

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Ökoloogia ja maateaduste instituut

Geograafia osakond

Bakalaureusetöö geograafias (12 EAP)

Liikluse müra levik haljastatud tänavaruumis Tartus kahe aastaaja võrdluses

Mihhail Batura

Juhendaja: PhD Age Poom

Tartu 2024

Annotatsioon

Liikluse müra levik haljastatud tänavaruumis Tartus kahe aastaaja võrdluses

Õhusaaste kõrval on liikluse müra üks peamisi keskkonnategureid, mis mõjutab jalkäijate tervist ja mugavust ning liikumistekonna valikut tänavaruumis. Seega on oluline uurida, milliseid müra leevendavaid meetmeid on otstarbekas kasutada kaasaegses linnaruumis. Bakalaureusetöö eesmärk on selgitada, kuidas haljastus mõjutab tänavamüra levikut eri aastaegadel ning kuidas müratase väheneb seoses kaugusega tänavast. Uurimistöös analüüsiti keskmist mürataset õhtusel tipptunnil neljas Tartu linnas paiknevas teelõigus. Selgus, et haljastuse sesoonsuse mõju müra levikule oli mõõdukas ja et linnaruumis mõjutasid mürataset lisaks autoliiklusele ka muud keskkonnategurid.

Märksõnad: liikluse müra, roheala, tänavapuud, heli summutamine

CERCS kood: P510 Füüsiline geograafia, geomorfoloogia, mullateadus, kartograafia, klimatoloogia

Abstract

The propagation of traffic noise in green street space in Tartu by comparing two seasons

Traffic noise is one of the main environmental factors that affects the health and comfort of pedestrians and the choice of travel route in street space, next to air pollution. Therefore, it is important to investigate which noise mitigation measures are practical to use in a modern urban space. The bachelor's thesis aims to clarify how street trees reduce traffic noise in different seasons and how the noise level decreases with distance from the street. As part of the study, the average noise level during the evening rush hour in the city of Tartu was analyzed in four road sections. In summary, it turned out that the effect of the seasonality of greenery on the propagation of noise was moderate and other environmental factors influenced the noise level in the urban space in addition to car traffic.

Keywords: traffic noise, green space, street trees, sound attenuation

CERCS code: P510 Physical geography, geomorphology, pedology, cartography, climatology

Sisukord

Sissejuhatus	4
1. Teoreetiline ülevaade	5
1.1 Müra ja haljastuse roll linnaruumis ning nende mõju liiklejatele	5
1.1.1 Liiklusmüra olemus ja selle mõju tervisele	5
1.1.2 Haljastuse roll ja funktsioon linnaruumis	5
1.1.3 Kauguse ja haljastuse summutav toime	6
1.1.4 Jalakäija kokkupuude müra ja haljastusega tänavaruumis	8
1.2 Keskkonnamüra puudutavad soovitused ja normatiivid	8
1.2.1 Rahvusvaheliste organisatsioonide soovitused	8
1.2.2 Eesti siseriiklikud normatiivid	9
1.3 Tervisliku tänavaruumi korraldus	10
1.3.1 Tervisliku tänavaruumi kontseptsioone mujal maailmas	10
1.3.2 Tartu visioon tänavaruumist	12
2. Andmed ja meetodika	14
2.1 Uurimisalade kirjeldus	14
2.2 Andmed	16
2.3 Meetodika	16
2.3.1 Andmete kogumine	16
2.3.2 Analüüs	19
3. Tulemused	21
4. Arutelu	28
Kokkuvõte	30
Summary	31
Tänuavaldused	33
Kasutatud kirjandus	34
Lisad	40

Sissejuhatus

Tänapäevase linnaplaneerimise üks eesmärke on tagada tervislik ja turvaline elukeskkond elanikele, sealhulgas jalakäijatele ja jalgratturitele. See eeldab leevendavate meetmete rakendamist, et vähendada negatiivsete keskkonnategurite mõju inimeste tervisele (Eesti Arhitektide Liit jt, 2012). Selliste häirivate keskkonnategurite hulka kuuluvad õhusaaste, suurenenud müratase ja kõrge temperatuur (EEA, 2018). Kõige sagedamini kasutatakse kiirtee ääres liiklusrüüa taseme vähendamiseks betoonist müratõkkeid. Igale magistraaltänavale pole aga võimalik betoonpiirdeid paigaldada, kuna see läheb linnaelarve jaoks liiga kulukaks. Lisaks rikub see linna arhitektuurilist ilmet ja linnaruumi esteetikat. Teine võimalus liiklusrüüa summutamiseks on rajada pargid ja istutada haljasriba maantee ja kõnnitee vahele (EVS, 2016). Mõned uuringud on näidanud, et piki teed asuv haljasriba võib vähendada liiklusrüüa taset (Mueller jt, 2020; Samara & Tsitsoni, 2007; Yusibova, 2023).

Bakalaureusetöö eesmärk on selgitada, kuidas haljastus mõjutab tänavarüüa levikut eri aastaegadel ning kuidas müratase väheneb seoses kaugusega tänavast. Töös püstitati järgmised uurimisküsimused.

1. Kuidas vähendab kõnnitee kaugus sõiduteest haljastatud tänavarüüas jalakäija jaoks tänavalt kostuvat müra?
2. Kuivõrd vähendab haljastus jalakäijani kostuvat liiklusrüüa erinevatel aastaegadel?

Teoreetilise ülevaate raames käsitletakse müra olemust ning selle mõju linnaelanikele ja jalakäijatele, haljastuse mõju jalakäijatele, keskkonnarüüraga seotud uuringuid ja tänavavõrgu haljastusega seotud kontseptsioone eri linnades. Empiiriline andmestik kogutakse varasematest liiklussageduse- ja mürauringutest ning Tartu linnas paiknevatel uurimisaladel tehtud müramõõtmisest. Metoodika osas kirjeldatakse uurimisalasid ning andmekogumise ja analüüsi meetodeid. Tulemuste ja arutelu osas analüüsitakse mõõtmiste käigus kogutud andmeid, võrreldakse neid seniste liiklusrüüauringutega Tartus ja arutletakse tulemustes leitud seaduspärasuste üle.

1. Teoreetiline ülevaade

1.1 Müra ja haljastuse roll linnaruumis ning nende mõju liiklejatele

1.1.1 Liiklusmüra olemus ja selle mõju tervisele

Keskkonnamüra on igasugune inimesest lähtuv müra keskkonnas, mis võib negatiivselt mõjutada inimese tervist ja vähendada tema elukvaliteeti (Euroopa Parlament & Euroopa Liidu Nõukogu, 2002). Liiklusmüra kui keskkonnamüra komponent linnaruumis on mootorsõidukite, rongide, õhu- ja veetranspordi liikumisest tulenev müra, arvestades nende sõidukite aastaringset keskmist liiklussagedust (RT I 21.12.2016 27, 2017). Lennu- ja raudteetranspordist tulenev müra on reeglina suurem kui maanteetranspordi liiklusmüra, kuid linnakeskkonna levinum müraallikas on autotransport. Kuna autoliiklus esineb kõikjal linnaruumis, puutub elanikkond sõidukitest tuleneva liiklusmüraga kokku kogu aeg. (EEA, 2020).

Maailma Terviseorganisatsiooni andmetel on liiklusmüra üks sagedasemaid terviseprobleemide põhjuseid (WHO, 2018). Liiklusmüra moodustab 75% kõigist elanike tervisekaebustest keskkonnamüra kohta. Kuigi müratase ei ole piisavalt kõrge, et kahjustada inimese kuulmist, esineb siiski ebamugavust ja negatiivseid tervisemõjusid (EEA, 2020). WHO andmetel põhjustab liiklusmüra kõige sagedamini ärritust, ainevahetushäireid ja laste kognitiivseid häireid (WHO, 2018). Samuti on tuvastanud, et niisugused häired võivad eriti tundlikel inimestel põhjustada sagedast vererõhu tõusu (Dzhambov & Dimitrova, 2018). Öise keskkonnamüra kõige levinum negatiivne mõju on unehäired (Münzel jt, 2020). Unehäirele pööratakse erilist tähelepanu, sest see võib põhjustada ajuhaigusi, aga ka raskeid südameveresoonkonna haigusi (Daiber jt, 2020). Nende haiguste hulgas eristatakse südame isheemiatõbe. Igal aastal kaebab umbes 40 000 südame isheemiatõvega patsienti liiklusmüra üle (Khomenko jt, 2022). Teaduskirjanduses on tõestatud ka seost öise üle 40 dB liiklusmüra ja depressioonijuhtumite vahel (Shi jt, 2023).

1.1.2 Haljastuse roll ja funktsioon linnaruumis

Linnaplaneerimise seisukohalt täidab haljastus mitmeid funktsioone. Haljastusel on ökoloogiline roll, mis tähendab nii taimede kui ka loomade liigirikkuse säilitamist (Tallinna Linnavalitsuse Amet jt, 2022). Elanikkonna seisukohalt võiks haljastus tagada jalakäijatele turvatunde ja kaitsta neid mitmesuguste keskkonnahäiringute eest (Martire jt, 2023). Taimestik vähendab selliseid stressitegureid nagu tänavamüra ja õhusaaste, mõjutades positiivselt inimeste tervist (Marselle jt, 2021). Linnahaljastus soodustab kaudselt ka füüsiliselt aktiivsete

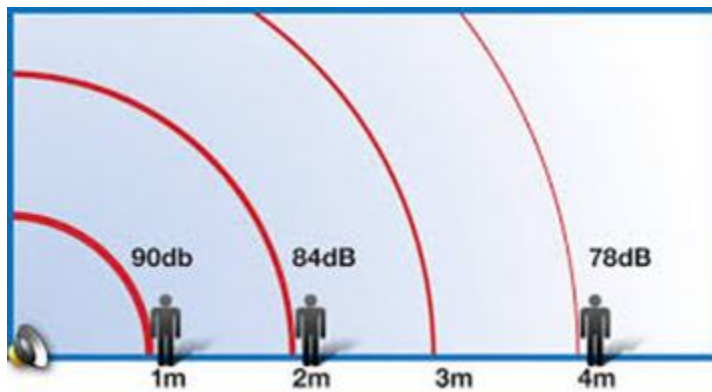
inimrühmade sotsiaalsed sidusust (De Vries jt, 2013). Lisaks on täheldatud, et taimestik avaldab jalakäijatele positiivset psühholoogilist mõju. Märgetud on linna roheliste parkide positiivset mõju laste ja täiskasvanute kognitiivsele võimekusele (Cherrie jt, 2019).

Eestis kehtiva linnatänavade standardi (EVS 843:2016) kohaselt on tänavahaljastuse üks ülesannetest liikluse häirivuse vähendamine (EVS, 2016). Taimestik on määratletud kui muu heli sumbumist mõjutav tegur, kuna selle summutav võime on väiksem kui betoonist müraõhuvallil (EVS, 2006). Suurema müra summutamise efekti saavutamiseks on soovitatav rajada mitmeastmeline haljastus (EVS, 2016). Kuid haljastus nõuab ruumi. Seetõttu on leitud näiteks, et kõikidel tänavatel ei ole ruumi jalgrattateede ja haljastuse jaoks (Kino maastikuarhitektid & Artes Terrae, 2021).

1.1.3 Kauguse ja haljastuse summutav toime

Pöördrüüt-sõltuvuse kohaselt langeb kauguse suurenedes punktallika müra tase vabas õhus pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga. Kui kaugus kahekordistub (joonis 1), siis müra tase langeb 6 dB võrra (Keskkonnaamet, 2023). Müra taset näitab L_p , mis tähendab helirõhutatust. L_p on üks peamistest väärtustest heli tugevuse mõõtmisel ja hindamisel. Heli sumbumist õues mõjutavad tegurid on esitatud EVS-ISO 9613-2 standardis, mille arvutusmeetodeid kasutatakse linna mitmesuguste müraallikatega seotud olukordade hindamiseks. Peamiselt mõjutavad heli sumbumist atmosfääris helisagedus, õhutemperatuur ja suhteline õhuniiskus. Taimed summutavad tõhusalt juhul, kui asuvad üksteisele nii lähedal, et blokeerivad vaate müraallikale (EVS, 2006). Lisaks takistab heli levikut tänavaruumis hoonete lähedus. Hoone seinad peegeldavad helilaineid endast eemale vastupidises suunas, olles tugevamaks takistuseks kui haljastus. Oluline on müra tugevuse pikkus, sealhulgas haljasriba pikkus, kuna heli võib lühikese riba puhul takistusest mööda pääseda (Eensaar, 2023).

Selkimäki jt (2024) uurisid Soome metsade rolli tuulikute tuleneva müra vähendamisel ja kasutasid ISO 9613-2 arvutusmeetodit. Kuid meetod ei sisalda taimestiku struktuurset muutujaid nagu taimestiku kõrgus ja taimkatte laius (Selkimäki jt, 2024). Seetõttu võeti lisaks kasutusele Nord2000 mudel, mis arvestab haljastuse tihedust ja puutüvede keskmist läbimõõtu (Plovsing & Kragh, 2000). Mõlemad mudelid näitasid, et puud takistasid tuulegeneraatoritest tulevat müra levikut, kuid suuremal kaugusel müraallikast näitas Nord2000 mudel puude mõju müra tase vähendamisele paremini kui ISO 9613-2 (Selkimäki jt, 2024).



Joonis 1. Heli levimine atmosfääris pöördruudu seaduse kohaselt. Allikas: Extron (i.a.).

Fang ja Ling (2003) kasutasid oma Taiwanis läbi viidud uurimistöös aga metsavööndi mudelit, mis hõlmas metsavööndi laiust ja pikkust, laialehiste puude kõrgust ja läbipaistvust. Uurimuse eesmärk oli leida seos metsa laiuse, läbipaistvuse ja mürataseme vähenemise vahel. Selleks mõõdeti mürataseme kahel mõttelisel transektil, mis läbisid metsavööndit. Tulemused näitasid pöördvõrdelist seost metsa läbipaistvuse ja mürataseme vahel mürasummutavast eemalduses. Väiksema läbipaistvusega mets vähendas mürataseme rohkem kui suurema läbipaistvusega mets. Parema läbipaistvusega kohtades oli müra sumbumisel suurem roll metsavööndi laiusel (Fang & Ling, 2003).

Fan jt (2010) näitasid, et lehestiku tüüp ja suurus, puude kõrgus ja istutuse tüüp mõjutavad taimestiku mürasummutamise võimet. Uuringus käsitleti laialehelisi ja okaspuid, mida kasutatakse linnahaljastuses nii Hiinas kui ka mujal maailmas. Vaadeldi sirgete ja diagonaalsete ridadena istutatud puuvööndeid. Uuringus leiti, et diagonaalsete ridadena istutatud taimestik on parem barjäär kui piki teed istutatud puud. Samas leiti, et mida kõrgema sagedusega on heli, seda suurem on igasugust tüüpi lehestiku mürasummutusvõime. Ümarate ja ellipsikujuliste lehtedega taimed summutasid müra paremini kui pikkade ja kitsaste lehtedega taimed (Fan jt, 2010).

