



TALLINNA
TEHNIKA KÕRGKOO

SKEPAST & PUHKIM

Sõidukite masside ja teljekoormuste seire – põhiaruanne



29.12.2018

Töö põhiteostaja andmed:

Asutus: AS VIACON Eesti
Registrikood: 10398015
Aadress: Meistri tn 12, 13517 Tallinn
Telefon: 6644500
E-post: viacon@viacon.ee
Veebiaadress: www.viacon.ee
Vastutav täitja: Margus Tali (telefon: 56350031, e-post: margus.tali@viacon.ee)

Töö kaasteostaja andmed:

Asutus: Tallinna Tehnikakõrgkool
Registrikood: 70003773
Aadress: Pärnu mnt 62, 10135 Tallinn
Telefon: 6664500
E-post: tktk@tktk.ee
Veebiaadress: www.ttkk.ee
Aruande koostajad: Martti Kiisa (telefon: 5299321, e-post: martti.kiisa@tktk.ee)
Karin Lellep (telefon: 5255496, e-post: karin.lellep@tktk.ee)

Töö kaasteostaja andmed:

Asutus: Skepast&Puhkim OÜ
Registrikood: 11255795
Aadress: Laki 34, 12915 Tallinn
Telefon: 6645808
E-post: info@skpk.ee
Veebiaadress: www.skpk.ee
Aruande koostajad: Urmas Konsap (telefon: 5167907, e-post: urmas.konsap@skpk.ee)
Ain Kendra (telefon: 5171055, e-post: ain@t-konsult.ee)

Tellijä andmed:

Ettevõte: Maanteeamet
Registrikood: 70001490
Aadress: Pärnu mnt 463a, 10916 Tallinn
Telefon: 6119300
E-post: info@mnt.ee
Veebiaadress: www.mnt.ee
Kontaktisik: Marek Kask (telefon: 55555951, e-post: marek.kask@mnt.ee)

SISUKORD

Sissejuhatus.....	4
1. Euroopa Liidu seisukohad massipiirangute ja raskeveokite osas	5
2. Ülevaade Euroopas enim kasutatavatest massipiirangute nõuetest.....	7
2.1. EMS ehk modulaarsõidukid	7
2.2. Üldregulatsioon	8
2.3. Eesti olukord ja kehtiv regulatsioon	9
3. Soome, Rootsi ja Norra massipiirangute poliitika.....	11
3.1. Soome.....	11
3.2. Rootsi.....	19
3.3. Norra	21
3.4. Lühidalt mujalt maailmast	23
4. Raskeveokitega seonduv liiklusohutus	25
4.1. Arendus	25
4.2. Liiklusohutuse meetmed	25
4.3. Rajatised, piirded ja täismassi suurendamine	27
5. Perspektiivid ja plaanid	28
6. Parimate lahenduste kirjeldused, mida on riikides rakendatud massipiirangute osas ja mis oleks Eestile sobilikud üle võtta	30
7. BWIM mõõtesüsteem	32
7.1. Süsteemi üldkirjeldus	32
7.2. Seadmete kirjeldus	34
7.3. Eeltööd seadmete paigaldamiseks	40
7.4. Seadmete paigaldamine	41
7.5. Kalibreerimine	50
7.6. Probleemide kirjeldus.....	51
8. Ülevaade Eestis veetavatest koormustest mõõtmispunktide põhjal	53
8.1. Valitud sillad	53
8.2. Mõõtetulemused.....	91
9. Esmane hinnang erinevate telgede mõju kohta	161
9.1. Kaalusüsteemidest.....	161
9.2. Rehvi laiuse ja rehvisurve mõju analüüs.....	161
9.3. Senise piirkoormuse ja uue võimaliku võrdlus	163
9.4. Mõõtmistulemustest	163
9.5. Statsionaarsete kaalupunktide andmевõrdlus	166
9.6. Siirdetegurite korrektureist	167
Kokkuvõte.....	169
Summary	170
Märkused	171
Lisa 1 – Sõidukite klassifikatsioon (iBWIM)	172
Lisa 2 – Kokkuvõte Liiklusseadus § 261'1 ja § 261'2 rikkumistest.....	176

SISSEJUHATUS

Vabariigi Valitsuse tegevusprogrammis aastateks 2015-2019 on püstitatud eesmärgiks suurendada investeeringuid riigimaanteedesse, et tõsta veoautode massipiiranguid ja seeläbi parandada Eesti maanteetranspordi- ja kaubavedude konkurentsivõimet. Samuti kavatakse diferentseerida massipiiranguid lähtudes sõidukite tegelikust mõjust teedele ja uurida ümarpuiduveol katseliselt rakendatud 52 t täismassipiirangu laiendamise võimalusi teistele veoliikidele. Selleks, et teha kaalutletud otsuseid teedesse investeerimise vajaduste ja massipiirangute leevendamise võimaluste kohta, on vajalik saada suhteliselt kiiresti hea ülevaade riigiteedel liikuvate veovahendite tegelikest massidest ja mõjust teedele ning selleks koguda suurel hulgal tegelike masside ja teljekoormuste alusandmeid riigimaanteed kasutavate sõidukite kohta. Täna kasutusel olevad sõidukite seire seadmed ei võimalda vajalikus mahus ja iseloomuga andmete kogumist, mistõttu on tarvis leida ja kasutusele võtta uuenduslikke sõidukite seirelahendusi.

Käesoleva Maanteeameti tellimisel valmiva uurimistöö eesmärgiks on koguda riigimaanteedelt informatsiooni sõidukite tegelike masside ja teljekoormuste kohta, kasutades selleks teisaldatavaid, sildadele ja viaduktidele paigaldatavaid mõõteseadmeid. Kahe aasta jooksul teostada kokku vähemalt 31 mõõtmist (2017. aastal 1 proovimõõtmine ning 2017. ja 2018. aastal 15 mõõtmist aastas). Mõõtmisi tehakse valitud sildadel kahel järjestikusel aastal, et saada ülevaade tegelikest koormustest ja muutustest aastate lõikes. Ühe mõõtmise kestvus igas mõõtmispunktis on vähemalt 7 ööpäeva.

Töö käigus valmis kokku kolm aruannet:

- I vahearuanne – sisaldab ühe silla proovimõõtmist (aruanne esitatud 07.07.2017);
- II vahearuanne – sisaldab 2017. ja 2018. aasta alguses mõõdetud sildu (aruanne esitatud 06.03.2018);
- põhjaruanne – sisaldab kõiki kahe aasta jooksul mõõdetud sildu ja lepingus ettenähtud analüüsi.

Aruande autorid:

- Margus Tali (AS ViaCon Eesti) – tööde koordinaator ja vastutav täitja;
- Martti Kiisa ja Karin Lellep (Tallinna Tehnikakõrgkool) – peatükid 7 ja 8;
- Urmas Konsap (Skepast&Puhkim OÜ) ja Ain Kendra (T-Konsult OÜ) – peatükid 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9.

Mõõtetulemused (andmetabelid ja fotod) edastatakse tellijale digitaalselt.

Aruanne on koostatud kokku 176 lehel.

Aruande valmimise kuupäev: 29.12.2018.

1. EUROOPA LIIDU SEISUKOHAD MASSIPIIRANGUTE JA RASKEVEOKITE OSAS

Euroopa Nõukogu Direktiiviga 96/53/EÜ, mida on muudetud Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiiviga (EL) 2015/719¹, 29. aprill 2015 on Euroopa Liidu ühenduses ilma erilubadeta liikuvatele maantesõidukitele kehtestatud lubatud maksimaalmõõtmed, teljekoormus ja täismass.

Direktiiv 96/53 sätestab kohustuslikud miinimumnõuded, mis tagavad rahvusvahelise transpordi tarbeks ühtse regulatsiooniruumi. Siseriiklikult on igal riigil võimalik neid piiranguid laiendada, see tähendab, suurendada masse või gabariite. Eriti riigid, kus siseriiklikud veokaugused on suured, on, kokkuleppel Euroopa Komisjoniga, kehtestanud täiendused, mis lubavad siseriiklikult kasutada ka direktiivis sätestatud pikemaid, kõrgemaid või raskemaid veokeid. Sellele tuginedes on Soome ja Rootsi kehtestanud üleriiklikult suuremad piirmäärad sõiduki pikkusele ja täismassile. Bilateraalsete lepetega on võimaldatud sellistel suurveokitel liikuda ka teistes riikides Mandri-Euroopas, üldjuhul vaid suurema pikkuse osas. Oluline täiendus käsitleb modulaarsõidukeid, mille puhul idee on selles, et pikemaid vahemaid magistraalteedel läbides lisatakse tavapärasele koosseisule täiendav haagis. Kauba edasiveol madalama klassi teedevõrgus, mis ei võimalda geomeetriaalt ülipikki vedukeid teenindada, veetakse haagised sihtpunkti ühekaupa. Modulaarsõiduki (EMS) pikkus on kuni 25,25 m ja täismass kuni 60 tonni. Sellised veokid on arvestatud reeglina kergema, mahulise kauba vedamiseks. Siseriiklikult on Põhjamaades pilootkasutuses ka pikemad ja raskemad vedukid, seda nii ümarpalgi kui ka kaevandustega seotud vedudes, kuid sel juhul on täpselt reguleeritud millistel teedel sellised liiguvad.

Muudatus direktiivis (täiendus) 2015 käsitles:

- lubatud pikkuse suurendamist aerodünaamikat parandava muudetava pikkusega tuulesuunaja paigaldamiseks veduki/haagise taha ja võimalust võtta kasutusele ka pikema esiosaga kabiinidega veokid, suurendamata seejuures sõiduki täismassi ja kaubaruumi pikkust;
- täismassi ja pikkuse suurendamist, et võimaldada 45-jala (13,72 m) pikkuste merekonteinerite probleemideta käitlemist multimodaalvedudes üldjuhul kuni 150 km sadamast – $2+3 = 42$ t ja $3+2/3+3 = 44$ t;
- busside täismassi suurendamist, kuna reisijad on paremas toitumuses kui seda eeldati algse regulatsiooni vastuvõtmisel ($B2 = 19,5$ t) ja kaasavõetava pagasi kogused on suurenenud;
- veduki täismassi suurendamist kompenseerimaks alternatiivsete kütuste kasutamisest tulenevat sõiduki omakaalu tõusu säilitamiseks võrdseid konkurentsitingimusi traditsiooniliste sõidukitega ($V2 = 19$ t; $V3 = 26/27$ t; $BL3 = 29$ t).

Muudatused ei käsitle tavapärase liikluse üldparameetreid.

EC 2015/719 sätestab kohustuse valida hiljemalt 27.05.2021 kas kasutatakse kaalujälgimise süsteemi OBW (pardakaal) või infrastruktuuri integreeritud WIM. OBW funktsionaalne spetsifikatsioon peaks valmima 2018 lõpuks, esmalt kavandatakse see paigaldada vaid uutele autodele, vanematele lisavarustuse võimalus avaneb alles 2023. WIM kaalujälgimise süsteemid on mitmes riigis (HU, CZ) juba kasutusel analoogselt kiiruskaameratega.

CEDR 2017 uuring „Conditions for efficient road transport in Europe“² analüüsis olukorda (Part 1, küsimustik jagati nii CEDR liikmetele kui ka mõnele Euroopa riigile, kes ei kuulu CEDRi), kirjeldas

¹ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0719&from=ET>

² <http://www.cedr.eu/download/Publications/2017/2017-5-Conditions-for-efficient-road-transport-report.pdf>

kehtivaid regulatsioone (Part 2, sealhulgas erinevates riikides kehtestatud piirangud, tuues näitena nii VELUB süsteemi kui hooajalised piirangud mida kasutavad nii Eesti, Norra kui Kanada) ning käsitles multimodaalseid vedusid ja FALCON projekti (Part 3). FALCON raames peaks 2018 sügiseks olema loodud süsteem, et hinnata erinevate vedukite ja infrastruktuuri vastavust.

FALCON raames on esitatud käsiraamat (vahearuanne)³, mis näitab et Euroopa Komisjoni soovitud vedude viimine maanteelt raud- ja mereteedele ei ole sugugi lihtne ja pahatihti ka võimalik, siiski näidatakse aruandes põhilised tegevussuunad, mis võiksid aidata vedusid suunata. Vastavalt FALCON projekti arengutele täiendatakse peatükki käesoleva projekti lõpparuande faasis (2019).

³ http://www.cedr.eu/download/Publications/2017/CR-2017-7_Call-2015-Freight-and-Logistics-in-a-Multimodal-Context_Understanding-what-influences-modal-choice.pdf

2. ÜLEVAADE EUROOPAS ENIM KASUTATAVATEST MASSIPIIRANGUTE NÕUETEST

2.1. EMS ehk modulaarsõidukid

Erinevates riikides on tehtud rida pilootprojekte EMS (European Modular System) rakendamiseks. See sisaldab vaid sõidukite konfiguratsiooni muutuse, mis toob kaasa vastava üldpikkuse piirangu 25,25 meetrit, kuid puudub ühine kava täismassi suurendamiseks. Kogupikkuse suurendamine toob kaasa täiendavad nõuded rahvusvaheliste trasside äärsetele tanklatele ja puhkepeatustele. EMS veduki pöördekoridori välispiir ei muutu, kuid pöörde siseraadius on väiksem kui tavalii kluses arvestatud. Seetõttu on oluline, et EMS sõidukite lubatud trajektooridel peaksid olema kas laiendatud pöörderajad ristmikel või võimalus sõidukil pöördel kahte pöördetada kasutada.

Linnatänavate standardis EVS 843:2016 on juba sellega arvestatud ning tanklate ja puhkekohtade nõuded vastavad EMS sõidukitele, soovitusena rahvusvahelistele magistraalidele ja nende ühendusteedele. Maanteede projekteerimismõõnetes seni vastavad sätted puuduvad, kuid ilmselt on aja küsimus, millal tuleb ka Eestis arvestama hakata pikemate vedukitega.

Pilootprojektide üldistatud järeldus on kogupikkuse toetamine, kuid täismassi piirangu üldist tõstmist ei kavandata. Sellel on mitu põhjust, nii infrastruktuuri kandevõimes (eriti on tegemist sildadega) kui ka suuremale täismassile vastavate piirete puudumises.

Ilmselt on siiski otstarbekas eraldi käsitleda siseriiklikke vedusid (sh metsavedu) ja piiriüleseid vedusid (rahvusvahelised transiitveosed). Piiriüleste vedude suhtes toimib bilateraalne suhtlus naaberriikide vahel ja konkreetsete juhtude puhul lahendatakse piirangute ühtlustamine naaberriikide vahel vastava riikidevahelise leppega. Sellised lepped toimivad Skandinaavia riikide vahel, aga ka teatud ulatuses Taani ja mandri-Euroopa riikide vahel. Hollandis, Norras, Taanis ja Saksamaal on modulaarveokid (EMS) lubatud vaid piiratud osal teedevõrgust. Piiriülese koostöö tulemusel on ka Eestis lubatud pikkust suurendatud kuni 20,7 meetrini seda sõidukeid vedava autorongi jaoks (Venemaal lubatud piirpikkus).

2.2. Üldregulatsioon

Unifeeder esitab lubatud kasuliku koorma massipiirid⁴ erinevates riikides vastavalt erinevatele veokitüüpidele (konteineri või haagise kasutusel) – siseriiklikele multimodaalsetele vedudele (kaasavad lisaks autovedudele ka raudtee või laeva).

Tabel 1. Lubatud kasuliku koormuse mass erinevates konteinerites (*20'DC – 6-meetrine; 40'DC – 12-meetrine; 45'HCPW – 13,7-meetrine konteiner)

Country	20'DC	40'DC/HC	45'HCPW
Belgium	23,000	26,000	26,000
Czech Republic	28,250	26,600	27,500
Denmark	24,000	26,600	28,500
Estonia	24,000	23,000	22,000
Finland	28,250	26,600	28,500
France	22,000	23,000	23,000
Germany	24,500	22,500	22,000
Ireland	26,000	26,000	26,000
Italy	24,000	26,600	26,000
Latvia	24,000	23,000	22,000
Lithuania	24,000	23,000	22,000
Norway	28,250	26,600	28,500
Poland	19,000	21,500	21,500
Portugal	23,000	25,500	25,500
Russia	21,000	21,000	21,000
Spain	24,500	24,500	24,500
Sweden	28,250	26,600	28,500
The Netherlands	28,250	26,600	28,500
UK	26,000	26,000	26,000

Exceptions:	
Baltic States	Up to 26MT payload is accepted against a surcharge.
Germany	26 MT/40' is possible under the so-called 'Nahverkehrsregelung', i.e. if containers are carried to/from port via hinterland barge terminal or railhead (max 150 km distance).

⁴ <http://www.unifeeder.com/C1257026006095A6/0/3A0EABA44B83E542C125794C00324950>

2.3. Eesti olukord ja kehtiv regulatsioon

Eestis juhindutakse üldreeglina täpselt euroregulatsioonist tulenevatest nõuetest (teljekoormus, täismass 40/44 tonni). 2009. aastal tõstis ka Eesti lubatud massi, kuid ainult 44 tonnini nagu nähti ette konteinervedudega seonduvalt. 44-tonniseid autoronge on lubatud kasutada juhul, kui autorong koosneb vähemalt 3-teljelisest veokist, kolme ja enama teljega haagisest või poolhaagisest. Suurema massiga autorongide liikumine on Eestis võimalik ainult eriloaga. Erandina on rakendatud kuu teljeliste autorongide piirang 48 tonni ja 7-teljelistel 52 tonni algselt metsavedudele, alates 01.07.2018 laiendatuna ka teistele vedudele. Siseriiklikult on kehtestatud nõuded paarisrataste kasutuseks mittepööravatel telgedel ja GPS-salvestusseadme kasutuse kohustuslikkusele, mis võimaldaks kontrollida, et suurendatud massiga sõidukid liikleksid ainult nendel teedel, mille kohta vastav regulatsioon laieneb.

Eesti autovedajad on halvemates tingimustes kui konkurendid Skandinaaviast, sest Soomes ja Rootsis on lubatud mass üle 60 tonni (vt Soome: p 3.1.4).

Lätis on lubatud koormus riigiteedel samuti 48 tonni. Töögrupp Atis Zarinši juhtimisel tegi ettepaneku siduda piirang lisaks paarisrataste kasutuskohustusele ka muudetava rehvisurve nõudega, kuid seda nõuet ei rakendatud, kulutusi sõidukite moderniseerimiseks peeti liiga kalliks.

Raskeliikluse liiklusohutusega seonduvaid analüüse Eestis tehtud ei ole, õnnetuste registreerimise süsteem ei erista raskeveokeid. Teiste riikide uuringutest on teemat käsitletud Soome uuringute all. Raskeveokite puhul on lisaks veokite tehnilisele seisukorrale ohuteguriks adekvaatsete puhkealade puudus, mille tõttu on liikluses üleväsinud juhid. Nende mõlema faktori suhtes on võimalik vaid tihedam liiklusjärelvalve. Viimaste aastate statistika näitab, et tihti satuvad rasketesse õnnetustesse lõunapoolsetest riikidest pärit juhid, kel puudub adekvaatne libedasõidu kogemus (Poola, Türgi).

CEDR kokkuvõtetest selgub, et maksimaalne koormus, millega katsetatakse teepiirdeid on 30 tonni veokil ehk 38 tonni autorongil ja seetõttu on ka Saksamaa võtnud selge seisukoha pikemate sõidukite lubamise, kuid täismassi suurendamisest keeldumise kohta. Saksa eripäraks võib lugeda suurt kiirteede ulatust ja sellega seonduvalt eritählepanu kiirteede sildade ja viaduktidega seonduvale ohutusele. Eestis ei ole seda probleemi veel nii kriitilisena tunnetatud. Pigem on Eestis olnud probleeme sõidukite kõrgusgabariidi järgimisega, seda eriti ehitusperioodil. Soomes on tõstetud ka piirkõrgust, kuid ilmselt tuleb meil sellest hoiduda.

2.3.1. Liiklusseaduse muudatus (jõustus 01.07.2018)

Liiklusseaduse §34¹ täiendamise seaduse (eelnõu 480 SE, jõustus 01.07.2018) järgi lisati lõige 8, mis sätestab et jagatavat veost võib vedada eriveona, kui korraga on täidetud lisaks lõike 7 nõuetele:

- veduk kuulub EURO V või vähem saastavasse heitgaasiklassi;
- kõik teljed v.a. veduki pööratavate ratastega teljed on paarisratastega;
- tegelik mass ei ületa 3+3 autorongil 48 tonni või 3+4 või 4+3 52 tonni.

Reeglit tõlgendatakse kui vähemalt 26 rehvi reeglit – kolmeteljelisel vedukil ei ole mitut pööratavate ratastega telge, seega on kolmeteljelisel vedukil 10 ratast. Pööratavate ratastega telgede erand kehtib ainult vedukile, seega haagisel peavad olema kõik teljed paarisratastega.

- 48-tonnise täismassiga autorongil on seega kokku 22 ratast;

- 52-tonnise sõiduki puhul võime eeldada, et neljateljelisel vedukil on kaks pööratavate ratastega telge, vedukil 12 ratast ja haagisel 12, kokku 24 ratast; kolmeteljelise veduki puhul 10 ja haagisel 16 ehk kokku 26 ratast.

Eeltoodud laiendus kehtib nüüd kõigi jagatavate veoste suhtes, sealhulgas näiteks ehituse puistematerjalide veol, autorongi pikkust ei ole suurendatud. Sõidukite veoks kasutatava autorongi pikkust on suurendatud kuni 20,75 meetrini, selle põhjuseks on ilmselt Eesti sadamatest Venemaale viidavate uute sõidukite veoks kasutatavad Vene autorongid, sest selline üldpikkus on Venemaal lubatud. Euroopa regulatsioonid sellist erandit ette ei näe, kuid liikmesriigil erandi kehtestamist piiratud ei ole.

2.3.2. VELUB

Maanteeameti erilubade süsteem VELUB võimaldab läbi Maanteeameti e-teeninduse taotleda erilubasid suur- ja/või raskevedudele. Lisaks annab VELUB ka ülevaate taotlejale juba väljastatud erilubade kohta. Sõidukitel, mille täismass on suurem kui direktiiviga üldiselt lubatud (40/44), peab liiklemiseks avalikel teedel olema eriluba.

2.3.3. Eesti Politsei poolsed kontrollkaalumised

Politsei- ja Piirivalveametis (PPA) on hetkel kasutusel kuus kaalubussi. Kaalutud sõidukite arvud on PPA infosüsteemist kättesaadavad alates 2016. aastast. Andmed on nähtavad lisatud tabelis 2. Rikkumiste osas saab PPA infosüsteemist andmeid välja võtta vaid liiklusseaduse paragrahvide, lõigete ja õigusnormide kohta. Kommertssõidukite täismassi ja teljekoormuse rikkumiste puhul saab välja tuua politsei poolt registreeritud liiklusseaduse § 261¹ ja § 261² rikkumiste andmed (üldiselt on ühe juhtumi puhul rikutud nii täismassi kui ka teljekoormuse piiranguid). Suuremad näited ei ole PPA infosüsteemist lihtsasti kättesaadavad, kuna politsei ei kogu andmeid sellisel kujul.

Tabelis 2 on toodud andmed liiklusseaduse § 261¹ ja § 261² rikkumiste ning kaalutud sõidukite arvu kohta. Andmed on toodud aastate 2015-2017 ning 2018. aasta nelja kuu kohta. Võrreldud on 2017. aastat 2016. aastaga. 2014...2017 regionaalne statistika on esitatud lisas 2.

Tabel 2. Politsei- ja Piirivalveameti poolt registreeritud liiklusseaduse § 261¹ ja § 261² rikkumised 2015-2017 ja 2018. aasta nelja kuu kohta. Andmed on võetud seisuga 27.06.2018 [allikas: PPA ALIS (MIS)].

	2015	2016	2017	2018 4 kuud	2016/2017	2016/2017 muutuse %
Liiklusseaduse § 261 ¹ ja § 261 ² rikkumised	942	1 074	1 223	419	+149	+14%
Kaalutud sõidukite arv	-	1 287	1 443	504	+156	+12%

3. SOOME, ROOTSI JA NORRA MASSIPIIRANGUTE POLIITIKA

Nii Soome kui Rootsi massipiirangud on arenenud välja pikema aja jooksul. Mõlemal riigil on suuremate sõidukite kasutamise põhjuseks suured veokaugused metsaveol ja mõlemal juhul on tegemist ka autotööstuse lobiga (Soome Sisu, Rootsi Volvo ja Scania), mis võimaldab neil pakkuda läbi proovitud lahendusi ka mujal maailmas. Norra on paljuski järginud Rootsi kogemust vastavalt võimalustele. Nii Rootsi kui Norra kasutavad teede kandevõime liigitamist lubatud teljekoormuse alusel.

Et kõigil kolmel riigil on maanteed rajatud valdavalt tardkivimist aluspõhjale, siis on kriitiliseks osutunud sillad ja seetõttu on kõigil arvutustes sees sillareegel, mis sätestab lubatava täismassi seoses autorongi esimese ja viimase telje vahekaugusega. Alles viimaste aastatega on hakatud rohkem tähelepanu pöörama korduvkoormuse mõjule madalama koormusklassiga teedel ja võib rääkida Saarenketo koolkonnast. Kuna põhiteed on suhteliselt tüsed katendikonstruktsiooniga, katendi ressurss (miljonites telgedes) on üsna suur, siis korduvkoormuse mõju teede elueale on mõõdukas ja staatilise koormuse võtab katendikonstruktsioon vastu sest teljekoormus vastab tavanormidele. Probleemsemaks on osutunud kohalik teedevõrk, kus tegemist on valdavalt siirdekateenditega (kruusatee) aga ka õhukese asfaltkattega (tolmuvabad teed), kus mõjuvad nii staatiline koormus kui dünaamiline. Õhukese katte tõttu võtab koormuse vastu konstruktsiooni alakiht või koguni aluspinnas ning deformatsioon ei jõua taastuda enne järgmise telje läbikut, mistõttu areneb välja jäävdeformatsioon.

Rootsi on olnud eesliikuja, seda eriti autotööstuse surve. Mõlemal juhul (nii Rootsi kui Soome) on täismassi tõstmist alustatud külmunud olukorrast hooajalisena – et põhiorhk on olnud sildadel, siis on vähem tähelepanu pööratud teekonstruktsioonidele. Põhiteedel ei ole see suuremaid probleeme põhjustanud seetõttu, et nii Soomes kui Rootsis on teekonstruktsiooni aluseks suhteliselt tüse graniitkillustikukiht (vähemalt 50 cm).

3.1. Soome

3.1.1. Uuringutest

Soomes kehtivad piirangud alates 01.10.2013, millega tõsteti piirmäärasid ja sätestati üleminekuaeg kuni 30.04.2018. Joel Ahonen (MAMK) on oma diplomitöös autoinseneri aspektist teemat analüüsinud (2015⁵) ja kirjeldanud detailsemalt arengut perioodil 1920-2015.

Väga hea ülevaatliku materjali on koostanud Volvo Trucks⁶ ning see kajastab alates 01.03.2017 Soomes kehtivaid piiranguid.

Liimatainen ja Nykänen⁷ on uurinud massipiirangute suurenemise majanduslikku mõju transpordisektori siseselt, kuid seejuures ei ole käsitletud otsuste mõju teedevõrgule.

⁵ https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/88541/Ahonen_Joel.pdf?sequence=1

⁶ http://www.volvotrucks.fi/content/dam/volvo/volvo-trucks/markets/finland/trucks/Kokonaispainojuliste_web_2017_VL.pdf

⁷ <http://www.tut.fi/verne/aineisto/LiimatainenNykänen.pdf>

Palander (2017⁸) on samuti analüüsinud massipiirangu tõstmise mõju puidusektori vaatevinklist, kuid seejuures viidanud paremast koormusjaotusest tulenevale positiivsele mõjule tee konstruktsioonis. Samas ei ole siiski toodud välja konkreetseid uuringuid väidete tõestuseks.

Saarenketo ja Kolisoja on mitmes uuringus käsitlenud raskeveokite liikumist pinnasteedel ja õhukese kattega kohalikel teedel. Põhiliseks probleemiks on tunnistatud kõrge veetase teekonstruktsioonis. Katselõikudel on uuritud deformatsioonide taastumise kiirust – mitmeteljelise raskeveoki läbiku järel võib katend taastuda koguni poole tunni jooksul. Konstruktsiooni pinnakihtide kahjustamist kahandab oluliselt rehvirõhu reguleerimine – nõrkadel teedel madala kiirusega liikudes kahandatakse rehvirõhk tasemele 0,2-0,4 MPa ja taastatakse põhivõrgule jõudes. OBW (on-board-weigh) süsteeme on kasutatud seni vaid katsete läbiviimiseks, samuti ülipikkade sõidukite mõju hindamiseks sest OBW süsteemid on seni olnud suhteliselt kallid ning tegemist on ainult seiresüsteemiga. Reguleeritava rehvirõhu nõue on nõrgematel teedel, eriti metsaveol, vajalik ja see võib olla eelduseks, et metsavedu üldse lubada nõrgema kandevõimega teedel.

3.1.2. Ajalugu

Piirangute kehtestamise ajaloost on hea ülevaade antud Liikennevirasto uuringus 48/2017⁹, millest olulisemat refereerime järgnevalt.

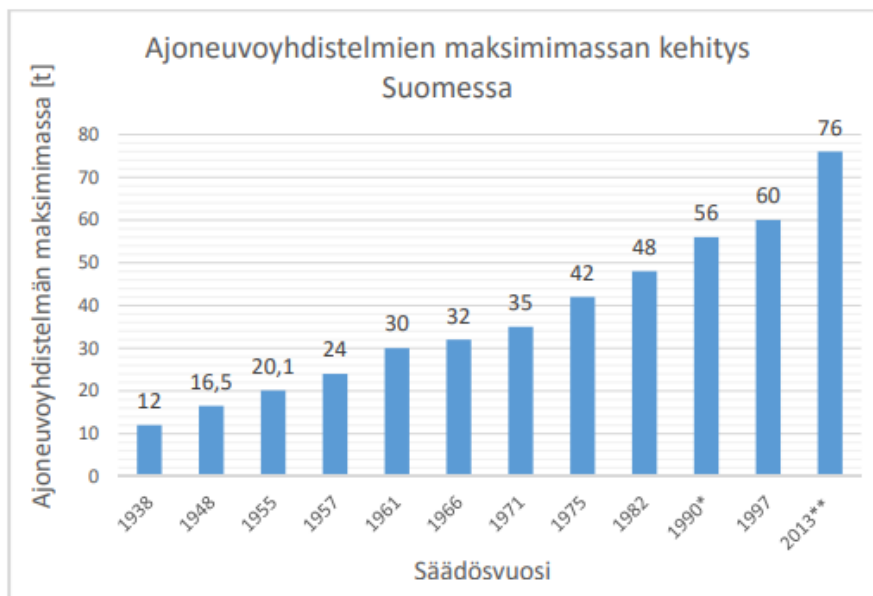
Esimene veoauto toodi Soome 1905, nende registreerimist alustati 1914 kui veokeid oli ca 200 tk. Sada aastat hiljem, 2014, oli registris 138 077 veokit. Kuni 1922 seadusandlus ei piiranud täismassi, autotootjad deklareerisid selle ja number fikseeriti (üldiselt 1,5...10 tonni). 1922 piirati täismass kattega teedel (looduskivi, killustik) 6 tonniga (sellised teed olid vaid Helsingis), 1 klassi maanteedel 4,5 tonniga ja 2 klassi maanteedel 3 tonniga.

Mootorid suurenesid, telgede arv kasvas ja täiskummist rehvide asemel võeti kasutusele õhkrehvid ning täismassi tõsteti sammhaaval, 1938 sätestati kolmeteljelise veoki täismassi piiriks 10,5 tonni. Samal aastal piirati ka autorongi mass 12 tonniga. Edasi on toimunud üsna ühtlane ja pidev areng, mida iseloomustab joonisel 1 esitatud graafik. Autorongi kogupikkuse piirang jõudis 1960 18 meetrini ja kõrgus 1966 4 meetrini. 1975 tõsteti täismassipiirang 42 tonnini ja sõiduki pikkus 22 meetrini. 1990 suurendati täismass 56 tonnini ja talveperioodil lubati ka 60 tonni. 1997 võeti üle eurodirektiiv 96/53 ja EMS võimalus.

2013 täiendati nõudeid kuni 76 tonnise täismassin ja sätestati üleminekuajaks kuni 30.04.2018, mille jooksul lubati 7-teljelisele autorongile 60 tonni asemel 64 tonnine ülempiir.

⁸ <http://www.sdewes.org/jsdewes/dp73e1f801357f78f56dd24dc023370cdf64b9aa6e>

⁹ https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2017-48_hct-ajoneuvoyhdistelmien_web.pdf



Joonis 1. Täismassipiirangu areng Soomes

Üldpiirang pole ainus, autorongidele kehtib ka seadusega nõue, et kuni 22 meetriste rongide puhul haagiste täismass ei tohi ületada 1,7 kordset veduki täismassi ja pikematel 2,5 kordset.

Nelja- ja viieteljeliste veokite ja üle 44 tonniste autorongide jaoks kehtib ka sillareegel, mille eesmärgiks on vältida liialt suurt koormuse kontsentratsiooni.

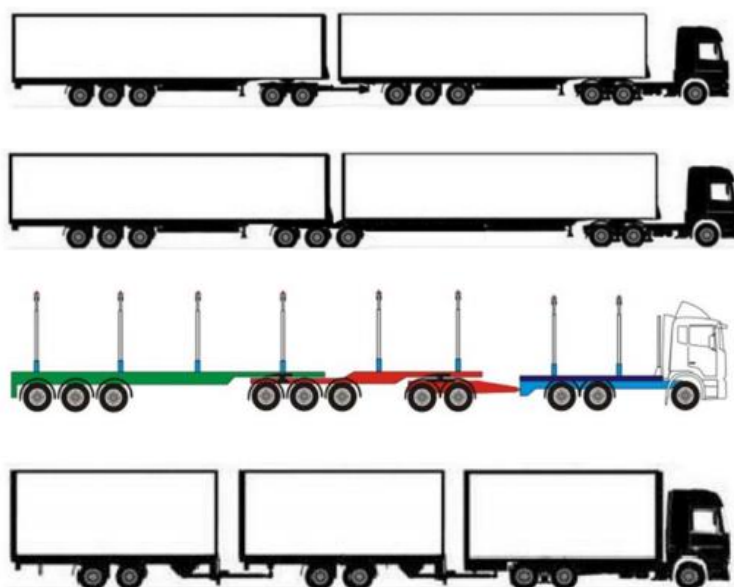
Autorongide enamlevinud liigid:

- Sadulveok poolhaagisega – veoki täismass võib kaheteljelisena olla 18 tonni, kolmeteljelisena (tandem-telikuga) 26 tonni. Poolhaagis on kaheteljeline (20 t) või kolmeteljeline (24 t) ja selle pikkus ühendusliigendist tahapoole on kuni 12 meetrit (autorongi pikkus 16,5 meetrit) ja veduki esiosani vähemalt 2,04 m. Laiuse osas on üldpiir 2,6 m ja Soomes lubatakse kõrguseks 4,4 meetrit. Haagise esiosa koormus langeb veduki liigendile. Sõltuvalt telgede konfiguratsioonist on seega täismass 36 kuni 48 tonni. Selliste sõidukite kasutus on enamlevinud rahvusvahelistel vedudel. Kui vedukil on rohkem kui kaks telge, võidakse osa tagatelgedest osalise koormuse puhul üles tõsta.
- Veok kesktelghaagisega – haakeühendus võtab piiratult vastu ka vertikaaljõu, mis ei tohi ületada 1000 kg ja samas ka kuni 10% haagise massist. Haagise täismass kaheteljelistel on kuni 20 tonni, kolmeteljelistel 24 tonni. Autorongi täismass ei ületa 44 tonni. Rongi kogupikkus võib olla kuni 18,75 m kuid kaubaruumi kogupikkus ei tohi ületada 15,65 m. Kesktelghaagist võib kinnitada ka poolhaagise taha ja sel teel saadakse modulaarsõiduk (EMS).
- Veok täishaagisega - täishaagisel on vähemalt üks telg haagise esiosas mis on pööratav koos haakekolmnurgaga ja vähemalt üks telg tagaosas, mistõttu veok ei võta vastu vertikaaljõudusid. Haagise esitelik on ühe- või kaheteljeline ja tagatelik ühe kuni neljateljeline. Enamlevinud on nelja- ja viieteljelised haagised. Osa haagise telgedest võidakse teha tõstetavad, juhtivad (rooli pöörde alusel) või juhitavad (haarde kaudu). Haagise pikkus esiteliku pöördepunktist loetuna on kuni 22 m üldpikkusega autorongidel kuni 12,5 m ja pikematel kuni 12 m. Kui kuni 22-m on lubatud laius 2,6 m siis pikematel ei ületa see 2,55 m (v.a. juhul kui tegemist on termoisoleeritud haagisega, millisel lubatakse samuti 2,6 m). Veok ise on üldjuhul 2...5 teljeline, osa telgi võib olla ülestõstetavad ja/või pööratavad. Veoki täismass sõltub

telgede konfiguratsioonist, rattatüübist ja vedrustusest ning on vahemikus 18 tonnist (2-teljeline) 42 tonnini (5-teljeline), pikkus kuni 12 meetrit ja kõrgus 4,4. Veoki ja täishaagise ühendamisel võime saada modulaarsõiduki (modulaarseks liigitatakse üle 22 meetrine autorong). Autorongi täismass sõltub konfiguratsioonist, kaheteljeline veduk kaheteljelise täishaagisega võib olla 36-tonnine, kolmeteljelise veduki ja kolmeteljelise haagisega 53 tonni ja neljateljeline veduk kolmeteljelise haagisega 60 tonni.

- EMS – modulaarsõiduk on paremini visualiseeritud Norra näite puhul. EMS-regulatsioon käsitleb ainult pikkust, massipiirangu sätestab iga riik ise. Soome regulatsioon võimaldab täismassi kuni 76 tonni eeldusel, et rongis on vähemalt 9 telge ja vähemalt 65% massist langeb paarisratastega telgedele ning vähemalt 20% massist on veotelgedel. EMS eelised ilmnevad rahvusvahelises kaubaveos, kus näiteks poolhaagis tuleb laevale tavaõidukina (2+3) või koguni reisib ilma vedukita ja veetakse edasi EMS konfiguratsioon. Soomel ja Rootsil on ka EMS mõiste puhul eri käsitlused – Soomes lubatud 13,6 meetrine täishaagis tuleks Rootsis teisendada tugivankriga poolhaagiseks. Veoki ja täishaagise maksimumpikkuseks on Rootsis 24 meetrit.

Lisaks üldregulatsiooniga kaetud osale on erilubadega võimalik pilootprojektidena kasutada ka tavapärasest suuremaid HCT autoronge (High Capacity Transport). Põhiliselt on sellisena kasutuses kahe haagisega vähemalt 11-teljelised rongid. Eriload on pikemaajalised erinevalt ühekordsete eriveoste regulatsioonist, load antakse uue tehnika katsetamiseks. Üldiselt pikkus jääb alla 35 meetri ja täismass ulatub 104 tonnini.



Joonis 2. Soomes pilootprojektina kasutusel olevad eriti pikad autorongid

3.1.3. Suuremad sõidukid ja liiklusohutus

Juba viidatud uurimus¹⁰ käsitleb põhjalikumalt raskeveokite seost liiklusohutusega. Liiklustehniliselt on raskeveoki ruumivajadus suurem ja see võetakse arvesse taandusteguriga (veok taandatakse sõiduautodeks). Kui tavaolukorras vastab veoauto kahele sõiduautole, siis mägisel lõigul on teguriks

¹⁰ https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2017-48_hct-ajoneuvoyhdistelmien_web.pdf

5,5 (uuringutes mägiseks liigitatud teid siiski Eestis ei esine). Raskeveok vajab siiski pikal tõusul ka roomamisrada mida taandusteguri kasutus ei kajasta. Kui veokite ja autorongide kiirus on piiratud 80 km/h tasemele üldisest 90 km/h (või ka suuremast) tasemest lähtuvalt, ja tavaliselt kasutatakse ka kiiruspiirikuid, siis need raskesõidukid genereerivad möödasõiduvajaduse liikluses. Üldjuhul sõltub keskmine kiirus ka raskeliikluse osakaalust, kuigi sõltuvalt konkreetsete mõõtepunktide asukohast ei pruugi see ka nii väljenduda. Mõju on suurem teelõikudel, kus üldpiirangut on tõstetud ning selgelt tuntav kui raskeliikluse protsent ületab 20, samuti teedel mille geomeetria on ebasoodne (möödasõidunähtavusega alasid napib, muutlik kiiruspiirangute režiim). Möödasõiduvõimaluste puudumisel koguvad aeglasemad sõidukid enda taha kolonni ja pidurdavad järel liikujaid, moodustades samas tühikuid enda ette. Keskmine autojuht võtab möödasõidu ette, kui vastutulevas liiklusvoos on vähemalt 30 sekundine intervall. Pikkadel sõidukitel kasutatakse ka erimärgistust.

3.1.4. Kehtivast regulatsioonist

2017 kehtestatud siseriiklik regulatsioon 240/2017¹¹ sätestab alljärgnevad massipiirangud ühenduses EL regulatsiooniga:

- kaheteljeline sõiduk v.a. buss – 18 t;
- kolmeteljeline auto – 25 t;
- kolmeteljeline auto, kui vedav telg paarisratastega ja õhkvedrustuse või analoogsega või mõlemad veoteljed paarisratastega ja ühelgi teljel ei ole üle 10,5 tonni – 26 t;
- kolmeteljeline auto, kui telgedest kaks on paarisratastega või teine tagatelg on pöörav ehk pööratav ja vähemalt 385 mm rehvidega ja veotelg paarisrataste ja õhkvedrustusega – 28 t;
- kolmeteljeline liigendbuss – 28 t;
- neljateljeline auto – 31 t;
- neljateljeline auto, kui vedav telg paarisratastega ja õhkvedrustusega või analoogsega, või mõlemad veoteljed paarisratastega ja ühelgi teljel ei ole üle 10,5 tonni – 35 t;
- viieteljeline auto – 42 t;
- kaheteljeline buss – 19,5 t;
- auto mass ei tohi siiski ületada väärtust, mis saadakse 20 tonnile lisades igale 10 cm-le, mille võrra on esimese ja viimase telje vahe pikem kui 180 cm, neljateljelisel autol 320 kg, viieteljelisel autol 350 kg (sillareegel);
- alternatiivkütustega sõiduki mass võib olla suurem kuni 1 tonni, kui see lisa tuleneb alternatiivkütusest ja ei suurenda sõiduki kandevõimet.

Sama regulatsioon sätestab piirangud sõiduki pikkusele:

- M-klassi sõiduk (sõiduauto või buss) ja autorong (v.a. poolhaagisega) ning pakiauto (N1) ja autorong (v.a. poolhaagisega) – 18,75 m;
- poolhaagisega sõiduk – 16,5 m;
- autorong vedukist ja täis- või kesktelghaagisest – 18,75 m, millest kabiini tagapool paikneva veoruumi summaarne pikkus 15,65 m ja kaugus veoauto veoruumi esitsast haagise veoruumi tagaotsani 16,4 m ning kogu autorongi pikkus koormaga – 20,75 m;
- veduki (N2, N3) ja kahe- või enamateljelise haagise, veduki abihaagise ja poolhaagise, aga ka veduki, poolhaagise ja selle taha ühendatud kesktelg- või poolhaagise ühendus – 25,25 m, millest kabiini taga paiknevate kaubaruumide summa – 21,42 m.

¹¹ <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170240>

Sõidukid, mis on varustatud aerodünaamiliste lisanditega, vastavalt direktiivile 215/719, võivad olla pikemad vastavuses direktiivile, kuid nende kaubaruumi pikkus ei tohi seeläbi suurened.

Sõidukid, mis on varustatud ohutusnõuetele vastavate kabiinidega, vastavalt direktiivile 215/719, võivad olla pikemad vastavuses direktiivile, kuid nende kaubaruumi pikkus ei tohi seeläbi suurened.

Autorongid, millega veetakse 45 jalaseid (13,72 m) konteinereid ja samas mõõdus vahetushaagiseid direktiivis sätestatud intermodaalvedudel, võivad olla kuni 15 cm pikemad.

Regulatsioon 47/2017¹² sätestab siseriiklikuks liikluseks alljärgnevad piirangud:

Teljekoormus:

- kaheteljeline telik (tandem), kui:
 - telgede vahe on alla 1,0 m – 11,5 t;
 - telgede vahe on 1,0-1,3 m – 16 t;
 - telgede vahe on 1,3-1,8 m:
 - üldjuhul – 18 t;
 - mõlemad vedavad teljed on paarisratastega ning teljekoormus ei ületa 9,5 t – 19 t;
 - mõlemad teljed on paarisratastega ja õhkvedrustusega – 20 t;
 - mõlemad vedavad teljed on paarisratastega ja õhkvedrustusega ning teljekoormus ei ületa 10,5 t – 21 t;
- kolmeteljeline telik (tridem), kui:
 - telgede vahe on alla 1,3 m – 21 t;
 - telgede vahe on vähemalt 1,3 m – 24 t;
 - telgede vahe on vähemalt 1,3 m ja vähemalt kaks telge on paarisratastega – 27 t.

Autorongi täismass, lisaks teljekoormuse piirangutele:

- vedukil poolhaagisega:
 - 5-teljelisel – 48 t;
 - Vähemalt 6-teljelisel – 52 t;
- veokil kesktelghaagisega – 44 t;
- autol haagisega; auto, abihaagise ja poolhaagise ühendusel või autol kahe poolhaagisega või auto, poolhaagise ja kesktelghaagise ühendusel:
 - 4-teljelisena – 36 t;
 - 5-teljelisena – 44 t;
 - 6-teljelisena – 53 t;
 - 7-teljelisena – 60 t;
 - 8-teljelisena – 64 t;
 - 8-teljelisena, kui vähemalt 65% haagiste täismassist langeb paarisratastega varustatud telgedele – 68 t;
 - vähemalt 9-teljelisena – 69 t;
 - vähemalt 9-teljelisena, kui vähemalt 65% haagiste täismassist langeb paarisratastega varustatud telgedele, 74 t;
 - telgede arvu loendamisel ei arvestata telge, mille koormus on väiksem kui 5 tonni;

¹² <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170047>

- o autorongi täismass, mis ületab 44 tonni, ei tohi siiski ületada eelpool viidatud sillareeglis sätestatud;
- o autorongi, mille täismass on üle 40 tonni, auto tagumise telje ja üle 10 tonnise järelhaagise esimese telje vahe peab olema vähemalt 3 meetrit;
- o kui autorongi täismass on üle 68 tonni, peab autorongi kogumassist vähemalt 20 % olema vedavatel telgedel;
- o üle 44 tonnise autorongi veduki võimsus peab olema vähemalt 5 kW iga tonni kohta.

Sõiduki suurim kõrgus – 4,40 m (seda mõõtu ei tohi ületada ka ilma koormata ja tõstetud telje üla- asendi korral). Kui kõrgus on üle 4,20, peavad juht ja veose tellija tagama, et soovitatavat trassi on võimalik läbida ilma ohtudeta.

Sõiduki suurim laius – 2,6 m, sõiduautil 2,55 m.

2013 kehtestatud piirangutele (üleminek 76 tonnile ja kõrguse suurendamine 4,4-ni) sätestati ka üleminekuperiood, mis lõpeb 2018 sügisel ja võimaldas suuremaid koormusi ka senistele veokitele ilma tehniliste uuenduste nõueteta – üleminekuperiood saab kohe otsa ja seetõttu käesolevas töös neid detaile ei käsitleta. 2014 alustati ka teedevõrgu tugevdamisega, mis peaks toetama täismassi tõstmist, tööd keskendusid peamiselt sildadele, kõrguse osas ka altpääsudele.

3.1.5. Soomes kavandatud täiendused

Ministeerium on kavandanud, tuginedes pilootprojektide, mis võimaldasid kuni 33-meetrise sõidukite proovikasutust alates 2013 aastast (kokku liikles teedel ca 30 sellist sõidukit), tulemustele, lubada kuni 33-meetrise sõidukite liiklust kogu teevõrgul alates 2019 sügisest¹³. Pilootkasutuses katsetati muuhulgas kaht merekonteinerit vedavaid autoronge ja kuni 100-tonnise täismassiga autoronge¹⁴. Ministeerium on käivitanud ka protsessid täismassi suurendamiseks, kuid selles osas ei ole veel konkreetset ajagraafikut.

Scania ja Ahola Transport veofirma koostöös on alustatud digitaalselt ühendatud autorongide pilootprojekti¹⁵ (platooning) piiratud teelõikudel – see võimaldab ühel juhil hallata korraga mitut (3...5) sõidukit (turvakaalutlustel on projektis osalevatel sõidukitel siiski ka juhid, kuid selline lähenemine annab võimaluse arvestada satelliitsõidukil kaasa liikuva juhi passiivset perioodi puhkeajaks). Maailmas on analoogne pilootprojekt käigus ka Singapuris.

3.1.6. Eriloo alusel pilootprojektid Soomes

Eriloo alusel ilmuvad ka uued ülipikad liiklusse – Kesko Logistika võttis kevadel kasutusse kaks 31-meetrist¹⁶ ning kehtivad load on praegu 44 ülipikale autorongile.

Ketosen Kuljetus Oy kasutab alates 2015 Inari-Rovaniemi-Kemi trassil palgiveoks 33 meetrist 104-tonnist autorongi (foto 1).

¹³ <https://www.is.fi/autot/art-2000005547364.html>

¹⁴ <https://www.is.fi/autot/art-2000000817005.html>

¹⁵ <https://www.is.fi/autot/art-2000005596529.html>

¹⁶ http://www.iltalehti.fi/autouutiset/201803092200799306_oa.shtml



Foto 1. 104-tonnine metsaveok (33 meetrit), vajab eriluba

Autorong koosneb 4-teljisest vedukist, 4-teljisest poolhaagisest ja 5-teljisest täishaagisest. Veduki esimene ja viimane telg on juhitavad, poolhaagise neljas telg pöörav, kõik teised teljed on varustatud paarisratastega.



Foto 2. 76-tonnine metsaveok (25 meetrit), ei vaja eriluba

Sama firma kasutab enamvähem samadel trassidel võrdluseks traditsioonilist vedukit, mis on kuni 25 meetrine (teleskoopli tõttu 22...25 m) ja võib kaaluda 76 tonni.

Trassil paiknevad ringristmikud sobivad ka ülipikkadele, kuid ainus erikorraldus on seotud 80-meetrise silla ületamisega, kuhu on lisatud valgusfoor, et samal ajal ülipikaga ei paikneks sillal (ka samal suunal) teisi sõidukeid, ülipikk läbib silla telgjoonel. Pikkade tõusude tõttu langeb 770-hobujõulise veduki kiirus 20...30 km/h tasemele, mis on samal tasemel ja tavalistel raskeveokitel. Lisaks tavapärasele turvavarustusele on antud juhul autole paigaldatud ka liivatamise seadmed ja On-Spot ketipaigalduse süsteem ning veoki veotelgedel ja esiteljel kasutatakse naastrehve. Siiski peatatakse eriveokite liiklus ilmateenistuse hoiatuse „eriti libe tee“ korral.

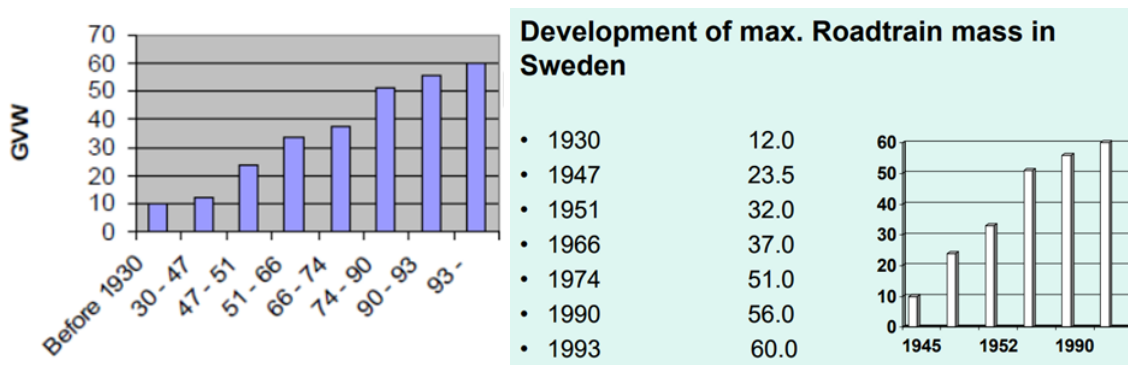
Mikko Niskala Oy kasutab 34,5 m pikka kuni 90 t rasket autorongi, mis koosneb kolmeteljisest sadulvedukist, kolmeteljisest poolhaagisest ja viieteljisest täishaagisest ning mahutab kaks korda rohkem ratastel alustele paigutatud kaupa. Sõiduk teeb igapäevaselt 1200 km reisi Vantaa ja Kempele vahel. Võrdluseks kasutatakse EMS modulaarsõidukit (25,25 m, 64 tonni) kolmeteljise veoauto ja viieteljise täishaagisega.

Orpe Kuljetus Oy kasutab 94 tonnist 31 meetrist autorongi ja selle võrdlussõiduk Kuljetus Szepaniak 68-tonnist EMS veokit.

Oluline osa uuringust on pühendatud liiklusohutusele. Kõigile projektis osalenud sõidukitele paigutati GPS- ja videoseadmestik. Kuigi pikemast sõidukist möödumine vajab suuremat möödasõidunähtavust, ei ole see põhjustanud enam ohuolukordi kui tavapäraste autorongide puhul. Statistiliselt usaldusväärne andmestik tõestab muuhulgas, et raskesõidukist möödumisel ületab sõiduauto kiirus keskmiselt 15 km/h antud kohas kehtivat kiiruspiirangut ja seda isegi suuremas ulatuses, kui eriloo alusel liiklevatest ülipikkadest sõidukitest möödudes. Soomes on talveperioodil üldiseks kiiruspiiranguks 80 km/h ja seda ületati keskmiselt 25 km/h. Seega, möödasõidul kasutatav kiirus ei erine suvel ja talvel, mis on tegelikult ka loogiline, sest möödasõidunähtavus ei muutu. Möödasõitja kiirus on reeglina ca 30 km/h suurem möödasõidetava kiirusest. Ringristmike läbimisel reeglina mahtusid kattele nii tavasõidukid kui ülipikad, siiski „lõikasad“ ülipikad kivisillutisega ülesõiduks ettenähtud ala viimaste telikutega oluliselt suuremas ulatuses. Talve olukorras kaasnes „lõikamisega“ ka haagise libisemine ja külgekaldumine ilma koormata sõidul. Ristmikel pöörde sooritamine eeldas ka kõrvalraja kasutust, kui EMS-sõiduk mahtus oma rajale. Seejuures tuleks arvestada, et Soome ringristmike projekteerimisel kasutatakse kontrollsõidukiks just 25,25 meetrist EMS modulaarsõidukit.

3.2. Roots

Rootsi piirangute arenguid on detailsemalt kajastatud Ramboll Eesti uurimistöös (2011¹⁷). 1993. aastast alates on maksimaalseks lubatud massiks 60 tonni (eeldusel, et esimese ja viimase telje vahe on vähemalt 18 meetrit). Reeglina on ka sõiduki pikkuspiiranguks 24,0 meetrit, erandiks EMS-süsteemi modulaarveokid kogupikkusega kuni 25,25 meetrit. Projektipõhiselt (eriloo alusel) kasutatakse ka pikemaid kooslusi.



Joonis 3. Täismassipiirangu areng Rootsis

Rootsi on otsustanud tõsta massipiirangu 64 tonnini ja tõstis selle 2018 aastast 74 tonnini¹⁸ tingimusel, et see ei vii vedusid ära raudteelt. Pilootprojekti tulemusena soovitakse tõsta samuti autorongi kogupikkuse piiri 34 meetrini.

Rootsi pilootprojektide kirjeldus pärineb Soome uuringust (48/2017).

En Trave Till (tõlkes – üks punt veel) projektiga katsetati tavapärasest (kuni 24 meetrit, 60 tonni, 3-teljeline veduk neljateljelise täishaagisega) mis veavad kolme punkti, pikemaid kooslusi (kolme asemel neli punkti).

¹⁷ https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/riigi_mnt_tugevdamise_maksumuse_hindamine_52t_ma_loplik.pdf

¹⁸ <http://www.globaltrailernews.com/news/article/64-tonnes-gvw-now-reality-in-sweden>



Foto 3. ETT-projekti eriveok 90-tonnise täismassiga (30 meetrit)

Projektiga arendati 30-meetrine sõiduk täismassiga 90 tonni, selle tühi mass on 24 tonni ja koorem 66 tonni. Autorong koosneb vedukist (Volvo 660 hj veok), tugitelikust (dolly), poolhaagisest tugitelikuga ja teisest poolhaagisest. Sõiduk vedas puitu Överkalixi terminalist Piteå tehasesse 150 km kaugusele. 2009-2011 läbiti 800,000 km ja veeti 150,000 kuupmeetrit puitu. Võrreldes 60-tonnise, Rootsis tavalise konfiguratsiooniga, säästeti 21% kütust. Sõiduk läbis kokku 1,4 miljonit kilomeetrit, vedas 270,000 m³ palke, ja lõpetas oma tee Göteborgis Volvo-muuseumis 2014. Jätkuprojektis ETT-demo katsetatakse 25 erinevat autorongi (pikkus 24-30 m, täismass 74-100 tonni).

DUO2 projekti alustati 2012 ülipikkade autorongidega tükikaupade veoks – esimene DUO-Trailer oli 32-meetrine 80 tonnine (veduk, poolhaagis, tugitelik ja teine poolhaagis), mahutades tavalise poolhaagisega võrreldes kaks korda rohkem kaupa. Kolmeaastane luba võimaldas sõidukit kasutada öisel ajal (500,000 km, 2015 pikendati luba ka ööpäevaringseks kasutuseks. Kogemuste järgi on kütusekulu ja sellega ka saaste 27% väiksem kui sama kaubakoguse vedamisel tavaliste poolhaagistega.



Foto 4. Duo2 projekti eriveok Duo-Trailer – 80 tonni (32 meetrit)

Teine katsesõiduk Duo-Kärä koosneb veokist ja kahest kesktelhaagisest, kogupikkus 27.5 m ja täismass 66 tonni, sai loa liiklemiseks 2015.



Foto 5. DUO2 projekti eriveok DUO-Kärä - 66 tonni (27,5 m)

Üle 24 meetri ja 60 tonni vedukid liikleavad eriloaga ka väljaspool eeltoodud projekte – üle 20 autorongi pikkusega 24 m ja täismassiga kuni 74 tonni on kasutuses metsaveol, samuti kasutatakse eriloa alusel suuri autoronge ka kivimaterjalide, hakkepuidu ja teraserullide veol. Scania uurimislabor kasutab kaht 31,5 m pikkust autorongi Södertälje ja Malmö vahelisel trassil. Lisaks mitmetele väiksematele firmadele kasutati 40 suurveokit rauamaagi veoks Kaunisvaara kaevandusest Pitkajärvi raudteeterminali kuni kaevandus ajutiselt suleti maailmaturu hinnalanguse tõttu.

Rootsis kasutatakse samuti hooajalisi koormuspiiranguid, kuid vedukid, mis on varustatud reguleeritava rehvirõhu süsteemiga (CTI – Central Tyre Inflation), võivad aastaringelt kasutada lubatud koormust.

3.3. Norra

Norra on jaganud riigiteed nelja [koormusklassi](#) (Bk10, BkT8, Bk8, Bk6) vastavalt nende lubatud koormustele. Bk10 klassi nõuded on vastavuses direktiiviga 96/53, madalamates koormusklassides kajastab number maksimaalset lubatud teljekoormust. Direktiivist suuremad koormused on lubatud nii EMS modulaarsõidukitel kui palgiveol.

Lubatud teljekoormused koormusklasside lõikes on toodud [tabelis 3](#).

Tabel 3. Lubatud teljekoormused Norras koormusklasside lõikes

Telg/kombinatsioon	Telgede vahe	Telje/teliku koormus			
		BK10	BkT8	Bk8	BK6
Üksik telg (veetav)	-	10	8	8	6
Veotelg	-	11,5	8	8	6
Tandem (paaristelg)	1,30-1,79	18	14	12	9
	1,20-1,29	16	12	12	9
	0,8-1,19	15	11,5	11,5	8,5
	Alla 0,80	10	8	8	6
Tridem (kolmene telik)	1,30-1,79	24	19	16	12
	1,00-1,29	22	18	16	12
	Alla 1,0	16	12	12	9

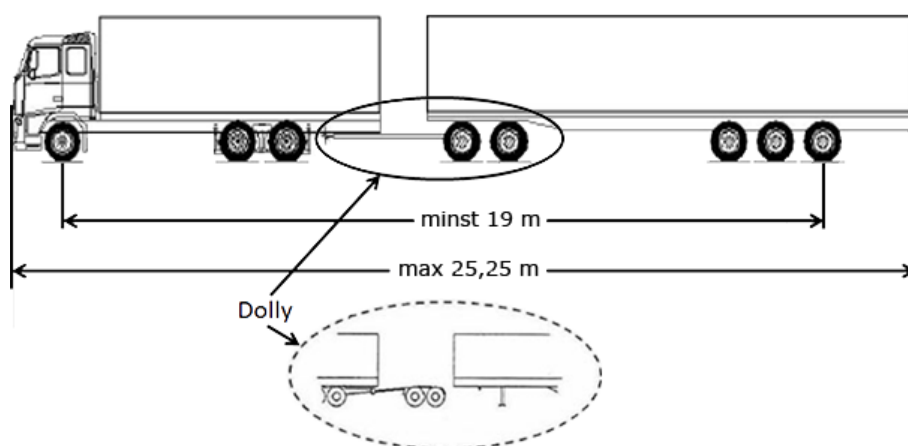
Lubatud sõiduki täismassid koormusklasside lõikes on toodud [tabelis 4](#).

Tabel 4. Lubatud täismassid Norras koormusklasside lõikes

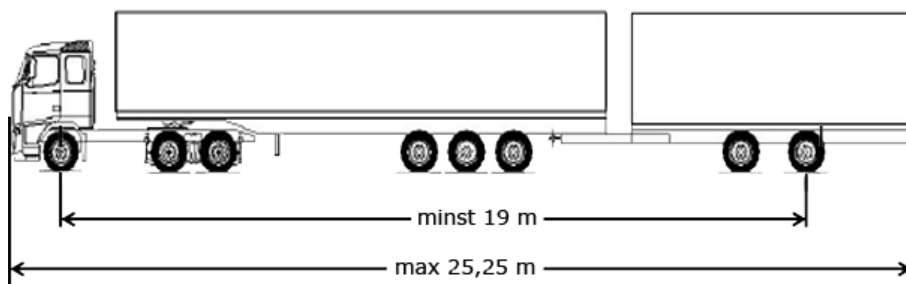
Sõiduki tüüp	Telgede vahe	Täismass					
		BK10		BkT8		Bk8	BK6
		50	42	50	40	32	28
2-teljeline auto	-	19	19	16	16	16	12
2-teljeline buss	-	19,5	19	16	16	16	12
3-teljeline veok	-	26	26	22	22	20	15
4- ja enama teljeline veok	alla 5,4 m	26	26	22	22	20	15
	5,40-5,99 m	30	30	26	26	22	16
	5,60-5,79 m	31	31	27	27	23	17
	5,80 ja enam	32	32	28	28	24	18
Liigendbuss	-	28	28	24	24	24	18
Haagis, dolly 2-teljeline poolhaagisega	-	20	20	16	16	16	12
Haagis, dolly 3-teljeline poolhaagisega	-	28	25	22	22	19	15
Haagis, dolly 4-teljeline poolhaagisega	-	30	25	28	24	19	17
Poolhaagis üheteljeline	-	10	10	8	8	8	6
Poolhaagis kaheteljeline	-	18	18	14	14	12	9
Poolhaagis kaheteljeline paariratastega	-	20	20	16	16	16	12
Haagis/poolhaagis 3- ja enamateljeline	-	24	24	19	19	16	12
Poolhaagis, paariratastega	1,30-1,79 m	27	27	22	22	20	16

Lisatingimused analoogilised eurodirektiiviga.

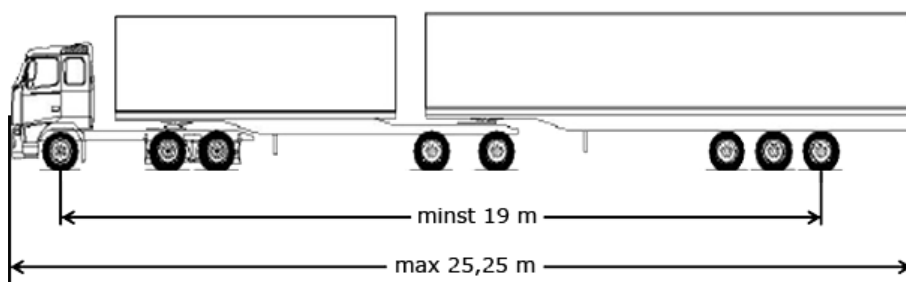
EMS modulaarsõidukid (lubatud täismass 60 tonni ja pikkus kuni 25,25 m) on määratletud muuhulgas ka graafiliselt (joonised 4...6).



Joonis 4. Veoauto sadula (dolly) ja poolhaagisega



Joonis 5. Sadulveduk poolhaagise ja kesktelghaagisega



Joonis 6. Sadulveok kahe poolhaagisega

Metsaveol¹⁹ kasutatakse alljärgnevat piirangujaotust.

Metsaveol on veduki lubatud pikkus 22 (täismass kuni 56 tonni) või 24 meetrit (kuni 60 tonni). Kõrgus neljateljelisel üle 19,5 m pikal veokil 4 meetrit, 5- ja enamateljelisel 4,20. Teedel, kus on lubatud 22 või 24 meetriste veokitega liiklus, on lubatud täismass 50, 56 või 60 tonni ja see on vastavate märkidega tähistatud nii kaardil kui liikluses. Üle 50-tonniste veokitele esitatakse lisanõuded:

- 50...56 tonniste sõidukite esimese ja viimase telje vahekaugus peab olema vähemalt 17,41 m;
- 56...60 tonniste sõidukite esimese ja viimase telje vahekaugus peab olema vähemalt 19 m;
- veduki ja haagise esimese telje vahekaugus peab olema vähemalt 3,7 m;
- autorongil peab olema vähemalt 7 telge;
- autorongi kogupikkus peab olema vähemalt 21,5 meetrit.

3.4. Lühidalt mujalt maailmast

Brasiilias on autorongi pikkuspiiriks 19,8 meetrit ja massipiiriks 57 tonni, kuid piiratud teedevõrgul on lubatud ka 30-meetrised kuni 74 tonnised autorongid.

Uus-Meremaa lubab 22 meetrit ja 44 tonni ning piiratud tingimustes ka rohkem (kui tõestatakse et tagavad ohutuse, on võimelised läbima tõuse ja ei koorma teid rohkem kui tavaliliiklus), üle 25 meetrised on siiski haruldased.

Austraalias on reeglina piiriks 60 meetrit ja 132 tonni, tavasõidukitele siiski 26 meetrit ja 68 tonni.

Lõuna-Aafrikas on tavasõidukite piiriks 22 meetrit ja 56 tonni, suuremad on kaevandustega seondult 42 meetrit ja 176 tonni kaaluvad autorongid.

¹⁹ <https://www.vegvesen.no/kjoretov/yrkestransport/veglister+og+dispensasjoner/veglister-tommer>

Põhja-Ameerikas on osariikidel erinev praktika, pikemad on lubatud Colorado osariigis (35,5 m) ja raskemad Michiganis (74 tonni). Ka Kanadas on praktika muutlik – reeglina piiriks 25 meetrit ja 63,5 tonni. Põhja-Ameerikas enamlevinud kooslused on Rocky Mountain Double (veduk, pikk poolhaagis ja lühike täishaagis, 31 m), Turnpike Double (veduk, pikk poolhaagis ja pikk täishaagis, 38 m) või Triple (veduk, lühike poolhaagis ja kaks lühikest täishaagist, 38 m). *USA uurimuse järgi on nende kolmel raskesõidukiliigil liiklusõnnetusi suhteliselt vähem, kuid nendest ca 40% seonduvad ilmaga.* Mehhikos võib piiratud alal liigelda ka 31 meetrise 66,5 tonnise kooslusega.

Üldisemalt, liiklusohutuse poolest ei ole leitud selgeid seoseid et tavamõõdust suuremad autorongid osaleks rohkem liiklusõnnetustes. Siiski juhitakse tähelepanu asjaolule, et ülipika sõiduki pöördetrajektoorid on erinevad (viimased teljed läbivad kõveraid väiksema raadiusega), millest tulenevad nõuded infrastruktuurile (nii ristmikel kui ka vajalikes teenindusjaamades, puhkealades ja tanklates). Kanada uuringus (Sparks jt) on näidatud, et autorongist möödumiseks vajalik möödasõidunähtavus on 40% suurem kui sõiduautost möödumiseks.

Vene katendiarvutuse süsteemis (sh ka KAP) on võimalus kasutada koormusena paaristelje asemel üksikratastega 10-tonnist telge, kuid seda ei ole seni Eestis kasutatud, kuna sel teel esitatakse teekatendile oluliselt kõrgemaid nõudeid.

4. RASKEVEOKITEGA SEONDUV LIIKLUSOHUTUS

Liiklusohutus ja kaubaveod²⁰ - refereeritakse Volvo 2017. a. uuringut²¹, mille järgi EL liiklussurmadest (ca 26,000/aastas) on ca 15% raskeveokitega seotud. 2014 oli see 3863, millest 49% juhtudest hukkus veokis viibinud isik (juht või reisija), 32% juhtudest hukkus kergliikleja või mootorrattur. 90% juhtudest oli põhiteguriks inimfaktor (tihend rooli ja istme vahel). Tavaliselt on kaasnevateks teguriteks keskkond (tee, ilm, aeg) ja sõiduk (rehvide ja pidurite seisund). 10-20% raskeveokiõnnetustest toovad kaasa raskemad vigastused või surma. Ca 50% hukkunutest oleks ellu jäänud, kui ohutusrihmad oleks nõuetekohaselt kinnitatud. 55-60% on ühesõidukiõnnetused (juhi viga, tähelepanu hajumine, raskeveok sõidab teelt välja), 35-45% on kokkupõrked vastassuunaliiklejatega. 30% on seotud teeületamisega. Ca 25% liiklussurmadest on seotud alkoholiga. Statistika järgi on võrreldes eelmise uuringuga (2013) kahanenud autodevahelised ja ühesõiduki rasked õnnetused, kuid tõusnud on kergliiklejatega seotud (millest veidi üle poole toimuvad asulates). Suurem osa õnnetustest toimub päevasel ajal hea ilmaga – halbades tingimustes on juhid tähelepanelikumad. Vastassuunaga seotud õnnetuste vähendamiseks soovitatakse „hispaania vasakpöõret“ (kasutusel meil 2+1 teedel). Kergliiklejatega seonduvalt juhitakse tähelepanu liigsele nutiseadmete kasutusele (see on osutunud probleemiks ka autojuhtidel). Soovitatakse tõsta nõudeid raskeveokijuhi nähtavusalale peeglite ja kaamerate kasutusega.

4.1. Arendus

NHTSA (liiklusohutuse administratsioon) on teinud ülevaate²² raskeveokite ohutusega seotud uuringutest, mis keskenduvad valdavalt sõidukite omavahelisele suhtlusele:

- V2V (vehicle to vehicle) süsteem mis abistab juhti reavahetusel pimedate alade osas;
- V2V süsteem eespool paikneva takistuse (eesliikuja) tuvastamiseks (2016);
- V2V kommunikatsioonikanalitest ja standarditest (2016);
- V2V ristmiku trajektooriga seotud hoiatustest (2016);
- V2V teavitamise kasutajaliidest (2015).

Selliste uuringute tulemusena täpsustatakse standardid mis tagavad vajaliku ühilduvuse ja autotootjad võtavad need võimalused kasutusele.

Veokitootjad pakuvad lisavarustusena tsentraalse rehvirõhu kontrolli süsteeme ning teljekoormuse jälgimise süsteeme, mis tuginevad kas vedrustuse süsteemis esinevate rõhkude mõõtmisel või vastavate piesoandurite näidu elektroonilisel analüüsil.

4.2. Liiklusohutuse meetmed

Liiklusohutuse valdkonnas on koostatud juhis²³ „Road Safety Toolkit“, mille järgi on raskesõidukitega toimuvate õnnetuste olulisemateks teguriteks kiirus, joobes juhtimine ja väsimus – aga ka sõiduki tehnoseisund. Meetmete valikuks on toodud vastav tabel (käsitleme ainult teedega seonduvat osa, dokumendis on iga meede detailsemalt kirjeldatud), kus on hinnatud meetme maksumus ja mõju (tagajärgede leevendamine või õnnetuse ärahoidmine).

²⁰ <https://www.tipeurope.com/road-safety-heavy-goods-vehicles/>

²¹ <https://www.volvogroup.com/content/dam/volvo/volvo-group/markets/global/en-en/about-us/traffic-safety/Safety-report-170627.pdf>

²² <https://one.nhtsa.gov/Research/Crash%20Avoidance/Heavy-Vehicle-Safety-Research>

²³ <http://toolkit.irap.org/default.asp?page=roaduser&id=5>

Tabel 5. Meetmete kirjeldus

Meede	Maksumus	Mõju
Pöörderaja lisamine vähendab laupkokkupõrkeid	Madal	10-25%
Sõiduradade markeering abistab puudulikul nähtavusel		
Ristmiku radade ja pöördekoridoride markeering		
Teetelje markeerimine - tavaline ja lai telgjoon, täristid	Madal- keskmine	25-40%
Täristid sõiduraja ääres, põikmarkeering ohukoha eel		
Ülekäigukohad, tähistatud ohutussaad		
Haardeteguri parandamine – pindamine		
Teeväliste takistuste eemaldamine, haljastuse piiramine		
Fooristmikud – pöörderadade lisamine		10-25%
Reguleerimata ristmikud – pöörderadade lisamine		
Parkimiskorraldus (nurga all asendada paralleeliga, rada kitsamaks)		
Piirata/reguleerida teeäärset majandustegevust (juurdepääsud)		
Fooristmike rajamine		
Raudteeülesõitude signalisatsioon	Keskmine	25-40%
Ühesuunaline liiklus		Üle 60%
Teepiirid ääres		25-40%
Piisava laiusega kaetud peenrad		40-60%
Kiiruskontroll – rahustamine, „väravad“, ringristmikud, kitsamad sõidurajad ja kiirusrežiimi ülevaatamine		25-40%
Teekatte uuendamine		
Liikluse rahustamine – meetmed peaksid olema iseseisvad		
Sõiduraja laiendamine – soovituslik 3,5 m (linnas kitsendada enne ristmikku)	Keskmine- kõrge	25-40%
Keskpiire		üle 60%
Vähendada ristmike/mahasõitude arvu, rajada kogujateed		25-40%
Ringristmikud		Üle 60%
Lisarada (möödasõiduvõimalused, 2+1 / 2+2)	Kõrge	25-40%
Eritasandilised liiklussõlmed		
Plaanikõverate raadiuse suurendamine (õgvendamine)		10-25%
Pikiprofiili korrigeerimine (nähtavuse parandamine)		
Paralleeltee (1+1 tee lisaniit ja 2+2 profiiliks)		25-40%
Teenindustee/kogujatee		

Raskesõiduki vanuse seost liiklusohutusega²⁴ on uurinud kreeka autorite kollektiiv (2010). Vanemate autode risk õnnetusse sattuda on 4-5 kordne võrreldes uutega, samuti on vanade autode puhul neljakordne risk hukkunuga õnnetuse toimumiseks.

Võrdlev statistika raskesõidukite ja nendega seotud õnnetuste kohta²⁵ on leitav Euroopa Komisjoni lehelt.

²⁴ <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/tran.2010.163.1.41>

²⁵ https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2016_hgvs.pdf

4.3. Rajatised, piirded ja täismassi suurendamine

Euroregulatsioonid sätestavad tingimused teepiirete katsetamiseks. Maksimaalne mass, millele piirdeid kontrollitakse on 38 tonni. Sellest suurema koormuse puhul tuleb ilmselt kasutada betoonbarjääre. Et nõuetele mittevastavaid piirdeid ei tohi kasutada ja et raskemate sõidukitega piirdeid ei testita, tuleks enne raskemate sõidukite massilist kasutuselevõttu täiendada piirete testimise standardit, seda ei ole võimalik teha Eesti-keskselt, sest meil puudub ka vastav piirete testimisvõimalus. Standardi täiendamise vajadus ilmneb ka seonduvalt teerajatiste (sillad, sambad jne) tugevusarvutustega, kui soovitakse lubada liiklusse oluliselt raskemaid sõidukeid (niigi ei katsetata suurima legaalse täismassiga vaid sellest oluliselt väiksema massiga). Siit tulenevalt on Saksamaa eeskujul valdavaks kujunenud seisukoht, et teede ja teerajatiste geomeetria parandamisega tuleks soodustada pikemate sõidukite kasutuselevõttu, kuid seejuures täismassi- ja teljekoormuse piiranguid ei tasuks tõsta. EMS sõidukitega on võimalik kogupikkus kuni 25,25 meetrit, kuid see eeldab puhkealade ja tanklate valmisolekut pikemate sõidukite teenindamiseks. EVS 843:2016 on sellega juba arvestanud nähes ette rahvusvaheliste magistraalide ühendusteedel võimaluse suuremateks mõõtmeteks. Samuti soovitatakse pikemate vedukite trassidel arvestada suurema pöörderaadiusega või pöörde sooritamise kahte pöörderada kasutades, sest erinevalt tavasõidukist on EMS pöördekoridori siseraadius oluliselt väiksem. EMS sõidukite kasutus on eriti mõistlik mahukaupade veol, kus ei kasutata ära maksimaalset võimalikku kandevõimet.

Euroopa Komisjon on vastu võtnud regulatsiooni, mille kohaselt on võimalik suurendada täismassi kuni ühe tonni võrra hübriidvedukitele, et kompenseerida raskemat alternatiivenergiaga seonduvat tehnikat säilitades tavaveokite kasuliku koormuse. Samuti on suurendatud kogupikkust, et võimaldada kasutada aerodünaamilisi lisandeid, mis annavad kütuse kokkuhoidu.

5. PERSPEKTIIVID JA PLAANID

TML on koostanud ülevaate²⁶, analüüsid võimalusi Euroopa Liidu eesmärkide täitmiseks, et CO₂ emissiooni kahandada 2030-ks 30% ja 2050-ks 60%, mis käsitleb muuhulgas prognoose ja vajalikke tegevusi lähiaegadeks alljärgnevalt:

2020-2030:

- Diiselmootorite kasutus jätkub, kuid lisanduvad elektriveokid, elektrivõrk vajab tugevdamist võimaldamaks suure võimsusega akuparkide laadimist. Hübriidsõidukid levivad pikamaavedudel, kohalikel vedudel valdav elektriveduk. Elektrisõidukite kasutus kaugvedudel vajab riikidevahelist koostööd ja lahenduste unifitseerimist. Alternatiivkütused, eriti gaas, sh biogaas, võetakse laiemalt kasutusele. ADAS (advanced driver assistance system) võetakse uute veokite baasvarustusse, juhi roll muutub otseselt juhtimistegevuselt ADAS soovitudele reageerimiseks. ITS tagab optimaalsed marsruudid. Euroregulatsioon võimaldab ahelveokid (platooning) kõigil Euroopa peateedel aastaks 2025 – see on oluline samm isesõitjate levikule autovedudes.
- EL nõuded veokite massi ja pikkuse suhtes vaadatakse üle alates 2020, see peaks võimaldama enam paindlikkust arvestades keskkonnamõju ja ohutust ning looks võimalused kandevõime tõstmiseks tingimusel, et infrastruktuuriga seonduvad jõudlusnäitajad on täidetud, sh pöörderaadius, sõiduki laius ja telgedega seonduvad nõuded (telgede arv, teljemass ja tüüp).
- Sõidukite aerodünaamikale (kabiini kuju) pööratakse enam tähelepanu, veoki mõõdupiirangud peaks enam arvestama aerodünaamikaks vajalike lisamõõtudega.
- Pikkade sõidukite (LHV) piiriülene kasutus peaks vabanema, see võimaldaks ka suurendada täismassi, kui keskkonna, liikluskorralduse ja liiklusohutuse nõuded on täidetud.
- Saastennormid ühendatakse (toksilised ja mittetoksilised heitmed) globaalselt, sest vedod kulgevad üle riigi- ja regiooni piiride. Veokite omaniku või energiatüübi põhine maksustamine peaks muutuma keskkonnamõju ja veoki kasutustüübi põhiseks, seda mitte ainult kaubaveol. Keskkonnamõju arvestus ei peaks tuginema ainult veoki mootori ja käigukasti andmetel vaid kogu tervikut arvestavaks. Raskeveokite keskkonnamõju arvestuse (kütusekulu, heitmed) meetoodika vajab täiendamist. Vajalik on multimodaalsete süsteemide arendus ja testkasutus, et aastakümne lõpuks need harmoniseerida. Piiriüleselt ühilduv ITS abistab logistikuid ja liiklejaid vedude korraldamisel.
- Teekatendite uuendamine peaks kaasa tooma veeretakistuse kahandamise, parandades samas ka haardetegurit.

