

2021

Suurulukite tuvastussüsteemi teostatavusuuring



Stratum OÜ

Rewild OÜ

IB Foor/Traffest OÜ

11/18/2021

Suurulukite tuvastussüsteemi teostatavusuuring

Tallinn 2021

Sisukord

1. Uuringu eesmärk.	3
2. LTS-i olemasoleva süsteemi analüüs	4
2.1. Olemasoleva LTS-i optimeerimine / parendamine	6
Olemasoleva olukorra täpsem analüüs ja valehäirete põhjuste selgitamine	6
Radarite arvu vähendamine	7
Termokaamera(te) kasutamine täiendava andurina	7
3. LTS liiklusohutuse analüüs	9
3.1 Liiklusõnnetused loomadega Eestis üldiselt.	9
3.2. Loomatuvastussüsteemi rakendamise liiklusohutuslik mõju	12
3.3. LTS prognoositavate liiklusõnnetuste majanduslik kulu	22
4. LTS-i peakasutaja kasutuskogemuse analüüs	24
5. Loomatuvastussüsteemiga ülekäikude analüüs loomade seisukohalt	26
5.1. Sissejuhatas.....	26
5.2. Materjal ja meetodika	26
5.3. Maantee barjääriefekt ja selle leevendamine	27
Loomade teeületuste seos liiklussagedusega	33
5.4. Ulukiõnnetused ja nende ennetamine	35
Kose-Võõbu ulukilahenduse rahaline võit	39
6. Rajatud ökoduktide ja kolme LTS-i põhjal nende rajamis- ja hoolduskulud	41
6.1. Rajamismaksumus	41
6.2. Hooldekulud	41
7. Välja pakutav optimaalse ulukite perimeetervälve tehnilise lahendus	42
7.1 LTS areng	42
7.2 Teised tehnoloogiad LTS-i väljaehitamiseks	43
8. Optimaalne tehniline lahendus LTS-i teedeehituslikus mõttes	46
8.1. Loomatuvastusala	46
8.2. Teega külgnev ala	46
8.3. Liikluskorraldus	47
Arutelu ja soovitused	48
Allikad	52
Lisa.....	55
Jooniste nimekiri	55

1. Uuringu eesmärk.

Käesoleva uuringu eesmärgiks on analüüsida Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maantee E263 Kose - Võõbu lõigule rajatud ökoduktide ja kolme loomade tuvastussüsteemi (edaspidi lühendatult LTS) toimivust ja pakkuda välja ettepanekud suurulukite tuvastussüsteemi arendamiseks.

Uuringu kaks põhiküsimust on, millal on Eesti maanteedel optimaalne kasutada automaatset suurulukite tuvastussüsteemi (LTS) lahendust ja millised tehnilised nõuded on vaja sellele keerukale 24/7/365 eeldusel töötavale tee-, loomarajatisest, perimeetrivalvest ja muutuvteabega liikluskorralduse lahendusest koosnevale kompleksele tehnosüsteemile kehtestada. Passiivse, loomadele maanteest vaba üle pääsu võimaldava rajatisega - ökoduktiga võrreldes on LTS tehnosüsteem esmahinnangul soodsam, kuid seni ei ole analüüsitud, kas LTS liiklusohutuslik efekt ning sobivus loomade liikumisvõimaluse tagamisel on ka reaalses kasutuses toimiv lahendus, arvestades LTS-i püsikulusid ja puudust mitte ära hoida 100% looma ja sõiduki kokkupõrkeid kasutuskohas.

Taustainfo

Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maantee E263 Kose - Võõbu lõigu rajamine toob kaasa muutused metsloomade liikumisharjumustes - uuringualust piirkonda võib pidada olulisimaks ulukite liikumiskoridoriks Eestis, sh nii suursõraliste, kiskjate kui ka pooleveelise eluviisiga imetajate osas. Antud liikumiskoridor ei ole ainult kohaliku tähtsusega, vaid ühendab imetajate Loode-Venemaa asurkondi Baltimaade ja seeläbi ka Kesk-Euroopa populatsioonidega.

Metsloomade liikumisvõimaluste parandamiseks soovitasid KMH eksperdid rajada Kose-Võõbu ja Võõbu- Mäo teelõikudele 5 ökodukti, 11 väikeulukitunnelit, 1 tähistatud teeületuskoht ja 5 sillaaluse kallasrajaga läbipääsu. Majanduslikel põhjustel võeti eelprojektis kavas esimeses etapis kolm ökodukti ja kahte soovitatud ökodukti kohta jäetakse esimeses etapis tähistatud teeületuskoht.

Tee on kogu pikkuses tarastatud ulukitaraga, suurulukitele on tagatud viis ülepääsuvõimalust, millest kolm on ökoduktid ehk rohesillad ning kaks on samatasandilised ületuskohad. Sama-tasandilistel ületuskohtadel seiratakse loomade liikumist ning määratletakse täiendavate ökoduktide ehitamise vajadus ja täpsed asukohad. (*Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maantee Kose-Võõbu ja Võõbu-Mäo teelõikude eelprojekt ja keskkonnamõju hindamine. Ramboll Eesti AS, 2007*)

2. LTS-i olemasoleva süsteemi analüüs

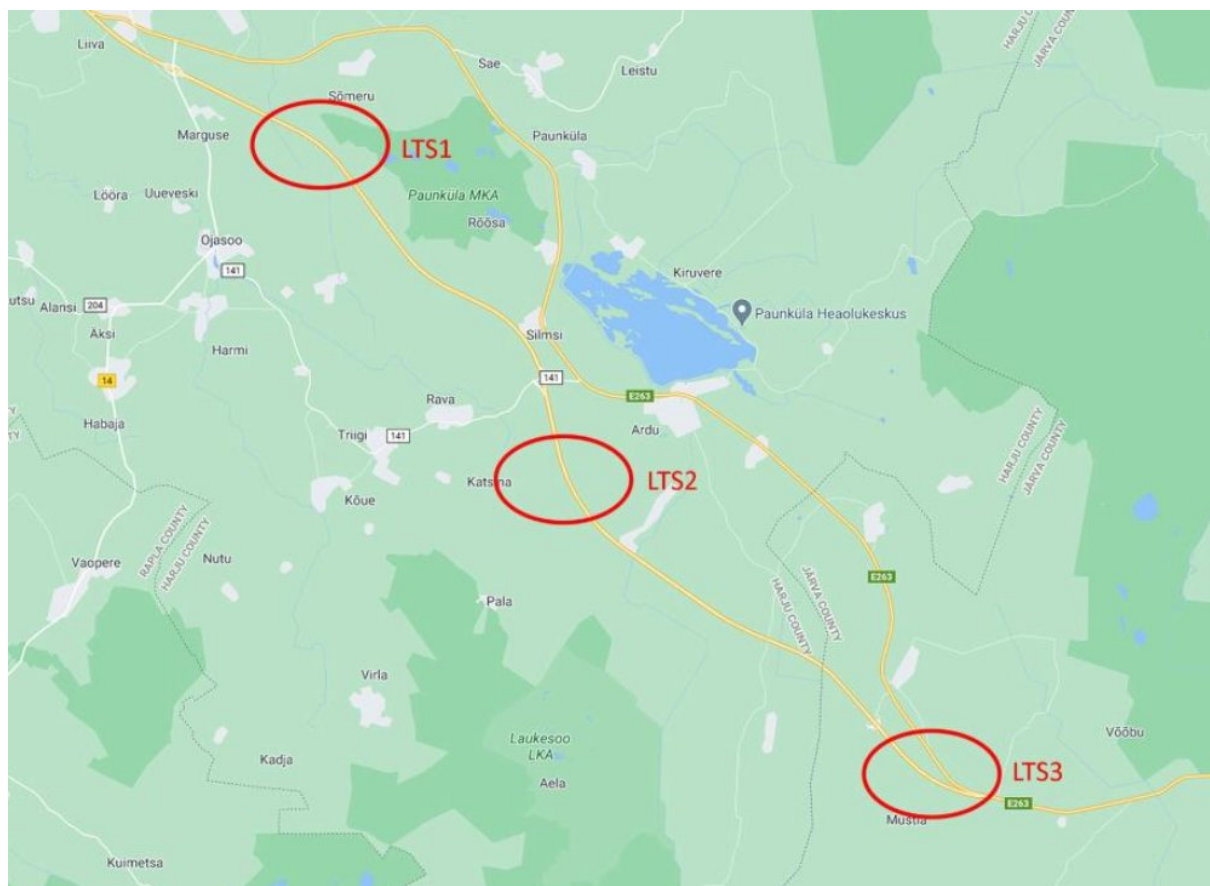
Põhimaantee nr 2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maantee uue Kose - Võõbu lõigu väljaehitamise käigus rajati ulukitele kolm teeületusala ja töötati välja nendes teeületusalades suurulukite liikumist monitooriv autonoomne tuvastus-, jälgimis- ja hoiatussüsteem. Radarite ja termokaamera abil suurulukite liikumist monitooritavad süsteemid paigaldati kolmele teeületusalale. Kõigis kolmes asukohas on lahenduse konfiguratsioon põhimõtteliselt sarnane.

Tuvastussüsteemide asukohad on järgmised:

LTS1 tee 2 km 45.1

LTS2 tee 2 km 53.5

LTS3 km 63.4



Joonis 1 LTS paiknemine

Lahenduse koosseisu kuulub järgmine riist- ja tarkvara:

10 lühimaaradarit;

- pöördtermokaamera;
- juhtkontroller;
- keskswitch;

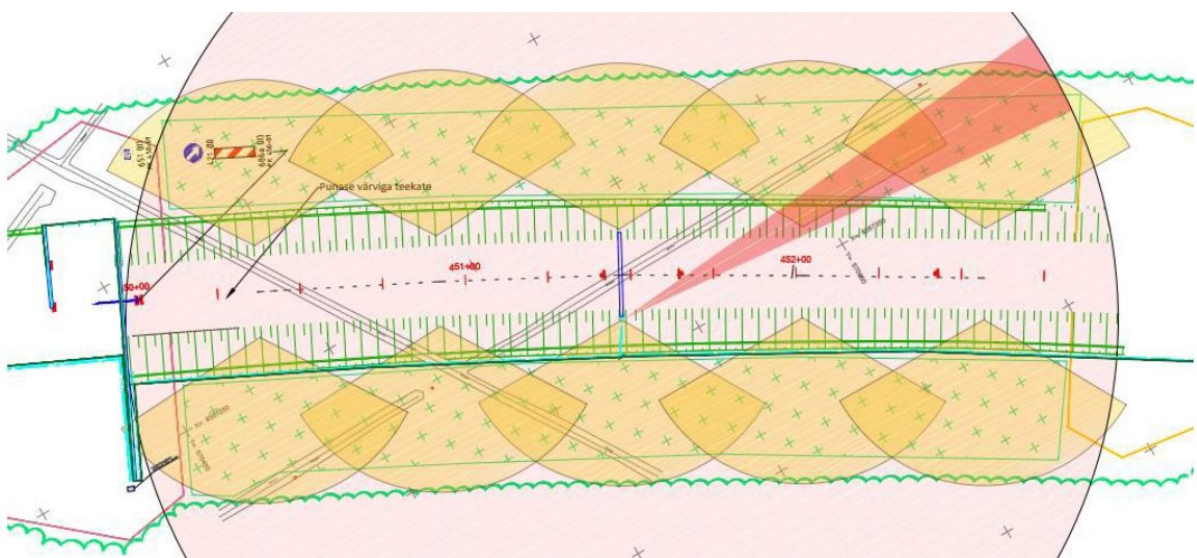
- ruuter;
- toiteallikad radarite toiteks;
- toiteallikas pöördtermokaamera toiteks;
- tsentraalne ja lokaalsed liigpingekaitssed;
- muutuvmärgid ja nende juurde kuuluvad switchid;
- seadmekapp;
- seadmekapi ventilatsioonisüsteem;
- radarite paigalduspostid;
- muutuvmärkide kandekonstruktsioonid;
- juhtkontrolleri operatsioonisüsteem;
- kaameraohjamistarkvara koos kasutajaliidesega
- videohaldustarkvara.

Süsteemi tööpõhimõte

Jälgimissüsteemi põhiosa moodustavad 10 lähijälgimisradarit, mis skaneerivad maanteeäärset ala ja liikuva objekti ilmumisel radari vaatevälja edastavad juhtkontrollerile avastatud objekti koordinaadid, samal ajal jätkates avastatud objekti liikumistrajektoori salvestamist.

Juhtkontroller edastab avastatud objekti koordinaadid pöördtermokaamera ohjamistarkvarale, mis suunab kaamera avastatud objektile ja radaritelt saabuva teabe alusel hoiab avastatud objekti pidevalt kaadris kuni selle väljumiseni jälgimisalast. Samas edastatakse ka asjakohane info muutuvsisuga märkidele.

Kummalgi pool teed on 300 meetrit enne teeületusala algust ja 100 meetrit enne teeületusala algust ning teeületusala lõppu paigaldatud muutuvteabega liiklusemärgid (LED tüüpi VMS), mis rakenduvad tööle kui valvealas fikseeristakse intsident. Tuvastussüsteem ja VMS märgid on kaughallatavad Transpordiameti liiklusjuhtimiskeskusest. Kõik intsidendid salvestatakse ja logid on järeltöödeldavad süsteemi töö seirel.



Joonis 2. Radarite paigutus.

Joonisel 2 on kollase värviga ära näidatud erinevate radarite jälgimispiirkonnad ning roosa värviga pöördtermokaamera jälgimise all olev ala. Sellise paigutuse korral on jälgimise all 300 meetri pikkune ja 50 meetri laiune teega paralleelne ala.

LTS planeerimisel seati järgmised eesmärgid:

- Valealarme maksimaalset 1 24h jooksul,
- Ebaõnnestunud tuvastusi mitte rohkem kui 1 200 valvealasse sisenenud suuruluki kohta.

Uuringu koostajate käsutuses ei ole ülaltoodud eesmärkide täitumist täpselt kirjeldavaid andmeid. Võimalik, et valenegatiivsete tuvastuste kontrolli ei ole tehtud, aga tuginedes teiste sarnaste projektide avalikele andmetele võiks see parimatel süsteemidel jääda kindlasti alla 3% kõigist tuvastusjuhtumitest.

Teadagi on, et esineb väga palju valepositiivseid tuvastusi ehk olukordi, kus radar tuvastab looma, aga termokaamera seda ei kinnita. Selliste tuvastuse osakaal on ligi 80% sealhulgas 50% on valehäired ja 30% häire põhjus jäänud tuvastamata. Levinumate valehäirete põhjusena tuuakse välja tuul (ilmselt tuule mõjul liikuvad objektid), vihm ja radarite interferents (üksteise segamine). Samas nende esinemise osakaal ei ole teada.

2.1. Olemasoleva LTS-i optimeerimine / parendamine

Olemasoleva olukorra täpsem analüüs ja valehäirete põhjuste selgitamine

Selleks, et olemasolevat süsteemi parendada, on vaja teada valehäirete põhjuseid ja protsentuaalset jaotust, et otsustada milliste vigade kõrvaldamisega on kõige perspektiivsem tegeleda. Juhul, kui olemasolev olukord on täpselt teada, võib selle alapunkti vahele jätta. Kui siiski täpseid andmeid ei ole (näiteks hetkel teadaolevalt on 30% valepositiivsete häirete põhjuseid teadmata), aga on usku, et olemasolevat süsteemi annab paremaks häälestada ja ümbritsevat keskkonda muuta, võiks kaaluda hea resolutsiooniga kogu ala katva videoanalüütikaga videokaamerasüsteemi paigaldamist. Selline kaamerasüsteem aktiveerub radarilt tulevale signaalile, aga samas salvestub kogu loomatuvastusala katkestamatult ööpäevaringselt pikema ajaperioodi vältel. Hiljem võrreldakse salvestisi radarite tuvastusandmetega. Nii saadakse teada valepositiivsed intsidendid. Valenegatiivsete intsidentide avastamiseks tuleks kiiremas režiimis üle vaadata kogu salvestatud video. Tähtis on siinkohal, et kõigi süsteemide kellaeg oleks sama. See lihtsustab oluliselt hilisemat andmete tõlgendamist.

Selliseid videofaile uurides on võimalik vajadusel suurendada radarite tundlikkust (kui ulukid jäävad tuvastamata) või keskenduda valepositiivsete häirete põhjuste elimineerimisele (liikuvad objektid, ilmastikunähtuste mõju radaritele jne).

Videosüsteem võiks koosneda vähemalt kahest kõrge resolutsiooniga kaamerast üks kummalegi poole teed (või ka enamast madalama resolutsiooniga kaamerast).

Eeldusel, et kaamerad saab paigaldada enne loomatuvastusala asuvatele VMS postidele, kus kaamerad saavad ka toite võiks sellise süsteemi maksumus koos salvestusseadmete ja

paigaldusega moodustada ca 15'000 – 20'000 eurot. Summa sisaldab ka hilisemat 30 päeva videote analüüsi.

Radarite arvu vähendamine

Teadmata põhjusega valepositiivsete tuvastuste suur osakaal võib viidata sellele, et radarid võivad reageerida tagasipeegeldustele või segavad üksteise tööd. Näiteks ei soovitata sõidukeid tuvastavaid radareid paigaldada suurte liiklusmärkide suunas, kuna tagasipeegeldused võivad tekitada nn fantoomsõidukeid ehk valepositiivseid tuvastusi.

Selliseid olukordi on üsna raske tõestada. Küll aga on selge, et radarite arvu vähendamisega on võimalik selliste valepositiivsete tuvastuste arvu vähendada, kuna me lihtsalt kasutame vähem valehäireid anda võivaid andureid. Teistes riikides tehtud arendusprojektides kasutatakse enamasti 1-2 radarandurit süsteemi kohta, kas fikseeritud Doppleri radarit või 360 kraadi skanniv radarit. Viimase maksumus on võrreldes fikseeritud radaritega oluliselt suurem. Samas võib-olla tõenäoline, et väiksemad arendustöö vajadused hilisemas faasis kaaluvad algse investeeringu üles.

Tootjad (näiteks A.U.G. Signals Ltd) kinnitavad tootelehel sellise süsteemi vigade määraks: üks valetuvastus 24 tunni jooksul ja üks mittetuvastus 10'000 tuvastuse kohta. Hilisemaid ja sõltumatute osapoolte uurimisarundeid sellise toimivuse kinnitamiseks siiski saadaval ei ole.

360 kraadi skanniva ühe radariga süsteemi maksumus moodustab orienteeruvalt 100'000-120'000 eurot. Maksumus sisaldab ka termokaamerat tuvastuste tõendamiseks ja paigaldust. Maksumus ei sisalda muutuva teabega märke liiklejate kiirusepiirangu langetamiseks.

Termokaamera(te) kasutamine täiendava andurina

Üks võimalus valepositiivsete tuvastuste vähendamiseks on võtta samas süsteemis lisaks radaranduritele kasutusele mõni teist tüüpi andur ja anda häireedastus muutuva teabega märkidele ainult siis, kui mõlemad andurid on looma tuvastanud. Teadmata siiski väljaehitatud süsteemi täpseid võimalusi, oleks esimene arvestatav variant olemasoleva termokaamera kasutamine sellisel viisil. Kui radar on looma tuvastanud ja termokaamera suunatakse tuvastusalale, tuleb ka termokaameral loom tuvastada enne, kui edastatakse häireteade ja kiiruspiirangu muutmise korraldus muutinfoga märkidele.

Juhul kui olemasolevat kaamerat ei õnnestu tehnilistel põhjustel kasutada ja tuleks hankida uus termokaamera, oleks mõistlik soetada ühele alale mitu fikseeritud kaamerat (mitte pöördkaamerad), et saavutada parem tuvastuskiirus ja -täpsus.

Sellise lahenduse rakendamisel oleks siiski vajalik omada andmeid, kui palju on hetkel valenegatiivseid intsidente ehk tuvastamata loomi. Kui neid on liiga palju ehk vastavalt eeltoodud eesmärkidele – enam kui üks 200 valvealasse sisenenud suuruluki kohta, siis ei ole sellise täiendava anduri rakendamine mõistlik, kuna tõenäoliselt suurendab see valenegatiivsete arvu veelgi.

Termokaamerate lisamine süsteemile (kui lisada näiteks iga radari kohta ka üks termokaamera) maksumus moodustab ca 50'000 – 70'000 eurot. Maksumus sisaldab kaameraid, nende paigaldust ja liidestamist süsteemiga.

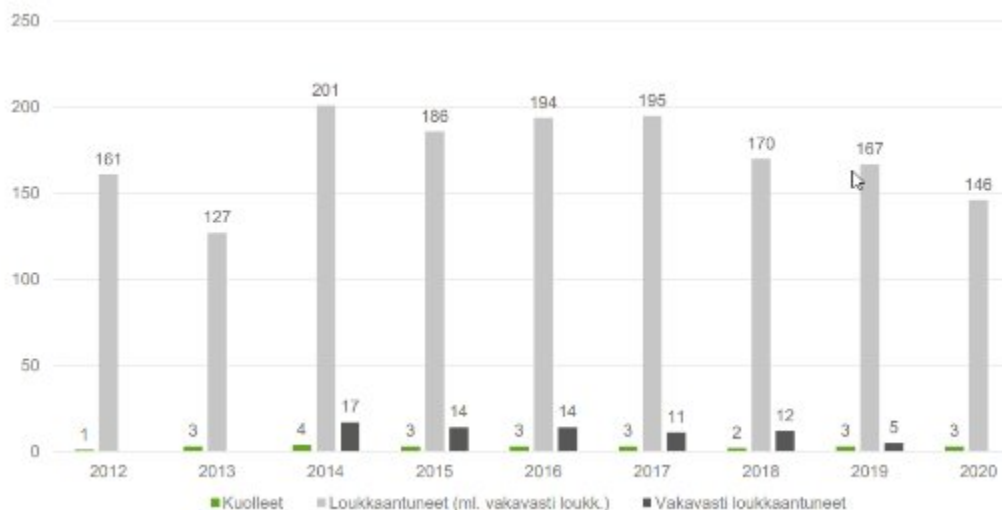
3. LTS liiklusohutuse analüüs

3.1 Liiklusõnnetused loomadega Eestis üldiselt.

Käesolevas alapeatükis on alustuseks käsitletud loomaõnnetusi üldiselt. Selle juures on lähtutud Transpordiameti (endise Maanteeameti) inimkahjuga liiklusõnnetuste andmestikust aastatest 2012 kuni 2020.

Selliseid liiklusõnnetusi on nimetatud 9 aasta jooksul registreeritud kokku 134, neis on hukkunud 3 inimest ja vigastada saanud 166 inimest. Selliste liiklusõnnetuste osakaal kõikidest inimkahjuga liiklusõnnetustest pole siiski õnneks eriti suur ja moodustab kõikidest umbes 1%.

Kui tuua näiteks võrdlus Soomega, siis saame tõdeda, et Soomes on registreeritud inimkahjuga liiklusõnnetusi (otsasõit loomale) enam kui 10 korda rohkem (1547 ehk 172 õnnetust aastas), samas kui neis on hukkunud 25 inimest ja vigastada saanud 73 (rasked vigastused). Kokku juhtus Soomes kokku 2020.aastal 14 004 ulukiga kokkupõrget. Ligi kolmandik õnnetustest juhtus septembris-oktoobris.