Samara ja Tsitsoni (2007) uurisid liiklusrüüri vähendamist teeäärse taimestiku poolt Kreekas. Võrreldi kahte teelõiku: esimene oli lõik haljasribaga piki teed, teine vaid murukattega lõik. Müra mõõtmised viidi läbi teega risti oleval mõttelisel joonel ehk transektil, mis ulatus kaugemale haljasalale. Mõõtmisi tehti päeval kella 9-st kuni kella 14-ni. Tulemused näitasid, et teeäärsed istutused summutasid liiklusrüüri. Sõiduteest 60 meetri kaugusel oli metsaalal mürataseme 6 dB madalam kui lagealal. Märkati, et metsamassiivi vahel olevas avausel levib heli samamoodi nagu igal lagedal alal (Samara & Tsitsoni, 2007). Seega, kui uurida haljastuse summutavat toimet, võib avause pikkust haljasriba pikkuse arvutamisel mitte arvestada.

Müller jt (2020) uurisid, kuidas vähendab haljasalade lisamine Barcelonas tänavamüraga seotud surmajuhumite arvu. Selgus, et haljastuse lisamisega kolme piirkonda langes keskmine ööpäevane müratase kogu linnas keskmiselt kolm dB võrra (Mueller jt, 2020). Eesti linnaruumi kontekstis näitas Yusibova (2023) Tallinna liikumiskeskonna kvaliteedi ja kättesaadavuse uuring samuti linnahaljastuse summutavat toimet. Leiti negatiivne korrelatsioon mürataseme ja taimestiku olemasolu vahel. Nendel aladel, kus taimkatte indeks (NDVI) oli kõrge, oli müratase väiksem kui samasugustel haljastuseta aladel (Yusibova, 2023).

1.1.4 Jalakäija kokkupuude müra ja haljastusega tänavaruumis

Jalakäija marsruudivalikut mõjutavad sellised põhitegurid nagu aeg ja vahemaa. Linnaruumis liikudes puutub jalakäija paratamatult kokku ka liikluse müra, õhusaaste ja haljastusega. Liikluse müra on jalakäijate jaoks õhusaaste järel tähtsuset teine negatiivne keskkonnategur, samas kui haljastus on positiivne tegur (Bunds jt, 2019; Poom jt, 2021).

Bundsi jt (2019) uuringus olid jalakäijate eelistuste seisukohalt olulised nii müra kui taimestik. Selgus, et ülaltoodud tegurid mõjutasid marsruudi valikut rohkem kui aeg ja vahemaa. Leiti negatiivne seos mürataseme ja teekonna eelistuste vahel jalakäijate seisukohast. See tähendab, et jalakäijal on mugavam kõndida madalama müratasemega aladel (Bunds jt, 2019). Kuid uuringus ei täpsustatud, millise mürataseme juures oli jalakäijatel mugavam kõndida.

Haljastuse puhul oli positiivne seos taimestiku mahu ja teekonna eelistuste vahel. Jalakäijad eelistaksid kõndida seal, kus on olemas haljastus, inimestel on ka õhtul pärast tööd meeldivam kõndida oma kodu lähedal haljasaladega kõnniteedel (Bunds jt, 2019; Marquet jt, 2020).

1.2 Keskkonnamüra puudutavad soovitused ja normatiivid

1.2.1 Rahvusvaheliste organisatsioonide soovitused

WHO on välja andnud soovitused mürataseme vähendamiseks iga keskkonnamüra allika kohta. Maanteeliiklusest tulenev müratase tuleb vähendada keskmiselt 53 dB-ni ööpäevas (L_{den}) ja 45 dB-ni öösel (L_{night}) (WHO, 2018). Euroopas reguleerib müra normatiive Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2002/49/EÜ. Selle direktiivi üks eesmärke on määratleda ühised uurimismeetodid ja reguleerimise standardid, mida Euroopa Liidu riigid võiksid oma keskkonnapoliitikas rakendada, kuna müra peetakse Euroopas üheks peamiseks keskkonnaprobleemiks. Tähelepanu pööratakse aladele, kus inimesed puutuvad sagedamini kokku keskkonnamüraga. Need on hoonestatud alad, rohealad, sealhulgas ka pargid ja kõnniteed, kus jalakäijad liiguvad ja aega veedavad. Mürasaaste kirjeldamiseks kasutatakse L_{den} ja L_{night} müraindikaatoreid. L_{den} on päevase-õhtuse-öise müra indikaator, mis näitab

keskmist mürataset terve päeva jooksul. L_{night} on öise müra indikaator ning see näitab keskmist mürataset ööajal. Direktiivi kohaselt on Euroopa Liidu riikides soovitatav liikluse müra keskmine piirväärtus 55 dB päeval ja 50 dB öösel. Euroopa Liidu riigid ise kehtestavad piirväärtused iga konkreetse müraallika kohta (Euroopa Parlament & Euroopa Liidu Nõukogu, 2002).

Liikluse müra taset on võimalik vähendada liikluskorralduse, müratõkete rajamise, akende ja hoonete välisseinte mürakindluse suurendamise abil ning teekatte tüübi valikuga. Juhul, kui kiirtee asub elamute läheduses, on vaja luua müratõkke, et müratase elamutes ei ületaks normi. Müratõkke summutav võime võiks olla 5–15 dB, see sõltub tõkke kõrgusest, materjalist, kaugusest tõkke ja müraallika vahel. Samas ei või müratõkked peegeldada müra hoonetele ja elamutele (EVS, 2016).

1.2.2 Eesti siseriiklikud normatiivid

Eestis on kasutusel kaks müraindikaatorit – L_d päevamüraindikaator ja L_n öise müra indikaator. L_d näitab aasta keskmist päevast mürataset kohaliku aja järgi kella 7:00–23:00, L_n aga aasta keskmist mürataset öisel kella 23:00–7:00. Müra siseriiklikud normatiivid sõltuvad maa-ala kasutusest (ELLE OÜ, 2022). Müra piirväärtus on suurim lubatud müratase, mille ületamine põhjustab häiritust keskkonnas ning millal tekib vajadus rakendada müra vähendamise meetmeid. Sihtväärtus on suurim lubatud müratase aladel, mis hõlmab Tartu üldplaneeringu 2040+ (Keskkonnaamet, 2023). Maa-ala kategooriad ning liikluse müra piirväärtused ja sihtväärtused on ära toodud tabelis 1.

Tabel 1. Müra normtasemed Eestis maa-ala kategooriate järgi (RT I 21.12.2016 27, 2017).

Maa-ala kategooria	Kirjeldus	Aeg	Liiklusmüra piirväärtus, dB	Liiklusmüra sihtväärtus, dB
I	Virgestusrajatiste maa-alad	Päev	55	50
		Öö	50	40
II	Haridusasutuste, tervishoiu- ja sotsiaalhoolekande-asutuste ning elamu maa-alad, rohealad	Päev	60/65 ¹	55
		Öö	55/60 ¹	50
III	Keskuse maa-alad	Päev	65/70 ¹	60
IV	ühiskondliku hoone maa-alad	Öö	55/60 ¹	50

¹ müratundliku hoone teepoolsel küljel

1.3 Tervisliku tänavaruumi korraldus

1.3.1 Tervisliku tänavaruumi kontseptsioone mujal maailmas

Tänavaruumi korraldus hõlmab mitmeid meetmeid kõikidele liiklejatele tervisliku ja ohutu keskkonna loomiseks. Londonis on nüüdseks linnaplaneerimise strateegiana kasutusele võetud tervislike tänavate kontseptsioon *Healthy Streets* (Transport for London, 2017).

Käsitlev lähemisviis hõlmab rohealade laiendamist ja haljasalade pindala suurendamist. Selle eesmärk on õhukvaliteedi parandamine, mürataseme vähendamine ja inimeste jaoks atraktiivsete parkide loomine. Samuti on oluline jalakäijatele ja jalgratturitele turvatunde loomine allee haljastamisega (joonis 2). Lisaks turvatundele võimaldab liikluse mürataseme vähendamine jalakäijal ja jalgratturil end tee lähedal liikudes mugavamalt tunda (Transport for London, 2017).

Sarnased eesmärgid on jalakäijate ja jalgratturite jaoks seatud 15-minutilise linna kontseptsioonis (Moreno, 2019). Selle kontseptsiooni põhieesmärk on luua tingimused, mille korral juurdepääs inimese linnaruumis põhivajadustele oleks tagatud 15 minuti kõndimise või jalgrattasõidu jooksul. Kontseptsioon hõlmab jalgrattateede ja parkide rajamist ning linna

ökoloogilise jätkusuutlikkuse suurendamist. Viimane omakorda tähendab tänavahaljastuse ulatuslikumat kasutusele võtmist (Allam jt, 2022; Moreno, 2019).



Joonis 2. Londoni tervislike tänavate infrastruktuur. Allikas: Transport for London (2017)

Barcelonas töötati välja nn superplokkide (*Superblock*) loomise projekt, mille eesmärk on vähendada linnasisest liiklusvoogu, heitgaaside emissiooni ja mürataset ning soodustada aktiivsema eluviisi valimist. Superplokkid on uus mudel linnatänavate kujundamiseks, tegemist on enamasti hulknurkade võrestikuga. Superploki projekt hõlmab jalgrattateede võrgustiku rajamist ning rohealade ja rohekoridoride ala loomist linnatänavatel (Mueller jt, 2020).

Vilniuse tänavakujunduse juhendis (2021) tähtsustatakse jalakäijate tänavatele puude istutamist. Juhendis ei täpsustata, milline roll on haljastusel linnaruumis, kuid viidatakse sellele, et haljasalad võivad jalakäijatele turvalisema keskkonna luua. Auto- ja jalakäijate teede vahelisele alleele on plaanis istutada puid ja põõsaid (joonis 3), et tekitada kaitset päikesevalguse eest. Samuti seatakse kõnniteede rajamisel esikohale olemasolevate puude säilitamine. Puid ja põõsaid on plaanis istutada kogu tee pikkuses ja kohtades, kus haljastust napib (Vilnius City Municipality jt, 2021).



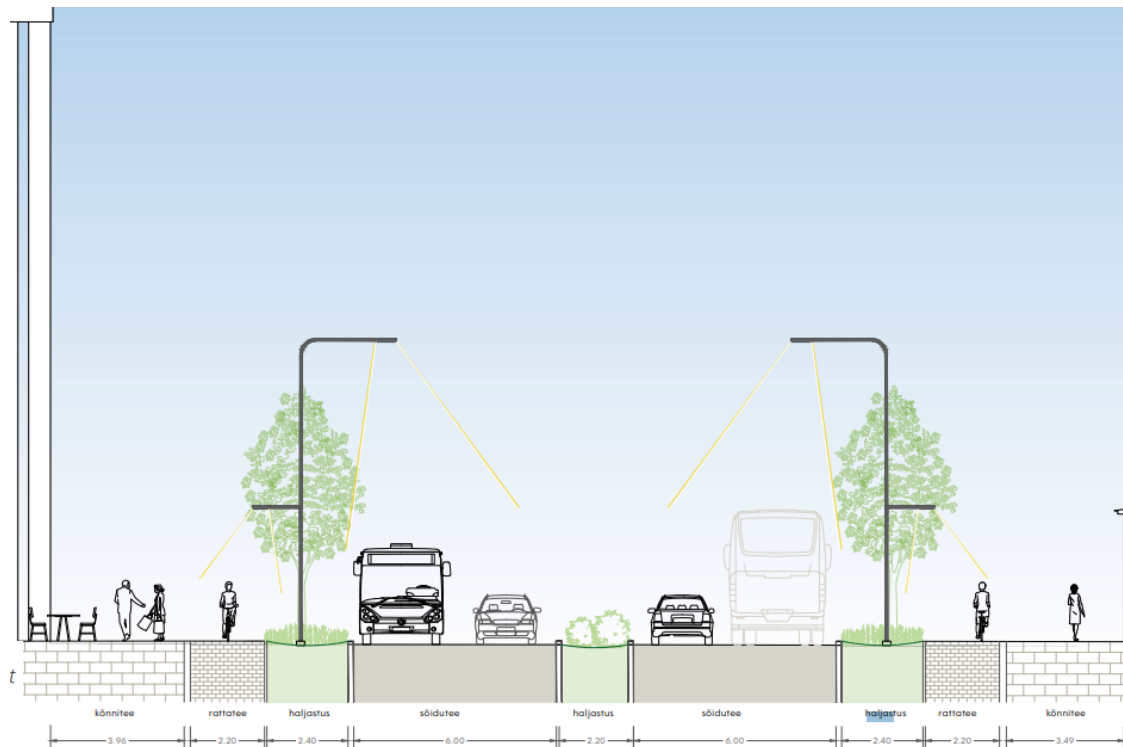
Figure 1. Trees in the street profile. Photo from the archives of DO ARCHITECTS

Joonis 3. Tänavaprofiil Vilniuses. Allikas: Do Architects (i.a).

1.3.2 Tartu visioon tänavaruumist

Tartu üldplaneering 2040+ täpsustab haljastusnõudeid ja mürataseme norme. Nende nõuete üks eesmärke on vältida mürataseme tõusu. Sellega seoses on eelistatav säilitada olemasolevat kompaktset haljastust, mitte istutada selle asemele uut. Samuti on pikemas perspektiivis kavatsus rajada roheala jalakäijate tee ja suure liiklussagedusega tänavavahele (Tartu Linnavalitsus, 2021).

Tartus on kasutusele võetud ka tervislike tänavate kontseptsioon, kus haljastusel on oluline roll (Kino maastikuarhitektid & Artes Terrae, 2021). Haljastust planeeritakse kasutada looduslikku dekoratsioonina, et tõsta elanike psühholoogilist heaolu. Käsitletakse ka haljasalade ökoloogilist rolli, mis võiks säilitada bioloogilist mitmekesisust. Samuti rajatakse rohealad selleks, et vältida ekstreemseid kuumaperioode Tartus. Tänavahaljastus võiks olla kasulik inimestele, pakkudes varju vihma ja päikese eest. Mõnele tänavale soovitatakse rajada autotee ja kergliiklustee vahele haljasriba (joonis 4; Kino maastikuarhitektid & Artes Terrae, 2021). Kuid haljastuse mürasummutavat rolli pole kontseptsioonis otseselt mainitud. Võib oletada, et psühholoogilise heaolu tagamise all mõeldakse ka mürataseme vähendamist.



Joonis 4. Vabaduse puiestee pilotprojekt. Allikas: Kino maastikuarhitektid & Artes Terrae (2021).

Kontseptsioonis on neli erinevat mõõdikute kategooriat ja tänavamüra on oluline aspekt kõnnitavuse mõõdiku kontekstis. Mürataseme vähendamiseks peetakse oluliseks ka vähendada autode arvu ning soosida jalgsi ja jalgrattaga liikumist (Kino maastikuarhitektid & Artes Terrae, 2021).

