

**EESTI RIIGITEEDE VÕRGUL TOIMUNUD
LOOMAÕNNETUSTE REGISTRI TÄIENDAMINE
JA KOKKUPÕRKEOHTLIKE LÕIKUDE
TUVASTAMINE**

Töö on koostatud Transpordiameti tellimusel

Tallinn

2025

SISUKORD

1. SISSEJUHATUS	3
2. ANDMETE KORRASTAMINE	4
2.1 Metoodika.....	4
2.2 Tulemused	6
2.3 Tähelepanekud.....	13
3. ULUKIÕNNETUSTE KOONDUMISKOHAD.....	15
3.1 Metoodika.....	15
3.2 Tulemused	16
4. OHUTEGURITE ANALÜÜS	17
4.1 Metoodika.....	17
4.2 Tulemused	18
5. KOKKUVÕTE	25

1. SISSEJUHATUS

Üks riikliku liiklusohutusprogrammi meetmetest näeb ette tegevused metsloomaohlike piirkondade väljaselgitamiseks, rakendatud ohutuslahenduste efektiivsuse hindamiseks ning uute teede projekteerimisel elusloodusega seotud liiklusohutuse tõstmiseks. Kasutades asjakohaseid meetodikaid ja arvutusmudeleid, on võimalik selgitada õnnetuste koondumiskohad, kus on vajalik tõkestamise meetmete rakendamine liiklusohutuse aspektis.

Alates 2008. aastast on Eestis süstemaatiliselt kogutud maanteedel toimunud ulukiõnnetuste statistikat. Sisendiks on riigiinfo telefonile laekunud teated (varem Keskkonnainfo 1313, pärast selle sulgemist Häirekeskuse riigi infotelefon 1247). Teated talletati tekstiliste kirjetena, vastavalt teataja sõnadele. Kui teadete vastuvõtmine liikus Häirekeskusesse, lisandusid andmekomplektile telefonist automaatselt välja loetud koordinaadid.

Käesolev töö on jätk senistele uuringutele. Varasemalt on loomaõnnetuste teateid analüüsitud 2015. ja 2019. aastal. Analoogselt varasematele uuringutele, jagunes töö kolme peamise etappi:

1. Teadete asukohtade määratlemine
2. Ulukiõnnetuste koondumiskohtade leidmine
3. Ohutegurite analüüs

Projektijuht: Tanel Jairus, loodusteaduste bakalaureus, tehnikateaduse magister.

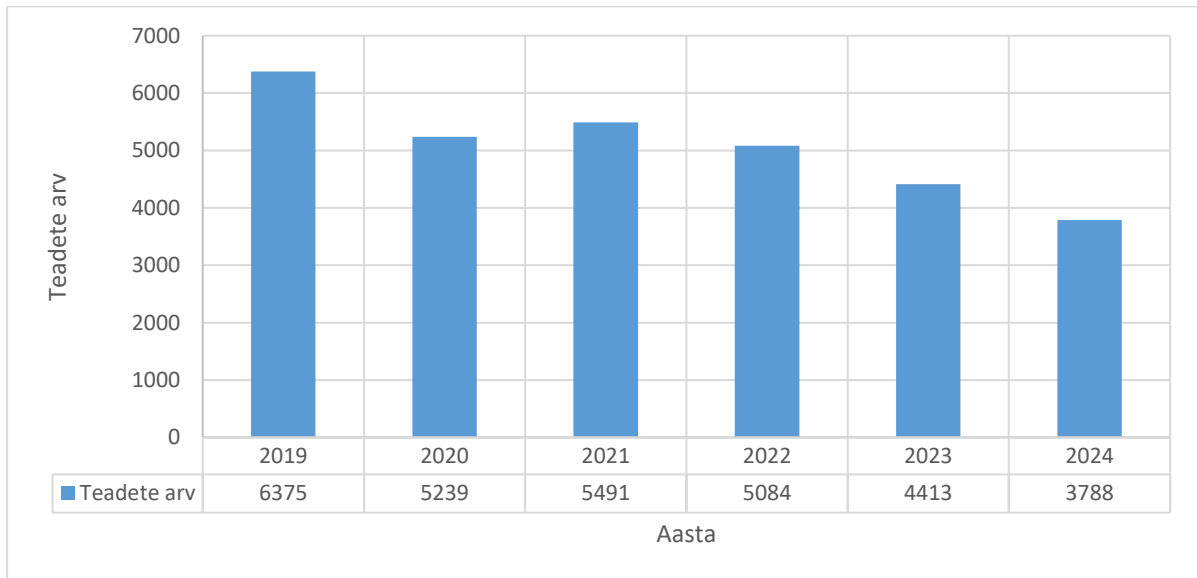
Töös osalesid:

Stanislav Metlitski

Johannes Erikso

2. ANDMETE KORRASTAMINE

Riigiinfo telefonile laekunud teated edastatakse Transpordiametile Exceli failide kujul. Iga aasta kohta on üks tööleht, nende struktuur sõltub konkreetsest andmete edastajast. Kokku oli sisendiks 30 390 andmerida, mille jaotus aastate lõikes on toodud joonisel. Oluline on märkida, et ühe juhtumi kohta võis olla üks või mitu teadet.



Joonis 1. Laekunud teadete arv aastate lõikes.

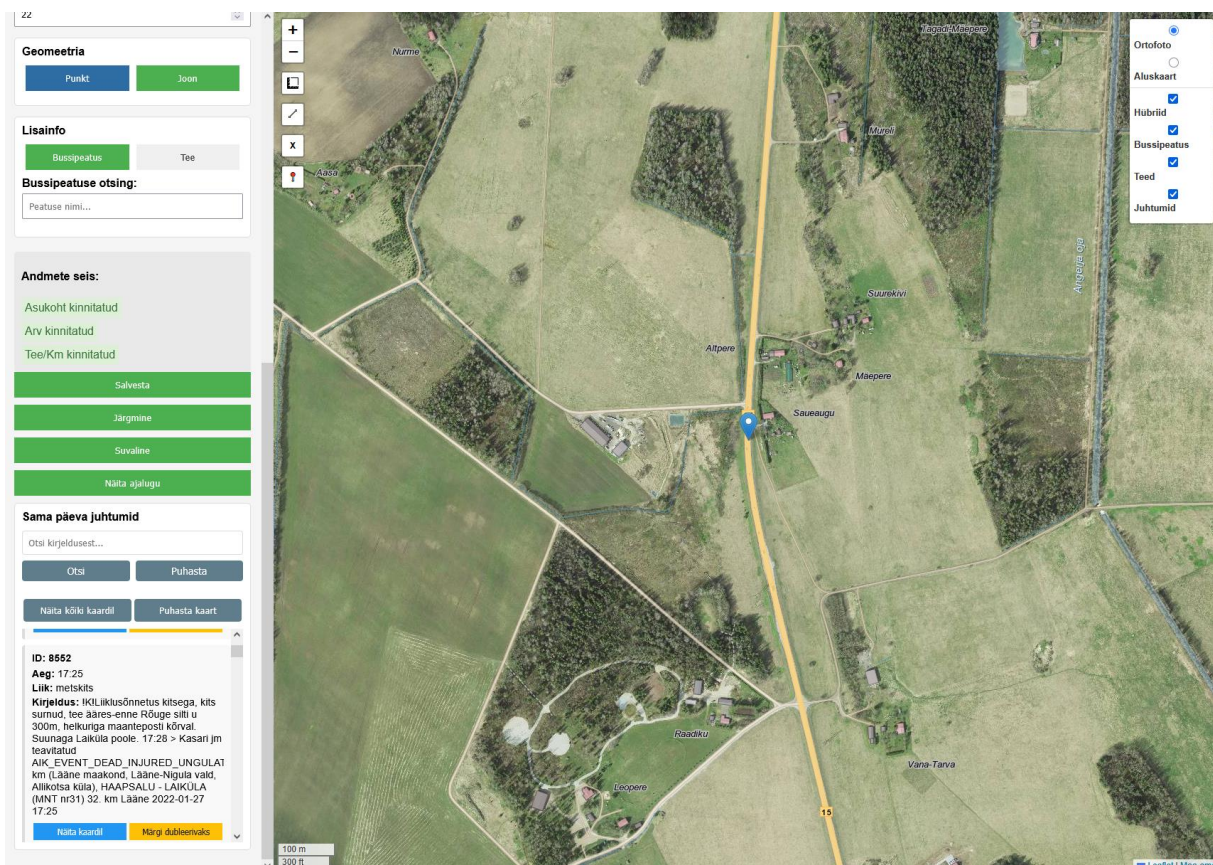
2.1 Metoodika

Sisendiks olnud Exceli failide töötlemiseks loodi Excelis *Visual Basic for Applications* (VBA) skript, mis kombineeris olemasolevate veergude põhjal andmebaasile sobiva importfaili. Andmeväljade nimed normaliseeriti ning ühtlustati erinevate töölehtede vahel. Ruumiandmete olemasolul viidi need *PostgreSQL* andmebaasile sobivasse WKT formaati. Sel viisil loodud andmestik koondati järgmise struktuuriga tabelisse.

- teate kuupäev
- teate kellaeg
- andmerea unikaalne identifikaator
- teate tekst koos asukohainfoga
- geomeetria Eesti ristkoordinaatides
- loomaliik
- loomade arv

Järgnes töötlus, mille jaoks kasutati *PostgreSQL* andmebaasi koos *PostGIS* laiendustega. Andmebaas loodi kasutades mallina Eesti kooditabeliga ruumiandmebaasi ning andmetabelid moodustati ja täideti eelmises sammus valminud skripti väljundi alusel. Esmalt tuvastati koordinaatide olemasolu ning teisendati need Eesti ristkoordinaatideks. Järgnevalt määratleti esialgne loomaliik ja loomade arv tekstianalüüsi vahenditega – näiteks kui tekstis esines sõna „kits“, „põder“ või muu selgelt eristatav liiginimi, määrati see vastavale reale. Arvestati ka loomanimede esinemist kohanimedes (nt Kitseküla) ja levinumate õigekirjavigadega (nt „otsasõit kitele“). Lisaks tuvastati teenumbrite või kohanimede alusel tõenäoline tee koos kilomeetriga, eeskätt ilma koordinaatideta juhtumite tarbeks.