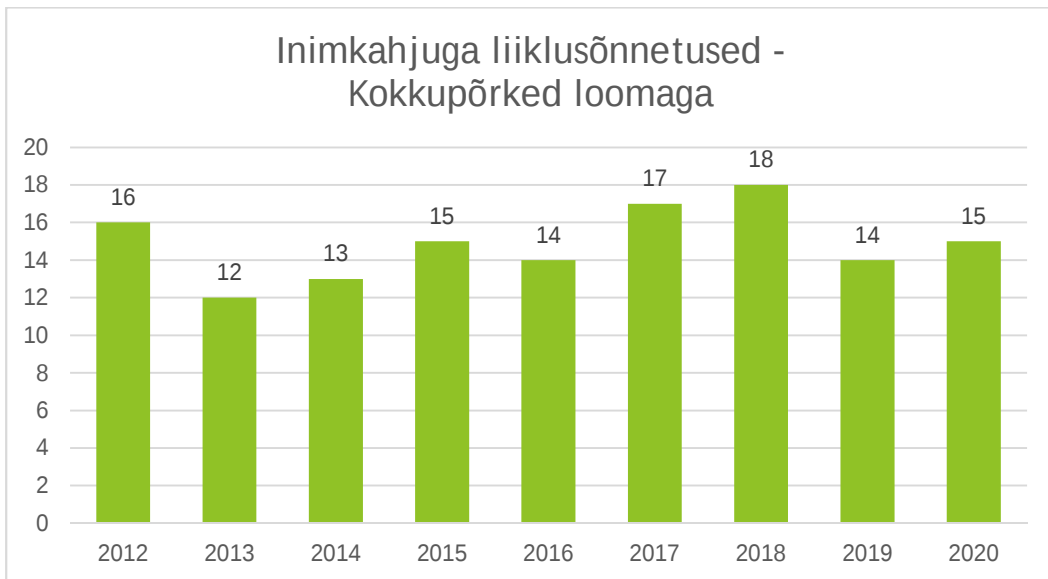


Joonis 3. Kokkupõrked loomadega, neis hukkunud ja raskelt vigastatud Soomes.

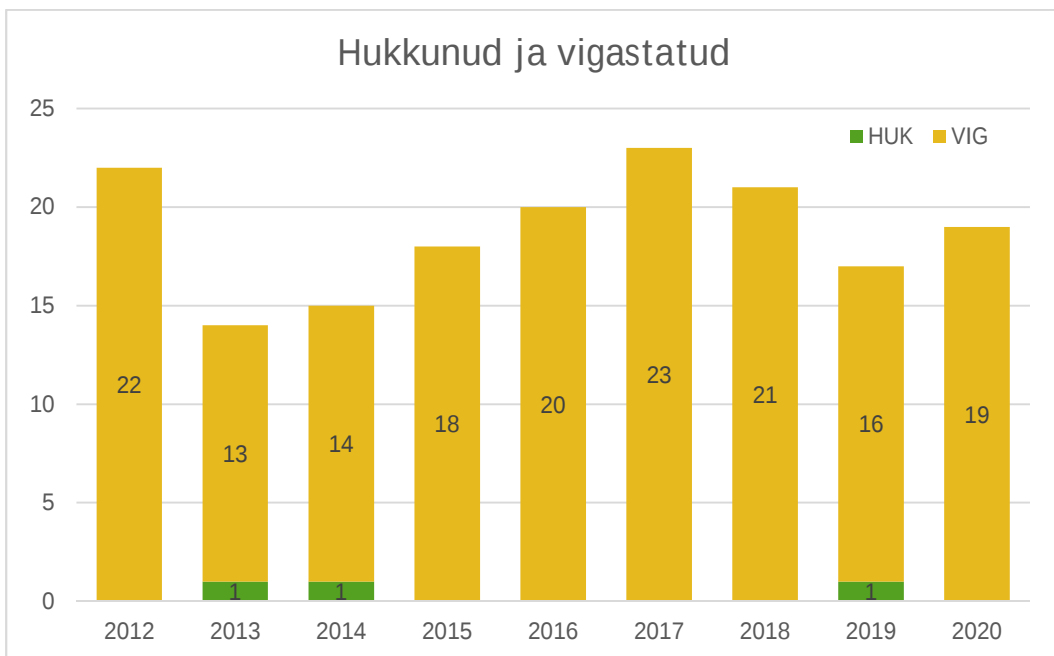
Allikas: Eläinonnettomuudet. Liikenneturva, 10.2.2021

Seega, kuigi Soomes on registreeritud liiklusõnnetusi suurusjärgu võrra enam kui Eestis, on neis hukkunud ja saanud raskeid vigastusi samas suurusjärgus inimesi kui Eestis. Seega on Eestis seda tüüpi liiklusõnnetused oluliselt raskemate tagajärgedega.

Kui vaadata kogu analüüsitava perioodi Eestis, siis on aastate jooksul jäänud registreeritud liiklusõnnetuste arv suhteliselt sarnaseks ja aastane õnnetuste arv jääb reeglina vahemikku 12 kuni 18, õnneks on neis hukkunud vaid üksikud (kokku 3, kuid mitte ühelgi aastal enam kui 1) ja neis kannatanute arv jääb aastas vahemikku 13 kuni 22.

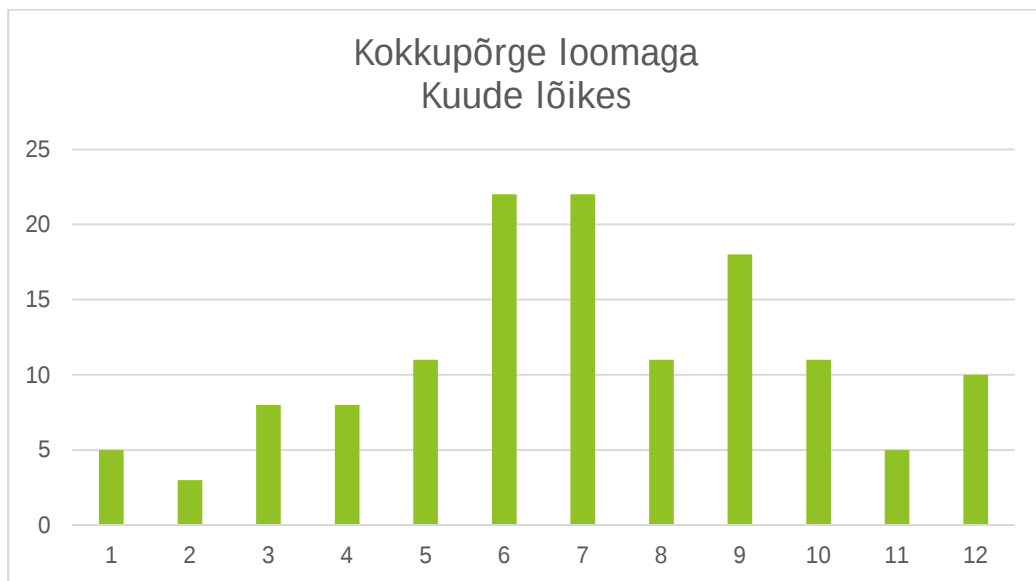


Joonis 4. Kokkupõrked loomadega- inimkahjuga liiklusõnnetused 2012-2020.a.

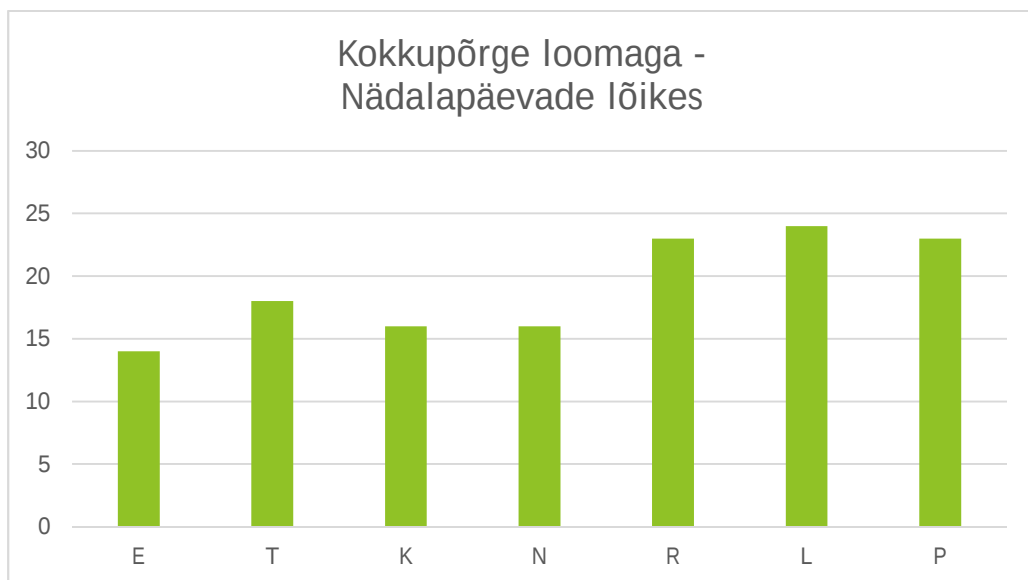


Joonis 5. Kokkupõrked loomadega- neis hukkunud ja vigastatud inimesed

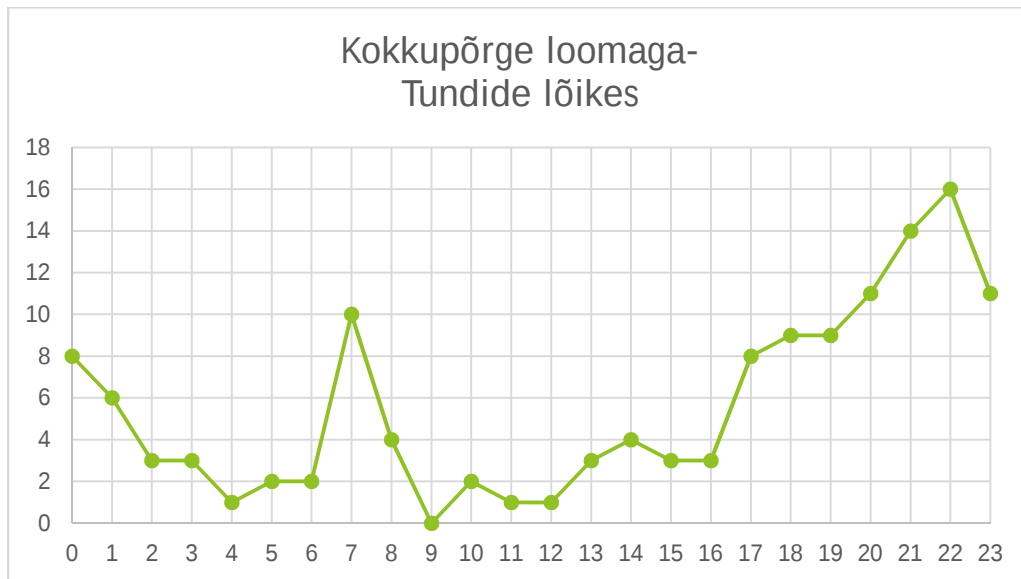
Kui vaadata liiklusõnnetuste jagunemist ajaliselt, siis torkavad silma mõned õnnetuserohkemad perioodid, kuude lõikes eelkõige suvekuud (juuni, juuli, aga ka september), nädalapäevade lõikes eelkõige nädalalõpp (reede - pühapäev) ja päeva lõikes eelkõige hilisõhtune aeg (alates kl 20 kuni öösel kl 1-ni)) aga ka hommikune tipptund (kell 7 kuni 8).



Joonis 6. Kokkupõrked loomadega kuude lõikes



Joonis 7. Kokkupõrked loomadega nädalapäevade lõikes.



Joonis 8. Kokkupõrked loomadega tundide lõikes.

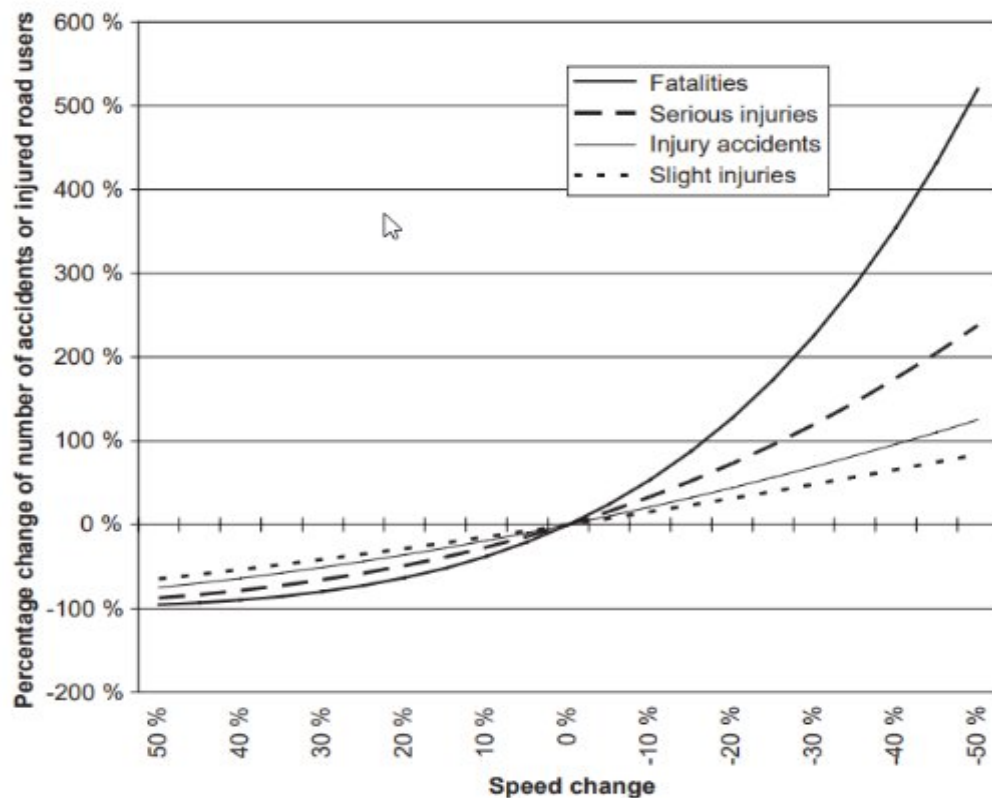
3.2. Loomatuvastussüsteemi rakendamise liiklusohutuslik mõju

Mõjud liiklusohutusele

Võimalikud mõjud liiklusohutusele põhinevad järgnevatel eeldustel:

- eelduseks on see, et reaajas ja loomade seirel tuginev süsteem toimib liiklejate arvates täpsemini ja usaldusväärsemalt, kui lihtsalt hoiatusmärkidel põhinev lahendus;
- kui esimene eeldus peab paika, siis on teiseks eelduseks, et juhid järgivad võimalikku rakendatud adaptiivset (VMS liikluskorraldusvahendite kasutusel põhinevat) piirangut paremini, kui mitteadaptiivset (lihtsalt tavalise liiklusemärgiga edastatud hoiatus või kiirusepiirang);
- see tooks sellisel juhul kaasa sõidukite liikumiskiiruse olulise languse, mis omakorda suurendab ohutust vähendades kokkupõrkeriski. See tuleneb suuremast reaktsioonijast juhile võimalikule ohule reageerimisel ühelt poolt ja teisalt-väiksema kokkupõrkekiiruse korral on ka õnnetuse tagajärjed kergemad.

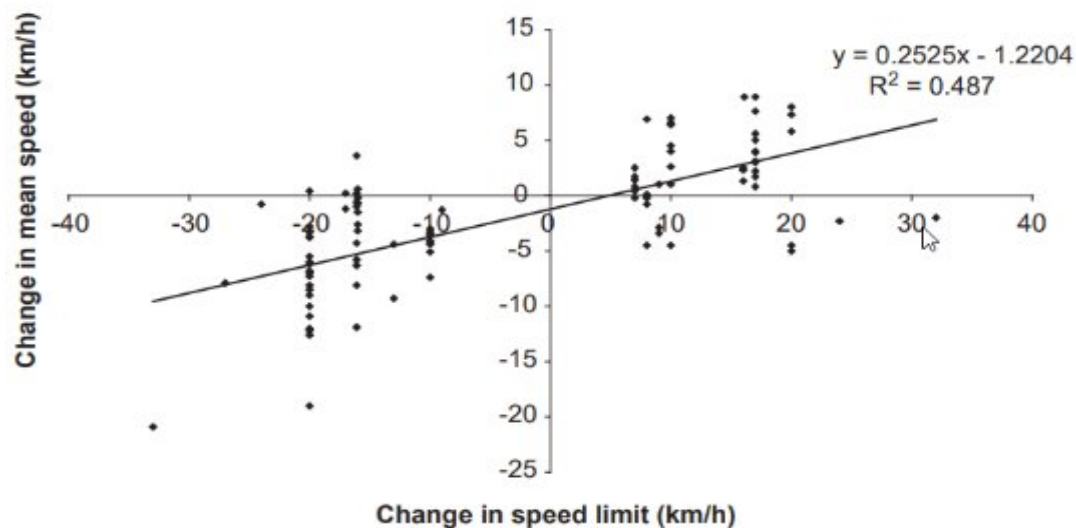
Maailmas on tunnustatud üldine, paljudes teadusväljaannetes tõestatud ja kasutatud seos liikumiskiiruse ja liiklusõnnetuse toimumise tõenäosuse ja selle võimalike tagajärgede vahel.



Joonis 9. Kiiruse muutuse ja liiklusõnnetuse tagajärgede seos.

Allikas: Rune Elvik, Alena Høye, Truls Vaa, Michael Sørensen. *Handbook of Road Safety Measures*. Second Edition, Emerald Group Publishing Limited, 2009.

Samas on ka tõestatud, et piirkiiruse muutmine ei too automaatselt kaasa keskmise kiiruse muutumist samal määral. Seda iseloomustab järgmine joonis.



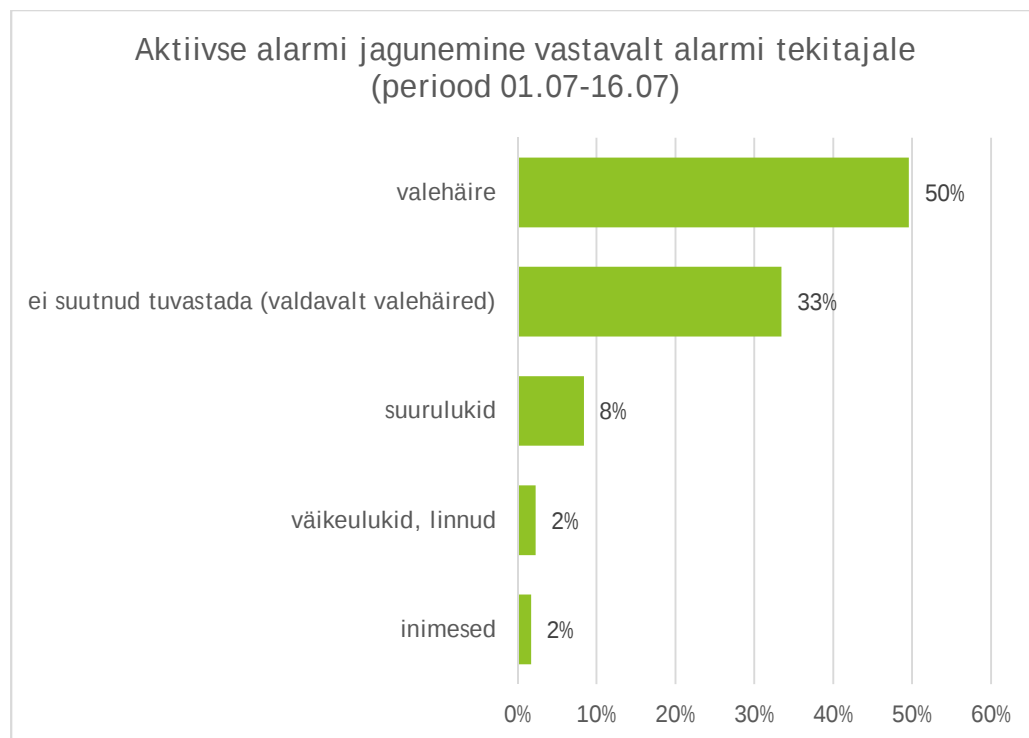
Joonis 10. Kiiruspiirangu ja keskmise kiiruse seos.

Allikas: Rune Elvik, Alena Høye, Truls Vaa, Michael Sørensen. *Handbook of Road Safety Measures*. Second Edition, Emerald Group Publishing Limited, 2009.

Seega, vastavalt metanalüüsile, toob piirkiiruse vähendamine näiteks 10 km/h võrra kaasa umbes 4 km/h võrra keskmise kiiruse languse ja vastupidi.

Süsteemi toimimise tulem ja usaldusväärsus

Käesolevas töös on kasutatud käesoleva peatüki alguses kirjeldatud lähteandmestikku allikaks on Transpordiameti maanteeliikluse korraldamise üksus.



Joonis 11 Aktiivse alarmi jagunemine vastavalt alarmi tekitajale.

Nagu ülaltoodud jooniselt näha on pooltel juhtudel tegemist valehäirega ja kolmandikul juhtudel ei ole osutunud võimalikuks tuvastada häire allikat ehk ka neil juhtudel võib olla tegemist valehäirega.

Ulukite poolt põhjustatud häireid on umbes iga kümnes.

Seega- praegu rakendatud loomatu vastussüsteem küll toimib, aga annab võrreldes püstitatud eesmärkidega väga palju valehäireid. Samas ei ole üheselt selge, mil määral selline suur valehäirete osa mõjutab konkreetselt juhtide käitumist. Võime aga eeldada, et nimetatud trassilõigul sageli liiklevate juhtide käitumisele on ilmselt mõju suurem. Seda olukorda saab kirjeldada järgmiselt: „süsteem andis häire, muutus kiiruspiirang, kuid juht ei märka looma, mille tõttu häire tekkis“. Kui juht siiski ei hooa edastatud signaali valehäirena, siis ta siiski ilmselt oma sõiduki kiirust alandab. Kui juhid aga liiguvad sellel teelõigul sagedasti ja süsteem annab häiresignaali samuti sagedasti, kuigi juhid otsest ohtu ei näe, siis võivadki nad seda käsitleda kui valehäireid, nad ei pruugi oluliselt oma sõiduki kiirust vähendada ja selle tulemusel, kui tegemist on reaalse ohuga, ei pruugi süsteem tuua

kaasa õnnetuse väiksemat riski. Praegu rakendatud süsteemi kaudset mõju liikluskäitumisele on käsitletud järgmises alapeatükis.

Süsteemi toimimise mõju kiiruskäitumisele

Kasutatud terminid ja parameetrid:

- V_{avg} - liiklusvoo keskmine kiirus, km/h

- V_{85} - nn 85% kiirus, ehk liiklusvoo kiirusnäitaja, millest 85% sõidukitest liigub aeglasemalt. Iseloomustab eelkõige nõ suuremaid kiirusi.

Järgnevad tulemused on esitatud kahe perioodi jaoks, tinglikult SUVI (1.07 – 16.07) ja SÜGIS (30.10-16.11).

Samuti on eraldi välja toodud nimetatud kiirusparameetrid:

a) Kose-Risti püsiloenduspunktis (PLP);

b) loomatuvasustussüsteemiga varustatud teelõigul;

eraldi valge ja pimedal ajal ning omakorda kahes olukorras-

- i) loomatuvasustussüsteem (LTS) ei andnud häiret;
- ii) loomatuvasustussüsteemi (LTS) alarm on sisse lülitatud.

