



Tänapäeva ja tuleviku rakendused sõidukite kaalumisel, sõidukite masside jälgimissüsteemi loomine ja jälgimine reaajas

PÕHIARUANNE

Projektijuht: Tanel Jairus

Töö on koostatud Maanteeameti teehoiu arendamise osakonna tellimusel

Tallinn
2020

Projektijuht:

Tanel Jairus, AS Teede Tehnokeskus

Töös osalesid:

Stanislav Metlitski, AS Teede Tehnokeskus

Kristjan Annus, Fleet Complete Eesti OÜ

Siim Lääne, Fleet Complete Eesti OÜ

© Maanteeamet, 2020

Töö tellija on Maanteeamet, kuid töö tulemus ei pea olema kooskõlas Maanteeameti seisukohaga ega väljenda Maanteeameti poolt heakskiidetud arvamusi. Vastutus antud dokumendis toodud informatsiooni ja esitatud arvamuste eest lasub täies mahus töö teostajal. Tööd võib vabalt tervikuna tasuta kasutamiseks välja anda või tsiteerida allikale viidates.

Sisukord

Sisukord	3
Sissejuhatus	4
Kasutatud normatiivdokumendid	6
Huvigrupid ja arengusuunad	7
Õhkvedrustusel põhineva pardakaalusüsteemi kirjeldus	8
Muud pardakaalusüsteemid	9
Seireks sobilike sõidukite valimine	10
Esimese etapi arendused	15
Teise etapi arendused	17
Andmeedastus sõiduki enda seadmetes	18
Andmeedastus sõidukile paigaldatud kolmanda osapoole seadmetes	18
Andmete lugemine GPS-jälgimise seadme poolt	19
Andmestik	19
Kontrollkaalumine	20
Teljekoormuskaalud	21
Kaalumise tulemused	22
Tulemuste analüüs	24
Kaaluanalüüs	24
Sõitude analüüs	28
Teljekoormuste modelleerimine	30
Pardakaalusüsteemi mõõtetäpsus	30
Tegelike masside jaotus	33
Teljekoormuste jaotus	35
Koorma massi jaotus	36
Keskmine kütusekulu ja CO ₂ emissioon	36
Kokkuvõte	38
Summary	40
Allikad	42

Sissejuhatus

Transpordis ehk veonduses üldiselt on üks olulisemaid näitajaid veomaht, mida mõõdetakse tonnkilomeetrites. Teisisõnu, mitu tonni kaupa on mitme kilomeetri jagu liigutatud. Vedude puhul on erilise tähtsusega aeg ja kauba liigutamisega seotud kulud. Kuna juhtide tööaeg ja autode maksimaalne sõidukiirus on piiratud, siis võimalik kilomeetrite arv on üsna järgalt paigas. Ööpäevas on 24 tundi ja veokid on reeglina tehasest piiratud kiiruseni 90 km/h ja see tähendab, et maksimaalne läbisõit päevas ühe veoki kohta ei saa ületada 2160 kilomeetrit. Seetõttu on loomulik, et tootlikkuse tõstmise nimel vaadatakse eelkõige koorma kaalu poole ja tõstetakse korraga veetavate tonnide hulka.

Aja jooksul on veoautode kandevõime järjest kasvanud. Eelmise sajandi esimesel poolel oli Eestis pea ainus raskete autovedude teostaja Eduard Poola veoäri, kuna kellelgi teisel ei olnud sobivat tehnikat vedamaks koormaid kaaluga 15 tonni. Täna võib portaalist Auto24 leida 184 veoautot, mille kandevõime algab sellest piirist. Autotootjad pakuvad uutena veokeid, mis on võimelised liikuma massiga üle 100 tonni.

Teed ja sillad on projekteeritud kandma kindla massiga ja teljekoormusega sõidukeid. Suuremate koormuste juures väheneb nende eluiga oluliselt. Seetõttu on teede ja sildade omanikule oluline jälgida kehtestatud massipiirangute nõuete täitmist, samal ajal seirates ka üldist sõidukite kaalude muutust. Maanteeamet on sellel eesmärgil rajanud statsionaarseid *weigh-in-motion (WIM)* tüüpi kaalupunkte ja tellinud erinevaid uurimistöid antud teemal. Ühelt poolt on tegu sisendiga järelevalve planeerimisel, kuid olulisemana saab sellel põhineda regulatsioonide ja teehoiukavade tegelike vajadustega kooskõlla viimine. Praegu projekteeritakse teekatteid vastavalt prognoositud keskmisele liiklusele. Kui on olemas detailne andmestik teljekoormuste kohta, saab projekti kohandada vastavalt konkreetse asukoha liikluse iseärasustele. Eestis on juba loodud lihtsustatud veoloa süsteem, mis hõlmab GIS lahendust lubatava teedekihi loomiseks ja digitaalset veoselehe ja sõiduki asukoha kontrolli. Talvine „roheline teede“ ja aastaringne „lillade teede“ kaardikiht on omaks võetud nii avaliku kui erasektori poolt. Mõlemad kaardikihid arvutatakse dünaamiliselt ringi, kasutatakse sisendina kehtivaid massipiiranguid ja sildade seisukorda. Talviste teede kaardil on lisaks veel teekonstruktsiooni külmumise andurite andmestik. Tulemuseks on pidevalt ajas uuenev teedevõrk, mida mööda saavad vedajad sõita lihtsustatud korras ühe eriveo loaga.

Käesoleva töö eesmärk on välja selgitada võimalused kasutada kaasaegseid telemeetria ja telemaatikalahendusi veokite masside seiramiseks. Vastavalt (EL) 2015/719 direktiivile igal Euroopa Liidu liikmesriigil hiljemalt 27/05/2021 tuleb otsustada ja võtta kasutusele erimeetmed ülekaaluliste sõidukite tuvastamiseks ja kontrollimiseks. Erimeetmetena on pakutud statsionaarsed kaalumissüsteemid, kus sõidukit kaalutakse teekattesse paigaldatud seadmetega ning sõiduki pardakaalusüsteemid. Statsionaarsete kaalupunktide rajamine on kallis ja järelevalve raames sõidukite kaalumine töömahukas. Süsteemse sõidukite masside seireks tuleks rajada hulgaliselt kaalupunkte ning piirata alternatiivsete transpordi marsruutide kasutamist. Samas juba täna kõik suuremad veoautode tootjad varustavad sõiduki õhkvedrustussüsteemi anduritega, millelt saadava info alusel suudab juhtseade reguleerida vedrustust vastavaks teeoludele. Kuna õhkpatjadele avalduv surve on otseselt seotud teljekoormusega, on võimalik selle põhjal arvutada nii teljekoormuseid kui nende summana sõiduki täismassi ilma täiendavaid seadmeid paigaldamata. Käesolev uurimistöö on suunatud veokite enda pardakaalusüsteemidega seotud probleemidele ja nende süsteemide poolt loodud andmestikule. Esimese sammuna on tarvis hinnata sellise andmestiku kvaliteeti ja kasutatavust ning pikemas perspektiivis hinnata selle andmestiku sidumise võimalusi teekasutustasu või raskeveokimaksu määraga, andes eeliseid nendele vedajatele, kelle tegevus on maanteede ja

sildade eluea suhtes soodsaim. Juba mainitud kaardikihid koos operatiivse massipiirangute ja tegelike koormuste jaotusega andmestikuga võimaldavad kõikidele osapooltele laiemad võimalused kauba ja inimeste vedamiseks tagades samas ausa konkurentsi ja teedevõrgu säilimise.

Töö jagunes kaheks etapiks. Esimeses etapis katsetati kaaluandmete kauglugemist erinevate sõidukitega, mille hulgast valiti viis täpsemaks analüüsiks ja kontrollkaalumisteks. Tegevuse käigus ilmnunud tehnilised ja tarkvaralised probleemid koos esialgse andmeanalüüsiga esitati vahearuandena. Teises etapis tehti täiendavad arendused ja keskenduti põhjalikumale andmeanalüüsile.

Kasutatud normatiivdokumendid

Eestis käsitlevad vastavat teemat järgmised õigusaktid:

Autoveoseadus - sätestab autoveo korraldamise ning veokorraldaja ja autojuhi koolituse korraldamise alused, veoseveo korraldaja ja veose saatja kohustused, nõuded veoseohutusele, nõuded autovedu teostavale autojuhile, vastutus nõuete rikkumise eest ning riikliku järelevalve korraldus.

<https://www.riigiteataja.ee/akt/126062018023?leiaKehtiv>

Eriveo tingimused ning eriveo teostamise ja erilubade väljaandmise kord ning tee omanikule tekitatud kulutuste hüvitamise, eriloo menetlustasu ja eritasu määrad - sätestab eriveo tingimused, sealhulgas nõuded suur- ja raskeveose tähistamisele, ning eriveo teostamise ja erilubade väljaandmise korra, samuti tee omanikule tekitatud kulutuste hüvitamise, eriloo menetlustasu ja eritasu määrad.

<https://www.riigiteataja.ee/akt/109092015002?leiaKehtiv>

Liiklusseadus - sätestab liikluskorralduse Eesti teedel, liiklusreeglid, liiklusohutuse tagamise alused ja põhinõuded, tee omaniku kohustused ja teede rahastamise, teekasutustasu tasumise tingimused ja määrad, mootorsõidukite, trammide ja nende haagiste ning maastikusõidukite registreerimise ja neile esitatavad nõuded, juhtimisõiguse andmise, mootorsõidukijuhi töö- ja puhkeaja ning liiklusregistri korraldamise ja pidamise nõuded ning vastutuse liiklusreeglite rikkumise eest.

<https://www.riigiteataja.ee/akt/115032019009?leiaKehtiv>

Mootorsõiduki ja selle haagise tehnonõuded ning nõuded varustusele - reguleerib teeliikluses osaleva mootorsõiduki ja selle haagise ning pukseeritava seadme (edaspidi koos sõiduk), välja arvatud traktor, liikurmasin ja nende haagised, tehnonõudeid, lubatud suurimaid mõõtmeid, masse ja teljekoormuseid ning nõudeid varustusele. Määruses sätestatud nõuded on aluseks sõiduki, selle osade ja varustuse ekspertiisi, katsetuse ja sõiduki tehnonõuetele vastavuse kontrollimisel ning liiklusjäärelevalve teostamisel.

<https://www.riigiteataja.ee/akt/116062011008?leiaKehtiv>

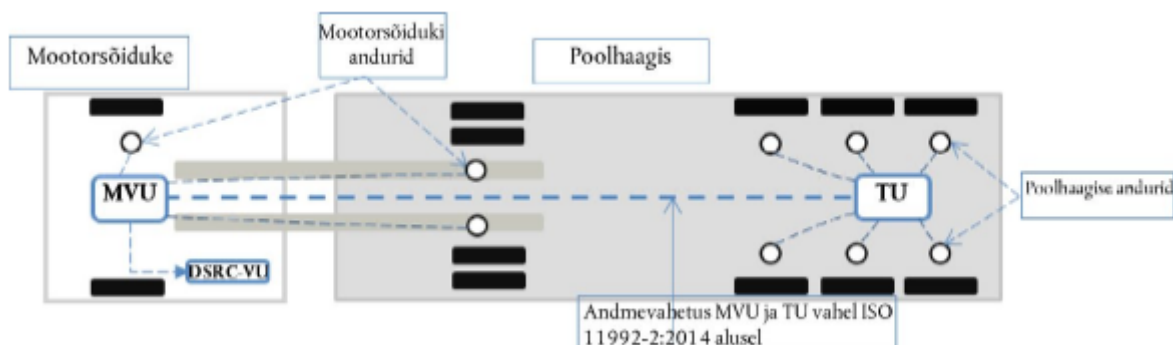
Vastavalt eelpool toodud õigusaktidele on maksimaalne lubatav autorongi tegelik mass 44 tonni, lihtsustatud korras antava loaga kuni 52 tonni. Lubatav piirmäär sõltub veduki heitgaasiklassist ning autorongi telgede arvust ja paarisrataste olemasolust. Vastavad siseriiklikud õigusaktid tuginevad EL direktiividele 96/53/EÜ ja (EL) 2015/719, millega on kehtestatud lubatavad täismassid ja mõõtmed siseriiklikus ja rahvusvahelises liikluses osalevatele maanteesõidukitele.

Pardakaaluseadmete osas hetkel siseriiklik regulatsioon puudub. Euroopa liidu üleselt jõustus 2019. aasta 12. juulil EL Komisjoni rakendusmäärus (EL) 2019/1213, millega tagatakse ühtsed tingimused sõidukisiseste kaalumisseadmete koostalitlusvõime ja ühilduvuse rakendamiseks vastavalt nõukogu direktiivile 96/53/EÜ. See dokument määrab minimaalsed nõuded, mida peavad pardakaaluseadmed täitma. Olulisemad õigusaktis defineeritud mõisted – mida kasutatakse ka käesolevas töös – on järgmised:

- „sõidukisisene kaalumisseade“ (OBW) – sõidukis olev seade, mille abil on võimalik kindlaks teha täismass või teljemass¹;

¹ Tsitaat määruse eestikeelsest tõlkest. Töös kasutatakse harjumuspäraseid mõisteid „tegelik mass“ ja „teljekoormus“.

- „täismass“ – mootorsõiduki ja autorongi puhul autorongi OBW-ga määratud täismass kilogrammides;²
- „teljemass“ või „teljekoormus“ – koormatud teljele või teljerühmale langev OBW-ga määratud mass kilogrammides;
- „arvutatud mass“ või „massi väärtus“ – kas täismass või teljemass kilogrammides;
- „mootorsõiduki seade“ (MVU) – mootorsõidukile paigaldatud OBW osa, välja arvatud andurid, mis suudab koguda, säilitada ja töödelda andmeid ning arvutada nende andmete põhjal massi väärtuse;
- „haagise seade“ (TU) – haagisele või poolhaagisele paigaldatud OBW osa, välja arvatud andurid, mis suudab koguda, säilitada ja töödelda haagise või poolhaagise seadmetelt pärit andmeid ning arvutada nende andmete põhjal teljemassi väärtused.



Joonis 1. OBW ülesehituse näide veokist ja poolhaagisest koosnevas autorongist ((EL) 2019/1213, muutmata kujul).

Vastavalt määruse Lisa I punktile 1.3 peab OBW kaaluseade määrama autorongi kogumassi ja lisaks võib registreerida teljekoormused. Punkti 4 järgi määratakse mass 15 minuti jooksul pärast sõiduki liikuma hakkamist ja pärast seda maksimaalselt 10-minutilise intervalliga. Eraldusvõimeks on määratud 100 kilogrammi, mõõtetäpsus on lubatud esimeses etapis kuni $\pm 10\%$, teises etapis $\pm 5\%$. Samas loetakse lisa IV punkti 9 järgi tehnilise kontrolli läbinuks seade, mille näitude erinevus taadeldud kaaluseadmest on kuni $\pm 15\%$.

Huvigrupid ja arengusuunad

Pardakaaluseadmete osas võib eristada kolme põhilist huvigruppi, kellel kõigil on omad eesmärgid ja ootused uute süsteemide suhtes. Need huvigrupid on järgmised:

- Autotootjad
- Autovedajad
- Teeomanikud

Autotootjate sõnum läbi erinevate esindusorganisatsioonide (VDA, ACEA) ja ka otse (Volvo ja Scania) on olnud üldiselt pardakaalusüsteeme pooldav, kuid skeptiline ühetaolise rakendamise osas. Kuna Euroopa autoturg on sisemiste piiranguteta, tuleb uued sõidukid viia vastavaks kõigi liikmesriikide tüübikinnitustega. Küll on autotootjate vahel mõningad erimeelsused, kas teljekoormuste registreerimine peaks olema nõutav või mitte, sõltuvalt sellest, milline lahendus on ühel või teisel autotootjal praeguseks juurutatud.

² Tsitaat määruse eestikeelsest tõlkest. Töös kasutatakse harjumuspärast mõistet „tegelik mass“

Autovedajate suurim ootus esindusorganisatsiooni IRU sõnul on vähem füüsilisi kontrollkaalumisi, mis on seni kulutanud nende tööaega ja raskendanud tarneahelas *just-in-time* põhimõtete rakendamist. Samuti on nende soov võimalikult palju kasutada olemasolevat tehnoloogiat, kuna uute seadmetega seotud kulud jääksid nende kanda. Samuti ei peeta liiklusohutuse aspektist mõistlikuks veel ühe täiendava ekraaniga seadme lisamist juhi vaatevälja.

Teeomanike seisukoht läbi erinevate teedeliitude (nagu CEDR) on see, et pardakaaluseadmetel põhinev seiresüsteem võimaldab paremini jälgida teede kasutust ja koormuste jaotust, olla operatiivsemalt valmis teede ja sildade eluea lühenemisele, võimalusel seda ennetada ning pikemaajaliselt planeerida teehoiutöid.

Ühised ootused kõigilt osapooltelt on hetkel järgmised:

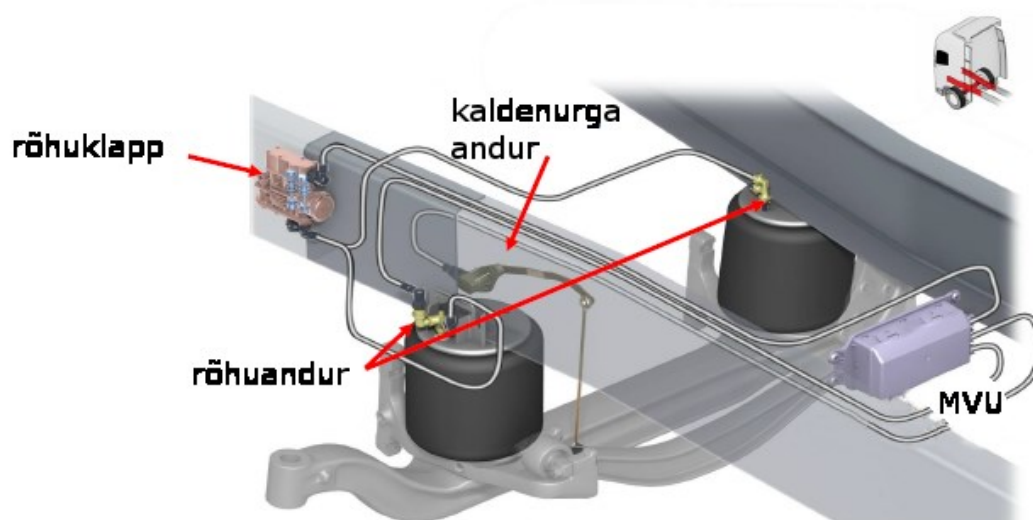
- siseriiklike regulatsioonide kooskõlla viimine direktiiviga;
- olemasolevate pardakaalusüsteemide täiustamine täitmaks direktiiviga seatud ülesandeid.

