

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteadus valdkond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö geograafias (12 EAP)

**Avalike varjumispaikade potentsiaalne nõudlus
mobiilpositsioneerimise andmetel**

Neo Naatan Alakivi

Juhendaja:
Ago Tominga

Annotatsioon

Avalike varjumispaikade potentsiaalne nõudlus mobiilpositsioneerimise andmetel

Tänapäevases dünaamilises julgeolekupoliitikas on avalike varjumiskohtade roll riigi kaitsevõime tagamisel märkimisväärselt kasvanud. Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on hinnata Tartu linnas liikuvate inimeste ligipääsetavust avalikele varjumiskohtadele ning selgitada välja piirkonnad, kus potentsiaalne nõudlus on kõrge, kuid varjumiskohad puuduvad. Töö tulemustest selgus, et olemasoleva võrgustiku puhul jõuab kümne minutiga varjumiskohtadeni ligikaudu 53% tänaval liikuvatest inimestest ning viie minut korral vaid 18%. Viie strateegiliselt valitud varjumiskoha lisamisel suurenes viie minuti jooksul varjumiskohta jõudvate liikujate arv 5,74% võrra ja kümne minuti jooksul 8,95% võrra. Töö panustab elanikkonnakaitse planeerimisse pakkudes välja andmepõhise meetodi praeguse olukorra hindamiseks ja uute varjumiskohtade asukohtade valimiseks.

Võtmesõnad: ligipääsetavus, avalikud varjumiskohad, mobiilpositsioneerimine

CERCS kood: S230 – Sotsiaalne geograafia

Abstract

Potential demand for public shelters based on mobile positioning data

Today, public shelters play an increasingly important role in national defence capacity. The aim of this bachelor's thesis is to assess the accessibility of public shelters for people moving within the city of Tartu and to identify areas where potential demand is high but there are no nearby shelters. The results show that, under the current shelter network, approximately 53% of people moving in public space are able to reach a shelter within ten minutes. In the case where only up to five minutes are available for evacuation, only around 18% of all individuals are able to reach a shelter in time. The addition of five strategically selected shelters increased the number of people able to reach a shelter within five minutes by 5.74% and within ten minutes by 8.95%. Overall, the thesis contributes to civil protection planning by proposing a data-driven approach for assessing the current situation and identifying suitable locations for additional public shelters.

Keywords: accessibility, public shelters, mobile positioning

CERCS code: S230 – Social geography

Sisukord

Sissejuhatus.....	5
1. Teoreetiline taust.....	7
1.1 Varjumine.....	7
1.2 Varjumiskoha nõuded.....	8
1.3 Avalike varjumiskohtade rajamise poliitika välisriikides.....	9
1.4 Ligipääsetavus.....	11
1.4.1 Ligipääsetavuse mõiste.....	11
1.4.2 Ligipääsetavuse mõõtmine.....	12
1.5 Potentsiaalne nõudlus erinevatel ajahetkedel.....	12
1.5.1 Ööpäevane erinevus.....	13
1.5.2 Rahvastiku muutused suurte kriiside ajal.....	13
2. Andmed ja töö käik.....	15
2.1 Andmete kirjeldus.....	15
2.2 Andmetöötlus ja -analüüs.....	15
2.2.1 Lähimate varjumiskohtade leidmine ja nendeni jõudmiseks aja arvutamine.....	15
2.2.2 Inimeste arvu hindamine minutite lõikes.....	16
2.2.3 Potentsiaalsete varjumiskohtade otsimine.....	16
2.2.4 Andmetöötleses tehtud eelduste mõju analüüsile.....	17
3. Tulemused.....	19
3.1 Olemasolevate varjumiskohtade kättesaadavus.....	19
3.2 Varjumiskohtade potentsiaalne kättesaadavus koos lisatud varjumiskohtadega.....	22
4. Arutelu.....	27
5. Kokkuvõte.....	29
Summary.....	30
Tänuavaldused.....	31
Kasutatud kirjanduse loetelu.....	32

Sissejuhatus

Tänapäevases julgeolekuolukorras on elanikkonnakaitse muutunud üheks oluliseimaks prioriteediks. Varjumine on elude päästmiseks kriitiline meede, pakkudes kaitset ohtliku väliskeskkonna või sõjalise rünnaku korral (Riigikantselei ja Siseministeerium, 2018). Eesti riik on seadnud eesmärgi, et aastaks 2034 peavad avalikud varjumiskohad olema tagatud viiendikule elanikkonnast (Lemsalu, 2024). Hetkel on Tartus kokku 26 avalikku varjumiskohta (Päästeameti.... i.a, a).

Häire korral peaksid inimesed suunduma kiiresti lähimasse hoonesse või avalikku varjumiskohta (Kriis..., 2026). Avalikud varjumiskohad on suunatud peamiselt inimestele, kes viibivad ohu tekkimise ajal avalikus ruumis (Kriis..., 2026). Inimestel, kes asuvad juba siseruumides, peaksid varjuma akendeta toas või keldris (Kriis..., 2026) Varasemalt ei ole uuritud, kui paljud inimesed reaalselt jõuaksid ohu korral varjumiskohtadeni.

Tänapäeval on unikaalne võimalus seda uurida tänu mobiilpositsioneerimise andmetele, mis võimaldavad hinnata inimeste hetkepõhist paiknemist linnaruumis erinevatel ajahetkedel (Tominga jt, 2023). Samuti on võimalik kasutada ligipääsetavuse hindamisel erinevaid GIS võimalusi, et arvestada ka tänavavõrgustiku ja inimese tegeliku liikumisajaga (Kwan 1998).

Uurimistöö keskmes on Tartu linna avalike varjumiskohtade ligipääsetavuse analüüs. Selleks püstitas autor kaks uurimisküsimust:

- Kui suurele osale tänaval liikuvatest inimestest on Tartu varjumiskohad kättesaadavad?
- Kus on Tartu linnas potentsiaalne nõudlus kõrge, aga puuduvad varjumiskohad?

Analüüs on läbi viidud kahe erineva stsenaariumi põhjal, et arvestada rahvastiku rütmilist muutust linnaruumis.

Töö tulemused pakuvad andmepõhist sisendit elanikkonnakaitse planeerimisse, andes ülevaate praeguste varjumiskohtade teenindusaladest ja nendeni jõudvatest inimestest ning ka andmepõhise meetodi uute varjumiskohtade planeerimiseks.

1. Teoreetiline taust

1.1 Varjumine

Riigikantselei ja Siseministeeriumi “Elanikkonnakaitse kontseptsioon” defineerib mõiste “varjumine”: “Varjumise eesmärk on pakkuda inimestele füüsilist kaitset saastunud või kineetiliselt ohtliku väliskeskkonna eest. Varjumine on eluliselt kriitiline meede inimeste elude päästmiseks olukorras, kus piisavalt varajase hoiatuse puudumise tõttu ei ole inimeste ohtlikust piirkonnast lahkumine (või evakueerimine) nende elu ja tervist ohtu seadmata võimalik või pakub varjumine piisavalt kaitset ning lahkumine pole otstarbekas.” (Riigikantselei ja Siseministeerium, 2018)

Samuti on olulised mõisted “varjend” ja “varjumiskoht”. Kuigi igapäevaselt kasutatakse neid mõisteid sageli vaheldumisi on neil erinevad tähendused. “Varjend on ehitis või selle osa, mis on spetsiaalselt ehitatud varjumiseks ning mille konstruktsioon vastab kehtestatud nõuetele” ning “Varjumiskoht on ehitis või selle osa, mis on kohandatud varjumiseks ning mille konstruktsioon kaitseb inimest vähemalt plahvatussega kaasneva laialipaiskumise eest (mõeldud lühiajaliseks kasutamiseks)” (Lemsalu, 2024).