LTS1: periood 01.07-16.07 (SUVI)					
Näitaja	Kose-Risti PLP (mõlemad suunad kokku)	piirkiirus lõigul 120 km/h, valge aeg, alarmi pole	piirkiirus lõigul 110 km/h, pime aeg, alarmi pole	piirkiirus lõigul 120 km/h, valge aeg, ALARM	piirkiirus lõigul 110 km/h, pime aeg, ALARM
V_{avg}	112	109	101	92	84
V_{85}	126	124	116	110	98
LTS1: periood 30.10-16.11 (SÜGIS)					
Näitaja	Kose-Risti PLP (mõlemad suunad kokku)	piirkiirus lõigul 120, valge aeg, alarmi pole	piirkiirus lõigul 110, pime aeg, alarmi pole	piirkiirus lõigul 120, valge aeg, ALARM	piirkiirus lõigul 110, pime aeg, ALARM
V_{avg}	109	96	92	84	80
V_{85}	122	109	104	101	96

Ülaltoodud tulemustest saab teha olulisi järeldusi:

- Võrreldes püsiloenduspunktis fikseeritud kiirustega on LTS-ga teelõigul kiirused mõnevõrra väiksemad. Ilma alarmita olukorras on keskmine kiirus väiksem suvel ca 3 km/h võrra (valge aeg, piirkiirus 120 km/h) ja sügisperioodil ca 13 km/h võrra (valge aeg, piirkiirus 120 km/h). Seega omab LTS lõik teatavat kiirust vähendavat mõju ka sel juhul, kui alarm sisse lülitatud ei ole. V_{85} vähenemine jääb vahemikku 2 km/h (valge aeg, suvel) kuni 13 km/h (valge aeg, sügis).
- Sügisperioodil on kiirused mõnevõrra väiksemad kui suvel, erinevused on toodud järgnevas tabelis:

Näitaja	Erinevus 2020 sügis vs 2021 suvi, km/h				
	Kose-Risti PLP (mõlemad suunad kokku)	piirkiirus lõigul 120, valge aeg, alarmi pole	piirkiirus lõigul 110, pime aeg, alarmi pole	piirkiirus lõigul 120, valge aeg, ALARM	piirkiirus lõigul 110, pime aeg, ALARM
V _{avg}	-3	-13	-9	-8	-4
V ₈₅	-4	-15	-12	-9	-2

- Tuginedes ülaltoodud tulemustele vähenesid alarmi sisselülitamise korral keskmise kiiruse ja näitaja V₈₅ väärtused järgmiselt (km/h):

Näitaja	SUVI 01.07-16.07			SÜGIS 30.10-16.11	
	piirkiirus lõigul 120 km/h, valge aeg,	piirkiirus lõigul 110 km/h, pime aeg,		piirkiirus lõigul 120 km/h, valge aeg,	piirkiirus lõigul 110 km/h, pime aeg,
V _{avg}	-17	-17	V _{avg}	-12	-12
V ₈₅	-14	-18	V ₈₅	-8	-8

Liiklusõnnetused riigitee nr Kose-Võõbu teelõigul

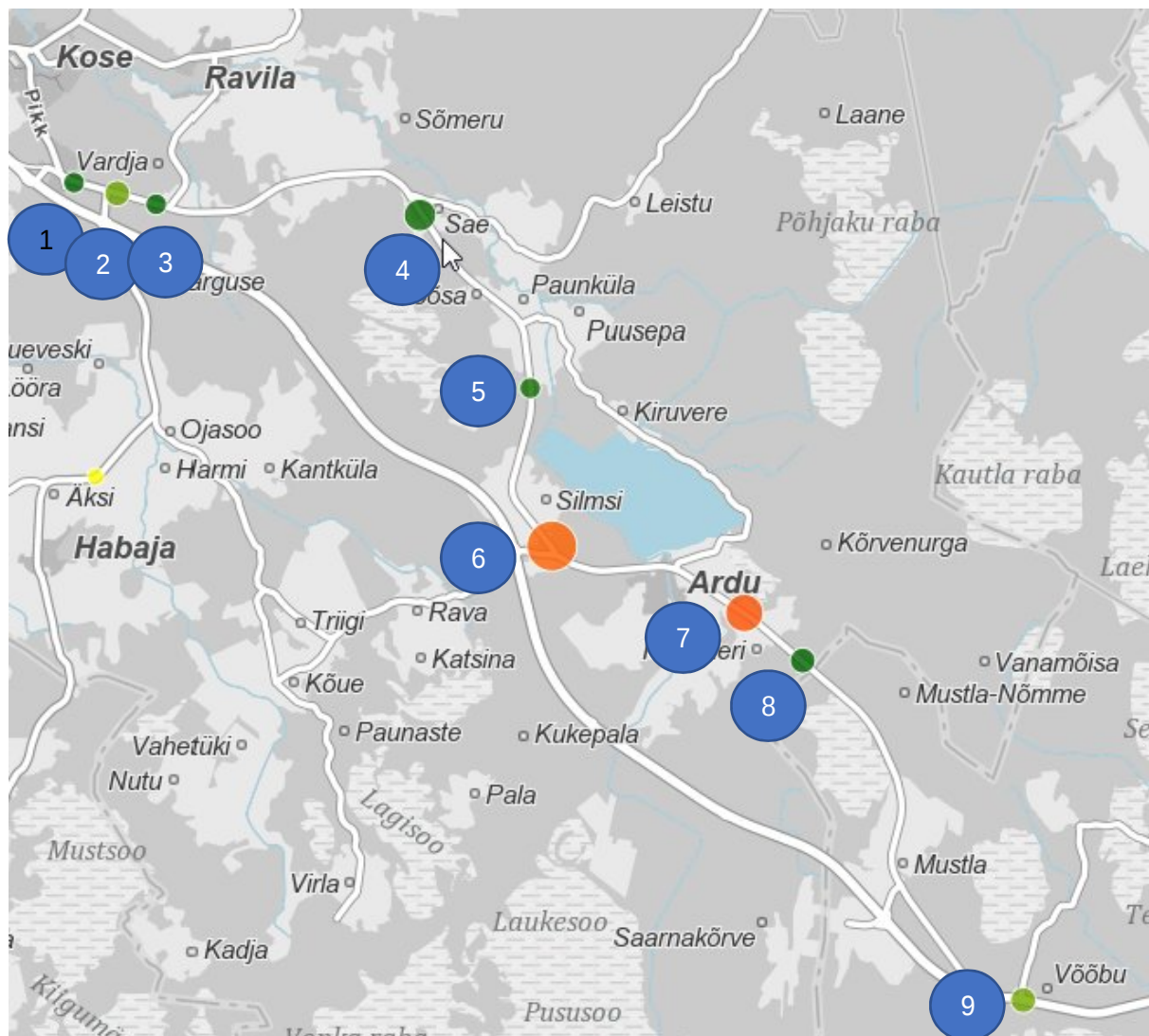
Kui analüüsida toimunud liiklusõnnetusi, siis on võimalik kasutada eelkõige inimkahjuga liiklusõnnetuste andmestikku.

Transpordiameti andmetele tuginedes on põhimaantee nr 2 vanal uue teega paralleelsel teelõigul fikseeritud järgmised loomaga kokkupõrked, kus inimesi sai vigastada või surma.

Aasta	Kuupäev	Kell	Ilmastik	Sõiduautojuhi osalusel	Hukkunuid	Vigastatuid
2013	29.07	23:57	Selge	1	0	1
2017	23.11	22:39	Pilvine	1	0	2
2018	30.07	00:00	Selge	1	0	1

Kuna selliseid raskeid õnnetusi on siiski vähe, siis nende alusel mingit vähegi usaldusväärset hinnangut LTS tõhususele anda oleks keeruline. Samuti ei õnnestu kasutada sellel eesmärgil ka Liikluskindlustusfondi (LKF) andmestikku, sest selles ei sisaldu kaskojuhtumid.

2019. aastal koostas ettevõtte Hendrikson&Ko uuringu „Eesti riigimaanteed võrgu loomaõnnetuste registri täiendamine, liiklusohlike lõikude selgitamine ning kaardirakenduse loomine“. Selles uuringus käsitleti loomaõnnetusi, sealhulgas ka antud teelõigul, lahterdades need klasteritesse, millest ülevaade on esitatud alljärgnevalt:



Joonis 12. Loomaõnnetuste klastrid (periood 2009-2018).

Allikas: <https://hendrikson.ee/maps/Loomaohklikkus/>

1. (Vardja) Klastri tugevus: 0,02
Hukkunud suurulukeid klastris: 3
(sh 1 põtra, 1 metssiga, 1 metskitse)
Klastri pikkus: 161 m
2. Klastri tugevus: 0,38
Hukkunud suurulukeid klastris: 4
(sh 0 põtra, 1 metssiga, 3 metskitse)
Klastri pikkus: 180 m
3. Klastri tugevus: 0,15
Hukkunud suurulukeid klastris: 3
(sh 0 põtra, 2 metssiga, 1 metskitse)
Klastri pikkus: 126 m

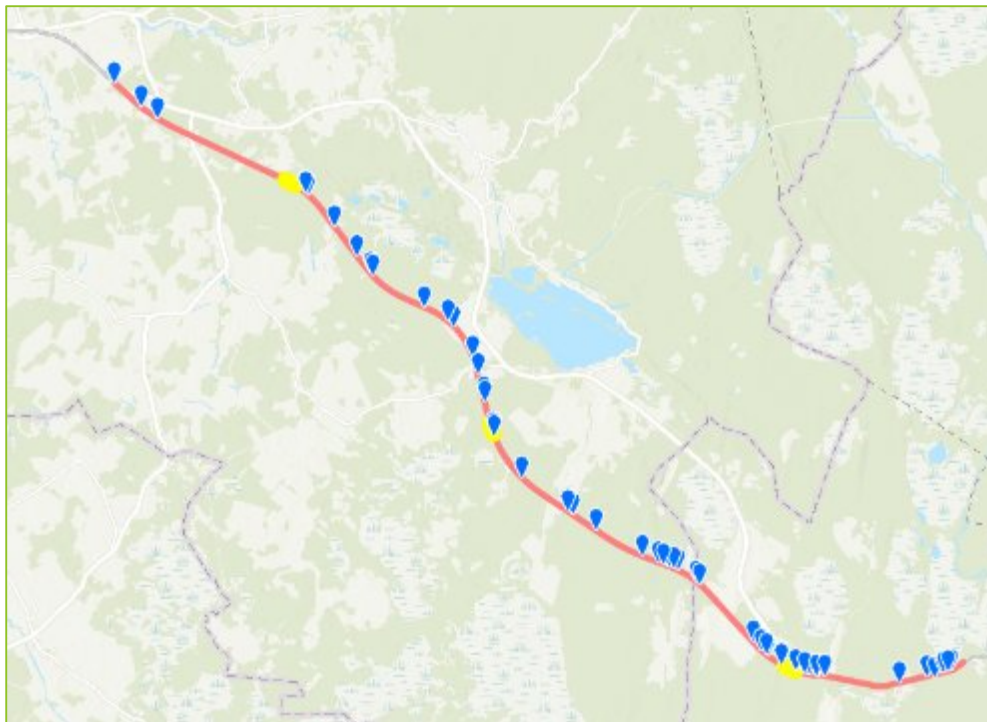
4. (Sae) Klastri tugevus: 0,22
Hukkunud suurulukeid klastris: 6
(sh 2 põtra, 0 metssiga, 4 metskitse)
Klastri pikkus: 359 m
5. Klastri tugevus: 0,23
Hukkunud suurulukeid klastris: 3
(sh 2 põtra, 0 metssiga, 0 metskitse)
Klastri pikkus: 146 m
6. (Silmsi) Klastri tugevus: 0,65
Hukkunud suurulukeid klastris: 14
(sh 6 põtra, 0 metssiga, 6 metskitse)
Klastri pikkus: 723 m
7. (Ardu) Klastri tugevus: 0,66
Hukkunud suurulukeid klastris: 8
(sh 4 põtra, 0 metssiga, 3 metskitse)
Klastri pikkus: 362 m
8. Klastri tugevus: 0,07
Hukkunud suurulukeid klastris: 4
(sh 1 põtra, 0 metssiga, 3 metskitse)
Klastri pikkus: 235 m
9. (Võõbu) Klastri tugevus: 0,39
Hukkunud suurulukeid klastris: 4
(sh 1 põtra, 0 metssiga, 3 metskitse)
Klastri pikkus: 189 m

Klastri nr	Klastri tugevus	Hukkunud suurulukeid, 2009-2018			Klastri pikkus, m
		sh põtru	metssigu	metskitse	
1	0,02	1	1	1	161
2	0,38	0	1	3	180
3	0,15	0	2	1	126
4	0,22	2	0	4	359
5	0,23	2	0	0	146
6	0,65	6	0	6	723
7	0,66	4	0	3	362
8	0,07	1	0	3	235
9	0,39	1	0	3	189
KOKKU		17	4	24	2481

Selle uuringu andmetel oli tuvastatud perioodi 2009-2018 (10 aastat) liiklusõnnetustes kokku 45 suuruluki hukkumine, seega keskmiselt 4,5 suuruluki hukkumist aastas. Nagu ilmneb, erinevad need andmed oluliselt inimkahjuga liiklusõnnetuste andmebaasis registreeritud õnnetuste arvust. See on iseenesest ka arusaadav, sest kõigis õnnetustes ei pruukinud olla inimkannatanuid.

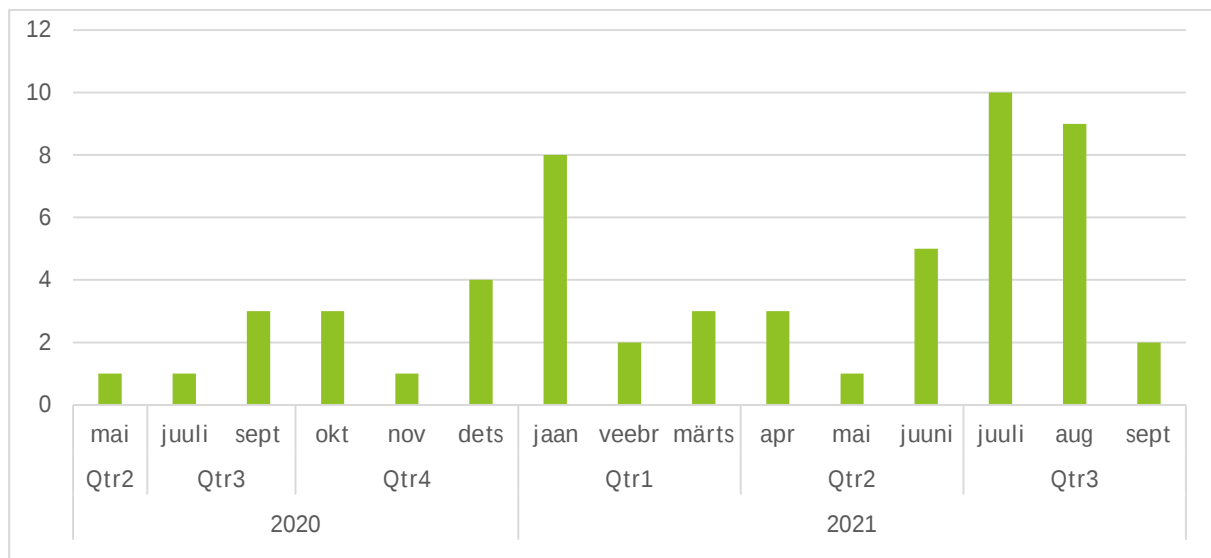
Kolmandaks võimaluseks reaalsete õnnetuste arvu määramiseks oleks analüüsida näiteks WAZE-süsteemis kajastatud õnnetusi.

Selline andmestik saadi WAZE-süsteemist Transpordiameti vahendusel. Põhimaantee nr 2 Kose-Võõbu lõigul oli kokku fikseeritud järgmisi sündmusi, looma osalusel.

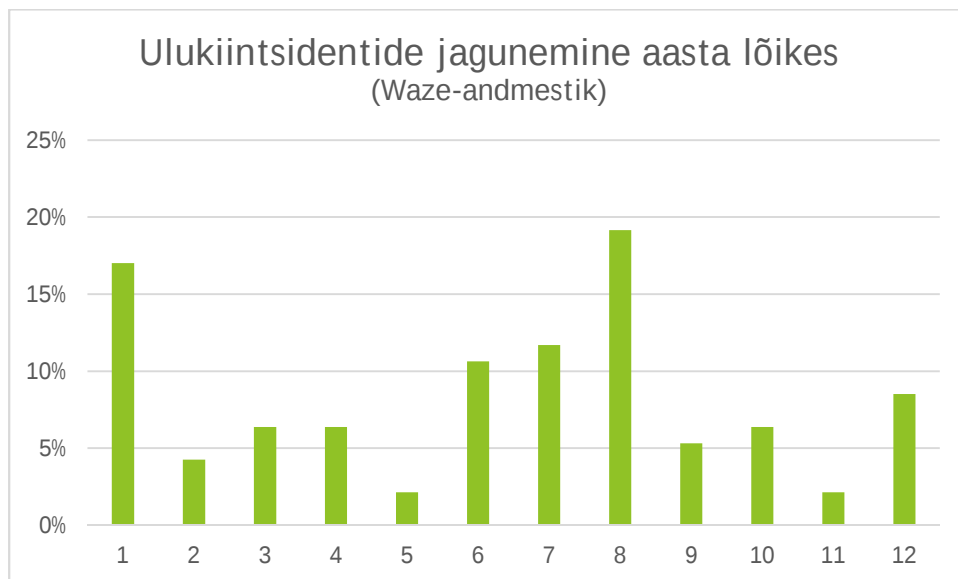


Joonis 13. WAZE-süsteemis registreeritud sündmused.

WAZE-s on ulukite suurus teadmata ning võib olla tegemist ka väikeulukitega ja samuti ei pruugi olla ilmtingimata tegemist ka uluki surmaga.



Joonis 14. Tuvastatud WAZE-sündmusi 2020-2021.



Waze-andmestikul põhinevate ulukiintsidentide jaotus aasta lõikes

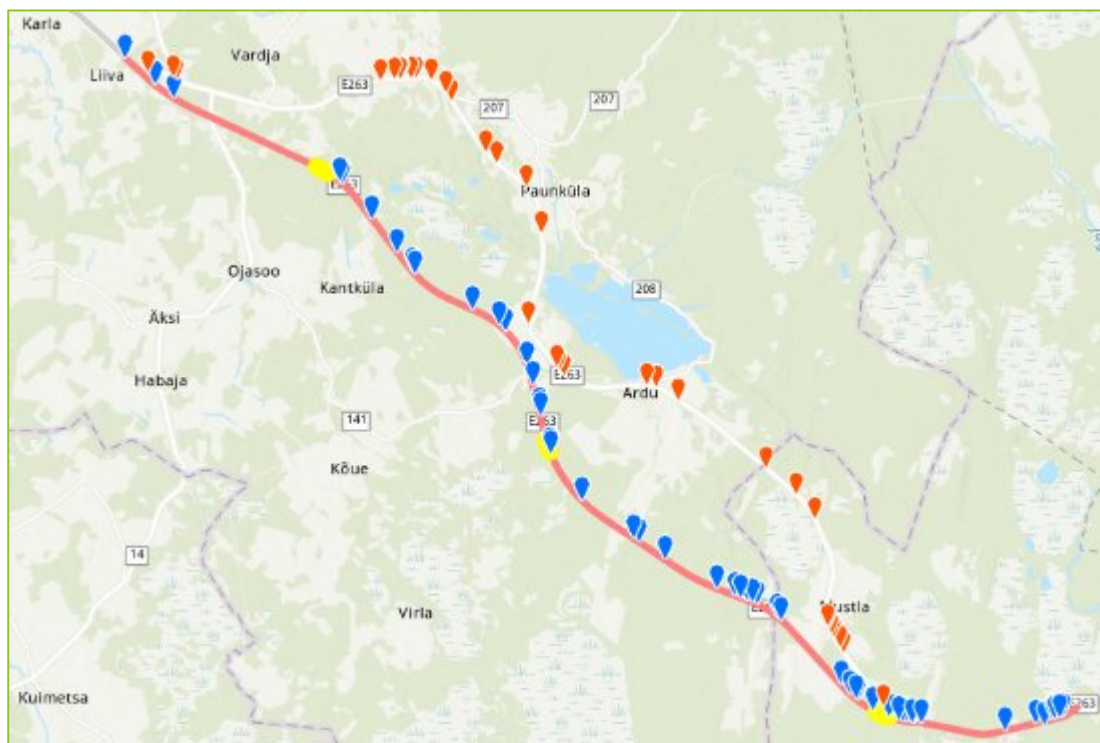
Kuna WAZE-süsteemi sattuvad ka nõ kattuvad kirjed (mitu erinevat liiklejat on registreerinud sama juhtumi), siis selle andmestiku „puhastamiseks“ eemaldati listist kattuvad kirjed, jäeti alles need kus funktsiooni "avg_rel" väärtus oli suurem.

Saadud tulemusi hinnates eristuvad mõned piirkonnad lõigu lõpuosas.

Samas andis andmestik võimaluse analüüsida ka andmeid, kus analoogseid sündmusi oli registreeritud olukorras, kus liiklus toimus nõ vanal teelõigul. Peale andmete puhastamist (jäi alles) ja taandades tulemused ühele kuule, on tulemused järgmised:

Teateid:	Kuus		Kuus
Uuel lõigul:*	6,5	Vanal lõigul**	7,4
Jäi alles:	4,7	Jäi alles:	4,8
*12kuud		**8 kuud	

Seega saab järeldada, et keskmiselt oli fikseeritud nii vanal kui uuel lõigul küllaltki sarnaselt 4,7 ... 4,8 sündmust kuus. Tuleb silmas pidada ka seda, et ilmselgelt ei ole neist absoluutne enamus inimkahjuga sündmused.



Joonis 15. WAZE-süsteemis registreeritud sündmused uuel ja vanal teelõigul peale andmete puhastamist.

Seega, kuna kolm erinevat andmestikku kajastavad erinevaid mastaape (esimesel - inimkahjud, teisel hukkunud suurulukid ja kolmandal sündmused, kus osales loom).

Suures plaanis prognoosides saab seega tuua välja analüüsitava lõigu õnnetuste suurusjärgud:

- 0,3 inimkahjuga liiklusõnnetust aastas;
- 4...5 hukkunud suurulukit aastas;
- 50...60 sündmust ulukitega aastas.

Süsteemi toimimise hinnanguline mõju ohutusele

Süsteemi toimivuse mõju hindamisel liiklusohutusele on käesolevaga lähtutud järgmistest põhimõtetest:

- Aluseks on võetud analüüsitava teelõigul varem registreeritud sündmused, kusjuures eelduseks on see, et loomade teeületuste arv jääb samaks, kuid tänu uuele lahendusele suunatakse neid kontsentreeritult mõnedele radadele, kus siis LTS neid fikseerib ja lülitab sisse hoiatussüsteemi.
- Hoiatussüsteemi sisselülitamisel vähendatakse VMS-liiklusmärkide abil lubatud sõidukiirust ja hoiatatakse juhte võimaliku ohu eest.
- Piirkiiruse vähendamine toob kaasa ka keskmise sõidukiiruse languse ja see omakorda kokkupõrkeriski ja võimaliku õnnetuste tagajärgede languse.

Keskmise kiiruse langus, mis saavutati piirkiiruse hoiatuse sisselülitamisel, oli suvel -17 km/h (nii valge kui pimedal ajal) ja sügisel -12 km/h (samuti nii valge kui pimedal ajal). See

tähendaks valge ajal (piirkiirus 120 km/h) ja pimedal ajal (piirkiirus 110 km/h) keskmise kiiruse langust ja sellest tulenevat liiklusõnnetuste arvu vähenemist järgmisel määral:

Piirkiirus, km/h	Keskmise kiiruse langus	Periood	Liiklusohutuse muutus		
			Hukkunuga LÕ	Vigastusega LÕ	Kerged LÕ
120	-14%	Suvi, valge	-50%	-27%	-20%
120	-10%	Sügis, valge	-40%	-20%	-15%
110	-15%	Suvi, pime	-55%	-30%	-25%
110	-11%	Sügis	-45%	--22%	-17%

Samas on olemas oht, suurel määral väärtuvastuste ja sellest tulenevate väärhoiatuste rakendamine võib kaasa tuua juhtide harjumise sellega, mille tõttu võib saadav efekt osutuda teoreetilisest väiksemaks.

Tänu keskmise kiiruse vähenemisele aitab ulukituvastuse süsteem koos piirkiiruse alandamisega vähendada suurulukiõnnetusi

Piirkiirus, km/h	Keskmise kiiruse langus	Periood	Hukkunuga LÕ	Vigastusega LÕ	Kerged LÕ
Keskmiselt	-12,5%	Aasta lõikes	-47,5%	-25%	-20%

Seega, kui kaaluda liiklusõnnetuste tagajärgede alusel saadud jaotust ja nende liiklusõnnetuste võimalikku sagedust, võime hinnata, et keskmiselt aitab ulukituvastussüsteem, tänu keskmise kiiruse muutusele vähendada liiklusõnnetuste arvu 20,6% võrra.

Kui analüüsida piloteeritava aasta tegelikke loomaõnnetuste hulka, siis peab tõdema, et enamik õnnetustest on ära hoitud loomatarade rajamisega.

