



TALLINNA
TEHNIKA KÕRGKOO

Antti Kemp

TEEDE MASSVEDUDE MÕJUANALÜÜS

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2024

Antti Kemp

TEEDE MASSVEDUDE MÕJUANALÜÜS

LÕPUTÖÖ

Ehitusinstituut

Teedehitus

Juhendaja: Ain Kendra

Tallinn 2024

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina/meie, **Antti Kemp**

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Teede massvedude mõjuanalüüs

- 1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;
- 2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

Autorideklaratsioon

Mina/meie, **Antti Kemp**

tõendan/tõendame, et lõputöö on minu/meie kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja **Ain Kendra**

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

(kuupäevad digiallkirjades)

SISUKORD

SISSEJUHATUS	7
1 RAIL BALTIC RAUDTEE	8
1.1 Ajalugu	8
1.2 RB raudtee üldine kirjeldus	8
2 KEHTIVAD NORMATIIVDOKUMENDID JA NÕUDED	10
2.1 Määrused ja juhendid	10
2.2 Tee konstruktsioon	10
2.3 Katend	11
2.4 Koormussagedus	11
2.5 Liiklussagedus	12
2.6 Siirdetegurid	12
2.7 Maantee klassid	13
2.8 Katendite arvutusmetoodikad	14
2.8.1 Katendi Arvutuse Programm KAP	15
2.8.2 Katendi Rehkendamise Programm KRP	15
2.9 Projekteerimisprotsess	16
2.10 Massvedu	16
3 ÜLEVAADE OBJEKTIST	18
3.1 Materjali mahud	19
3.1.1 Materjali mahud karjäärade lõikes	19
3.1.2 Ehituseks mittesobiv materjal	20
3.1.3 Materjali taandamine veokikoormateks sealhulgas mittesobiv materjal	21
3.2 Karjäärid ning veoteed	22
3.2.1 Reinu karjäär	23
3.2.2 Sutlema karjäär	24
3.2.3 Purila karjäär	25
3.2.4 Harjuma poolt tuleva materjali tarneteed	26
3.3 Lisanduvad koormused	27
3.4 Teede ressurss	28
3.4.1 Tee ressurss ja selle vähenemine protsentides RB ehituse toimetel	28
3.4.2 Teede eluiga ja selle vähenemine aastates RB ehituse toimetel	30
4 MASSVEDUDEGA KULUTATAVA RESSURSI MAKSUMUS	32
4.1 Tee nr 15 kulutatava ressursi maksumus	32
4.2 Kogu RB ehituse hüpoteetiline rahaline mõju teedele	37
KOKKUVÕTE	39
SUMMARY	40

VIIDATUD ALLIKAD.....	42
-----------------------	----

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

RB	– Rail Baltic raudtee
RBE	- Rail Baltic Estonia – RB Eesti rakendusüksus
AKÖL	– Aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus
KAP	– Katendi Arvutamise Programm (Transpordiamet)
KRP	– Katendi Rehkendamise Programm (T-Konsult)
SAPA	– Sõiduauto-Pakiauto
VAAB	– Veoauto-Autobuss
AR	– Autorong
Klim	– Kliimaministeerium
MKM	– Majandus- ja kommunikatsiooni ministeerium
TrAm	- Transpordiamet
TTÜ	– Tallinna Tehnikaülikool
Ktt	- Tugevustegur
CEF	- Euroopa ühendamise rahastu
Confalt, Densifalt	- Mördisegu poolelastseks katendiks
Gneiss	- Gneisilise tekstuuriga kõrge astme moondekivim
Evajalik	- katendi vajalik elastsusmoodul (enne varuteguri Ktt rakendamist)
CBA	- Cost-Benefit-Analyze - Rail Balticu tasuvusarvutus
RBE	- Rail Baltic Estonia
RES	- Riigieelarve Strateegia
THK	- Teehoiukava
D<63mm	- Teramõõd kuni 63 mm
Tm_150	- Täitematerjal (kruus), materjali elastsusmoodul 150 Mpa
Tm_105	- Täitematerjal (mõõdukalt ühtlase teraline keskliiv), materjali elastsusmoodul 105 Mpa
Tm_90	- Täitematerjal (mõõdukalt ühtlaseteraline peenliiv), materjali elastsusmoodul 90 Mpa
Tm_65	- Täitematerjal (jäme kerge saviliiv), materjali elastsusmoodul 65 Mpa
Pos 1	- Purukruus 0/31,5 mm, peenisosiste (0,063 mm) sisaldus 0-5%
Pos 5	- Purukruus 0/16 mm, peenisosiste (0,063 mm) sisaldus 8-15%
Pos 6	- Purukruus 0/31,5 mm, peenisosiste (0,063 mm) sisaldus 8-15%

SISSEJUHATUS

Rail Balticu näol on tegemist lähiajaloo kõige mastaapseima taristuehitusprojektiga Balti regioonis, mis peaks valmima 2030. aasta lõpuks. Projekti elluviimist rahastavad Balti riigid (Eesti, Läti, Leedu) ning Euroopa Liit kes kaasrahastab kuni 85% ulatuses kõigist abikõlblikest kuludest Euroopa ühendamise rahastu (CEF) fondidest [1]. Projekti Eesti osa maksumuseks hinnatakse tänasel päeval 3 miljardit eurot, mis on üle kahe korra kallim algsest hinnast, milleks oli 1,35 miljardit eurot [2].

Kuid antud projekti puhul on lisaks teistele aspektidele oluline asjaolu, et eelnenud hinnangute kuluosas ei kajastu massvedude mõju olemasolevatele teedele mida kasutatakse suurehituse materjalide veoks. Arvestades hetkeolukorda teedehituse poliitikas, kus teehoiu rahastust pidevalt vähendatakse, on oluline välja selgitada RB seotud massvedude mõju olemasolevatele teedele, mis on seni projekteeritud ja ehitatud hoopis väiksemaid koormusi silmas pidades. See on ka käesoleva lõputöö eesmärk— hinnata, kui suur võib olla ehitusaegne mõju riigiteedele ja tuua välja investeeringu maksumus, mida ei ole arvestatud Rail Balticu projektis tasuvusuuringu (CBA) kulude poolel. Käesoleva lõputöö raames käsitlen Rail Balticu Raplamaa põhitrassi raudteetaristu I etapi (lõigus Harju-Raplamaa maakonna piirist kuni Loone teeni Rapla maakonnas), materjali vajadusest tulenevate massvedude mõju ümbruskonna teedele. Siit tulenevalt saame hinnata avalike teede ressursi kahanemise maksumust mis tuleneb Rail Balticu ehituse materjalivedudest.

Käesoleva töö raames välja arvutatud maksumused on hüpoteetilised ja ligikaudsed, kuid annavad võimaluse aru saada ja hinnata massvedude mõju RB ehitamiseks kasutatavate veoteedele.

1 RAIL BALTIC RAUDTEE

1.1 Ajalugu

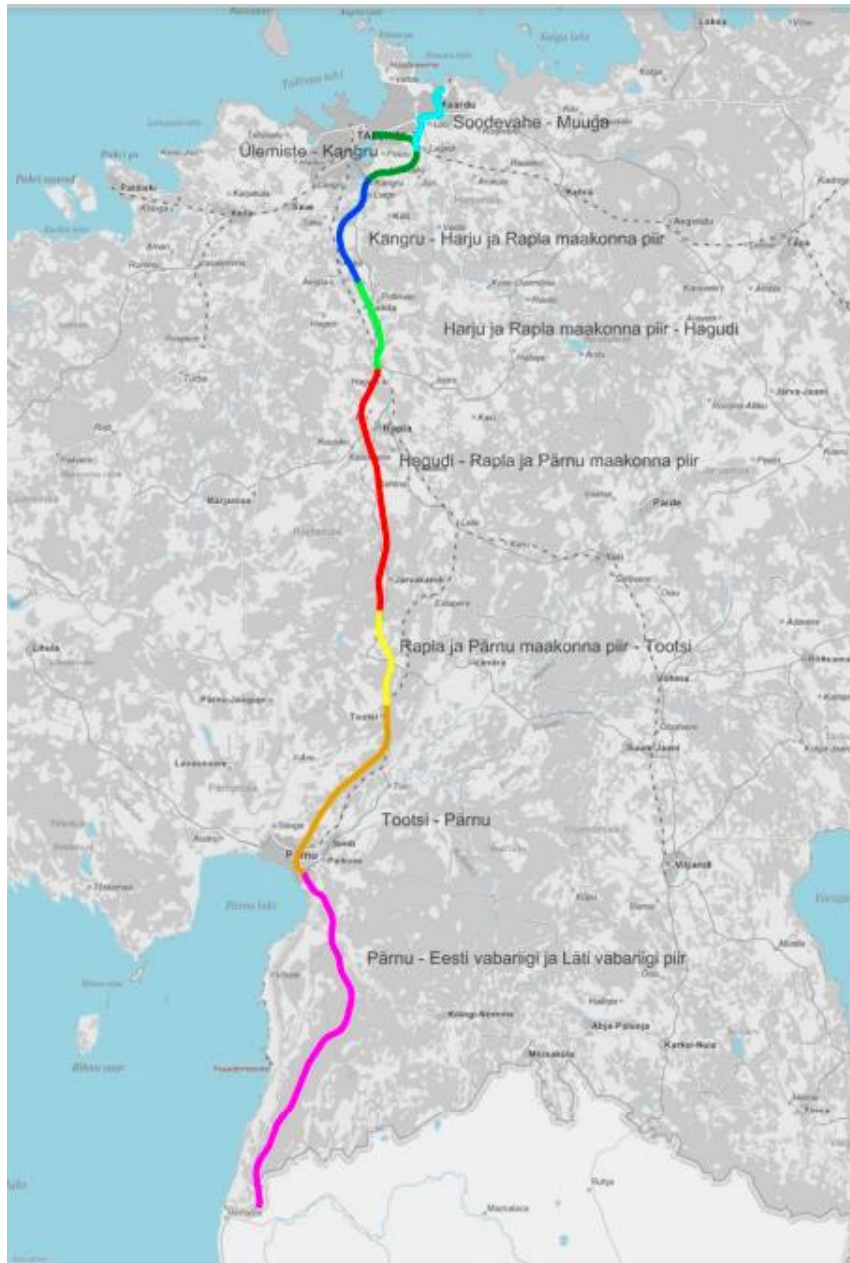
Balti riike omavahel ning Euroopat laiemalt siduva raudtee ajalugu ulatub aastasse 1994, mil koostatud visioonidokument „Vision and strategies around the Baltic Sea 2010“ nägi ette vajadust Eesti, Läti ning Leedu ühendada tugevamalt ülejäänud Euroopaga [3]. 1995. aastal nentis Eesti Vabariigi valitsuse nõudel koostatud visioonidokument „Üleriigiline planeering EESTI 2010“ [4] muuhulgas seda, et reisijateveos on otsustava tähtsusega küsimuseks kiirraudteede rajamine. Eeldades, et soovime Euroopa Liidu abi transpordi ning infrastruktuuri arendamisel, peame hakkama arvestama Euroopa Liidu säästvusele orienteeritud transpordipoliitiliste põhimõtetega, milleks on raudteetranspordi eelistamine autovedudele ning reisijate veol rongide ning busside eelistamine sõiduautodele [3]. Seega nägi Eesti tulevikuvision juba 20 aastat tagasi ette vajadust meid taasühendada ülejäänud Euroopaga. 2004. aastal sai Eesti Euroopa Liidu liikmeks ning ühtlasi sõnastati raudteetranspordi mõjutavad otsused Euroopa tasandil. Sellest ajast pärit Euroopa Komisjoni otsuses seisab, et Eesti, Läti ning Leedu laiarööpmeline raudtee tuleb integreerida järk—järgult mujal Euroopas leviva kitsama rööpmelaiusega [3].

Eelnimetatud visioonidokument „EESTI 2010“ [4] nägi ette Rail Balticu (edaspidi RB) etapiviisilise ehituse, RB-1 mõistes läbi Tartu Riiani kiirusel 160 km/h ja pärast selle valmimist, RB-2 uuel trassil läbi Pärnu. Otsustusprotsessis on RB-1 ehitusest loobutud, kuigi eelnevalt jõuti käivitada Tartu—Valga trassi uuendamine (kiirusele 120 km/h). Praegu tegeldakse Tallinn—Tartu elektrifitseerimise ja kiiruse tõstmisega tasemeni 160 km/h. Tartu—Riia (võimalusega laiendada seda nii Tallinna kui Vilniuse suunal) reisijatevedu peaks käivituma veel 2024 lõpuks (kuigi, võimalik, et ühekordse üritusena). Kaubavedu Euroopast Eestisse „vene laiusel“ toimib, mille tõenduseks võib tuua militaartechnika transpordi Tapa kompleksi ja Euroopa vahel. Tavapärane kaubavedu raudteel aga hingitseb, põhjuseks on kindlasti ka maksumus, tänaste tariifidega kujuneb autovedu soodsamaks. Tõenäoliselt jääb soodsamaks ka meretransport, isegi pärast väävlisisaldusega kütuste keelamist/piiramist ja RB raudtee käikuandmist.