Aastal 1993 võttis Vabariigi valitsus Euroopa riikide eeskujul vastu otsuse mitte arendada varjumiskohti (Riigi Päästeamet, Riigivaraamet ja Kaitseministeerium, 1993, viidatud Riigikantselei ja Siseministeerium, 2018 kaudu). Taasiseseisvumise järel oli Eestis arvel 280 varjendit ja umbes 72 910 varjumiskohta (Riigi Päästeamet jt, 1993, viidatud Riigikantselei ja Siseministeerium, 2018 kaudu). 2018. aastal puudusid Eestis soovituslikud standardid ja juhendmaterjalid selleks, et inimesed saaksid ise soovi korral rajada varjendeid või tugevdada olemasolevaid hooneid (Riigikantselei ja Siseministeerium, 2018). Tänapäevaks on olemas riigil strateegilised eesmärgid ning aastaks 2034 elanikkonnakaitseks raamdokument (Lemsalu, 2024). Nendeks eesmärkideks on, et 20% elanikele on avalikud varjumiskohad, 75% elanikest teab, kuhu ja kuidas ohu korral varjuda ning 50% kortermajadel, büroo- ja ärihoonetel on olemas lahendused varjumiseks ja loodud juhendmaterjal, kuidas ja kuhu hoones varjuda (Lemsalu, 2024).

Sõjalise ründe vahetu ohu korral on kõige rohkem ohustatud inimesed, kes viibivad väljaspool hooneid (Riigikantselei ja Siseministeerium, 2018). Nemad, ja lisaks ka inimesed, kelle kodud ei paku piisavat kaitset, vajavad ühiskasutatavaid varjumiskohti (Riigikantselei ja

Siseministerium, 2018). Tartu linna veebilehel on link kriisikaardile, kus on olemas avalike varjumiskohtade, kriisiinfokeskuste, kriisipoodide ja kriisitanklate asukohad (Tartu..., i.a, b; Kriisikaart, i.a). Tartus on kokku 26 avalikku varjumiskohta (Päästeameti.... i.a, a), kuid nende praegune kogumahutavus ei ole avalik info. Uues Tartu koalitsioonileppes 2025–2029 on välja toodud, et Tartus rajatakse varjumiskohad 100 000 inimesele ning ehitatakse välja haridusasutuste varjumiskohad (Tartu..., i.a, a).

Varjumiskohad võivad muutuda vajalikuks ka näiteks ekstreemse ilma, suurte põlengute, keemiarünnakute või rahutuste puhul (Päästeameti..., i.a, a). Igale ohule vastavad erinevad käitumisjuhised (Päästeameti..., i.a, a). Igale ohule kehtib ka erinev aeg, kui kiiresti peaksid inimesed varjumiskohtadesse jõudma. Sõjalise ohu korral võib sireenidele reageerimiseks olla aega vaid mõni sekund (Manor *et al.* 2023). Sellisel juhul ei ole inimestel aega jõuda avalike varjumiskohtadeni ning tänavatel olijad peaksid hindama oma asukoha võimalusi ning leidma kiiresti sobiva koha varjumiseks (Kriis..., 2025).

1.2 Varjumiskoha nõuded

Varjumiskohad võivad olla avalikud või mitteavalikud (Riigikogu, 2025). Avalikud varjumiskohad pakuvad varjet kõigile inimestele, kes asuvad ohu korral avalikus ruumis ja kelle läheduses pole muud varjumiskohta (Kriisikaart, i.a). Need peavad olema tähistatud rahvusvahelise tsiviilkaitse märgiga (Kriisikaart, i.a). Lisaks on olemas mitteavalikud varjumiskohad, mis ei pea olema märgistatud ning mis on mõeldud antud hoone külastajatele (Päästeameti..., i.a, b). Mitteavalikel varjumiskohtadel on suur roll elanikkonnakaitses, sest Eestis on registreeritud üle 24 000 korteriühistu, mis majutavad üle poole Eesti elanikkonnast (Päästeameti..., i.a, b).

Päästeamet on koostanud juhendi elamute keldrite varjumiskohtadeks kohandamiseks (Päästeamet, 2025). Selles juhendis on määratletud varjumiskoha baastingimused, mis puudutavad nii konstruktsiooni kui muid kohustuslikke elemente, ning ka lisatingimused mis võiksid olla täidetud, et tagada inimeste elukvaliteet (Päästeamet, 2025).

Ühe inimese kohta peaks olema ruumi 0,75 m² ning magamiskohale, liikumispuudega inimesele või vigastatule peaks olema sellest ruumi kaks kuni kolm korda rohkem (Päästeamet, 2025). Varjumiskoha seinad võiksid olla vähemalt 200 mm paksusega ning valatud raudbetoonist. (Ole valmis, i.a). Lagi peaks olema samuti valatud raudbetoonist või

paneelidest lae puhul tuleks paigaldada tugevdamiseks toetused (Ole valmis, i.a). Parim kaitse on tagatud, kui aknad ja uksed on sama tugevad kui seinad (Päästeamet, 2025) Põrandad peavad olema kuivad ja puhtad (Päästeamet, 2025). Tuleks tagada ka regulaarne õhuvaetus. (Päästeamet, 2025). Väiksemate ruumide puhul piisab loomulikust ventilatsioonist, kuid suuremate ruumide puhul on vajalik sundventilatsiooni olemasolu (Ole valmis, i.a). Igal varjumiskohal, mis on suurem kui 10 m² peab olema olema varuväljapääs. Samuti peab igal varjumiskohal olema vastutav isik, kes on määratud hoone omaniku poolt (Päästeamet, 2025). Soovitavateks lisatingimusteks, mis tagavad inimväärsed tingimused ka siis, kui varjumiskohas on vaja olla pikemat aega, on: käimlad, varu elektritoite tagamine seadmetele ja valgustusele, elektripistikud seintel, sobilik temperatuur, õhu filtreerimine, istumiskohad, lae toestamine, meditsiinivahendid, kandraam või lohistusmatt, liivakotid ja labidas, määrgistus, tehnosüsteemide ajutise sulgemise võimalused, sobilike materjalide kasutus siseruumides, toidu valmistamise võimalused, vesi, prügimajandus, lastega tegelemise võimalused, personaalsed kaitsevahendid, esmased tulekustutusvahendid, CO² andur, teabekandjad, side ja levi olemasolu, varjumist korraldavate isikute rollijaotus ja muu vajalik (Päästeamet, 2025).

1.3 Avalike varjumiskohtade rajamise poliitikad välisriikides

Riikidel on väga erinevad varjumiskohtade rajamise poliitikad. Nendeks võivad olla näiteks elamutes varjumiskohtade arendamine, avalike hoonete kindlustamine varjumiseks, välja ehitatud avalike varjumiskohtade võrgustiku loomine või erinevate võimaluste kombineerimine.

