



Riigiteele nr 4 Tallinn-Pärnu-Ikla km 67,2 ehk Kasti ristmikule adaptiivse kiiruspiirangu süsteemi toimivuse ja tasuvuse uuring



SISUKORD

SISSEJUHATUS	3
1. Asukoha ülevaade.....	4
2. Adaptiivse kiiruspiirangu süsteem	7
3. Süsteemi toimivus	8
3.2. Tehniline toimivus	8
3.2. Mõju sõidukiirustele	9
3.3. Mõju lõigu läbimise kiirusele	13
3.3. Mõju liiklusohutusele.....	14
4. Süsteemi tasuvus	15
5. Liikluskäitumine.....	16
6. Kokkuvõte	21
KASUTATUD ALLIKAD	22

SISSEJUHATUS

Käesoleva uuringu eesmärgiks on analüüsida ja hinnata riigiteele T4 Tallinn-Pärnu-Ikla km 67,2 ehk Kasti ristmikule paigaldatud adaptiivse kiiruspiirangu süsteemi toimivust ja tasuvust. See süsteem tuvastab induktiivanduritega kõrvalteelt saabuva või peateel vasakpöördele asuva sõiduki ning kehtestab muutuvteabega liiklusemärgil madalama piirkiiruse. Süsteem lõpetab piirangu, kui sõiduk on ületanud ka järgmise anduri või ükski andur pole sõidukeid tuvastanud.

Toimivuse hindamiseks analüüsiti süsteemi logifaile ja videosalvestist märkide toimimisest koos voolikloendurite salvestatud infoga kõrvalteelt saabuvate sõidukite kohta. Probleemsena märgiti olukorrad, kus piirang kehtestati sõidukite puudumisel või jäeti sõidukite olemasolul kehtestamata. Samuti jälgiti logifailis kirjeldatud märgi aktiveerimise kattumist tegeliku süttimise ja kustumisega.

Tasuvust hinnati seadmete soetus- ja hoolduskulu võrdlemisel alternatiivkulu vähenemisega. Kuna seadmed ei tekita sisenevat rahavoogu, saab hinnata ainult kaudsete kulude vähenemist. Üheks kuluks on liiklusõnnetustega seonduv. Selleks võrreldi liiklusõnnetuste arvu ja nendega seotud otsekulusid enne ja pärast süsteemi käivitamist 23. detsembril 2020. aastal. Teine kulukoht on ristmiku läbimisega kaasnev ajakulu. Selleks võrreldi ristmikku läbivate sõidukite kiiruseid enne ja pärast süsteemi käivitamist. Varasem kohtpiirang nõudis kõigilt liiklejatelt kiiruse alandamist, nüüd ei ole vaja ristuva liikluse puudumisel aeglustada. Säästetud ajale määrati väärtus vastavalt sõiduki liigile. Veoautode puhul lähtuti maanteetranspordi tarneahela töötunni maksumusest, sõiduautode puhul keskmisest palgast.

Töö käigus mõõdeti liiklusvoo koosseisu ja kiiruskäitumist radarseadmetega. Lisaks salvestati liikluskäitumise hindamiseks 172 tundi videomaterjali.

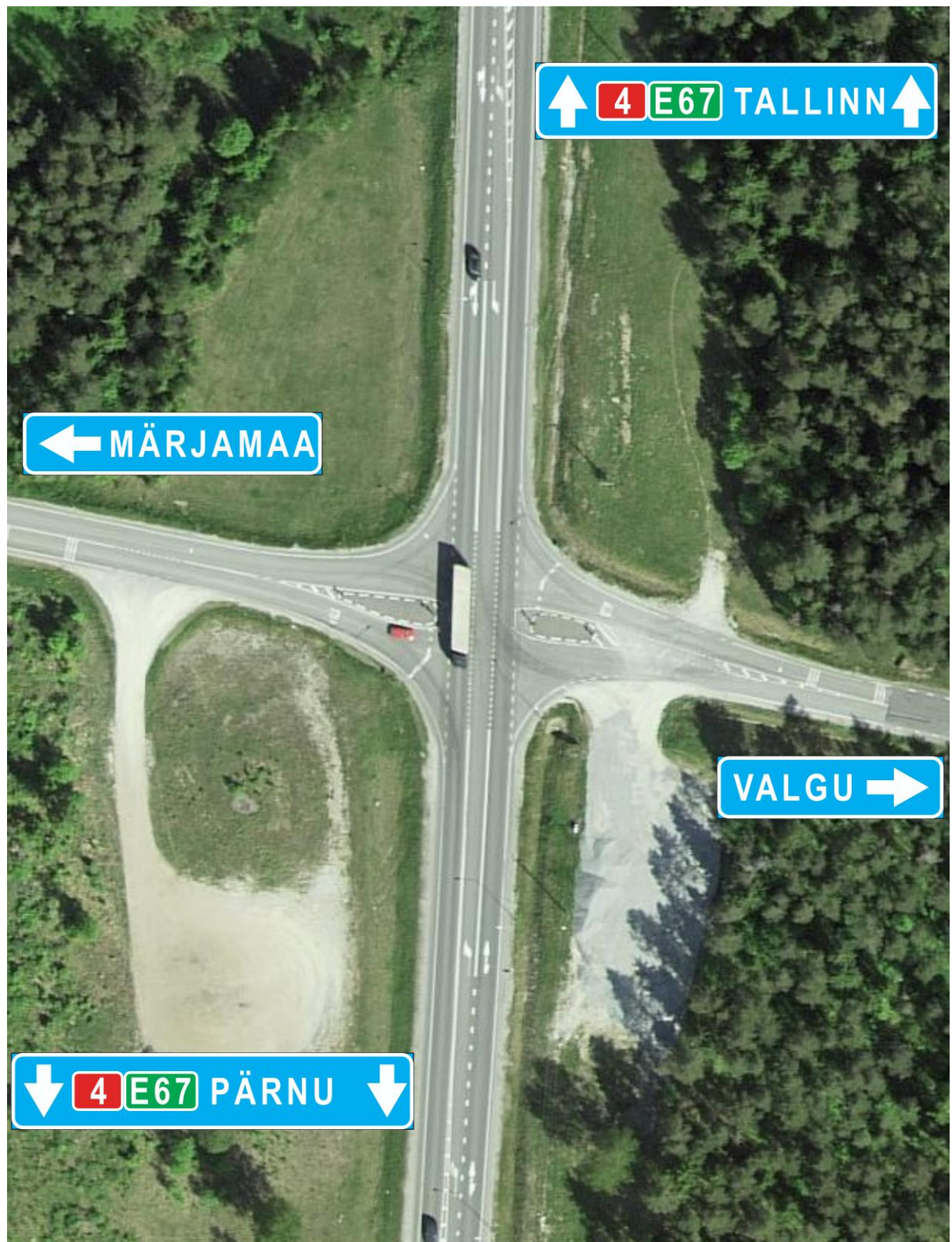
1. ASUKOHA ÜLEVAADE

Kasti ristmik asub Rapla maakonnas Märjamaa vallas Nõmmeotsa külas põhimaantee nr 4 Tallinn – Pärnu – Ikla (67,2. km) ja kõrvalmaantee nr 20171 Märjamaa – Valgu (2,2. km) ristumisel. Ristmiku asukoht on toodud kaardil.



Joonis 1. Kasti ristmiku asukoht.

Ajalooliselt on samas asukohas varasem tänane kõrvalmaantee, mis on juba Schmidt 1884. aasta Eesti kaardil näidatud samas asukohas ühendusteena Märjamaa ja Kasti vahel. Toonane Tallinna ja Pärnu vaheline maantee läbis Märjamaa asula keskust. Uus trassikoridor oli välja valitud aastaks 1957, valmis ehitati aastaks 1965, trass lühenes varasemaga võrreldes 2,1 kilomeetrit [2]. Aastal 1989 viidi kõrvalmaantee katte alla. Oma tänase kuju sai ristmik aastal 2014. Tuleb märkida, et enne ümberehitust oli ristmik määratletud liiklusohutliku kohana [6]. Võrreldes varasemaga lisandusid peateele vasakpöörderajad, kõrvalteele saared ja täristid. Peateele kehtestati piirkiirus 70 km/h. Kehtima jäid endiselt 2007. aastal märkide 221 „Anna teed“ asemele paigaldatud liiklusemärgid 222 „Peatu ja anna teed“. 2007 aastal märkidega 352 „Möödasõidu keeld“ ja teekattemärgisega 914 kehtestatud möödasõidu keeld jäi kehtima, kuid teekattemärgistega 911 ja 915. Joonistel on toodud vaated ristmikule õhust ja maapinnalt.

