



MAANTEEAMET



TALVISE TEEKATTE SEISUKORD JA ILMAOLUD SÕIDUKI PARDAKOMPUUTRIST

ARUANNE

Töö on koostatud Maanteeameti techoiu arendamise osakonna tellimusel

Tallinn
2021-4

Projektijuht:

Stanislav Metlitski, AS Teede Tehnokeskus

Töös osalesid:

Tanel Jairus, AS Teede Tehnokeskus

Märt Puust, AS Teede Tehnokeskus

Mihkel Tedremaa, Superhands OÜ

© Transpordiamet, 2021

Töö tellija on Transpordiamet, kuid töö tulemus ei pea olema kooskõlas Transpordiameti seisukohaga ega väljenda Transpordiameti 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
1. Sissejuhatus	4
2. Sõiduki andurid.....	7
3. Pardadiagnostika süsteemid	8
4. CAN protokoll	9
5. Parameetrite lugemine.....	10
6. Seadmete valimine	13
7. Andmestik.....	14
8. Teeolude hindamise meetodid.....	15
9. Sõidud	19
10. Andmete analüüs	20
11. Veebileht	28
12. Kokkuvõte.....	31

1. Sissejuhatus

Maanteeameti hooldevaldkonna tegevusprogrammis on aastateks 2019-2021 püstitatud eesmärgiks välja selgitada riigiteede korrashoiu ülesehituse võimalused tulevikus. Ühe tegevusena on kavandatud teekatte seisukorra ja ilmaolude hindamise võimaluste väljaselgitamine kasutades selleks sõidukite pardasüsteemidest saadavat infot.

Teekonna planeerimisel, teedel liiklemisel ning hooldeotsuste tegemisel on tähtis teada valitsevaid tee- ja ilmaolusid. Selleks on abiks teeilmajaamade infosüsteem, mille rajamist alustati 1995. aastal.

2020. a seisuga koosneb teeilmajaamade infosüsteem 76 teeilmajaamast ja 96 teekaamerast, mis asuvad peamiselt põhi- ja tugimaanteedel. Keskmiselt jääb kahe teeilmajaama vahele 25 – 30 km ja kahe teekaamera vahele 30-35 km. Vaatamata suhteliselt väikestele vahemaadele jäävad siiski mõned regioonid ja teed täiesti katmata. Isegi mõne põhitee puhul, kus on võrdlemisi suurem liiklus, võib seadmete paigaldustihedus olla oluliselt madalam eelpool toodud keskmistest numbritest. Teedevõrgu ühtlane katmine võib olla omaette eesmärk, kuid see ei jõua kunagi sellise tasemini, et rahuldada kõiki vajadusi.

Seadmete vajaduste kaardistamisel lähtutakse eelkõige andmete potentsiaalsete kasutajate vajadustest. Algselt toimus teeilmajaamade ja teekaamerate võrgu arendus lähtuvalt Maanteeameti talihoolde nõuete tagamise vajadustest. Seadme asukoha valikut looduses mõjutasid peamiselt tehnilised tingimused, näiteks kui lihtne on saada elektri- või sideühendust või kui turvaline on ümbritsev keskkond. Alati kõrvutati vajadusi ja võimalusi ning kui soovitud kohas sobivaid tingimusi ei olnud, siis tihti jäi teeilmajaam paigaldamata või kompromissina paigaldati seda soovitud kohast eemale. Mõnikord sattus teeilmajaam kliimaatilist sobilikku kohta ja iseloomustas suuremat ala, teinekord aga ekstreemsemasse kohta ning iseloomustas väiksemat ala. Teadmine asukoha sobivusest tekkis alles siis kui jaam oli juba mõnda aega tööd teinud. Tavaliselt ei ole teeilmajaamu ümber paigaldatud, kuna ka uues kohas kliimaatilise olukorra selgitamiseks võib kuluda palju aega.

Eestis tee- ja ilmaolude seirelahendused on oma iseloomult enamuses statsionaarsed, nende ülalpidamisega kaasnevad suhteliselt suured kulud nii uute seadmete ostu kui ka olemasolevate hoolduse näol. Samas statsionaarsed seadmed iseloomustavad teeolusid väga väikse teevõrgu osa kohta. Näiteks Tallinn – Tartu vahel asub 8 täisvarustuses teeilmajaama. Mõnel üksikul jaamal on rohkem kui üks teekattesse paigaldatud andur. Teeanduri mõõtmisala on tikutoosi suurune, samas Tallinn – Tartu lõigu pikkus on 200 km. Isegi kui igal jaamal oleks kilomeetrise mõõtmisalaga teeandur, siis selline lahendus iseloomustaks vaid 4% Tallinn – Tartu lõigust. Ülejäänud lõigul jääb alati ebakindlust ilma- ja teeolude osas.

Vähene kattuvus teeilmajaamadega ja muud eeltoodud probleemid ei ole ainult Eestile omas. Ka mujal maailmas on pööratud tähelepanu teeilmajaamadest kogutavate andmete lokaalsele iseloomule. Näiteks Lõuna-Koreas ei ole just sellel põhjusel ning kõrge hinna tõttu teeilmajaamade süsteemi laialdaselt kasutusele võetud.¹

Lisaks on pööratud tähelepanu teeilmajaamade võimekusele tuvastada libedust, kuna nende sensorid saavad vaid kaudselt iseloomustada teeolusid võttes analüüsi aluseks selliseid keskkonna parameetreid nagu temperatuur ja kastepunkt. Samas tee tegelik seisukord pole teada.²

¹ <https://www.scitepress.org/Papers/2019/69547/69547.pdf>

² <https://trid.trb.org/view/1576990>

Tallinn – Tartu lõik on täispikkuses 3+ seisunditasemega lõik, kus on vaatamata eeltoodud näitele võrdlemisi hea kattuvus teeilmajaamadega. Tugi- ja kõrvalmaanteed on madalama seisunditasemega ja teeilmajaamu nendel teedel praktiliselt pole. Samas ka nendel teedel on liiklejaid ja ka nende teede hooldamiseks vajab teehooldaja rohkem andmeid hetke teeolude kohta.

Üks võimalus toodud probleemide lahendamiseks on täiendavate mõõtmispunktide rajamine, kus kasutatakse lihtsamaid seadmeid võrreldavate kriitilise tähtsusega andmete tootmiseks. Teine võimalus on koguda mobiilseid andmeid, mida toodavad sõidukite pardasüsteemid ning nende alusel hinnata teeolusid. Mobiilsete andmetega on võimalik täita lünki teeilmajaamade vahel ja tagada parem ülevaade hetkeolukorrast kogu teedevõrgu ulatuses, kulutades oluliselt vähem raha.

Antud töö eesmärk on leida optimaalne lahendus kuidas saada tõepärast tee- ja ilmaolusid iseloomustavat infot kogu Eesti teede võrgule sõiduautodest, kasutades selleks sõiduki pardasüsteemidest saadavaid andmeid nagu näiteks tulede kasutamine, klaasipuhastite töö kiirus, pidurisüsteemi ja stabiilsuskontrolli süsteemide rakendamine. Eeldatav andmete kogumise lahendus peab olema lihtsalt kasutusele võetav ja skaleeritav ning ei eelda täiendavate suuri investeeringuid või sõiduki ümberehitust.

Projekti raames varustatakse kaks sõiduautod andmekogumis-, side- ja GPS seadmetega ning lisaks pardakaameraga. Andmeid kogutakse erinevates ilmaoludes Eesti teedelt.

Kogutud andmete alusel modelleeritakse tee- ja ilmaolusid iseloomustavaid parameetreid, mida koos algandmetega kuvatakse selleks spetsiaalselt loodud veebilehel.

Tulevikus, kasutades käesoleva töö käigus saadud kogemusi, saab luua toimiva C-ITS (*Cooperative Intelligent Transport System*) lahenduse, mis piisava sõidukite pargi kaasamisel võimaldab operatiivse ülevaade tee- ja ilmaoludest kõikide Eesti teede kohta. Selline info on oluline liiklejale kes on juba teel või kes alles planeerib oma teekonda, samuti on see oluline teehooldajatele ja eriti talvisel ajal, siis kui temperatuurid on 0 lähedased ja teekatte võib olla libe.

Tuleb märkida, et sõidukite ja liiklejate kaasamine andmete kogumise protsessi hakkab paljuskü sõltuma võimalustest ja väärtustest, mida taolise lahenduse kasutuselevõtmine sõiduki omanikule ja juhile pakub.

Nutikate autode ja muude seadmete ajastul tekib suures koguses andmeid, mida on võimalik kasutada seadmeid ümbritseva keskkonna kirjeldamiseks. Nii kaasneb erinevate teekonnaarvutuse lahenduste kasutamise kohustus osaleda teenusepakkuja seirevõrgustikus, mille põhjal pakutakse teistele liiklejatele täpsemat sõiduaja arvutust. Selliste teenuste kvaliteeti Eestis on hinnatud 2020. aasta tehtud uuringus³. Sarnast kontseptsiooni Eesti teedevõrgu tulemuslikkuse hindamiseks on kirjeldanud Kati Kõrbe Kaare oma doktoritöös⁴, tuues välja seirevõrgu ulatuse olulisust. Siinkohal tuleb eristada automaatselt kogutavaid andmeid kasutajate aktiivsel osalusel kogutust. Esimese (*participatory sensing*) baasil ei ole Eestis peale sõiduaegade määramise muid teenused avalikkusele suunatud. Teise (*crowdsourcing*) puhul on Waze keskkonda märgitud tuhandeid teateid liiklusõnnetuste, ummikute ja ka teeolude kohta.

Enne lahenduse realiseerimist tuleb uurida tavaliiklejate ja teiste kasutajate ootusi ning leida optimaalne ärimudel, et andmete kogumisega seotud kulud oleksid 100% kompenseeritud.

³ Sõiduaegade täpsuse võrdlus. Teede Tehnokeskus 2020.

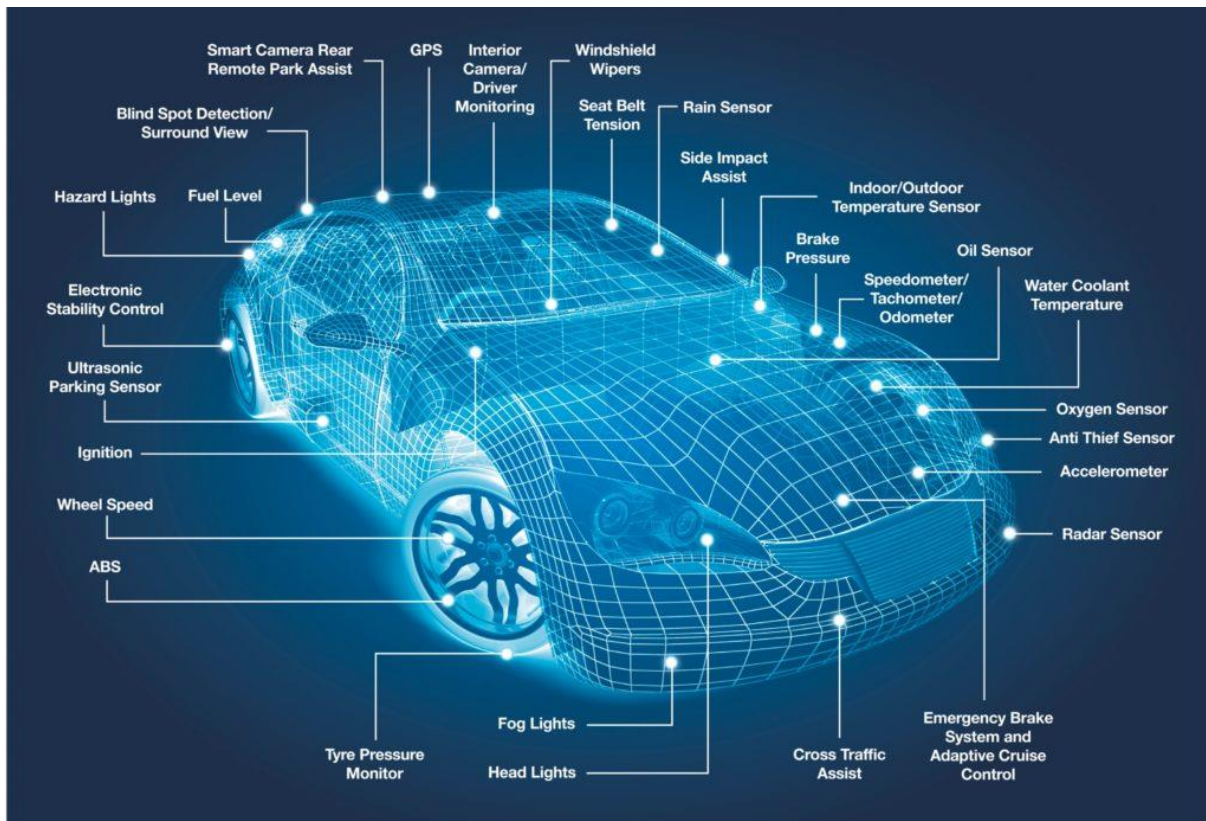
⁴ Performance Measurement for the Road Network: Conceptual Approach and Technologies for Estonia. Kati Kõrbe Kaare. Doktoritöö, TTÜ 2013.