Samal ajal loodi *Pythoni* põhine veebirakendus, mis kasutas *Leaflet* kaardikomponenti. Kui juhtumil olid koordinaadid olemas, siis oli kasutajal võimalus need ühe klahvivajutusega kinnitada. Kui asukoht vajab täpsustamist, sai lisada kirjeldava punkti või joone. Rakendus võimaldas valida erinevaid aluskaarte nii raadionuppude kui kiirklahvide abiga, samuti sai avada klõpsu asukohas *Google*'i tänavavaate. Rakenduse tabelvaates kuvatakse samal päeval salvestatud teated sama loomaliigi kohta koos võimalusega need kaardile lisada, et oleks võimalik tuvastada kordusteated.



Joonis 2. Märkimise rakenduse ekraanivaade.

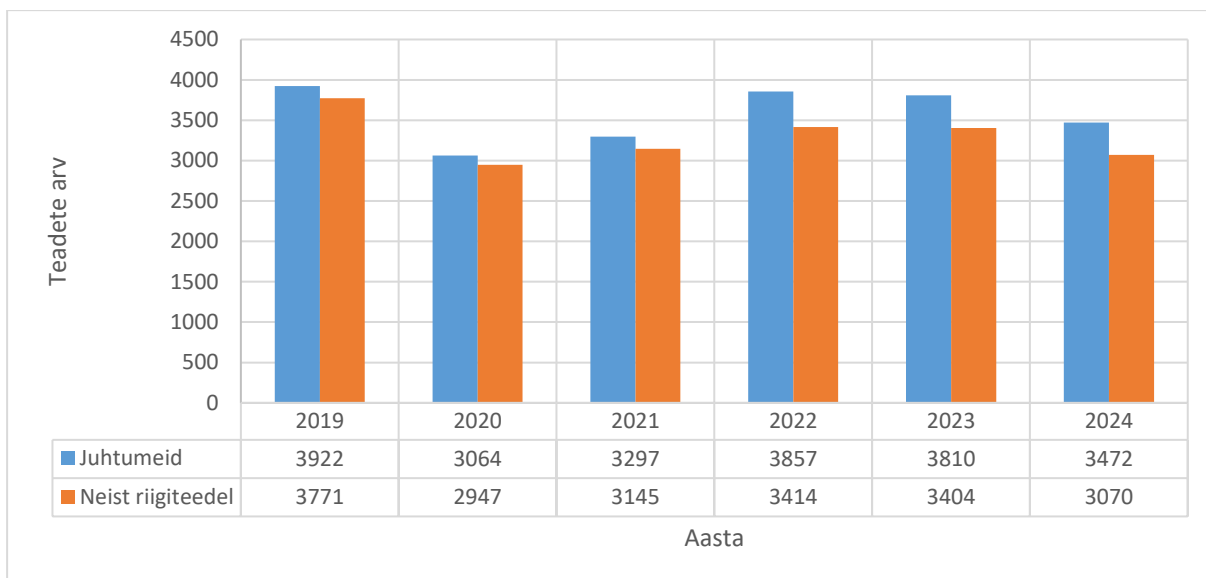
Kirjelduste järgi asukohtade leidmise hõlbustamiseks arendati funktsioon, mis võimaldas otsida nimeosa järgi bussipeatuste ja aadresside hulgast. Samuti oli võimalik kaardile kanda teeaadressi põhine teelõik, kusjuures selle loomiseks kasutati mitte värskemat, vaid juhtumiaegset teedekihti. See oli eriti oluline näiteks Tallinna-Tartu-Võru-Luhamaa teel Võru linna lähistel toimunud juhtumite asukohtade määramisel, kuna tee trassi muutumise tõttu on muutunud kilomeetrite arvestus ja nende vastavus tegelikule asukohale.

Tööprotsess koosnes järgmistest sammudest.

- Kasutaja avab rakenduse ja logib sisse.
- Kasutaja valib korrastatava aasta, misjärel kuvatakse talle selle aasta esimese kinnitamata juhtumi andmed. Aasta valik lisati selleks, et mitmel kasutajal oleks korraga mugavam töötada.
- Kasutaja kontrollib, et algne loomaliik on õige ning vajadusel valib rippmenüüst paranduse.
- Kasutaja võrdleb asukohta kirjeldusega. Kui kirjeldus ei vasta asukohale, muudab asukohta. Kui asukohta ei ole ja pole ka võimalik määrata, märgib kasutaja tee numbri lahtrisse negatiivse väärtuse.
- Kasutaja kinnitab kirje andmed ja valib nupu või kiirklahviga ajaliselt järgmise või juhusliku kirje töö jätkamiseks.

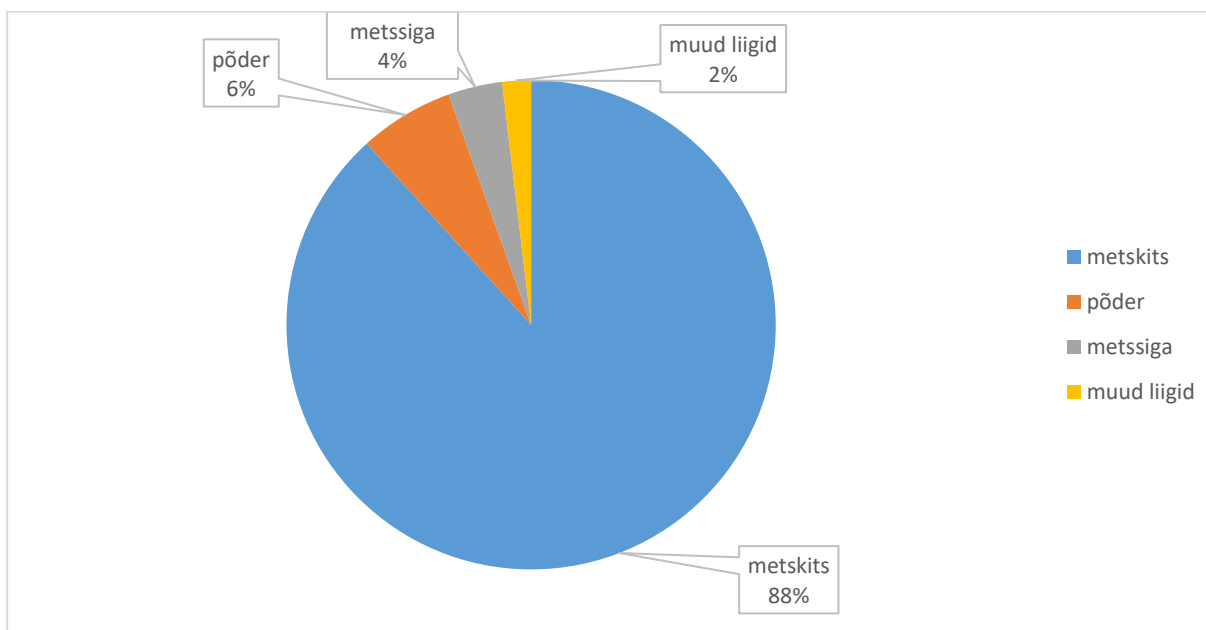
2.2 Tulemused

Eelnevalt toodud 30 390 andmerekast määratleti unikaalsete ulukiõnnetustena 21 422, millest omakorda 19 751 (65%) toimus riigiteedel. Neist omakorda 7536 (37,6%) määrati joonena ja 12 315 (62,4%) punktina. Aastate kaupa jaotus on toodud joonisel.



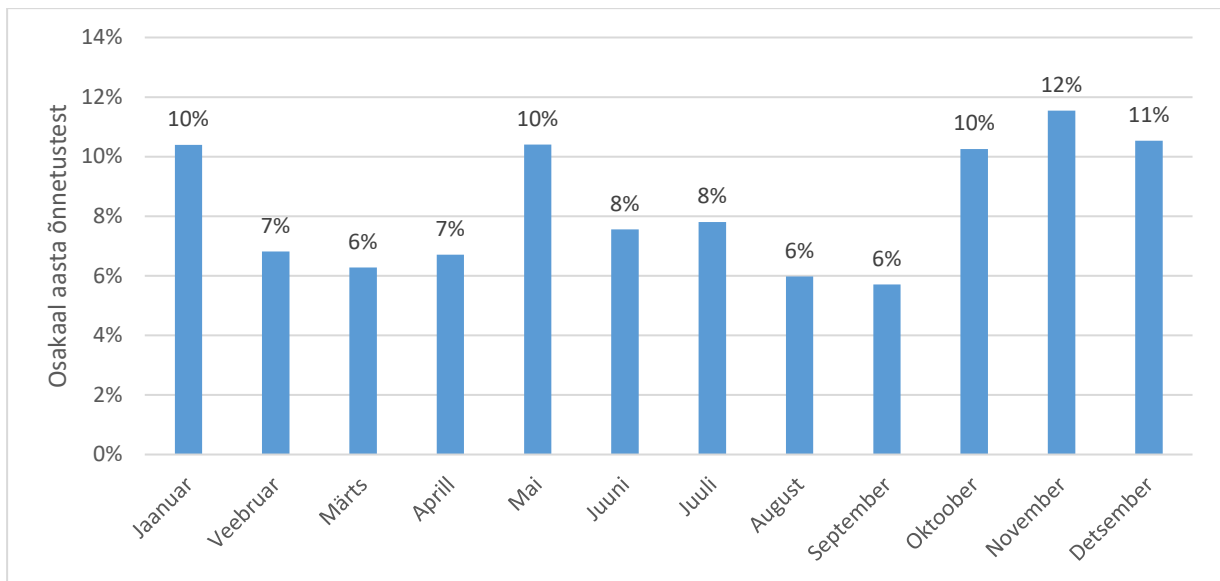
Joonis 3. Registreeritud ulukiõnnetuste arv riigiteedel.