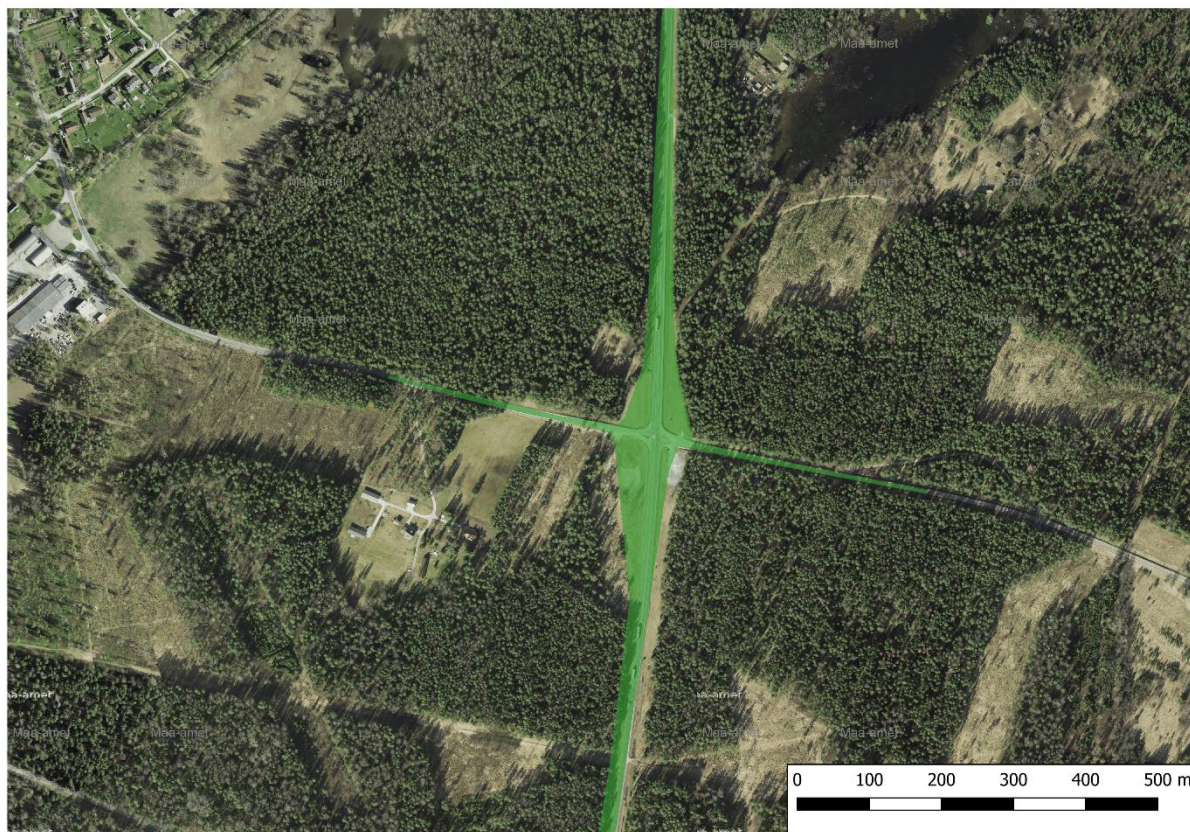


Joonis 2. Kasti ristmiku aerofoto koos peamiste liikumissuundadega (Maa-amet).



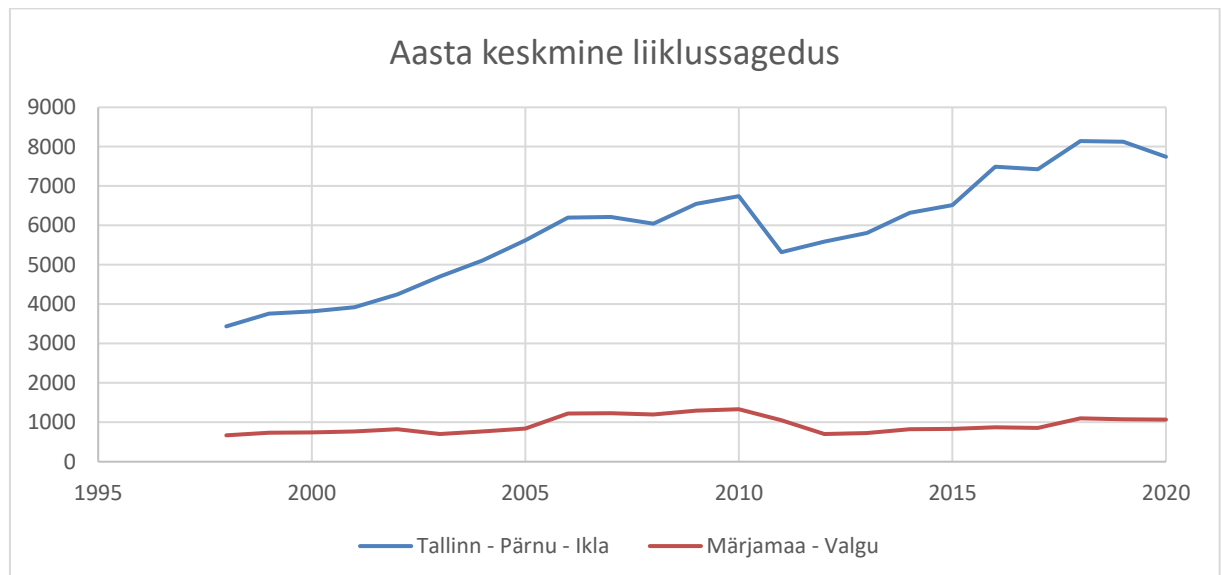
Joonis 3. Vaade ristmikule Märjamaa poolt.

Ristmiku ümbrus on metsane. Seetõttu on nähtavus piiratud – läheneva sõiduki märkamine on kõrvalteel võimalik alles ristmikule välja sõites. Nähtavusala ulatused on toodud joonisel.



Joonis 4. Nähtavusala Kasti ristmikul.

Kõrvaltee liiklussagedus moodustab peatee omast 2020. aasta andmete põhjal 14%. See näitaja on varasematel aastatel olnud kõrgem (kuni 20%). Viimased kümme aastat on peatee liiklussagedus kasvanud, aga kõrvaltee oma jäänud valdavalt samaks. Sealt ka osakaalu langus. Aasta keskmise ööpäevase liiklussageduse muutumine läbi aastate on toodud joonisel.



Joonis 5. Kasti ristmiku liiklussageduse muutumine ajas.

2. ADAPTIIVSE KIIRUSPIIRANGU SÜSTEEM

Muutuva kiiruspiirangu süsteem rajati 2020. aastal. See käivitati sama aasta 23. detsembril. Tööd teostas ettevõtte IB Foor Transpordiameti tellimusel. Seniste liiklusmärkide asemele paigaldati kaks 1280x2080 mm tablooga muutuvteabega liiklusmärki:

- km 66,934 (liiklusmärgi 623b asemele)
- km 67,515 (liiklusmärkide 133a ja 888 asemele)

Standardi EVS-EN 12966 ja standardi EVS-EN 12899-1 toimivusklassid on paigaldatud VMS märkidel järgmised:

- Värvusklass (*Colour*): C2;
- Heledus (*Luminance*): L3(*);
- Kontrast (*Luminance ratio*): R3;
- Valguskiire nurk (*Beam width*): B6;
- Temperatuuri taluvus (*Temperature*): T1+T2+T3;
- Tuulerõhk (*Temporary deflections caused by wind loads*): vähemalt WL6 (vastavalt standardile EVS-EN 12899-1);
- Sissepääsukaitse (*Ingress Protection*): vähemalt IP54;
- Dünaamiline lumekoormus (*Permanent deflections caused by dynamic snow loads*): DSL0;
- Ajutine paindesiire (*Temporary deflections caused by bending*): TDB2;
- Korrosioonikindlus: läbinud edukalt EN ISO 9227 kohase soola pihustamise testi.

Kontrolleri ja sideseadmena kasutatakse kaks-ühes Teltonika RUT 955 seadet, mis on paigaldatud märgi korpusesse. Liiklusjuhtimiskeskusega suhtleb kontrolleri NTCIP 1203 v03 protokollil abil. Elektrivarustuse katkemisel töö jätkamise tagamiseks on kummalgi märgil 650W väljundvõimsusega püsitoitesead Alpha FXM650, mille akudest piisab projekti järgi vähemalt kolmeks tunniks.

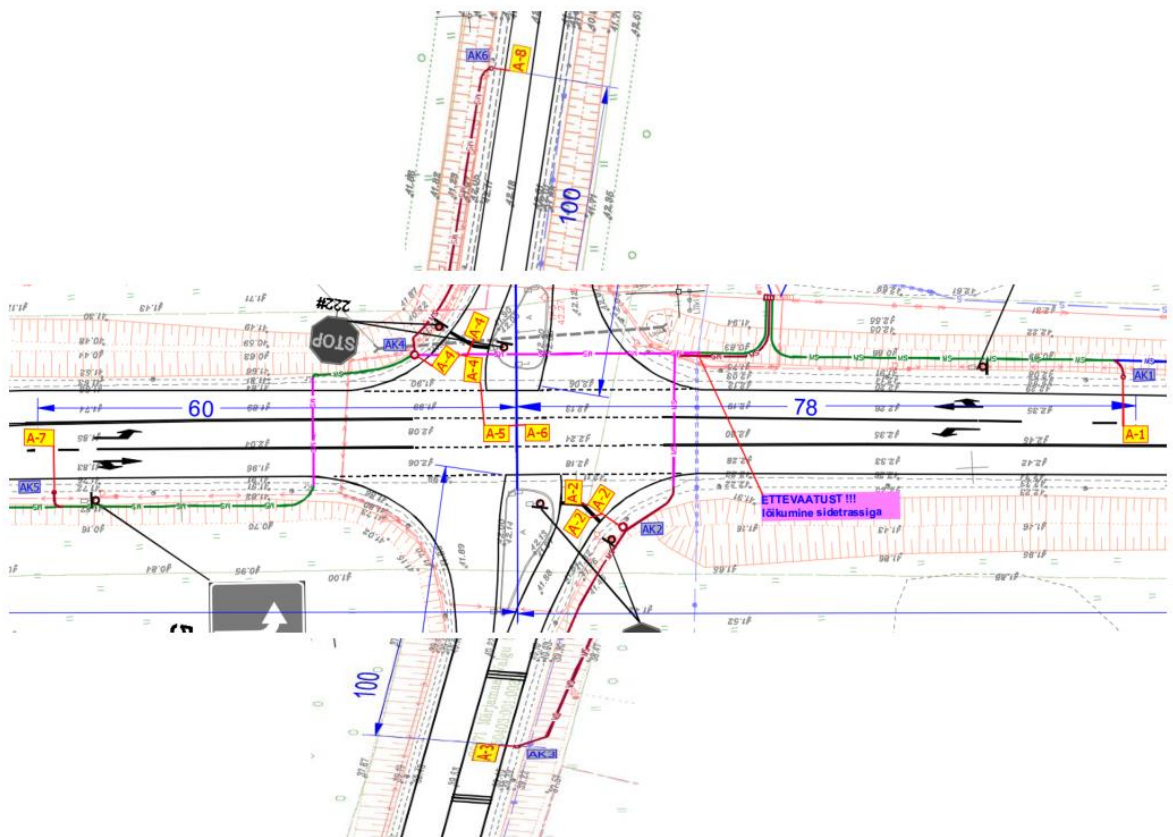
Süsteemi toimimiseks paigaldati teekattes kaheksa 2x2 m induktiivkontuuri. Nende paiknemine valiti selliselt, et kaugemad andurid aktiveeriks märgid ja ristmikule lähemad