3.3. LTS prognoositavate liiklusõnnetuste majanduslik kulu

Ulukite hukkumised Kose-Võõbu lõigul sügis 2020 – sügis 2021 ja maksumus

Uluk	Hulk	Õnnetuste hind eurot	Kokku eurot
Põder	4	30 000	120000
Metssiga	1	10 000	10000
Metskits	6	3 000	18000

Uuritava lõigul paralleellõigul (no vanal lõigul) on registreeritud uluki osalusel toimunud liiklusõnnetusi järgmiselt (2009-2018.a.):

SUURULUKID	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Keskmine
põder	7	9	5	4	6	2	3	1	8	7	5,2
hirv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
metssiga	0	3	1(+kari)	3	6	2	2	1	1	3	2,3
metskits	25	26	12	6	10	7	14	19	25	19	16,3
karu	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
hunt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
ilves	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
loom (suuruluki kat.)	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0,3

Seega on keskmiseks aastaseks kahjuks (arvestades vaid suurulukeid- põder, metssiga ja metskits):

Suurulukid	Keskmine	Kahju aastas, eur
põder	5,2	156 000
metssiga	2,3	23 333
metskits	16,3	48 900
KOKKU	23,8	228 233

Liiklusõnnetuste ühikhinnad:

Näitaja	Liiklusõnnetuste ühikhinnad (2020 eeldus*)	Liiklusõnnetuste ühikhinnad HDM-4 mudelis
Liiklusõnnetuses hukkunu	2 257 537 euro/hukkunu	2 257 537 euro/hukkunu
Liiklusõnnetuses invaliidistunu	793 420 euro/ invaliid	67 735 euro/vigastatu
Liiklusõnnetuses vigastatu	29 541 euro/vigastatu	
Liiklusõnnetuse varakahju	10 901 euro/õnnetus	10 901 euro/õnnetus

Kuna puudub detailne andmestik selle kohta, millised suurulukiga toimunud õnnetused on kerge, millised raskete tagajärgedega, siis on käesolevas töös lähtutud eeldusest, et liiklusõnnetuste jagunemine tagajärgede lõikes on järgmine:

Inimhukkunuga liiklusõnnetusi: 0,5% kõigist liiklusõnnetustest

Inimvigastusega liiklusõnnetusi: 9,5% kõigist liiklusõnnetustest

Kerge (mat.kahjuga) liiklusõnnetus: 90% kõigist liiklusõnnetustest

Kui arvestada nimetatud näitajaid, saame ühe kaalutud liiklusõnnetuse sotsiaal-majanduslikuks maksumuseks (ühikhinnaks) 27 533 eurot. Lisades sellele kahju uluki hukkimisest (13 455 eurot), saame ühe õnnetuse hinnaks ligikaudu 40 000 eurot.

4. LTS-i peakasutaja kasutuskogemuse analüüs

Loomatuvastussüsteemi kasutajakogemuse sisendi saamiseks viidi intervjuud läbi Transpordiameti maanteeliikluse juhtimise üksuse juhataja Siim Vaikmaaga ja analüütiku Hannu Ploompuuga.

Kuidas tekkis tänane süsteem?

Algselt oli lõigule planeeritud 5 ökodukti, kuid juba eelprojektistaadiumis uuriti maantee ehituse rahastamise efektiivsuse huvides võimalust samatasandiliste loomade teeületuskohtade rajamiseks, asendamaks mõnes mõttes paindumatut ökodukti.

Otsiti häid kogemusi maailmast ning kõige suurem sarnasus meie oludega ja võimalike vajadustega leiti Kanadas katsetatava süsteemiga. Arutelu all olid erinevad suurimad lubatavad piirkiirused, mille kohta tegi Transpordiameti liiklusohutuse osakond eraldi analüüsi. Hiljem lisati plaanidesse muutinfoga märkide kasutamine süsteemis.

Kasutatav süsteem ei ole valmistoode, vaid on kohaliku pakkuja tootearendus.

Loomade tuvastamisega alustati juba enne teelõigu avamist, et saada kohalikes oludes kogemusi.

Millised olid ootused LTS toimimisele?

Tehnilistes tingimustes oli nõutud loomatuvastussüsteemilt väga kõrgeid näitajaid:

valealarme maksimaalset üks 24h jooksul,

ebaõnnestunud tuvastusi mitte rohkem kui üks 200 valvealasse sisenenud suuruluki kohta.

Süsteemi tarnija on pidevalt tootnud dokumentatsiooni, õppimine on toimunud nõ igapäevatööga käskäes. Ka arendustöö käib aktiivselt, mis siiani ei ole küll oodatud tulemusteni viinud. Samas ei ole ka kindlust, et mõne suure tarnija nõ valmissüsteem tegelikult ikka oleks vastanud tehnilistes tingimustes nõutule.

Kasutajakogemus – kui palju on registreeritud rikkeid, häireid, valehäired, tuvastamata jätmissi. Kas kontroll LTS üle on mugav, lihtne, ülevaatlik

Põhiline töö on süsteemi korrasoleku jälgimine. Rikke korral tuleb teade meilile, liiklusõnnetused fikseeritakse. Igapäevaselt toimub pisteline kontroll, jälgitakse salvestatud videoklippe, kust saadakse ka info valehäirete kohta. Samuti saab videosalvestuse järgi hinnata alarmi aktiveerituse kestust peale häiresignaali saamist (4 minutit peale looma tuvastusalast lahkumist).

Tehnilisi rikkeid on olnud pigem vähe, ühe korra on olnud toitekaabli purunemine (kopp lõhkus kaevetööde käigus kaabli). Süsteem toimib ligikaudu 6 tundi ka varutoiteallika abil.

Valehäireid on väga palju ja ilmselgelt viib see liiklejate silmis süsteemi usaldusväärsust madalamale, mille tulemust on näha ka kiirusmõõtmiste tulemustest – sõidukijuhid ei vähenda kiirust või teevad seda ebapiisavalt ning keskmised kiirused jäävad oluliselt kõrgemaks, kui liikluskorraldusvahenditega lubatud.

Kas süsteemi hooldusvajadus vastab ootustele?

Tehnilises osas on tegemist garantiiajaga ja süsteemi arendaja tegeleb selle parendustöödega aktiivselt. Reaalset tehnilist hooldusvajadust ei oska tänases etapis veel hinnata.

Alguses oli probleemiks teehooldustööde (niitmine) eraldi tellimise vajadus rutiinse teepeenarde hooldamisega võrreldes. Uutes lepingutes on selle erisusega LTS alal tohib olla maksimaalne haljastuse kõrgus 30 cm) juba arvestatud.

Millist perspektiivi näete LTS rakendamisel Eesti maanteevõrgul?

Kõige suurem probleem on liiklejate käitumine, ühiskonna ootus on ebarealistlik, loodetakse, et tehnika hoiab iseenesest kõik õnnetused ära, enda rolli ei nähta selles protsessis piisavalt.

LTS tundub ökoduktiga võrreldes siiski ebaproportsionaalselt kallis, arvestades ka hoolduskulu ning süsteemi moraalset vananemist ja loomulikult peamine – LTS ei hoia siiski ära kõiki kokkupõrkeid sõidukite ja loomade vahel (mida ökodukt eelduste kohaselt teeb).

Palju on õnnetusi pimedal ajal, kus isegi hoiatusega ei suudeta otsasõitu loomale ära hoida, kuna sõiduteel olev loom lihtsalt ei ole nähtav (mitmed videod õnnetustest kinnitavad), üheks variandiks oleks valgustada teeületuskohad, kuid see tõenäoliselt peletab loomad nendest kohtadest eemale ja LTS ei täida siis enam oma funktsiooni.

LTS rajamist võib kaaluda kohtadesse, kuhu ei saa ehitada ökodukti (nt NATURA alad) või kuhu on pikemas perspektiivis planeeritud ökodukt, kuid LTS aitaks siis selle ajani ohutustaset tõsta.

Oluline oleks LTS-i hinna vähendamine, kaaluda tasuks VMS osa vähendamist, selle osatähtsus on kogu süsteemist praegu väga suur.

Tagada, et reaalne sõidukite liikumiskiirus aktiivse ulukialarmi ajal ei oleks suurem kui 70 km/h, sel juhul peaks olema peaaegu välistatud tänapäevase sõidukiga raskete inimvigastustega liiklusõnnetuse toimumine. Kiirust aitaks kontrolli alla hoida kiiruskaamera integreerimine süsteemi, kuid see omakorda tõstab jälle süsteemi maksumust.

5. Loomatuvastussüsteemiga ülekäikude analüüs loomade seisukohalt

OÜ Rewild: Piret Remm (*PhD*), Jaanus Remm (*PhD*), Kertu Jaik (*MSc*)

5.1. Sissejuhatus

Loomatuvastussüsteeme (LTS) kasutatakse maanteedel selleks, et hoiatada juhte teele lähenevate loomade eest. Neid on paigaldatud nii aedadeta teelõikudele kui ka aiakatkestuste ehk samatasandiliste loomade ülekäikude kohale. LTS-ga ülekäigukohad on loomade jaoks sarnased tee ületamisega mistahes kohal. Järgnevalt analüüsitakse, millistele liikidele samatasandilised ülekäigud sobivad ja milline on selliste ülekäikude tõhusus barjääriefekti leevendamisel. Seejärel analüüsitakse LTS-ga ülekäikude ohutust ehk nende tõhusust ulukiõnnetuste ära hoidmisel. Esitatud on soovitusel samatasandiliste looma-ülekäikude rajamiseks nii, et loomad saaksid üle tee ja kokkupõrkeoht autodega oleks minimaalne.

5.2. Materjal ja meetodika

Analüüsi läbiviimisel kasutati erinevaid kirjandusallikaid. Eelistati eelretsenseeritud teadusartikleid. Parema ülevaate saamiseks, eelkõige rakenduslikes küsimustes, kasutati ka seire- ja uuringuandmeid ning ülikoolide juures kaitstud lõputöid nii Eestist kui ka mujalt.

Käesolevas uuringus analüüsiti loomade teeületusi LTS alade videosalvestiste põhjal ajavahemikust 01.05–14.05.2021. Kokku analüüsiti kolme ülekäigukoha peale kokku 30 ööpäeva jagu loomade tuvastamise salvestisi: LTS 1 – 14 ööpäeva, LTS 2 – 9 ööpäeva, LTS3 – 7 ööpäeva. Videosalvestiste alusel määrati loomade liik ning kirjeldati loomade käitumine ja võimalusel liiklusolud ja -iseloome. Kuna liiklusuuring Kose-Võõbu lõigul teostati 1.07–16.07.2021, siis puuduvad andmed loomade teeületusega samal ajahetkel möödunud sõidukite kohta ja liiklussageduse mõju hinnang loomade teeületusele on kaudne. Lisaks vaadati läbi Transpordiameti välja valitud videod erilisematest sündmustest kogu LTS senisest kasutusperioodist, kuid neid andmeanalüüsis ei kasutatud johtuvalt määratlemata valiku tegemise alustest nende puhul.

Kose-Võõbu LTS andmete analüüsiks ja seoste kirjeldamiseks kasutati üldistatud aditiivseid mudeleid (GAM) tarkvara R paketiga *mgcv*. Sõltuvalt andmete iseloomust kasutati modelleerimisel logaritmilist ja logistilist seosefunktsiooni.

Kose-Võõbu lõigu ulukiõnnetuste analüüsil kasutati vana maantee puhul Keskkonnainfo telefonile 1313 laekunud metsloomaõnnetuste teateid aastatest 2009–2018. Uuel maanteel alates avamisest 14. augustil 2020 kuni 9. novembrini 2021 (kokku ca 15 kuu jooksul) toimunud õnnetuste kohta laekus info Transpordiameti analüütikult Hannu Ploompuult, kes tugines LTS videosalvestistele ning riigiinfo telefoni 1247, häirekeskuse 112 ja Waze rakenduse andmetele.

5.3. Maantee barjääriefekt ja selle leevendamine

Barjääriefekti liigispetsiifilisus

Sõltuvalt tee omadustest ja liiklustihedusest ning liigile omasest liikumisviisist ja käitumisest moodustab tee loomadele nõrgema või tugevama barjääri. Mida laiem on tee ja mida tihedam on liiklus, seda suurem takistus on. Antud uuringu kontekstis räägime Eesti põhimaanteedest, mis on asfaltkattega 1+1, 1+2 või 2+2 liiklusskeemiga (laius 10–27 m arvestamata kogujateid), liiklustihedusega 3 000–20 000 sõidukit ööpäevas ja piirkiirusega 90–120 km/h. Alates 10 000 sõidukist ööpäevas moodustavad teed enamusele liikidest olulise barjääri takistades nende loomupärast liikumist erinevate elupaikade vahel (Seiler ja Helldin 2006).

On liike, kes väldivad teede lähedust ja ka otseselt teepinna kõva katet. On liike, kes füüsiliselt ei suuda suuri teid ületada ja ka neid, kes käitumuslikult hoiavad avatud või taimestikuta aladest eemale. Häirivalt ja eemalepeletavalt mõjuvad autode tekitatud müra ning valgusvihud ja -sähvatused. Samas on liike, keda teeservad või tee ise ligi meelitavad. Barjääriefekt on väga liigispetsiifiline. Loomad võib käitumuslikult jagada nelja rühma (Jacobson jt 2016 põhjal):

- 1) "Mittereageerijad" ei taju lähenevaid sõidukeid ohuna ja ületavad teed igal ajal. Selliste liikide suremus kasvab proportsionaalselt liiklustiheduse kasvuga ja neid ohustab tiheda liikluse korral lokaalne väljasuremine. Siia rühma kuuluvad paljud selgrootud, mõned kahepaiksed, maod ja linnud (nt loorkakk, *Tyto alba*). Ka noorte nahkhiirte puhul on täheldatud, et nad ei hoiu autodest eemale.
- 2) "Peatujad" on loomad, kes ohtu tajudes tarduvad paigale, et kiskja neid ei märkaks. Kui nad teevad seda keset teed, siis suureneb oluliselt nende teel viibimise aeg ja seega ka tõenäosus, et nad auto all hukkuvad. Tiheda liiklusega tee puhul märkavad nad tõenäoliselt ohtu juba enne tee astumist ja hakkavad tee ületamist vältima. Nende puhul tekib oluline barjääriefekt suremuse ja vältimise koosmõjus juba keskmise liiklustiheduse juures. Siia rühma kuulub enamik kahepaiksetest ja siilid (*Erinaceus spp*).
- 3) "Tormajad" on loomad, kes evolutsiooniliselt on kohastunud ohu eest põgenema. Märgates ohtu võivad nad korraks peatuda, et seda täpsemalt hinnata, kuid varem või hiljem pistavad nad jooksu. Seni kuni sõidukite vahed on piisavalt pikad, suudavad selle rühma loomad teid ületada, kuid mõnel tingimusel (eriti suuremate kiiruste juures) ei suuda nad enam kokkupõrkeid vältida ja suremus tõuseb. Väga tiheda liiklusega teid hakkavad ka sellised liigid vältima. Siia rühma kuuluvad sõralised, jänesed, paljud linnud, mõned roomajad ja selgrootutest kiilid.
- 4) "Vältijad" tajuvad sõidukeid või teed ennast ohuna ja väldivad teede lähedust. Tee tekitatud barjääriefekti peamiseks põhjuseks on teest eemale hoidmine. Vahel esineb siiski ka nende liikidega õnnetusi. Siia rühma kuuluvad põder (*Alces alces*), mitmed kiskjad, metsakanalised, nahkhiired ja osa putukaid.

Eesti põhimaanteed samatasandilised ülekäigukohad sobivad peaaegu vaid öise eluviisiga tormajatele, kes füüsiliselt suudavad sellist teed ületada ning vähemal määral ka vältijatele. Päeval on põhimaanteed liiklussagedus nii suur, et tõenäosus edukalt teed ületada on kaduvväike, mistõttu päevase eluviisiga loomadele samatasandilistest ülekäikudest väga kasu ei ole. Suurulukitest kasutavad samatasandilisi ülekäike punahirv (*Cervus elaphus*), metskits (*Capreolus capreolus*), metssiga (*Sus scrofa*), ka põder, karu (*Ursus arctos*) jt. Keskmise kehasuurusega imetajatest kasutavad selliseid ülekäike peamiselt jänesed (*Lepus spp*), rebane (*Vulpes vulpes*), kährrik (*Nyctereutes procyonoides*). Enamikule väiksematele maas liikuvatele loomadele samatasandilised ülekäigud ei sobi, sest nad väldivad suuri lagedaid alasid.

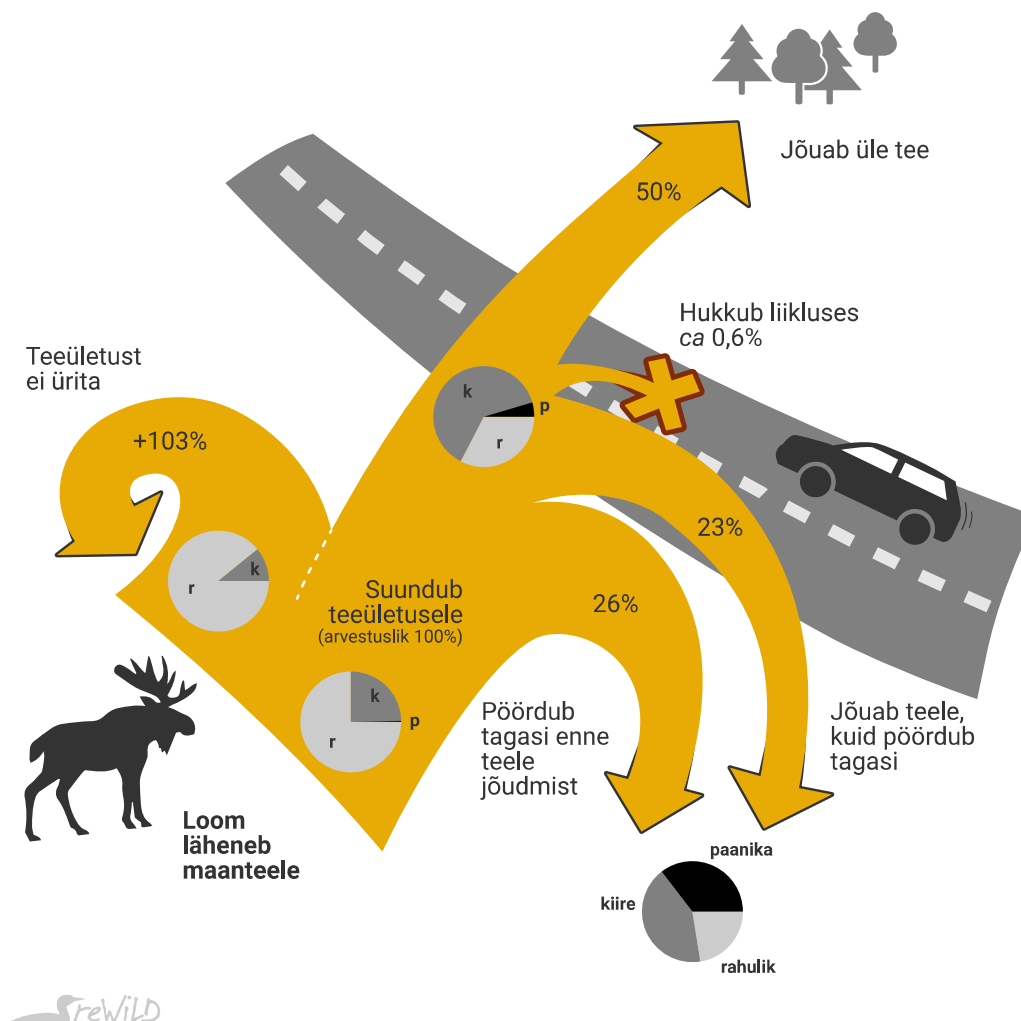
Varasemates uuringutes on analüüsitud põtrade käitumist teeületusel. Põdrad hoiduvad suurtest teedest 50–100 m kaugusele ja enamasti viibivad rohkem kui 500 m kaugusel (Oja jt 2018; Laurian jt 2008; Eldegard jt 2012) ning seetõttu loetakse põtra pigem vältijaks kui tormajaks. Kose-Mäo põtrade liikuvusuuringu raames tuvastati, et kaheaastase uurimisperioodi jooksul ületasid Tallinn-Tartu (siis veel 1+1) maanteed kaelustatud põdrad kokku 78 korda (2–28 korda isendi kohta). Keskmise liiklustiheduse uurimisperioodil oli 8 800–8 900 sõidukit ööpäevas (Oja jt 2018). Analüüsiti põtrade riigiteede ületamist Kose-Mäo lõigu piirkonnas ka üldisemalt ja leiti, et hõreda liiklusega (alla 3 000 sõiduki ööpäevas) teid ületasid põdrad kuni 9 korda harvemini (keskmiselt 3,86 korda harvem), kui võiks juhuslikult eeldada. Tallinn-Tartu maantee ületamist vältisid kaks isendit täielikult ja ülejäänud neli tegid seda 6–10 korda (keskmiselt 7,62) harvemini eeldatud juhujaotusest. Sellest järeldub, et teed piiravad oluliselt põtrade liikumist, isegi madala liiklustiheduse korral. Barjääriefekt suureneb oluliselt liiklustiheduse kasvuga (Holst 2018).

Eestis tehtud uuringu tulemused sarnanevad mujal maailmas läbi viidud uuringutega (Zeller jt 2018; Laurian jt 2008). Ka ilvese telemeetrilise uuringu käigus tuli selgelt välja, et Tallinn-Tartu maantee moodustab ilveste territooriumide piiri ja nad väldivad selle ületamist. Samas kõrvalmaanteed ja raudtee puhul sellist nähtust ei täheldatud (Kont jt 2018).

Barjääriefekti tugevust mõjutavad ka tee omadused. Kui 1+1 põhimaanteed Arizonas, USA-s ületasid punahirved (*Cervus elaphus*) 86% juhtudest, kui nad teele lähenesid, siis pärast tee laiendamist 2+2 teeks, vaid 43% juhtudest. Kui tee piirati aedadega ja rajati loomaläbipääsud, siis vähenes ületuste osakaal 9%-ni (Gagnon *et al* 2010). Eeldatavasti aja jooksul, kui loomad on uute rajatistega harjunud ja teavad juba läbipääsude asukohti, teeületuste arv suureneb. Kuid ilmselt nii tee laiendamine kui ka tarastamine tekitasid punahirvedele barjääri.

LTS-ga ülekäikude tõhusus loomade ülepääsuks

Käesolevas uuringus analüüsiti loomade teeületusi LTS alade videosalvestiste põhjal 2021 mai esimesest poolest. LTS alas tuvastatud loomad eristati käitumise järgi. Rohkem kui pooltel juhtudel ei suundunud tuvastatud loomad teeületusele, st viibisid muul moel tuvastusalal. Enamasti oli tegu toituvate jäneste, metskitsede ja rebastega. Ülejäänud juhtudel lähenesid loomad teele ja neist umbes pooled ületasid tee edukalt ning teine pool pöördus tagasi kas enne teele jõudmist või juba teel olles (Joonis 1). Enamus tagasipöördumistest oli seotud lähenevate sõidukitega. Üldiselt olid loomad teele lähenedes rahulikud ja kui autosid ei olnud, siis ületasid nad teed kas rahulikult kõndides või mõõdukalt kiirustades. Kui üle tee läks emasloom poegadega, siis tihti jäid noored emast maha (ei jõudnud nii kiiresti kõndida). Näiteks oli üks juhus, kus emakaru järel tuli üle tee neli poega. Õnneks autosid sel hetkel ei tulnud. Samas ühe põdravasika jaoks lõppes teeületus fataalselt. Paanikasse sattusid loomad lähenevate sõidukite peale ja enamasti pöördusid nad tagasi metsa, kuid vahel üritasid nad korduvalt teed ületada. Sellega kaasnes ka mitmeid ohtlikke olukordi. Mida rohkem autosid, seda harvem saavad loomad üle tee ja seda rohkem tekib ohtlikke olukordi.



Joonis 16. Suur- ja väikeimetajate käitumine samatasandilisel teeületusel Kose-Võõbu teelõigul kahe nädala jooksul 2021 mai esimeses pooles ($n = 380$). Liikluses hukkunud loomade osakaal on tuletatud teeületusele suundunud suurulukite sagedusest vaatlusperioodil (ca 3,9 looma ööpäevas) ja Kose-Võõbu LTS alades registreeritud suurulukioõnnetuste koguarvust uue tee avatud olemise ca 15 kuu jooksul (14 aug 2020 kuni 9. nov 2021; $n = 10$). Looma liikumiskäitumise tähistus: r – rahulik, k – kiire, p – paanika.