Analüüs näitas, et kuigi teadete arv on aja jooksul vähenenud, siis juhtumite arv on olnud pigem stabiilne. Hilisematel aastatel on oluliselt vähem kordusteateid, seda ilmselt tänu koordinaatide kasutamisele Häirekeskuse teadete registreerimise tööprotsessis.



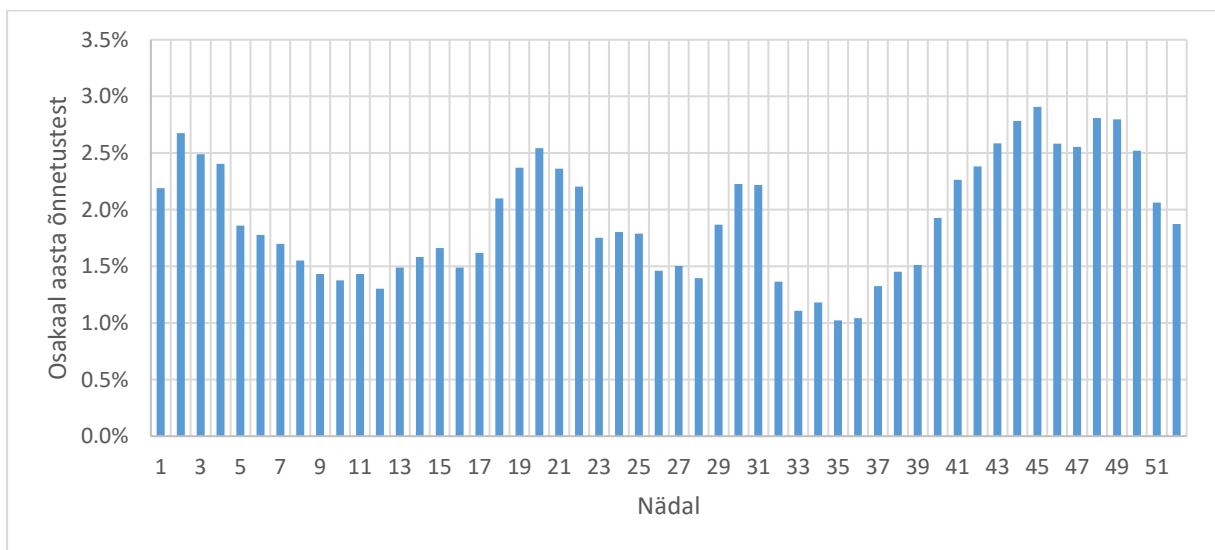
Joonis 4. Juhtumite jagunemine peamiste liikide vahel.

Andmestikus domineerivad suurulukid, eeskätt metskitsed, kellega oli seotud 88% kõigist kokkupõrgetest. Järgnesid põder (6%) ja metssiga (4%), kõiki teisi liike kokku oli oluliselt vähem, ainult 2%. Väikeulukitest olid enim esindatud rebane ja kährik, koguarvust 0,2%.



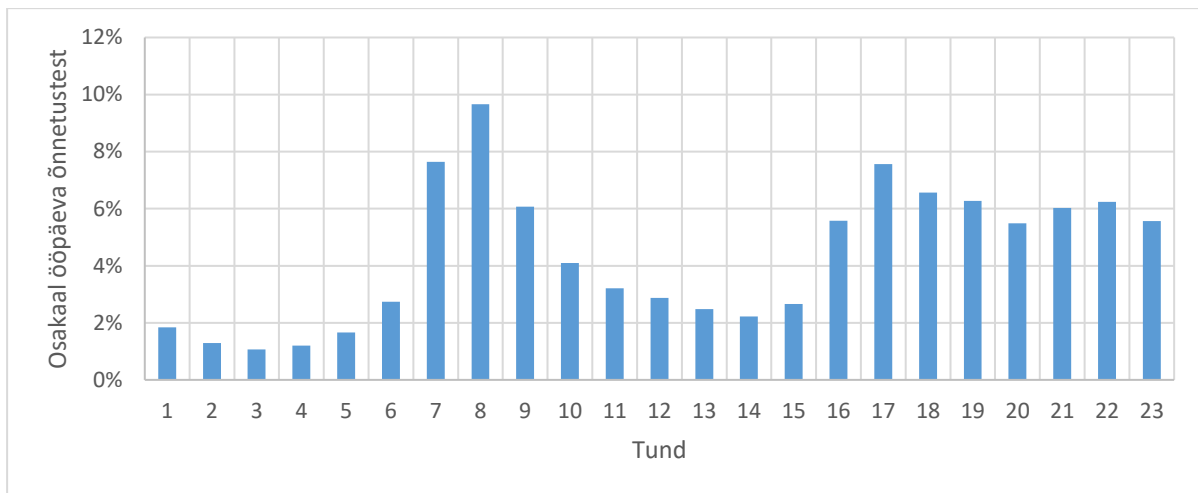
Joonis 5. Juhtumite aastane jaotus kuude lõikes, 2019-2024.

Aasta lõikes esineb enim juhtumeid sügistelvel ning maikuu. See on kooskõlas üldiste ulukite käitumismustritega. Nädalate lõikes on vaade detailsem, mida näitab järgmine joonis.



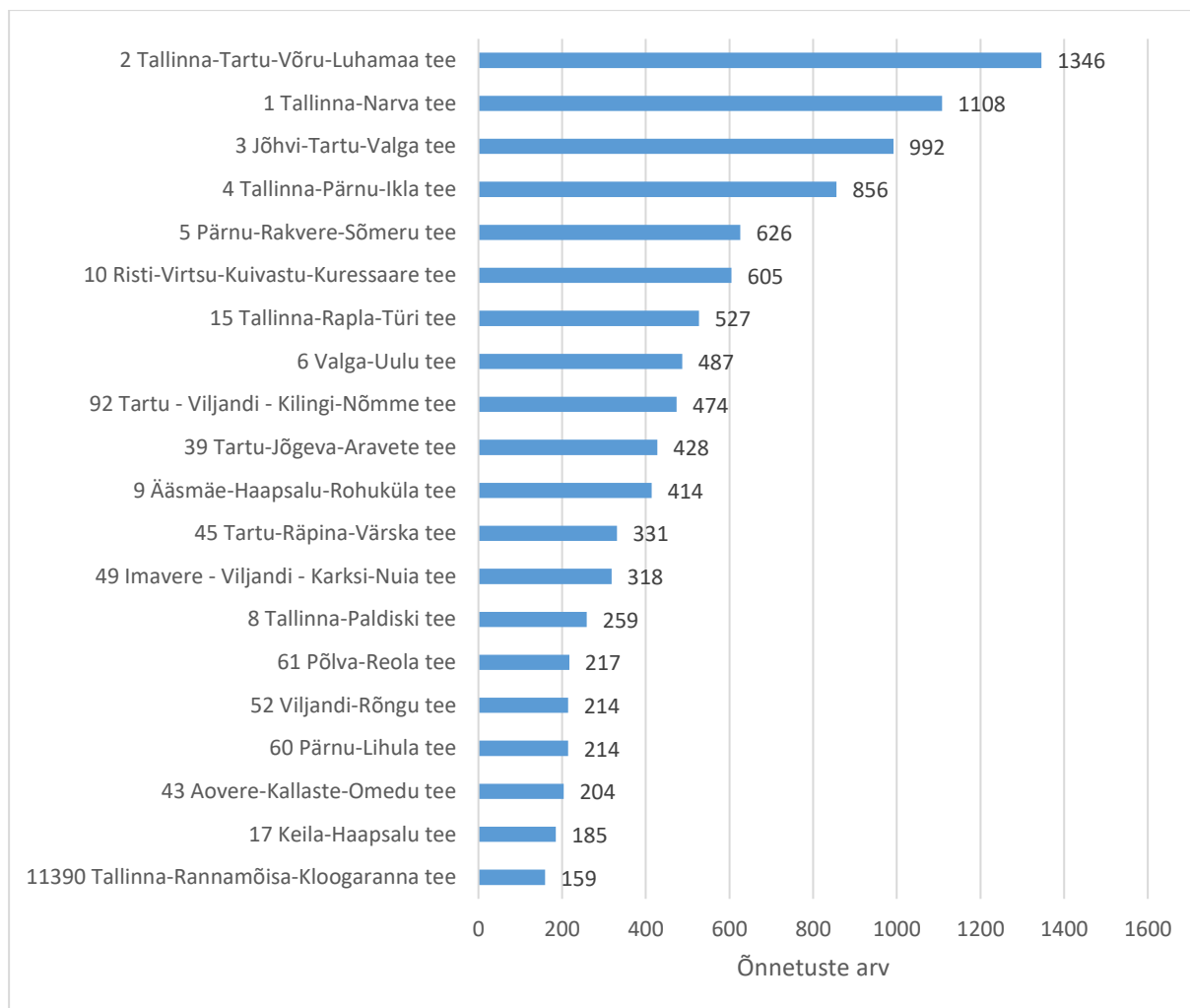
Joonis 6. Juhtumite aastane jaotusnädalate lõikes, 2019-2024.

Aasta lõikes eristub neli suurema õnnetuste osakaaluga perioodi. Sügisese ja talvise kõrgaja katkestab pühadeaegne madalama liiklussagedusega periood. Kevadine periood on selgelt seotud soojema ilmaga kaasneva ulukite aktiivsusega.