lõpetaks piirangu. Märgid töötavad sünkroonis ja kuvavad sama piirangut. Süsteemis on seadistatud neli stsenaariumi:

- *scenario.tallinn-left-turn* – Tallinna poolt tulev vasakpööraja
- *scenario.marjamaa-crossing* – Märjamaa poolt tulev ristmiku ületaja
- *scenario.valgu-crossing* – Valgu poolt tulev ristmiku ületaja
- *scenario.parnu-left-turn* – Pärnu poolt tulev vasakpööraja

Igale stsenaariumile vastab andurite komplekt, mille põhjal see aktiveeritakse ja deaktiveeritakse. Näiteks *scenario.marjamaa-crossing* aktiveeritakse kui sõiduk ületab anduri A-3. Piirang lõpeb, kui anduri A-2 on sõiduk ületanud või on möödunud eelmääratud periood (*timeout*).

Andurite paiknemine on toodud joonisel.



Joonis 6. Andurite (A1-A8) paiknemine ristmikualal.

Süsteemi paigaldamise järel eemaldati ristmikult liiklusmärgid 351 „Suurim kiirus“, kuid samadesse asukohtadesse jäid endiselt märgid 352 „Möödasõidu keeld“.

3. SÜSTEEMI TOIMIVUS

3.2. Tehniline toimivus

Süsteemi tehnilise toimivuse analüüsiks salvestati video samaaegselt nii VMS märkide juures kui ka ristmikul. Videopildile lisati subtiitrina juhtsüsteemi logidest pärinev informatsioon selle kohta, mis peaks olema märgil kuvatud. Voolikloendurite andmestikku kasutati indikatsioonina lähenevate sõidukite kohta. Ühtki sellist olukorda ei ilmnenud, kus logifailis olev märgi staatus oleks olnud vastuolus videos kuvatuga. Saadud videopilt on toodud joonisel.



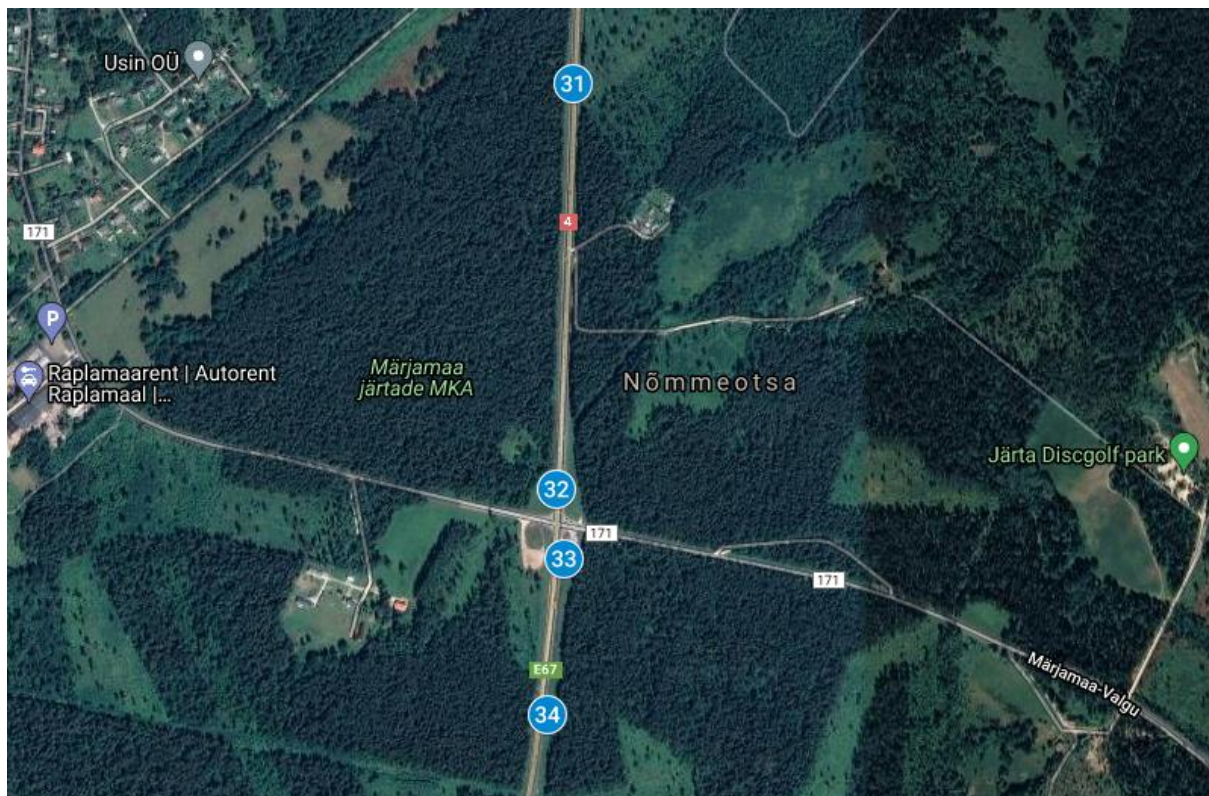
Joonis 7. Analüüsis kasutatav videopilt.

Vastavalt lähteülesandele jälgiti 50 episoodi, mis algasid märgi süttimise ja lõppesid kustumisega. Ka siis, kui sama perioodi ajal aktiveeriti erinevad stsenaariumid, loeti need üheks, kui märk ei kustunud. Vaatlusperioodi pikkuseks kujunes 1 tund ja 5 minutit. Iga episoodi kohta märgiti, kas selle ajal sattus ristmikul kõrvalteelt tulev või vasakpööret sooritav sõiduk. Lisaks märgiti üles olukorrad, kus kõrvalteelt saabus sõiduk, aga märk piirangut ei näidanud.

Vaadeldud 50 episoodist 47 olid sellised, kus vähemalt üks sõiduk saabus kõrvalteelt või sooritas peateelt vasakpööret. Kolmel juhul (6% etteantud valimist) oli piirang, kuid sõidukit kõrvalteelt ristmikule ei jõudnud. Teise astme vigu oli 6 kus kõrvalteelt saabus sõiduk, aga märk piirangut ei näidanud. Sinna hulka kuuluvad ka olukorrad, kus piirang tühistati liiga vara ja sõiduk ei olnud veel ristmikku ületanud. Seda juhtus näiteks olukorras, kus järjekorras ootas mitu sõidukit ja ainult esimene oli ristmiku ületanud. Samuti esines olukordi, kus otsesõitu või vasakpööret oodanud auto kõrvalt sooritati parempööre. Summaarne vajalike episoodide arv on seega 56 ja vigade arv 9. Süsteemi toimivus on selle alusel 84%. Pisteline kontroll logiandmete ja videomaterjali põhjal näitab, et saavutatud usaldusväärsus kehtib ka üldiselt, mitte ainult konkreetse valimi kohta. Tuleb märkida, et kõrvalteelt tulevatel sõidukitel on võimalik sooritada tagasipöördeid ja kasutada erinevaid ristmiku ja andurite vahele jäävaid mahasõite ning jääda sedamoodi süsteemile märkamatuks.

3.2. Mõju sõidukiirustele

Hindamaks süsteemi mõju sõidukiirustele seostati radarmõõtmiste andmed logidega ja igale mõõtmisele määrati kehtiva piirkiiruse väärtus. Ajavahemikul 2021-07-23 14:58:29 kuni 2021-08-03 14:13:16 oli töös neli *ViaCount* tüüpi seadet, mis salvestasid 390 211 kirjet. Kuna seadmed salvestasid mõlemas suunas liikuvaid sõidukeid, ei kajasta see number liiklussagedust – suurem osa sõidukeid on loetud neljakordselt, kuna kõik radarid mõõtsid nii lähenevaid kui kaugenevaid sõidukeid. Radarid olid paigaldatud nii, et kaks paiknesid ristmikul ja kaks märkide juures. Vastav väljavõtte kiirusmõõteradarite kaardist on toodud joonisel.



Joonis 8. Kasti ristmikule paigaldatud kiirusmõõteradarid.