Õhkvedrustusel põhineva pardakaalusüsteemi kirjeldus

Tänapäeva raskeveokite vedrustused põhinevad õhkpatjadel. Ka Eesti siseriiklik regulatsioon nõuab suuremate lubatavate masside korral õhkvedrustust või sellega võrdsustatud vedrustust. Kaasaegne õhkvedrustussüsteem on varustatud anduritega, millelt saadava info alusel suudab juhtseade reguleerida vedrustust vastavaks teeoludele. Kuna õhkpatjadele avalduv surve on otseselt seotud teljekoormusega, on võimalik selle põhjal arvutada nii teljekoormuseid kui nende summana sõiduki täismassi ilma täiendavaid seadmeid paigaldamata.

Õhkvedrustusel põhineva süsteemi miinuseks on asjaolu, et see tuleb konstrueerida koos vedrustusega ja järetpaigaldamine eeldab kogu vedrustuse ümberehitust. Seetõttu tuleks vastava süsteemiga varustamata sõidukitele paigaldada teistsuguseid andureid.

Selliseid mõõteseadmeid pakuvad kõik suuremad veokitootjad lisavarustusena, mitmetel mudelitel on süsteem ka baasvarustuses (Mercedes Econic, Volvo A60H). Hind jääb Rapp Transi andmetel vahemikku 500-800 eurot ühe sõiduki kohta. Samas on välja toodud, et reeglina hangivad sellise lisavarustuse ümberehitajad, kes ehitavad ostetud šassii peale näiteks metsaveokeid.



Joonis 2. Õhkvedrustus koos anduritega.

Andurite poolt edastatud andmed jõuavad sõiduki keskarvutisse CAN (*Controller Area Network*) protokolliga vahendusel. Juhul kui sõidukil vastav võimekus puudub, on võimalik kasutada ka järelturul pakutavaid andureid ja ühendada need sõiduki CAN võrku. Süsteemi toimimise seisukohalt ei ole vahet, kas andurid on paigaldatud tehases või hiljem. Direktiiv seab samas nõude, et paigaldaja peab olema liikmesriigi poolt tunnustatud.

CAN protokolliga vahendusel saadavate andmete lugemiseks paigaldatakse sõidukisse, reeglina armatuuri või keskkonsooli sisse, GPS-jälgimisseade. Plussjuhe ühendatakse sõiduki elektrisüsteemiga nii, et oleks pidev elektrivarustus, miinusjuhe ühendatakse sõiduki kerega. OBD-II pistik ühendatakse vastavasse pesasse. Pärast aktiveerimist edastab GPS-jälgimisseade serverisse FMS (Fleet Management System) liidese kaudu saadud järgmised andmed:

- Kuupäev
- Kellaaeg
- Asukoha koordinaadid
- Kiirus
- Liikumissuund
- Süüde
- Aku pinget
- Odomeetri näit
- CAN protokolliga vahendusel edastatud sensorite andmed

Muud pardakaalusüsteemid

Lisaks õhkpatjade anduritel põhinevatele süsteemidele on kasutusel veel teisi pardakaaluseadmete lahendusi. Universaalne lahendus on täiendavate andurite paigaldus, mis sobib ka sõidukitele, millel pole õhkvedrustust. Sellist süsteemi on võimalik integreerida selles töös kirjeldatud süsteemidesse, kuna andmete iseloom on sarnane.



Joonis 3. Järelepaigaldatavad andurid, vasakul lehtvedrudega, paremal õhkpadjadega vedrustusele (Wagencontrol).

Teise alternatiivina kasutatakse seadmeid, mis mõõdavad sõiduki jõuülekannele mõjuvat koormust. Sellised süsteemid ei võimalda kaaluda seisvat sõidukit ja nõuavad autotootjate hinnangul vähemalt 15 minutit sõitu kiirusel üle 50 km/h. Juhul kui veokeid kasutatakse linnakeskkonnas – näiteks Tallinnas marsruudil sadamast Maardusse – ei olegi võimalik korrektsed mõõtetulemused saada.

Seireks sobilike sõidukite valimine

Projekti jaoks valiti välja ja katsetati kaaluandmete lugemist kolme autotootja (Scania, Volvo ja MAN) enam kui 10 reaalse sõidukiga. Kõikidel automarkidel tuvastati probleeme nii andmete lugemisel kui ka edastuses. Järgnevalt on toodud olulisemad probleemid autotootjate lõikes:

- Volvo sõidukite süsteem edastab autorongi tegeliku massi, kuid ei edasta teljekoormusi;
- Scania sõidukite süsteem edastab autorongi teljekoormusi, edastab haagise tegeliku massi ja kauba kaalu, kuid ei edasta autorongi tegeliku massi (tegeliku massi saab arvutada eelmainitud parameetrite summana);
- MAN sõidukite süsteem edastab kaootiliselt ainult mõne üksiku telje infot;

Konkreetsete sõidukite valimisel lähtuti järgmistest kriteeriumitest:

- sõiduki omanik on nõus, et tema sõiduk on uurimistöösse kaasatud;
- sõiduki pardakaaluseade edastab stabiilselt mõõtmisandmeid;
- sõiduki omanik ja juht on nõus tööajal toimuvate kontrollkaalumistega;
- sõiduki tavapärane koormatus vastab lähteülesandes nõutule;
- sõiduk on vähem kui kolm aastat vana;
- sõiduk vastab EURO6 heitgaasinormidele.

Lõplikku valimisse jäi kolm Scania ja kaks Volvo sõidukit. Hiljem lisati valimisse veel üks Volvo sõiduk – „Volvo 04 metsaveok 4+“, kuna sõidukiga „Volvo 01 metsaveok 4+“ juhtus avarii. Sõidukite detailandmed on toodud järgmises tabelis.

Tabel 1. Sõidukite valim

NIMI	SCANIA 04 METSAVEOK 4+	SCANIA 03 METSAVEOK 4+	SCANIA 02 SADUL 2+	VOLVO 01 METSAVEOK 4+	VOLVO 02 METSAVEOK 4+	VOLVO 04 METSAVEOK 4+
MARK	SCANIA	SCANIA	SCANIA	VOLVO	VOLVO	VOLVO
MUDEL	R500	R500	S500	FH	FH	FH
ESMANE REG.	2019	2019	2019	2017	2018	2018
KATEGOORIA	Veauto	Veauto	Veauto	Veauto	Veauto	Veauto
KERE NIMETUS	metsaveok	metsaveok	sadul	metsaveok	metsaveok	metsaveok
KERE VÄRVUS	oranž	oranž	oranž	oranž	oranž	oranž
MOOTOR	12742 cm3	12742 cm3	12742 cm3	12777 cm3	12777 cm3	12777 cm3
MOOTORI VÕIMSUS	368 kW	368 kW	368 kW	375 kW	375 kW	375 kW
KÜTUS	Diislikütus	Diislikütus	Diislikütus	Diislikütus	Diislikütus	Diislikütus
KÄIGUKAST	Automaat	Automaat	Automaat	Automaat	Automaat	Automaat
VEOSKEEM	8 X 4	8 X 4	Tagavedu	8 X 4	8 X 4	8 X 4
REG. TUNNIKÜTUS	EL633795	EL611709	EL610834	EL173145	EL360746	EL360746
HAAGIS(T)E SUURIM MASS AUTORONGIS	28000 kg	24000 kg	39000 kg	30000 kg	24000 kg	24000 kg
HAAGIS(T)E TELGEDE ARV	3	3	3	4	3	3
VIIMANE ODOMEETRI NÄIT	-	-	-	342171	171104	171104
KATEGOORIA	Veauto	Veauto	Veauto	Veauto	Veauto	Veauto
KATEGOORIA TÄHIS	N3	N3	N3	N3	N3	N3
KERE NIMETUS	metsaveok	metsaveok	sadul	metsaveok	metsaveok	metsaveok

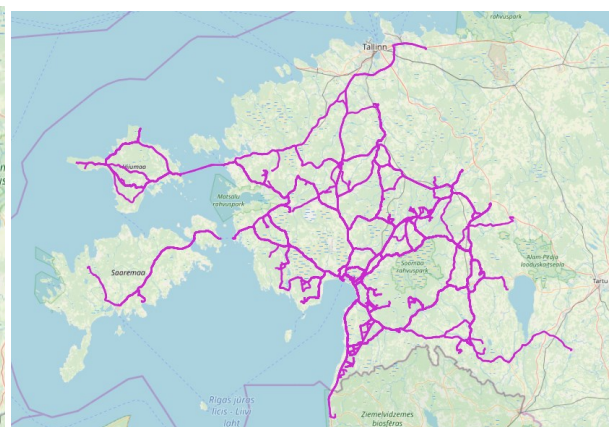
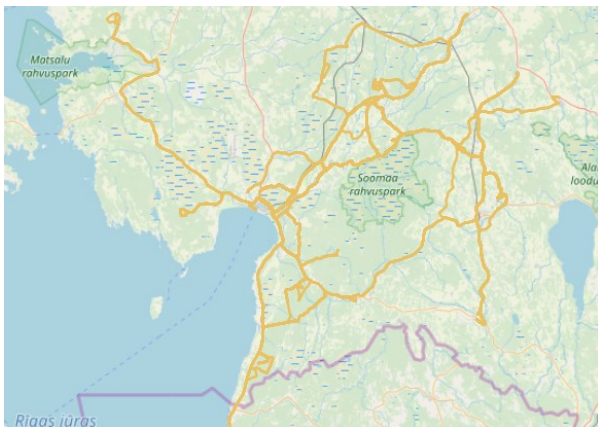
NIMI	SCANIA 04 METSAVEOK 4+	SCANIA 03 METSAVEOK 4+	SCANIA 02 SADUL 2+	VOLVO 01 METSAVEOK 4+	VOLVO 02 METSAVEOK 4+	VOLVO 04 METSAVEOK 4+
KERE VÄRVUS	oranž	oranž	oranž	oranž	oranž	oranž
MITMEVÄRVILI NE	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
MOOTORI TÖÖMAHT	12742 cm3	12742 cm3	12742 cm3	12777 cm3	12777 cm3	12777 cm3
MOOTORI VÕIMSUS	368 kW	368 kW	368 kW	375 kW	375 kW	375 kW
KÜTUS	Diislikütus	Diislikütus	Diislikütus	Diislikütus	Diislikütus	Diislikütus
KÜTUSE KOMBINATSIO ON	Ühekütuseline	Ühekütuseline	Ühekütuseline	Ühekütuseline	-	-
KÄIGUKAST	Automaat	Automaat	Automaat	Automaat	Automaat	Automaat
VEOSKEEM	8 X 4	8 X 4	Tagavedu	8 X 4	8 X 4	8 X 4
MOOTORI MUDEL	DC13 155	DC13 155	DC13 155	D13K500	D13K500	D13K500
SUURIM KIIRUS	-	-	90	90	90	90
KIIRUSE PIIRANG	-	-	-	-	-	-
PIKKUS	11100 mm	10950 mm	5960 mm	10600 mm	10500 mm	11300 mm
LAIUS	2550 mm	2550 mm	2550 mm	2550 mm	2550 mm	2550 mm
KÕRGUS	4000 mm	4000 mm	4000 mm	4000 mm	4000 mm	4000 mm
RÖÖBE	-	-	-	-	-	-
TÄISMASS	37000 kg	37000 kg	19000 kg	36000 kg	36000 kg	36000 kg
REGISTRIMASS	32000 kg	32000 kg	18000 kg	32000 kg	32000 kg	32000 kg
TÜHIMASS	16600 kg	16490 kg	8953 kg	16200 kg	16560 kg	16405 kg
KANDEVÕIME	15400 kg	15510 kg	9047 kg	15800 kg	15440 kg	15595 kg
PIDURITEGA HAAGISE LUBATUD MASS PIDURITETA HAAGISE LUBATUD MASS	56400 kg	56510 kg	64022 kg	46000 kg	43440 kg	43595 kg
AUTORONGI MASS	750 kg	750 kg	750 kg	750 kg	750 kg	750 kg
LUBATUD KOORMUS HAAKE- SEADMELE	73000 kg	73000 kg	70000 kg	60000 kg	60000 kg	60000 kg
HEITMENORM	-	-	-	1000 kg	-	-
CO2 (NEDC)	EURO VI	EURO VI	EURO VI	EURO VI	EURO VI	EURO VI
CO2 (WLTP)	-	-	-	-	-	-
SEISUMÜRA	-	89 dB/ 1425min-1	89 dB/ 1425min-1	83 dB	83 dB	83 dB
SÕIDUMÜRA	-	81 dB	81 dB	75 dB	75 dB	75 dB
LINNAS	-	-	-	-	-	-
MAANTEEL	-	-	-	-	-	-
KESKMINE (NEDC)	-	-	-	-	-	-
KESKMINE (WLTP)	-	-	-	-	-	-
VIN-KOODI ASUKOHT	parema esiratta juures raamil	parema esiratta juures raamil	parema esiratta juures raamil	ees raamil paremal	ees raamil paremal	raamil paremal esiratta koopas
TEHASE ETIKETI ASUKOHT	parempoolse ukse allserval	parempoolse ukse avas	parempoolse ukse avas	ees teenindusluugi all	ees teenindusluugi all	ees teenindusluugi all
UKSI	2	2	2	2	2	2

NIMI	SCANIA 04 METSAVEOK 4+	SCANIA 03 METSAVEOK 4+	SCANIA 02 SADUL 2+	VOLVO 01 METSAVEOK 4+	VOLVO 02 METSAVEOK 4+	VOLVO 04 METSAVEOK 4+
ISTEKOHTI	2	2	2	2	2	2
TÜÜP	N343	N343	N323	VTT3R	VTT3R	VTT3R
VARIANT	-	-	S5W1751152AB 3AX	-	-	U3FHA3
VERSIOON	-	-	H5010A211F10 01D	-	-	N5HR3N690277 58H2HURU
TÜÜBI- KINNITUSE NR. KERETÜÜP	-	-	e4*2007/46*11 28	-	-	-
MÄRKUSED	ÜKSIKSÕIDUKI KINNITUS: TAVA., ÕHKVEDRUSTUS , LISASEADE: HÜDROTÕSTUK.	LISASEADE: HÜDROTÕSTUK. , ÕHKVEDRUSTUS , ÜKSIKSÕIDUKI KINNITUS: TAVA.	ADR-KOHANE: AT., ÕHKVEDRUSTUS	LISASEADE: HÜDROTÕSTUK. , ÕHKVEDRUSTUS	ÜKSIKSÕIDUKI KINNITUS: TAVA., LISASEADE: HÜDROTÕSTUK. , ÕHKVEDRUSTUS	ÜKSIKSÕIDUKI KINNITUS: TAVA., LISASEADE: HÜDROTÕSTUK. , ÕHKVEDRUSTUS
TELGEDE ARV	4	4	2	4	4	4
RATTAID	12	12	6	12	12	12
TELGEDE VAHE(D) EHK BAAS(ID) LUBATUD SUURIM TELJE- KOORMUS	4350 + 1350 + 1300 mm	4350 + 1350 + 1300 mm	3750 mm	4300 + 1370 + 1380 mm	4300 + 1370 + 1380 mm	4300 + 1370 + 1380 mm
1.TELG	9000 kg	9000 kg	7500 kg	9000 kg	9000 kg	9000 kg
2.TELG	9900 kg	9900 kg	11500 kg	9750 kg	9750 kg	9750 kg
3.TELG	9900 kg	9900 kg		9750 kg	9750 kg	9750 kg
4.TELG	8200 kg	8200 kg		7500 kg	7500 kg	7500 kg
REGISTRI TELJE- KOORMUS						
1.TELG	9000 kg	9000 kg	7500 kg	9000 kg	9000 kg	9000 kg
2.TELG	9500 kg	9900 kg	11500 kg	9500 kg	9500 kg	9750 kg
3.TELG	9500 kg	9900 kg		9500 kg	9500 kg	9750 kg
4.TELG	8200 kg	8200 kg		7500 kg	7500 kg	7500 kg

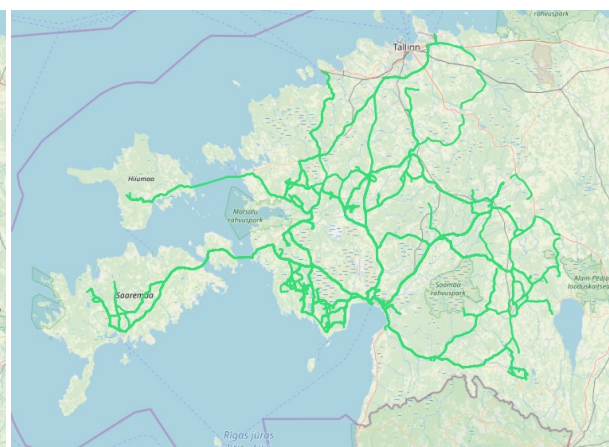
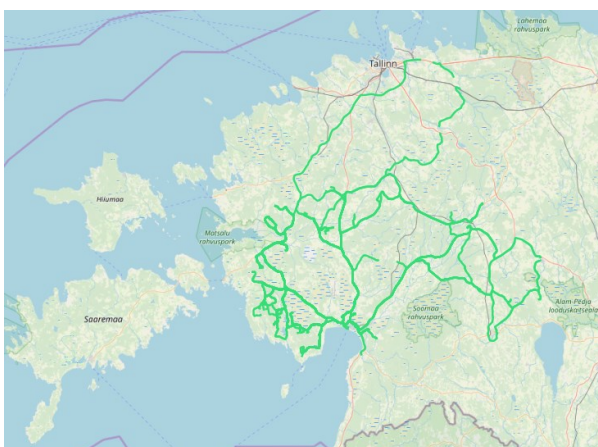
Vaatlusalused sõidukid läbisid pärast monitooringusse lisamist ajavahemikul 10.09.2019 kuni 21.10.2019 teekonna kogupikkusega 135 844 kilomeetrit. Ajavahemikul 21.10.2019 kuni 15.01.2020 läbisid sõidukid 178 791 km. Sõidukite liikumisteed on toodud järgmistel joonistel.