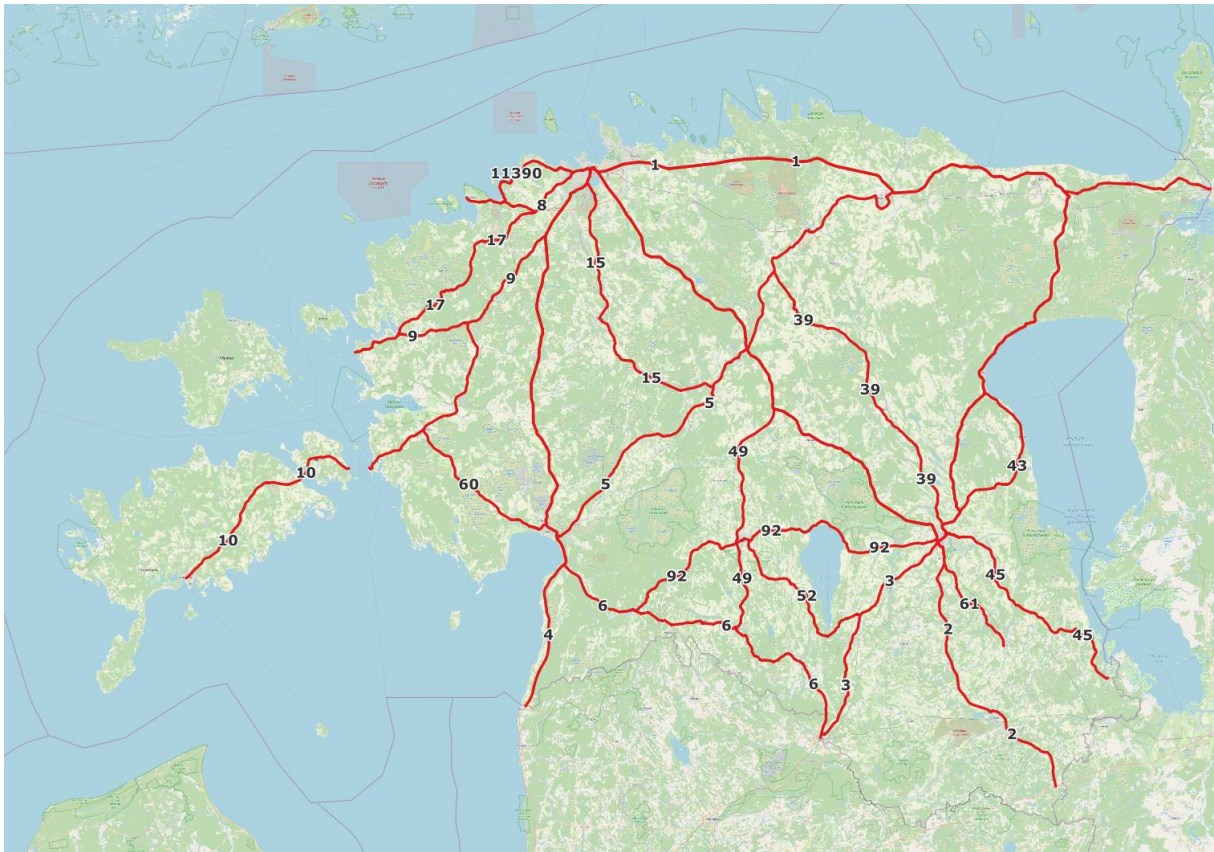
Joonis 7. Õnnetustest teatamise jaotumine ööpäeva lõikes.

Ööpäevast jaotumist tuleb käsitleda mõninga reservatsiooniga, kuna fikseeritakse teate, mitte kokkupõrke kellaeg. Teade võib tulla oluliselt hiljem, näiteks korduva juhtumi puhul teatati samast juhtumist nii õhtul kui järgmisel hommikul. Kui õhtul ei oleks teatatud, jääbki juhtumi kellaajaks hommik. Samuti on kirjeldatud ka pikemat aega teel või selle lähedal asunud korjuseid, millel on roiskumise või söömise tunnused. Siiski joonistub andmetest välja hommikune tiptund, mil nii ulukid kui ka sõidukid on enim liikumas.



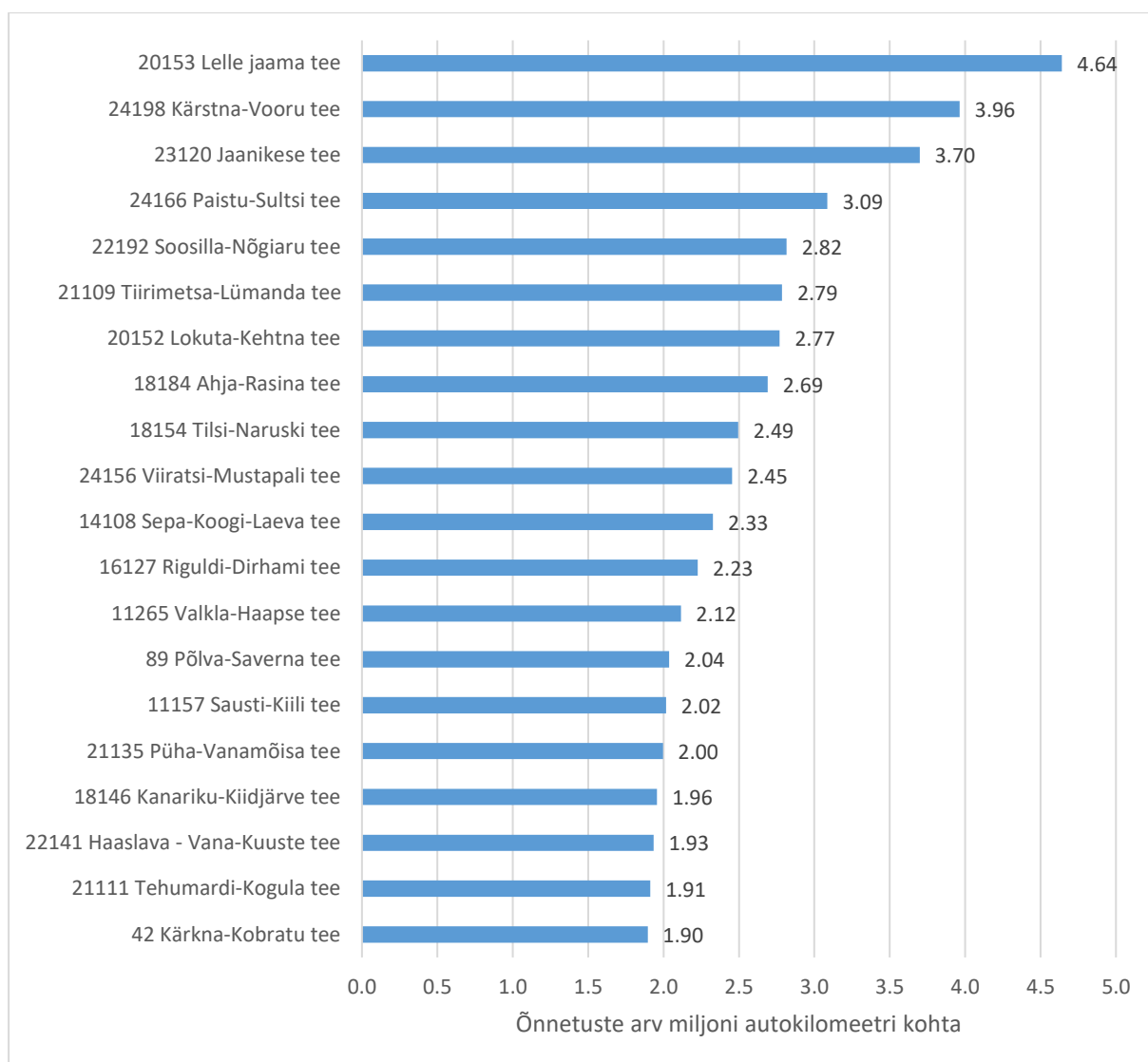
Joonis 8. Suurimate õnnetuste arvuga maanteed.

Maanteede osas on enim kokkupõrkeid olnud pikematel ja suurema liiklussagedusega teedel. Nimekirja eesotsas on põhimaanteed, järgnevad tugimaanteed ja 20 suurima hulka mahub ka suure liiklussagedusega kõrvalmaantee Tallinna-Rannamõisa-Kloogaranna.



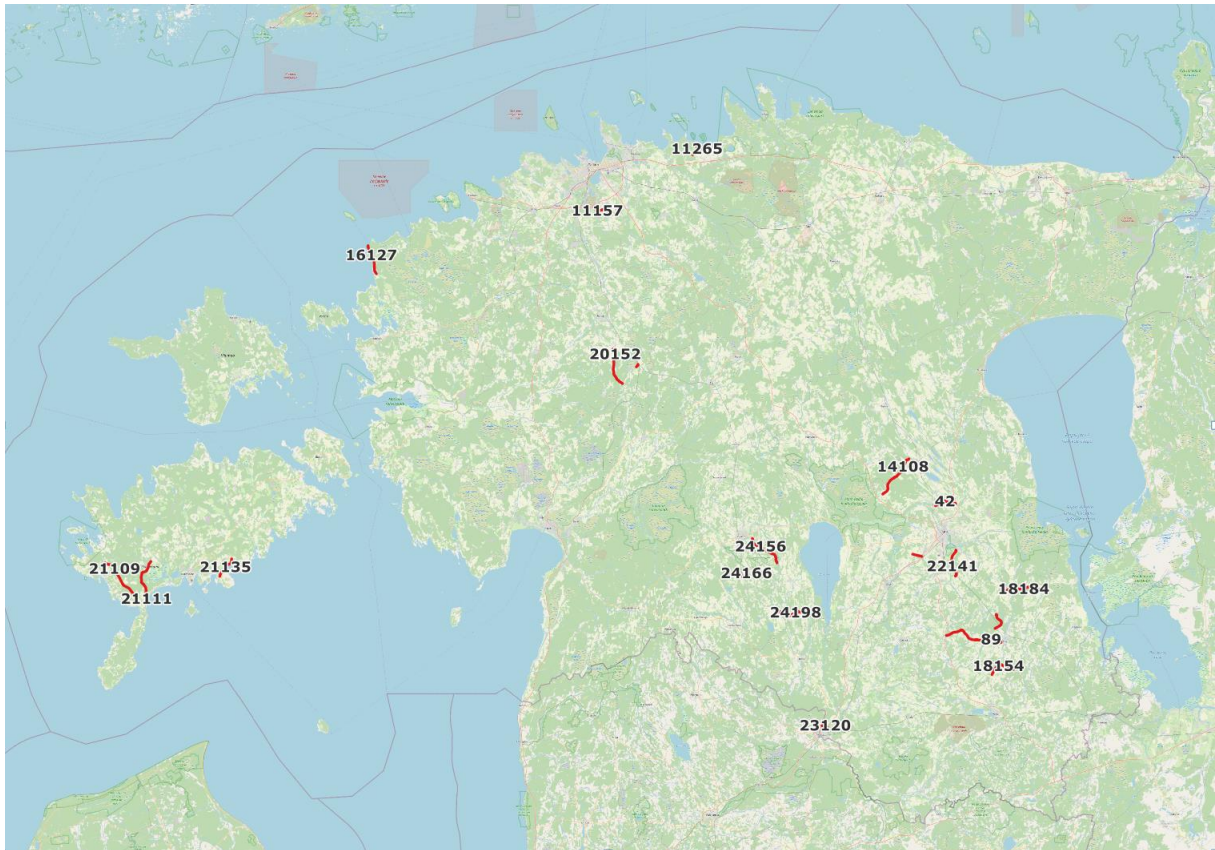
Joonis 9. Suurima õnnetuste arvuga maanteed.