Kas ja millisel määral antud lahendus mõjutab statsionaarse teeilmaseire võrku arendust hakkab sõltuma teeolude määramise mudeli täpsusest, mis omakorda otseselt sõltub sõidukite poolt kogutud andmete kvaliteedist. Maksimaalse efekti saavutamiseks on oluline, et kogutud andmed läbiks kvaliteedi kontrolli enne sisestamist mudelisse. Andmed, mis on vigased või mille väärtused selgelt erinevad keskmistest väärtustest peavad olema välja filtreeritud. Puhastatud andmestiku alusel modelleeritud tulemust saab kõrvutada teeilmajaamade ja mobiilsete mõõtmiste andmestikuga ning vajadusel kalibreerida mudel.

Kõrvutades statsionaarse ilmaseire võrgu arenguvõimalusi potentsiaaliga mida omavad mobiilsed sõidukite pardasüsteemidest saadavad andmed on ilmne, et piisava hulga sõidukite kaasamisel andmete kogumisse ei ole statsionaarse ilmaseire võrgu arendamine ja seadmete arvu suurendamine enam otstarbekas. Teatud kogus statsionaarseid referentspunkte on siiski vajalik mobiilsete andmete põhjal modelleeritud tulemuse valideerimiseks.

2. Sõiduki andurid

Andurid mängivad sõidukites olulist rolli. Kaasaegne sõiduk kujutab endast arvutivõrku millega võib olla ühendatud mitmeid kümneid erinevat arvutit. Arvutite otsused põhinevad andurite andmetel, mida sõidukis on veelgi suurem kogus. Arvutid jälgivad andurite abil sõiduki kütusekulu, mootori töö režiime, heitgaaside norme, kaitsevad ja abistavad sõidukijuhti, muutes sõidukeid veelgi ohutumateks, turvalistemaks, säästlikumateks ja mugavamateks.



Joonis 1. Sõiduki ökosüsteem⁵

Andurid mõõdavad sõiduki enda parameetreid. Ümbritsevat keskkonda hindavad sõiduki andurid väga väiksel määral. Murdosa mõõtmisandmetest ja nende põhjal tehtud otsustest jõuab sõiduki näidikupaneelile.

Üheks ümbritsevat keskkonda iseloomustavaks parameetriks on temperatuur. Ainult temperatuuri alusel on raske hinnata, mis on tegelikud teeolud, kas tee on libe ning valida ohutu kiirus. Seetõttu seoste loomiseks tuleb kaasata sõiduki enda parameetrid.

Sõiduki poolt mõõdetud parameetrid lisaks ilmastikule peavad iseloomustama teeolusid. Teeolud on otseses sõltuvuses ilmast ja liiklusohutuse seisukohalt omavad olulisemat tähtsust. Teeolude kirjeldamine on palju lihtsam, kui selleks saab kasutada ümbritseva keskkonna mõõtmisandmeid. Ideaalis tähendab see, et sõiduki andurite koosseisu kuulub vähemalt üks andur, mis mõõdab vähemalt teepinna temperatuuri. Tavaliselt mõõdetakse teepinna temperatuuri anduritega, mis on teepinnaga pidevas kontaktis. Alternatiiviks on kontaktivaba soojuskiirguse intensiivsuse mõõtmine. Kuna antud töö eesmärk on hinnata teeolusid sõiduki enda andurite poolt mõõdetud parameetrite alusel kaasates

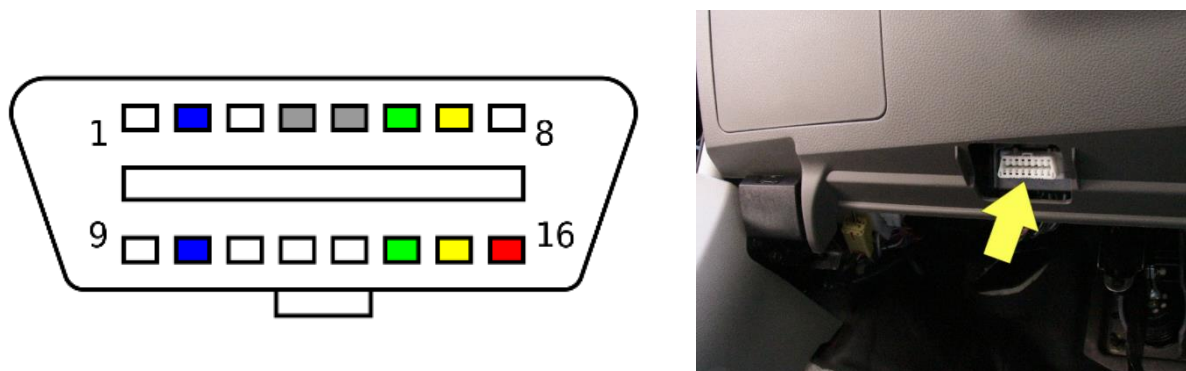
⁵ <https://www.cieonline.co.uk/high-performance-mems-sensors-for-smarter-vehicles/>

vaid hästi levinud seadmeid andmete kogumiseks ja edastamiseks siis ei ole lisaandurite paigaldust käesolevas töös kaalutud.

3. Pardadiagnostika süsteemid

Alates eelmise sajandi keskpaigast hakati autodele paigaldama mikroprotsessoritel põhinevaid juhtimissüsteeme, mis kontrollisid esmalt mootorisse jõudvat kütusekogust. Nende seadmete töökorra hindamiseks ei saanud enam kasutada analoogsüsteemide mõõtevahendeid, mistõttu arendati välja digitaalne väljund. Esimene kohustuslik OBD ehk „On-board diagnostics“ standard jõustus 1988. aastal Ameerika Ühendriikides Kalifornia osariigis. Kaheksa aastat hiljem muutus selle edasiarendus OBD-II kohustuslikuks kogu USA-s. 2001. aastast alates (diiselmootoriga autod alates 2004) peavad Euroopa Liidus müüdavad autod vastama EOBD standardile, mis on tehnilises osas sama, mis OBD-II⁶.

OBD-II üheks olulisemaks standardiseeritud osaks on ühetaoline pistik J1962, mis peab asuma roolist maksimaalselt 61cm (2 jala) kaugusel⁷. Pistiku kuju on standardne, kuid osa klemme on jäetud autotootjale vabaks kasutamiseks oma äranägemise järgi. Pistiku skeem on toodud joonisel ja tabelis.



Joonis 2. OBD-II pistik J1962 ja selle asukoht sõidukis.

⁶ <https://www.csselectronics.com/screen/page/simple-intro-obd2-explained/language/en>

⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/On-board_diagnostics

1	Manufacturer discretion. GM: J2411 GMLAN/SWC/Single-Wire CAN. VW/Audi: Switched +12 to tell a scan tool whether the ignition is on.	9	Manufacturer discretion. GM: 8192 baud ALDL where fitted. BMW: RPM signal.
2	Bus positive Line of SAE J1850 PWM and VPW	10	Bus negative Line of SAE J1850 PWM only (not SAE 1850 VPW)
3	Manufacturer discretion. Ford DCL(+) Argentina, Brazil (pre OBD-II) 1997–2000, USA, Europe, etc. Chrysler CCD Bus(+) Ethernet TX+ (Diagnostics over IP)	11	Manufacturer discretion. Ford DCL(-) Argentina, Brazil (pre OBD-II) 1997–2000, USA, Europe, etc. Chrysler CCD Bus(-) Ethernet TX- (Diagnostics over IP)
4	Chassis ground	12	Not connected Manufacturer discretion: Ethernet RX+ (Diagnostics over IP)
5	Signal ground	13	Manufacturer discretion. Ford: FEPS - Programming PCM voltage Ethernet RX- (Diagnostics over IP)
6	CAN high (ISO 15765-4 and SAE J2284)	14	CAN low (ISO 15765-4 and SAE J2284)
7	K-line of ISO 9141-2 and ISO 14230-4	15	L-line of ISO 9141-2 and ISO 14230-4
8	Manufacturer discretion. Many BMWs: A second K-line for non OBD-II (Body/Chassis/Infotainment) systems. Activate Ethernet (Diagnostics over IP)	16	Battery voltage

Joonis 3. OBD-II pistiku klemmide tähendused.

OBD-II pistiku kaudu liikuv info peab vastama vähemalt ühele viiest protokollist. Reeglina on juurutatud vastavus ainult ühele. Protokollid on järgnevad:

- SAE J1850 PWM
- SAE J1850 VPW
- ISO 9141-2.
- ISO 14230 KWP2000
- ISO 15765 CAN

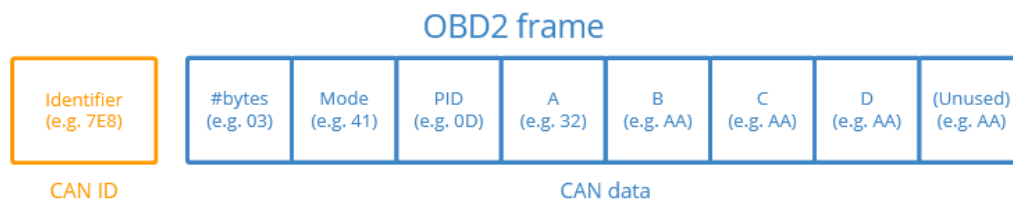
Erinevad protokollid kasutavad erinevaid klemme. Ainsad ühised klemmid on 4 (aku miinus) ja 16 (aku pluss). Alates aastast 2008 peavad kõik USA-s müüdavad autod olema võimelised kasutama ISO 15765 CAN protokoll, millega seoses võib eeldada, et ülejäänud protokollid aja jooksul võetakse kasutusest maha.

4. CAN protokoll

CAN ehk „Controller Area Network“ puhul on tegemist on järjestikvõrguga, kus suhtlus sõlmede vahel käib mitu-mitmele põhimõttel. Kõik sõlmed saavad andmeühendust initsieerida või sellele vastata.

Standardi järgi peavad kõik sõlmed olema ühendatud keerupaarkaablitega, mille nominaalne takistus on 120 Ω. Igal sõlmel peab olema saatja, vastuvõtja ja protsessor⁸.

Andmeedastus toimub kahel viisil – tavaline 11-bitine või laiendatud 29-bitine. Üks sõlm esitab 11-bitise päringu, millele tuleb sama pikk vastus.



An example of a request/response CAN message for the PID 'Vehicle Speed' with a value of 50 km/h can look like this:

Request: 7DF 02 01 0D 55 55 55 55 55

Response: 7E8 03 41 0D 32 AA AA AA AA

Joonis 4. OB2-II sees toimuv CAN andmeedastus.