Iisraeli kodanikukaitse poliitika sõltub pommivarjenditest, mille rahvapärane nimetus on *mamad* (Shapiro ja Bird-David, 2019). Need on kindlustatud toad igas elamuüksuses, mis on igapäevaselt kasutuses tavalise toana, ent hädaolukorras kasutavad leibkonnad neid varjupaikadena (Shapiro ja Bird-David, 2019). 2025. aasta suvel oli mitmetes Iisraeli linnades inimestel Iraani raketirünnakute eest varjumiseks aega kohati ainult 15–90 sekundit enne raketi maandumist (Khachidze, 2025). Sellistes olukordades on *mamad* kriitilise tähtsusega, et päästa inimeste elusid (Khachidze, 2025). Kuigi Iisraelis muutus *mamade* ehitamine kohustuslikuks juba aastal 1992, siis aastaks 2024 puudusid need üle pooltel majadel (Shapiro ja Bird-David, 2019, Greyman-Kennard, 2026). Juba 2012. aasta Gaza ja Iisraeli konflikti ajal olid inimesed sunnitud leidma endale varjumiskoha, milleks oli tihti ka võõraste

inimeste trepikoda (Steinberg, 2012). Trepikodade uksed olid avatud just omavalitsuse palvel, et inimestel oleks võimalus kiiresti leida endale varjumiskoht (Steinberg, 2012).

Enne 2022. aasta Venemaa täiemahulist sissetungi olid Ukrainas vaid vähesed väljaehitatud spetsiaalsed varjendid, mis olid mõeldud eelkõige sõjaväelastele või olulistele riigitootajatele (Lonsdorf, Estrin ja Harbage, 2022). Praeguseks hetkeks on just avalikud ruumid need kohad, mis pakuvad paljudele inimestele kaitset (Howlett *et al.*, 2025). Nendeks on enamasti maa-alused parklad, tunnelid ja metroojaamad (Howlett *et al.*, 2025). Inimesi teavitatakse õhurünnakust sireenide abil või ruuporite ja autosignaalidega (Dovidka.info, i.a). Kuna sireenid ei kata täielikult linna ala siis on Ukrainas ka kriitilise tähtsusega hoiatussõnumid, mis saadetakse inimeste telefonidesse läbi Kyiv Digital ja Air Alert mobiilirakenduste ning ka Kyiv City State Administration (KCSA) Telegrami suhtluskanali (Dovidka.info, i.a). Samuti on olemas erinevad digitaalsed kaardid ja äpid, et leida hädaolukorras endale lähim varjumiskoht (Dovidka.info, i.a). Inimestel on soovituslik alati välja vaadata ka alternatiivne varjumiskoht juhaks, kui esimesse varjumiskohta jõudes selgub, et sinna ei mahu rohkem inimesi (Dovidka.info, i.a). Ukraina üheks suurimaks saavutuseks on varjumiskohtade väljaehitamine koolides (Dovidka.info, i.a). Kuigi paljud õpilased õpivad kaugõppes, on 87% koolidest olemas varjumiskohad (Dovidka.info, i.a).

Soome on võtnud seisukoha, et varjendite süsteem on osa ühiskonna vastupanuvõimest ja valmisolekust (Pelastustoimi, i.a). Nad on suutnud ehitada oma riigi kodanikele 60 aasta jooksul ligikaudu 50 500 varjumikohta (Pelastustoimi, i.a). Need varjumiskohad suudaksid vajadusel mahutada 4,8 miljonit inimest (Sisäministeriö, i.a). Kõikidest varjumiskohtadest kuuluvad 85% eraomandisse, mis on ehtiatud standardite järgi (Sisäministeriö, i.a). Igapäevaselt kasutatakse neid näiteks spordihallide, metroojaamade ja parkimiskohtadena ning elamumajades peamiselt laoruumidena (Sisäministeriö, i.a). Kõigile varjumiskohtadele kehtib nõue, et need peavad olukorras, kus neid võib vaja minna, olema kasutuskõlblikud 72 tunni jooksul (Sisäministeriö, i.a). Soome võimekus on kordades parem võrreldes naaberriikidega, sest Nõukogude Liidu lagunemise järel ei peatatud varjumiskohtade ehitamist (Kyrenius, 2025). 1991. aastal jõustus Soomes määrus, mis laiendas varjendite kohustuse üle terve riigi (Kyrenius, 2025). Varjumiskohti ei ehitatud enam ainult linnadesse, mis on tavaliselt sõjalised sihtmärgid, vaid hajutatult üle Soome kaitseks potentsiaalse radioaktiivse saju eest (Kyrenius, 2025).

Rootsis lõpetati uute varjumiskohtade ehitamine aastal 2002 (Regeringskansliet, 2022). Sellest ajast halvenes Rootsi julgeolekuolukord ning tsiviilkaitse rekonstrueerimine algas alles aastal 2015 (Regeringskansliet, 2022). Eesti lõpetas varjumiskohtade arendamise aastal 1993 (Riigi Päästeamet, Riigivaraamet ja Kaitseministeerium, 1993, viidatud Riigikantselei ja Siseministeerium, 2018 kaudu).

1.4 Ligipääsetavus

1.4.1 Ligipääsetavuse mõiste

Ligipääsetavus on keeruka tähendusega mõiste, mida kasutatakse mitmes teadusvaldkonnas, nagu geograafia, linnaplaneerimine ja transpordiplaneerimine, ning sellel on oluline roll ruumilise arengu ja poliitika kujundamisel (Geurs ja van Wee, 2004). Samas on ligipääsetavus keerukas ja mitmetähenduslik kontseptsioon, mida on sageli lihtsustatud või asendatud kergesti mõõdetavate, kuid metodoloogiliselt piiratud näitajatega, mis on lihtsamini tõlgendatavad nagu näiteks sõidukiirus teedevõrgus (Geurs ja van Wee, 2004).

Linna ligipääsetavust kujundavad omavahel seotud kolm tegurit, mis hõlmavad nii füüsilist ruumi kui ka inimesi, kes seda kasutavad. Üheks komponendiks on infrastruktuur, mille kvaliteet ja ühenduvus määravad erinevate transpordivõimaluste tõhususe sihtkohtadesse jõudmisel. Teiseks on maakasutus ehk see, kuidas on teenused ruumis jaotunud. Kolmandaks teguriks on inimeste individuaalsed omadused ja sotsiaalsed tingimused, mis võivad olla soodustavad või piiravad. (Pereira, Herszenhut, 2023)

Pereira ja Herszenhuti (2023) raamistiku saab siduda ka avalike varjumispaikade ligipääsetavuse hindamisel. Infrastruktuur mõjutab varjumiskohtade ligipääsetavust läbi tänava- ja liikumisvõrkude kvaliteedi ning ühenduvuse, mis määravad liikumise kiiruse. Maakasutus kujundab omakorda selle, millistes linnaosades varjumiskohad paiknevad ja kui lähedal need on elukohtadele või igapäevastele tegevuspaikadele. Lisaks on oluline arvestada inimeste individuaalseid ja sotsiaalseid omadusi, kuna näiteks eakad, lapsed või liikumisraskustega inimesed võivad kogeda oluliselt suuremaid takistusi varjumiskohtadeni jõudmisel isegi lühikeste vahemaade korral. Viimase teguri puhul saab väga oluliseks inimese teadlikkus, mida teha ja kuhu suunduda varjupaiga vajaduse korral.