Samas ei näita selline lähenemine otseselt tee riskitaset. Sajakilomeetrisele teele oleks viiekilomeetrisest sama riskitaseme korral kakskümmend korda rohkem õnnetusi. Seetõttu on liiklusõnnetuste analüüsis tavaline praktika taandada õnnetuste koguarv sama perioodi summaarse läbisõiduga ning väljendada tulemust miljoni või miljardi autokilomeetri kohta. Kuna läbisõit on aastati erinev, arvutati läbisõit iga aasta (2019-2024) kohta eraldi ja summeeriti.



Joonis 10. Läbisõiduga taandatud suurima õnnetuste arvuga teed.

Läbisõiduga taandatult on pilt oluliselt erinev ja domineerivad kõrvalmaanteed. Sellest vaatest on välja jäetud üksikute õnnetustega madala liiklussagedusega teed. Võrreldes eelneva jaotusega on siin esindatud lühemad teed



Joonis 11. Läbisõiduga taandatud suurima õnnetuste arvuga teed.

2.3 Tähelepanekud

Andmete töötlemisel ilmnes mitmeid asjaolusid, mis on tähtsad nende tõlgendamisel ja edasisel kasutamisel. Kõige olulisemaks teguriks on kahtlemata koordinaatide täpsus. Kuna asukoha andmeid kasutatakse eeskätt vigastatud ja hukkunud loomade käitlemise korraldamiseks, ei ole kokkupõrkekoha täpne määratlemine oluline. Häirekeskusele edastatav asukohainfo pärineb kas mastipõhise mobiilpositsioneerimise või AML (*Advanced Mobile Location*) tehnoloogia¹ andmetest GNSS või *wi-fi* võrkude põhjal. Praktikas tähendab see viimast kindlat seadme asukohta, mis sattus mitmel juhul kirjeldusele vastavast kohast kümnete kilomeetrite kaugusele eluhoonele. Näiteks Laiküla ristmikul toimunud kokkupõrke koordinaadid vastasid ühe Haapsalu elumaja asukohale. Isegi kui asukoht on kokkupõrkekohale lähemal, tähistab see kõne alustamise kohta. Väga levinud olid koordinaadid bussipeatustes, mis on loogiline koht ohutuks peatumiseks.

¹ <https://eena.org/our-work/eena-special-focus/advanced-mobile-location/>

Asukohtade kirjelduste tekstides oli märgitud ka tee nimesid, numbreid ja vastavaid kilomeetreid. Kui tekstis puudus täiendav selgitus ja ei olnud konkreetselt märgitud, et juhtum toimus kilomeetriposti juures, siis määrati asukohaks kilomeetrine lõik. Juhul kui asukoht oli märgitud suurema objekti järgi (põld, metsatukk, hekk), siis märgiti joonobjekt kogu vastava teelõigu ulatuses. Ka punktina määratud asukoht ei pruugi alati olla täpne, kuna kirjeldus tihti tähistab looma leidmise asukohta, mitte kokkupõrkekohta. Seetõttu tuleks arvestada ka punktide puhul suurusjärgus 50 meetrit ebatäpsust. Kui asukohta ei olnud võimalik määratleda täpsemalt kui kolm kilomeetrit (näiteks kahe asula vahel), ei loetud asukohta tuvastatavaks.

Korduvate kirjade osakaal on seoses koordinaatide kasutamisega oluliselt langenud, kuid varasemates andmetes esineb neid ohtralt. Näiteks 2019. aasta juulis Vaida ja Patika vahel hukkunud põdra kohta oli kokku 14 teadet. Esines korduvkirjeid, kus sama asukoht oli kirjeldatud täiesti erinevate maamärkide järgi, näiteks ühel juhul oli kirjeldus antud nii ristmiku, tee numbri kui ka kilomeetri ning bussipeatuse järgi. Samuti on korduvate kirjade puhul kohati loom märgitud erinevalt, sellisel juhul määrati õigeks viimasena (tavaliselt jahimehe poolt) mainitu. Välja võib tuua ka juhtumid, kus hukkunud põdraks peetud objekt osutus vanadeks autorehvideks või juhtumi, kus esmalt hülgena ja seejärel koprana tuvastatud objekti puhul teisaldas jahimees hukkunud koera. Andmestikus sisaldas ka liiklusega mitteseotud juhtumeid, näiteks ajujahi käigus sõiduteed ületanud põder kukkus auku ja murdis kaela.

3. ULUKIÕNNETUSTE KOONDUMISKOHAD

Töö teisel etapil viidi läbi ruumiandmete analüüs koondumiskohtade leidmiseks. Kõigi riigiteedele määratud õnnetuste kohta tehti sagedusanalüüs ja tuvastati statistiliselt olulised koondumiskohad. Aluseks võeti eelmine samalaadne töö², kus uuriti ulukiõnnetusi kuni 2018. aastani. Analüüsis ühtsuse huvides kasutati ainult käesoleva töö raames korrastatud andmestikku ehk 2019-2024 registreeritud õnnetusi. Selline lähenemine tagab sisendandmete ühetaolisuse, samuti saab vältida olukorda, kus juba muutunud teedevõrgu ja maakasutuse koosseis on riskitaset muutnud.

3.1 Metoodika

Ruumianalüüsiks viidi juhtumite asukohad ühtsele kujule ja punktidenähtude määratletud õnnetustele genereeriti 100 meetri pikkune joonobjekt, 50 meetrit mööda tee telge mõlemas suunas. Andmestik varustati lisaks liigipõhistele kaaludele ka toimumise aasta ööpäeva keskmisele liiklussagedusele antud lõigul. Klasterite identifitseerimiseks kasutati KDE³ metoodikat, mis realiseeriti *Pythonis*. Meetod põhineb tihedusfunktsiooni (õnnetuste arv teelõigul) tuumameetodil, mille käigus tuvastatud klasterite statistilise olulisuse leidmiseks kasutatakse *Monte Carlo* simulatsiooni. Analüüsi käigus jaotati teedevõrk lühikesteks (50-200 meetrit) lõikudeks, mis seostati õnnetuste joonte põhjal genereeritud punktandmetega – jooned jaotati klasteranalüüsi lõigu pikkusteks lõikudeks, millele omistati kaal vastavalt lõikude arvule. Väljundparameetriteks oli iga klasteri kohta statistiline olulisus (p-väärtus) ja klasteri tugevus, mis sõltus õnnetuste arvust ja paiknemisest, klasteri pikkusest ja juhtumite arvust väljaspool klasterit samal teel. Klasteri tugevus ei ole absoluutne näitaja, vaid seda saab kasutada klasterite omavaheliseks võrdluseks.

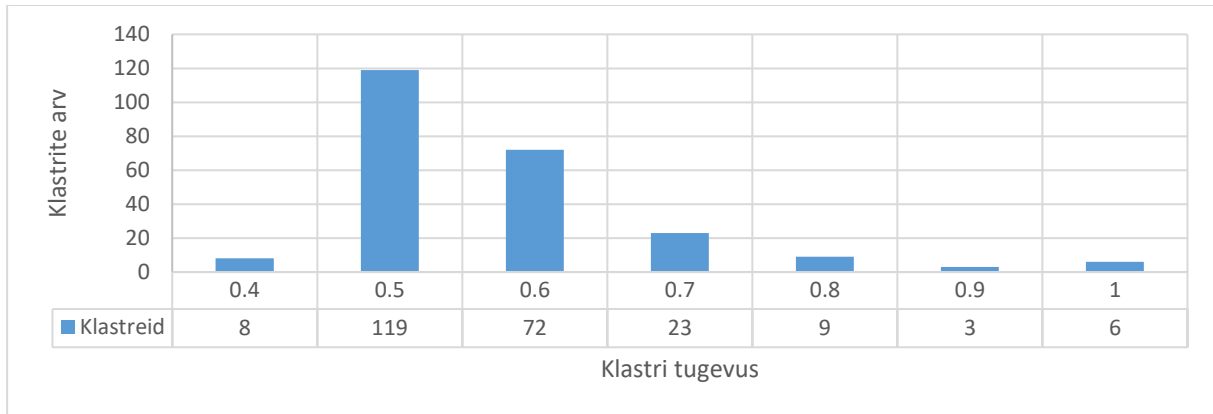
Nagu eelnevalt näidatud, ei olnud õnnetuste asukohad reeglina punktina väljendatud. Probleemi lahendamiseks genereeriti joonobjektidele 50-meetrise sammuga punktid, millest igaühel oli võrdne kaal. Näiteks 350-meetrise joonobjekti puhul moodustus 8 punkti, mille igaühe kaal oli 0,125. Aluseks olevasse teedevõrku ei kaasatud kohalikke teid, rampe ega ühendusteid. Eraldatud sõidusuundadega teedel kasutati ainult esimest sõiduteed, kuna sellega on seotud Teeregistri muud näitajad, sealhulgas liiklussagedus.