Standardi järgi ei sisalda CAN andmeside krüpteeringut ega muid turvavahendeid. Kõik võrgus liikuvad andmed on näha kõigile võrgus olevatele standardikohastele seadmetele. OB2-II toetab laia valikut standardseid parameetreid, mida on võimalik lugeda enamikus sõidukites. Samas ei pruugi diagnostikapistik olla üles seatud selliselt, et sealtkaudu oleks võimalik lugeda kogu süsteemis liikuvat andmestikku, mistõttu täieliku andmekomplekti saamiseks tuleb seadmed eraldi ühendada. Näiteks töös „Tänapäeva ja tuleviku rakendused sõidukite kaalumisel, sõidukite masside jälgimissüsteemi loomine ja jälgimine reaajas“⁹ kasutati pardakaaluseadmete andmete lugemiseks „Fleet Management System“ ehk FMS-liidese kaudu CAN-võrku ühendatud seadmeid.

5. Parameetrite lugemine

Sõiduki parameetrite lugemine koosneb kahest komponendist. Esiteks, signaalide lugemine CAN võrgust ja teiseks nende tõlkimine inimloetavale kujule. Signaalide lugemiseks on võimalik kasutada eelpool kirjeldatud OB2-II pistikut, sõiduki mittestandardseid liideseid või ühendada sõiduki võrku väline seade.

OB2-II pistiku kaudu signaalide lugemine ja nende tõlkimine on lihtsam. Selleks on turul saadaval nii komplektsed seaded kui sidekomplektid andmete edastamiseks Bluetoothi kaudu. Parameetrite tõlkimiseks on olemas valik tarkvara, mis toetab enamuse protokolle ning sõidukeid. Tavaliselt piirdub tarkvara ainult standartsete signaalide lugemisega.

⁸ <https://www.iso.org/standard/66574.html>

⁹ https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/pohiaruanne_06_02_2020.pdf



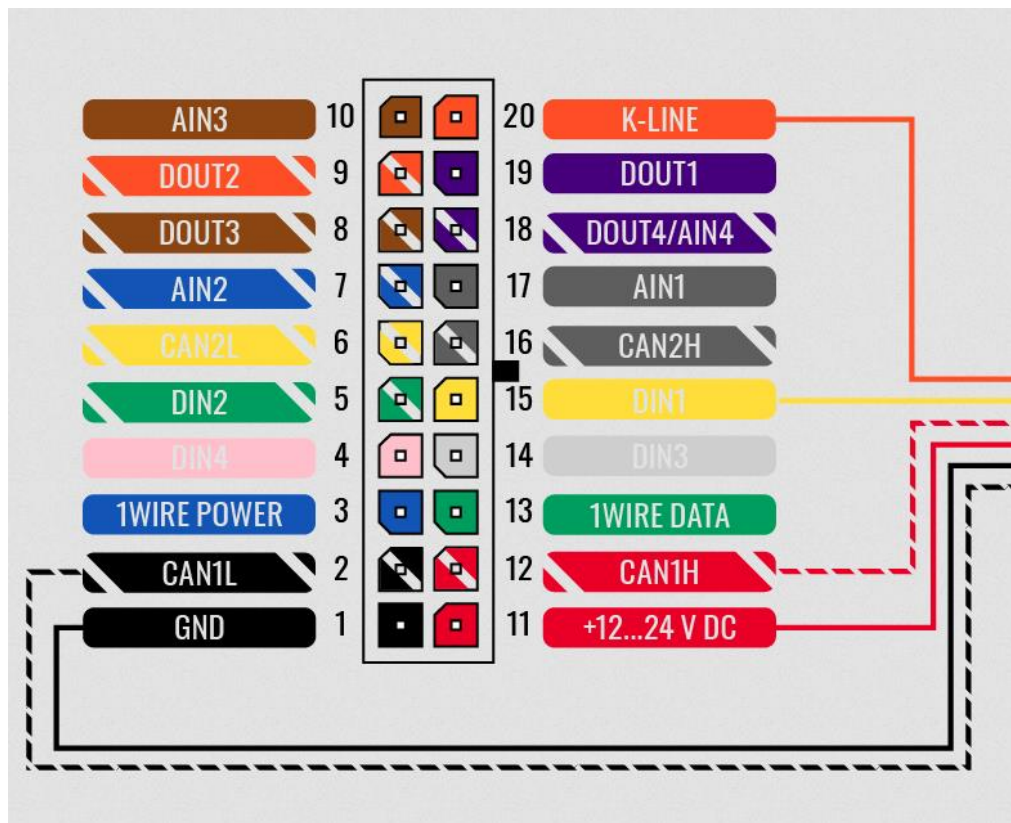
Joonis 5. OBD-II pistiku kaudu andmete lugemise seadme näide.



Joonis 6. OBD-II Bluetooth adapter.

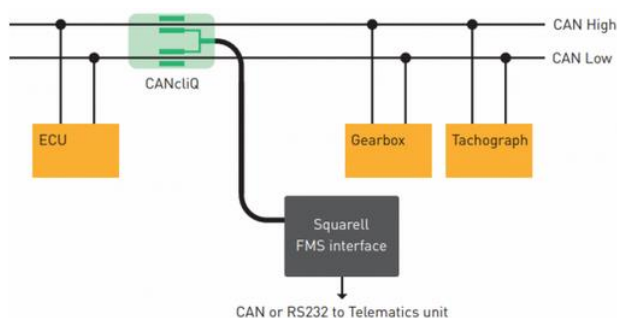
Suuremaid võimalusi sõiduki parameetrite lugemiseks pakub FMS-liides, mille kaudu on võimalik saada ligipääsu kõikidele CAN võrgus liikuvatele signaalidele. Toorsignaali kasutamisega kaasnevad aga teatud riskid. Protokollid, mida kasutatakse mitte standardsete signaalide edastamiseks autotootjate vahel võivad varieeruda. Sõidukite tootjad ei avalikusta mittestandardsete signaalide kirjeldust ja seetõttu konkreetse toorsignaali tõlkimiseks võib vaja minna pöördprojekteerimise meetodikat. Reeglina saadud tulemus ei pruugi töötada sama hästi teise autotootja sõidukiga.

FMS-liides ei ole sõidukitel standardvarustuses. Küll on võimalik vastav või analoogne pistik ka ise ühendada.



Joonis 7. FMS-pistiku skeem.

Kuna juhtmetele füüsiliselt külge ühendumine võib olla garantiitingimustega mitteühilduv tegevus, on tänapäeval saadaval ka seadmed, mis loevad signaale juhtmest induksioonmeetodil läbi isolatsiooni. Ehkki nime poolest on tegu kontaktivabade seadmetega, vajavad nad siiski füüsilist kontakti juhtme isolatsiooniga. Joonisel on toodud FMS-pistiku näide.



Joonis 8. „Kontaktivaba“ FMS-pistik.

Mis andmestikku on võimalik CAN süsteemi kaudu välja lugeda, sõltub autotootjast. Nii on näiteks USA turule toodetavate Toyota ja Honda mudelite väljastatav andmestik sedavõrd mahukas, et selle abil on võimalik anda autole isejuhtivuse võime¹⁰.

Standardijärgselt on süsteemis 196 erinevat parameetrit, lisaks võivad autotootjad lisada veel täiendavaid parameetreid. Enamik neist on seotud tehniliste seadmete tööga, näiteks Volkswagen Grupi sõidukitel on ainuüksi käigukastiga seotud 50 parameetrit.

Selleks, et käesoleva töö tulemus oleks korratav, lihtsasti kasutusele võetav ja skaleeritav ning ei jääks teoreetilise võimalusena on oluline leida selline lahendus, mis tagab maksimaalse tulemuse võimalikult standardsete seadmete ja andmete komplektiga.

Täna kasutatav mobiilse teeseisu seiresüsteem kasutab ELTRIP mõõteseadmeid, mille abil hinnatakse, mil määral erineb sõiduki rataste pöörlemiskiirus auto kiirusest. Selle jaoks on paigaldatud sõidukile spetsiaalsed andurid, mille esitatav andmestik on täpsem ja ühetaolisem kui erinevatel sõidukitel kasutatavad blokeerimisvastase pidurisüsteemi (ABS) andurid. Sama eesmärgi saavutamiseks saab kasutada ka ABS andureid endid¹¹.

6. Seadmete valimine

Arenduse esimesel etapil tuvastati konkreetsete sõiduautode võimalused CAN parameetrite lugemiseks OBD-II pistiku kaudu. Praktilistes katsetustes kasutati automaatkäigukastiga esirattaveolist 2016. aastal valminud autot Škoda Octavia 1.2 TSI DSG. Ühendusmooduliks kõige paremini sobis OBD-II ühendusmoodul Veepeak OBDCheck BLE. Ühendusmoodul paigaldati pistikusse, nagu on näidatud järgmisel joonisel.



Joonis 9. OBD-II ühendusmooduli paigaldus testautole.

Andmete vastuvõtmiseks seadistati Android-i põhine telefon. Andmed loeti Bluetooth liidese kaudu. Katsed näitasid, et andmete laekumiseks tuleb seadistada vastuvõtt täpselt sõiduki margi ja mudeli järgi.

Andmete tõlgendamisel keskenduti järgmistele parameetritele:

- rataste pöörlemise kiirused;
- ümbritseva temperatuuri näit;
- ABS / ESP / ASR rakendamine;
- udutulede kasutamine;
- klaasipuhastite töö kiirus;

¹⁰ <https://comma.ai/>

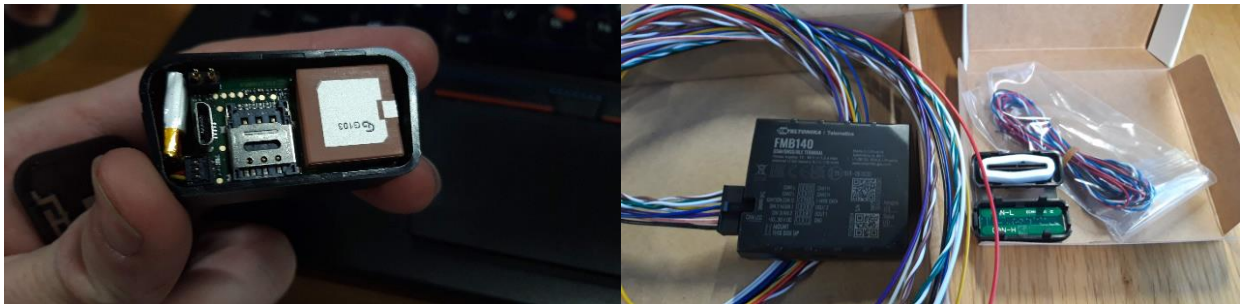
¹¹ <https://www.semanticscholar.org/paper/VehSense%3A-Slippery-Road-Detection-Using-Smartphones-Hou-Gupta/eacbb15539ac8ca3dc26f5ea1520af136940d23b>

Sõiduki kiirus määrati GPS seadme abil sagedusega 1Hz.

Katsesõidud teostati erinevate teeoludega. Esialgselt saadud andmetest nähtus, et libeda teekattega on üksikute rataste pöörlemiskiiruste variatsioon suurem kui kuiva teekattega. Oli hetki, kus üks vedav ratas pöörles teistest kiiremini kehvema haardumise tõttu. Samuti oli olukordi, kus rattad pöörlesid sõidukist aeglasemalt.

OBD-II pistiku kaudu tulede ja klaasipuhastite kasutamise ning abisüsteemide rakendamise info lugemine ei õnnestunud.

Eeltoodud parameetrite lugemiseks prooviti Teltonika OBD-II ühendusmoodulit FMB002 ning Teltonika FMB140 GSM/GNSS/Bluetooth jälgimisseadet, mida ühendati otse sõiduki CAN võrguga.



Joonis 10. Teltonika OBD-II ja CAN ühendusmoodulid

Teltonika seadmetega ei õnnestunud lugeda ühtegi huvi pakkuvat parameetrit. Kasutajatugi pakkus erinevaid võimalike lahendusi, kuid ükski nendest ei osutunud sobilikuks. Selgus, et Teltonika ei ole varem kokku puutunud vajalike parameetrite lugemisega, nende poolt arenduste tegemine oleks ajamahukas protsess, kuid samas soovitud tulemuseni jõudmine ei ole garanteeritud.