1.2 RB raudtee üldine kirjeldus

Rail Balticu näol on tegemist Balti riike ning Poolat ühendava kiire standardrööpmelise elektrifitseeritud raudteega (rööpmelaius 1435 mm), mille eesmärgiks on Balti riigid ühendada üle-euroopalisel ühtsesse raudteevõrku (TEN-T EL sisesesse transpordivõrgustikku, millele on lisatud Musta mere—Egeuse mere koridor). Mõningal määral hõlmab projekt ka Soomet, luues eeldused Tallinna ja Helsingi vahelise merealuse

raudteetunneli rajamiseks. Projekti telg kulgeb Tallinn—Pärnu—Riia—Panevezys—Kaunas—Vilnius—Varssavi liinil ning valmimine on planeeritud aastasse 2030. Trassi pikkuseks on 870 km ning maksimaalseks kavandatud kiiruseks on 249 km/h. Raudtee trassi pikkuseks Eesti territooriumil on 213 km. Alloleval joonisel (Joonis 1) on Eestit läbiva RB Eestit läbiva raudteetrassi koridor lõikude kaupa. [5]



Joonis 1. Eestit läbiv Rail Baltic raudteetrass erinevate lõikude kaupa [5]

RB juht Anvar Salomets on tunnistanud, et 2030 aastaks täislaiuses projekt ei realiseeru, püütakse ühe roopapaariga ühendus käivitada täislaiuses muldkehal. Teise roopapaari lisamine on kavas vastavalt vajadusele. Kohalike raudteejaamade ehitust ei viida ka 2030-ndaks tõenäoliselt lõpule [2]. Et ka tänane raudtee ei ole tasuv (iga—aastane dotatsioon), siis doteerimise vajadus säilib ilmselt ka uuel raudteel.

2 KEHTIVAD NORMATIIVDOKUMENDID JA NÕUDED

2.1 Määrused ja juhendid

Teede projekteerimisel on juhitud erinevatest määrustest ja juhenditest. 1999 kehtestati määrusega nr 55 „Tee projekteerimise normid ja nõuded“ [6], mis fikseeris püsikatendite (asfalt ja betoon) minimaalseks kasutusajaks 15 aastat. Selle alusel jõustati 2001 „Elastsete teekatendite projekteerimisjuhend“ (MA 2001-52) [7]. Hilisemad määrused (MKM määrus 106 aastast 2015 [8] ja Kliimaministeeriumi määrus nr 71 aastast 2023 [9]) ei ole kasutusea määratlust muutnud. Maanteeameti peadirektor muutis 2013 oma käskkirjaga juhendit 2001-52 nii, et alates 01.05.2013 alustatud projekteerimistöodel eeldatakse püsikatendi tööeks 20 aastat [10].

2.2 Tee konstruktsioon

Teekonstruktsioon koosneb kattest, alusest ja muldkehast. Üldjoontes võiks kehtida põhimõte, et alumine konstruktsioonielement töötab kaks korda kauem kui ülemine. Siit tulenevalt, kui eeldame, et katte tööiga (ehk tee ressurss) on 20 aastat mille järel kate asendatakse, siis alus võiks kesta 40 aastat ja vastavalt muldkeha 80 aastat. See järeldus on siiski veidi ennatlik, sest projekteerimismõõtmis (määrus 71) on §6 toodud tee kasutusiga alljärgnevalt [9]:

- asfaltbetoonist püsikatend—15 aastat;
- muldkeha—50 aastat.

Transpordiameti juhised näevad ette püsikatendi tööeks 20 aastat (elastsete katendite juhend [10]), muldkeha ja drenikihi tööeks 50 aastat ja aluspinnase tugevdamise tehniliseks tööeks 100 aastat (muldkeha juhend) [11].

Tegemist on juhistes määratletud minimaalsete arvestuslike tööigadega, mis tulenevad ka senisest praktikast. Katendi koosseisus on kate ja alus. Kuniks alused on ehitatud valdavalt paekillustikust ja kattekihid on õhukesed, on reaalne praktika tihti asfaldikihtide amortiseerumise järel sundinud välja vahetama ka killustikalused.

Asfaldikihtide paksus riigiteede enamkoormatud teelõikudel on väiksem, kui kehtivas juhendis minimaalsena nõutud – teedest, mille kohta teeregistris on asfaldikihtide paksuse andmed, vastab see tänastele koormustele 58,6% osas, kui arvestada stabiliseeritud kihtide paksus 50% osas asfaldi paksuse nõude täitmisena, 79,4%. Seega vähemalt 20% asfaltkattega riigiteedest on kate õhem kui nõutud miinimum. [12]

Lähiaastatel on eeldada teedehituses suuremas koguses gneissi kasutust (Paldiski Energiasalv, ehitus algab 2025 ja teedehitusmaterjali tarnitakse plaanikohaselt alates

2027. aastast mahus, mis ületab kordades teedehhituse vajadused), mis peaks asendama paekillustiku ning see võimaldab reaalselt tagada kogu katendi oluliselt pikema tööea ja deklareeritud väärtused jääksid kehtima just kattele. Hetkel viiakse Tallinna Tehnikaülikoolis Energiasalve tellimusel läbi uuringuid, mis peaksid andma vastused paljudele tehnilistele ja majanduslikele küsimustele.

2.3 Katend

Katend on mitmekihiline konstruktsioon, mis koosneb kattest, alusest ja drenkihist, katendi rolliks on vastu võtta transpordivahendite koormus ning jaotada see pinnasele. Katendeid liigitatakse elastseteks (asfaltbetoon), jäikadeks (tsementbetoon) ning pooljäikadeks. [10] Aastal 2023 muutunud projekteerimismäärus (määrus 71) [9] muudab katte koosseisu — otseselt drenkihi rolli täidab killustikalus — kui konstruktsioonis vajatakse liivakihti, siis seda, kas vaid projektkõrguse saavutamiseks või külmakaitsekihi rollis, mitte drenkihina. Drenkihti kui sellist on vaja vaid erijuhtumitel.

Katendid jaotatakse konstruktiivselt kolme liiki [13]:

1. elastne katend — katend, mille kihtide tõmbetugevus puudub või on väga väike ja mis arvutatakse peamiselt elastsetele deformatsioonidele ja nihkepingetele, seotud kihid ka tõmbepingetele. Elastsete katendite hulka kuuluvad kõik asfaltbetoonid aga ka kruus- ja killustikkatted (nii pinnatult kui pindamata);
2. jäik katend — betoon- või raudbetoonkatte või -alusega katend. Jäikade katete hulka tuleb lugeda monoliitset tsementbetoonist, monteeritavast raudbetoonist või asfaltbetoonist ülakihtidega kuid tsementbetoonist alusel olevaid katteid;
3. pooljäik katend — selle katendi puhul on ühendatud asfaltbetooni elastsus ja betooni jäikus. Kasutatakse väga suurte koormustega aladel nagu lennuväljad, veokite ning busside seismiskohad, ristmikualad, bussipeatused. Reeglina koosneb pooljäik kattekiht väga poorsest asfaltbetoonist, mille poorid on täidetud vedela tsemendiseguga (Confalt, Densifalt mördisegud).

2.4 Koormussagedus

Katendiarvutuse põhialuseks on koormussagedus, kus sõiduautode hulka ei arvestata. Koormussageduse määramiseks on vaja läbi viia vähemalt nädalane valitud teelõiku läbivate sõidukite automaatloendus, eristades raskesõidukid. Koormussagedust väljendatakse normtelgedes enamkoormatud sõidurajale. Konstruktsiooni lagunemise aluseks on raskeliikluse kogus, sõiduautod mõjutavad katendit vaid läbi naastrehvide katte kulutamise — see defekt likvideeritakse, kas kulumiskihi asendamise või katte

ülekatmisega. Pindamine, kui meede pikendab katendi eluiga vaid seeläbi, et täidab ülakihi kahjustatud poorid mõjutamata struktuurset puudujääki.

2.5 Liiklussagedus

Liiklussagedus on tee, sõidusuuna või —raja ristlõiget ajaühikul läbiv liiklejate arv autode füüsiline hulk, mis jagatakse vastavalt juhendile erinevateks liikideks, mida omakorda kasutatakse koormusarvutuses. Liiklussagedus on oluline sõiduradade arvu määramiseks (varem toimus see läbi tee klassi mõiste) ning koormussagedus teekonstruktsiooni arvutamiseks. [8]

2.6 Siirdetegurid

Projekteerimisel taandatakse prognoositud liiklus (erinevat liiki sõidukite arv) normtelgedeks siirdetegurite ja rajateguritega enamkoormatud sõidurajale. Määruses nr 55 on autorongide keskmine siirdetegur 1,5 ning seda on tõstetud 2014 tasemele 2,0. [6] Ehitusseadustiku kehtestamisega aastal 2015 ja Teeseaduse tühistamise järel aastal 2015 avaldatud määruses 106 „Tee projekteerimise normid“ jätkati autorongide keskmisega 2,0 [8]. Kaherealise sõidutee rajateguriks on reeglina 0,55 eeldusel, et möödasõidud on võimalikud, kuid reaalselt esineb täna ka teelõik, kus lisaks möödasõidu keelamisele kasutatakse keskpíiret. Sellises olukorras (Kirdalu—Tagadi keskpíirdega lõik) tuleks arvestada ka keskpíirde ja sõiduraja vahekaugust (0,35 m), mille tõttu tuleks näiteks Soome teekonstrueerimise põhimõtteid ja juhendit 2018/038 järgides, koormus korrutada kahega. [14] Aastal 2015 on Maanteeameti tellimusel tehtud uuring „Elastsete katendite projekteerimisjuhendi 2001-52 täiendamine siirdetegurite osas“, mille käigus leiti uued siirdetegurid: veoautod—autobussid keskmiselt 2,67 ja autorongid 3,76 [15]. Uuringu tulemustega on arvestatud elastsete katendite projekteerimisjuhendi koostamises, mis kinnitati 2017 (vastavuses TTÜ tehtud „Elastsete teekatendite arvutusmetoodika arendamine“ uuringuga aastast 2016). Aastal 2024 valminud „Raskemate ja pikemate vesote mõju arvutamine riigiteede taristule“ ettevõtte T-Konsult poolt koostatud uuringus 60-tonniste autorongide mõjust on programmi Katendi Arvutamise Programmi (KAP) kasutamisel toodud uuteks siirdeteguriteks vastavalt 1,27 ja 4,67 [12]. Senised arvutused tuginevad hüpoteetilisel üksik— ja paarisratta jaotusel, kuna kaaluandmed ei erista vasakut—paremat ratast ja nendevahelist kaugust. Ääsmäe—Kernu teelõigule on paigaldatud uus kaalupunkt (sõidukite kaaluandmeid koguv infosüsteem), mis seda suudab ning sellele tuginevalt on lähiajal võimalik täpsematele andmetele tugineda. Probleem aga jääb seostatuna asjaoluga, et Via Baltica trassil liikuvad sõidukid ei peegelda piisavalt kogu Eesti raskeliikluse struktuuri ja tegelikku koormust.

Liiklusprognoosid on reeglina koostatud 20 aastaks (lähtuvalt esimesest täispikast eksploatatsiooniaastast). Teedeprojekterijad on prognooside koostamisel võtnud arvesse ajaloolist liiklussageduste aegrida (Transpordiameti koduleht, Teeregister) ja tuginedes kehtivale prognoosi metoodikale, tuletanud eeldatava 20 aasta liikluse. Harva on seejuures olnud võimalik arvestada konkreetsete planeeritavate objektide eeldatavat liiklusmõju, kuid teadaolevalt ei ole veel kunagi arvestatud objektide ehitusaegse ajutise liiklusega.

Kuna detailne jaotus kujuneb nii siirdetegurite kui liiklusprognooside muutlikkuse tõttu üsna keeruliseks, on käesolevas töös eeldatud konkreetsete projektide arvestuslikke koormusi lähtuvalt meid huvitavate lõikude ehitusaastast.

2.7 Maanteede klassid

Maantee klass on liiklussageduse alusel määratav maantee tehnilist taset iseloomustav tunnus. Maantee klassi määramisel arvestatakse eeldatavat liiklussagedust, piirkonna arenguvajadusi, rahvusvahelist liiklust, regionaalpoliitilisi eesmärke ning majanduslikke võimalusi. Tee remondiprojekti koostamisel või tee rekonstrueerimisel tee klassi ei muudeta. Maanteede jaotus klassidesse on ära toodud tabelis (Tabel 1). Siit on selgelt näha, kuivõrd on kokkuhoiupoliitika mõjutanud nõudeid teedele.

Tabel 1. Maanteede klassid aastatel 1999–2012 / 2012–2023

Maantee klass	Eeldatav keskmine liiklussagedus	
	Füüsiline	Taandatud sõiduautole
	Liiklussagedus a/ööp	Liiklussagedus a/ööp
Kiirtee	üle 8 000 / üle 40 000	üle 11 000 / üle 45 000
I	üle 6 000 / üle 14 500	üle 8 000 / üle 18 500
II	3 000-8 000 / 6 000-14 500	4 000-11 000 / 7 200-18 500
III	1 000- 4 000 / 3 000-6 000	1 300-5 200 / 3 500-7 200
IV	200-1 500 / 500-3 000	300-2 000 / 1 000-3 500
V	alla 200 / 50-500	alla 300 / 100-1 000
VI	- / kuni 50	- / kuni 100

Maanteede projekteerimine tugineb eeldataval liiklussageduse prognoosil, lähtudes kavandatud valmimisaastast. Määrus 106 nägi prognoosiks ette kahaneva kasvu teooria, mille järgi iga järgneva perioodi liikluse muutus saab olla maksimaalselt 50% eelnenud perioodi muutusest [8]. Täiendavat eeldatava liiklussageduse prognoosi teostamist tuli tee omanikul kaaluda kui lähema 20 aasta jooksul on ette näha olulisi muudatusi, mis on seotud konkreetse objekti liiklusmõjuga, nagu näiteks uute planeeringute elluviimisest tulenev liiklussageduse muutus, mis muudab prognoositud liiklussagedust üle 10%. [8]

Enne 2015. aastat võeti projekteerimisel liiklussageduse prognoosimise aluseks baasprognoosi juhend (aastast 2007 [16]) ning täna kasutatakse uut juhendit (aastast 2020 [17]).