2030-2040:

- Alternatiivkütuse infrastruktuur toimib laialdaselt üle EL. Alternatiivsed energiaallikad võetakse laialdasemalt kasutusele. Pikamaavedude tarbeks on vajalik alternatiivse biokütuse tootmine, eriti aladel kus elektrivõrk ei võimalda tagada piisavat laadimisvõimekust. Gaasitoitelised vedukid siirduvad biometaan kasutusele. Diiselmootorid võimaldavad oluliselt tõsta biokütuse osa kütuses. Madala veeretakistusega laiad rehvid (extra wide) on standardiks. Logistika harmoniseerimine võimaldab tõsta kandevõime kasutust ja suurendada nii veduki pikkust kui täismassi. Kaalude ja mõõtude regulatsioon muutub mõjupõhiseks, modulaarsus siirduv „füüsilisse internetti“. Täisautonoomsete vedukite kasutuseks vajalik regulatsioon jõustub (sh töö ja puhkeaja nõuded).

²⁶ http://www.tml.eu/en.be/project/vrachtwagenvandetoekomst/201702_iru-report-commercial-vehicle-of-the-future-en.pdf

2040-2050:

- Autonoomsed vedukid võimaldavad vedusid 24/7, autojuht muutub logistikajuhiks, muutub veduki disain arvestades juhi funktsiooni muutumist. Autokütuses on vähemalt 30% biokütust. 40-45% kaugvedudest saavad toite teeinfrastruktuurist laadimisega. Valmistatakse ette fossiilkütustest täielikku loobumist.

Paindlikum lähenemine massi ja mõõdu direktiivi täiendamisele võimaldab veokeid optimeerida erinevaks otstarbeks, võimalik et modulaarprintsibist juhinduvalt. Kuid see eeldab, et teeinfrastruktuur on adekvaatselt kaardistatud ja dokumenteeritud, et sätestada nõudeid sõidukitele, mis nendel konkreetsetel teedel liiguvad (piirangute diferentseerimine teedevõrgu erinevatel lülidel). EMS kuni 25,25 meetri pikkused ja kuni 60 tonnise täismassiga veokid on kasutuses Skandinaavias ja Hollandis ning testimises kas täielikult või osaliste piirangutega Taanis, Saksamaal, Belgias ja Hispaanias. Täismassipiiri nihutamine 60 tonnini võib kaasa tuua suurema katendi kulumise (TML 2008), kuid 50-t piiranguga on efekt siiski positiivne.

Katendi osas on levinud nii betoon kui asfaltkatted, aga ka komposiit (asfalt betoonil). Veeretakistus tuleneb kolmest komponendist – makrotekstuur, tasasus ja tee kalle. Pikikaldel üle 2% ei tasakaalusta tõusud ja langused energeetilist bilanssi (erinevalt prof. Segerkrantzi doktoritöös väidetust, nagu tõestas Wyatt 2014). Betooni ja asfaldi erisuses veeretakistuse suhtes ei ole spetsialistid jõudnud üksmeelele, väidetavalt ei ole betooni eelised statistiliselt tõestust leidnud. Haardeteguri määrab valdavalt mikrotekstuur, kuigi tegemist on konfliktse näitajaga, reeglina on madalama veeretakistusega katend halvema haardeteguriga.

Infrastruktuuri kasutuse efektiivsus – tihti koonduvad ka raskeveod tavaliikluse tipptundidele, neid ei ole võimalik ajastada perioodile, kus üldine liiklussagedus on madalam. Seda on püütud teha maksudega ja saavutatud ka suhteliselt suur maksukäive, kuid see ei ole muutnud käitumist. Seega tuleks leida teised meetodid ja logistiliselt planeerida veod nii, et minimeerida sõiduaega (tipptunnil on kiirus madalam) ja kütusekulu. See parandaks ka liiklusohutust.

6. PARIMATE LAHENDUSTE KIRJELDUSED, MIDA ON RIIKIDES RAKENDATUD MASSIPIIRANGUTE OSAS JA MIS OLEKS EESTILE SOBILIKUD ÜLE VÕTTA

Tuginedes Skandinaavia kogemustele, on võimalik rakendada suuremaid täismasse lisatingimustel:

- paarisrataste kasutus mittepööravatel ja mittetõstetavatel telgedel (Soome kogemus);
- nõuda üle 50 tonnise täismassi lubamiseks sõiduki esimese ja viimase telje vahelist suuremat kaugust (sillareegel), mis eeldab suurema kogupikkuse lubamist;
- nõuda sõltuvalt täismassist suuremat veduki võimsust (võimsuse seos on nii Lätis kui Soomes), et tagada raskeveokitele liiklusohutuseks vajalik võimsusvaru;
- nõuda OBW (on-board-weighing) seire ja CTI (reguleeritava rehvirõhu süsteemi) kasutust, mis on ühendatud GPS-trackeriga ja võimaldab on-line jälgida sõiduki asukohta ning samas tagab tee lagunemise korral ülevaate, kellele esitada tee taastamise arved.

Lahendada korraga ka EMS (25,25 m täispikkus) lubamine liiklusse ja analoogiliste parameetritega metsaveokite kasutuselevõtt, sidudes selle sillareegliga (suurem täismass seondub samas suurema pikkusega).

Erinevate uuringute alusel kinnitatakse, et kõik senilubatud pikemad on tegelikult leebemad teekatendi suhtes, tulenevalt Mineri reeglist (neljanda astme reegel), võrreldes 40-tonnise viieteljelise sadulrongiga, mis on Euroopas enimlevinud raskeveoki liik ja seetõttu etalon, millest samas ei saa loobuda. Küll aga tuleb väga ettevaatlik olla kuni 20 meetrise üldpikkusega autorongide täismassi suurendamisega, sest just sel viisil on teekonstruktsiooni kahjustamine kindlustatud. See kehtib piisava asfaltkatte paksusega teede kohta. Suurema täismassi lubamine madalama kategooria teedele on äärmiselt küsitav ning vajab täiendavaid uuringuid.

Eeltoodu kehtib seega riigiteede põhivõrgu suhtes. Põhimaantee kande võime on üsna hästi kaardistatud, üldiselt on seda ka tugimaanteed. Transiitliiklus (mis Eestit läbib) üldiselt madalama liigi teedele ei satu, kuigi Taani kogemus viitab, et kuigi lubati EMS sõidukitel liikuda Rootsist vaid Taani logistikaterminalidesse, seda teedevõrgul, mis suutis nii geomeetria kui kande võimelt tagada EMS-veokite teenindamise, sattusid need pahatihti kohalikele teedele, milliste geomeetria ei taga selliste sõidukite ohutut liiklust.

Korralik ülevaade Eesti kõrvalmaantee seisundist ja kande võimest sisuliselt puudub, seetõttu on mõistlik rakendada suurema täismassiga veokite puhul seiret (OBW koos rehvirõhu reguleerimisega), mis võimaldab teekonstruktsiooni kahjustuste ilmnemisel pöörata nõuded otseste kahjustajate poole. Kohalikele omavalitsustele kuuluvate teede konstruktsioonist ja seisundist praktiliselt ülevaade puudub. On selge, et vähemalt metsavedude puhul, aga suures osas ka ehitusmaterjalide vedudel kui karjäärade ühenduste ei kuulu riigile, kaasatakse kindlasti ka kohalikud teed. KOV haldussuutlikkus pole veel sellel tasemel, et neil oleks korralik ülevaade kohaliku teedevõrgu seisundinäitajatest ja koormustaluvusest, seetõttu juhul, kui avalikele teedele lubatakse suuremad sõidukid, tuleb riigil tagada ka vastav haldusmehhanism.

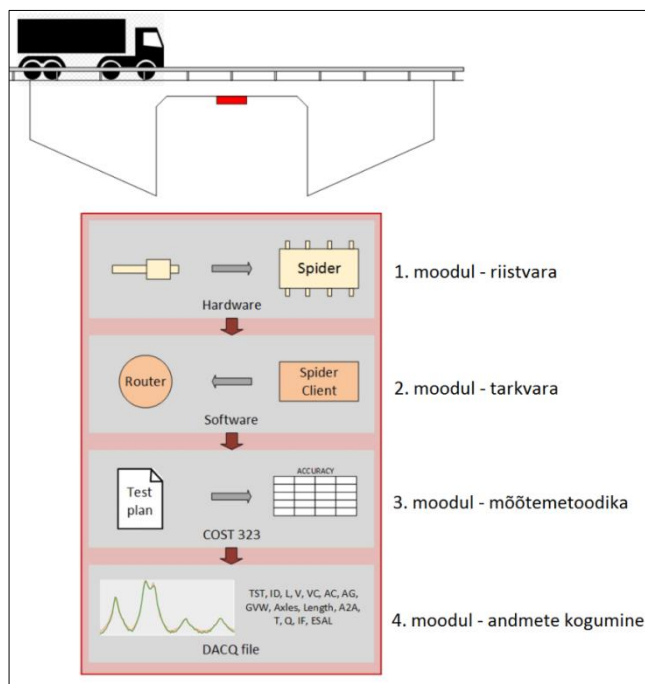
Tasub kaaluda muudetava rehvisurve kasutamist sõidukitele, mis liiguvad ka madalamaliigilistel teedel (CTI omab erilist tähtsust nii õhukese asfaltkatte kui ka kruusa- ja pinnasteede korral, sest väiksema rehvirõhuga on rattajalg suurem ja koormus jaguneb suuremale pinnale). Väiksema erisurve puhul on koormus katendikihtidele leebem, küll aga on koormus muldkehale ja aluspinnasele sama ning tulemusena teedelagunemisperioodi piirangud säilivad – seega CTI aitab põhimõtteliselt säästa konstruktsiooni ülakihte, kuid ei aita kande võime puudumise korral. Rehvitootjad on ette näinud

maksimaalseks lubatud rehvisurveks reeglina 0,85 MPa, üksikutel juhtudel ka 0,9 MPa. Mujal maailmas tehtud uuringutes on tuvastatud ülerõhud kuni 1,2 MPa tasemeni, Eestis seda veel uuritud pole. Et rehvitootja poolt lubatud rehvisurve suurema surve kasutamine on ohtlik nii teekonstruktsioonile (oluliselt suurem kontaktsurve, mille tagajärjel pinge teekonstruktsiooni ülakihis vähendab tee tööiga, katastroofiline on mõju õhukese asfaltkattega või pinnatud teedele) kui ka liiklusohutusele (suurema rehvisurve puhul võib rehvi lõhkeda, eriti kui tegemist on ka ülekoormusega).

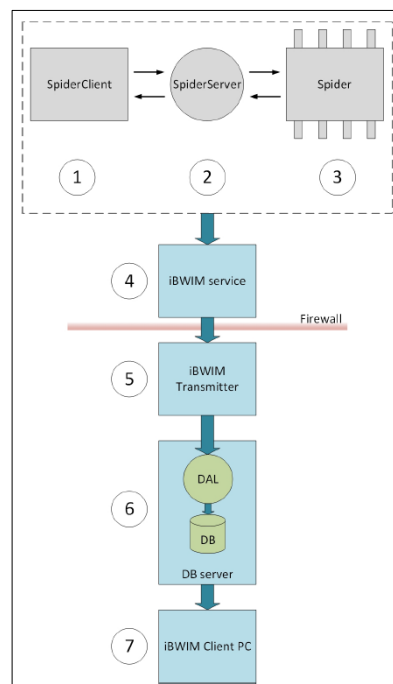
7. BWIM MÕÕTESÜSTEEM

7.1. Süsteemi üldkirjeldus

BWIM ehk *Bridge-Weigh-in-Motion* süsteemi põhimõtted arendati välja 1970ndate lõpus ning see võimaldab mõõta sildu ületavate sõidukite andmeid – kiirus, telgede arv, telgede vahekaugus, teljekoormus, sõiduki kogumass jne.



Joonis 7. iBWIM-süsteemi põhimõtteline ülesehitus (allikas: PSP)

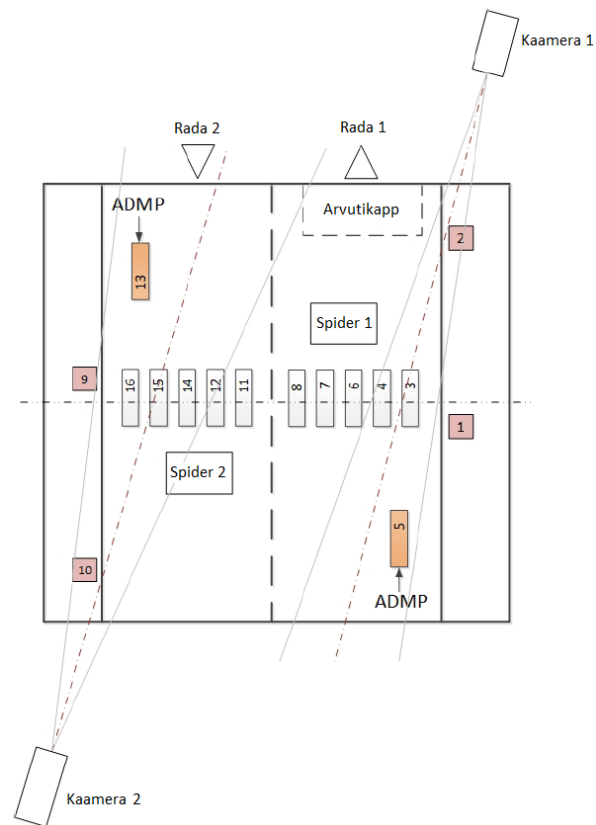


Joonis 8. iBWIM tarkvara skemaatiline ülesehitus (allikas: PSP)

Antud töös kasutatakse sildade monitoorimiseks iBWIM-süsteemi (joonis 7) koos vastava tarkvaraga (joonis 8). See on oma olemuselt erinevate (mõõte)seadmete võrgustik, mis kogub ja töötleb andmeid reaalajas. Süsteem koosneb siirdeanduritest, laseritest ja temperatuurisensoritest, mis ühendatakse kesksesse *spider*-moodulisse. Süsteemi juhitakse spetsiaalses kapis paiknevast arvutist, kuhu ühenduvad lisaks *spider*-itele veel kaamerad ning pidevaks internetiühenduseks vajalik antenn (joonis 9 ja foto 6). Laserid ja kaamerad paiknevad sillateki peal, teised andurid sillateki all. Süsteemi kuuluvaid seadmeid on täpsemalt kirjeldatud järgnevates peatükkides.

Tarkvara (*SpiderClient*) abil seadistatakse *Spider*-id. Mõõteandmete salvestuskeskkonna (*SpiderServer*) seadistuseks kasutatakse konkreetse silla kirjeldamiseks kogutud andmeid, mõõtmisel saadavaid nivoosid ja tulemusi ning kalibreerimise andmeid. Väljundite saamiseks kasutatakse *SpiderClient*-i, määratakse soovitud andmete piirid, kasutatavate lisaseadmete hulk (nt kaamerad), sõidusuunad ja – rajad, sensorite tundlikkus ja ADMP rakendamine.

Seadmete ja tarkvara tarnijaks on Austria ettevõtte [Petschacher Software- und Projektentwicklungs GmbH \(edaspidi: PSP\)](#). Läbiviidud mõõtetööde aluseks on võetud juhendmaterjalid „iBWIM Bridge Weigh in Motion. Manual Draft 29.06.2017“ ja „[Weigh-in-Motion of Road Vehicles. COST 323 Final Report 2002](#)“.



Joonis 9. iBWIM-süsteemi seadmete paigutus (allikas: PSP):

1, 2, 9, 10 – laserid;
3-8, 11-16 – siirdeandurid.



Foto 6. Seadmete kinnitus sillateki alla

7.2. Seadmete kirjeldus

7.2.1. Spider-id

iBWIM *spider* on moodul, mis kogub kokku üksikute sensorite andmed (joonis 10 ja foto 7). Üks *spider* on ette nähtud ühe sõiduraja mõõdistamiseks ning sellel on 8 pesa. Ühes komplektis on 2 *spider*-it. *Spider* kinnitatakse raudbetoonist sillateki külge poltühendusega ning terassilla korral magnetitega. Seadmed ühendatakse sellesse vastavalt tabelis 6 toodud jaotusele.

Tabel 6. *Spider*-i ühendused

Pesa nr	Ühendatav komponent
1	Laser
2...8	Andurid (sh 2 ADMP-d)
Otsmine pesade 4 ja 5 poolel	Temperatuurisensor
Otsmine pesade 1 ja 8 poolel	Ethernet ehk infoedastus LAN kaabliga <i>spider</i> -ist arvutisse



Technical data:

Power supply	12 VDC
Operation temp.	−30... + 80C
Dimensions	222 x 220 x 81 mm
Weight	1700 g
Pins	4-wire opt. 5-wire
Casing protection	IP64
Power consumption	typ. 1.3W

Joonis 10. *Spider* ja selle tehnilised andmed (allikas: PSP)

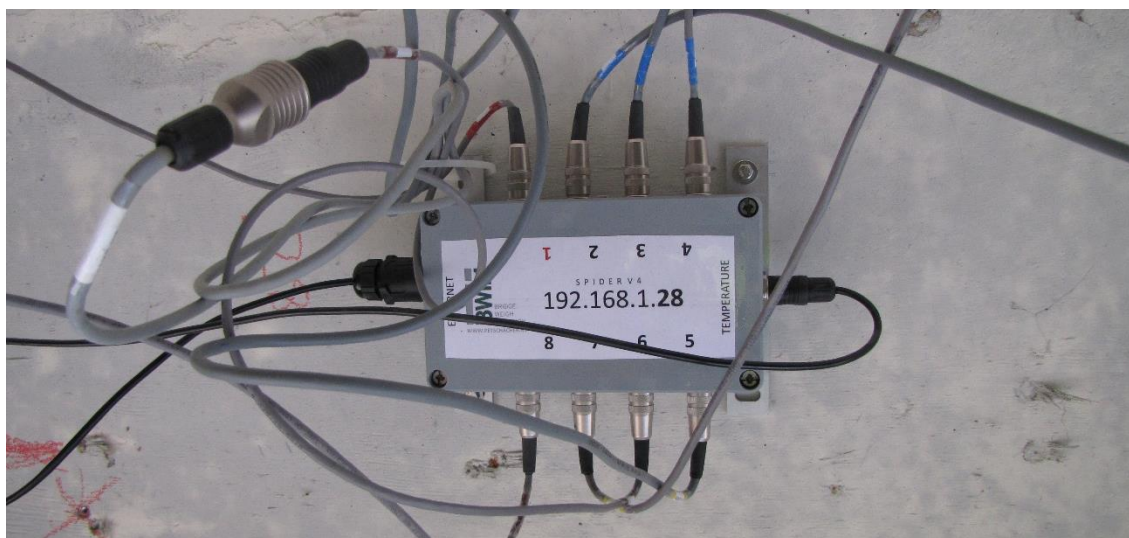


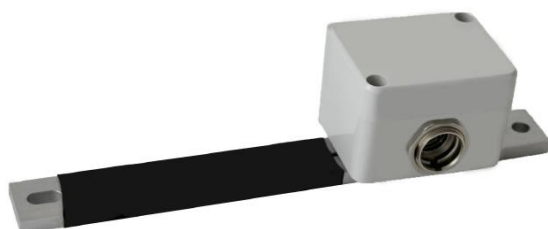
Foto 7. *Spider* (kinnitatud sillatekiplaadi alla)

7.2.2. Andurid

Ühes komplektis on kokku 14 andurit (joonis 11 ja foto 8). Kõik andurid töötavad samadel põhimõtetel, kuid neid kasutatakse kahel eesmärgil:

- silde keskele paigaldatavad andurid, mis fikseerivad sõiduki massi;
- ADMP andurid, mis paigaldatakse umbes neljandikule sildest ning mis töötavad eelkõige päästikuna pildistamiseks.

Andurid paigaldatakse sillateki alla olenevalt silla tüübist kas teatavate vahekaugustega plaadi või talade alumisele pinnale. Andurid kinnitatakse sillateki külge kas poltühendusega (raudbetoon) või magnetitega (teras). Andurid ühendatakse vastavate kaablite abil *spider*-tega (vt tabel 6).



Technical data:

Power supply	5 VDC
Operation temp.	−30... + 80°C
Dimensions	220 x 50 x 51 mm
Weight	160 g
Pins	4-wire opt. 5-wire
Casing protection	IP64
Power consumption	typ. 0.1W

Joonis 11. Andur ja selle tehnilised andmed (allikas: PSP)



Foto 8. Andur (kinnitatud sillatala alla)

7.2.3. Temperatuurisensorid

Sillakonstruktsiooni temperatuuri mõõtmiseks on ette nähtud spetsiaalne temperatuurisensor (joonis 12). Ühelt poolt ühendatakse see otse spider-isse (vt tabel 6) ning teises otsas on sellel betooni puuritud auku torgatav metallist sensor (foto 9).



Technical data:

Power supply	5 VDC
Operation temp.	-35... + 105C
Dimensions	50x6mm
Weight	67 g
Cable length	up to 50m
Pins	4-wire
Casing protection	IP65
Power consumption	typ. 0.1W

Joonis 12. Temperatuurisensor ja selle tehnilised andmed (allikas: PSP)

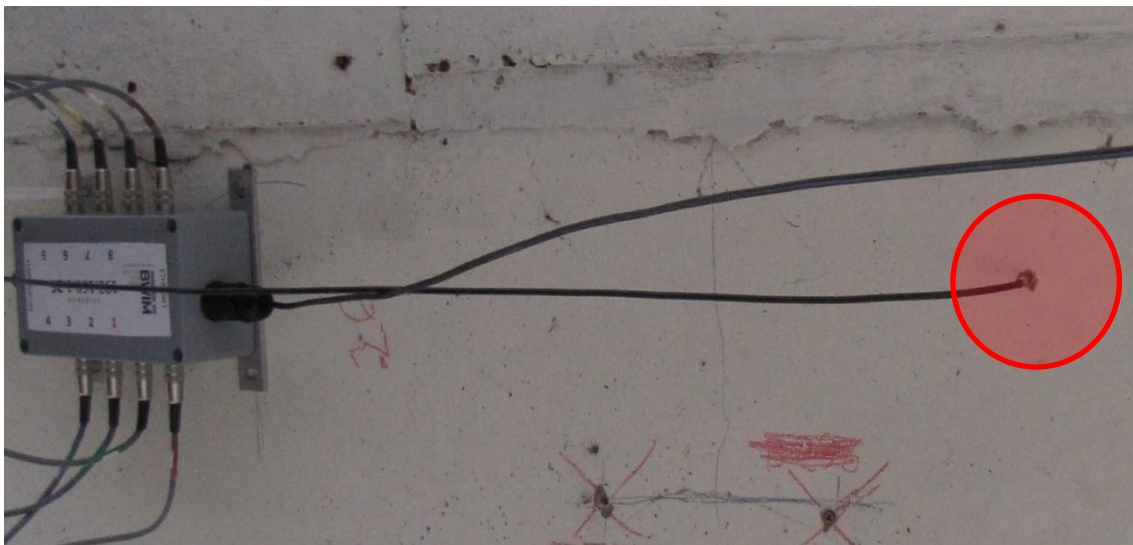


Foto 9. Temperatuurisensor (tähistatud punase ringiga)

7.2.4. Laserid

Sõidukite telgede arvu ja vahekauguse fikseerimiseks paigaldatakse sillateki peale sildeava keskele sõiduradade äärde laserid. Ühes komplektis on kaks firma SICK Dx35 või DT50-2 laserit (fotod 10...12), mis kumbki mõõdab ühte sõidurada.



Foto 10. Laserid SICK Dx35 ja DT50-2 (allikas: PSP)



Foto 11. Laser (vaade sõidurajalt)

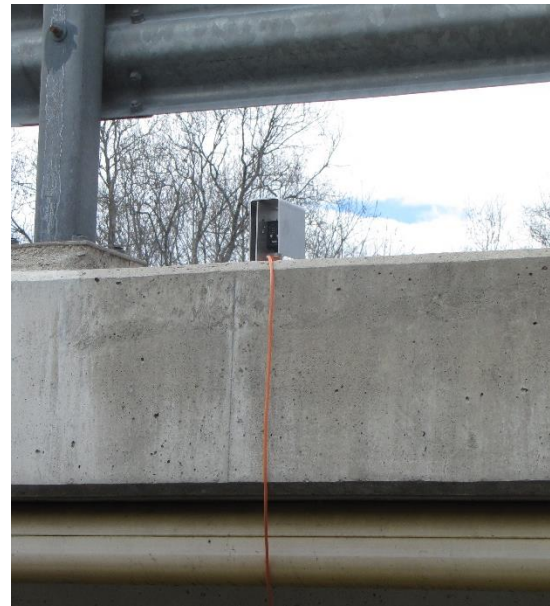


Foto 12. Laser (vaade silla kõrvalt)

7.2.5. Kaamerad

Iga sõiduk, mis ADMP-st mõõdetuna ületab ette määratud massi, pildistatakse üles. Pildistamise päästikuks on signaal ADMP-st. Kaameraid on ühes komplektis samuti kaks – üks kummalegi sõidurajale. Kaamerad on firma AXIS mudel P1435-LE ning automaatse fookusseerimisega (fotod 13...14).



Foto 13. Kaamera



Foto 14. Kaamera

7.2.6. Seadmete ühenduskapp

Kõik ülejäänud seadmed, mis on vajalikud mõõtetööde teostamiseks ning andmete salvestamiseks ja edastamiseks, asuvad spetsiaalses silla külge paigaldatavas kapis (foto 15). Kapis asuvad järgnevad tähtsamad seadmed:

- varuaku – suudab voolu katkemise korral anda seadmetele toidet orienteeruvalt 12 tunniks;
- PoE switch (foto 16) – toide kõikidele seadmetele ning spider-ite (2 tk) ja kaamerate (2 tk) ühenduskoht, edastab toidet spider-itele ja kaameratele (andmevahetus arvuti ja Spider-ite vahel toimub LAN kaabli abil);
- iBWIM ruuter ja arvuti (joonis 13) – mõõtmisandmete kokku kogumine ning kesksesse andmebaasi saatmine (andmete saatmiseks kasutatakse 4G mobiilsidevõrku, mis vajab ka spetsiaalset antenni).

Võimaliku vandalismiohu tõttu on kapile paigaldatud ka valve. Leping on sõlmitud firmaga G4S.



Foto 15. Seadmete ühenduskapi sisu



Foto 16. Kapis asuv PoE switch (allikas: PSP)



Technical data:

Power supply	9...36VDC
Operation temp.	0... + 70°C
Dimensions	...
Weight	900g
Casing protection	IP66
Power consumption	18W
CPU	Intel i7-3517UE 1.7GHz
RAM	8 GB DDR3
Hard disk	1 TB SSD
Mobile connection	GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA, HSPA+, DC-HSPA+, LTE
Connection	2x LAN, 4x USB, 5x COM
Mounting	DIN-rail

Joonis 13. Kapis asuv arvuti ja selle tehnilised andmed (allikas: PSP)

7.3. Eeltööd seadmete paigaldamiseks

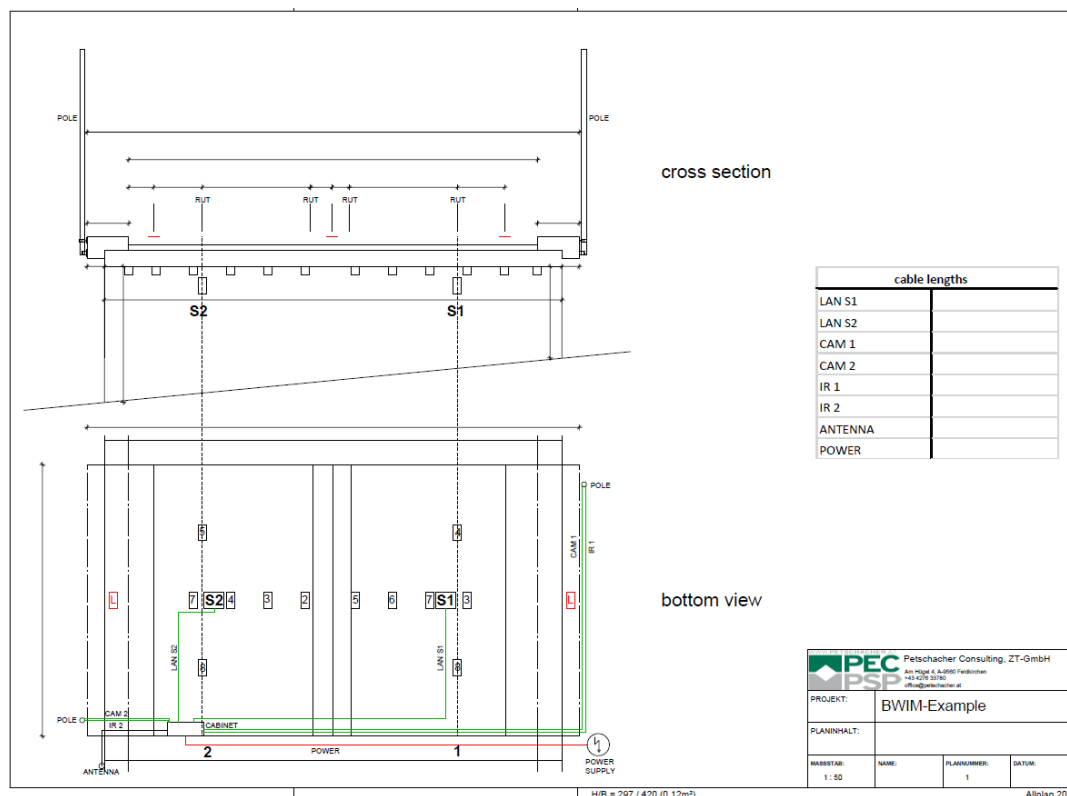
Andurite paigaldamine toimub vastavalt süsteemi looja (PSP) poolt koostatud seadmete paigaldamise skeemile. Et tarnija saaks vastavad paigaldusjoonised koostada, on eelnevalt vaja objekt üle mõõdistada. Esitada tuleb järgmised andmed (koos täpsete mõõtudega):

- sillateki ristlõike kuju;
- tala(de) pikkus ning sildeavad;
- silla kogupikkus (vuugist vuugini);
- sõiduradade markeering põiklõikes;
- rattajälgede asukohad põiklõikes;
- sõiduradade suunad.

Seadmete tarnijapoolne ülesmõõtmisjoonise näidis on toodud joonisel 14, millele hiljem märgitakse peale andurite asukohad.

Lisaks eelpoolmainitud joonistele on kohapeal vaja uurida, kust võiks saada ühenduse vooluvõrguga. Elektrit on võimalik võtta tee ääres olevast elektrikilbist (nt tänavavalgustuse olemasolul) või lähedalasuvatest majapidamistest (seadmed tarbivad elektrit orienteeruvalt 35 W).

Samuti on vaja paigalduseelsel ülevaatusel uurida, kuidas oleks võimalik kinnitada kaamerate postid. Kaamerapostide asukoha valikul tuleb silmas pidada, et sõidukist tehtav foto oleks tehtud õigelt kauguselt ja sobiva nurga all ning tagatud oleks posti stabiilsus.



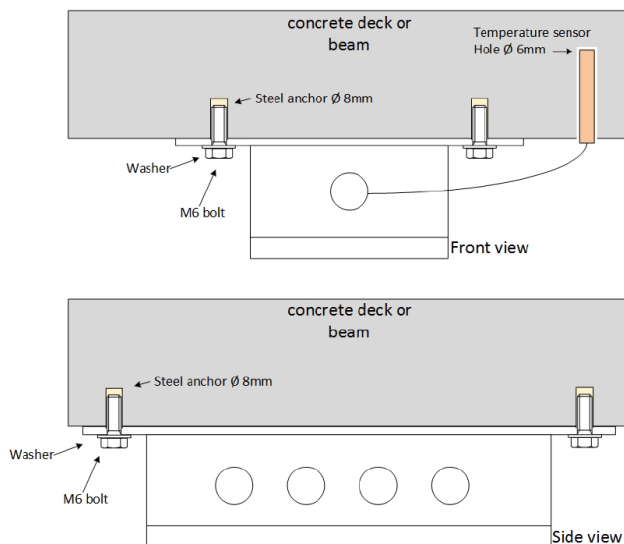
Joonis 14. Seadmete tarnijapoolne ülesmõõtmisjoonise põhi

7.4. Seadmete paigaldamine

7.4.1. Spider-id

Spider kinnitatakse betoonpinna külge kasutades samu tüübleid ja polte, mida anduritegi puhul. Ette on nähtud küll neli auku (igas *spider*-i nurgas), kuid piisab kahe diagonaalse kinnitamisest, ülejäänud kahte saab kasutada kaablisidemete aasadena. *Spider*-i paigaldamise sammud on järgnevad (joonis 15):

1. mõõta välja *spider*-i asukoht vastavalt lühimale kaablile ühest andurist;
2. puurida esimene auk ($\varnothing 8$ mm, sügavus vastavalt ankrule) ja lüüa ankur sisse;
3. kinnitada *spider* ühest nurgast poldiga;
4. *spider*-i enda abil panna paika diagonaalnurga kinnituse asukoht;
5. keerata *spider* eest ära ning puurida auk ja lüüa sisse ankur;
6. kinnitada *spider*-i diagonaalnurk poldiga.



- Spider position in the middle of lane
- Drill first hole, place Spider and drill diagonal hole
- Install impact dowels and screw in Spider
- Let the Spider a little bit loose to place cable ties
- After cables are installed, fix Spider screws

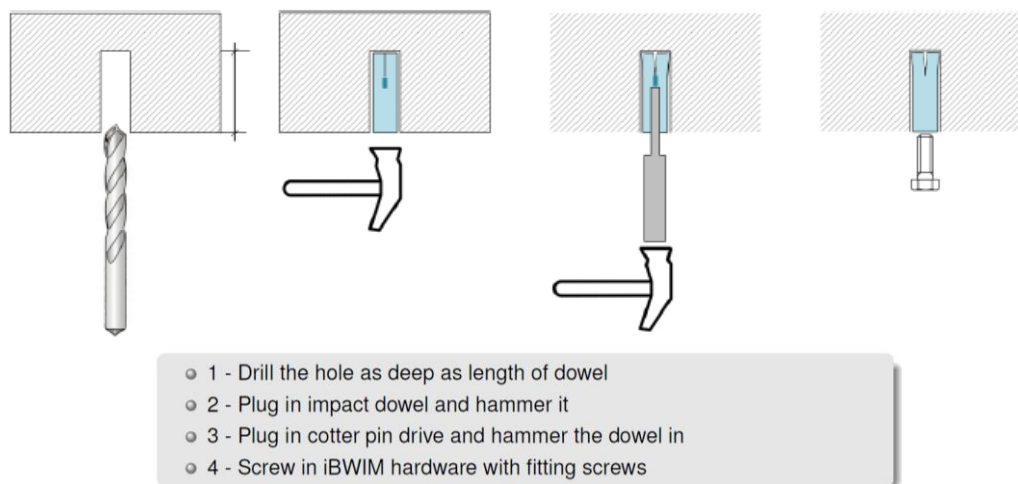
Joonis 15. *Spider*-i kinnitamine (allikas: PSP)

7.4.2. Andurid

Silla all asuvate seadmete paigaldamist tuleks alustada anduritest ning vastavad sammud on järgnevad:

1. märkida sillale pikisuunaline keskkohht ning andurite asukohad (kaugused on antud enamasti keskkoha suhtes);
2. puurida esimese anduri üks aukudest ($\varnothing 8$ mm) nii, et anduri keskkohht langeks kokku ettenähtud asukohaga, sügavus vastavalt ankrule (joonis 16);
3. kasutades spetsiaalset abivahendit (foto 17), puurida teine auk ($\varnothing 8$ mm, sügavus vastavalt ankrule);
4. lüüa ankrud esmalt haamriga avasse ning seejärel lüüa torniga ankru sees olevat kiilu, et sisekoonus laieneks ja ankrud lukustuks kohale (joonis 16);
5. paigaldada andur vastavalt joonisel 17 toodud järjekorrale esmalt keerates poldid sisse käsitsi ning seejärel kasutades padrunit (NB! polte ei tohi keerata nii tugevalt, et andur kaarduks, kuid samas peab tugevalt kinni jääma).

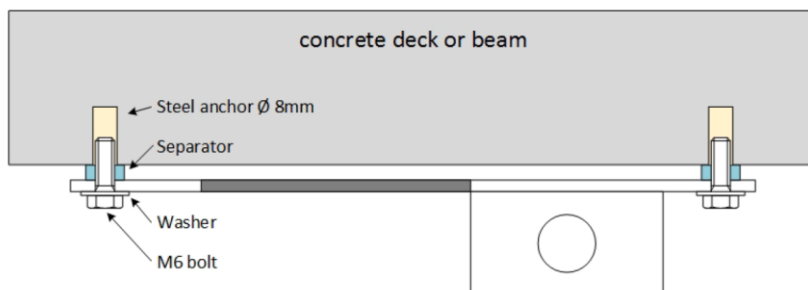
Juhul kui konstruktsiooni betooni kvaliteet on halb, siis puurida pikem auk ning kasutada pikemaid polte või kiilankruid. Kui tegemist on terassillaga, siis kinnitatakse andurid kasutades magneteid.



Joonis 16. Tüüblite paigaldamine (allikas: PSP)



Foto 17. Anduritele vajalike aukude puurimise abivahend



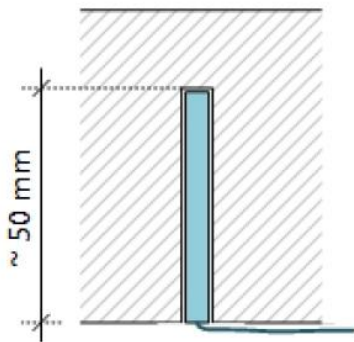
- Drill the holes with drilling gauge
- Install impact dowels
- Screw in sensors with fitting screw lengths
- Watch the torque
- Too loose sensors can slip, too tight sensors can be deformed
- Sensor plug should show in direction of Spider

Joonis 17. Anduri kinnitamine (allikas: PSP)

7.4.3. Temperatuurisensordid

Temperatuurisensor paigaldatakse *spider*-i lähedale vastavalt etteantud kaabli pikkusele järgnevate sammudena (joonis 18):

1. ühendada juhe *spider*-isse (vt tabel 6);
2. sensori juhtme pikkuse järgi panna paika sensori jaoks puuritava augu asukoht;
3. puurida $\varnothing 6$ mm auk sügavusega u. 50 mm;
4. lükata sensor auku.



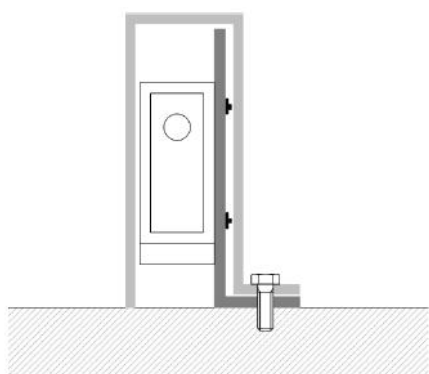
- Plug in temperature sensor at Spider
- Tighten the cable of sensor and mark drilling position
- Drill 6mm hole, depth ca. 50mm
- Place metal element of sensor in the hole
- Fix cable with dowel loop if it is too loose

Joonis 18. Temperatuurisensori paigaldamine (allikas: PSP)

7.4.4. Laserid

Laserid paigaldatakse sõiduraja äärde nii, et selle kiir oleks teepinnaga paralleelne ning ulatuks 5...10 cm kõrgusele tee pinnast. Sellisel viisil loeb laser teepinnal asuvaid telgi ja ei loenda tõstetud telgi ega porisirme. Laserkiir peab ulatuma üle ühe sõiduraja ning selle tööala seadistatakse paigaldamise käigus vastavalt vajalikule mõõteala pikkusele. Laserid kinnitatakse kasutades samu tüübleid ja polte, mida anduritegi puhul. Kuna sillalt tulenevad vibratsioonid võivad määratud laserkiire suunda muuta, siis võib olla vajalik rohkem kui ühe seibi ning sellest tulenevalt ka pikemate poltide kasutamine. Laserite paigaldamise sammud on järgnevad (joonis 19):

1. mõõta välja silla keskkoh;
2. valida välja laserite paigaldamise asukoht lähtudes joonisest ning võimalustest – joonisel antud asukoht on ligikaudne ning sõltub sillal olevast olukorrast, näiteks võivad planeeritud kohas olla ees piirete postid vms;
3. proovida valitud laseri asukoha toimivust;
4. puurida augud ($\varnothing 8$ mm, sügavus vastavalt ankrule) ja lüüa ankrud sisse;
5. kinnitada laser, vajadusel lisada seibe ja kasutada pikemaid polte;
6. kontrollida, et laserkiir oleks teepinnaga paralleelne ning 5...10 cm kõrgusel tee pinnast.

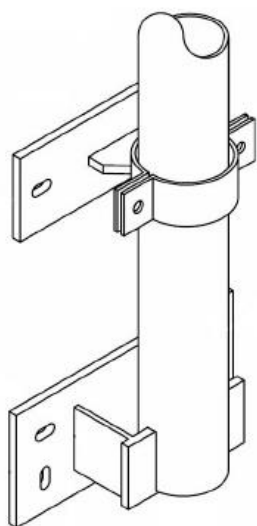


- Fix laser sensor on mounting angle in proper position
- Place angle at edge beam
- Use laser light glasses to detect laser point
- Laser point should hit edge beam on opposite bridge side
- Tag drilling holes and install impact dowels
- Place angle and put on the housing, fix both with screws

Joonis 19. Laserite paigaldamine (allikas: PSP)

7.4.5. Kaamerad

Andurite tarnija poolt edastataval joonisel on kaamerate asukoht määratud ligikaudselt – enamasti jäävad need sõiduraja esimesest ADMP andurist 8...10 m kaugusele. Kaamerad kinnitatakse 4 m kõrguste postide külge, st jäävad maapinnast u. 3,5...3,8 m kõrgusele. Kaamerate paigaldamisel võib toimida kahte moodi – kinnitada kaamera maas enne posti paigaldust või redeliga peale posti paigaldust. Posti kinnitus sõltub silla põiklõikest ning täpse lahenduse peab otsustama kohapeal. Kui silla külge kinnitamine võimalik ei ole, siis tuleb post panna kindlale alusele, vältimaks kõikumist ja vibratsiooni kandumist kaamerani (näiteks eraldi betoonist alusele). Arvestades, et ühel sillal on mõõtmiste aeg suhteliselt lühike, mille järel peab seadmed tõstma ümber järgmisele sillale, siis on kaamerate kinnitamine posti külge kõige mõistlikum teha kaablisidemete ja võimalusel paari puurkruviga, sest sellisel juhul on hilisem kaamera seadistamine piisavalt lihtne. Seadmete tarnijapoolne juhispild on toodud joonisel 20.



- Fix cam and IP with fitting mounting brackets
- Guide cables through the tube
- Drill 12mm holes and install impact dowels
- Raise the pole and fix with M10 screws

Joonis 20. Kaamerate paigaldamine (allikas: PSP)

7.4.6. Seadmete ühenduskapp

Seadmete ühenduskapp (foto 18) tuleks võimaluse korral paigaldada silla sellesse nurka, kust tuleb ühendus vooluvõrguga, et ei peaks vedama elektrijuhet läbi vee või üle tee. Kapi asukohavalikul sillal peaks lähtuma järgnevast:

- ligipääsetavusest – kapis asuvale arvutile on süsteemi seadistamise ajaks vaja taha ühendada monitor, klaviatuur ja hiir, seega peab kapp olema asukohas, mis võimaldaks nende kolme komponendiga töötamist;
- keskkonnamõjutustest – kapp peaks olema kaitstud otsese päikesevalguse ning üleujutuse eest;
- võimalikust vandalismiohust;
- juhtmete piisavusest – *spider*-i ja kapi omavaheliseks ühendamiseks on ette antud limiteeritud kogus erinevate pikkustega kaableid.

Kapp kinnitatakse tala küljele, sambale või muule vertikaalsele pinnale samade ankrute ja tüüblitega, millega ka andurid (sõltuvalt konstruktsiooni seisukorrast võib M6 ankrute ja poltide asemel kasutada ka komplektis olevaid M10 variante). Kuna kapp on piisavalt raske, siis tasub selle paigaldamise ajaks võtta aku välja.



Foto 18. Seadmete ühenduskapp Parila sillal

7.4.7. Juhtmete ühendamine

Kui kõik seadmed on paigal, siis tuleb kõik omavahel ühendada juhtmetega järgnevalt:

1. andurid:
 - a. ühendada andurid *spider*-iga vastavalt tabelis 6 ning andurite tarnija poolt koostatud joonisel toodule;
 - b. kuna juhtmete arv on piiratud, siis valida tuleks kõige lühem võimalik juhe eeldusel, et see ei jää pingesse;
2. laserid:
 - a. laseri küljes on spetsiaalne kaabel;
 - b. lisada sellele üks sarnane kaabel, millega ühendatakse andureid;
 - c. ühendada mõlemal *spider*-il pesasse nr 1;
3. *spider*-id:
 - a. kasutada selleks spetsiaalselt ette nähtud LAN-kaablit;
 - b. *spider*-i poolne kaabli pesa on *spider*-i ühes otsas (vt tabel 6);
 - c. seadmete ühenduskapis tuleb see juhe viia läbi kapi alumises ääres oleva ilmastikukindla krae ning ühendada *PoE swich*-i (foto 16);
4. temperatuurisensor peaks olema juba eelnevalt ühendatud;
5. kaamerad:
 - a. kaamerapoolne juhtmeots peaks olema juba eelnevalt ühendatud;
 - b. juhtme teine ots tuleks viia läbi kapi alumises ääres oleva ilmastikukindla krae ning ühendada *PoE swich*-i (foto 16);
6. paigaldada mobiilsidevõrgu antenn (maapinnast kõrgemale, nt silla piirde külge) ning ühendada selle LAN juhe seadmete ühenduskapis olevasse arvutisse (foto 19);
7. elekter – ühendada elektrijuhe elektri pakkuja poolel ning kapi küljes juba olevasse pessa, ühenduskoht jääb kapi peale sellest väljapoole.

Kui süsteem on seadistatud ja on teada, et andurite asukohta ei pea enam korrigeerima, siis tuleks liigselt rippuvad juhtmed kinnitada spetsiaalsete aasadega (joonis 21). Juhtmete kokkukerimisel peab jälgima, et LAN-kaablid ja elektrijuhe ei ristuks omavahel ning et ülearune kaabli pikkus keritaks kokku 8-kujuliselt (vastasel korral võib signaaliedastus olla häiritud).

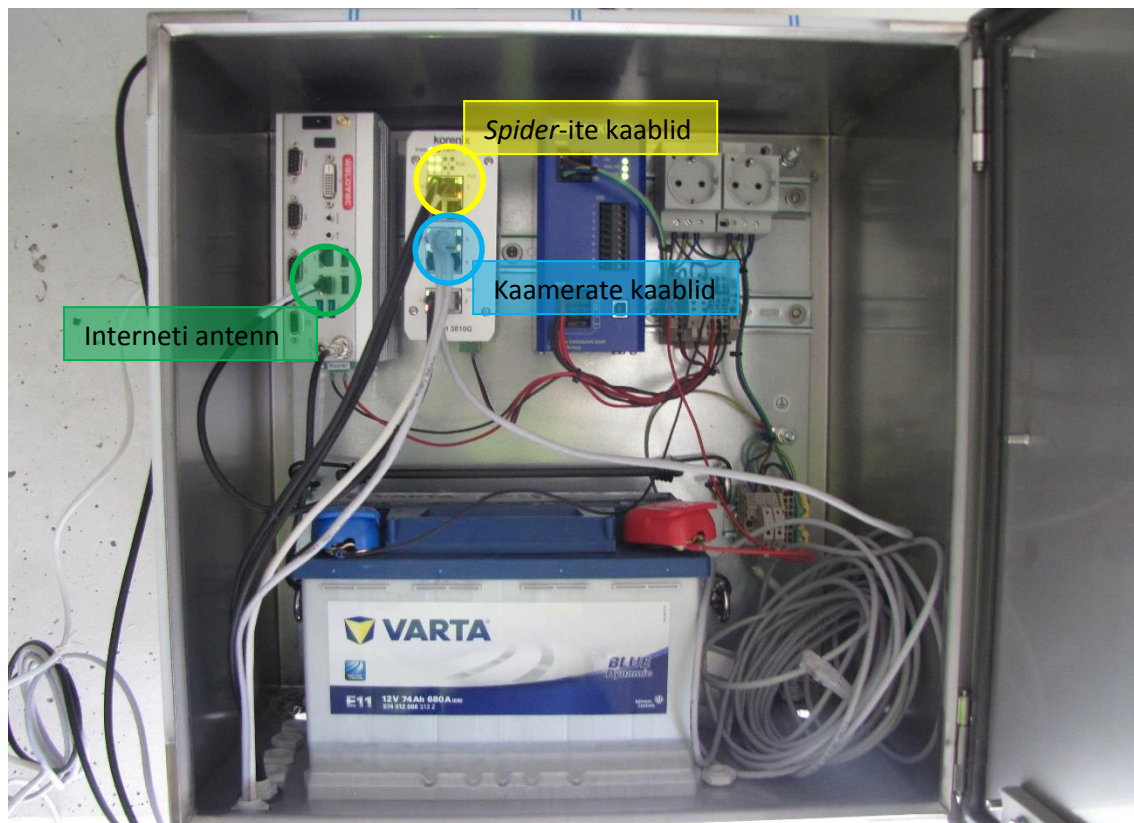


Foto 19. Kaablite ühendused seadmete ühenduskappi (kollasega spider-ite ühenduskoht, sinisega kaamerate ühenduskoht, rohelisega interneti antenni ühenduskoht)



- Tighten cables, begin at sensor part
- Drill 6mm holes, plug in dowel and fix cable
- Use a few loops depending on cable lengths
- Fix cables at sensors with cable ties
- If sensor cable is left over, make a loop at the Spider and fix with cable ties
- If LAN cable is left over, make a '8'-shaped loop at cabinet and fix with cable ties

Joonis 21. Juhtmete kinnitamine (allikas: PSP)

7.4.8. Süsteemi seadistamine

Peale juhtmete ühendamist lülitatakse seadmekapis paiknev arvuti tööle ning seadistatakse tarkvara vastavalt mõõdetavale sillale. Seadistuseks on eelnevalt laetud arvutisse iga mõõdetava silla kohta protokollid, mis vastavalt siis avatakse ja suletakse. Süsteemi töökorras oleku ja anduritest tuleva signaali testimiseks on vajalik autode (veokite) sillast üle sõitmine. Saadud andmete karakteristika järgi seadistatakse ADMP rakendumise nivoo.

7.5. Kalibreerimine

Kalibreerimine võib toimuda terve 7-päevase mõõteperioodi vältel, soovitatavalt 2-3 päeva peale süsteemi tööle rakendamist. Selleks ajaks on süsteem kogunud piisavalt infot ja tasandanud mõjujoone (*influence line*).

Kalibreerimiseks kasutatakse kalibreerimisplaani nr 3 (vastavalt iBWIM juhendile). Kalibreerimisel osaleb kaks erineva teljekoormusega veokit. Esmalt kaalutakse teljekaaludega iga veoki telg 5 kg täpsusega (foto 20) ning mõõdetakse telgede vahekaugus. Seejärel sisestatakse mõõdetud andmed tarkvarasse. Veokid sõidavad üle silla kolmel-neljal eri kiirusel – 60, 70, 80 ja 90 km/h (asulates ja kiiruspiiranguga aladel vastavalt 50, 45, 40 ja 70, 65, 60, 50 km/h) (foto 21). Igal kiirusel läbitakse kumbki sõidurada 5 korda. Iga fikseeritud sündmuse ID registreeritakse tarkvaras kalibreerimisena. Saadud andmete põhjal arvutab tarkvara kõigile (nii eelnenud kui ka tulevastele antud sillal fikseeritud sündmustele) teljekoormused.



Foto 20. Sõiduki kaalumine



Foto 21. Kalibreerimine

7.6. Probleemide kirjeldus

- 1) Betooni ebaühtlane kvaliteet (eelkõige tühimikud) takistab seadmete kinnitamist silla külge. Enamikel sildadel on betoonist kaitsekiht vahemikus 1...5 cm, mistõttu terasarmatuur võib takistada pikemate kinnitusvahendite kasutamist. Esineb vajadus andurite asukoha muutmiseks, kui piisav kinnitamine ei ole võimalik.
- 2) Andurid on tundlikud kinnikeeramise tugevuse suhtes. Liiga suure momendiga kinnikeeramine painutab anduri ebaloomulikku asendisse, mis takistab anduri tööd. Liiga nõrgalt kinnitatud andur ei pruugi edastada tulemusi korrektselt.
- 3) Andurite korrektne funktsioneerimine tuleb ära kontrollida esimesel võimalusel (kohapeal). Kuna erinevaid ühendusi on palju ning sillad asuvad sageli Tallinnast kaugel, siis hilisem ühenduste korrigeerimine võtab palju aega.
- 4) Elektrijuhtmed ei tohi joosta üle tee ega läbi veekogu, kuna monitoorimise ajal kujutab see endast tõsist ohtu liiklejatele.
- 5) Seadmete ühendusjuhtmed peavad olema korrektselt kinnitatud sillateki külge. Eriti tähtis on see kergliiklustee tunnelitel ning viaduktidel, mille alt läbimineval teel on madal kõrgusgabariit.
- 6) Kui silla lähedal puudub võimalus vooluvõrguga liitumiseks, võib see saada tõsiseks takistuseks silla monitoorimisel.
- 7) Enamus silla all teostatavatest töödest toimuvad sildeava keskel. Kõrgelasuv sillatekk osutub probleemiks, kui tõstevahenditega ei ole võimalik silla alla pääseda. Redelilt töötades on maksimaalseks ohutuks kõrguseks orienteeruvalt 5 meetrit. Sügav vesi ja vee kiire vool silla all takistavad oluliselt tööde kulgu.
- 8) Kaamerate ja kaamerapostide kinnitus peab olema piisavalt tugev, et tugev tuul ega lähedalt mööduvad veokid ei muudaks kaamera suunda.
- 9) Tiheda lumesaju korral on fotode kvaliteet halb.
- 10) Kaamera suund ja kaugus sõidukitest tuleb väga oskuslikult valida ning seda tuleks kontrollida kohe, kui süsteem hakkab andmeid edastama. Vastasel korral võib osutuda raskeks teostada fotode põhjal järelkontrolli.
- 11) Laserid võivad sillateki vibratsiooni tõttu oma suunda muuta. Selle vältimiseks tuleb kasutada spetsiaalseid topeltseibe. Samuti on tähtis, et laserid oleks suunatud paralleelselt tee pinnaga,

- võttes seejuures arvesse asfaltkatte põikkallet. Vastasel korral võivad tekkida valelugemid (nt ülestõstetud telje korral loetakse see ära, aga teljekoormus puudub).
- 12) Vihmaste ilmade ja niiske tee puhul võivad koguneda kondensvesi või ratastest paisatud veepritsmed laserite pinnale, mis murravad laserkiiri „valesti“ või klaasile tekib porikiht, mis ei lase laserikiirt läbi. Laserite poolt edastatavaid andmeid tuleb kogu mõõtmisperioodi jooksul korrektselt jälgida ja lasereid vajadusel puhastada.
 - 13) Talvisel perioodil võib silla servale lükatud lumi takistada laserite tööd ning lasereid tuleb vajadusel puhastada.
 - 14) Andmeside kvaliteedi eelkontroll silla valikul- kui mõni sild oma omadustelt ja asukohalt on väga hea, aga andmeside seal kehv, on andmete kogumine võimalik, kuid jooksev monitooring võimatu, mis võib väljenduda ootamatute leidudena- kaamera ära „vajumine“, elektrikatkestus, ADMP vale triggerdus“.
 - 15) Andmesidekaablitele, mis asuvad tee pealispinnal (kaamera-, laseri- ja antennikaablid) satub teele puistatavat soola, mis rikub kaablite katet ja ühendusi pistikutes, mis lõpuks võib väljenduda ilmastiku koosmõjul oksüdeerumise ja andmeside katkemisena. Selle juhtudes tuleb kaablid välja vahetada ja paigaldusel tuleb jälgida ühenduste paiknemist.
 - 16) Viadukti all töötades tuleb tagada liiklejate ja töö teostajate ohutus, kuna töid teostatakse praktiliselt tee keskel. Kõrgendatud tähelepanu tuleb pöörata nendele juhtudele, kui viadukti all olev tee ei ole sirge, kuna kiiresti liikuvatel (sageli ka kiirust ületavatel) sõidukitel ei pruugi jääda piisavalt reageerimisaja takistusest möödumisel.
 - 17) Tuleb arvestada asjaoluga, et mõõteandmete tabelis (mis on suhteliselt mahukas) võib esineda anomaaliaid, mis tuleb sealt „käsitsi“ eemaldada. Mõned sellekohased näited:
 - järjestikku liikuvate sõidukite väga väikese pikivahe korral võivad andurid seda lugeda üheks sõidukiks;
 - võib esineda olukordi, kus sõiduki andmed salvestatakse süsteemis topelt (see on fotode põhjal lihtsalt kontrollitav);
 - vähesel määral esineb olukordi, kus mingil põhjusel ei ole andurid eraldanud kahte lähestikust telge.
 - 18) Seadmekapi paigaldamisel tuleb arvestada asjaoluga, et kevadisel ja sügisel perioodil on võimalik väga kiire veetaseme tõus.

8. ÜLEVAADE EESTIS VEETAVATEST KOORMUSTEST MÕÕTMISPUNKTIDE PÕHJAL

8.1. Valitud sillad

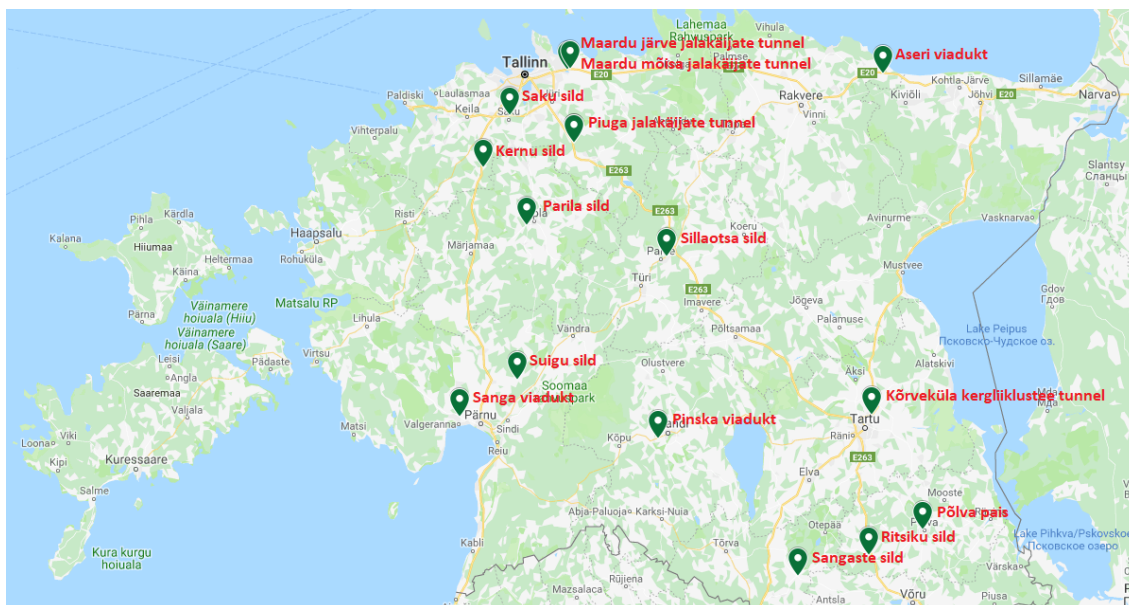
8.1.1. Koondandmed

Sildade valikul on püütud lähtuda asjaolust, et koguda mõõtmisandmeid nii kaubaveo seisukohalt olulistel riigiteedel (transiitteedel) kui ka kohaliku tähtsusega teedel (raskeliikluse osakaalu ja aasta keskmise ööpäeva liiklussageduse järgi). Asukoha valikuid kitsendavad oluliselt teedel asuvate sildade ja teekatete näitajad, mis peavad B+(7) vastavate tulemuste saavutamiseks vastama joonisel 22 toodud andmetele. Kõikide mõõdistatud sildade koondandmed on esitatud tabelis 7 ning asukohad joonisel 23.

			WIM site classes		
			I Excellent	II Good	III Acceptable
Geometry		Longitudinal slope (%)	≤ 1	≤ 2	≤ 2
		Transverse slope (%)	≤ 3	≤ 3	≤ 3
		Radius of curvature (m)	≥ 1000	≥ 1000	≥ 1000
Rutting (3m beam)		Rut depth max. (mm)	≤ 4	≤ 7	≤ 10
Evenness	IRI ^a Index	Index (m/km)	0 – 1.3	1.3 – 2.6	2.6 – 4
	APL ^b	Rating (SW, MW, LW)	9 – 10	7 – 8	5 – 6

Criteria	Optimal	Acceptable
bridge type	steel girders, reinforced concrete girders, culvert, steel orthotropic decks ⁽¹⁾	concrete slab, prestressed concrete girders
span length ^{(2) (3)} (m)	10 – 24	5 – 10; 24 – 35
traffic density	free traffic - no congestion (traffic jam)	
evenness of the pavement before and on the bridge	class I or II (Table 2)	class III (Table 2)
skew (°)	≤ 10	≤ 25 or ≤ 45 ^(*)

Joonis 22. Tähtsamad valikukriteeriumid täpsusklassi B+(7) saavutamiseks (allikas: PSP)



Joonis 23. Sildade valik kaardil

Tabel 7. Sildade üldinfo (allikas: [Sildade BMS haldussüsteem](#))

Silla nimetus	Silla lühend	Silla nr	Silla asukoht					Silla kogu- pikkus [m]	Silla kogu- laius [m]	Silla avade arv [tk]	Ehitus- aasta
			Maa- kond	MA regioon	Tee nr	Tee nimetus	Ületatav takistus				
Parila sild	PB	282	Rapla	Põhja	28	Rapla - Märjamaa	Vigala jõgi	14,1	10,9	1	1970
Suigu sild	AS	731	Pärnu	Lääne	19203	Are - Suigu	Sauga jõgi	20,9	8,9	3	1953
Sanga viadukt	SO	702	Pärnu	Lääne	60	Pärnu - Lihula	Audru tee nr. 19105	36,3	13,6	3	1996
Põlva pais	OB	823	Põlva	Lõuna	87	Põlva ringtee	Orajõgi	5,2	11,0	1	1967
Ritsiku sild	RB	822	Põlva	Lõuna	71	Rõngu - Otepää - Kanepi	Võhandu jõgi	11,5	10,7	1	1963
Piuga jalakäijate tunnel (Tallinna ja Tartu suund)	PT	1251	Harju	Põhja	2	Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa	Kergliikustee	4,0	28,0	1	2013
Sangaste sild	VB	982	Valga	Lõuna	69	Võru - Kuigatsi - Tõrva	Väike Emajõgi	14,1	9,2	1	1963
Pinska viadukt	PO	615	Viljandi	Lääne	92	Tartu - Viljandi - Kilingi- Nõmme	Vallatee	12,2	14,6	1	1990
Sillaotsa sild	MB	222	Järva	Ida	5	Pärnu - Rakvere - Sõmeru	Pärnu jõgi	8,7	13,0	1	1959
Kõrveküla kergliikustee tunnel	JT	584	Tartu	Lõuna	3	Jõhvi - Tartu - Valga	Kergliikustee	6,8	19,2	1	2006
Aseri viadukt	SB	396	Ida- Viru	Ida	1	Tallinn - Narva	Raudtee	10,1	13,3	1	2009
Kernu sild	KB	16	Harju	Põhja	4	Tallinn - Pärnu - Ikla	Vasalemma jõgi	15,2	19,2	1	2017
Maardu järve jalakäijate tunnel (Tallinna suund)	EB	62	Harju	Põhja	1	Tallinn - Narva	Kergliikustee	4,0	42,0	1	2011
Saku sild – ida suund	SS	1246	Harju	Põhja	11	Tallinna ringtee	Vääna jõgi	34,0	11,4	1	2017
Saku sild – lääne suund	SN										
Maardu mõisa jalakäijate tunnel (Tallinna ja Narva suund)	MT	63	Harju	Põhja	1	Tallinn - Narva	Kergliikustee	4,0	33,6	1	2011

8.1.2. Parila sild

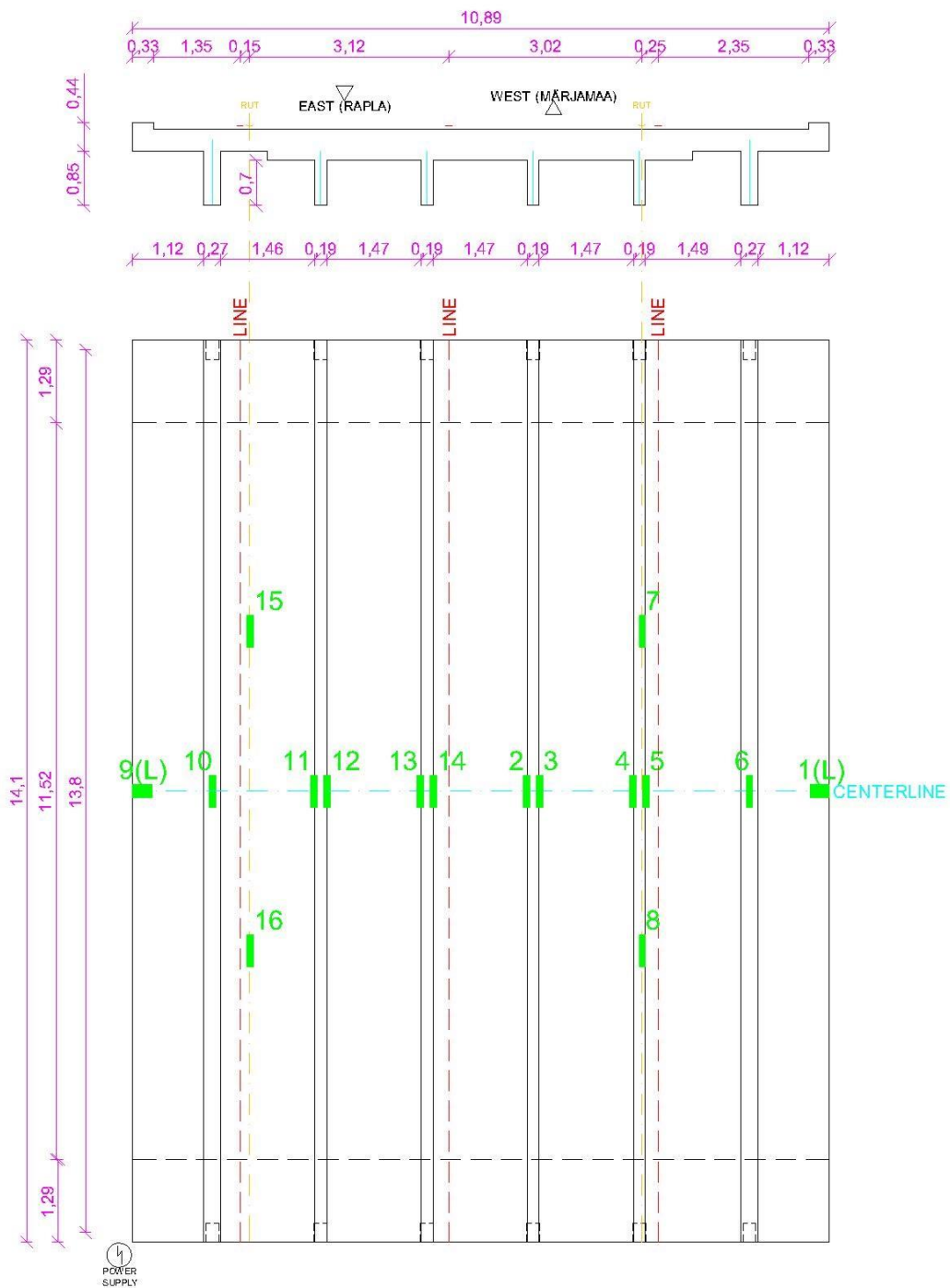
Parila sild (fotod 22...23 ja joonis 24) jääb Raikküla killustikukarjääri teeninduspiirkonda, on metsaveokite liikumismarsruudil ja keskmise liikluskoormusega. Tegemist on esimese taoliselt mõõdistatava sillaga Eestis ning iBWIM süsteemi esimese katsetusega talasillal. Andurite paigaldamine toimus vee seest redeli pealt, kuid kuna sild ei ole väga kõrge ning veetase oli piisavalt madal, siis oli see suhteliselt lihtne. Parila silla puhul on tugevateks külgedeks hea ligipääs sillale, paigaldamise lihtsus ja internetisignaali hea kvaliteet. Mõõtmistest sai järeldada, et talasild ei ole antud süsteemile kõige sobilikum sillatüüp, kuid mõõtmised on võimalikud, kui paigaldada andurid väga täpselt.



Foto 22. Seadmed Parila sillal



Foto 23. Seadmed Parila sillal



Joonis 24. Parila silla seadmete paigaldusjoonis

8.1.3. Suigu sild

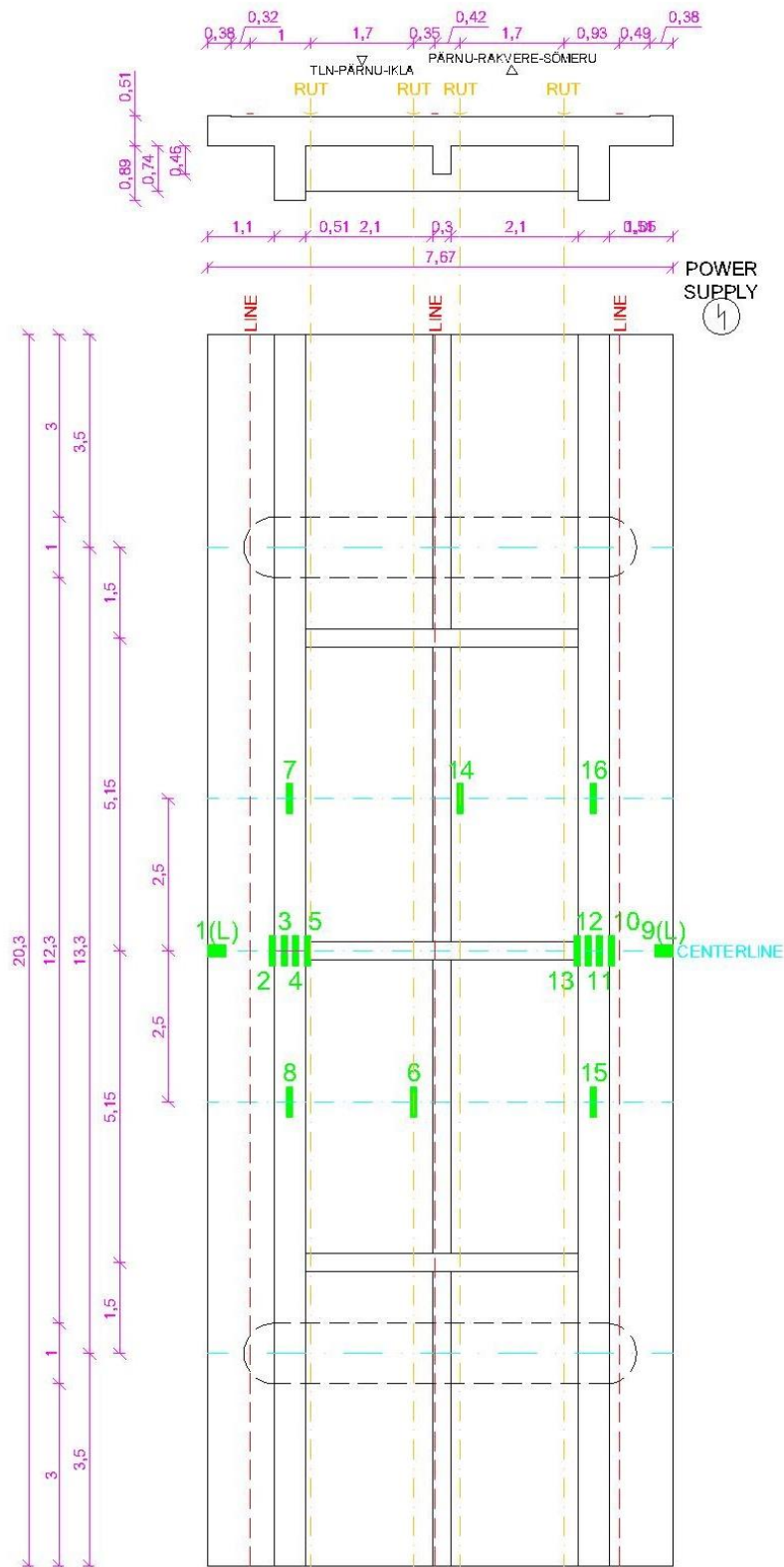
Suigu sild (fotod 24...25 ja joonis 25) asub Tallinn-Pärnu-Ikla ning Pärnu-Rakvere-Sõmeru vahel kõrvalisel ühendusteel, millel on puitmaterjalide jms transport ning selle läheduses asub karjäär. Tegemist on keskmisest kõrgema talasillaga ning andurite kinnitamiseks pääseb taladele ligi vee seest redeliga. Talade betooni kvaliteet on halb ning seetõttu on ka andurite kinnitamine suhteliselt keeruline. Kuid ligipääs sillale on hea ning elektritoide lähedal. Halvaks asjaoluks võibki lugeda betooni kehvast kvaliteedist tulenevaid probleeme – anduritelt heade signaalide saamiseks oli vaja kinnitusi mitmeid kordi reguleerida. Samuti on sild kitsas ja liiklustihedus piisavalt väike, mis tähendas praktikas, et veokid ei püsinud oma sõidurajas, vaid ületasid silda mööda telgjoont sõites.



Foto 24. Seadmed Suigu sillal



Foto 25. Seadmed Suigu sillal



Joonis 25. Suigu silla seadmete paigaldusjoonis

8.1.4. Sanga viadukt

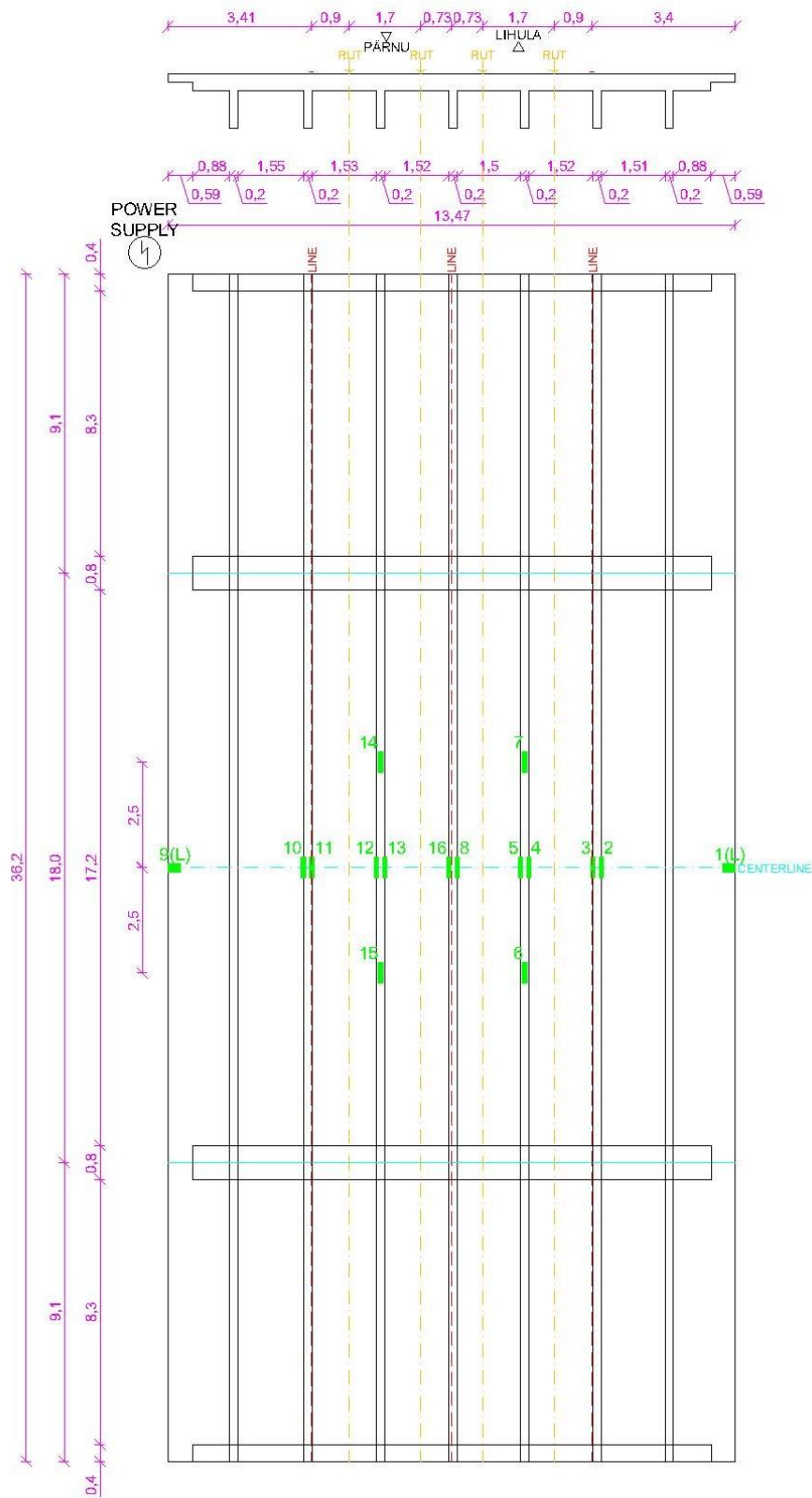
Sanga viadukt (fotod 26...27 ja joonis 26) on suure veokite osakaaluga – see asub metsa- ja turbaveo trassil Pärnu sadamasse ning on ühtlasi kauba ühendusteel Pärnust Saaremaale. Seadmete paigaldamine on keeruline, kuna tegemist on väga kõrge viaduktiga ning selle all on tihe liiklus. Seadmete paigaldamiseks on vajalik viadukti all liiklus ümber korraldada. Viadukti headeks külgedeks saab lugeda selle hea ligipääsetavuse (kuna all ei ole jõge) ning seda ületavate veokite hulka. Halvaks küljeks on asjaolu, et taladel on kummist tugiosad, mille korral tekivad veokitest suured vibratsioonid ja seetõttu sisaldavad saadavad andmed palju mittevajalikku informatsiooni. Lisaks on tegemist kehva kvaliteediga betooniga, mis raskendas oluliselt seadmete kinnitamist.