Töö teisel etapil paigaldati OBD-II ühendusmoodulid Veepeak OBDCheck BLE kahele katsesõidukile Toyota Avensis, millega tehti sõite erinevatel ilmaoludel erinevate seisunditasemetega teedel. Mõlemad sõidukid olid esirattaveoga ja manuaalkäigukastiga, samuti olid mõlemad sõidukid 1798 cm³ töömahuga bensiinimootoriga, mille võimsuseks 108 kW.

Ülevaade katsesõitudest on toodud järgmistes peatükkides.

Tausta infona valideerimise eesmärgidel koguti pardakaamera pilti ning teeilmajaamade infosüsteemi ja mobiilsete teeseisundi mõõteseadmete andmeid.

7. Andmestik

Lähtuvalt töö eesmärgist enim huvipakkuvad sellised CAN parameetrid, mis kirjeldavad sõidukit ümbritsevat keskkonda ja sõiduki kiirust. Sellest tulenevalt valiti mobiilirakenduse poolt salvestatavatest välja järgmised parameetrid:

- *Steering Angle Value (°)*
- *ABS Warning Light ()*
- *Ambient air temperature (°C)*
- *Ambient Temp Sensor (°C)*
- *FL Speed Open (Normal=0,Error=1)*
- *FL Wheel Acceleration (m_sec2)*
- *FL Wheel Speed (km/h)*
- *FR Speed Open (Normal=0,Error=1)*

- *FR Wheel Acceleration (m_sec2)*
- *FR Wheel Cylinder Open (Normal=0,Error=1)*
- *FR Wheel Speed (km/h)*
- *RL Speed Open (Normal=0,Error=1)*
- *RL Wheel Acceleration (m_sec2)*
- *RL Wheel Speed (km/h)*
- *RR Speed Open (Normal=0,Error=1)*
- *RR Wheel Acceleration (m_sec2)*
- *RR Wheel Speed (km/h)*
- *Slip (AT) Indicator Light*
- *Speed (GPS) (km/h)*
- *Vehicle acceleration (m_sec2)*
- *Adjusted Ambient Temp (°C)*
- *Deceleration Sensor (m_sec2)*
- *Deceleration Sensor2 (m_sec2)*
- *Forward and Rearward G (m_sec2)*
- *Lateral G (m_sec2)*
- *Vehicle Speed Meter_7CO (km/h)]*

Andmete süsteemi lugemisel kasutati lisaks indikaatorparameetreid, mis näitavad süsteemi usaldusväärsust. Näiteks ABS anduri puhul on binaarsed lisaparametrid, mis tavaolukorras signaali ei edasta (väärtus 0), kuid tõrke korral annavad väärtuse 1. GPS asukoht ja kiirus võeti lisaseadmest.

Andmete teisendamiseks loodi *Python 3* skript, mis luges seadmest laekunud infost vajalikud parameetrid ja laadis need *PostgreSQL* andmebaasi. Seal ühendati andmed omakorda teejoontega ning puhastati. Kuna CAN andmed edastatakse pakettidena, sisaldas iga algne andmerida vaid osade parameetrite väärtuseid. Andmete võrreldavaks muutmiseks korraldati puuduvate parameetrite eelnevaid väärtuseid.

Mittesobivateks loeti andmed, kus puudus GPS kiirus või rataste pöörlemiskiirustes esines anomaaliaid. Näiteks oli ühel lõigul esisillaveoga katseautol tagarataste pöörlemiskiirus järjest erirataste omast kolm korda kõrgem. Samuti jäeti kõrvale need andmed, mille koordinaadid jäid teejoontest eemale, et välistada teeäärsetel aladel toimuv manööverdamine, näiteks tanklas või parklas.

8. Teeolude hindamise meetodid

Teeolude hindamine omab kriitilist tähtsust eelkõige talvisel ajal. Muutlikel ilmaoludel kui temperatuurid kõiguvad nulli ümber võib ootamatult teedele tekkida libedus. Libeduse registreerimine ja sellest kiire teavitamine on olulise tähtsusega talvise teehoolduse tegemisel. Mida parem on ülevaade teeolude kohta seda täpsemad on hooldevõtted ja seda ohutum on ka liiklemine.

Autotööstus on teinud väga palju selleks, et liiklemine sõidukis oleks turvaline iga ilmaga. Sõiduki arvutitel lisaks erinevatele sõiduki enda sensorite poolt määratud parameetritele on kasutada mitmeid keerulisi algoritme, mis aitavad hinnata liikumistingimusi ja juhtida vastavaid juhiabisüsteeme.

Nagu eelnevates peatükkides kirjeldatud, on võimalik auto pardasüsteemidest välja lugeda ja edastada väga erinevaid parameetreid. Eesti praktikas kasutatakse peamiselt kiiruse, asukoha ja paagis oleva kütusekoguse parameetreid. Talvise teehoolde jälgimisel on lisatud andmed lisaseadmete (sahk,

puistur) käitumise kohta. Raskeveokite jälgimisel¹² on loetud pardasüsteemidest sõidukite masse. Tee- ja ilmaolusid iseloomustavaid parameetreid sõidukite pardaseadmetest ei ole varem loetud ja analüüsitud.

Maailma tasemel on tehtud mitmeid uuringuid mille eesmärgiks oli saada sõiduki pardasüsteemidest andmeid, mis otseselt või kaudselt aitaksid iseloomustada teeolusid. Uuringud näitasid, et OBD-II andmeid saab kasutada talviste teeolude hindamisel nii täiendava¹³ allikana libeduse tuvastamiseks, ABS sündmuste modelleerimiseks¹⁴ kui ka teeseisu määramiseks¹⁵.

Teeolude hindamisel on kasutatud ka muid (mitte OBD-II) parameetreid sõltuvalt eesmärgist. Näiteks on märg-kuiv eristuse jaoks kasutatud sõiduki rataste liikumisest tekkiva müra karakteristikuid¹⁶.

Hõõrdejõu, mis tekitab rehvi ja teepinna vahel, määramiseks on katsetatud spetsiaalseid rehvi sisse ehitatud andureid¹⁷. See meetod ilmselt kvalifitseeruks parimate hulka, kui andur ei vajaks keerulisi side- ja toitelahendusi.

Hõõrdejõud, mis takistab keha liikumist, teekatte – rattas süsteemis on hoopis edasiviivaks jõuks. Senikaua kui hõõrdumine rehvi ja teekatte vahel on tagatud ja haarduvus on piisav sõiduk on juhitav, sellega saab manööverdada, kiirendada ja pidurdada. Kui hõõrdumine puuduks käiksid rattad ringi kuid auto seisaks paigal. Sõiduki liikuma panemiseks oleks vaja muuta kas pindade, ehk ratta ja teekatte vahelist jõudu või karedust.

Karedust iseloomustab haardetegur μ , mis on määratletud kui hõõrdejõu F ja normaaljõu N suhe:

$$\mu = \frac{F}{N}$$

Sõiduki rataste kaudu haardetegurit arvutades tuleb arvestada ka sõiduki enda omadustega. Kuiva kattega tee korral on haardetegur 0,6 kuni 0,8. Et sellist haarduvust mõõta, peab ka sõiduk olema võimeline kas kiirendama või pidurdama selliselt, et kiirus väheneb sekundis vähemalt 6 m/s võrra. Tavakeeles tähendab see kiirendust „nullist sajani“ 4-5 sekundiga või pidurdust 100 km/h kiiruselt peatumiseni 60 meetriga. Selliste näitajatega sõidukid ei moodusta autopargist olulist osa ja samuti ei ole majanduslikult põhjendatud nende soetamine seiresõidukiteks. Seega saab haardetegurit arvutada ainult teatud piirini, millest kõrgemad väärtused ületavad sõiduki võimeid.

Mudelid haardeteguri tuletamiseks põhinevad valdavalt vahemikel, kuna täpsete väärtuste jaoks on hajuvus liiga suur¹⁸. Näiteks Li koos kaasautoritega on kasutanud järgmist jaotust:

- Tavaline, $\mu > 0,5$
- Libe, $\mu > 0,3$
- Väga libe, $\mu < 0,3$

¹² Tänapäeva ja tuleviku rakendused sõidukite kaalumisel, sõidukite masside jälgimissüsteemi loomine ja jälgimine reaajas. Teede Tehnokeskus. 2019.

¹³ <https://ieeexplore.ieee.org/document/8108301>

¹⁴ <https://trid.trb.org/view/1475217>

¹⁵ <https://trid.trb.org/view/1576990>

¹⁶ <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2013.09.011>

¹⁷ <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200211921029579.page>

¹⁸ <https://doi.org/10.1243/1464419JMBD60>

Erinevate teeolude ja haardeteguri hindamise mudelite analüüsil on jõutud järeldusele¹⁹, et liiga paljude parameetrite kaasamine teeb mudelid küll lühemas perspektiivis täpsemaks, kuid vähem töökindlaks erinevates oludes ja sõidukites.

Samuti on tähtis rõhutada, et andmed, mille alusel juhitakse nt ABS ja ESP süsteeme, mis otseselt iseloomustavad teeolusid on sõidukitootjate omand ja nende kirjeldus ei ole avalikult kättesaadav²⁰.

Seega on otstarbekas kaaluda vaid sellised lähenemisi, mille aluseks on andmete komplekt, mida on võimalik saada enamusest sõiduautodest kasutades selleks standardseid meetodeid ja enim levinud seadmeid.

Seda toetab Põhjamaades värselt tehtud uuring²¹, mis näitas, et kuigi muude seadmete kõrval on OBD kaudu kogutav info napp, saab seda siiski kasutada just libeduse hindamiseks.

Libedat teekatet iseloomustavad madalad haardeomadused, sellisel kattel aeglustades on sõiduki ratastel suur risk blokeeruda ning kiirendades rattad võivad lihtsalt jääda pöörlema. Samal ajal sõiduki enda kiirus võrreldes olukorraga enne aeglustamise või kiirendamise algust oluliselt ei muutu. Sellist nähtust nimetatakse libisemiseks ja sisuliselt see tähendab teekatte ja ratta pinna omavahelist kontaktpunktide pinnanormaalide suhtes risti toimuvat liikumist.

Lõuna-Koreas tehtud uuringus raskeveokite sõidumeerikute andmete põhjal²² kasutati libisemise määra (*slip rate*) hindamiseks sõiduki GPS-seadmest tuleva kiiruse ja rataste nurkkiirusest ja raadiusest tuletatud kiiruse erinevust järgmise valemi kohaselt:

$$S = \frac{w_w r_w - v_w}{w_w r_w}$$

Valemis on parameetrid kirjeldatud järgnevalt:

- S – ratta libisemine
- w_w – ratta nurkkiirus
- r_w – ratta raadius
- v_w – sõiduki kiirus
- $w_w r_w$ – ratta pöörlemiskiirus

Viidatud libisemise määr ei ole sama mis haardetegur, kuid on sellega seotud. Seda on uuritud leidmaks teepinna ja ratta vahelise haarduvuse piirmäära²³, mille käigus ilmnesid joonisel toodud seosed.