Dijst, de Jong ja van Eck (2002) on ligipääsetavuse jaganud koha ligipääsetavuseks (*place accessibility*) ja isiku ligipääsetavuseks (*person accessibility*). Koha ligipääsetavuse

mõõdikud keskenduvad asukohtade-vahelistele seostele, hinnates kättesaadavust selliste näitajate põhjal nagu distants, topoloogia või kumulatiivsed võimalused (Dijst, de Jong, ja van Eck, 2002). Isiku ligipääsetavuse (*person accessibility*) kontseptsioon integreerib asukoha omadused indiviidi isiklike tunnustega, nagu vanus, sugu ja kasutatavad transpordivahendid, moodustades ühtse ajalis-ruumilise indikaatori (Dijst, de Jong, ja van Eck, 2002; Kwan 1998).

Liikuvust, mis kirjeldab inimese tegelikku liikumiskäitumist, näiteks sõitude arvu ja kasutatavaid transpordiviise, tuleb eristada ligipääsetavusest, mis viitab potentsiaalsele võimalusele jõuda soovitud sihtkohtadeni (Pereira, Herszenhut, 2023).

Antud töös on ligipääsetavus lahti mõtestatud kui inimeste võime jõuda varjumispaikadesse arvestades varjumispaiga kaugust, aega, populatsiooni ning teedevõrgustiku.

1.4.2 Ligipääsetavuse mõõtmine

Tänapäevaste ligipääsetavuse uuringute puhul on kriitiline kasutada erinevaid GIS võimalusi nagu näiteks digitaalset tänavavõrku ja tegelikku liikumisaega, mitte lihtsat sirgjoonelist (linnulennulist) vahemaad (Kwan 1998). Ligipääsetavuse hindamiseks on mitmeid avatud lähtekoodiga tööriistu, nagu *r5r*, *opentripplanner* ja *openrouteservice* API (Saraiva et al., 2025; HeiGIT gGmbH, i.a). Sellised tööriistad võimaldavad arvutada reisiaegu lähtekohtade ja sihtkohtade vahel (Saraiva et al., 2025). *Opentripplanner* kasutab analüüsiks kasutaja poolt ette antud tänavavõrgustikku ning arvestab määratud parameetritega nagu maksimaalne teekonna kestus, liikumiskiirused või liikumisvahendid (Saraiva et al., 2025).

1.5 Potentsiaalne nõudlus erinevatel ajahetkedel

Avalikud varjumiskohad on eelkõige mõeldud inimestele, kes liiguvad tänavatel (Ole valmis, i.a). Inimeste arv tänavatel on väga varieeruv, kuid tavaliselt on kõige rohkem liikujaid hommikul ja õhtusel tipptunnil ning kõige vähem öösiti.

Varjumiskohtade planeerimiseks on oluline kasutada andmepõhiseid hinnanguid potentsiaalsete varjajate arvu kohta. Traditsioonilised registriandmed alahindavad sageli liikujate arvu ning ei ole piisavad kriisiks valmistumisel (Chen et al., 2020; Tominga jt, 2023). Selleks, et hinnata tegelikku varjupaikade vajadust, kasutati Hiinas huvipunktide (POI) ja elamuandmete põhjal arvatud päeva ja öö rahvastiku maksimaalseid väärtusi

(Chen *et al.*, 2020). Uuring näitas, et varjupaiga koguvajadus oli 7,93 miljonit inimest, kuigi elanike arv oli vaid 5,48 miljonit (Chen *et al.*, 2020). Tulevikus nähakse Guangzhou uuringus potentsiaali mobiiltelefonide signaalandmete kasutamises, et tulemuste usaldusväärsust parandada (Chen *et al.*, 2020). Eesti uuring põhineb samuti kvantitatiivsetel andmetel, kuid põhineb passiivsetel mobiilpositsioneerimisandmetel (Tominga jt, 2023). Kuigi üks uuring põhineb kogu riigi liikuvuse andmetel (Tominga jt, 2023) ja teine suurlinna andmetel (Chen *et al.*, 2020), on mõlemad meetodid vajalikud haavatavuse hindamiseks. Mobiilpositsioneerimise andmed on tänapäeval väga tõhus meetod inimeste liikumise mõõtmiseks. Paljud traditsioonilised meetodid on võrreldes mobiilpositsioneerimise põhiste hinnangutega tavaliselt aeglased või ebatäpsed, eriti kriisiolukorras (Bengtsson *et al.*, 2011). Teadlased suutsid Haiti 2010. aasta maavärinale järgnenud koolerapuhangu ajal koostada SIM-kaartide liikumise aruande 12 tunniga pärast andmete saamist (Bengtsson *et al.*, 2011).

On väga vähe andmeid, mis arvestaks tänavatel liikuvate inimeste hulka. See on ka põhjuseks, miks potentsiaalse nõudluse hindamiseks puudub üks konkreetne metoodika.

Kuna avaliku varjumiskoha vajadus võib tekkida igal ajahetkel, peab nõudluse hindamisel seda ka arvestama. Tominga jt (2023) uuringu tulemustes jõuti järeldusele, et rahvastiku muutused järgivad ajalisi rütme.

1.5.1 Ööpäevane erinevus

Shanghai Pudongi uusasumi erakorraliste varjumispaikade potentsiaalse nõudluse analüüsis võrreldi öö ja päeva erinevusi (Chen *et al.*, 2020). Pudongi puhul oli eripäraks see, et päeval ajal oli elanikke vähem kui öösel, sest paljud inimesed käivad päeval ajal töö- teistes linnaosades (Chen *et al.*, 2020). Tartu linna puhul on elanike liikumiserütmid öö ja päeva lõikes aga vastupidised, sest Taru linnas on töökohti vähem kui töötajaid (Minuomavalitsus, i.a). Lisaks on Eestis öötundidel rahvastiku liikumine kõige ühtlasem ning muutub tunni viisi kõige vähem (Tominga jt, 2023).

1.5.2 Rahvastiku muutused suurte kriiside ajal

Suured kriisid nagu looduskatastroofid, haiguspuhangud või militaarkonfliktid mõjutavad oluliselt inimeste paiknemist.

Haiti 2010. aasta maavärina näitel lahkus 19 päeva jooksul pärast looduskatastroofi pealinnast umbes 20% elanikkonnast (Bengtsson *et al.*, 2011). Pärast seda algas aeglane järk-järguline populatsiooni tõus (Bengtsson *et al.*, 2011). Sama maavärina põhjal selgus, et mobiilpositsioneerimise andmete abil on võimalik ennustada inimeste ümberpaiknemist ka kriisiolukordades (Lu *et al.*, 2012). Inimesed lahkusid pealinnast sinna, kus olid neil sotsiaalsed sidemed (Lu *et al.*, 2012). 68,5% elanikest, kes viibisid jõulude ja uusaasta ajal väljaspool linna, suundusid pärast maavärinat tagasi samasse valda (Lu *et al.*, 2012). Paljudel eestlastel on samuti harjumus pühade ajal liikuda eemale oma tavapärasest keskkonnast. 2018. aasta uusaasta näitel viibis vaid 58% inimestest oma harjumispärastes asukohtadest, eelistades tähistada pühi väljaspool igapäevast rutiini (Koldekivi, 2023). Ilmselt suunduksid inimesed ka kriisiolukorras linnadest just nendesse asukohtadesse, kus nad viibivad pühade ajal. Statistikaamet on välja toonud, et ka koroonakriisi ajal kahanes Tallinna ja Tartu elanike arv (Statistikaamet, i.a). Paljud elanikud suundusid oma suvekodudesse või mujale linnast eemale (Statistikaamet, i.a). Antud info põhjal võib ennustada ka tulevikus suuremate kriiside korral inimeste väljarännet suurematest linnadest.