2. Andmed ja metoodika

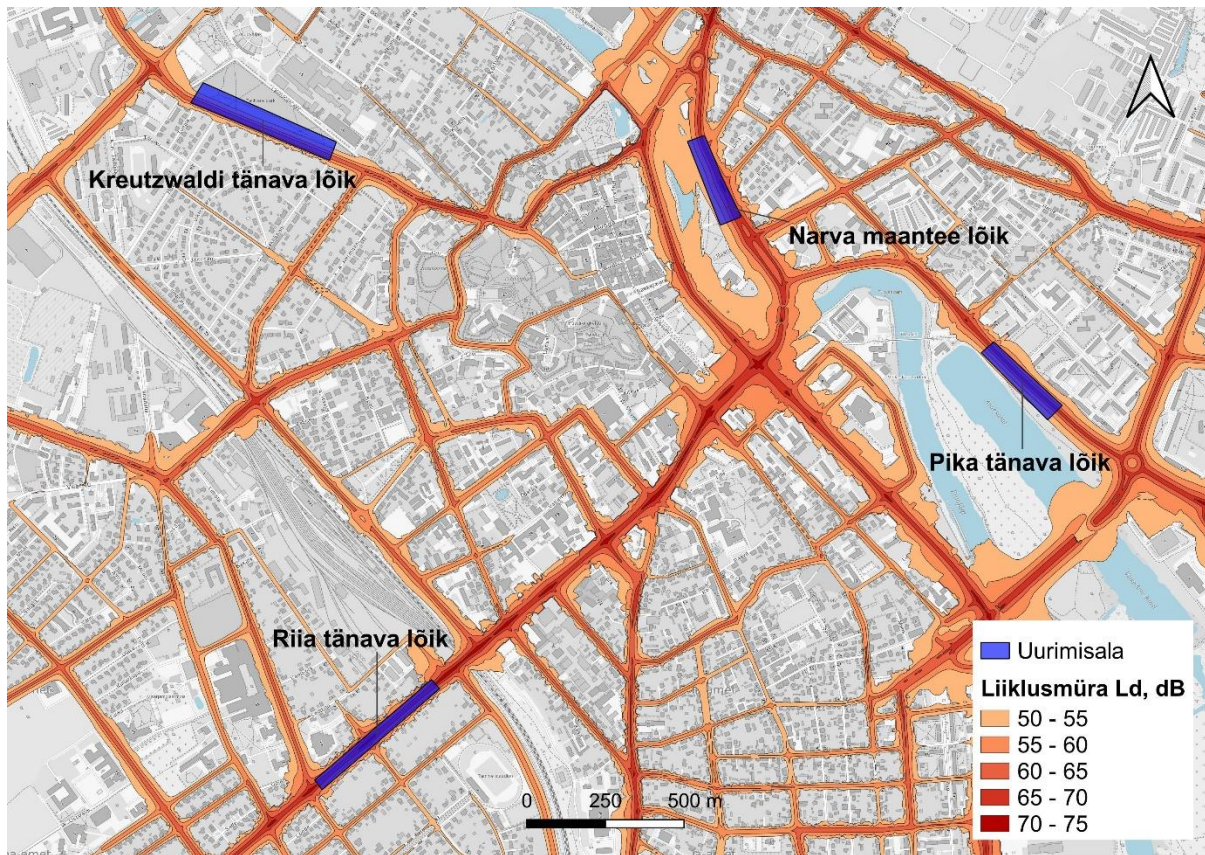
2.1 Uurimisalade kirjeldus

Uuritav piirkond on Tartu linn, mis asub Lõuna-Eestis. Tartu on Tallinna järel rahvaarvult Eesti teine linn, kus elas 2023. aasta alguses 97 435 elanikku. Linna kogupindala on 154 km², millest ainult linnaterritoorium moodustab 38 km². Linna sees on asustustihedus 625 inimest/km² (Tartu Linnavalitsus, 2024b).

Tartu üldplaneeringu 2040+ alusel on linna teedevõrk jagatud riigimaanteedeks, magistraaltänavateks ja juurdepääsutänavateks. Magistraaltänavad on omakorda jagatud põhi- ja jaotusmagistraaltänavateks. Juurdepääsutänavad on jagatud kohalikeks jaotustänavateks, kõrvaltänavateks ja kvartalisesteks tänavateks. Magistraaltänavad on peamiselt transiitliikluse funktsiooniga teed nagu Riia tänav, Narva maantee, Turu tänav ja linna ümbritsev Tartu Ringtee. Samuti on linnasisese transiitliikluse funktsiooniga F.R. Kreutzwaldi tänav, Kalda tee, Pikk tänav, Ihaste tee, Võru tänav (Tartu Linnavalitsus, 2021).

Bakalaureusetöö uurimisalaks valiti kokku neli Tartu linnas paiknevat teelõiku (joonis 5), kus tee kõrval on haljasriba ja kus keskmine päevane müratase ületab Eesti siseriikliku normatiivi: kahelt põhimagistraalilt – Riia tänav ja Narva maantee ning kahelt kohalikult jaotustänavalt – Pikk tänav ja F.R. Kreutzwaldi tänav.

Riia tänav on üks linna peamistest transpordimagistraalidest (ELLE OÜ, 2022). Maantee algab Turu tänava ja Vabaduse puiestee ristmikult ning ühendab kesklinna Ringtee ja Lõunakeskusega. Uuritav teelõik asub Tammelinnas. Teine põhimagistraal on Narva maantee, mis on loogiline jätk Riia tänavale põhja suunas. Uuritav teelõik asub Ülejõe pargi juures. Pikk tänav on kohalik jaotustänav, mis kulgeb Raatuse ristmikust kuni Eedeni ringristmikuni. Tänav ühendab Annelinna ja Kesklinna linnaosa (Tartu Linnavalitsus, 2024a). Rahvastikustatistika andmetel elas Annelinnas 2023. aasta alguses 25 135 elanikku, see on nii rahvaarvult kui ka tiheduselt suurim linnaosa (Tartu Linnavalitsus, 2024b). Uuritav teelõik asub Anne kanali juures. Teine kohalik jaotustänav on F. R. Kreutzwaldi tänav, see on Jakobi tänava jätk Tallinna suunas Veski tänava ristmikult (Tartu Linnavalitsus, 2024a). Uuritav teelõik asub Tähtvere pargi juures.



Joonis 5. Uurimisalade paiknemise ja keskmise päevase mürataseme skeem. Allikad: Maa-amet (i.a) ja ELLE OÜ (2022).

Kõiki nelja tänavat ümbritsevad enamasti II kategooria alad, mis on haridusasutuse, tervishoiuasutuse ning elamu maa-alad ja rohealad. Riia tänava ääres asuvad II kategooria väikeelamu alad. Narva maantee juures vasakul pool teed on Ülejõe pargi I/II kategooria roheala. Pika tänava paremal pool on I/II kategooria supelranna maa-ala Anne kanali ääres. Kreutzwaldi tänava paremal pool on Tähtvere pargi I kategooria roheala, mis on puhkeala ja virgestusrajatise maa-ala ehk vaikne ala (Tartu Linnavalitsus, 2021).

Sõidukite liiklusintensiivsus õhtusel tipptunnil oli Stratum OÜ (2020) uuringu järgi paiguti väga erinev. Riia tänaval oli suurim liiklusintensiivsus raudteesilla ja viadukti juures. Selle tänava teistes lõikudes on liiklussagedus väiksem. Narva maanteel ning Riia ja Pikal tänavatel on õhtusel tipptunnil liiklussagedus kesklinna suunas kaks korda suurem kui kesklinnas (joonis 6). Kreutzwaldi tänava liiklusintensiivsus Tähtvere pargi juures on õhtusel tipptunnil ühesugune mõlemas suunas ning kaks korda väiksem kui uurimisala teistes tänavalõikudes (Stratum OÜ, 2020).

Tartu kergliikluse loendamise andmetel (Valikor Konsult, 2021) liigub Riia tänava raudtee viadukti juures, mis on selle tänava uuritavale lõigule kõige lähem loenduspunkt, õhtusel

tipptunnil keskmiselt 40–50 jalgratturit ja 80–100 jalakäijat iga 15 minuti jooksul. Pika tänava uuritavale lõigule lähemad loenduspunktid asuvad Turu ja Sõpruse silla juures. Turu silla juures liigub õhtusel tipptunnil iga 15 minuti jooksul 20–40 jalgratturit ja 100–150 jalakäijat, Sõpruse silla juures aga 15–20 jalgratturit ja 30–50 jalakäijat. Narva maantee uuritava teelõigu kõrval on Vabaduse silla ja Kaarsilla loenduspunktid. Vabaduse sillal liigub iga 15 minuti jooksul 10–15 jalgratturit ja 50–60 jalakäijat, Kaarsilla juures aga 50–60 jalgratturit ja 150–250 jalakäijat (Valikor Konsult, 2021). Kreutzwaldi tänava lõigu läheduses loenduspunktid puuduvad.

Tartu linna välisõhu strateegilise mürakaardistamise andmetel (ELLE OÜ, 2022) on kõikidel uuritavatel tänavatel keskmine päevane müratase varieerub 50–75 dB võrra. I kategooria puhkealade jaoks (tabel 1) ületab see müra normtasest päeval 0–20 dB võrra ja II kategooria elamute jaoks 0–15 dB võrra.

2.2 Andmed

Uurimisalade olukorra kirjeldamiseks koondati järgmiste allikate sekundaarandmed: liiklusuuringute alusel koostatud Tartu liiklusintensiivsuse kaart (Stratum OÜ, 2021), Tartu kergliikluse loendusandmed (Valikor Konsult, 2021), Tartu linna strateegilise mürakaardi ajakohastamise andmed (ELLE OÜ, 2022), Tartu üldplaneeringu 2040+ raames koostatud teede ja tänavate ning müratundlike alade kaart (Tartu Linnavalitsus, 2021), Tartu linnaosade jaotuse andmed (Tartu Linnavalitsus, 2024a), ja taimkatte kõrgusmudel (Maa-amet, 2023). Olemasolev olukord visualiseeriti QGIS kaardirakenduse abil. Olukorra ja tulemuste visualiseerimiseks (vt lisa 1) kasutati strateegilise mürakaardistamise keskmise päevase liiklusmüra andmed, liiklusintensiivsuse kaardistamise andmeid, Maa-ameti halltoonides ja ortofoto kaarte (Maa-amet, i.a.), mis saadi WMS-ühenduse abil QGIS tarkvaras. Lisaks koostati mõõtmispunktide, transektide, uurimisalade ja mõõtmispunktidel saadud tulemuste kaardikihid. Kõik kaardikihid on Eesti riiklikus L-EST97 ristkoordinaatide süsteemis.

2.3 Metoodika

2.3.1 Andmete kogumine

Mõõtmised tehti kahel eri hooajal: varasügisel, millal puud olid lehes, ja varakevadel, kui puudel lehestik puudus. Mõõtmised toimusid oktoobri keskel, veebruari lõpus ja märtsi alguses õhtusel tipptunnil ajavahemikus 16:00–18:00. Tartu-Tõravere ilmajaama andmetel olid ilmastikuolud (tabel 2) eri mõõtmispäevadel küllaltki erinevad (Keskkonnaagentuur, i.a.). Varieerusid nii temperatuur, tuulekiirus kui ka õhuniiskus.

Tabel 2. Ilmastikuolud mõõtmisajal Tartu-Tõravere ilmajaama andmetel (Keskkonnaagentuur, i.a.).

Tänavanimi	Aastaaeg	Kuupäev	Kellaeg	Temperatuur, °C	Tuulekiirus, m/s	Õhuniiskus, %
Riia tn	varasügis	10.10.2023	17:00	7,4	3,6	76
	varakevad	26.02.2024	17:00	4,8	5,5	94
Pikk tn	varasügis	11.10.2023	17:00	11,2	11,8	92
	varakevad	29.02.2024	17:00	1,1	3,5	84
Kreutzwaldi tn	varasügis	17.10.2023	17:00	7,7	5,7	60
	varakevad	05.03.2024	17:00	1,8	6,7	63
Narva mnt	varasügis	18.10.2023	17:00	3,6	4,9	87
	varakevad	28.02.2024	17:00	2,6	3,8	99

Mõõtmispäevadeks valiti argipäevad: esmaspäev, teisipäev, kolmapäev ja neljapäev (lisad 3 ja 4). Just sellistel argipäevadel liiguvad inimesed tökohast koju ajavahemikus 16:00–19:00. Niisugust seaduspära näitas äärelinna pendelrändajate liikumise päevarütmi uuring Tallinna piirkonnas (Ahas jt, 2010). Igas punktis tehti müralogoriga 60-sekundiline mõõtmine.

Töövahenditeks olid müraloger Velleman DEM202, USB-kaabel ja sülearvuti Sound Level Meter Datalogger tarkvaraga. Valiti dBA korrektsiooni, mis on A-korrigeeritud ekvivalentne helirõhutase L_{pA} (Keskkonnaamet, 2023). Mõõtmised tehti aeglases, *Slow* režiimis, mis on üks mõõtmine sekundis. Iga mõõtmise lõpus salvestati müralogoriga saadud mürataseme andmed csv-faili. Kogutud andmed (lisad 3 ja 4) vormistati Exceli tabelis.

Mõõtepunktide asukoht valiti tänavajoonega risti paikneval mõttelisel joonel ehk transektil. Transekt on maastikuökoloogias laialt kasutatav meetod inimese ja looduse suhte hindamiseks keskkonnas (Han, 2021).

Igas mõõtmiskohas on viis transekti (joonis 6). Iga transekt on sõidutee suhtes risti ja sõidutee telg läheb vastavalt majanumbrite kasvule tänava algusest või kesklinnast väljapoole (Maaamet, i.a.). Pikal tänaval, Kreutzwaldi tänaval ja Narva maanteel on igal transektil neli mõõtmispunkti. Riia tänava lõigul kesklinna suunas puudub roheala, mistõttu igal transektil on kaks mõõtmispunkti.



Joonis 6. Uurimisalade skeem koos mõõtepunktide asukoha ja teelõikude liiklussagedusega õhtusel tiptunnil. Allikad: autor, Maa-amet (i.a), Stratum (2021).

Iga transekti esimene punkt asub sellel poolel, kus roheala puudub. Narva maantee, Riia ja Kreuzwaldi tänava puhul asuvad need punktid kõnniteel, tee servast kahe meetri kaugusel. Pikal tänaval on vasakul pool teed lühikesed 10–30 m kõrgusega puuderad (vt lisa 2), punktid asuvad tee servast seitsme meetri kaugusel. Transekti teised punktid paiknevad kõnniteel, Narva maanteel tee servast nelja meetri ja Pikal tänaval kolme meetri kaugusel. Riia tänava ääres on maantee ja kõnnitee vahel 10–30 m kõrgusega haljasriba. Kreuzwaldi tänava paremal poolel on poolemeetrisel kõrgusega põõsariba ja üksikud 20 m kõrgusega puud kõnnitee ja maantee vahel. Seega asuvad transekti teised punktid nendel tänavatel tee servast viie meetri kaugusel. Transekti kolmandad punktid asuvad tee servast Pikal tänaval 10 m, Narva maanteel 15 m ja Kreuzwaldi tänaval 25 m kaugusel. Pikal tänaval on transekti teise ja kolmanda punkti vahel ühe meetri kõrgune põõsariba. Narva maantee juures on nende punktide vahel 10–20 m kõrgune puuderida. Kreuzwaldi tänaval on kohati 10–40 m kõrgune puuderida. Neljandad punktid paiknevad tee servast Pikal tänaval 30 m, Narva maanteel 40 m ja Kreuzwaldi tänaval 50 m kaugusel. Nendel uurimisaladel on transekti kolmanda ja neljanda punkti vahel 5–10 m kõrgused põõsad ja 10–40 m kõrgused puud. Kõigis neljas uurimispiirkonnas kasvavad

lehtpuud, Narva maantee ja Kreutzwaldi tänava ääres leidub ka mitu okaspuud (Maa-amet, 2023).

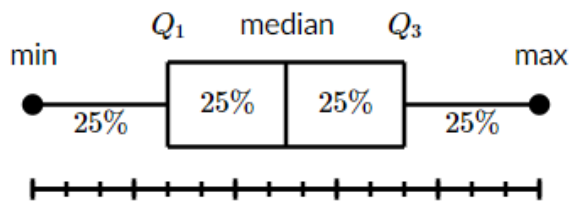
2.3.2 Analüüs

Mõõtmise käigus saadud mürataseme andmete põhjal määrati igas punktis 60 sekundi mürataseme keskmine ja mediaanväärtus. Mediaanväärtus arvutati Excelis mediaan funktsiooniga, keskmise väärtuse arvutas Sound Level Meter Datalogger programm iga mõõtmise lõpus.