¹⁹ <https://doi.org/10.1177/0361198118823494>

²⁰ <https://trid.trb.org/view/1475217>

²¹ <https://munin.uit.no/handle/10037/19236>

²² <https://www.scitepress.org/Papers/2019/69547/69547.pdf>

²³ <https://doi.org/10.1115/1.1636773>

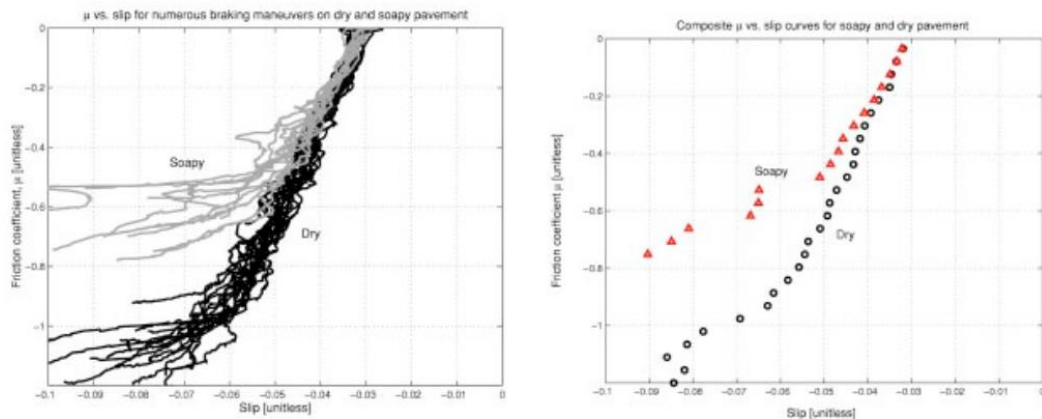
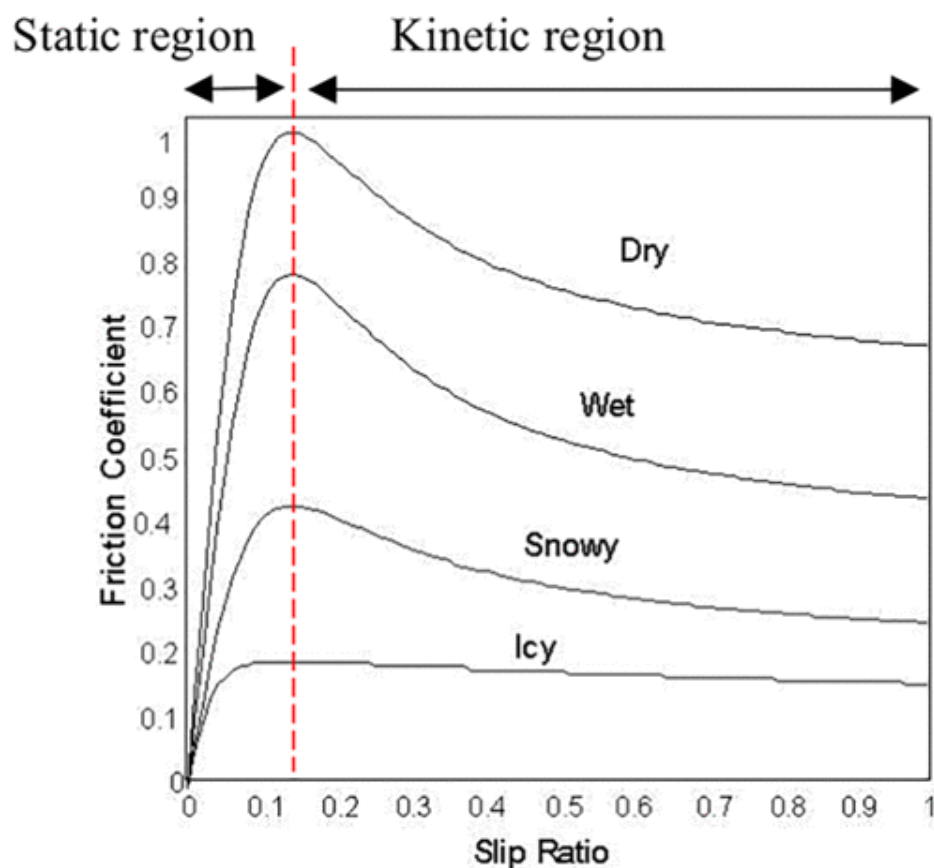


Fig. 3 Left: Measured μ versus slip data for 18 separate braking maneuvers on dry road and 10 separate braking maneuvers on wet and soapy road. Right: Same raw data as left graph, but the μ axis is divided into bins and one data point per bin is generated for each surface by averaging all of the slip values in that bin.

Joonis 11. Haardeteguri ja libisemise seosed (Müller et al, 2003).

Tüüpilised libisemise määra ja haardeteguri suhet erinevate teekatte ja rehvide kombinatsioonide puhul on toodud järgmisel joonisel.



Joonis 12. Haardeteguri ja libisemise seosed (Padarthy ja Heyns, 2019).

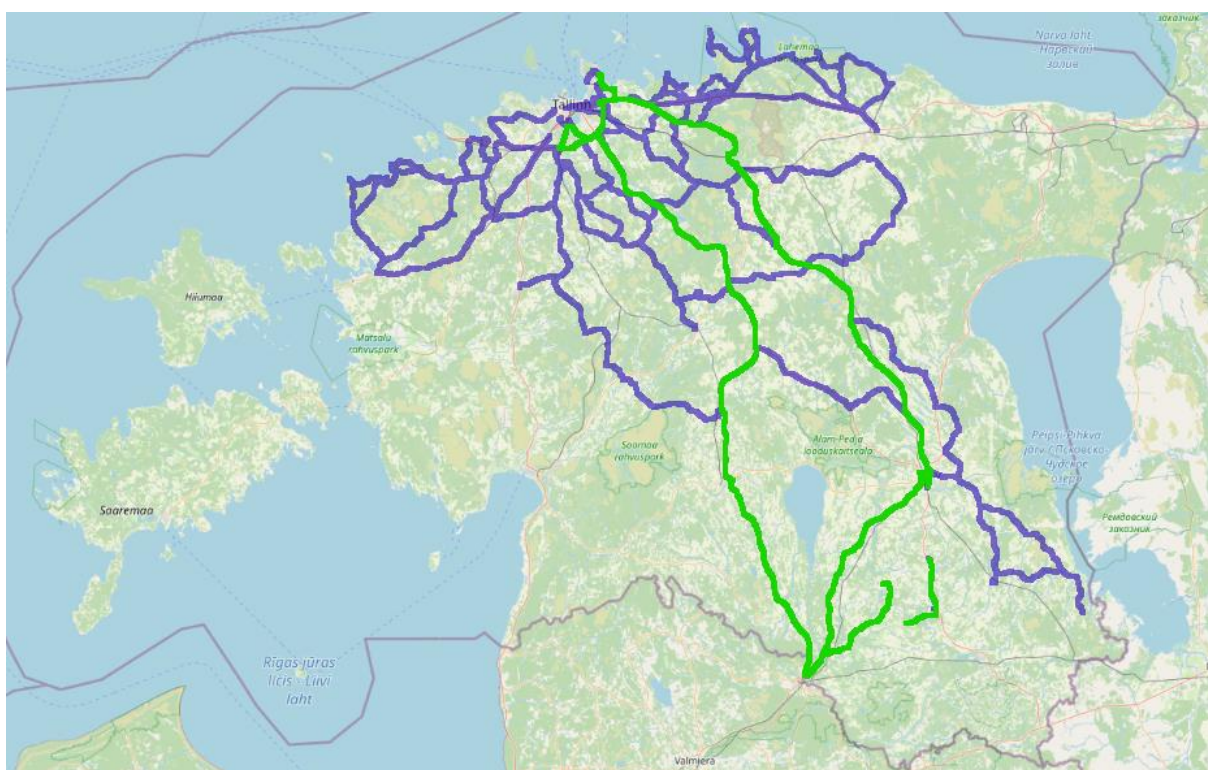
Rataste libisemise määra arvutamisel tuleb eristada kiirendamise olukorrad aeglustamistest, kuna kiirendamisel pöördemoment tekib vaid veoteljel. Kiirendamisel saavad libiseda vaid veotelje rattad ja nende libisemise määra saab hinnata mittevedava telje rataste suhtes. Aeglustamisel pöördemoment tekitab kõikidel piduritega varustatud ratastel. Sellisel juhul libisemise määra hindamiseks tuleb

kasutada kas eraldi vabalt veereva etalonratta, sõiduki enda kiirust määratud lisaseadmega (nt GPS-seadmega) või erinevate rataste kiiruste vahet.

Sellist lähenemist on kasutatud teeseisu jälgimise pardasüsteemi kirjeldamisel²⁴ Sarnast lähenemist on kasutatud ka teises uuringus, kus libeda teekatte tuvastamisel kombineeriti sõiduki OBD – II andmeid (rataste pöörlemiskiirus, p/min) nutitelefoni sensoritest saadud andmestikuga (aeg, asukoht, kiirendus, pöörded)²⁵.

9. Sõidud

2021. aasta esimese kolme kuu vältel läbisid katsesõidukid andmekogumise eesmärgil kokku 4571 kilomeetrit. Nende sõitude käigus salvestati sõiduki CAN süsteemi parameetrid. Sõitude ajal tehtud pildid laeti üles Mapillary keskkonda. Sõitude trajektoorid määrati Mapillary sõidujälgede ja ajatemplite põhjal. Osa sõitude puhul täiendava andmeallikana kasutati mobiilseid tee seisundi ja teepinna temperatuuri andureid RCM411 / RTS 411²⁶ Sõitude ruumiline ulatus on toodud kaardil



Joonis 13. Sõitude ruumiline ulatus. Rohelisega on tähistatud RCM411 / RTS 411 seadmetega sõidud.

Andmekogumise käigus talletati 1 624 377 andmerida, millest 421 299 täiendati haardeteguri ja teeseisu andmetega. Veidi üle poole sõitude mahust oli teedel, mille seisunditase oli 3+. Jaotus erinevate seisunditasemete vahel on toodud tabelis.

²⁴ <https://doi.org/10.1243/1464419JMBD60>

²⁵ <https://trid.trb.org/view/1576990>

²⁶ https://www.teconer.fi/wp-content/uploads/1_TeconerRCM411.pdf

Tabel 1. Sõidud seisunditasemete lõikes

SEISUNDITASE	OSAKAAL	NEIST RCM411 / RTS 411 SEADMETEGA
SEISUNDITASE 1	7.8%	6.2%
SEISUNDITASE 1 PUISTATAV OHTLIK KOHT	0.3%	22.9%
SEISUNDITASE 2	21.2%	6.1%
SEISUNDITASE 3	17.6%	19.2%
SEISUNDITASE 3+	53.1%	16.9%

Pikemateks sõitudeks valiti kuupäevad millal oli oodata muutlike ilmaolusid ja keskmisest raskemaid sõidutingimusi. Selliselt erinevate (sh ka ohtlike) olukordade kirjete arv üldvalimis on suurem ja andmete analüüs täiuslikum.

10. Andmete analüüs

Kuigi sõidukid praktiliselt ei mõõda ümbritseva keskkonna parameetreid otseselt, on siiski võimalik hinnata teeolusid lähtuvalt sõiduki enda parameetritest. Eelnevalt on analüüsitud kirjandust ja toodud välja mitmeid lähenemisi, mis on kooskõlas käesoleva töö eesmärgiga - leida optimaalne lahendus kuidas saada tõepärasest tee- ja ilmaolusid iseloomustavat infot sõiduautodest, kasutades selleks OBD andmeid.