² „Eesti riigimaanteed võrgu loomaõnnetuste registri täiendamine, liiklusohtlike lõikude selgitamine ning kaardirakenduse loomine“, Hendrikson & Ko, 2019.

³ <https://www.kdeplus.cz/en/method>

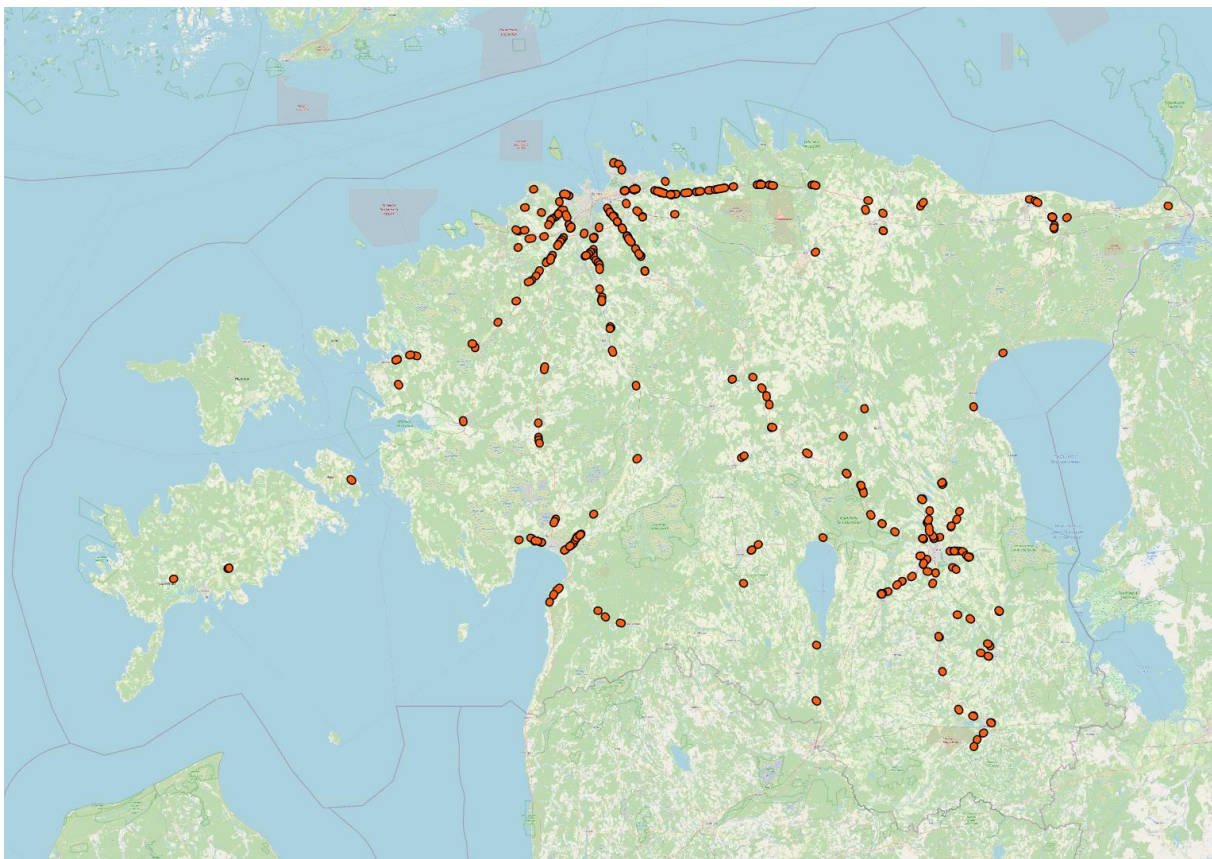
3.2 Tulemused

Statistiliselt olulisi ($p < 0,05$) klastreid ilmnis teedevõrgul kokku 240 kogupikkusega 137,5 kilomeetrit. Klasterite tugevused jälgivad üldiselt normaaljaotust, kuid madala tugevusega klasterid ei ole statistiliselt olulised.



Joonis 12. Klasterite jaotumine tugevuste lõikes.

Ruumiliselt jagunevad klasterid peamiselt Tallinna, Tartu ja Pärnu ümbrusesse, kus on riigiteedel ka suurimad liiklussagedused.



Joonis 13. Koondumiskohtade paiknemine.

4. OHUTEGURITE ANALÜÜS

Looduslike ohutegurite analüüsi eesmärk oli analüüsida registreeritud ulukiõnnetuste seoseid maastikutunnustega ning selle põhjal selgitada välja erinevate teelõikude riskid.

4.1 Metoodika

Analüüsiks kasutati gradientvõimendatud otsustuspuu meetodit⁴, mis võimaldab lisaks riskihinnangutele tuvastada ka kõige olulisemad parameetrid. Ette valmistati teedevõrgu andmestik kuni 100-meetriste lõikudega, millest igapähele leiti järgmised parameetrid.

- Teeregistri andmetest:
 - sõidutee laius
 - mulde laius
 - liiklussagedus
 - kurvilisus
- Eesti topograafilise andmekogu vektorandmetest:
 - Metsade andmekihist
 - Metsa kaugus
 - Metsa osakaal teelõigu 100-meetrisest puhvril
 - Kaugus metsani
 - Lagealade andmekihist
 - Lageda ala kaugus
 - Lageda osakaal teelõigu 100-meetrisest puhvril
 - Kaugus lagedani
 - Märgalade andmekihist
 - Märgala kaugus
 - Märgala osakaal teelõigu 100-meetrisest puhvril
 - Kaugus märgalani
 - Hoonete andmekihist
 - Kaugus lähima hooneni
 - Hoonete tihedus
 - Voolu- ja seisuveekogude andmekihtidest
 - Kaugus veekoguni
 - Veekogu katvus 100 meetrises puhvril

⁴ <https://stacc.ee/et/otsustuspul-pohinevad-masinoppemeetodid/>

- Samakõrgusjoonte andmekihist
 - Kõrguste erinevus
 - Oru tuvastamine
 - Nõlva kalle
- Põllumajanduse registrite ja informatsiooni ameti vektorandmetest:
 - Põllumaa kaugus
 - Põllumaa osakaal
 - Kaugus kasvatatava vilja järgi (teravili, kartul)

Arvutustes seati sihtparameetriks enamlevinud liikidega kokkupõrge kolmes jaotuses:

- Binaarne: õnnetuse esinemine/puudumine teelõigul
- Arv: õnnetuste arv teelõigul
- Normaliseeritud: õnnetuste arv miljoni sõidukilomeetri kohta

Lisaks arvestati liigiomaseid ohukaale vastavalt OÜ Rewild poolt 2018. aasta uuringus⁵ toodud väärtustele.

- Pöder (*Alces alces*) kehamass: 275–600 kg ohukaal: 1,000
- Metssiga (*Sus scrofa*) kehamass: 125–130 kg ohukaal: 0,400
- Metskits (*Capreolus capreolus*) kehamass: 16–35 kg ohukaal: 0,125
- Punahirv (*Cervus elaphus*) kehamass: 150–350 kg ohukaal: 0,600

Arvutused viidi läbi täieliku sisendiga, seejärel ilma liiklussageduseta ja lõpuks ilma tee parameetriteta, et hinnata erinevate parameetrite mõju. Nii moodustus kolm erinevat mudelit.

1. Kõigi parameetritega mudel
2. Ilma liiklussageduseta mudel
3. Mudel ilma liiklussageduse ja teetaristu andmeteta

4.2 Tulemused

Mudeli treenimisel ja testimisel saadud tulemusi hinnati kahe parameetri alusel, nendeks olid numbriliste väärtuste puhul korrelatsioonikordaja R^2 ja binaarmudelil ennustusmudeli kurvi alune pindala (AUC – *area under the curve*), mis tähistab õigete vastuste osakaalu. Mudelite parameetrid on toodud tabelis.

⁵ Remm, J., Remm, P., Jaik, K., 2018. Ulukiohtlikud teelõigud. Ulukiõnnetuste koondumiskohtade tehniline analüüs. OÜ Rewild.

Tabel 1. Mudelite täpsuse hinnangud.

Mudel	Loomaliik	Tulem	Täpsuse parameeter
Kõigi parameetritega mudel	Kõik loomad	binaarne	AUC: 0,91
		arv	R2: 0,22
		normaliseeritud	R2: 0,02
	Metskits	binaarne	AUC: 0,92
		arv	R2: 0,21
	Pöder	binaarne	AUC: 0,95
		arv	R2: 0,12
	Metssiga	binaarne	AUC: 0,94
		arv	R2: 0,07
	Punahirv	binaarne	AUC: 0,96
		arv	R2: 0,04
	Ilma liiklussageduseta mudel	Kõik loomad	binaarne
arv			R2: 0,2
normaliseeritud			R2: 0,02
Metskits		binaarne	AUC: 0,89
		arv	R2: 0,19
Pöder		binaarne	AUC: 0,93
		arv	R2: 0,1
Metssiga		binaarne	AUC: 0,92
		arv	R2: 0,06
Punahirv		binaarne	AUC: 0,94
		arv	R2: 0,03
Mudel ilma liiklussageduse ja teetaristu andmeteta		Kõik loomad	binaarne
	arv		R2: 0,16
	normaliseeritud		R2: 0
	Metskits	binaarne	AUC: 0,85
		arv	R2: 0,15
	Pöder	binaarne	AUC: 0,9
		arv	R2: 0,07
	Metssiga	binaarne	AUC: 0,89
		arv	R2: 0,04
	Punahirv	binaarne	AUC: 0,92
		arv	R2: 0,03

Mudelite täpsuse võrdlus näitas, et mida vähem on parameetreid kaasatud, seda madalam on ka mudeli täpsus. Suurima kaaluga ongi liiklussagedus. Selle mõju on eriti tugev metskitsedega toimunud kokkupõrgete puhul, samas kui hirvedega seotud juhtumid on liiklussagedusest vähem mõjutatud. Väikseima mõjuga on mudelis kaugused erinevatest põllukultuuridest, samas kaugus põllust üldiselt kuulub olulisemate tegurite hulka, Mõnevõrra üllatuslikult on madala tähtsusega kaugus hoonetest. Järgnevalt on toodud parameetrite tähtsused täielikus mudelis.