Käesoleval hetkel on Teeregistris piisavalt selliseid teid, kus tee väljaehitamise klass ei vasta tegelikule liiklussagedusele (2022 liiklusloenduse andmetel üle 6 000 AKÖL liiklusega põhimaanteedest on vaid 42% välja ehitatud vähemalt II klassi maantee nõuetele vastavalt). Käesoleva lõputöö uuringu alast näiteks maantee nr 15, km 9,2—15,5 on välja ehitatud IV klassi nõuete järgi (liiklusele kuni 3 000 AKÖL), kuid 2022 oli antud lõigu liiklussagedus 9 652 (andmed Teeregistrist [18]) mis eeldaks vähemalt II klassi teed. Sama maantee järgnev osa, kuni km 27 on välja ehitatud III klassi nõuete järgi (liiklussagedusele kuni 6 000 AKÖL kuid 2022 liiklus oli 8 084 ja 7 417 mis eeldaksid II klassi). Alates km 27 on vastava tee väljaehitamise aluseks olnud III klass, mis tugineb 2022. aasta mõõdetud liiklussagedusele, kuigi võime eeldada, et 20 aasta jooksul tõuseb liiklus kogu lõigus tasemele, mis ületab senise III klassi piiri 6 000 AKÖL. (2023 andmetel oli liiklus km 27—38 vahemikus 5 605—6 288). Väljaehitamise klass on seotud tee geomeetriaga (projektkiirus, plaani— ja püstkõverike raadiused, nähtavused ning laiused), kuid mitte kandevõimega. Kui maantee osades lõikudes liiklussagedus nõuab väiksemat klassi kui teistes osades, tuleb maantee need lõigud projekteerida kõrgema klassi nõuete järgi [8]. Klassist sõltuvad tee geomeetrilised parameetrid (laiused, kalded, raadiused) ja varutegur katendiarvutuses senise KAP korral.

2.8 Katendite arvutusmetoodikad

Katendi töötamise seisukohalt on oluline milliseid pingeid ja deformatsioone koormused põhjustavad, kuidas materjalid ning konstruktsioon taluvad teatud pingeid.

Katendiarvutusteks on tarvis erinevaid lähteandmeid. Maantee klass on küll Kliimaministeeriumi määruse nr 71 tekstist välja võetud, kuid liiklussageduse põhise näitajana senises Katendi Arvutuse Programmis (KAP) varutegurite valikul on tee klass jätkuvalt kasutuses. Katendi tüübist võivad esineda nii püsi— (asfalt), kerg— (mustsegu) kui ka siirdekatted (pinnatud ja pindamata). Püsikatte eeldatav kasutusaeg tuleneb projekteerimise aastast (15/20) ja sellest tulenevalt arvestatakse koormussagedus. Projekteerimisel hinnatakse olemasolevate katendite seisukorda, et täpsustada tööde ulatus. Geoloogiline uuring täpsustab olemasoleva konstruktsiooni materjalid ja kihipaksused ning aluspinnased, mida tuleb katendi projekteerimisel aluseks võtta.

2.8.1 Katendi Arvutuse Programm KAP

Alates 2009 on teede projekteerimisel katendiarvutuseks kasutatud Katendi Arvutamise Programmi ehk KAP-i (Excel—rakendus, mis on allalaetav Transpordiameti kodulehelt), kuid selle kasutuselevõtt ei muutnud seniseid praktikaid põhjusel, et programmi aluseks vastavalt juhendile MA 2001-52 on Nõukogude Liidu 1983-nda aasta ehitusnormatiiv VSN 46-83. [7] Enne KAP juurutamist kasutati VSN 46-83 normi põhiseid algoritme kas käsitsi või Kreedo/Kraade programmiga.

Kuna KAP eeldab katendi tööeks 15 aastat ja arvutuse aluseks on koormussagedus viimasel aastal ehk suurim aastakeskmise ööpäevane koormus enamkoormatud sõidurajale katendi eeldatava tööea jooksul, siis üleminek 20 aastale on lahendatud viisil, et 20 aasta summaarne koormus normtelgedes jagatakse konstandiga 5000 vastavalt juhendi punkt 6.10.1 [19]. Sel juhul on summaarne tegelik normtelgede arv 20 aasta jooksul võrdne arvutusliku 15-nda aasta koormuse korral 15 aasta jooksul kogunevaga. (Selline loogika rakendus 2013. aastast).

KAP-i järgi vajalik kandevõime arvutatakse logaritmivalemiga, kuid arvutustulemus korrutatakse varuteguriga K_{tt} , mis tuleneb liiklussagedusest (tee klassist). Reeglina määrati tee klass 20. kasutuse aasta lõpuks prognoositud liikluse alusel, seega, arvestamata ajutiste massvedudega. Projekteerijad on kuigivõrd suutnud ennustada mitmesuguste objektide käikuandmise liiklusemõju kuid seni pole suudetud ennustada ajutiste massvedude mõju. Tee klassi määramine ei ole seotud sõidukiliikidega, seega ka raskesõidukite osakaal tee klassi ei mõjuta.

Määruses 106 oli ka tabeli kujul nõue, mis määras minimaalselt vajaliku asfaldikihtide paksuse sõltuvalt vajaliku kandevõime tasemest (see on täna juhendis). T-Konsultuuringus „Raskemate ja pikemate veoste mõju arvutamine riigiteede taristule“ on teeregistri andmete analüüsi põhjal näidatud, et sellest asfaldikihtide paksuse nõudest pole reaalselt kinni peetud — et tegelikud asfaldikihtide paksused on eriti suure koormusega teedel projekteeritud väiksemad, kui normitekst minimaalsena lubaks.[12]

2022 on IPT projektijuhtimise OÜ (P. Talviste) koostanud katendite alusuuringu „Eestis kasutatava katendiarvutusmetoodika kaasajastamise lähtekohtade alusuuring“ Transpordiametile, milles järeldatakse, et KAP-i kasutamine tuleks lõpetada ja soovitatakse üleminekut Soome katendite projekteerimise alustele.[20]

2.8.2 Katendi Rehkendamise Programm KRP

Aastal 2024 60-tonniste sõidukite uuringu „Raskemate ja pikemate veoste mõju arvutamine riigiteede taristule“ raames ja TTÜ magistritööna on Simmo Talpas-Taltsepp

koostanud uue katendite arvutustarkvara Katendi Rehkendamise Programm ehk KRP. See uuring soovib kasutada Soomes kehtivaid siirdetegureid VAAB 0,9 ja AR 3,2 kuna Eesti sõidukite kaalumisandmete alusel kujuneksid reaalsete sõidukite taandamise tulemused väga lähedaseks. KRP puhul puuduvad täiendavad varutegurid, vajalik kandevõime leitakse logaritmivalemiga summaarsest koormusest (miljonid normteljed). See võimaldab ehitusprotsessis sidumata kihtide kandevõime mõõtmisel tulemusi võrrelda arvutustega. Kui mõnda aega ehitada KRP alusel dimensioneeritud katendeid, saaks ka Eesti teedele lubada pikemad ja raskemad autorongid, alustades kuni 60-tonniste ja kuni 25,25 m pikkade vähemalt 8-teljelistest ning tulevikus ka suuremate autorongidega (sest Rootsis ja Soomes on juba ca 10 aastat laialdaselt kasutuses kuni 76 tonnised vähemalt 11-teljelised autorongid kogupikkusega kuni 34,5 meetrit). Euroopa on lähiajal muutmas kaalude ja mõõtude direktiivi, et lubada vähemalt TEN-T teedevõrgul (Euroopa Liidu sisesel transpordivõrgustikul) EMS-autorongide (60 tonni 25,25 m) kasutust piiriüleses liikluses (siseriiklik praktika jääb iga liikmesriigi otsustada). Ka kavatakse tõsta lubatud koormusi eraldi Zero Emission ehk ZE (emissiooni vaba) raskesõidukitele, veoteljel kuni 12,5 tonnini ja täismassis kokku kuni 4 tonni lisaks, et tasakaalustada suuremat tühimassi [21].

2.9 Projekteerimisprotsess

Ehituse ja rekonstrueerimise puhul võtab projekteerimisprotsess ka juhul, kui tee trass ei muutu oluliselt, aega hanke väljakuulutamisest kuni ehitusloa väljastamiseni üldjuhul 1...3 aastat (suurematel objektidel ka enam). Näiteks Kose-Mäo uue tee projekteerimist alustati 2007 ja ehitus valmis 2022 [22]). Projekteerimisprotsessile järgneb ehitus, mille kestvus reeglina on 1...2 aastat. Katend dimensioneeritakse seega varem, kui ehitust alustatakse ja projekteerimise aluseks on veelgi varasem liiklusandmestik. Käesoleva lõputöö uuringu mõjualas olevad objektid on reeglina olnud lühemas tsüklis, seega eeldame, et varasemate 20-aastase elukaarega objektide projektid on valminud 2014 a. lõpuks ja nende ehitusprotsess on lõpetatud kõige varem 2016 a. lõpuks. Seega, 2017 a. käikuantud objektid on eelduslikult 20-aastase tööeaga katenditega. Samuti võiks eeldada projekteerimishanke pakkumiste avamise kuupäeva seost, kui seda on võimalik kontrollida riigihangete registrist, et need projekteerimistööd, mille pakkumised on avatud enne 01.05.2013 eeldavad 15-aastast katendi tööiga.

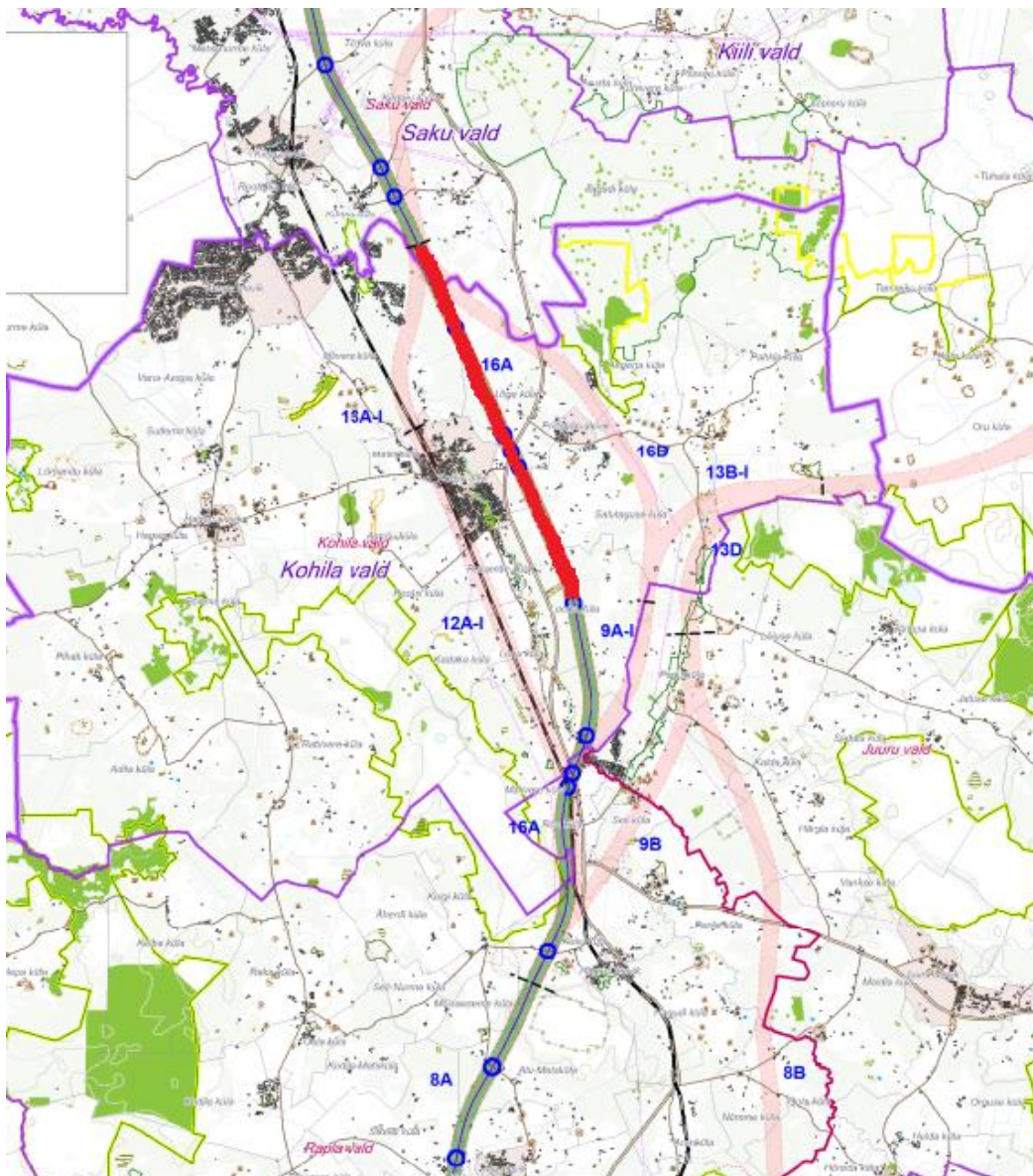
2.10 Massvedu

Teede Tehnokeskuse uuring „Teede kandevõime hindamine enne massvedude lubamist“ (2016) on ava-andmete põhjal ainus dokument, mis massvedusid määratleb [23]. Praktikas on ette tulnud läbirääkimisi tee omaniku/valdaja ja vedaja vahel, näiteks

metsavedude korraldamisel, kuid terminoloogiliselt ei ole massvedusid veel kusagil defineeritud. Fakt, et sellise projekti, nagu Rail Baltica veomahud ületavad suuresti kõik seni Eestis teostatu. Intervjuus kinnitas Tehnokeskuse arenduse ja uuringute osakonna juhataja Marek Truu, et erakorraliseks massveoks võiks lugeda sellised vedusid, mis ületavad mõjult (mahult) 5% tee projekteerimisel eeldatud koormusest.