Arvestades töö esimesel etapil tehtud seadmete ja parameetrite valikut kõige sobilikumateks osutused teeolude hindamise meetodid, mis põhinevad libisemise määra hindamisel. Vastavalt kirjanduses toodud näidetele arvutati libisemise määrad. Lisaks arvutati libiseva keskmisena sõiduki kiirendus 2+2 -sekundilise aknaga, et oleks võimalik eristada, kas sõiduk kiirendas või pidurdas. Vastav arvutus tehti järgneva valemi järgi:

$$a = \frac{v_1 - v_0}{\Delta t}$$

Valemis toodud parameetrid on järgmised:

a – arvutuslik kiirendus

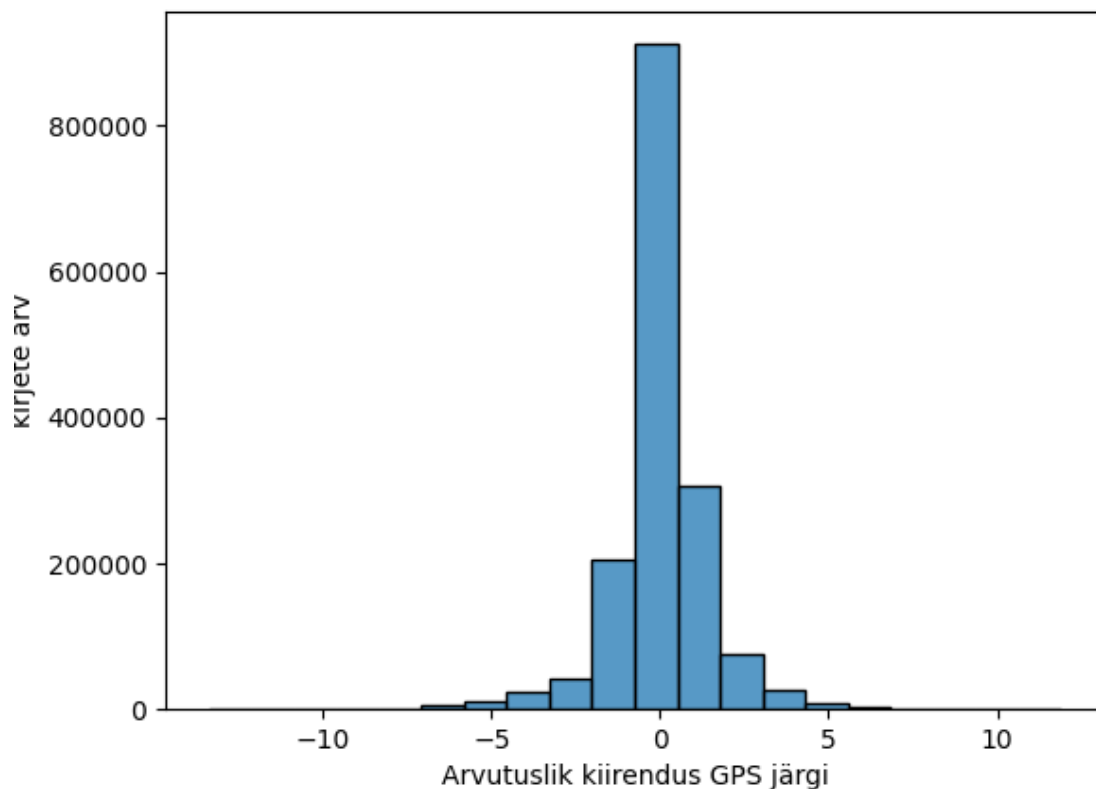
v_1 – järgmine GPS seadmega mõõdetud kiirus (kuni 2 sekundit varem)

v_0 – eelmine mõõdetud GPS seadmega mõõdetud kiirus (kuni 2 sekundit hiljem)

Δt – mõõtmiste ajaline vahe

Pidurdusteks loeti kõik negatiivsed ja kiirendusteks positiivsed väärtused.

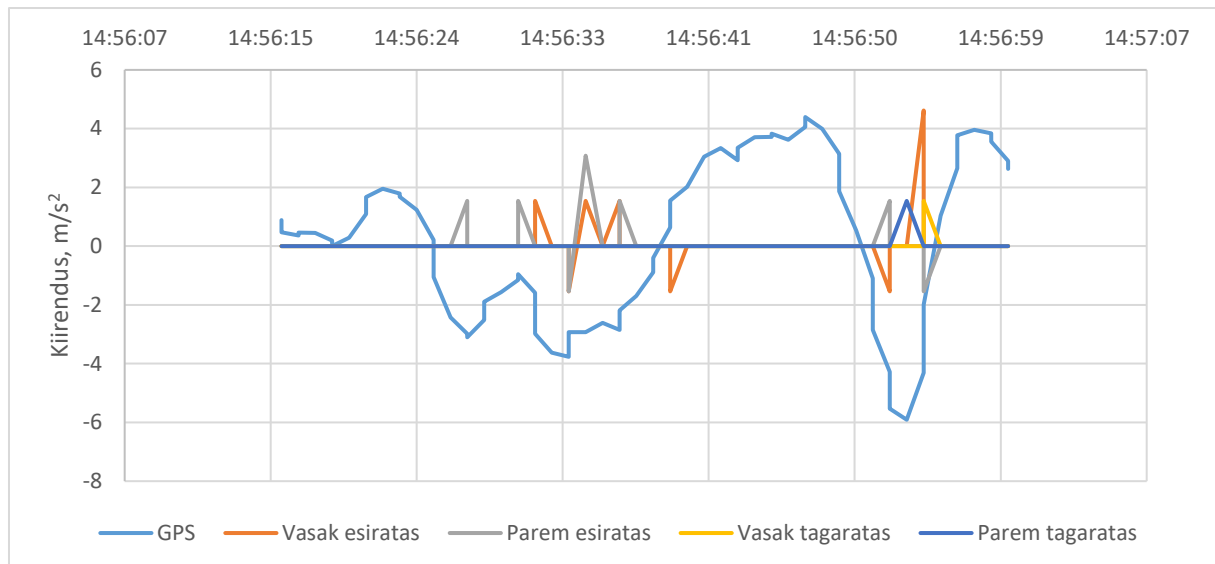
Kiirenduste jaotumine on toodud joonisel.



Joonis 14. Sõidukile mõjuvate kiirenduste jaotus.

Sõidukile mõjuvad kiirendused jäid valdavalt vahemikku -5 kuni $+5$ m/s². See näitab ka haardeteguri vahemikku (kiirendus ja raskuskiirenduse jagatis), mida on võimalik antud sõidukitega rataste haardumise kaudu tuvastada. Suuremat kiirendust ei ole jõuagregaadi ja pidurisüsteemi ümberehitusteta võimalik saavutada.

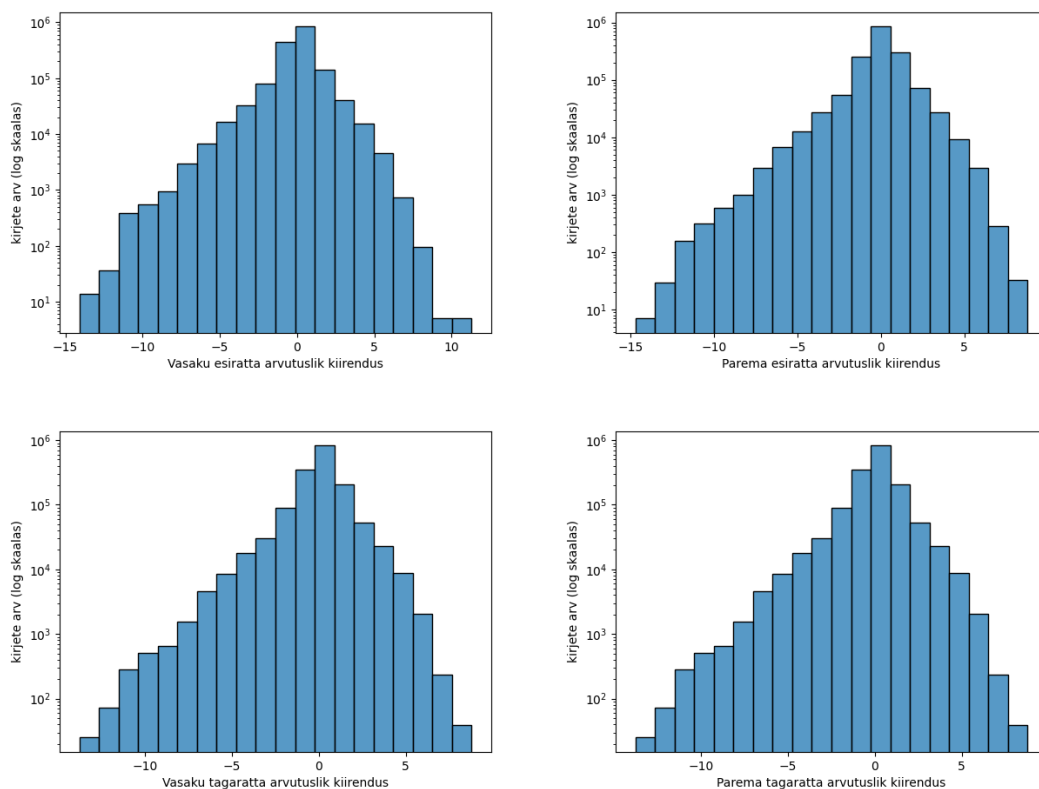
Sõidu ajal toimuvad liikumiste analüüs näitab, et sõidukile mõjuv kiirendus on pikema mõjuga ja kestab mitmeid sekundeid. Samal ajal registreeritud üksikute rataste mõlemasuunalised kiirendused iseloomustavad juhiabiseadmete tööd, mis tagavad sõiduki stabiilsuse ja juhitavuse. Samas on sellised kiirendused lühiajalised ja seetõttu ei pruugi kajastuda 1 Hz salvestusseadmega. Sellist olukorda on kujutatud ka joonisel.



Joonis 15. Sõiduki ratastele mõjuvate kiirenduste dünaamika sõidu ajal.

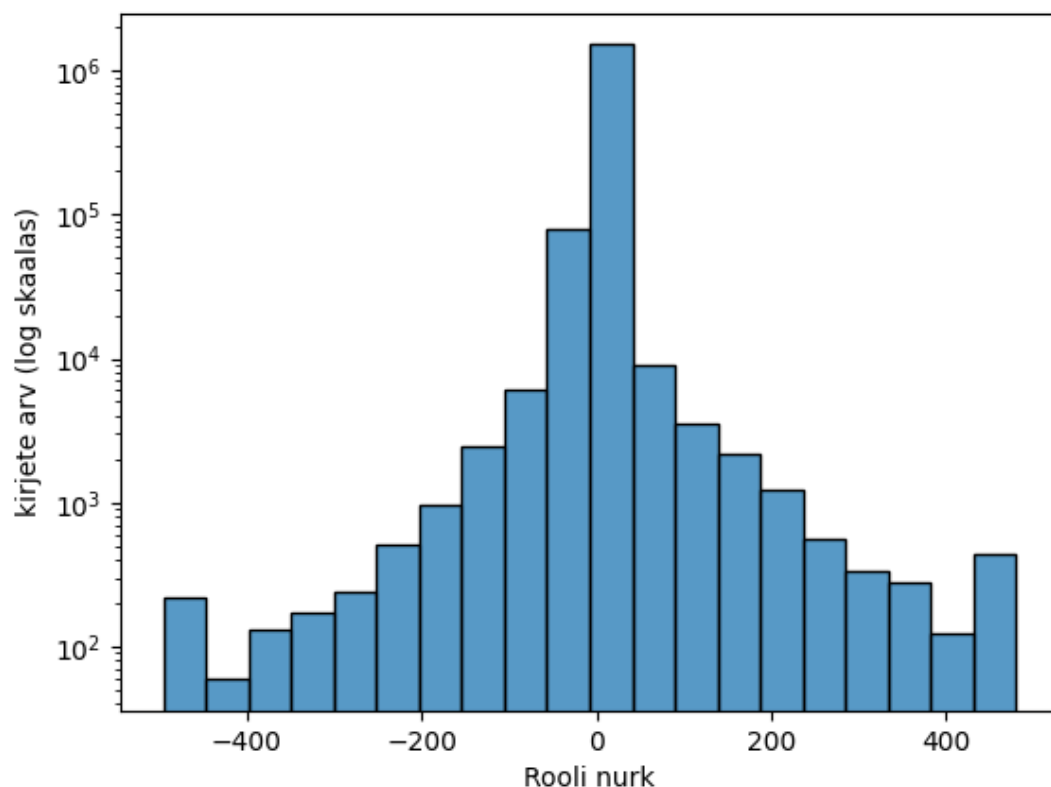
Sellest tulenevalt on otstarbekam arvutada ka rataste kiirendusi eraldi analoogselt sõiduki kiirendusega:

Üksikute rataste kiirendused on sarnases vahemikus (toodud joonistel), kuid erineva dünaamikaga.