Foto 26. Seadmed Sanga viaduktil



Foto 27. Seadmed Sanga viaduktil



Joonis 26. Sanga viadukti seadmete paigaldusjoonis

8.1.5. Põlva pais

Põlva pais (fotod 28...30 ja joonis 27) asub kohas, kus Põlva ringtee ületab Orajõe. Silla all on veevoolust elektrit tootev generaator. Sild asub Koidula piiripunkti viival teel ning sellel on tihe veokite liiklus. Ehituslikult on sild igati sobiv iBWIM süsteemile, sest tegemist on monoliitse raudbetoonplaadiga ning väga hea on ka elektritoite olemasolu täpselt silla all. Kuid elektrit tootev generaator tekitab vibratsiooni ning selle elektriväli segab mõõteseadmete tööd. Seetõttu mõõtmiste teises etapis antud silda ei kasutatud.



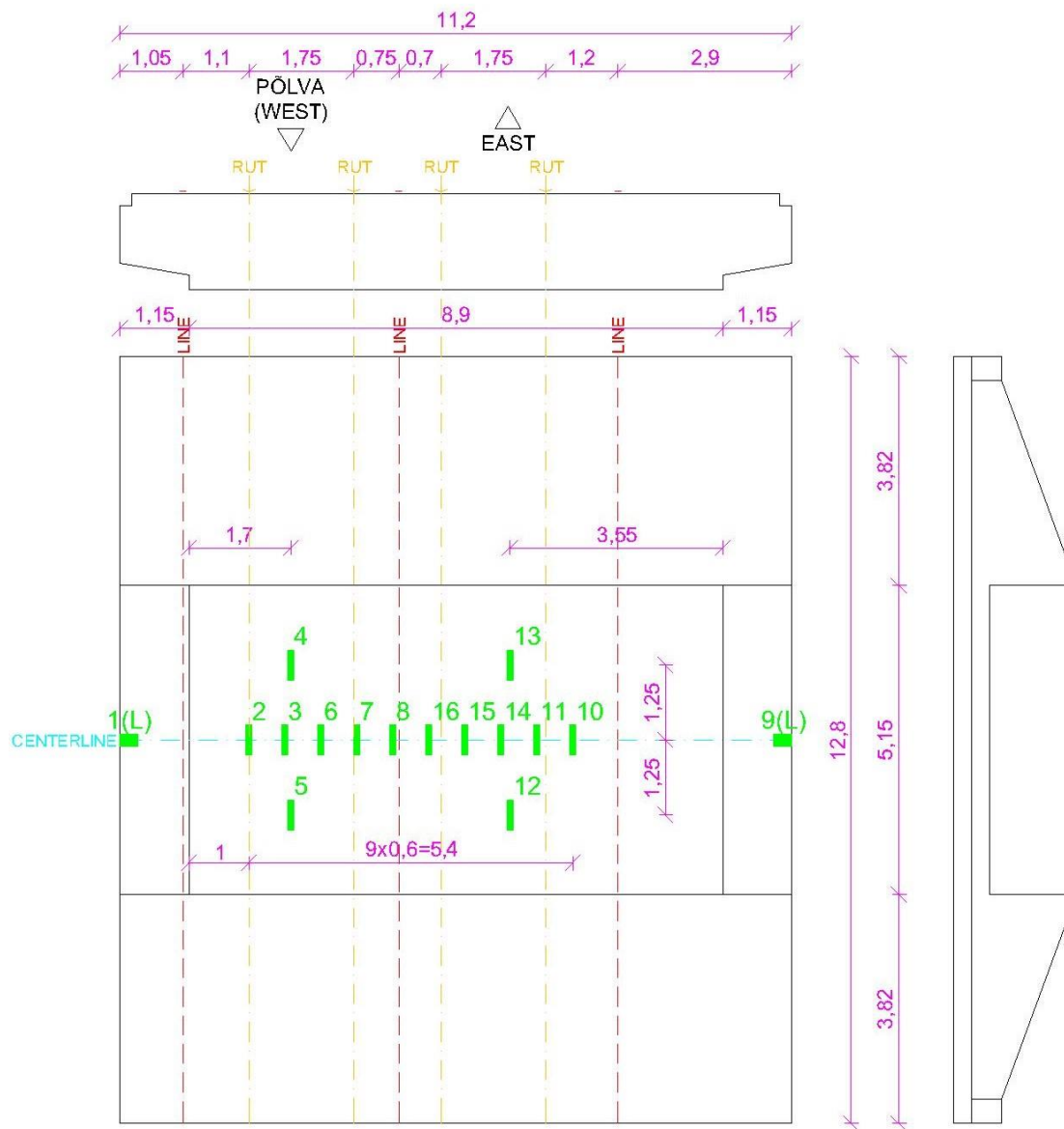
Foto 28. Seadmed Põlva Paisul



Foto 29. Seadmed Põlva Paisul



Foto 30. Seadmed Põlva Paisul



Joonis 27. Põlva Paisu seadmete paigaldusjoonis

8.1.6. Ritsiku sild

Ritsiku sild (fotod 31...33 ja joonis 28) asub puidutööstuse, karjääride ning muude väiksemate tootmisettevõtete läheduses. Tegemist suhteliselt madala ja hea ligipääsetavusega talasillaga, kuhu on seadmeid vees asuva redeli pealt lihtne paigaldada.



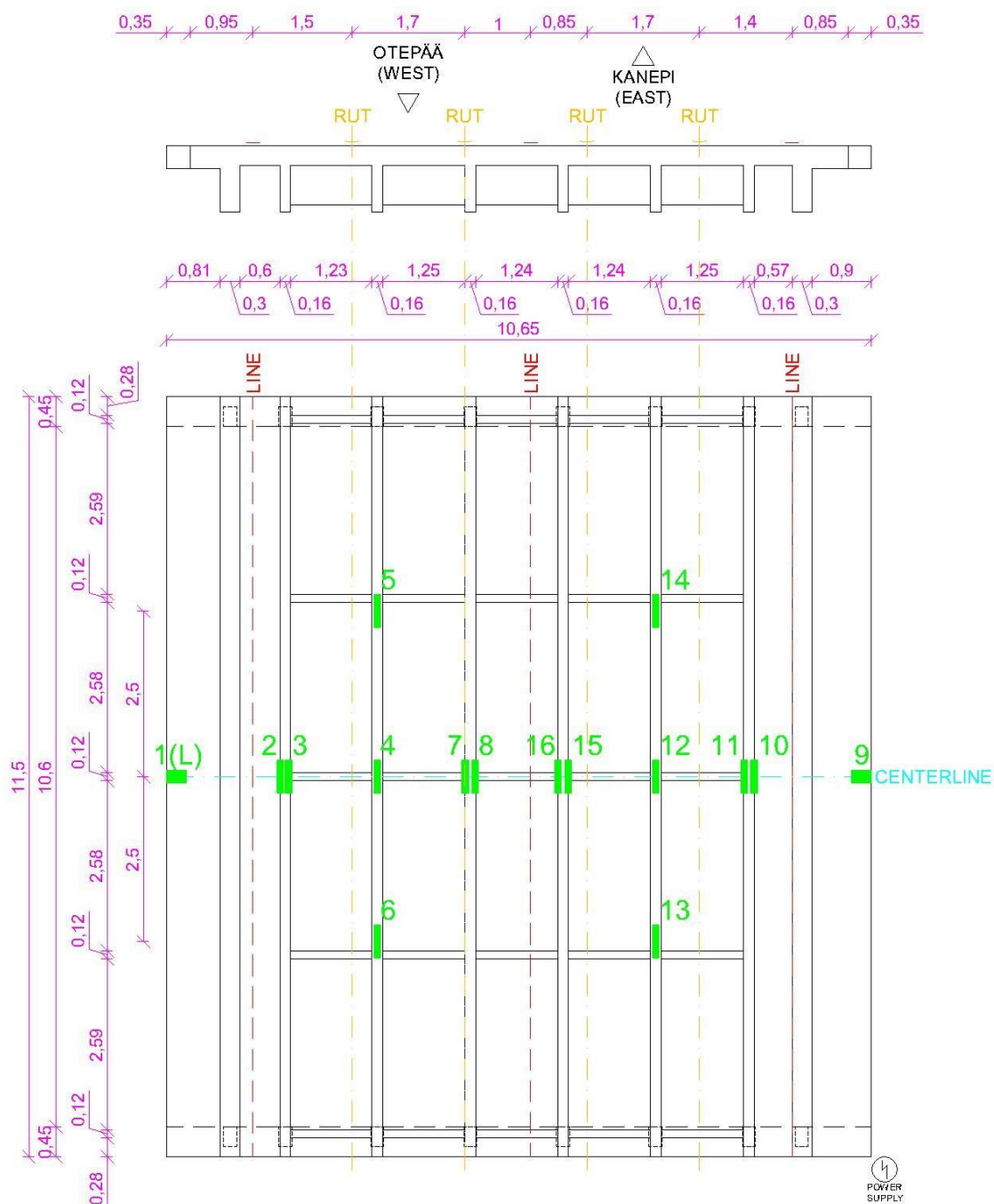
Foto 31. Seadmed Ritsiku sillal



Foto 32. Seadmed Ritsiku sillal



Foto 33. Seadmed Ritsiku sillal



Joonis 28. Ritsiku silla seadmete paigaldusjoonis

8.1.7. Piuga jalakäijate tunnel – Tallinna suund

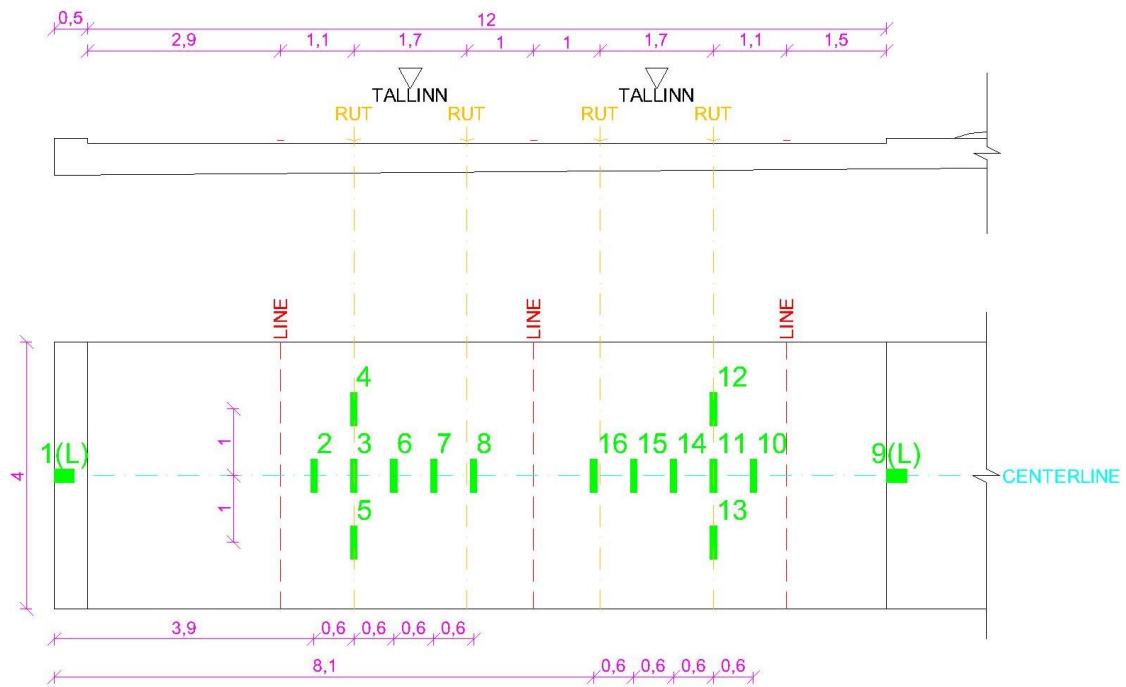
Piuga jalakäijate tunnel (fotod 34...35 ja joonis 29) on väga heas asukohas ning ideaalse konstruktsiooniga iBWIM süsteemile, kuna tegemist on plaatsillaga. Seadmete paigaldamise jaoks on silla all olev kergliiklustee väga mugav, kuna puudub liiklusest tulenev oht või veest tingitud probleemid (kõrge veetase või kiire vool). Seega on ligipääsetavus suurepärane ning ka elektritoide on vahetus läheduses. Seadmete paigalduse tunnelisse teeb võimalikuks kuppelakna olemasolu eraldusribal, mille kaudu saab viia kaamera ning laseri kaabli teise sõiduraja juurde.



Foto 34. Seadmed Piuga jalakäijate tunnelis (Tallinna suund)



Foto 35. Seadmed Piuga jalakäijate tunnelis (Tallinna suund)



Joonis 29. Piiga jalakäijate tunneli (Tallinna suund) seadmete paigaldusjoonis

8.1.8. Piuga jalakäijate tunnel – Tartu suund

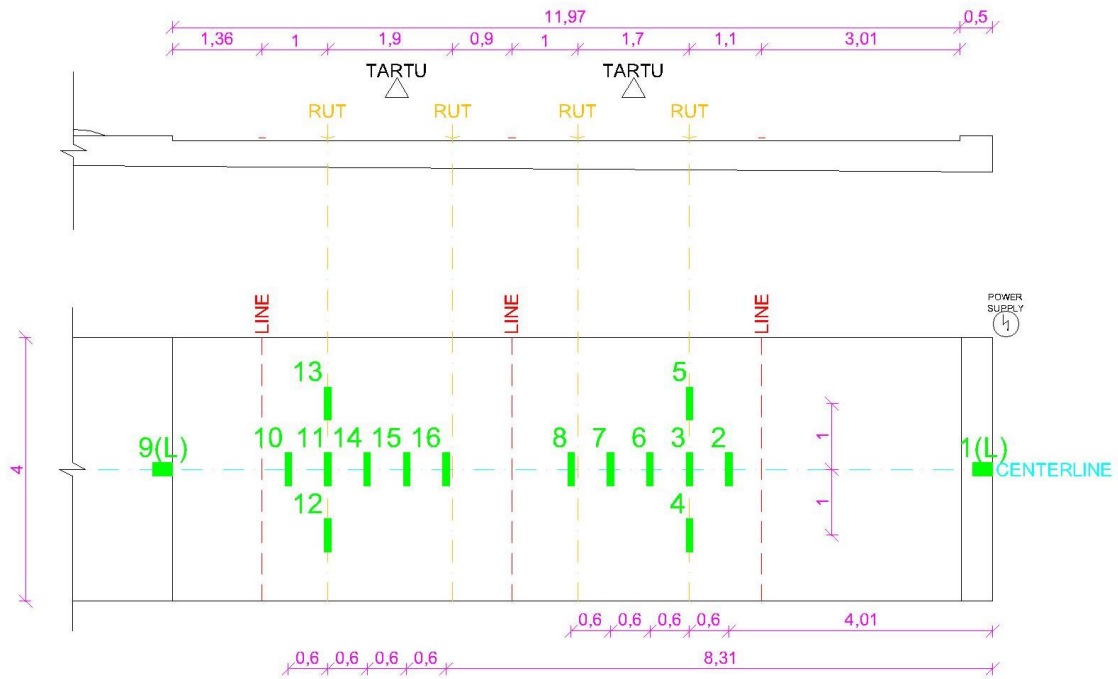
Piuga jalakäijate tunnelit kasutati mõõdistamiseks eraldi Tallinna ja Tartu suunal (fotod 36...37 ja joonis 30). Kirjeldus on toodud eelmises punktis.



Foto 36. Seadmed Piuga jalakäijate tunnelis (Tartu suund)



Foto 37. Seadmed Piuga jalakäijate tunnelis (Tartu suund)



Joonis 30. Piuga jalakäijate tunneli (Tartu suund) seadmete paigaldusjoonis

8.1.9. Sangaste sild

Sangaste silla (fotod 38...40 ja joonis 31) kaudu toimub Pärnu-Võru suunaline transiitliiklus, peamiselt karjäärade ja ümbruskaudsete puidu- ja põllumajandustootmiste veod. Tegemist on terasest peataladel asuva betoonplaadist sillaga. Ligipääs sillale on hea ja veetase on küll suhteliselt madal, kuid jõesäng on piisavalt suure kaldega, et redeliga vette minek on keeruline. Paigaldamine toimub sellele vaatamata suhteliselt kiiresti, kuna enamus andureid kinnituvad magnetitega terasest peatalade alumiste vööde külge. Mõned andurid (ADMP-d) vajavad siiski ka betoonplaadile kinnitamist. Sangaste silla suurim probleem on kehv andmeside lev.



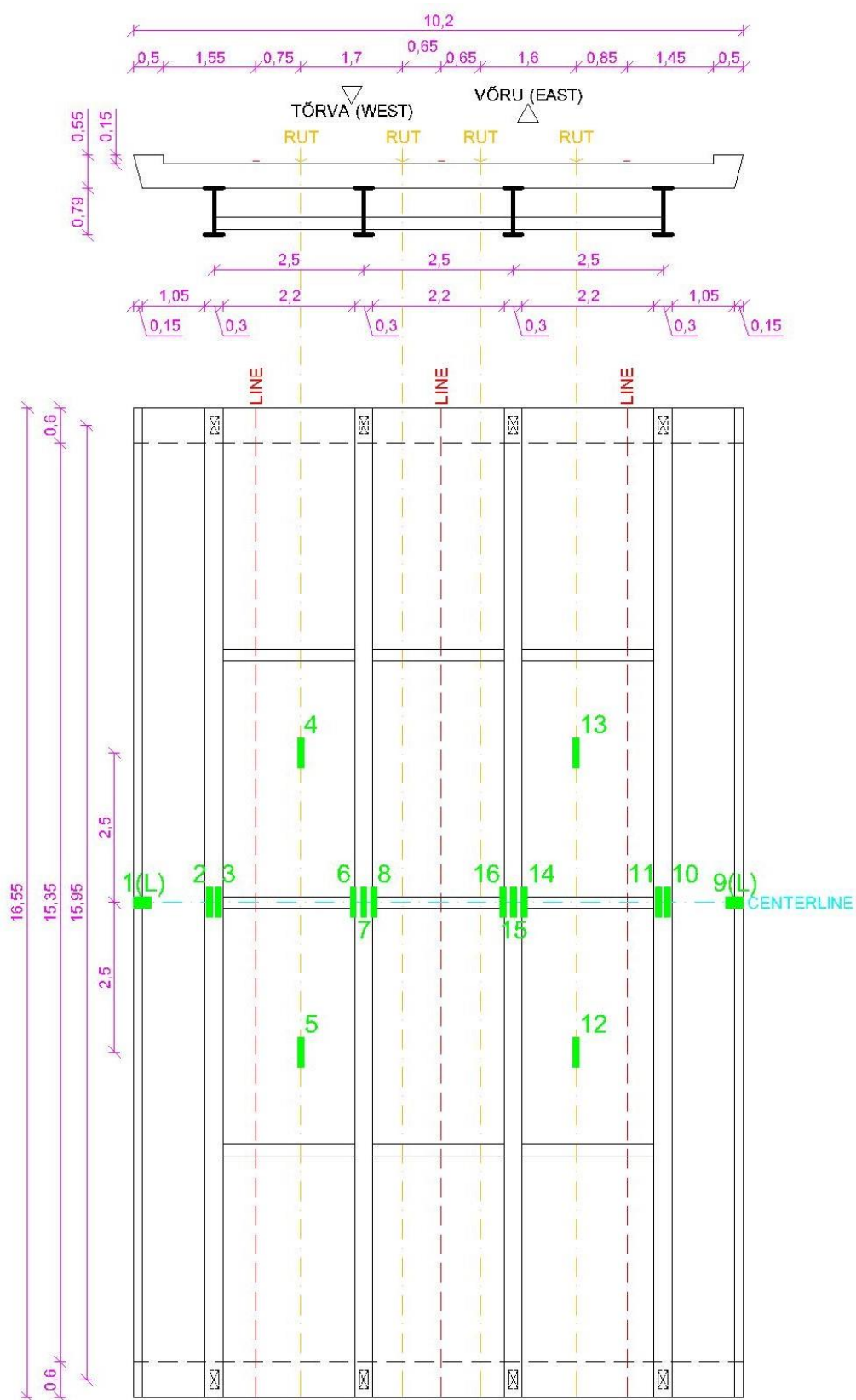
Foto 38. Seadmed Sangaste sillal



Foto 39. Seadmed Sangaste sillal



Foto 40. Seadmed Sangaste sillal



Joonis 31. Sangaste silla seadmete paigaldusjoonis

8.1.10. Pinska viadukt

Pinska viadukt (fotod 41...43 ja joonis 32) on Imavere saeveski teenindusraadiuses ning sellel on erinevat liiki veokite poolt tekitatud suhteliselt suur liikluskoormus. Kuna tegemist on viaduktiga, siis ligipääs sellele on suhteliselt hea. Kuid seadmete paigaldamiseks peab kõrguse tõttu ehitama suhteliselt kõrge tööplatvormi ja vajalik on viaduktialune liiklus ümber korraldada. Teki moodustavad tagurpidi T-talad, mistõttu on mõõteandmetes palju segavaid faktoreid. Lisaks on viaduktil ka kehv andmeside kvaliteet.



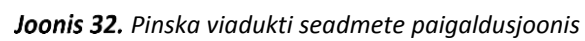
Foto 41. Seadmed Pinska viaduktil



Foto 42. Seadmed Pinska viaduktil



Foto 43. Seadmed Pinska viaduktil



8.1.11. Sillaotsa sild

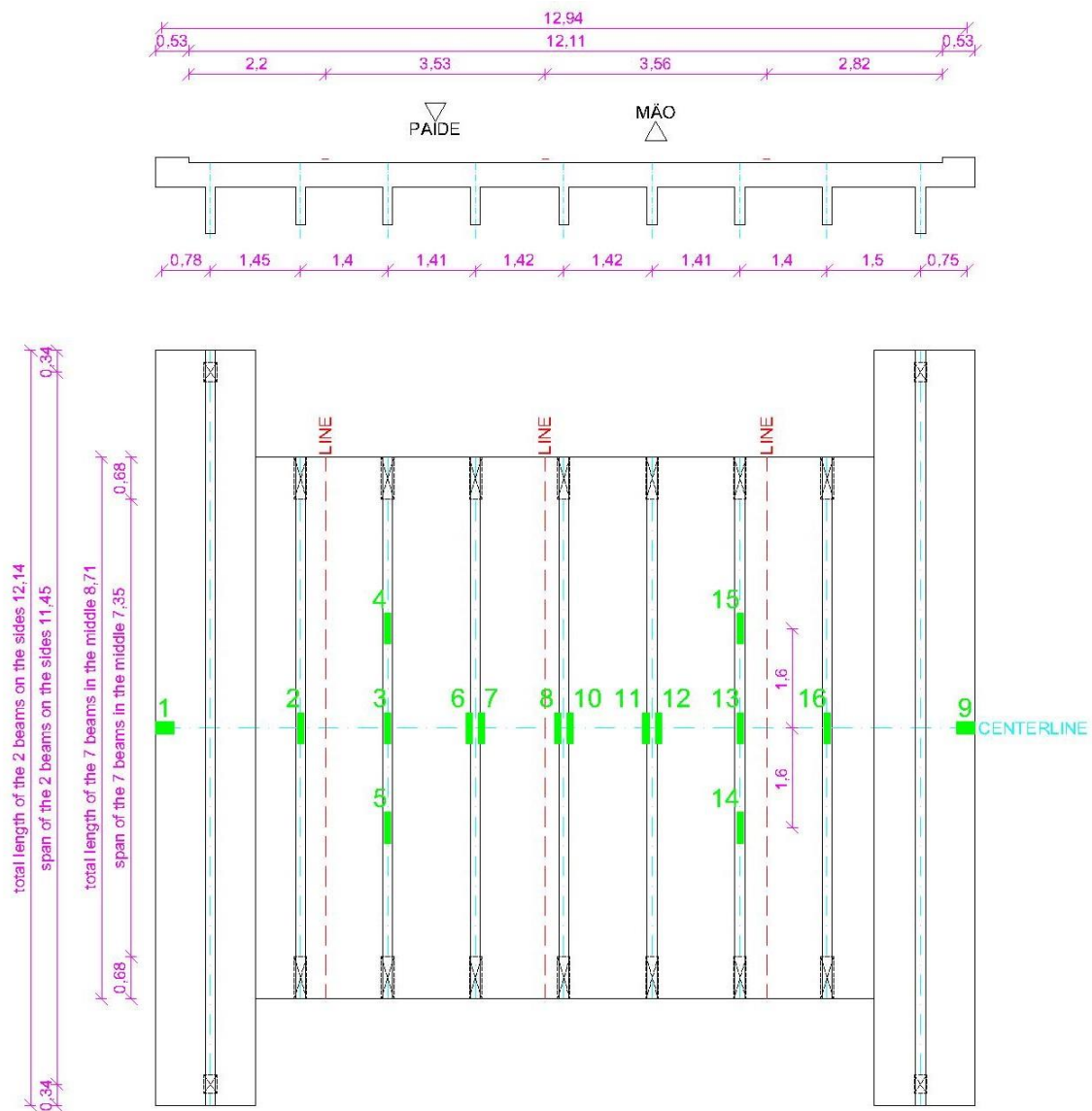
Sillaotsa sild (fotod 44...45 ja joonis 33) asub trassil, mis teenindab kohalikke tehaseid ja puidutööstuseid, sh Imavere saeveskit. Tegemist on talasillaga, millel on kummist tugiosad. 2017. aasta suvel oli sild remondis, mille käigus silda laiendati. Kuigi peatalad asuvad madalal, on kõrge veetaseme ja kiire voolu tõttu seadmete paigaldamine väga keeruline.



Foto 44. Seadmed Sillaotsa sillal



Foto 45. Seadmed Sillaotsa sillal



Joonis 33. Sillaotsa silla seadmete paigaldusjoonis

8.1.12. Kõrveküla kergliiklustee tunnel

Kõrveküla kergliiklustee tunnel (fotod 46...48 ja joonis 34) asub Jõhvi-Tartu-Valga maanteel Kõrvekülla viiva tee ristmiku vahetus läheduses. Selle ristmiku tõttu on Jõhvi suunal tee keskmisest raja laiusest tunduvalt suurem (kokku 6,1 m). iBWIM süsteemi jaoks on tegemist väga hea konstruktsiooniga, kuna tekiplaat on monoliitsest raudbetoonist. Seadmete paigaldamine on tänu viadukti all olevale kergliiklusteele väga mugav.

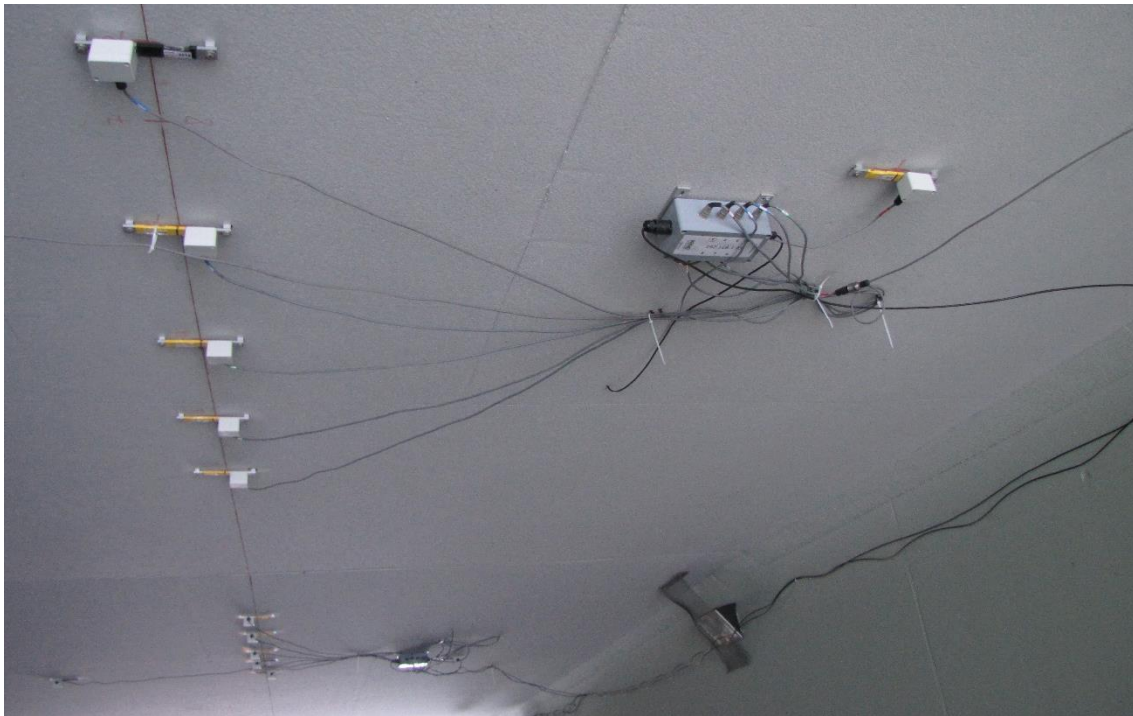


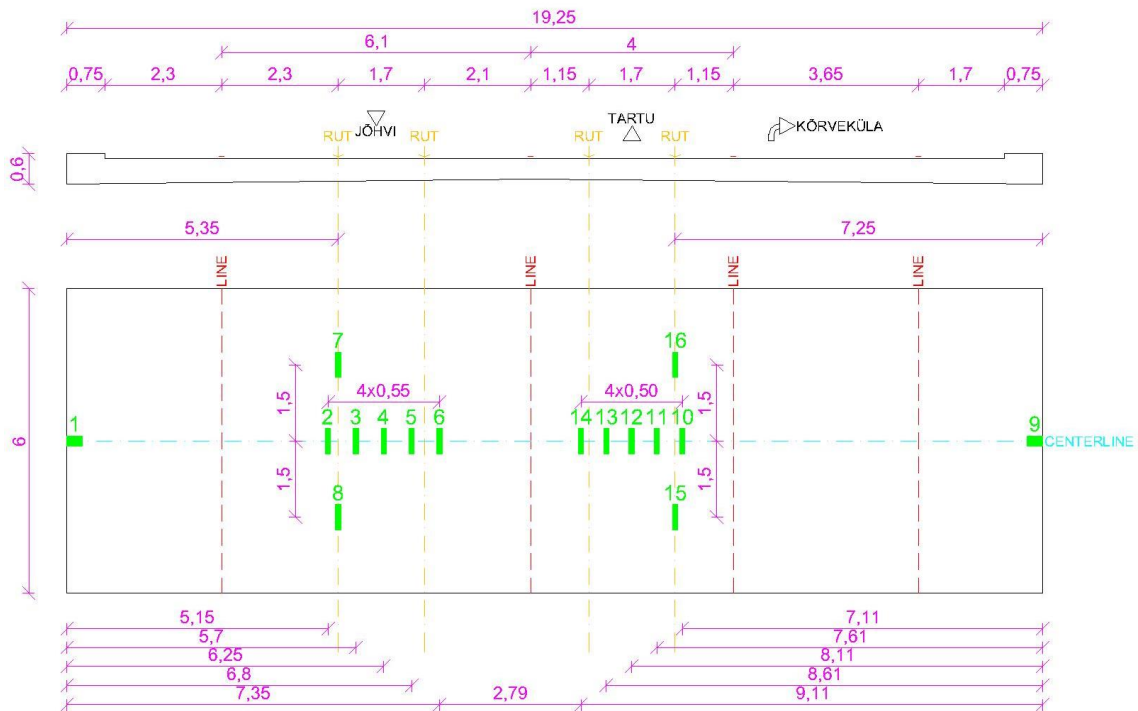
Foto 46. Seadmed Kõrveküla kergliiklustee tunnelis



Foto 47. Seadmed Kõrveküla kergliiklustee tunnelis



Foto 48. Seadmed Kõrveküla kergliiklustee tunnelis



Joonis 34. Kõrveküla kergliiklustee tunneli seadmete paigaldusjoonis

8.1.13. Aseri viadukt

Aseri viadukt (fotod 49...51 ja joonis 35) asub transiitliikluse trassil ning ühtlasi Ida-Virumaa tööstuspiirkonnas. Tegemist on iBWIM süsteemile sobiliku plaatsillaga, kuid probleeme tekitab suhteliselt suur silla ja tee vaheline nurk (34°). Seadmete paigaldamise teeb keeruliseks viadukti suur kõrgus (7 m) ning vajadus tuua elektrikaabel läbi 20 m pikkuse ning 30 cm läbimõõduga truubi. Mõõtmiste käigus selgus, et antud viadukt ei ole siiski sobilik, kuna on väga jäik ja tekitab mõõteandmetes palju „müra“. Seetõttu seda mõõtmiste teises etapis ei kasutatud.



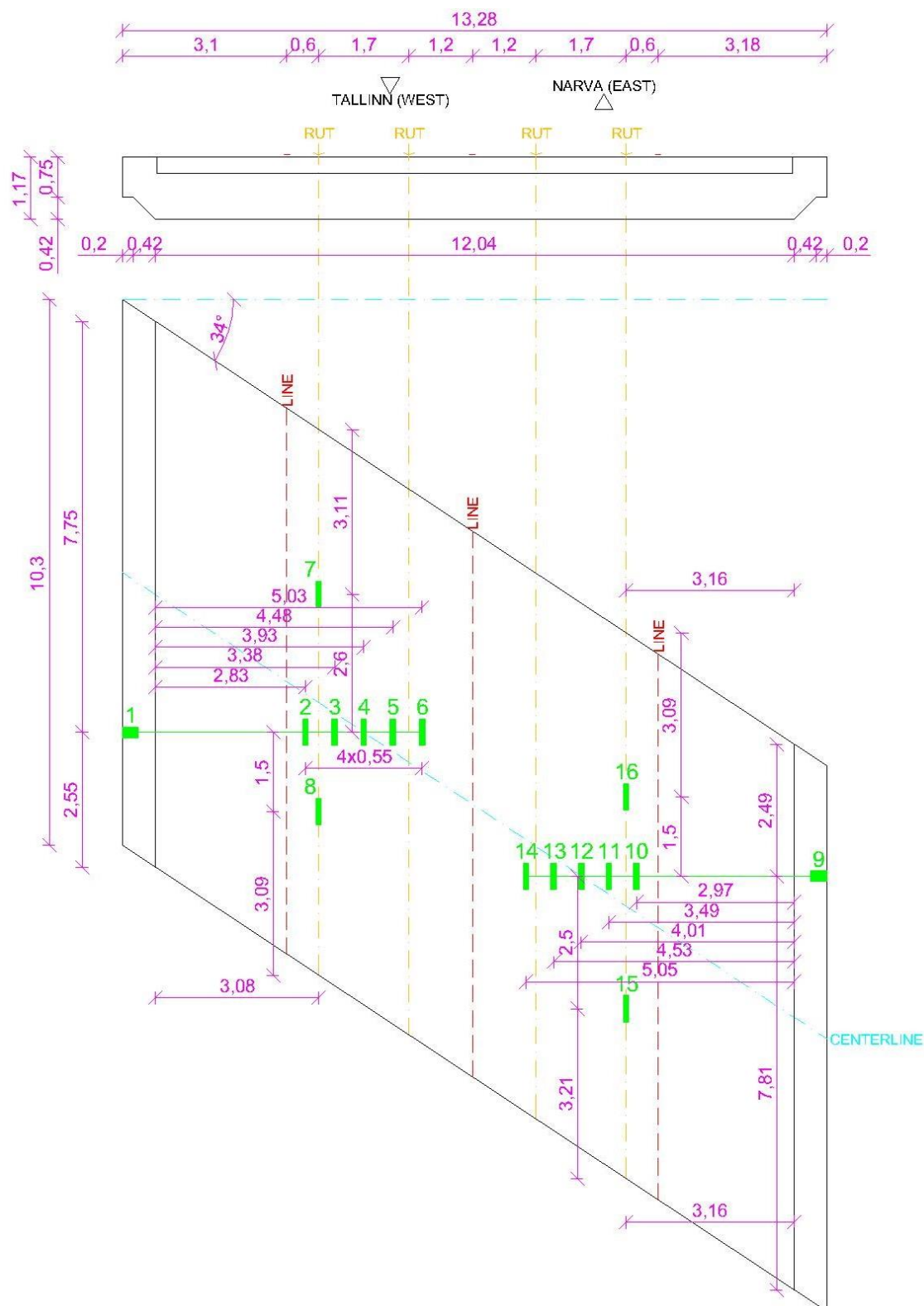
Foto 49. Seadmed Aseri viaduktil



Foto 50. Seadmed Aseri viaduktil



Foto 51. Seadmed Aseri viaduktil



Joonis 35. Aseri viadukti seadmete paigaldusjoonis

8.1.14. Kernu sild

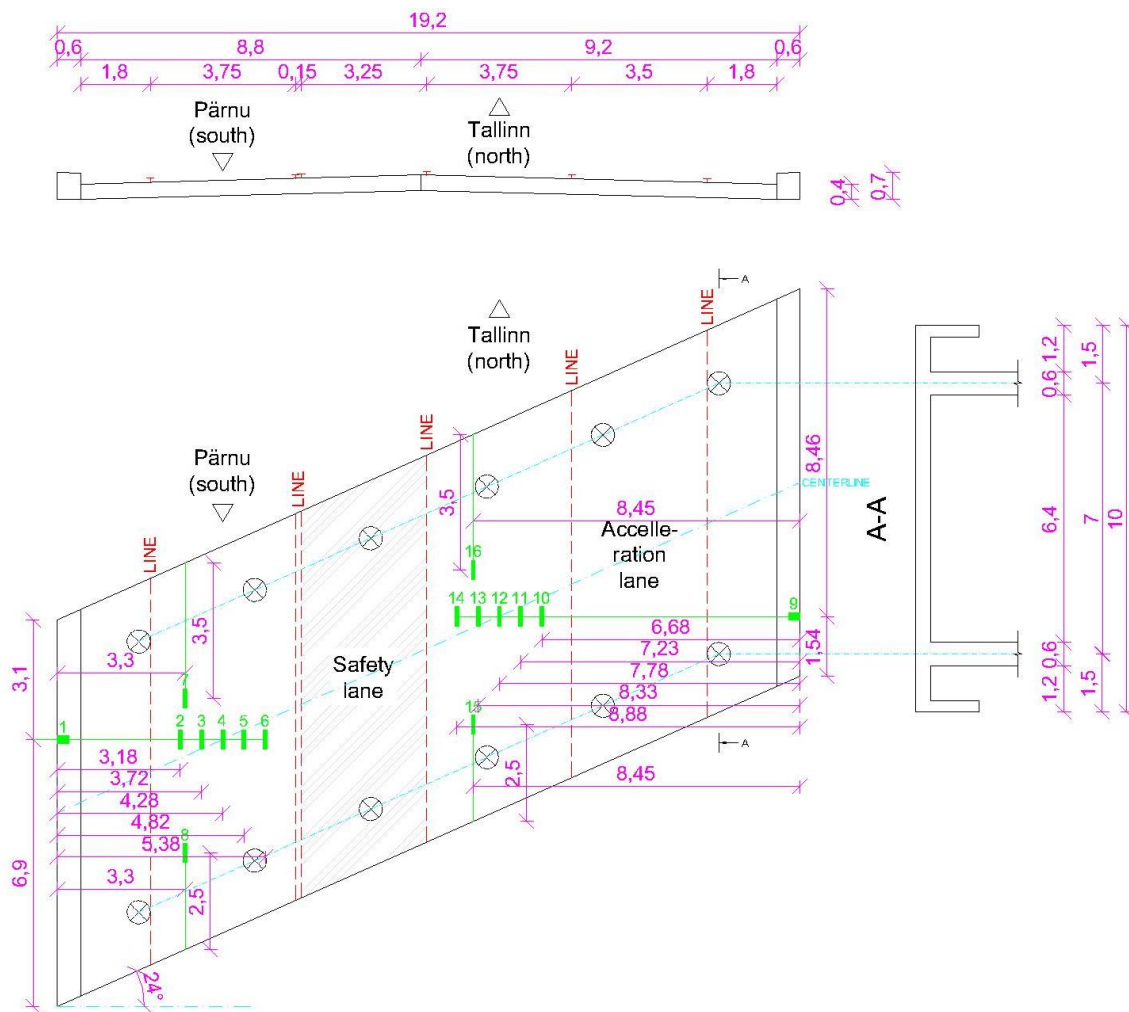
Kernu sild (fotod 52...53 ja joonis 36) on ainus pikaaegsete otsingute tulemusena leitud Tallinn-Pärnu-Ikla maanteel asuv sobiv sild, kus mõõdistusi teostatakse. Sellel on väga suur veokite arv ööpäevas, mille moodustavad nii transiit- kui ka kohalik liiklus. Tegemist on uue plaatsillaga, mis on tee suhtes 24° nurga all. Esiagne seadmete tarnijapoolne hinnang silla sobivuse kohta ei olnud seoses suurele nurgale silla ja tee vahel positiivne, aga kuna ühtegi muud silda sellel teel antud uurimistöö läbiviimiseks kasutada ei saanud, siis otsustati proovida. Mõõtmisandmetest sai järeldada, et antud sild on sobilik (erinevalt näiteks Aseri sillast, mis on sarnase konstruktsiooniga ning samuti tee suhtes nurga all). Kuna sild on väga madal, siis oli ka seadmete paigaldamine suhteliselt mugav. Kuid probleemiks osutus elektritoite puudumine. Kuna lähedal oleva krundi omanikuga ei saadud kokkuleppele, siis kasutati elektri saamiseks elektrigeneraatorit.



Foto 52. Seadmed Kernu sillal



Foto 53. Seadmed Kernu sillal



Joonis 36. Kernu silla seadmete paigaldusjoonis

8.1.15. Maardu järve jalakäijate tunnel

Maardu järve jalakäijate tunnel (fotod 54...56 ja joonis 37) asub suure liikluskoormusega teelõigul Tallinn-Narva maanteel, mida möödistati Tallinna suubuval suunal. Tunneli tehniline lahendus on mõõdetööde läbiviimiseks väga sobiv ja seadmete paigaldamine mugav. Tallinnast väljuvale suunale seadmete paigaldamist teostada ei saanud, kuna kaablite teele jääb nii kogujatee kui müratõkkesein. Seetõttu asendati mõõtmiste teises etapis antud tunnel Maardu mõisa jalakäijate tunneliga.

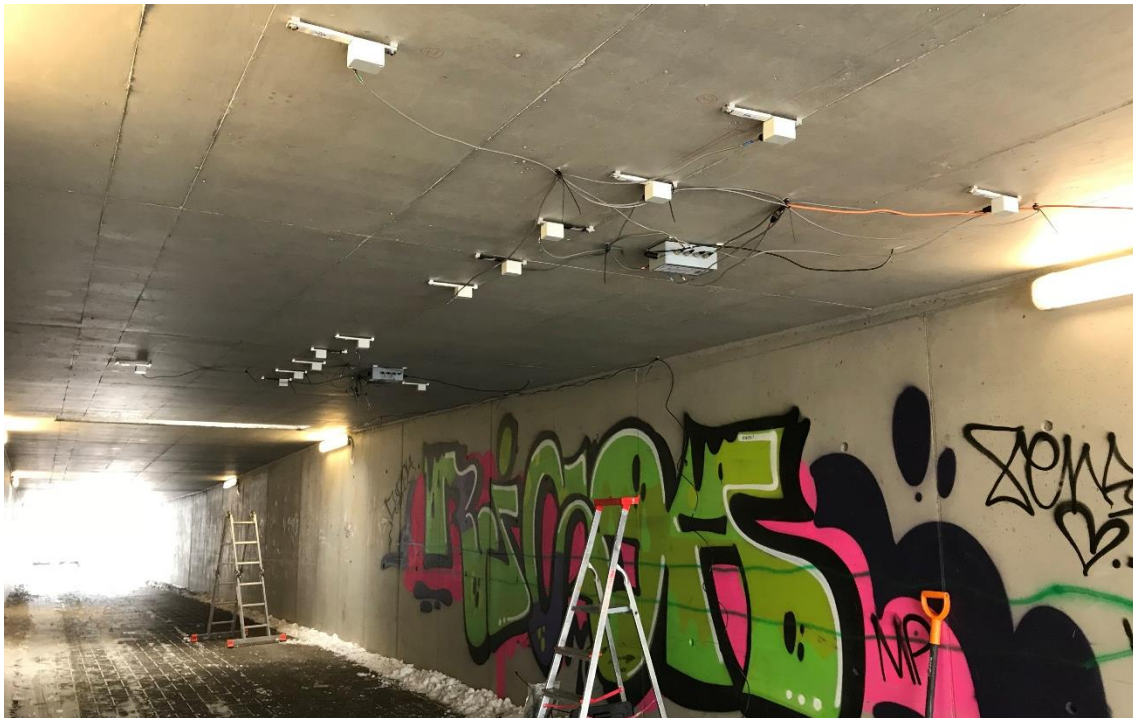


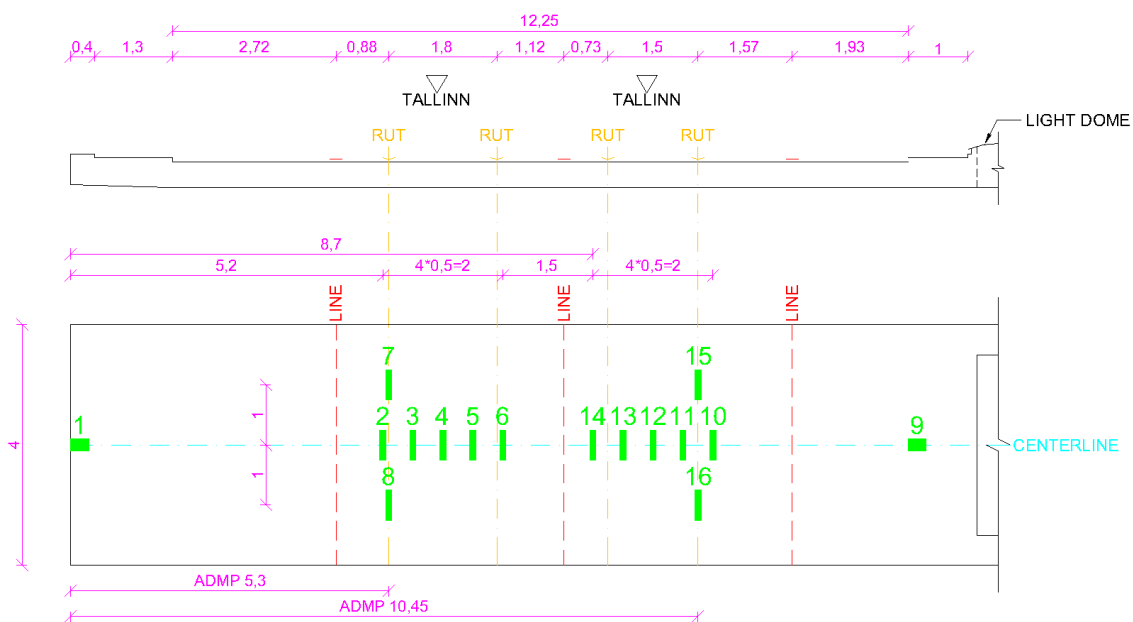
Foto 54. Seadmed Maardu järve jalakäijate tunnelis



Foto 55. Seadmed Maardu järve jalakäijate tunnelis



Foto 56. Seadmed Maardu järve jalakäijate tunnelis



Joonis 37. Maardu järve jalakäijate tunneli seadmete paigaldusjoonis

8.1.16. Saku sild – ida suund

Saku sild (fotod 57...59 ja joonis 38) on suure liikluskoormusega Tallinna ringteel ainus sobilik sild iBWIM mõõtmiste teostamiseks. Tegemist on uue plaatsillaga. Seadmete paigaldamine on keeruline seoses silla suurele kõrgusele ning all voolavale jõele. Seetõttu saab seadmeid paigaldada ainult tõstukilt, mille transportimine silla alla ja seal kasutamine on raskendatud. Samuti tuleb miinuseks lugeda elektritoite saamist u. 250 m kauguselt. Silda ei saanud algsel valikuringil sobilikuks lugeda seoses tee vajumisest tekkinud ebatasasustega sillale peale- ja mahaõidul, kuid oktoobris 2017 teostati teel freesimine ja asfalteerimine, mis selle puuduse kõrvaldas ning sild muutus mõõtetöödele sobilikuks.

I etapi mõõtetööd sillal sattusid ajale, mil temperatuur oli aasta madalaim ning lisaks sadas paksu lund. Nimetatud tegurid väljendusid paraku ka mõõtetulemustes – veokid valisid lumesajus tavalisest erinevaid sõiduradasid ning rattad ei ületanud sõidurajale paigaldatud andureid, samuti tuli korduvalt lumest puhastada laserandureid ning külm katkestas etapiti *spiderites* andmete salvestuse. Saku sildadel tuli ka välja vahetada andmesidekaableid, mis ilmselt riknesid teedele puistatud soola sattumisest ühenduskohtadesse.

Kevadel 2018 hakkas remonditud ühenduskoht sillaplaadi ja teemulde vahel taas vajuma, tekitades ebatasasused, mis nagu hilisemal andmeanalüüsil selgus, põhjustasid mõõtetulemuste kvaliteedi halvenemise.



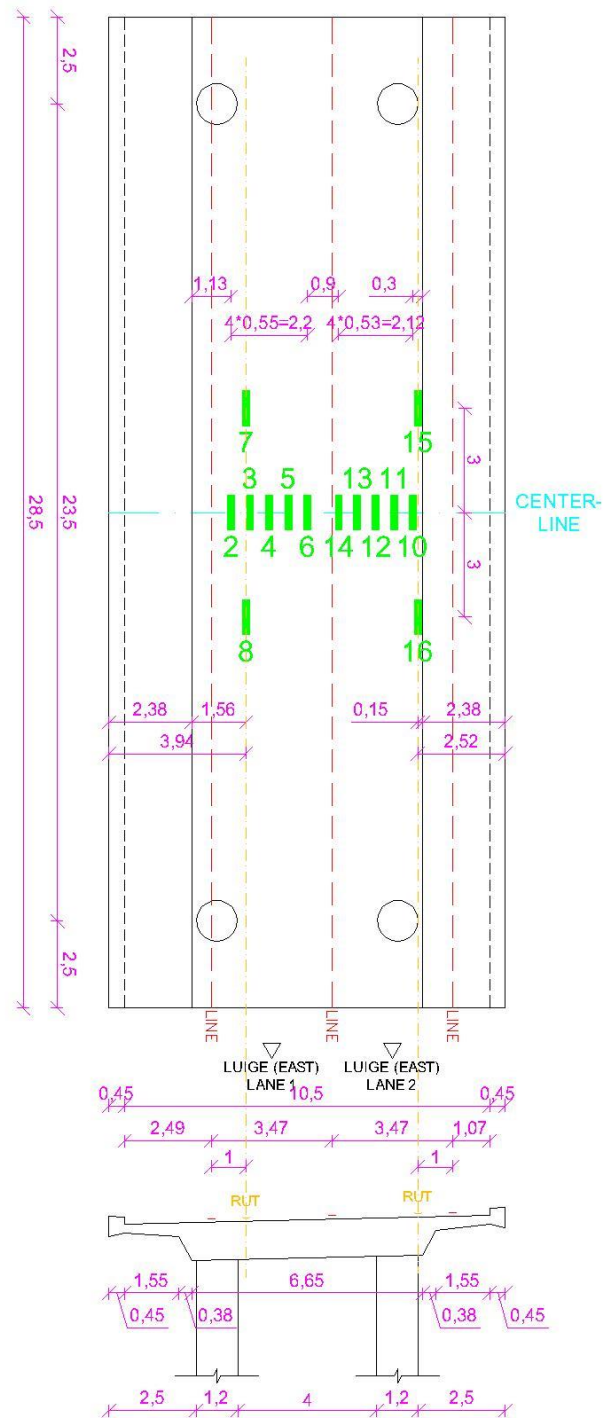
Foto 57. Seadmed Saku sillal (ida suund)



Foto 58. Seadmed Saku sillal (ida suund)



Foto 59. Seadmed Saku sillal (ida suund)



Joonis 38. Saku silla (ida suund) seadmete paigaldusjoonis

8.1.17. Saku sild – lääne suund

Saku sild on nn topeltsild – mõlemal kõrvutipaikneval sillal on 2 sõidurada. Sildu mõõdistati mõlemas suunas nii esimesel kui ka teisel etapil samal ajaperioodil kahe seadmekomplektiga (fotod 60...62 ja joonis 39). Kirjeldus on toodud eelmises punktis.



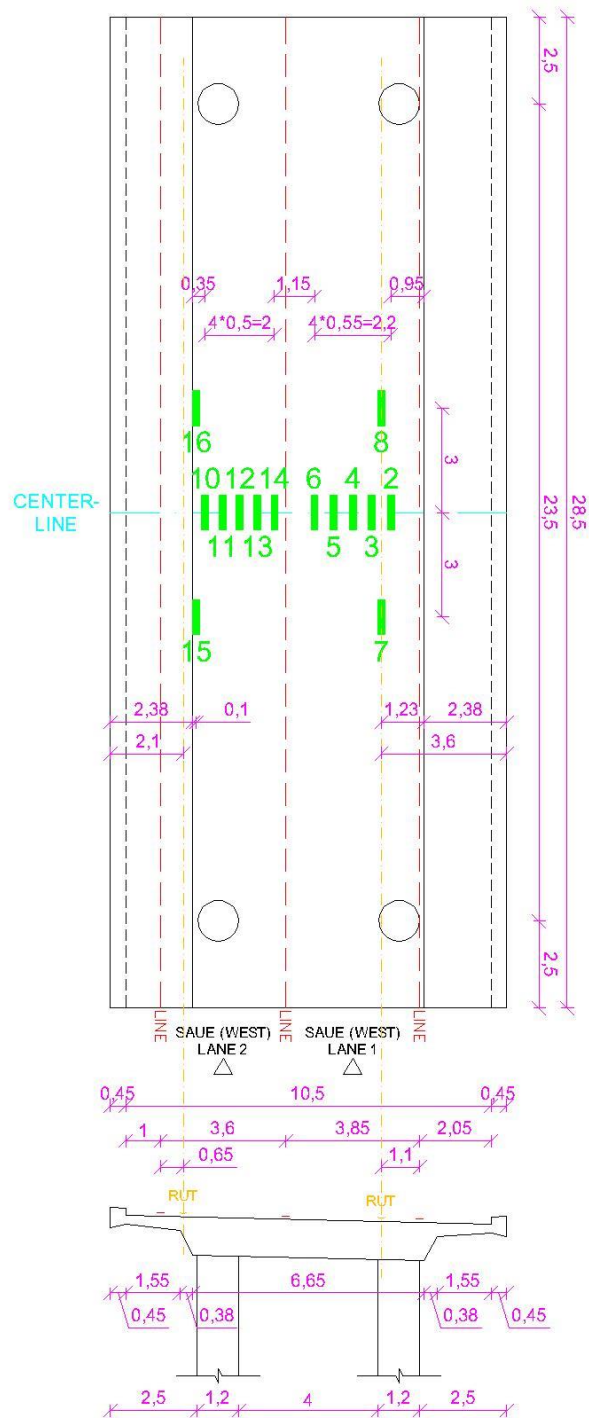
Foto 60. Seadmed Saku sillal (lääne suund)



Foto 61. Seadmed Saku sillal (lääne suund)



Foto 62. Seadmed Saku sillal (lääne suund)



Joonis 39. Saku silla (lääne suund) seadmete paigaldusjoonis

8.1.18. Maardu mõisa jalakäijate tunnel – Tallinna suund

Maardu mõisa jalakäijate tunnelit (fotod 63...65 ja joonis 40) kasutati mõõdistamiseks ainult 2018. aastal, kuna Maardu järve jalakäijate tunnelil oli mõõtetööde läbiviimine raskendatud. Tunnel asub suure liikluskoormusega teelõigul Tallinn-Narva maanteel. Tunneli tehniline lahendus on mõõtetööde läbiviimiseks väga sobiv ja seadmete paigaldamine mugav. Seadmete paigalduse tunnelisse teeb võimalikuks kuppelakna olemasolu eraldusribal, mille kaudu saab viia kaamera ning laseri kaabli teise sõiduraja juurde.

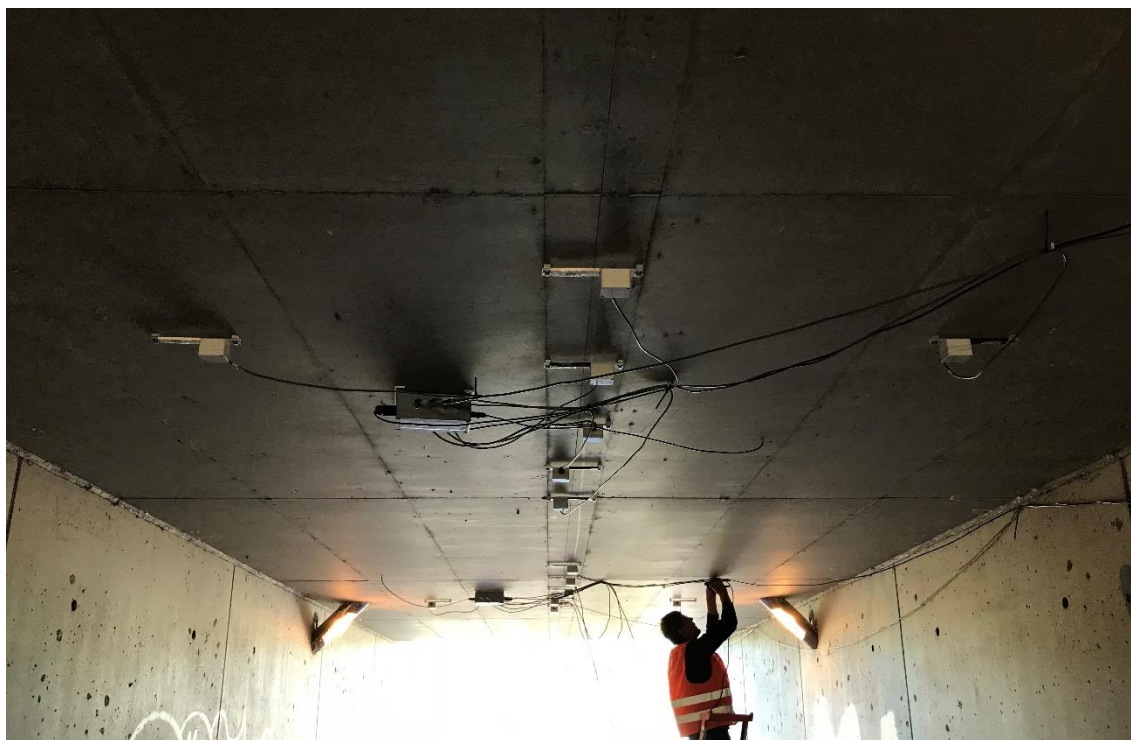


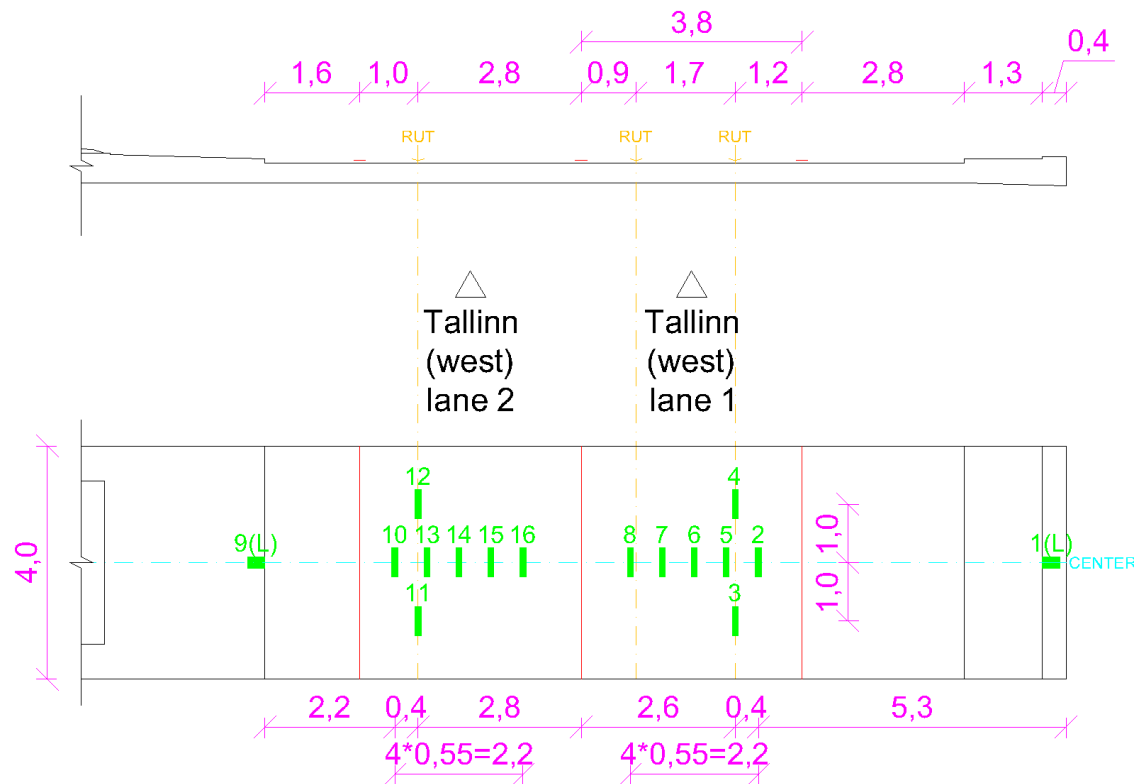
Foto 63. Seadmed Maardu mõisa jalakäijate tunnelis (Tallinna suund)



Foto 64. Seadmed Maardu mõisa jalakäijate tunnelis (Tallinna suund)



Foto 65. Seadmed Maardu mõisa jalakäijate tunnelis (Tallinna suund)



Joonis 40. Maardu mõisa jalakäijate tunneli (Tallinna suund) seadmete paigaldusjoonis

8.1.19. Maardu mõisa jalakäijate tunnel – Narva suund

Maardu mõisa jalakäijate tunnelit kasutati mõõdistamiseks kahel korral – esmalt Tallinna suunal ning seejärel Narva suunal (fotod 66...68 ja joonis 41). Kirjeldus on toodud eelmises punktis.



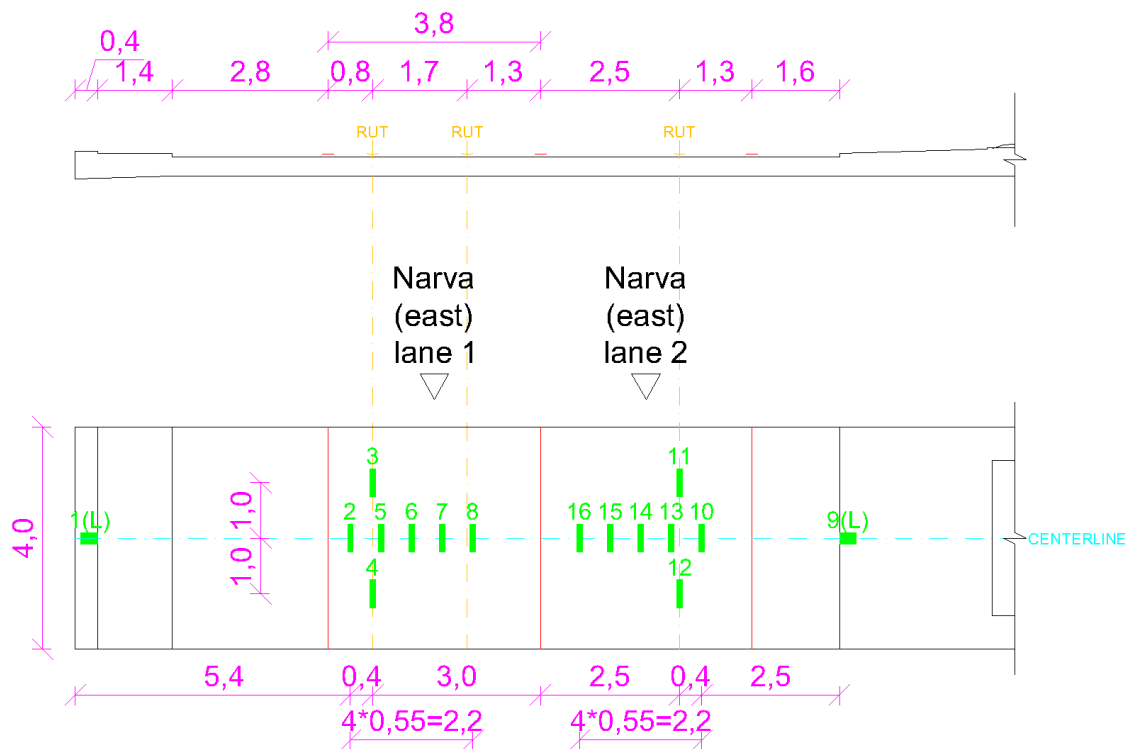
Foto 66. Seadmed Maardu mõisa jalakäijate tunnelis (Narva suund)



Foto 67. Seadmed Maardu mõisa jalakäijate tunnelis (Narva suund)



Foto 68. Seadmed Maardu mõisa jalakäijate tunnelis (Narva suund)



Joonis 41. Maardu mõisa jalakäijate tunneli (Narva suund) seadmete paigaldusjoonis

8.2. Mõõtetulemused

8.2.1. Koondandmed

Mõõtetööde käigus salvestati iga silla kohta järgmised andmed:

- kuupäev;
- kellaaeg;
- mõõtmise ID;
- sõiduraja kirjeldus;
- sõiduki kiirus;
- sõiduki telgede arv;
- sõiduki klass (iBWIM);
- sõiduki teljegrupp;
- sõiduki kogumass;
- sõiduki teljemassid (telgede kaupa);
- sõiduki esimese ja viimase telje vahekaugus;
- sõiduki telgede vahekaugused;
- silla temperatuur;
- link fotole.

Kõikide mõõtmiste tulemused (andmetabelid ja fotod) edastatakse tellijale digitaalselt. Käesolevas aruandes on esitatud mõõtetulemuste kokkuvõtlikud koondandmed tabelite ja graafikutena. Tuleb eraldi rõhutada, et alltoodud andmed on moodustatud sõidukitest, mille kogumass ületab 4 tonni.

Tabelis 8 on üldise ülevaate saamiseks esitatud mõõtetulemuste koondandmed. Kõikide sildade tulemuste omavaheliseks võrdlemiseks on need esitatud 7 päevaste mõõteperioodide kohta (kuigi seadmed olid sillal enamasti pikemalt). Muuhulgas on välja toodud ka defektsete lugemite osakaal, kust on selgelt näha mõõtmiseks vähemsobivad sillad. Defektsete lugemite peamised põhjused on sõidukite topelt fikseerimine ja järjestikuste väikese pikivahega sõidukite fikseerimine ühe sõidukina.

Fotodel 69...99 on näidatud igal sillal mõõdetud maksimaalse massiga veok, kusjuures vasakus veerus on fotod mõõtmiste 1. ja paremas veerus 2. etapist.

Iga silla kohta on järgnevas jaotistes esitatud järgmised graafikud (joonised 42...165):

- sõidukite kogumassi jaotus;
- sõidukite teljekoormuste jagunemine;
- telgede arvu jaotus;
- sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM-süsteemile.

Jrk nr.	Sild	Lühend	Radade suunad		Mõõtmise aeg		Sõidukite koguarv		Sõiduki kogumass [t]				Teljekoormused [t]				Defektsete lugemite osakaal [%]
									Maks.		Keskm.		Maks.		Keskm.		
			Rada 1	Rada 2	Algus	Lõpp	Rada 1	Rada 2	Rada 1	Rada 2	Rada 1	Rada 2	Rada 1	Rada 2	Rada 1	Rada 2	
1	Parila sild	PB1	Lääs (Märjamaa)	Ida (Rapla)	22.05.2017	28.05.2017	451	371	59,9	66,5	21,5	24,7	20,6	20,0	6,1	6,0	9%
2	Suigu sild	AS1	Ida (Suigu)	Lääs (Are)	29.06.2017	05.07.2017	254	116	49,8	51,6	27,6	25,8	17,7	27,3	5,1	7,6	3%
3	Sanga viadukt	SO1	Ida (Pärnu)	Lääs (Lihula)	19.07.2017	25.07.2017	877	893	66,3	64,4	25,6	19,2	23,0	24,2	6,2	5,7	3%
4	Põlva pais	OB1	Ida	Lääs	03.08.2017	09.08.2017	382	399	77,7	88,9	21,6	24,2	27,0	29,0	3,8	6,0	16%
5	Ritsiku sild	RB1	Ida (Kanepi)	Lääs (Otepää)	15.08.2017	21.08.2017	216	324	52,9	70,1	21,1	34,3	15,8	23,2	5,3	5,2	3%
6	Piuga jalakäijate tunnel – Tallinna suund	PT1	1. rada	2. rada	25.08.2017	31.08.2017	2 358	60	55,7	50,8	21,6	25,5	16,0	15,2	5,9	5,6	1%
7	Piuga jalakäijate tunnel – Tartu suund	PT2	1. rada	2. rada	04.09.2017	10.09.2017	3 009	31	59,1	43,8	21,4	23,5	17,2	12,6	6,8	5,9	1%
8	Sangaste sild	VB1	Ida (Võru)	Lääs (Tõrva)	16.11.2017	22.11.2017	592	366	78,2	64,0	27,6	34,7	28,6	21,0	7,5	7,0	1%
9	Pinska viadukt	PO1	Ida (Viljandi)	Lääs (Kilingi-Nõmme)	27.11.2017	03.12.2017	654	521	74,7	52,8	24,5	24,2	22,6	19,7	6,0	5,6	6%
10	Sillaotsa sild	MB1	Lääs (Paide)	Ida (Mäo)	11.01.2018	17.01.2018	1973*	1857*	88,0	70,0	18,4	19,0	31,2	21,7	4,8	4,6	11%
11	Kõrveküla kergliiklustee tunnel	JT1	Lõuna (Tartu)	Põhi (Jõhvi)	24.01.2018	30.01.2018	1 006	956	70,4	77,6	29,8	22,0	28,8	28,4	6,5	6,2	2%
12	Aseri viadukt	SB1	Ida (Narva)	Lääs (Tallinn)	02.02.2018	11.02.2018	868	701	48,2	49,4	10,5	19,5	19,1	19,9	2,7	4,8	10%
13	Kernu sild	KB1	Põhi (Tallinn)	Lõuna (Pärnu)	07.02.2018	13.02.2018	3 922	4 746	64,0	73,0	31,2	35,8	20,0	24,6	7,0	8,3	1%
14	Maardu järve jalakäijate tunnel – Tallinna suund	EB1	1. rada	2. rada	15.02.2018	21.02.2018	6 323	149	69,4	54,4	21,2	19,1	17,9	14,4	5,3	5,2	2%
15	Saku sild – ida suund	SS1	1. rada	2. rada	21.02.2018	27.02.2018	2 763	5	82,6	48,2	31,7	36,6	25,8	17,7	6,5	9,4	3%
16	Saku sild – lääne suund	SN1	1. rada	2. rada	26.02.2018	04.03.2018	2 414	200	60,0	55,6	23,1	20,4	27,8	24,9	3,6	5,7	14%
17	Saku sild - ida suund	SS2	1. rada	2. rada	05.05.2018	11.05.2018	10 863	86	77,5	34,3	23,0	12,7	29,5	16,0	4,9	2,7	15%
18	Saku sild – lääne suund	SN2	1. rada	2. rada	05.05.2018	11.05.2018	8 309	894	69,9	69,5	24,8	18,2	25,0	24,9	6,8	5,9	19%

Töö nimetus: Sõidukite masside ja teljekoormuste seire –
põhiaruanne

Aruande koostajad: M. Tali, M. Kiisa, K. Lellep, U. Konsap, A. Kendra

Kuupäev: 29.12.2018



Jrk nr.	Sild	Lühend	Radade suunad		Mõõtmise aeg		Sõidukite koguarv		Sõiduki kogumass [t]				Teljekoormused [t]				Defektsete lugemite osakaal [%]
									Maks.		Keskm.		Maks.		Keskm.		
			Rada 1	Rada 2	Algus	Lõpp	Rada 1	Rada 2	Rada 1	Rada 2	Rada 1	Rada 2	Rada 1	Rada 2	Rada 1	Rada 2	
19	Parila sild	PB2	Lääs (Märjamaa)	Ida (Rapla)	28.05.2018	03.06.2018	444	536	43,3	52,2	14,6	20,3	19,6	23,8	3,2	5,5	11%
20	Sillaotsa sild	MB2	Lääs (Paide)	Ida (Mäo)	01.06.2018	07.06.2018	2 436	1 710	69,0	56,8	18,2	15,7	20,0	21,1	4,5	4,7	9%
21	Suigu sild	AS2	Ida (Suigu)	Lääs (Are)	07.06.2018	13.06.2018	276	221	64,0	73,4	18,1	24,5	16,9	22,8	3,6	5,2	6%
22	Ritsiku sild	RB2	Ida (Kanepi)	Lääs (Otepää)	21.06.2018	27.06.2018	231	275	67,6	74,2	29,2	27,9	19,7	21,6	6,3	5,3	9%
23	Sanga viadukt	SO2	Ida (Pärnu)	Lääs (Lihula)	26.06.2018	02.07.2018	519	531	82,8	74,8	34,7	22,0	22,3	24,7	5,4	7,4	32%
24	Sangaste sild	VB2	Ida (Võru)	Lääs (Tõrva)	01.07.2018	07.07.2018	135	627	46,2	75,9	19,1	41,2	19,4	32,7	6,0	11,1	13%
25	Pinska viadukt	PO2	Ida (Viljandi)	Lääs (Kilingi-Nõmme)	04.07.2018	10.07.2018	599	642	61,3	73,5	18,1	19,0	23,6	28,8	4,8	4,4	6%
26	Kõrveküla kergliiklustee tunnel	JT2	Lõuna (Tartu)	Põhi (Jõhvi)	20.07.2018	26.07.2018	1 524	1 682	84,7	76,2	22,4	22,2	26,3	24,0	6,1	6,7	3%
27	Kernu sild	KB2	Põhi (Tallinn)	Lõuna (Pärnu)	18.07.2018	24.07.2018	5 557	5 375	67,5	75,1	32,0	30,2	20,4	23,3	7,4	7,7	3%
28	Piuga jalakäijate tunnel – Tallinna suund	PT3	1. rada	2. rada	10.08.2018	16.08.2018	5 043	31	70,0	48,8	24,2	16,8	17,3	17,3	5,4	4,4	3%
29	Piuga jalakäijate tunnel – Tartu suund	PT4	1. rada	2. rada	10.08.2018	16.08.2018	6 118	27	76,8	41,8	20,6	18,2	23,5	10,8	5,3	5,1	2%
30	Maardu mõisa jalakäijate tunnel - Tallinna suund	MT1	1. rada	2. rada	23.08.2018	29.08.2018	6 692	215	85,3	63,7	36,4	12,0	28,2	15,9	8,3	3,7	4%
31	Maardu mõisa jalakäijate tunnel - Narva suund	MT2	1. rada	2. rada	23.08.2018	29.08.2018	7 145	135	69,0	52,2	23,7	19,0	19,5	19,5	6,1	5,3	9%



Foto 69. Parila sild – 66,5 t [mõõtmiste 1. etapp]



Foto 70. Parila sild – 52,2 t [mõõtmiste 2. etapp]



Foto 71. Suigu sild – 51,6 t [mõõtmiste 1. etapp]



Foto 72. Suigu sild – 73,4 t [mõõtmiste 2. etapp]



Foto 73. Sanga viadukt – 66,3 t [mõõtmiste 1. etapp]



Foto 74. Sanga viadukt – 82,8 t [mõõtmiste 2. etapp]



Foto 75. Põlva pais – 88,9 t [mõõtmiste 1. etapp]



Foto 76. Ritsiku sild – 70,1 t [mõõtmiste 1. etapp]



Foto 77. Ritsiku sild – 74,2 t [mõõtmiste 2. etapp]



Foto 78. Piuga jalakäijate tunneli Tallinna suund –
55,7 t [mõõtmiste 1. etapp]



Foto 79. Piuga jalakäijate tunneli Tallinna suund –
70,0 t [mõõtmiste 2. etapp]



Foto 80. Piuga jalakäijate tunneli Tartu suund –
59,1 t [mõõtmiste 1. etapp]



Foto 81. Piuga jalakäijate tunneli Tartu suund –
76,8 t [mõõtmiste 2. etapp]



Foto 82. Sangaste sild – 78,2 t [mõõtmiste 1. etapp]



Foto 83. Sangaste sild – 75,9 t [mõõtmiste 2. etapp]



Foto 84. Pinska viadukt – 74,7 t [mõõtmiste 1. etapp]



Foto 85. Pinska viadukt – 73,5 t [mõõtmiste 2. etapp]



Foto 86. Sillaotsa sild – 88,0 t [mõõtmiste 1. etapp]



Foto 87. Sillaotsa sild – 69,0 t [mõõtmiste 2. etapp]



Foto 88. Kõrveküla kergliiklustee tunnel – 77,6 t
[mõõtmiste 1. etapp]



Foto 89. Kõrveküla kergliiklustee tunnel – 84,7 t
[mõõtmiste 2. etapp]



Foto 90. Aseri viadukt – 49,4 t [mõõtmiste 1. etapp]



Foto 91. Kernu sild – 73,0 t [mõõtmiste 1. etapp]



Foto 92. Kernu sild – 75,1 t [mõõtmiste 2. etapp]



Foto 93. Maardu järve jalakäijate tunnel – 69,4 t
[mõõtmiste 1. etapp]



Foto 94. Saku silla ida suund – 82,6 t [mõõtmiste 1. etapp]



Foto 95. Saku silla ida suund – 77,5 t [mõõtmiste 2. etapp]



Foto 96. Saku silla lääne suund – 60,0 t [mõõtmiste 1. etapp]



Foto 97. Saku silla lääne suund – 69,9 t [mõõtmiste 2. etapp]

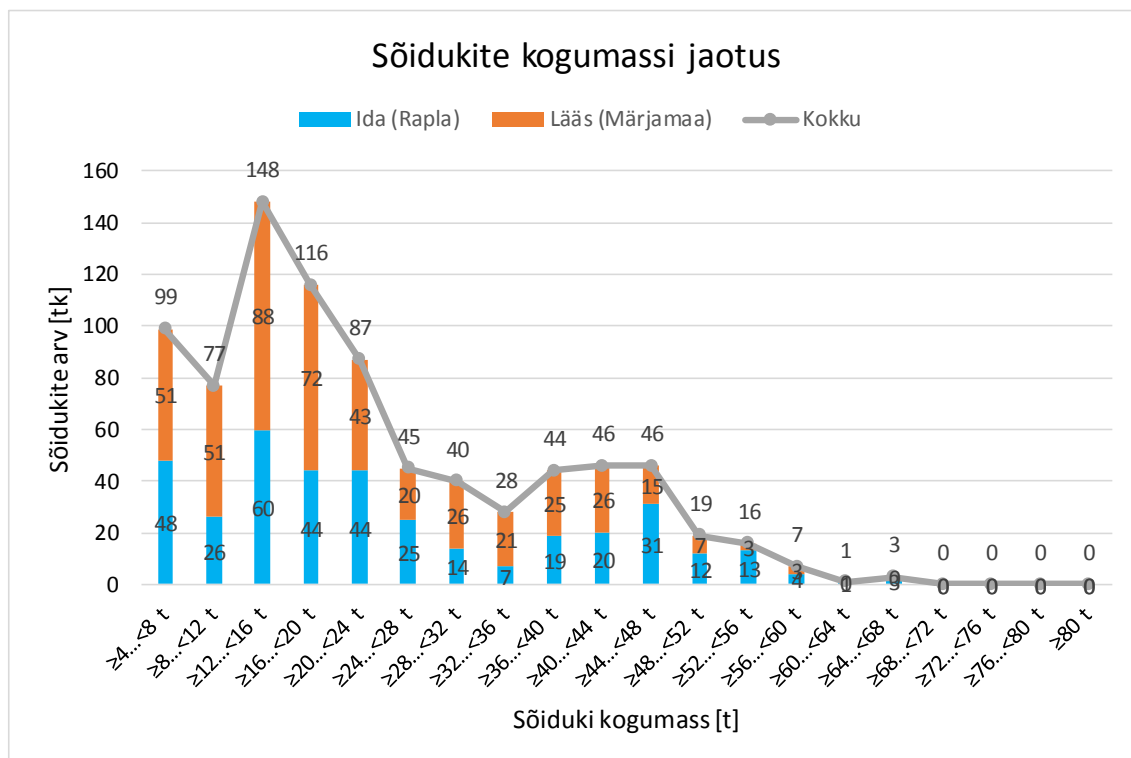


Foto 98. Maardu mõisa jalakäijate tunneli Tallinna suund – 85,3 t [mõõtmiste 2. etapp]