Lähtudes uurimisküsimustest analüüsiti nelja seost: müraallikast kauguse suurenemise ja mürataseme vähenemise seos, mürataseme seos teelõigu liiklusedusega (Stratum, 2021), müra ja haljastuse sesoonsuse vaheline seos ning kauguse ja haljastuse summutava toime vaheline seos.

Analüüsimaiks mürataseme seost sesoonsuse ja kaugusega tee servast koostati kirjeldava statistika tabelid (tabelid 3 ja 4). Statistilised väärtused arvutati Excelis. Tabelis 4 on kokku arvatud varasügisese ja varakevadise aja müratasemete keskmised väärtused. Leidmaks mürataseme seost liiklusedusega visualiseeriti mõõtmiste käigus saadud tulemused eri teelõikudel (joonis 8).

Hindamaks mürataseme vähenemise seost kauguse suurenemisega koostati punktide diagramm, kuhu pandi kõik varasügisese ja varakevade punktid. Aluseks võeti iga mõõtmispunkti mürataseme keskmine väärtus. Lisati trendijoon, mis aitab hinnata ka müra ja haljastuse sesoonsuse vahelist seost. Selleks, et hinnata haljastuse sesoonsuse seost mürataseme vähenemisega detailsemalt, koostati karp-vurrud ehk *box plot* diagrammid. Karp-vurrud diagramm (joonis 7) visualiseerib niisugused kirjeldava statistika andmed nagu punktide mediaanväärtus, esimene (Q_1) ja kolmas (Q_3) kvartiil, miinimum- ja maksimumväärtused (Khan Academy, i.a.). Excelis visualiseerivad need diagrammid ka keskmise väärtuse. Linnaökoloogia uuringutes (Zhang & Butts, 2016) kasutatakse seda tüüpi diagramme mitmesuguste keskkonnategurite toimimise võrdlemiseks. Siin töös võrreldi teostatud mõõtmiste tulemusi eri kaugusel müraallikast varasügisel, millal puud olid lehes, ja varakevadel, millal lehestik puudub.



Joonis 7. Karp-vurrud diagrammi klassikaline ülesehitus. Allikas: Khan Academy (i.a.)

Haljastuse summutava toime hindamisel tugineti pöördruut-sõltuvuse seadusele (Keskkonnaamet, 2023), kuna haljastuse summutavat toimet näitavat valemite ei ole. Koostati tabel, kus arvutati transektide kolmandate ja neljandate punktide mürataseme keskmine väärtus vastavalt pöördruut-sõltuvusele. Arvutamiseks kasutati pöördruut-sõltuvuse arvutusmudeli valemite (Extron, i.a.) helirõhutase jaoks:

$$L_{p1} = L_{p2} - 20 \log (D_1/D_2),$$

kus L_{p1} on teadaolev helirõhutase esimeses asukohas, L_{p2} on tundmatu helirõhutase teises asukohas, D_1 ja D_2 on vastavalt esimese ja teise asukoha kaugus müraallikast.

Seejärel võrreldi neid väärtusi mõõtmiste käigus vastava kaugusega tee servast saadud kahe aastaaja mürataseme keskmiste väärtustega. Selle võrdlemiseks valiti kolmel teelõigul (Narva mnt, Pikk ja Kreutzwaldi tn) paiknevad mõõtmispunktid. Riia tänava puhul arvutust läbi ei viidud, kuna seal puudub laiem roheala, mis mahutaks rohkem kui ühe transekti punkti. Arvutati ka punktide kauguste vahe tee servast.

3. Tulemused

Tabel 3 kirjeldab kahel aastaajal saadud mõõtmistulemuste statistilisi näitajaid. Kahe aastaaja teelõikude (Riia tn, Kreutzwaldi tn, Narva mnt) müratasemete keskmine, mediaan-, miinimum- ja maksimumväärtused on sarnased. Pika tänava mõõtmispunktide varasügisese aja keskmine ja mediaanväärtus on natuke suuremad kui varakevadise aja väärtused. Enamikul tänavatest on varasügisese keskmiste väärtuste hajuvus suurem kui varakevadisel ajal. Riia tänava keskmiste väärtuste standardhälve näitab kaks-kolm korda väiksemat hajuvust, võrreldes teiste tänavate keskmiste väärtuste standardhällbega.

Tabel 3. Mürataseme seos sesoonsusega, kus vs on vaatlused varasügisel, vk – vaatlused varakevadel, T1 – Riia tn, T2 – Pikk tn, T3 – Kreutzwaldi tn, T4 – Narva mnt, L_{pA} – vaatluste keskmine müratase, n – vaatluste arv. Punktide keskmiste müratasemete keskmine väärtus (\bar{x}), mediaanväärtus (M), standardhälve (σ), dispersioon (σ^2), miinimum- (min) ja maksimumväärtus (max).

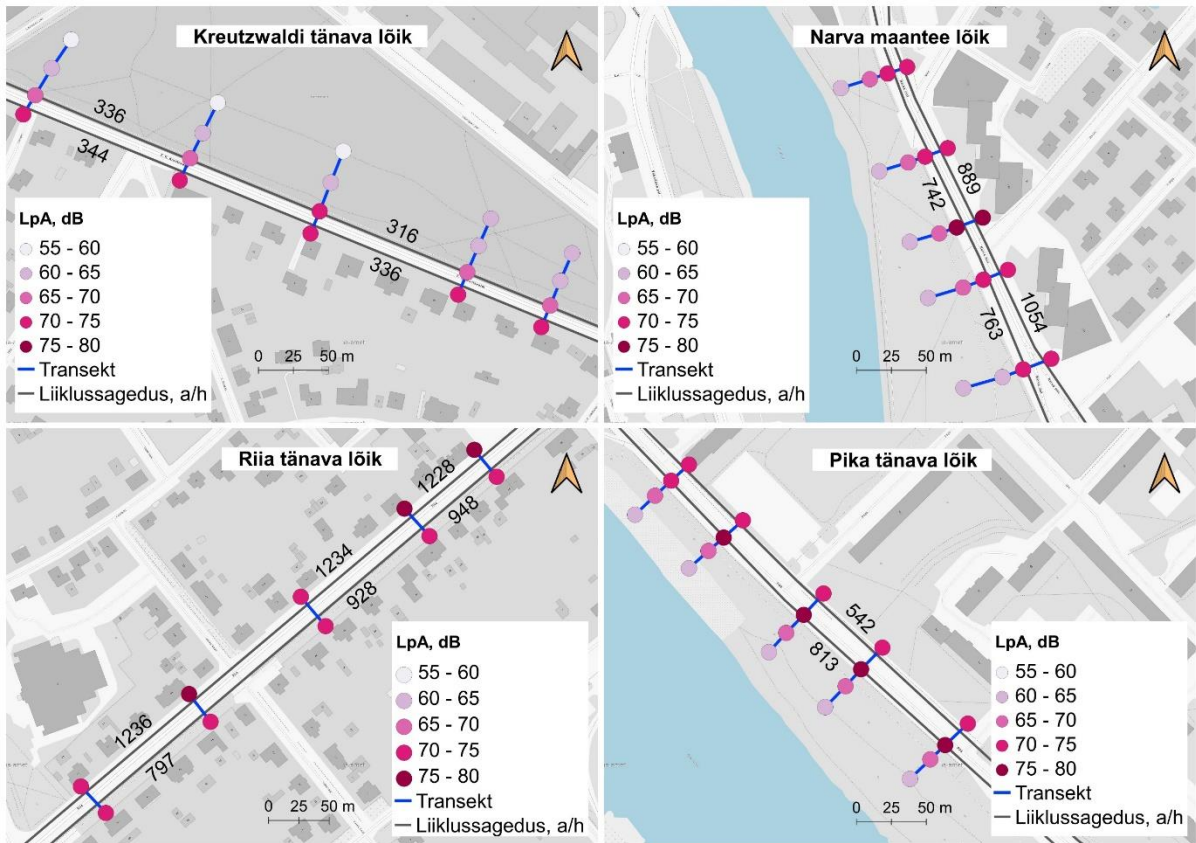
Vaatus	n	L_{pA} , dB					
		\bar{x}	M	σ	σ^2	min	max
vs	70	69,1	70,8	6,1	37,2	55,3	78,9
vk	70	68,7	69,2	5,1	26	58,2	77
T1, vs	10	74	73	2,4	5,8	71,3	78,9
T1, vk	10	73,6	73,2	1,8	3,2	71,1	77
T2, vs	20	70,1	70,7	4,4	19,4	61,9	76,5
T2, vk	20	68,8	68,9	5,1	26	60,7	76,6
T3, vs	20	65	63,8	6,3	39,7	55,3	77
T3, vk	20	65,6	65,9	4,9	24	58,2	74,5
T4, vs	20	69,7	71,8	6,3	39,7	58,2	77,5
T4, vk	20	69,3	68,8	3,9	15,2	62,4	75,5

Kõikidel tänavatel vähenesid mõõtmispunktide keskmised, mediaan-, miinimum- ja maksimumväärtused tee servast kauguse suurenedes (tabel 4). Tee servale lähemate punktide keskmiste väärtuste hajuvus on üldiselt suurem kui tee servast kaugemal asuvates punktides.

Tabel 4. Mürataseme seos kaugusega tee servast eri tänavatel.

Vaatlus	n	L _{pA} , dB					
		\bar{x}	M	σ	σ^2	min	max
T1, 2 m	10	75,4	75,4	1,8	3,2	72,4	78,9
T1, 5 m	10	72,2	72,2	0,7	0,5	71,1	73,6
T2, 3 m	10	75,4	75,8	1	1	73,5	76,6
T2, 7m	10	71,6	71,5	1,3	1,7	69,1	73,6
T2, 10 m	10	67,9	68,1	1,4	2	65,9	70,5
T2, 30 m	10	62,9	62,1	1,6	2,6	60,7	65,2
T3, 2 m	10	72,1	71,6	2,7	7,3	67,8	77
T3, 5 m	10	68,5	68,6	2	4	65,5	71,6
T3, 25 m	10	62	62	1,2	1,4	60,4	64,2
T3, 50 m	10	58,7	58,9	2	4	55,3	61,3
T4, 2 m	10	74,3	74	1,6	2,6	71,2	76,5
T4, 4 m	10	73,8	74,5	2,4	5,8	69,2	77,5
T4, 15 m	10	67,4	67,9	1,7	2,9	64,6	70,6
T4, 40 m	10	62,5	62,4	2,4	5,8	58,2	65,9

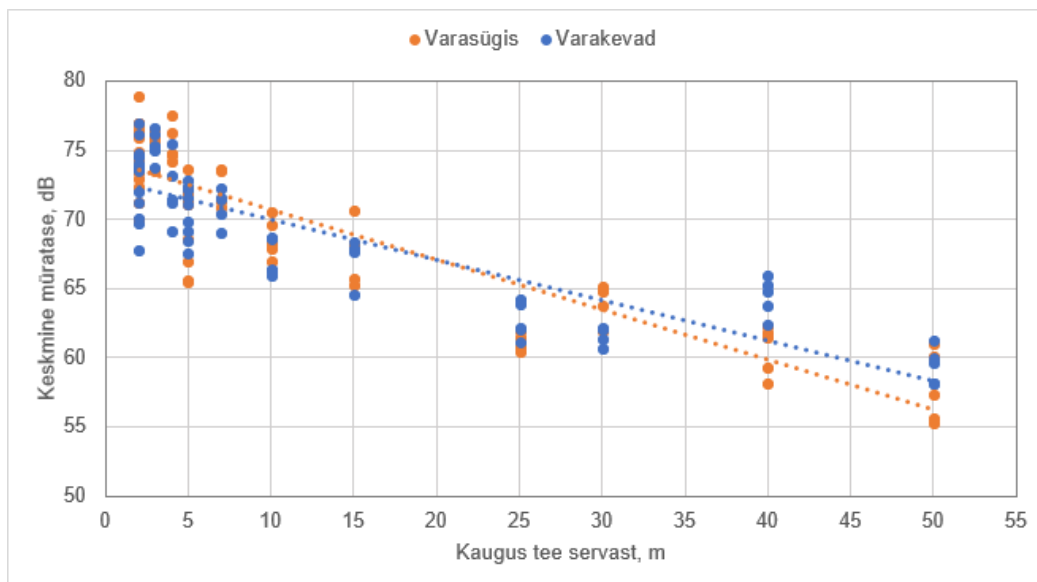
Üldine mürataseme seos eri teelõikude liiklussagedusega on esitatud joonisel 8. Narva maantee ning Riia ja Pika tänavate transektide esimeste ja teiste punktide mürataseme keskmised väärtused on oluliselt suuremad kui Kreutzwaldi tänava mürataseme keskmised väärtused. Teelõigu sees on raske määrata seost liiklussagedusega, kuna tee eri külgedel olevad punktid asuvad tee servast erineval kaugusel.



Joonis 8. Mürataseme seos liiklussagedusega eri teelõikudel, kus L_{pA} – iga punkti kahe aastaaja mürataseme keskmine väärtus. Allikad: autor, Maa-amet (i.a), Stratum (2021).

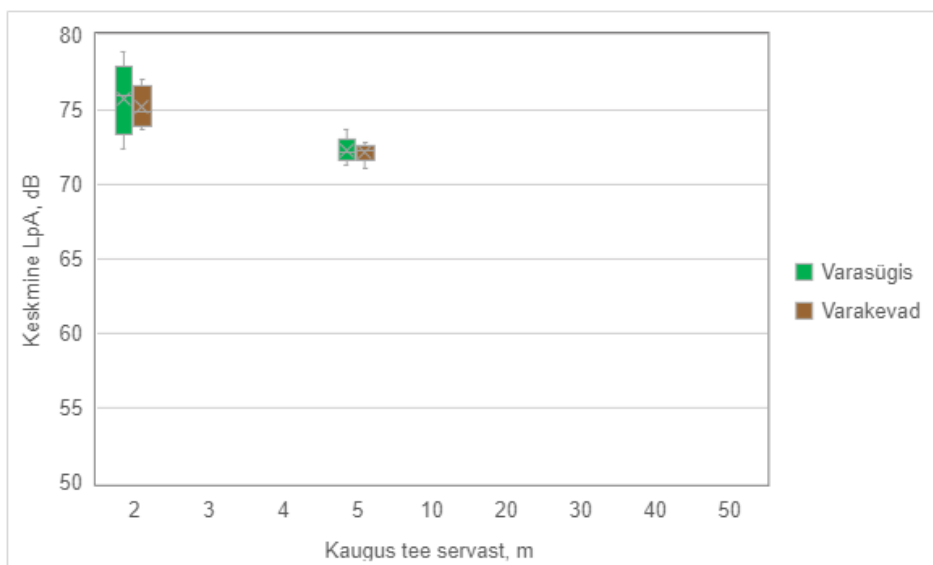
Üldist kauguse summutavat toimet näitab müra vähenemise ja kauguse suurenemise seose graafik (joonis 9). Joonisel on näha mürataseme langustrendi vastavalt kauguse suurenemisele tee servast. Joonis näitab ka üldist mürasummutamise seost haljastuse sesoonsusega. Oranži värvi punktid ja lineaarne trendijoon näitavad langustrendi varasügisel ajal, sinist värvi punktid ja lineaarne trendijoon aga varakevadisel ajal.