Lisaks käesoleva töö raames kogutud andmetele oli võimalik kasutada võrdluses 2017. aasta veebruaris-märtsis ristmikul olnud radarmõõtmiste koondtulemusi. Teadaolevalt mõõdeti 2019. aastal Eesti põhimaanteedel kiiruspiirangute alades sõidukite liikumiskiirusi [12], kuid mitte Kasti ristmiku 70 km/h piirangu mõjualas.

Radariandmete sidumiseks süsteemi logidega oli esmalt vaja sünkroniseerida seadmete kellad. Selleks kalibreeriti radarite poolt mõõdetud mustrid esmalt omavahel ning seejärel videopildi alusel logide suhtes. Kasutades saadud ajaparandeid ning märgi ja radari vahekaugust lisati igale kirjele tol hetkel kehtinud piirkiiruse väärtus. Ajaparandid jäid vahemikku 27-48 sekundit. Erinevate piirangute ajal mõõdetud kiiruste keskmised on toodud tabelis. Ristmikul asuvate punktide puhul on välja toodud ka 2017. aastal mõõdetud kiirused.

Tabel 1. Mõõdetud kiiruste erinevus.

Mõõtekoht	Klass	2021.a VSS+VWS			2021.a VSS+VWS			2017.a 70 km/h piirang	
		Keskmine kiirus			V85			Keskmine	V85
		70 km/h piirang	90 km/h piirang	Muutus	70 km/h piirang	90 km/h piirang	Muutus		
Pärnu_Lähenev	AR	75.9	75.8	-0.1	79.0	79.0	0.0		
	SAPA	80.8	81.5	0.7	88.0	89.0	1.0		
	VAAB	78.6	78.8	0.2	84.0	85.0	1.0		
Pärnu_Ristmikul	AR	67.1	72.8	5.7	78.0	79.0	1.0	75	83
	SAPA	67.5	74.9	7.3	78.0	85.0	7.0	71	82
	VAAB	68.6	73.8	5.1	78.0	80.0	2.0	73	82
Tallinn_Lähenev	AR	84.5	84.6	0.1	88.0	88.0	0.0		
	SAPA	90.6	91.4	0.8	98.0	99.0	1.0		
	VAAB	85.8	86.4	0.5	90.0	91.0	1.0		
Tallinn_Ristmikul	AR	75.6	78.7	3.1	84.0	85.0	1.0	81	88
	SAPA	73.8	79.1	5.3	85.0	90.0	5.0	77	89
	VAAB	74.8	78.3	3.5	84.0	86.0	2.0	78	89

Oodatult on madalaima erinevusega mõõtekohad märkega „Lähenev“, kus radar oli paigaldatud märgi külge. Autorongide puhul võib öelda, et erinevust polnudki. Tuleb märkida, et varasema mõõtmise tulemused on kõrgemad kui tänased 70 km/h piirangu tulemused. Kohati on varasemad kiirused isegi kõrgemad kui tänased ilma piiranguta mõõdetud väärtused. Tuleb arvestada ka sellega, et ristmiku alal langevad kiirused ka enne pööret aeglustamise tõttu. Selle mõju eemaldamiseks võrreldi kiiruste muutust sama suuna kahe radari vahel. Need võrdlused on toodud järgnevatel tabelitel:

Tabel 2. Kiiruse langus Pärnu pool.

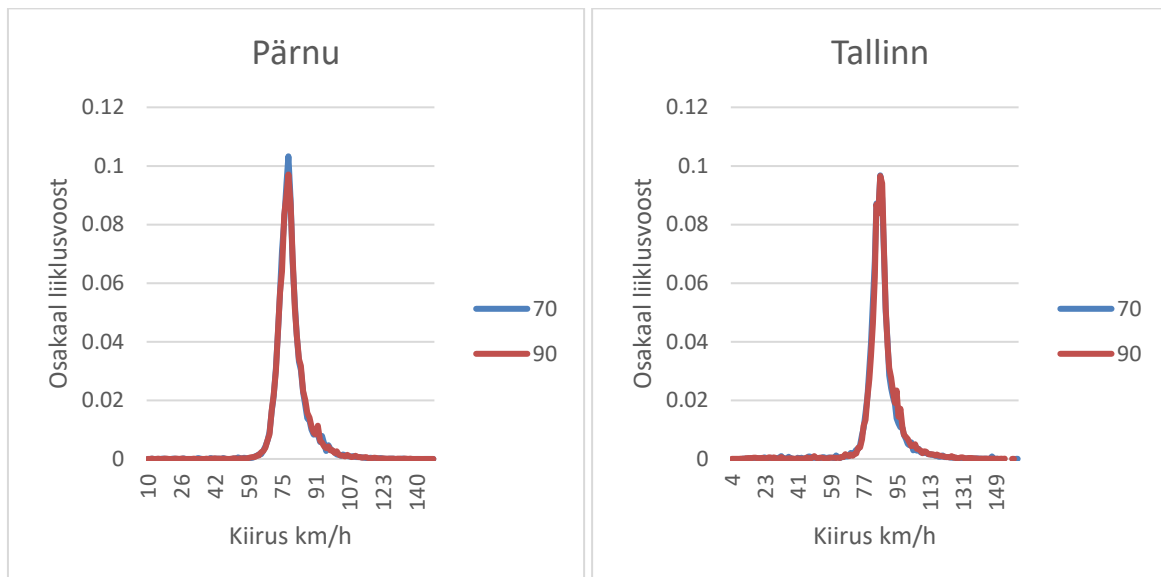
Klass		70 km/h piirang			90 km/h piirang			Märgi mõju
		Pärnu Lähenev	Pärnu Ristmikul	Erinevus	Pärnu Lähenev	Pärnu Ristmikul	Erinevus	
Keskmise kiirus	AR	75.9	67.1	8.8	75.8	72.8	3	5.8
	SAPA	80.8	67.5	13.3	81.5	74.9	6.6	6.7
	VAAB	78.6	68.6	10	78.8	73.8	5	5
V85	AR	79	78	1	79	79	0	1
	SAPA	88	78	10	89	85	4	6
	VAAB	84	78	6	85	80	5	1

Tabel 3. Kiiruse langus Tallinna pool.

Klass		70 km/h piirang			90 km/h piirang			Märgi mõju
		Tallinn Lähenev	Tallinn Ristmikul	Erinevus	Tallinn Lähenev	Tallinn Ristmikul	Erinevus	
Keskmise kiirus	AR	84.5	75.6	8.9	84.6	78.7	5.9	3
	SAPA	90.6	73.8	16.8	91.4	79.1	12.3	4.5
	VAAB	85.8	74.8	11	86.4	78.3	8.1	2.9
V85	AR	88	84	4	88	85	3	1
	SAPA	98	85	13	98	90	8	5
	VAAB	90	84	6	90	86	4	2

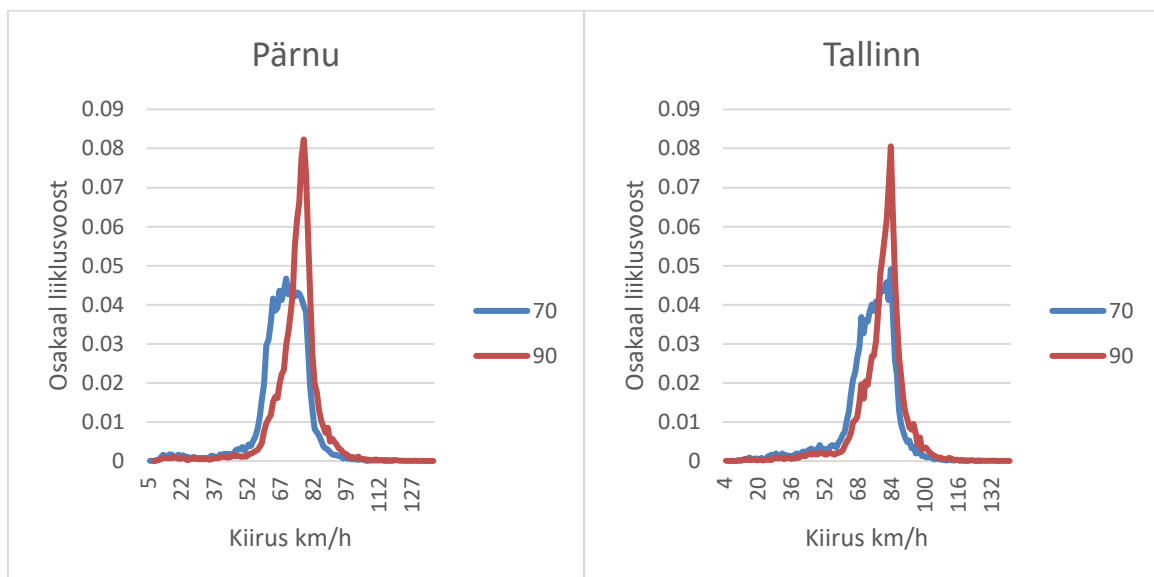
Märgi mõjuna käsitleti kiiruse langust 70 km/h piirangu juures, millest lahutati kiiruse langus 90 km/h juures. Sedaviisi eemaldati muude aeglustavate tegurite mõju. Märgi mõju eemaldamisel on kiiruste langused väga lähedased erinevate kiiruspiirangute juures mõõdetud kiiruste erinevusele. Mõlemal juhul on Pärnu poolt tuleva liikluse juures efekt suurem ja Tallinna poolt tuleva juures väiksem.

Lisaks võrreldi kiirusprofiile kõigis neljas mõõtekohas. Kuna kaugemate radarite mõõteala ei olnud märkide mõjualas, peaks kiiruste ühtlaste jaotumiste korral olema mõlema piirangu jaotused ühesugused. Vastavad jaotused on toodud joonisel.