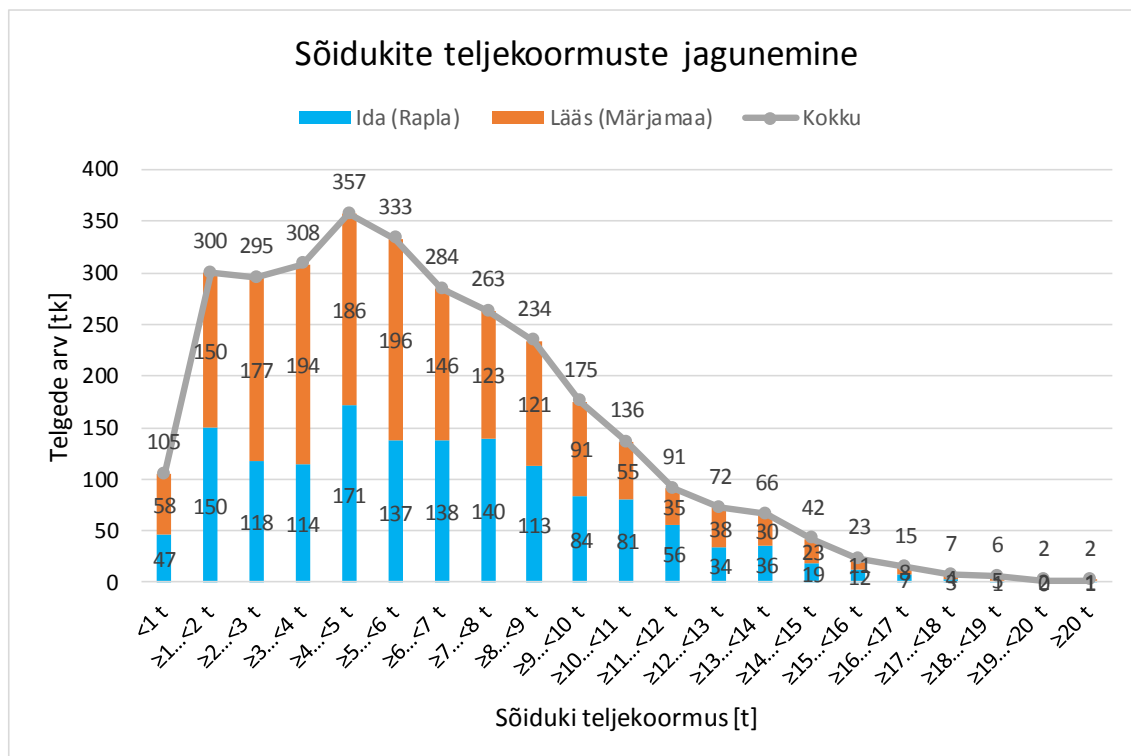


Foto 99. Maardu mõisa jalakäijate tunneli Narva suund – 69,0 t [mõõtmiste 2. etapp]

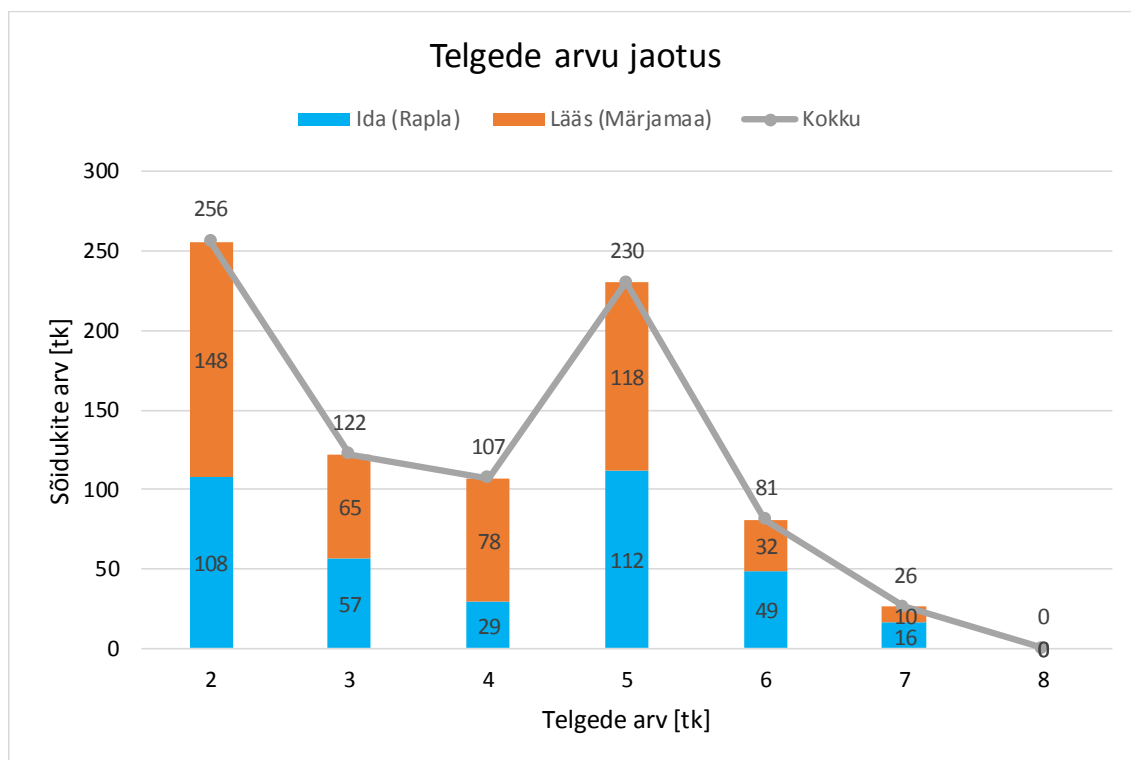
8.2.2. Parila sild, 1. etapp



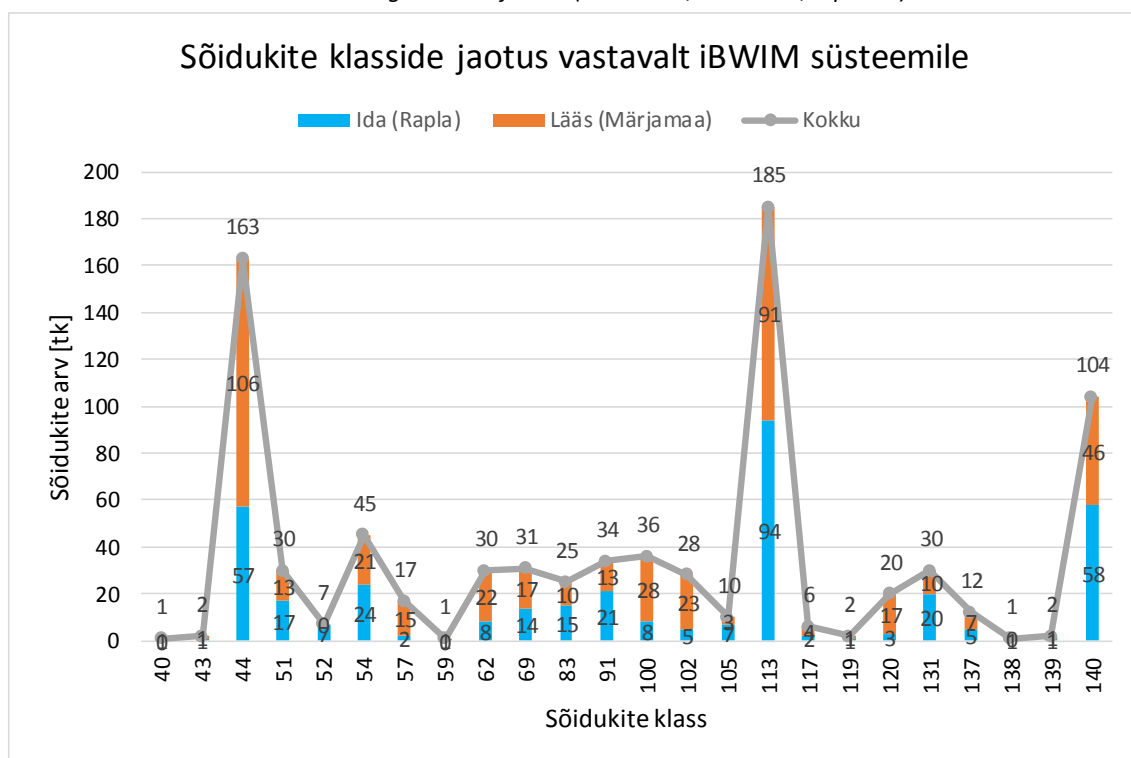
Joonis 42. Sõidukite kogumassi jaotus (Parila sild; 2017 mai; 7 päeva)



Joonis 43. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Parila sild; 2017 mai; 7 päeva)

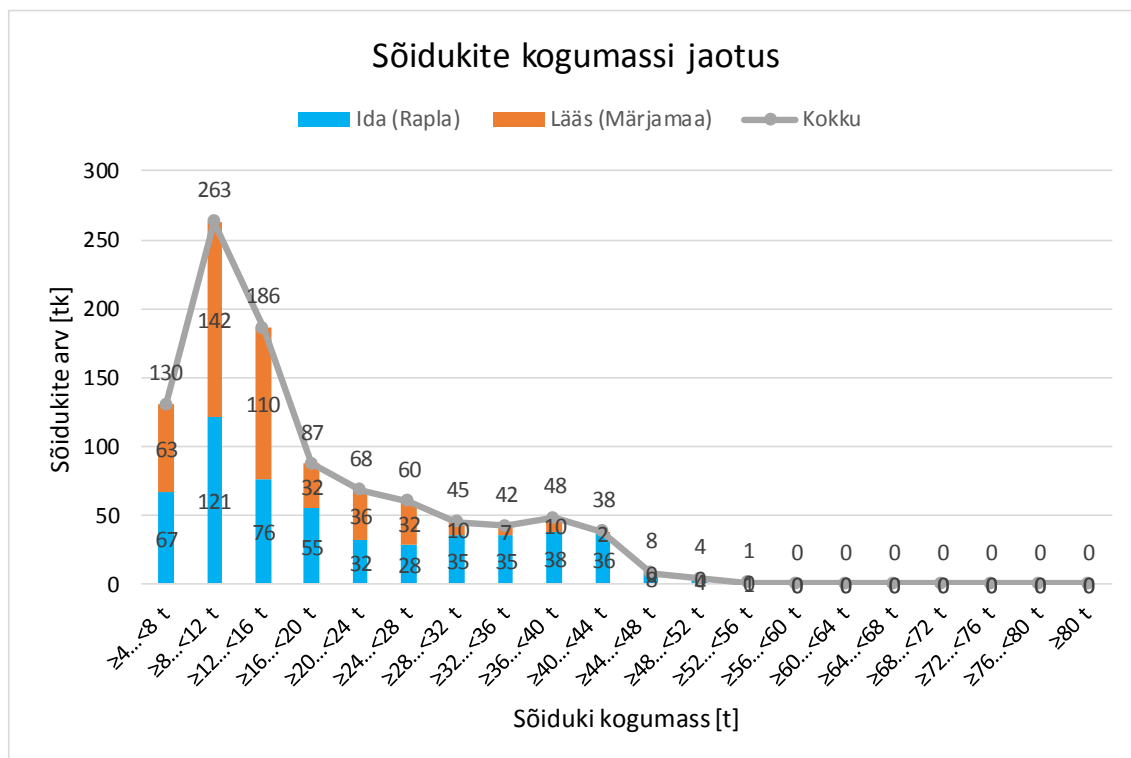


Joonis 44. Telgede arvu jaotus (Parila sild; 2017 mai; 7 päeva)

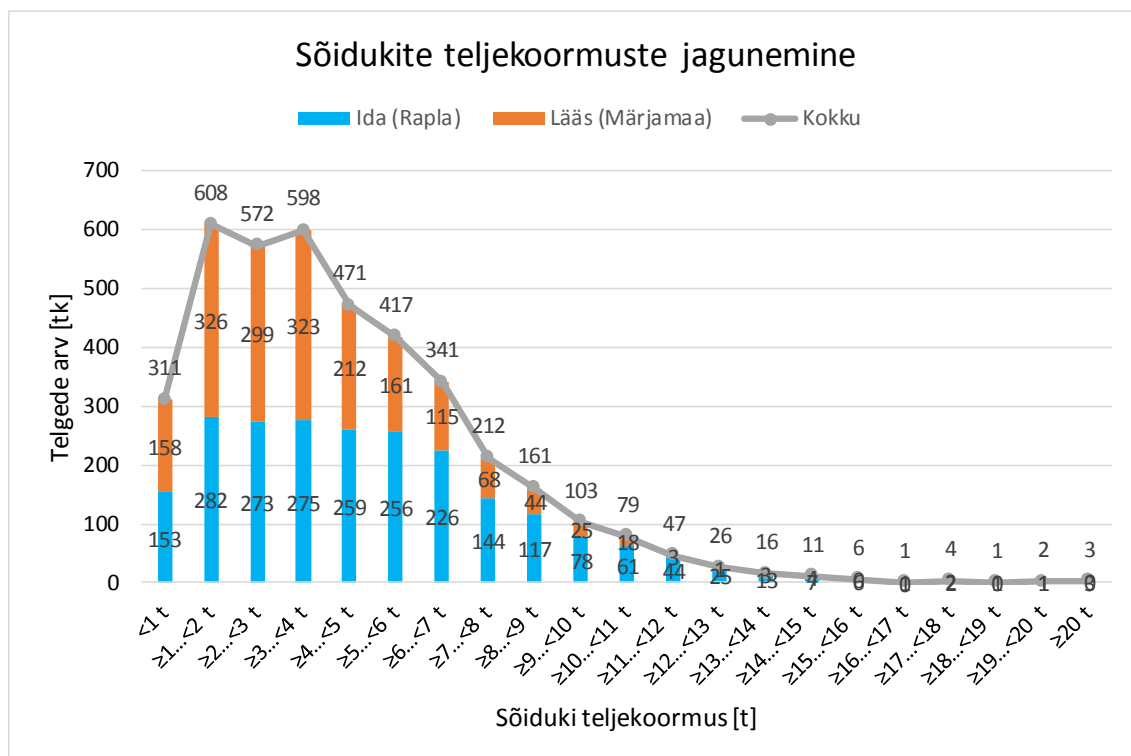


Joonis 45. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Parila sild; 2017 mai; 7 päeva)

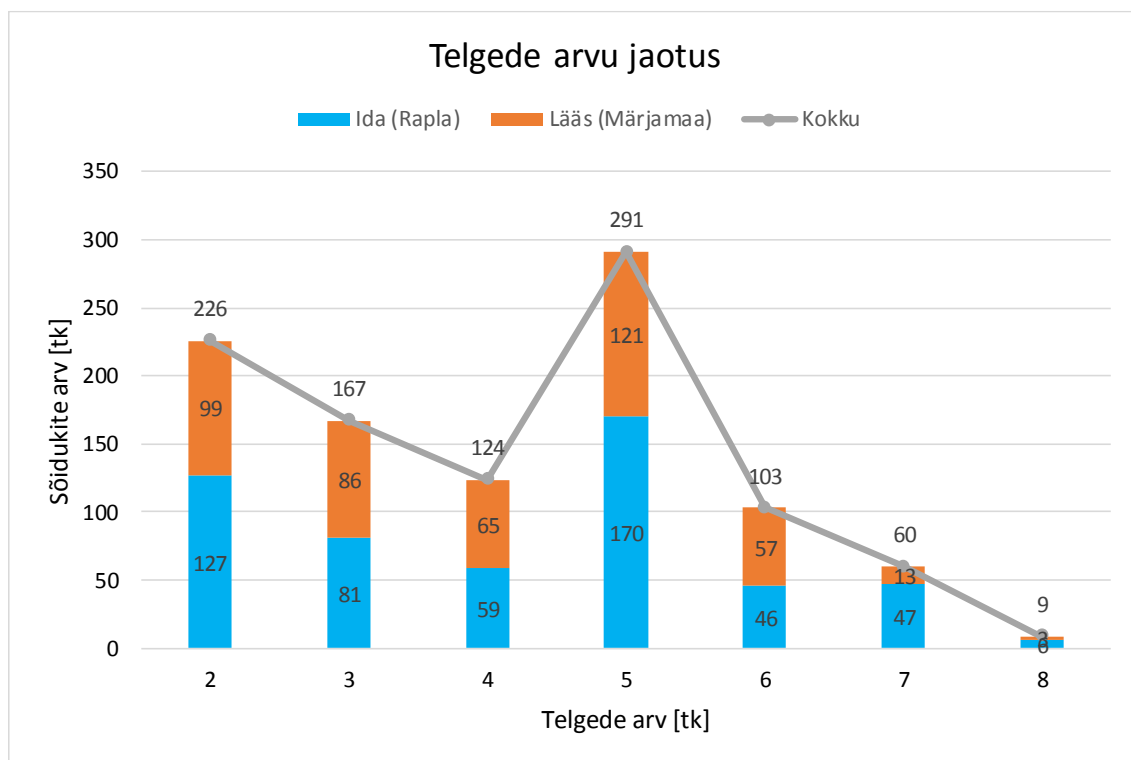
8.2.3. Parila sild, 2. etapp



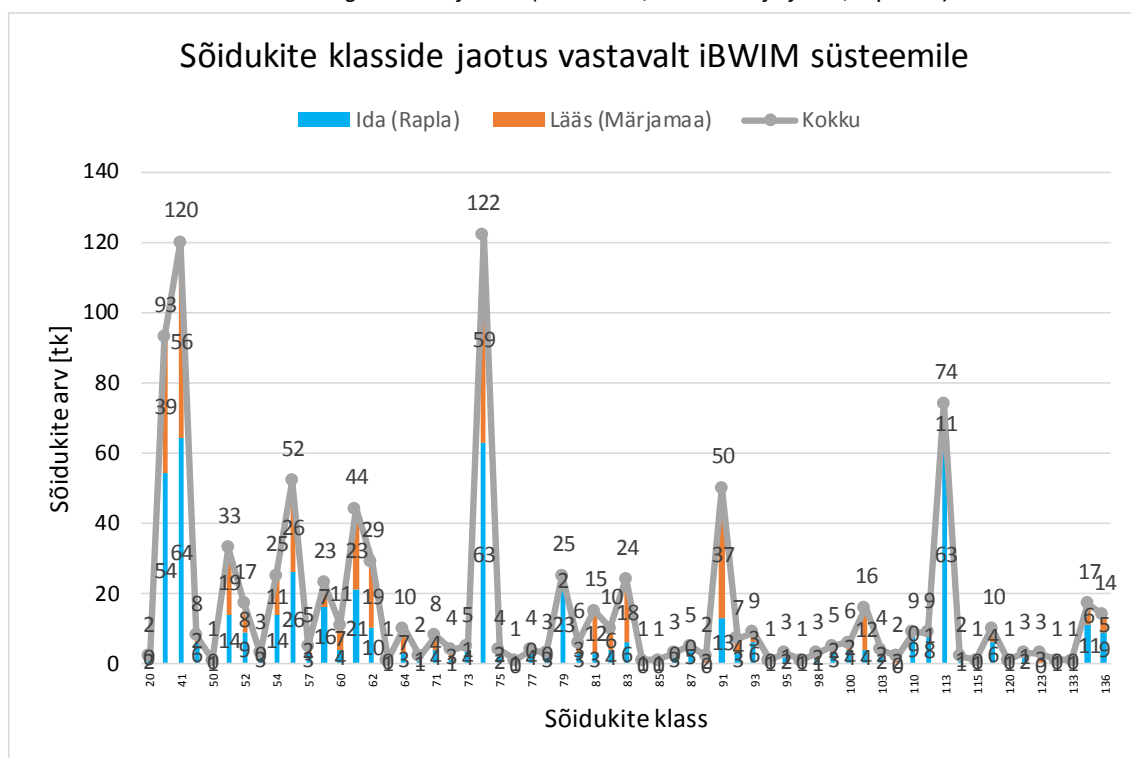
Joonis 46. Sõidukite kogumassi jaotus (Parila sild; 2018 mai ja juuni; 7 päeva)



Joonis 47. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Parila sild; 2018 mai ja juuni; 7 päeva)

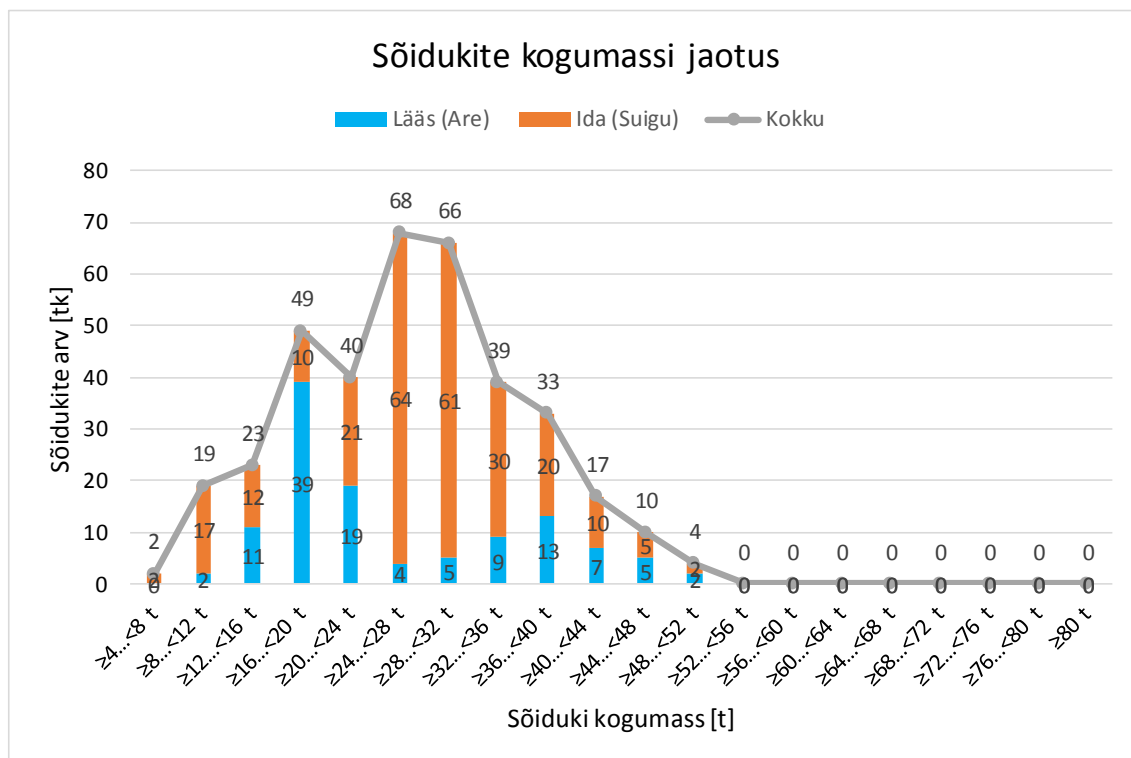


Joonis 48. Telgede arvu jaotus (Parila sild; 2018 mai ja juuni; 7 päeva)

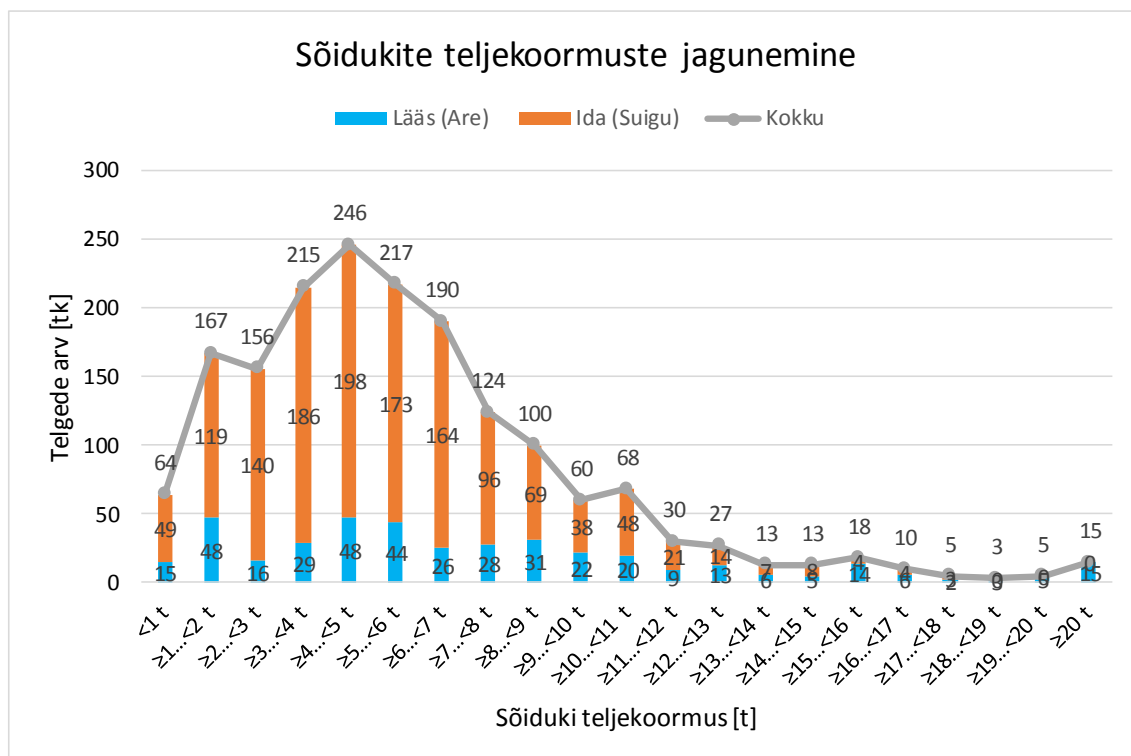


Joonis 49. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Parila sild; 2018 mai ja juuni; 7 päeva)

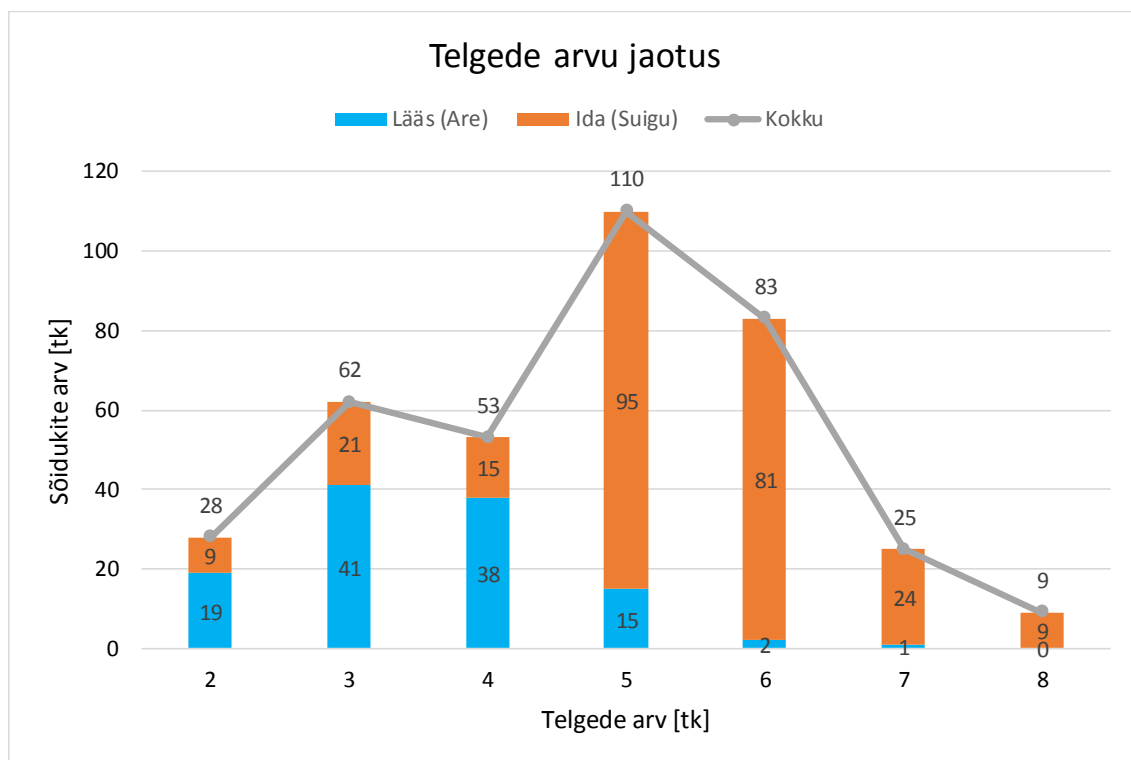
8.2.4. Suigu sild, 1. etapp



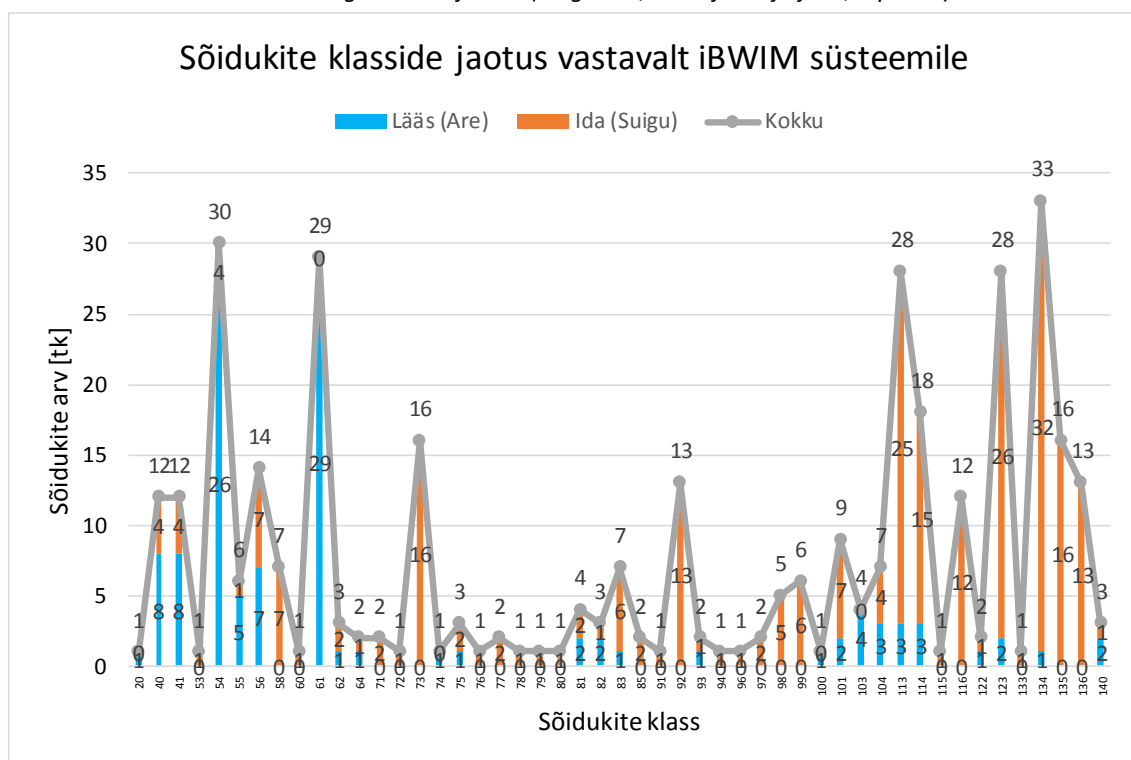
Joonis 50. Sõidukite kogumassi jaotus (Suigu sild; 2017 juuni ja juuli; 7 päeva)



Joonis 51. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Suigu sild; 2017 juuni ja juuli; 7 päeva)

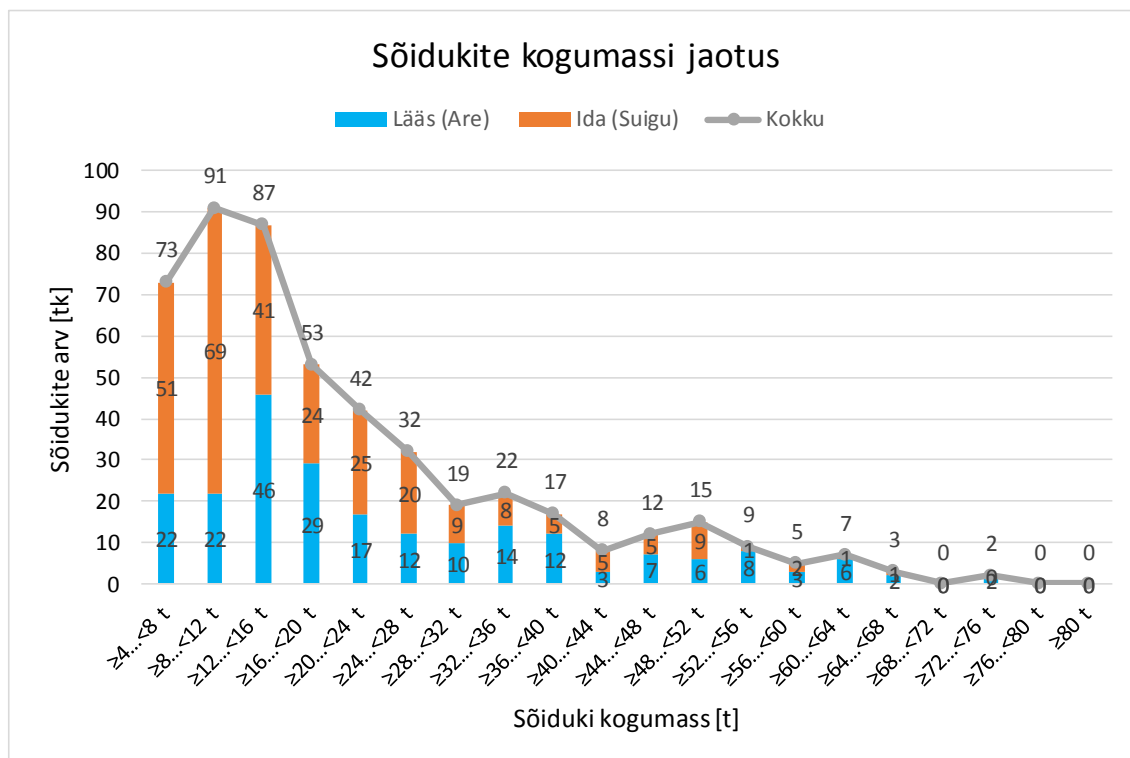


Joonis 52. Telgede arvu jaotus (Suigu sild; 2017 juuni ja juuli; 7 päeva)

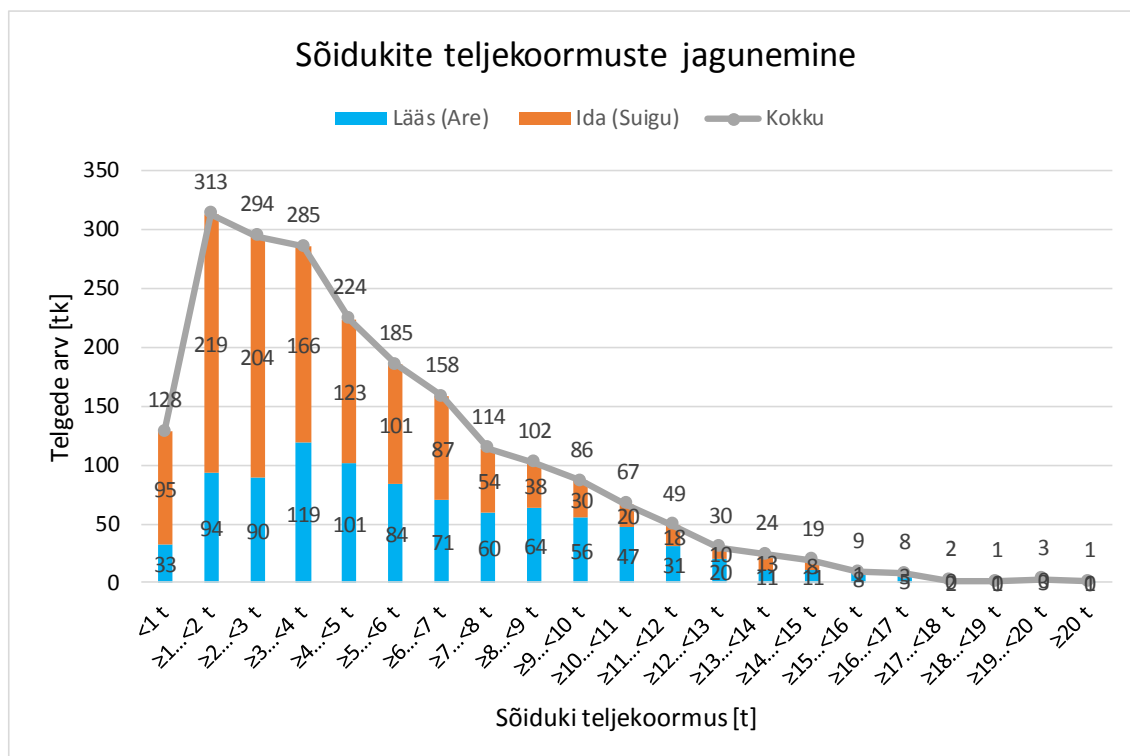


Joonis 53. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Suigu sild; 2017 juuni ja juuli; 7 päeva)

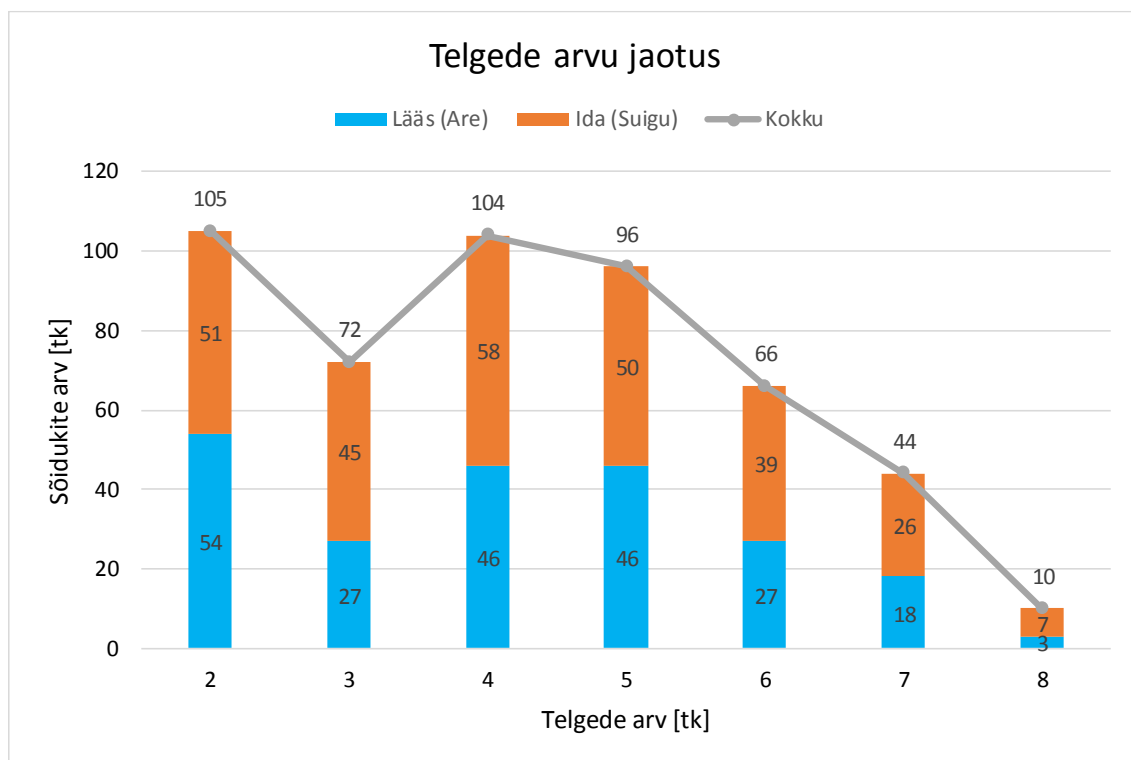
8.2.5. Suigu sild, 2. etapp



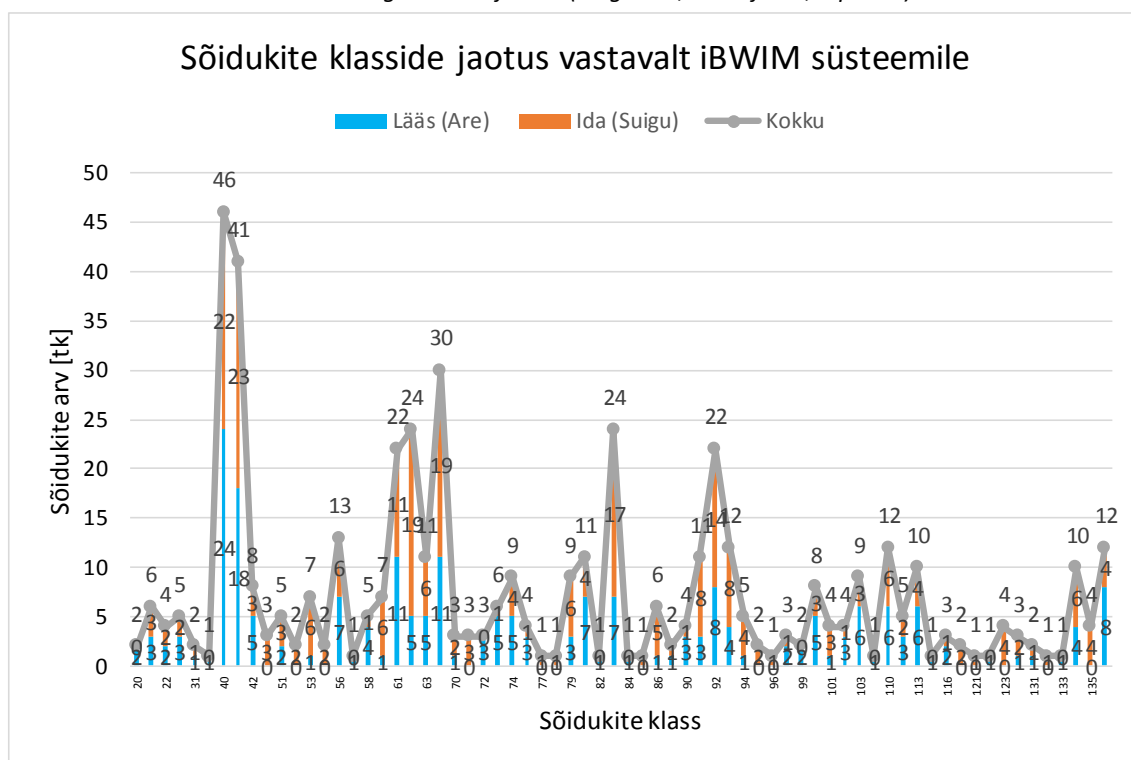
Joonis 54. Sõidukite kogumassi jaotus (Suigu sild; 2018 juuni; 7 päeva)



Joonis 55. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Suigu sild; 2018 juuni; 7 päeva)

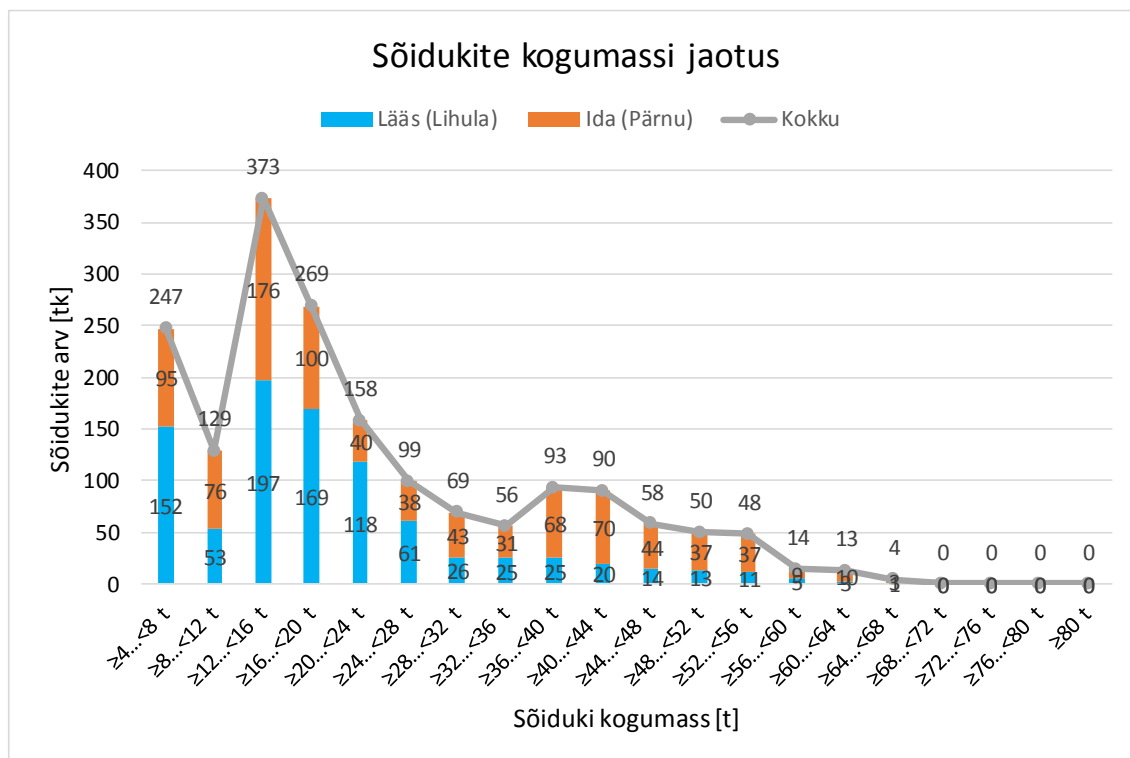


Joonis 56. Telgede arvu jaotus (Suigu sild; 2018 juuni; 7 päeva)

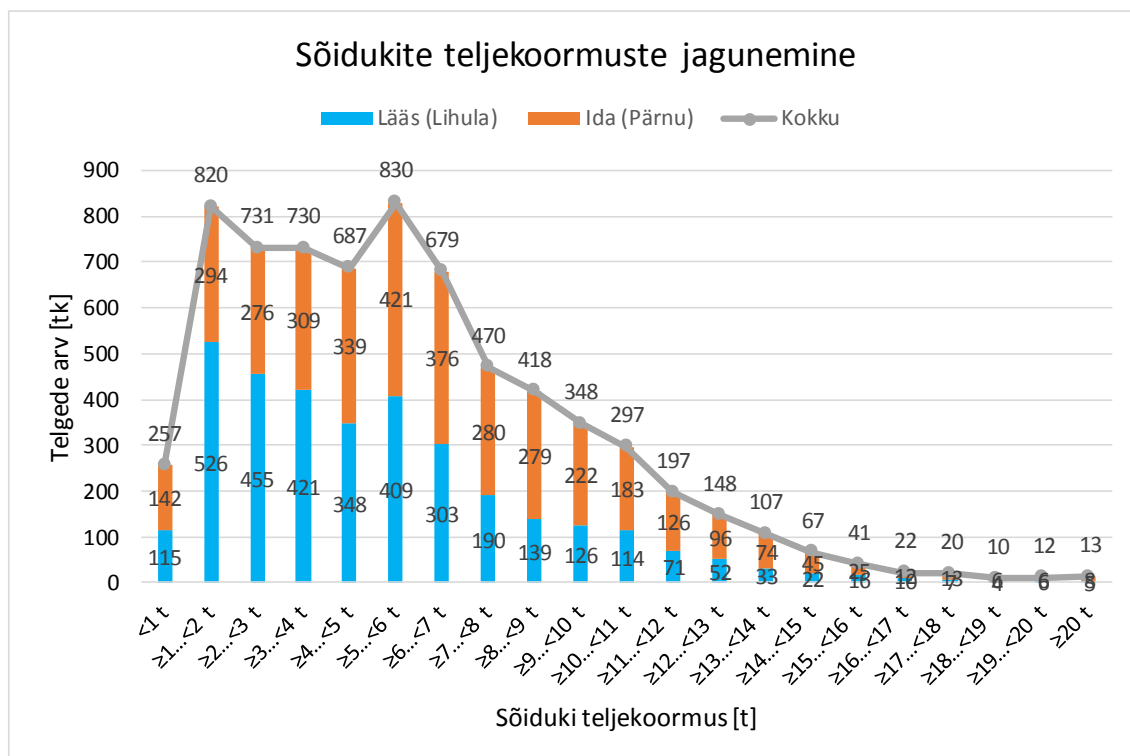


Joonis 57. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Suigu sild; 2018 juuni; 7 päeva)

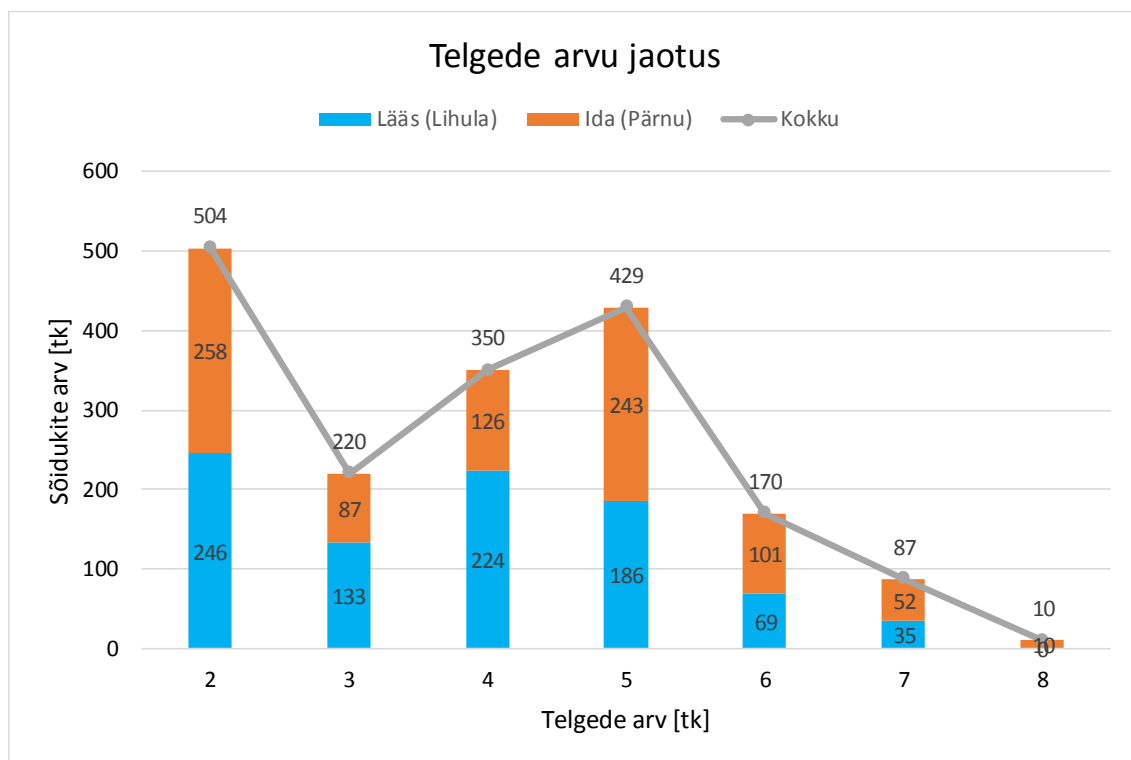
8.2.6. Sanga viadukt, 1. etapp



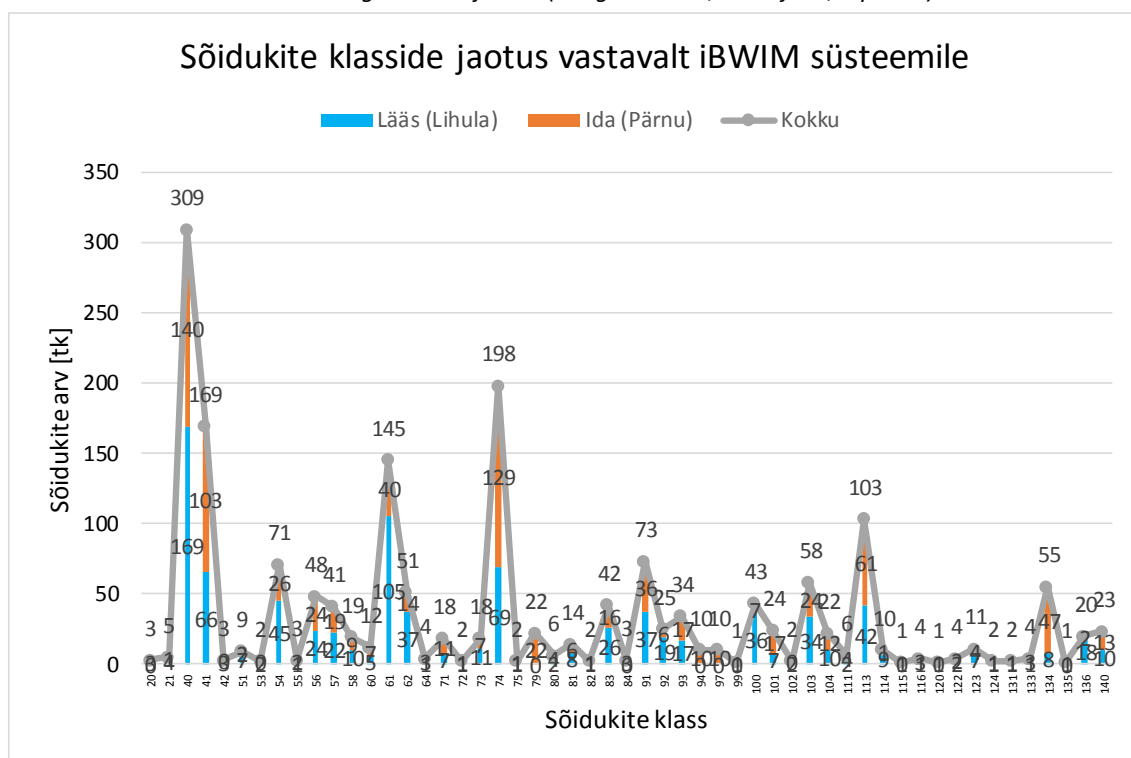
Joonis 58. Sõidukite kogumassi jaotus (Sanga viadukt; 2017 juuli; 7 päeva)



Joonis 59. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Sanga viadukt; 2017 juuli; 7 päeva)

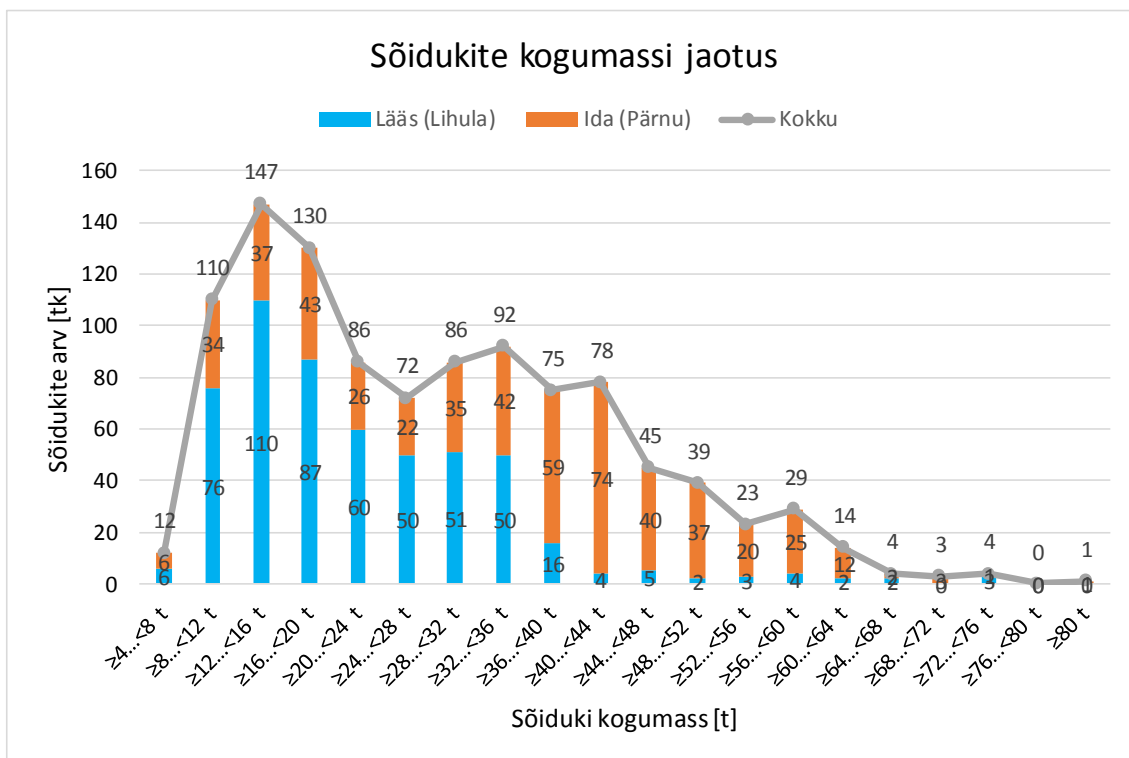


Joonis 60. Telgede arvu jaotus (Sanga viadukt; 2017 juuli; 7 päeva)

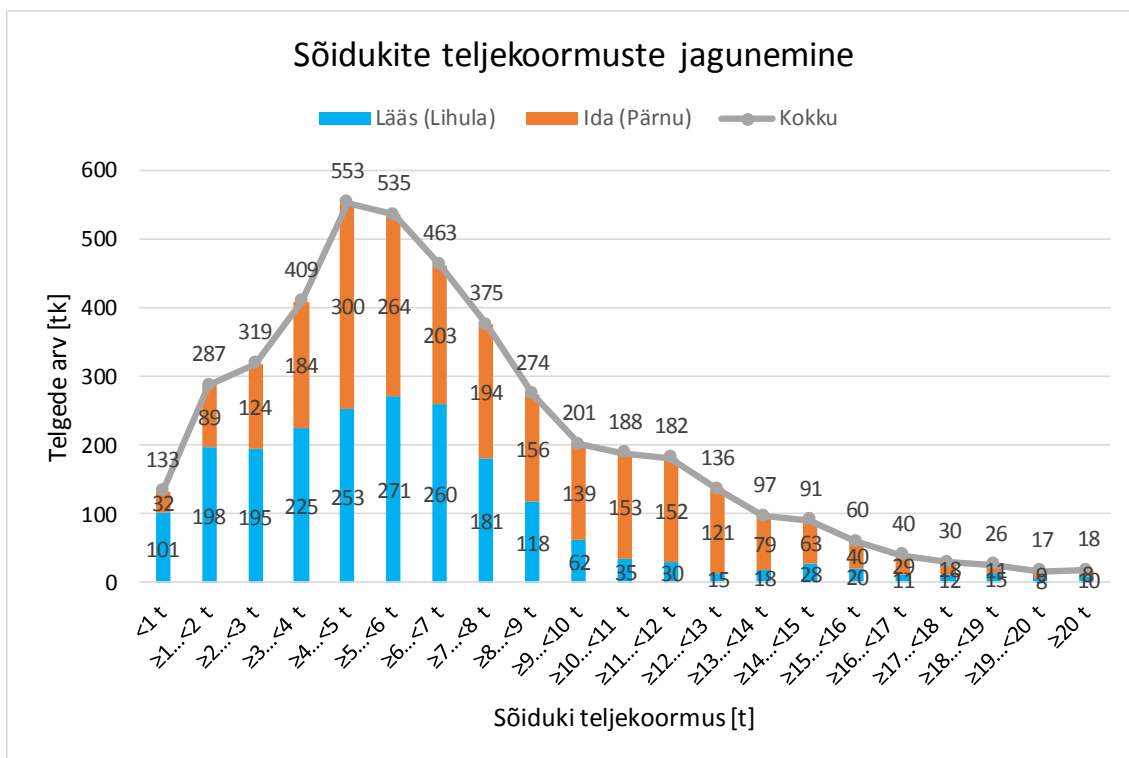


Joonis 61. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Sanga viadukt; 2017 juuli; 7 päeva)

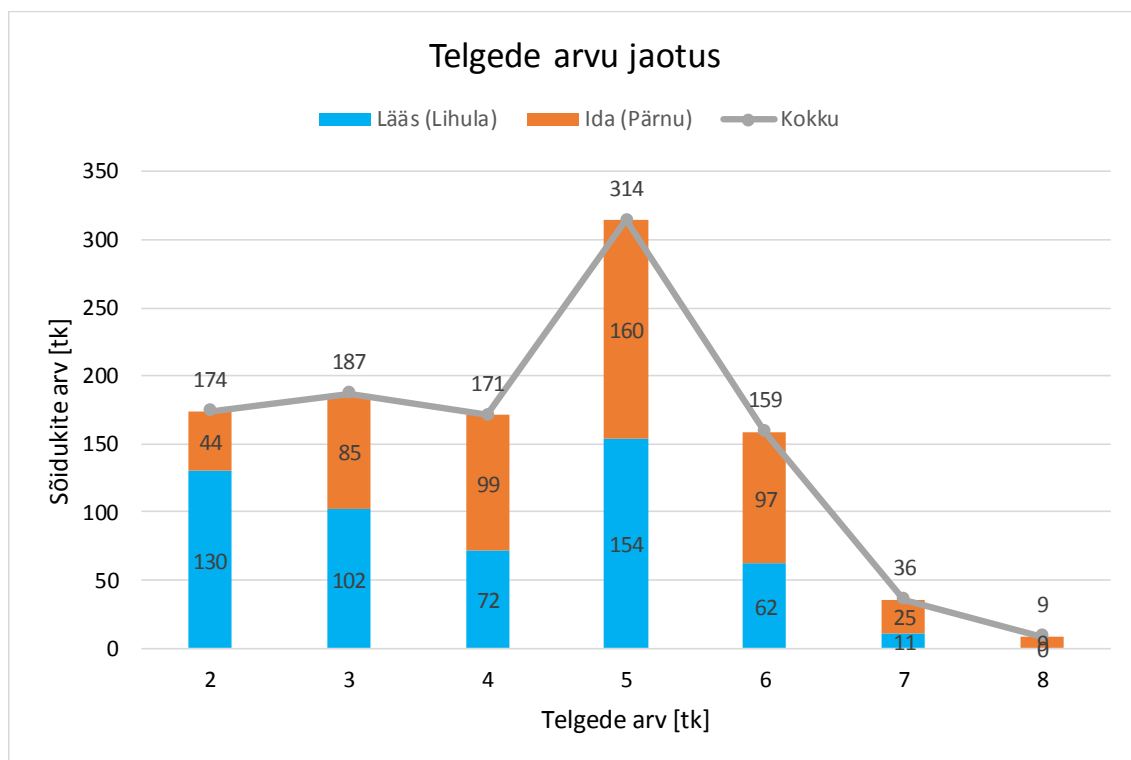
8.2.7. Sanga viadukt, 2. etapp



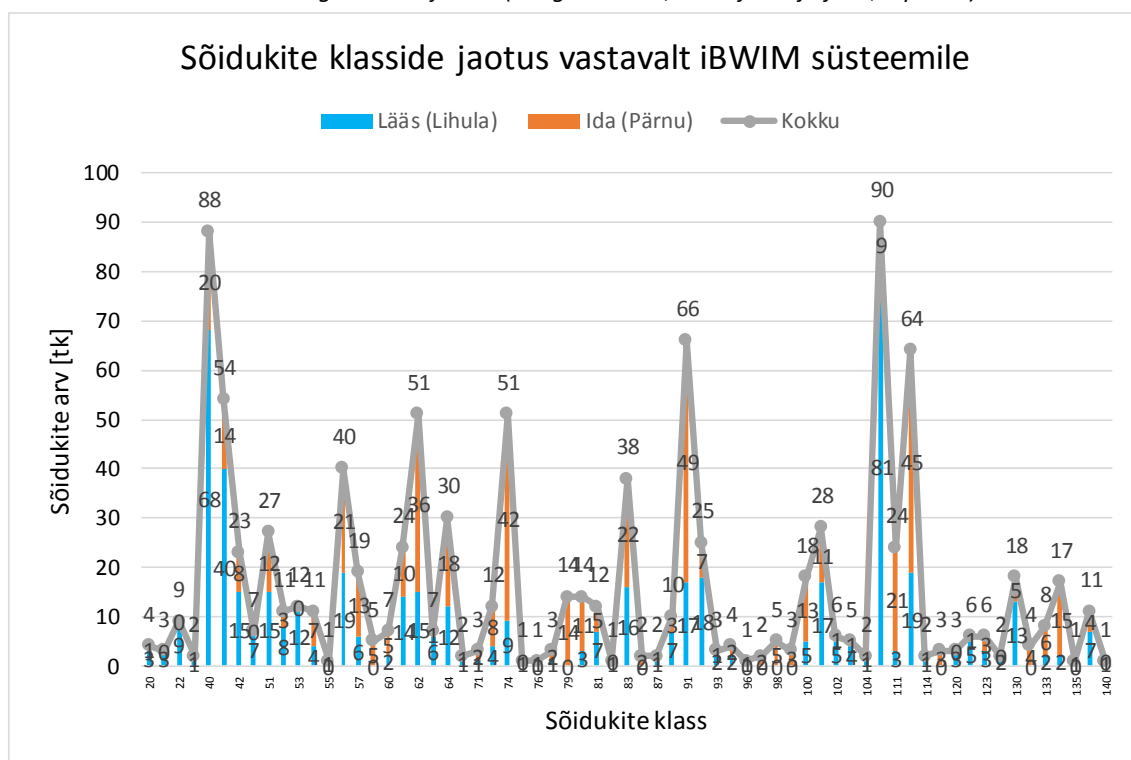
Joonis 62. Sõidukite kogumassi jaotus (Sanga viadukt; 2018 juuni ja juuli; 7 päeva)



Joonis 63. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Sanga viadukt; 2018 juuni ja juuli; 7 päeva)

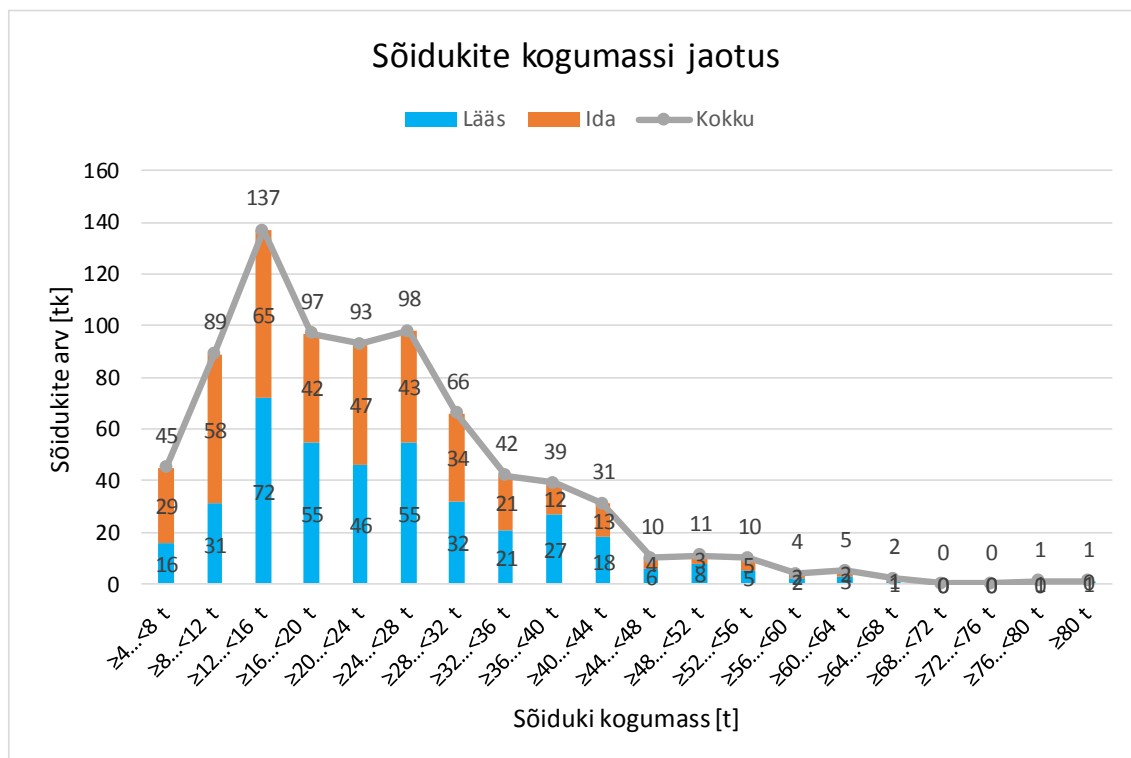


Joonis 64. Telgede arvu jaotus (Sanga viadukt; 2018 juuni ja juuli; 7 päeva)

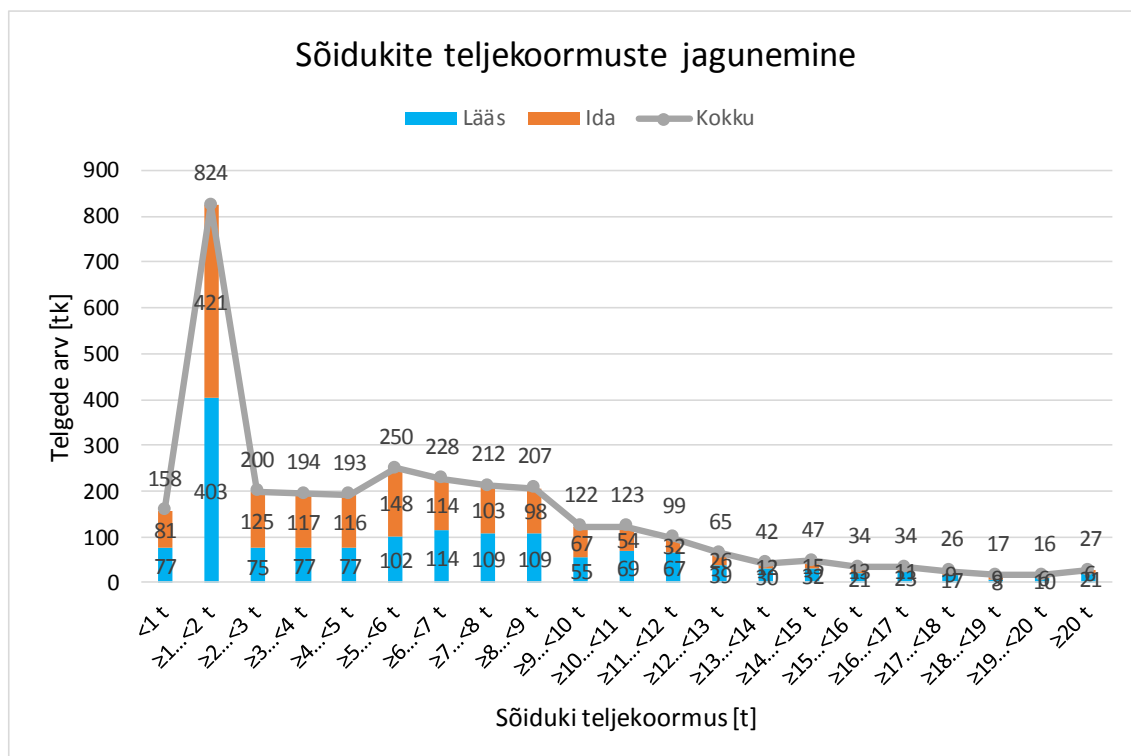


Joonis 65. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Sanga viadukt; 2018 juuni ja juuli; 7 päeva)

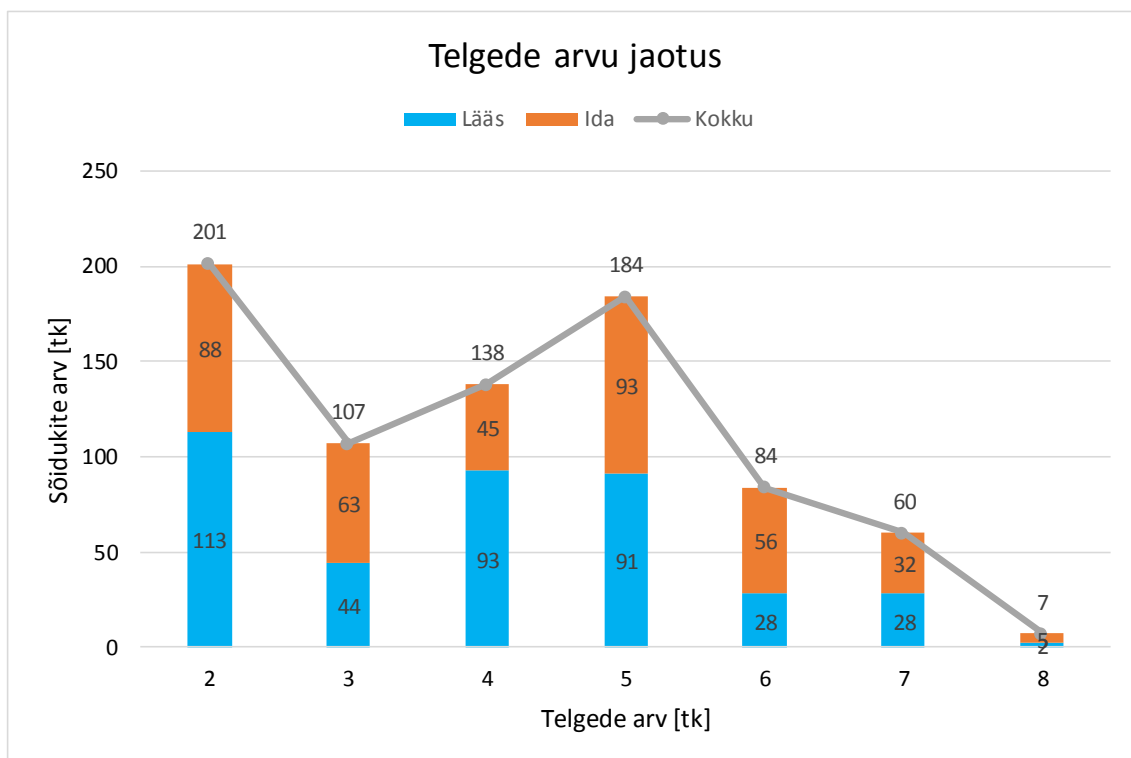
8.2.8. Põlva pais, 1. etapp



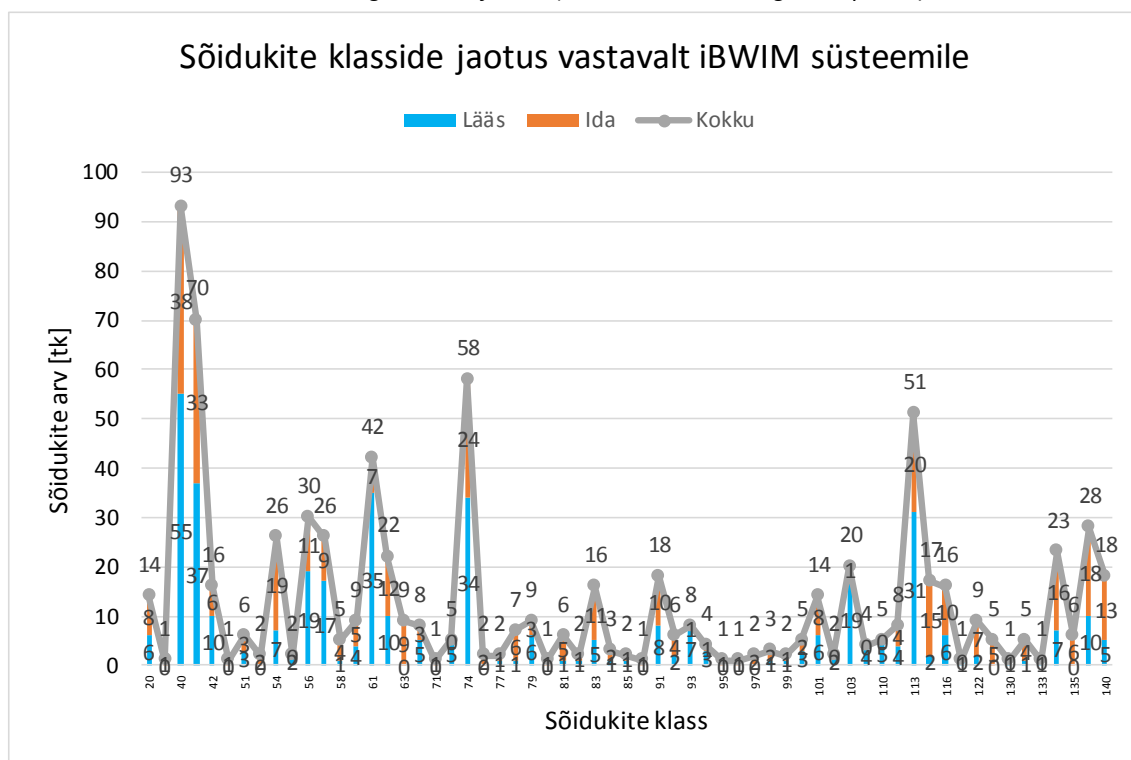
Joonis 66. Sõidukite kogumassi jaotus (Põlva Pais; 2017 august; 7 päeva)



Joonis 67. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Põlva Pais; 2017 august; 7 päeva)

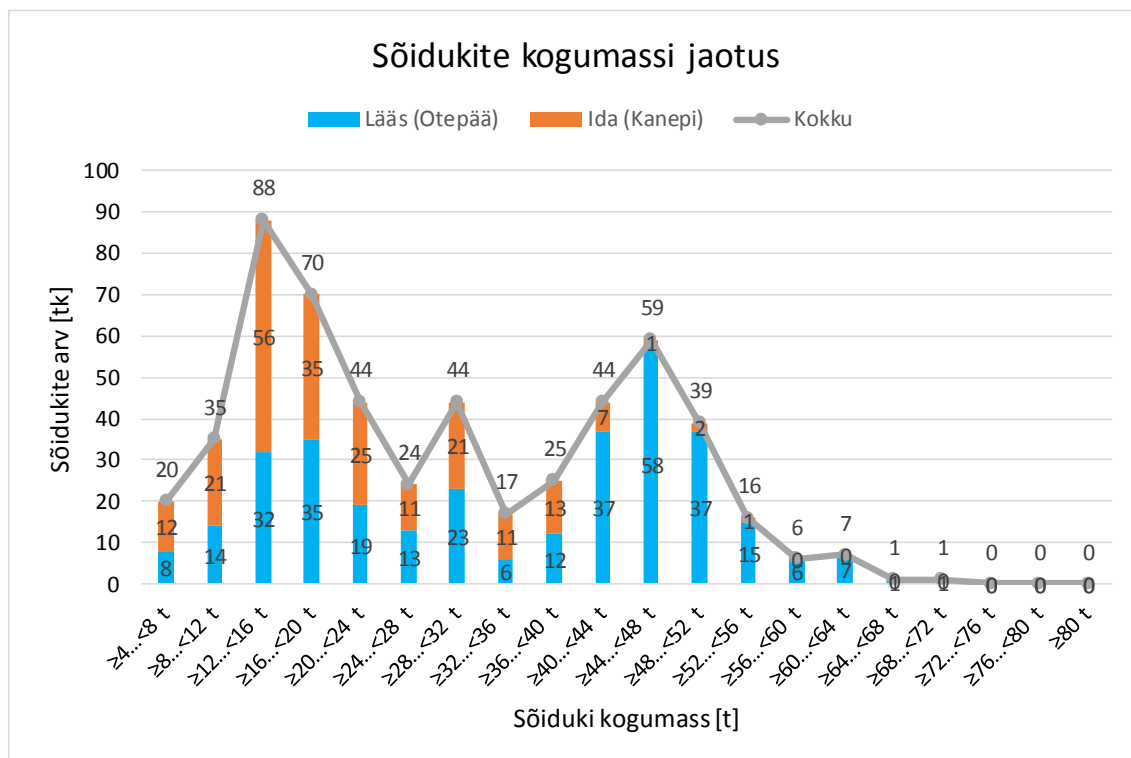


Joonis 68. Telgede arvu jaotus (Põlva Pais; 2017 august; 7 päeva)