Sisuliselt ületasid kõikide punktide mürataseme keskmised väärtused liikluse müra virgestus- ja puhkealade jaoks määratud piirväärtused, mis on 50 dB. Tee servast 5–15 m kaugusel ületasid mürataseme keskmised väärtused liikluse müra piirväärtust 14–24 dB võrra. Tee servast 25–50 m kaugusel ületasid need väärtused liikluse müra piirväärtust 5–16 dB võrra.



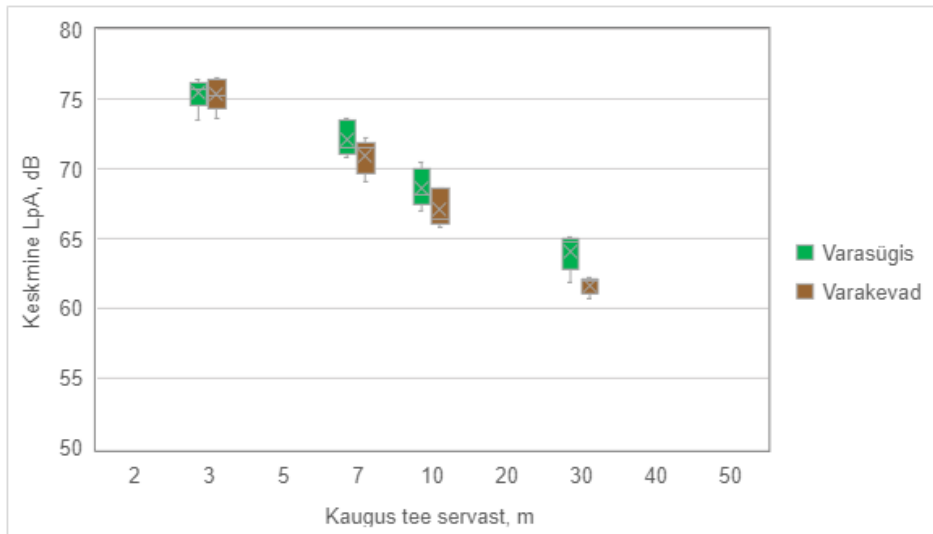
Joonis 9. Varasügisese ja varakevadise mõõtmisperioodi mürataseme vähenemise seos kauguse suurenemisega.

Müra ja haljastuse sesoonsuse vahelist seost näitavad karp-vurrud diagrammide graafikud. Sisuliselt näitavad need graafikud sama trendi, mis ilmneb müra vähenemise ja kauguse suurenemise seost näitava graafikul (joonis 9). Kauguse suurenemisel langes müratase kõigil tänavatel. Samasugused trendid on ka haljastuse sesoonsusel. Riia tänaval (joonis 10) on mürataseme keskmised väärtused varasügisel ajal natuke kõrgemad kui varakevadisel ajal. Samuti on mürataseme keskmiste väärtuste hajuvus varasügisel suurem kui varakevadel.



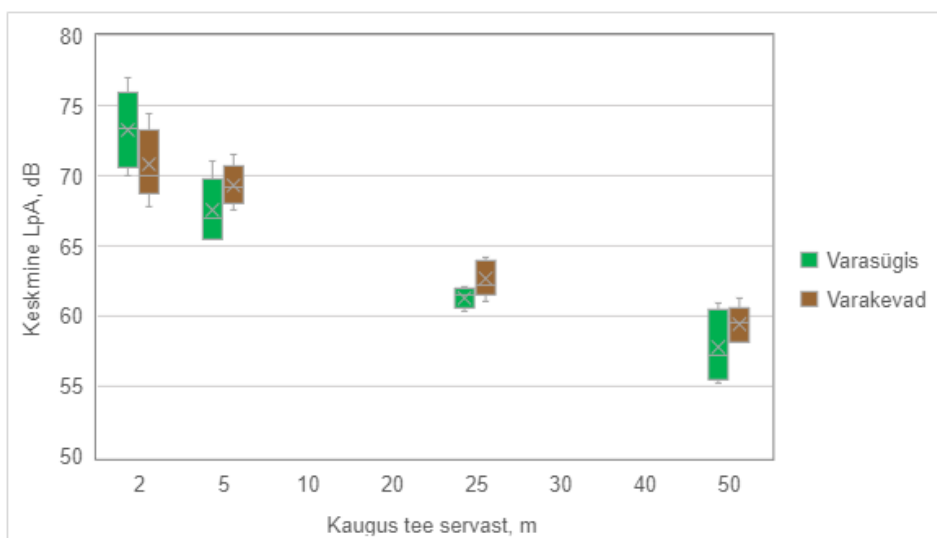
Joonis 10. Haljastuse sesoonsuse seos mürataseme vähenemisega varasügisel ja varakevadisel ajal Riia tänava lõigul.

Pikal tänaval (joonis 11) transektide teistel, kolmandatel ja neljandatel punktidel (7 m, 10 m ja 30 m) olid mürataseme keskmised väärtused varasügisel ajal kõrgemad kui varakevadisel ajal. Transektide neljandatel punktidel on mürataseme keskmiste väärtuste hajuvus varasügisel suurem kui varakevadel.



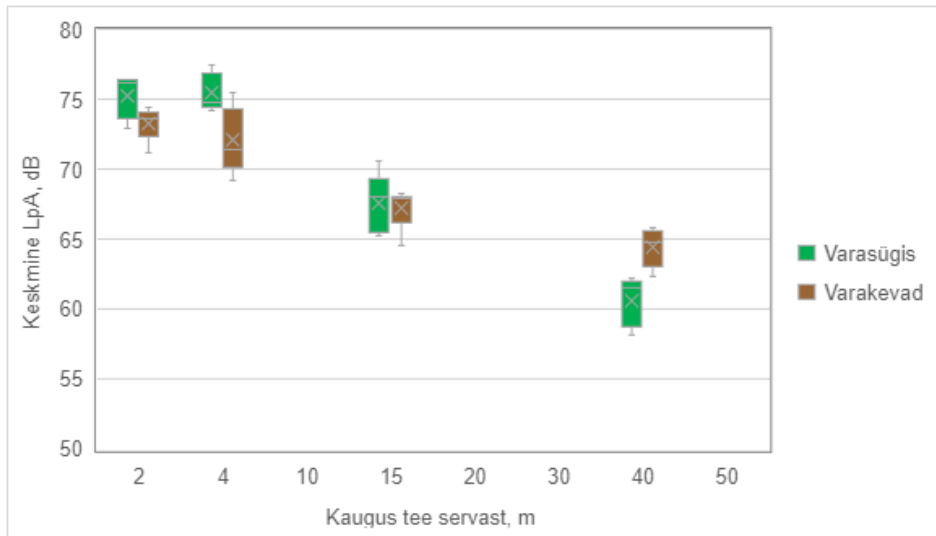
Joonis 11. Haljastuse sesoonsuse seos mürataseme vähenemisega varasügisel ja varakevadisel ajal Pika tänava lõigul.

Kreutzwaldi tänaval (joonis 12) transektide teistel, kolmandatel ja neljandatel punktidel (5 m, 25 m ja 50 m) on mürataseme keskmised väärtused varasügisel oluliselt madalamad kui varakevadel. Mürataseme keskmiste väärtuste hajuvus on üldiselt suurem varasügisel kui varakevadel.



Joonis 12. Haljastuse sesoonsuse seos mürataseme vähenemisega varasügisel ja varakevadisel ajal Kreutzwaldi tänava lõigul.

Narva maanteel (joonis 13) on transektide esimestel, teistel ja kolmandatel punktidel (2 m, 4 m, 12 m) mürataseme keskmised väärtused sügisel ajal kõrgemad kui varakevadisel ajal. Mürataseme keskmiste väärtuste hajuvus on transektide esimestel, kolmandatel ja neljandatel punktidel sügisel ajal suurem kui varakevadisel ajal.



Joonis 13. Haljastuse sesoonsuse seos mürataseme vähenemisega varasügisel ja varakevadisel ajal Narva maantee lõigul.

Haljastuse summutava toime seos pöördruut-sõltuvuse seadusega helirõhutaseme jaoks on esitatud tabelis 5. Nii varasügisel kui ka varakevadisel keskmise mürataseme väärtuste ja pöördruut-sõltuvuse valemiga arvatud väärtuste vahe näitas kaudset seost pöördruut-sõltuvuse seadusega. Kõik kolmandate ja neljandate punktide mürataseme keskmised väärtused ületavad pöördruut-sõltuvuse valemiga arvatud väärtusi. Narva maanteel on transektide kolmandate (15 m) ja neljandate (40 m) punktide varakevadise mürataseme keskmiste väärtuste erinevused pöördruut-sõltuvuse valemiga arvatud väärtustest suuremad kui varasügisel väärtuste erinevused. Pikal tänaval ja Kreutzwaldi tänaval aga on need erinevused suuremad varasügisel ajal kui varakevadisel ajal. Eri tänavatel varieerusid need erinevused 2,3–12,1 dB võrra ning mida kaugemal müraallikast asus mõõtepunkt, seda suurem on mürataseme väärtuste vahe.

Tabel 5. Kauguse ja haljastuse summutava toime seos, kus: L_pA – keskmine müratase, vs – varasügisene aastaeg, vk – varakevadine aastaeg, L_{pA1} – transektide viie punkti mürataseme keskmine väärtus, L_{pA2} – pöördruudu sõltuvuse valemiga arvatud mürataseme keskmine väärtus, d_n – punkti kaugus tee servast.

Tänavanimi	L_pA , dB							
	d_n , m	$d_n - d_{n-1}$	vs , L_{pA1}	L_{pA2}	$L_{pA1} - L_{pA2}$	vk , L_{pA1}	L_{pA2}	$L_{pA1} - L_{pA2}$
Pikk tn	3	0	75,5	75,5	0	75,4	75,4	0
	10	7	68,6	65	3,6	67,2	64,9	2,3
	30	20	64,1	55,5	8,6	61,7	55,4	6,3
Narva mnt	4	0	75,5	75,5	0	72,1	72,1	0
	15	11	67,6	64	3,6	67,2	60,6	6,6
	40	25	60,6	55,5	5,1	64,4	52,1	12,3
Kreutzwaldi tn	5	0	67,6	67,6	0	69,4	69,4	0
	25	20	61,3	53,6	7,7	62,7	55,4	7,3
	50	25	57,9	47,6	10,3	59,5	49,4	10,1

4. Arutelu

Kauguse ja haljastuse summutava toime seose tulemused (tabel 5) ning mürataseme vähenemise ja kauguse suurenemise seose graafik (joonis 9) näitasid, et müra hajub kauguse suurenemisel müraallikast. Kõige usaldusväärsemad tulemused on Riia tänava lõigus, kuna keskmiste väärtuste hajuvus oli seal kõige väiksem. Keskmiste väärtuste suur hajuvus eri punktides võib olla tingitud erinevatest keskkonnatingimustest, mis tõid lisamüra juurde.

Tegelikult esinevad linnatingimustes mitmed keskkonnategurid, mis mõjutavad üldist mürafooni (Keskkonnaamet, 2023). Eri punktides mõõtmise käigus oli kokkupuuteid nii looduslike (koduloomade ja lindude hääliksused, puulehtede kahin, veevool) kui ka inimlike teguritega (sammud, kõned). Samuti mõjutavad heli levimist atmosfääris ilmastikutegurid nagu tuul, õhuniiskus ja õhutemperatuur (EVS, 2006). Tabelis 2 on näidanud, et ilmastikutingimused ei olnud eri mõõtmispäevadel ühesugused. Näiteks 11. oktoobril oli mõõtmise ajal tuntav tuul, mille kiirus oli kaks-kolm korda suurem kui teistel mõõtmispäevadel. See võiks tähendada, et tuul pani Pikal tänaval mõõtmise ajal liikuma lehed, mille tulemusena puulehtede kahin andis lisamüra juurde. Samuti oli eri päevadel erinev õhuniiskus. Veebruari lõpus ning 11. ja 18. oktoobril 2023. aastal oli õhuniiskus mõõtmisajal 84–99%, samas kui ülejäänud mõõtmispäevadel oli õhuniiskus 60–76% (Keskkonnaagentuur, i.a.). Seega võivad ka õhuniiskusest tulenenud ilmastikutingimused mõjutada heli levimist läbi takistuste.

Kahe aastaaja mürataseme keskmiste väärtuste hajuvust visualiseerisid kõikidel tänavatel karpvurrud diagrammid. Varasügisese aja mürataseme keskmiste väärtuste suur hajuvus võib tähendada, et sel perioodil on mürataseme mõjutavaid keskkonnategureid rohkem kui talvisel ja varakevadisel perioodil. See võib olla tingitud lehestiku olemasolu ja tuulekiiruse vahelisest seosest ning koduloomade ja lindude hääliksustest, mida varasügisel ajal rohkem esineb.

Suur hajuvus tee servale ehk müraallikale lähemates punktides tähendab seda, et mõõtmisajal oli iga punkti juures erinev liiklusintensiivsus, mis määras mürataseme keskmise väärtuse igas punktis. Oli näha ka seda, et müraallikale lähemate punktide kahe aastaaja keskmised väärtused olid liiklussagedusega kooskõlas ainult Pikal tänaval ja Kreutzwaldi tänaval. Kuna liiklussageduse näitajad (joonis 8) on õhtusel tipptunnil kesklinna suunal väiksemad kui kesklinnast väljapoole, näiteks Riia tänava lõigus, on raske määrata sealse haljasriba summutavat toimet.

Mõõtmisel saadud tulemuste võrdlus pöördruut-sõltuvuse valemi abil arvatud väärtustega ei näidanud haljastuse summutavat toimet. Müratase ei langenud pöördruut-sõltuvuse kohaselt, kuna see seadus ei arvesta linnakeskkonnas esinevaid keskkonnategureid, mis toovad lisamüra

juurde (Keskkonnaamet, 2023). Seega ei ole haljastuse summutava toime hindamiseks otstarbekas pöördruut-sõltuvuse arvutusmudelit kasutada.

Mitte ükski analüüsimisviis ei näidanud otseselt haljastuse summutavat toimet. Kuigi see on arusaadav, kuna haljastuse mürasummutav toime on suhteliselt tagasihoidlik, võrreldes teiste müratõketega ning sõltub haljasriba laiusest, valitud taimestiku mitmekesisusest ja taimede kõrgusest (EVS, 2016).

Üldiselt on mürataseme keskmised väärtused kooskõlas strateegilise mürakaardi ajakohastamise andmetega (ELLE OÜ, 2022). Need andmed olid modelleeritud 2021. aastal ja 2,5 aastat hiljem ei ole mürataseme keskmised väärtused samadel tänavatel oluliselt muutunud. Seega võiks oletada, et ka liiklusintensiivsus ja keskkonnatingimused ei ole sama perioodi jooksul muutunud.

Kui tugineda saadud mürataseme väärtuste tulemustele, siis võiks parkide laius tänavaruumis olla üle 50 m, et jalakäijatel oleks ligipääsetav mugav ja tervislik liikumisteed. Teise variandina võiks kasutada ka Fan jt (2010) uuringus kirjeldatud diagonaalsete ridadena puude istutamise viisi. Kuid istutamise viisi sõltub ka ruumi olemasolust ja mahutavusest uurimisaala linnaparkides. Riia ja Pika tänavate rohealadel on seda istutamise viisi raske rakendada, kuna need alad on kitsamad kui teised uuritavad tänavalõigud.