Käesolevas uuringus oli kõiki isendeid (ka neid, kes ei suundunud teeületusele) ja liike arvesse võttes ülekäikude keskmine efektiivsus 25% (Tabel 1). Vaadeldud perioodil tuvastati LTS alas seitse liiki imetajaid: põder, metssiga, metskits, karu, rebane, kährikkoer ja liigini määramata jännes. Lisaks oli veel üks kärplane, kelle liiki ei õnnestunud määrata ja üks võimalik mägravaatlus. Valikvideotel oli esindatud ka ilves. Kõige arvukamalt oli metskitsi, rebaseid ja jäneseid. Põtru registreeriti 16 isendit ja suhteliselt palju oli ka karusid, kokku 10 looma. Põdrad ja karud ületasid teed edukalt keskmisest sagedamini (vastavalt 75% ja 80% tuvastatud loomadest). Kõik tuvastatud karud ja enamus põtradest olid tee lähedusse tulnud selge sihiga tee ületada. Metskitsedel ja jänestel oli edukaid teeületusi vaid 15% juhtudest, kuid paljud loomad üldse ei tahtnudki teed ületada. Siiski oli ka teed ületada soovinutest metskitsedel kõige vähem edukaid üritusi – vaid 27%. Väikekiskjatel oli edukaid

teeületusi 25–56% ja ka nemad viibisid LTS alas sageli eesmärgiga toitu otsida ja mitte teed ületada. Kui nad olid võtnud nõuks üle tee minna, siis vähemalt 80% juhtudest see neil ka õnnestus. Kokkuvõtvalt võib öelda, et liikide käitumine teeületusalas on väga erinev ja samatasandiline ülekäik ei sobi sugugi ühtviisi kõikidele loomadele.

Tabel 1. LTS alas tuvastatud loomade käitumine liikide kaupa. 100%-ks on võetud teeületusele suundunud loomade arv. Ülekäigu tõhusus on arvatud kõikide tuvastatud isendite kohta, et oleks võrreldav teiste uuringutega.

Liik	Tuvastatud isendeid	Ei suundu teeületusele	Pöördub tagasi enne teed	Pöördub tagasi teelt	Jõuab üle tee	Ülekäigu tõhusus
Suurimetajad						
Põder <i>Alces alces</i>	16	1 7%	3 20%	0 0%	12 80%	75%
Metssiga <i>Sus scrofa</i>	1	0 0%	1 100%	0 0%	0 0%	0%
Metskits <i>Capreolus capreolus</i>	169	77 84%	30 33%	35 38%	25 27%	15%
Karu <i>Ursus arctos</i>	10	1 11%	1 11%	0 0%	8 89%	80%
Väikeimetajad						
Hall- või valgejänes <i>Lepus sp</i>	69	46 200%	8 35%	3 13%	10 44%	15%
Rebane <i>Vulpes vulpes</i>	74	49 196%	1 4%	4 16%	21 84%	28%
Kährrikoer <i>Nyctereutes procyonoides</i>	22	7 47%	2 13%	1 7%	12 80%	56%
Määramata väikekiskja	16	11 220%	1 20%	0 0%	4 80%	25%
Kokku	380	193 103%	48 26%	43 24%	92 50%	24%

USA-s on analüüsitud meie punahirvele sarnase kanada hirve ehk vapiti (*Cervus canadensis*) teeületuskäitumist Kose-Võõbu lõiguga sarnases situatsioonis – LTS-ga samatasandiline ülekäik, keskmiselt 8 900 sõidukit ööpäevas. Erinevalt Kose-Võõbu ülekäikudest oli antud kohas tee kitsam (1+1) ja aiaga oli piiratud ainult üks pool, LTS asus aia lõpus. Seal ületas teele lähenenud kanada hirvedest teed 20–40% (aja jooksul muutusid julgemaks), samas valgesaba-pampahirved (*Odocoileus virginianus couesi*) ületasid teed vaid 8% juhtudest (Gagnon jt 2019). Seega on ülekäigu tõhusus väga liigispetsiifiline.

Sama- ja eritasandiliste ulukiläbipääsude võrdlus barjääriefekti leevendamisel

Kui võrrelda samatasandiliste ülekäikude ökoloogilist tõhusust eritasandiliste loomaläbipääsudega, siis vaieldamatult sobivad eritasandilised läbipääsud (ökoduktid, suured

tunnelid, truubid jm) rohkematele liikidele. Kõige parema ökoloogilise sidususe tagavad ökoduktid ja kõrged viaduktid, kus saab rajada/säilitada erinevatele liikidele sobiva haljastuse. Kuid ka väiksemad altpääsud ja tunnelid on paljudele liikidele olulised barjääri-efekti leevendamisel. Läbipääsude tõhusus sõltub väga palju asukohast ja ümbritsevast maastikust. Näiteks suurkiskjad väldivad asulate lähedust ja metskitsed liiguvad sagedamini mosaiikses maastikus. Ka läbipääsu suurus, disain ja maastikukujundus on olulised. Uruloomad eelistavad kitsamaid läbipääse, mis pakuvad varjevõimalusi, aga sõralised eelistavad avaraid hea nähtavusega läbipääse. Liiklusest tulenevad häiringud mõjutavad läbipääsude kasutust negatiivselt, eriti kui puuduvad müra ja valgust tõkestavad aiad ja haljastus. Loomad vajavad läbipääsudega harjumiseks aega ja nende tõhusus kasvab aja jooksul märkimisväärselt (Beckmann jt 2010).

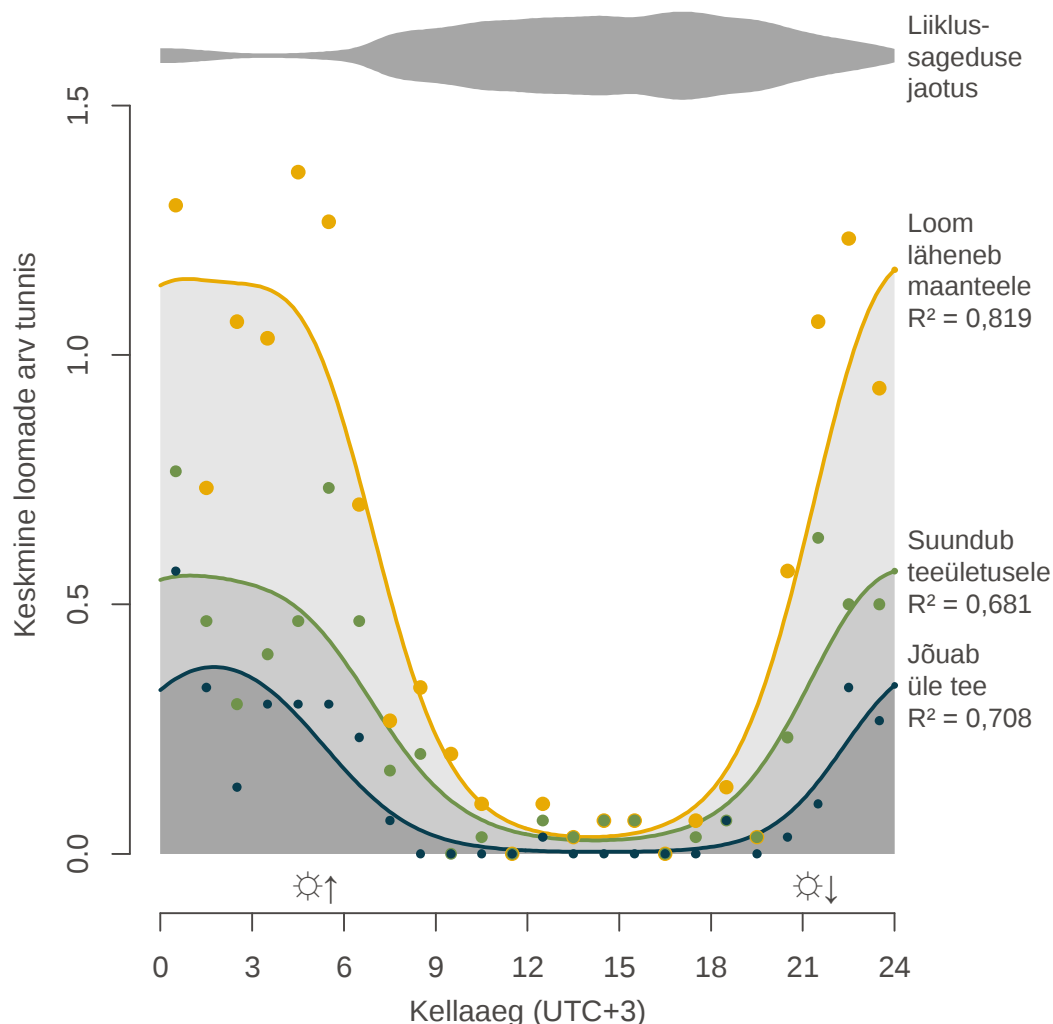
Kui loomal on valida, siis eelistavad nad eritasandilisi läbipääse ja pigem väldivad asfaldil kõndimist ja otseseid kokkupuuteid sõidukitega. USA-s tehtud uuringus leiti, et maanteed ületanud hirvedest 82% kasutasid altpääse ja vaid 18% läksid üle tee aiaotste juurest (Huijser jt 2016). Rootsis analüüsiti 18 erineva ülalt- ja altpääsu tõhusust ja leiti, et kõigist eritasandilise läbipääsude ümbruses (ca 40 m ulatuses) esinenud loomadest rohkem kui pooled kasutasid läbipääse maantee või raudtee ületamiseks. Sõraliste puhul oli läbipääsude efektiivsus vahemikus 50–85% (Håkansson 2020). Seega kirjandusele tuginedes on eritasandilised läbipääsud sõraliste puhul vähemalt kaks korda tõhusamad ökoloogilise sidususe tagamisel kui samatasandilised ülekäigud. Kõiki liike arvestades on eritasandilised risted veel oluliselt tõhusamad, sest on palju neid liike, kes suuri maanteid üldse ei ületa, kuid tänu ökoduktile või tunnelile saavad teisele poole teed.

Käesolevas uuringus ületasid metskitsed 2021. aasta mais samatasandilisel ülepääsul teed kolme ülekäigu peale kokku kolmekümne ööpäeva jooksul 25 korda, mis teeb keskmiselt 0,83 korda ööpäevas. Tallinn-Tartu mnt Kuusiku (Kolu) ökodukti seire kohaselt ületas seda vaatlusperioodil 2015 ja 2016 maikuu jooksul keskmiselt 0,63 metskitse ööpäevas (Valdmann ja Kruuse 2016). Kui korrigeerida sagedust proportsionaalselt metskitsede arvukuse kasvuga (jäljeindeksi alusel on olnud arvukuse kasv 2,1 korda; Veeroja jt 2021), siis 2021 mais ületas Kolu ökodukti eeldatavasti 1,32 metskitse ööpäevas (reaalseid vaatlusi kahjuks ei ole). Seega on ökodukt barjääri efekti leevendamisel 2+2 põhimaanteel metskitsedele sobivam lahendus kui samatasandiline ülekäik. Tuleb arvestada, et loomaläbipääsude kasutus sõltub paljudest erinevatest faktoritest ning usaldusväärse andmestiku saamiseks tuleks analüüsida mitmeid sama tüüpi läbipääse pikema aja jooksul. Kose-Võõbu lõigu LTS-ga ülekäikude võrdluseks sobiks hästi Rõõsa ja Nõmmeri ökoduktide seireandmed, sest need on valminud samal ajal ja asuvad samas maastikus. Ökoduktide tõhususe arvutamiseks on vaja süsteemselt kogutud andmeid nii ökoduktidelt kui ka nende lähiümbrusest.

Ulukite teeületuse ööpäevane jaotus

Metsoomade esinemine tee läheduses ja teede ületamine on otseselt seotud liikidele tüüpilise aktiivsusega. Teeületused toimuvad valdavalt hämarikus, öösel ja koidu ajal (Diaz-Varela jt 2011; Thurfjell jt 2015; Kämmerle jt 2017). Kose-Mäo põtrade telemeetriauuringu kohaselt toimus 83% teeületustest vahemikus 21:00–8:00 ja vaid 17% vahemikus 8:00–21:00 (Oja jt 2018). Põdrad lähenevad teedele öösiti, kui sõidukeid liigub harva, ja kohtades, kus on tee ääres rohkem puid, st varjet ja toitu. Põdralehmad on teede suhtes tundlikumad kui pullid. Valdav osa põtrade teeületustest toimub öisel ajal, kui liiklus on hõre.

Käesolevas uuringus vastas loomade esinemissagedus LTS alades ööpäeva lõikes varasemates uuringutes toodule – valdavalt liiguvad loomad tee läheduses päikeseloojangust päikesetõusuni (Joonis 17). Suurem tõenäosus loomade ja sõidukite kokkusattumiseks on õhtuti.

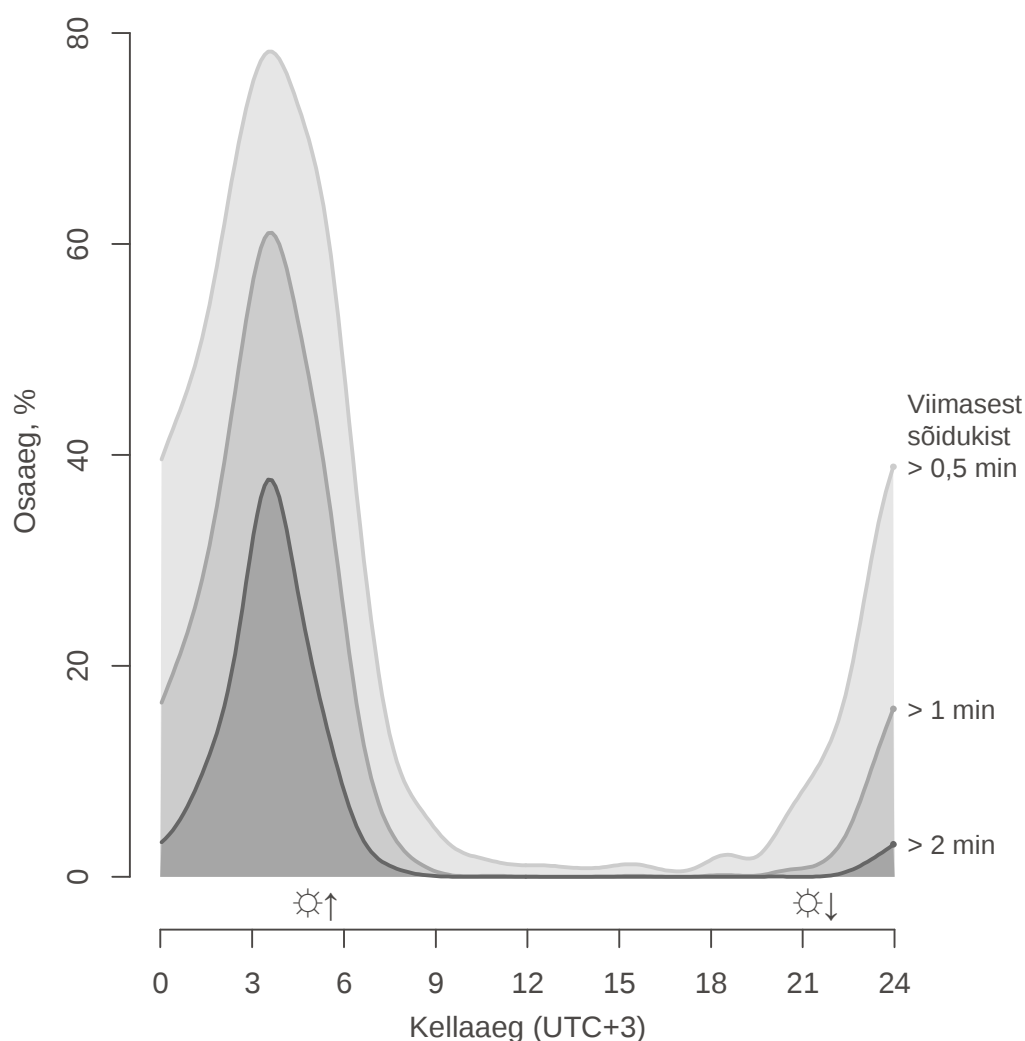


Joonis 17. Ulukite registreerimise ja teeületuste kellaajaline jaotus LTS aladel 1.–14 mail 2021. Kellaaja ja loomade sageduse vaheline seos on kirjeldatud üldistatud aditiivsete mudelite (GAM) meetodil; korrelatsioonikordaja (R^2) näitab kui suure osa loomade arvu varieeruvusest saab seletada kellaajaga; rõhtteljel märgitud päikese tõusu ja loojangu aeg vastab 7. maile.

Eritasandilistest ülekäikudest on metsloomade teeületuste jaotust ajas analüüsitud Kuusiku (Kolu) ökodukti seire käigus (Valdmann ja Kruuse 2016). Sagedamini registreeritud ulukite liigid olid rebane, metskits ja metssiga. Rebased ületavad ökodukti enamasti pimedas, kuid kevad-suvisel perioodil esines ka päevaseid ületusi. Metskitsed liikusid ökoduktil enamasti videviku ja koidu ajal ning kevadel esines ka päevaseid ületusi. Metssead eelistavad ilmselt ringi liikuda pimedas, mistõttu maist juulini, kui on valged ööd, neid ökoduktil eriti ei kohatud. Seega ei erine eritasandiliste ülekäikude kasutus ööpäeva lõikes oluliselt samatasandilistest ülekäikudest ja sõltub eelkõige liikidele iseloomulikust käitumismustrist.

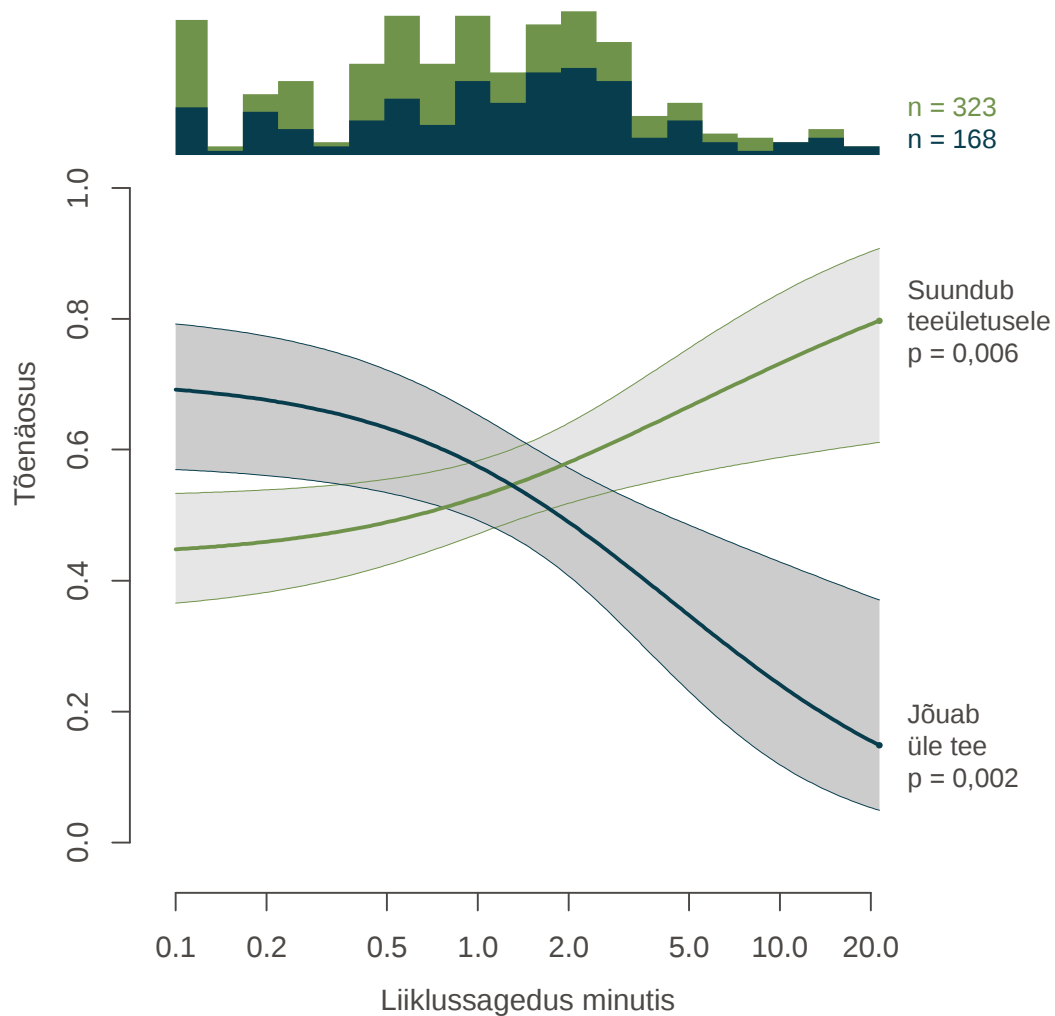
Loomade teeületuste seos liiklussagedusega

Varasemates uuringutes on näidatud, et liiklussagedusel ja ulukite teeületustel on selge negatiivne seos. USA-s tehtud uuringule tuginedes ületavad hirved edukalt teed, kui on alla 1 sõiduki minutis (Gagnon jt 2019). Käesolevas uuringus oli metsloomadele teeületuseks sobivaid piisavalt pikki vahesid autode vahel Kose-Võõbu liiklusuuringu kohaselt kell 19-9. Päeval (9-19) oli harva üle 30 sekundilisi intervalle ja üle minuti polnud üldse (joonis 18). Sobivate võimaluste puudumist päeval ajal näitavad vaid väga üksikud edukad loomade teeületused (Joonis 17). Prognooside kohaselt liiklussagedus Tallinn-Tartu maanteel kasvab ja seega aja jooksul jääb loomadele teeületusvõimalusi järjest vähemaks.



Joonis 18. Sõidukite vaheliste pikkade ajavahede jaotus ööpäeva lõikes Kose-Võõbu lõigul juulis 2021. Püstteljel märgitud osaaeg näitab pikkade sõidukivahede osakaalu kogu ajast; rõhtteljel märgitud päikese tõusu ja loojangu aeg vastab 7. maile, mille eel ja järel kahe nädala kohta teostati LTS ulukivaatlused.

LTS videote analüüsist ilmnes, et enamasti lähenesid loomad teele ja ületasid seda siis, kui liiklus oli hõre. Üllatuslikult suureneb liikluse tihenemisega teeületusele suundunud isendite osakaal (Joonis 19). See on ilmselt tingitud eelkõige sellest, et need loomad, kes teed ületada ei soovi, hoiavad autodest eemale ja jõuavad LTS tuvastusalale vaid öösel, kui liiklushäiring on väike. Liiklussageduse kasvuga väheneb selgelt tõenäosus teeületuskatse edukalt lõpetada.



Joonis 19. Tuvastatud loomade teeületusele suundumise (roheline) ja teeületusele suundunud loomade üle tee jõudmise (sinine) tõenäosus LTS alades erineva liiklussageduse korral. Liiklussageduse ja teeületuse edukuse vaheline seos on kirjeldatud üldistatud aditiivsete mudelite (GAM) meetodil; p -väärtus näitab, kui suur on tõenäosus, et kirjeldatud seos on tingitud juhusest (usaldusväärsuse künnis: $p < 0,050$); pane tähele, et rõhtteljel on logaritmskaala (sõidukit minutis). Liiklussagedused on määratud vastavalt LTS videotest tuvastatud sõidukite arvule.

5.4. Ulukiõnnetused ja nende ennetamine

Loomaõnnetuste riskitegurid

Maanteede tarastamise ja loomaläbipääsude üheks oluliseks eesmärgiks on vähendada loomaõnnetuste arvu. Ulukiõnnetuste hulka mõjutavad kõige rohkem loomade arvukus ja suurem liikuvus teatud perioodidel.

Enamus õnnetusi registreeritakse põhimaanteedel, kuid liiklussagedus ei ole õnnetuste hulgaga lineaarselt seotud. Kõige ohtlikumad on keskmise liikluskoormusega teed (3 000–8 000 sõidukit ööpäevas). Kui on üle 10 000 sõiduki ööpäevas, siis loomad osaliselt väldivad teid, kuid sellest hoolimata toimub ka seal õnnetusi, sest autode esinemise sagedus on sedavõrd suur. Kui loom on otsustanud teed ületada, siis suurendavad hukkumisohtu veel sõidukite suurem kiirus, tee laius ja takistused (nt keskpiire, äärekivi), mis takistavad loomal vabalt üle tee minna või teelt lahkuda. Lisaks on oluline looma liikumiskiirus, ehk aeg, mis tal kulub tee ületamiseks. Mida pikem on aeg, kui loom teel viibib, seda suurem on hukkumise tõenäosus. Näiteks liiklussagedusel alla 4 000 sõiduki ööpäevas hukkub tõenäoliselt enamus teed ületavatest kahepaiksetest, samas jänestega juhtub õnnetusi harva. Sõiduki kiirust on oluline vähendada selleks, et nii loom kui ka sõidukijuht jõuaks reageerida ja õnnetust vältida (Seiler ja Helldin 2006).