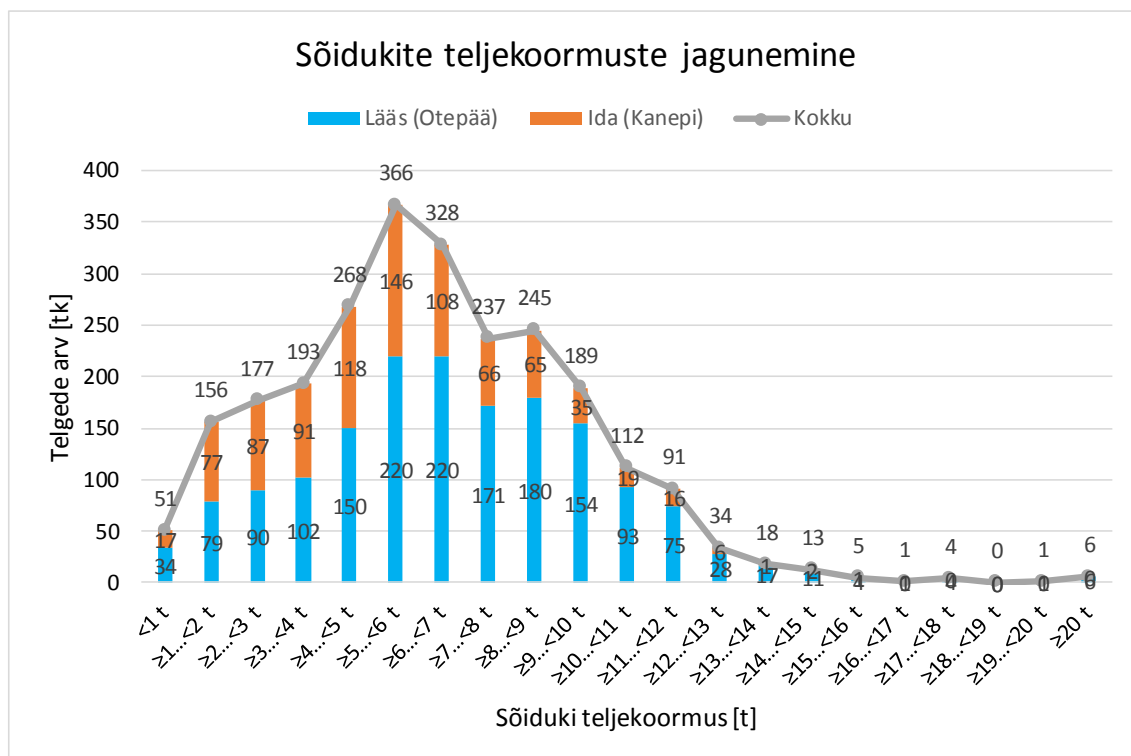


Joonis 69. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Põlva Pais; 2017 august; 7 päeva)

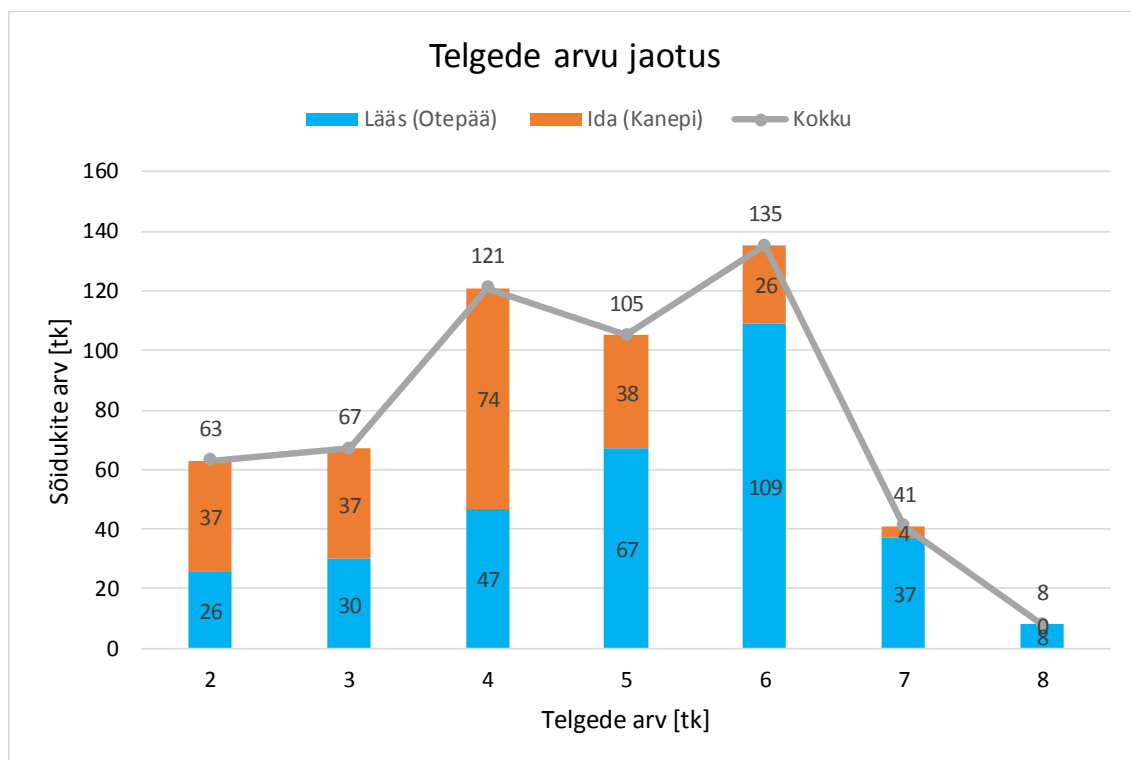
8.2.9. Ritsiku sild, 1. etapp



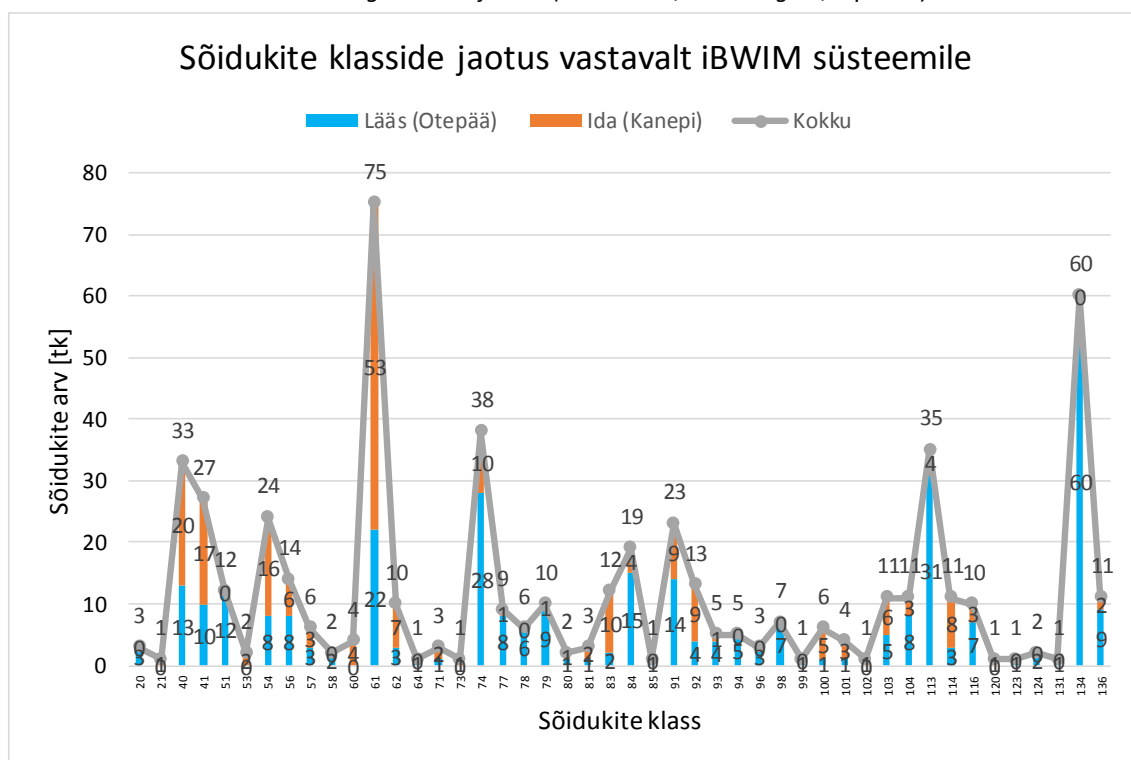
Joonis 70. Sõidukite kogumassi jaotus (Ritsiku sild; 2017 august; 7 päeva)



Joonis 71. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Ritsiku sild; 2017 august; 7 päeva)

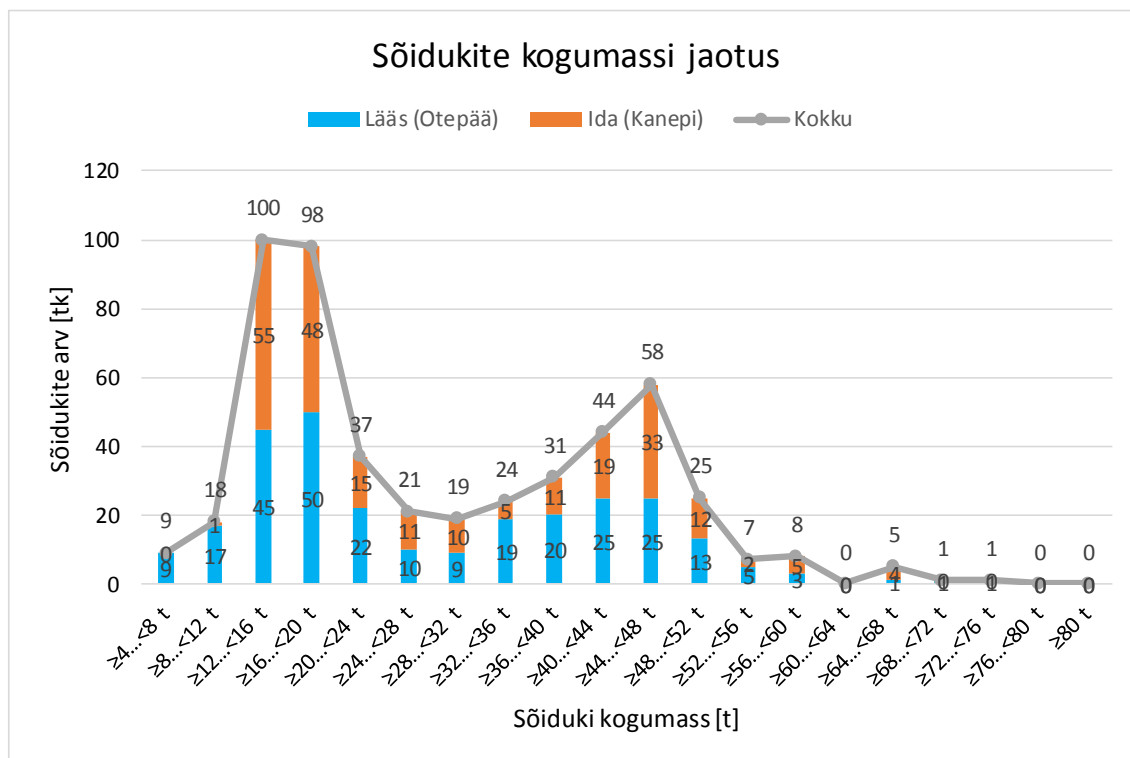


Joonis 72. Telgede arvu jaotus (Ritsiku sild; 2017 august; 7 päeva)

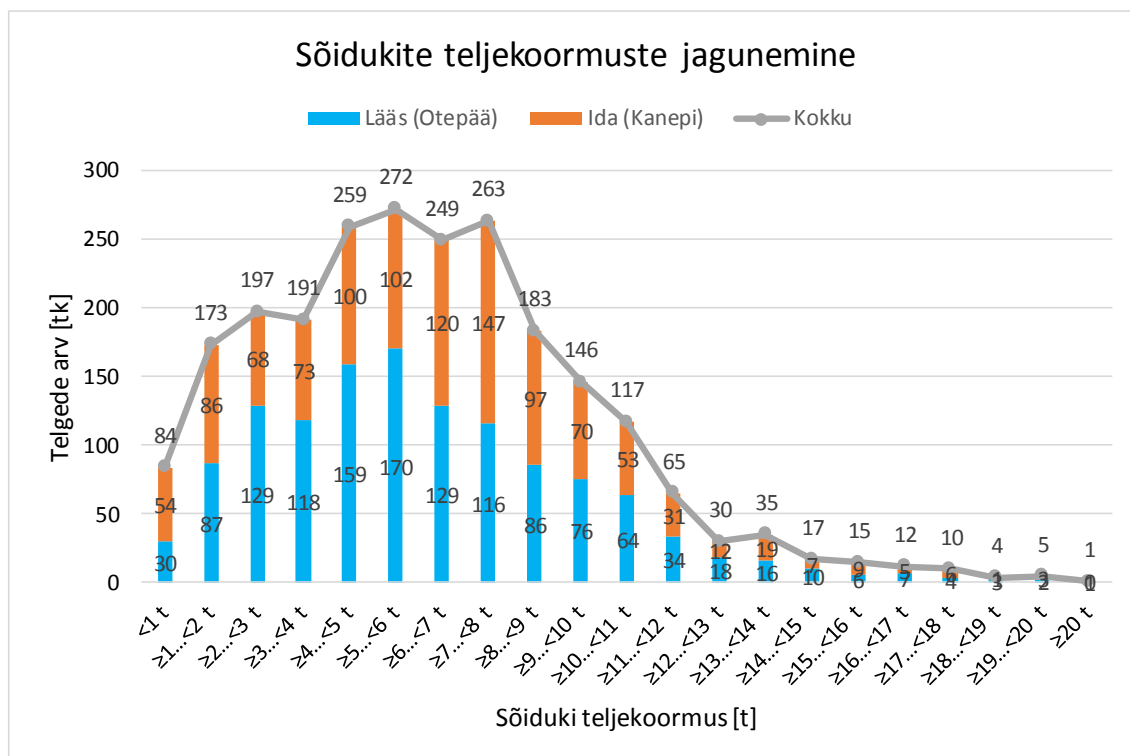


Joonis 73. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Ritsiku sild; 2017 august; 7 päeva)

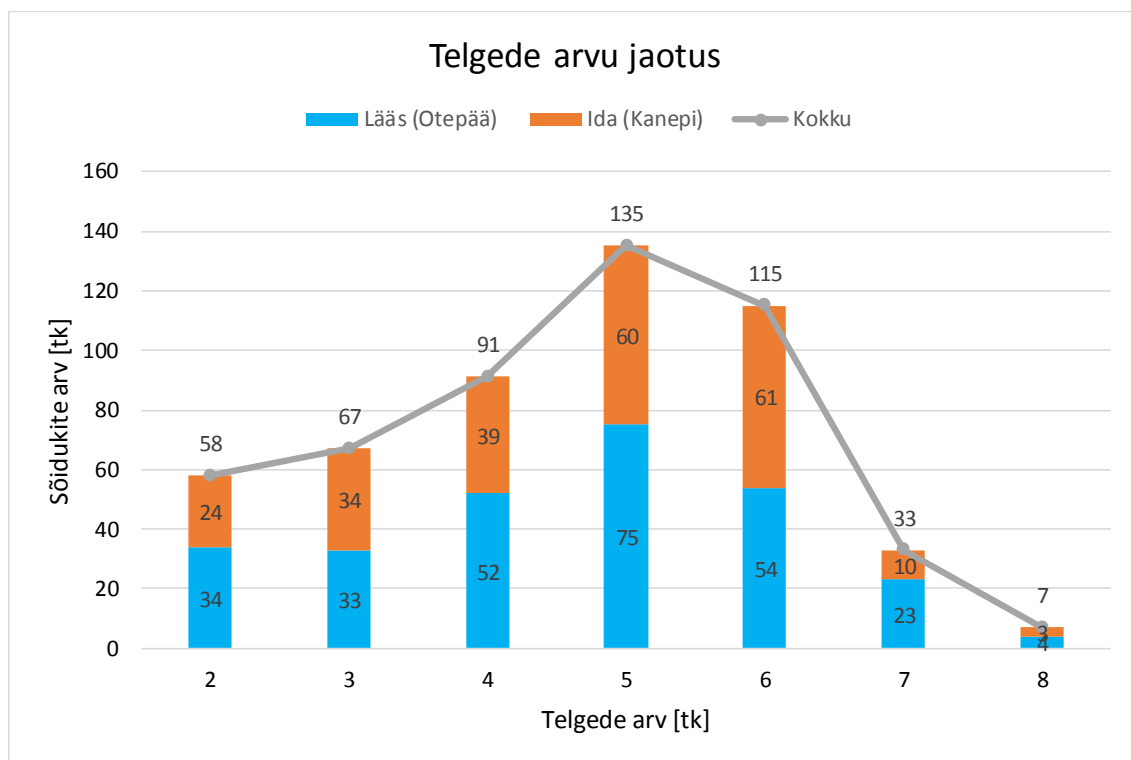
8.2.10. Ritsiku sild, 2. etapp



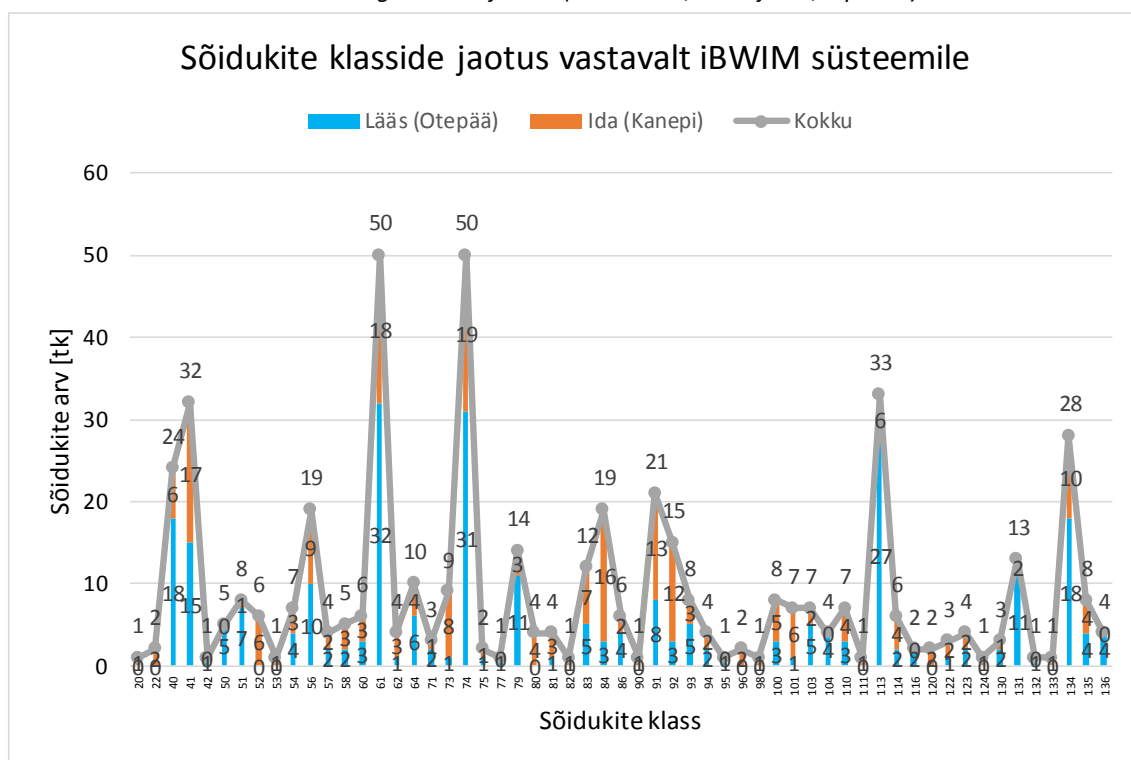
Joonis 74. Sõidukite kogumassi jaotus (Ritsiku sild; 2018 juuni; 7 päeva)



Joonis 75. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Ritsiku sild; 2018 juuni; 7 päeva)

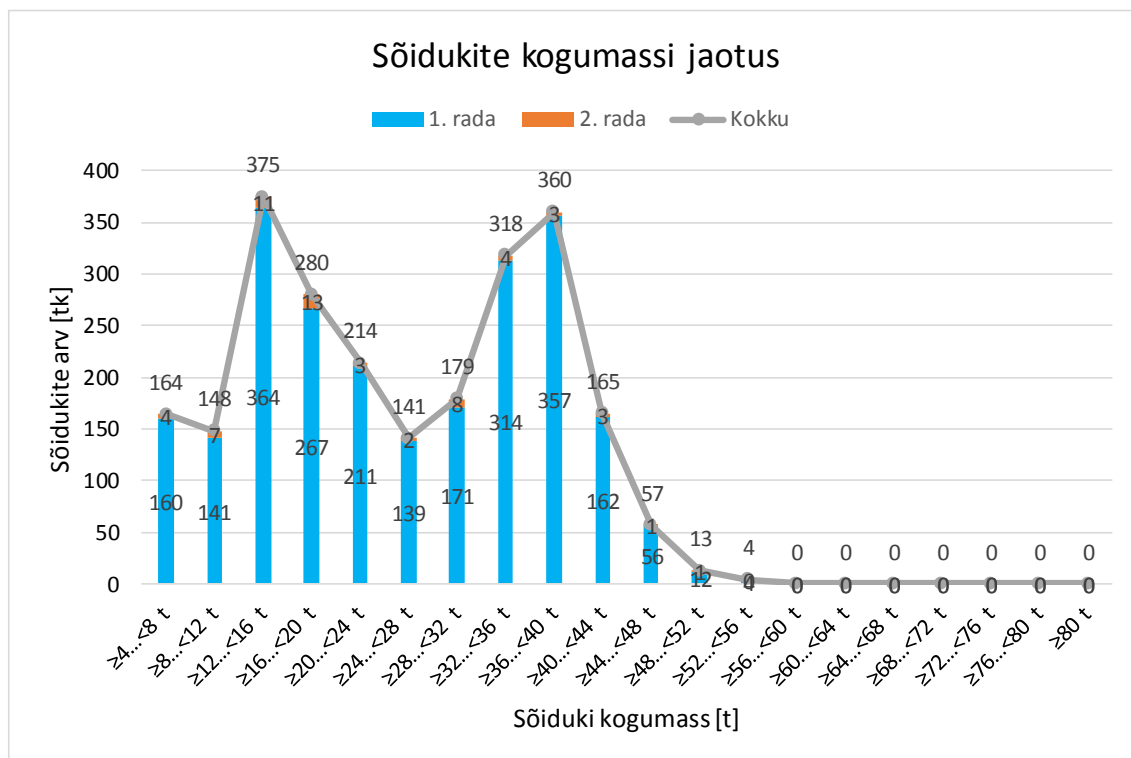


Joonis 76. Telgede arvu jaotus (Ritsiku sild; 2018 juuni; 7 päeva)

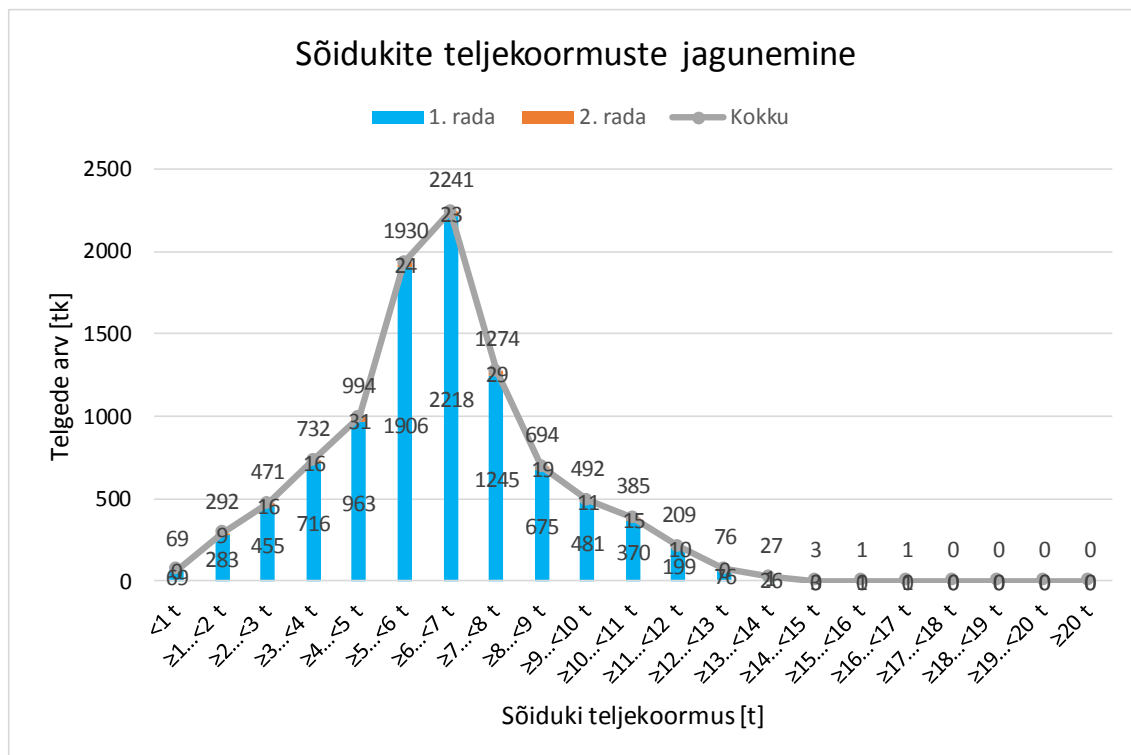


Joonis 77. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Ritsiku sild; 2018 juuni; 7 päeva)

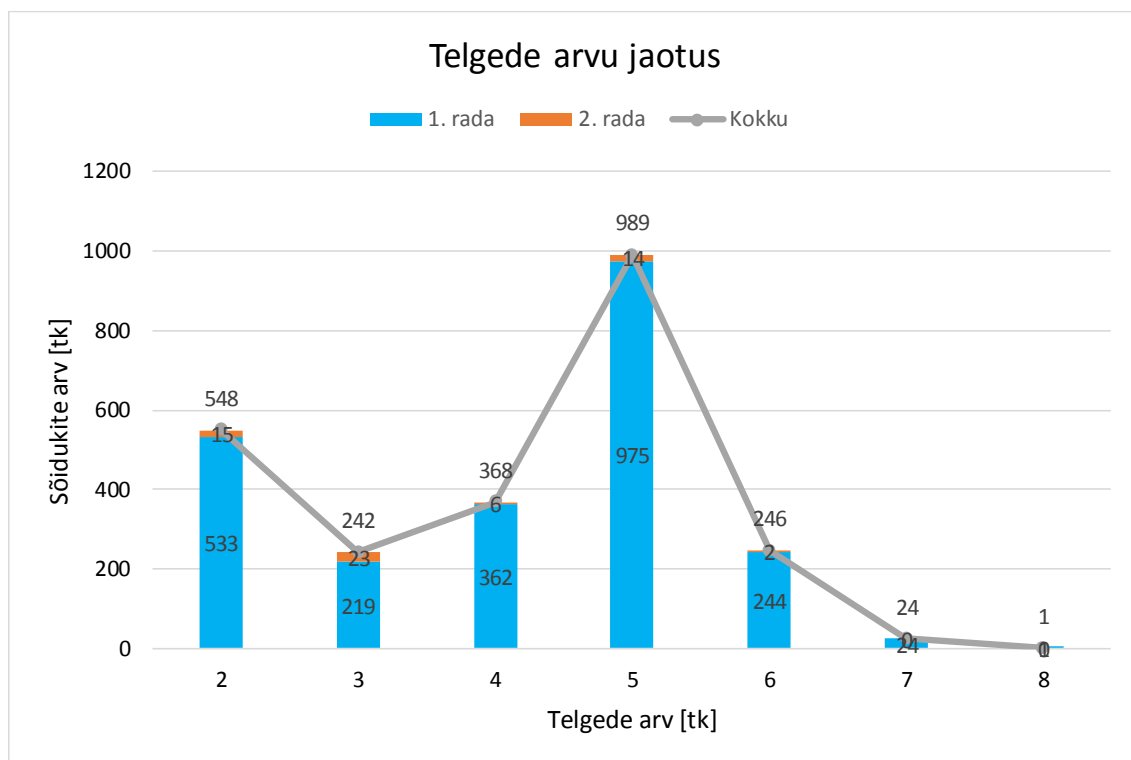
8.2.11. Piuga jalakäijate tunnel – Tallinna suund, 1. etapp



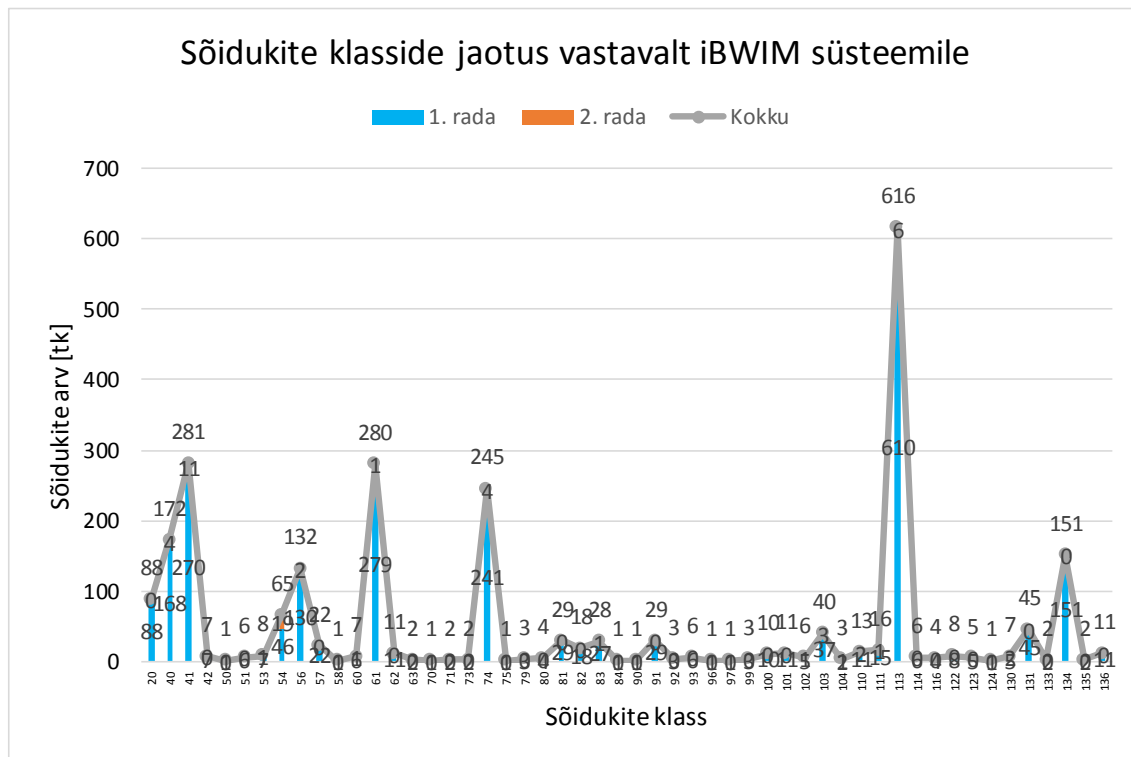
Joonis 78. Sõidukite kogumassi jaotus (Piuga jalakäijate tunnel – Tallinna suund; 2017 august ja september; 7 päeva)



Joonis 79. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Piuga jalakäijate tunnel – Tallinna suund; 2017 august ja september; 7 päeva)

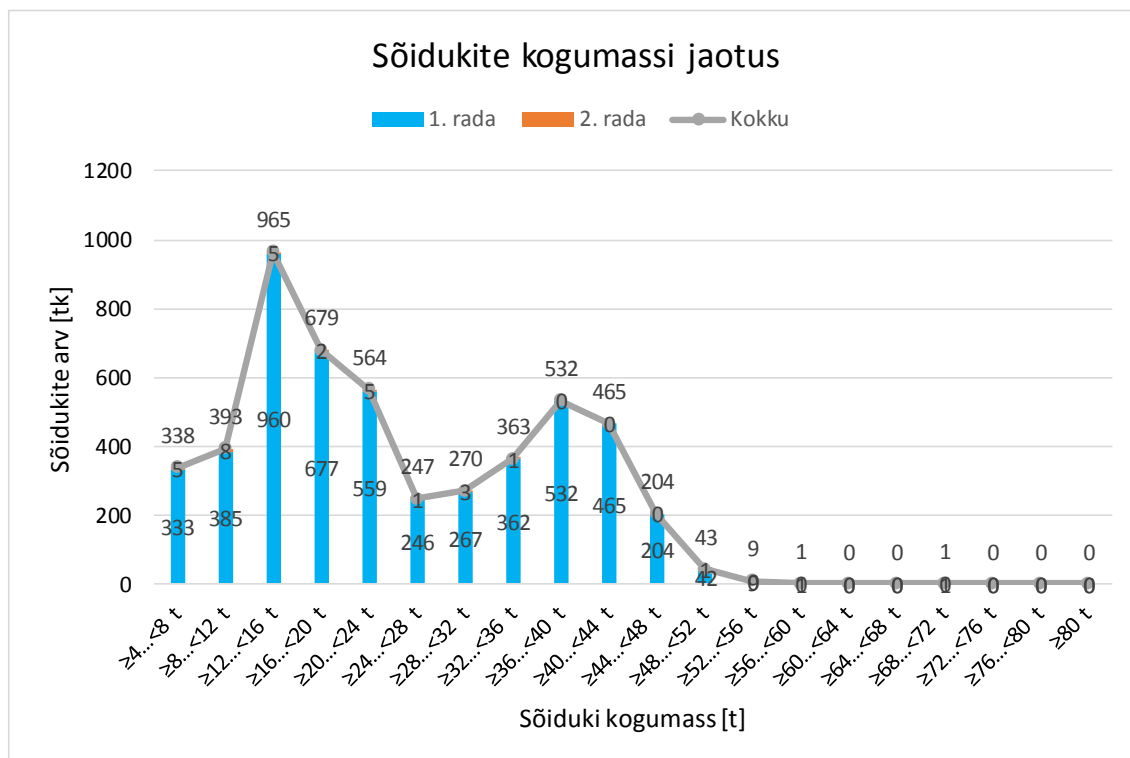


Joonis 80. Telgede arvu jaotus (Piuga jalakäijate tunnel – Tallinna suund; 2017 august ja september; 7 päeva)

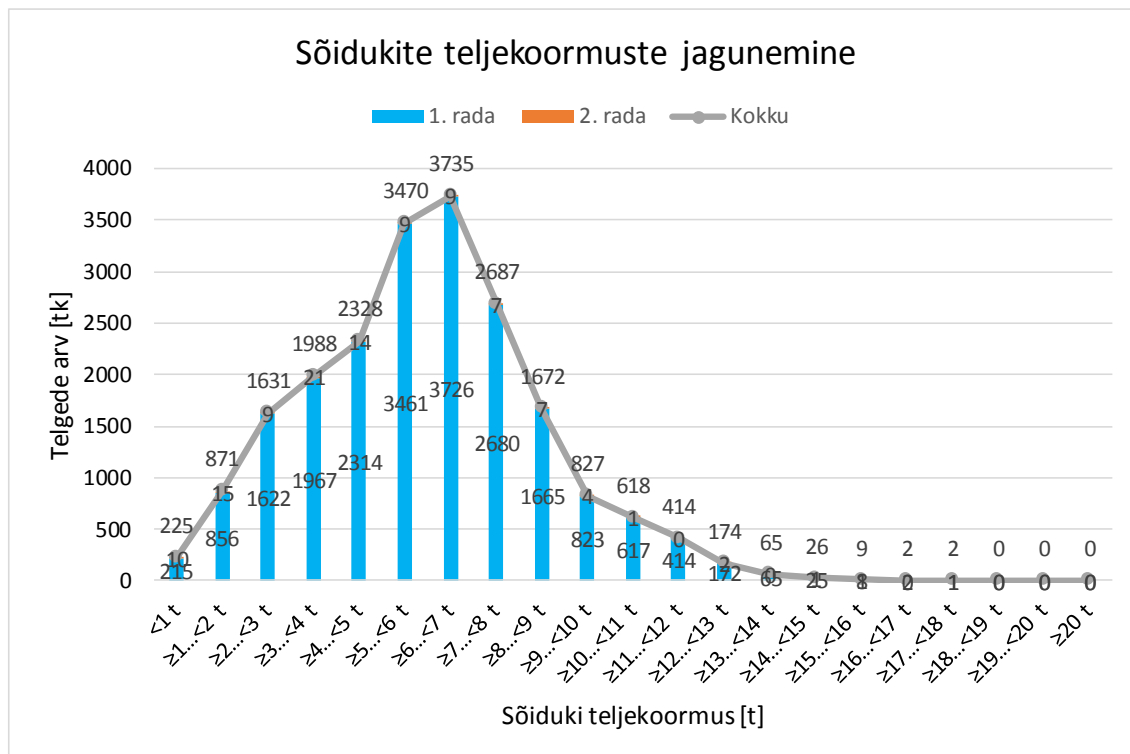


Joonis 81. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Piuga jalakäijate tunnel – Tallinna suund; 2017 august ja september; 7 päeva)

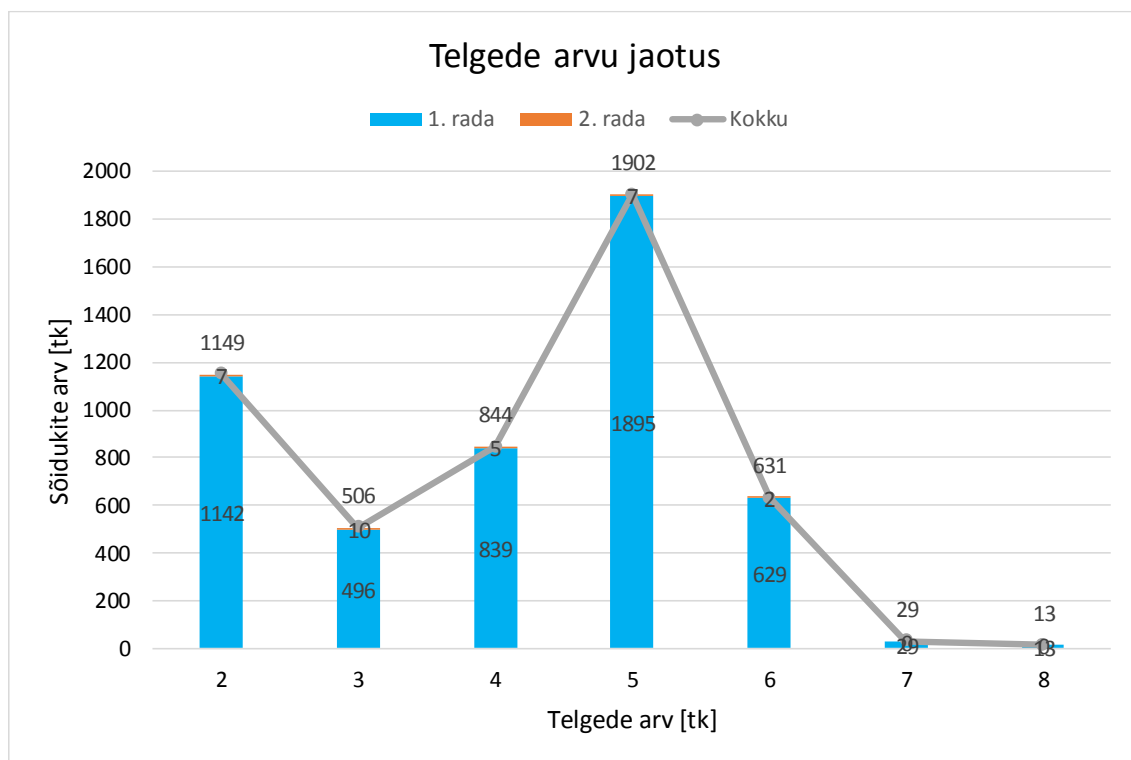
8.2.12. Piuga jalakäijate tunnel – Tallinna suund, 2. etapp



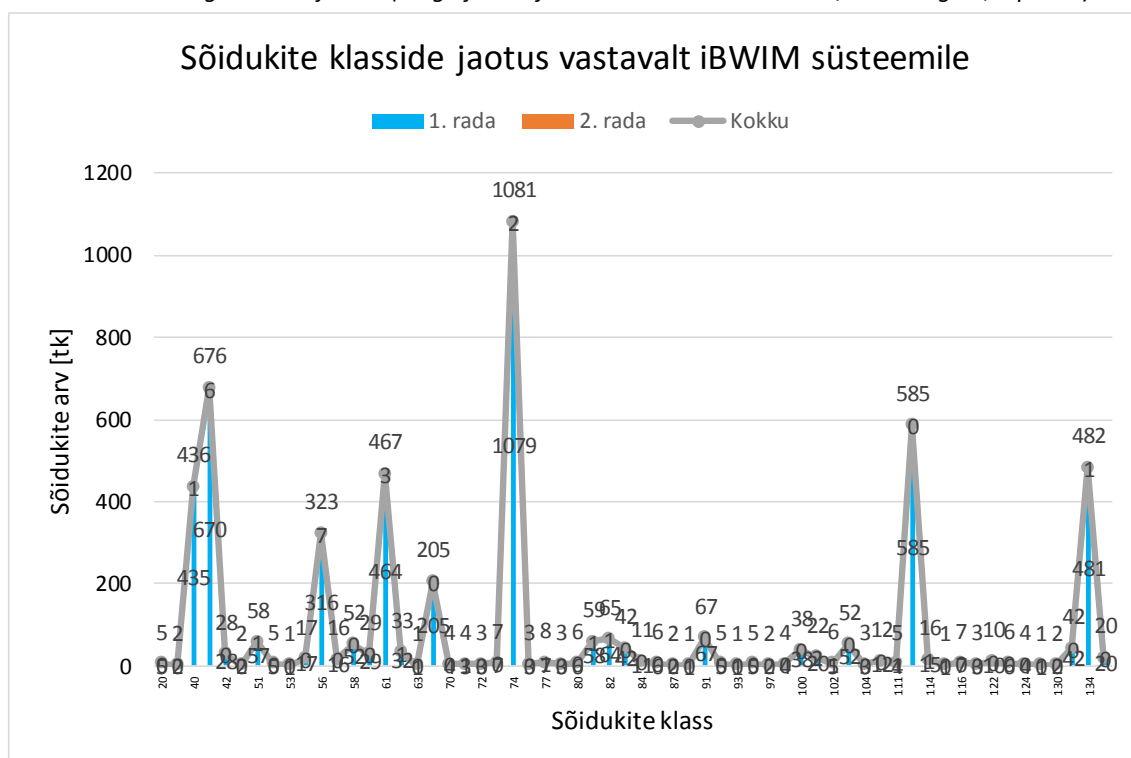
Joonis 82. Sõidukite kogumassi jaotus (Piuga jalakäijate tunnel – Tallinna suund; 2018 august; 7 päeva)



Joonis 83. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Piuga jalakäijate tunnel – Tallinna suund; 2018 august; 7 päeva)

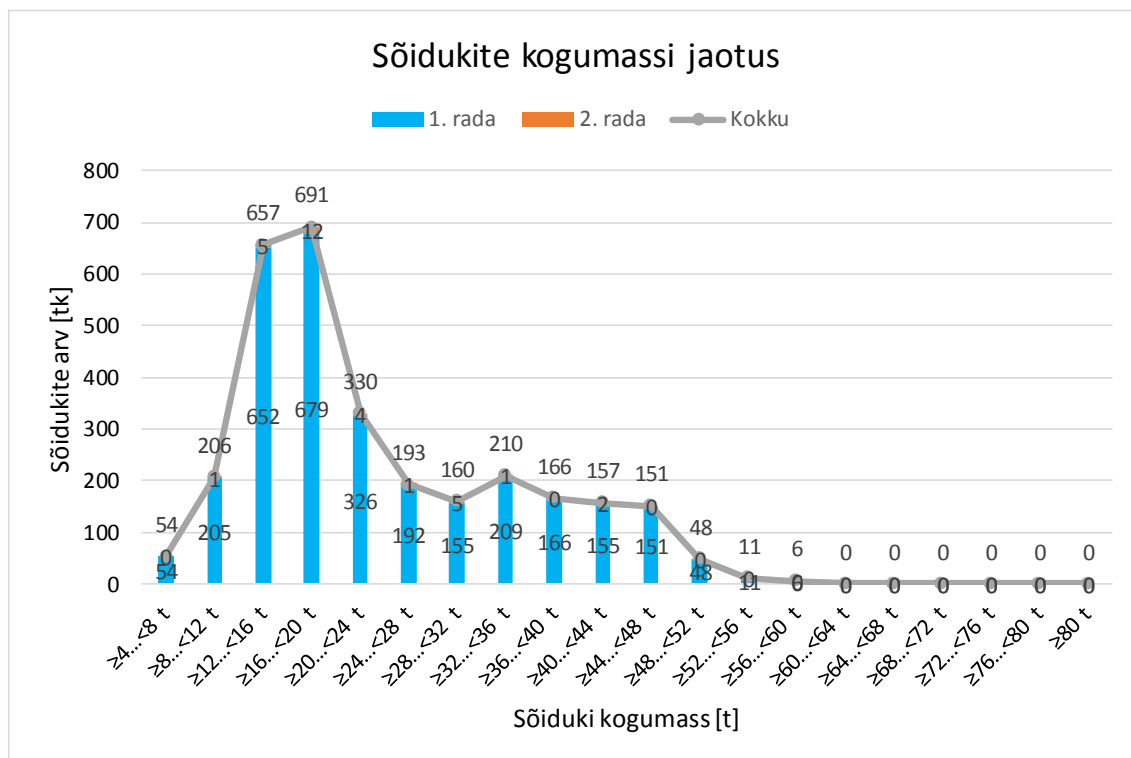


Joonis 84. Telgede arvu jaotus (Piuga jalakäijate tunnel – Tallinna suund; 2018 august; 7 päeva)

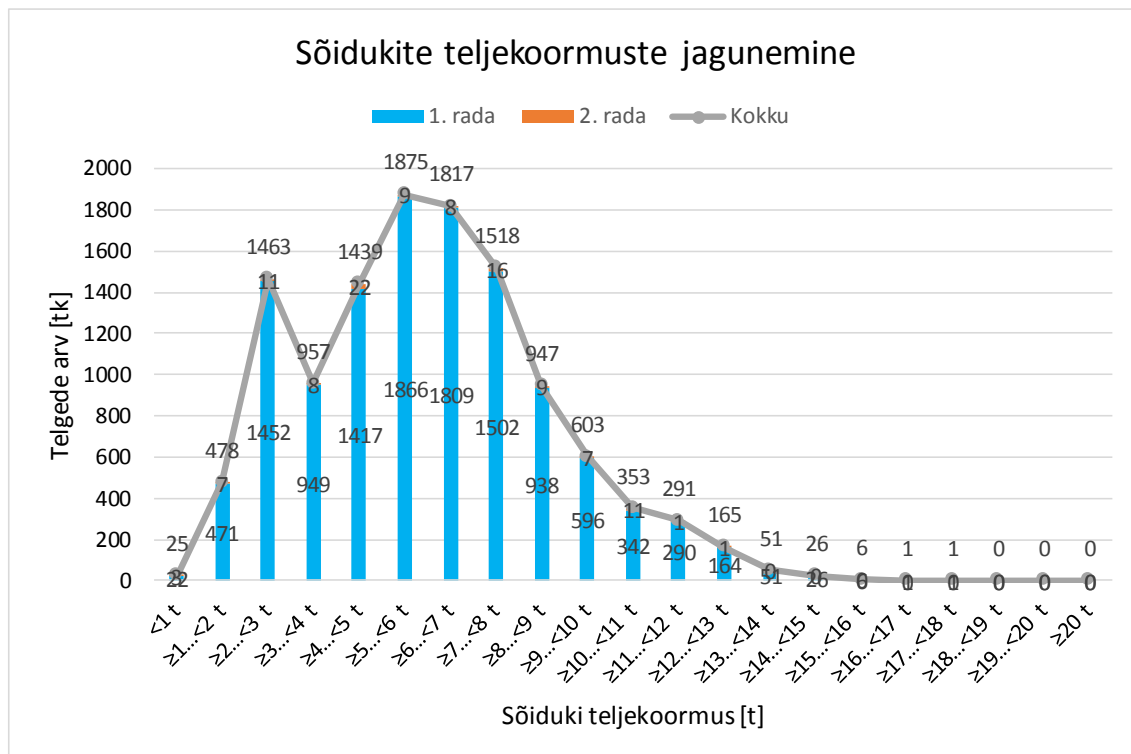


Joonis 85. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Piuga jalakäijate tunnel – Tallinna suund; 2018 august; 7 päeva)

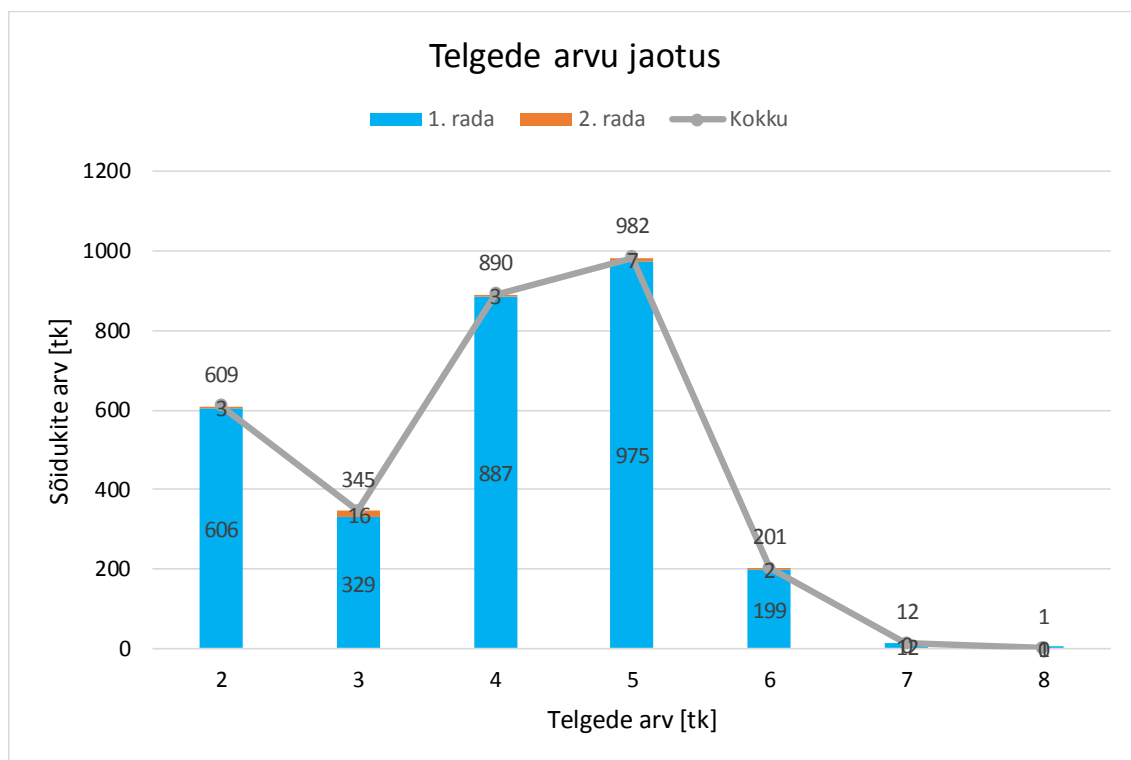
8.2.13. Piuga jalakäijate tunnel – Tartu suund, 1. etapp



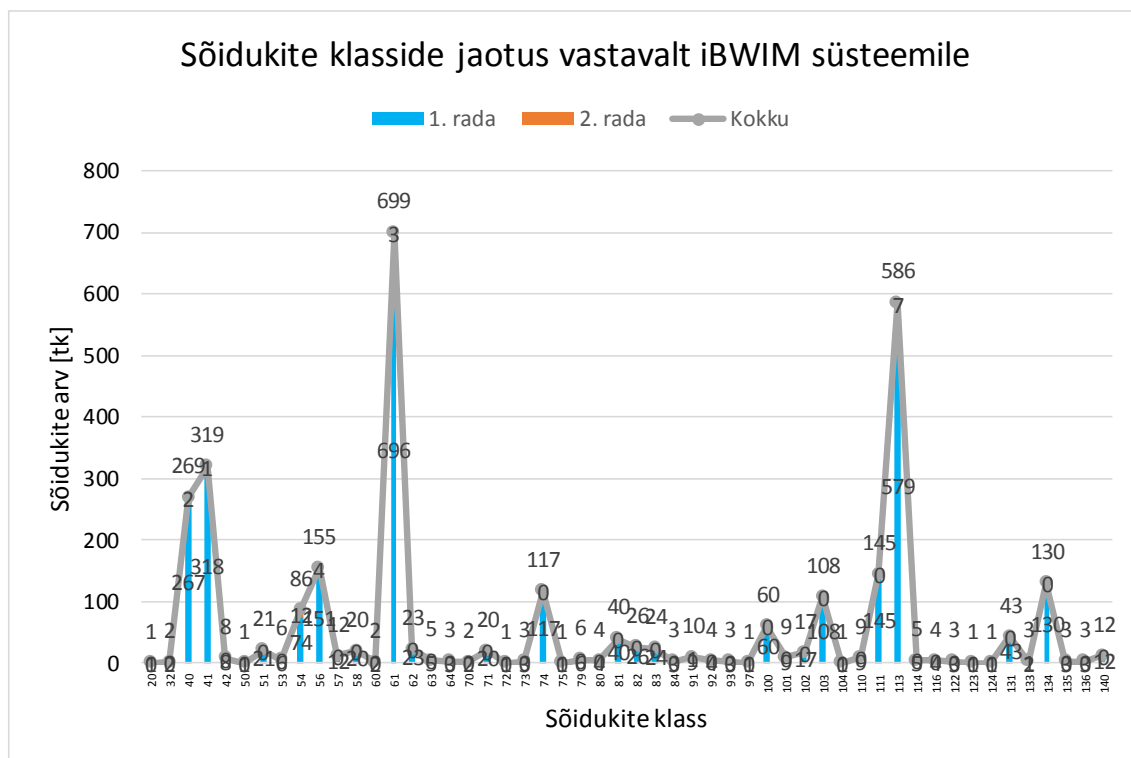
Joonis 86. Sõidukite kogumassi jaotus (Piuga jalakäijate tunnel – Tartu suund; 2017 september; 7 päeva)



Joonis 87. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Piuga jalakäijate tunnel – Tartu suund; 2017 september; 7 päeva)

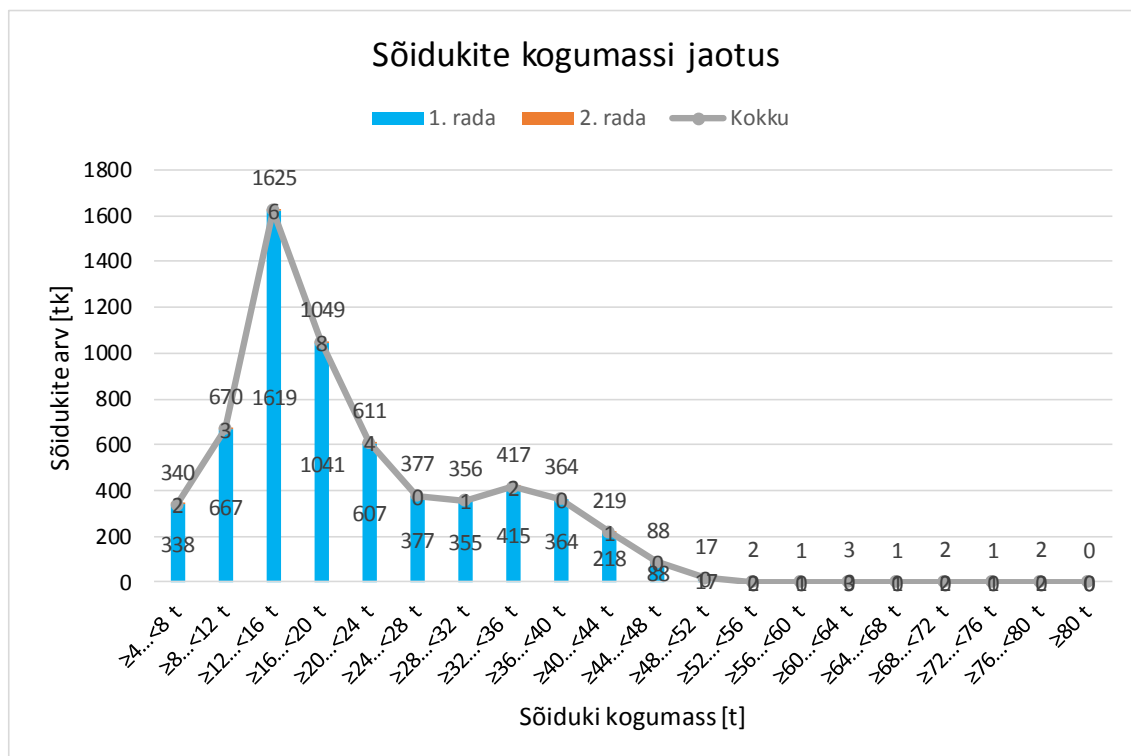


Joonis 88. Telgede arvu jaotus (Piuga jalakäijate tunnel – Tartu suund; 2017 september; 7 päeva)

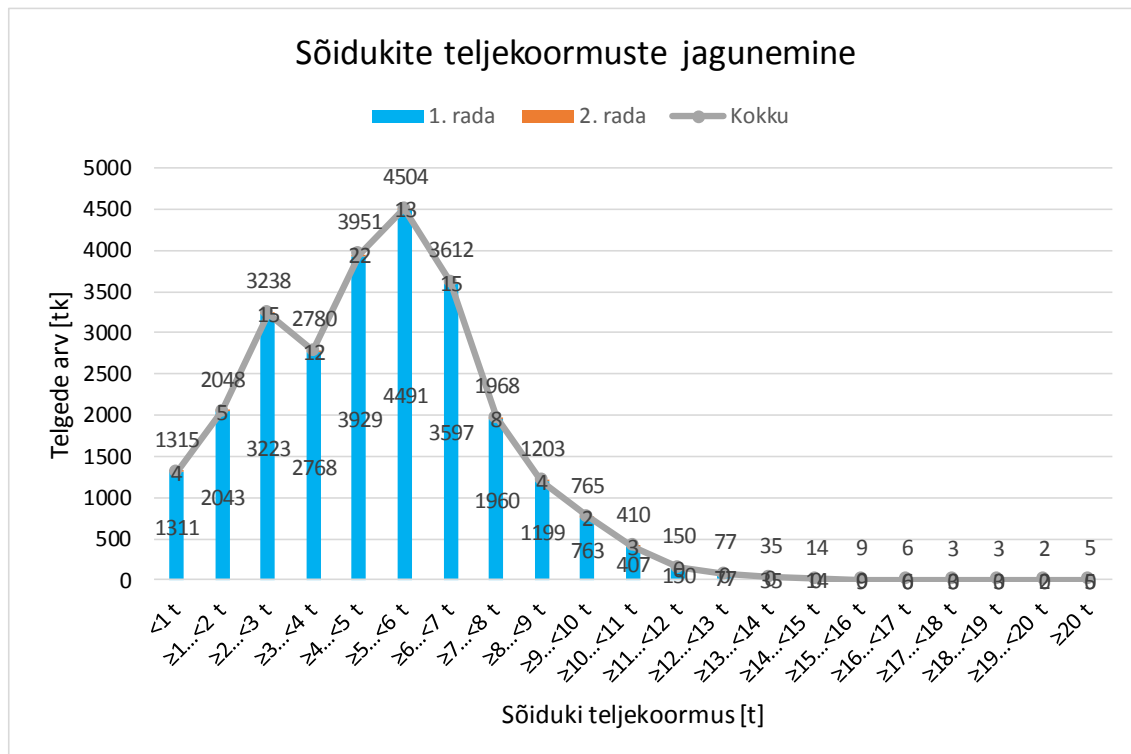


Joonis 89. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Piuga jalakäijate tunnel – Tartu suund; 2017 september; 7 päeva)

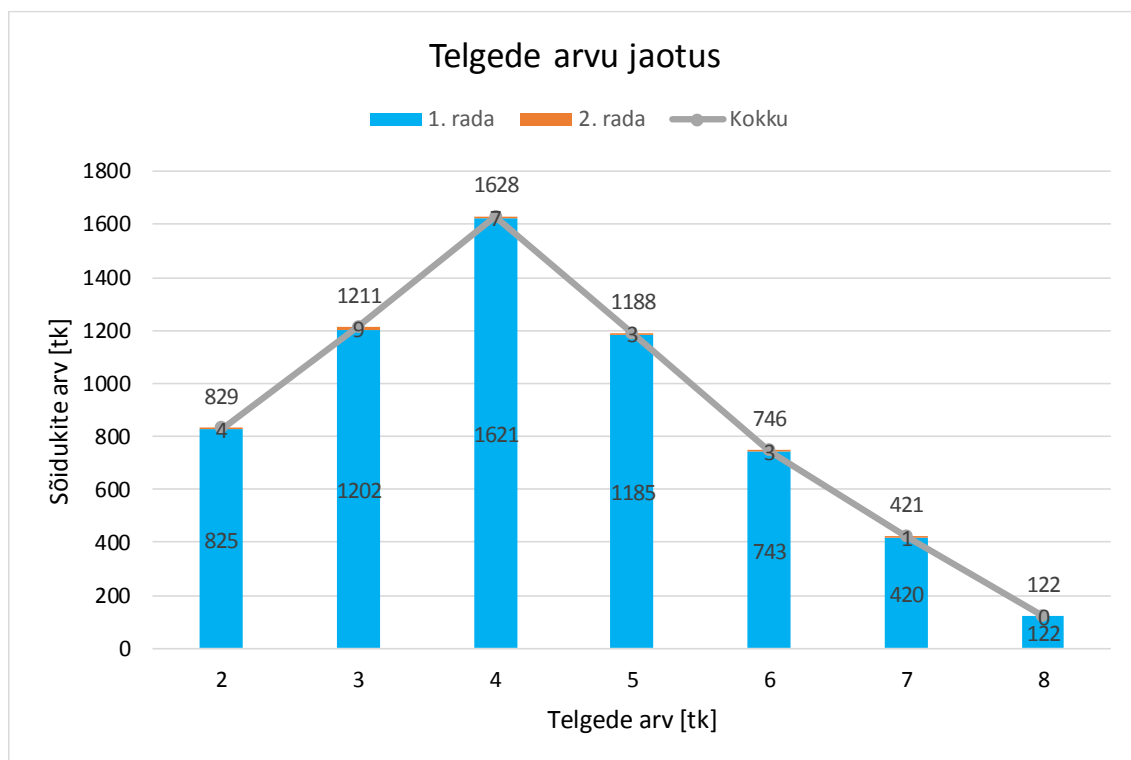
8.2.14. Piuga jalakäijate tunnel – Tartu suund, 2. etapp



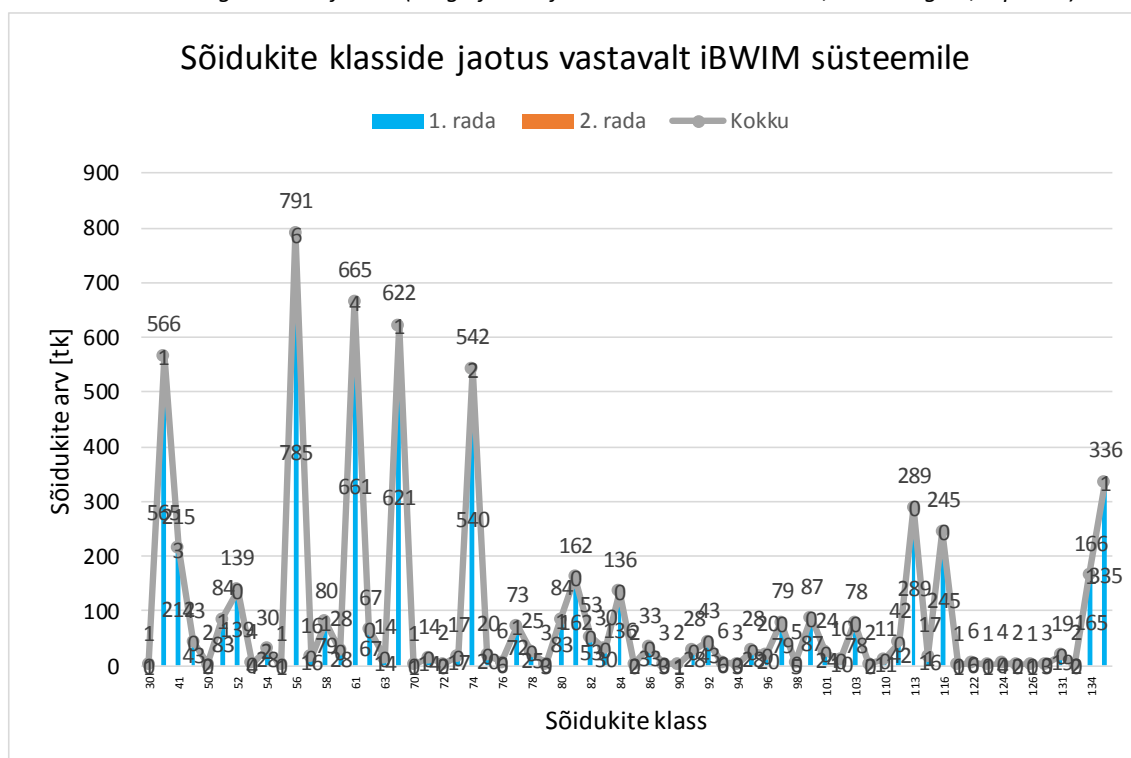
Joonis 90. Sõidukite kogumassi jaotus (Piuga jalakäijate tunnel – Tartu suund; 2018 august; 7 päeva)



Joonis 91. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Piuga jalakäijate tunnel – Tartu suund; 2018 august; 7 päeva)

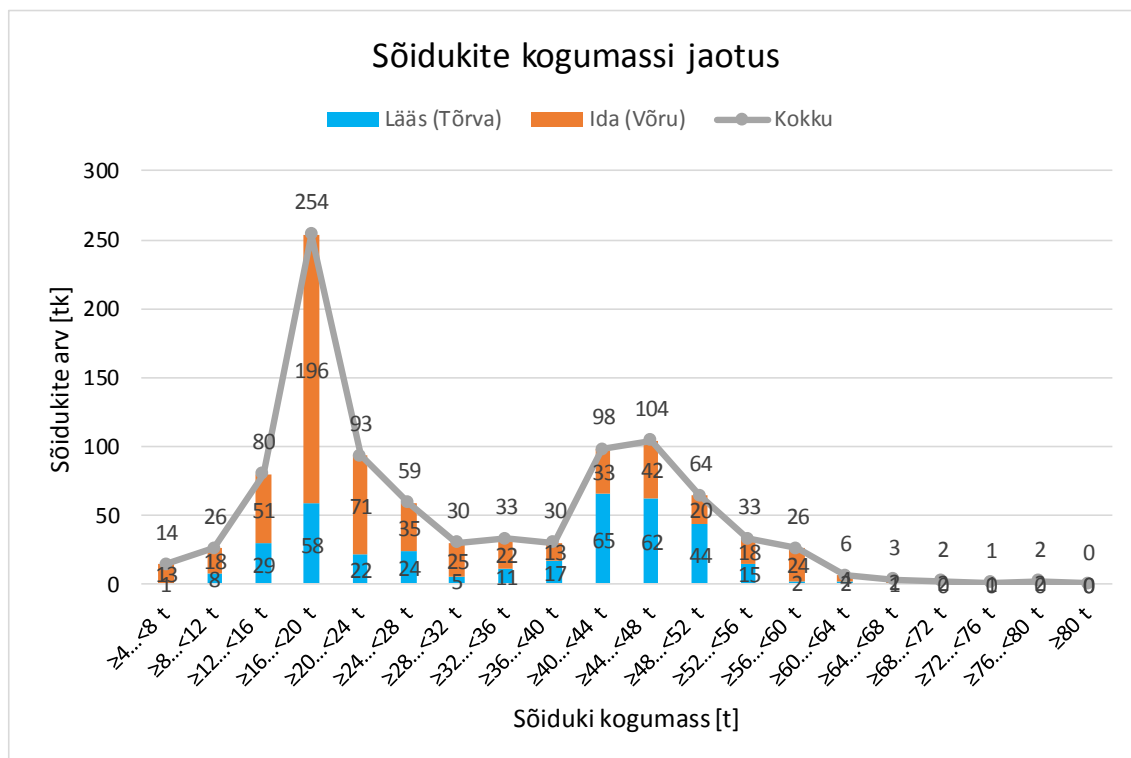


Joonis 92. Telgede arvu jaotus (Piuga jalakäijate tunnel – Tartu suund; 2018 august; 7 päeva)

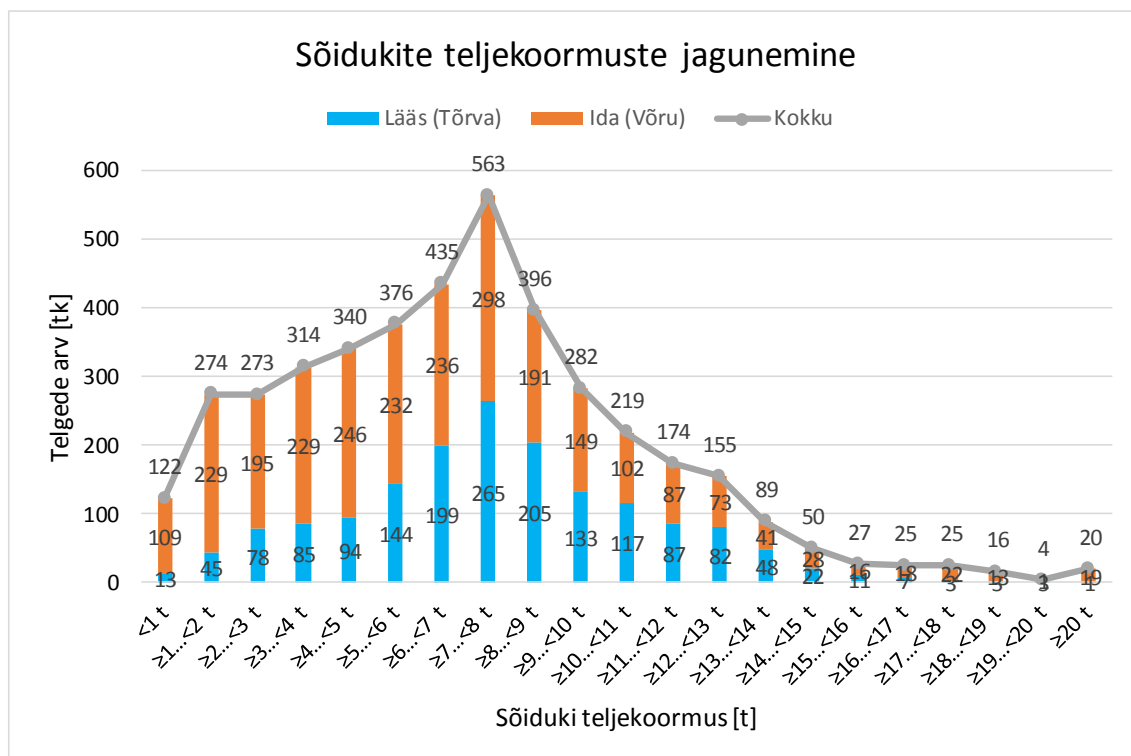


Joonis 93. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Piuga jalakäijate tunnel – Tartu suund; 2018 august; 7 päeva)

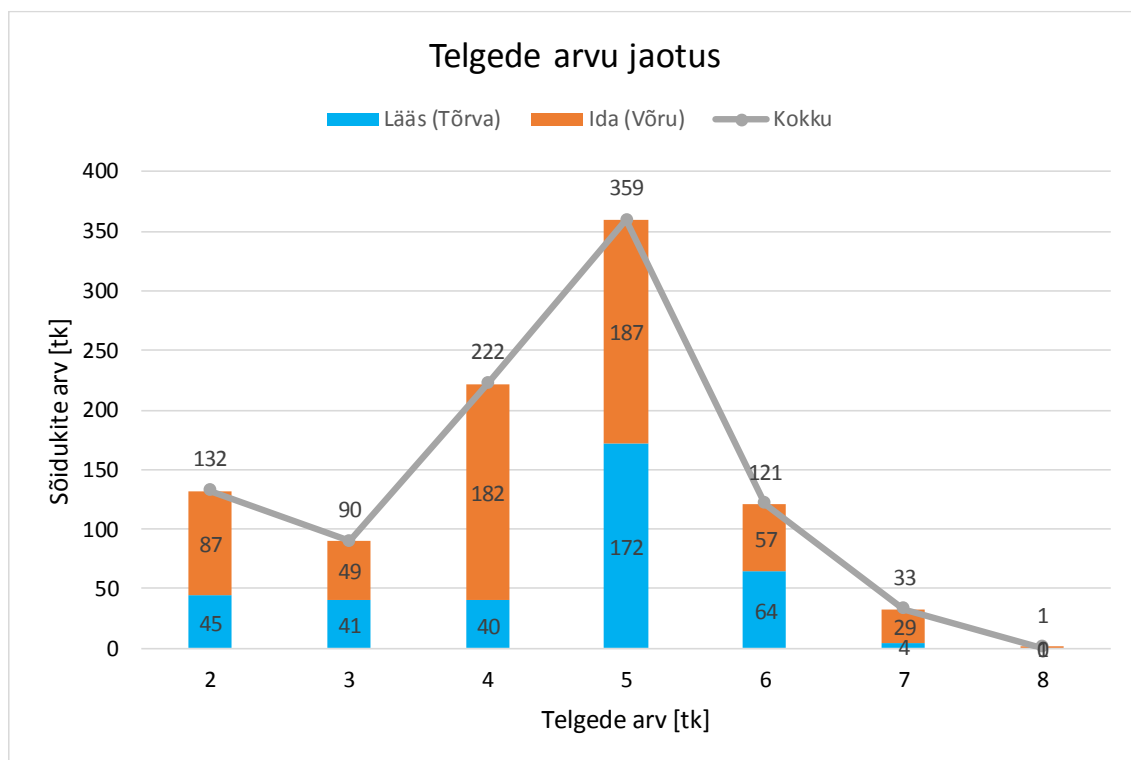
8.2.15. Sangaste sild, 1. etapp



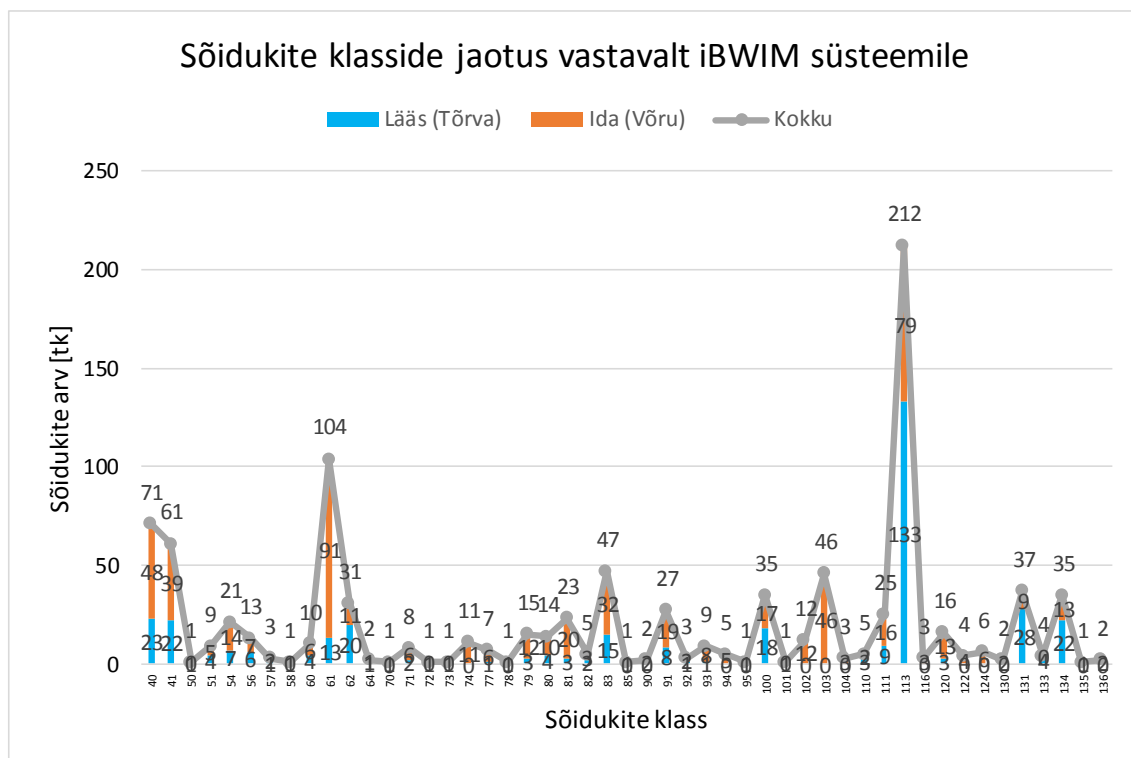
Joonis 94. Sõidukite kogumassi jaotus (Sangaste sild; 2017 november; 7 päeva)



Joonis 95. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Sangaste sild; 2017 november; 7 päeva)

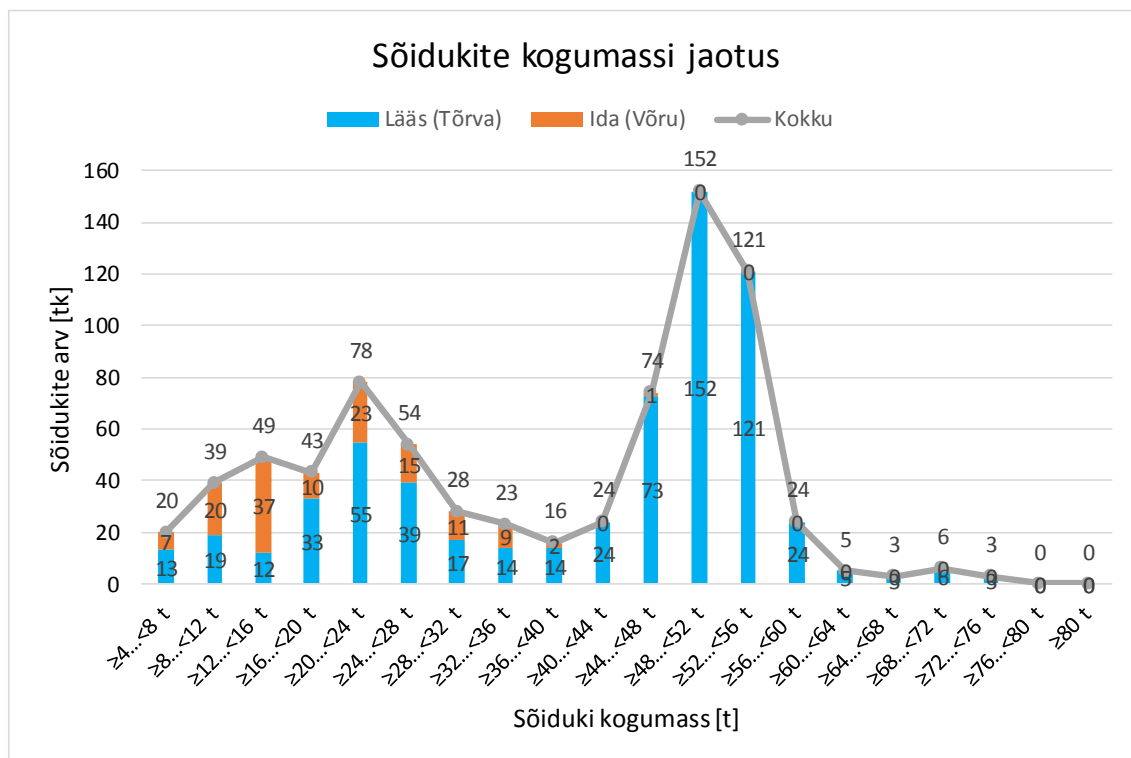


Joonis 96. Telgede arvu jaotus (Sangaste sild; 2017 november; 7 päeva)