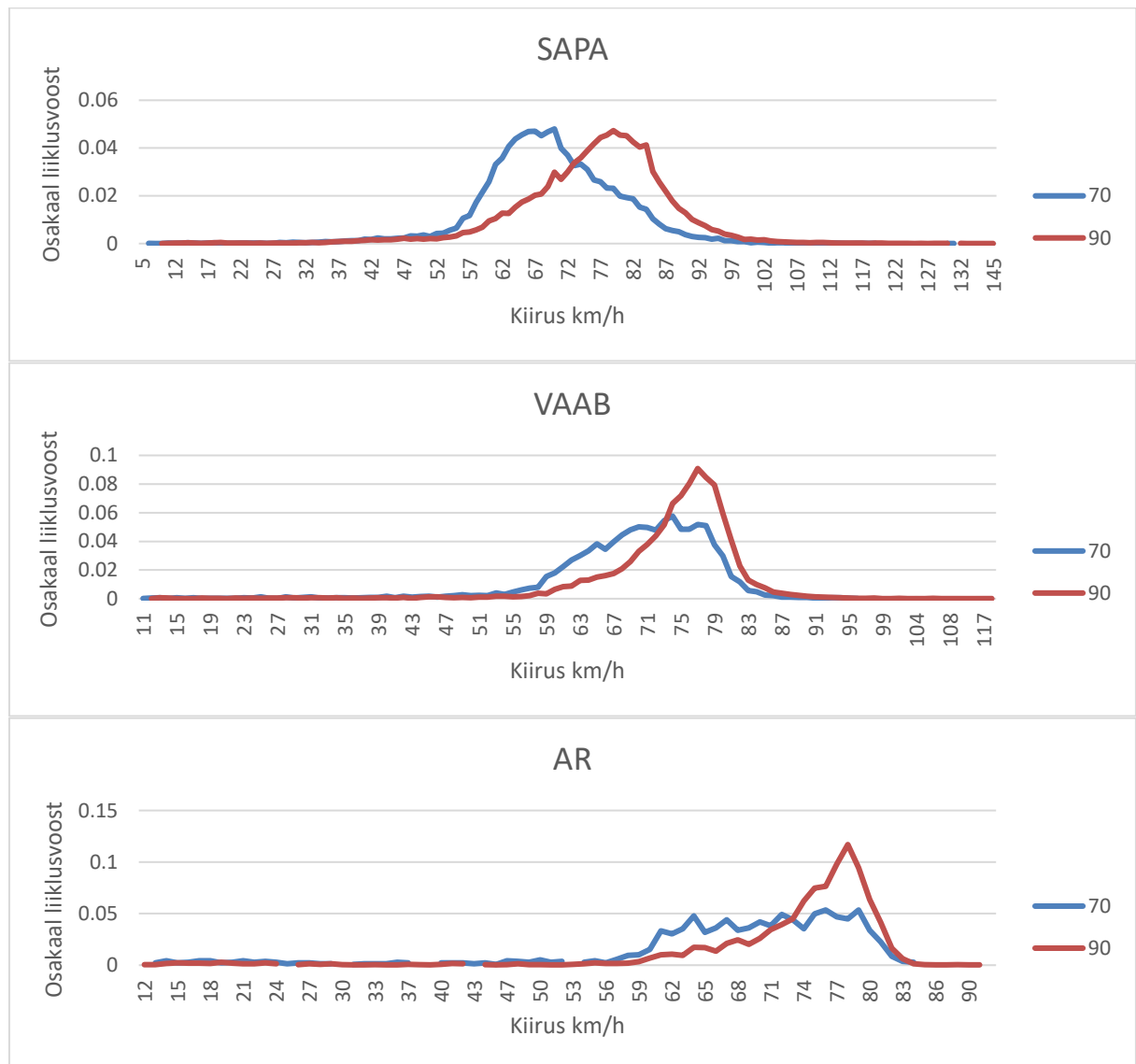
Joonis 9. Kaugemate radarite kiirusprofiilid.

Mõlema radari puhul langevad kiirusprofiilid kokku. Seega on alust eeldada, et kui märkidel sisuline mõju puudub, langevad kokku ka ristmikel olevate radarite kiirusprofiilid. Vastavad profiilid on toodud järgmistel joonistel.



Joonis 10. Ristmikul asuvate radarite kiirusprofiilid.

Ristmikul paiknevate radarite kiirusprofiilid on selgelt erinevad. Piirangu 90 km/h juures on selge tipp, kuid 70 km/h puhul on tegu pigem platooga. Kui linnades on esinenud ka selgelt kahe kükiruga kiirusprofiile [11], kus sõidukijuhid on valinud selgelt kas ühe või teise kiiruse, siis antud juhul ei ole selget kiirusevahemiku eelistust kujunenud. Kuna nii V_{85} kui keskmiste kiiruste osas oli sõidukiklasside puhul erinevad muutused, vaadeldi ka kiirusprofiile sõidukiklasside järgi eraldi. Vastav andmestik on toodud joonisel.



Joonis 11. Kiirusprofiilid sõidukiklasside kaupa.

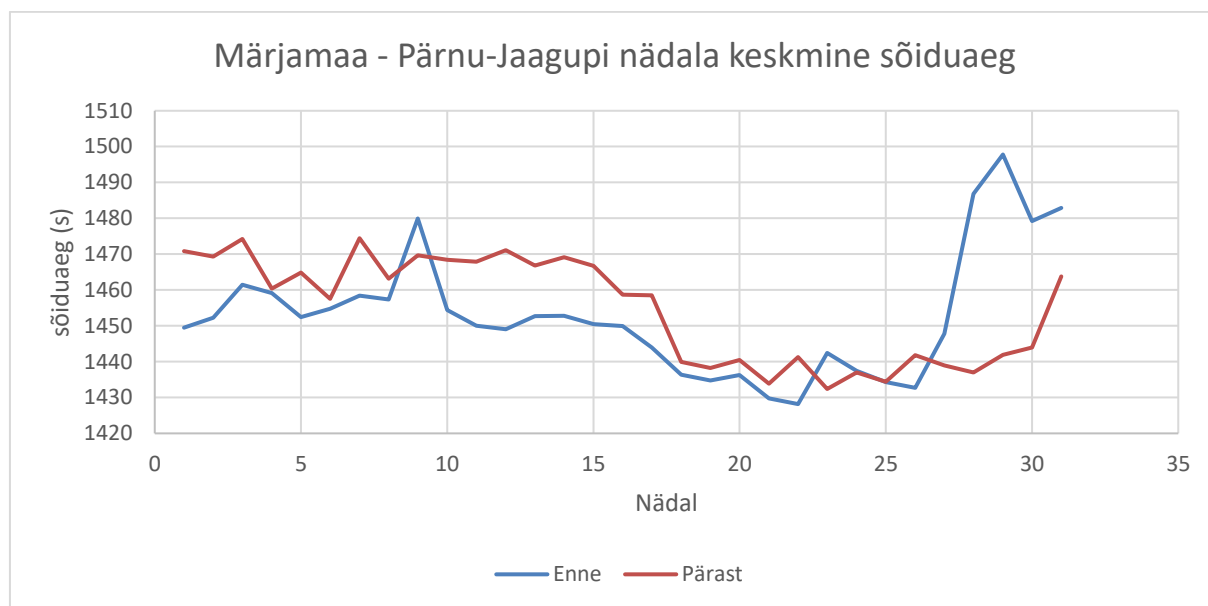
Klasside kaupa esitatud kiirusprofiil näitab, et kõige selgemalt mõjuvad märgid sõiduautodele, mille puhul on tõepoolest olemas kahe küüruga jaotus. Seevastu raskeliikluse puhul on kiirused erinevate piirangute korral lähedasemad. Ühelt poolt on neid piiramas tehnilised piirikud, teiselt poolt tagant sundimas tööajaga seotud piirangud. Nii ongi kiirust alandav efekt väiksem.

Märkide ülesandeks on langetada kiirust 20 km/h võrra (90 -> 70) ja seda ülesannet nad ei täida. Suurim kiiruse langus (7 km/h) on täheldatud sõiduautel, kuid ka seal jääb see soovitud alla mitmekordselt. Raskeliikluse puhul on kiiruse langus minimaalne, veoautode puhul 2 km/h ja autorongidel 1 km/h. See ei ole antud kohale ainuomane, ka Rootsi uuring 20 asukohas [5] näitas, et ehkki piirangutest kinni pidamine mõnevõrra paranes, ei parandanud see jalakäijate turvatunnet. Samas on vähemalt ühes suunas tuvastatud kiiruse langus 7 km/h võrdne Göteborgi [6] piirkonnas mõõdetud keskmise kiiruse langusega.

3.3. Mõju lõigu läbimise kiirusele

Üheks argumendiks süsteemi rajamiseks on liiklussujuvuse parandamine. Kui liiklusolukord seda ei nõua, siis piirangut pole ja nii saavad inimesed ja kaubad antud punkti kiiremini läbida. Kiiruspõrangu süsteemi lõigu läbimise kiirusele mõju hindamiseks kasutati Waze andmestikku Märjamaa – Pärnu-Jaagupi lõigu läbimise aja kohta enne (perioodil 01.01.2020 – 01.08.2020) ja pärast (perioodil 01.01.2021 – 01.08.2021) süsteemi tööle rakendamist. Võrdluseks arvutati

iga nädala keskmine ajakulu kummagi perioodi kohta. Tulemus on graafiliselt kujutatud joonisel.



