



Kaasrahastanud
Euroopa Liit



Eesti
tuleviku heaks

INNO
FOND

TAL
TECH

LIGNIINIGA ASFALTSEGUDE RETSEPTID

Eesti tingimustesse optimaalse ligniini sisaldusega asfaldi
retsepti rakendusüring

02.10.2024

Tellija – Riigikantselei

Aruande koostajad

- Karli Kontson
- Kristjan Lill

SISUKORD

Sissejuhatus	3
Arvutusstsenaariumi kirjeldus	4
Moodul A1 - lähtematerjalid	4
Moodul A2 – transport.....	5
Moodul A3 – tehase töö	6
Esitatavad retseptid ja nende süsinikjalajälg	8
SMA 12	10
AC 16 surf	11
AC 8 surf	12
AC 16 base	13
Kokkuvõte.....	14
Kasutatud kirjandus	15

SISSEJUHATUS

Ühe tonni asfaltsegu tootmine emiteerib keskkonda ca 50 kg CO₂-ekvivalendi võrra kasvuhoonegaase [1]. Üks suurimaid tegureid, mis asfaltsegude keskkonnajalajälje suurusesse panustab, on nafta rafineerimise tulemusena saadav bituumen, mida kasutatakse asfaltsegu täitematerjale koos hoidva sideainena. Ameerika Ühendriikides tegutsevaid asfalditootjaid ja teedehitusettevõtteid ühendav erialaliit NAPA (National Asphalt Pavement Association) on välja toonud, et bituumen võib moodustada üle 90% lähtematerjalide emissioonidest ja üle 50% asfaltsegude emissioonidest tehase väravas. Bituumeni enda keskkonnajalajälje kujunemisel mängib suurt rolli nafta pumpamisega ja rafineerimisega kaasnev suur keskkonnamõju. Et bituumeni ja seeläbi ka asfaltsegude keskkonnajalajälge tevikuna vähendada, pööratakse maailmas aina enam tähelepanu biogeenset päritolu alternatiivsete sideainete uuringutele ja kasutusele võtmisele.

Käesolevas aruandega esitatakse kooskõlastamiseks neli erinevat tüüpi ja kasutuskohaga asfaltsegu retsepti, mille koostises on kasutatud ligniini. Ligniini sisalduse valikul on lähtutud tingimusest, et toodetava asfaltsegu süsinikjalajalg oleks tehase väravas süsinikneutraalne. Esitatud retseptide süsinikjalajälje arvutuste aluseks on 15.08.2024 esitatud aruanne „Asfaltsegude CO₂-jalajälje arvutusmetoodika“ ning selles kirjeldatud põhimõtted ja lähteandmed [2]. Esitatud retseptide aluseks on üle 30 laboratoorselt valmistatud ja katsetatud asfaltsegu tulemused.

Tegemist on Riigikantselei avaliku sektori innovatsioonifondi projektiga ja seda rahastatakse Euroopa Liidu ühtekuuluvuspoliitika 2021-2027 perioodi vahenditest. Projekti algataja ja koostööpartner on Viimsi Vallavalitsus.

ARVUTUSSTSENAARIUMI KIRJELDUS

Käesolevas aruandes käsitletud arvutused teostatakse tootmisetapi, ehk elutsükli moodulite A1 kuni A3 piirides. See tähendab elutsükli analüüsi **hällist väravani (cradle to gate)**.

MOODUL A1 - LÄHTEMATERJALID

Mooduli A1 alla kuulub lähtematerjalide tootmine ja lähtematerjalide koostisosade tootmine. Kaasatud on protsessid alates kaevandamisest kuni asfaltsegu lähtematerjalide valmimiseni.

Asfaltsegude lähtematerjalideks on täitematerjal (lubjakivi, tardkivi ja liiv), filler (jahvatatud lubjakivifiller) ja bituumen. Olenevalt asfaltsegust võib selles olla kasutatud ka ringlussevõetavat asfalti (RA) ja lisandeid. Käesoleva uuringu raames kasutatakse lisandina ligniini ja nakkeparandajat.