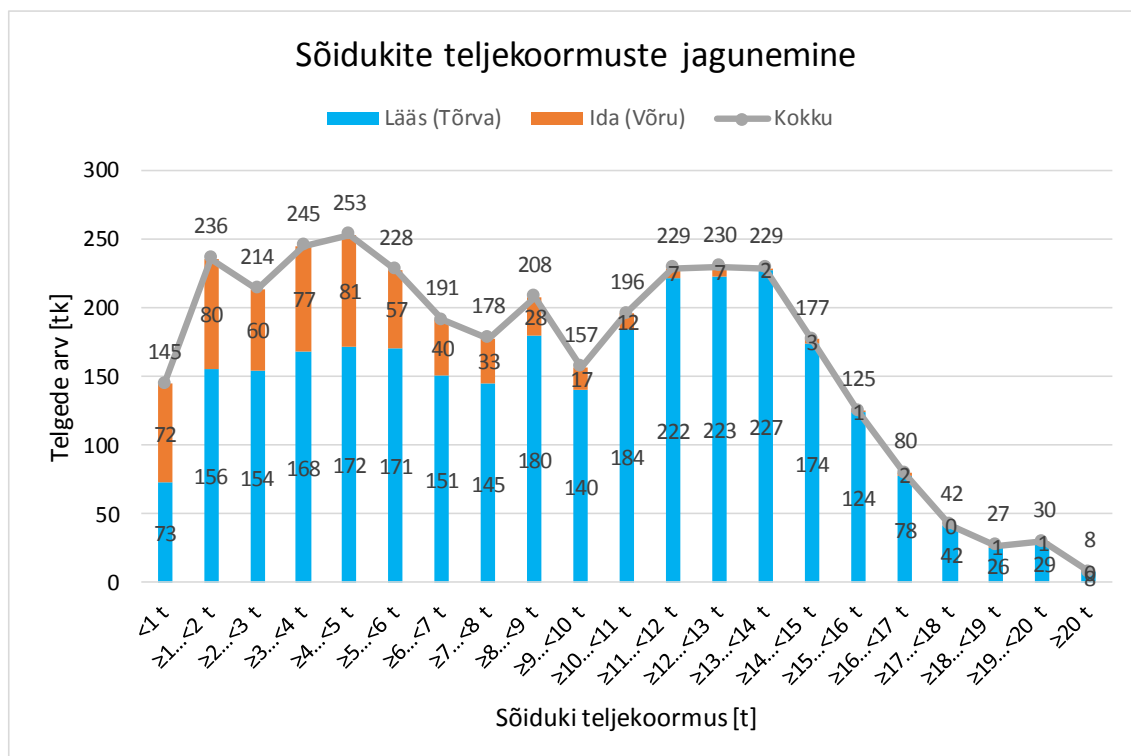


Joonis 97. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Sangaste sild; 2017 november; 7 päeva)

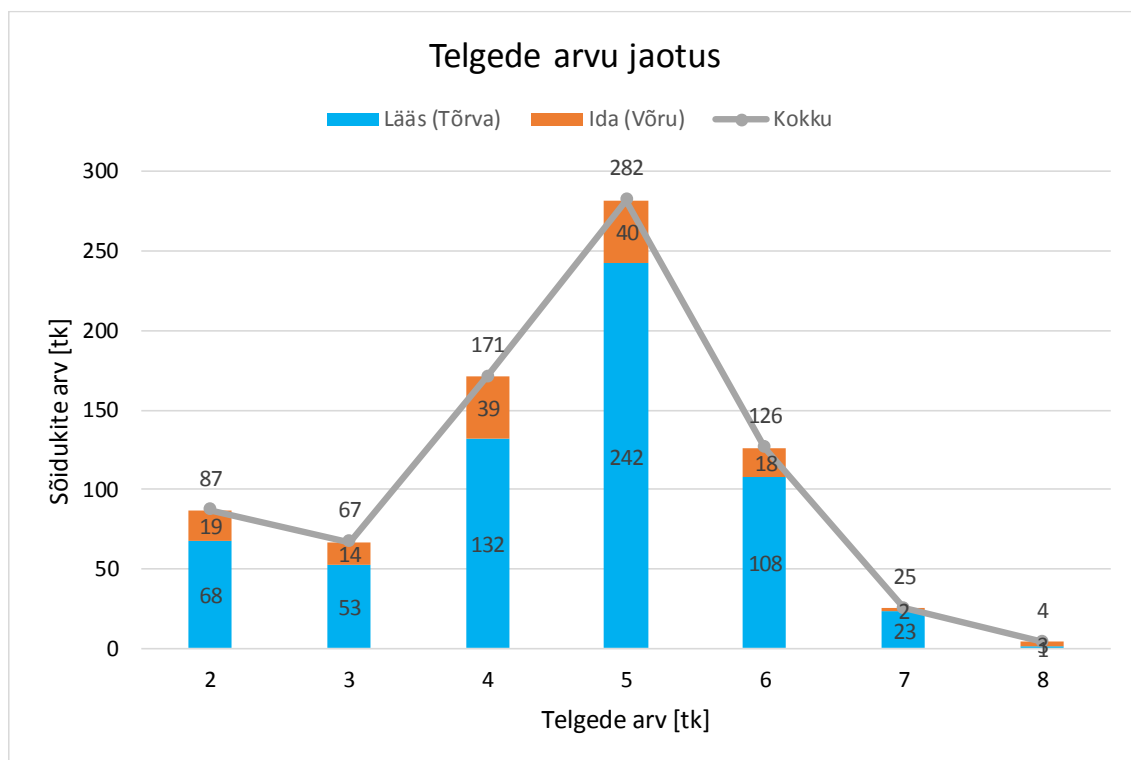
8.2.16. Sangaste sild, 2. etapp



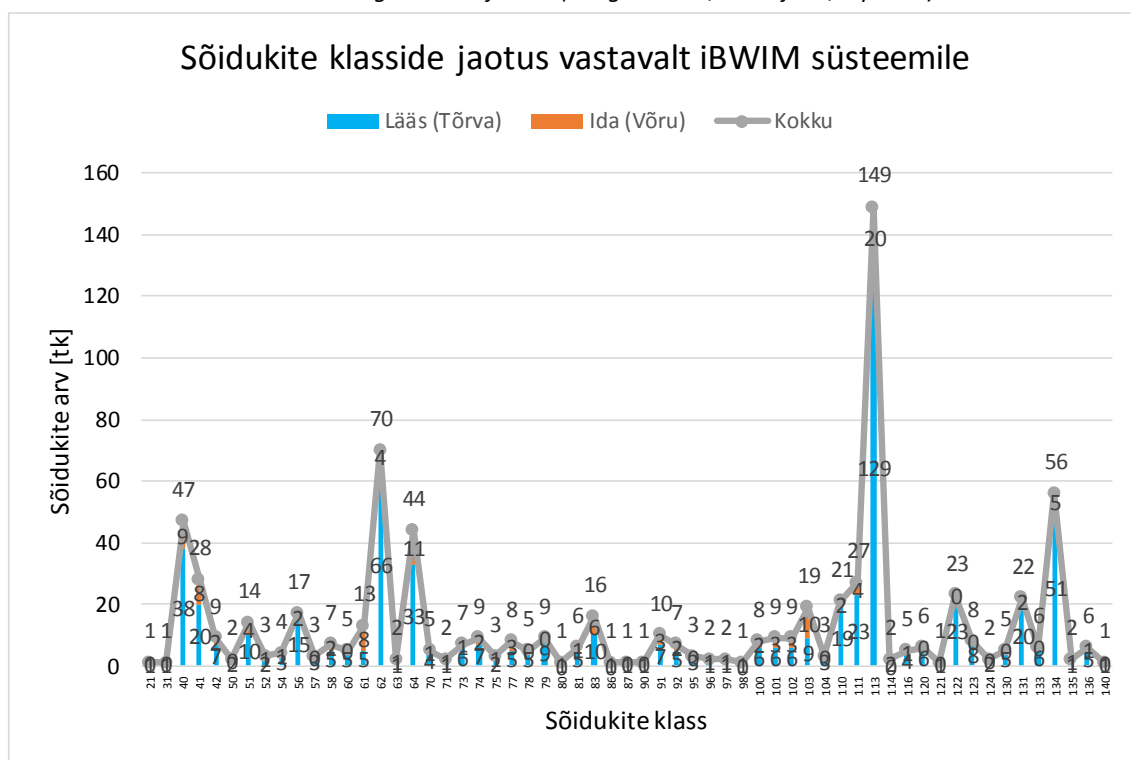
Joonis 98. Sõidukite kogumassi jaotus (Sangaste sild; 2018 juuli; 7 päeva)



Joonis 99. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Sangaste sild; 2018 juuli; 7 päeva)

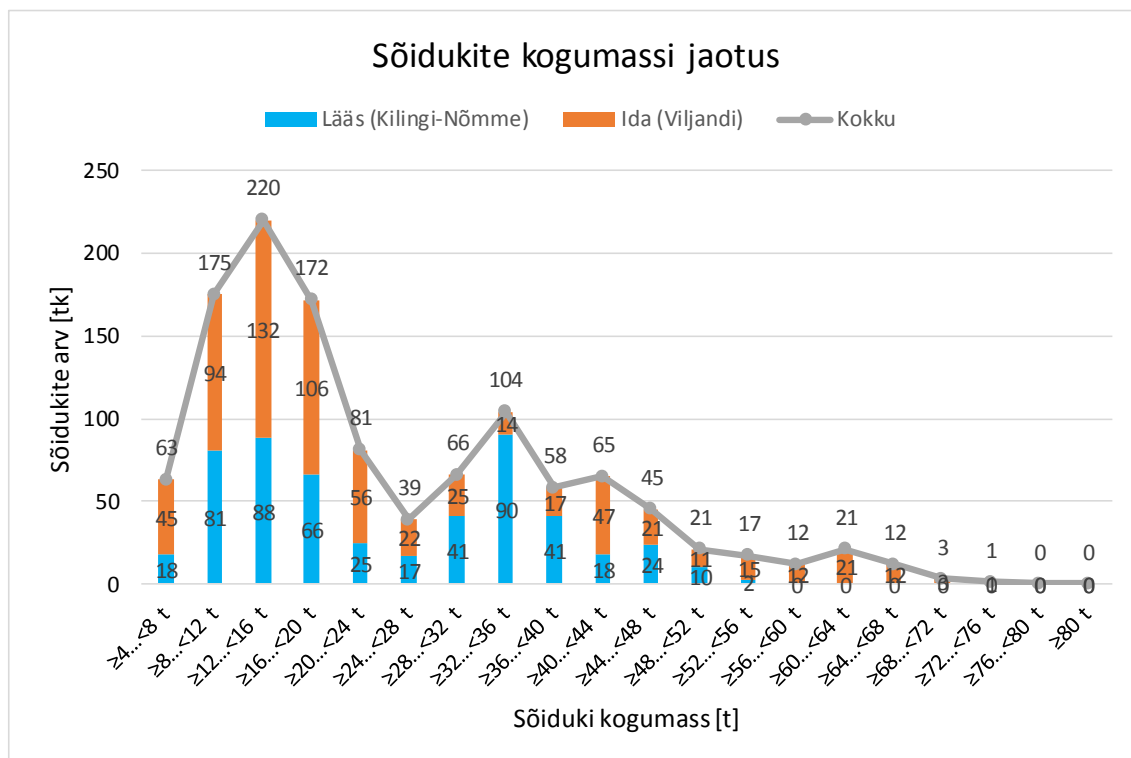


Joonis 100. Telgede arvu jaotus (Sangaste sild; 2018 juuli; 7 päeva)

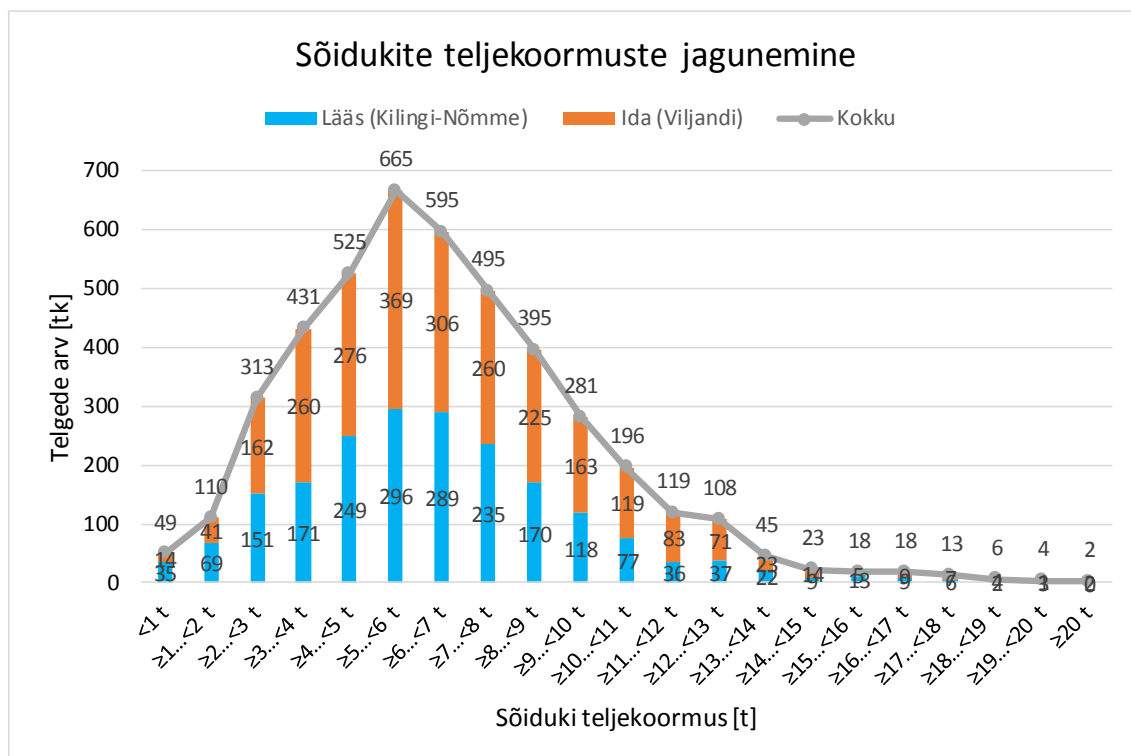


Joonis 101. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Sangaste sild; 2018 juuli; 7 päeva)

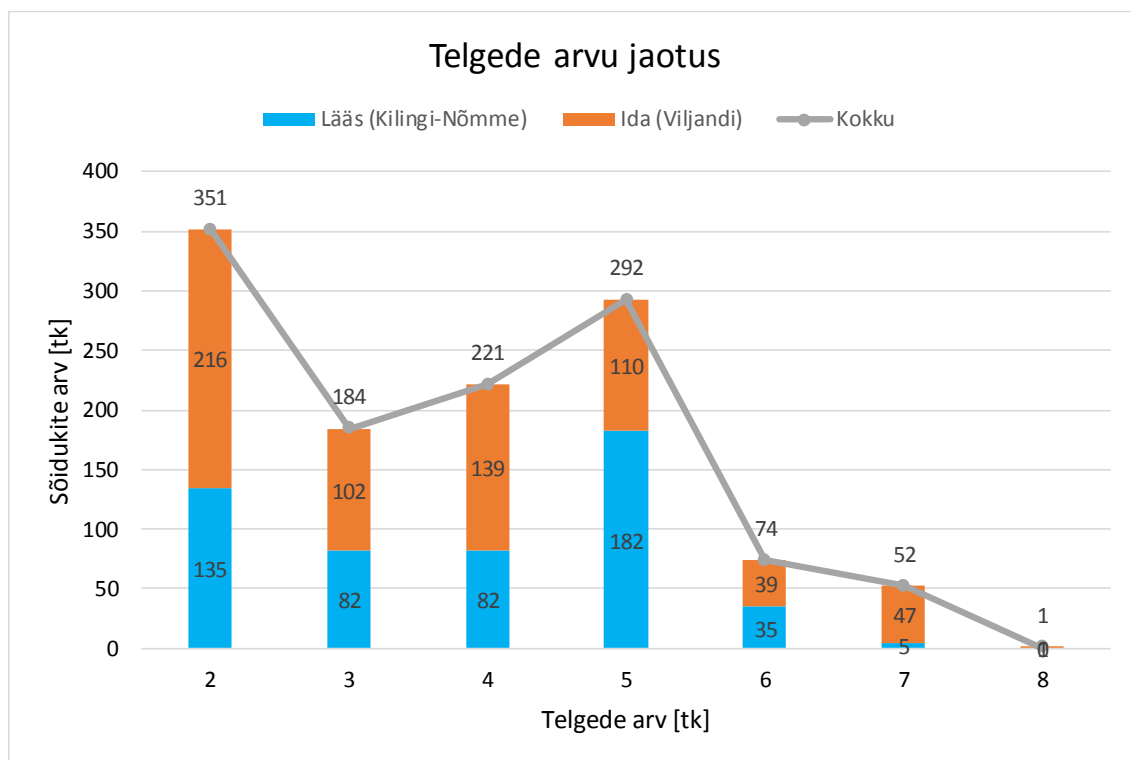
8.2.17. Pinska viadukt, 1. etapp



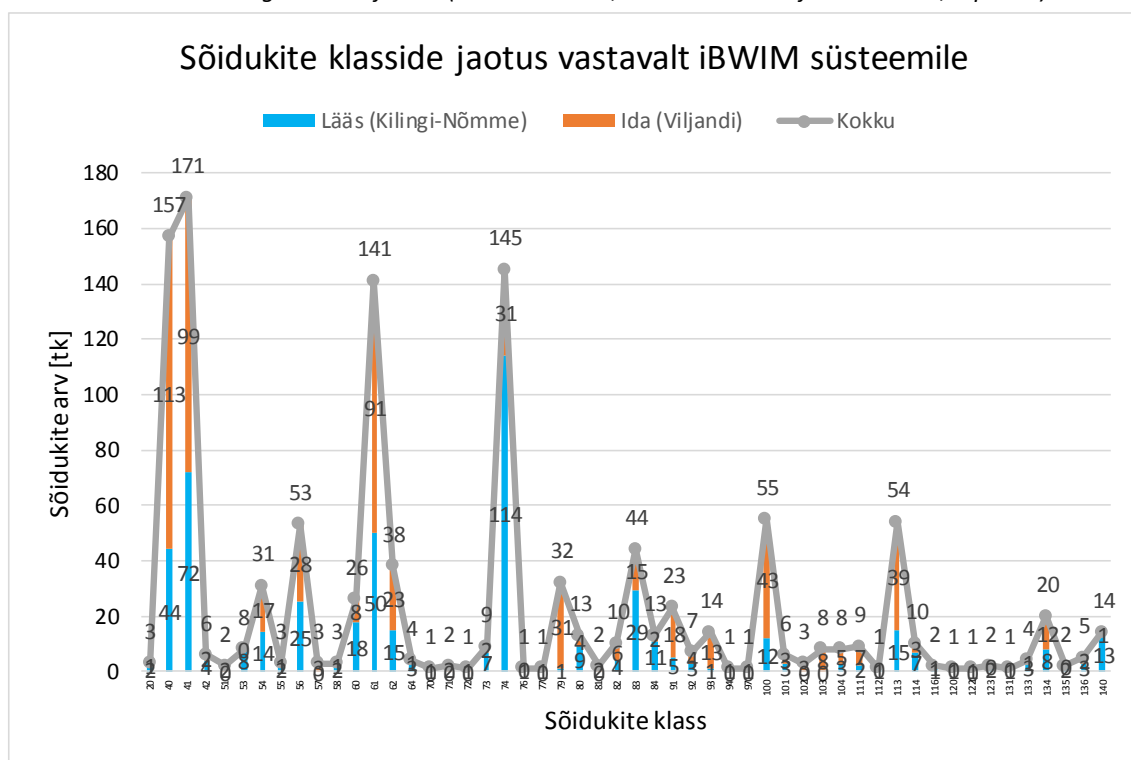
Joonis 102. Sõidukite kogumassi jaotus (Pinska viadukt; 2017 november ja detsember; 7 päeva)



Joonis 103. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Pinska viadukt; 2017 november ja detsember; 7 päeva)

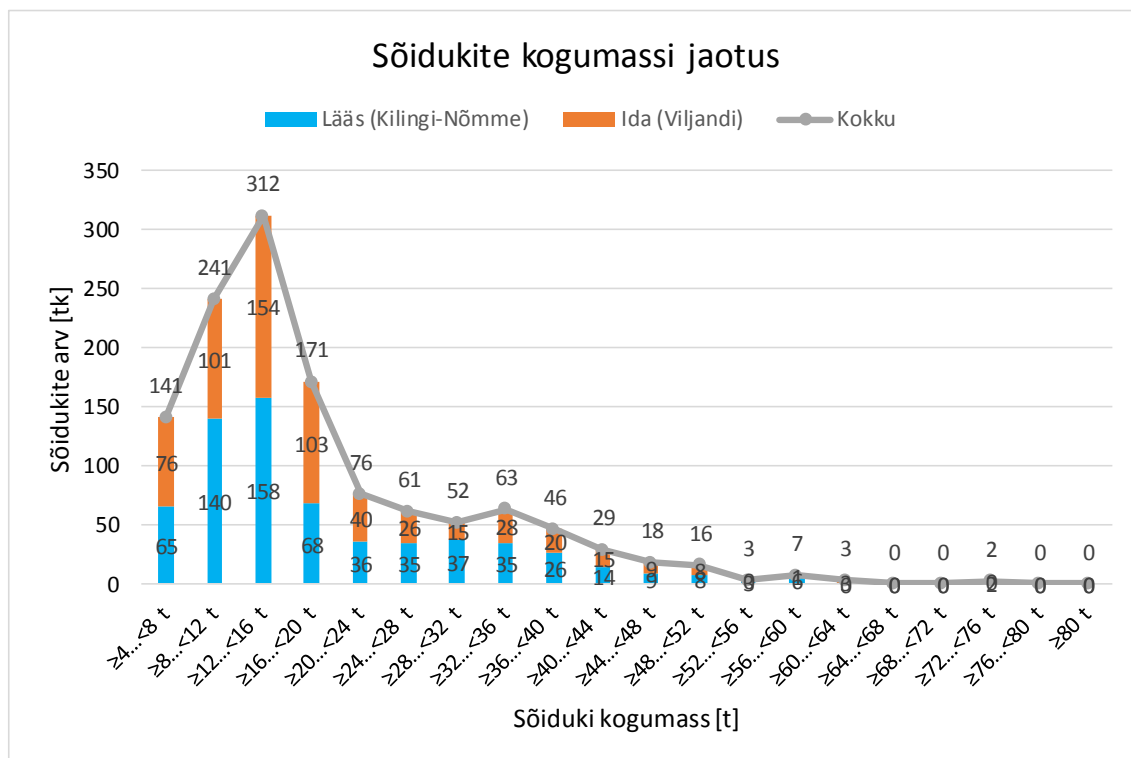


Joonis 104. Telgede arvu jaotus (Pinska viadukt; 2017 november ja detsember; 7 päeva)

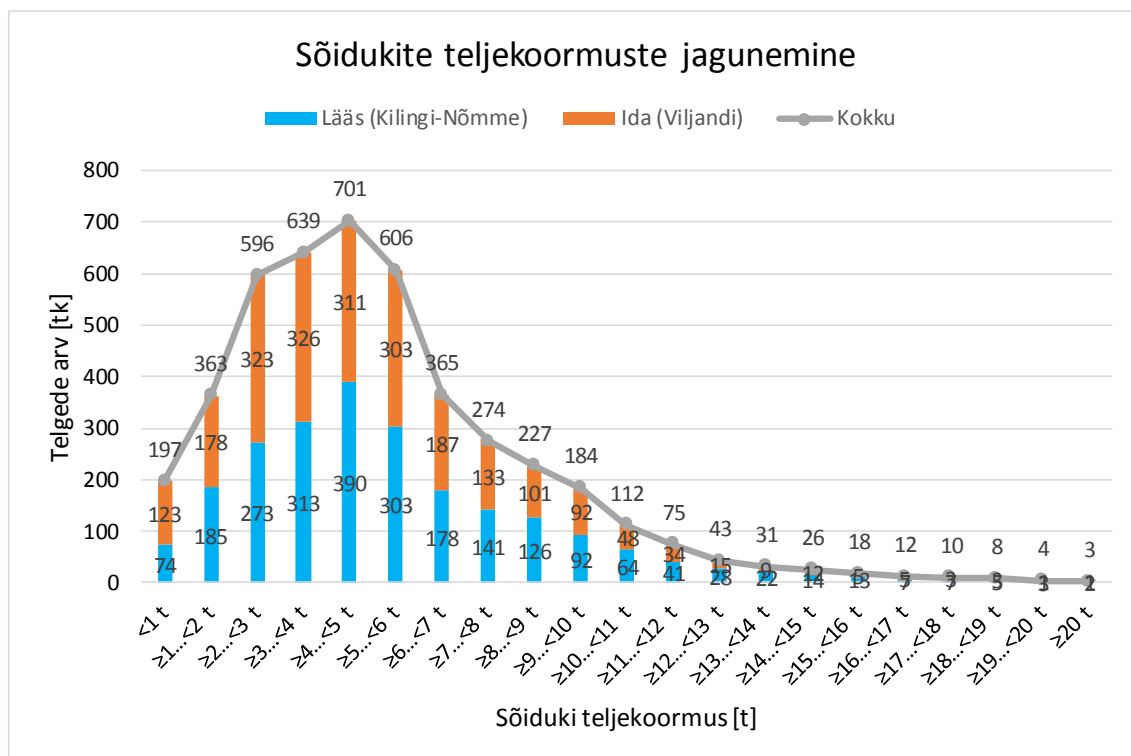


Joonis 105. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Pinska viadukt; 2017 november ja detsember; 7 päeva)

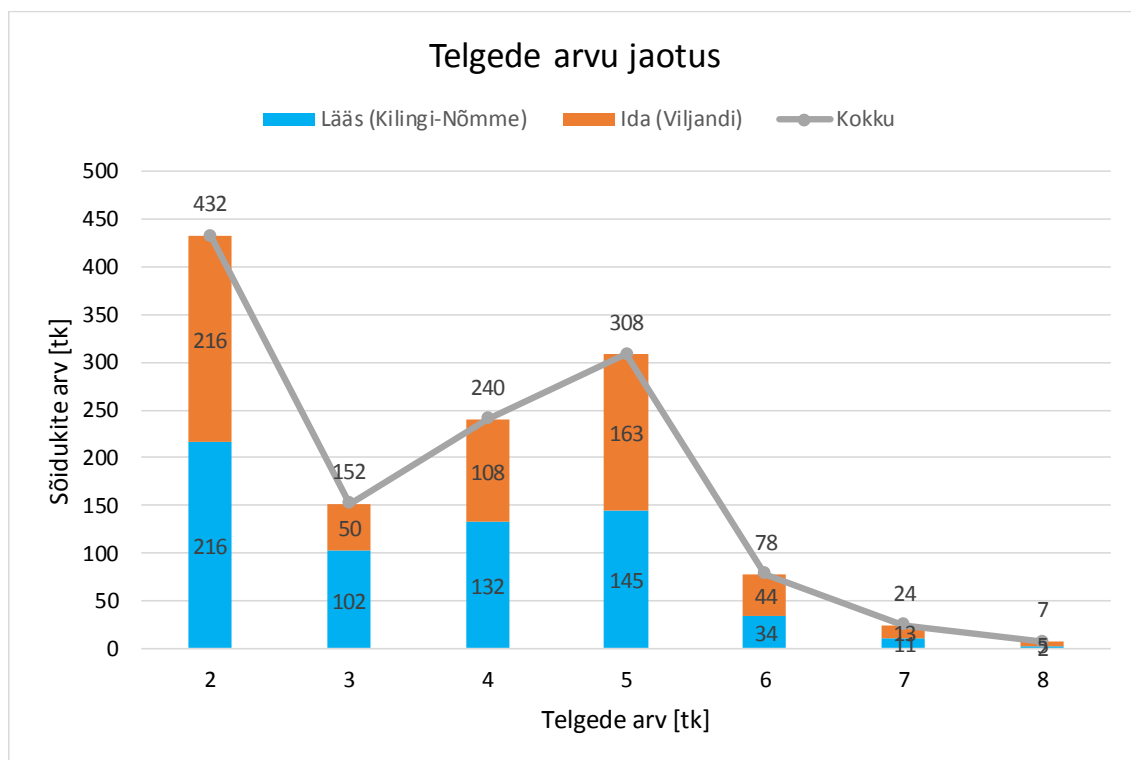
8.2.18. Pinska viadukt, 2. etapp



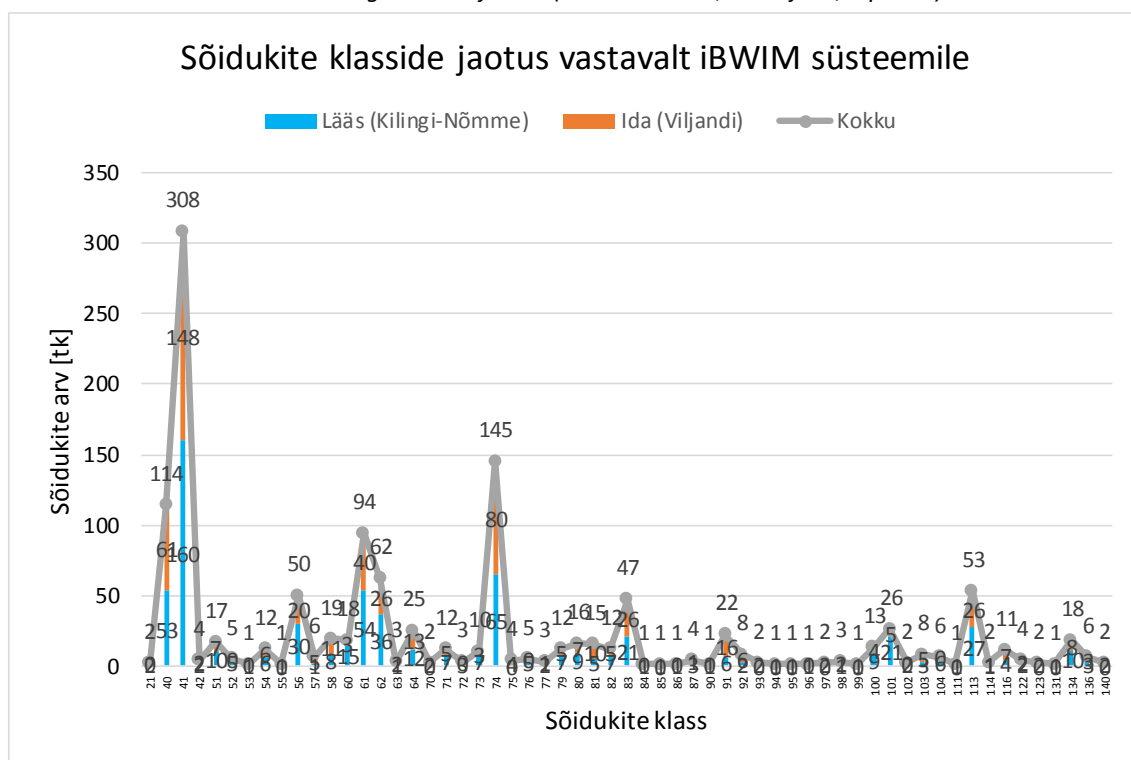
Joonis 106. Sõidukite kogumassi jaotus (Pinska viadukt; 2018 juuli; 7 päeva)



Joonis 107. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Pinska viadukt; 2018 juuli; 7 päeva)

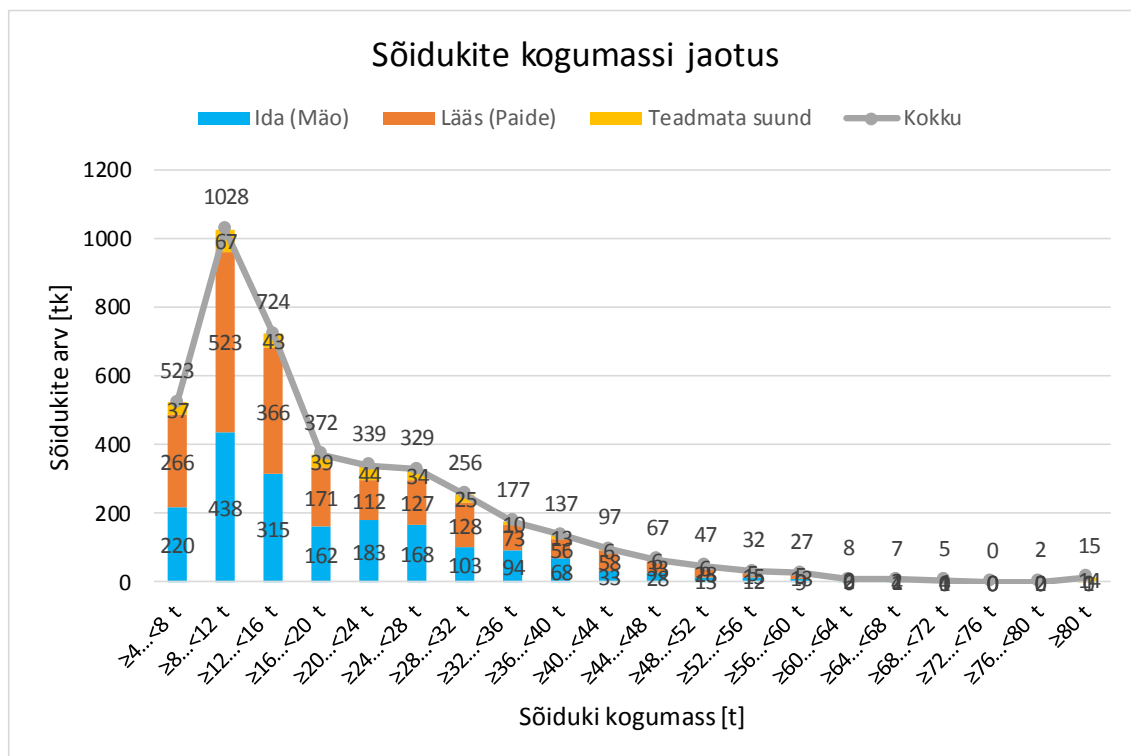


Joonis 108. Telgede arvu jaotus (Pinska viadukt; 2018 juuli; 7 päeva)

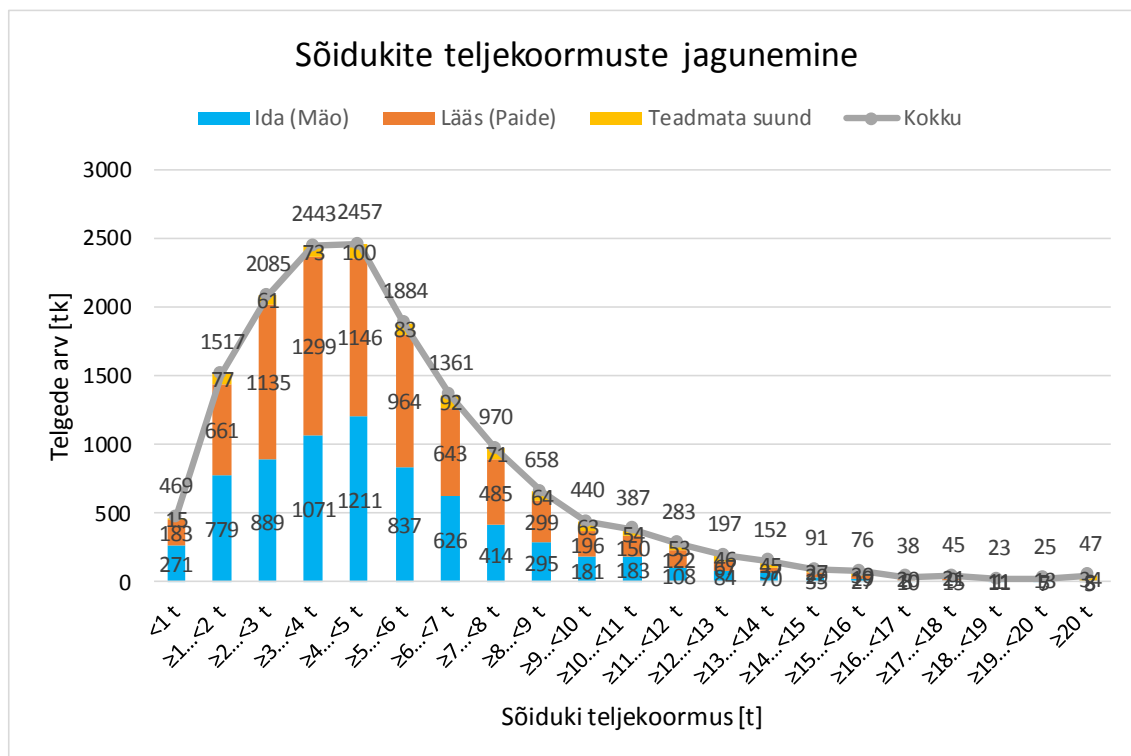


Joonis 109. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Pinska viadukt; 2018 juuli; 7 päeva)

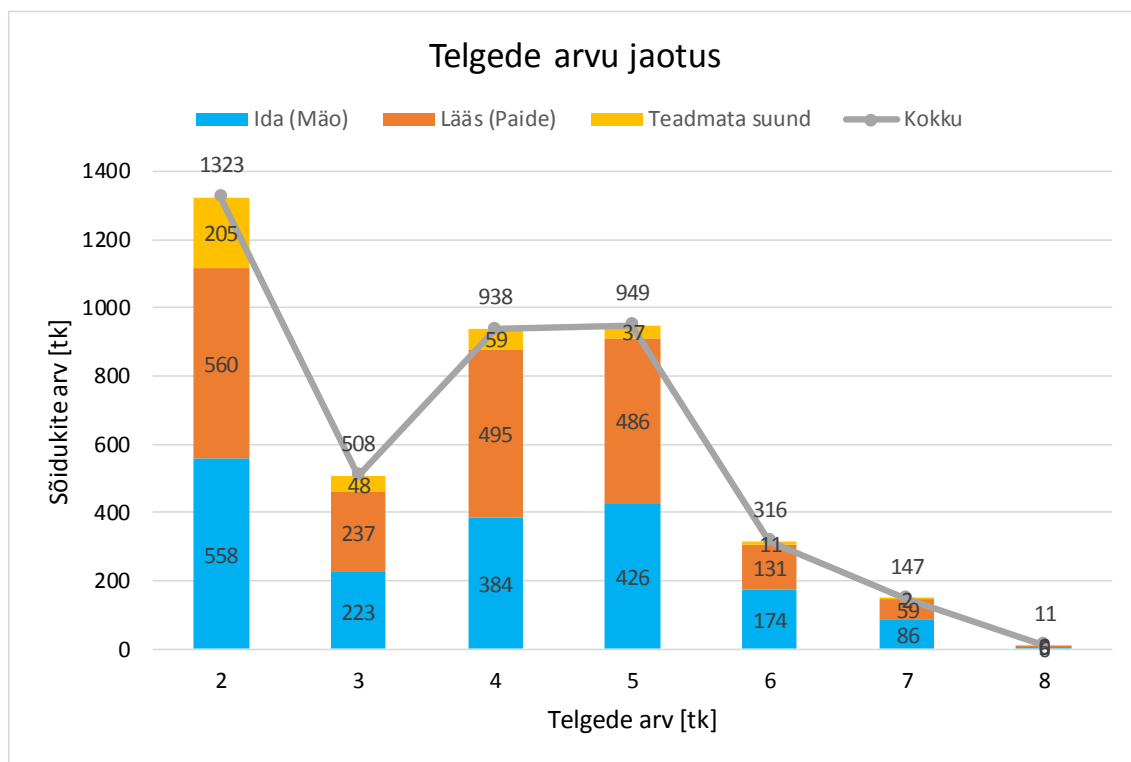
8.2.19. Sillaotsa sild, 1. etapp



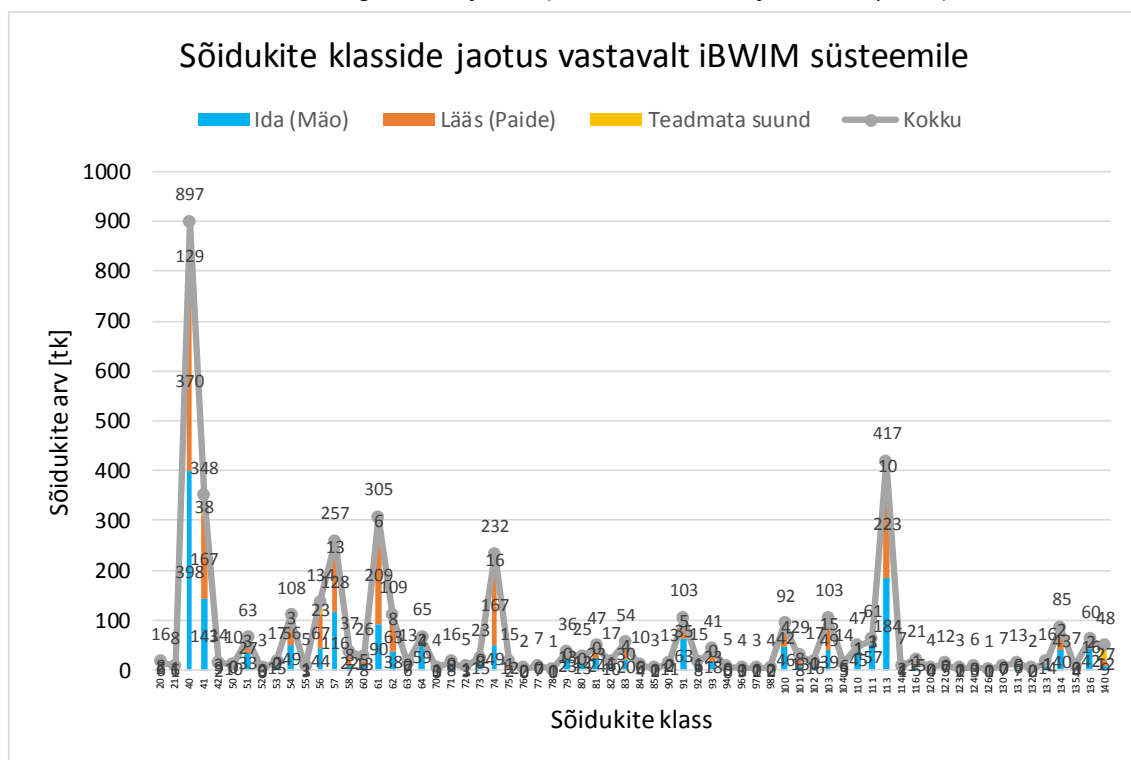
Joonis 110. Sõidukite kogumassi jaotus (Sillaotsa sild; 2018 jaanuar; 7 päeva)



Joonis 111. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Sillaotsa sild; 2018 jaanuar; 7 päeva)

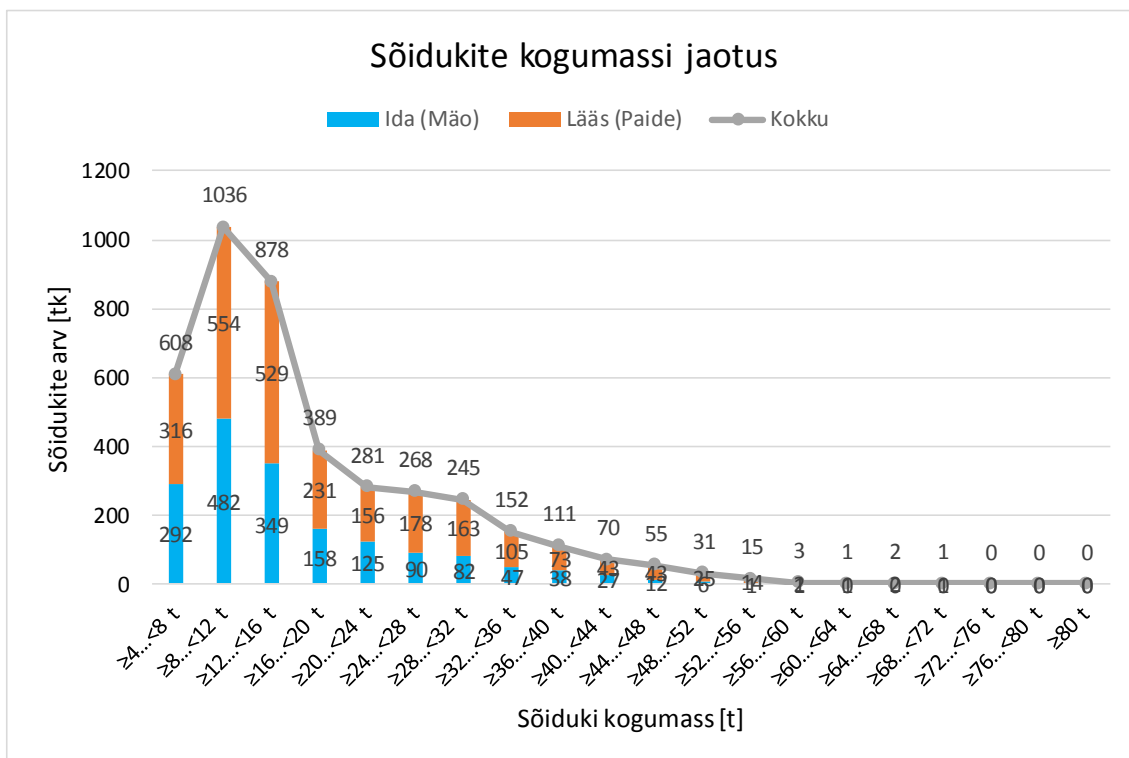


Joonis 112. Telgede arvu jaotus (Sillaotsa sild; 2018 jaanuar; 7 päeva)

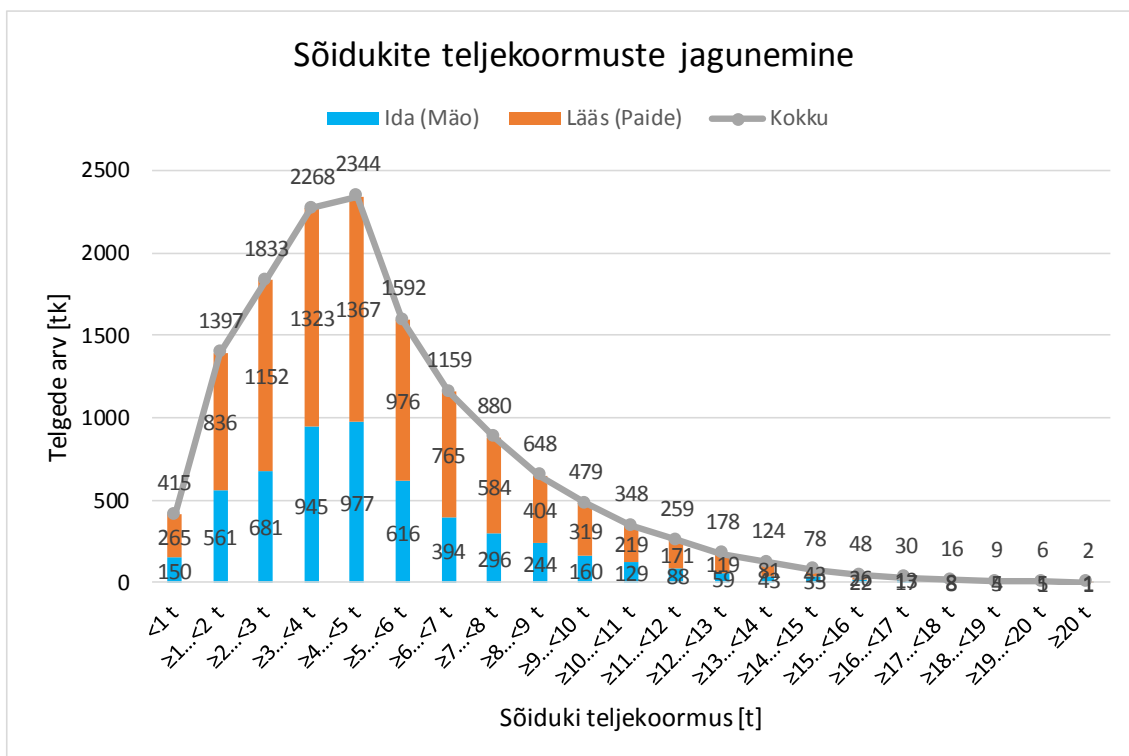


Joonis 113. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Sillaotsa sild; 2018 jaanuar; 7 päeva)

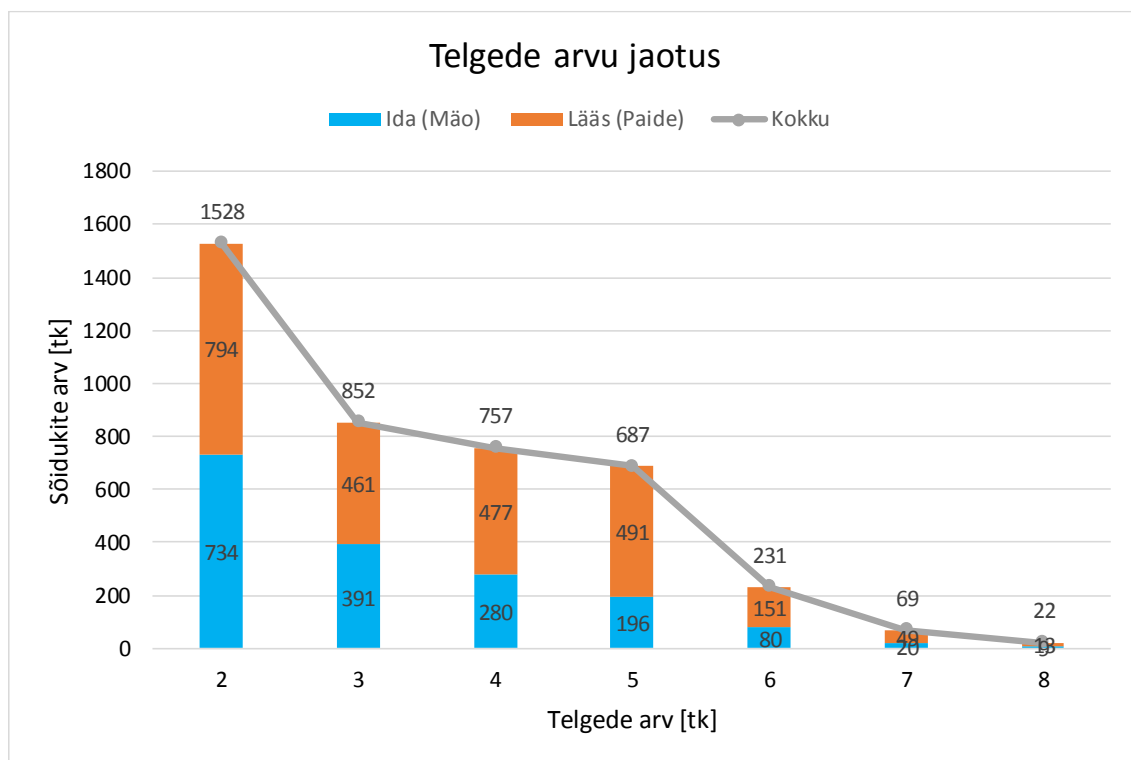
8.2.20. Sillaotsa sild, 2. etapp



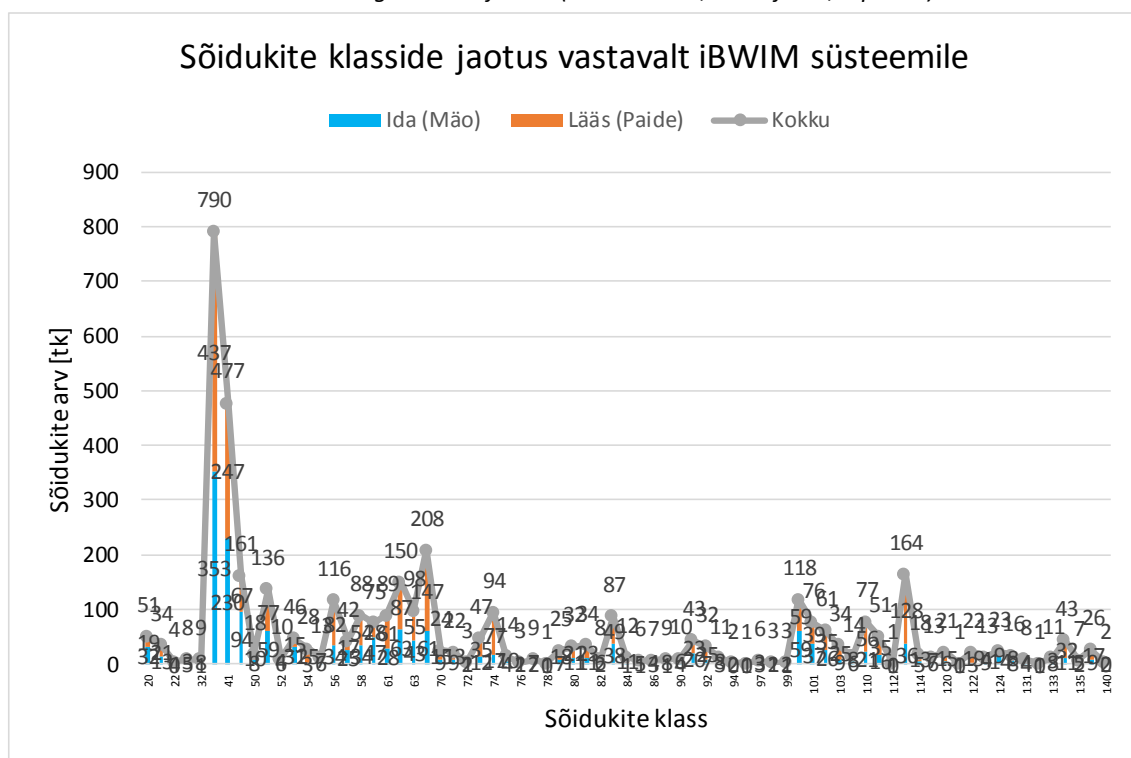
Joonis 114. Sõidukite kogumassi jaotus (Sillaotsa sild; 2018 juuni; 7 päeva)



Joonis 115. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Sillaotsa sild; 2018 juuni; 7 päeva)

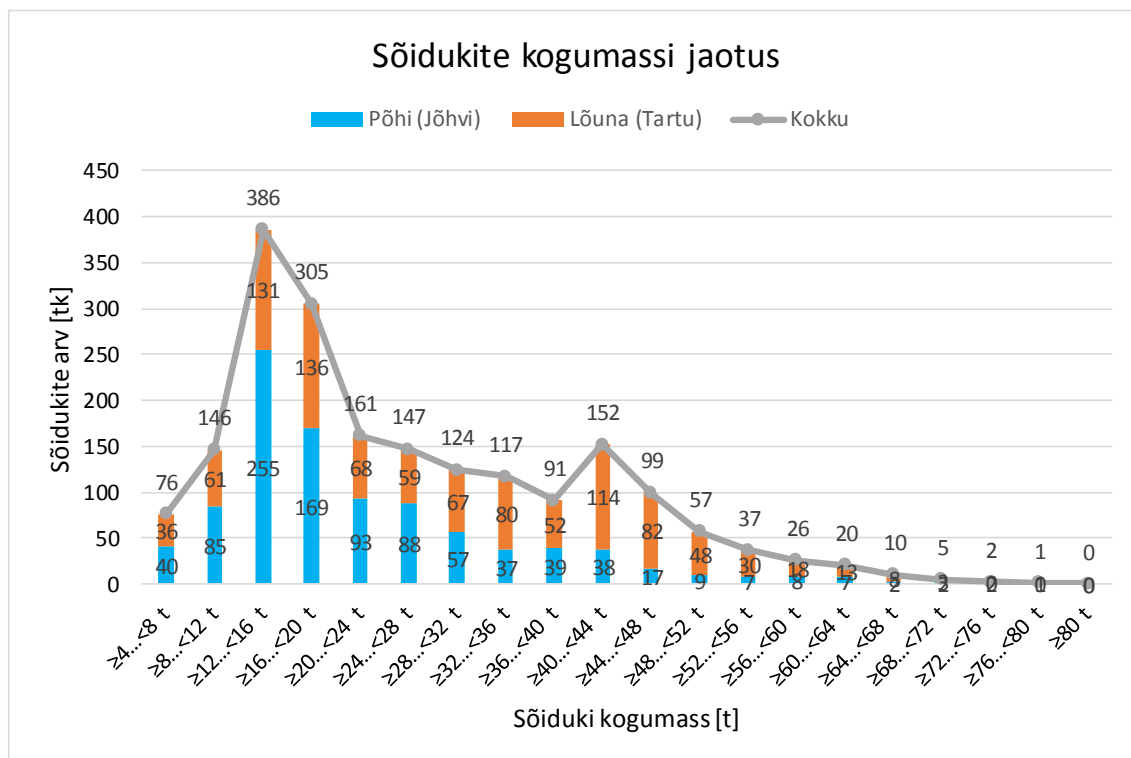


Joonis 116. Telgede arvu jaotus (Sillaotsa sild; 2018 juuni; 7 päeva)

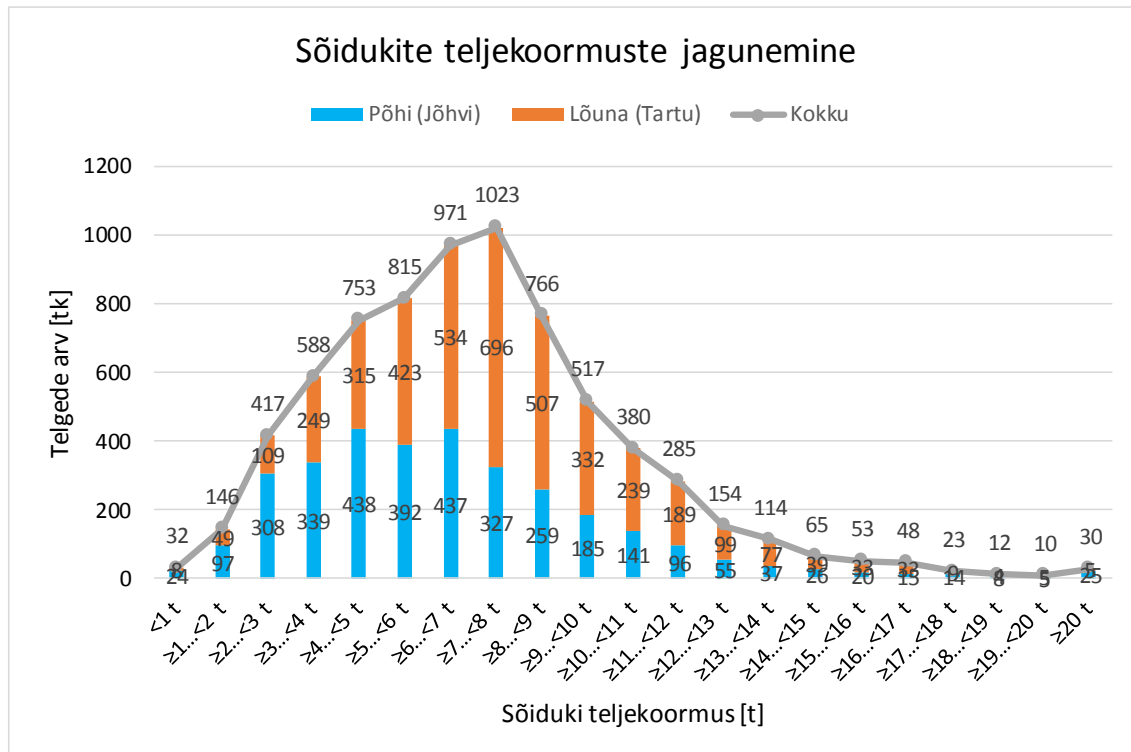


Joonis 117. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Sillaotsa sild; 2018 juuni; 7 päeva)

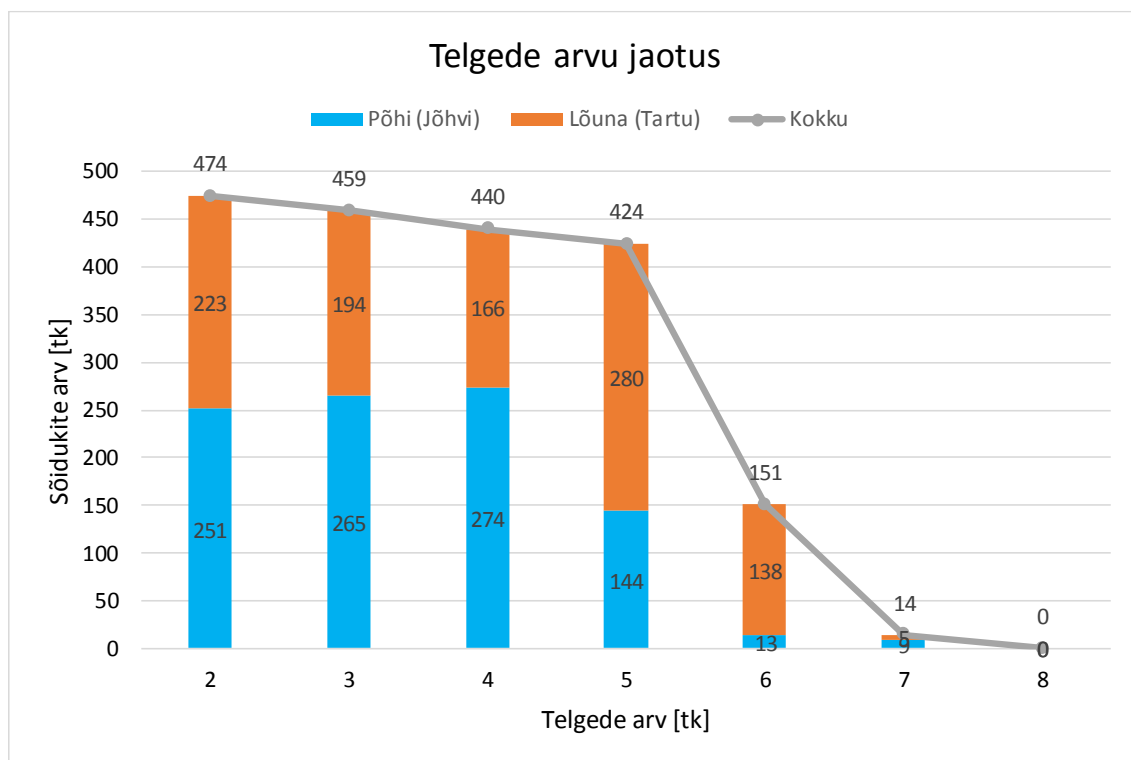
8.2.21. Kõrveküla kergliiklustee tunnel, 1. etapp



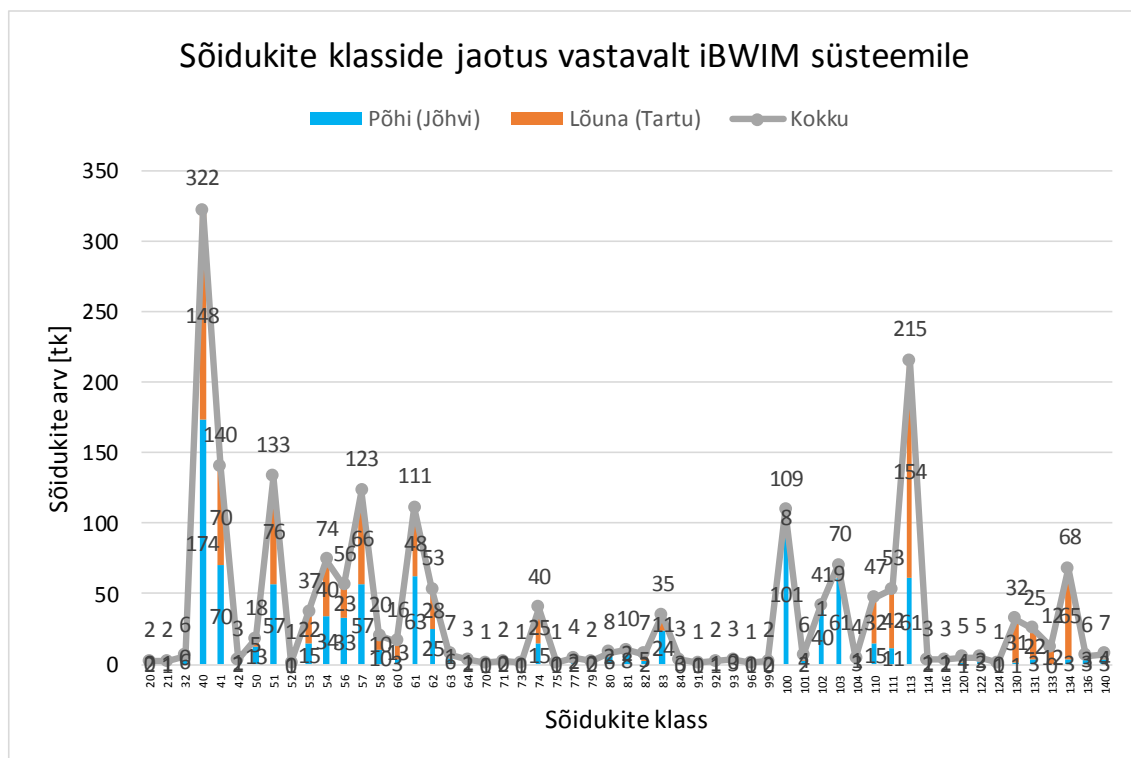
Joonis 118. Sõidukite kogumassi jaotus (Kõrveküla kergliiklustee tunnel 2018 jaanuar ja veebruar; 7 päeva)



Joonis 119. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Kõrveküla kergliiklustee tunnel 2018 jaanuar ja veebruar; 7 päeva)

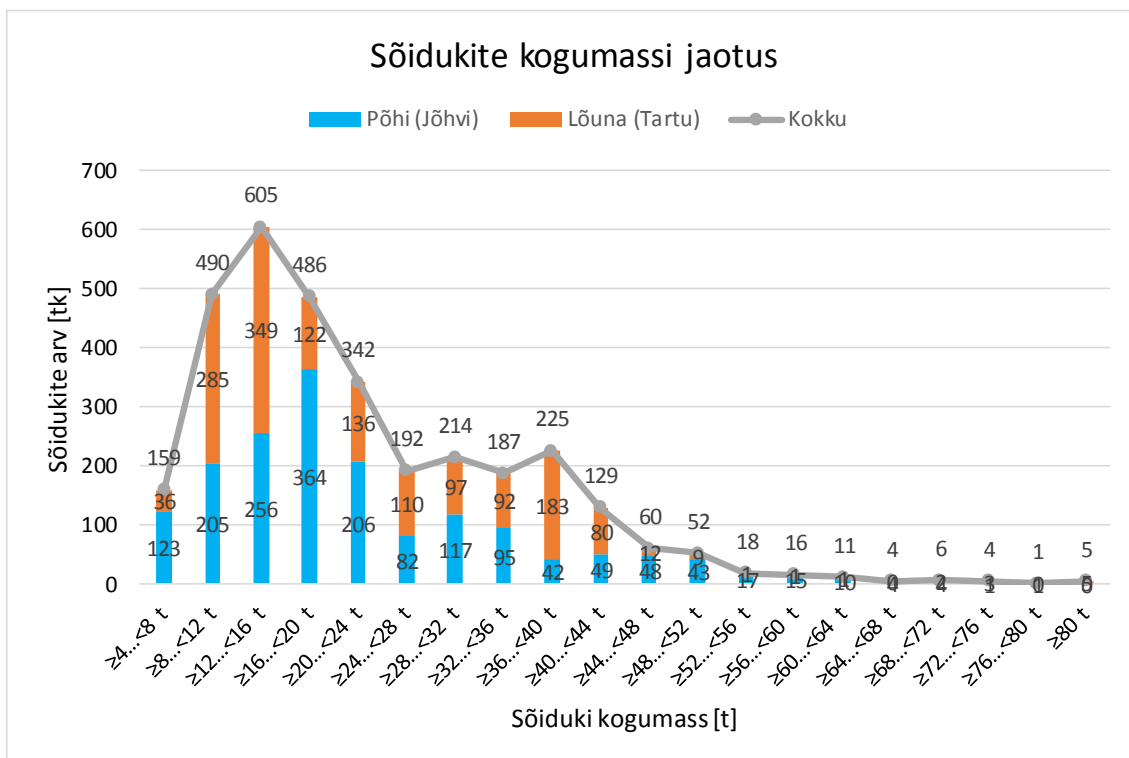


Joonis 120. Telgede arvu jaotus (Kõrveküla kergliiklustee tunnel 2018 jaanuar ja veebruar; 7 päeva)

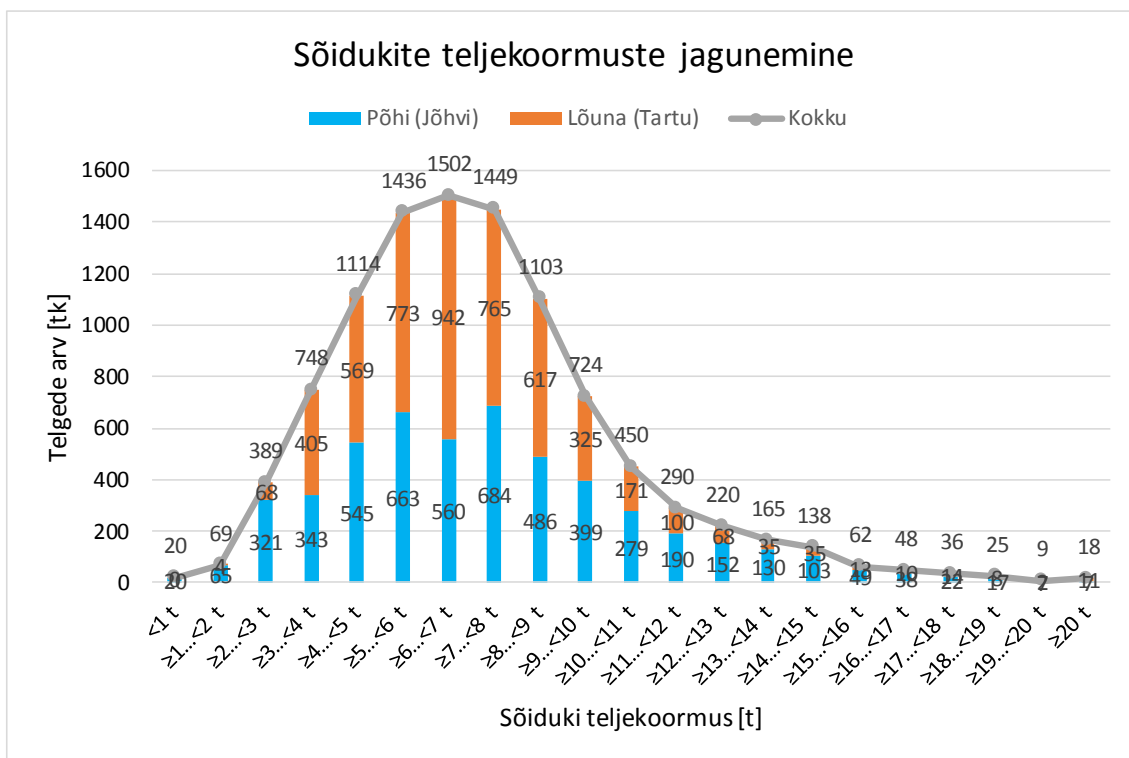


Joonis 121. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Kõrveküla kergliiklustee tunnel 2018 jaanuar ja veebruar; 7 päeva)

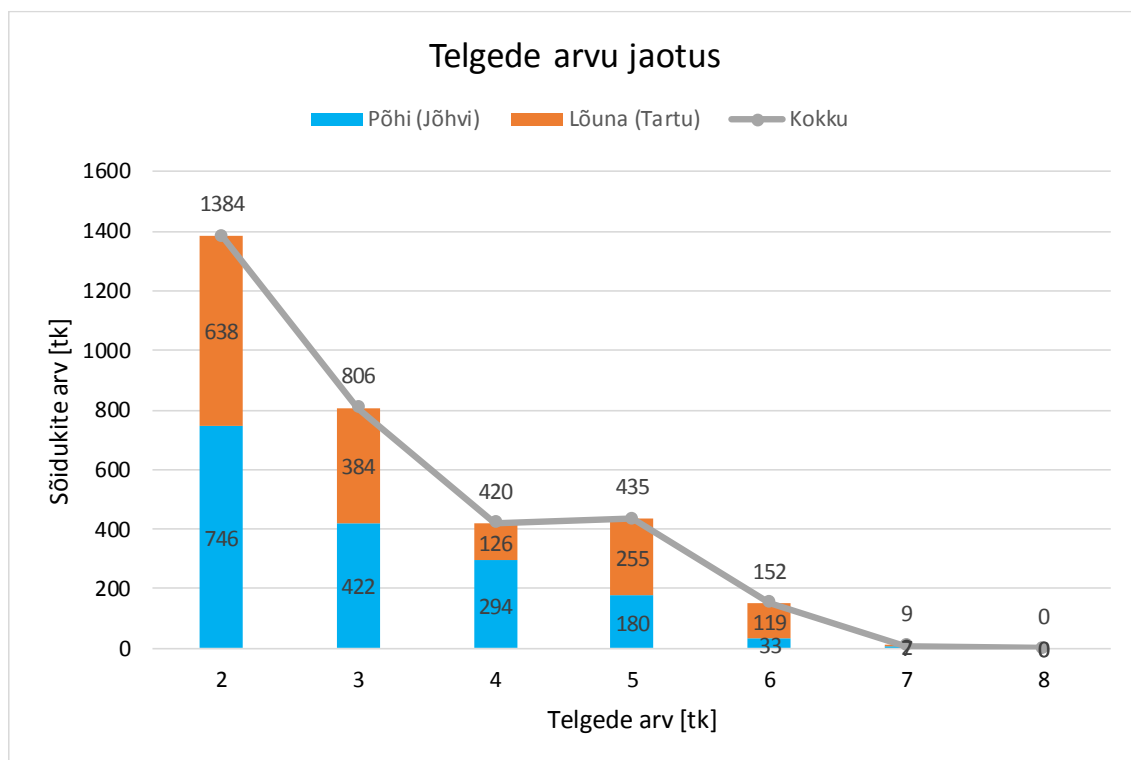
8.2.22. Kõrveküla kergliiklustee tunnel, 2. etapp



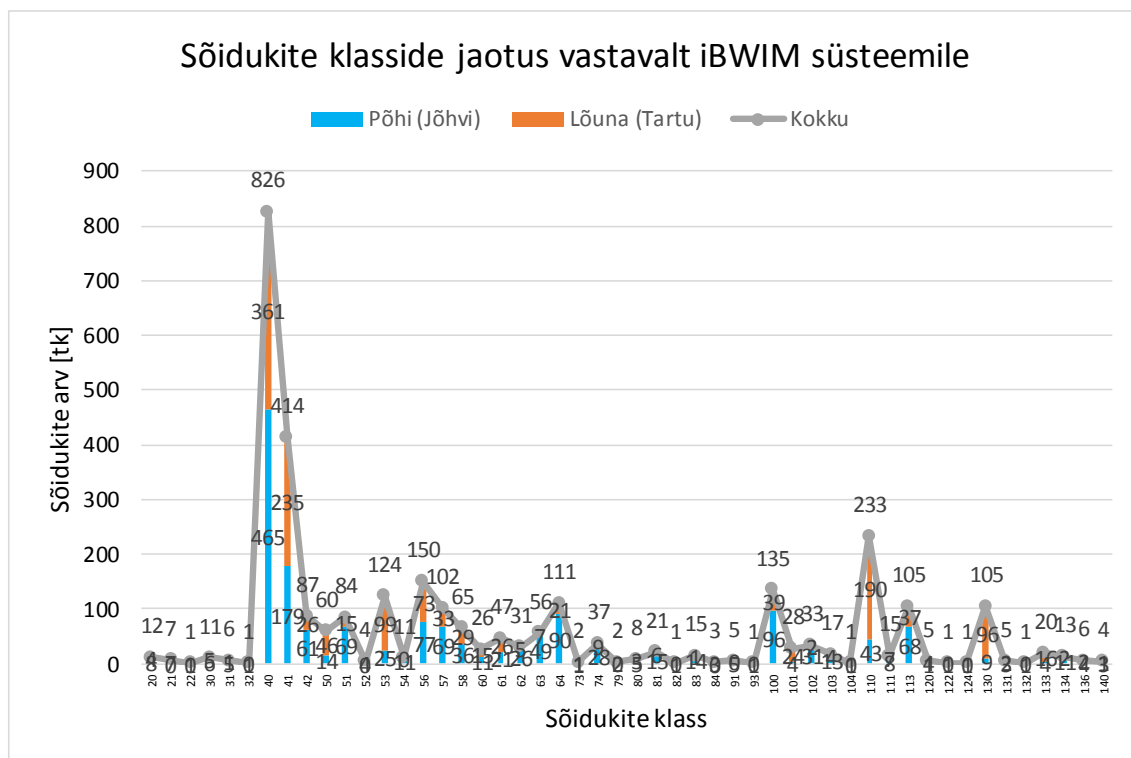
Joonis 122. Sõidukite kogumassi jaotus (Kõrveküla kergliiklustee tunnel 2018 juuli; 7 päeva)



Joonis 123. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Kõrveküla kergliiklustee tunnel 2018 juuli; 7 päeva)

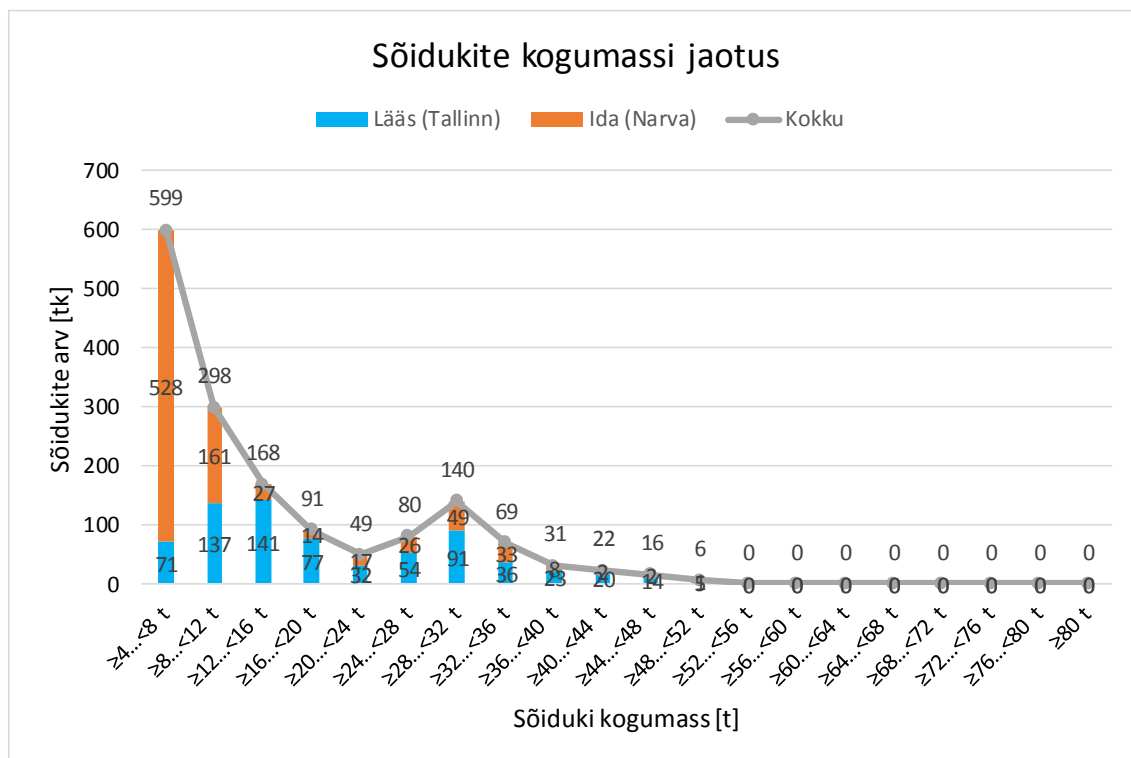


Joonis 124. Telgede arvu jaotus (Kõrveküla kergliiklustee tunnel 2018 juuli; 7 päeva)

