec.* (2011) 72–81. <https://doi.org/10.3141/2208-10>.
- [21] A. Ebrahim Abu El-Maaty Behiry, Utilization of cement treated recycled concrete aggregates as base or subbase layer in Egypt, *Ain Shams Eng. J.* 4 (2013) 661–673. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2013.02.005>.
- [22] A. Jamshidi, K. Kurumisawa, T. Nawa, T. Igarashi, Performance of pavements incorporating waste glass: The current state of the art, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 64 (2016) 211–236. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.012>.
- [23] M.M. Disfani, A. Arulrajah, M.W. Bo, R. Hankour, Recycled crushed glass in road work applications, *Waste Manag.* 31 (2011) 2341–2351. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.07.003>.
- [24] M.S. Eisa, M.E. Basiouny, M.I. Dalooob, Effect of adding glass fiber on the properties of asphalt mix, *Int. J. Pavement Res. Technol.* 14 (2021) 403–409. <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0072-6>.
- [25] A. Zarei, M. Zarei, O. Janmohammadi, Evaluation of the Effect of Lignin and Glass Fiber on the Technical Properties of Asphalt Mixtures, *Arab. J. Sci. Eng.* 44 (2019) 4085–4094. <https://doi.org/10.1007/s13369-018-3273-4>.
- [26] A. Riekstins, J. Baumanis, J. Barbars, Laboratory investigation of crumb rubber in dense graded asphalt by wet and dry processes, *Constr. Build. Mater.* 292 (2021) 123459. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123459>.
- [27] L.G. Picado-Santos, S.D. Capitão, J.M.C. Neves, Crumb rubber asphalt mixtures: A literature review, *Constr. Build. Mater.* 247 (2020) 118577. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118577>.
- [28] S. Bressi, N. Fiorentini, J. Huang, M. Losa, Crumb rubber modifier in road asphalt pavements: State of the art and statistics, *Coatings.* 9 (2019). <https://doi.org/10.3390/COATINGS9060384>.
- [29] D. Lo Presti, Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review, *Constr. Build. Mater.* 49 (2013) 863–881. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.007>.
- [30] H. Naghawi, R. Allouzi, A. Alklub, K. Masarwah, A. AL-Quraini, M. Abu-Sarhan, Plastic Waste Utilization as Asphalt Binder Modifier in Asphalt Concrete Pavement, *Int. J. Civ. Environ. Eng.* 12 (2018) 566–571. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1317348>.
- [31] Y. Huang, R.N. Bird, O. Heidrich, A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements, *Resour. Conserv. Recycl.* 52 (2007) 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.02.002>.
- [32] P. Šķēls, K. Bondars, R. Plonis, V. Haritonovs, A. Paeglītis, Usage of Wood Fly Ash in Stabilization of Unbound Pavement Layers and Soils, (2016) 122–125. <https://doi.org/10.3846/13bsgc.2016.017>.
- [33] P. Skels, V. Haritonovs, E. Pavlovskis, Wood fly ash stabilized road base layers with high recycled asphalt pavement content, *Balt. J. Road Bridg. Eng.* 16 (2021). <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2021-16.520>.
- [34] S. Pourkhorshidi, C. Sangiorgi, D. Torreggiani, P. Tassinari, Using Recycled Aggregates from Construction and Demolition Waste in Unbound Layers of Pavements, *Sustain.* 12 (2020) 1–20. <https://doi.org/10.3390/su12229386>.
- [35] M.R. Hainin, M.A. Aziz, Z. Ali, R.P. Jaya, M.M. El-Sergany, H. Yaacoba, Steel slag as a road construction material, *J. Teknol.* 73 (2015) 33–38.

- <https://doi.org/10.11113/jt.v73.4282>.
- [36] F. Maghool, A. Arulrajah, S. Horpibulsuk, A. Mohajerani, Engineering and Leachate Characteristics of Granulated Blast-Furnace Slag as a Construction Material, *J. Mater. Civ. Eng.* 32 (2020) 04020153. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0003212](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0003212).
- [37] M.S.S. Lima, L.P. Thives, V. Haritonovs, K. Bajars, Red mud application in construction industry: Review of benefits and possibilities, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 251 (2017). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/251/1/012033>.