Tabel 1. Lähtematerjalide GWP tootjatehase väravas

Materjal	GWP tehase väravas, kg CO ₂ ekv	Allikas
Tardkivi killustik Liiv*	2,34	Kolme Skandinaavia karjääri keskmine
Lubjakivi killustik	2,6	LLC Naujasis Kalcitas EPD (https://www.environdec.com/library/epd12770)
Lubjakivi filler	72	LLC Naujasis Kalcitas EPD (https://www.environdec.com/library/epd12771)
Bituumen	163	Eurobitume raport 2021 (https://eurobitume.eu/wp-
Ligniin	-1968	Fibenol OÜ EPD (https://www.environdec.com/library/epd9726)
Nakkeparandaja	-96	Nouryon Wetfix BE Eco-footprint 2020
Ringlussevõetav asfalt	1,8	Tariston AS andmed

Märkus: *- Retseptis liiva kasutamise korral on selle GWP võrdsustatud tardkivi killustiku GWP-ga.

MOODUL A2 – TRANSPORT

Moodul A2 sisaldab endas kõikide lähtematerjalide transporti asfalditehasesse. Kõik arvutused sooritatakse AS Tariston Harkus, Tammi teel asuva asfalditehase põhjal. Käesoleva uuringu raames kasutatakse lähtematerjalide transpordiks nii veoauto- ja laevatransporti. Arvutustes kasutatud transpordi emissioonid ühe tonn-kilomeetri kohta on kirjeldatud tabelis 2.

Tabel 2. Transpordi GWP

Transpordiliik	GWP per 1 tonn-km, kg CO ₂ ekv	Allikas
Laevatransport	0,007	Ecoinvent v 3.10 („transport freight, sea, bulk carrier dry goods“ Global)
Veoauto (EURO6)	0,191	Ecoinvent v 3.10 („transport freight, lorry 16-32 metric ton“ Europe)

Arvutustes on eeldatud, et tardkivikillustik tuleb Soomes asuvast Inkoo karjäärist, mis eeldab 90 km laevatransporti Inkoost Bekkeri sadamasse Tallinnas. Bekkeri sadamast Harku asfalditehaseni on transpordi vahemaaks veoautoga 20 km. Liiva kasutamise korral on selle transpordi jalajälg võrdsustatud tardkivikillustiku transpordi jalajäljega.

Lubjakivikillustik pärineb asfalditehase vahetus läheduses asuvast Harku karjäärist, mis teeb veoauto transpordiks 7 km.

Uuringusse kaasatud asfalditehasele lähim lubjakivifilleri tootja on KMG OÜ tootmisbaas Tallinnas Betooni tänaval. Seega veetakse filler kohale 25 km kauguselt veoautoga.

Sideaine puhul on eeldatud, et kasutatakse bituumenit, mis tarnitakse Eestisse Muuga sadamasse laevaga Nynas AB Nynashamni rafineerimistehasest veomaaga 437 km. Muuga sadamast transporditakse see edasi asfalditehasesse veoautoga. Veomaaks on 50 km.

Ligniiniina kasutatakse Fibenol OÜ Lignova Crude ligniini, mis tarnitakse asfalditehasesse Imaverest veoautoga. Veokaugus on 123 km.

Ringlussevõetav asfalt valmistatakse Taristoni asfalditehase territooriumil ja seal täiendavat transporti ei ole.

Nakkeparandajana kasutatakse Nouryoni poolt toodetud Wetfif BE-d, mis pärineb Bohus'ist Rootsis. See tähendab veomaad kokku veoautoga 579 km ja laevaga 324 km.

MOODUL A3 – TEHASE TÖÖ

Moodul A3 sisaldab asfaldi valmistamisprotsessi asfalditehases ja ka tekkinud jäätmete töötlemist. Käesoleva uurimistöö raames on eeldatud, et asfaldi tootmise protsessis ei teki jääke. Isegi kui jääke (praakpartiid) tekib, siis nende kogused võrreldes korrektse toodanguga on kaduvväikesed ning neid saab taaskasutada uue asfaltsegu koostises ringlussevõetava asfaldina.

Arvutused on teostatud eeldusel, et asfaltsegu toodetakse tavalise maagaasiga ning täiendavalt kasutatakse ka soojade asfaltsegude tootmise tehnoloogiat (WMA), mis võimaldab maagaasi kulu vähendada -15 kuni -25% võrra [3], [4]. Käesolevates arvutusstsenaariumites on arvestatud, et WMA tehnoloogiaga saavutatakse 17% kütusekulu vähenemine võrreldes tavalise keskmise kütusekuluga. Arvutuste sisendina kasutatud väärtused on kirjeldatud tabelis 3.