3 ÜLEVAADE OBJEKTIST

Raplamaa põhitrassi raudteetaristu I etapi projekt algab Harju ning Rapla maakonna piirilt ning lõpeb Loone külas Kohila vallas (Joonis 2). Lõigu pikkuseks on 9,4 km. Põhitrassi muldkeha laiuks on keskmiselt 15 meetrit. Lisaks põhitrassi muldkehale ehitatakse välja veel 5 maanteeviadukti (Kohila liiklussõlm), 1 ökodukt (Kohila ökodukt) ning 1 kergliiklustee tunnel (Sihi tee kergliiklustunnel). Muldkeha ehitamise käigus luuakse lisaks veel valmisolek RB Kohila peatuse rajamiseks.[24]



Joonis 2. Rail Baltica Raplamaa põhitrassi raudteetaristu I etapp (tähistatud punasega)[24]

3.1 Materjali mahud

Ehituseks kulub suur hulk erinevaid materjale, mis veetakse kohale erinevatest karjääridest, sadamatest (graniitkillustik, peamiselt Skandinaaviast) ning tehastest (ehitusbetoon). Koostöös vaadeldava objekti ehitaja—poolse projektijuhiga (Indrek Trei, Verston OÜ projektijuht) on arvestatud välja (RB Raplamaa põhitrassi raudteetaristu I etapi) erinevate materjalide mahud ning eeldatavad tarne karjäärid (Tabel 2).

Tabel 2. Materjali vajadus karjääride lõikes

Materjali nimetus	Maht	Ühik	Karjäär
Alusballasti killustik (killustiku segu liiva või kruusaga, 0-32-; 0-45-; 0-56 mm)	100 000	tonni	Reinu karjäär
Raudtee mulde vahekiht (kruus, D<63mm)	100 000	tonni	Reinu karjäär
Külmakaitsekiht (kruus, D<63mm)	330 000	tonni	Sutlema karjäär
Raudteetäide (kruus, D<63mm)	670 000	tonni	Sutlema karjäär
Tm_150 (kruus)	9 500	tonni	Reinu karjäär
Tm_105 (liiv)	280 000	tonni	Männiku karjäär
Tm_90 (struktuurne täide)	330 000	tonni	Männiku karjäär
Tm_65 (jäme kerge saviliiv)	730 000	tonni	Purila karjäär
Sõelutud kruus	23 000	tonni	Reinu karjäär
Lubjakivikillustik 16/32 mm	21 000	tonni	Reinu karjäär
Lubjakivikillustik 32/64 mm	4 800	tonni	Reinu karjäär
Graniitkillustik 16/32	4 000	tonni	Muuga sadam
Purukruus 0/31,5 pos 1	5 700	tonni	Sutlema karjäär
Purukruus 0/16 pos 5	1 200	tonni	Sutlema karjäär
Purukruus 0/31,5 pos 6	24 700	tonni	Sutlema karjäär
Ehitusbetoon	15 000	m ³	Harjumaa

3.1.1 Materjali mahud karjääride lõikes

Liites kokku karjääridest tulevad erinevad materjalid ning koondades allolevasse tabelisse, kus on näha mahud tonnides (Tabel 3).

Tabel 3. Materjalide mahud kokku karjääride lõikes

Karjäär	Maht, t
Reinu	258 300
Sutlema	1 031 600
Purila	730 000
Männiku	610 000
Kokku	2 629 900

3.1.2 Ehituseks mittesobiv materjal

Lisaks ehituseks vajamineva materjali kogusele, lisandub objektilt ka väljakaevatav ehituseks mittesobiv materjal mahuga 800 000 m³ (info Indrek Trei), mida ei ole võimalik kohapeal objekti piires kasutada, ning mis hetkel teada oleva info põhjal veetakse materjale tarnivatesse objekti lähipiirkonna karjääridesse tagasi. Kuna päris täpselt pole teada, kui palju ja kuhu karjääridesse veetakse, siis jagatakse see kogus proportsionaalselt tarnivate lähipiirkonna karjääride vahel ära.

Selleks leitakse looduslike pinnaste mahumassi, kasutades V. Jaaniso konspekti „Pinnasemehaanika“, „Looduslike pinnaste mahumass on enamasti piires 1500 kuni 2100 kg/m³“.[25]

Kuna täpset mahumassi on raske hinnata, arvestatakse keskmise mahumassiga, tehakse kuupmeetrid tonnideks, korrutades kuupmeetrid läbi keskmise mahumassiga 1,8 kg/m³ kasutades valemit (Valem 1):

$$T = K \times M, \quad (1)$$

kus T — maht, t;
 K — maht kuupmeetrites, m³;
 M — mahumass, kg/m³.

Seega:

$$800\,000 \times 1,8 = 1\,440\,000 \text{ t.}$$

Saadud mittesobiva materjali tonnide jagamiseks on vaja välja arvutada kogu tarnitava ehitusmaterjali kogus nende karjääride lõikes kuhu plaanitakse tagasi vedada mittesobiv materjal. Selleks liidetakse kokku erinevate karjääride mahud (Tabel 4).

Tabel 4. Kõik vajaminevad materjalid kokku liidetuna (tonnid)

Karjäär	Reinu	Sutlema	Purila	Kokku, 100 %
	258 300	1 031 600	730 000	2 019 900

Kogumahu 2 019 900 t (100%), alusel arvutatakse välja kui mitu protsenti antud karjääri materjal moodustab kogu materjalimahust, selleks kasutatakse % arvutamise ristkorrutamise valemit (2)

$$\frac{Osa}{Tervik} = \frac{Protsent}{100}, \quad (2)$$

kus Osa — osa maht, t;
 $Tervik$ — kogu maht, t;
 $\%$ — osa mahu protsent kogu mahust, %.

Seega:

$$\text{Reinu karjäär: } 258\,300 \times \frac{100}{2\,019\,900} = 12,8 \%;$$

$$\text{Sutlema karjäär: } 1\,031\,600 \times \frac{100}{2\,019\,900} = 51 \%;$$

$$\text{Purila karjäär: } 730\,000 \times \frac{100}{2\,019\,900} = 36,2 \%.$$

Et teada saada karjääridesse veetava mittesobiva materjali mahud karjääride lõikes, kasutatakse valemit (Valem 3):

$$T = t \times \%, \quad (3)$$

kus T — osa maht, t;
 t — kogu maht, t;
 $\%$ — osa mahu protsent, %.

Seega:

$$\text{Reinu karjäär: } 1\,440\,000 \times 0,128 = 184\,320 \text{ t};$$

$$\text{Sutlema karjäär: } 1\,440\,000 \times 0,51 = 734\,400 \text{ t};$$

$$\text{Purila karjäär: } 1\,440\,000 \times 0,362 = 521\,280 \text{ t}.$$

3.1.3 Materjali taandamine veokikoormateks sealhulgas mittesobiv materjal

Enamlevinud veok on viie— või kuueteljeline poolhaagisega veoauto ehk sadulrõng. Eeldame, et veod teostatakse 44-tonnise täismassiga autorõngidega, kus tühimass on 16 ja kasulik koorem 28 tonni. Käesolevas lõputöös ei arvestata võimalike ülekoormustega, kuid T-Konsult uuringus („Raskemate ja pikemate veoste mõju arvutamine riigiteede

taristule") Transpordiametile selgub, et reaalse ülekoormuste tõttu võib arvutuslik koormus suureneda sama kaubakoguse puhul kuni 1,7 korda [12].

Järgnevas tabelis (Tabel 5) liidetakse ehituseks mittesobiva ning kõik karjääride materjalid kokku ning taandame 28-tonnisteks veokikoormateks.

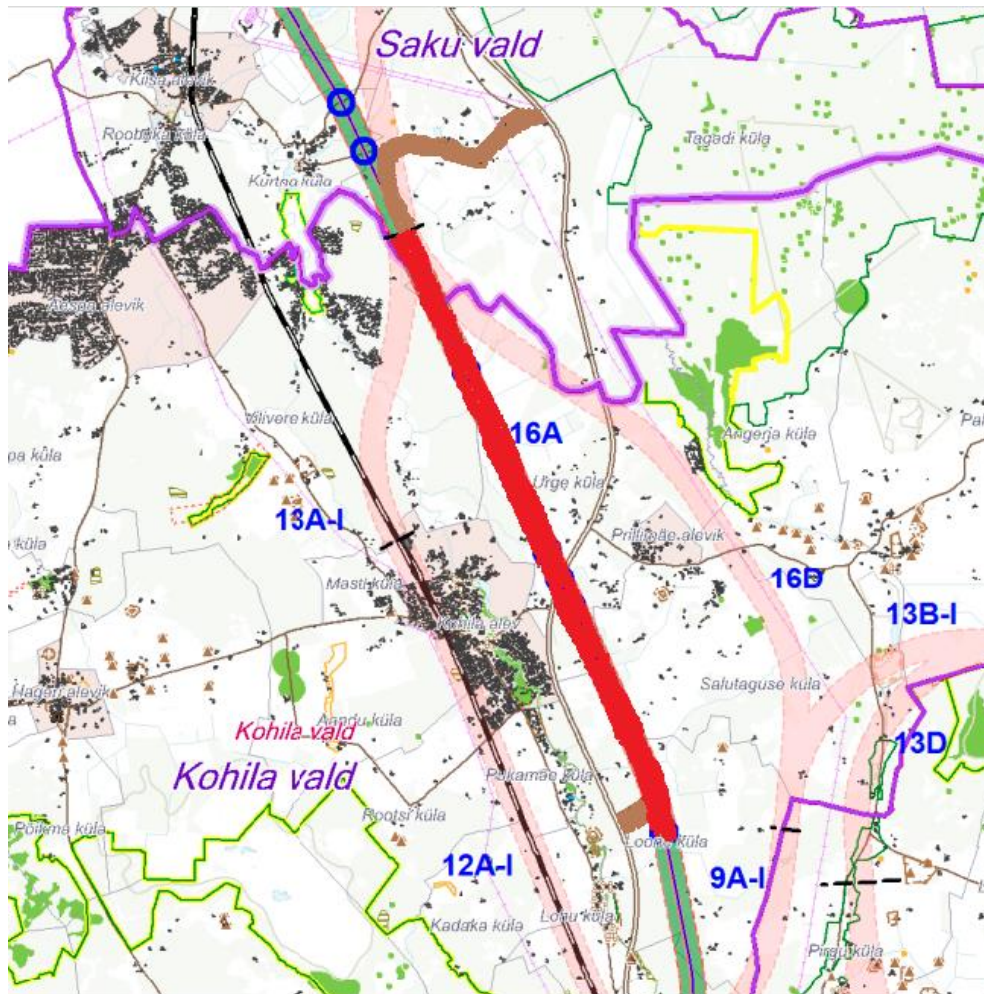
Tabel 5. Materjalide mahud koos mittesobivaga taandatuna veokikoormateks

Karjäär	Materjal, t	Mittesobiv, t	Kokku, t	AR 28 t
Reinu	258 300	184 320	442 620	15 808
Sutlema	1 031 600	734 400	1 766 000	63 071
Purila	730 000	521 280	1 251 280	44 688
Männiku	610 000	0	610 000	21 786
Muuga	4 000	0	4 000	143
Harjumaa (betoon)	34 500	0	34 500	1 232

Nagu tabelist näha, siis kõige suuremad mahud on seotud Sutlema karjääriga ning seetõttu langeb ka käesoleva raudteelõigu ehitamisel kõige suurem koormus Sutlema karjääri ja ehitusobjekti vahelistele teedele.