Joonis 12. Märjamaa ja Pärnu-Jaagupi vahelise lõigu läbimise aeg enne ja pärast süsteemi rakendamist.

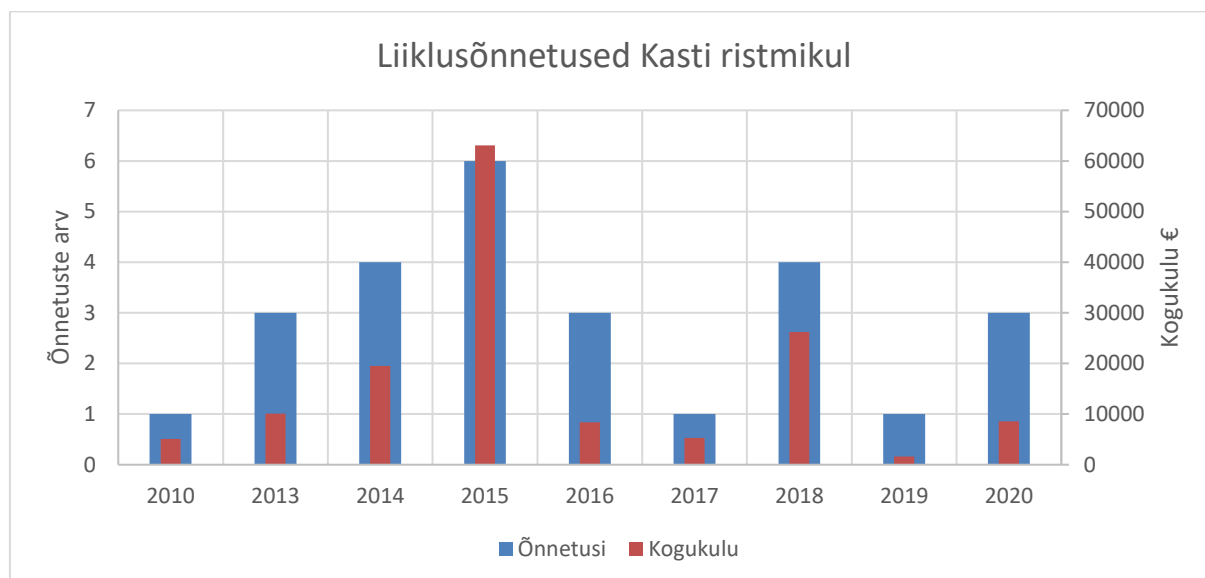
Waze andmete järgi ei ole lõigu läbimise kiirus oluliselt muutunud. Nädalate lõikes jäävad erinevused alla minuti ja keskmiselt on erinevus 2 sekundit ehk 0,1% kogu sõiduajast. Seega saab järeldada, et süsteemi mõju kiirusele on praktiliselt olematu või on see neutraliseeritud muude teguritega.

3.3. Mõju liiklusohutusele

Enne viimast ümberehitust oli Kasti ristmik tuvastatud liiklusohutliku kohana, kus järjestikuse kolme aasta jooksul registreeriti kolm või enam inimkannatanuga liiklusõnnetust [6]. Ümberehituse eelne tasuvusarvutus [7] TARVA meetodi järgi näitas parimaks meetmeks harude nihutamist koos piirkiiruse langetamisega 70 kilomeetrini tunnis. Viimane registreeritud inimkahjuga liiklusõnnetus toimus ristmiku piirkonnas 3. detsembril 2016. aastal, kui joobes juhi sõiduauto põrkas kokku teeäärsel haljasalal asunud kännuga [8]. Rohkem viimase viie aasta jooksul inimkannatanutega õnnetusi registreeritud pole.

Viimane hukkunuga õnnetus toimus enne ristmiku ümberehitamist, kui 09.07.2012 põrkas vastassuunda kaldunud sõiduauto kokku vastu tulnud veoautoga. Sõiduauto juht, 1944. aastal sündinud mees hukkus sündmuskohal. Veoauto juht, 1955. aastal sündinud mees õnnetuses viga ei saanud [10]. Oma olemuselt ei olnud tegu tüüpilise ristmikuõnnetusega, pigem olid ohuteguriks laial teelõigul tehtavad möödasõidud.

Eesti liikluskindlustuse fondi (LKF) andmetel on ajaperioodil 01.01.2010 kuni 01.01.2021 juhtunud 26 liiklusõnnetust kogukuluga 147 706 eurot. Keskmine õnnetuse kulu on 5681 eurot, aasta keskmine kulu 16 411 eurot. 21 avariit puhul oli tegu kokkupõrkega ristuvale teele liikujaga, muid liike – otsasõit eesliikujale, teelt väljasõit õnnetuse vältimiseks, teerajatise kahjustamine, kokkupõrge pöördel ja kokkupõrge vastutulijaga – oli kõiki üks. Õnnetuste ja kogukahju jaotumine aastate lõikes on toodud joonisel.



Joonis 13. Liiklusõnnetuste arv ja otsekulu 2010-2020.

Käesoleva aruande kirjutamise alguses ei olnud LKF poolt avaldatud andmetes ühtki liiklusõnnetust, mis oleks toimunud pärast süsteemi käivitamist. Samas juhtus ainuüksi vaatlusperioodi jooksul ristmikul kaks kokkupõrget, mis tekitasid kõigile osalenud sõidukitele tugevaid kahjustusi. Sellega ületab tänavune aasta nii 2017 kui 2019 aastat. Kahjusummad on veel menetluses, kuid esialgsete hinnangute järgi ületavad ka 2018 ja 2020 aastat.

Samas on liiklusõnnetuste valim suhteliselt väike ja juhusliku iseloomuga. Selget mõju pole ka 2014. aastal teostatud ümberehitusel, kuid tollaste meetmete vähese mõju eest on hoiatatud enne ehituse algust [8]. Siiski on õigem järeldus eeldada, et liiklusõnnetuste osas selget mõju eristada ei saa ning seetõttu ei saa seda aspekti kasutada ka tasuvusarvutuses.

4. SÜSTEEMI TASUVUS

Kuna seadmed ei tekita sisenevat rahavoogu, saab hinnata ainult kaudsete kulude vähenemist. Üheks kuluks on liiklusõnnetustega seonduv. Nagu eelmises peatükis näidatud, ei ole võimalik selles aspektis kulude vähenemist eeldada. Teine kulukoht on ristmiku läbimisega kaasnev ajakulu. Nagu eelpool näidatud, on piirangu aktiivse oleku aegsed sõidukiirused madalamad.

Tabel 4. Kiirused ristmikul erinevate piirangute kehtivuse ajal ja enne süsteemi käivitamist.

Suund	Klass	Keskmine kiirus			V85		
		70	90	enne	70	90	enne
Pärnu – Tallinn	AR	67.1	72.8	75	78	79	83
	SAPA	67.5	74.9	71	78	85	82
	VAAB	68.6	73.8	73	78	80	82
Tallinn – Pärnu	AR	75.6	78.7	81	84	85	88
	SAPA	73.8	79.1	77	85	90	89
	VAAB	74.8	78.3	78	84	86	89

Süsteemi ajaline sääst eeldab seda, et ilma piiranguta ajal tohivad sõidukid liikuda kiiremini kui varasema püsipiirangu ajal. Kuid võrrelduna varasemate mõõtmistega on sõidukiirused tõusnud ainult sõiduautode puhul. Samas saab välja arvutada ka teoreetilise ajasäästu kui alternatiiviks oleks täna hetkel püsimärk ja seda järgitaks samamoodi kui muutuvteabega märki.

Kahe märgi vahelise ala pikkus on 1121 meetrit. Radarmõõtmised näitasid, et enne märgini jõudmist kiirust ei alandata. Nii tuleb arvestada juurde ka aeglustusteed, mis kiirendusega 0,02-0,03g jääb vahemikku 100-150 meetrit. Seega saab arvutuste lihtsuse huvides kasutada aeglasema sõidu distantina täpselt 1000 meetri pikkust lõiku. Sellisel distantil säästab keskmine sõiduauto 4,3 sekundit, veoauto 2,9 sekundit ja autorong 3,0 sekundit.

Mõõteperioodi jooksul moodustas piiranguta ristmikku läbiv liiklusvoog 68,6% autorongidest, 61,3% sõiduautodest ja 66,0% veoautodest. Sellise jaotuse korral on potentsiaalne ajasääst 2020 aasta liiklussageduste põhjal 2115 tundi aastas, millest 1656 tundi on sõiduautode, 89 tundi veoautode ja 370 tundi autorongide arvelt. Raskeliikluse ajaväärtuse hindamise aluseks on Hollandi taristuministeeriumi tellitud uuring [1], mille järgi on veoauto tunni hind 54,99 eurot ja raskeveoki tund 62,11 eurot. Sõiduauto tunni hinnana kasutatakse tavapäraselt keskmist brutotunnipalka, mis Statistikaameti andmetel [3] on 9,0 eurot. Vastavate hindade juures on aastane rahaline sääst 34 261 eurot.

Tegeliku ajasäästu leidmiseks tuleb võrrelda tänast piiranguta liiklust 2017. aasta mõõtmistulemustega. Tollaste kiirustega võrreldes võidab keskmine sõiduauto 1,9 sekundit, veoauto 0,4 sekundit, aga autorong kaotab 1,4 sekundit. Rahasse ümberarvutatuna tähendab see summaarselt -226 eurot. Saadud tulemus on kooskõlas Rootsi vastava uuringuga [4], mille järgi ei ole ühe sõiduteega maanteele adaptiivsete kiiruspiirangute rajamine majanduslikult otstarbekas.