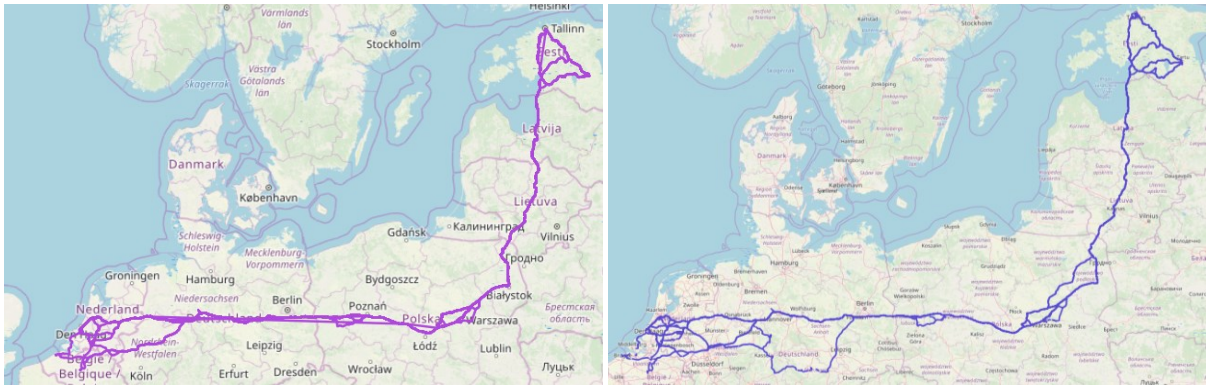
Joonis 4. Sõiduki „Volvo 01 metsaveok 4+“ liikumisteed 10.09.2019 – 21.10.2019 (vasakul) ja 21.10.2019 – 15.01.2020 (paremal).



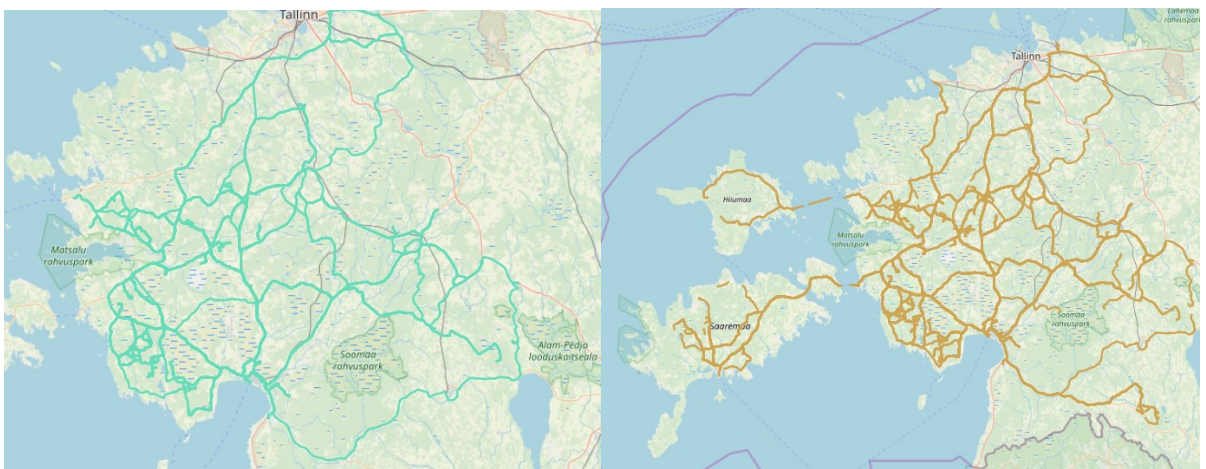
Joonis 5. Sõiduki „Volvo 02 metsaveok 4+“ liikumisteed 10.09.2019 – 21.10.2019 (vasakul) ja 21.10.2019 – 15.01.2020 (paremal).



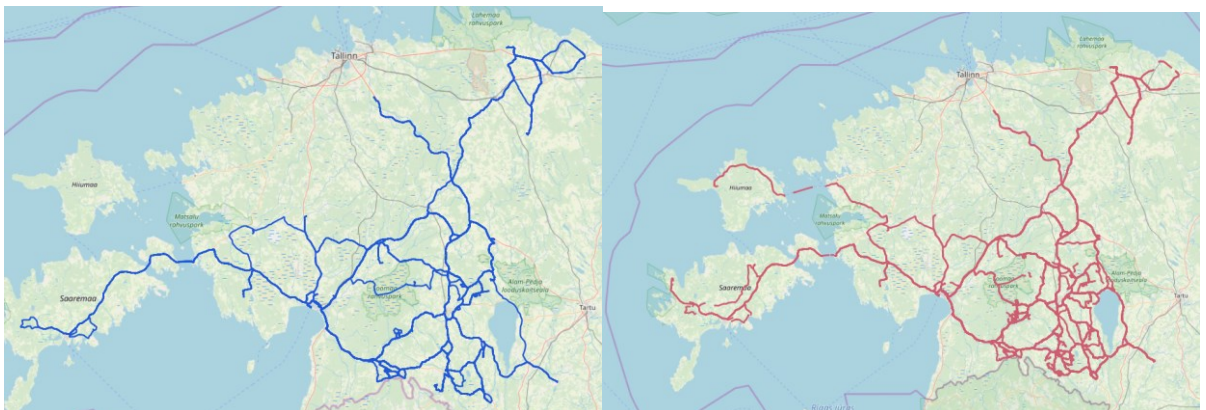
Joonis 6. Sõiduki „Volvo 04 metsaveok 4+“ liikumisteed 10.09.2019 – 21.10.2019 (vasakul) ja 21.10.2019 – 15.01.2020 (paremal).



Joonis 7. Sõiduki „Scania 02 sadul 2+“ liikumisteed 02.09.2019 – 21.10.2019 (vasakul) ja 21.10.2019 – 15.01.2020 (paremal).



Joonis 8. Sõiduki „Scania 03 metsaveok 4+“ liikumisteed 02.09.2019 – 21.10.2019 (vasakul) ja 21.10.2019 – 15.01.2020 (paremal).



Joonis 9. Sõiduki „Scania 04 metsaveok 4+“ liikumisteed 02.09.2019 – 21.10.2019 (vasakul) ja 21.10.2019 – 15.01.2020 (paremal).

Lisaks projektis osalevatele sõidukitele testiti täiendavalt kaalu kättesaadavust autotootja DAF veokitest. Selgus, et 2019 aasta DAF veokite mudelitest on võimalik standardse telemaatikaseadme abil kaaluandmete sh teljekoormuste lugemine ja edastamine. Osa kaheteljelistest veokitest, mis on öhkvedrustusega ainult teisel (vedaval) teljel edastavad oodatult kaaluandmeid vaid teise telje kohta.

Esimese etapi arendused

Arenduse esimesel etapil tuvastati sõiduki võimalused autorongi kaaluandmete lugemiseks ja edastuseks. Valiti sõiduki massidega ja koormustega seotud parameetrid ning vastavate parameetrite toega GPS seadme. Kõige paremini projekti eesmärkide täitmiseks sobis Leedu tootja Ruptela GPS-jälgimise seade FM-TCO4-HW.

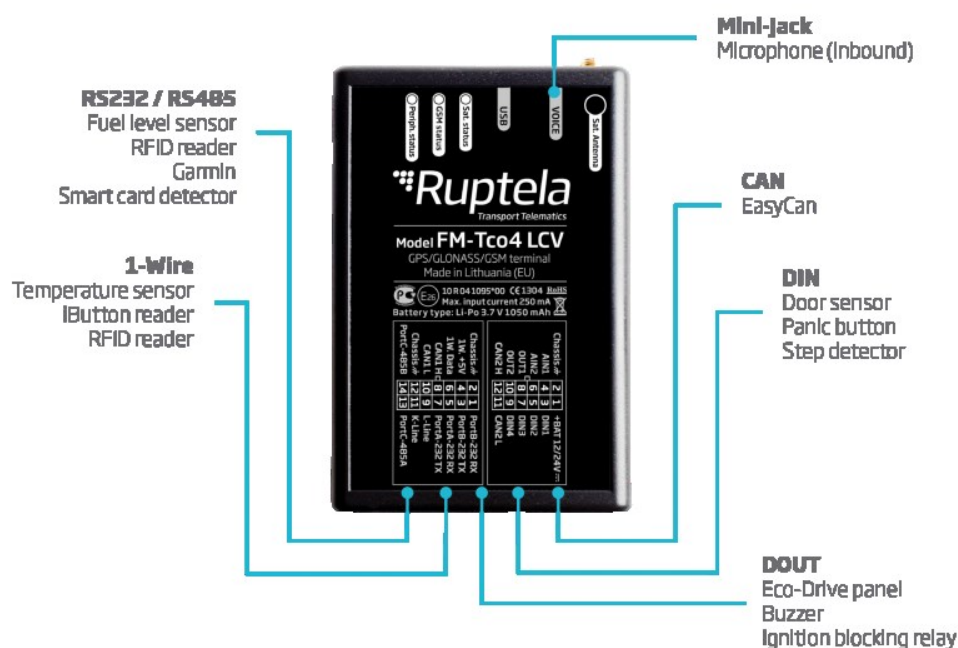
Projekti jaoks valiti järgmised CAN protokollide vahendusel edastatavad parameetrid

A	B	C	D	E	F	G
IO ID	description name	Name in configurator	size	IO Range Minimu	IO Range Maximur	IO Factor (example 0.5 kg / Bit gain)
41	CANBUS Axle weight	CAN axle1 weight	2	0	65535	0.5 kg / Bit gain
52	Canbus_AxleW_2	CAN axle2 weight	2	0	65535	0.5 kg / Bit gain
53	Canbus_AxleW_3	CAN axle3 weight	2	0	65535	0.5 kg / Bit gain
54	Canbus_AxleW_4	CAN axle4 weight	2	0	65535	0.5 kg / Bit gain
55	Canbus_AxleW_5	CAN axle5 weight	2	0	65535	0.5 kg / Bit gain
202	CANBUS J1939 Trailer weight	CAN J1939 trailer weight	2	0	65535	2 kg/bit, 0 offset
214	CANBUS J1939 Cargo weight	CAN J1939 cargo weight	2	0	65535	2 kg/bit, 0 offset
358	CANBUS Gross combination vehicle weight	CAN gross combination vehicle weight	2			10 kg/bit

Joonis 10. Sõiduki massidega ja koormustega seotud parameetrid

Parameetrite tähendused:

- CANBUS Axle weight – sõiduki esimese telje koormus
- Canbus_AxleW_2 – sõiduki teise telje koormus
- Canbus_AxleW_3 – sõiduki kolmanda telje koormus
- Canbus_AxleW_4 – sõiduki neljanda telje koormus
- Canbus_AxleW_5 – sõiduki viienda telje koormus
- CANBUS J1939 Trailer weight – haagise tegelik mass
- CANBUS J1939 Cargo weight – koorma tegelik mass
- CANBUS Gross combination vehicle weight – autorongi tegelik mass

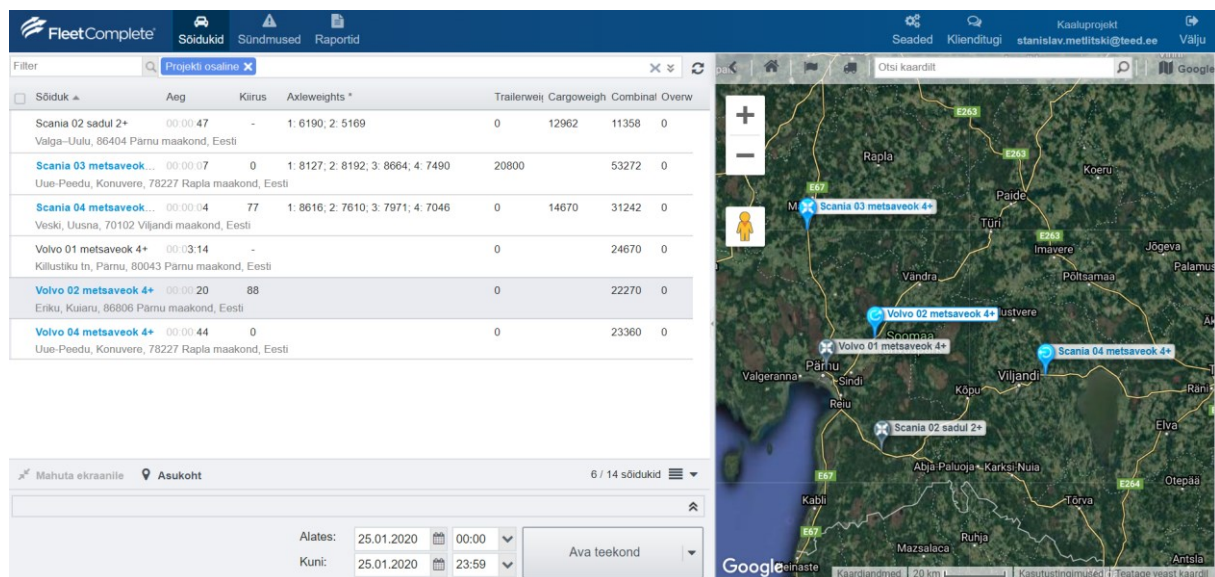


Joonis 11. Ruptela GPS-jälgimise seade.

Ruptela GPS-jälgimise seadmed konfigureeriti salvestama andmeid kord minutis, ühe kilomeetri läbimise või 10 kraadise suuna muutumise järel. Seadmed on võimelised lugema üle 600 erineva tehnilise parameetri sõiduki süsteemidest. Kõikide parameetrite lugemise tuge ei ole vajadust süsteemidesse automaatselt sisse ehitada, kuna selleks pole vastavat ärivajadust ja klientide huvi. Käesoleva projekti jaoks lisati eelpool nimetatud sõidukite massidega ja koormustega seotud CAN - parameetrite lugemise ja salvestamise võimaluse olemasolevate FleetComplete süsteemi andmebaasidesse ning täiendavalt loodi järgmised funktsioonid:

- autorongi masside kuvamine reaajas sõidukite nimekirjas kaardivaate kõrval;
- autorongi massidega seotud sündmuste (sh ülekaalu) ja teavituste kirjeldamine. Näiteks kui sõiduki tegelik kogumass ületab eelseadistatud väärtuse võimaldab süsteem ülekaalu korral teavitada kõik huvitatud osapooli SMSi või E-posti teel;
- sündmuste kuvamine sõiduki teekonna kaardil;

Vastavate funktsioonide rakendamine on toodud järgmistel joonistel.



Joonis 12. Sõiduki tegelike masside kuvamine sõidukite nimekirjas.

REEGEL

Nimi: ÜLEKAALUS

Tingimus: Sõiduki kaal > 52000 kg

PIIRANGUD

Sõidukid: Gruppidest Projekti osaline (6 sõidukit)

Aeg: Alati

Asukoht: Kõikjal

TEGEVUSED

☒ Rakendusesisene teavis

☒ E-post: info@teed.ee

☐ SMS: +372..., @dd, @id, +372...

☐ Hellsignaali

Joonis 13. Sündmuse ja teavituste kirjeldamine

FleetComplete event: ÜLEKAALUS xxxxxx



events@fleetcomplete.eu



Tue 28/01

If there are problems with how this message is displayed, click here to view it in a web browser.



Sündmuse nimi: ÜLEKAALUS

Andmed: 57500

Algus: 28.01.2020 14:19:10

Organisatsioon: Kaaluprojekt

Sõiduk: xxxxxx

Juht: xxxxxxxxxxxx

Asukoht: [58.455778 23.957905](#)

Kohad: Mõtsu-Kidise-Kanamardi tee, Kanamardi küla, Lääneranna vald, Pärnumaa, EE

Log in

Joonis 14. Teavitussõnum sündmuse kohta

The screenshot displays the FleetComplete interface. On the left, there's a table of vehicles and their timestamps. The table has columns for 'Sõiduk' (Vehicle), 'Sündmus' (Event), and 'Aeg' (Time). The vehicles listed are Volvo 02 metsaveok 4+ and Volvo 04 metsaveok 4+, with timestamps ranging from 06:43 to 12:01. On the right, there's a map showing the location of the event in Pärnumaa, EE. The map includes labels for various locations like Rangu, Marjamaa, Kehtna, Lelle, Kõpu, and Pärnu. A red pin marks the event location near Vandra.

Joonis 15. Sündmuste kuvamine kaardil.

Teise etapi arendused

Teisel etapil keskenduti koostöös GPS-jälgimise seadme tootjaga esimesel etapil leitud puuduste põhjuste otsimisele ja nende kõrvaldamisele.

Kokkuvõtvalt jäid esimese etapi järgselt üles järgnevad probleemid andmete lugemisega:

- Volvo veokid edastavad vaid autorongi tegeliku massi, kuid ei edasta telgede kaaluandmeid;
- Scania veokid ei edasta neljanda telje kaaluandmeid;
- Haagise kaaluandmed esitatakse katkendlikult;

Kuna võimalikke probleemide põhjuseid saab olla sõiduki enda seadmetes, sõidukile paigaldatud kolmanda osapoole seadmetes (nt haagis) ning GPS-jälgimise seadmes, siis võeti kõik võimalused eraldi uurimisele keskendudes info liikumise kontrollile.