Hetkel on väga raske hinnata, milline oleks Tartu linnas potentsiaalne nõudlus militaarkonflikti olukorras. Et saada ettekujutust, milline see võiks olla saab vaadata, millised muutused on toimunud Ukrainas pärast 2022 aasta Venemaa sissetungi.

Mitteametlikel andmetel elas Kiievis 3,9 miljonit inimest (Visit Ukraine, 2023). Pärast agressori sissetungi lahkus Kiievist 1,9 miljonit inimest ning neist naases pooleteise aasta jooksul 1,1 miljonit (Visit Ukraine, 2023). Lisaks saabus Kiievisse umbes 450 000 uut põgenikku mujalt Ukrainast (Visit Ukraine, 2023). See tähendab, et kuigi sõja olukorras on riiklikult suur väljaränne ning madal sündimus, ei kaota suuremad linnad suurt osa oma populatsioonist. Sõjaaegne olukord on pigem suurendanud elanikkonda suuremates linnades, kuhu inimesed koonduvad (Levonova ja Jarábik, 2025). Mitte ainult inimesed ei liigu, vaid Kiievisse on koondunud ka enamus teenusetest, ettevõtetest, finants- ja riigiasutustest (Levonova ja Jarábik, 2025). Lisaks pealinnale on muutunud olulisteks keskusteks ka Lviv ja Taga-Karpaatia oblast (Levonova ja Jarábik, 2025). See on tähendanud üha suuremat linnastumise kasvu üle kogu Ukraina, sest väiksemates asulates puuduvad töövõimalused ja teenused (Levonova ja Jarábik, 2025). Need muutused toovad pikaajalisi väljakutseid Ukraina majandusarengule ning ohustavad piirkondliku kultuuripärandi säilimist (Levonova ja Jarábik, 2025).

2. Andmed ja töö käik

2.1 Andmete kirjeldus

Mulle usaldatud lähteandmeteks on tunniajase täpsusega liikuvate inimeste hulk ruumilüksustes, eristades sõidukites liikujaid ning aktiivseid liikujaid (jalakäijaid, ratturid). Andmed on antud kvartali-nädalapäeva-tunni kaupa. Lähteandmed pärinevad Siseministeeriumi poolt algatatud rakendusauuringust, mis põhineb mobiilpositsioneerimise andmetest koostatud ning kogu elanikkonnale laiendatud lähte-sihtkohtmaatrikstel (Tominga jt, 2024).

Andmetöötluse käigus seoti igale lähte-sihtkohtpaarile kiireim võimalik teekond, eristades aktiivset liikumisviisi ja mootorsõidukit ning arvutati vastavalt teekonna pikkus. Seejärel jaotati kõik liikumised kahte guppi vastavalt sellele, kui suur oli tõenäosus, et antud teekond tehti aktiivse liikumisviisiga. Järgnevalt liideti ruudustiku kaupa iga tunni jooksul nendes ruumilistes üksustes liikunud inimeste arv. Viimases etapis teisendati tunnipõhine liikumisvoog hetkepõhiseks lähtudes valemist:

$$\text{liikujate arv ajahetkel} = \text{teepikkus} \times \text{liikujate arv tunnis} / \text{keskmine kiirus (sõidukitega liikujate puhul 30 km/h ja jalgsiliikujate puhul 4 km/h)}$$

Liikujaarvud on autorile antud kvartali-nädalapäeva-tunni kaupa. Need on laiendatud ruutvõrele, mis on detailsem tihedamalt asustatud piirkondades ja vähem detailne hõredalt asustatud piirkondades. Ruutude küljepikkused olid vahemikus 250 m kuni 8 km (Tartu linnas kuni 1 km).

Töö aluseks olevad andmed on antud töö autorile kasutuseks andmekasutuslepingu alusel. Tundlike andmete turvalisuse tagamiseks toimus andmete töötlemine Tartu Ülikooli mobiilsusuuringute labori võrguühenduseta tööjaamas.

2.2 Andmetöötlus ja -analüüs

2.2.1 Lähimate varjumiskohtade leidmine ja nendeni jõudmiseks aja arvutamine

Andmetöötluse esimeses etapis arvutati Tartu linna 50 m x 50 m ruudustiku tsentroididele ajaline kaugus lähima varjumiskohani. Analüüs toimus RStudio keskkonnas. Teedevõrgustiku

aluseks võeti Geofabriku poolt avaldatud OpenStreetMap Eesti PBF (Protocolbuffer Binary Format) andmed. R5r `travel_time_matrix`-i funktsiooni parameetritena määrati alguspunktideks ruudustiku tsentroidid, lõpppunktideks varjumiskohad, liikumismeetodiks jalgratas ning liikumise kiiruseks 5 km/h. Autor valis jalgratta liikumisviisiks seetõttu, et funktsioon kasutab teedevõrgustikuna nii auto- kui ka kõnniteid. Töös arvutatati aktiivsete liikujate ja mootorsõidukitega liikujate `travel_time_matrix`-id samade parameetritega. Tulemusena selgus, mitu minutit kulub igast 50 m x 50 m ruudustiku ruudust aega, et jõuda lähima varjumiskohani.