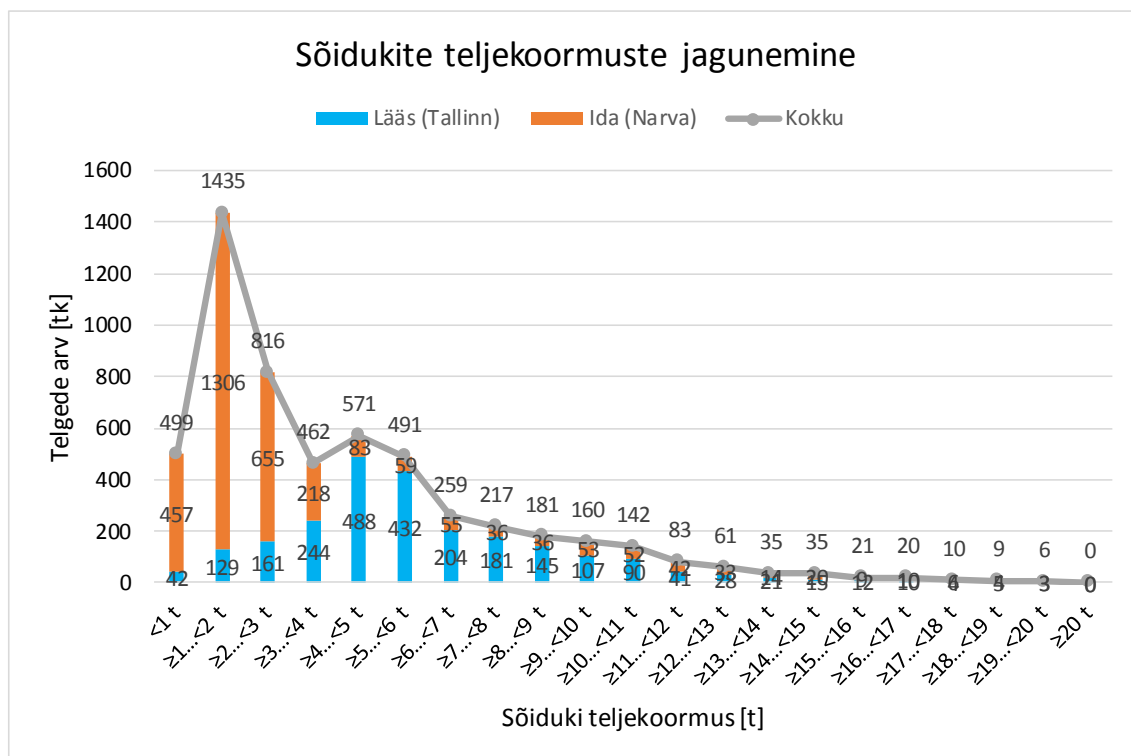


Joonis 125. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Kõrveküla kergliiklustee tunnel 2018 juuli; 7 päeva)

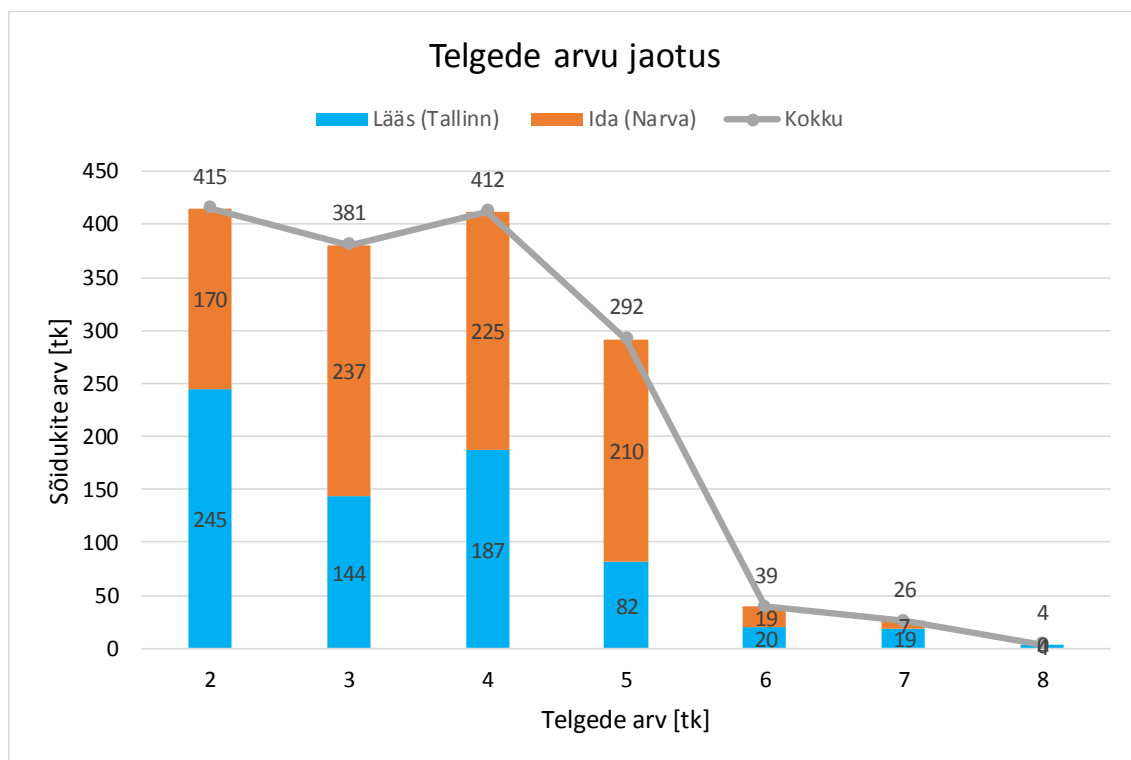
8.2.23. Aseri viadukt, 1. etapp



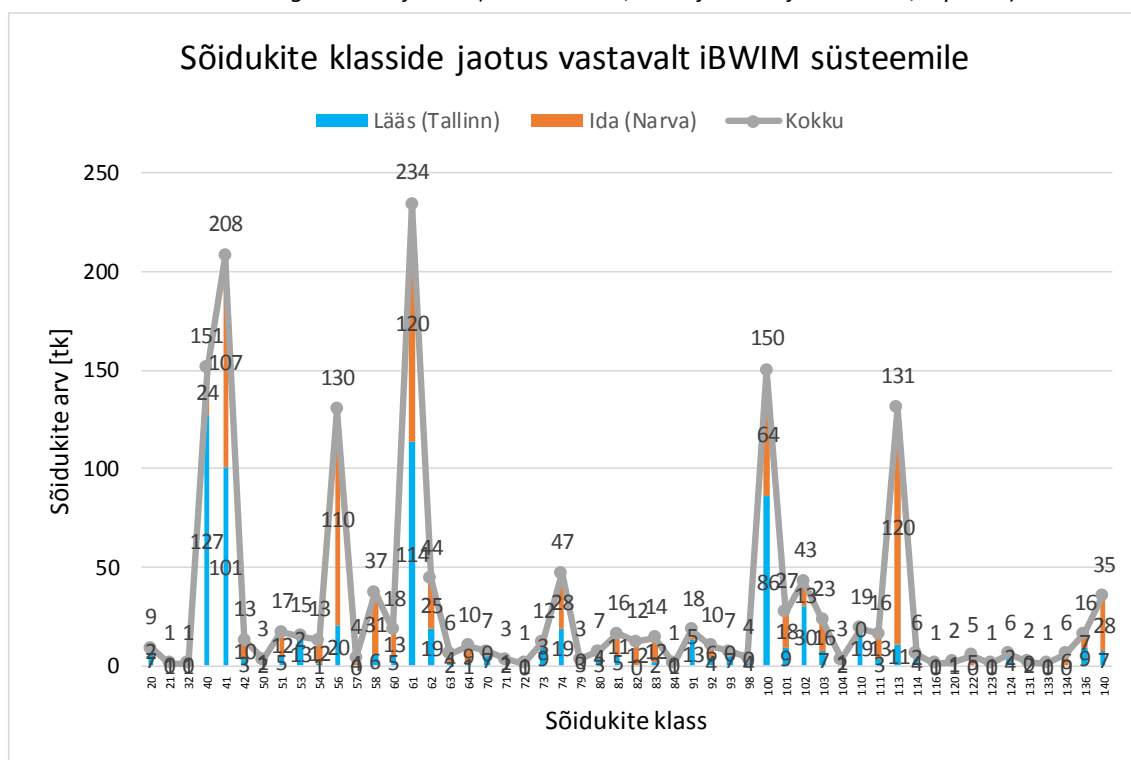
Joonis 126. Sõidukite kogumassi jaotus (Aseri viadukt; 2018 jaanuar ja veebruar; 7 päeva)



Joonis 127. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Aseri viadukt; 2018 jaanuar ja veebruar; 7 päeva)

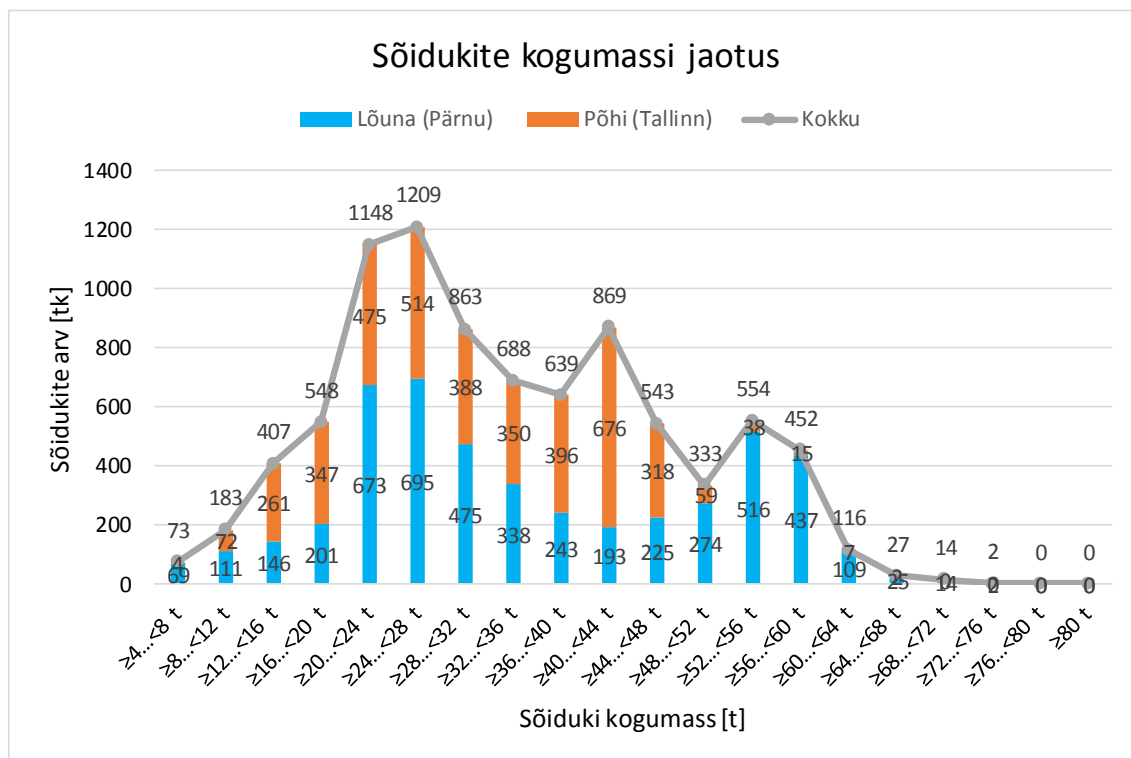


Joonis 128. Telgede arvu jaotus (Aseri viadukt; 2018 jaanuar ja veebruar; 7 päeva)

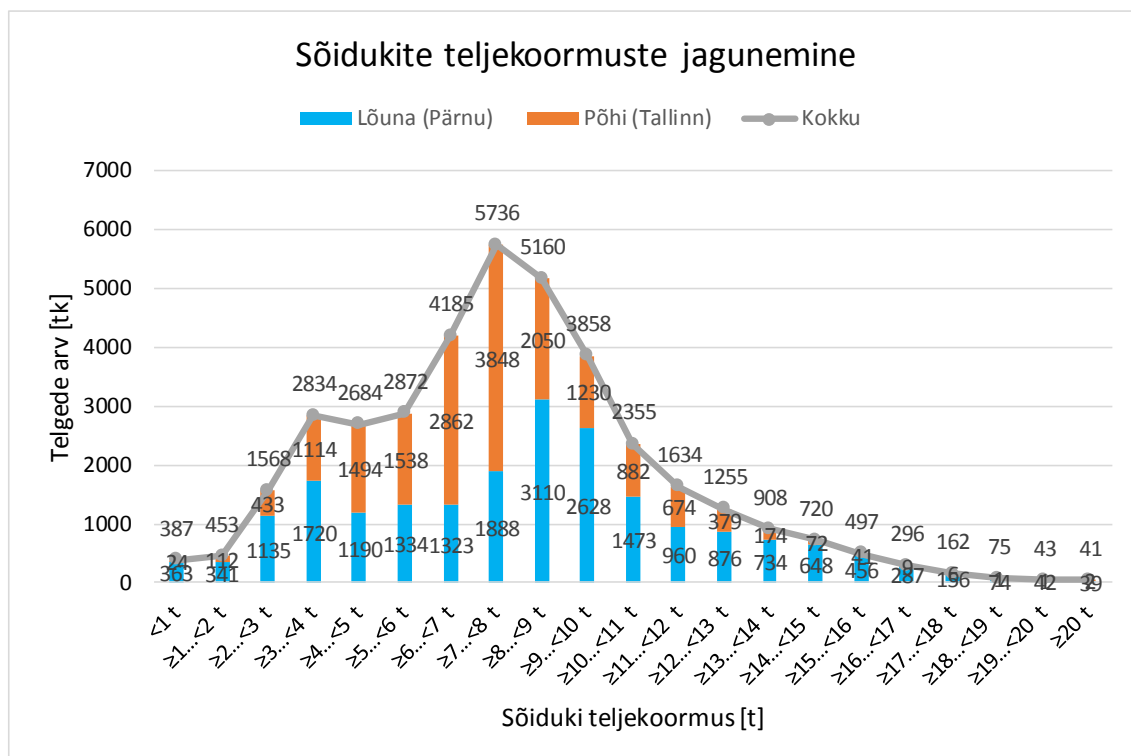


Joonis 129. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Aseri viadukt; 2018 jaanuar ja veebruar; 7 päeva)

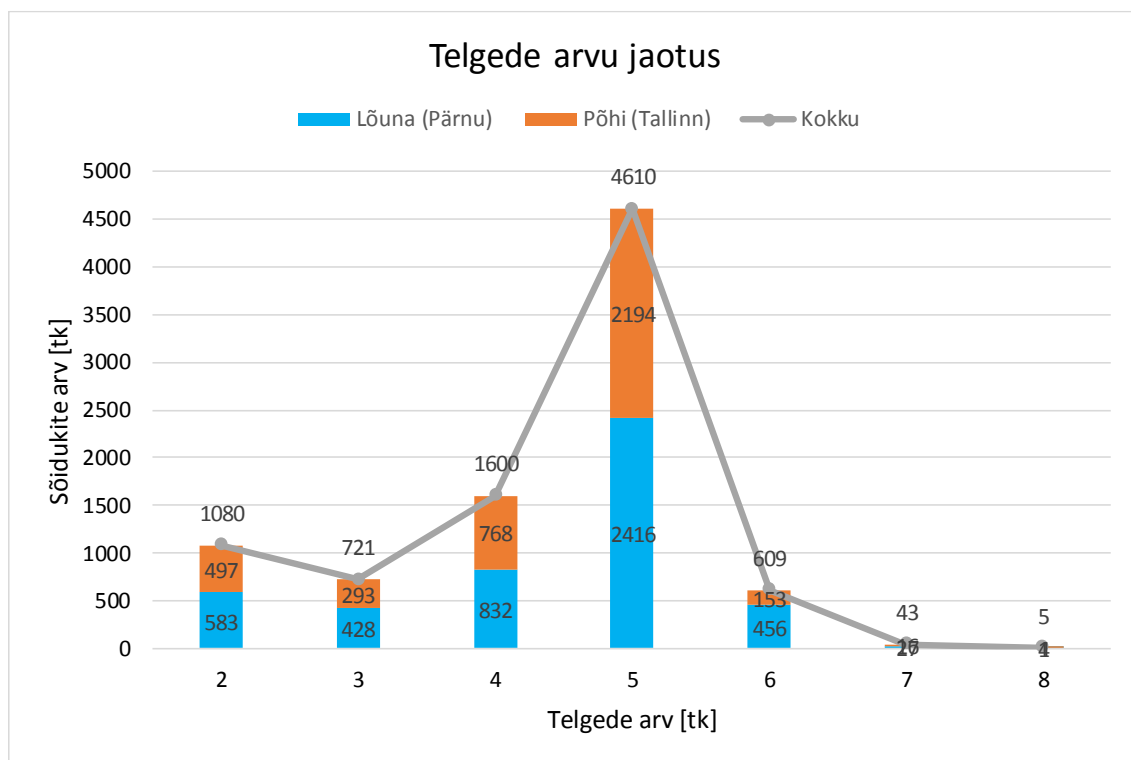
8.2.24. Kernu sild, 1. etapp



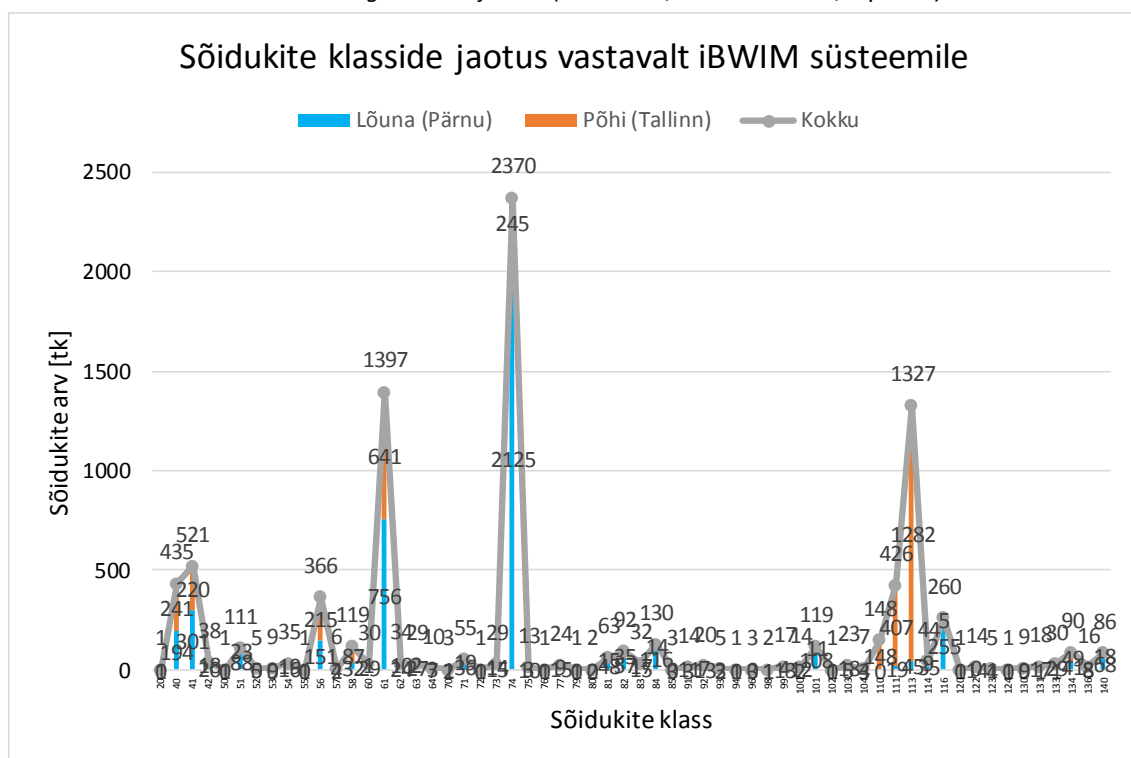
Joonis 130. Sõidukite kogumassi jaotus (Kernu sild; 2018 veebruar; 7 päeva)



Joonis 131. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Kernu sild; 2018 veebruar; 7 päeva)

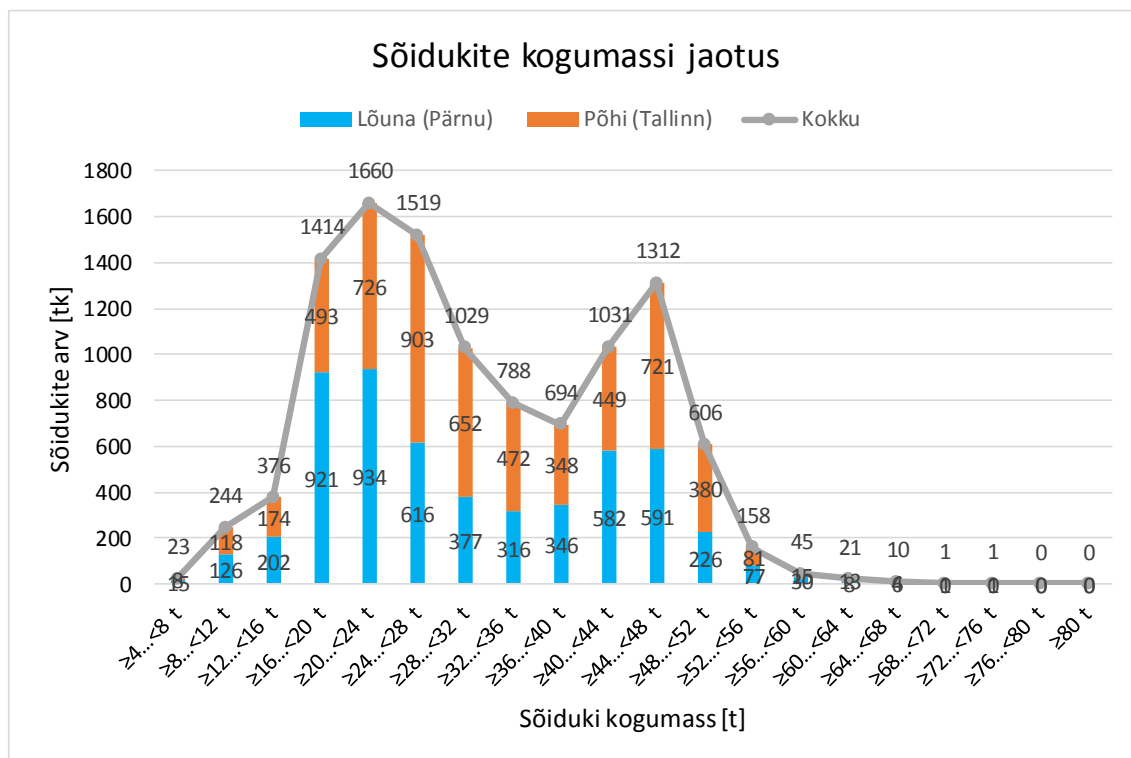


Joonis 132. Telgede arvu jaotus (Kernu sild; 2018 veebruar; 7 päeva)

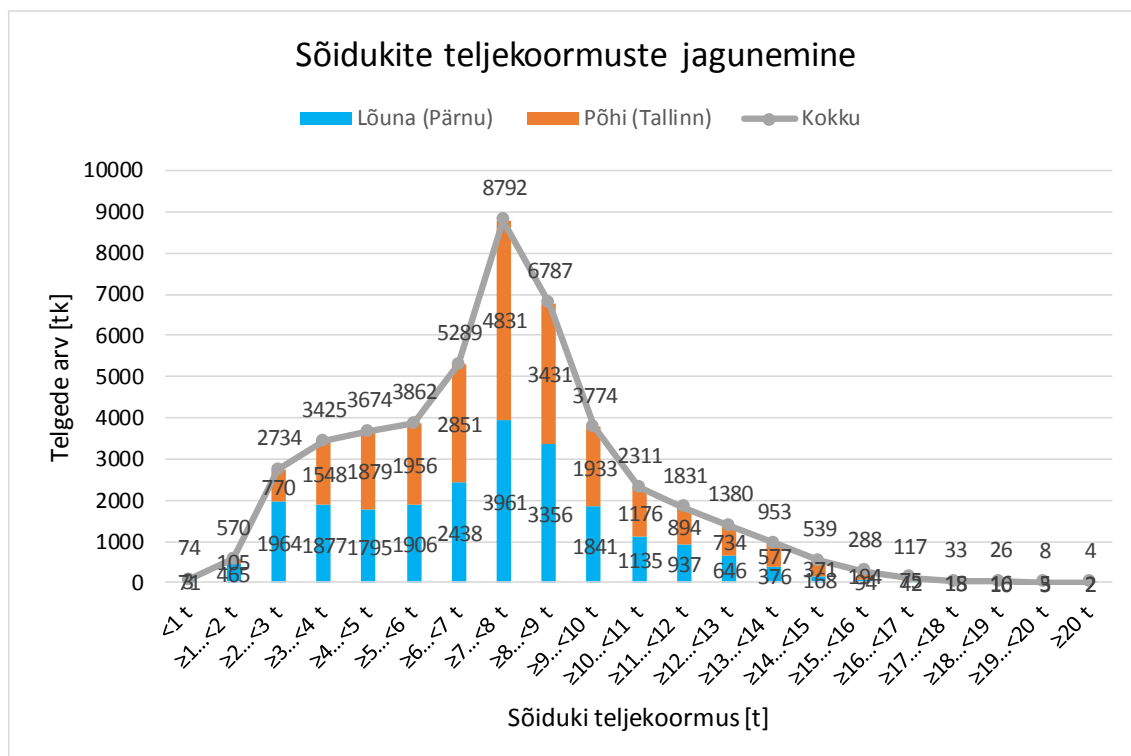


Joonis 133. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Kernu sild; 2018 veebruar; 7 päeva)

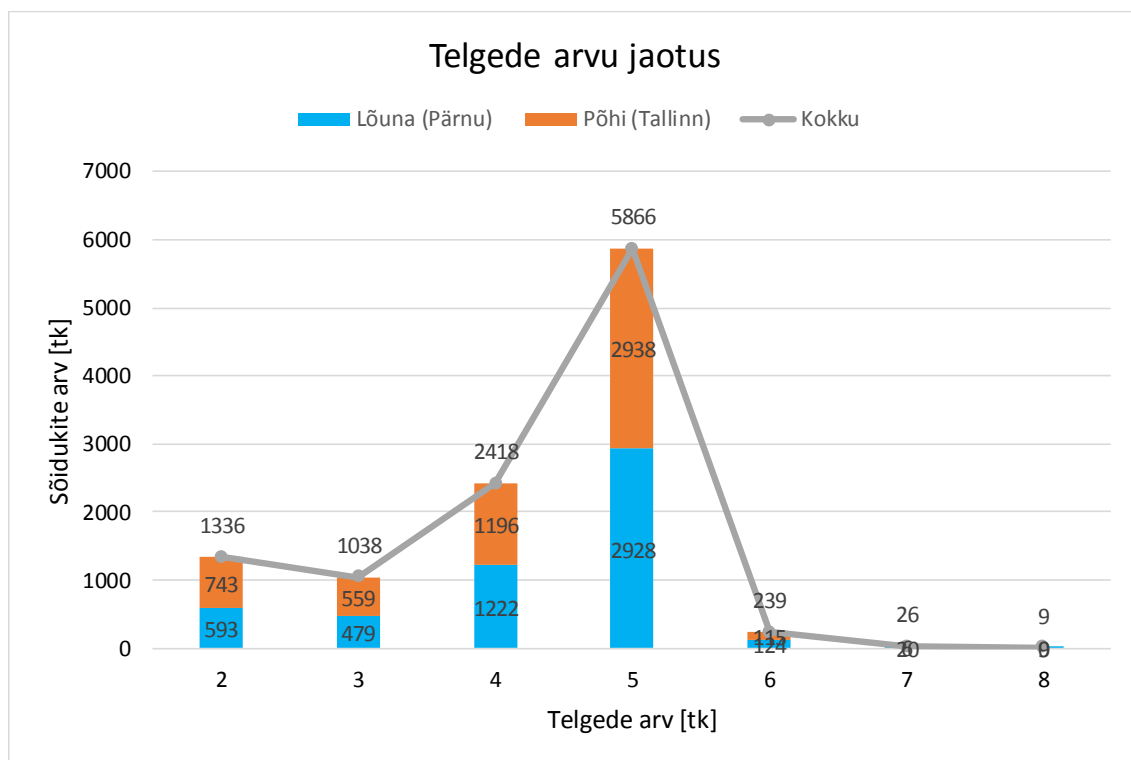
8.2.25. Kernu sild, 2. etapp



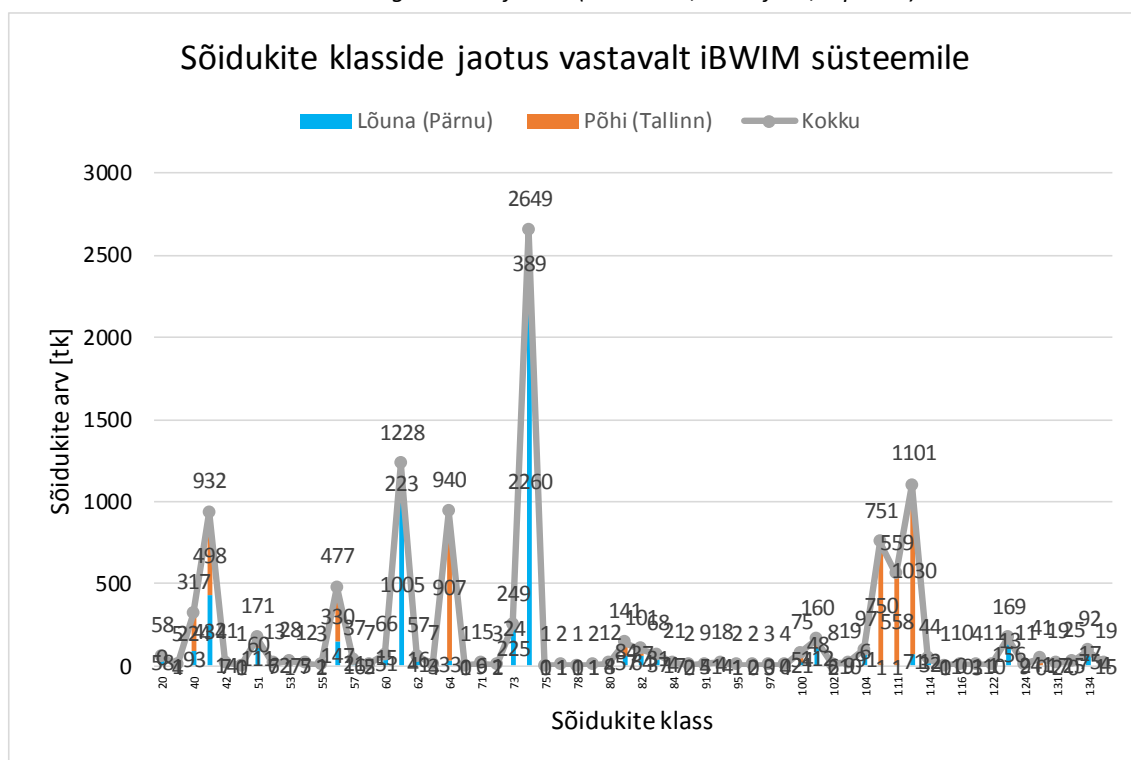
Joonis 134. Sõidukite kogumassi jaotus (Kernu sild; 2018 juuli; 7 päeva)



Joonis 135. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Kernu sild; 2018 juuli; 7 päeva)

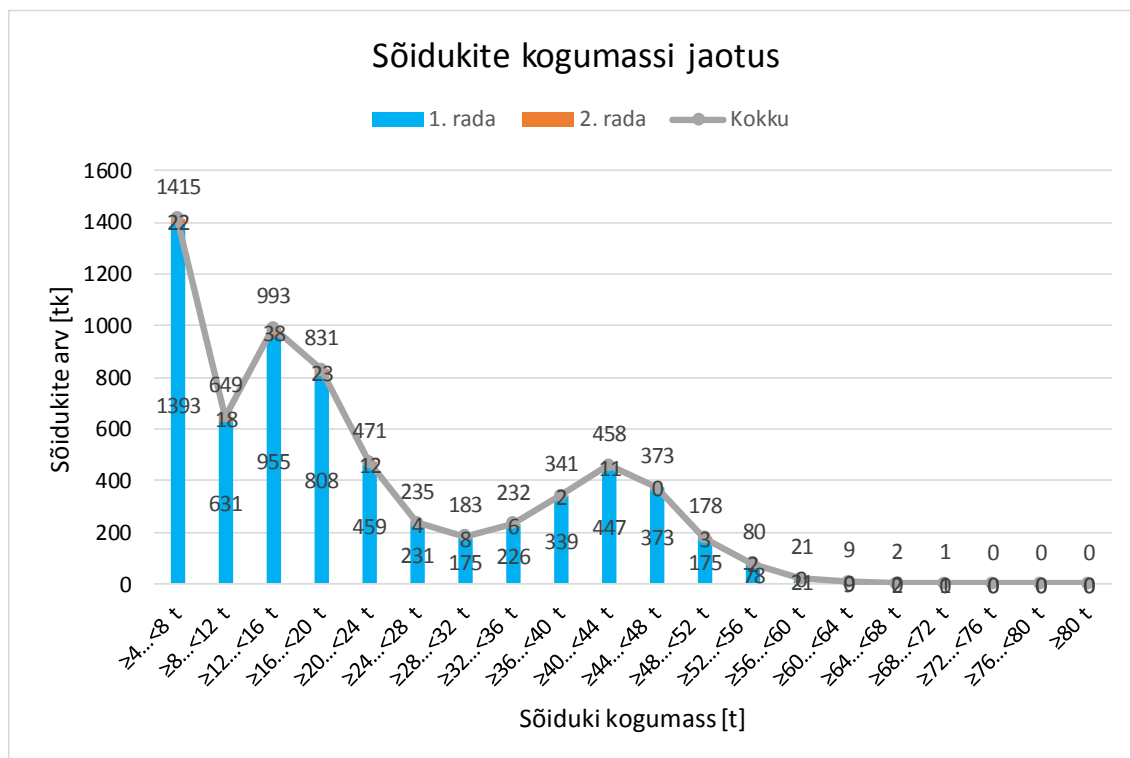


Joonis 136. Telgede arvu jaotus (Kernu sild; 2018 juuli; 7 päeva)

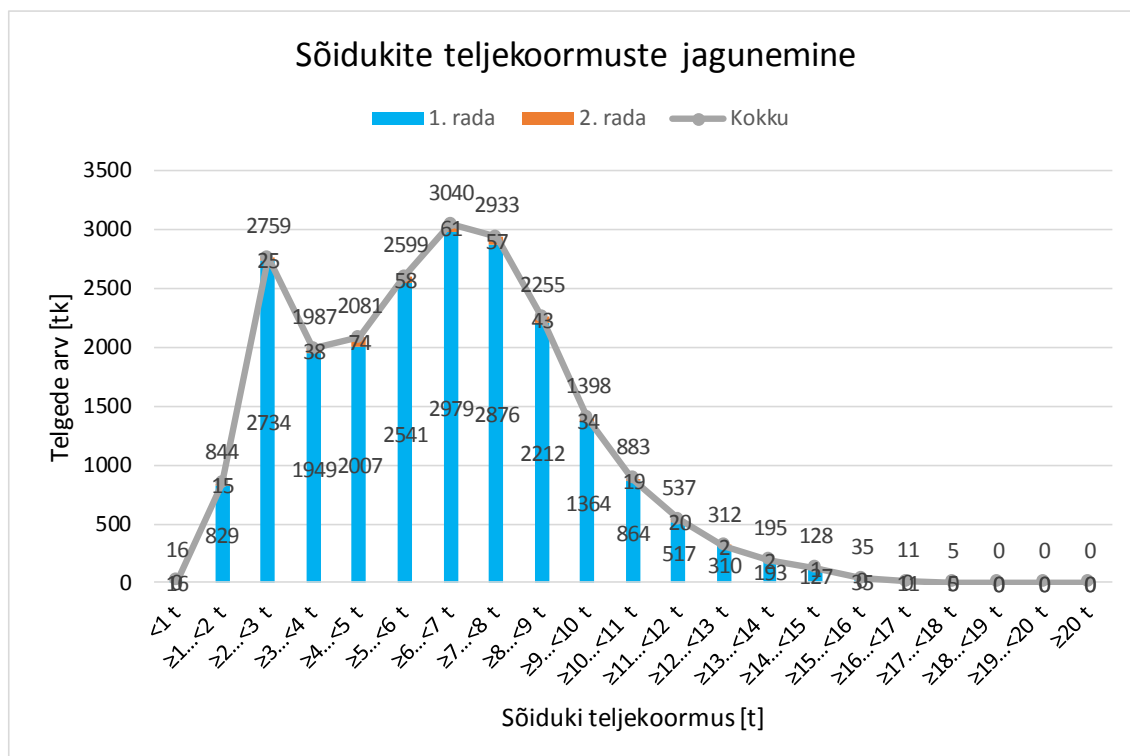


Joonis 137. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Kernu sild; 2018 juuli; 7 päeva)

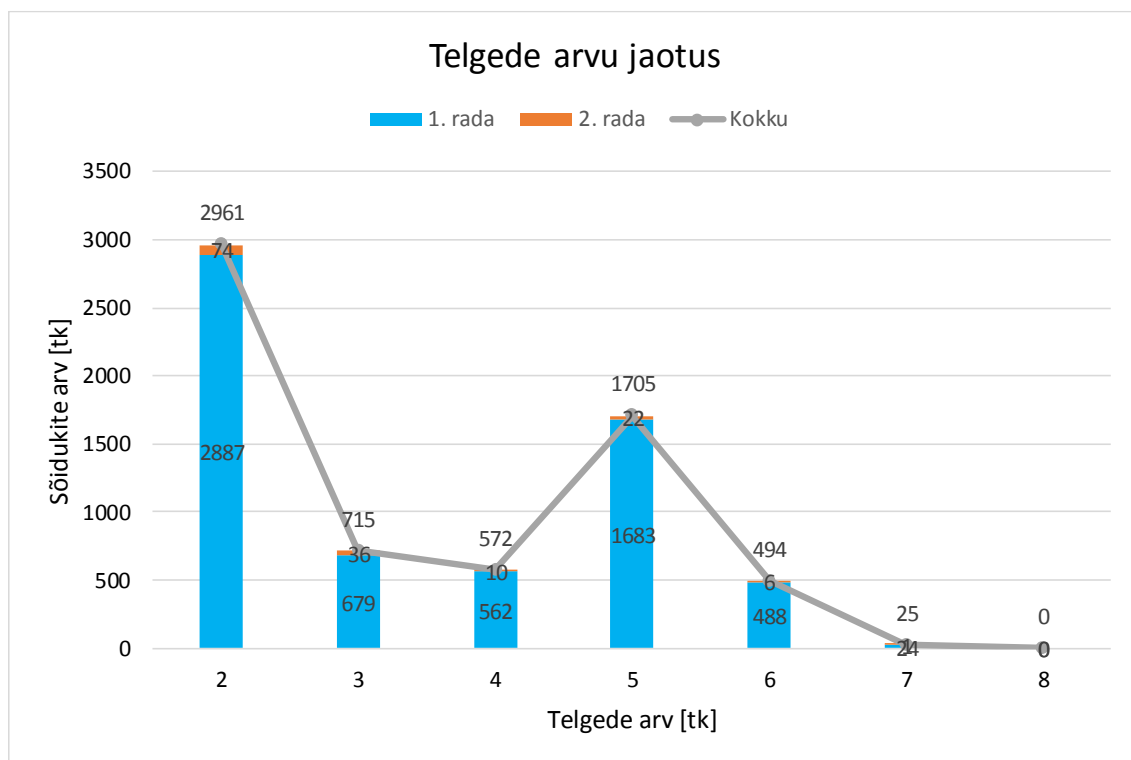
8.2.26. Maardu järve jalakäijate tunnel, 1. etapp



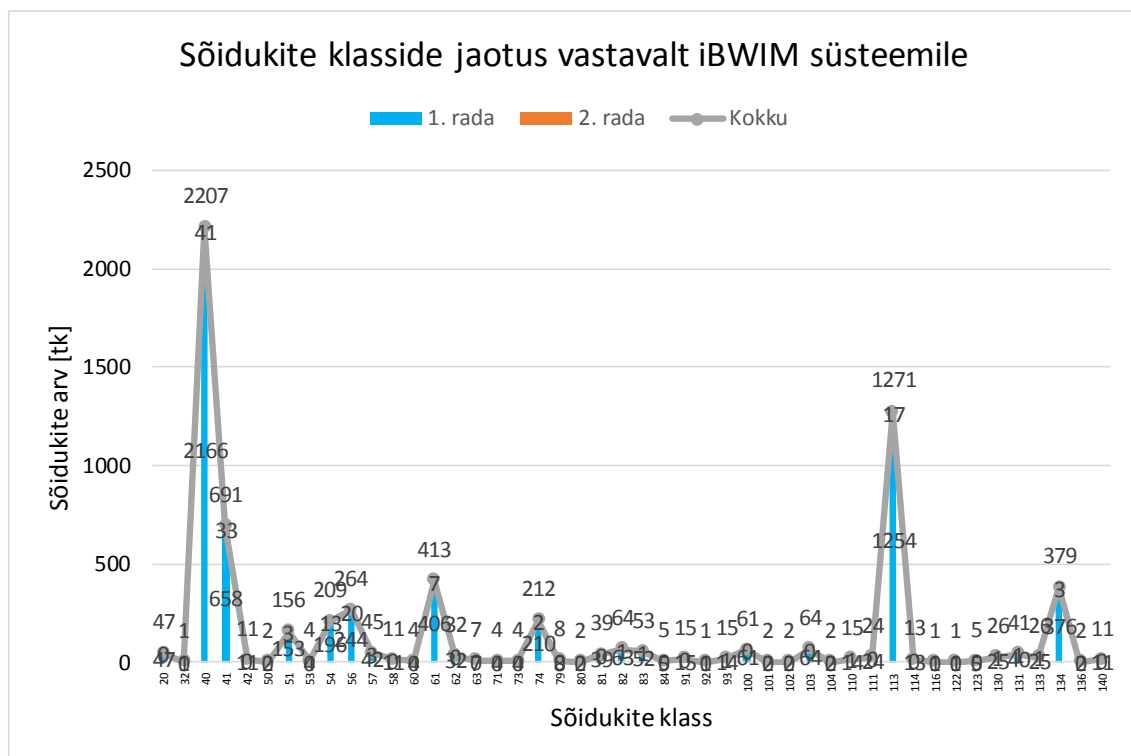
Joonis 138. Sõidukite kogumassi jaotus (Maardu järve jalakäijate tunnel; 2018 veebruar; 7 päeva)



Joonis 139. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Maardu järve jalakäijate tunnel; 2018 veebruar; 7 päeva)

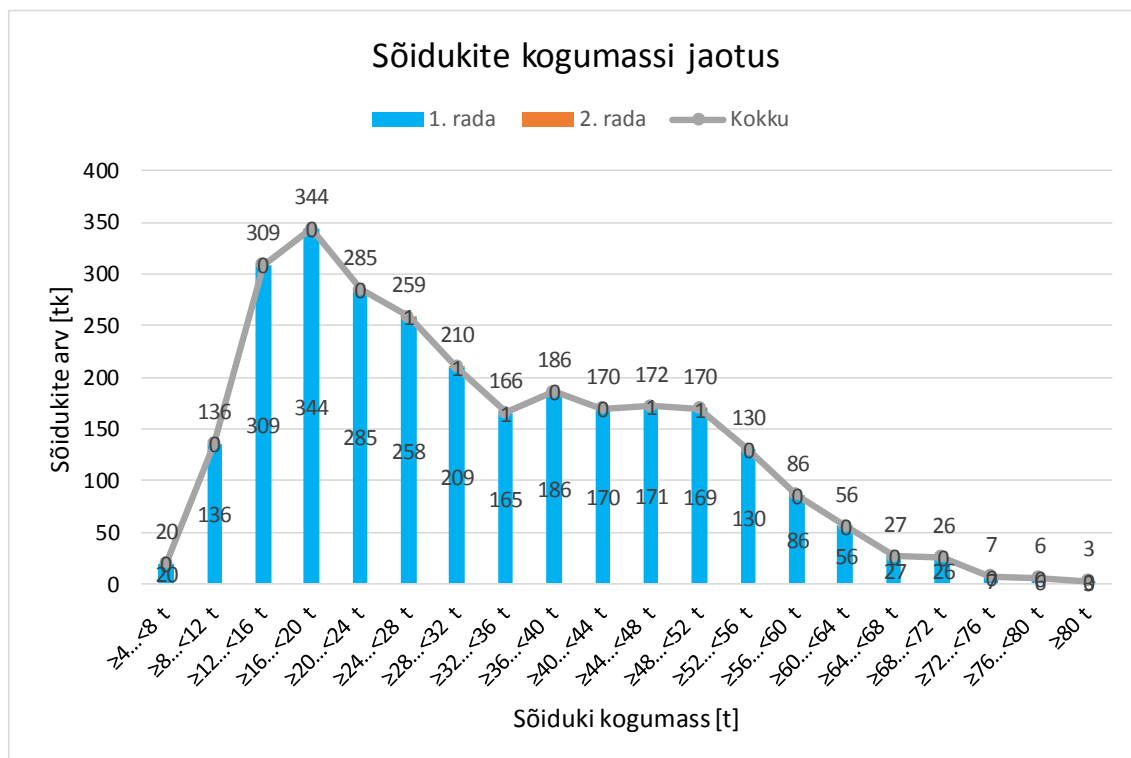


Joonis 140. Telgede arvu jaotus (Maardu järve jalakäijate tunnel; 2018 veebruar; 7 päeva)

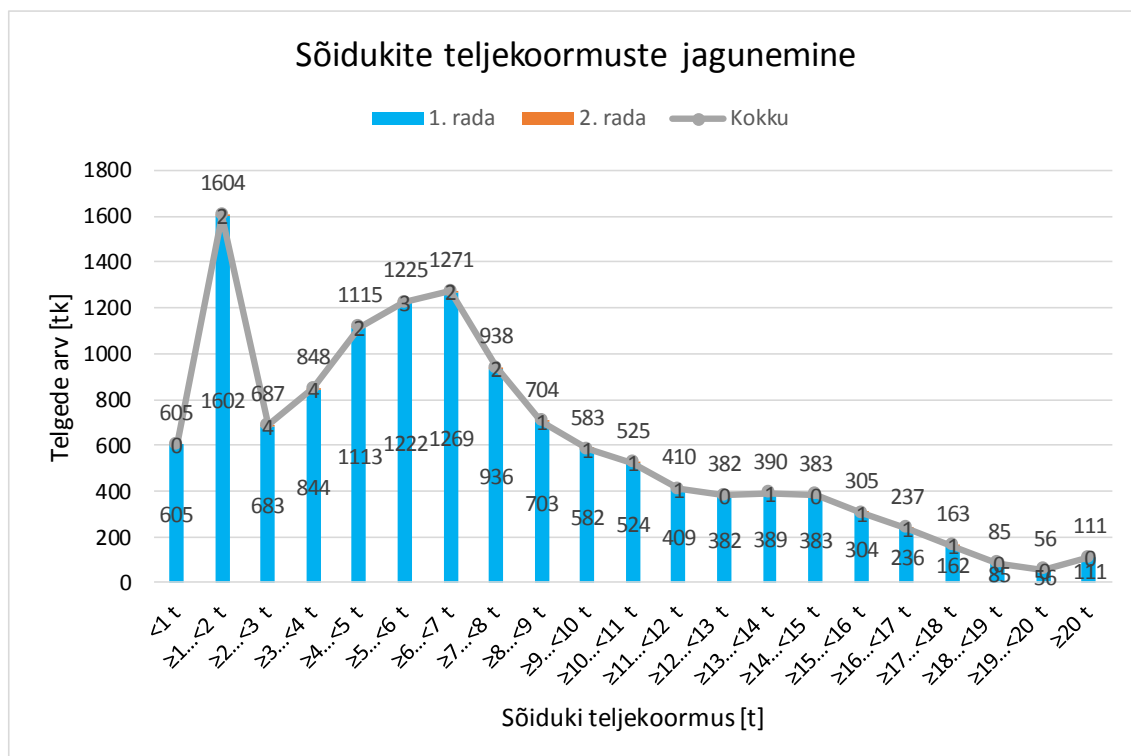


Joonis 141. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Maardu järve jalakäijate tunnel; 2018 veebruar; 7 päeva)

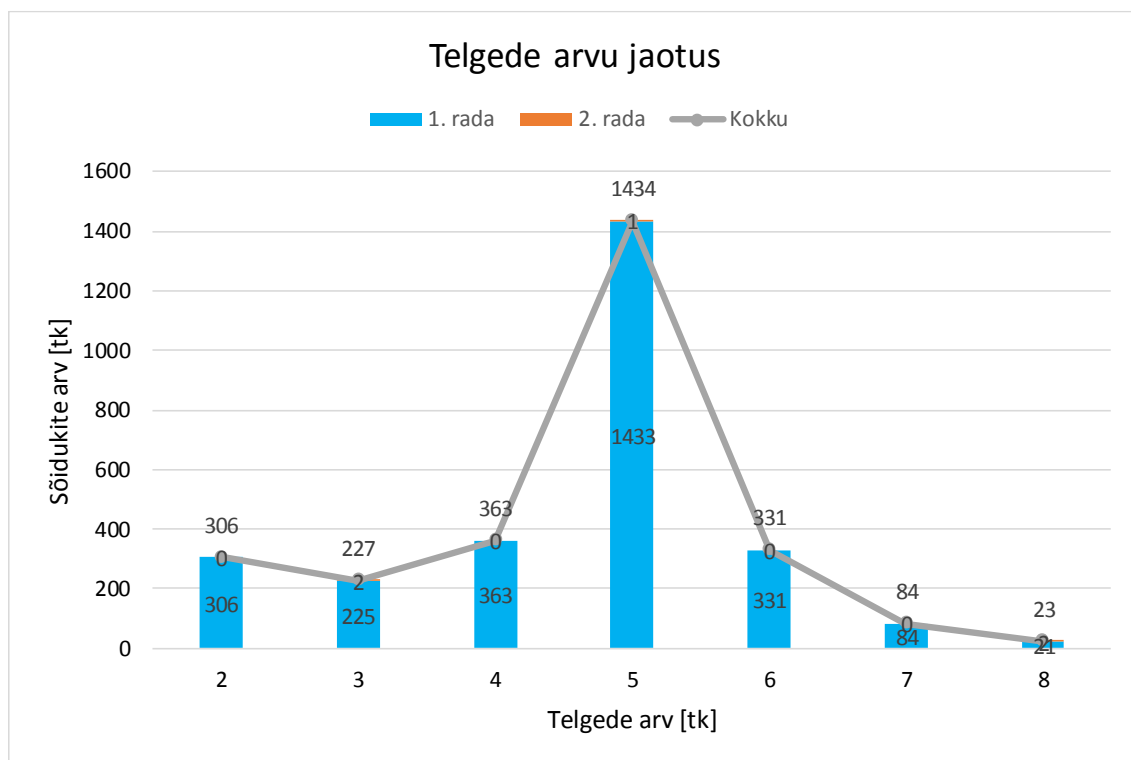
8.2.27. Saku sild – ida suund, 1. etapp



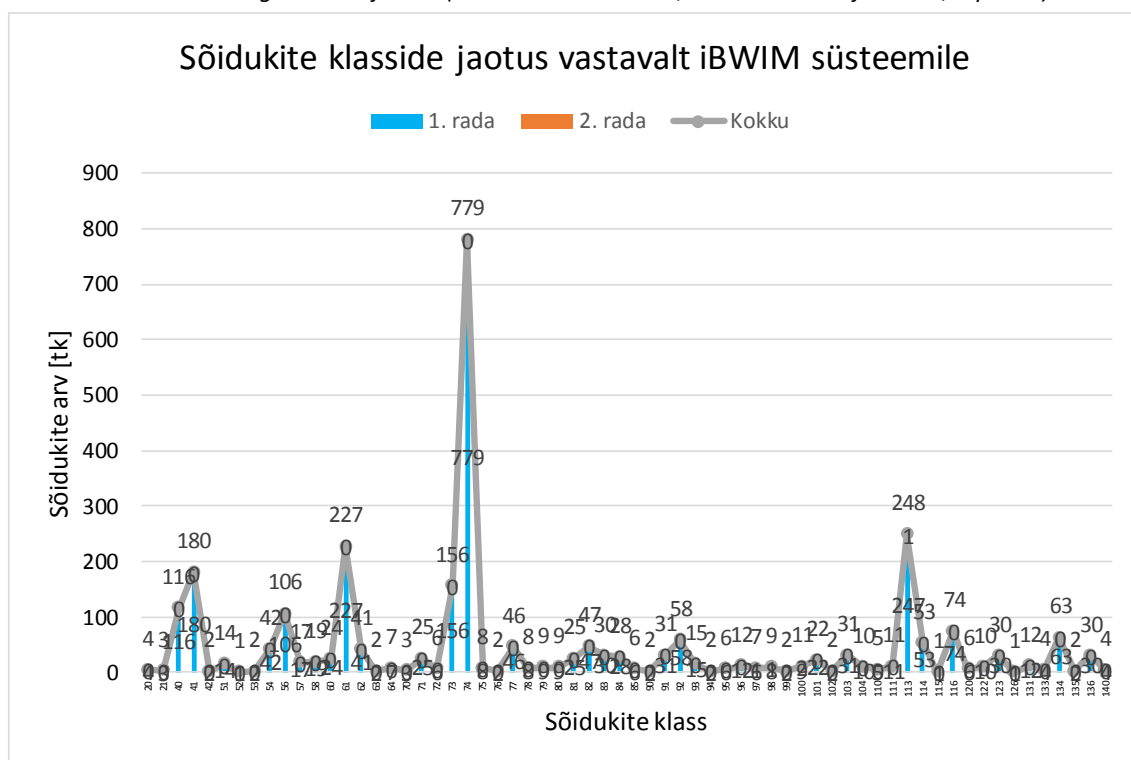
Joonis 142. Sõidukite kogumassi jaotus (Saku sild – ida suund; 2018 veebruar ja märts; 7 päeva)



Joonis 143. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Saku sild – ida suund; 2018 veebruar ja märts; 7 päeva)

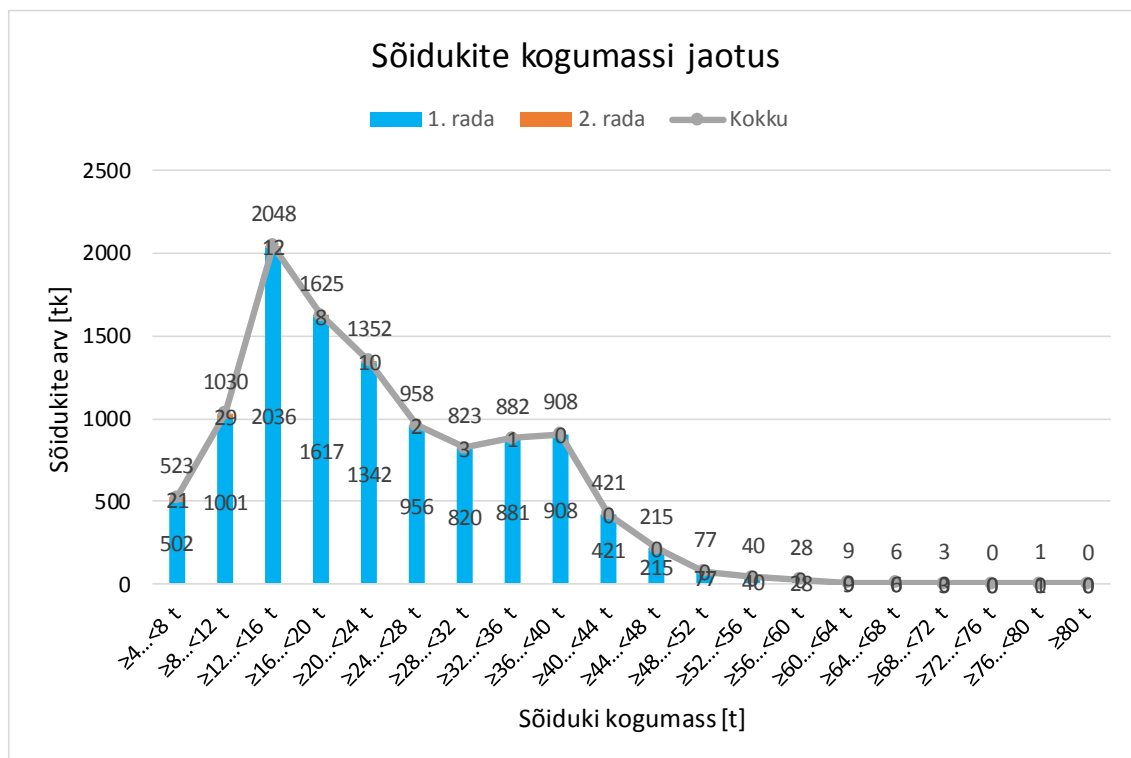


Joonis 144. Telgede arvu jaotus (Saku sild – ida suund; 2018 veebruar ja märts; 7 päeva)

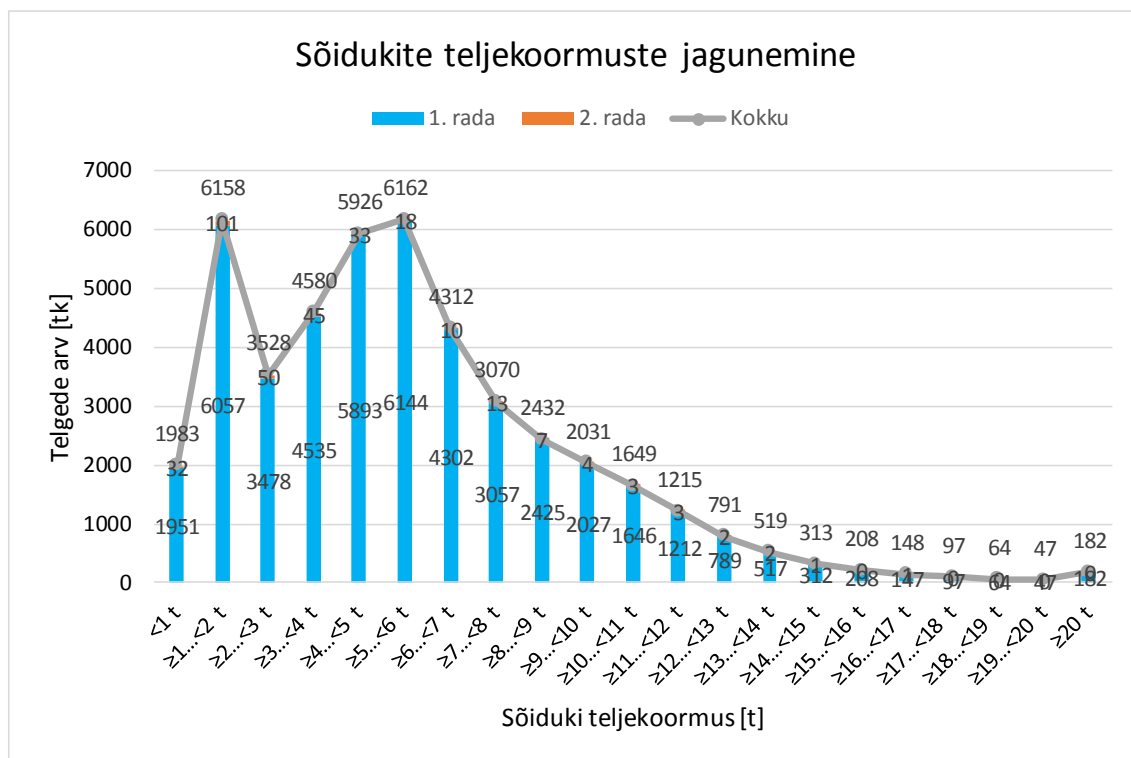


Joonis 145. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Saku sild – ida suund; 2018 veebruar ja märts; 7 päeva)

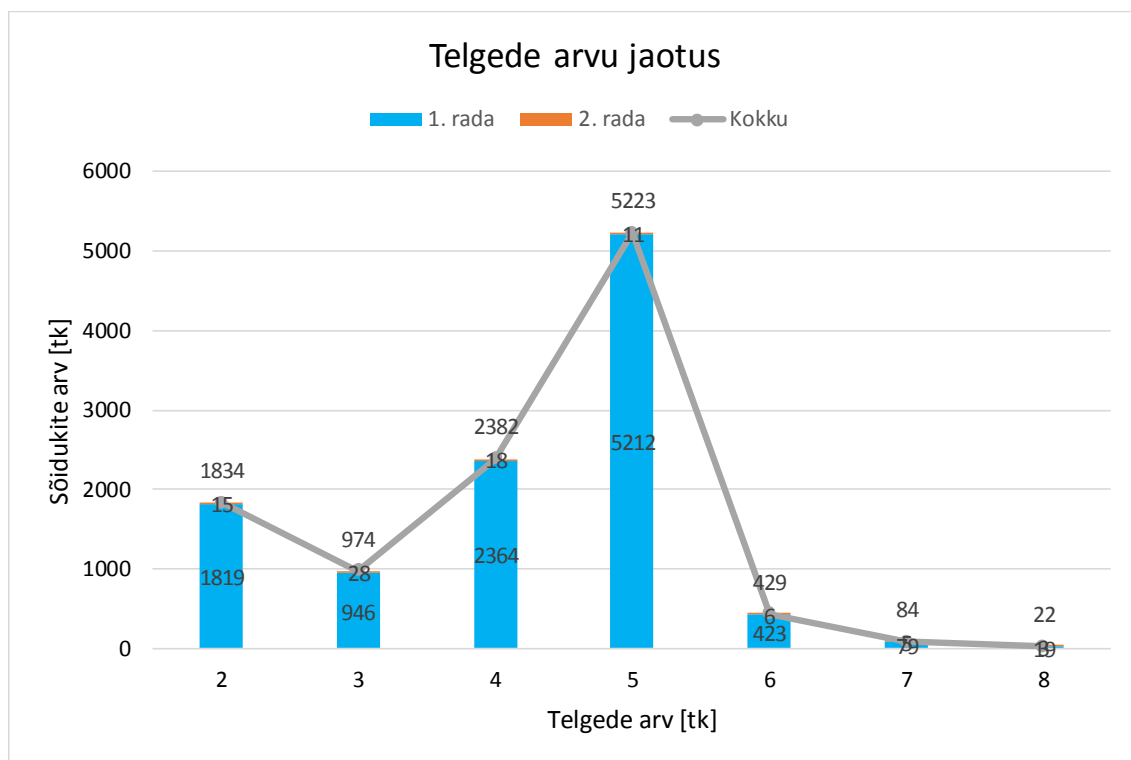
8.2.28. Saku sild – ida suund, 2. etapp



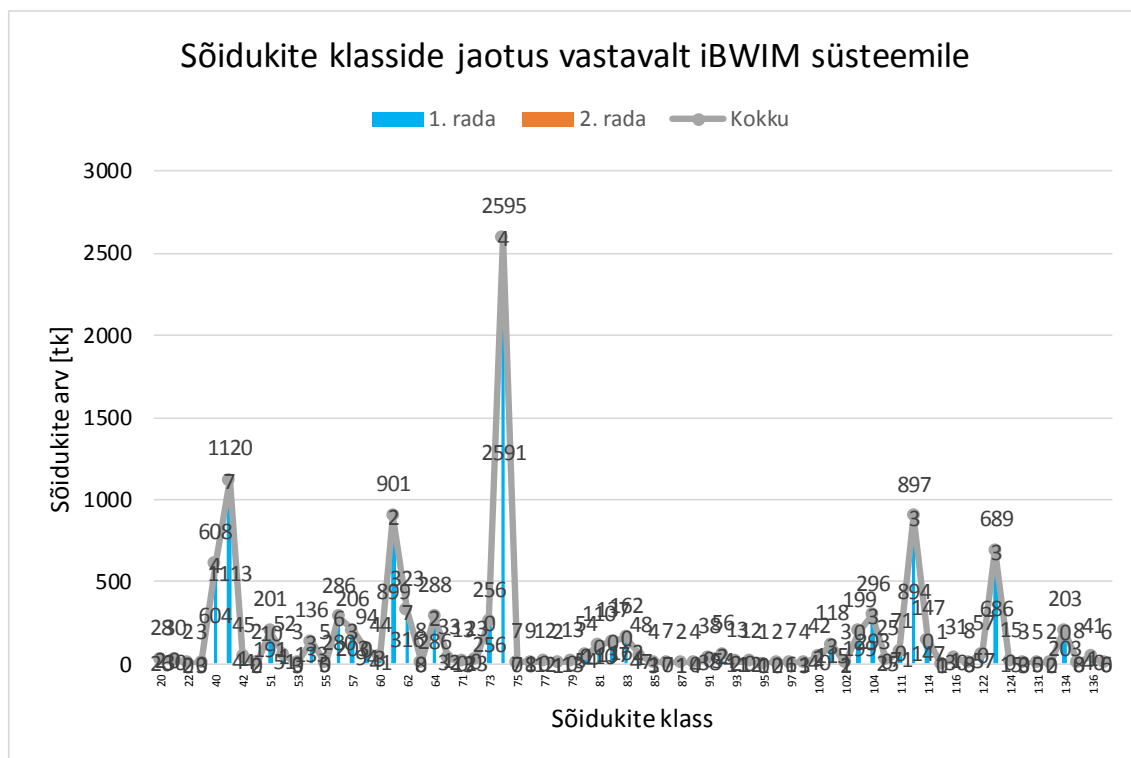
Joonis 146. Sõidukite kogumassi jaotus (Saku sild – ida suund; 2018 mai; 7 päeva)



Joonis 147. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Saku sild – ida suund; 2018 mai; 7 päeva)

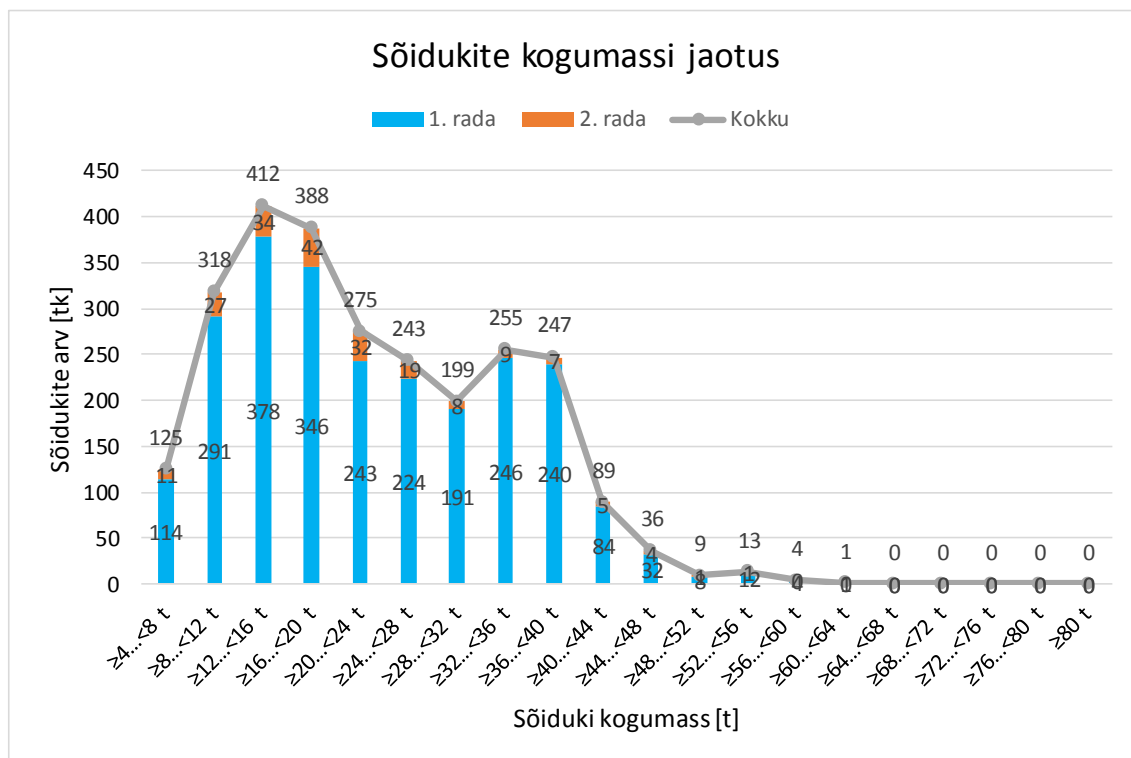


Joonis 148. Telgede arvu jaotus (Saku sild – ida suund; 2018 mai; 7 päeva)

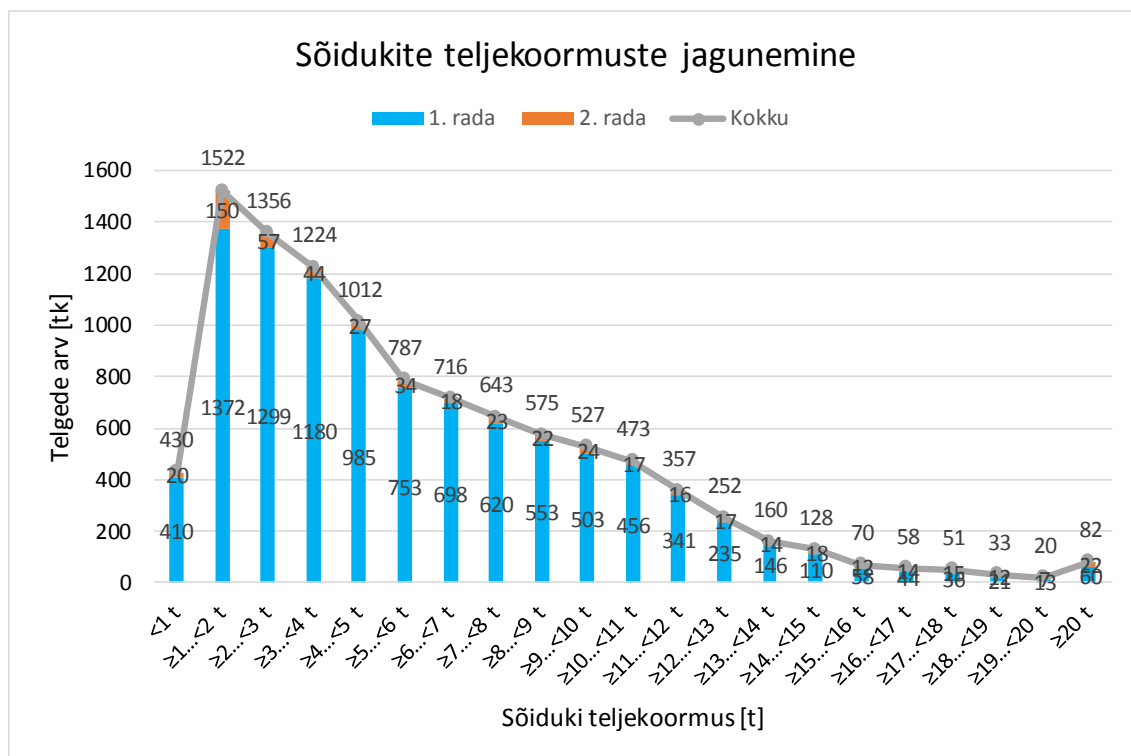


Joonis 149. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Saku sild – ida suund; 2018 mai; 7 päeva)

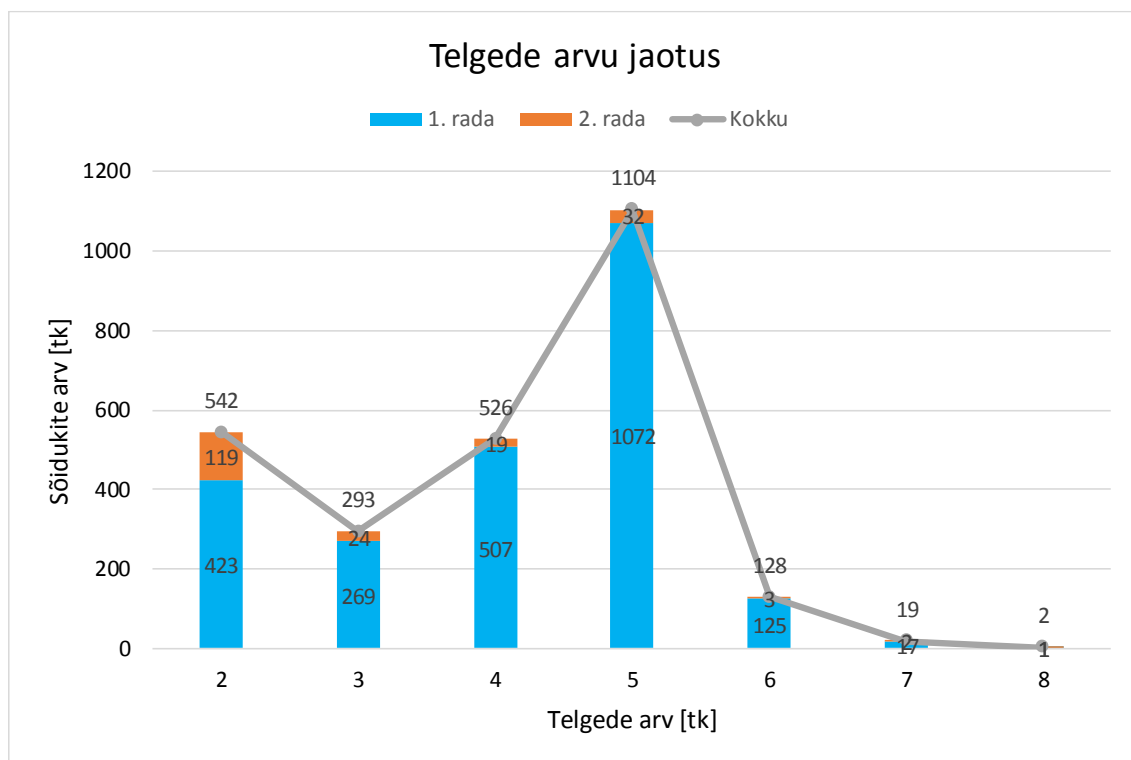
8.2.29. Saku sild – lääne suund, 1. etapp



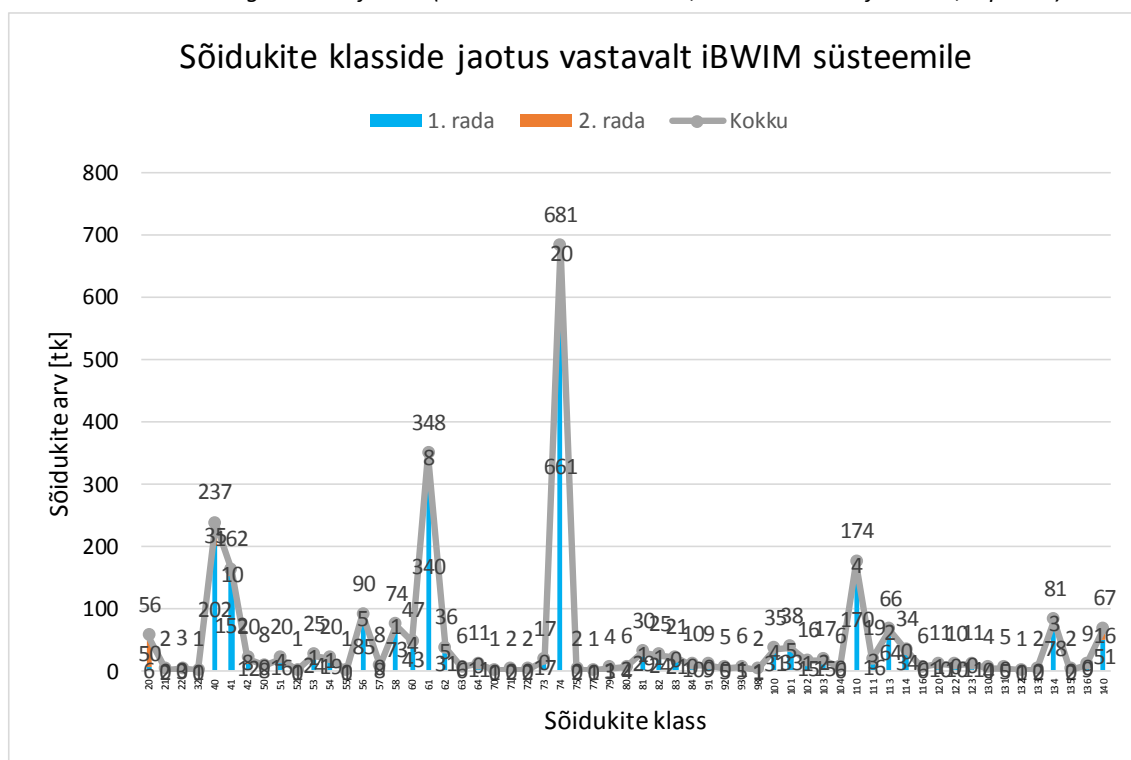
Joonis 150. Sõidukite kogumassi jaotus (Saku sild – lääne suund; 2018 veebruar ja märts; 7 päeva)



Joonis 151. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Saku sild – lääne suund; 2018 veebruar ja märts; 7 päeva)

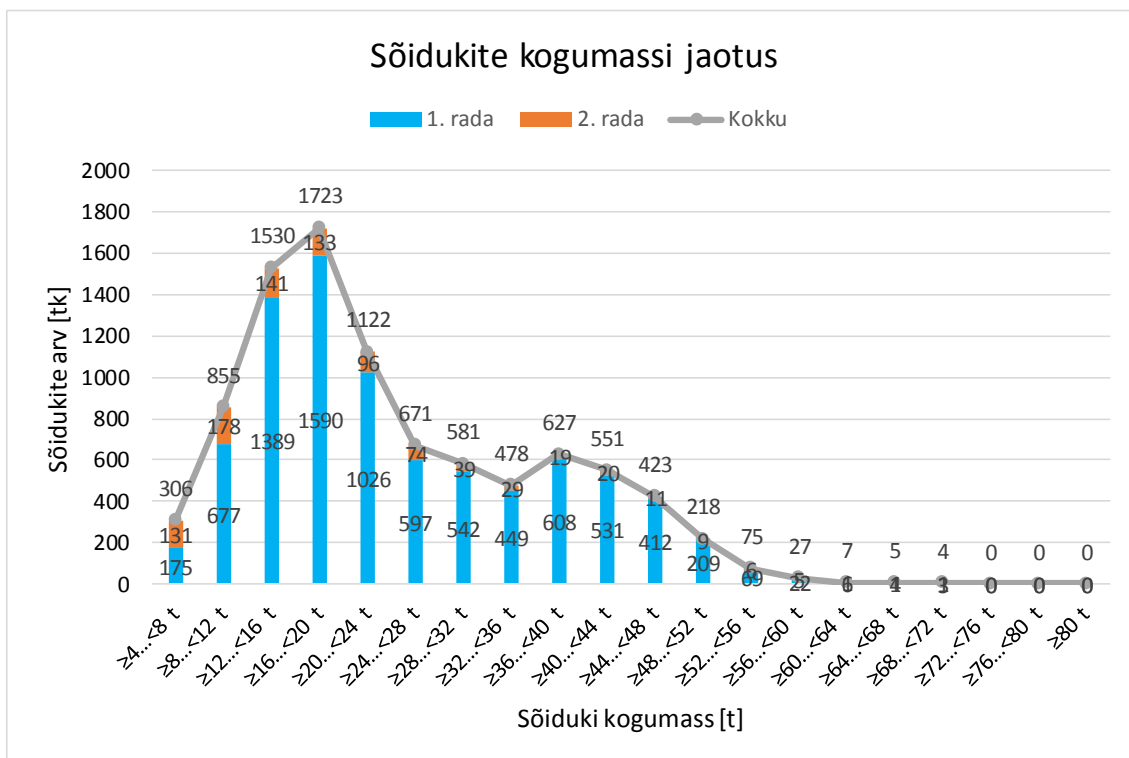


Joonis 152. Telgede arvu jaotus (Saku sild – lääne suund; 2018 veebruar ja märts; 7 päeva)