Edasi on kirjeldatud tegevused ja nende tulemid probleemikategooria kaupa eraldi.

Andmeedastus sõiduki enda seadmetes

Sõiduki enda seadmete kohta oli vaja saada aru, kuidas loetakse kaaluandmeid mida kuvatakse näidikutepaneelil. Kas kõik kaaluandmetega paketid edastatakse standardse CAN protokolliga vahendusel FMS- liidese kaudu või selleks on loodud autotootjate poolt eraldi protokoll?

FMS-liidese kirjeldus on toodud joonisel.

1.2.3 Vehicle Weight: VW

0x00FEEA								PGN Hex
65,258								PGN
1000 ms								Rep. Rate
Data Byte 1	Data Byte 2	Data Byte 3	Data Byte 4	Data Byte 5	Data Byte 6	Data Byte 7	Data Byte 8	Byte No
8 7 6 5 4 3 2 1	8 7 6 5 4 3 2 1	8 7 6 5 4 3 2 1						Bit No
Axle location Bit-mapped position number counting front to back facing forward F = not available SPN 928	Axle weight 0.5 kg / Bit gain 0 kg offset SPN 582	Axle weight 0.5 kg / Bit gain 0 kg offset SPN 582	Not used for FMS-Standard	Not used for FMS-Standard	Not used for FMS-Standard	Not used for FMS-Standard	Not used for FMS-Standard	Name values values values values values SPN
Tire location Bit-mapped counting left to right facing forward F = not available SPN 928								Name values values values values values SPN

Joonis 16. FMS-liides sõiduki kaaluandmete edastamiseks.

Täiendava tehnilise teave saamiseks võeti ühendust kohalike autoesindustega. Kahjuks selgus, et Eesti autoesindustes nii sügavat tehnilist kompetentsi ei ole ja täpsemaid vastuseid saada pole võimalik.

Järgnevalt võeti ühendust otse Volvo, MAN ja Scania tehaste esindajatega kasutades Maanteeameti ja Euroopa autotootjate liidu ACEA kaudu saadud kontakte. Kasuliku infot õnnestus saada vaid Volvo esindajatelt.

Selgus, et Volvo enda telemaatikasüsteemid kasutavad CAN protokolliga vahendusel saadud andmeid ja nende lugemine toimub standardse FMS-liidese kaudu. Eraldi protokolle ei ole. Samas võib autotootjate poolt olla erinev kaaluandmete edastus telemaatikasüsteemide poolt kasutatavasse FMS-liidesesse. Kuna tänapäeval puudub ühine regulatsioon kaaluandmete edastuse osas, siis autotootjad saavad siin kasutada erinevat tüüpi lähenemist. Näiteks Volvo sõidukid edastavad standardkohase FMS-liidese kaudu vaid sõiduki tegeliku massi ja ainult siis kui õhkvedrustus on kõikidel telgedel.

Andmeedastus sõidukile paigaldatud kolmanda osapoole seadmetes

Sõidukil on mitmeid süsteeme, mis ei ole autotootja omatoodang vaid erinevate kolmandate osapoolte toodang. Kolmandate osapoolte seadmed kasutavad andmete edastuseks sõiduki enda süsteemidele CAN protokolliga ja just selle jaoks CAN protokoll ongi loodud. Ei ole põhjust arvata, et näiteks haagisel on oma salakeel sõidukiga suhtlemiseks.

Andmete lugemine GPS-jälgimise seadme poolt

Lähtuvalt tehase vastustest võeti ette GPS-jälgimise seadmed. Koostöös riistvara tootjaga ja nende poolt võimaldatud lisaseadmetega tehti sõiduki CAN protokolliga vahendusel saadatud andmete salvestamine samal ajal muutes sõiduki kaalu ja telgede asetuse.

Salvestatud andmete analüüsist selgus, et Scania neljanda telje kaaluandmete puudumine on seotud GPS-jälgimise seadme tarkvara veaga, mis tekkis tõstetava telje andmete interpreteerimisel. Peale vea kõrvaldamist uuendati kõikidel projektis osalevatel sõidukitel GPS-jälgimise seadme tarkvara.

Haagise andmete edastuse puudulikkuse uurimisel selgus, et sõidukis on samale haagise infole kaks eraldi andmete edastajat, millest üks väljastab korrektseid haagise kaaluandmeid, teine aga edastab õiges formaadis, kuid valesid andmeid.

Antud probleem on põhimõtteliselt kõrvaldatav, kuid viitab potentsiaalsele ohukohale. Kui täna leidub ühe konkreetse tootja sõidukis üks valeandmeid edastav seade, siis ei saa välistada, et tulevikus mõne teise tootja sõidukis mõnel teisel parameetril on samasugune kahetine esitus.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et sõiduki tootjast lähtuvalt CAN protokolliga vahendusel FMS-liidese edastatavad andmed on täna mingil määral erinevad ja kogu info kättesaamine on osaliselt *state of the art* seisundis ja ei ole standardselt lahenev. Selgema pildi saamiseks oleks vaja antud probleemi täiendavalt uurida kaasates rohkem erinevate autotootjate sõidukeid.

Rakendusmäärus (EL) 2019/121 esitab minimaalsed nõuded, mida peavad pardakaaluseadmed täitma. Sõidukite kaalumise ja masside jälgimise süsteemide ehitamisel ja tööle rakendamisel tuleb lähtuda eelkõige nendest minimaalsetest nõuetest.

Täna on raske öelda kas FMS-liides tulevikus lisatakse sõiduki standardvarustusse vaikimisi komponendina, kuid see oleks väga soovitatav ja soodustaks sõidukite masside jälgimise süsteemide laialdast kasutuselevõttu.

Andmestik

CAN protokolliga vahendusel edastavad erinevate autotootjate sõidukid andmeid isemoodi. Nii on Scania veokitel toodud eraldi teljekoormused ja Volvo veokitel vaid sõiduki tegelik mass. Ühtlustatud kujul on dänamised andmed järgmised:

- *Axle1weight* – autorongi esimese telje koormus;
- *Axle2weight* – autorongi teise telje koormus;
- *Axle3weight* – autorongi kolmanda telje koormus;
- *Axle4weight* – autorongi neljanda telje koormus;
- *Axle5weight* – autorongi viienda telje koormus;
- *Trailer weight* – haagise tegelik mass;
- *Cargo weight* – autorongi koorma tegelik mass;
- *Cross combination weight* – autorongi tegelik mass.

Lisaks nendele on andmestikus parameetrid, mis pole seotud sõiduki massidega, kuid kirjeldavad sõiduki asukohta ja töörežiimi:

- *Direction* – sõiduki liikumissuuna kaarekraadides;
- *Speed* – sõiduki liikumiskiirus, km/h;
- *Power* – sõiduki elektrisüsteemi pinget, V;
- *RPM* – mootori pöörlemissagedus, p/min;

- *Longitude* – sõiduki asukoha pikkuskraad;
- *Latitude* – sõiduki asukoha laiuskraad;

Iga kirje on seotud sõiduki unikaalse identifikaatoriga, mille alusel on võimalik kogutud andmed siduda sõiduki registripõhise andmestikuga.

Uus kirje tekitatakse järgmistel juhtudel:

- möödub 1 minut eelmisest kirjest;
- sõiduk on eelmise kirje hetkest läbinud 1 kilomeetri;
- sõiduki liikumissuund muutub rohkem kui 10 kraadi.

Selline andmeedastus on oluliselt tihedam, kui direktiivis nõutud. Nii on esimese etapi (10.09.2019 – 21.10.2019) jooksul kogunenud 1 818 955 andmerida. Eelpool kirjeldatud probleemide tõttu ei ole kõik need andmerekasutatavad, kuna kohati on teljekoormused puudu. Kirjeid, kus sõiduki tegelik mass on usaldusväärses piiris olemas, on kokku 348 682 aga kuna esimesel etapil oli kaasatud ka sõidukeid, mida projekti lõpuks ei kaasatud, siis kogu andmestik ei ole kasutatav.

Projekti jooksul (10.09.2019 – 15.01.2020) kogunes projektis osalenud sõidukite kohta kokku 1 744 511 kirjet, millest täielikud oli 1 020 190.

Kontrollkaalumine

Eestis mootorsõidukite ja selle haagise tehnonõuetele vastavuse kontrollimisega liiklusseaduse alusel tegeleb Politsei- ja Piirivalveamet. Järelevalve käigus kontrollitakse sõiduki teljekoormuste ja tegeliku massi vastavust nõuetele koormuste mõõtmise metoodika (MM 02-2010, kehtestatud PPA peadirektori käskkirjaga nr 40 01.01.2010) alusel.

Vastavalt seadusele sõiduki tegelik mass ei tohi ületada registrimassi ja mis tahes teljekoormus registriteljekoormust, kui selle kohta ei ole välja antud eriluba. Eestis suurim lubatud registrimass sõltuvalt telgede arvust on 40 või 44 tonni. Suurimaid lubatud masse ületavatele sõidukitele tuleb taotleda Maanteeametist eriluba. Lihtsustatud korras välja antava eriloa alusel võib autorongi tegelik mass sõltuvalt autorongi telgede arvust olla kas 48 või 52 tonni.

Antud uurimistöö puhul kontrollkaalumiste eesmärk on sõiduki tegelike teljekoormuste ja massi selgitamine ning nende võrdlemine pardakaalusüsteemidest saadud andmetega. Vastavalt lähteülesandele kontrollkaalumised tuleb teha perioodiliselt taadeldud kaaludega, telgede kaupa ja koormatud sõidukiga.

Projekti perioodi jooksul tehti kokku 5 kontrollkaalumist. Kontrollkaalumiste graafikusse tuli teha jooksvalt muudatusi vastavalt kaubavedaja plaanide muutustega ja esialgse kava koostamisel ettenägematu asjaoludega. Nii alguses valimis olnud sõiduk „Volvo 01 metsaveok 4+“ sattus oktoobrikuu lõpus avarisse ja selle korda saamine võttis nädalaid. Erakorraliselt soe talv ja pikad riigipühad mõjutasid metsavedajate plaane ja alates detsembri teisest poolest oli metsavedu oluliselt vähenenud. Järgi jäänud sõidukitest „Scania 03 metsaveok 4+“ asemel kaaluti oma tehniliste näitajate poolest sarnane sõiduk „Scania 05 metsaveok 4+“ ja „Scania 02 sadul 2+“ asemel kaaluti juba varem kaalutud sõiduk „Volvo 02 metsaveok 4+“. Korduskaalumise eesmärgiks oli uurida kas ja millisel määral muutub pardakaalusüsteemi täpsus.

Esimene kontrollkaalumine toimus peale sõidukite lisamist testkeskkonda 10/10/2019 ja viimane 24/01/2020. Kontrollkaalumiseks lepitati kokku sõiduki omanikuga ja juhiga sobilik aeg, koht ja koorma suurus.

Kontrollkaalumistel lähtuti sõiduki koormuste mõõtmise metoodika MM 02-2010 põhimõtetest. Mõõtekoht valiti kaldemõõdiku abil. Sobilikuks loeti koht mille pikikalle jäi alla 1% ja riskalle alla 5%. Enne kaalude paigaldust kontrolliti, et kaalude all ei oleks lahtist killustiku. Sõidukeid kaaluti kalibreeritud teljekoormuskaalude abil telgede kaupa. Kaaludel seismise ajal vabastati sõidupidur ning jälgiti, et kõik rattad toetavad täielikult kaaludele. Paarisrattaste puhul vajadusel muudeti kaalu asend nii, et mõlemad rattad toetuks kaalule.

Iga sõiduki kaaluti 2 korda. Kaalumiste vahel Volvo sõidukite pardakaalusüsteemi kalibreeriti. Scania sõidukite pardakaalusüsteem ei vajanud kalibreerimist.



Joonis 17. „Scania 05 metsaveok 4+“ sõiduki kaalumine

Teljekoormuskaalud

Kaalumine teostati Teknoscale EVOCAR teljekoormuskaaludega, mida kontrolliti AS Teede Tehnokeskuse laboratooriumis ja seejärel kalibreeriti AS Metroserdi mõõtevahendite kalibreerimislaboris. Kalibreerimise eesmärk oli tagada teljekoormuskaalude usaldusväärsed mõõtetulemused. Kalibreerimist läbinud kaaludele väljastati kalibreerimistunnistused mille kohaselt on teljekoormuskaalude mõõtmiste laiendmääramatus 50 kg. Kokku kalibreeriti neli teljekoormuskaalu.



Joonis 18. Teljekoormuskaalude kontroll Teede Tehnokeskuse laboratooriumis.

Teljekoormuskaalude põhiparameetrid:

Maksimaalne koormus (kg) 10000, minimaalne koormus (kg) 1000, skaalajaotus (kg) 50, toide 12V või 220V, töötemperatuur -20...+50C

Kaalumise tulemused

Iga telje kohta registreeriti kaalumise aeg minuti täpsusega, teljekoormuskaalude ja pardakaalusüsteemi näidud. Lisaks kontrolliti, et kaaluandmed laekuvad testkeskkonda ja õhutemperatuurid jäid teljekoormuskaalude töötemperatuuri vahemikusse. Pardakaalusüsteemi näidud fikseeriti Scania puhul sõiduki näidikutepaneelilt ja Volvo puhul koormusnäidikult.

Scania näidikutepaneelil on toodud veoki teljekoormused, veoki ja haagise kogumassid ning veoki ja haagise koorma massid. Haagise teljekoormused arvutati haagise kogumasist jagades vastava näidu telgede arvuga.

Teljekoormuskaaludele peale ja maha sõitmisel teljekoormused näidikutepaneelil muutuvad, mis on tingitud peamiselt sõiduki kaldenurga muutustest ja koormuste ümberjaotusest. Samas täheldati, et mingitel tingimustel teljekoormused muutuvad ka sõiduki seismise ajal, mis viitab täiendavale rõhu reguleerimisele õhkpatjades vältimaks nende liigset ühes asendis olekut ning võib olla seotud ka andmete uuendamise intervalliga näidikutepaneelil. Kaaluandmete uuendamise intervall näidikutepaneelil ja konkreetset tingimused jäid tuvastamata.

Volvo koormusnäidikul on toodud veoki ja haagise teljekoormused, kogumassid ning koorma massid. Koormusnäidikul kaalumise tulemused muutuvad viivitusega.



Joonis 19 „Scania 04 metsaveok 4+“ sõiduki näidikutepaneel (vasakul) ja Volvo koormusnäidik (paremal)

Tulemuste võrreldavuse tõstmiseks enne näitude fikseerimist lasti sõidukil seista kaaludel liikumatult vähemalt 20 sek ja andmete uuendamisel näidikutepaneelil registreeriti kellaeg ja näidud teljekoormuskaaludel ja näidikutepaneelil.

Kontrollkaalumise tulemused näitasid, et pardakaalusüsteemi poolt registreeritud autorongi tegeliku massi erinevus teljekoormuskaalude tulemusest jääb alla kahe protsendi. Kalibreeritud pardakaalusüsteemiga autorongide kaalumise tulemused on toodud järgmises tabelis.

Tabel 2. Sõidukite kontrollkaalumiste tulemused

Sõiduk	Andmeallikas	Teljekoormus, t							Sõiduki tegelik mass koormuskaalud, t	Sõiduki tegelik mass pardakaal, t	Viga, %
		Telg 1	Telg 2	Telg 3	Telg 4	Telg 5	Telg 6	Telg 7			
Scania 04	Koormuskaalud	8.75	8.10	7.75	6.15	8.35	6.70	6.75	52.55		
	Pardakaal	7.80	7.70	7.60	7.30	7.50	7.17	7.53		52.60	0.10
Volvo 02	Koormuskaalud	7.60	9.15	9.30	7.40	8.15	7.35	7.40	56.35		
	Pardakaal	7.50	8.70	8.50	8.00	8.60	7.30	7.40		56.00	-0.62
Volvo 04	Koormuskaalud	7.80	9.05	8.85	6.80	8.25	7.20	7.25	55.20		
	Pardakaal	7.40	8.90	9.20	6.40	8.20	7.30	7.20		54.60	-1.09
Scania 05	Koormuskaalud	7.70	9.30	9.05	6.85	5.55	8.05	8.00	54.50		
	Pardakaal	6.80	8.60	8.90	7.60	7.40	7.27	7.37		53.93	-1.04
Volvo 02	Koormuskaalud	8.25	9.55	8.60	7.35	9.00	6.75	6.85	56.35		
	Pardakaal	7.80	10.10	8.80	7.40	9.10	6.70	6.80		56.70	0.62

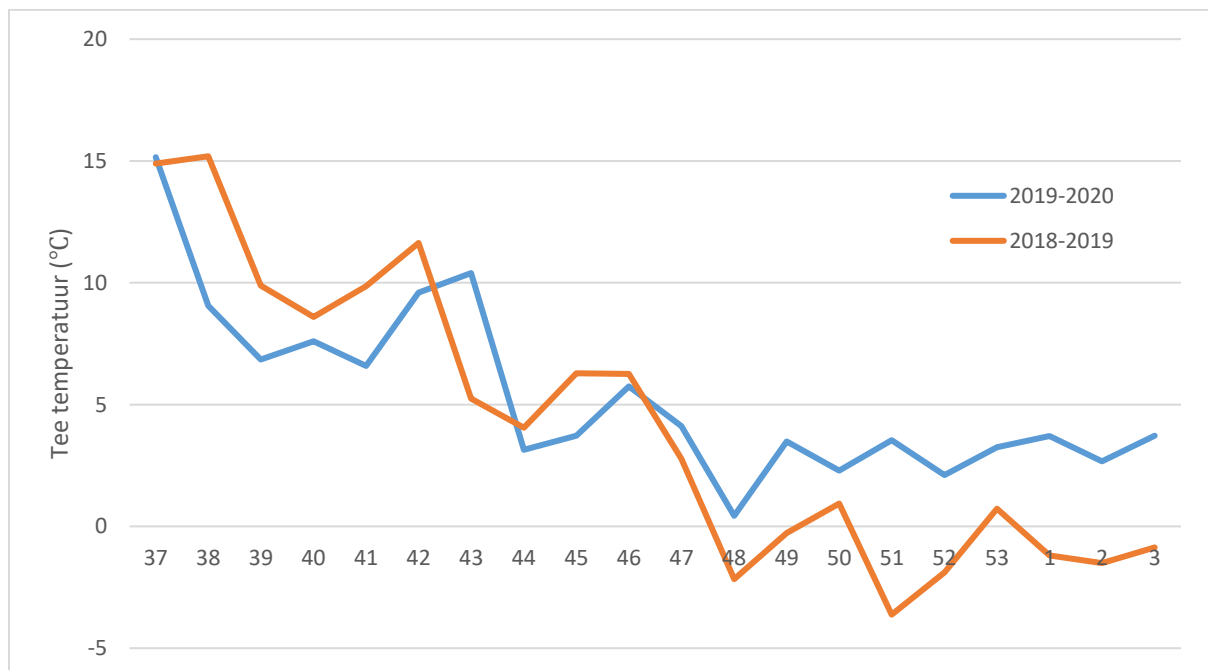
Teljekoormuste erinevused on siiski palju suuremad ja need on tingitud eelpool toodud rõhu reguleerimisest õhkpatjades.