2.2.2 Inimeste arvu hindamine minutite lõikes

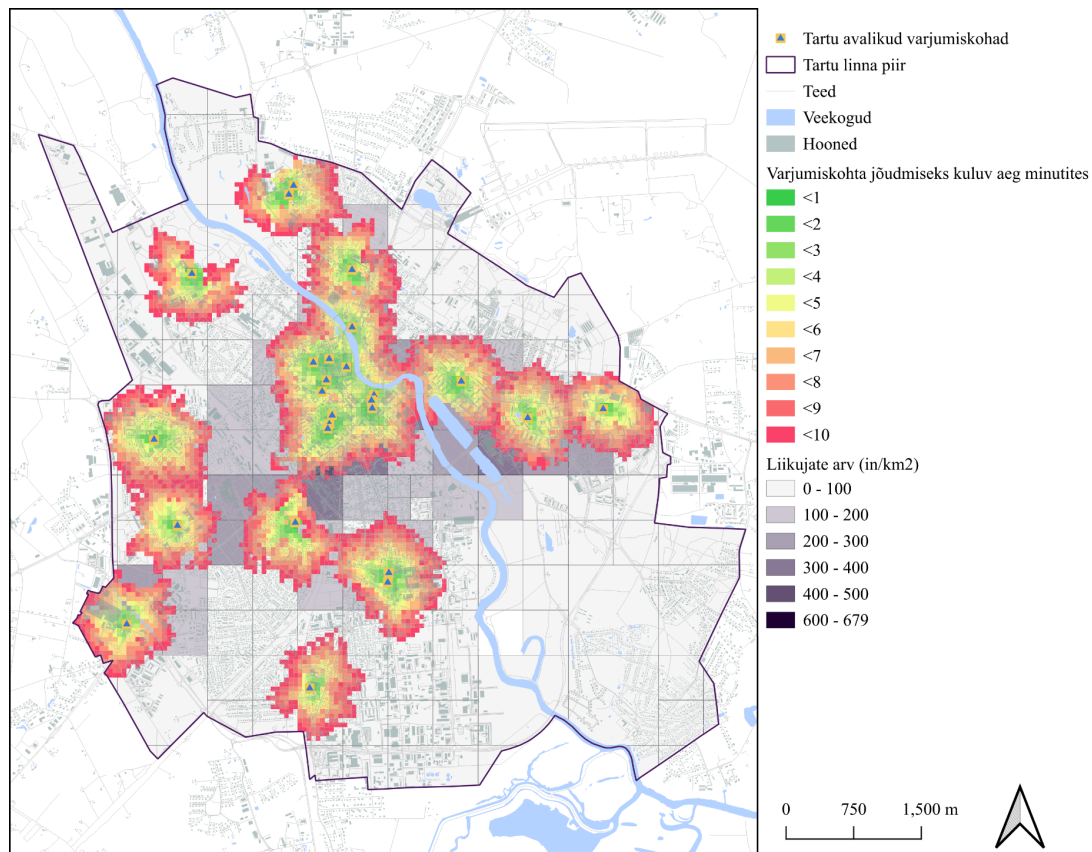
Teine andmetöötluse etapp toimus QGIS tarkvaras. Autor valis analüüsitavaks hetkeks kaks erinevat ajahetke. Esimene ajahetk on sügisene kolmapäevane tipptund ajavahemikus 17.00-17.59 (edaspidi kolmapäevane tipptund). Teine ajahetk on sügisene laupäevane pärastlõuna ajavahemikus 14.00-14.59 (edaspidi laupäevane pärastlõuna). Esimene ajahetk peaks kujutama argipäevast tipptundi. Teine ajahetk peaks kujutama hetke, kus inimesed vabal päeval külastavad kaubanduskeskusi või jalutavad vabas õhus. Andmeid tuleb tõlgendada kui liikujaid juhuslikul ajahetkel kogu tunni sees: kui sügisel tipptunnil toimus andmete alusel keskmisel 28558 liikumist ja laupäeval pärastlõunal 25888 liikumist, siis juhuslikul hetk on väljavõte liikujate tõenäolisest paiknemisest selle tunni sees.

Juba esimese etapi jaoks loodud 50 m x 50 m ruudustik põhineb algandmetena saadud ruudustiku põhjal. Igale väikesele ruudule määrati algandmetes saadud liikujaarvud ning jagati need vastavalt ruutude arvule. Andmetöötluses võeti arvesse vaid neid ruute, mis jäid Tartu linna piiri sisse. Kõikidele ruutudele lisati juurde I etapis saadud tulemused ehk aeg, mis kulub vastavast ruudust lähima varjumiskohani jõudmiseks. Analüüsida oli võimalik nii aktiivsete liikujate kui ka motoriseeritud liikujaid, et hinnata, millised kohad on erinevate gruppide jaoks kriitilised. Liikujaarvud kokku liites oli võimalik hinnata kõigi Tartu linna liikujate arvu ning välja selgitada, mis kohad on kõige suurema potentsiaalse nõudlusega ja mille lähedal ei ole varjumiskohti.

2.2.3 Potentsiaalsete varjumiskohtade otsimine

Antud töö fookuseks oli ka välja selgitada kuhu oleks kõige vajalikum rajada uusi varjumiskohti.

Esmalt tuvastas autor need alad, kus on halb ligipääs varjumiskohtadele. Seejärel juba tuvastatud aladel need alad, kus on liikujate arv võrreldes keskmisega suhteliselt kõrge (vähemalt 200 inimest km² kohta) (joonis 1). Lõpuks otsas autor hooneid tuvastatud aladelt, mis sobiks potentsiaalselt varjumiskohtadeks. Need aadressid lisati varjumiskohtadena juurde juba olemasolevatele varjumiskohtadele ja ning I etapis kirjeldatud sammud tehti uuesti läbi. Teised parameetrid jäid samaks. Saadud tulemusi oli võimalik võrrelda juba olemasolevate varjumiskohtade tulemustega.



Joonis 1. Tartu linnas liikujate ruumiline jaotus ja olemasolevate avalike varjumiskohtade kümne minuti teenindusalad.

2.2.4 Andmetöötles tehtud eelduste mõju analüüsile

- Liikujate paiknemine suure ruudu sees on ühtlaselt jagunenud 50 m x 50 m ruudustikul.

Antud eeldus on tingitud andmetest, mis ei kuvanud inimeste tegelikku paiknemist Tartu linnas. Liikujate jagamisel ei ole arvestatud veekogudega või mootorsõidukites liikujate puhul autoteede olemasoluga.

- Inimeste liikumiskiirus on 5 km/h.

Tegelikkuses on liikujate kiirused erinevad. Paljud suudaksid ka kiiremini liikuda varjumiskohtadesse, samas on neid gruppe, kes liiguvad aeglasemalt. Samuti ei ole arvestatud erinevate kergliiklusvahenditega, mida võivad kasutada aktiivsed liikujad, et jõuda varjumiskohta.

- Inimesed seiskavad oma auto häire kuulmise hetkel ja alustavad jala liikumist lähimasse varjumiskohta.

Tegelikkuses on ilmselt ka neid, kes ei seiska autot vaid sõidavad mingi aja edasi.

- Inimesed suunduvad ajaliselt lähimasse varjumiskohta kasutades liikumiseks nii auto- kui ka kõnniteid.

Inimesed ei pruugi teadlikud olla, milline varjumiskoht on neile kõige lähemal ning nad võivad liikuda hoopis mõne teise varjumiskoha suunas.

- Juba hoonetes olevad inimesed ei liigu oma asukohast vaid jäävad varju sinna, kus nad on.