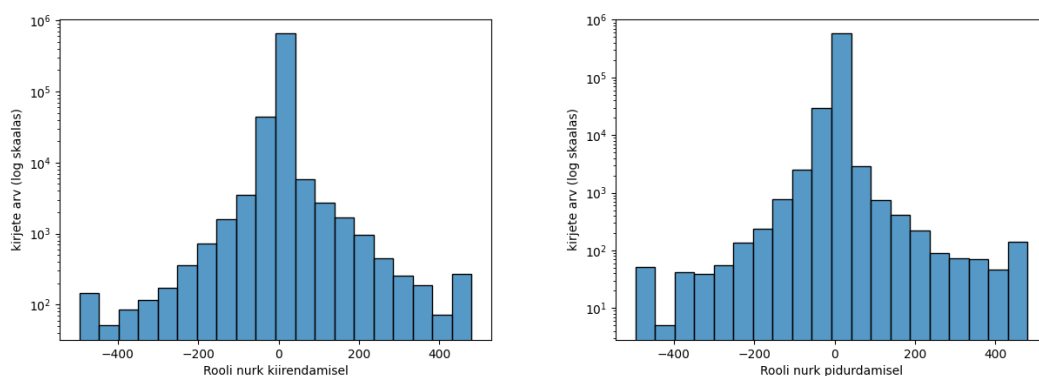


Joonis 16. Ratastel mõõdetud kiirenduste jaotus.

Sõiduki rooli nurka kasutati hindamaks, kas sõiduk oli sooritamas pööret, mis võib samuti rataste pöörlemiskiirusi mõjutada. Roolinurkade jaotus on toodud joonistel, nii üldvalimis kui ainult kiirenduse või pidurdusega kirjete lõikes.



Joonis 17. Rooli nurga üldine jaotus.



Joonis 18. Rooli nurga jaotus pidurdamisel ja kiirendamisel.

Nagu joonistelt nähtub, on jaotus väga sarnane. Vältimaks manööverdamisega seotud andmeid, kasutati libisemise analüüsis ainult neid kirjeid, kus rooli nurk oli vahemikus -45 ... 45 kraadi. Sellise piiri määramisel tugineti teede projekteerimisnormis ette nähtud minimaalsele kurviraadiusele.

Libisemise määra hindamiseks kasutati kaht arvutusmeetodit, eristades pidurdust ja kiirendust vastavalt arvutatud kiirenduse märgile.

- SF_slip – pidurdamisel kiireima ja aeglasima (*slow - fast*) ratta pöörlemiskiiruste vahe põhjal valemiga:

$$S = \frac{v_{wf} - v_{ws}}{v_{wf}}$$

- $Traction_slip$ – kiirendamisel vedava ja mittevedava (*traction - roll*) ratta pöörlemiskiiruste vahe põhjal valemiga:

$$S = \frac{v_{wt} - v_{wr}}{v_{wt}}$$

Valemities kasutatavad parameetrid on järgmised:

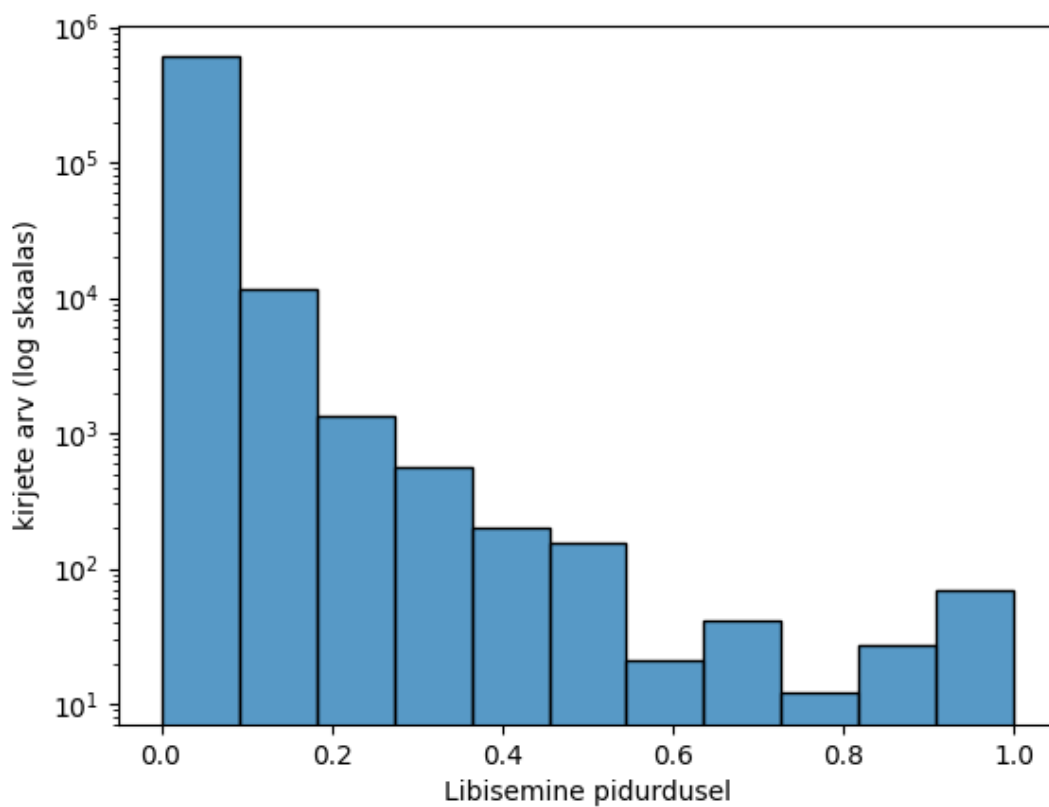
S – libisemise määr (*slip rate*)

v_{wf} – kiireima (*fast*) ratta kiirus

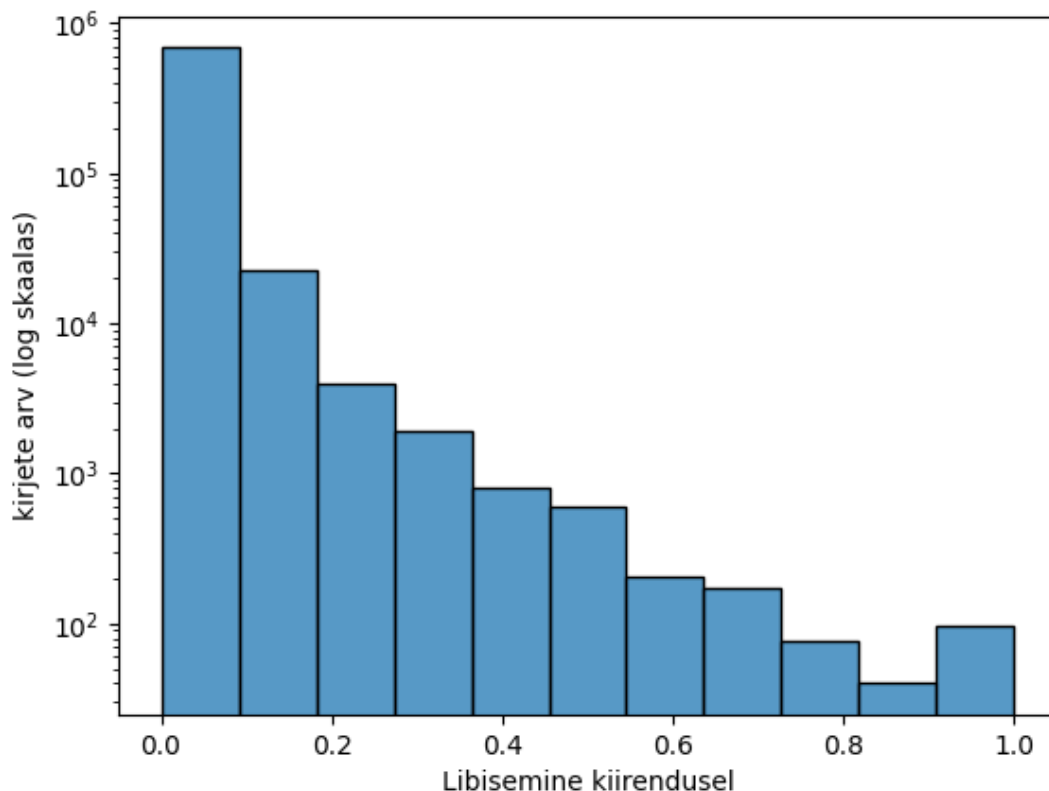
v_{ws} – aeglasima (*slow*) ratta kiirus

v_{wt} – vedava (*traction*) ratta kiirus

v_{wr} – veetava (*roll*) ratta kiirus



Joonis 19. Libisemise jaotus pidurdamisel.



Joonis 20. Libisemise jaotus kiirendamisel.

Jaotused näitavad, et libisemise vahemikes 0,1 ... 0,5 on arvutustes kasutamiseks piisav dünaamika olemas. Eristamaks teekatte ebatasasustest tingitud erinevusi, on mõistlik seada libisemise alampiir, mida mudelites kasutada. Et võimalikult suurt andmestikku analüüsi kaasata, võeti piirmääraks 0,01. Kokkuvõttes seati masinõppe mudeli loomiseks kasutatavale andmestikule piirangud vastavalt sellele, kas tegu oli pidurduse või kiirenduse põhjal loodava masinõppe mudeliga.

Mõlema mudeli puhul olid esmasteks tingimusteks rooli nurk vahemikus -45 kuni 45 kraadi ning GPS ja rataste pöörlemiste kiirenduste samasuunalisus. Kiirendamise puhul peavad mõlemad olema positiivsed ja pidurduse korral negatiivsed. Niimoodi saab välistada olukorrad, kus andmete sees on sisemine vastuolu ja üks allikas kahest ei ole andnud tegelikkusega kooskõlas sisendit.

Mudeli loomisel võeti eelduseks haardeteguri vahemiku ennustamise võimekus vastavalt RCM411 seadmega mõõdetud vahemikule. Haardeteguri vahemikud võeti vastavalt kirjandusele järgmised:

1. Tavaline, $\mu > 0,5$
2. Libe, $\mu > 0,3$
3. Väga libe, $\mu < 0,3$

Mudeli loomisel katsetati erinevaid *Pythoni* klassifitseerimise algoritme²⁷, kasutades paremuse hindamiseks keskmist absoluutviga MAE (*mean average error*) ja korrelatsiooni tugevust R^2 . Kõige paremaid tulemusi andsid kogu andmestiku põhjal logistiline regressioon, KNN ja XGBoost algoritmid.

²⁷ https://scikit-learn.org/stable/supervised_learning.html

Kuna andmestikul ei ilmnenud haardeteguriga lineaarseid seoseid, ei olnud võimalik kasutada lineaarseid mudeleid.

Mudelite arendamisel alustati kogu andmestikuga, millest eemaldati järjest madalaima mõjuga andmeliike kuni mudeli täpsus hakkas langema. Alusandmestik jagati 80/20 reegli järgi treening- ja testandmestikuks, et mudeli kontroll toimuks ainult nende andmete suhtes, mida ei ole treenimisel kasutatud. See on masinõppe mudelites tavaline praktika vältimaks olukorda, kus mudel on peenhäälestatud töötamaks ainult arendamisel kasutatavate andmetega.