Ulukiõnnetused maanteedel toimuvad siis kui loomad liiguvad aktiivsemalt (päikeseloojangu ja -tõusu ajal) ja pigem pimedas, kui nähtavus on halb. Metskitsedega toimub märkimisväärne hulk õnnetusi ka valgel ajal, kuigi tippajad on koidu ja hämariku ajal. Sügisel ja kevadel langeb õhtune videviku-aeg kokku õhtuse liiklussageduse tipptunniga, mis suurendab õnnetuste riski. Ka Tallinn-Tartu maantee uue Kose-Võõbu lõigu õnnetused on kõik toimunud pimedas või videvikus. Seega tuleb pimedal ajal arvestada oluliselt suurema ulukiõnnetuste ohuga. Ka aasta-ajalised erinevused tulevad ulukiõnnetuste puhul selgelt välja. Põtradega toimub rohkem õnnetusi mais, kui noorloomad iseseisvat elu alustavad ning sügisel, kui on jooksuaeg ja algab jahihooaeg. Metssigadega seotud õnnetusi on rohkem sügisel, kui neil on jooksuaeg ja samuti algab jaht. Metssigade ja karude teeületused ja õnnetused on sageli seotud küpsete viljapõldudega, kus nad söömas käivad. Suve lõpul hukkub maanteedel massiliselt noori rebaseid ja kährikuid, kui nad iseseisvat elu alustavad. (Kušta jt 2017; Thurfjell jt 2015; Diaz-Varela jt 2011).

Karjaliste loomade (nt metssiga) põgenemiskäitumine on selline, et kõik järgivad juhtlooma. Kui juhtloom paanikas üle tee tormab, siis autoga kokku põrkavad tihti just talle järgnenud karjaliikmed. Seejuures on loomade käitumine väga sarnane inimestele. Õnnetustesse satuvad sagedamini kogenematud noorloomad, kes ei oska veel ohte hinnata. Suurel kiirusel lähenevale sõidukile reageerivad loomad sageli liiga hilja, sest looduses ei esine nii kiiresti liikuvaid ohte (Lima jt 2015).

LTS tõhusus ulukiõnnetuste vähendamisel

Kuna LTS-e kasutatakse samatasandilistel loomadele mõeldud ülekäikudel, siis ei ole täielikult välistatud sõidukite ja loomade kokkupõrked. Kokkupõrke vältimiseks peab hoiatus looma esinemisest teel jõudma õigeaegselt sõidukijuhini ning sõidukijuht peab suutma reageerida ja vajadusel pidurdada.

Erinevaid LTS lahendusi on katsetatud mitmel pool maailmas. Kirjanduses on tihti esitatud väide, et LTS vähendab ulukiõnnetusi 33–97% (nt Huijser jt 2017), kuid tänaseni on avaldatud vaid üks pikaajaline uuring, mis näitab, et LTS kasutamine vähendab oluliselt

ulukiõnnetuste hulka. Nimetatud algne uuring pärineb Šveitsist ja käsitleb Calstrom infrapunaanduritel põhinevat LTS-i, mille õnnetuste vältimise tõhususeks saadi keskmiselt 82% (Mosler-Berger ja Romer 2003). Saksakeelset algallikat ei õnnestunud internetist leida, kuid firma kodulehelt (calstrom.ch) ja mujalt leitud info põhjal võib järeldada, et katsetused viidi läbi 1+1 maanteedel, kus metsloomade tuvastamise korral piirati kiirust 40 km-ni/h. LTS-id paigaldati tarastamata teelõikudele, kus oli varasematel aastatel toimunud 0,75-3,25 õnnetust aastas metskitsede ja punahirvedega (teelõikude pikkusi ei ole kahjuks teada). Pärast LTS paigaldamist registreeriti õnnetused 5-10 aasta jooksul ning siis toimus nendel lõikudel 0-1,2 õnnetust aastas. Seega sõltuvalt asukohast oli tõhusus 49-100% (Beckmann jt 2010).

97% tõhusus loomaõnnetuste ennetamisel saavutati USA-s Arizonas pikemal põhimaantee lõigul, mis rekonstrueerimise käigus laiendati, tarastati, rajati mitu suurt altpääsu ning ühte lõigu otsa lisati LTS, et hoiatada juhte ümber aia otste teele jooksvate loomade eest (Gagnon jt 2010). Antud juhul saavutati oluline positiivne efekt siiski eelkõige tänu aedadele ja eritasandilistele läbipääsudele, mitte LTS-le.

Hollandis on ka LTS-i katsetatud ning esialgsetel tulemustel (kolme aasta jooksul) toimus testlõigul 93% vähem metskitseõnnetusi kui varasematel aastatel (De Vries 2015). Tegu on suhteliselt lühikese aiakatkestusega ja looma tuvastamisel piiratakse kiirust 50 km-ni/h.

Enamus uuringutes, kus oli LTS-e analüüsitud, loomaõnnetuste vähendamise analüüsini ei jõutud, sest erinevatel tehnilistel põhjustel süsteem lihtsalt ei toiminud või oli uuringuperiood liialt lühike. Mõned näited. Montanas, Yellowstone'i rahvuspargis katsetati LTS süsteemi. Ulukiõnnetused vähenesid 58-67%, aga vaatlusperiood oli ainult 1 aasta pärast süsteemi paigaldamist, mistõttu statistilisi järeldusi ei saa teha. 2008 sügisel võeti LTS maha, sest hoolduskulud olid liiga suured ja mitmed inimesed pidasid LTS seadmeid rahvusparki esteetiliselt sobimatuks (Huijser jt 2009). Floridas katsetati infrapunakiirega LTS-i. 2 km pikkusel testlõigul hukkus kahe aasta jooksul 2 pantrit, 14 alligaatorit, 1 valgesaba-pampahirv ja 1 saarmas. Seega õnnetuste vältimine ei õnnestunud. Üldiselt süsteem ei toiminud – sihtliike tuvastas LTS 10-66% juhtudest ehk valenegatiivseid oli kuni 90% (st tuvastamata jäänud loomad), samuti oli valepositiivseid signaale üle 90% (Smith jt 2016). LTS-i puhul loetakse usaldusväärseks, kui tuvastamata jäänud loomi (valenegatiivsed) on alla 9% ja valehäireid (valepositiivsed) alla 10%.

Kokkuvõtvalt näitab senine maailma kogemus LTS-dega, et hästi toimivaid lahendusi esineb pigem harva kui üldse ja edulood ulukiõnnetuste ennetamisel on olnud juhtudel, kus suurim lubatud kiirus metslooma esinemise korral on 50 km/h.

Samatasandiliste ülekäikude puhul (sh LTS-ga) on ohtu suurendavaks faktoriks loomade võimalus ümber aia otste piki teed minna. Ühe USA uuringu käigus registreeriti aiaotste juures 357 hirve, kellest 46% sisenes teekoridori (29% läks üle tee ja 17% sõi tee ääres aia sees rohtu, üle tee ei läinud) (Huijser jt 2017). Vältimaks loomade sisenemist teekoridori tuleb aiaotsad lahendada selliselt, et loomad ei liiguks piki teed, vaid risti üle tee. Käesoleva uuringu käigus läbi vaadatud videotel ühtki aedade vahele liikumise juhtu ei olnud, kuid oli üks video metskitsest, kes oli juba aedade vahel ja jooksis paanikas edasi-tagasi (mh pörkepiirete alt). Lisaks on teada üks juhuvaatlus aedade vahele liikunud põdrast.

Eritasandiliste ristete tõhusus ulukiõnnetuste ennetamisel

Eritasandilised risted (ökoduktid, viaduktid, tunnelid) välistavad teoreetiliselt loomade ja sõidukite kokkupuuted. Praktikas satuvad loomad sõiduteele ka eritasandiliste loomaläbipääsude korral, sest alati ei ole aiad korrektselt paigaldatud või hooldatud, loomad satuvad teekoridori kõrvalteede mahasõitude kaudu jne. Kui põdral on motivatsiooni, siis on võimeline ta tavapärasest ulukiaiaist üle hüppama (enamasti õnneks põder ei taha maanteele minna).

Ulukiõnnetuste vältimisel on eritasandiliste loomaläbipääsude tõhususeks koos aedadega saadud 80–100%. Eritasandilised läbipääsud ilma aedadeta või lühikeste aedadega ei vähenda oluliselt ulukiõnnetusi, õnnetuste arv võib isegi kasvada. Õnnetuste ära hoidmiseks tuleb tarastada pikemad lõigud ja sealjuures arvestada sihtliikide liikumisulatusete ja maastiku eripäradega (Rytwinski jt 2016; Huijser jt 2017; Gagnon jt 2019). Kui aedadega lõik on üle 5 km, siis väheneb ulukiõnnetuste arv keskmiselt 84% (51–97%). Lühemate aedade korral (alla 5 km) võib tekkida probleeme aiaotstega, tõhusus ulukiõnnetuste ennetamisel on olnud 0–94% (Huijser jt 2016).

Kokkuvõtvalt võib öelda, et nii samatasandiliste kui ka eritasandiliste lahenduste korral on saadud suurulukiõnnetuste vähendamise osas väga erinevaid tulemusi. Olemuslikult on eritasandiliste läbipääsude riskid väiksemad ja sobiva planeeringu ja teostuse korral peaks ulukiõnnetuste hulk olema nullilähedane. Samatasandiliste ülekäikude puhul jääb alati võimalus ulukite ja sõidukite kokkupõrgeteks.

Loomaõnnetused Kose-Võõbu teelõigul

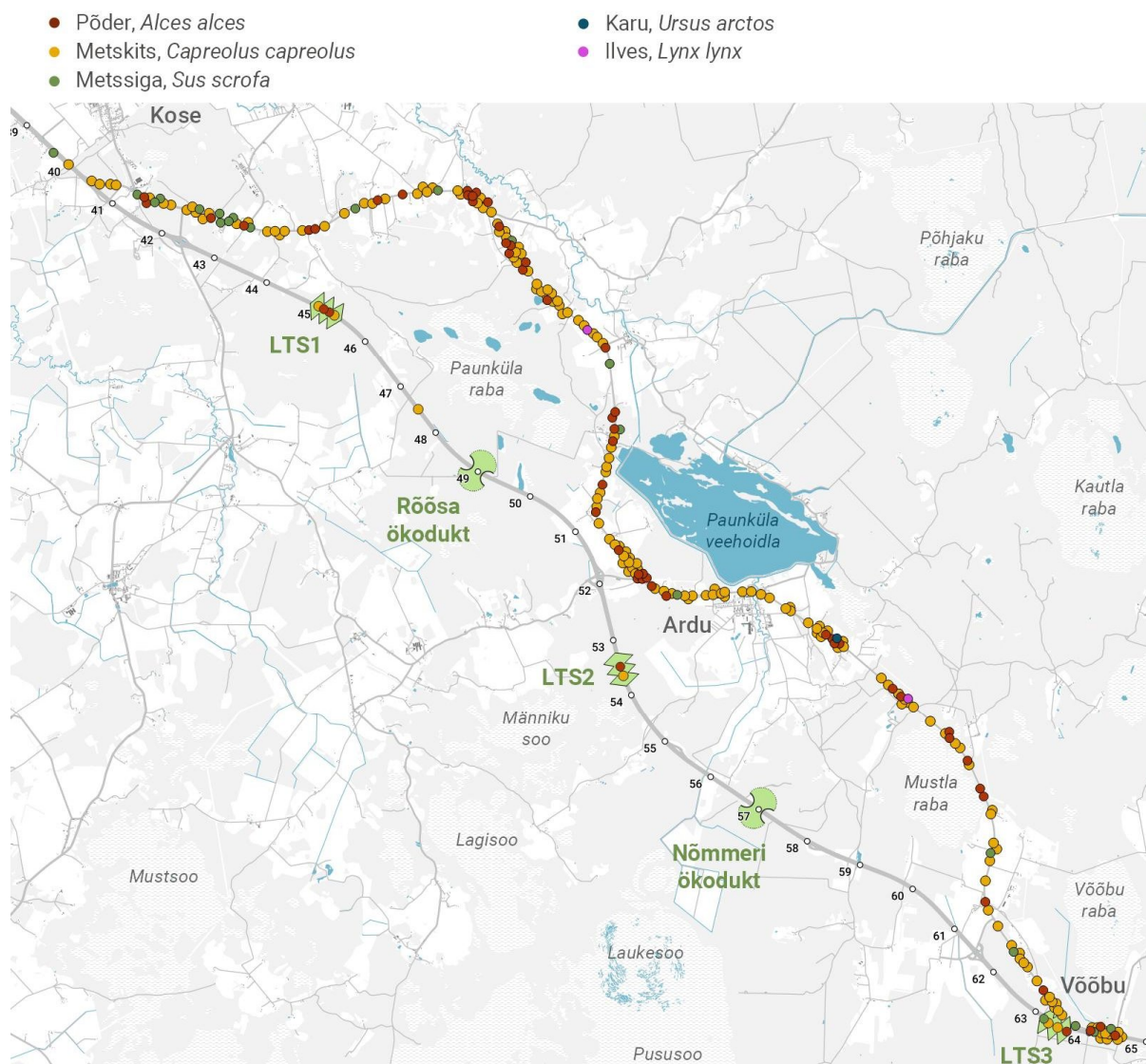
Kose-Võõbu uuel teelõigul on võimalik ulukitaristu õnnetuste ennetamise tõhusust analüüsida ainult kogu lõigu ulatuses, mitte loomaläbipääsude (sh kolm LTS-i ja kaks ökodukti) kaupa. Tee on viidud täiesti uuele trassile ja alati ei ole õnnetuse asukoht piisava täpsusega määratud.

Enne 2+2 tee valmimist aastatel 2009–2018 registreeriti Keskkonnainfo telefonil Kose-Võõbu teelõigul 12–40 (keskmiselt 24,4) suurulukiõnnetust aastas. Arvestades, et ulukiseire aruande kohaselt on teedel hukkunud suurulukeid registreeritud samast ajaperioodist ligi veerandi võrra rohkem (Veeroja jt 2021), siis võib eeldada, et Kose-Võõbu lõigul hukkus keskmiselt 32 suurulukit aastas (sh 5 põtra). Õnnetusi on toimunud peaaegu kogu lõigu ulatuses, kuid on ka mõned selged koondumiskohad (*hotspot*). Näiteks Kose-Ristist Vardja teeni, Sae küla piirkonnas, Paunküla veehoidla otsa juures, Silmsi küla vahel, Nõmmeri küla vahel ja lõigu lõpus Võõbul. Õnnetuste koondumiskohad on aja jooksul vähemalt osaliselt nihkunud. Kahtlemata on ka selliseid kohti, mis maastiku eripärast johtuvalt on püsivalt ohtlikud, kuid on ka ajutise iseloomuga koondumiskohti. Näiteks armastavad metssead ja karud sügiseti maisipõldudel end nuumamas käia ja maisipõldude asukoht on igal aastal erinev.

Loomaõnnetuste arv on otseselt seotud asurkonna arvukusega – mida rohkem loomi, seda suurem on õnnetuste toimumise tõenäosus. Jahilukite seireandmete põhjal (Veeroja jt 2021) on põtrade arvukus püsinud suhteliselt stabiilsena ja viimastel aastatel veidi vähenenud. Metskitsede arvukus seevastu on oluliselt suurem võrreldes vahepealsete aastatega. Metssigade arvukus on sigade aafrika katku tõttu oluliselt väiksem ja seda hoitakse suhteliselt madalal tasemel. Siiski on arvukus mõnevõrra taastunud viimastel aastatel.

Uus Kose-Võõbu 2+2 teelõik on olnud kasutuses umbes aasta (alates 14. augustist 2020, arvestuslikult ca 14 kuud). Selle aja jooksul on registreeritud kokku 11 suurulukiõnnetust, sh 6 metskitsega, 4 põdraga ja 1 metsseaga ja neist 10 on toimunud LTS alades. Lisaks on LTS videotel näha vähemalt kaks juhtumit, kus õnnetusest jäi väga vähe puudu. Tulemus on loogiline, sest ülejäänud lõik on aedadega piiratud ja loomadel on maanteele võimalik pääseda üldjuhul ainult LTS alades. Üks metskitseõnnetus on toimunud väljaspool LTS ala 48. kilomeetril Rõõsa lähisel. On võimalik, et loom sisenes teealale ristuva Hiimäe-Punamäe tee väravate kaudu. Üldiselt on loomatarad õnnetuste ära hoidmisel hästi toimunud.

Ulukiõnnetuste arv Kose-Võõbu teelõigul on võrreldes vana maanteeaega vähenenud ca 61–71%. Kui ei oleks rakendatud samatasandilisi loomaülekäike, siis eeldatavasti oleks olnud vaid 1 õnnetus, ehk kogu lahenduse tõhusus oleks tõusnud ca 97%-ni. Kuid ka olemasoleval kujul on loomaõnnetuste arv võrreldes varasemate aastatega vähenenud. Siiski tuleb arvestada, et põhjalikke järeldusi saab teha alles pikemaajalise seire tulemusena.



Joonis 20. Kose-Võõbu teelõigul toimunud loomaõnnetused vanal teel 2009–2018 Keskkonnainfo telefoni 1313 andmebaasi põhjal ja uuel teel 2020/2021 toimunud õnnetused (Hannu Ploompuu, Transpordiamet). Aluskaart Maa-amet 2021.

Tabel 2. Kose-Võõbu uuel teelõigul registreeritud suurulukiõnnetused alates augustist 2020 (Hannu Ploompuu, Transpordiamet).

Liik	Asukoht	Aeg
Metskits (<i>Capreolus capreolus</i>)	LTS3	27.09.2020 09:10
Metskits (<i>Capreolus capreolus</i>)	LTS2	15.10.2020 18:53
Metskits (<i>Capreolus capreolus</i>)	LTS1	29.11.2020 00:43
Põder (<i>Alces alces</i>)	LTS1	14.01.2021 19:22
Põder (<i>Alces alces</i>)	LTS1	11.04.2021 21:31
Metskits (<i>Capreolus capreolus</i>)	km 48	13.04.2021 08:59
Metskits (<i>Capreolus capreolus</i>)	LTS3	03.05.2021 09:48
Põder (<i>Alces alces</i>)	LTS3	10.07.2021 00:16
Põder (<i>Alces alces</i>)	LTS2	30.08.2021 21:08
Metskits (<i>Capreolus capreolus</i>)	LTS1	04.10.2021 06:59
Metssiga (<i>Sus scrofa</i>)	LTS3	05.11.2021 04:10

Kose-Võõbu ulukilahenduse rahaline võit

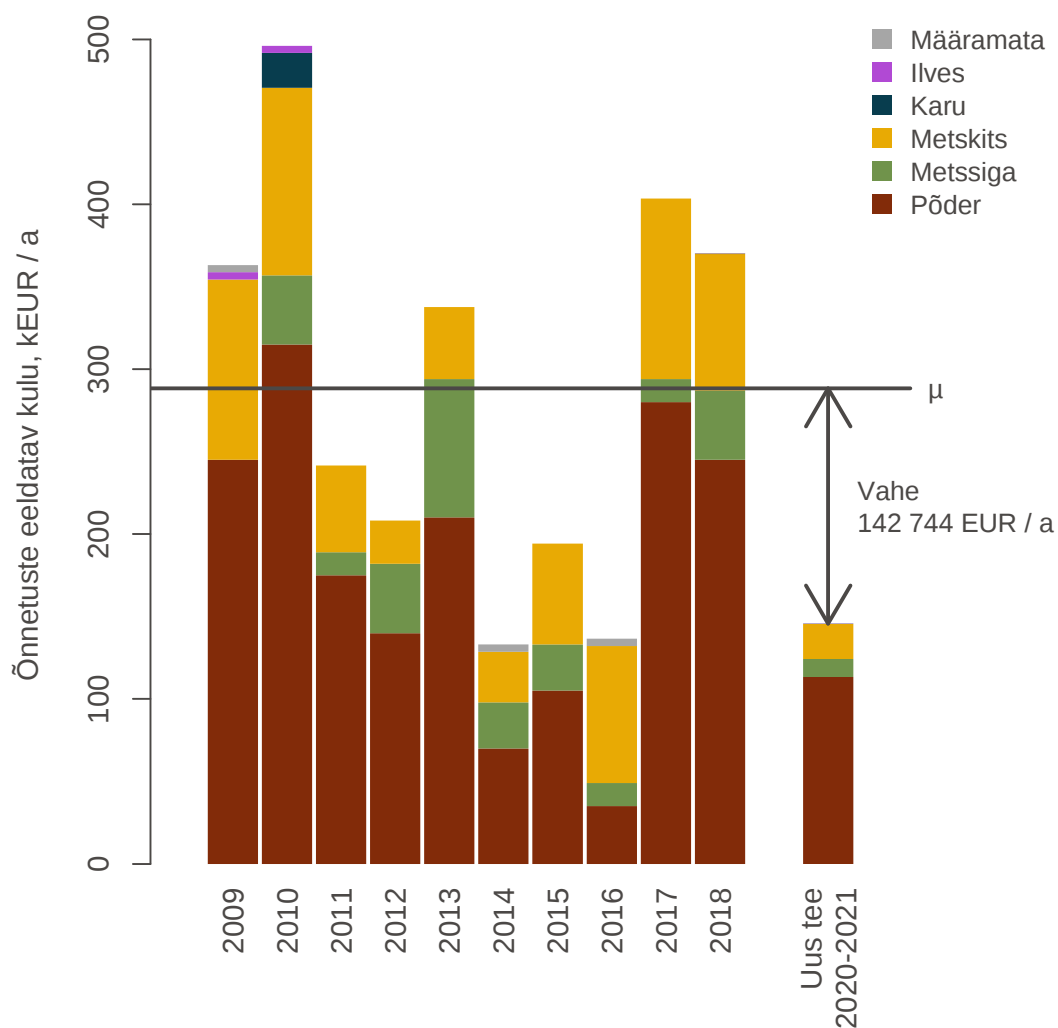
2017. aastal koostatud ulukiohtlike teelõikude analüüsis (Remm jt 2017) arvestati suurulukiõnnetustel liikide kaupa välja ohukaalud, mis vastavad eeldatavale õnnetuse kulukusele. Mida suurema kehamassiga loom, seda suuremad on kahjud.

○ Põder (<i>Alces alces</i>)	kehamass: 275–600 kg	ohukaal: 1,000
○ Hirv (<i>Cervus elaphus</i>)	kehamass: 150–350 kg	ohukaal: 0,600
○ Karu (<i>Ursus arctos</i>)	kehamass: 150–200 kg	ohukaal: 0,600
○ Metssiga (<i>Sus scrofa</i>)	kehamass: 125–130 kg	ohukaal: 0,400
○ Hunt (<i>Canis lupus</i>)	kehamass: 18–60 kg	ohukaal: 0,190
○ Metskits (<i>Capreolus capreolus</i>)	kehamass: 16–35 kg	ohukaal: 0,125
○ Ilves (<i>Lynx lynx</i>)	kehamass: 18–25 kg	ohukaal: 0,125

Kui arvestada põdraõnnetuse ekvivalentidega, siis Kose-Võõbu teelõigul on registreeritud 2009–2018 keskmiselt 0,3 põdraõnnetust km kohta aastas (kogu lõigul keskmiselt 8,24 põdraõnnetust aastas). Väga ohtlikeks peetakse teelõike, kus toimub üle ühe põdraõnnetuse kilomeetri kohta aastas. Põdraõnnetuse arvestuslik hind on 35 000 eurot (Remm jt 2017).