- [38] M.S.S. Lima, L.P. Thives, V. Haritonovs, Rutting performance of bituminous mixtures composed with red mud, *Bear. Capacit. Roads, Railw. Airfields - Proc. 10th Int. Conf. Bear. Capacit. Roads, Railw. Airfields, BCRRA 2017.* (2017) 349–355. <https://doi.org/10.1201/9781315100333-51>.
- [39] E. Norgbey, J. Huang, V. Hirsch, W.J. Liu, M. Wang, O. Ripke, Y. Li, G.E. Takyi Annan, D. Ewusi-Mensah, X. Wang, G. Treib, A. Rink, A.S. Nwankwegu, P.A. Opoku, P.N. Nkrumah, Unravelling the efficient use of waste lignin as a bitumen modifier for sustainable roads, *Constr. Build. Mater.* 230 (2020) 116957. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116957>.
- [40] C. Xu, D. Wang, S. Zhang, E. Guo, H. Luo, Z. Zhang, H. Yu, Effect of lignin modifier on engineering performance of bituminous binder and mixture, *Polymers (Basel)*. 13 (2021). <https://doi.org/10.3390/polym13071083>.
- [41] N. Tamang, P. Shrestha, B. Khadka, M.H. Mondal, B. Saha, A. Bhattarai, A review of biopolymers' utility as emulsion stabilizers, *Polymers (Basel)*. 14 (2022). <https://doi.org/10.3390/polym14010127>.
- [42] V. Haritonovs, V. Abolins, V. Straupe, R. Īzaks, Asfalta maisījuma noturība pret plastiskām deformācijām. Plānkārtas ceļa segas dilumkārtas slāņu (BBTM) un citu bituminēto segumu atjaunošanas un pārbūves tehnoloģiju izpēte (2. kāрта), 2018. https://lvceli.lv/wp-content/uploads/2020/09/Petijums_BBTM_2_karta.pdf.
- [43] A.A. Butt, Life Cycle Assessment of Asphalt Roads Doctoral Thesis, 2014.
- [44] N. Ivanova, V. Gugleva, M. Dobreva, I. Pehlivanov, S. Stefanov, V. Andonova, We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 % , Intech. i (2016) 13.
- [45] ISO, ISO 14040 - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework, (2006).
- [46] J.T. Harvey, J. Meijer, H. Ozer, I.L. Al-Qadi, A. Saboori, A. Kendall, Pavement Life Cycle Assessment Framework, 2016. <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/sustainability/hif16014.pdf>.
- [47] W. Schmied, M. and Knörr, Calculating GHG emissions for freight forwarding and logistics services in accordance with EN 16258 – Terms , Methods , Examples – Calculating GHG emissions for freight forwarding and logistics services, (2012) 1–63. https://www.clecat.org/media/CLECAT_Guide_on_Calculating_GHG_emissions_for_freight_forwarding_and_logistics_services.pdf (Accessed 22.10.2019).
- [48] J. Li, F. Xiao, L. Zhang, S.N. Amirkhanian, Life cycle assessment and life cycle cost analysis of recycled solid waste materials in highway pavement: A review, *J. Clean. Prod.* 233 (2019) 1182–1206. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.061>.
- [49] J. Li, F. Xiao, L. Zhang, S.N. Amirkhanian, Life cycle assessment and life cycle cost analysis of recycled solid waste materials in highway pavement: A review, *J. Clean. Prod.* 233 (2019) 1182–1206. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.061>.
- [50] Federal Highway Administration, Improving Transportation Investment Decisions Through Life-Cycle Cost Analysis, (2017). <https://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/asstmgmt/lccafact.cfm>.

- [51] FHWA Pavement Division, Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design, Distribution. (1998) 107.
- [52] J.J. Bester, D. Kruger, A. Hinks, Construction and demolition waste in South Africa, Proc. Int. Conf. Sustain. Waste Manag. Recycl. Constr. Demolition Waste. (2004) 63–70.
- [53] U.S. Department of Transportation, Life-Cycle Cost Analysis Primer Life-Cycle Cost Analysis Primer, Management. (2002).
- [54] S. Menesesai, A. Ferreira, Pavement maintenance programming considering two objectives: Maintenance costs and user costs, Int. J. Pavement Eng. 14 (2013) 206–221.
- [55] A. Riekstins, V. Haritonovs, V. Straupe, Life Cycle Cost Analysis and Life Cycle Assessment for Road Pavement Materials and Reconstruction Technologies, Balt. J. Road Bridg. Eng. 5 (2020) 118–135.