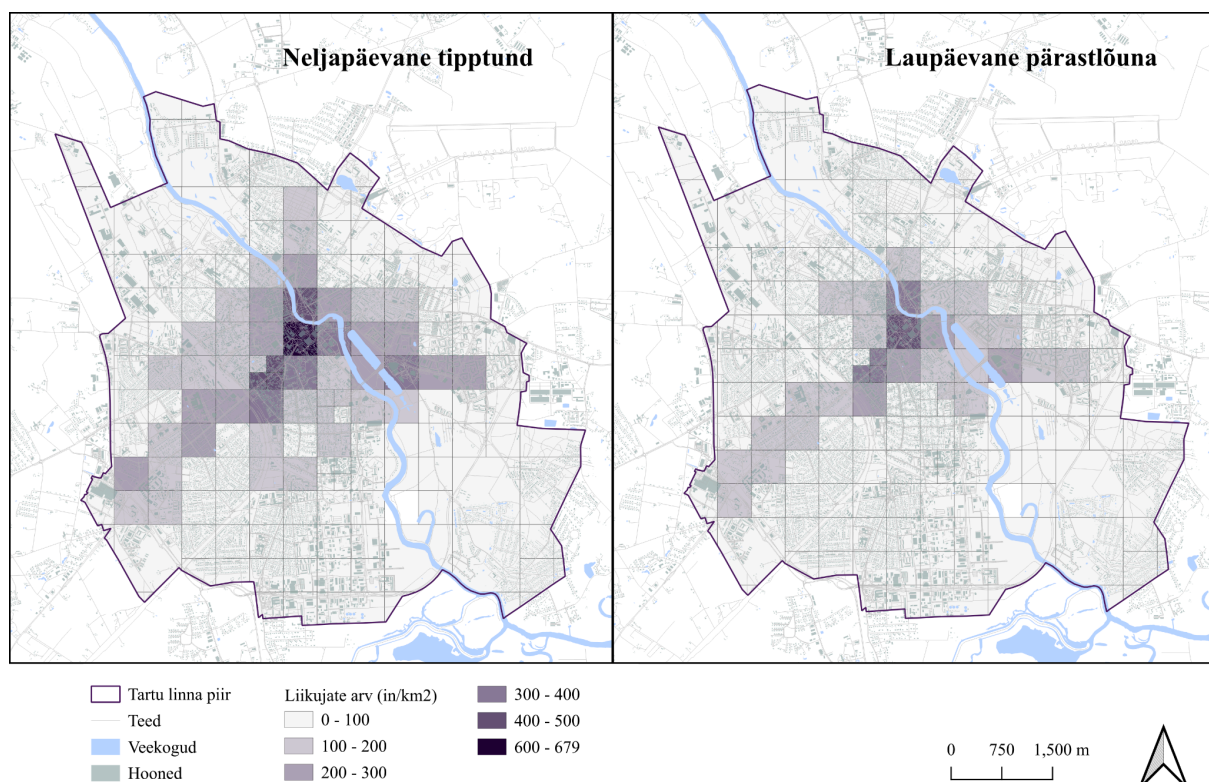
Häire korral peaksid inimesed, kes viibivad juba hoones, jääma paigale. Samas võib esineda ka inimesi, kes ei tunne end hoones, kus nad asuvad, turvaliselt ning otsustavad otsida varju mujalt.

3. Tulemused

3.1 Olemasolevate varjumiskohtade kättesaadavus

Töö peamiseks eesmärgiks oli välja selgitada kui paljudel Tartu tänaval liikuvatel inimestel on varjumiskohad kättesaadavad.

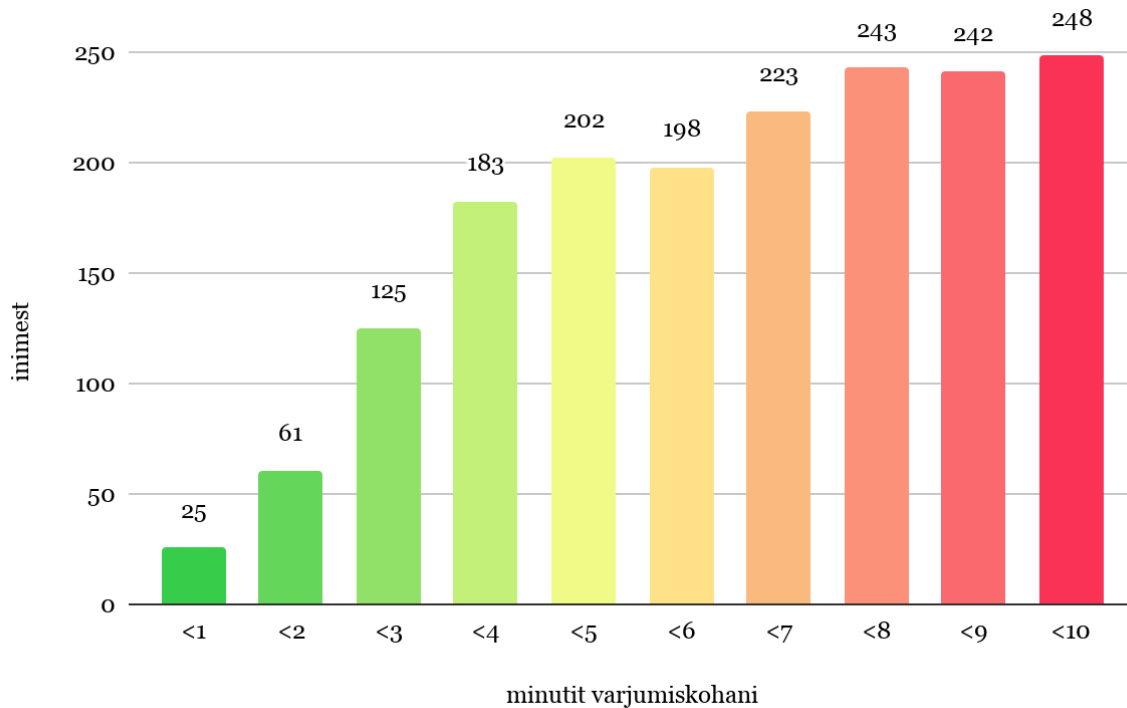
Sügisese argipäevase tipptunni on juhuslikul ajahetkel kokku 3 309 liikujat. Nendest 2 330 on aktiivsed liikujad ja ülejäänud 979 on mootorsõidukiga liikujad. Sügisese laupäevase pärastlõunal on liikujad vähem. Kokku on juhuslikul ajahetkel 2 299 liikujat, kellest 1 596 on aktiivsed liikujad ja 703 motoriseeritud liikujad. Liikujate suurim osakaal koondub kesklinna ning suuremate autoteede lähedusse nagu Riia tn, Võru tn, Pikk tn, Turu tn, Kalda tee ja Narva mnt (joonis 2).



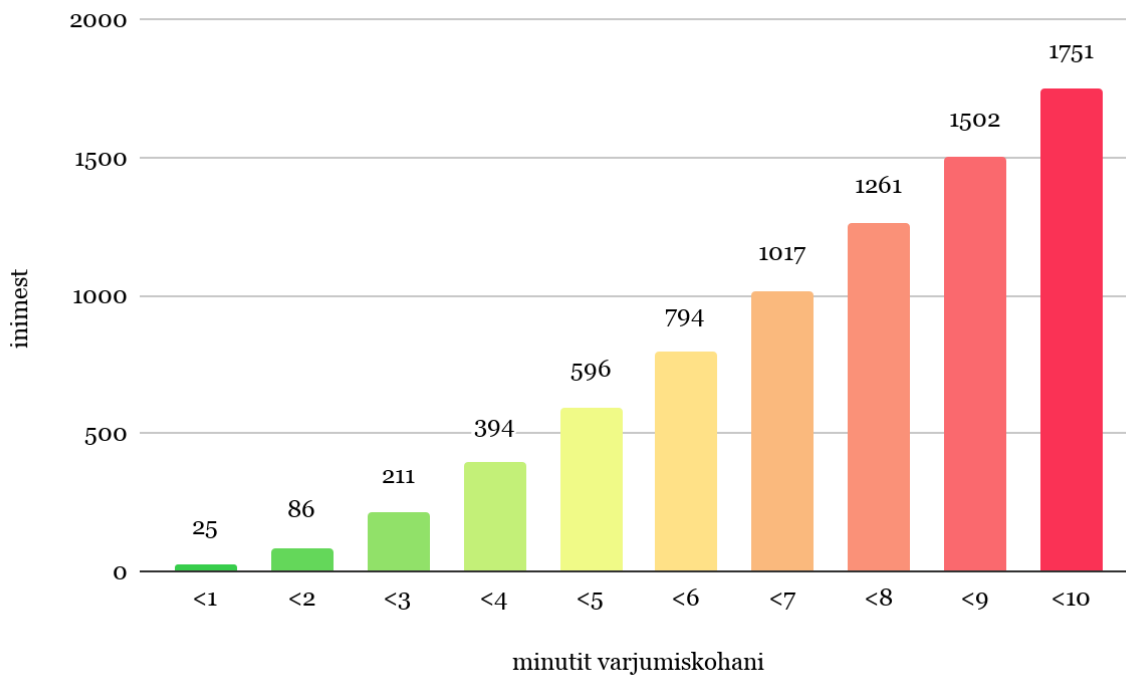
Joonis 2. Tartu linna liikujate ruumiline jaotus kolmapäevase tipptunnil ja laupäevase pärastlõunal.