3.2 Karjäärid ning veoteed

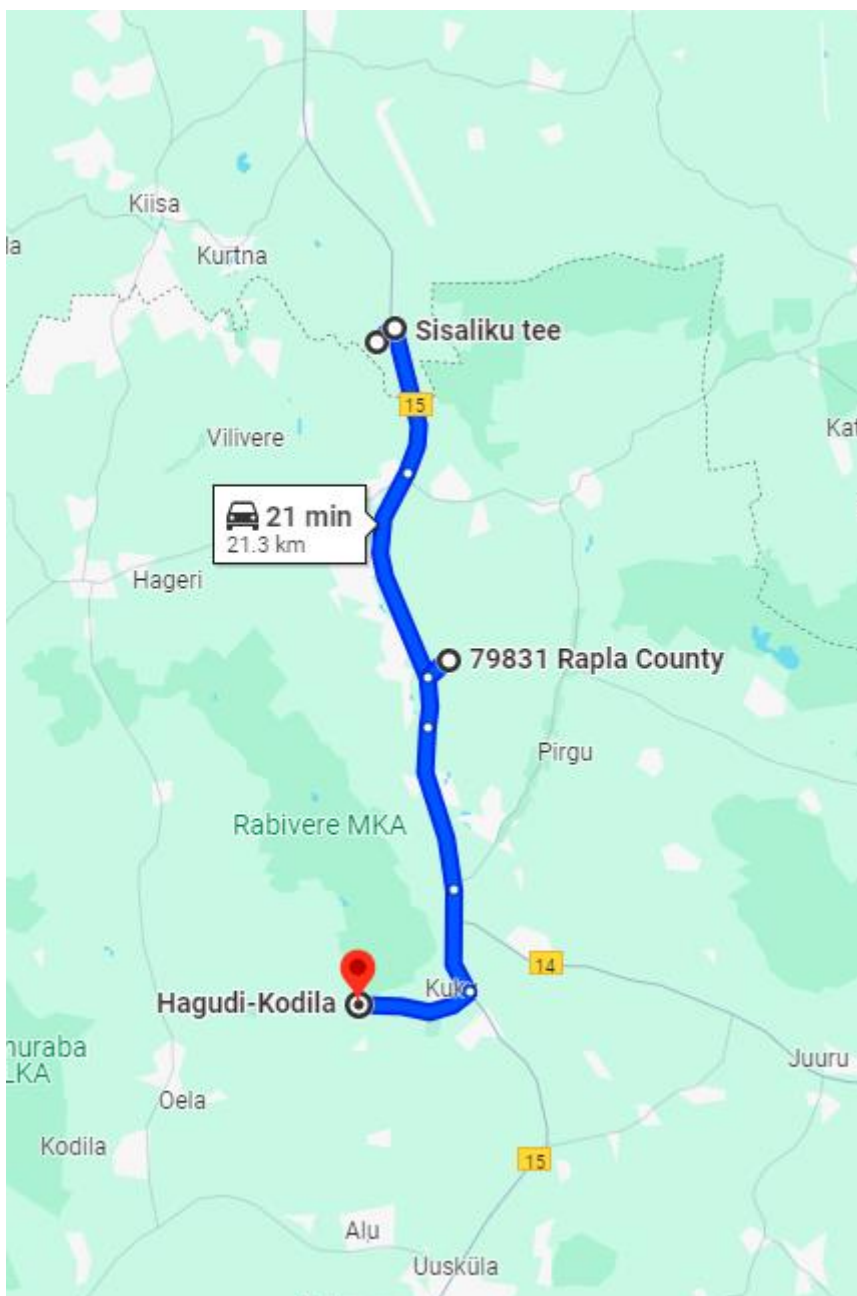
Käesolavas lõputöös vaadeldav RB lõik (Raplamaa põhitrassi raudteetaristu I etapp) algab Harjumaa—Raplamaa piirist ning lõppeb Loone tee (Rapla mk) piirkonnas. Tarnitavate materjalide juurdepääsu teed on arvestatud kahest punktist (Joonis 3), Harjumaa-Raplamaa maakonna piiri poolt sissesõit objektile maanteelt nr 15, Sisaliku tee kaudu (Tagadi küla, Harjumaa) ning Loone tee piirkonnast sissesõit objektile maanteelt nr 15, Loone tee kaudu (Kohila vald, Raplamaa). Need valikud ei pruugi olla päris täpsed kuid antud lõputöö tulemust see oluliselt ei muuda.



Joonis 3. Sissepääsu teed objektile (tähistatud pruuniga)

3.2.1 Reinu karjäär

Reinu karjäär on ettevõttele Trev-2 Grupp AS kuuluv lubjakivikarjäär, mis asub Rapla maakonnas Koigi külas. Karjääri ning ehitusobjekti vahele jäävad riigiteed on kõrvalmaantee nr 20113 (Hagudi—Kodila) kilomeetritel 0,0—3,1 ning tugimaantee nr 15 (Tallinn—Rapla—Türi) kilomeetritel 22,7—38,7 (Joonis 4).



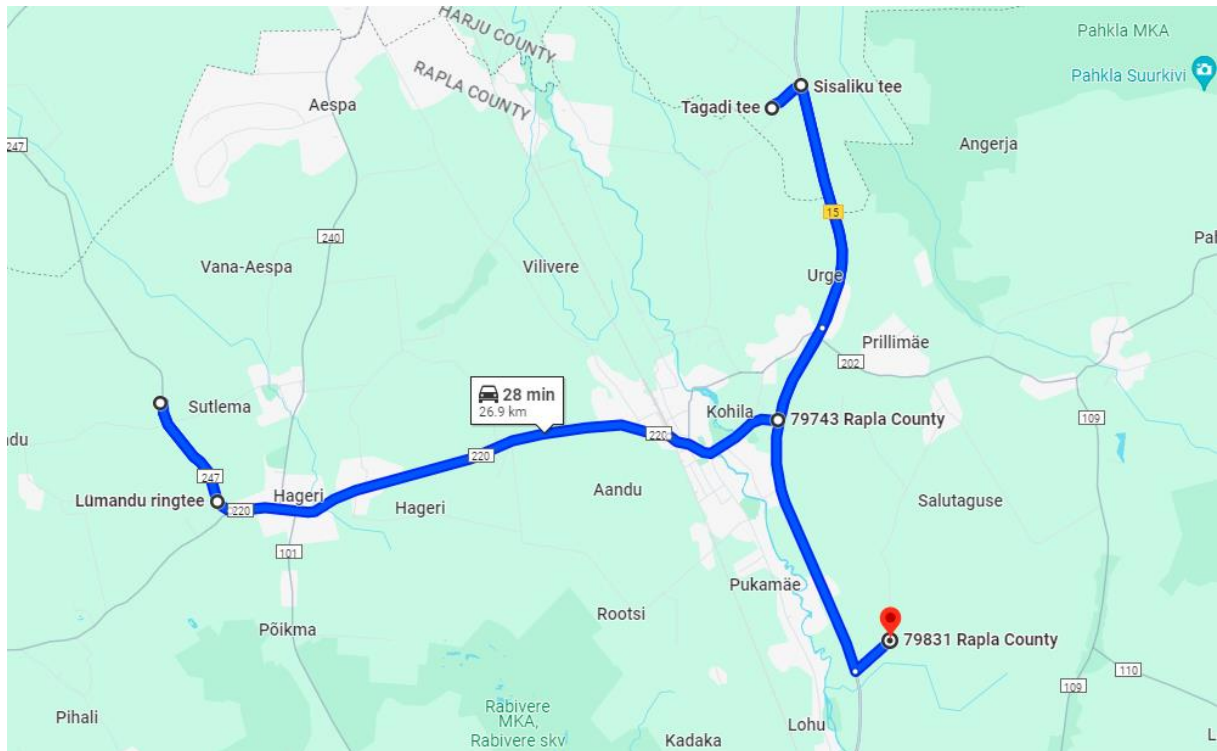
Joonis 4. Reinu karjääri trajektoor

Reinu karjäärist veetava materjali puhul jääks Hagudi—Kodila tee kogu eelnevalt leitud koormuse alla (15 808 veokikoormat), tee nr 15 puhul jaguneks koormus kaheks selliselt, et pool mahust (7 904 veokikoormat) jaguneks kilomeetritele 22,7—31,0 Sisaliku tee kuni Loone tee, kogu koormus (15 808 koormat) kilomeetritele 31,0—38,7.

3.2.2 Sutlema karjäär

Sutlema karjäär on ettevõttele Kiirkandur AS kuuluv lubjakivikarjäär, mis asub Kohila vallas, Raplemaal. Sutlema karjääri ning ehitusobjekti vahele jäävad riigiteed on kõrvalmaantee nr 11247 (Ääsmäe—Hageri) kilomeetritel 11,3—13,2, kõrvalmaantee nr

11220 (Kernu—Kohila) kilomeetritel 8,8—16,9 ning tugimaantee nr 15 (Tallinn—Rapla—Türi) kilomeetritel 22,7—31,0 (Joonis 5).

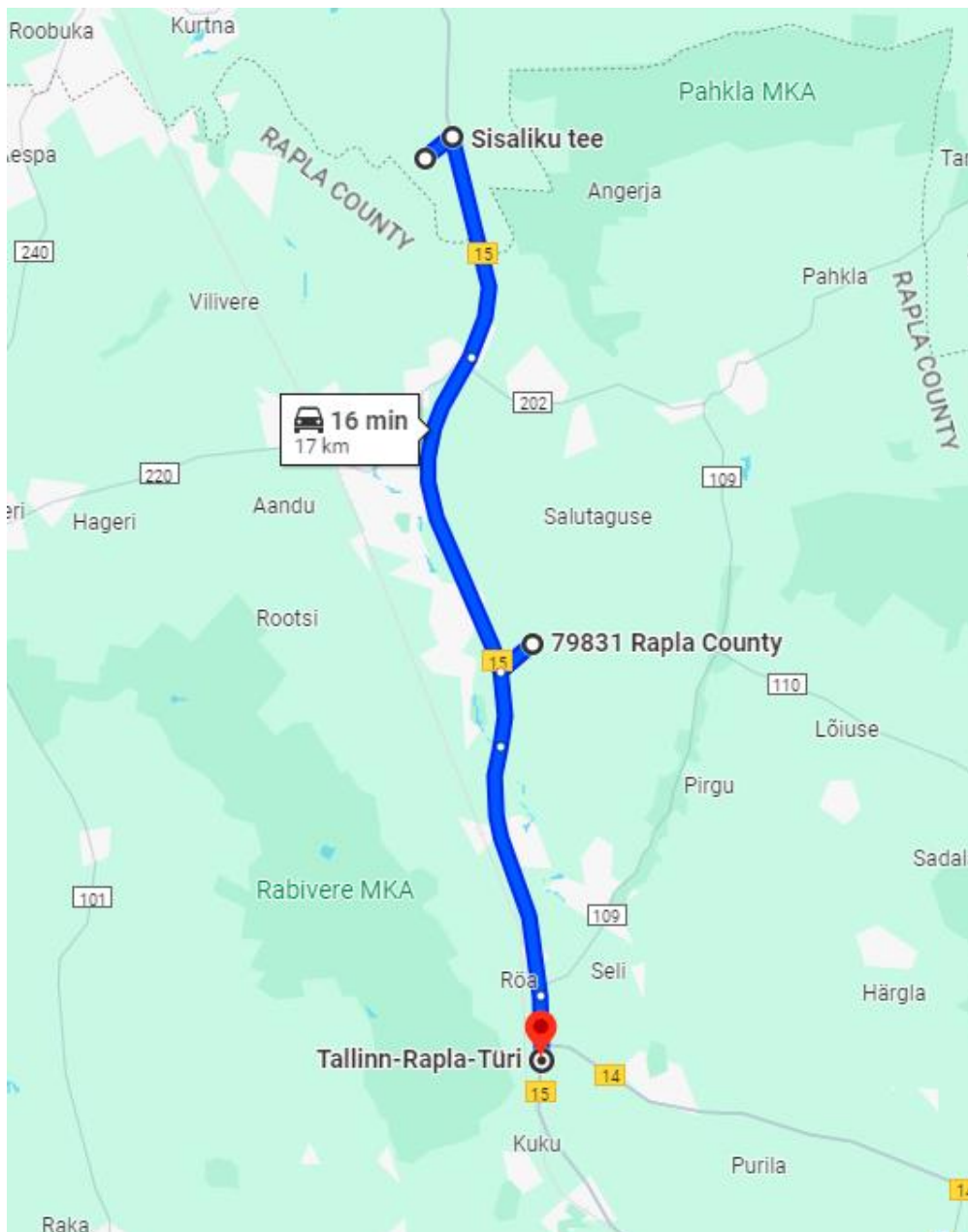


Joonis 5. Sutlema karjääri trajektoor

Sutlema karjäärist veetava materjali puhul jaguneks kogu koormus (63 071 veokikoormat) teele nr 11247 kui ka teele nr 11220, tee nr 15 puhul jaguneks koormused kahes suunas Kohila ristmikust Tallinna poole kilomeetritel 22,5—27,4 (Kohila ristmik-Sisaliku tee 31 536 veokikoormat) ning kilomeetritel 27,4—31,1 (Kohila ristmik-Loone tee ots 31 536 veokikoormat).

3.2.3 Purila karjäär

Purila karjäär on ettevõttele Trev-2 Grupp AS kuuluv kruusakarjäär, mis asub Rõa külas, Raplamaal. Purila karjääri ning ehitusobjekti vahele jääb riigitee nr 15 (Tallinna—Rapla—Türi) kilomeetritel 22,7—37,2 (Joonis 6).