Tabel 2. Parameetrite tähtsused täielikus mudelis.

Parameeter	metskits	metssiga	punahirv	põder	üldmudel
AKÖL	0.254	0.153	0.101	0.181	0.259
Mulde laius	0.112	0.085	0.080	0.080	0.087
Kaugus metsast	0.051	0.055	0.065	0.055	0.059
Kaugus põllust	0.055	0.053	0.058	0.049	0.060
Kaugus rohumaast	0.049	0.053	0.057	0.049	0.054
Teelõigu pikkus	0.035	0.051	0.055	0.050	0.048
Tee laius	0.051	0.047	0.026	0.056	0.039
Rohumaa osakaal	0.032	0.038	0.044	0.038	0.040
Metsaserva tihedus	0.027	0.040	0.051	0.043	0.031
Metsa osakaal	0.027	0.039	0.047	0.044	0.034
Kaugus veekogust	0.032	0.040	0.045	0.038	0.032
Põllumaa osakaal	0.027	0.032	0.032	0.031	0.042
Sinuoossus	0.030	0.034	0.034	0.033	0.031
Samakõrgusjoonte tihedus	0.024	0.031	0.036	0.030	0.031
Minimaalne kõrgus	0.021	0.025	0.039	0.024	0.027
Maksimaalne kõrgus	0.021	0.026	0.037	0.024	0.023
Kaugus teraviljast	0.023	0.027	0.025	0.034	0.022
Kurviliisus	0.023	0.027	0.028	0.023	0.025
Kaugus märgalast	0.014	0.027	0.031	0.017	0.028
Kaugus loomatõkkeaiast	0.018	0.024	0.022	0.024	0.014
Kaugus hoonest	0.018	0.017	0.019	0.016	0.023
Hoonete tihedus	0.016	0.018	0.018	0.015	0.021
Teravilja osakaal	0.014	0.021	0.015	0.016	0.021
Veekogude osakaal	0.007	0.007	0.013	0.007	0.014
Kõrguste amplituud	0.006	0.010	0.007	0.007	0.010
Märgala osakaal	0.003	0.007	0.006	0.009	0.005
Kaugus maisipõllust	0.004	0.008	0.005	0.003	0.003
Maisipõllu osakaal	0.002	0.003	0.004	0.001	0.002
Loomatõkkeaed	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001
Kartulipõllu osakaal	0.001	0.001	0.000	0.001	0.002

Ilma liiklussagedust arvestamata on olulisim parameeter mulde laius, mis viitab otseselt vahemaale, mida uluk peab tee ületamiseks läbima. Põtrade puhul on täiendavalt oluline veel

tee laius, mis oli samas hirvede puhul oluliselt vähema tähtsusega. Liikide vahel eristus veel näiteks kaugus märgalast, mis oli oluline metssigade ja hirvede puhul, kuid vähetähtsam põtrade ja metskitsega kokkupõrgete modelleerimisel.

Tabel 3. Parameetrite tähtsused ilma liiklussageduseta mudelis.

Parameeter	metskits	metssiga	punahirv	põder	üldmudel
Mulde laius	0.190	0.125	0.098	0.124	0.144
Kaugus metsast	0.071	0.067	0.068	0.067	0.070
Kaugus põllust	0.079	0.062	0.061	0.063	0.072
Tee laius	0.087	0.066	0.031	0.089	0.064
Kaugus rohumaast	0.065	0.063	0.060	0.063	0.065
Teelõigu pikkus	0.043	0.056	0.062	0.058	0.053
Rohumaa osakaal	0.038	0.042	0.048	0.046	0.044
Metsa osakaal	0.032	0.044	0.051	0.047	0.036
Kaugus veekogust	0.038	0.044	0.049	0.042	0.037
Metsaserva tihedus	0.031	0.043	0.053	0.045	0.034
Sinuoosus	0.037	0.039	0.042	0.038	0.036
Põllumaa osakaal	0.031	0.035	0.038	0.036	0.045
Samakõrgusjoonte tihedus	0.028	0.035	0.042	0.033	0.034
Minimaalne kõrgus	0.026	0.030	0.041	0.026	0.030
Maksimaalne kõrgus	0.026	0.029	0.043	0.027	0.026
Kurvilisus	0.028	0.030	0.034	0.028	0.029
Kaugus teraviljast	0.028	0.029	0.029	0.038	0.025
Kaugus märgalast	0.015	0.029	0.029	0.018	0.029
Kaugus loomatõkkeaiast	0.024	0.028	0.023	0.027	0.019
Kaugus hoonest	0.021	0.019	0.021	0.018	0.025
Teravilja osakaal	0.016	0.023	0.017	0.017	0.023
Hoonete tihedus	0.018	0.018	0.020	0.015	0.021
Veekogude osakaal	0.008	0.008	0.014	0.008	0.015
Kõrguste amplituud	0.007	0.011	0.007	0.008	0.010
Märgala osakaal	0.004	0.007	0.006	0.009	0.005
Kaugus maisipõllust	0.005	0.009	0.005	0.003	0.003
Maisipõllu osakaal	0.002	0.003	0.004	0.001	0.002
Loomatõkkeaed	0.001	0.003	0.002	0.005	0.001
Kartulipõllu osakaal	0.001	0.001	0.000	0.000	0.002

Jättes välja kõik teega seotud parameetrid, jäid olulisemateks kaugused põllust, metsast ja rohumaast. Põld oli kõige olulisem metskitsede jaoks, teiste ulukite puhul oli määravaks metsa lähedus.

Tabel 4. Parameetrite tähtsused tee parameetriteta mudelis.

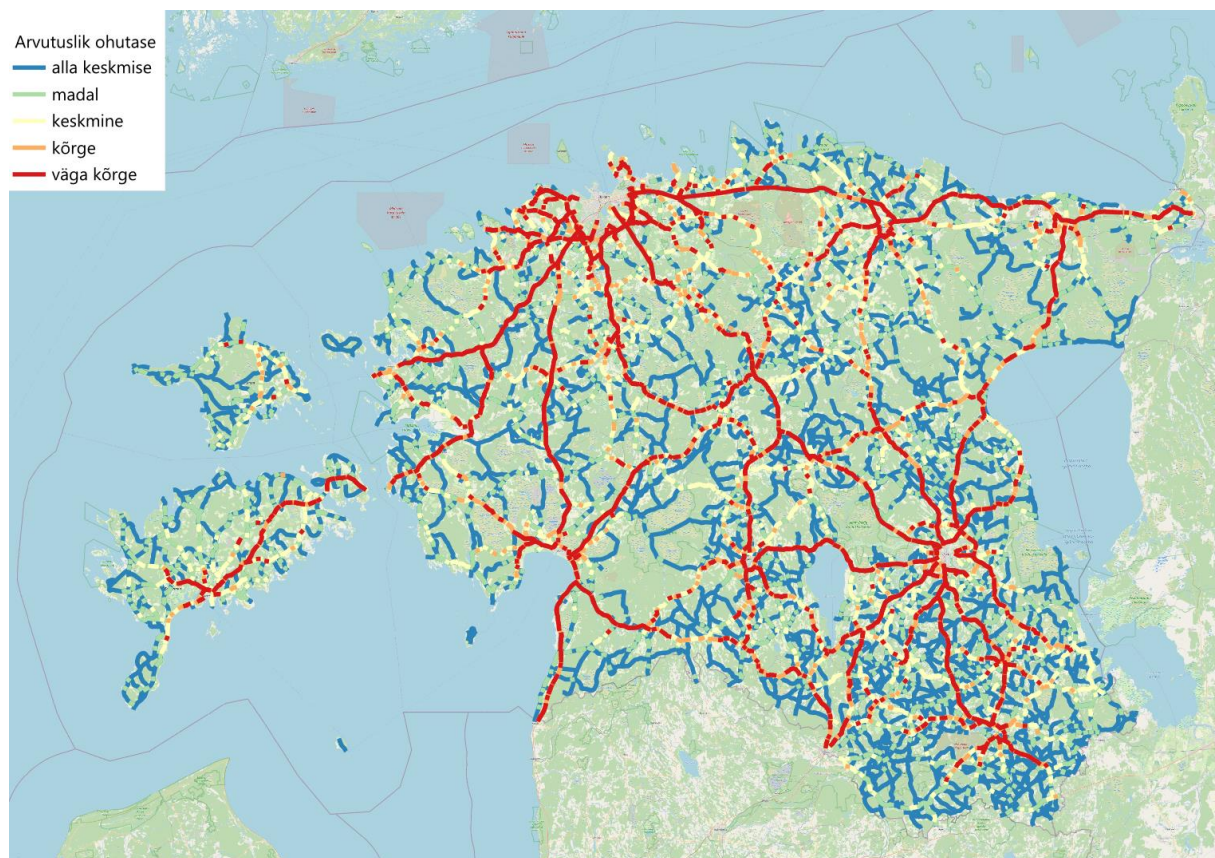
Parameeter	metskits	metssiga	punahirv	põder	üldmudel
Kaugus põllust	0.145	0.097	0.089	0.098	0.124
Kaugus metsast	0.126	0.104	0.095	0.115	0.109
Kaugus rohumaast	0.118	0.098	0.081	0.102	0.105
Rohumaa osakaal	0.051	0.065	0.071	0.067	0.058
Kaugus veekogust	0.050	0.054	0.054	0.059	0.056
Metsa osakaal	0.051	0.054	0.055	0.054	0.044
Metsaserva tihedus	0.043	0.055	0.053	0.058	0.045
Põllumaa osakaal	0.040	0.050	0.061	0.056	0.046
Samakõrgusjoonte tihedus	0.051	0.050	0.050	0.052	0.046
Kaugus teraviljast	0.044	0.045	0.041	0.047	0.059
Maksimaalne kõrgus	0.040	0.040	0.042	0.039	0.038
Minimaalne kõrgus	0.033	0.040	0.044	0.038	0.035
Kaugus märgalast	0.037	0.038	0.035	0.044	0.035
Kaugus hoonest	0.027	0.032	0.046	0.030	0.030
Teravilja osakaal	0.027	0.032	0.045	0.029	0.027
Hoonete tihedus	0.018	0.032	0.039	0.021	0.031
Veekogude osakaal	0.026	0.022	0.022	0.021	0.026
Kõrguste amplituud	0.021	0.027	0.018	0.020	0.026
Märgala osakaal	0.022	0.022	0.021	0.018	0.022
Kaugus maisipõllust	0.009	0.009	0.015	0.008	0.016
Maisipõllu osakaal	0.008	0.012	0.008	0.009	0.009
Kartulipõllu osakaal	0.004	0.007	0.006	0.009	0.005