Tabel 3. Taristoni asfalditehase energiakulud

Kulukoht	Energiakandja	Ühik	Kulu ühe asfaltsegu tonni kohta (keskmise)	Allikas
Täitematerjali kuivatamine ja kuumutamine (tavaline)	Maagaas	m ³	7,1	[3], [4]
Täitematerjali kuivatamine ja kuumutamine (WMA)	Maagaas	m ³	6,0*	
Tehase käitamine ja bituumeni mahutid	Elekter	kWh	4,00	Hinnanguline keskmine kulu
Laaduri töö	Diisel	l	0,2	Hinnanguline keskmine kulu

Märkus: *- Maagaasi kulu 6,0 m³ põhineb eeldusel, et WMA tehnoloogiaga saavutatakse 15% sääst võrreldes tavalise tootmistehnoloogia keskmise kuluga (7,1 m³/t).

Erinevate energiakandjate GWP-d on koondatud Tabel 4. **Asfaltsegude tootmises on arvestatud, et tehase käitamiseks kasutatakse tavalist maagaasi ja tavalist elektrit, mitte roheelektrit.**

Tabel 4. Energiakandjate GWP

Energiakandja	Ühik	GWP per 1 ühik	Allikas
Maagaas	m ³	1,8809	KHG inventuuri aruanne 2022
Diisel	l	2,6239	KHG inventuuri aruanne 2022
Elekter	kWh	0,715	KHG inventuuri aruanne 2022

ESITATAVAD RETSEPTID JA NENDE SÜSINIKJALAJÄLG

Arvutused on teostatud neljale erinevat tüüpi asfaltsegule:

- SMA 12
- AC 16 surf
- AC 8 surf
- AC 16 base.

Asfaltsegude retseptid on esitatud standardi EVS 901-3:2021 [5]retseptinäidise põhjal ning on lisatud aruandele (Lisad 1 kuni 4). Kõikide segutüüpide tootmisel on arvestatud, et kasutatakse soojade asfaltsegude (WMA) tehnoloogiat. AC 16 base asfaltsegus on täiendavalt arvestatud ringlussevõetava asfaldi kasutamise. Retseptide lähtematerjalide osakaalud on esitatud tabelis 5. Retseptide alusel koostatud asfaltsegude jäävpoorsuste ja veepüsivuste tulemused on esitatud tabelis 6. SMA 12 segu jäävpoorsuse määramiseks valmistati proovikehad EVS-EN 12697-31 järgi tihendusenergiaga 120 pööret ning veepüsivuse määramiseks tihendusenergiaga 50 pööret. AC surf ja AC base segude jäävpoorsuste määramiseks valmistati proovikehad EVS-EN 12697-30 järgi tihendusenergiaga 2x50 lööki ning veepüsivuse määramiseks tihendusenergiaga 2x35 lööki.

Tabel 5. Täitematerjalide osakaalud retseptides

Materjal	Osakaal asfaltsegus, massi-%			
	SMA 12	AC 16 surf	AC 8 surf	AC 16 base
Inkoo 0/4	20	36	54	
Inkoo 2/6	7	20		
Inkoo 4/8			34	
Inkoo 6/12	65	20		
Inkoo 10/20		20		
Harku 0/4				12
Harku 4/16				45
Harku 8/16				23
Freespuru RA 12				20
Liivalaia liiv			10	
Lubjakivifiller	8	4	2	

Tabel 6. Laboratoorselt valmistatud segude jäävpoorsuse ja veepüsivuse tulemused

Segu	Jäävpoorsus	Veepüsivus
SMA 12	3,3% <i>Nõue 1,5-5,0%</i>	98% <i>Nõue ≥ 90%</i>
AC 16 surf	3,6% <i>Nõue 1,5-5,0%</i>	99% <i>Nõue ≥ 90%</i>
AC 8 surf	4,9% <i>Nõue 1,0-5,0%</i>	107% <i>Nõue ≥ 90%</i>
AC 16 base	6,3% <i>Nõue 4,0-10,0%</i>	64% <i>Nõue ≥ 60%</i>