Kulupoolel on süsteemi rajamine läinud maksma 68 596 eurot. Selle sisse kuuluvad projekteerimine, ehitus, paigaldus ja viis aastat garantiid. Kõige kulukamas lähenemises (süsteemi eluiga piirdub garantiiajaga) tähendab see 13 719 eurot aasta kohta. Nagu näidatud, ületab hüpoteetilise olukorra baasil leitud tasuvus seda 2,5 kordselt ehk tasuvus saabub 2 aastaga. Tegeliku algse olukorra põhjal ei osutu süsteem tasuvaks mistahes soetushinna korral.

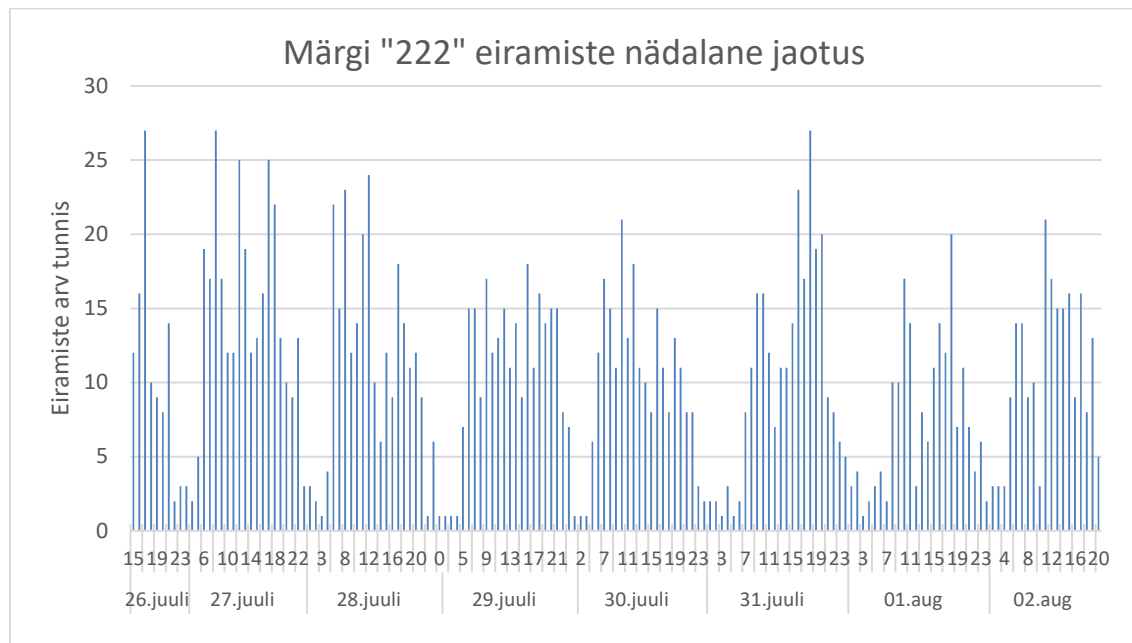
5. LIIKLUSKÄITUMINE

Lisaks mõõtmistele hinnati videosalvestise alusel ka liikluskäitumist. Teisaldatava kaamera salvestati ristmiku alal 172 tundi videomaterjali ajavahemikus 26.07.2021 – 02.08.2021. Kõrvalteelt tulijate puhul hinnati käitumist märgi 222 „Peatu ja anna teed“ juures. Peateel liikujate puhul vaadeldi muid ohtlikke manöövreid, nagu näiteks möödasõit ristmikualas. Sündmuste jaotus on toodud tabelis.

Tabel 5. Sündmuste jaotus.

Episood	Arv
Märgi „222“ eiramine	1747
Peateel liikujale ette sõitmine	43
Möödasõit ristmikul	80
Muud sündmused	14
Kokku	1884

Kõige levinum rikkumine oli märgi 222 nõuete eiramine. Sealjuures ei olnud oluline ei lähenemise ega edasiliikumise suund. Nii Märjamaa kui Valgu poolt tulijad sõitsid peatumata või koguni aeglustamata peateele nii parempöördel, vasakpöördel kui otse minnes. Ohutussaarte olemasolu sundis küll veidi muutma trajektoori, kuid mitte kiirust. Arvestades üldist liiklussagedust eksib antud aspektis iga neljas liikleja. Nädalane jaotus tundide kaupa on toodud joonisel.

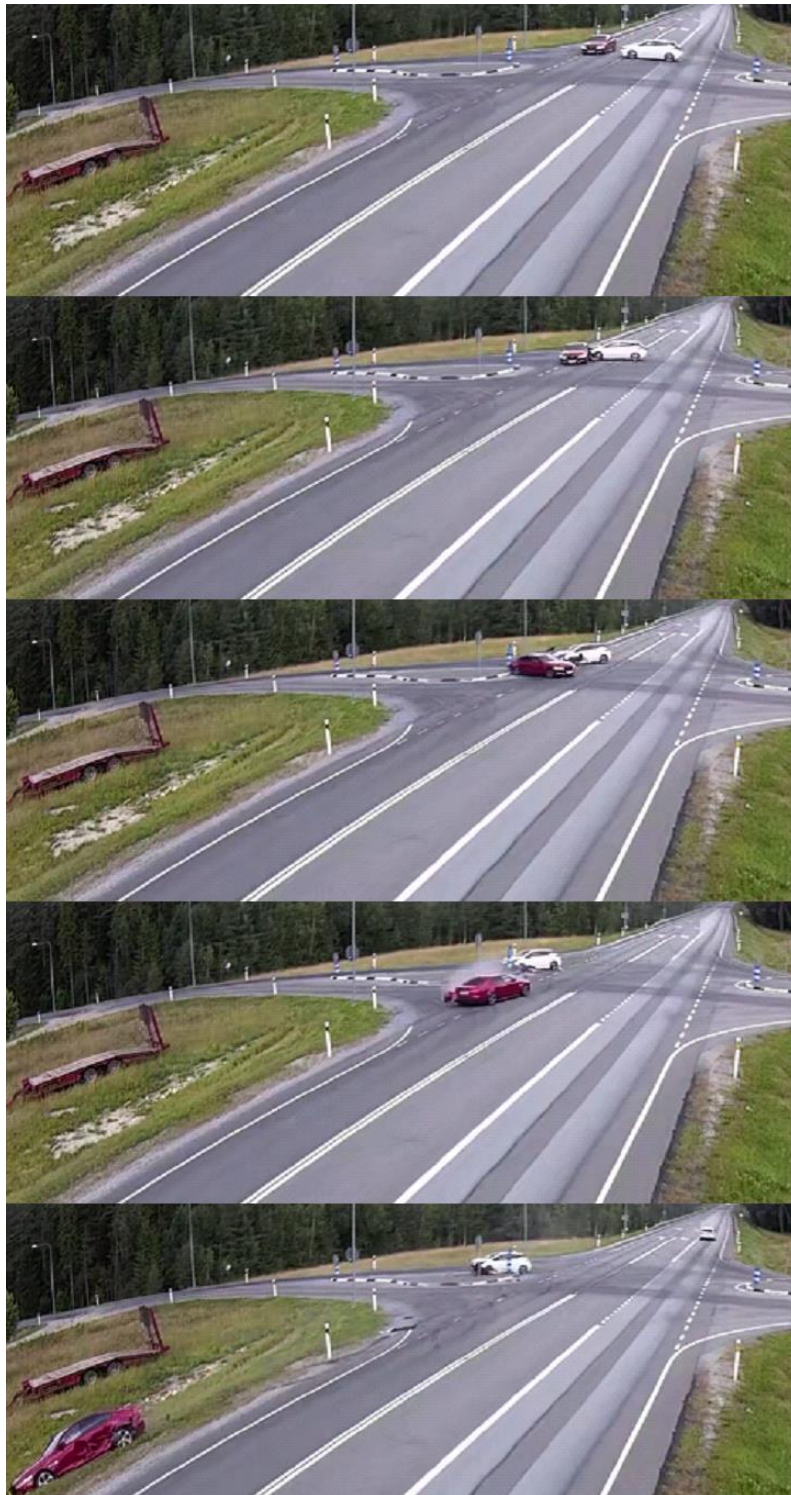


Joonis 14. Märgi "222" eiramiste nädalane jaotus.

Peateel fikseeriti 80 möödasõitu ehk keskmiselt 10 päevas, mille järgi on rikkuja üks liikleja kaheksasajast. Muude sündmuste osas fikseeriti peamiselt ebatraditsioonilisi trajektoorivalikuid nagu vastassuunda pööordeid, tagasipööordeid ja vasakpöört ootava sõiduki tagant peateele sõit. Olukordi, kus peateel liikuja oli sunnitud ette sõitnud sõiduki tõttu kiirust või trajektoori muutma, oli keskmiselt 5 ühe päeva kohta.

Politsei- ja piirivalveameti avaandmetes [13] on antud piirkonnas alates 2012. aastast avastatud 176 liiklussüütegu. Neist 127 on seotud kehtiva piirkiiruse ületamisega, 12 tehnonõuete rikkumisega ja 6 reguleerija märguande eiramisega. Kõige uuem süütegu andmestikus on kuupäevast 20.11.2020. Kuna pärast süsteemi rakendamist ei ole antud kohas liiklusjärelvalvet teostatud, pole võimalik selle andmestiku põhjal süsteemi efektiivsuse osas järeldusi teha.