- [56] FHWA, Chapter 10 . Assessing Pavement Sustainability, 2013.
- [57] E.B. Lee, D.K. Thomas, D. Alleman, Incorporating road user costs into integrated Life-Cycle Cost Analyses for infrastructure sustainability: A case study on Sr-91 corridor improvement project (Ca), Sustain. 10 (2018) 2013–2016. <https://doi.org/10.3390/su10010179>.
- [58] E. Okte, I.L. Al-Qadi, H. Ozer, Effects of Pavement Condition on LCCA User Costs, Transp. Res. Rec. 2673 (2019) 339–350. <https://doi.org/10.1177/0361198119836776>.
- [59] J. Santos, S. Thyagarajan, E. Keijzer, R. Flores, G. Flintsch, Pavement life cycle assessment: A comparison of American and european tools, Pavement Life-Cycle Assess. - Proc. Pavement Life-Cycle Assess. Symp. 2017. (2017) 1–10. <https://doi.org/10.1201/9781315159324-2>.
- [60] W.S. Alaloul, M. Altaf, M.A. Musarat, M.F. Javeed, A. Mo-, Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost Analysis in Infrastructure Projects : Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost Analysis in Infra- structure Projects : A Systematic Review, (2021). <https://doi.org/10.20944/preprints202103.0316.v1>.
- [61] Hungarian Institute for Transport Sciences, University of Cantabria, Cost-effective durable roads by green optimized construction and maintenance, 2015. <https://cordis.europa.eu/project/id/605404>.
- [62] VAS "Latvijas Valsts ceļi", Ceļu specifikācijas 2019, (2019).
- [63] M. Rathore, 100 % RECYCLED ASPHALT FOR URBAN SURFACES, (n.d.).
- [64] M.I. Giani, G. Dotelli, N. Brandini, L. Zampori, Comparative life cycle assessment of asphalt pavements using reclaimed asphalt, warm mix technology and cold in-place recycling, Resour. Conserv. Recycl. 104 (2015) 224–238. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.08.006>.
- [65] S. Miliutenko, A. Björklund, A. Carlsson, Opportunities for environmentally improved asphalt recycling: The example of Sweden, J. Clean. Prod. 43 (2013) 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.040>.
- [66] G. Hammond, C. Jones, Embodied Carbon: The Inventory of Carbon and Energy (ICE), A BSRIA Guid. (2011) 136. <http://www.ihsti.com/tempimg/57c152b-ENVIRO2042201160372.pdf%0Awww.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied%0A>.
- [67] J.M. Santos, S. Thyagarajan, E. Keijzer, F. Flores, G. Flintsch, J.M. Santos, S. Thyagarajan, E. Keijzer, R.F. Flores, Pavement life cycle assessment - a comparison of American and European tools To cite this version : HAL Id : hal-01651650 Pavement life cycle assessment : a comparison of American and European tools, (2017).
- [68] J. Kragh, E. Nielsen, E. Olesen, L. Goubert, S. Vansteenkiste, J. De Visscher, OPTHINAL Optimization of Thin Asphalt Layers, Era-Net Road. (2011) 82. http://www.brcc.be/pdf/15/doc/OPTHINAL_FinalReport.pdf.

- [69] J.C. Nicholls, I. Carswell, C. Thomas, B. Sexton, Durability of thin asphalt surfacing systems. Part 4: Final report after nine years' monitoring, 2010.
- [70] R. Merijs-Meri, A. Abele, J. Zicans, V. Haritonovs, Development of polyolefine elastomer modified bitumen and characterization of its rheological and structural properties, *Bitum. Mix. Pavements VII.* (2019) 52–59. <https://doi.org/10.1201/9781351063265-9>.
- [71] A. Riekstins, V. Haritonovs, R. Merijs-Meri, J. Zicāns, Ethylene-Octene-Copolymer as an alternative to Styrene-Butadiene-Styrene bitumen modifier, *Elev. Int. Conf. Bear. Capacit. Roads, Railw. Airfields, Vol. 1. 1* (2021) 96–107. <https://doi.org/10.1201/9781003222880-10>.