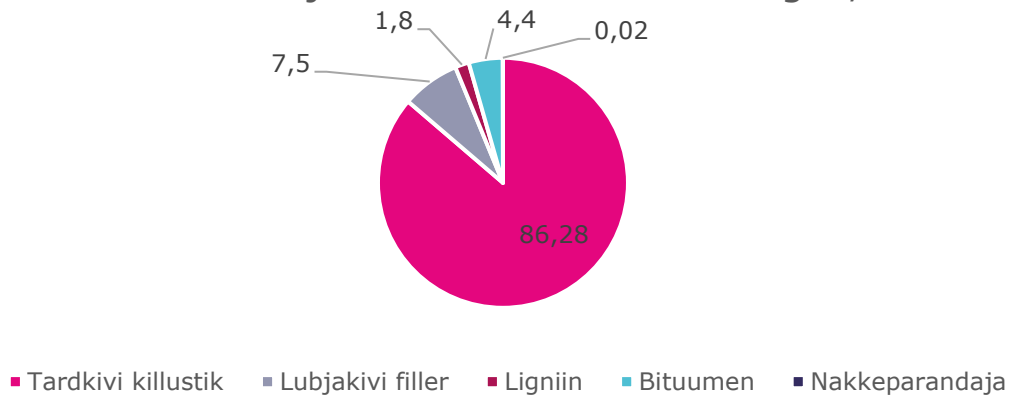
Eestis peavad avalikult kasutatavate teede asfaltsegud vastama standardile EVS 901-3:2021 [5]. Standardis kehtib nõue, et AC 8 surf tüüpi asfaltsegu poorsus peab jääma vahemikku 1,0 kuni 5,0%. AC 16 surf ja SMA 12 tüüpi segu poorsus peab jääma vahemikku 1,5 kuni 5,0%. Kandevkihi asfaltsegu AC 16 base poorsuse lubatav vahemik on 4 kuni 10%. **Tabelis 6 viidatud tulemused kinnitavad, et projekteeritud segud jäävad poorsusega nõutud vahemikesse.**

Standardis EVS 901-3:2021 on kehtestatud ka minimaalsed veepüsivuse tulemused, mis määratakse vastavalt standardile EVS 12697-12. AC surf ja SMA tüüpi asfaltsegude veepüsivuse miinimumpiiriks on 90% ning AC base tüüpi asfaltsegude miinimumpiiriks on 60%. **Tabelis 6 viidatud tulemused kinnitavad, et projekteeritud segude veepüsivused on tagatud.**

SMA 12

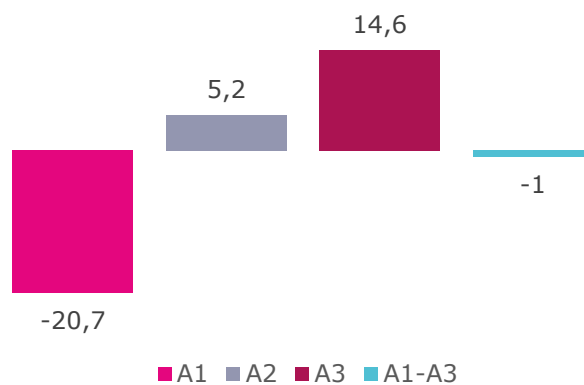
Kulumiskihi asfaltsegu SMA 12 70/100 lähtematerjalide osakaalud massiprotsentides on kirjeldatud joonisel 1 ning asfaltsegu CO₂-jalajälg tehase väravas on esitatud joonisel 2.

Lähtematerjalide sisaldus SMA 12 segus, %



Joonis 1. SMA 12 70/100 asfaltsegu koostisosad ning nende osakaalud massiprotsentides

SMA 12 GWP, kg CO₂ eq

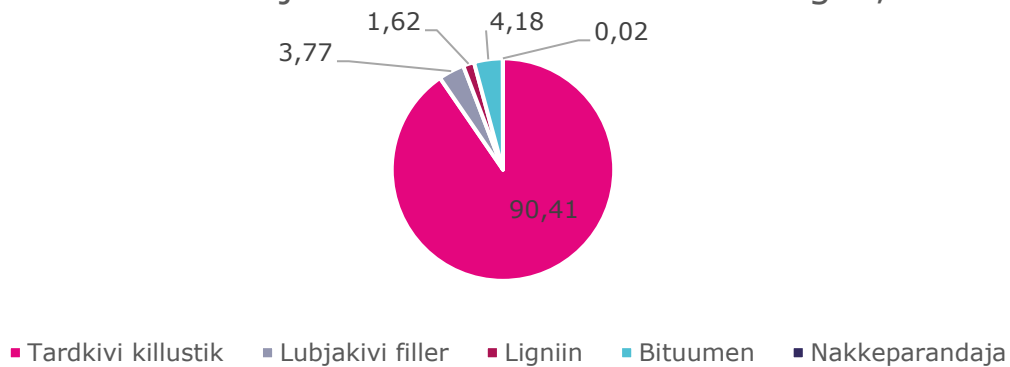


Joonis 2. SMA 12 70/100 asfaltsegu CO₂-jalajälg tehase väravas (A1-A3)