Tabel 3. Pardakaalusüsteemi poolt registreeritud teljekoormuse erinevus võrreldes teljekoormuskaalude näiduga

Kontroll- kaalumine	Telg 1 viga, %	Telg 2 viga, %	Telg 3 viga, %	Telg 4 viga, %	Telg 5 viga, %	Telg 6 viga, %	Telg 7 viga, %
Scania 04	-10.9	-4.9	-1.9	18.7	-10.2	7.0	11.6
Volvo 02	-1.3	-4.9	-8.6	8.1	5.5	-0.7	0.0
Volvo 04	-5.1	-1.7	4.0	-5.9	-0.6	1.4	-0.7
Scania 05	-11.7	-7.5	-1.7	10.9	33.3	-9.7	-7.9
Volvo 02	-5.5	5.8	2.3	0.7	1.1	-0.7	-0.7

Tulemuste analüüs

Projekti raames jälgiti sõidukeid reaalajas ajavahemikus 10.09.2019 kuni 15.01.2020. I etapi vahekokkuvõtte tehti 21.10.2019. Võrreldes varasemate aastate sama perioodiga oli antud ajavahemik oluliselt soojem ja sajusem. Ilmateenistuse andmetel oli Eesti keskmine õhutemperatuur detsembris paljuaastasest keskmisest 4.6% ja sajuhulk 15% kõrgem. Joonisel on toodud nädala keskmiste tee temperatuuride erinevus.

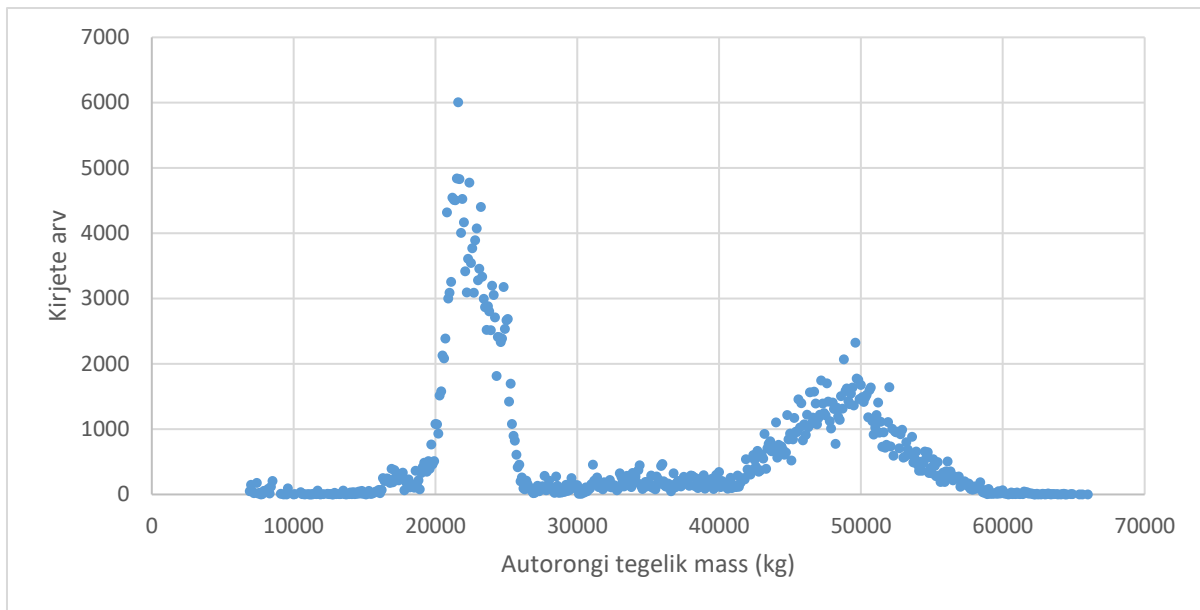


Joonis 20. Nädala keskmised tee temperatuurid Lihula teeilmajaamas.

Sellest tulenevalt ei olnud rasketest ilmaoludest tingitud liiklusseisakuid. Samas tähendas pehmem ilm seda, et metsamaterjali väljavedu oli oluliselt raskendatud ja seetõttu metsaveokite koormus oluliselt madalam ning sõitude arv alates detsembri teisest poolest oluliselt vähem.

Kaaluandmete eelanalüüs

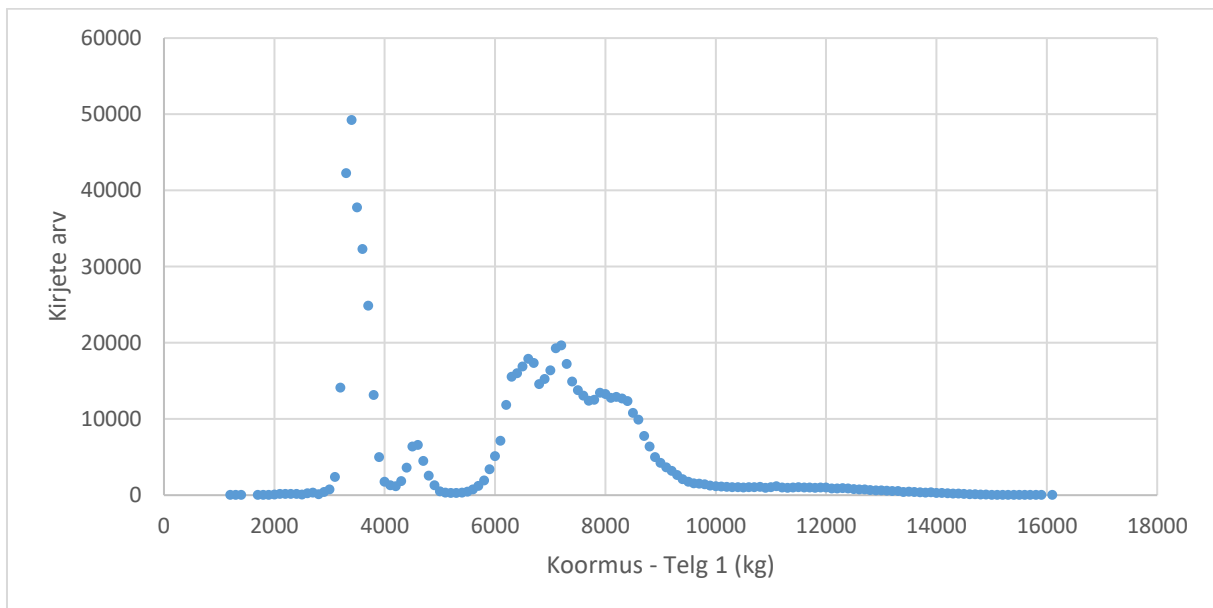
Andmete eelanalüüs I etapi andmete kohta näitas, et sõiduki tegelik mass oli keskmiselt 33,9 tonni, standardhõlbega 13,1 tonni. Sõiduki tegeliku massi mediaan oli 25,1 tonni. Suur standardhõlve tuleneb sellest, et masse võib käsitleda kahes erinevas jaotuses – tühjad ja koormaga sõidukid. Olukorda illustreerib järgmine joonis.



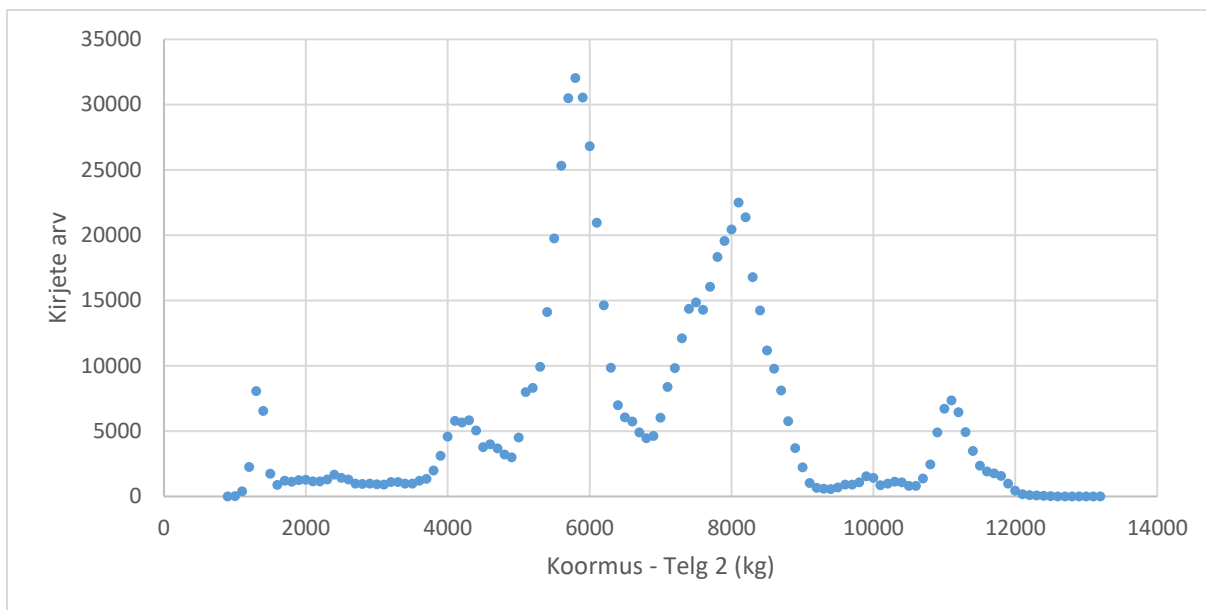
Joonis 21. Autorongide tegeliku kogumassi jaotumine (10.09.2019 – 21.10.2019).

Masside jaotumises eristuvad selgelt kaks osa, kus kumbki vastab normaaljaotusele. Üks on vahemikus 20-25 tonn ja teine 45-55 tonni.

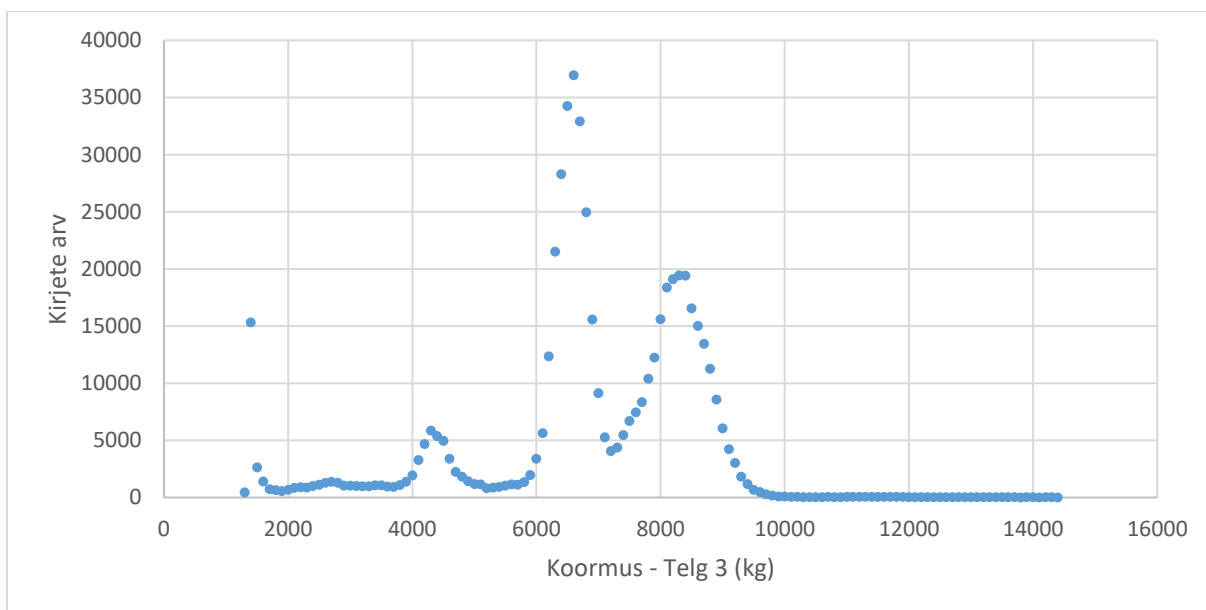
Telgede kaupa on kõikumised suuremad. Järgmistel joonistel on toodud mõõteandmete jaotus erinevatel telgedel.



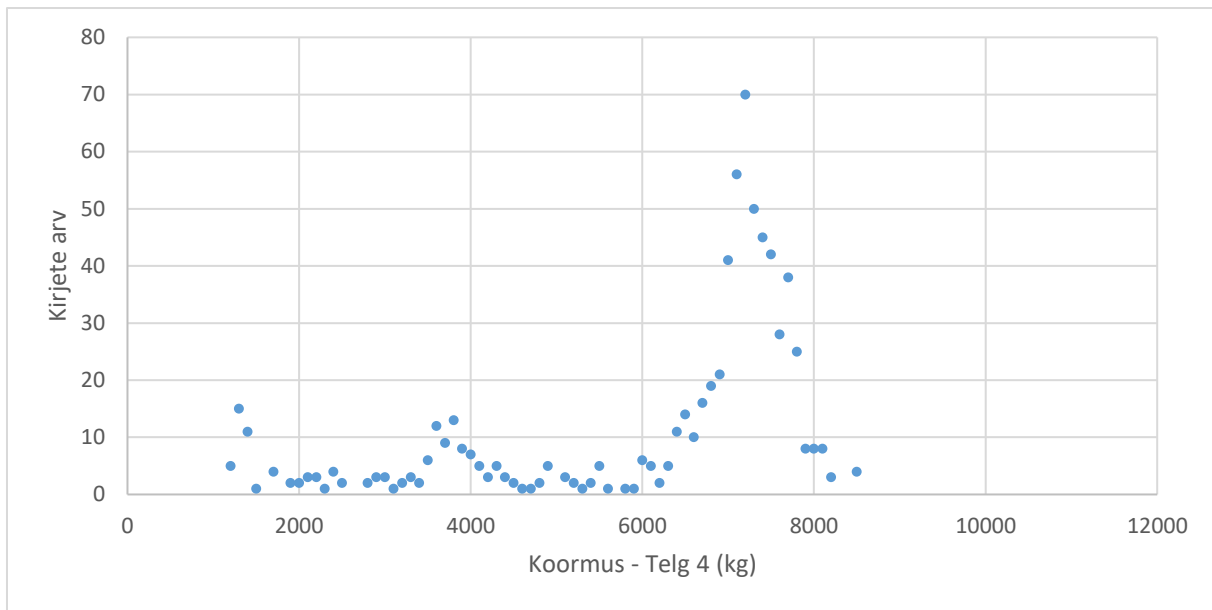
Joonis 22. Mõõdetud koormuste jaotumine – telg 1 (10.09.2019 – 21.10.2019).



Joonis 23. Mõõdetud koormuste jaotumine – telg 2 (10.09.2019 – 21.10.2019).

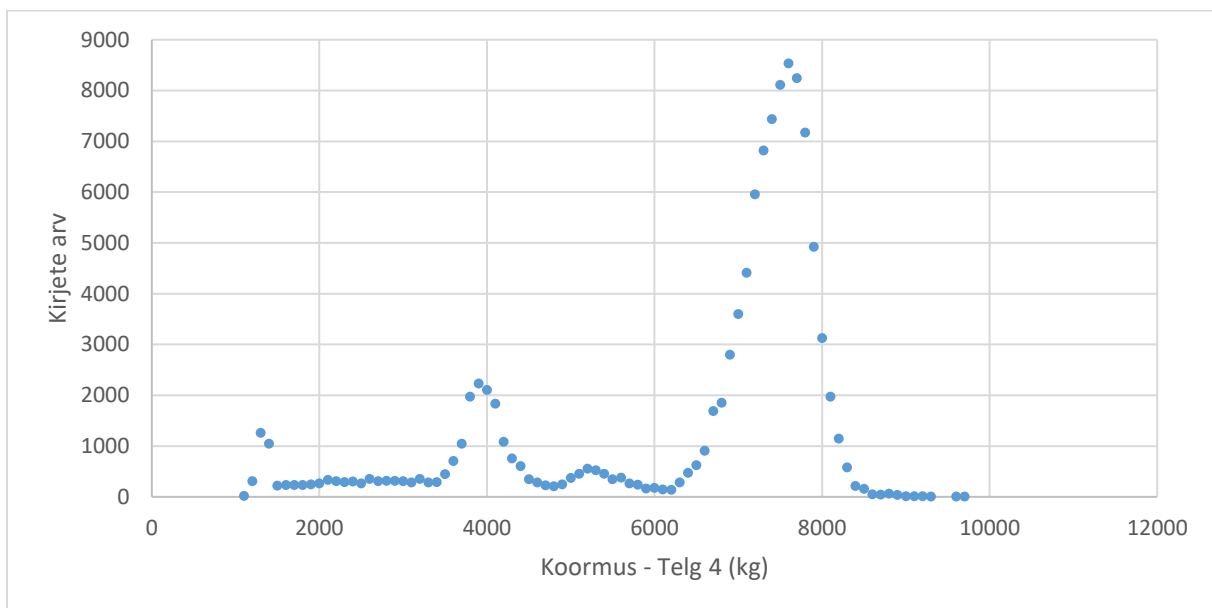


Joonis 24. Mõõdetud koormuste jaotumine – telg 3 (10.09.2019 – 21.10.2019).