Kuna jalakäijate kokkupuudet liiklusmüraga linnakeskkonnas ja selle mõju ei ole palju uuritud (Poom jt, 2021) ning käesolevas uuringus ei olnud kõik linnatänaval liikluse levimisega seotud seaduspärad kontrollitud, vajavad mõned seosed jätkuvat uurimist. Näiteks, müra levimise seose hindamiseks liiklusintensiivsusega oleks otstarbekas panna mõõtmispunktid kummalgi pool samale kaugusele tee servast. Eri haljastusliikide mürasummutava toime hindamiseks võiksid punktide kaugused tee servast olla kõikidel uurimisaaladel ühesugused. Samuti oleks otstarbekas valida selleks omavahel sarnase liiklusintensiivsusega teed ja teostada vaatlused sarnastes ilmastikuoludes. Kasutada saaks ka inimgeograafilisi uurimismeetodeid nagu küsitlus. Selleks võib küsitleda jalakäijaid, kes liiguvad nendel teelõikudel õhtusel tipptunnil regulaarselt. Näiteks kas kõnniteel, kus on olemas haljasriba, on nendeni kostuv liikluse müra madalam võrreldes teisel pool teed paikneva kõnniteega, kus haljasriba puudub. Seejärel võiks võrrelda inimeste vastuseid müramõõtmistel saadud tulemustega.

Kokkuvõte

Liiklusrüü on osa linnakeskkonnas esinevast keskkonnarüü. Selle mõju linnaelanike ja jalakäijate tervisele on võrreldes teiste rüüliikidega üks suuremaid. Samuti on liiklusrüü linnakeskkonnas mõjukuselt teine inimeste tervist mõjutav tegur peale õhusaastet. Linnaplaneerimises kasutatava tervisliku tänava kontseptsiooni raames mitu lahendust, kuidas vähendada rüü mõju linnaelanikele. Üks nendest on haljastuse istutamine ja roheparkide loomine piki sõiduteed.

Käesoleva uurimistö eesmärk oli selgitada, kuidas haljastus mõjutab tänavarüü levikut eri aastaegadel ning kuidas rüü väheneb seoses kaugusega tänavast. Selleks püstitati järgmised uurimisküsimused.

1. Kuidas vähendab kõnnitee kaugus sõiduteest haljastatud tänavaruumis jalakäija jaoks tänavalt kostuvat rüü?
2. Kuivõrd vähendab haljastus jalakäijani kostuvat liiklusrüü erinevatel aastaegadel?

Uurimisalaks valiti neli teelõiku Tartu linnas: Riia tänava, Pika tänava, Kreutzwaldi tänava ja Narva maantee lõigud. Igas tänavas tehti 10–20 mõõtmist kahel aastaajal: varasügisel ja varakevadel. Seejärel analüüsiti saadud tulemusi sõltuvalt aastaajast ja punktide kaugusest tee servast ning võrreldi neid pöördrüü-sõltuvuse kohaselt langeva rüütasemega.

Selgus, et rüüallika kauguse suurenedes ei langenud rüütaseme pöördrüü-sõltuvuse seaduse kohaselt, kuna seaduse arvutusmudel ei arvesta keskkonnategureid, mis toovad lisarüü juurde. Samuti selgus, et kahe aastaaja rüütaseme keskmised väärtused olid sarnased. Pikal tänaval ja Narva maanteel oli rüütaseme varasügisel kõrgem kui varakevadel, samas Kreutzwaldi ja Riia tänavatel oli rüütaseme varasügisel madalam kui varakevadel. Eri tänavatel samal kaugusel asuvate punktide väärtuste erinevused on tingitud erinevast liiklusintensiivsusest ja ilmastikuoludest.

Selleks, et hinnata haljastuse rüüsummutavat toimet linnaruumis, on vaja valida omavahel sarnase liiklusintensiivsusega teelõigud ja teha mõõtmised eri teelõikudel ühesugusel kaugusel rüüallikast. Niimoodi on võimalik hinnata eri haljastusliikide rüü summutavat toimet, kui nendel lõikudel on eri tüüpi haljastus.

The propagation of traffic noise in green street space in Tartu by comparing two seasons

Mihhail Batura

Summary

Traffic noise is part of the environmental noise in the urban environment. Its impact on the health of city residents and pedestrians is one of the greatest compared to other types of noise. Traffic noise is also the second most influential factor affecting people's health in the urban environment after air pollution. Within the framework of the healthy street concept used in urban planning, several solutions to reduce the impact of noise on city residents. One of them is planting greenery and creating green parks along the road.

The purpose of this research was to clarify how street trees reduce traffic noise in different seasons and how the noise level decreases with distance from the street. For this purpose, the following research questions were formulated.

1. How does the distance of the sidewalk from the roadway reduce street noise for the pedestrian in a green space?
2. To what extent does greenery reduce traffic noise reaching pedestrians in different seasons?

Four road sections in the city of Tartu were chosen as the research area: Riia street, Pikk street, Kreutzwaldi street and Narva road sections. In each street, 10-20 measurements were made in two seasons: early autumn and early spring. The obtained results were then analyzed depending on the time of year and the distance of the points from the edge of the road and compared with the decreasing noise level according to the inverse square dependence.

It turned out that as the distance to the noise source increased, the noise level did not decrease according to the law of inverse square dependence, because the calculation model of the law does not take into account environmental factors that add additional noise. It also turned out that the average values of the noise level of the two seasons were similar. On Pikk street and Narva road, the noise level was higher in early autumn than in early spring, while on Kreutzwaldi and Riia streets, the noise level was lower in early autumn than in early spring. Differences in the values of points located at the same distance on different streets are due to different traffic intensity and weather conditions.

In order to evaluate the noise-reducing effect of landscaping in an urban space, it is necessary to select road sections with similar traffic intensity and make measurements on different road sections at the same distance from the noise source. In this way, it is possible to evaluate the

attenuation effect of different types of greenery, if these sections have different types of greenery.

Tänuavaldused

Soovin tänu avaldada juhendajale Age Poomile asjakohaste suunamiste ja akadeemilise kirjastiili korrigeerimise eest kogu töö vältel. Lisaks tänan eesti keele toimetajat Anneli Sihvart teksti kvaliteedi parandamise eest.

Kasutatud kirjandus

Ahas, R., Aasa, A., Silm, S., & Tiru, M. (2010). Daily rhythms of suburban commuters' movements in the Tallinn metropolitan area: Case study with mobile positioning data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(1), 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2009.04.011>

Allam, Z., Bibri, S. E., Chabaud, D., & Moreno, C. (2022). The '15-Minute City' concept can shape a net-zero urban future. *Humanities and Social Sciences Communications*, 9(1), 1–5. <https://doi.org/10.1057/s41599-022-01145-0>

Bunds, K. S., Casper, J. M., Hipp, J. A., & Koenigstorfer, J. (2019). Recreational walking decisions in urban away-from-home environments: The relevance of air quality, noise, traffic, and the natural environment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 65, 363–375. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.08.006>

Cherrie, M. P., Shortt, N. K., Ward Thompson, C., Deary, I. J., & Pearce, J. R. (2019). Association between the activity space exposure to parks in childhood and adolescence and cognitive aging in later life. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(4), 632. <https://doi.org/10.3390/ijerph16040632>

Daiber, A., Kröller-Schön, S., Oelze, M., Hahad, O., Li, H., Schulz, R., Steven, S., & Münzel, T. (2020). Oxidative stress and inflammation contribute to traffic noise-induced vascular and cerebral dysfunction via uncoupling of nitric oxide synthases. *Redox Biology*, 34, 101506. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101506>

De Vries, S., Van Dillen, S. M., Groenewegen, P. P., & Spreeuwenberg, P. (2013). Streetscape greenery and health: Stress, social cohesion and physical activity as mediators. *Social Science & Medicine*, 94, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2013.06.030>

Dzhambov, A. M., & Dimitrova, D. D. (2018). Residential road traffic noise as a risk factor for hypertension in adults: Systematic review and meta-analysis of analytic studies published in the period 2011–2017. *Environmental Pollution*, 240, 306–318. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.122>

EEA. (2018). *Unequal exposure and unequal impacts: Social vulnerability to air pollution, noise and extreme temperatures in Europe*. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/324183>

EEA. (2020). *Environmental noise in Europe—2020, EEA Report No 22/2019*. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-noise-in-europe>

Eensaar, A. (2023). *Keskkonnaviisika II*. <https://dspace.ttk.ee/items/5c5333aa-ee8d-4802-89fc-4e5a97f3a066>

Eesti Arhitektide Liit, Eesti Disainikeskus, & Eesti Kunstiakadeemia. (2012). *Kõiki kaasava elukeskkonna kavandamine & loomine*. https://www.astangu.ee/sites/default/files/media/koiki_kasava_elukeskkonna_kavandamine_loomine.pdf

ELLE OÜ. (2022). *Tartu linna välisõhu strateegilise mürakaardi ajakohastamine*. Tartu Linnavalitsus. https://tartu.ee/sites/default/files/research_import/2023-09/Tartu%20linna%20strateegiline%20mürakaart%20ELLE%20140923.pdf

Euroopa Parlament & Euroopa Liidu Nõukogu. (2002). *Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2002/49/EÜ, 25. Juuni 2002, mis on seotud keskkonnamüra hindamise ja kontrollimisega*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049>

EVS. (2006). *EVS-ISO 9613-2:2006, Akustika. Heli sumbumine välistingimustes leviku korral. Osa 2: Üldine arvutusmeetod*. <https://www.evs.ee/et/evs-iso-9613-2-2006>

EVS. (2016). *EVS 843:2016, Linnatänavad*. <https://www.evs.ee/et/evs-843-2016>

Fan, Y., Zhiyi, B., Zhujun, Z., & Jiani, L. (2010). The investigation of noise attenuation by plants and the corresponding noise-reducing spectrum. *Journal of Environmental Health*, 72(8), 8–15.

Fang, C.-F., & Ling, D.-L. (2003). Investigation of the noise reduction provided by tree belts. *Landscape and Urban Planning*, 63(4), 187–195. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00190-1](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00190-1)

Han, S. (2021). The use of transects for resilient design: Core theories and contemporary projects. *Landscape Ecology*, 36, 1567–1582. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01172-9>

Keskkonnaamet. (2023). *Juhend. Müra.* Kliimaministeerium. https://keskkonnaamet.ee/sites/default/files/documents/2023-11/Juhend__m%C3%BCra_avalik_2023.pdf

Khomenko, S., Cirach, M., Barrera-Gómez, J., Pereira-Barboza, E., Iungman, T., Mueller, N., Foraster, M., Tonne, C., Thondoo, M., Jephcote, C., & others. (2022). Impact of road traffic noise on annoyance and preventable mortality in European cities: A health impact assessment. *Environment International*, 162, 107160. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107160>

Kino maastikuarhitektid, & Artes Terrae. (2021). *Tervislik tänav Tartus.* <https://tartu.ee/sites/default/files/uploads/TTT%20juhendUUS2%20.pdf>

Marquet, O., Floyd, M. F., James, P., Glanz, K., Jennings, V., Jankowska, M. M., Kerr, J., & Hipp, J. A. (2020). Associations between worksite walkability, greenness, and physical activity around work. *Environment and Behavior*, 52(2), 139–163. <https://doi.org/10.1177/0013916518797165>

Marselle, M. R., Lindley, S. J., Cook, P. A., & Bonn, A. (2021). Biodiversity and health in the urban environment. *Current Environmental Health Reports*, 8(2), 146–156. <https://doi.org/10.1007/s40572-021-00313-9>

Martire, A., Hausleitner, B., & Clossick, J. (2023). *Everyday Streets. Inclusive approaches to understanding and designing streets.* UCL Press. <https://doi.org/10.14324/111.9781800084407>

Moreno, C. (2019). *The 15 minutes-city: For a new chrono-urbanism!. Pr Carlos Moreno.* <https://www.moreno-web.net/the-15-minutes-city-for-a-new-chrono-urbanism-pr-carlos-moreno/>

Mueller, N., Rojas-Rueda, D., Khreis, H., Cirach, M., Andrés, D., Ballester, J., Bartoll, X., Daher, C., Deluca, A., Echave, C., & others. (2020). Changing the urban design of cities for health: The superblock model. *Environment International*, 134, 105132. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105132>

Münzel, T., Kröller-Schön, S., Oelze, M., Gori, T., Schmidt, F. P., Steven, S., Hahad, O., Röösl, M., Wunderli, J.-M., Daiber, A., & others. (2020). Adverse cardiovascular effects of traffic noise with a focus on nighttime noise and the new WHO noise guidelines. *Annual Review of Public Health*, 41, 309–328. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-081519-062400>

Plovsing, B., & Kragh, J. (2000). *Nord2000. Comprehensive outdoor sound propagation model. Part 1: Propagation in an atmosphere without significant refraction.* <https://forcetechnology.com/-/media/force-technology-media/pdf-files/projects/nord2000/nord2000-comprehensive-outdoor-sound-propagation.pdf>

Poom, A., Willberg, E., & Toivonen, T. (2021). Environmental exposure during travel: A research review and suggestions forward. *Health & Place*, 70, 102584. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2021.102584>

Samara, T., & Tsitsoni, T. (2007). Road traffic noise reduction by vegetation in the ring road of a big city. *Proceedings of the International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics*, 2591–2596. https://users.auth.gr/users/5/9/050495/public_html/files/eng/10.pdf

Selkimäki, M., Riippi, J., Rana, P., Lamula, L., Antila, M., Heinonen, T., & Tokola, T. (2024). Forest landscape shield models for assessing audio-visual disturbances of wind turbines. *Journal of Environmental Management*, 352, 120070. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120070>

Shi, J., Huang, J., Guo, M., Tian, L., Wang, J., Wong, T. W., Webster, C., Leung, G. M., & Ni, M. Y. (2023). Contributions of residential traffic noise to depression and mental wellbeing in Hong Kong: A prospective cohort study. *Environmental Pollution*, 338, 122641. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122641>

Stratum OÜ. (2020). *Tartu linn, liiklusuuring ja liikluse modelleerimine Tartu kesklinnas*. Tartu Linnavalitsus. https://tartu.ee/sites/default/files/research_import/2020-05/2020-05-21%20Tartu%20kesklinna%20liikusuuring%20ja%20modelleerimine.pdf

Stratum OÜ. (2021). *Liiklusuuringute aluseks koostatud liiklusintensiivsuste kaart 2021*. Tartu Linnavalitsus. https://www.tartu.ee/sites/default/files/research_import/2021-06/2021-05-10%20Tartu%202020%20t%C3%B6%20C3%B6%20version%20kesklinn%20A1.pdf

Tallinna Linnavalitsuse Amet, Spin Unit, & Taltech. (2022). *Tallinna Linna rohefaktor*. Tallinna Linnavalitsuse Amet. <https://www.tallinn.ee/et/media/536246>

Tartu Linnavalitsus. (2021). *Tartu üldplaneering 2040+*. https://pildipank.tartulv.ee/yldplaneering2040/YP2040_seletuskiri.pdf

Transport for London. (2017). *Healthy Streets*. <https://content.tfl.gov.uk/healthy-streets-for-london.pdf>

Valikor Konsult. (2021). *Jalakäijate, jalgratturite ja tõukratturite loendamine Tartus 2021*. A. Kevadel. Tartu Linnavalitsus. <https://www.tartu.ee/sites/default/files/uploads/Transport/Jalak%C3%A4ijate%20jalgratturite%20ja%20t%C3%B5kratturite%20loendamine%20Tartus%202021.pdf>