AC 16 SURF

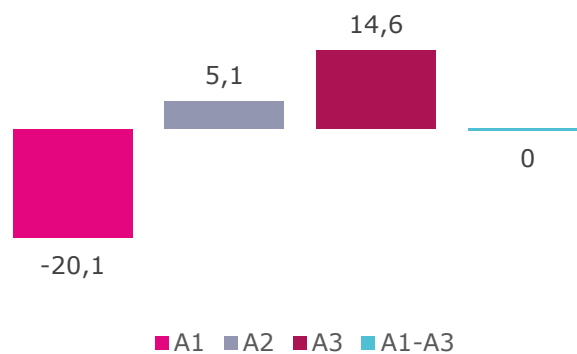
Kulumiskihi asfaltsegu AC 16 surf 70/100 lähtematerjalide osakaalud massiprotsentides on kirjeldatud joonisel 3 ning asfaltsegu CO₂-jalajälg tehase väravas on esitatud joonisel 4.

Lähtematerjalide sisaldus AC 16 surf segus, %



Joonis 3. AC 16 surf 70/100 asfaltsegu lähtematerjalid ja nende osakaalud massiprotsentides

AC 16 surf GWP, kg CO₂ eq

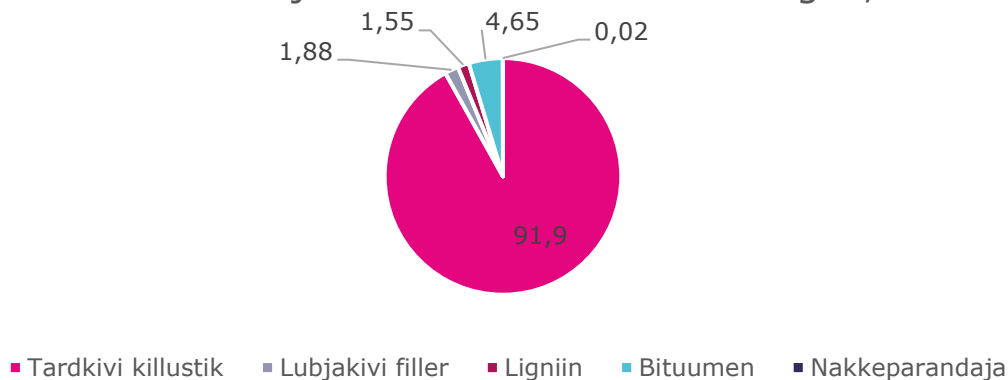


Joonis 4. AC 16 surf 70/100 asfaltsegu CO₂-jalajälg tehase väravas (A1-A3)

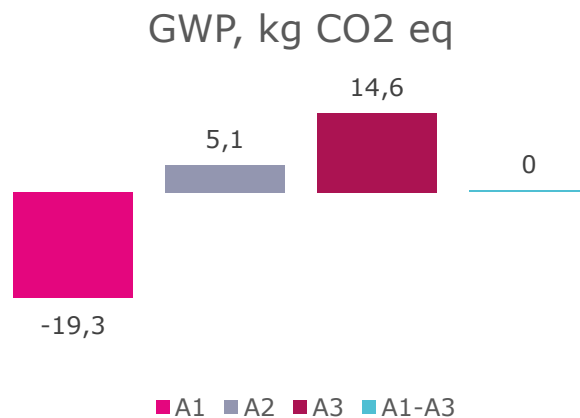
AC 8 SURF

Kulumiskihi asfaltsegu AC 8 surf 70/100 lähtematerjalide osakaalud massiprotsentides on kirjeldatud joonisel 5 ning asfaltsegu CO₂-jalajälg tehase väravas on esitatud joonisel 6.