Joonis 25. Mõõdetud koormuste jaotumine – telg 4 (10.09.2019 – 21.10.2019).

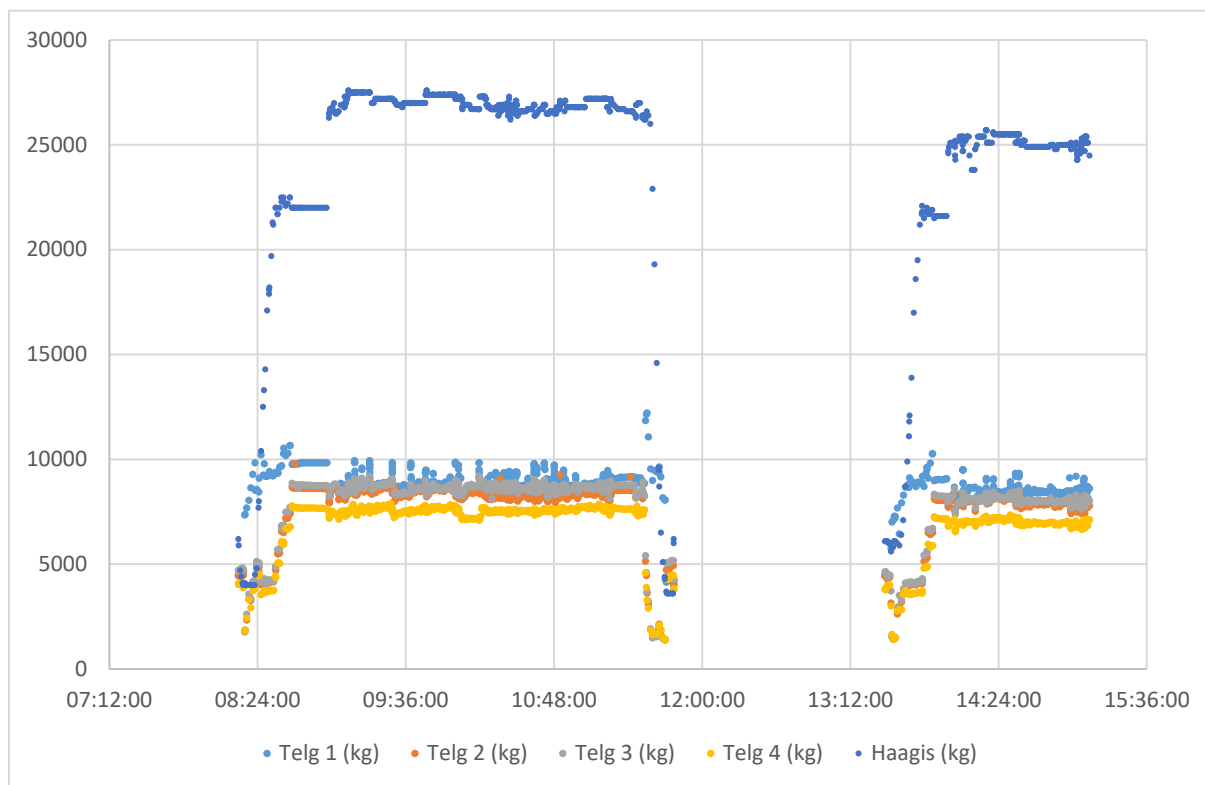
Neljanda telje andmete edastamisel oli esimesel etapil probleeme, mistõttu oli ka kirjete arv madal. Seetõttu ei olnud päris selge ka neljanda telje koormuste jaotus. Peale neljanda teljega seotud probleemide lahendamist vastav jaotus näeb välja järgmiselt:



Joonis 26. Mõõdetud koormuste jaotumine – telg 4 (21.10.2019 – 15.01.2020).

Telgede puhul on graafikud mitme harjaga. Tõenäolised põhjused on selles, et sõiduki kõikumisel nihkub surve ühel teljelt teisele ja laadimisel edastatakse mõõtetulemused kindla intervalliga. Mõõdetud koormuste jaotumine 2.teljel sisaldab rohkem harju, kuna valimis on ka kaheteljeline vedukauto.

Teljekoormuste dünaamikat ajas iseloomustab järgmine graafik, kus on toodud sõiduki „Scania 03 metsaveok 4+“ liikumine 2020. aasta 5. jaanuaril.



Joonis 27. Sõiduki „Scania 03 metsaveok 4+“ teljekoormused 05.01.2020.

Jälgides teljekoormuste dünaamikat läbi peale ja mahalaadimistsükli, ilmnevad suurimad kõikumised siis, kui sõiduk seisab. Need kõikumised on seotud eeskätt peale- ja mahalaadimisega. Sõidu ajal on kõikumistega samal ajal ka mootori pöörete muutumised, mis viitab sõiduki aeglustamisele või kiirendamisele. Samas tuleb märkida, et kuna andmeedastuse intervall sirgel teel on ligi minut, siis kõikumiste jaotus on pigem juhuslik. Kuna direktiivi nõutav andmeedastusintervall on veelgi harvem, siis ei saa selliste andmete põhjal teha näiteks järeldusi teede seisukorra kohta.

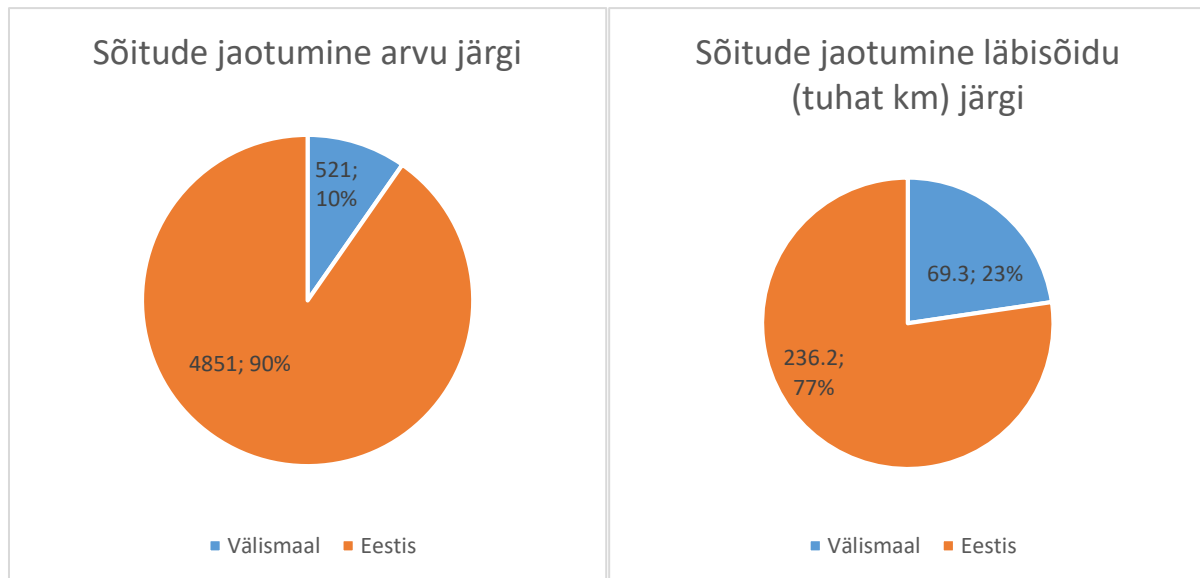
Sõitude analüüs

Andmete edasiseks analüüsiks jaotati andmepunktid sõitudeks. Kahe sõidu eralduskohaks valiti sellised punktid andmevoos, kus oli seisak (kahe järjestikuse nullist suurema kiirusega andmepunkti vahe on kolm minutit või rohkem) või peale- või mahalaadimine (täismassi muutus üle 10 tonni). Eraldi sõiduks ei loetud episoodi, mille kestus oli alla 10 minuti. Andmekvaliteedi tagamiseks eemaldati sõidud, mille kohta ei edastatud kaaluandmeid. Juhul kui kaaluandmed edastati ainult osade telgede kohta (Scania veokite puhul), modelleeriti puuduv andmestik kasutades tehisintelligentsi rakendusi (*Python Sklearn*). Selliselt moodustus 5726 sõitu kogupikkusega 322 749 kilomeetrit kestusega 4655 tundi. Iga sõidu kohta määrati järgmised andmed:

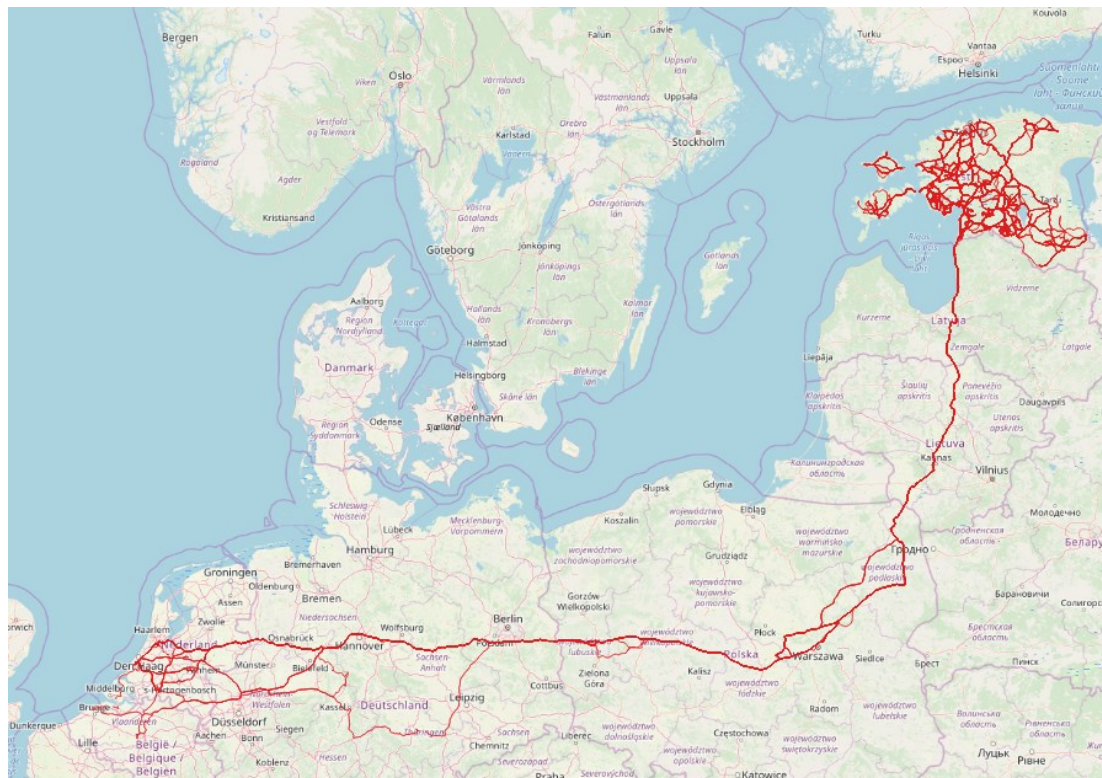
- Sõiduki kirjeldus ja unikaalne identifikaator
- Sõidu unikaalne identifikaator
- Sõidu alguse ja lõpu ajatempel
- Maksimaalne sõidukiirus
- Autorongi tegeliku massi keskväärtus ja standardhälve
- Esimese telje koormuse keskväärtus ja standardhälve
- Teise telje koormuse keskväärtus ja standardhälve
- Kolmanda telje koormuse keskväärtus ja standardhälve

- Neljanda telje koormuse keskväärtus ja standardhälve
- Haagise koormuse keskväärtus ja standardhälve
- Sõidu trajektoor joonena
- Keskmine IRI väärtus (Eesti teedel)
- Katte liik (Eesti teedel)

Sõitudest enamik toimus Eestis, arvuliselt 90%, läbisõidu järgi 77%. Täpsem jaotus on toodud järgmistel joonistel.



Joonis 28. Sõitude jaotumine arvu ja teepikkuse järgi.



Joonis 29. Sõidukite teekonnad vaatlusperioodil.

Enamik sõidukeid liikus vaatlusperioodil Eestis, mis on metsaveokite puhul ka loogiline. Ainuke valimis olnud sadulveok sooritas reise läbi Poola ja Saksamaa Hollandisse ja Belgiasse. Metsaveokite tegevuspiirkonnaks oli peamiselt Lääne-Eesti koos suursaartega.

Teljekoormuste modelleerimine

Juba andmete eelanalüüsi käigus selgus, et andmeid ei edastata alati täielikul kujul ja kohati on osade telgede andmestik puudu. Nagu eelnevalt märgitud, ei ole ka teljekoormuskaale kõikidel sõidukitel tehases paigaldatud. Kuna suurema autopargi korral on tegu arvestatava väljaminekuga, tasub kaaluda võimalust paigaldada kaaluseadmed ainult osadele telgedele. Sellise võimaluse kasutatavuse hindamiseks kasutati andmekaevet ja andmetes seoste ja sõltuvuste loomist ning tehisintelligentsi rakendusi. Iga vähemalt ühe korra telgede andmestikku edastanud sõidukile loodi iga telje kohta eraldi mudel, mille sisendiks oli 2. telje koormus. Mudeli treenimisel lähtuti põhimõttest, et treenimiseks kasutatakse 80% andmestikust ja ülejäänud 20% testimiseks ja valideerimiseks. Kontrolliks kasutati erinevaid algoritme, neist valiti läbivalt paremaid tulemusi näidanud *gradient boost regression*. Mudelite täpsused on toodud tabelis.

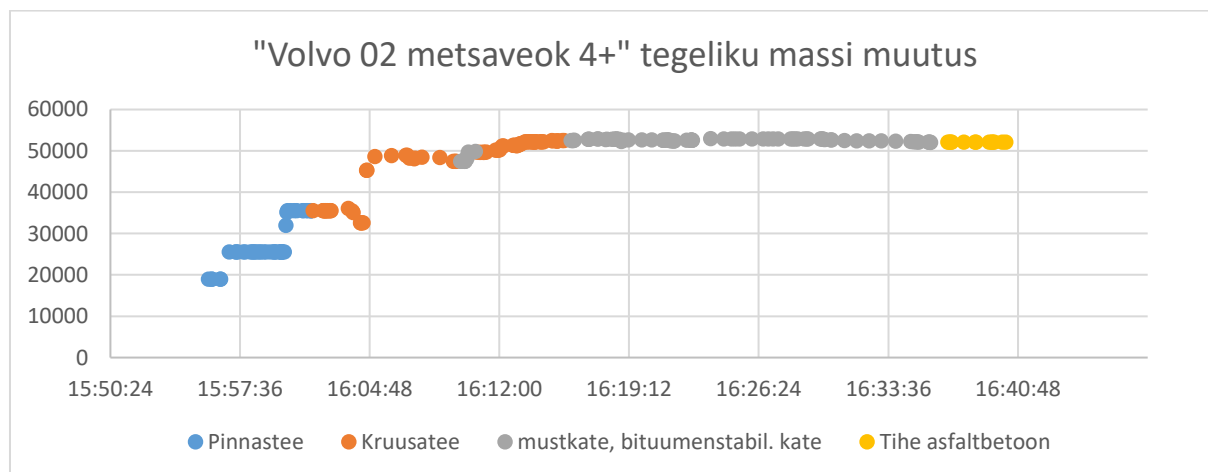
Tabel 4. Teljekoormuste ja haagise massi modelleerimise täpsusastmed.

	Scania 02 Sadul 2+		Scania 04 Metsaveok 4+		Scania 05 Metsaveok 4+	
	R ²	Keskmine ruutviga	R ²	Keskmine ruutviga	R ²	Keskmine ruutviga
Haagis	0.999	58.97	0.956	788.81	0.917	1105.04
Esimene telg	0.849	103.5	0.891	383.26	0.933	330.89
Kolmas telg	0.999	17.73	0.981	127.48	0.97	126.21
Neljas telg			0.982	130.59	0.954	131.94

Kasutades neid mudeleid, arvutati igale puuduvale kirjele uued teljekoormused ning nende põhjal määrati sõiduki uus tegelik mass, mida kasutati sõitude kirjeldamiseks.

Pardakaalusüsteemi mõõtetäpsus

Analüüs näitas, et sõiduki tegeliku massi näidu kõikumine keskmise suhtes ületas kõigist sõitudest ühel protsendil juhtudest 10 tonni. Kuna selline täpsus (umbes 25% keskmisest) ei ole aktsepteeritav, tuli leida põhjused. Suurima kõikumisega sõite analüüsides selgus, et sõidu alguses, eriti kui sõit algab kruusa- või pinnasteel, ei ole edastatav näit korrektne. Joonisel on toodud näide ühest sellisest sõidust.



Joonis 30. Sõiduki tegeliku massi näidu muutumine ühe sõidu jooksul erinevatel teekatetel.

Nagu jooniselt nähtub, on pinnasteel ja kruusateel edastatud näidud selgelt madalamad. Mustkatte ja asfaltbetooni puhul erinevust ei ole. Seega tuleks andmeid lugeda usaldusväärseks ainult juhul, kui sõiduk asub kattega teel.