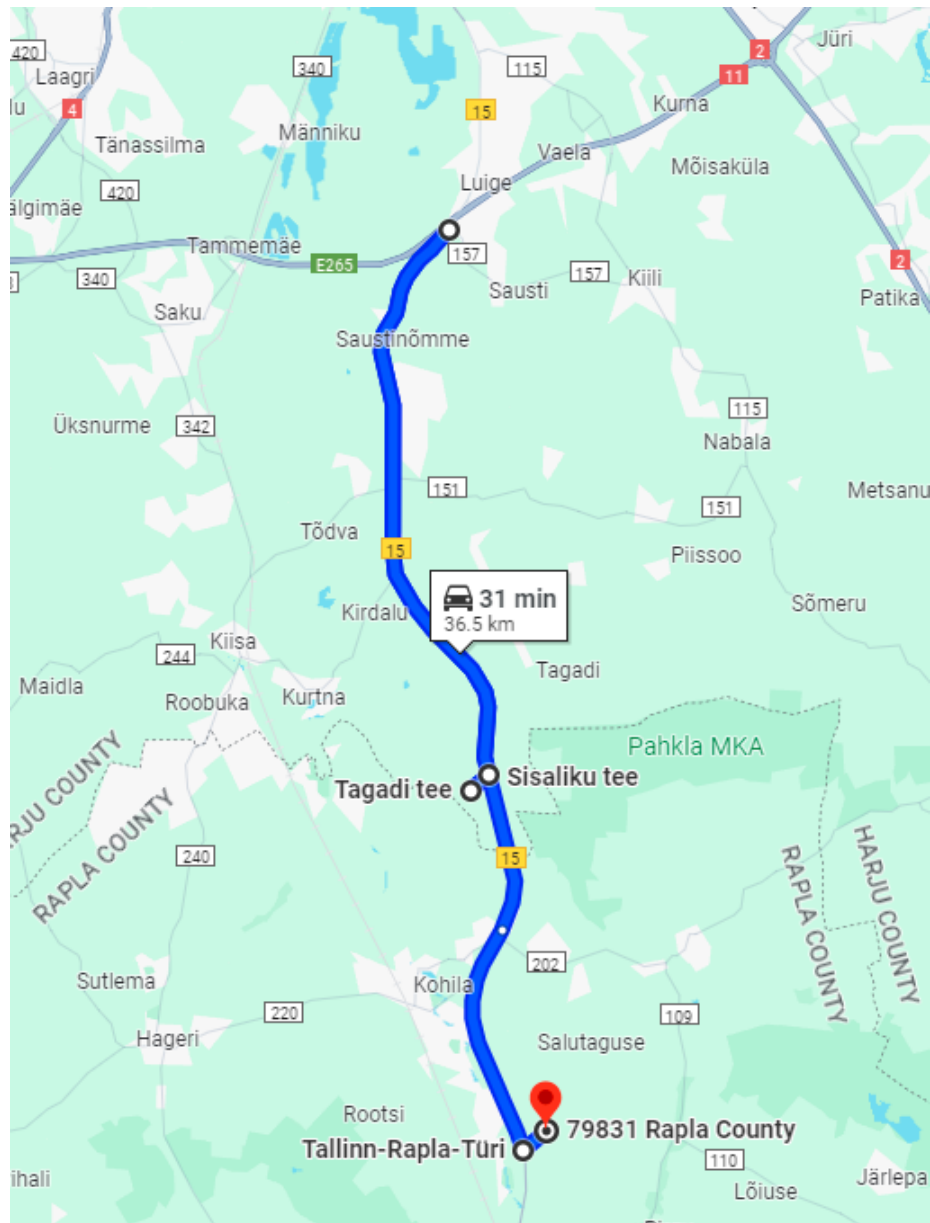
Joonis 6. Purila karjääri asukoht

Purila karjäärist veetava materjali puhul jaguneks koormus järgnevalt, kilomeetritele 31,1—37,2 (Loone tee—Purila karjäär 44 688 veokikoormat) ning kilomeetritel 22,7—31,1 (Sisaliku tee—Loone tee 22 344 veokikoormat).

3.2.4 Harjumaa poolt tuleva materjali tarneteed

Männiku karjääris on tegevad mitu erinevat operaatorit, lõputöös on arvestatud Tammemäe liivakarjääriga, mis kuulub ettevõttele Trev-2 Grupp AS. Asub see karjäär Tallinna ringtee ääres Saku vallas, Harjumaal. Tardkivikillustiku puhul tuleb kogu maht tõenäoliselt Muuga sadamast, kuhu see eelnevalt on tarnitud meritsi laevadega. Kuna ehitusbetooni puhul pole ka täpselt teada tarnija ning tema tehase asukoht, siis arvestame,

et see tuleb Harjumaalt. Kogu Harjumaalt pärinev materjal tuuakse Tallinn—Rapla—Türi maantee nr 15 (Joonis 7) kaudu.



Joonis 7. Harjumaa poolt veetava materjali trajektoor

Jaguneks veo koormus kahe lõigu vahel, kilomeetritele 9,4—22,7 (Tallinna ringtee ja Viljandi mnt ristmik—Sisaliku tee 23 161 veokikoormat) ning kilomeetritele 22,7—31,1 (Sisaliku tee—Loone tee ots 11 581 veokikoormat).

3.3 Lisanduvad koormused

Jagades veomahud teelõikude vastavate km-te vahel, on riigiteedele lisanduvad veokikoormad toodud järgnevas tabelis (Tabel 6):

Tabel 6. Koormused jaotatuna teelõikudele (koormaga veokit)

Tee nr	Vahemik, km-km	AR (28 t)
20113	0,0—3,1	15 808
11247	11,3—13,2	63 071
11220	8,8—16,9	63 071
15	9,4—22,7	23 161
15	22,7—31,1	73 365
15	31,1—37,2	60 496

3.4 Teede ressurss

Tee ressursi (ehk tee tööea) all mõistame normtelgedeks taandatud teed läbivate sõidukite arvu tee eeldatava kasutusea jooksul. Normtelgede arvutamisel on kasutatud vaadeldavate teede projekteerimishetkel kehtinud siirdetegurite väärtusi, tinglikult eeldades, et sõidukite keskmised koormused ajas ei muutu. Siit võib järeldada, et juba tegelike koormuste tõusu (siirdeteguri tõusu) tõttu kahaneb projekteeritud tee tööiga kiiremini kui projekteerija seda eeldada võis. Lisanduva koormuse osas kasutatakse viimaseid teadaolevaid tegurite väärtuseid. Ajalooliselt on siirdetegurite väärtused tõusnud algtasemelt 0,7/2,0 (VAAB/AR) tasemele 2,67/3,76 ja 2020. aastal kaalutud sõidukite alusel ettepanekuga 1,27/4,67.

3.4.1 Tee ressurss ja selle vähenemine protsentides RB ehituse toimet

Kasutades Teeregistrist 2022 a. seisuga vaadeldavate teelõikude liiklusloenduse andmed, on nende põhjal välja arvutatud kogu tee ressursi—, tabelites on ära toodud RB ehitusega seotud lisanduvad koormused ning viimases lahtris on ära näidatud protsent, mille võrra vaadeldava teelõigu eluiga väheneb.

Teelõik, T15 km, 9,2—15,5 on näitearvutus koos selgitustega, ülejäänud arvutustest esitatakse vaid tulemused. Käesolevas lõputöös võetakse 2022. aasta liiklusintensiivsus konstandiks (eeldatakse, et liiklus enam ei kasva). See eeldus tugineb samas ka vajadusele kahandada CO2 emissiooni transpordist.

Kogu tee ressursi leidmiseks kasutame järgmist valemit (Valem 4), kus Teeregistri 2022. aasta liiklusloenduse tulemused AR ja VAAB (erinevate lõikude mõõtmispunktid) korrutatakse nende siirdeteguritega (tee rajamise aastal kehtivate siirdeteguritega), saadud vastus korrutatakse rajateguri ning AKÖL20-ga:

$$(N_j + K_j) \times a' \times AK\ddot{O}L20 = Teeressurss \text{ (normtelgedes)}, \quad (4)$$

- kus N_j — VAAB liiki sõidukite arv mõlemas suunas korrutada siirdetegur, normtelge;
- K_j — AR liiki sõidukite arv mõlemas suunas korrutada siirdetegur, normtelge;
- a' — rajategur, ühikuvaba;
- $AK\ddot{O}L 20$ — 20 aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus.

Seega:

$$(267 \times 2,67 + 242 \times 3,76) \times 0,55 \times 7300 = 6\,515\,582 \text{ (normtelge)}.$$

Rail Baltica massvedudega seotud koormuse leidmiseks kasutatakse vastavat valemit (Valem 5), kus korrutades lisanduvad autorongi koormad siirdeteguriga 3,76 ning vastuse korrutades 2-ga (2 sõidusuunda) ning selle omakorda rajateguriga 0,55:

$$RB_{koormus} = K_j \times 2 \times a', \quad (5)$$

- kus K_j — AR liiki sõidukite arv korrutada siirdetegur, normtelge;
- 2 — 2 suunda;
- a' — rajategur.

Seega:

$$23\,161 \times 3,76 \times 2 \times 0,55 = 95\,793 \text{ (normtelge)}.$$

Tee-eluea kahanemise suhtarvu (%) arvutamiseks jagatakse RB eeldatava koormuse kogu tee ressursiga, kasutades valemit (Valem 6):

$$RB_k \div R = T_{eluga}, \quad (6)$$

- kus RB_k — RB koormus, normtelgedes;
- R — tee ressurs, normtelgedes;
- T_{eluga} — tee ressursi kahanemise % RB ehituse toimet, %.

Seega:

$$95\,793 \div 6\,515\,582 \times 100 \% = 1,5\%.$$

Tabelist (Tabel 7) on näha, et erinevatel teelõikudel on ressursi kahanemine erinev, see tuleneb põhiliselt teelõikudele eeldatud koormusest, mida kõrgem on olemasoleva lõigu koormus seda väiksem on Rail Baltica massvedude mõju selle elueale. Tee klassist tuleneva varuteguri rakendamine võimaldab seda seost veel omakorda.

Tabel 7. Tee nr 15 liiklusloendus, lisanduv koormus, ressursi vähenemine protsentides

T15, km- km	Lisanduv AR	VAAB 2022	AR 2022	Ressurss	RB koormus	% ressursist
9,2-15,5	23 161	267	242	6 515 582	95 793	1,5
15,5-17,4	23 161	188	253	2 597 705	95 793	3,7
17,4-24,0	23 161	258	304	3 218 023	95 793	3,0
24,0-27,4	73 364	258	304	3 218 023	303 433	9,4
27,4-31,1	73 364	97	235	2 179 141	303 433	13,9
31,7-33,7	60 496	97	235	2 179 141	250 213	11,5
33,7-36,9	60 496	169	287	2 813 511	250 213	8,9
36,9-37,2	60 496	169	287	2 813 511	250 213	8,9
37,2-38,7	15 808	121	212	2 066 721	65 381	3,2
T20113						
0,0-0,7	15 808	10	30	271 013	65 381	24,1
0,7-2,8	15 808	9	26	235 881	65 381	27,7
T11247						
11,5-13,1	63 071	4	18	156 585	260 863	166,6
T11220						
8,8-9,5	63 071	19	47	913 212	260 863	28,6
9,5-14,6	63 071	43	30	913 854	260 863	28,5
14,6-15,8	63 071	43	41	1 079 915	260 863	24,2
15,8-16,9	63 071	39	34	390 459	260 863	66,8

3.4.2 Teede eluiga ja selle vähenemine aastates RB ehituse toimet

Katendi eeldatav tööiga sõltub projekteerimise aastast (15 või 20), valemis on sees kas 15-nda aasta eeldatud prognoos (VAAB või AR) või 20. aasta summaarse koormuse jagatis konstandiga 5000, mis taandab koormuse tinglikult 15-ndale aastale.

Tee ressursi vähenemise aastates määratakse tee arvestusliku eluea korrutamisega eluea kahanemise suhtarvuga kasutades järgnevat valemit (Valem 7):

$$T_{eluiga} \times T_{kah} = A_{ressursist}, \quad (7)$$

- kus T_{eluiga} — arvestuslik tee eluiga, a;
 T_{kah} — tee ressursi kahanemise %;
 $A_{ressursist}$ — tee ressursist kahanemise aastad.

Seega:

$$20 \times 1,5 = 0,3 \text{ (aastat).}$$

Järgnevas tabelis (Tabel 8) antakse ülevaade vaadeldavate teelõikude ehitusaastast, sellest lähtuvalt tee-elueast ning ressursi vähenemise ulatusest.

Tabel 8. Tee nr 15 ehitusaeg, eluiga, ressursi vähenemine aastates

T15, km-km	Ehitusaasta	Tee-eluiga	Tee eluea lõpp	Aastad ressursist
9,0-11,2	2023	20	2043	0,3
11,2-15,1	2013	15	2028	0,2
15,1-15,7	2017	20	2037	0,7
15,7-21,1	2019	20	2039	0,6
21,1-24,0	2015	15	2030	0,4
24,0-27,7	2006	15	2021	1,4
27,7-35,8	2016	15	2031	1,7
35,8-37,1	2017	20	2037	1,8
37,1-38,7	2010	15	2025	0,5
T20113				
0,0-0,1	2009	15	2024	3,6
0,1-0,8	2005	15	2020	4,2
0,8-2,8	2007	15	2022	4,2
T11247				
10,8-13,1	2010	15	2025	25,0
T11220				
8,6-16,0	2023	20	2043	5,7
16,0-16,2	2009	15	2024	10,0
16,2-16,8	2012	15	2027	10,0
16,8-16,9	2006	16	2021	10,0

4 MASSVEDUDEGA KULUTATAVA RESSURSI MAKSUMUS

Käesolevas peatükis vaadeldakse Rail Baltica massvedude mõju (arvestades koormuste olulist tõusu) teede elueale ehk ressursile. Reeglina on katte hooldusremondi toiminguteks pindamine ja ülemiste asfaldikihtide asendamine või ülekate (kulunud ja defektidega asfaldikihi peale asfalteerimine, kuid alles siis, kui see kiht on profileerimisseguga tasandatud). Näiteks enim koormatud teelõik Kohila—Hageri (11220)—liiklussagedus (2022)—1 299 AKÖL, selliste teede põhiliseks hooldusmeetmeks on pindamine. Juhendi „Kattega riigiteede säilitusremondi objektide valimine“ järgi on liiklussageduse vahemiku 500—2 000 AKÖL puhul remontidevaheline periood seitse aastat. Liiklussagedusel üle 3 000 AKÖL ei ole pindamine sobiv töömeetod. Objekti valiku aluseks on kriitilise piiri 5% defektide ületamine.