Saadud mudelite põhjal prognoositi kogu riigiteede võrgule ulukiga kokkupõrke riskid vastavalt konkreetse teelõiguga seotud parameetritele. Saadud riskide põhjal arvatati koondriski skoor, mille väärtus näitab suhtelist ohtu. Kolme mudeli puhul olid teedevõrgu lõikes erinevused 10-15% ulatuses, peamiselt seoses liiklussageduse erinevustega. Kuivõrd liiklussageduse muutused on aastate lõikes reeglina väikesed (alla 20%), valiti üldist riski iseloomustama kõigi parameetritega mudel. Vastasel juhul võib mudel kohanduda liigselt suure liiklussagedusega lõikudega parameetrite järgi ja ennustada pigem liiklussagedust kui ulukiõnnetuse riski.

Tabel 5. Teelõikude jaotumine ohutasemete vahel.

Jaotus	Lõikude kogupikkus (km)
0 alla keskmise	10882.4
1 madal	2518
2 keskmine	1675.1
3 kõrge	837.5
4 väga kõrge	837.6

Lõpliku kaardikihi riskiskoori alusel määratleti ohutasemed vastavalt statistilisele jaotusele sarnaselt akadeemilise hindamise põhimõtetele. Piirideks on aritmeetiline keskmine, 80. tsendiil, 90. tsendiil ja 95. tsendiil. Riskitasemete jaotus vahemike vahel on toodud tabelis, geograafiline jaotus on toodud joonisel.



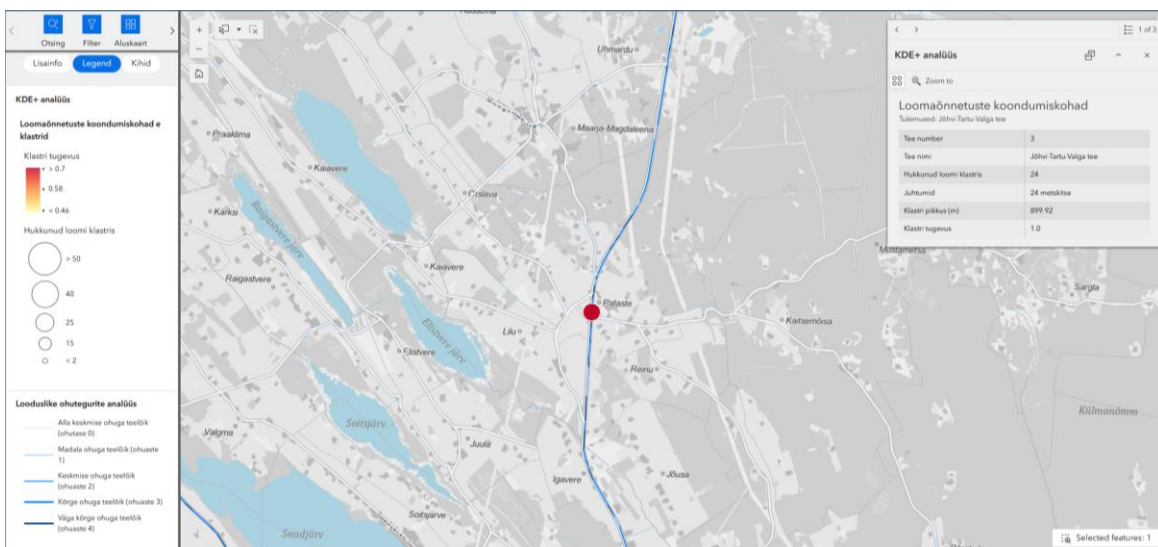
Joonis 14. Ohutasemete jaotumine teedevõrgul.

5. KAARDIRAKENDUS

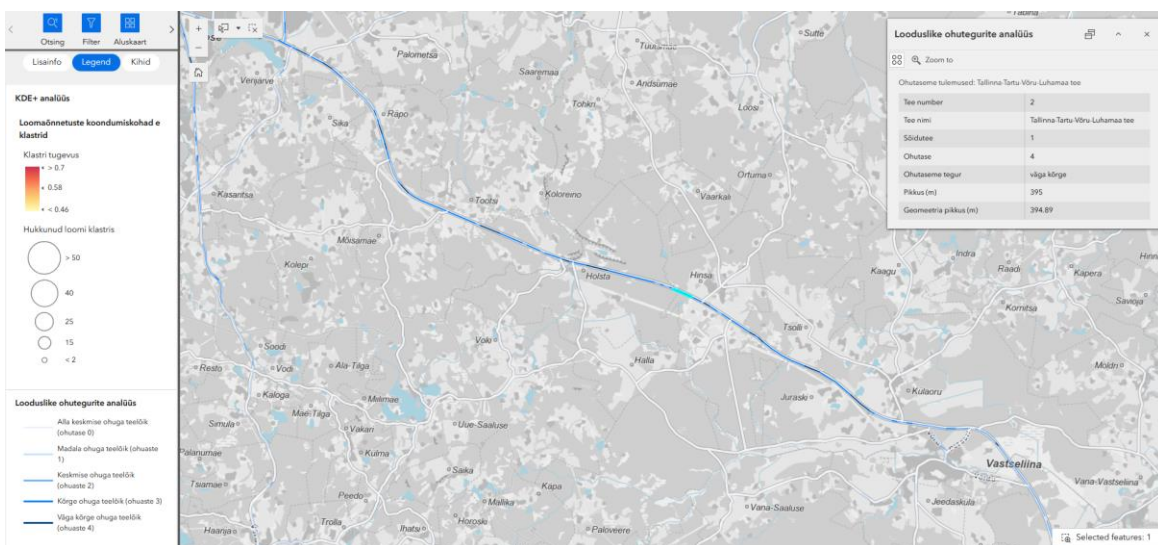
Koostöös Transpordiameti teevara osakonnaga koostati andmete põhjal *ArcGIS Experience Builder* vahendiga kaardirakendus, mis võimaldab andmeid vaadata Maa-ja ruumiameti aluskaartide taustal. Rakenduses on toodud järgmised kaardikihid.

1. Loomaõnnetuste koondumiskohad, kus värviga on kujutatud klastrite tugevus ja mulli suurusega klastris toimunud õnnetuste arv.
2. Ohutegurite analüüs, kus värviga on kujutatud teelõigu kuulumine ohutase klassidesse.

Kaardil klõpsates avanevad infoaknad, mis näitavad iga elemendi kohta detailsemaid andmeid.



Joonis 15. Kaardirakenduse vaade avatud koondumiskoha infoaknaga.



Kaardirakenduse vaade avatud ohutase infoaknaga.

6. KOKKUVÕTE

Käesolevas töös analüüsiti Eesti riigiteedel aastatel 2008-2024 toimunud loomaõnnetusi eesmärgiga tuvastada kokkupõrkeohtlikud lõigud ja määratleda peamised ohutegurid. Töö koosnes kolmest etapist: teadete asukohtade määratlemine, ulukiõnnetuste koondumiskohtade leidmine ning ohutegurite analüüs.

Andmete korrastamisel töödeldud 30 390 andmerekast määratleti 21 422 unikaalset ulukiõnnetust, millest 19 751 toimus riigiteedel. Analüüsi tulemusena selgus, et loomaõnnetustes domineerivad suurulukid, eelkõige metskitsed, kellega oli seotud 88% kõigist kokkupõrgetest. Järgnesid põder (6%) ja metssiga (4%). Aasta lõikes on õnnetuste risk suurim sügistel ja maikuus, mis vastab üldistele ulukite käitumismustritele. Nädalate lõikes eristus neli suure õnnetuste osakaaluga perioodi: augustikuu lõpp, oktoobrikuu algus, novembrikuu algus ning mai teine pool.

KDE+ meetodiga tuvastati kokkuvõttes 240 ulukiõnnetuste koondumisala, mille kogupikkus oli 137,5 km. Ohutegurite analüüsiks kasutati masinõpet. Analüüsi kaasati 28 erinevat parameetrit, mis hõlmasid tee geomeetrilisi näitajaid, maakasutust, liiklussagedust ning infrastruktuurielemente. Mudelite võrdlemisel ilmnes, et liiklussagedust arvestav mudel saavutas parima tulemuslikkuse ($AUC = 0,83$), millele järgnesid ilma liiklussageduseta ($AUC = 0,80$) ja tee parameetriteta ($AUC = 0,73$) mudelid.

Parameetrite tähtsuse analüüs näitas, et liiklussagedust arvestava mudeli puhul on olulisimad tegurid liiklussagedus ise, mulde laius ja kaugus metsast. Ilma liiklussageduseta mudelis tõuseb esikohale mulde laius, mis viitab otseselt vahemaale, mida uluk peab tee ületamiseks läbima. Põtrade puhul oli täiendavalt oluline tee laius, samal ajal hirvede puhul oli see vähetahtsam. Liikide vahel eristus kauguse tähtsus märgalast, mis oli oluline metssigade ja hirvede puhul, kuid vähem oluline põtrade ja metskitsede kokkupõrgete modelleerimisel.

Töö tulemused vormistati koostöös Transpordiameti teevara osakonnaga kaardirakenduseks, mis on kättesaadav aadressil <https://transpordiamet.ee/elusloodus>.