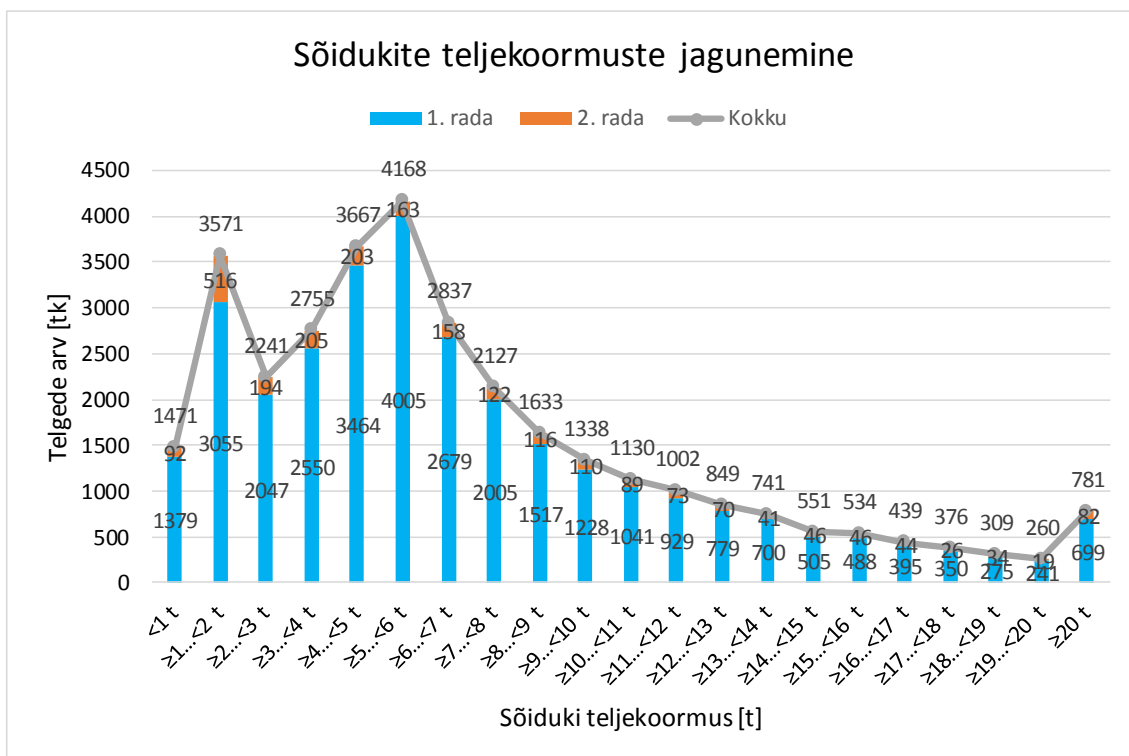


Joonis 153. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Saku sild – lääne suund; 2018 veebruar ja märts; 7 päeva)

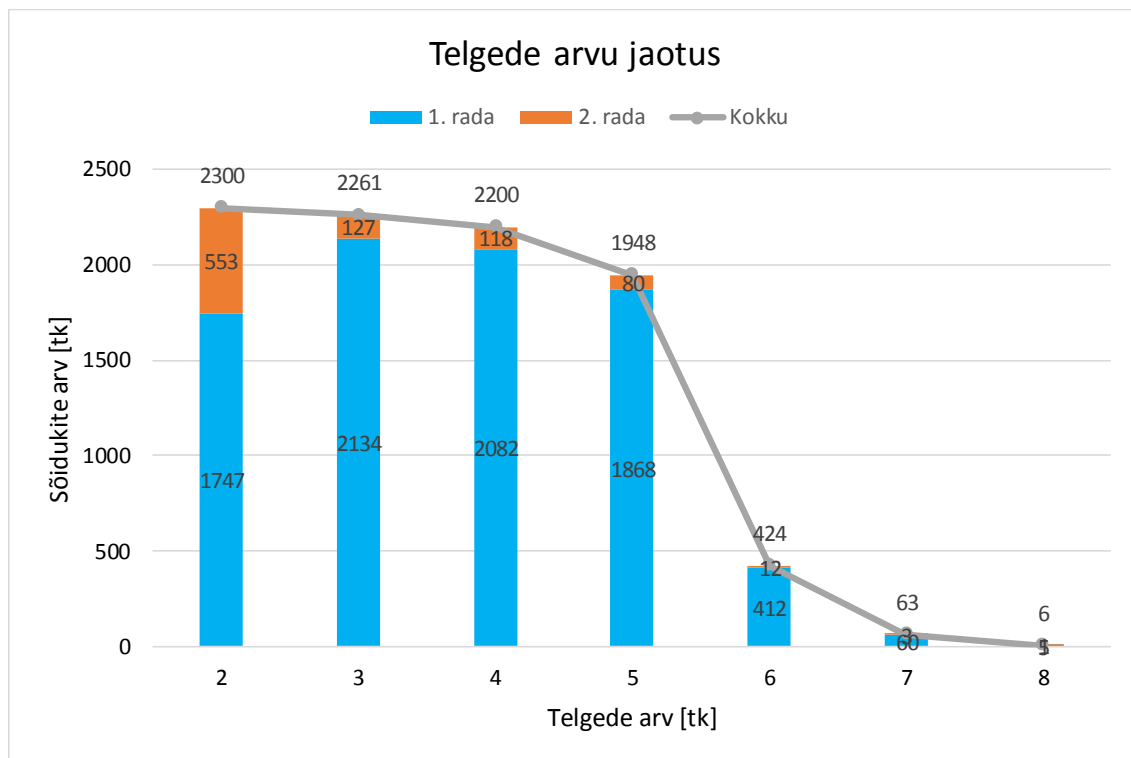
8.2.30. Saku sild – lääne suund, 2. etapp



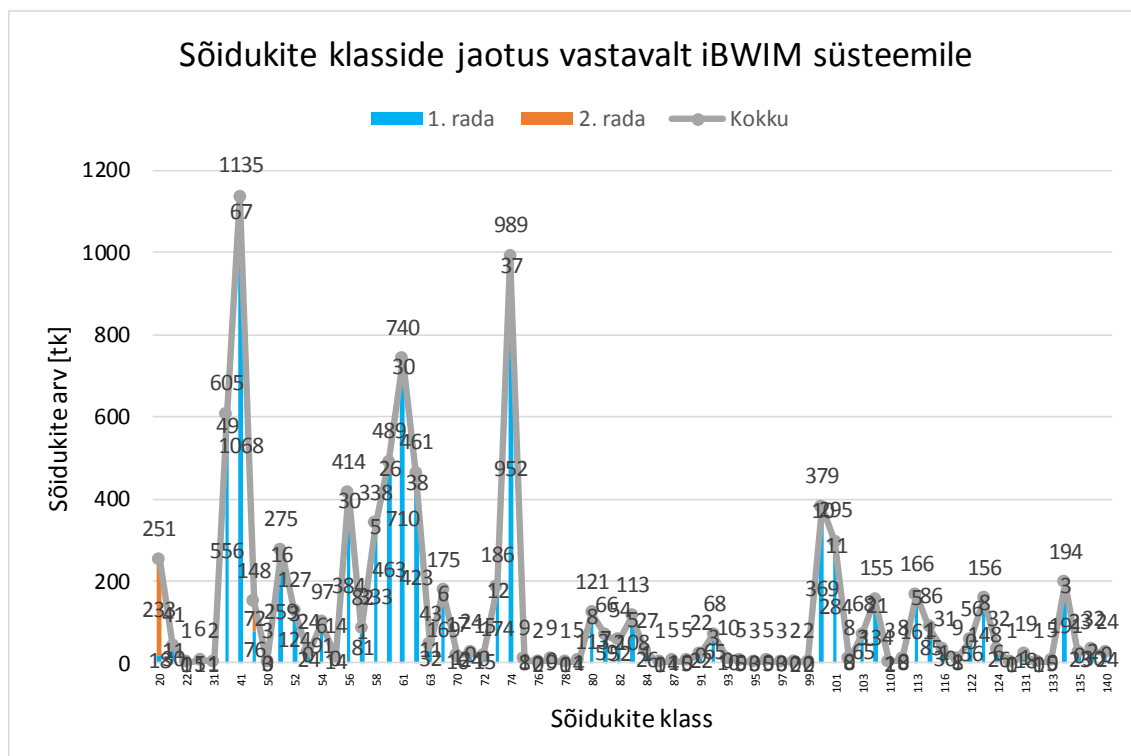
Joonis 154. Sõidukite kogumassi jaotus (Saku sild – lääne suund; 2018 mai; 7 päeva)



Joonis 155. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Saku sild – lääne suund; 2018 mai; 7 päeva)

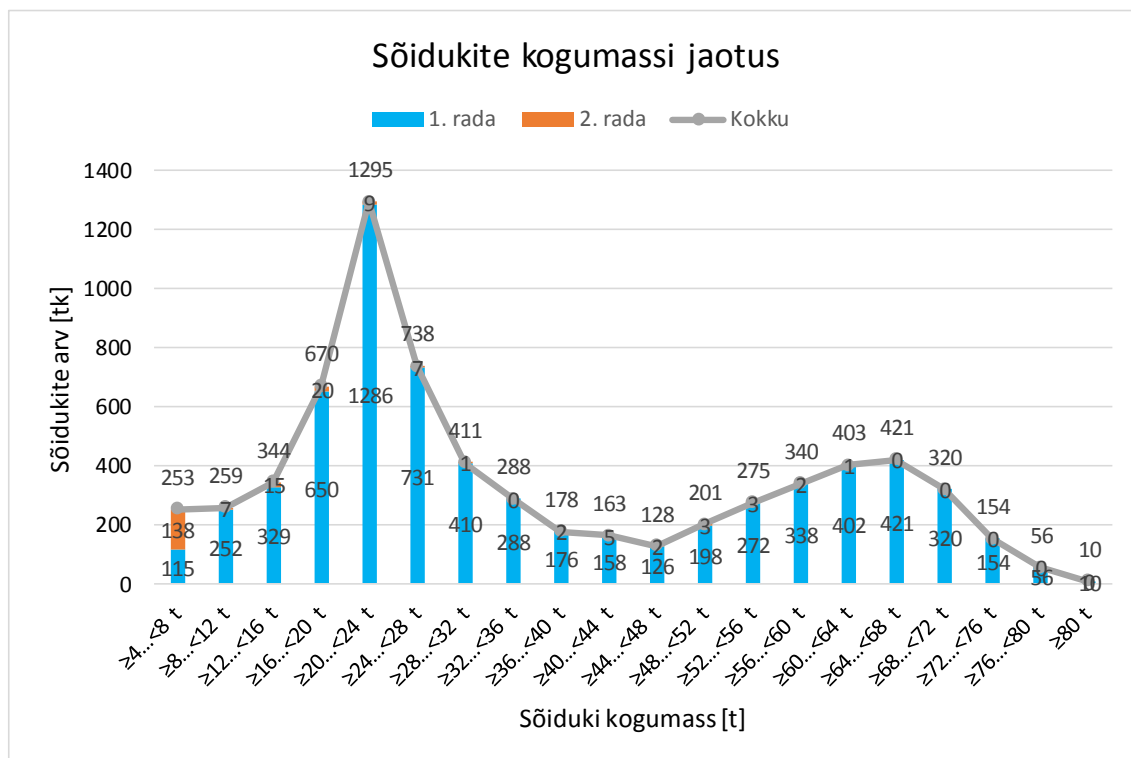


Joonis 156. Telgede arvu jaotus (Saku sild – lääne suund; 2018 mai; 7 päeva)

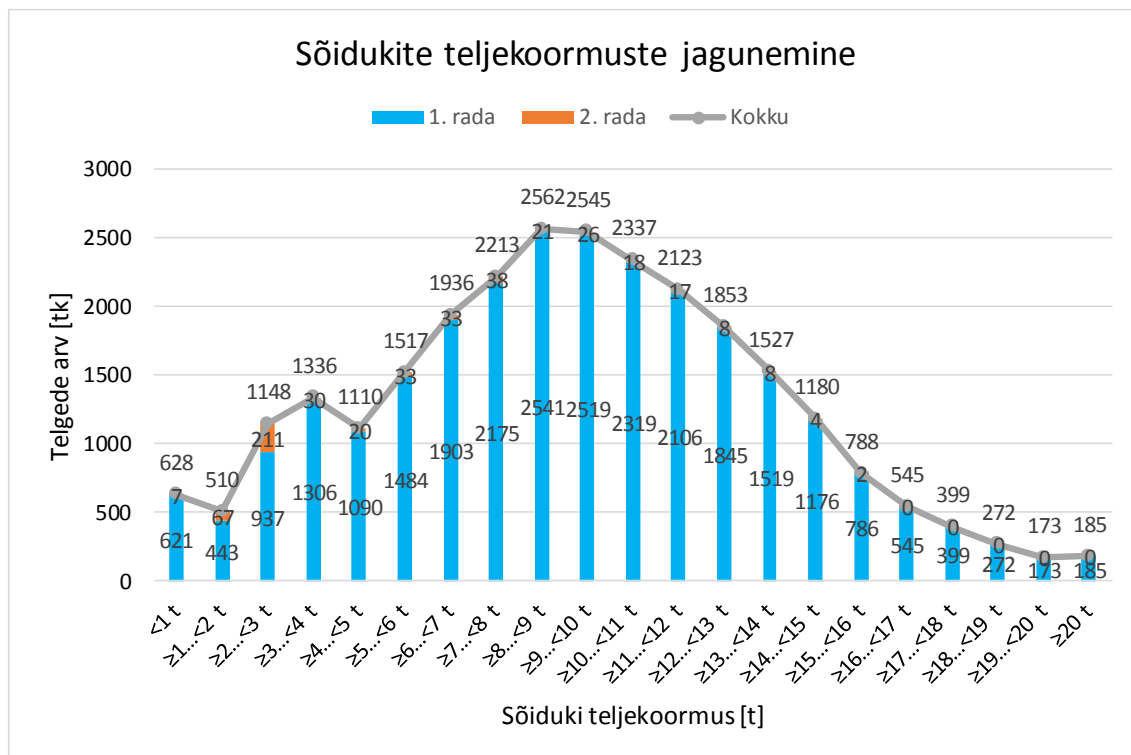


Joonis 157. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Saku sild – lääne suund; 2018 mai 7 päeva)

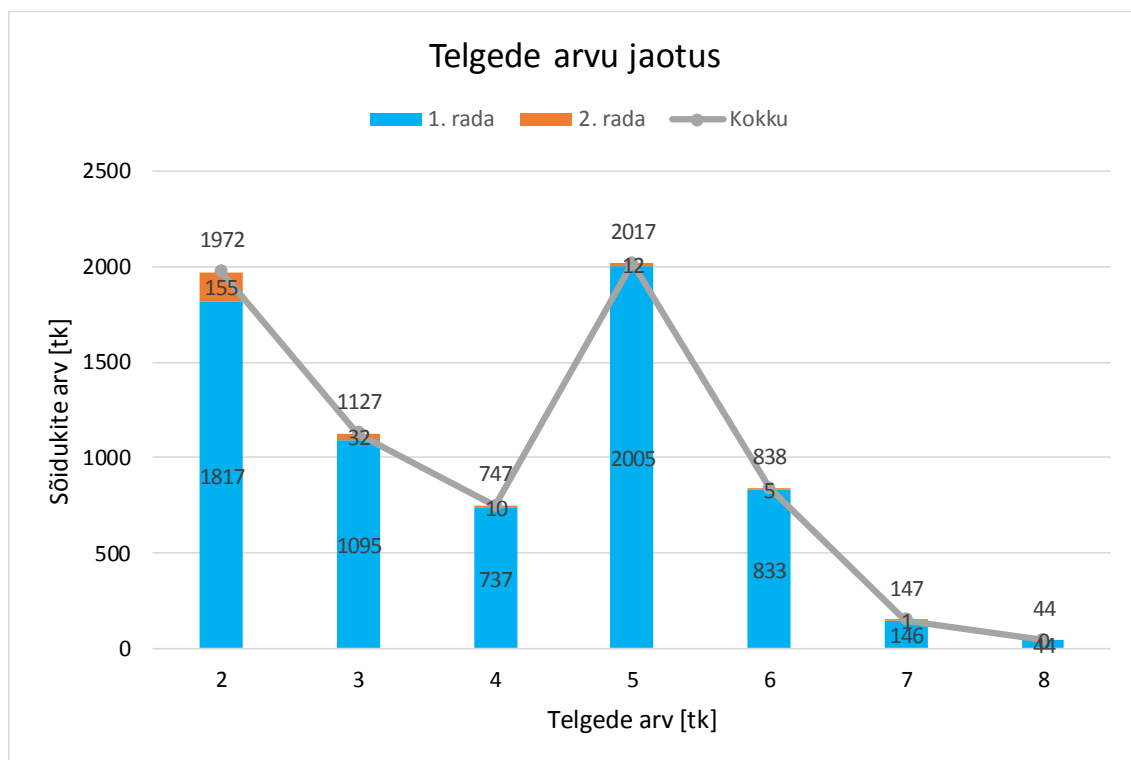
8.2.31. Maardu mõisa jalakäijate tunnel – Tallinna suund, 2. etapp



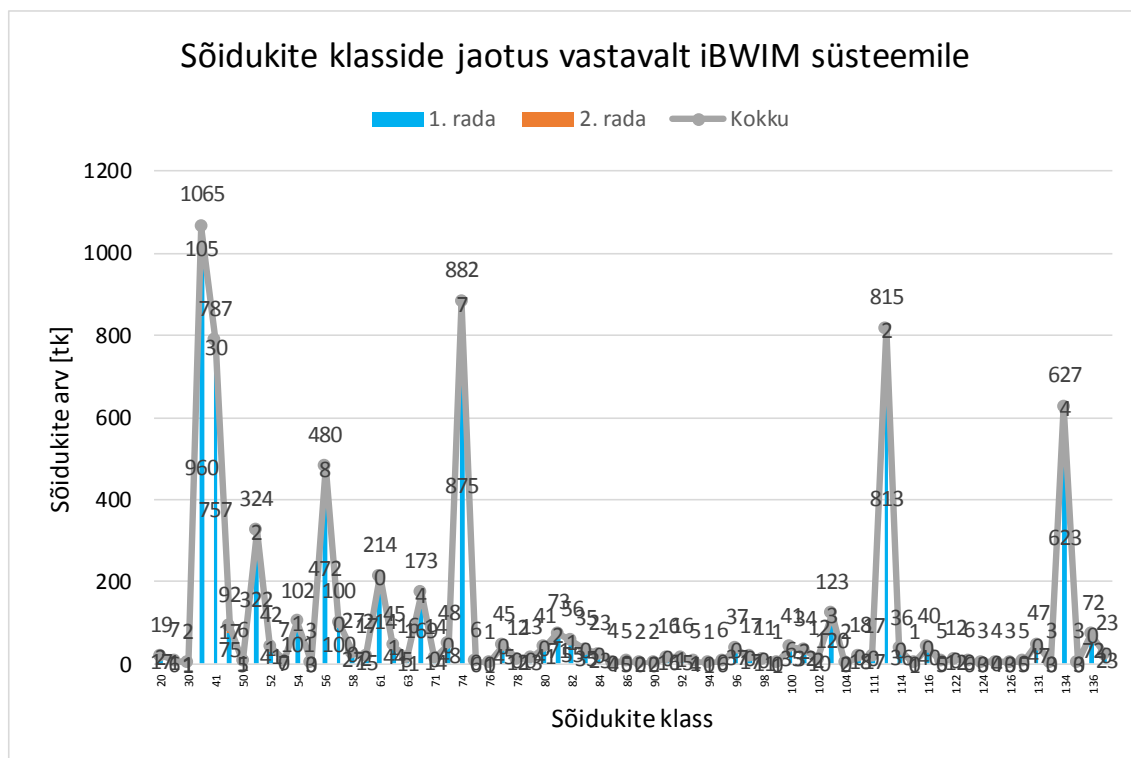
Joonis 158. Sõidukite kogumassi jaotus (Maardu mõisa jalakäijate tunnel – Tallinna suund; 2018 august; 7 päeva)



Joonis 159. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Maardu mõisa jalakäijate tunnel – Tallinna suund; 2018 august; 7 päeva)

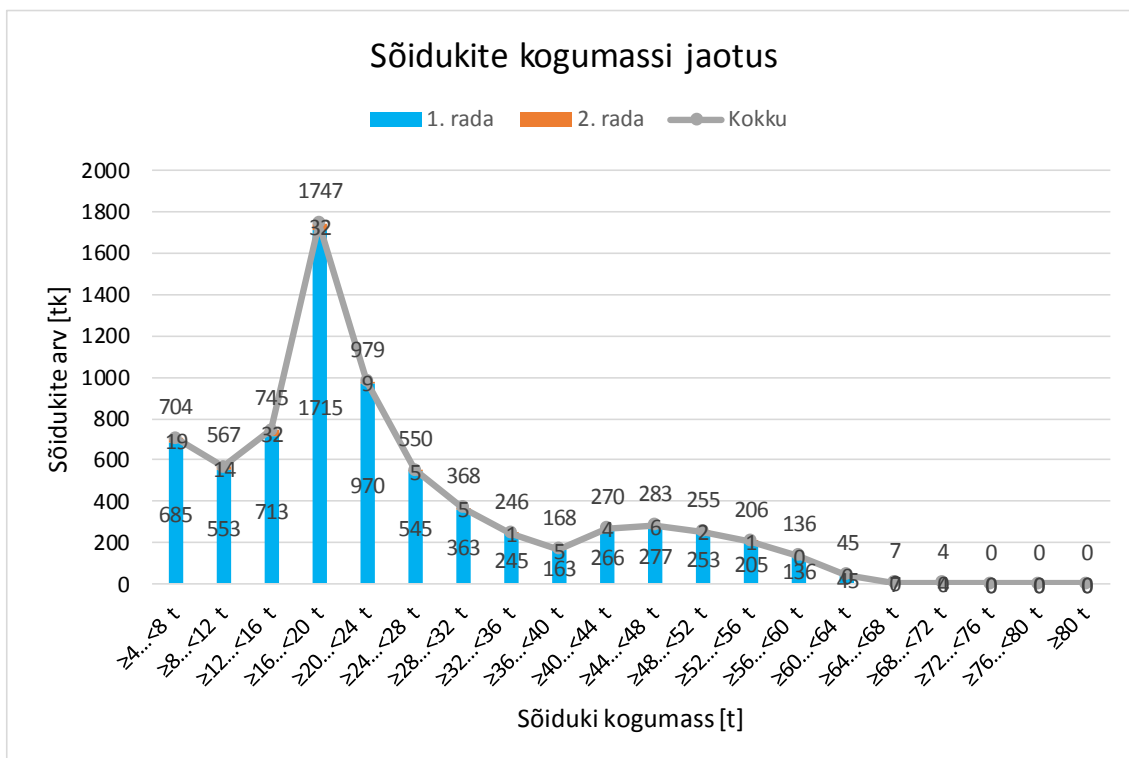


Joonis 160. Telgede arvu jaotus (Maardu mõisa jalakäijate tunnel – Tallinna suund; 2018 august; 7 päeva)

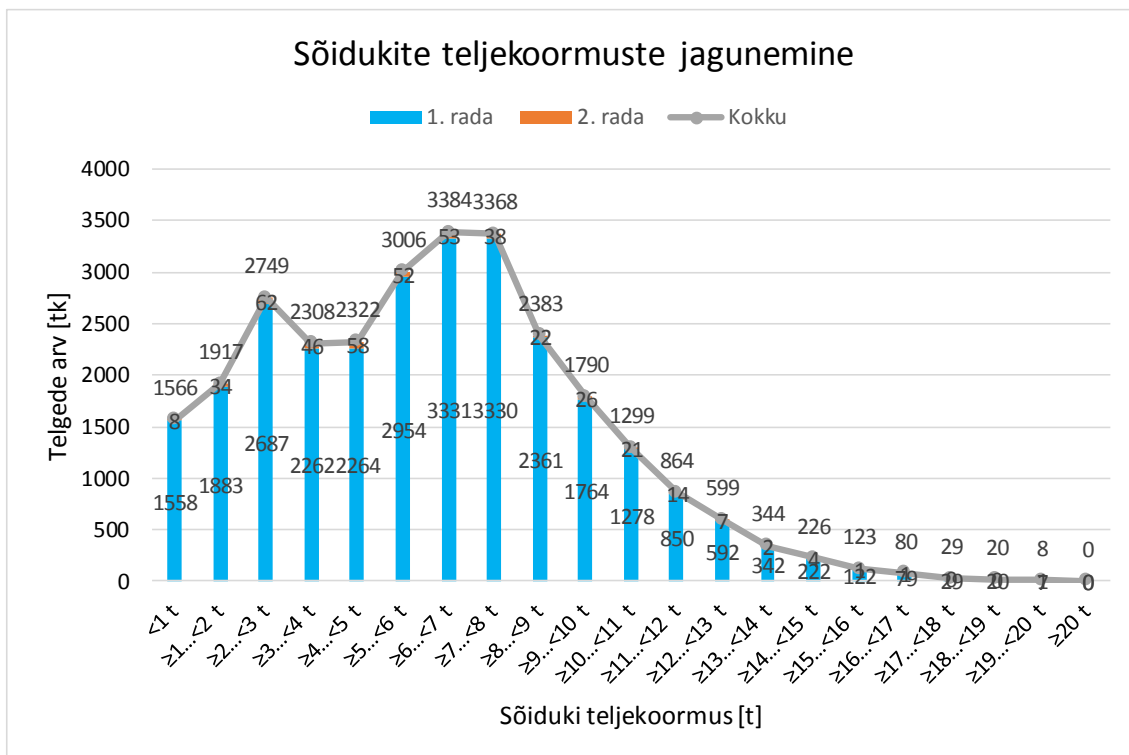


Joonis 161. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Maardu mõisa jalakäijate tunnel – Tallinna suund; 2018 august; 7 päeva)

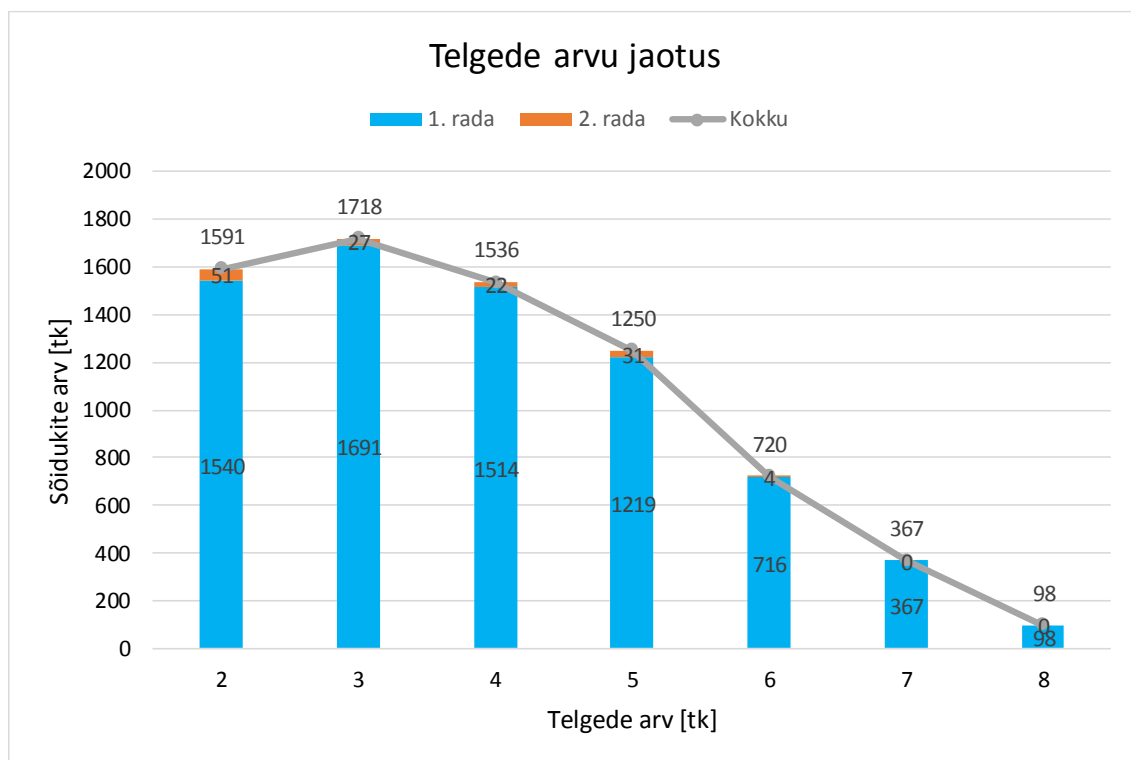
8.2.32. Maardu mõisa jalakäijate tunnel – Narva suund, 2. etapp



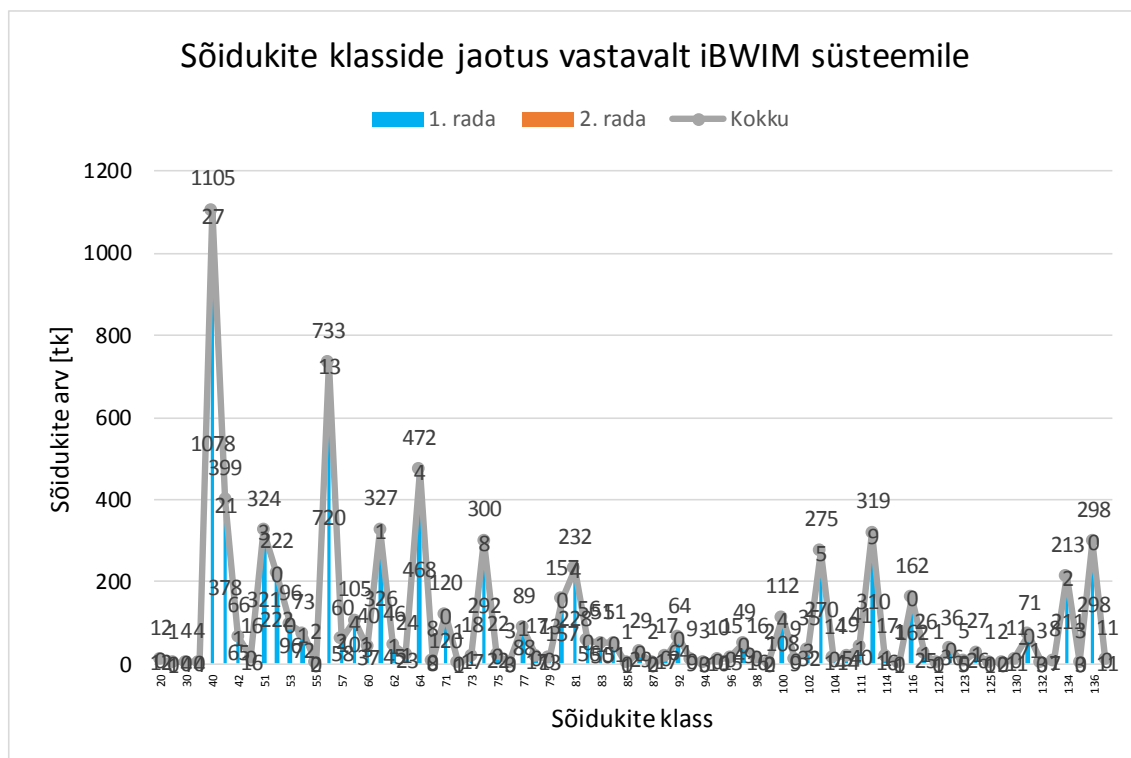
Joonis 162. Sõidukite kogumassi jaotus (Maardu mõisa jalakäijate tunnel – Narva suund; 2018 august; 7 päeva)



Joonis 163. Sõidukite teljekoormuste jagunemine (Maardu mõisa jalakäijate tunnel – Narva suund; 2018 august r; 7 päeva)



Joonis 164. Telgede arvu jaotus (Maardu mõisa jalakäijate tunnel – Narva suund; 2018 august; 7 päeva)



Joonis 165. Sõidukite klasside jaotus vastavalt iBWIM süsteemile (Maardu mõisa jalakäijate tunnel – Narva suund; 2018 august; 7 päeva)

9. ESMANE HINNANG ERINEVATE TELGEDE MÕJU KOHTA

9.1. Kaalusüsteemidest

Käesolevas projektis kasutatakse sildade alla kinnitatavaid andureid, mis on ühes kohas nädala ning mõõdetavad sillad paiknevad üle riigi erinevates piirkondades. Esmane analüüs sisaldab 12 mõõtepunkti andmed, kaalutud on kõik sõidukid, mille täismass on vähemalt 4000 kg. Seadmed kalibreeritakse iga mõõteseansi (ca nädal) paigaldamise järel enne mõõtmiste teostamist ning täpsuse teema on kirjeldatud aruande vastavas seadmeid kirjeldavas osas.

Teede Tehnokeskus kasutab kahe kaalupunkti andmeid, mis paiknevad Adaveres Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maanteel ning Luigel Tallinna ringteel. Kaalupunkti seadmed vastavad COST 323 alusel Class B(10) nõuetele, mille kohaselt täismassi täpsus on $\pm 10\%$ 95% tõenäosusega. WIM selle tüübi täpsuseks loetakse täismassis $\pm 10\%$, teljegrupi kaalus $\pm 15\%$ ja kiiruse skaalaks 5...180 km/h. Uuringus oleme kasutanud 2015 ja 2016 suveperioodi andmeid, kuna seadmestiku täpsus on parim kalibreerimisest (juuni alguses) kuni esimeste öökülmadeni. 2017 osas on võrreldud kogu aasta andmeid ja analoogiliselt eelnenuga ainult suviseid. Kalibreerimise käigus teostatakse ka kontrollkaalumised ning reaalselt väga üksikute telgede massi viga on ületanud 10% piiri, täismass jääb alati 10% sisse. Keskmiste kaalude analüüs näitab, et pärast külmade saabumist süsteemi täpsus kahaneb.

Siirdetegurite määramisel (2017) kasutati Muuga sadama tee kaalupunkti andmeid (2012) selleks, et määrata erinevate rehvitüüpide kasutus (single, supersingle, dual). Muuga sadama tee kaalupunkt määrab igale teljele ka vasak- ja parempoolse koormustsentri vahekauguse. Et sõidukitootjad püüavad maksimaalselt ära kasutada lubatud kogulaiuse, peegeldab koormustsentrite vahekaugus tegelikult kasutatud rehvitüüpe ja -mõõte. Tavarehvideks võib lugeda kuni 315 mm laiused, neid kasutatakse ka paarisratastel. Supersingle mõõdud on 385 ja 415 mm. Esinevad ka laiemad, 425 ja 445 mm, mis on konstrueeritud asendamaks paarisrataid veoteljel.

2019 kevadel on plaanis rakendada Pärnu maanteel Ääsmäe-Kernu teelõigul analoogiline süsteem Muuga sadama teega, mis võimaldab lisaks tavapärasele kaaluinfole eristada ka rehvitüübid (mõõdab koormustsentrite vahekauguse). Süsteem on erakätes ning integreeritud kaameraga analoogselt kiiruskaameratega ja eeldatavalt finantseeritakse selle rajamine ja ekspuaterimine ülekaaluliste sõidukite trahvisummadest. Pilootprojekti edu korral soovitakse seda laiendada ka teistele teedele.

9.2. Rehvi laiuse ja rehvisurve mõju analüüs

Arvestades ainult rehvi laiust ja rehvitüüpi, võrdleme üksikasetusega 285 mm, 315 mm ja 385 mm paarisasetusega 285 mm ja 315 mm rehvidega. Kõigil juhtudel eeldame, et tegemist on võrdselt 800 kPa rehvisurvega.

Taani eriveoste siirdeteguri algoritmi alusel (mis on aluseks ka täna kehtivate siirdetegurite juures), võtame arvesse rehvirõhu ja rehvi tüübi (laiuse) ning võrdleme saadud tulemusi katendiarvutuse standardtelje tingimustega (0,6 MPa rehvirõhk, 10 tonni telg paarisratastega).²⁷

²⁷ Kehtivad siirdetegurid on arvestatud eeldusel, et raskesõidukitel kasutatakse rehvisurvet 0,9 MPa (vt: Maanteeamet, 2015-8).

Tabel 9. Rehvi laiuse mõju

Rehvimustri laius, mm	256	285	315	365	385	425	445	dual
Suhteline tegur	3,99	3,46	2,91	2,19	2,02	1,68	1,25	1,00

Seda võib käsitleda ka paaris- ja üksikrataste mõjuna, mis on arvestatud ka VSN 46-83 normis ja selle derivaatides (ODN, KAP) asfaltbetooni tõmbepingete arvutuses. Paraku praktikas üksikratast arvutuslikuna ei käsitleta.

Tabel 10. Rehvirõhu mõju

Rehvirõhk, MPa	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Roobaste teke kattes	0,77	0,89	1,00	1,16	1,32
single mõju alusele	0,59	0,80	1,00	1,28	1,56
dual mõju alusele	0,72	0,86	1,00	1,18	1,35

Tabel 11. Erinevate kombinatsioonide arvestused

Telje mõju standardtelje (0,6 Mpa, paarisratas, 10 tonni) suhtes						
10 tonnine telg	285	315	385	425	445	dual
0,6 MPa	3,8	3,2	2,2	1,9	1,4	1,00
0,8 MPa	6,1	5,2	3,6	3	2,2	1,6
0,9 MPa	7,5	6,3	4,4	3,6	2,7	1,9
Veotelje (paarisratas, 11,5 tonni) mõju standardtelje suhtes						
11,5-tonnine telg	285	315	385	425	445	dual
0,6 MPa						1,7
0,8 MPa						2,9
0,9 MPa						3,3
Üksikratta (8 tonni) mõju standardtelje suhtes						
8-tonnine telg	285	315	385	425	445	dual
0,6 MPa	1,6	1,3	0,9	0,8	0,6	0,4
0,8 MPa	2,5	2,1	1,5	1,2	0,9	0,7
0,9 MPa	3,1	2,6	1,8	1,5	1,1	0,8

Võrdlusest selgub, et sama rehvisurve ja sama teljekoormuse (10 tonni) juures (0,8 MPa), on supersingli mõju kattele $3,6/1,6=2,25$ korda suurem kui paarisrattal. 8-tonnise teljekoormuse juures on erisus 2,1 kordne. Seega võib väita, et paarisrataste kasutuselevõtt leevendab koormust katendile vähemalt kaks korda.

Rehvirõhu osas on loomulikult lihtne võrrelda standardteljele normis ettenähtud rõhuga 0,6 MPa kuid tõenäoliselt ei ole loogiline nõuda rehvirõhku mis on madalam, kui rehvitootja ette näeb kui seda just seadusandluse tasemel ei reguleeritaks.

Järeldused 0,9 MPa rehvirõhule:

- enamlevinud super-single rehvi, 8-tonnise koormuse korral võrdub 1,8 standardteljega;
- enamlevinud super-single rehvi, 10-tonnise koormuse korral võrdub 4,4 standardteljega;
- paarisratastega 11,5-tonnise veotelg võrdub 3,3 standardteljega;
- paarisratastega 10-tonnise mittevedav telg võrdub 1,9 standardteljega;
- paarisratastega 8-tonnise mittevedav telg võrdub 0,8 standardteljega;

- Esiteljel levinud 315 mm rehvi 8-tonnise teljel võrdub 2,6 standardteljega.

9.3. Senise piirkoormuse ja uue võimaliku võrdlus

Võrreldud on siirdetegureid, lihtsustatud arvestusega, erinevate rehvirõhkude korral.

Tabel 12. Senise ja uue võimaliku piirkoormuse võrdlus

	2S3H	2S3H	2S3H	3S3H	3S3H	3S4H	4S3H	Avg	
	40 SS	44 SS	40 dual	48 dual	44 SS	52 dual	52 dual		
0,6	4,15	4,66	2,99	3,06	4,50	3,32	3,04	3,67	
0,8	6,72	7,56	4,86	4,98	7,27	5,40	4,95	5,96	1,62
0,9	8,03	8,87	5,65	5,76	8,75	6,27	5,74	7,01	1,91
	6,30	7,03	4,50	4,60	6,84	5,00	4,58		
		1,12	0,71	0,73	1,09	0,79	0,73		

Tabelist järeldub, et:

- Võrreldes seni enamlevinud konfiguratsiooniga (2S3H – 40 tonni), on kõik paarisratastega uue reglemendi järgsed kombinatsioonid katendile paremad, vahe on 21...29 protsenti, keskmiselt seega 25 protsenti. Seda eeldusel, et järgitakse täpselt lubatud koormusrežiimi.
- Rehvisurve tõstmine tasemelt 0,6 MPa (standardtelg) tasemele 0,8 MPa (tavapärane) tõstab koormust 1,62 korda ja tasemele 0,9 MPa (kasutatav, et varjata tegelikku ülekoormust) 1,91 korda.

9.4. Mõõtmistulemustest

Igal vedukil on reeglina vaid üks veotelg. Seega vaid ühe telje mass võiks olla 11,5 tonni. Kõigil ülejäänud telgedel on maksimaalne lubatud mass 10 tonni või vähem. Kuigi standardtelje rehvirõhuks arvestatakse 0,6 MPa, on tegelik rehvirõhk tavaliselt 0,8-0,9 MPa või isegi enam, sest suurema rõhuga jääb võimalik ülekoormus visuaalselt raskemini märgatavaks.

Analüüsitud on kokku 112886 sõiduki andmed, valimis on vähemalt 4-tonnise täismassiga sõidukid. Valimis esinesid kuni 11-teljelised kooslused. Analüüsiks on kajastatud kaalupunktid (vaatlused) nr 2...14 ja 17...31.

Tabel 13. Uuringu raames kaalutud sõidukid ja teljed

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
telg	112886	112886	86548	69457	47286	11310	2724	490	18	2	2
auto		26338	17091	22171	35976	8586	2234	472	16	0	2
%		23,3%	15,1%	19,6%	31,9%	7,6%	2,0%	0,4%			
10+t	4,8%	29,5%	11,3%	10,1%	12,5%	18,4%	8,9%	6,3%			
11,5+	2,5%	18,3%	7,2%	6,0%	6,6%	9,4%	3,8%	3,1%			
max	26,5	31,2	35,0	29,5	26,6	27,4	22,5	16,2			

Tabelis on toodud:

- vastavas positsioonis kaalutud telgede arv;
- kaalutud n-teljeliste autode arv;
- n-teljeliste autode osakaal kaalututest;
- vastavas positsioonis üle 10-tonniste telgede protsent;

- vastavas positsioonis üle 11,5-tonniste telgede protsent;
- maksimaalne fikseeritud teljekoormus.

Tabelites ei ole eristatud autobusse, kaalupunkti liigituse (Lisa - VC) järgi on nr 41 – kaheteljeline autobuss, mida oli kokku 10809 (40% kaheteljelistest kaalutud sõidukitest bussid) ja nr 56 – kolmeteljeline autobuss, mida oli 5779 (30% kolmeteljelistest kaalutud sõidukitest bussid).

Suure tõenäosusega võib väita, et neljateljeliste sõidukite hulgas paljud on ülestõstetud teljega viiesed (kaheteljeline veduk kolmeteljelise haagisega) – sellele viitab ka statistika analüüs (veokite läbisõit telgede arvu lõikes). Seega tegelik viieteljeliste vedukite arv on üle kolmandiku kaalutud sõidukitest. 9...11-teljelised on ilmselt olnud eriveostega seotud ja seetõttu põhimõtteliselt ebatüüpilised juhtumid. Nendel telgedel üle 10-tonnist teljekoormust ei esinenud.

Käsitledes 2...8-teljelisi eraldi (112868 sõidukit), teeme analüüsi kasutades AINULT teljekoormust, arvestamata rehvi laiuse, rehvirõhu ja paarisrataste kasutusega. Käesolevas ei ole eristatud veokeid bussidest, seega ei saa siit otsest siirdeteguriga seonduvat järeldust veel teha.

Täismassi jaotuse järgi on tulemused esitatud allolevas tabelis.

Tabel 14. Kaalutud sõidukid täismassi järgi ja analüüs

Täismass	telgede arv							Kokku
	2	3	4	5	6	7	8	
4...10	10215	1068	657	355	35	14	1	12345
10...20	13761	8119	9508	5936	617	129	23	38093
20...30	2185	5822	7342	9058	1140	253	39	25839
30...40	166	1746	3276	9480	1798	499	72	17037
40...50	11	319	1124	7940	2778	586	151	12909
50...60	0	17	208	2334	1448	495	124	4626
60...70	0	0	47	759	519	198	49	1572
70...80	0	0	9	97	243	52	12	413
80...90	0	0	0	13	7	8	1	29
90...100	0	0	0	4	1	0	0	5
Tk	26338	17091	22171	35976	8586	2234	472	112868
Osakaal	23%	15%	20%	32%	8%	2%	0%	
max lubatud t	19,5	28	38	42	48	52	52	
täismassi ülekaal (tk)	2591	2776	1775	9003	2677	638	160	19620
ülekaalulised %	10%	16%	8%	25%	31%	29%	34%	17%
Ülekaaluliste jaotus	13%	14%	9%	46%	14%	3%	1%	100%
ülekaaluliste nt	23589	38562	35555	84230	29229	6442	1376	218983
Normaalsed (a)	23747	14315	20396	26973	5909	1596	312	93248
normaalsete nt	12720	16267	26335	44591	12257	3260	529	115959
ülek % koormuses	65%	70%	57%	65%	70%	66%	72%	65%
ülek. tonnid	60547	93863	79252	446544	153135	38389	9608	881338
ülek.asendussõidukid	3105	3352	2086	10632	3190	738	185	23288
keskm.teg.siirdet.	1,379	3,206	2,792	3,581	4,832	4,343	3,53	
normkaaluliste.siirdet.	0,536	1,136	1,291	1,653	2,074	2,043	1,69	

ülekaaluliste siirdet.	9,104	13,89	20,031	9,356	10,919	10,1	8,6	
max.lub.massi siirdet.	1,872	2,872	3,361	2,718	2,243	2,053	1,12	
siirdet. kasutustase	74%	117%	83%	132%	215%	211%	315%	
normt.tegelikult nt	36309	54800	61889	128821	41486	9702	1668	334676
sama mass legal nt	18532	25894	33344	73487	19412	4776	736	176182

Lühenditest: nt – 10-tonniliste standardtelgede arv.

Maksimaalselt lubatava massiga sõiduki siirdetegurid on hüpoteetilised sõltudes tegelikult valitud kaalujaotusest telgede vahel lubatud täismassi piires.

Teadmata paaris- või üksikrataste kasutust on raske täpsemalt hinnata lubatud teljekoormuse ületamist (on võimalik eristada vedukid ja haagised, juhendada haagise lubatud täismassist, kuid see ei anna alust teljekoormuse hindamiseks, seetõttu saab võrrelda vaid 10/11,5 tonniga).

Arvestamata konkreetset rehvitüübi ja rehvisurvet ei saa kinnitada, et 6- ja enamateljelised veokid oleksid katendit vähem koormavad kui enamlevinud ja igati kriitiliseks kujunenud viieteljelise sadulrõng (SR2+3). Tõsi on, et kui need paljuteljelised oleksid koormatud lubatud koormuse piires (mida näitab tabeli rida „max.lub.massi siirdet.“), on 6- ja enamateljelised paremad. Tegelik koormuspilt seda üldse ei kinnita (tabeli rida „keskm.teg.siirdet.“).

Kui eeldada, et paljuteljelised kasutavad paarisrattaid ja väiksemat rehvisurvet kui viieteljelise sadulrõng, on võimalik, et pilt muutub, seda mitte paljuteljeliste osas, vaid võrdlusbaasi (viieteljelise sadulrõngi) tegelik siirdetegur tõuseb oluliselt.

Analüüsides tõenäolist lubatud teljekoormuse rikkumist, on eeldatud teise telje lubatud massi 11,5 tonni ja kõigil ülejäänud telgedel 10 tonni (kuigi reaalselt võib see piir olla väiksem). Lubatud teljekoormuse ületanud sõidukite statistika on esitatud järgnevas tabelis.

Tabel 15. Ülekaalulised teljed

Telgi\telg#	1	2	3	4	5	6	7	8	Kokku	%autod	%teljed
2	928	3502							26338	13,3%	8,4%
3	1594	2873	2144						17091	16,8%	12,9%
4	1255	2427	2064	1645					22171	10,9%	8,3%
5	1208	9721	3873	3339	4050				35976	27,0%	12,3%
6	352	1602	1370	1782	1458	1696			8586	20,8%	16,0%
7	95	463	253	194	351	292	182		2234	20,7%	11,7%
8	23	57	73	32	54	81	57	28	472	17,2%	10,7%
	5455	20645	9777	6992	5913	2069	239	28	51118	18,3%	11,5%

Järeldused kaalumistest:

- 1) Kaaluti 443613 telge, millest ülekaalulised olid 51118 telge (teise telje lubatud massiks arvestasime 11,5 tonni ja kõigil ülejäänud telgedel 10 tonni) – seega on ülekaalulised 11,5% kaalutud raskesõidukite telgedest. Vähemalt 18,3% kaalutud autodest on vähemalt ühe ülekaalulise teljega.
- 2) 17% kaalutud sõidukitest ületasid lubatud täismassi piirangut, viie- ja enamateljelistest 26% on lubatust suurema täismassiga, moodustades 64% ülekaalulistest.

- 3) kaalumistulemuste järgi 112868 sõidukit ja kokku 334676 normtelge tähendab keskmist üle 4-tonnise sõiduki siirdetegurit 2,97 (see ei võta arvesse rehvirõhu, rehvi mõõdu ja rehvi liigi mõju).
- 4) Asendades ülekaalulised (täismassi piir ületatud) sama telgede arvuga maksimaalse lubatud massiga sõidukitega, vajame 19620 ülekaalulise sõiduki asemel 23288 maksimaalse lubatud kaaluga sõidukit (tegelik lisavajadus on väiksem ja sõltub sõiduki kasuliku koorma suhtest täismassi) ning sel juhul moodustuks kogu normtelgede arv sama kogumassi piires 176182 telge ja keskmine siirdetegur kujuneks 1,56. Siit omakorda võib järeldada, et **tegeliku ülekoormamise tagajärjel koormatakse meie teid kaks korda suurema normtelgede arvuga, kui oleks vajalik sama kaubakoguse vedamiseks**, kuid see eeldab 17% ülekaaluliste sõidukite asendamist 21% maksimaalse lubatud täismassiga sõidukitega (lisanduks kokku 3668 sõidukit ehk 3,25%).

9.5. Statsionaarsete kaalupunktide andmевõrdlus

Võrreldud on täismassi ja teljekoormust Adavere ja Luige kaalupunktide andmetes, sõiduki telgede arvu järgi.

Tabel 16. Ülekaalulised raskeveokid statsionaarsete kaalupunktide andmetel

Näitaja	Sõiduki telgede arv							Kokku
	2	3	4	5	6	7	8+	
Max täismass	19,5	28	38	42	48	52	52	
0-4	4723,0	74,7	19,5	0,7	0,1			6306,7
4...max	387,1	127,8	320,0	490,0	63,8	9,3	0,3	1398,3
Üle max lubatu	6,3	5,7	3,1	64,7	18,0	5,4	0,3	103,6
Üle 10/11,5 t telg	15,1	12,0	16,7	75,4	11,6	2,6	0,1	133,5
Ülekoormus	15,7	12,5	16,8	95,2	20,5	5,6	0,3	166,6
% antud liigist	4,0	9,4	5,2	17,2	25,0	38,1	55,8	
% ülekaalulistest	9,4	7,5	10,1	57,1	12,3	3,4	0,2	

Kokku kaalutud 6,3 miljonist moodustasid raskesõidukid (üle 4 tonni täismass) 1,4 miljonit ehk 22%. Sellest 6,9% täismass oli suurem, kui telgede arvu järgi tohiks ja 8,9% oli vähemalt üks telg raskem, kui lubatud. **Kahe statsionaarse kaalupunkti tulemuste võrdlus projekti raames üle riigi hajutatult mõõdetuna on oluliselt erinev (7% vs 17% täismassis, 9% vs 18% teljekoormuses) mistõttu tänaste kaalupunktide mõõtetulemusi ei saa üheselt üldistada kogu raskeliiklusele kõigil teedel.**

Et kaalupunkt ei tee vahet, kas sõidukil oli ka mingi eriluba, mille alusel tohib täismass olla suurem, kui määrusega fikseeritud, siis ei saa me seda numbrit ka otseselt reeglite rikkujate arvuks pidada (tegelik protsent on ilmselt suurem, kuna osa näiteks 7-teljelistest, millele projekti järgi rakenduks 52 tonni piirang, ei ole projektiga liitunud).

Et suurel osal neist esines korraga ülekoormus nii täismassis kui teljekoormuses, võib ülekaalulisteks lugeda 11% raskesõidukitest. Võimalik, et andmestik sisaldab ka vigaseid kirjeid, sest kokku 1,5 miljoni raskesõiduki hulgas leidsid kokku 14 kirjet, mis viitasid üle 100 tonnisele veosele. Suurte eriveoste vedamiseks kasutatakse tavaliselt paljuteljelisi poolhaagiseid – 14-st 7 ehk pooled olid kuni 7-teljelised, mis tõenäoliselt ei seonu eriveostega. Ilma erilubadeta ei tohiks ükski veok kaaluda üle 52 tonni, kokku 2815 veokit olid üle 60 tonni ja neist omakorda 145 kuni 5-teljelised.

Võrreldes neid andmeid eelmiste aastate tulemustega (2015 ja 2016), saab tõdeda, et olulist muutust ei ole toimunud ning tõenäoliselt on vaid legaliseeritud kuni 52-tonnised veokid. Üldine pilt eelmiste aastate suhtes muutunud ei ole – eespool tabelis toodud piiride räigete ületamiste arv on jäänud samaks.

Võrdlus eelmiste aastatega näitab, et sõidukite struktuur ja ülekaalulisuse esinemine on üsna stabiilne – suvine raskeliikluse jaotus ei erine oluliselt aastakeskmisest.

Kahe tabeli omavahelisest võrdlusest võiks järeldada et ülekoormused väljaspool peateid (tegelikult ei saa kahe kaalupunkti tulemusi üldistada kogu peateevõrgule) on suuremad, mis omakorda võib olla seotud järelevalve geograafilise paiknemisega valdavalt peateedel.

Siit tuleneb aga raskem küsimus, kas siirdetegurid, mille alusel katendid dimensioneeritakse, tuleb koostada pelgalt statsionaarsete kaalupunktide andmete alusel või tuleks seda teha kogu riiki katva hajutatud andmestiku baasil. Vahe on normtelgedes arvestatuna väga suur, kuid juhul, kui katendi vajalik kandevõime leitakse logaritmilise seose abil, ei ole tegemist veel katastroofiga.

9.6. Siirdetegurite korrektuurist

Kuna rehvitüübi valik mõjutab siirdetegurit väga tugevalt (enamlevinud 385 mm laiuse super-singli mõju on 2,02 korda suurem kui standardteljel), saab siirdetegurite korrigeerimise ette võtta pärast Pärnu maantee (Ääsmäe-Kernu) eristava kaalupunkti kasutuselevõttu (plaanis 2019 kevadest) – seega kõige varem 2019. aasta lõpuks. Praegu kasutatavad rehvitüübi jaotuse andmed tuginevad Muuga sadama tee 2012. aasta andmetel ja pole piisavalt esinduslikud kehtiva süsteemi muutmiseks.

9.6.1. Vene uus katendijuhend ja trendid

Vene Föderatsioonis on välja antud uus elastsete teekatendite projekteerimisjuhend, PNST 265-2018 (eelstandard, katsekasutuseks) ning selles sisalduvad põhimõttelised muutused varasemate süsteemidega võrreldes:

- arvesse on võetud rehvirõhku, püsikatenditel 0,8 MPa ja teistel 0,6 MPa;
- püsikatenditel kasutatakse standardtelge 11,5 tonni;
- vajaliku elastsusmooduli arvutusel korrutatakse saadud tulem teguriga $1,15 - \sqrt{0,8/0,6}$.

Võrreldes meil kasutatavaid tegureid Vene Föderatsiooni 10-tonnise standardtelje teguritega, selgub, et sadulrongide osas hindavad VF eksperdid tegelikku koormust oluliselt karmimana. Sooloveokite osas on tegelik proportsioon 60/40 kahe- ja kolmeteljeliste vahel, neljateljeliste tegelik osakaal on väike (kaalumistulemustes sisalduvad neljateljelistena tõstetud teljega sõidukid). Vene keskmiseks VA2/3 osas kujuneks 1,94 mis on väiksem kui meil kasutatav keskmine sooloveokite tegur (2,67). Autorongide osas kujuneb sarnane kaalutud keskmine VF uues süsteemis 5,89 võrrelduna meie 3,76 tasemega. Ka 11,5 tonnisele teljele taandatuna on autorongide keskmine 4,56 mis on selgelt suurem kui meil pakutud tase. Juhime tähelepanu ka asjaolule, et autorongidel (veoauto + haagis) on väiksem siirdetegur kui sadulrongidel (veduk + poolhaagis) mis viitab poolhaagisel enamlevinud rehvikombinatsioonidele (eelistatakse super-single rehve) ja/või telgede ebasoodsamale vahekaugusele poolhaagistel võrreldes täishaagistega.

Tabel 17. Vene Föderatsiooni uute siirdetegurite võrdlus Eestis kehtivatega

	11,5 tonni (püsikatend)	10 tonni (kerge- ja siirdekateend)	EESTI	E-avg
SAPA	0,01	0,02		
VA2	0,60	1,11	1,5	2,67
VA3	2,49	3,18	2,56	
VA4	3,62	4,41	4,33	
VA2+2	1,81	2,98	4,23	3,76
VA3+2	2,15	4,03	4,35	
SR2+1	2,39	3,62	2,56	
SR2+2	4,13	5,56	4,23	
SR2+3	6,48	7,42	4,35	
SR3+2	4,70	6,15	4,35	
SR3+3	7,94	8,93	4,8	
AR7+	8,47	9,94	4,8	
AB	0,75	1,46	1,5	

Üks tõenäoline põhjus Eesti siirdetegurite erinevusest tuleneb ka asjaolust, et kaalupunktide andmete analüüsil ei pruugi busside eristamine veoautodest olla korrektne ehk võib see eristus koguni puududa. Et siirdetegur sõltub ka rehvisurve, tuleks arvestada et väiksematel sooloveokitel võib rehvisurve olla madalam (0,4-0,6 MPa) ja suurematel suurem (0,8 MPa ja enam), autorongidel on reeglina tegemist kõrgsurverehvidega, siis on tõenäoline, et sooloveokite siirdetegurit võiks veidi langetada (näiteks tasemele 2,0), autorongide oma aga kindlasti tõsta (vähemalt tasemele 5,0). Suuremat tähelepanu tuleks aga pöörata vajaliku elastsusmooduli (kandevõime) arvutusvalemile ja lisateguritele, mille tulemusena VF püsikatendi minimaalselt nõutav kandevõime on tõusnud vahemikust 180...260 MPa tasemele 250...330 MPa.

9.6.2. Veokite jaotus telgede arvu järgi (läbisõit)

Statistikaameti aruandes TS52 (2017 andmed) on Eesti registris olevate veokite läbisõidud, mida on kasutatud ka eelnenud siirdetegurite analüütilises uuringus. Käesolevas toome välja ainult need kombinatsioonid, mida statistiliselt eristatakse (piisav valim). Kokku läbisõit 433 miljonit kilomeetrit jaguneb:

- 2-teljelised veoautod (VA2) – 25 (5,8%/+);
- 3-teljelised veoautod (VA3) – 24 (5,5%/-);
- Muu-teljelised veoautod (VA5+) – 2 (0,6%/+) – ei sisalda VA4;
- 3-teljelised veoautod 2-teljelise haagisega (VA3+2) – 13 (2,9%/-);
- 3-teljelised veoautod 3-teljelise haagisega (VA3+3) – 16 (3,6%/+);
- Muu veoauto haagisega (VAx+y) – 9 (2,1%/+) ei sisalda VA2+y ja VA3+4;
- 2-teljelised vedukid 2-teljelise haagisega (SR2+2) - 11 (2,6%/+);
- 2-teljelised vedukid 3-teljelise haagisega (SR2+3) - 258 (59,6%/-);
- 3-teljelised vedukid 3-teljelise haagisega (SR3+3) – 69 (16,0%/+).

Edasise analüüsi kontekstis on otstarbekas valimit veelgi kitsendada, välistades mõlemad „muu“ kategooriad, kuna nendele ei ole võimalik üheselt määratletud jaotust sätestada. Sadulrõngide läbisõit moodustab kogu veokite läbisõidust jätkuvalt üle 78%. Statistiline jaotus sisaldab Eesti veokite liiklust mujal, kuid ei sisalda mujal registreeritud sõidukite liiklust Eestis – võime vaid oletada et need kaks on omavahel tasakaalus. Seda jaotust saab kasutada siirdetegurite taandamiseks grupikeskmisteks, samuti on mõistlik kahandada ka loendustel eristatavat liigilist jaotust.

KOKKUVÕTE

Käesoleva projekti raames teostatud kaalumised ei kinnita oletust, et paljuteljelised veokid (48/52 t) katendit vähem kahjustavad võrreldes EL regulatsioonist lähtuvate piirangutega (40/44 t) tulenevalt tegelikult vastavas sõidukiliigis esinenud ülekoormusele. Analüüs ei võimalda teha järeldusi kasutatud rehvide liigi (paaris/supersingle) ega rehvisurve kohta, mis võiks järeldust leevendada.

Saab kinnitada, et juhul, kui kõik raskesõidukid järgivad lubatud koormuste piirväärtusi, on 6- ja enamateljelised raskeveokid katendit vähem kahjustavad, kuigi ka siin on aspekt, mis mõjub eriti nõrgematele katenditele – järgnevate telgede koormuste kumuleeruv mõju, kuna katend ei taastu eelmise telje deformatsioonist enne järgmise koormuse rakendamist, mida ei ole käesolevas analüüsis arvestatud (sellele kahjustuste faktorile viitavad Saarenketo tööd). Samas tuleb tähelepanu juhtida asjaolule, et paksemad asfaltkatted taastuvad oluliselt kiiremini, seega oht on eelkõige teedele, millised ei kuulu põhivõrku, mille asfaltkatte tegelik paksus on oluliselt alla 20 cm.

Ülekaaluliste sõidukite osakaal projekti raames kaalututes on palju suurem sellest, mis fikseeritud statsionaarsetes kaalupunktides, millest saab järeldada, et kaht statsionaarset kaalupunkti läbiv koormus ei peegelda piisavalt hästi Eesti teedel tegelikult liikuvat koormust. Põhjuseks on ebapiisav järelevalve ja juhul, kui ümarpuidu eriveoste pilootprojekti raames rakendatud suuremat lubatud koormust tegelikult järgiti (peeti kinni piirangutest), on tegemist ülekaaluliste sõidukitega, millised ei osalenud pilootprojekti. **Siit tulenevalt ei pea konsultant võimalikuks eriveoste projekti laiendamist enne, kui suudetakse järgida lubatud piiranguid.** Samas on projekti jätkamine mõistlik, kuna see seondub üheselt veotehnikasse tehtud investeeringutega.

Edasist analüüsi vajab erinevates veokigruppides alternatiivsete lahenduste kasutamise võimalikkus ja sobilikkus – seda eelkõige kolmeteljelise super-single telikuga poolhaagiste asendamise aspektist kuna need moodustavad lõviosa kogu veomahust.

Kaalumistulemuste edasise analüüsiga on võimalik paremini eristada ümarpuidu veoks kasutatud paljuteljelisi (enam kui 5 telge) sõidukeid ja neid võrrelda, kuid see eeldab täiendavat analüüsitööd ja aega.

Hinnangud suuremate masside mõjust teedele tuginevad samas ka teatud eeldustele lubatud reglemendist kinnipidamise kohta. Nii võib selgelt tõestada, et 52-, 60- ja 70-tonnised koormused on meie peateedele võimalikud juhul, kui telgede arvu tõstetakse, lubatud täismassi- ja teljekoormustest kinni peetakse ja sel eeldusel sama veosemahu (kasuliku koormuse) juures summaarne mõju katendile võib olla leebem, kui tänase koormusrežiimi korral. Paljuteljelise koormuse mõju nõrgematele katenditele võib aga need eelised tühistada – kõrvalmaanteede konstruktsioon suure tõenäosusega ei taastu koormusprotsessis ja deformatsioonid kumuleeruvad.

Siirdetegurite korrektuur on vajalik, kuid see peaks tuginema uuematel andmetel kasutatud rehvitüüpide kohta mis laekuvad uue, Ääsmäe-Kernu lõigule kavandatud kaalupunktiga. Seega teadustöös toodud tegurite asendamist hetkel ei soovita.

SUMMARY

BWIM weigh results do not confirm the idea of smaller load impact to pavements of vehicles with 6 or more axles due to actual overload in terms of gross weight and axle load. Current work has not recorded used tyre types and pressure levels, which may change the conclusion.

We can confirm, that in case, the max limits are not exceeded, 48 tons for 6 axle and 52 tons for 7+ axle configuration are more road-friendly than standard two-axled tractor with tridem-equipped trailer.

However, the increase of number of axles has no negative impact for thicker pavements (main roads), it has on lower roads with thin pavements during wet seasons, when deformation from the axle load does not reach to subside before next load, thus cumulative effect of additional axles may destroy the pavements faster than current practice.

Comparison of stationary WIM results from two state WIM stations (2015-2017) with the project results indicates, that overload in terms of gross weight and axle load measured within the project, is about twice higher. Therefore, the WIM results are not describing actual loads adequately.

In case, the overload issue cannot be restricted, it is not possible to recommend extension of the project to other sectors. However, continuation of project can be recommended based on investments already done.

Regarding to extension, special attention should be drawn to available technical options to replace most dangerous configurations of twin-axle tractor with tridem-semitrailer as this is the most common configuration on our roads.

Further analyze is necessary to better separate project-vehicles from usual fleet, to compare the results and impact.

Only in case, overload will be restricted to few percents, higher gross weight can be recommended, but obviously not on secondary road network.

Correction of load transformation factors (from vehicle to standard axles) is necessary, but it should be based on data on actual use of different tyre types which expectedly be available after implementation of new WIM on Ääsmäe-Kernu section from spring 2019.

MÄRKUSED

- Uuringu käigus kogutud andmed on toodud elektroonilistes tabelites. Tabelitest on eemaldatud andmed, mis kontrolli tulemusel osutusid valesti fikseerituks (kaks järjestikkust autot loetud üheks autoks jne. Täpsem loetelu on toodud eespool)
- iBWIM süsteemi mõõteviga jääb tavaoludes 10...15% piiresse
- Lisaks mõjutab mõõdetud tulemuste täpsust oluliselt tavalisest sõidutrajektooriga kõrvalekaldumine, sõidudünaamika jms.
- Tulemuste tabelites toodud väärtusi ei ole mõõtmisvigade osas korrigeeritud.
- Andmeanalüüsi omavaheliseks võrdlemiseks on põhjaruandes võetud sama pikkusega perioodid (7 päeva)
- Siirdetegurite korrektuur eeldab, et on olemas täpsem info tegelikust rehvitüüpide kasutusest erinevatel sõidukiliikidel (gruppidel). See info peaks tekkima uue kaalupunkti käikuandmisega Ääsmäe-Kernu lõigus 2019 kevadel.
- iBWIM süsteem fikseerib ja loendab teljed, mis on kokkupuutes teekattega
- Probleem ülestõstetud telgede kontekstis vajab võrdlusuuringut, et hinnata sõidukite liikumist liikide vahel (täis/tühi ehk kõik rattad maas vs tõstetud teljed), sest siirdetegureid saab käsitleda ja kasutada erinevate lähteandme-liikide baasil. Ka gruppide keskväärtuste leidmiseks on seda vaja.

LISA 1 – SÕIDUKITE KLASSIFIKATSIOON (IBWIM)

Sõidukid on jaotatud järgmistesse gruppidesse (*Vehicle Group* – VG), mis omakorda jagunevad klassidesse (*Vehicle Class* – VC):

- 0 – mootorrattad ja sõiduaudod;
- 1 – 2-teljelised sõidukid;
- 2 – 3-teljelised sõidukid;
- 3 – sõiduk koos haagisega;
- 4 – sõiduk koos poolhaagisega;
- 5 – buss;
- 6 – tundmatu sõiduk.

Tabelis nimetamata mõõtmisel registreeritud sõidukiklassid kuuluvad sellele eelnenud klassi (tegemist on nn alamklassiga)

BRIME	COST	VG	VC	Axle	Schema		L	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
-	8	0	10	2		Min	0.9	0.90						
						Max	2.0	2.00						
-	1	0	20	2		Min	2.0	2.00						
						Max	2.8	2.80						
-	1	0	21	3		Min	4.4	2.00	2.40					
						Max	9.8	2.80	7.00					
-	1	0	22	4		Min	5.3	2.00	2.40	0.90				
						Max	11.1	2.80	7.00	1.25				
-	1	0	30	2		Min	2.8	2.80						
						Max	3.1	3.10						
-	1	0	31	3		Min	5.2	2.80	2.40					
						Max	10.0	3.00	7.00					
-	1	0	32	4		Min	6.1	2.80	2.40	0.90				
						Max	11.3	3.00	7.00	1.25				
1	2	1	40	2		Min	3.1	3.10						
						Max	5.1	5.10						
-	8	1	42	2		Min	1.4	1.40						
						Max	2.0	2.00						
2	3	2	50	3		Min	3.7	2.80	0.90					
						Max	5.3	4.00	1.25					
2	3	2	51	3		Min	4.1	2.80	1.25					
						Max	5.8	4.00	1.75					
2	3	2	52	3		Min	4.6	2.80	1.75					
						Max	6.4	4.00	2.40					
2	3	2	53	3		Min	4.9	4.00	0.90					
						Max	6.6	5.30	1.25					
2	3	2	54	3		Min	5.3	4.00	1.25					
						Max	7.1	5.30	1.75					
2	3	2	55	3		Min	5.8	4.00	1.75					
						Max	7.7	5.30	2.20					
3	3	2	57	4		Min	4.0	0.90	2.20	0.90				
						Max	10.6	2.20	6.00	2.40				
3	3	2	57	4		Min	4.9	3.10	0.90	0.90				
						Max	10.8	6.00	2.40	2.40				
-	6	3	60	3		Min	6.4	4.00	2.40					
						Max	15.3	5.30	10.00					
3	6	3	61	4		Min	9.9	3.00	6.00	0.90				
						Max	20.4	8.00	10.00	2.40				
3	6	3	62	4		Min	7.8	3.00	2.40	2.40				
						Max	27.8	8.00	9.90	9.90				
-	8	3	63	3		Min	3.8	1.40	2.40					
						Max	12.0	2.00	10.00					
-	6	3	64	4		Min	4.7	1.4	2.40	0.90				
						Max	22.0	2.00	10.00	10.00				
4	6	3	70	5		Min	7.9	2.20	2.40	2.40	0.90			
						Max	26.8	6.50	10.00	9.00	1.25			

BRIME	COST	VG	VC	Axle	Schema		L	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
4	6	3	71	5		Min	8.3	2.20	2.40	2.40	1.25			
						Max	27.3	6.50	10.00	9.00	1.75			
4	6	3	72	5		Min	8.8	2.20	2.40	2.40	1.75			
						Max	27.9	6.50	10.00	9.00	2.40			
4	6	3	73	5		Min	7.3	2.20	2.40	0.90	1.75			
						Max	28.3	6.50	10.00	1.75	10.00			
3	6	3	74	5		Min	7.5	3.30	6.00	0.90	0.90			
						Max	20.0	6.50	10.00	1.75	1.75			
-	6	3	75	6		Min	8.8	2.20	2.40	0.90	2.40	0.90		
						Max	28.2	6.50	8.00	2.40	11.00	1.75		
-	6	3	76	6		Min	9.7	2.20	2.40	0.90	2.40	1.75		
						Max	28.8	6.50	8.00	2.40	11.00	2.40		
-	6	3	77	6		Min	8.8	2.20	2.40	2.40	0.90	0.90		
						Max	25.3	6.50	8.00	6.00	24.40	24.40		
-	6	3	78	7		Min	9.7	2.20	2.40	0.90	2.40	0.90	0.90	
						Max	27.7	6.50	8.00	2.40	6.00	2.40	2.40	
-	6	3	79	7		Min	11.2	2.20	2.40	0.90	2.40	2.40	0.90	
						Max	33.3	6.50	8.00	2.40	6.00	8.00	2.40	
-	6	3	80	4		Min	6.60	3.30	0.90	2.40				
						Max	19.40	7.00	2.40	10.00				
4	6	3	81	5		Min	10.00	2.20	0.90	6.00	0.90			
						Max	20.50	7.00	1.75	10.00	1.75			
4	6	3	82	5		Min	10.90	2.20	0.90	6.00	1.75			
						Max	21.20	7.00	1.75	10.00	2.40			
4	6	3	83	5		Min	9.30	3.60	0.90	2.40	2.40			
						Max	26.80	6.00	1.75	10.00	9.00			
4	6	3	84	6		Min	11.60	2.50	1.25	6.00	0.90	0.90		
						Max	22.90	7.00	2.40	10.00	1.75	1.75		
-	6	3	85	8		Min	14.40	0.90	0.90	3.60	0.90	5.00	0.90	
						Max	33.4	2.20	6.00	2.40	9.00	2.40	9.00	2.40
4	6	3	90	6		Min	8.80	2.20	0.90	2.40	2.40	0.90		
						Max	23.10	4.00	2.40	8.30	6.00	2.040		
4	6	3	91	6		Min	10.60	4.00	0.90	2.40	2.40	0.90		
						Max	26.10	7.00	2.40	8.30	6.00	2.40		
4	6	3	92	6		Min	8.20	2.20	0.90	2.40	0.90	1.75		
						Max	30.80	7.00	2.40	9.00	2.40	10.00		
-	6	3	93	7		Min	9.10	2.20	0.90	2.40	0.90	1.75	0.90	
						Max	33.60	7.00	2.40	0.90	2.40	11.00	1.75	
-	6	3	94	7		Min	9.90	2.20	0.90	2.40	0.90	1.75	1.75	
						Max	34.20	7.00	2.40	9.00	2.40	11.00	2.40	
-	6	3	95	7		Min	9.70	2.20	0.90	2.40	2.40	0.90	0.90	
						Max	30.10	7.00	2.40	9.00	8.00	2.40	1.25	
-	6	3	96	7		Min	10.10	2.20	0.90	2.40	2.40	0.90	1.25	
						Max	31.20	7.00	2.40	9.00	8.00	2.40	2.40	
-	6	3	97	8		Min	10.60	2.20	0.90	2.40	2.40	0.90	0.90	0.90
						Max	33.60	7.00	2.40	9.00	8.00	2.40	2.40	2.40
-	6	3	98	8		Min	10.60	2.20	0.90	2.40	0.90	2.40	0.90	0.90
						Max	33.60	7.00	2.40	9.00	2.40	8.00	2.40	2.40
	6	3	98	7		Min	10.70	0.90	2.00	0.90	3.60	2.40	0.90	

BRIME	COST	VG	VC	Axle	Schema		L	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
						Max	27.40	2.40	4.20	2.40	8.00	8.00	2.40	
-	4	4	100	3		Min	5.00	2.60	2.40					
						Max	15.30	5.30	10.00					
-	4	4	102	4		Min	5.50	2.60	2.00	0.90				
						Max	14.30	7.00	6.00	1.25				
-	4	4	103	4		Min	5.50	2.20	2.00	1.25				
						Max	14.80	7.00	6.00	1.75				
-	4	4	104	4		Min	6.00	2.20	2.00	1.75				
						Max	15.40	7.00	6.00	2.40				
-	5	4	110	5		Min	6.00	2.20	2.00	0.90	0.90			
						Max	13.50	5.00	6.00	1.25	1.25			
-	5	4	111	5		Min	6.40	2.20	2.00	0.90	1.25			
						Max	14.00	5.00	6.00	1.25	1.75			
-	5	4	112	5		Min	6.90	2.20	2.00	0.90	1.75			
						Max	14.70	5.00	6.00	1.25	2.40			
-	5	4	113	5		Min	6.40	2.20	2.00	1.25	0.90			
						Max	15.20	5.00	6.00	2.40	1.75			
-	5	4	114	5		Min	7.20	2.20	2.00	1.25	1.75			
						Max	19.80	5.00	10.00	2.40	2.40			
-	8	4	115	6		Min	8.00	2.20	2.00	1.25	1.25	1.25		
						Max	16.30	5.00	6.00	1.75	1.75	1.75		
-	8	4	116	6		Min	8.00	2.20	2.00	1.25	1.25	1.25		
						Max	24.60	5.00	10.00	2.40	3.60	3.60		
3	4	4	120	5		Min	6.00	2.20	0.90	2.00	0.90			
						Max	16.00	7.00	1.25	6.00	1.75			
3	4	4	121	5		Min	6.90	2.20	0.90	2.00	1.75			
						Max	16.70	7.00	1.25	6.00	2.40			
3	4	4	122	5		Min	6.40	2.20	1.25	2.00	0.90			
						Max	17.20	7.00	2.40	6.00	1.75			
3	4	4	123	5		Min	7.20	2.20	1.25	2.00	1.75			
						Max	18.40	7.00	2.40	6.00	3.00			
3	5	4	130	6		Min	7.30	2.20	0.90	2.40	0.90	0.90		
						Max	16.9	5.00	1.25	7.00	2.40	1.25		
3	5	4	131	6		Min	7.70	2.20	0.90	2.40	0.90	1.25		
						Max	17.40	5.00	1.25	7.00	2.40	1.75		
3	5	4	132	6		Min	8.20	2.20	0.90	2.40	0.90	1.75		
						Max	18.10	5.00	1.25	7.00	2.40	2.40		
3	5	4	133	6		Min	7.70	2.20	1.25	2.40	0.90	0.90		
						Max	18.10	5.00	2.40	7.00	2.40	1.25		
3	5	4	134	6		Min	8.00	2.20	1.25	2.40	0.90	1.25		
						Max	18.60	5.00	2.40	7.00	2.40	1.75		
3	5	4	135	6		Min	8.50	2.20	1.25	2.40	0.90	1.75		
						Max	19.20	5.00	2.40	7.00	2.40	2.40		
-	8	4	136	7		Min	6.7	2.20	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
						Max	26.6	5.50	2.40	9.50	2.80	2.80	3.60	
-	7	5	41	2		Min	5.3	5.30						
						Max	7.5	7.50						
-	7	5	56	3		Min	6.2	5.30	0.90					
						Max	9.8	8.00	1.75					
-	7	5	101	3		Min	7.1	5.30	1.75					
						Max	18.0	8.00	10.00					
-	9	6	140					0						

LISA 2 – KOKKUVÕTE LIIKLUSSEADUS § 261'1 JA § 261'2 RIKKUMISTEST

Detailne jaotus valdade lõikes on esitatud eraldi failina.

Maakond	2014	2015	2016
Harju (v.a. Tallinn)	195	157	209
Tallinn	46	38	79
Hiiu	5		1
Ida-Viru	82	59	77
Jõgeva	41	39	49
Järva	61	59	31
Lääne	10	22	27
Lääne-Viru	153	74	79
Põlva	26	29	22
Pärnu	99	74	101
Rapla	22	12	15
Saare	4	3	4
Tartu	128	222	209
Valga	34	23	44
Viljandi	29	33	29
Võru	73	98	98
KOKKU	1008	942	1074