Vaatlusperioodil toimus Kasti ristmikul kaks kokkupõrget. Mõlemal juhul eiras kõrvalteelt tulija stoppmärki ning jätkas kiirust muutmata sõitu peateele ning tabas seal liikuva sõiduki juhipoole külge. Politsei- ja piirivalveameti teatel ei olnud alust menetluste algatamiseks joobes juhtimise või tervisekahjuga päädinud liiklusõnnetuse põhjustamise osas.



Joonis 15. Esimese liiklusõnnetuse kulgemine 28.07.2021 kell 13.18.

Esimese liiklusõnnetuse puhul lähenes valge auto Kasti poolt stoppmärki eirates kiirusega vähemalt 50 km/h. Tallinna poolt tulnud punase auto kiirus oli ristmikul asuva radari andmetel 88 km/h. Hetk enne kokkupõrget põikas punane auto paremale. Sellest manöövrist hoolimata tabas valge auto punast vasaku ukseposti pihta. Punane auto tegi 360 kraadise pöörde ning veeres ristmiku järel teetammist alla. Valge auto kaldus vasakule ning peatus pärast kohtumist äärekiviga ohutussaarele toetudes. Kõik autodes viibinud isikud said omal jõul autodest välja. Kohale saabus üks kiirabiauto ja kaks politseipatrulli. Waze keskkonda ilmus hoiatus neli minutit pärast kokkupõrget. Transpordiameti DatexII andmevaravasse kirjet ei tekkinud. Avariilised sõidukid teisaldati järgneva kolme tunni jooksul.



Joonis 16. Teise liiklusõnnetuse kulgemine 28.07.2021 kell 21.31.

Teine kokkupõrge toimus esimese peegelpildina. Pärnu poolt tuli sinine auto, mille kiirus radari andmetel oli 81 km/h. Märjamaa poolt lähenes stoppmärki eirates must auto kiirusega vähemalt 50 km/h. Umbes sekund enne kokkupõrget süttisid sinise auto pidurituled. Ei saa välistada, et pidurdamise asemel kiirendamine oleks võimaldanud avariid vältida. Igatahes tabas must auto

sinist juhipoole tagaratta piirkonda. Sinine auto tegi mitu piruetti ja rullus korduvalt üle katuse kuni peatus teetammi parempoolsel nölval ning langes ratastele. Must auto jätkas liikumist endises suunas ja peatus teisel pool Kasti poolset mahasõitu. Kohale saabusid päästeauto, kiirabiauto ja mitmed politseiautod. Waze keskkonda ilmus hoiatus 45 minutit hiljem. Transpordiameti DatexII andmevõrvasse kirjet ei tekkinud. Sõidukid teisaldati järgneva kahe ja poole tunni jooksul.

Mõlema kokkupõrke ühisteks joonteks on märgi 222 „Peatu ja anna teed“ nõuete eiramine kõrvalteelt tulija poolt. Nagu eelnevalt näidatud, on selline käitumine ülimalt tavapärane ja rohkematest õnnetustest on säästnud ristmiku suhteliselt madal summaarne samaaegne liiklussagedus erinevatel harudel. Sellele probleemile on tähelepanu juhtinud T. Metsvahi juba aastal 2014 [8], tsitaat alljärgnev: „Tuginedes isiklike kogemustele, mis on saadud töötades LÕUK-i eksperdina julgen väita, et kuigi projektlahenduses kõrvalteele kavandatud tilgakujulised liiklussaared sunnivad kõrvalteed mööda ristmikule läheneva sõiduki liikumistrajektoori veidi muutma on see siiski ebapiisav.“ Politsei- ja piirivalveameti andmetel ei olnud ükski osaline joobes.

Lisaks eeltoodule fikseeriti 02.08.2021 üks intsident, mis õnneks kokkupõrkeni ei viinud. Märjamaa poolt tulnud veoauto peatus ja lasi läbi Tallinna poolt tulnud sõiduki. Samas suunas lähenev kaubik andis märku kavatsusest sooritada parempöörde ning suundus tee paremasse serva. Veoauto juht alustas liikumist, ilmselt märkamata kaubiku taga liikunud sõiduautot. Peateel liikuvate sõidukite pikivahe oli radari mõõtealas 1 sekund, kiirused 49 ja 56 km/h.



Joonis 17. Konfliktiolukord 02.08.2021.

Sõiduauto oli ettesõidu alguses ristmikust 50 meetri kaugusel. Muutumatu kiirusega edasi sõites oleks veoautoni jõudmiseks kulunud 3,2 sekundit ja sel ajal oli veoauto veel ristmikul. Tänu sõiduautojuhi aegsale reageerimisele jäi õnnetus olemata ja kahe sõiduki vaheliseks kauguseks üle 20 meetri. Taoliste intsidentide vältimiseks on üks võimalus eraldi parempöörderada, mille jaoks saab kasutada olemasolevat teemaad, mis ulatub antud kohas 12 meetrini sõiduraja servast.

6. KOKKUVÕTE

Mõõtmised ja vaatlusanalüüs näitasid, et adaptiivse kiiruspiirangu süsteem töötab üldjoontes hästi ja vastavalt seatud stsenaariumitele. Andmete analüüsi tulemusena ei ilmunud ühtki sellist olukorda, kus süsteemi logifailis olev märgi staatus oleks olnud vastuolus kuvatuga. Esimese astme vigu, kus süsteem andis valepositiivse tulemuse, oli 6% vaadeldud valimist. Teise astme vigu oli 10%. Üldine usaldusväärsus on seega 84%.

Peamise puudusena võib välja tuua piirangu liiga varase lõpetamise olukorras, kus sõiduk ei olnud veel ristmikku ületanud. Samas tänu vahemaale märkide ja ristmiku vahel on olemas loomulik kaitseaeg, mistõttu antud probleem on aktuaalne ainult suuremate kõrvalteelt tulevate järjekordade puhul.

Adaptiivse kiiruspiirangu süsteemi mõju sõidukiirustele on olemas, kuid suhteliselt madal. Sõiduautode puhul langevad keskmine kiirus ja V_{85} 7 km/h võrra, kuid raskeliikluse V_{85} vaid 1-2 km/h jagu. See kehtib nii erinevate piirangute võrdluses kui kaugema ja lähema radari mõõtmistulemusi kõrvutades. Mõnevõrra üllatuslikult on aga kiirused ka 90 km/h piirangu korral madalamad kui 2017. aastal mõõdetud väärtused. Toona oli ristmikul tavalise liiklusemääraga kehtestatud piirkiirus 70 km/h.

Sõidukijuhtide liikluskäitumise analüüs tõi selgelt välja, et suurimaks probleemiks ristmikul on kõrvalteelt tulijate poolt märgi 222 „Peatu ja anna teed“ eiramine. Iga neljas sõiduk sõidab ristmikul kas peatumata või koguni aeglustamata. Seetõttu oleks kohane kasutada meetmeid, mis sunniks kiirust rohkem vähendama. Need meetmed võivad olla nii sõidutrajektoori horisontaalselt kui vertikaalselt mõjutavad. Ristmiku harude laiali viimine ei pruugi efekti anda, kuna aeglustamata sooritati ka parem- ja vasakpöördeid. Variant oleks rajada kaks künnist vahega 20 meetrit, mis võimaldaks ka autorongil nende vahel peatuda.

Tasuvuse leidmiseks ei ole võimalik kasutada liiklusõnnetuste andmeid, kuna neid oli ka enne süsteemi rakendamist suhteliselt vähe ja liiklusolukorda muudeti 2014. aastal oluliselt. Sõiduaegade võrdluses on ühiskondliku kulu saldo positiivne, kui võrrelda ainult tänast kiiruskäitumist 70 km/h ja 90 km/h piirangute juures. Võrdluses süsteemi rakendamisele eelnenud ajaga on aga ajakulu suurenenud, seda nii radarmõõtmiste kui Waze keskmise kiiruse andmete järgi. Seetõttu saab antud ettevõtmist majanduslikult otstarbekaks pidada ainult mõõndustega.

KASUTATUD ALLIKAD

1. Sander van der Meulen;Tom Grijspaardt; Wim Mars; Wouter van der Geest; Adriaan Roest-Crollius; Jan Kiel. 2020. Cost Figures for Freight Transport – final report.
2. Teede, sildade, truupide ja karjäärde 1966.a. tiitelnimekirjad. ERA.R-2167.1.22.
3. <https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/valdkonnad/tooelu/palk-ja-toojoukulu>
4. *Utilisation of new road surface sensors,. Nordic co-operation in dynamic speed management*. Publication number: 2012:207. ISBN: 978-91-7467-403-3
5. *The Road to ITS, Training material*. Publication: 2011:145
6. Hur pendlande bilister uppfattar och följer variabla vägskyltar i Göteborg. K Brynielsson och B Carlsson, CTH 2005
7. https://www.mnt.ee/sites/default/files/content-editors/Failid/Juhendid/projekteerimine/liiklusonnetuste_koondumiskohtade_valjaselgitamine-aruanne_2013.pdf
8. https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/140609_tasuvusarvutuste_teadusanaluusid.pdf
9. <https://www2.politsei.ee/et/pressile/uudiste-arhiiv/uudis.dot?id=697332>
10. <https://www.err.ee/347516/raplamaal-hukkus-liiklusonnetuses-soiduauto-juht>
11. https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/linnade_kiiruspiirangute_aruanne_021019.pdf
12. https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/kokkuvote_soidukiirused_pohimaanteedel_erc-25-2019.pdf
13. <https://www.politsei.ee/et/juhend/politseitoeogea-seotud-avaandmed/liiklusjarelevalve-kaigus-avastatud-suuteod>