Vaadeldes sõidukeid eraldi, ilmneb asjaolu, et erinevate autotootjate sõidukid edastavad andmeid erineva kõikumisega. Vastav jaotus on toodud tabelis.

Tabel 5. Sõiduki tegeliku massi standardhälbe piirid toorandmete alusel.

Sõiduk	99. standardhälbe tsentiil (kg)	95. standardhälbe tsentiil (kg)
Scania 02 sadul 2+	3421.498	1521.725
Scania 03 metsaveok 4+	3120.01	1463.24
Scania 04 metsaveok 4+	2121.397	1638.656
Volvo 01 metsaveok 4+	12125.55	9216.197
Volvo 02 metsaveok 4+	12686.21	9919.232
Volvo 04 metsaveok 4+	12482.23	9829.153

Andmete lähemal uurimisel selgus, et Volvode puhul ei uuene kaalunäit koheselt, vaid alles pärast mõneminutilist sõitu. Seetõttu arvutati sõitude keskmised näitajad ringi nii, et esimest 5 minutit ei arvestatud. Saadud kõikumised on toodud tabelis absoluutnumbritena ja protsendina sõidu maksimaalsest massist.

Tabel 6. Sõiduki tegeliku massi standardhälbe piirid korrigeeritud vaates.

Sõiduk	99. standardhälbe tsentiil (kg)	95. standardhälbe tsentiil (kg)
Scania 02 sadul 2+	3422.797	1537.228
Scania 03 metsaveok 4+	2868.984	1428.703
Scania 04 metsaveok 4+	2121.904	1635.747
Volvo 01 metsaveok 4+	3248.319	2398.48
Volvo 02 metsaveok 4+	3369.431	2298.335
Volvo 04 metsaveok 4+	3177.734	2252.241

Tabel 7. Sõiduki tegeliku massi standardhälbe piirid korrigeeritud vaates suhtena maksimumi.

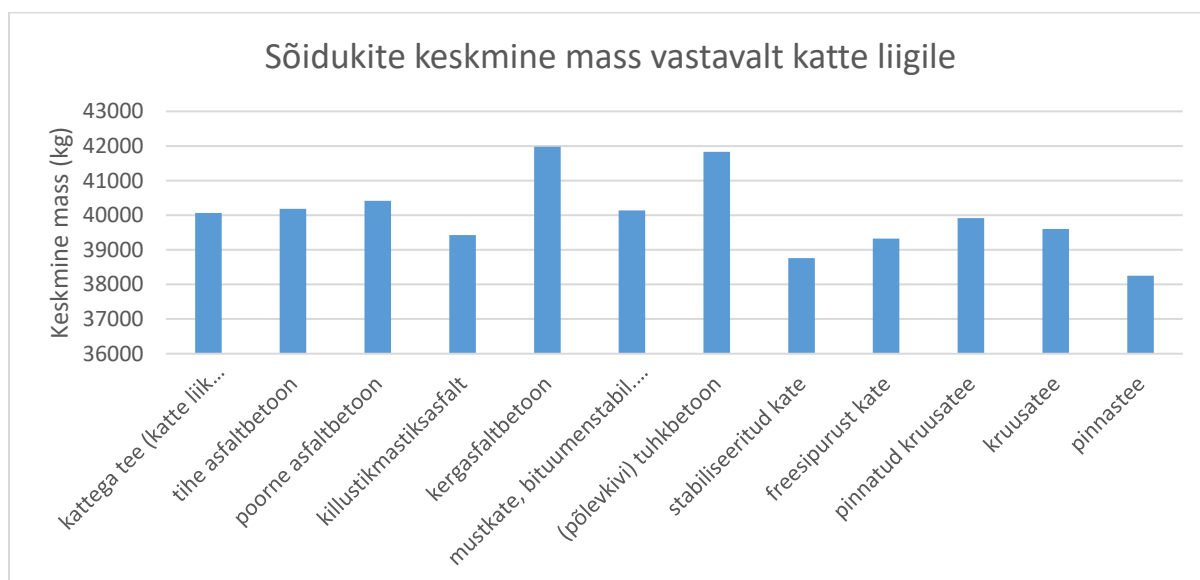
Sõiduk	99. standardhälbe tsentiil	95. standardhälbe tsentiil
Scania 02 sadul 2+	13%	6%
Scania 03 metsaveok 4+	6%	4%
Scania 04 metsaveok 4+	6%	5%
Volvo 01 metsaveok 4+	8%	5%
Volvo 02 metsaveok 4+	7%	5%
Volvo 04 metsaveok 4+	7%	5%

Kui kaasata ainult need kirjed, mis on Teeregistri andmetel kattega teedel, saab järgmise tulemuse.

Tabel 8. Sõiduki tegeliku massi standardhälbe piirid kattega teedel.

Sõiduk	99. standardhälbe tsentil	95. standardhälbe tsentil
Scania 02 sadul 2+	13%	9%
Scania 03 metsaveok 4+	5%	3%
Scania 04 metsaveok 4+	5%	3%
Volvo 01 metsaveok 4+	7%	5%
Volvo 02 metsaveok 4+	7%	5%
Volvo 04 metsaveok 4+	7%	5%

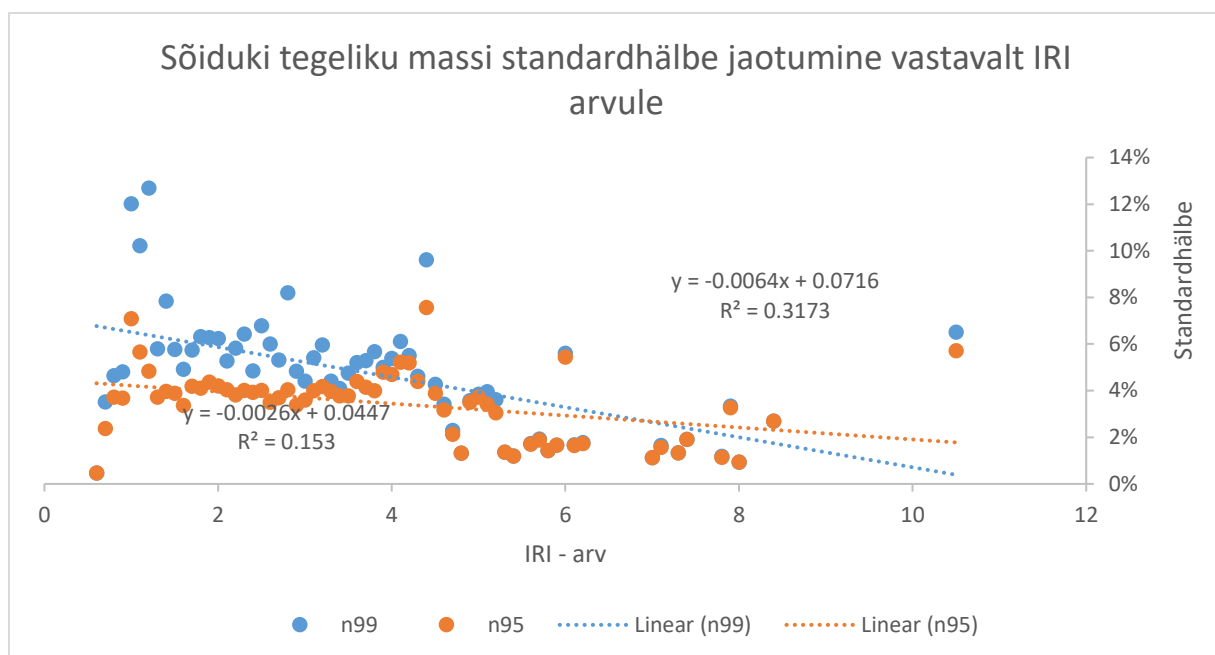
Võttes arvesse kontrollkaalumiste ja pardakaalude kalibreerimise tulemusi, saab järeldada, et kasutades ainult kattega teedel mõõdetud tulemusi, on direktiivis eesmärgiks seatud 5% täpsus tänaste seadmetega teostatav. Direktiivi esimeses etapis nõutav 10% täpsus on juba täna täidetud. Sõidukite korrigeeritud keskmise massi väärtus vastavalt registrijärgsele katte liigile on toodud joonisel.



Joonis 31. Sõidukite keskmise massi väärtus katte liigiti.

Üldine vaade kinnitab eelnevat, nõrgemate katendite puhul on edastatud numbrilised väärtused väiksemad. Oodatult on madalaimad väärtused pinnasteedel, kus tee sõiduki vajumine tee pinnakihi sisse on kõige tõenäolisem.

Kuna kattega teedel on olemas ka tasasuse iseloomustavad andmed (IRI-arv, ehk *International Roughness Index*), kontrolliti kas ja millisel määral teekatte tasasus mõjutab sõiduki tegeliku massi. Nii 95. kui 99. tsentili puhul oli seos negatiivne ja väga nõrk. Vastav korrelatsioon on toodud joonisel koos trendijoontega.



Joonis 32. Sõiduki tegeliku massi standardhälbe piiride seos IRI väärtustega.

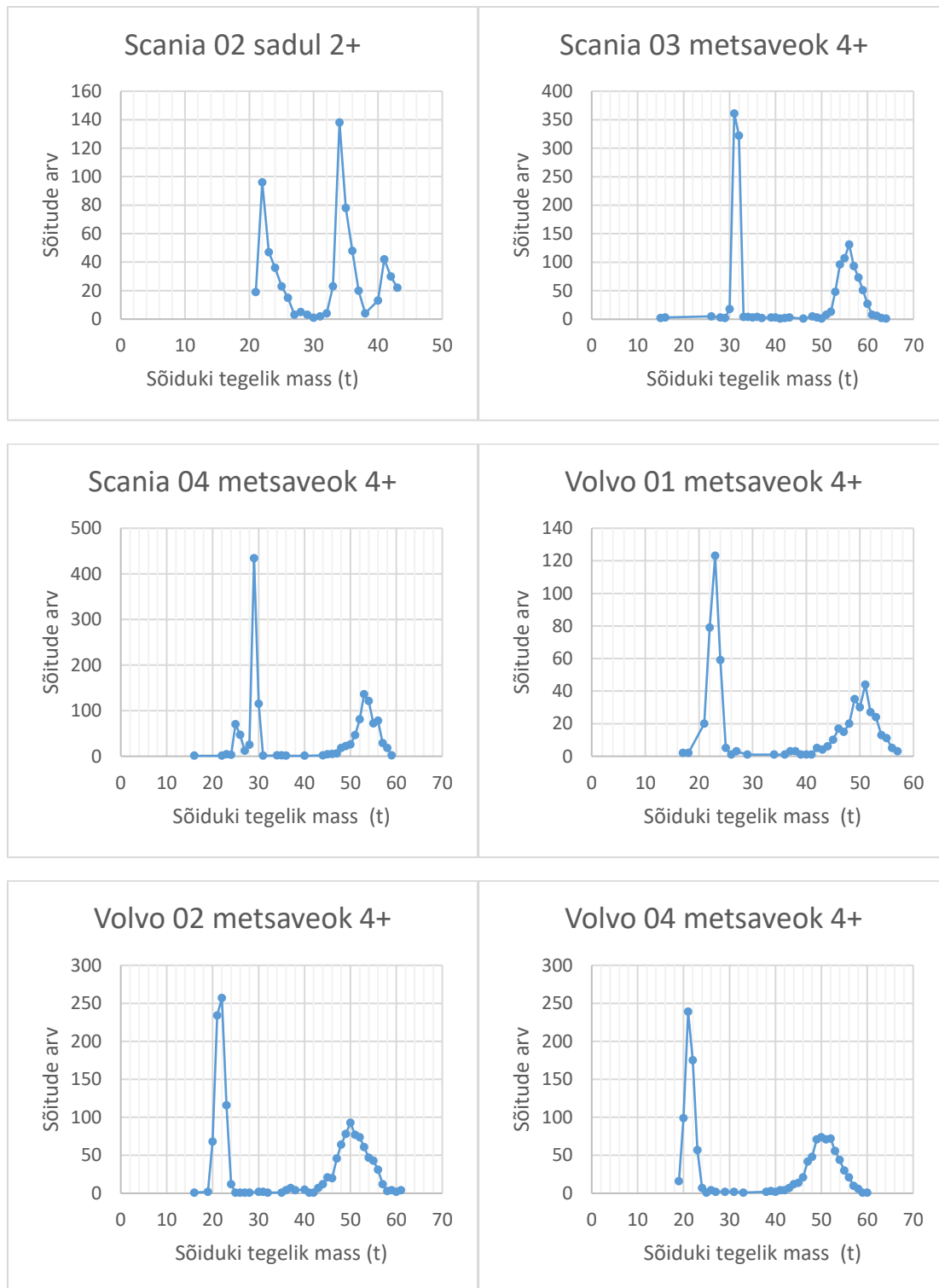
Tegelike masside jaotus

Vaadeldavate sõidukite tegelike masside jaotus on toodud tabelis.

Tabel 9. Valimis olnud sõidukite tegelike masside ulatus.

Sõiduk	Tegelik mass (kg)	
	Minimaalne registreeritud näit	Maksimaalne registreeritud näit
Scania 02 sadul 2+	21740	43976
Scania 03 metsaveok 4+	26106	63985
Scania 04 metsaveok 4+	22992	59384
Volvo 01 metsaveok 4+	17195	57773
Volvo 02 metsaveok 4+	16934	61763
Volvo 04 metsaveok 4+	19160	60421

Järgnevatel joonistel on toodud sõitude keskmiste tegelike masside jaotumine sõitude lõikes sõidukite kaupa.

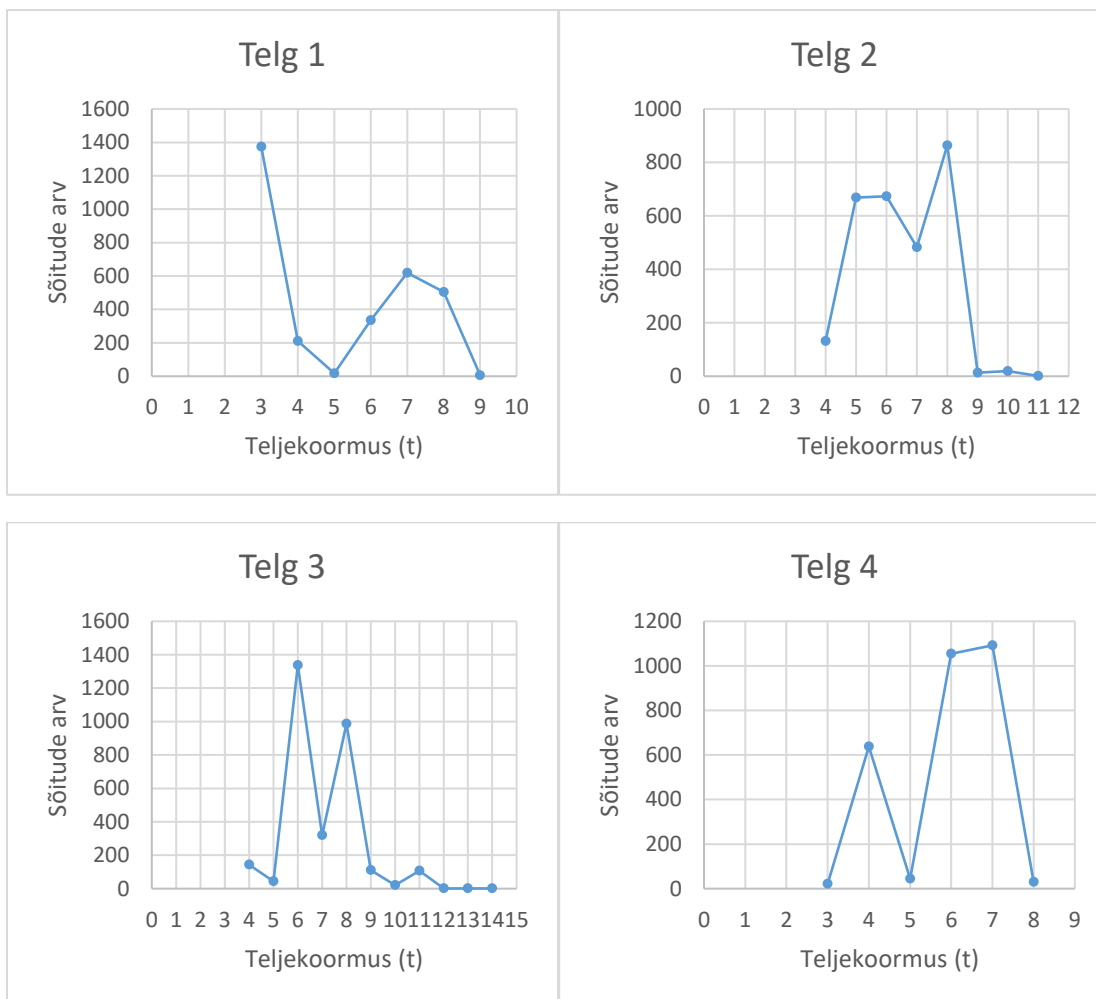


Joonis 33. Tegelike masside jaotumine sõitude lõikes.