Arvestuslik ulukiõnnetuste kulu vanal teelõigul on olnud keskmiselt 288 400 eurot aastas (vahemik 133 000–496 125; Joonis 21). Uuel teel on õnnetuste arvestuslik kulu olnud 145 656

eurot aastas. Kui arvutada uue tee ja ulukimeetmete rajamisega välditud loomaõnnetustest saadud kasu kogu Kose-Võõbu lõigul, siis hinnanguline sääst ära hoitud ulukiõnnetuste arvelt analüüsitud aasta jooksul on 142 744 eurot. LTS osakaalu selles ei ole võimalik eraldi arvutada, kuid toimunud õnnetused on tugevalt seotud just samatasandiliste ülekäikudega (10 õnnetust 11-st on toimunud LTS alades või nende lähistel).



Joonis 21. Suurulukiõnnetuste arvestuslik kulu Kose-Võõbu lõigul Remm jt 2017 põhjal. Horisontaaljoonega (μ) on märgitud 2009-2018 aastate keskmine kulu. Uue tee puhul on arvestusperioodiks ca 15 kuud (tee avamine, 14. aug 2020 kuni 9. nov 2021).

6. Rajatud ökoduktide ja kolme LTS-i põhjal nende rajamis- ja hoolduskulud

6.1. Rajamismaksumus

Vastavalt Transpordiametilt saadud andmetele on ühe 2+2 ristlõikega maantee lõigule rajatud ökodukti rajamise maksumus 1 500 000 eurot, millele lisandub käibemaks.

Rajatud loomatu vastussüsteemi maksumus on 274 000 eurot, millele lisandub käibemaks.

6.2 Hooldekulud

Lisaks rajamiskuludele on LTS süsteemil veel hooldekulud, mis jagunevad taristu hooldekuludeks ja seadmete ja tarkvara hooldekuludeks.

Taristu hooldus

Tuvastusalade niitmine rohttaimede kasvuperioodil on vajalik radarite korrektse töö tagamiseks. Niidualal olevate rohulatvade kõrgus ei tohi ületada 30 cm. Niidetakse kas vajaduse tekkimisel või tihemini, kui see on ette nähtu maanteeosade korralise niitmise graafikus.

Haljastusega seotud hooldekulud on 2000 eurot aastas.

Peale haljastuse vajavad hooldust ja kontrolli ka radaripostid ning seadmekapid, mille hoolduskuluks on aastas 1000 eurot.

Seadmete ja tarkvara hooldus

Üldjuhul paigaldatud seadmed peale puhastamise muud füüsilist hooldust ei vaja. Infotehnoloogiaseadmete – ruuterite, kontrollerite ja switchide püsi- ja tarkvarauuendused kuuluvad hooldustööde hulka.

Uuenduste olemasolu kontrollitakse vähemalt kord kvartalis ja samasuguse regulaarsusega toimub ka nende paigaldamine. Radarite ja termokaamerate püsivarauuendusi tuleb eelnevalt ka nõ välitestida, et veenduda korrektse toimises.

Seadmete ja tarkvara aastaseks hoolduskuluks on 4000 eurot.

Nii ökodukti kui ka LTS ühetasandilise teeületuse korral tulevad arvesse ka veel loomatarade hooldamisega seotud kulud, kuid nende maksumust ei olnud uuringu koostajatele teada. Võib küll arvestada, et need kulud on mõlemal teeületusel sarnased.

7. Välja pakutav optimaalse ulukite perimeetervälve tehnilise lahendus

Olemasoleva LTS süsteemi parendamise ettepanekud on toodud peatükis 2.1.

7.1 LTS areng

Intelligentsete transpordisüsteemide ja sensortehnoloogia jätkuvast kiirest arengust tulenevalt on viimasel paarikümnel aastal üle maailma arendatud ja välja ehitatud erinevatel anduritel põhinevaid loomatuvasustussüsteeme (LTS). Sellise süsteemi eesmärk on õigeaegselt ja veatult avastada sõidutee ääres paiknev loom ja teavitada sõidukijuhti kiiruse langetamise vajadusest vältides niimoodi kokkupõrkeid loomade ja sõidukite vahel ning kindlustades loomadele ohutu teeületuse võimaluse samatasandilistel ülekäikudel. Kõik sellised paigaldised, mille kohta on leitav kirjandus avalikest allikatest, on pigem arendusprojektid, kus läbi praktiliste katsetuste uuritakse selliste süsteemide efektiivsust ja töökindlust ning mõju juhtidele ning loomadele.

Kahjuks tuleb kohe käesoleva peatüki alguses tunnistada, et ühtegi tõelist edulugu ehk piisavalt hästi toimivat süsteemi, mida tänaseks suurtes mahtudes turustatakse, ei ole veel lõpuni välja arendatud (või on neid hoolikalt avalikkuse eest varjatud), kuigi paljulubavaid katsetusi on tehtud mitmeid. Enamus aruandeid tunnistavad LTS-d teatud veaprotsendi piires toimivateks, kui on õigesti paigaldatud ja hooldatud, aga siiski kinnitavad edasise arendustöö ja uurimise vajadust. Tehnoloogilise poole pealt on põhiliseks probleemiks süsteemide suur valehäirete hulk. Parimatel süsteemidel jääb valehäirete osakaal alla 3% kõigist tuvastusjuhtumitest, aga on ka süsteeme, kus valehäireid on kuni 25% kõigist tuvastusjuhtumitest.

Vähem on enamasti negatiivseid valehäireid ehk olukordi, kus loom on jäänud tuvastamata. Rohkem on nn valepositiivseid valehäireid, kus tuvastatakse olematu metsloom ja antakse sõidukijuhile asjatult märku kiiruse alandamiseks. Selline proportsioon on mõistetav. Süsteemid häälestatakse tundlikuks selleks, et igal juhul vältida mitte avastamisest tekkida võivaid kokkupõrkeid sõidukite ja loomade vahel. Samas suur valepositiivsete häirete hulk selgelt devalveerib süsteemi usaldusväärsust. Juhid mõne aja möödudes ei langeta enam sõidukiirust, kuna nad ei ole looma praktiliselt kordagi näinud.

Mõneti sarnane oli olukord Eesti raudtee ülesõitudel paarkümmend aastat tagasi. Tõenäoliselt elektroonika rikete tõttu oli tihtipeale olukord, kus punane tuli vilkus pikka aega ja asjata. Juhtidel oli arusaam, et „jälle“ on see ülesõit rikkis ja hakati punase vilkuva tulega raudteed ületama. Sealjuures tegelikkuses mõnikord oligi rikkis, aga teinekord ei olnud. Arusaadavalt tekitasid sellised süsteemid ridamisi ohtlikke olukordi. Tänaseks on süsteeme tõenäoliselt piisavalt hästi uuendatud. Vähemalt Tallinnas liigeldes ei ole ammu punase tulega ületajaid täheldanud. Samuti on ilmselt kokku lepitud, milline on lubatav maksimaalne aeg, millal saabub rong (ja sõidukijuht ka näeb mööduvat rongi). Rongi visuaalne nägemine teeb raudtee ülesõidu süsteemide rakendamise lihtsaks. Erinevalt loomadest on rongi tulek ja kiirus ette ennustavad. Samuti on rong, kui tõestusmaterjal ootamise vajadusest, mõne hetke pärast silme ees. Loomade käitumine on aga pigem etteaimamatu.

Mida siis sellises olukorras teha, kui olemasolev LTS-d võiks toimida paremini ja maailmas väga hästi toimivat ja turustatavat süsteemi veel ei ole?

Saaks liikuda kolmes suunas:

- Selgitada peensusteni välja olemasoleva LTS valehäirete põhjused ja uurida, kas ja millise meetodikaga on võimalik valehäirete hulka soovitud tasemele lähemale viia,
- Rakendada olemasoleva LTS-i koosseisu teisi andureid, mis vähendavad valehäireid
- Proovida ehitada süsteemi välja mõne teise tehnoloogiaga, millel juba teadaolevalt on paremad näitajad.

7.2 Teised tehnoloogiad LTS-i väljaehitamiseks

LTS-i planeerimisel välistati järgmised tehnoloogiad (väljavõtte hanke nõuetest):

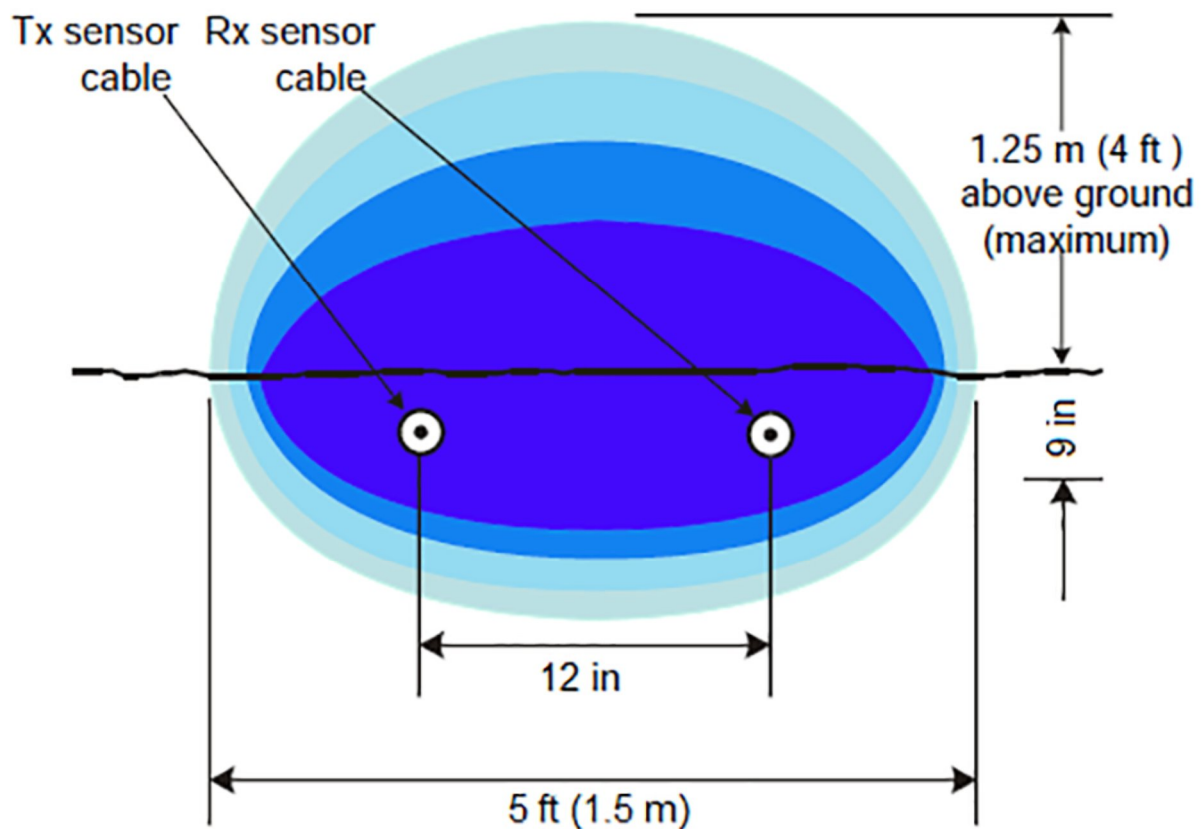
Tarnitavad tuvastuslahendused ei tohi kasutada saatja-vastuvõtja tüüpi katkestatud kiire (breakbeam) tehnoloogiat, mikrolaine (microwave) liikumise andureid, infrapuna (infrared) liikumise andureid ja uluki jalgade survele reageerivale geomatile (geomat) põhinevaid liikumise andureid.

Hankijal oli tõenäoliselt välja selgitatud, et selliste tehnoloogiatega ei ole võimalik saavutada hankes püstitatud eesmärgi. Avalikult leitatavates uuringutes ei ole nende tehnoloogiate rakendamise kohta uut ja lubavat infot saadaval. Seetõttu käesoleva uuringu koostajad neil lahendustel ei peatu.

Pinnases asuva kaabliga loomatuvasustussüsteem

Pinnases asuva kaabliga loomatuvasustussüsteem (Buried cable animal detection system (BCADS)) on üks sellistest süsteemidest, mida on viimastel aegadel piloteeritud ja tulemused on olnud head. Uuringutulemused näitavad, et BCADS suudab peaaegu 99% usaldusväärsusega tuvastada suuremaid loomi, nagu hirved ja mõnikord väiksemaid loomi.

Tegemist on nn joontuvasustussüsteemiga, kus kaks kaablit on paigaldatud ca 20-25 cm sügavusele pinnasesse teineteisest ca 30 cm kaugusele. Liikuv objekt tuvastatakse, kui ta satub nende kaablite magnetvälja, mis on orienteeruvalt 1,5 m lai ja 1,25 m kõrge.



Selline süsteem ei anna tuule ja vihma puhul valehäired. Süsteem töötab ka ~60 cm paksuse lumekihi all.

Peamised valenegatiivsete häirete põhjused uuringute põhjal on:

- Looma vähene mass, alla 14 kg,
- Kui kiiruse seadistus ei ole häälestatud väga aeglase või kiiresti liikuvate loomade jaoks.

Peamine valepositiivsete tuvastuste põhjus on tugevast vihmast üle kaabli voolav tulvavesi juhul, kui sellise vee tekkimine on võimalik. Seda tuleb siis paigaldamisel välistada.

Süsteemi peamine miinus on see, et tegemist ei ole ala katva tuvastussüsteemiga (*area detection system*), vaid joontuvastussüsteemiga. Pilootprojektides on kaablid paigaldatud ca 5 m kaugusele tee servast. See tähendab, et loomad avastatakse üsna viimasel hetkel ja maantee lähedal. Kui tegemist on aeglaselt liikuvate loomadega, siis on see ehk piisav. Kiiresti liikuvate loomade jaoks jääb see distants liiga lühikeseks, et õigeaegselt juhte hoiatada.

Variant on paigaldada kaablid teest kaugemale, et viia avastamisaeg varasemaks. Sellisel juhul saame küll avastamise varasemaks, kuid hiljem ei ole teada, kui kaua viibib loom alal ja kui kaua tuleks hoida sõidukite lubatud piirkiirust all.

Järgmise variandina võib paigaldada mitu paralleelset kaablit. Sellise lahenduse miinus on, et aeglaselt liikuvate loomade puhul hoiatus juhtidele kord süttib ja siis kustub, kuigi loomad on pidevalt alal.

Ühe variandina võiks kaaluda pinnases asuva kaabliga loomatuvastussüsteemi kombineerimist ala katva tuvastussüsteemiga (näiteks radariga) selliselt, et loom tuvastatakse alasse sisenemisel ja radari tuvastust hakatakse arvestama alles peale kaablisüsteemi aktiveerumist. Sõidukijuhtidele kuvatakse sellisel juhul hoiatus (või piirkiiruse langus), kui mõlemad süsteemid on looma tuvastanud. Kuna kaabliga loomatuvastussüsteemi valenegatiivsete tuvastuse arv on väike, siis ei suurene kogu süsteemi summaarne mitte avastatud loomade hulk märkimisväärselt. Selline lahendus tõstab kogu süsteemi esialgset väljaehitamise maksumust, aga võib ära tasuda arvestades hilisemaid valehäirete vähendamise arenduskulusid.

Ühe sellise 300 m pikkuse pinnases asuva kaabliga loomatuvastussüsteemi maksumus moodustab orienteeruvalt 50'000 – 70'000 eurot.

Tegemist on suhteliselt uue tootega loomatuvastuses ja enne suurema projekti planeerimist oleks mõistlik lahendust piloteerida.

8. Optimaalne tehniline lahendus LTS-i teedehituslikus mõttes

8.1. Loomatuvastusala

Loomatuvastusala peab olema tasane ning hooldatud. Loomatuvastusalal ei tohi olla kraave (joonis 1, skeem 5), vajadusel tuleb tuvastusala drenida. Dreenide samm on hinnanguliselt 25 meetrit. Rohu pikkus võib olla kuni 20 cm. Metsa joon võib olla teega paralleelne või kaarjas, kus kaare keskkoh on teeületuskoha keskel. Kaarja metsajoonega lahenduse juures on tõenäosus, et loom ületab teed teeületuskoha keskel suurem – nii-öelda kõige lühem tee metsast-metsa on just selles kohas.

Loomatuvastusala pikkus joonis 1 skeemidel 1-7 on 200 meetrit ja laius 40 meetrit. Lisas joonisel 3 toodud näites on loomatuvastusala 30 meetrit lai, kuid see eeldab loomatuvastussüsteemilt kiiret identifitseerimist ja reageerimist.

Tee mulde nõlvus peaks olema väike, 1:10 või laugem (Lisa joonis 2).

8.2. Teega külgnev ala

Loomatuvastusalal ei tohi olla kraave – see tähendab, et küvett (kraav) tuleb loomatuvastusala ulatuses:

- viia truupi (joonis 1 skeem 6 ja 7 tee alumine pool);
- projekteerida küvett (kraav) ümber loomatuvastusala (Lisa joonis 1 skeem 6 ja 7 tee ülemine pool).

Juhul, kui metsaga külgnevas servas on kraav sügav (üle 0,75m), tuleb ette näha kolm ligikaudu 20 meetri pikkust truupi loomade jaoks (skeem 6 ülemine tee pool). Sama kehtib juhul, kui kraav on pidevalt veega täidetud. Vett täis kraav võib olla takistuseks väiksematele ulukitele (rebane, kährik). Metsaga külgnevas lõigus peaks kraavi nõlvus olema väike, soovitatavalt 1:3-1:4.



Joonis 24 Kraav enne sõiduteele jõudmist varjab looma sõidukijuhi vaateväljast

2+1 sõidurajaga tee

2+1 sõidurajaga tee puhul peab loomade teeületuskoht olema üleminekulõigul ehk kohas, kus on 1+1 sõidurada (Lisa joonis 1, skeem 1). Tee 2+1 sõidurajaga lõikudel ei ole tagatud sõidukite liiklusohutus, kuna keskpäärdesse tuleb loomade ületuskoha pikkune katkestus. Seda võib ekslikult hinnata kahe pärisuunalise sõiduraja alguseks ning sattuda vastassuunavööndisse.

2+2 sõidurajaga tee

Neljarajalise sõidutee puhul on võimalik kasutada erinevaid variante:

- loomade teeületuskoht ilma ristlõike muutuseta (Lisa joonis 1, skeemid 5, 6 ja 7);
- vähendada ristlõike laiust sujuvalt teatud miinimumini (joonis 1, skeem 2), vähenevad nii sõiduraja laius (3,75 → 3,50 meetrit), eraldusriba laius (6,0 → 3,0 meetrit) ja kindlustatud peenra laius (3,0 → 2,0 meetrit);
- koondada vasak sõidurada ning kasutada 1+1 sõidurajaga loomade teeületuskohta (Lisa joonis 1, skeem 3), mis on klassikaline sõiduraja koondumise skeem;
- koondada parem sõidurada ning kasutada 1+1 sõidurajaga loomade teeületuskohta (Lisa joonis 1, skeem 4). See ei ole klassikaline sõiduraja koondumise skeem, kuna raskeliiklus peab esimeselt sõidurajalt ümber reastuma (ja peale loomade ületuskohta jälle tagasi).

8.3. Liikluskorraldus

Loomatuvastussüsteemi, st. VMS liiklusmärkidele lisaks peaks olema loomade teeületuse alal keelatud peatumine ja parkimine. See ei ole oluline loomade endi ega inimeste „metsapeatuse“ mõistes, kuid vähendab valehäireid (loomatuvastussüsteemi jaoks on tuvastusalal liikuv inimene samamoodi loom). Kokku on vajalik paigaldada 4 liiklusmärki koos mõjuala tahvliga.

Lisaks on sõiduradade koondumise puhul vajalikud vastavad liiklusmärgid koos dubleerimisega mõlemale poole ja eelneva lõigu suure projektkiiruse tõttu ka eelhoiatusena. Kokku läheks vaja 8+4 liiklusmärki (8 enne loomatuvastuskohta - sõidurajad koonduvad, 4 peale loomatuvastuskohta - kaks pärisuunalist sõidurada).

Kui loomatuvastussüsteem asub VMS märkidega kaetud teelõigul (nt Tallinn-Tartu-Luhamaa uus lõik Kose-Võõbu), siis siduda LTS ka teiste lõigul asetsevate muutinfoga liiklusmärkidega. Kui LTS annab häiresignaali, siis tuleb ka eespool asuvat (kuni 2 km) kiiruspiirangut vähendada.



Joonis 25 LTS häire on aktiveerunud, kuid eelmises VMS ristlõikes on endiselt suurim lubatud kiirus 120 km/h. Soovitus on ka eelnevad VMS-d integreerida LTS süsteemiga toimima.

Teetööde täiendavad hinnad

Käesolevas punktis on toodud hindade erinevus (hinnalisa) loomade teeületuskoha rajamise puhul vs. tavaline teelõik ilma teeületuskohata. Kasutatud on ainult tee-ehituse tööde hindasid, mis kajastavad loomatuvastuse ala (plats koos drenide ja kraavi/truubi) ehitust. Eeldatud on, et tee mulde kõrgus on 2 meetrit ning mulde nõlvus on ühtlase kaldega kuni loomatuvastusala metsapoolse ääreni.

	Pikisuunalise truubiga (skeem 6 alumine pool)	Ümber ala kulgeva madala kraaviga (skeem 7)	Ümber ala kulgeva sügava kraaviga (skeem 6 ülemine pool)
2022. aasta ühikhind ilma km- ta	155000 €	75000 €	85000 €

Arutelu ja soovitused

Liiklusõnnetuses hukkunud loom ei ole pelgalt kulunumber majandusarvutustes, vaid kindlasti saab sinnagi liita õnnetuses osalemise ja ka selle pealtnägemise sotsiaalsed mõjud, mille negatiivsed väljundid võivad realiseeruda alles tulevikus.

Ulukiõnnetuste vähendamisel on nii LTS-de kui ka eritasandiliste lahenduste puhul saadud väga erinevaid tulemusi. Ulukiõnnetuste vähendamisel on oluline osa korrektselt planeeritud

ja paigaldatud aedadel. LTS tõhusust mõjutab kahtlemata sõidukite kiirus ja senised edulood on teedelt, kus looma esinemise korral on maksimaalne lubatud kiirus 40–50 km/h.

Kose-Võõbu LTS-ga loomaläbipääsude kõige suuremaks probleemiks tundub olevat see, et sõidukid ületavad märkimisväärselt lubatud piirkiirust ja reaalses ohuolukorras ei suuda piisavalt kiiresti reageerida. Videote analüüsist ilmnes, et loomatuvasustussüsteemil on probleeme valehäiretega, mis vähendavad hoiatuse usaldusväärsust.

Enamik loomadega liiklusõnnetusi riigitee nr 2 Kose-Võõbu lõigul on toimunud pimedal ajal. Tõsi, puudub info õnnetusse sattunud sõiduki tulede kasutamise kohta, kuid analüüsides videomaterjali, on mitme õnnetuse puhul aru saada, et sõidukijuht lihtsalt ei näinud teel olevat looma (nt seakarja õnnetus 06.11.2021).

Lähitule valgus ulatub umbes 35–40 meetri kaugusele, 90 km/h kiirusel kulub selle vahemaa läbimiseks alla 2 sekundi. Kaugtuli valgustab teed umbes 150 meetri ulatuses, 90 km/h liikuv auto läbib selle vahemaa 6 sekundiga.

Loomatuvasustussüsteemi kasutamine on tänaste tehniliste võimaluste juures siiski päris suur kompromiss nii loomadele liikumisvõimaluste pakkumisel kui ka liiklusohutuse vähenemise ja lähituleviku võimaliku majandusliku soodsuse vahel võrrelduna ökoduktiga. Loomade liikumisvabadus on oluliselt vähenenud, õnnetuserisk on vaatamata loomatuvasustussüsteemile siiski küllaltki kõrge (peamine liiklusohutuslik võit saadakse paigaldatavatest taradest), millele lisanduvad ka loomatuvasustussüsteemi hoolduskulud ja ka moraalne vananemine.

Kui võrrelda ökodukti ja loomatuvasustussüsteemi 10 ja 20 aasta perspektiivis, siis võib päris kindlalt väita, et ka tänase kõige progressiivsema tehnoloogiaga rajatud tuvasustussüsteem tuleb selle efektiivsuse tagamiseks enne 10 aastat uuendada.

Arvestades eelnevat kirjanduse, andmete analüüsi, ulukibioloogia ja -taristu, ITS valdkonna ja liiklusohutuse ekspertkogemust soovitame järgmist.