Lõplikud parameetrid pidurduse mudelis olid järgmised:

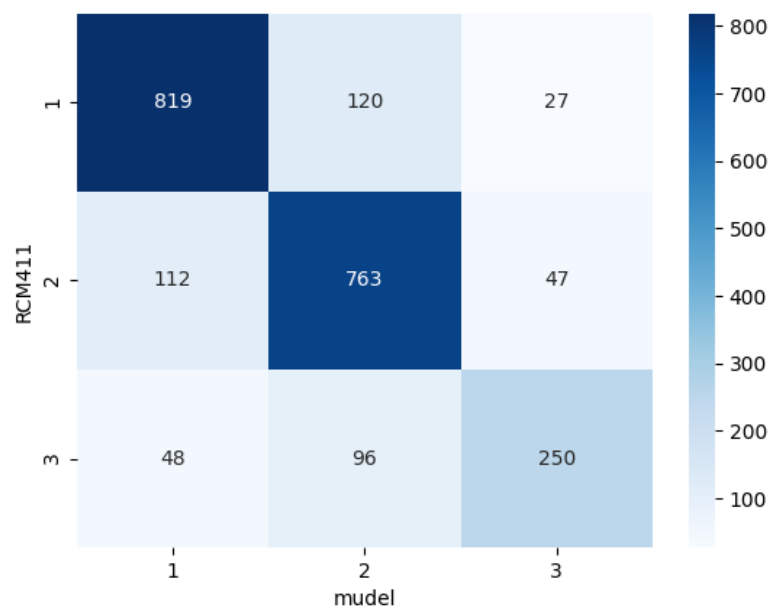
- *SF_slip (iga ratta kohta eraldi)*
- GPS kiirus
- GPS kiirendus
- kiireima ratta kiirus
- aeglasima ratta kiirus
- kiireima ratta kiirendus
- aeglasima ratta kiirendus

Kiirenduse mudelis olid järgmised parameetrid:

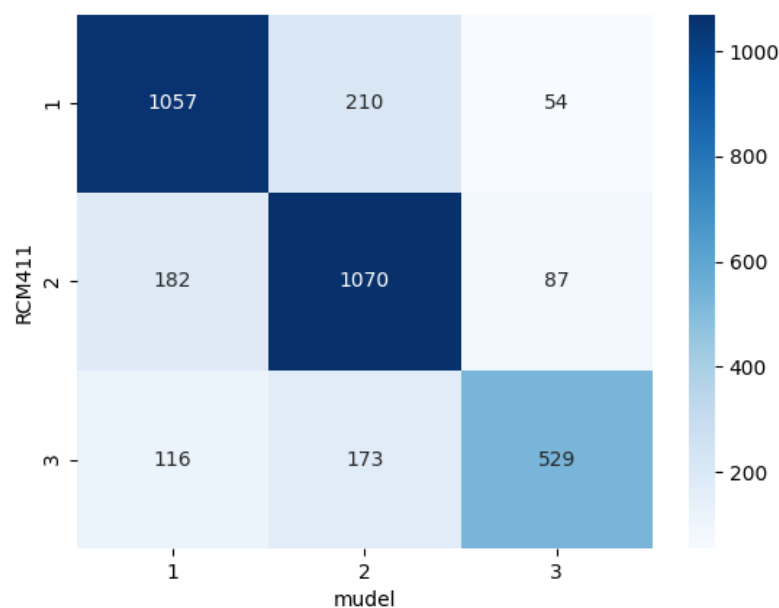
- *Traction_slip (ainult suurima libisemise määraga ratta kohta)*
- GPS kiirus
- GPS kiirendus
- kiireima ratta kiirus
- aeglasima ratta kiirus
- kiireima ratta kiirendus
- aeglasima ratta kiirendus

Mõlemad mudelid teisendati programmikoodiks²⁸, mis võimaldab neid integreerida erinevatesse rakendustesse. Mudelite segadusmaatriksid on toodud joonistel.

²⁸ https://github.com/taneljairus/OBD_friction_model



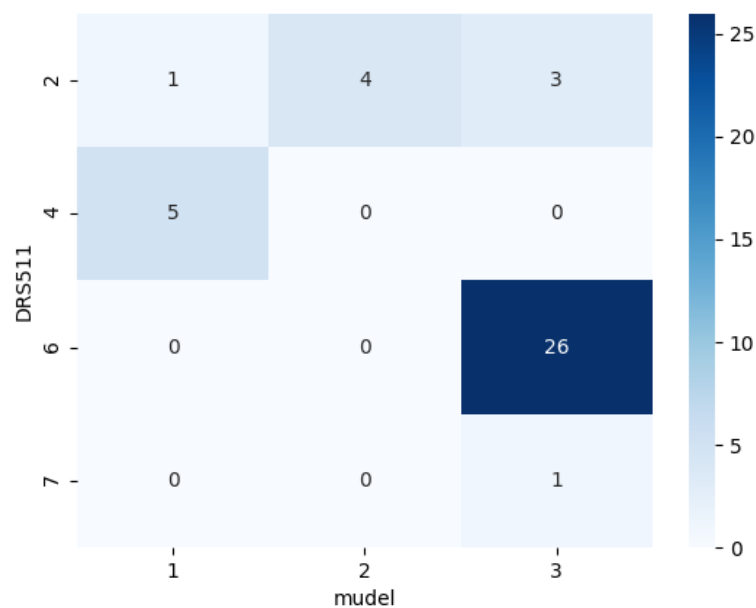
Joonis 21. Pidurdusmodeli segadusmaatriks.



Joonis 22. Kiirendusmodeli segadusmaatriks

Mõlema mudeli puhul oli selgelt eristuv maatriksi diagonaal, kus arvutatud ja tegelikud väärtused langesid kokku. Iga üksiku haardeteguri vahemiku jaotuses oli õigete tulemuste arv minimaalselt 70%. Saadud mudelite järgi arvutati iga sobiva andmepunkti kohta teeseisu klass ja arvutuse tõenäosuse hinnang protsentides.

Modelleeritud kirjete hulgast filtreeriti välja need, mis paiknesid DRS511 teeanduriga varustatud teeilmajaama läheduses. Nende puhul võrreldi mudeli poolt pakutavat teeseisu teeilmajaama teeseisu koodiga. Võrdlustulemus on toodud joonisel.



Joonis 23. Kokkulangevused modelleeritud haardetegurite vahemike ja ja DRS511 teeseisu väärtuste vahel

Teeilmajaamade andmetes esines järgmisi teeseise:

- 2 - niiske
- 4 - märg ja sool
- 6 - lumi
- 7 - jää

Lume ja jääga teeseisund hindas mudel kõik esimesse, so kõige ohtlikumasse klassi. Samas „märg ja sool“ sai alati kõige ohutuma hinnangu. Teeseis „niiske“ sai vasteid kõigis klassides. Selline valim on liiga väike tegemaks kaugeleulatuvaid järeldusi, kuid annab siiski positiivse indikatsiooni.

11. Veebileht

Käesoleva projekti jaoks loodi eelpool nimetatud CAN parameetrite salvestamise võimaluse Teede Tehnokeskuse andmelattu ning veebikeskkond, mida liidestati Mapillary süsteemiga ja Teeregistriga. Veebileht asub aadressil: <https://daemon.teeilm.ee/onboard.php>

Loodud veebilehel on järgmised funktsioonid:

- Mapillary pilt, mis kirjeldab konkreetset asukohta;
- asukoha otsing;
- kaart, kus kuvatakse modelleeritud andmed. Aluskaardina saab kasutada Maa-ameti kaarti, ortofotot ja *OpenStreetMap* kaarti;
- graafik, kus kuvatakse toorandmeid ja modelleerimise tulemusi. X-telg tähistab tee meetreid ja Y-telg valitud parameetrit. Andmeid näidatakse asukohast 200 meetrit mõlemas suunas.

Toorandmetena on näidatud need parameetrid, mida kasutati mudeli loomisel ja tulemusena teeolud, mida näidatakse valgusfoori põhimõttel. Teeolude määramisel võeti aluseks modelleeritud haardetegurite vahemikud järgmiselt:

- Head teeolud, teekate ei ole libe $\mu > 0,5$
- Muutlikud teeolud, teekate võib olla libe, $\mu > 0,3$
- Halvad teeolud, teekate võib olla väga libe, $\mu < 0,3$

Kaardipildil on teeolud üldistatud 100 meetri pikkustele lõikudele, et kaart oleks paremini loetav. Juhul kui lõigule sattus erinevat tüüpi arvutatud väärtuseid, kasutati kõige sagedasemat. Võrdse sageduse korral võeti aluseks mudeli sisemine tõenäosushinnang. Kaardipildil ja graafikul kuvatav andmete seis on näidatud kaardipildi all oleval valikuribal päevase intervalliga. Kui andmete aega muuta, muutub nii kaardi kui graafiku seis. Kui liigutada Mapillary pilti, siis näidatakse pildi tegemise aja andmeid.

Graafikul on võimalik erinevaid parameetreid sisse ja välja lülitada nende nimele klõpsates.

Eelpool toodud funktsioonide rakendamine on toodud järgmisel joonisel.



Joonis 24. Kuvatõmmis teeolude veebilehelt.

Sirgetel lõikudel ei ole kohati teeolude arvutuslikku seisu näidatud, kuna seal sõideti ühtlase kiirusega ja seetõttu pole ka kummaski suunas kiirendusi.

Veebilehe täiendav ülesanne uuringu käigus oli arvutuslike teeseisude valideerimine visuaalselt. Selleks võeti juhuslike arvutatud teeseisu asukohtade ruumiliselt lähimad pildid ja hinnati teekatte seisundi (puhas teekate, lumine, jäine) ja arvutatud jaotuse vastavust.



Joonis 25. Halvad teeolud, tee võib olla väga libe.



Joonis 26. Muutlikud teeolud, tee võib olla libe.



Joonis 27. Head teeolud, tee ei ole libe.

Teeolude võrdlus piltidega näitas, et on väga oluline, kus sõiduk teel paikneb. Nii loeti libedaks sellised teelõigud, kus sõiduk väljus sisse sõidetud rattajälgedest. Sellises olukorras muutusid rattaste pöörlemiskiirused ja libisemise määrad.

12. Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärgiks oli leida optimaalne lahendus kuidas saada tõepärast tee- ja ilmaolusid iseloomustavat infot, kasutades selleks sõiduauto pardasüsteemidest saadavaid andmeid ilma täiendavate mõõteseadmete ja ümberehitusteta. Selleks katsetati erinevaid liidestusvõimalusi sõidukite CAN süsteemiga. Kahele katsesõidukile paigaldati OBD-II pistikusse mobiiltelefoniga liidestuv andmeedastusseade ja testsõitude visuaalseks talletamiseks kasutati Mapillary rakendust.

Projekti käigus läbiti riigiteedel üle 4200 kilomeetri ja koguti erinevaid sõiduki CAN süsteemis liikuvaid andmeid. Andmete kogumise ettevalmistuste käigus selgus, et autotootjad reeglina lähtuvad CAN süsteemide arhitektuuris standardiseeritud lahendustes, mis on õigusaktides nõutud – peamiselt heitgaaside kontrollimisega seotud osas. Muude parameetrite puhul kasutatakse oma algoritme, tasandusparameetreid ja ühikuid, mis ei pruugi olla seoses ei SI ühikute või teiste tootjate poolt kasutatavatega.

Välisriikides läbi viidud uuringute põhjal osutusid lähemat uurimist väärivateks näitajateks rataste läbilibisemised positiivse ja negatiivse kiirenduse korral. Nende põhjal loodi masinõppe vahenditega vastavad mudelid, mis andsid sisendandmete põhjal hinnangut haardetegurile. Nii kiirendus- kui ka pidurdusmudeli puhul oli keskmine õigete tulemuste osakaal 80%. Kõige madalam oli pidurdusmudeli täpsus libeda ja väga libeda olukorra eristamisel, kuid ka seal ei langenud see alla 60%

Loodud mudeleid on võimalik rakendada nii salvestatud andmetele kui reaalajas laekuvale andmevoole. Tegemist on peamiselt *proof-of-concept* mudelitega, kuna neid on arendatud ja katsetatud vaid üht tüüpi seadmete /sõidukite komplekti puhul.

Tuleviku C-ITS lahendus võiks olla teavituste ja hoiatuste põhine, kus näidatakse ühte sõidukite poolt tuvastatud ja teiste poolt valideeritud libedaid teelõike. Hoiatuste andmine võiks toimida veebi- ja mobiilirakenduste abil asukoha põhised, nii nendele kes läheneb ohtilule lõigule kui ka nendele kes alles planeerivad oma teekonda.

Samuti on võimalik näidata libeduse infot sarnaselt käesolevale veebilehele ka teistes reaalaja rakendustes, kaardi põhised. Sellisel juhul tuleb leida optimaalsed valimite mahud, mida saaks

kasutada libeda/mitte libeda teelõigu määramisel - st millal lõiku saab lugeda libedaks ja millal libeduse hoiatust saab võtta maha.