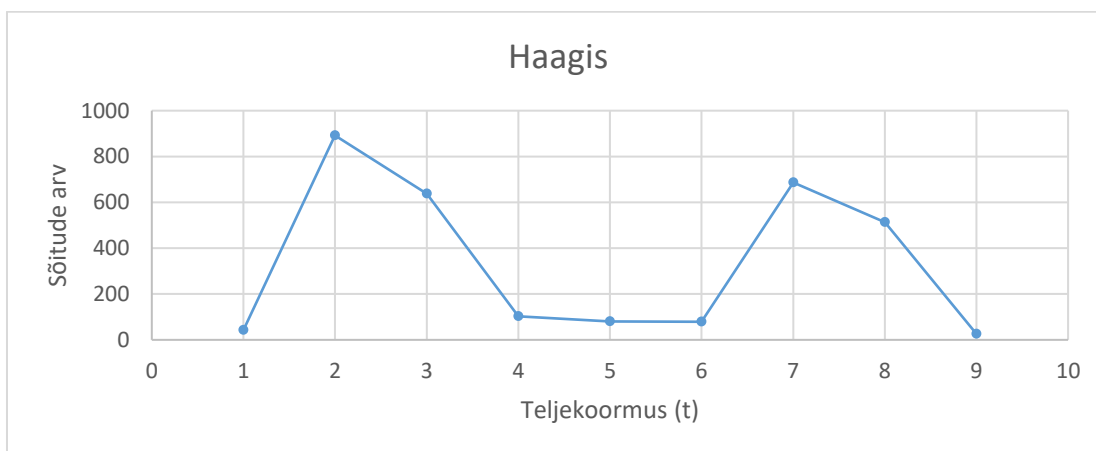
Arvestades masside jaotumist saab kasulikuks koormaks lugeda selle osa kogumassist, mis ületab Scania metsaveokitel 32 tonni ja muudel veokitel 25 tonni. Kuna kaasatud on ka sõidud mitteavalikul teedevõrgul ja puuduvad andmed tee omanike käest taotletud täiendavate veolubade kohta, ei ole siinkohal asjakohane teha järeldusi massipiirangu ületamiste kohta. Arvestades sõidukite modelleeritud tegelike masse ja arvestuslikke koormata masse on projektis osalevate sõidukite veosekäive kokku 3 742 miljonit tonnkilomeetrit.

Teljekoormuste jaotus

Kuna teljekoormuste andmed on ainult Scania veokite kohta, siis Volvosid siinkohal ei käsitleta. Scania tüüpi veokite teljekoormuste jaotused on toodud joonistel telgede kaupa ja haagisel summaarsena.



Joonis 34. Teljekoormuste jaotumine sõitude lõikes.

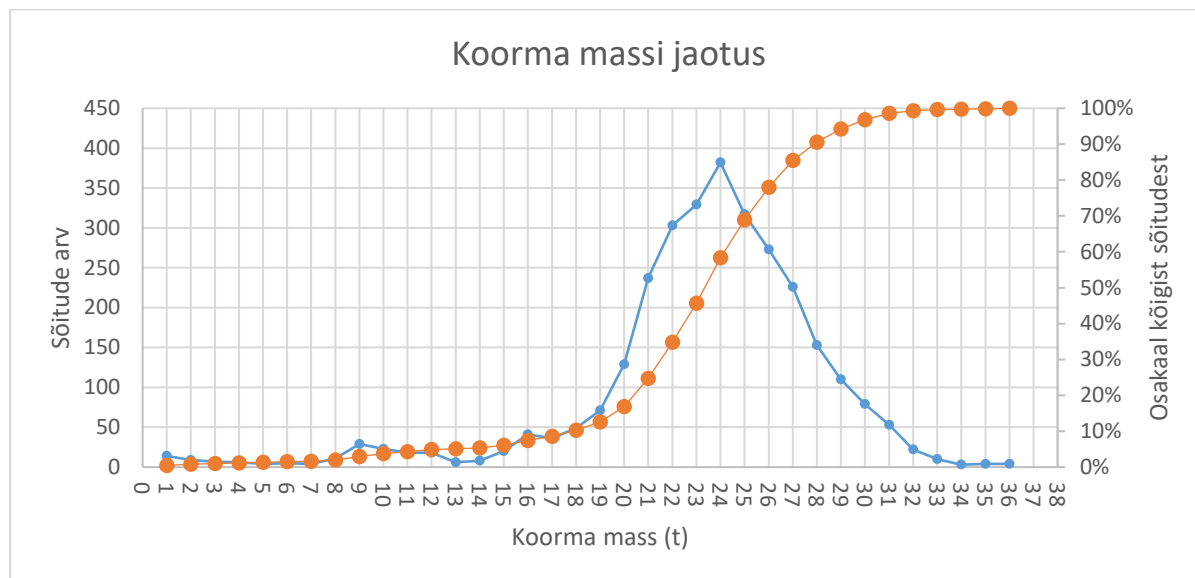


Joonis 35. Haagise teljekoormuste jaotumine sõitude lõikes.

Teljekoormused vastavad samale muustrile, mis on täheldatud sõidukite tegelike masside puhul, eristuvad tühjad (vasakpoolne hari) ja koormaga (parempoolne hari) sõidud. Erinevus on selgelt suurem haagiste juures, kuivõrd veduki telgedele avaldub igal juhul jõuagregaadi koormus.

Koorma massi jaotus

Vastavalt koormata sõiduki massile arvatud koorma mass annab ülevaate sellest, kui palju sõidu jooksul kaupa transporditi. Järgneval joonisel on toodud erineva kaaluga koormatega sõitude arv ja nende kumulatiivne jaotus, kus on summeeritud kõik alla vastava koorma kaaluga sõitude arvud.

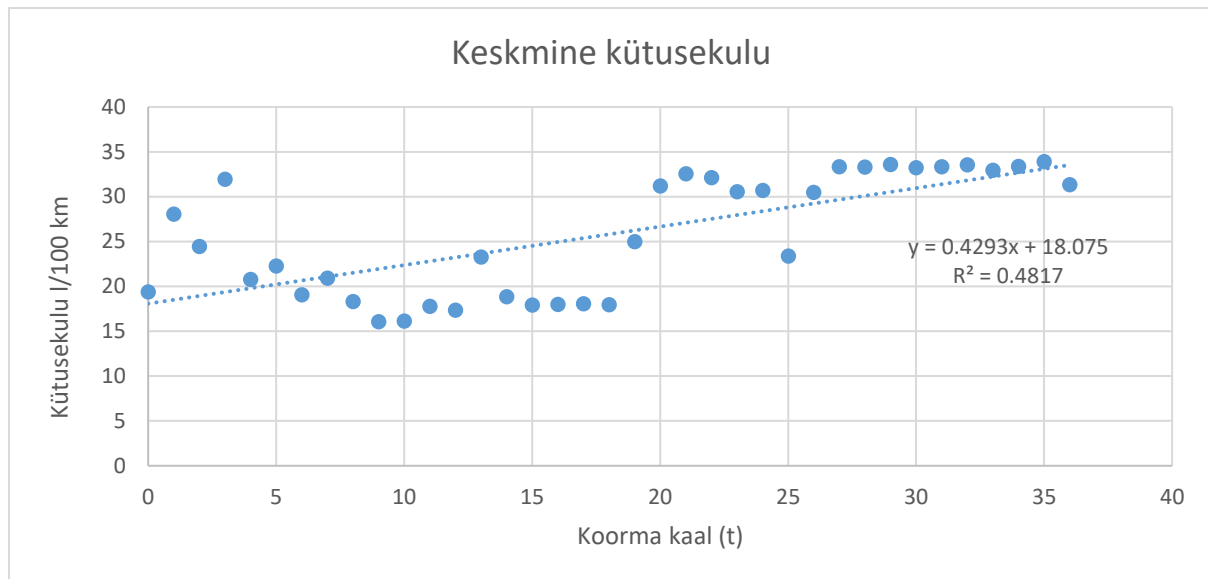


Joonis 36. Koorma massi jaotumine sõitude lõikes.

Kõigist koormaga tehtud sõitudest pooled on tehtud koormaga vähemalt 20 tonni. Raskeimad koormad jäävad alla 37 tonni ja 97% kõigist koormatest jäävad alla 30 tonni. Koorma kaalu mediaanväärtus jääb 23 ja 24 tonni vahele.

Keskmine kütusekulu ja CO₂ emissioon

Andmed sõidukite kütusepaagi taseme kohta olid olemas suhteliselt väikeses osas andmepakettidest, mistõttu on kütusekulu modelleeritud kasutades olemasoleva andmestiku põhjal loodud mudelit. Mudeli sisendiks oli mootori pöörete arv, sõidukiirus ja kogumass, väljundiks kütusekulu liitrites 100 kilomeetri kohta. Mudeli valideerimisel saadud korrelatsioonikordaja R^2 oli 0,74 ja keskmine ruutviga 4,12. Selline täpsus võimaldab mudelit kasutada ainult ligikaudsete hinnangute andmiseks.



Joonis 37. Keskmine kütusekulu erinevate koorma kaalude juures.

Kuna tegemist on modelleeritud andmetega, ei saa garanteerida nende täpsust ja universaalsust ja seetõttu tuleks edaspidi antud teemat järgmistes uuringutes põhjalikumalt käsitleda. Siiski on selge, et kütusekulu püsib reeglina ühtlane, eriti vahemikus kus veetakse enamik koormaid. Seega ei ole nii ökoloogia kui ökonoomia aspektidest otstarbekas jätta kandevõimet kasutamata. Suuremas vaates tuleb arvestada teede lagunemisest ühiskonnale tekkivat kulu ja see võiks samuti olla ülesanne järgmistele uuringutele.

Kokkuvõte

Uuringu tulemuste ja saadud kogemuse põhjal võib öelda, et kauglugemisega sõiduki masside hankimine on täielikult teostatav vahenditega, mis on juba täna sõidukites olemas. Riistvara poolelt ilmnesid autotootjate vahelised erinevused pardakaalusüsteemi juurutamisel. Ehkki vaadeldavatel Scania ja Volvo sõidukite seadmete tööpõhimõte on sarnane, ei olnud andmete ülekanne realiseeritud ühtmoodi. Seetõttu oli vaja teha täiendavaid tarkvaraarendusi, et saada mõlema autotootja andmestikud ühtsele kujule.

Juhul, kui andmeid ei ole kõigi telgede kohta, saab puuduolevad modelleerida, eeldusel, et mudel on loodud konkreetse sõidukitüübi jaoks eraldi. Selle töö raames tehtud teljekoormuste mudelid olid korrelatsioonikordajaga $R^2 \geq 0,9$ ja keskmise ruutveaga alla ühe tonni telje kohta. Siinkohal on tegemist sõidukipargi haldajale tasuvusülesandega, kas otstarbekam on paigaldada rohkem andureid või koostada vastav mudel.

Andmeanalüüsi käigus selgus, et sõidu alustamise järgselt ei pruugi edastatav näit koheselt uueneda, mistõttu võib süsteemi jõuda peale või maha laadimise eelse olukorra kirjeldus. Samuti ilmnes, et siirdekateendiga teedel oli edastatav kaalunäit madalam kui kattega teedel. Seega on metsaveokitel aga ka teedehitust teenindavatel veokitel võimalik olukord, kus raielangilt või karjäärast sõitu alustades võib olla näit lubatavas piiris, kuid kattega teele jõudes enam mitte. Seetõttu peab tulevane süsteem võimaldama autopargi haldajatel jälgida oma sõidukite kaalunäite. Nii saavad vedajad ise hoolitseda, et nende sõidukid püsiks lubatud kaalu piirides. Pardakaaluseadmete kalibreerimise ja kontrolli saab lahendada analoogselt kiiruspiirikute ja sõidumeerikute kontrolliga. Kuna antud uuringu periood oli suhteliselt lühike, ei ole võimalik täpselt öelda, kas kalibreerimine on vajalik tihedama intervalliga kui korraline tehniline ülevaatus. Üksiku sõiduki korduskaalumine näitas, et kalibreeritud pardakaaluseadmed ei vaja kalibreerimist vähemalt 2.5 kuud.

Pardakaaluseadmete olemus ei pea olema kindlaks määratud. Olles avatud võimalikele uutele tehnoloogiatele, tuleb ära määrata vaid andmete koosseis, edastusprotokoll ja nõutud intervall. Nii peab (korralisel või tee peal teostatava) kontrolli käigus jälgima ainult seda, kas jälgimise süsteemi jõudvad andmed on nõuetele ja tegelikule kaalule vastavad.

Kui praeguses töös seostati andmed ainult tee katte liigi ja tasasuse infoga, siis analoogselt on võimalik integreerida ka talviste ja aastaringsete massipiirangutega veoteede andmestikud („roheliste teede“ ja „lillade teede“ kaardikihid). Nii on võimalik jälgida ühelt poolt piirangutest kinnipidamist järelevalve poolt ja teiselt poolt saavad logistikud kaubavedu tõhusamalt planeerida jälgides kasutamata ressursi – kui palju koormat oleks võimalik veel lisaks laadida ilma teid kahjustamata. Raskemad koormad ei tõsta olulisel määral kütusekulu läbisõidu kohta, kuid säästavad sõitude hulga pealt nii tööaega kui kütust.

Samuti on otstarbekas integreerida samasse rakendusse ka teekasutustasu arvestamine. Praegune ajapõhine süsteem arvestab tegelikku ühiskondliku ressursi kasutust vaid kaudselt, sõiduki liigi ja heitmenormi järgi. Kaasates ka elektroonilise veoselehe süsteemi, on võimalik ka veo tellijatel jälgida, et nende kaup transporditakse võimalik keskkonnasõbralikul ja efektiivsel moel. Riiklikult on võimalik läbi teekasutustasu motiveerida vedajaid leidmaks puhtamaid ja säästlikumaid võimalusi.

Tänase päeva seisuga on võimalik kasutada kaaluandmeid logistika planeerimiseks ja järelevalveks. Samuti on juba täna võimalik hinnata ja prognoosida teekatete eluiga praeguse normtelgedel põhineva metoodika asemel tegelike teljekoormuste põhjal. Kasutades tihedama andmeedastusega testsõidukeid saab tuvastada ka kohad teel, kus pikikalde ja ebatasasuste koosmõjud tõstavad ühele teljele koormust sedavõrd, et avaldub mõju katendi elueale. Kui tulevikus on süsteem juba laiemalt

kasutusel, saab selle põhjal välja selgitada mitmeid olulisi detaile nii teehoolduse kui logistika planeerimiseks. Näiteks koorma ja kütusekulu pideva jälgimise abil saab välja selgitada optimaalsed koormad erinevate veokitüüpidele tagamaks minimaalse kütusekulu tonnkilomeetrile.

Summary

This study was carried out to determine the possibility of using on-board-weighing (OBW) equipment to reliably and accurately monitor weights of heavy goods vehicles. Estonia has long been the leading innovator in managing heavy vehicles via new technologies such as telematics, GIS and ITS. Previous developments such as current road networks for heavy vehicles („green roads“ for winter time and „purple roads“ for whole year) have been widely accepted by logistics companies and road administrators. These developments give strong background for new innovations with OBW equipment.

For this purpose, five trucks were selected, connected and monitored through fleet management platform provided by FleetComplete. Necessary additional hardware and software developments were done to allow to read the weighting data by telematics devices from vehicles CAN bus using FMS interface and display the data through web interface. For verification purposes weighing of fully loaded HGV vehicles was carried out with portable scales.

In the analysis part, telematics data was merged with known road database information on spatial basis. Dataset was aggregated into drives – i.e. cycles of continuous movement during which the weight of the truck should not change. During that phase, several issues with data were found and remedied, such as:

- Scania trucks do not transmit axle weights of all axles at every session
- Volvo trucks do not update the weight information immediately, but only after few minutes
- Unpaved roads show lower weight values

Missing data was modelled using machine learning via gradient boost regression algorithm. Separate models were created for each truck axle using the data with full coverage for training and validation. All models had R^2 values near or exceeding 0.9 with mean square error less than one ton per axle. This method can also be used for trucks with OBW equipment installed on single axle only. This gives fleet managers a choice between installing sensors on all axles or instead developing a model for different car types used.

In general, the make and model of OBW equipment should be freely chosen as long as it complies with prescribed data formats and time intervals. This prevents being locked in to the technology of today and allows using future solutions as an evolutionary process. This also gives fleet managers an opportunity to plan optimal loads for the trucks concerning working hours and fuel usage while preserving the road network by avoiding overloading the road structure. The certification and calibration process of OBW devices should be incorporated into yearly mandatory technical inspections, same way as the tachographs. As the period of this study was shorter than one year, it can only be confirmed that recalibration is not needed for at least 2.5 months.

Besides enforcement capabilities, OBW systems provide logistics managers with robust way of optimizing the usage of trucks. As our analysis showed, fuel usage per kilometer does not increase significantly at higher loads. Therefore, loading trucks to maximum safe limit for roads allow saving fuel and thus reduce carbon dioxide emissions. In order to determine said safe limit, all data must be integrated with road database. In this study, only pavement and IRI were used, providing insight that pavement type does affect the measured values, but road roughness has no effect. In future studies, other road parameters can be used with similar methodology. Also, the current road networks for heavy vehicles („green roads“ for winter time and „purple roads“ for whole year) can be linked to weight data providing even more insight for better logistics management and when necessary, also enforcement. In terms of pavement management, more detailed information about actual weights

on the road will yield more accurate predictions than current methods using standardized axles and vehicles.

Integration with road tolling system provides road administrators an opportunity to promote logistics solutions better for road structures and environment. This is also valuable information for procurement of logistics services allowing to choose most effective provider with smallest carbon footprint. In order to achieve this, a follow-up study with more vehicles included is needed to better understand the relations between fuel usage, road deterioration and load weight

Allikad

Heavy-Duty Vehicle Weight Restrictions in the EU. Enforcement and Compliance Technologies, ZAG.

Gross Weight Estimation Based Methodology, VOLVO.

Measuring Axle Loads Load indicator & Calibration, VOLVO.

OBW implementations utilizing existing equipment, ACEA.

KOMISJONI RAKENDUSMÄÄRUS (EL) 2019/1213.

IRU OBSERVATIONS ON THE COMMISSION PREPARATION OF A PROPOSAL ON TOOLS FOR THE PRE-SELECTION OF OVERLOADED VEHICLES.

On-Board Mass (OBM) System. Functional and Technical Specification, Transport Certification Australia.

Conditions for efficient road transport in Europe, CEDR.

Study on heavy vehicle on-board weighing, RAPP Trans

FMS-Standard description

Ilmastiku andmed <https://tik.teeilm.ee> , AS Teede Tehnokeskus

Sõidukite jälgimise testkeskkond <https://app.ecofleet.com> , Fleet Complete