Vilnius City Municipality, Do Architects, MMAP, & Gyvas Miestas. (2021). *The City of Vilnius Street Design Manual*. https://gatviustandartas.vilnius.lt/wp-content/uploads/2021/12/EN_W030_2021-12-20_Maz%CC%8Casis-standartas_SCREEN.pdf

WHO. (2018). *Environmental noise guidelines for the European region*. <https://iris.who.int/handle/10665/279952>

Yusibova, A. (2023). *The environmental quality of the street network and the equity of access to healthy travel environments in Tallinn*. Magistritöö. <https://dspace.ut.ee/items/1dfc04c5-dbb9-40f9-95b8-6c739fb55a8d>

Zhang, X., & Butts, C. T. (2016). A novel multivariate spectral regression model for learning relationships between communication activity and urban ecology. *2016 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/PERCOM.2016.7456525>

Internetiallikad

Extron. (i.a.). *Inverse square law*. Viimati kasutatud 22.05.2024
<https://www.extron.com/calculators/inverse-square-law/?tab=tools>

Keskkonnaagentuur. (i.a.). *Vaatlusandmed*. Viimati kasutatud 17.05.2024
<https://www.ilmateenistus.ee/ilm/ilmavaatlused/vaatlusandmed/>

Khan Academy. (i.a.). *Statistics and probability*. Viimati kasutatud 22.05.2024
<https://www.khanacademy.org/math/statistics-probability/summarizing-quantitative-data/box-whisker-plots/a/box-plot-review>

Maa-amet. (i.a.). *Halltoonides kaart ja ortofoto kaart*. Viimati kasutatud 22.05.2024
<https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maainfo>

Maa-amet. (2023). *Taimkate kõrgusmudel, kevad*. Viimati kasutatud 26.04.2024
<https://geoportaal.maaamet.ee/est/Kaardikihtide-kataloog-p912.html>

RT I, 21.12.2016, 27. (2017). *Välisõhus leviva müra normtasemed ja mürataseme mõõtmise, määramise ja hindamise meetodid*. Viimati kasutatud 22.05.2024
<https://www.riigiteataja.ee/akt/121122016027>

Tartu Linnavalitsus. (2024a). *Tartu linnaosad*. Viimati kasutatud 25.04.2024
<https://geohub.tartulv.ee/maps/a28ef9b679b64394a8a36204b3ea2e14/about>

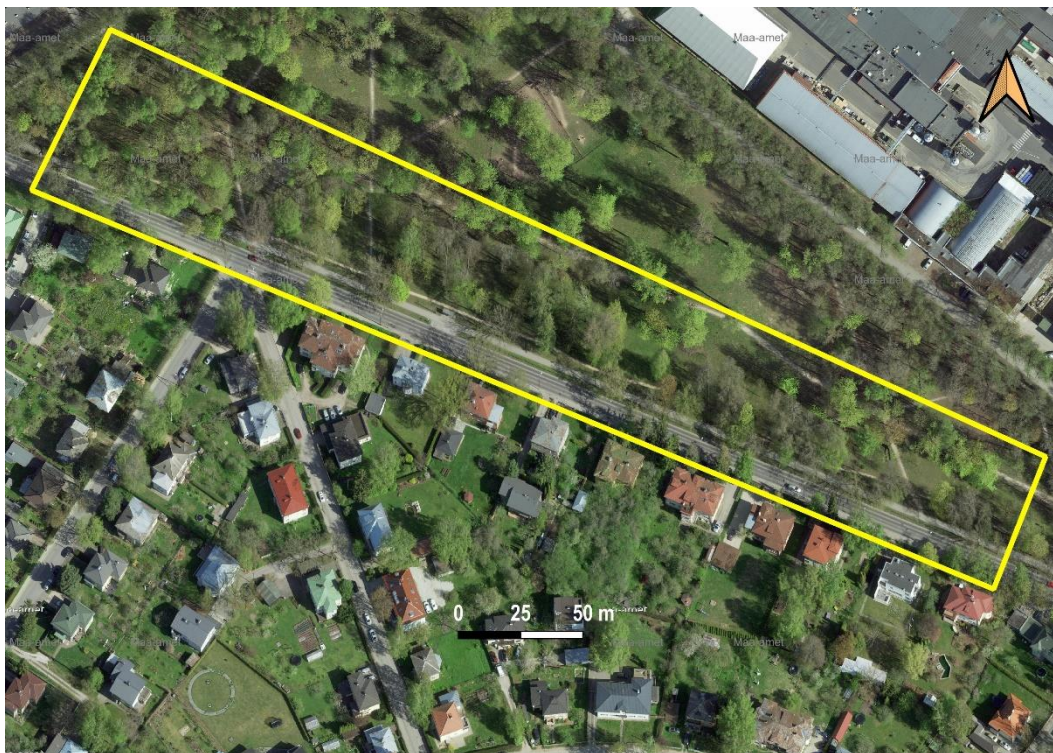
Tartu Linnavalitsus. (2024b). *Tartu statistilised näitajad*. Viimati kasutatud 30.03.2024
<https://www.tartu.ee/et/statistika>

Lisad

Lisa 1. Kaardikihtide lähteandmete loetelu.

Kaardikiht	Ühik	Failivorm	Geomeetria-tüüp	Atribuudid	Allikad
Möötmispunkt		vektorkiht, shp	punktobjektid	number	autor
LpA	dB			number, müratase	
Transekt	-			number	
Liiklussagedus	a/h		joonobjektid	maantee nimi, suund, sagedus	Stratum OÜ, Maa-amet
Uurimisala	-			pindobjektid	tänavanimi
Tänavamüra Ld	dB		rasterkiht, WMS-ühendus	müraklass, linna nimi	ELLE OÜ
Halltoonides kaart	-			-	Maa-amet
Ortofoto kaart	-				

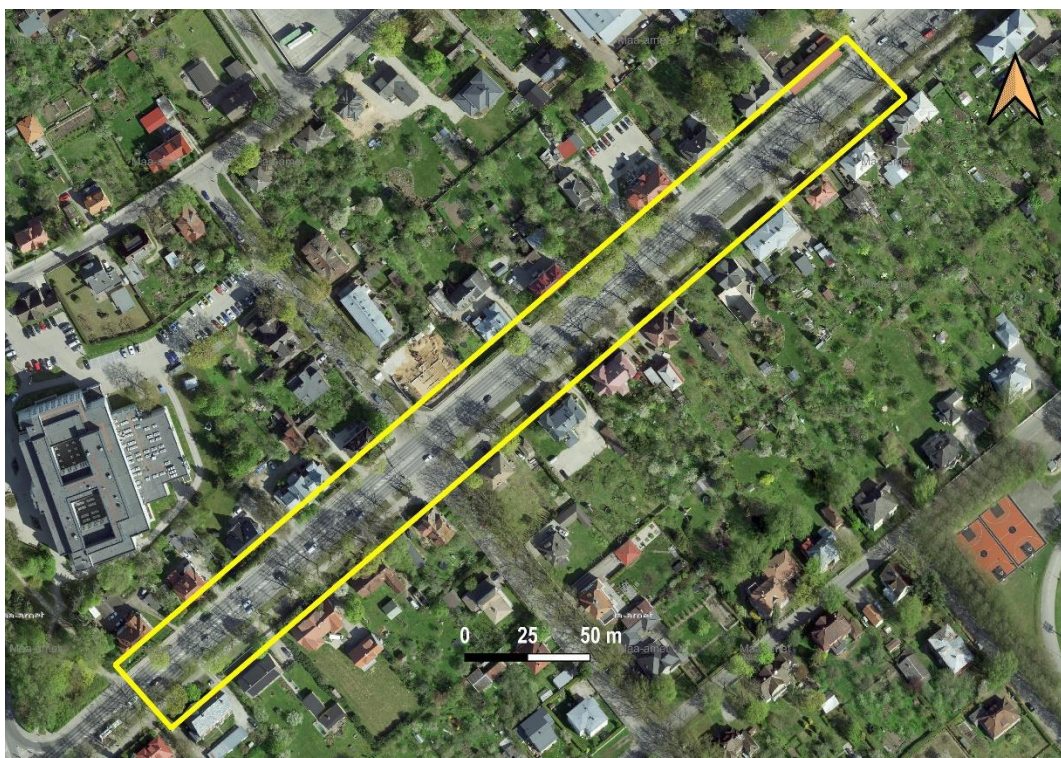
Lisa 2. Uuritavate tänavalõikude ortofotod



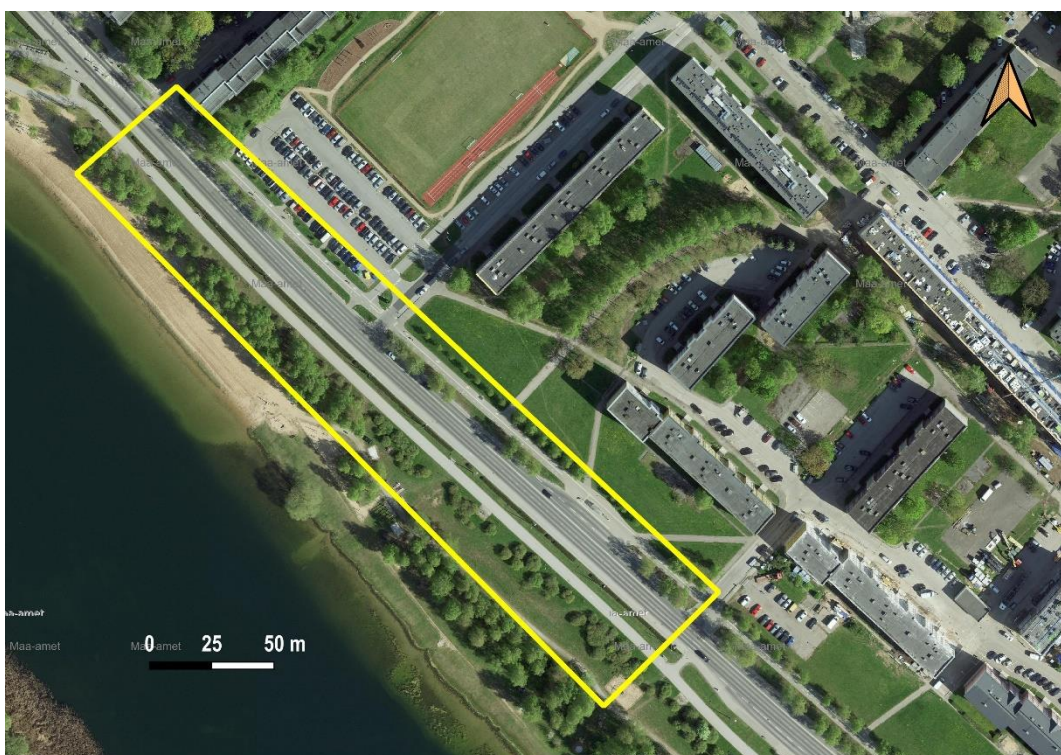
Joonis Lisa 2-1. Kreuzwaldi tänava uurimisala. Allikas: Maa-amet.



Joonis Lisa 2-2. Narva maantee uurimisala. Allikas: Maa-amet.



Joonis Lisa 2-3. Riia tänava uurimisala. Allikas: Maa-amet.



Joonis Lisa 2-4. Pika tänava uurimisala. Allikas: Maa-amet.

Lisa 3. Varasügiseste mõõtmiste tulemused.

ID		Koordinaadid							L _{pA} , dB			
Mõõtmis-punkt	Transekt	Laius	Pikkus	Tänavanimi	Kuupäev	Lõppkella-aeg	Suund tee teljest	d, m	Keskmine	Mediaan	Miimum	Maksimum
1	1	58.3692	26.7105	Riia tn	10.10.2023	17:27	paremal	2	74,3	75,5	65,4	80,3
2	1	58.3692	26.7105	Riia tn	10.10.2023	17:58	vasakul	5	71,9	72,3	63,2	76,4
3	2	58.3688	26.7095	Riia tn	10.10.2023	17:32	paremal	2	76,9	77,3	68,8	86,4
4	2	58.3688	26.7095	Riia tn	10.10.2023	17:56	vasakul	5	71,3	71,4	63,6	75,4
5	3	58.3681	26.7079	Riia tn	10.10.2023	17:37	paremal	2	72,4	72,8	65,7	79,6
6	3	58.3681	26.7079	Riia tn	10.10.2023	17:52	vasakul	5	72,3	73	62	77,5
7	4	58.3675	26.7065	Riia tn	10.10.2023	17:40	paremal	2	78,9	78,1	71,3	87,5
8	4	58.3675	26.7065	Riia tn	10.10.2023	17:50	vasakul	5	72,1	72	63,2	76,6
9	5	58.3669	26.7048	Riia tn	10.10.2023	17:42	paremal	2	75,9	77,1	64,8	83,9
10	5	58.3669	26.7048	Riia tn	10.10.2023	17:45	vasakul	5	73,6	74,7	64,2	79
11	6	58.3782	26.7419	Pikk tn	11.10.2023	17:49	vasakul	7	71,3	72,1	63,1	77,3
12	6	58.3782	26.7419	Pikk tn	11.10.2023	17:10	paremal	3	75,9	76,6	69,9	81,6
13	6	58.3782	26.7419	Pikk tn	11.10.2023	17:12	paremal	10	69,6	69	65,3	76,9
14	6	58.3782	26.7419	Pikk tn	11.10.2023	17:13	paremal	30	65,2	65,3	62,6	70
15	7	58.3778	26.7424	Pikk tn	11.10.2023	17:47	vasakul	7	70,9	72,2	64,7	75,2
16	7	58.3778	26.7424	Pikk tn	11.10.2023	17:15	paremal	3	75,7	74,8	67,4	83,7
17	7	58.3778	26.7424	Pikk tn	11.10.2023	17:17	paremal	10	70,5	71,1	65	73,2
18	7	58.3778	26.7424	Pikk tn	11.10.2023	17:19	paremal	30	64,9	63,4	61,7	71,5
19	8	58.3773	26.7435	Pikk tn	11.10.2023	17:44	vasakul	7	73,5	74	67,5	77,4

20	8	58.3773	26.7435	Pikk tn	11.10.2023	17:21	paremal	3	75,8	76,3	69,5	83,7
21	8	58.3773	26.7435	Pikk tn	11.10.2023	17:23	paremal	10	67,9	67,5	62,5	73,9
22	8	58.3773	26.7435	Pikk tn	11.10.2023	17:25	paremal	30	64,8	64,4	62,1	67,3
23	9	58.3770	26.7442	Pikk tn	11.10.2023	17:42	vasakul	7	71,5	72,9	63,3	76,4
24	9	58.3770	26.7442	Pikk tn	11.10.2023	17:28	paremal	3	73,5	73,6	65,3	82
25	9	58.3770	26.7442	Pikk tn	11.10.2023	17:30	paremal	10	68,2	68,8	61,3	73,4
26	9	58.3770	26.7442	Pikk tn	11.10.2023	17:32	paremal	30	61,9	61,8	60,4	63,8
27	10	58.3764	26.7452	Pikk tn	11.10.2023	17:40	vasakul	7	73,6	73,6	69,3	78,5
28	10	58.3764	26.7452	Pikk tn	11.10.2023	17:34	paremal	3	76,5	77,6	70,2	82
29	10	58.3764	26.7452	Pikk tn	11.10.2023	17:37	paremal	10	67	67,8	62,3	70,1
30	10	58.3764	26.7452	Pikk tn	11.10.2023	17:38	paremal	30	63,8	63,5	61,6	66,9
31	11	58.4836	26.7053	Kreutz- waldi tn	17.10.2023	17:48	vasakul	2	70	69,1	61,5	82,1
32	11	58.4836	26.7053	Kreutz- waldi tn	17.10.2023	17:41	paremal	5	67	68,2	57,9	75,8
33	11	58.4836	26.7053	Kreutz- waldi tn	17.10.2023	17:43	paremal	25	60,8	62	55,1	66,7
34	11	58.4836	26.7053	Kreutz- waldi tn	17.10.2023	17:45	paremal	50	61	60,9	57,6	63,6
35	12	58.3848	26.7042	Kreutz- waldi tn	17.10.2023	17:50	vasakul	2	74,9	77,7	63,1	83
36	12	58.3848	26.7042	Kreutz- waldi tn	17.10.2023	17:35	paremal	5	68,6	69	59	75,2
37	12	58.3848	26.7042	Kreutz- waldi tn	17.10.2023	17:36	paremal	25	61,9	62,3	56	68,7
38	12	58.3848	26.7042	Kreutz- waldi tn	17.10.2023	17:39	paremal	50	60,1	59,9	57,3	62,6