Kui eeldada, et koormused on stabiilsed/prognoositud ning hooldus/remondi meetmeid rakendatakse õigeaegselt, siis kaitseb kattekiht aluse näiteks soolveest tulenevast kiirest lagunemisest. Kui hooldus (näiteks pindamine või kulumiskihi asendus) jääb õigeaegselt tegemata, tuleb tihti asendada lisaks kattele ka lagunenu alus (seda eriti siis, kui tegemist on paekivikillustikuga). Veereziim (veeäravool pole tagatud, kraavid pole korras) ja külmakerked lõhuvad nii katte kui ka muldkeha.

Eeldades normaalset rahastamist ja stabiilset koormust, peaks 20-aastasest tsüklis loogiliselt olema 5-ndal aastal pindamine ning 10-ndal ülakihi asfaldi vahetus ja seejärel 15-ndal aastal uuesti pindamine ning 20-ndaks aastaks võiks katend olla amortiseerunud. Tegemist on arvutusliku keskväärtusega, reaalsed toimingud teostatakse vastavuses defektide ilmnemisega.

Antud juhul on koormused massvedude tõttu forsseeritud esimese 3—5 aasta jooksul, mistõttu võib eeldada ka hoolduse/remondi toimingute ajastamist vastavuses tegeliku ressursi kasutuse tasemele —25% ressursist, pindamine; 50% ressursist ülakihi asendus ja 75% ressursist viimane pindamine.

Igale tee klassile (liiklussageduste vahemikule) võib lugeda hinnangulise ruutmeetri maksumuse (T-Konsult 2024, I...VI klass üldiselt ja detailsemalt uuritud I...IV klassi teede osa)[12]. Teades, mitu protsenti tee eeldatavast ressursist (koormussageduste baasil) moodustavad massveod, saame taandada massvedudega kulutatava ressursi maksumuse.

4.1 Tee nr 15 kulutatava ressursi maksumus

Maantee nr 15. puhul on huvi pakkuvate kilomeetrite vahemikus 9,2—38,7 km on 2022. aastal teostatud liiklusloendust teostatud üheksas erinevas punktis. Vastavalt

koormussagedusele on eelnevalt välja arvatud tee ressurss T-15 kohta (Tabel 7), järgnevalt saab välja arvutada ennustusliku E-vajaliku, lähtudes hetkel kehtivast juhendist, kus on sätestatud minimaalsed asfaltbetoonkihi paksused. Minimaalselt vajalikke paksusi on tarvis teada tööde eeldatava maksumuse arvutamiseks.

Ennustusliku arvutusliku koormuse (Q) arvutamise valemis (Valem 8), on eelnevalt välja arvatud (Tabel 7. veerus ressurss) 20. aasta summaarsed koormused normtelgedes mis jagatakse konstandiga 5000.

$$R \div K = Q, \quad (8)$$

kus R — 20 aasta summarne koormus normtelgedes;
 K — Konstant;
 Q — Ennustuslik koormussagedus, Q.

Näitena on arvatud maantee nr 15 lõigu 9,2—15,5 km ennustuslik arvutuslik koormus:

$$6\,515\,582 \div 5\,000 = 1\,303 \text{ (Q)}.$$

Kasutan KAP-i koormussageduse/E-vajaliku arvutamise moodulit (Joonis 8), leitakse Ennustuslik E-vajalik.

Joonis 8. Kuvatõmmis koormussageduse/E-vajaliku arvutamise moodul

Arvutuste edasisteks tegemiseks võetakse juhendist, tabelist „Asfaldikihtide vähimad paksused“ (Tabel 9) andmed, selle tabeli andmete järgi on E-vajaliku 274,05 MPa puhul vahemik 250—300 MPa on vähim asfaldikihi paksus 13 cm [19].

Tabel 9. Asfaldist katendikihtide vähimad paksused [8]

Perspektiivne E_{vaj} , MPa	<125	125-180	180-220	220-250	250-300	>300
Min. kogupaksused, cm	4	6	8	10	13	16

Katte ruutmeetri maksumuse arvutame välja vastavalt valemile (Valem 9), asfaltbetooni prognoositud maksumuse konstandi 175 (m³ hind €) väärtus võetakse T-Konsult poolt tehtud uuringust „Raskemate ja pikemate vesote mõju arvutamine riigiteede taristule“.

$$H_{hind} = K \times H, \quad (9)$$

kus H_{hind} — maksumus (€/m²);
 K — ühikhind, 175 (m³ hind €);
 H — kihipaksus, 13 cm [12].

Näitena:

$$175 \times 0,13 = 22,75 \text{ €/m}^2.$$

Vaadeldava lõigu RB koormuse alla jäävad m²-d (lõigu pikkus 15,5—9,2 = 6,3 km), teeme selle meetriteks ning korrutame katte laiusega (7,5 m, katte laiuse andmed Teeregistrist) järgneva valemiga (Valem 10):

$$L \times W = S, \quad (10)$$

kus L — lõigu pikkus, m;
 W — lõigu laius, m;
 S — pindala, m².

Näitena:

$$6\,300 \times 7,5 = 47\,250 \text{ m}^2.$$

Järgmisena leitakse lõigu maksumus valemiga (Valem 11), korrutame m²-d eelnevalt välja arvutatud m² hinnaga 22,75 €/m²:

$$S_{hind} = H_{hind} \times S, \quad (11)$$

kus S_{hind} — kogu pindala maksumus, €;
 H_{hind} — m² maksumus, €;
 S — kogu pindala, m².

Näitena:

$$22,75 \times 47\,250 = 1\,074\,938 \text{ €}.$$

Teeressursi kahanemise suhtarv tee-eluea suhtarvu suhtes (Valem 12) arvutamiseks võetakse tee-eluea ning tee-eluea vähenemist aastates sisendid Tabelist 8.

$$\frac{Osa}{Tervik} = \frac{Protsent}{100}, \quad (12)$$

Näitena:

$$\frac{0,3 \text{ (ressursi kahanemine, aastat)} \times 100\%}{20 \text{ (tee eluiga, aastat)}} = 1,5\%.$$

Saadud suhtarvu % lõigu (9,2—15,5 km) maksumusega (Valem 13) ning saadud vastust võiks lugeda antud lõigu RB ehitusega seotud massvedude mõju hüpoteetiliseks kuluks.

$$L_{hind} = S_{hind} \times \%, \quad (13)$$

kus L_{hind} — kogu lõigu hind, €;
 S_{hind} — kogu lõigu pindala maksumus, €;
 $\%$ — tee ressursi kahanemine RB mõjul (%).

Seega:

$$1\,074\,938 \times 1,5\% = 42\,998 \text{ €}.$$

Sarnased arvutused tehakse samamoodi kõikidele ülejäänud maantee nr 15 vaatluse all olevatele lõikudele (Joonis 9) ning saadakse kogu maantee nr 15 RB seonduvate massvedude hüpoteetiline kulu.

T15, km- km	M2-d(laius 7,5 m)	Ressurss	Ressurss /5000	Ennustuslik E-vajalik	Vajalik kihipaksus cm	Maksumus, m2×kihipaksus ×175(kosntant)	Tee eluiga	Aastad ressursist	% tee elueast	Maksumus T15 kohta
9,2-15,5	47 250	6 515 582	1303	274	13	1 074 937,50 €	20	0,3	1,5	15 803,83 €
15,5-17,4	14 250	2 597 705	520	246	10	249 375,00 €	20	0,2	1,1	2 749,75 €
17,4-24,0	49 500	3 218 023	644	253	13	1 126 125,00 €	18	0,7	4,1	46 140,97 €
24,0-27,4	25 500	3 218 023	644	253	13	580 125,00 €	15	0,6	4,0	23 025,22 €
27,4-31,1	27 750	2 179 141	436	241	10	485 625,00 €	15	0,4	3,0	14 455,88 €
31,7-33,7	15 000	2 179 141	436	241	10	262 500,00 €	15	1,4	9,4	24 751,60 €
33,7-36,9	24 000	2 813 511	563	249	10	420 000,00 €	18	1,7	9,6	40 187,68 €
36,9-37,2	2 250	2 813 511	563	249	10	39 375,00 €	20	1,8	8,9	3 501,73 €
37,2-38,7	11 250	2 066 721	413	239	10	196 875,00 €	15	0,5	3,2	6 228,19 €
Kokku										176 844,86 €

Joonis 9. Maantee nr 15 kulutatava ressursi arvutus

Kogu kulu (asfaldikihtide enneaegse asendamise lisakulu, mis tuleneb lisakoormusest) T-15 kohta tuli 176 845 €.

Kasutades samasugust arvutusloogikat teeme arvutused ka ülejäänud vaadeldavate teede kohta (Joonis 10). Maanteede nr 20113, —11247 ja —11220 kulu on vastavalt 47 310 €, 167 928 € ja 339 610 €.

T20113, km-km	M2-d(laius 6,0 m)	Ressurss	Ressurss /5000	Ennustuslik E-vajalik	Vajalik kihipaksus cm	Maksumus, m2×kihipaksus ×175(kosnant)	Tee eluiga	Aastad ressursist	% tee elueast	Maksumus T15 kohta
0,0-0,7	4 200	271 013	54	177	6	44 100,00 €	15	3,6	24,1	10 639,05 €
0,7-2,8	12 600	235 881	47	173	6	132 300,00 €	15	4,2	27,7	36 670,76 €
Kokku										47 309,81 €
T11247, km-km	M2-d(laius 6,0 m)	Ressurss	Ressurss /5000	Ennustuslik E-vajalik	Vajalik kihipaksus cm	Maksumus, m2×kihipaksus ×175(kosnant)	Tee eluiga	Aastad ressursist	% tee elueast	Maksumus T15 kohta
11,5-13,1	9 600	156 585	31	160	6	100 800,00 €	15	25,0	166,6	167 928,18 €
Kokku										167 928,18 €
T11220, km-km	M2-d(laius 7,5 m)	Ressurss	Ressurss /5000	Ennustuslik E-vajalik	Vajalik kihipaksus cm	Maksumus, m2×kihipaksus ×175(kosnant)	Tee eluiga	Aastad ressursist	% tee elueast	Maksumus T15 kohta
8,8-9,5	5 250	913 212	183	214	10	91 875,00 €	20	5,7	28,6	26 244,55 €
9,5-14,6	38 250	913 854	183	214	10	669 375,00 €	20	5,7	28,6	191 210,26 €
14,6-15,8	9 000	1 079 915	216	219	10	157 500,00 €	20	5,7	28,6	44 990,65 €
15,8-16,9	8 250	390 459	78	188	8	115 500,00 €	15	10,0	66,8	77 164,94 €
Kokku										339 610,40 €

Joonis 10. Maanteede nr 20113; 11247 ja 11220 kulutatava ressursi arvutus

Käesoleva lõputöö käigus nähtub, et tee nr 20113 arvutuslik ressurss on ammendunud aastaks 2024 (ehitus 2005-2009). Tee nr 11247 arvutuslik ressurss ammendub aastaks 2025 (ehitus 2010 aastal). Normis on sätestatud minimaalselt nõutav kasutusiga, kusjuures projekteerija dimensioneerib katendi kriitilisemate profiilide alusel, arvestades geoloogia andmeid (pinnased, vee sügavus). Eriti looduslike ehitusmaterjalide omadused varieeruvad ja juhul, kui eeldatud riskid ei ole realiseerunud (näiteks, ka koormus jääb väiksemaks prognoositust või teostatakse veod soodsal ajal kui aluspinnase kandevõime on parem), võib kavandatud ressursi ammendumine võtta ka rohkem aega.

Liites kokku vaadeldavate lõikude arvutuslikud lisakulud, saame aluse kogu RB Eesti trassi ressursi kahanemise maksumuse hindamiseks (Tabel 10).

Tabel 10. Kõik teede maksumused kokku liidetuna

Tee nr	Maksumus, €
T15	176 845
20113	47 310
11247	167 928
11220	339 610
Kokku	731 693

Kõige detailsem koormusinfo on Kohila—Hageri lõigu kohta kuna antud teelõik valmis 2023-I aastal. Seetõttu on mõistlik detailsemalt vaadelda tee hüpoteetilist elukaart selle lõigu näitel. Esmased kalkulatsioonid näitavad, et ettenähtud 20. aasta asemel kujuneb katendi tööiga veerandi võrra lühemaks (Joonis 10).

Kohila-Hageri lõigul, km 8,8—16 km on tegu kahekihilise asfaltkattega kompleksstabiliseeritud alusel, kuid tööd on tehtud ajal, kui stabiliseeritud aluse seguresept koostati arvestades freespuru sõelkõverat pärast ekstraheerimist. Siit tulenevalt on eeldatavalt stabiliseeritud segu poorne, sest külma segamise protsessis freespuru tükides sisalduv peenos ei täida stabiliseeritud segu poore ning tulemusena on suur risk, et kui asfaltbetoonist kattekiht peaks massvedude koormuse all lagunema (roopad ja roobaste põhja pikipraod), pääseb soolvesi läbi stabiliseeritud aluse ka selle all paiknevasse paekillustiku kihti ning need mõlemad lagunevad kiirelt. Protsessi võib oluliselt pidurdada õigeaegne pindamine, kui eksploatatsiooni käigus tekivad defektid pindamist nõuavad. Raskeliikluse all on pigem eeldada esmalt roobaste teket ja selle suhtes pindamine ei aita ning defektide ilmnemisel tuleks tõenäoliselt kiiresti asendada kulumiskihti.