- [72] ETRMA, European Tyre & Rubber Manufacturers' Association, The European Tyre Industry in Figures - 2020 Edition, (2020). <https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2019/12/Figures-leaflet-updated-front-2019-larger-NEW-LABEL.pdf>.
- [73] LATVIAN TIRE MANAGEMENT ASSOCIATION, Industry data, (2020).
- [74] E. Tyre, R. Manufacturers, L. Tyres, T. European, Press release Europe - 92 % of all End of Life Tyres collected and treated in 2017, (2019) 92–94.
- [75] V. Torretta, E. Cristina, M. Ragazzi, E. Trulli, I. Aura, L. Ionel, Treatment and disposal of tyres : Two EU approaches . A review, *Waste Manag.* 45 (2015) 152–160. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.018>.
- [76] A. Riekstins, V. Haritonovs, V. Straupe, Economic and environmental analysis of crumb rubber modified asphalt, *Constr. Build. Mater.* 335 (2022) 127468. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127468>.
- [77] M.S.S.L. LIMA, Avaliação Do Emprego De Lama Vermelha No Desempenho À Deformação Permanente De Misturas Asfálticas a Quente., (2015) 141.
- [78] M.L.P. Antunes, G.R.B. Navarro, Caracterização da Lama Vermelha Brasileira (Resíduo do Refino da Bauxita) e Avaliação de suas Propriedades para Futuras Aplicações, 3rd Int. Work. Advnances Clean. Prod. (2011) 10. http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/6B/4/Antunes_MLP - Paper - 6B4.pdf.
- [79] International Aluminium Institute, Primary Aluminium Production, (2022). <https://international-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/>.
- [80] Redmud, Red mud project, (n.d.). <https://redmud.org/red-mud/characteristics/>.
- [81] D. Strode, R. Bendere, I. Vircava, J. Kaminiskis, Koksnes sadedzināšanas pelnu kā otrreizēji izmantojamu materiālu gala statusa noteikšana Ekspertu novērtējums, 2019. <https://www.varam.gov.lv/lv/media/6019/download>.
- [82] Eurobitume, The Eurobitume Life-Cycle Inventory for Bitumen, (2019). www.eurobitume.eu.
- [83] J. Chehovits, L. Galehouse, Energy usage and greenhouse gas emissions of pavement preservation processes for asphalt concrete pavements, *First Int. Conf. Pavement Preserv.* (2010) 27–42. https://doi.org/http://www.techtransfer.berkeley.edu/icpp/papers/65_2010.pdf.
- [84] Q. Jiang, F. Wang, Q. Liu, J. Xie, S. Wu, Energy consumption and environment performance analysis, *Materials(Basel)*. 1244 (2021) 14051244.
- [85] V. Nijhawan, Linear Low Density Polyethylene., *Chem. Age India*. 38 (1987) 135–138. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-5502-2_6.
- [86] VWN - Vereniging Wapeningsstaal Nederland, Environmental Product Declaration Wapeningsstaal, 2021. www.mrpi.nl.
- [87] H. Zhu, H. Cai, J. Yan, Y. Lu, ife Cycle Assessment of Different Types of Asphalt Rubber Pavement in China, in: *Nternational Symp. Pavement LCA*, 2014.

- [88] A. Corti, L. Lombardi, End life tyres: Alternative final disposal processes compared by LCA, *Energy*. 29 (2004) 2089–2108. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.03.014>.
- [89] European Committee For Standardization, EN 16258, Methodol. Calc. Declar. Energy Consum. GHG Emiss. Transp. Serv. (Freight Passengers). (2013).
- [90] A. Riekstins, V. Haritonovs, V. Abolins, V. Straupe, J. Tihonovs, Life cycle cost analysis of BBTM and traditional asphalt concretes in Latvia, *Eng. Rural Dev.* 18 (2019) 1065–1072. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N400>.



Artūrs Riekstiņš dzimis 1992. gadā Cēsīs. Rīgas Tehniskajā universitātē (RTU) ieguvis profesionālo bakalaura grādu transportbūvēs un inženiera kvalifikāciju (2016) un profesionālo maģistra grādu transportbūvēs (2017). Kopš 2014. gada strādā VSIA "Latvijas Valsts ceļi", kopš 2017. gada – RTU, ieņemot zinātniskā asistenta amatu. Zinātniskās intereses saistītas ar ilgtspējīgu un inovatīvu ceļu būvniecību un uzturēšanu.