- à 2+2 tee moodustab paljudele loomadele oma laiuse ja suure liikluskoormuse tõttu tugeva barjääri. Seega, kui eesmärk on siduda üle tee kogu piirkonna loomakooslus, siis samatasandilisi loomade ülekäike (nii LTS-ga kui ka ilma) sellistele teedele üldjuhul ei ole mõistlik rajada, sest ei taga paljude liikide asurkondade sidusust. Samatasandilised ülekäigud sobivad ainult teatud liikidele, eritasandilised läbipääsud on vajalikud teed vältivate ja aeglaselt teed ületavate liikide asurkondade sidususe tagamiseks. 2+2 teede puhul võib kõne alla tulla ajutiste lahenduste rajamine kuni ökodukti rajamiseni.
- à Samatasandilise ülekäigu minimaalne soovituslik laius (piki teed) on 200 m. Kitsamate ülekäikude puhul suureneb barjääriefekt ja teetrassile aedade vahele sattumise tõenäosus, mis omakorda suurendab ulukiõnnetuste ohtu liikluses.
- à 1+1 tee korral võib samatasandilist ülekäiku kaaluda, kui sihtliikideks on imetajad ning liiklussagedus suurulukite peamisel aktiivsusaajal (peale päikeseloojangut ja enne päikesetõusu) ei ületa 1 sõidukit minutis (60 sõidukit tunnis).
- à 1+2 teede korral tuleb ülekäigu kohas rakendada 1+1 liiklusskeemiga teelõik.

- à Teega paralleelselt ei tohi olla LTS kohas olla kogujateid vm avalikuks kasutuseks mõeldud teid, sest need takistavad loomade liikumist ja vähendavad ülekäigu tõhusust.
- à Aiaotste lahendus peab olema selline, et loomad suunatakse risti üle tee ja piki teed aedade vahele liikumine oleks takistatud. Kui hooldustee on aia sees, siis tuleb loomaületuskohale paigaldada väravad ja tagada nende suletus.
- à Et sõidukite müra loomi vähem eemale peletaks, tuleks samatasandiliste ülekäikude piirkonnas kasutada teekatteid, mis summutavad rehvimüra (nn „vaikne asfalt“). Samatasandiliste ülekäikude üheks probleemiks on see, et loomad kardavad teele läheneda. Eritasandilistel ülekäikudel kasutatakse sageli müratõkkeid, kuid samatasandilistel ülekäikudel ei saa seina ette ehitada. Täpne lõigu pikkus tuleb müramudeli alusel kohapõhiselt määrata
- à Metsatee (vm väikese kruusatee) ristumine maanteeга ei välista loomade ülekäigu rajamist samas kohas, juhul kui ülekäigul ei ole LTS-i. LTS puhul tekib probleem valepositiivsete signaalidega, mis on tingitud liiklusest metsateel.
- à Samatasandiline ülekäik peab paiknema sirgel hea nähtavusega teelõigul, et juht näeks looma aegsasti ja loom sõidukit.
- à Loomatuvastusala vahetus läheduses ei tohi olla maanteekraave, kus loom enne teele ilmumist varjub sõidukijuhi vaateväljast.
- à Enne loomaületusala paigaldada spetsiaalsed infotahvlid (ei pea interaktiivsed olema), mis selgitavad juhtidele eelseisvaid ohte. Tavalistel loomahoiatusmärkidel (märk 178 „Metsloomad“) ei ole olulist mõju õnnetuste ennetamisel. Kuna ajas kipuvad inimesed harjuma, siis tuleks infotahvlite kujundust aeg-ajalt uuendada.
- à Kiiruse piiramine samatasandilisel loomade ülekäigul on põhjendatud pimedal ajal, kui loomi liigub kõige rohkem ja nähtavus on piiratud, eriti lähituledega sõites. Mõistlik piirkiirus loomade ülekäigul 1+1 põhimaanteedel puhul on päeval, kui loomi liigub vähem ja nähtavus on parem, 90 km/h ja pimedas, kui loomi liigub rohkem ja nähtavus on piiratud, 70 km/h (eelistatult 50 km/h). Juhul kui loom on teel, ei jõua kiiremini sõitvad juhid reageerida ja pidurdada. Praeguseks rajatud samatasandilised loomade ülekäigukohad ilma LTS-ta Tallinn-Tartu maanteel on enamasti lõikudel, kus lubatud piirkiirus on 100 km/h ning see ei taga kuidagi liiklusohutust, sest sõidukijuhid ei jõua piisavalt kiiresti reageerida ja pidurdada.
- à Kui LTS süsteemi häire aktiveerub, siis peab see VMS märkide süsteemi korral edastatama ka LTS-st eespool asuvatele kiiruspiirangu (ja ka hoiatus)märkidele. Täna sel päeval kasutusel olev süsteem (maantee nr 2) seda ei tee.
- à Uuringud on näidanud, et LTS ülekäikudel on sõidukite kiirus oluliselt suurem sellest, mis võimaldaks adekvaatselt reageerida ohuolukorras, eriti ilmekalt väljendub see pimedal ajal, kus enamikel kordadel sõidetakse nõ tuledest ette. Mõnevõrra kiirust küll vähendatakse, kuid mitte piisavalt. Kose-Võõbu lõigul oli keskmine kiirus ulukihäire korral (kui peaks sõitma max 70 km/h) valgel ajal 92–96 km/h ja pimedal ajal 84–88 km/h. Sellise kiiruse sobimatust tõestavad toimunud õnnetused Kose-Võõbu LTS aladel.
Toetudes uuringutele saab väita, et sõidukid järgivad piirkiirust kiiruskaamerate vaateväljas. Seega tuleb loomade ülekäigu juurde panna kiiruskaamera, et sõidukijuhid reaalselt kiirust vähendaksid. Kiiruskaamerast oleks eeldatavasti abi ka ilma LTS-ta loomade ülekäikudel.

Allikad

Beckmann, J.P., Clevenger, A.P., Huijser, M.P., Hilty, J.A. (Eds.), 2010. Safe passages: highways, wildlife, and habitat connectivity. Island Press, Washington, DC.

De Vries, M., 2015. Road kills of roe deer (*Capreolus capreolus*) in the Netherlands: assessment of impacts and mitigation measures (MSc Internship report). Natuurmonumenten; Utrecht University, Utrecht.

Diaz-Varela, E.R., Vazquez-Gonzalez, I., Marey-Pérez, M.F., Álvarez-López, C.J., 2011. Assessing methods of mitigating wildlife-vehicle collisions by accident characterization and spatial analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 16, 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.01.002>

Eldegard, K., Lyngved, J.T., Hjeljord, O., 2012. Coping in a human-dominated landscape: trade-off between foraging and keeping away from roads by moose (*Alces alces*). *Eur J Wildl Res* 58, 969-979. <https://doi.org/10.1007/s10344-012-0640-4>

Elvik, R., Vaa T., Høy A., 2009., *The Handbook of Road Safety Measures*

Gagnon, J.W., Dodd, N.L., Sprague, S.C., 2010. Preacher Canyon Wildlife Fence and Crosswalk Enhancement Project Evaluation. Final Report - Project JPA 04-088. Arizona Department of Transportation.

Gagnon, J.W., Dodd, N.L., Sprague, S.C., Ogren, K.S., Loberger, C.D., Schweinsburg, R.E., 2019. Animal-activated highway crosswalk: long-term impact on elk-vehicle collisions, vehicle speeds, and motorist braking response. *Human Dimensions of Wildlife* 24, 132-147. <https://doi.org/10.1080/10871209.2019.1551586>

Håkansson, E., 2020. Effectivity of road and railway crossing structures for wild mammals. MSc thesis. University of Gothenburg.

Holst, K.H., 2018. Maanteede barjääriefekti mõju põtrade liikumisele ja selle tugevuse sõltuvus liiklustihedusest (BSc). Tartu Ülikool.

Huijser, M., Fairbank, E., Abra, F., 2017. The Reliability and Effectiveness of a Radar-Based Animal Detection System (No. FHWA-ID-17-247). Idaho Transportation Department.

Huijser, M.P., Fairbank, E.R., Camel-Means, W., Graham, J., Watson, V., Basting, P., Becker, D., 2016. Effectiveness of short sections of wildlife fencing and crossing structures along highways in reducing wildlife-vehicle collisions and providing safe crossing opportunities for large mammals. *Biological Conservation* 197, 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.02.002>

Huijser, M.P., Holland, T.D., Kociolek, A.V., Barkdoll, A.M., Schwalm, J.D., 2009. Animal-Vehicle Crash Mitigation Using Advanced Technology. Phase II: System Effectiveness and System Acceptance (No. FHWA-OR-TPF-09-14). Oregon Department of Transportation.

Jacobson, S.L., Bliss-Ketchum, L.L., Rivera, C.E., Smith, W.P., 2016. A behavior-based framework for assessing barrier effects to wildlife from vehicle traffic volume. *Ecosphere* 7. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1345>

Kämmerle, J.-L., Brieger, F., Kröschel, M., Hagen, R., Storch, I., Suchant, R., 2017. Temporal patterns in road crossing behaviour in roe deer (*Capreolus capreolus*) at sites with wildlife warning reflectors. PLoS ONE 12, e0184761. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184761>

Kont, R., Jõgisalu, I., Remm, J., 2018. Ilvese territoriaalsus ja toitumine. Rakendusuuringu aruanne projekt NR 12949, Keskkonnaagentuur; OÜ Rewild, Tartu.

Kušta, T., Keken, Z., Ježek, M., Holá, M., Šmíd, P., 2017. The effect of traffic intensity and animal activity on probability of ungulate-vehicle collisions in the Czech Republic. Safety Science 91, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.08.002>

Laurian, C., Dussault, C., Ouellet, J.-P., Courtois, R., Poulin, M., Breton, L., 2008. Behavior of Moose Relative to a Road Network. J Wildl Manage 72, 1550. <https://doi.org/10.2193/2008-063>

Liikenneturva, 2021. Eläinonnettomuudet.

Lima, S.L., Blackwell, B.F., DeVault, T.L., Fernández-Juricic, E., 2015. Animal reactions to oncoming vehicles: a conceptual review: Animal-vehicle collisions. Biol Rev 90, 60–76. <https://doi.org/10.1111/brv.12093>

Mosler-Berger, C., Romer, J., 2003. Wildwarnsystem CALSTROM. Wildbiologie 3, 1–12.

Oja, T., Valdmann, H., Saarma, U., Kruuse, M., Oja, R., Anijalg, P., 2018. Põtrade liikuvusuuring GPS/GSM kaelustega riigi põhimaantee 2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa Kose-Mäo (km 40,0-85,0) lõigu piirkonnas. Maanteeamet; Tartu Ülikool.

Ramboll Eesti AS, 2007. Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa maantee Kose-Võõbu ja Võõbu-Mäo teelõikude eelprojekt ja keskkonnamõju hindamine.

Remm, J., Remm, P., Jaik, K., Lemba, H., Kont, R., 2017. Ulukiohtlikud teelõigud. Ulukiõnnetuste koondumiskohtade tehniline analüüs. Maanteeamet; OÜ Rewild.

Rytwinski, T., Soanes, K., Jaeger, J.A.G., Fahrig, L., Findlay, C.S., Houlahan, J., van der Ree, R., van der Grift, E.A., 2016. How Effective Is Road Mitigation at Reducing Road-Kill? A Meta-Analysis. PLoS ONE 11, e0166941. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166941>

Seiler, A., Helldin, J.O., 2006. Mortality in wildlife due to transportation, in: Davenport, J., Davenport, J.L. (Eds.), The Ecology of Transportation: Managing Mobility for the Environment. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 165–189. https://doi.org/10.1007/1-4020-4504-2_8

Smith, D.J., Grace, M.K., Miller, A., Noss, M.J.W., Noss, R.F., 2016. Assessing the Effectiveness and Reliability of the Roadside Animal Detection System on US Highway 41 near the Turner River in Collier County (No. Contract No. BDV37, TWO #2). Florida Department of Transportation.

Thurfjell, H., Spong, G., Olsson, M., Ericsson, G., 2015. Avoidance of high traffic levels results in lower risk of wild boar-vehicle accidents. Landscape and Urban Planning 133, 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.015>

Valdmann, H., Kruuse, M., 2016. Põhimaantee 2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa Aruvalla-Kose lõigu ulukirajatiste, sh Kuusiku ökodukti seire lõpparuanne. Eesti Looduseuurijate Selts; Maanteeamet.

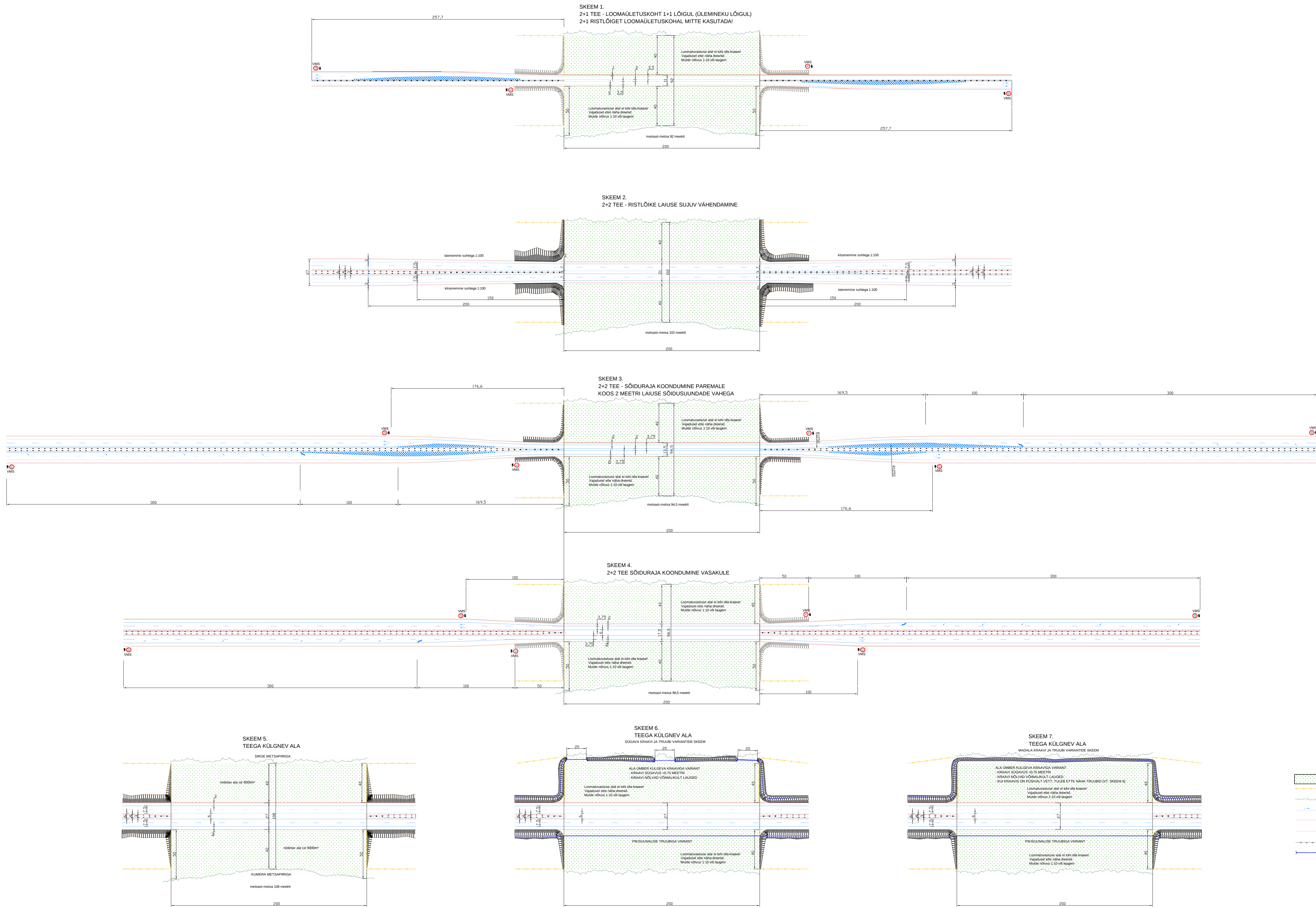
Veeroja, R., Männil, P., Jõgisalu, I., Kübarsepp, M., 2021. Ulukiasurkondade seisund ja küttimissoovitus 2021. Keskkonnaagentuur, Tartu.

Zeller, K.A., Wattles, D.W., DeStefano, S., 2018. Incorporating Road Crossing Data into Vehicle Collision Risk Models for Moose (*Alces americanus*) in Massachusetts, USA. *Environmental Management* 62, 518–528. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1058-x>

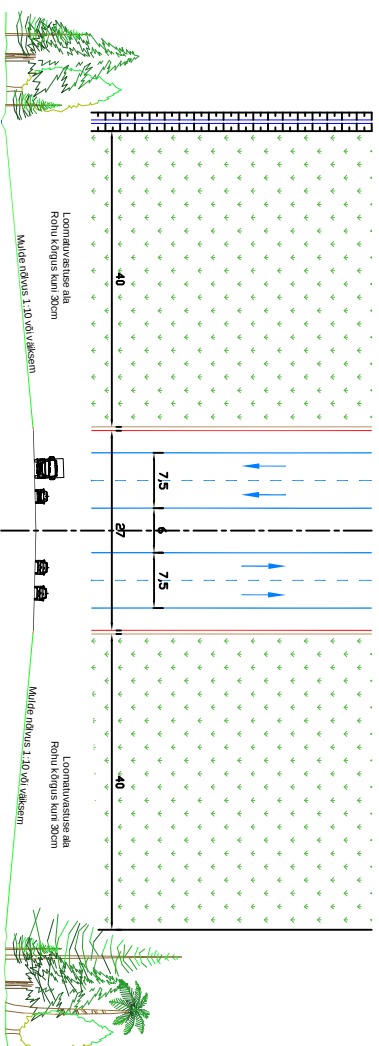
Lisa

Jooniste nimekiri

- Joonis 1 Loomatuvastusala skeemid erinevate teede jaoks – 2+2 ja 2+1 sõidurajaga ristlõikega teedele.
- Joonis 2 Loomatuvastusala põhimõtteline tee ristlõige joonise 1 skeem 6 baasil.
- Joonis 3 Laia eraldusribaga loomade teeületuskoha näide, kasutades tee 1 Tallinn-Narva km 63 asuvat laia eraldusribaga lõiku.



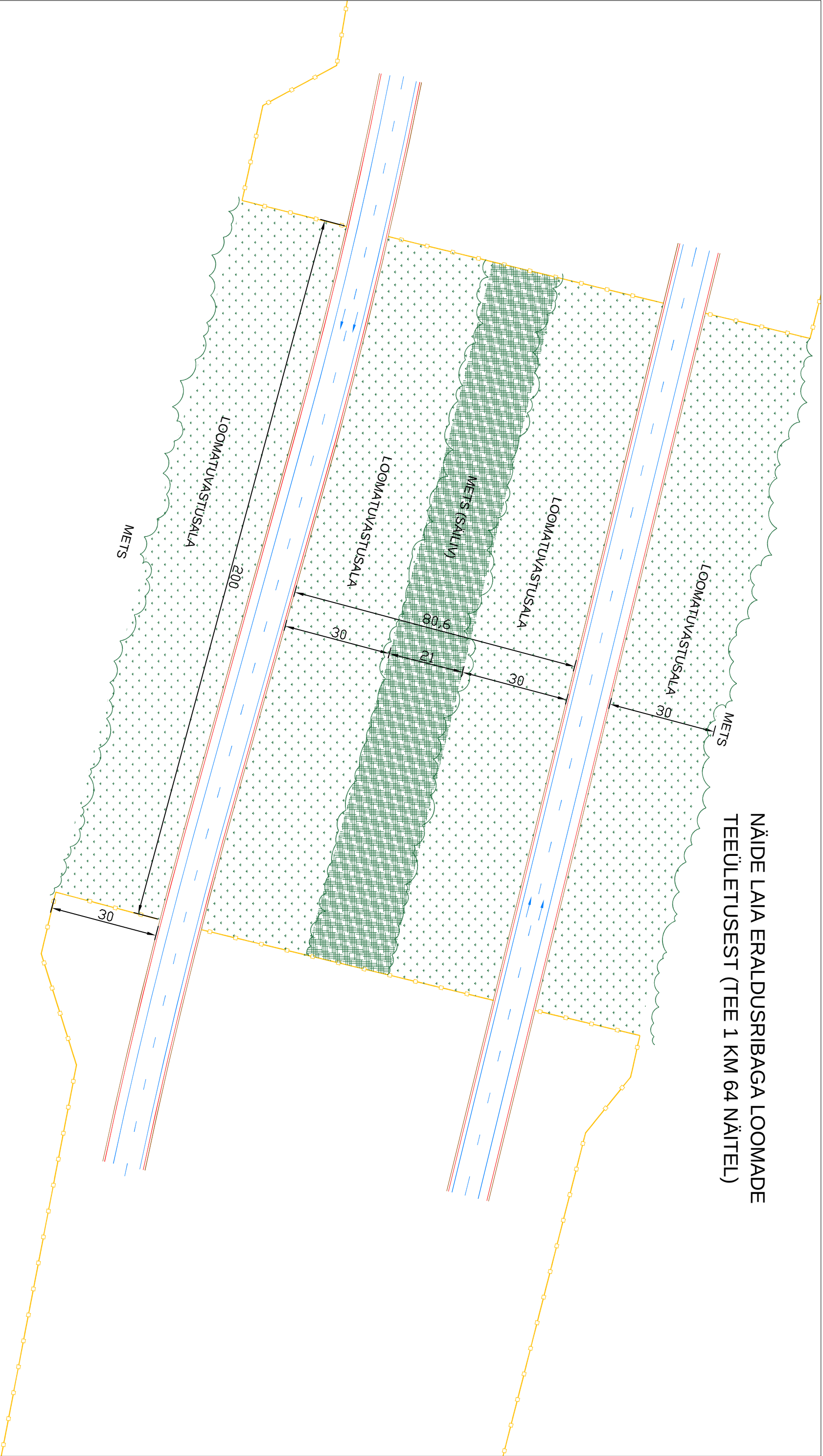
SKEEM 8. TEE RISTLÕIGE SKHEEM 7 NÄITEL



Projekteeris T.SULGER	Kuupäev 17.11.2021	Faili nimi Skeemid1.DWG	Joonis 2	Mõõtkava 1:1000
Kadaka tee 86A-305 Tallinn, 12618 info@stratum.ee tel: 6659460		Töö: Suurulukite tuvastussüsteemi teostatavusuuring		
Joonis: Looma teelelastuskohtade tüüpskeemid (2+2 sõidurajaga tee, 2+1 sõidurajaga tee)				



NÄIDE LAIA ERALDUSRIBAGA LOOMADE
TEEÜLETUSEST (TEE 1 KM 64 NÄITEL)



- MÄRKUSED**
1. ERALDUSRIBAL OLEVA METSA LAIUS (NÄITES 21m) TULEB HINNATA JA LAHENDADA KOHAPÕHISELT. TÕENÄOLISELT EI OLE 21 MEETRIT PIISAV. SOOVITAV MINIMAALNE LAIUS 50 MEETRIT.
 2. NÄITES TOODUD LOOMATUVASTUSALA LAIUS 30 MEETRIT EELDAB KIIRET IDENTIFITSEERIMIST JA VMS SÜSTEEMI REAGEERIMIST.
 3. MÕLEMA AUTOLIIKLUSE SUUNA TUVASTUSSÜSTEEMID PEAVAD OLEMA ANDMEVAHETUSEGA, ST. KUI LOOM ON JÕUDNUD ERALDUSRIBALE, ANATAKSE EELHOIATUS JÄRGNEVALE SUUNALE.

Projekteeris T.SÜLGER	Kuupäev 17.11.2021	Faili nimi Skeemid2 T1 näitel.DWG	Joonis 3	Mõõtkava 1:1000
 INSENERIBÜROO STRATUM	Kadaka tee 86A-305 Tallinn, 12618 info@stratum.ee tel: 6659460	Töö: Suurruklite tuvastussüsteemi teostatavusuuring Joonis: Looma teeületuskohdade skeem eraldatud sõidusundadega (2+2 sõidurajaga tee)		