Analoogset protsessi võime täna täheldada ka T15 maanteel (km 21—24), kus sõidujälgedes on kulumiskiht kadunud ehk tekkinud roopad. Protsessi saaks pidurdada, kui õigeaegselt asendataks kulumiskihi asfalt, milleks RES (Riigieelarve Strateegia) ja THK (Teehoiukava) vahendeid ette ei ole näinud.

4.2 Kogu RB ehituse hüpoteetiline rahaline mõju teedele

Võttes aluseks RB trassi pikkuse Eestis ning materjalide mahud, massvedude mõjud esimese ehitusjärjekorra (objekti) ehitamisel, saab oletada suurusjärgud, millist mõju omavad massveod Eesti riigiteedele. Seega kui arvestada, et kogu Eestit läbiva trassi pikkus on 213 km, meie poolt vaadeldava lõigu pikkuse 9,4 km hüpoteetiline lisakulu kokku oli 731 693 €, saab leida RB kilomeetri ehitusega kaasneva lisakulu riigiteedesse (Valem 14):

$$K_{hind} \div L = H_{km}, \quad (14)$$

kus K_{hind} — kogu maksumus (kõik lõigud kokku), €;
 L — vaadeldava lõigu pikkus (raudtee, km);
 H_{km} — 1 km maksumus, €.

Seega:

$$731\,693 \div 9,4 = 77\,840 \text{ €}.$$

Siit lähtuvalt saab välja arvutada hüpoteetiliselt kogu RB ehitusega kaasneva rahalise kulu Eesti riigiteedele, kui korrutame saadud vastuse läbi kogu RB trassi Eesti osa pikkusega milleks on 213 km:

$$77\,840 \times 213 = 16\,579\,920 \text{ €}.$$

Eeltoodud arvutuskäik on vaid esimene katsetus, et hinnata RB projektiga kaasneva lisakulutusi, millega ei ole arvestatud RB tasuvusarvutuses (CBA) [26]. Töös on tehtud mitmeid lihtsustusi ja eeldusi, mille osas on võimalik minna oluliselt täpsemaks ja detailsemaks, kuid see viiks töö mahu suurusjärgudes suuremaks. Reaalsete kulude hindamine eeldaks täiendavat infot kasutatavate materjalide mahu, karjäärade ja veoteede kohta, mida ei oma ka RBE, sest nii karjäärade valiku kui teekonnad otsustab ehitaja pärast hanke võitmist.

Töös ei ole arvestatud kohalike omavalitsuste teedevõrguga, siinjuures sõlmitakse üldjuhul ehitaja ja KOV vahel lepingud, mis kohustavad teede sõidetavuse tagama ka pärast objekti valmimist, kuid kui puudub adekvaatne eelnev seisundihindamine, on raske määratleda ka vajalike tööde mahtu.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli tee-ehitusmaterjalide massvedude mõjuanalüüs tarneteedele Rail Baltica Raplamaa põhitrassi raudteetaristu I etapi ehituse näitel. Analüüsitakse varem kehtinud ja hetkel kehtivaid normatiivdokumente, juhendeid ning määrusi, et täpsustada olemasolevate teede projekteerimisel eeldatud koormust. Koostöös konsultant Indrek Treiga (Verston OÜ projektijuht) arvutati välja vajalikud materjali mahud ning leiti tõenäolised tarnekarjäärid ja veoteed. Lõputöö analüüsist selgus, et massvedude mõju teedele sõltub paljuski maanteede klassidest. Suurema klassi (suurema liikluskoormusega) teedele on mõju väiksem (1,5% ... 14%), kuna lisanduvate massvedude efekt ei oma liiga olulist kaalu juba olemasolevale tee projekteerimisel arvestatud koormussagedusele. Samas on suuremate vedude mõju väiksema koormusega teedele aga üsnagi arvestatav (24,2%—166,6%). Töös jõuti järeldusele, et massvedudeks saab nimetada neid vedusid, mis ületavad mõjult 5% tee projekteerimisel eeldatud koormusest.

Käesoleva lõputöö raames analüüsiti veel lisaks massvedude mõjul kulutatava ressursi (tee tööeest massvedudega kulutatava osa) maksumust. Analüüsist selgub, et maksumuslikult kujunes käesolevas töös välja pakutud arvestusmeetodikat kasutades RB lõigu (Rail Baltica Raplamaa põhitrassi I etapi) massvedude mõjul kasutatud riigiteede ressursi maksumuseks natuke üle 0,73 miljoni euro, kogu Eestit läbiva RB raudteetrassi puhul aga ca 16,6 miljonit eurot. Arvestades kogu Rail Balticu raudtee ehituse Eesti osa maksumust, milleks oli ca 3 miljardit eurot, ei ole need kulud ülemäära suured, moodustades ainult ca 0,5% kogu mahust. Siiski tuleks siia lisada ka kohaliku omavalituse teed. Nende kuludega pole arvestatud Rail Baltica tasuvusarvutuses (CBA) ega ka Transpordiameti teehoiukava tulevaste aastate eelarvetes.

Lõputöö autori arvates oleks pidanud selliseid võimalikke kulusid ette nägema ning Rail Balticu eelarves nendega arvestama. Teehoiu rahastamine on 2024—2025 väga kriitilises seisus ja teades, et Rail Balticu rahastamine EL vahenditest ei kata kogumaksumust, ei ole lootust, et enne Rail Balticu valmimist teede rahastamine taastuks.

SUMMARY

Impact Analysis of Mass Freight Transport on Roads

Rail Baltic is the largest infrastructure construction project in the Baltic region in recent history and the electrified railway line that will be part of the trans-European transport network TEN-T should be completed by the end of 2030, although not in full functionality. The project is financed by the Baltic states (Estonia, Latvia and Lithuania) and co-financed by the European Union that reimburses up to 85% of all eligible project costs. Estonia's funding in the project is estimated to amount to EUR 3 billion, which is significantly more expensive than the original estimate.

An important aspect about this project is that the feasibility studies do not reflect the impact of mass freight transport on existing surrounding roads during the construction period. Considering today's and forthcoming road maintenance funding, it is possible to assess the impact of mass freight transport during the construction period on roads that has been planned temporarily without taking into account the increased load.

The author has analysed previously and currently valid regulations, guidelines and documentation. The necessary material volumes have been calculated and likely supply quarries and freight transport routes have been determined.

The analysis of the thesis revealed that the impact of mass freight transport on roads largely depends on the road class. Roads with higher class (higher traffic load) are less affected (1.5% ... 14%), because the effect of additional mass freight transport does not have excessive weight on the already existing load frequency taken into account in the design of the road. At the same time, the impact of larger freight transport on roads with lower loads is quite considerable (24.2% -166.6%). The work concluded that mass freight transport can be defined as freight transport that by its effect exceed 5% of the expected design load of the road.

While the Rail Baltic railway line through Estonia is divided into eight different sections, this analysis focuses on one section (the first phase of the Rail Baltic's Rapla county main line railway infrastructure). The analysis shows that the cost of the resource of the state roads used in the mass freight transport as part of the construction of the railway section is about 0.7 million euros, and about 17 million euros in the case of the Rail Baltic railway line that crosses the whole of Estonia. Considering that the cost of the entire Estonian part of the Rail Baltic railway construction is about 3 billion euros, these costs are not excessively high, accounting for only about 0.5% of the total Rail Baltic's cost. Obviously, costs of the same order of magnitude are also incurred on local or rural roads. However,

they have not been taken into account in the Rail Baltic's cost-benefit analysis (CBA) or in the national road management plan. The financing of road maintenance in 2024-2025 is in a very critical state, and knowing that the financing of Rail Baltic from EU funds does not cover the entire expected volume, there is no hope that before the full completion of Rail Baltic (including the superstructure of which it is expected to be completed by the deadline only one pair of rails, local stops and trains), the financing of roads will be restored. In addition to these calculations, mass freight transport also affects rural roads, which further increases the deficit.

Several simplifications and prerequisites have been made in the research, while a more accurate assessment would require more information about the materials and transport routes used (Rail Baltic Estonia does not manage the topics centrally, but has left the details to the construction companies), so a more accurate calculation would mean a significant increase in the volume of work.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] „RB-TEN_T-broschure-2023_EE_WEB.pdf”. Vaadatud: 2. aprill 2024. [Online]. Available at: https://www.railbaltica.org/wp-content/uploads/2023/10/RB-TEN_T-broschure-2023_EE_WEB.pdf
- [2] T. Pott, „Rail Balticu Eesti osa ehitus läheb maksma ligikaudu kolm miljardit eurot | Majandus | ERR”, www.err.ee. Vaadatud: 2. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.err.ee/1609189660/rail-balticu-eesti-osa-ehitus-laheb-maksma-ligikaudu-kolm-miljardit-eurot>
- [3] „Rail Baltica lugu - Rail Baltic Estonia”. Vaadatud: 2. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.rbestonia.ee/rail-baltica-lugu/>
- [4] „eesti2010taistekst.pdf”. Vaadatud: 2. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://planeerimine.ee/wp-content/uploads/2021/05/eesti2010taistekst.pdf>
- [5] „Rail Baltic – sajandi projekt | Rail Baltica”. Vaadatud: 2. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.railbaltica.org/et/rail-baltica-sajandi-projekt/>
- [6] „Tee projekteerimise normid”, Riigi Teataja, 28.09.1999, viimati muudetud 01.07.2015. Vaadatud: 3. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/26215?leiaKehtiv>
- [7] A. Vaimel, „Elastsete teekatendite projekteerimise juhend 2001-52”. 2001.
- [8] „Majandus- ja taristuministri 5. augusti 2015. a määruse nr 106 „Tee projekteerimise normid” muutmise”, Riigi Teataja, 29.12.2021. Vaadatud: 3. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/131122021033>
- [9] „Tee projekteerimise normid, määrus nr 71”, Riigi Teataja, 17.11.2023. Vaadatud: 3. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.riigiteataja.ee/akt/122112023009>
- [10] „Elastsete teekatendite projekteerimine”. Transpordiamet, 2023.
- [11] „Muldkoha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhised”. Maanteamet, 5. jaanuar 2016.
- [12] T-Konsult OÜ, „Raskemate ja pikemate veoste mõju arvutamine riigiteede taristule”. 23. veebruar 2024.
- [13] „Maanteede_projekteerimisnormid.pdf”. Vaadatud: 10. aprill 2024. [Online]. Available at: https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1080/7201/1033/Maanteede_projekteerimisnormid.pdf#
- [14] „teekonstruktsioonide_projekteerimine_lo_2018-38_tierakenteen_suunnitlolu_tolge.pdf”. Vaadatud: 10. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2021->

- 10/teekonstruktsioonide_projekteerimine_lo_2018-38_tierakenteen_suunnittelu_tolge.pdf
- [15] „elastsete_katendite_juhendi_taiendamine_siirdeteguritega_2015_8.pdf”. Vaadatud: 10. aprill 2024. [Online]. Available at: https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2021-11/elastsete_katendite_juhendi_taiendamine_siirdeteguritega_2015_8.pdf
- [16] „liikluse_baasprognoos_eesti_riigimaanteedel_aastaks_2040.pdf”. Vaadatud: 10. aprill 2024. [Online]. Available at: https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2021-11/liikluse_baasprognoos_eesti_riigimaanteedel_aastaks_2040.pdf
- [17] L. Kaal ja T. Metsvahi, „Liiklusuuringu juhendi ja baasprognoosi koostamine”.
- [18] „Teeregister”. Vaadatud: 12. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://teeregister.mnt.ee/reet/search?featureId=10667475>
- [19] Transpordiamet, „Elastete teekatendite pojekteerimise juhend 2023”. Transpordiamet, 2023. [Online]. Available at: [file:///C:/Users/Kasutaja386/Downloads/KT_025_J21_r1_Elastete%20teekatendite%20projekteerimine%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Kasutaja386/Downloads/KT_025_J21_r1_Elastete%20teekatendite%20projekteerimine%20(1).pdf)
- [20] P. Talviste, „Eestis kasutatava katendiarvutusmetoodika kaasajastamise lähtekohtade alusuuring”. IPT Projektijuhtimine OÜ, 28. november 2022.
- [21] „The EU Parliament agrees on higher weight and dimensions for zero emission trucks”. Vaadatud: 3. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.sustainabletruckvan.com/eu-parliament-decision-weight-dimensions-trucks/>
- [22] „Maanteeamet ootab Kose-Mäo teelõigu suhtes ettepanekuid - Logistikauudised”. Vaadatud: 10. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.logistikauudised.ee/uudised/2008/11/07/maanteeamet-ootab-kose-mao-teeloigu-suhtes-ettepanekuid>
- [23] E. Puusaag, „Teede kandevõime hindamine enne massvedude lubamist”. AS Teede Tehnokeskus, 2016.
- [24] „Rail Baltic Estonia sõlmis järgmised Rail Baltica põhitrassi ehituslepingud - Rail Baltic Estonia”. Vaadatud: 3. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.rbestonia.ee/rail-baltic-estonia-solmis-jargmised-rail-baltica-pohitrassi-ehituslepingud/>
- [25] V. Jaanisoo, „Pinnasemehaanika”. Taltech Digikogu.
- [26] „Rail Baltica Global Cost-Benefit Analysis | Rail Baltica”. Vaadatud: 21. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.railbaltica.org/rail-baltica-global-cost-benefit-analysis/>