39	13	58.3851	26.7030	Kreutz-waldi tn	17.10.2023	17:52	vasakul	2	73,4	73,4	62,9	82,7
40	13	58.3851	26.7030	Kreutz-waldi tn	17.10.2023	17:27	paremal	5	71,1	72,3	60,3	78
41	13	58.3851	26.7030	Kreutz-waldi tn	17.10.2023	17:29	paremal	25	61,5	61,6	56,1	65,3
42	13	58.3851	26.7030	Kreutz-waldi tn	17.10.2023	17:31	paremal	50	57,3	57,2	56,3	58,9
43	14	58.3856	26.7011	Kreutz-waldi tn	17.10.2023	17:55	vasakul	2	77	77,5	68,3	83,9
44	14	58.3856	26.7011	Kreutz-waldi tn	17.10.2023	17:16	paremal	5	65,5	65,3	60,1	69,9
45	14	58.3856	26.7011	Kreutz-waldi tn	17.10.2023	17:18	paremal	25	62,1	62,2	58,7	64,9
46	14	58.3856	26.7011	Kreutz-waldi tn	17.10.2023	17:21	paremal	50	55,3	55,3	52,1	57,8
47	15	58.3861	26.6989	Kreutz-waldi tn	17.10.2023	17:58	vasakul	2	71,2	72,7	60,2	82,8
48	15	58.3861	26.6989	Kreutz-waldi tn	17.10.2023	17:09	paremal	5	65,6	65,8	60	71,8
49	15	58.3861	26.6989	Kreutz-waldi tn	17.10.2023	17:11	paremal	25	60,4	60,5	56,9	62,9
50	15	58.3861	26.6989	Kreutz-waldi tn	17.10.2023	17:13	paremal	50	55,6	55,6	52,8	57,5
51	16	58.3823	26.7282	Narva mnt	18.10.2023	17:50	paremal	2	76,3	76,8	70,4	79,7
52	16	58.3823	26.7282	Narva mnt	18.10.2023	17:44	vasakul	4	74,8	75	65	80,3
53	16	58.3823	26.7282	Narva mnt	18.10.2023	17:45	vasakul	12	65,3	65,5	62,7	66,7
54	16	58.3823	26.7282	Narva mnt	18.10.2023	17:47	vasakul	30	59,3	59,6	56,6	60,9

55	17	58.3828	26.7278	Narva mnt	18.10.2023	17:52	paremal	2	76,2	76,4	67,6	81
56	17	58.3828	26.7278	Narva mnt	18.10.2023	17:38	vasakul	4	77,5	78,3	70,5	80,8
57	17	58.3828	26.7278	Narva mnt	18.10.2023	17:40	vasakul	12	68,1	68,3	59,1	71,5
58	17	58.3828	26.7278	Narva mnt	18.10.2023	17:41	vasakul	30	58,2	57,9	56	64,4
59	18	58.3834	26.7273	Narva mnt	18.10.2023	17:55	paremal	2	76,5	76,7	69,9	81,7
60	18	58.3834	26.7273	Narva mnt	18.10.2023	17:31	vasakul	4	76,3	76,1	74,2	81,5
61	18	58.3834	26.7273	Narva mnt	18.10.2023	17:33	vasakul	12	70,6	71,2	65,9	73,6
62	18	58.3834	26.7273	Narva mnt	18.10.2023	17:35	vasakul	30	62,3	62,5	58,4	65,2
63	19	58.3839	26.7270	Narva mnt	18.10.2023	17:57	paremal	2	72,9	72,7	67,8	81,2
64	19	58.3839	26.7270	Narva mnt	18.10.2023	17:24	vasakul	4	74,2	74,2	69,5	78,2
65	19	58.3839	26.7270	Narva mnt	18.10.2023	17:25	vasakul	12	68,2	68,2	65,7	70,3
66	19	58.3839	26.7270	Narva mnt	18.10.2023	17:28	vasakul	30	61,8	62,3	56,9	64,8
67	20	58.3844	26.7265	Narva mnt	18.10.2023	17:59	paremal	2	74,3	74,4	64,5	80,5
68	20	58.3844	26.7265	Narva mnt	18.10.2023	17:14	vasakul	4	74,7	74,7	72,3	78,7
69	20	58.3844	26.7265	Narva mnt	18.10.2023	17:15	vasakul	12	65,7	65,8	61,5	68
70	20	58.3844	26.7265	Narva mnt	18.10.2023	17:21	vasakul	30	61,5	61,4	59,3	64,7

Lisa 4. Varakevadiste mõõtmiste tulemused.

ID		Koordinaadid							L _{pA} , dB			
Mõõtmis-punkt	Transekt	Laius	Pikkus	Tänavanimi	Kuupäev	Lõppkella-aeg	Suund tee teljest	d, m	Keskmine	Mediaan	Miimum	Maksimum
1	1	58.3692	26.7105	Riia tn	26.02.2024	17:11	paremal	2	77	77,8	69,1	85
2	1	58.3692	26.7105	Riia tn	26.02.2024	17:44	vasakul	5	71,1	72,8	56,2	76,8
3	2	58.3688	26.7095	Riia tn	26.02.2024	17:15	paremal	2	76,1	76,9	65,9	84,9
4	2	58.3688	26.7095	Riia tn	26.02.2024	17:42	vasakul	5	72,1	73	60,2	77,7
5	3	58.3681	26.7079	Riia tn	26.02.2024	17:18	paremal	2	74,8	75	66,1	85,4
6	3	58.3681	26.7079	Riia tn	26.02.2024	17:38	vasakul	5	72,4	72,7	64,7	78,3
7	4	58.3675	26.7065	Riia tn	26.02.2024	17:21	paremal	2	74,1	75,4	66,1	82,7
8	4	58.3675	26.7065	Riia tn	26.02.2024	17:34	vasakul	5	72,8	73	63,2	78,9
9	5	58.3669	26.7048	Riia tn	26.02.2024	17:24	paremal	2	73,6	74,4	61,5	84,9
10	5	58.3669	26.7048	Riia tn	26.02.2024	17:30	vasakul	5	72,2	73	62,2	79,3
11	6	58.3782	26.7419	Pikk tn	29.02.2024	17:24	vasakul	7	69,1	70,6	61,2	75,4
12	6	58.3782	26.7419	Pikk tn	29.02.2024	16:40	paremal	3	73,7	74,1	67,4	81,1
13	6	58.3782	26.7419	Pikk tn	29.02.2024	16:41	paremal	10	66,4	66,1	60,3	72,7
14	6	58.3782	26.7419	Pikk tn	29.02.2024	16:43	paremal	30	60,7	61	56,1	65,2
15	7	58.3778	26.7424	Pikk tn	29.02.2024	17:22	vasakul	7	72,2	73,7	62,7	79,1
16	7	58.3778	26.7424	Pikk tn	29.02.2024	16:45	paremal	3	75	75	66,8	84,2
17	7	58.3778	26.7424	Pikk tn	29.02.2024	16:47	paremal	10	68,6	69,5	61,5	73,3
18	7	58.3778	26.7424	Pikk tn	29.02.2024	16:49	paremal	30	62,2	63,2	58,3	64,8
19	8	58.3773	26.7435	Pikk tn	29.02.2024	17:19	vasakul	7	70,4	71,1	60,8	77
20	8	58.3773	26.7435	Pikk tn	29.02.2024	16:52	paremal	3	76,2	76,3	69,8	84,3

21	8	58.3773	26.7435	Pikk tn	29.02.2024	16:54	paremal	10	68,7	68,9	61,4	73,4
22	8	58.3773	26.7435	Pikk tn	29.02.2024	16:55	paremal	30	62	62,3	58,9	64,4
23	9	58.3770	26.7442	Pikk tn	29.02.2024	17:17	vasakul	7	71,6	72,3	64	76,6
24	9	58.3770	26.7442	Pikk tn	29.02.2024	16:59	paremal	3	76,6	77	65,4	83,5
25	9	58.3770	26.7442	Pikk tn	29.02.2024	17:01	paremal	10	66,3	65,6	60,5	74,7
26	9	58.3770	26.7442	Pikk tn	29.02.2024	17:03	paremal	30	61,4	61,5	58	63,9
27	10	58.3764	26.7452	Pikk tn	29.02.2024	17:14	vasakul	7	71,5	71,9	64,6	77
28	10	58.3764	26.7452	Pikk tn	29.02.2024	17:07	paremal	3	75,3	75,6	63,3	83,9
29	10	58.3764	26.7452	Pikk tn	29.02.2024	17:09	paremal	10	65,9	67,4	58	74,8
30	10	58.3764	26.7452	Pikk tn	29.02.2024	17:11	paremal	30	62	62,3	58,8	64,3
31	11	58.4836	26.7053	Kreutz- waldi tn	05.03.2024	17:44	vasakul	2	72	71,6	63,4	81,8
32	11	58.4836	26.7053	Kreutz- waldi tn	05.03.2024	16:51	paremal	5	69,2	70,3	58,1	75,9
33	11	58.4836	26.7053	Kreutz- waldi tn	05.03.2024	16:53	paremal	25	63,9	64,8	57,5	67,8
34	11	58.4836	26.7053	Kreutz- waldi tn	05.03.2024	16:55	paremal	50	61,3	61,7	58,3	64
35	12	58.3848	26.7042	Kreutz- waldi tn	05.03.2024	17:40	vasakul	2	67,8	67,4	56,3	82,8
36	12	58.3848	26.7042	Kreutz- waldi tn	05.03.2024	17:00	paremal	5	68,5	68,2	60,6	79,1
37	12	58.3848	26.7042	Kreutz- waldi tn	05.03.2024	17:02	paremal	25	62	62,1	53,2	65,7
38	12	58.3848	26.7042	Kreutz- waldi tn	05.03.2024	17:04	paremal	50	60	60,6	52,4	65,6

39	13	58.3851	26.7030	Kreutz-waldi tn	05.03.2024	17:37	vasakul	2	70,1	69,8	58,1	81,4
40	13	58.3851	26.7030	Kreutz-waldi tn	05.03.2024	17:06	paremal	5	71,6	72,2	64,6	75,9
41	13	58.3851	26.7030	Kreutz-waldi tn	05.03.2024	17:09	paremal	25	62,2	62,6	55,2	66,8
42	13	58.3851	26.7030	Kreutz-waldi tn	05.03.2024	17:11	paremal	50	58,2	58,7	53,6	61,3
43	14	58.3856	26.7011	Kreutz-waldi tn	05.03.2024	17:34	vasakul	2	69,7	71,3	58	83
44	14	58.3856	26.7011	Kreutz-waldi tn	05.03.2024	17:15	paremal	5	69,9	69,9	62,2	77,2
45	14	58.3856	26.7011	Kreutz-waldi tn	05.03.2024	17:17	paremal	25	61,1	61,4	55,8	66,4
46	14	58.3856	26.7011	Kreutz-waldi tn	05.03.2024	17:19	paremal	50	58,2	58,2	53,7	61,1
47	15	58.3861	26.6989	Kreutz-waldi tn	05.03.2024	17:30	vasakul	2	74,5	74,8	64,6	84,6
48	15	58.3861	26.6989	Kreutz-waldi tn	05.03.2024	17:23	paremal	5	67,6	67,5	58,1	78,7
49	15	58.3861	26.6989	Kreutz-waldi tn	05.03.2024	17:25	paremal	25	64,2	64,7	59,5	69,6
50	15	58.3861	26.6989	Kreutz-waldi tn	05.03.2024	17:27	paremal	50	59,6	58,8	55,5	64,4
51	16	58.3823	26.7282	Narva mnt	28.02.2024	17:27	paremal	2	71,2	69,5	63,5	81,9
52	16	58.3823	26.7282	Narva mnt	28.02.2024	16:43	vasakul	4	69,2	70,9	58,3	80,2
53	16	58.3823	26.7282	Narva mnt	28.02.2024	16:45	vasakul	12	64,6	67,2	56,1	71,2
54	16	58.3823	26.7282	Narva mnt	28.02.2024	16:48	vasakul	30	62,4	61	58,8	67,6

55	17	58.3828	26.7278	Narva mnt	28.02.2024	17:25	paremal	2	73,7	73,9	65,2	81,3
56	17	58.3828	26.7278	Narva mnt	28.02.2024	16:51	vasakul	4	71,2	72,2	61,9	83,1
57	17	58.3828	26.7278	Narva mnt	28.02.2024	16:54	vasakul	12	68,3	69,9	61,6	74,2
58	17	58.3828	26.7278	Narva mnt	28.02.2024	16:56	vasakul	30	64,8	65,9	59,6	68,4
59	18	58.3834	26.7273	Narva mnt	28.02.2024	17:23	paremal	2	74,5	74	64,9	83
60	18	58.3834	26.7273	Narva mnt	28.02.2024	16:31	vasakul	4	75,5	74,7	69	96,3
61	18	58.3834	26.7273	Narva mnt	28.02.2024	16:34	vasakul	12	67,7	68,2	60,3	73,9
62	18	58.3834	26.7273	Narva mnt	28.02.2024	16:36	vasakul	30	63,8	64,5	59,8	67,5
63	19	58.3839	26.7270	Narva mnt	28.02.2024	17:19	paremal	2	73,7	74,8	64,6	81,6
64	19	58.3839	26.7270	Narva mnt	28.02.2024	16:59	vasakul	4	73,2	75,3	61,5	80
65	19	58.3839	26.7270	Narva mnt	28.02.2024	17:01	vasakul	12	67,9	68,6	62,2	72,7
66	19	58.3839	26.7270	Narva mnt	28.02.2024	17:03	vasakul	30	65,9	65,9	63,4	70,4
67	20	58.3844	26.7265	Narva mnt	28.02.2024	17:17	paremal	2	73,5	73,6	66,3	79,8
68	20	58.3844	26.7265	Narva mnt	28.02.2024	17:06	vasakul	4	71,4	71,7	62,7	80,3
69	20	58.3844	26.7265	Narva mnt	28.02.2024	17:08	vasakul	12	67,9	68,2	64,3	71,1
70	20	58.3844	26.7265	Narva mnt	28.02.2024	17:10	vasakul	30	65,3	65,4	62,6	68

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Mihhail Batura,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose **Liiklusmüra levik haljastatud tänavaruumis Tartus kahe aastaaja võrdluses**, mille juhendaja on Age Poom, reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Mihhail Batura

23.05.2024