Lähtematerjalide sisaldus AC 8 surf segus, %



Joonis 5. AC 8 surf 70/100 asfaltsegu lähtematerjalid ja nende osakaalud massiprotsentides

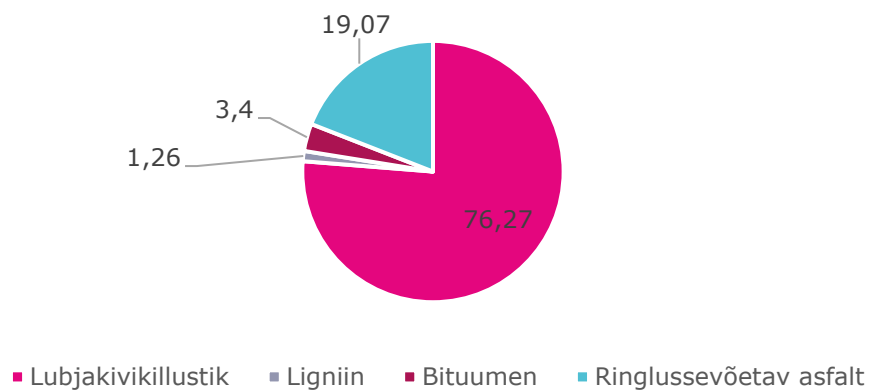


Joonis 6. AC 8 surf 70/100 asfaltsegu CO₂-jalajälg tehase väravas (A1-A3)

AC 16 BASE

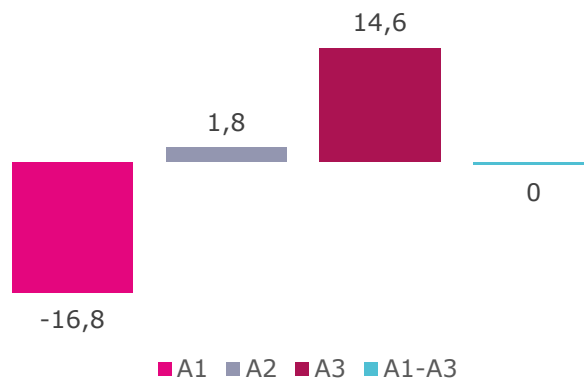
Kandevkihi asfaltsegu AC 16 base 70/100 lähtematerjalide osakaalud massiprotsentides on kirjeldatud joonisel 7 ning asfaltsegu CO₂-jalajälg tehase väravas on esitatud joonisel 8.

Lähtematerjalide sisaldus AC 16 base segus, %



Joonis 7. AC 16 base 70/100 asfaltsegu lähtematerjalid ja nende osakaalud massiprotsentides

GWP, kg CO₂ eq



Joonis 8. AC 16 base 70/100 asfaltsegu CO₂-jalajälg tehase väravas (A1-A3)

KOKKUVÕTE

Käesolevas aruandes on esitatud nelja erinevat tüüpi asfaltsegu CO₂-jalajälje arvutused EN ISO 15804 moodulitega A1 kuni A3 ehk hällist väravani (*cradle to gate*). Kõikide käsitletud retseptide korral on saavutatud süsinikneutraalsus, mis on uuringu üks peamisi eesmärke. Esitatud retseptide alusel valmistatud laboratoorsed asfaltsegud on näidanud, et nende jäävpoorsused ja veepüsivused täidavad nõuded, mis on kirjeldatud Eesti rahvuslikus standardis EVS 901-3:2021.

Laboratoorsetest tulemustest nähtub üldine korrelatsioon, et ligniini sisalduse kasvades vähenevad asfaltsegude lõhestustõmbetugevuse näitajad. See viitab segude väiksemale nidususele (kohesioonile), mis võib soodustada pragude teket.

Esitatud retseptide alusel hakatakse planeerima ja teostama katsetootmist Tariston AS-i Harku asfalditehases. Katsetootmisest saadud informatsiooni ja tulemuste põhjal korrigeeritakse vajadusel retsepte.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] R. Toom, "ÜLEVAADE CO₂ EMISSIOONIDEST ASFALTSEGUDE TOOTMISEL EESTIS NING MEETODID EMISSIOONIDE VÄHENDAMISEKS SOOJA ASFALTSEGU TEHNOLOOGIATEGA," Tallinn University of Technology, Tallinn, 2022.
- [2] K. Lill and K. Kontson, "Eesti tingimustesse optimaalse ligniini sisaldusega asfaldi retsepti rakendusuuring. Asfaltsegude CO₂-jalajälje arvutusmeetodika," 2024.
- [3] K. Kontson and K. Lill, "Soojade asfaltsegude tootmine tehases keemilisel meetodil," 2023.
- [4] M. Truu, H. Prank, K. Lill, M. Mänd, and K. Lobrev, "Soojade asfaltbetoonsegu tootmine tehases vahustamismeetodil – piloteerimine Transpordiameti objektil," 2023.
- [5] EVS 901-3:2021 Tee-ehitus. Osa 3: Asfaltsegud. 2021.