Argipäevase tipptunni tulemustest selgus, et esimese minutiga jõuab varjumiskohtadesse 25 inimest ehk 0,77% kõigist liikujatest (joonis 3). Järgnevatel minutitel jõuab varjumiskohtadesse vastavalt 61, 125, 183, 202 inimest. See tähendab, et vähem kui viie

minutiga jõuab varjumiskohtadesse tänavatelt 596 inimest ehk 18,01% liikujatest. Järgneva viie minuti jooksul jõuab varjumiskohtadesse keskmiselt 231 inimest minutis. Vähem kui kümne minutiga jõuab varjumiskohtadesse üle poolte liikujatest, täpsemalt 52,9%. Varjumiskohtadeni jõuab kümne minutiga 1 751 inimest ja ei jõua 1 558 inimest (joonis 4).



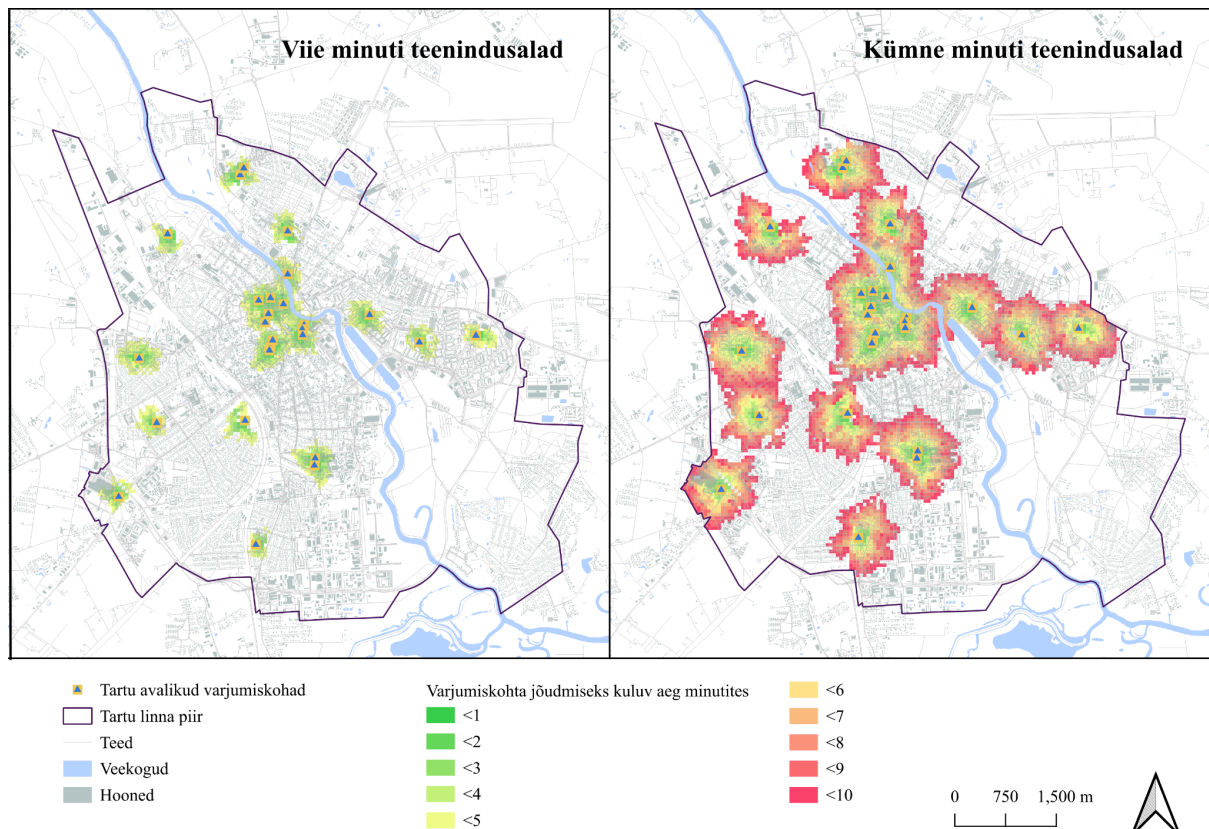
Joonis 3. Kolmapäeval tipptunnil juhuslikul hetkel liikujate arv ja varjumiskohani jõudmiseks kuluv aeg minutites.



Joonis 4. Kolmapäevalisel tipptunnil juhuslikul hetkel liikujate kumulatiivne arv ja varjumiskohani jõudmiseks kuluv aeg minutites.

Laupäevase pärastlõuna tulemused on väga sarnased juba välja toodud tulemustega. Vähem kui ühe minutiga jõuab varjumiskohta 0,76% kõikidest liikujatest, viie minutiga 17,7% ja kümne minutiga 52,81%. Varjumiskohad suudavad kümne minutiga teenindada 1 214 inimest ning teenidamata jääb 1 085 inimest.

Varjumiskohad suudavad teenindada alla viie minutiga 7,51% kogu Tartu pindalast ning alla kümne minutiga 30,99% (joonis 5). Kõige paremini on kaetud Tartu kesklinn, kus asub 11 varjumiskohta 26st.



Joonis 5. Tartu avalike varjumiskohtade viie ja kümne minuti teenindusalad.

3.2 Varjumiskohtade potentsiaalne kättesaadavus koos lisatud varjumiskohtadega

Andmeanalüüsi III etapis tuvastas autor viis potentsiaalset varjumiskohta.

Tuvastatud hooneteks valiti:

- Riia tn 14 – endine kino Ekraan

Hetkel puudub hoonel funktsioon. Kui kunagi ehitada selle hoone asemele midagi, siis võiks linn nõuda, et sinna ehitataks välja ka avalik varjumiskoht. Antud varjumiskoht teenindaks eeskõige Riia tn ja Võru tn liikujaid.

- Kalda tee 1c – kaubanduskeskus Eeden

Kaubanduskeskuses sees on väga palju inimesi ning selle ümber on tihe liiklussõlm.

- Puusepa tn 8 – Tartu Ülikooli Kliinikumi maa-alune parkla

Hetkel on maa-alune parkla mõeldud kliiniku patsientidele parkimiseks, kuid võib täita ka patsientide varjendi rolli (Tartu Ülikooli Kliinikum, 2022). Kliinikumi jõuaksid kümne minutiga N. Lunini tn, Puusepa tn ja Riia tn liikujad.

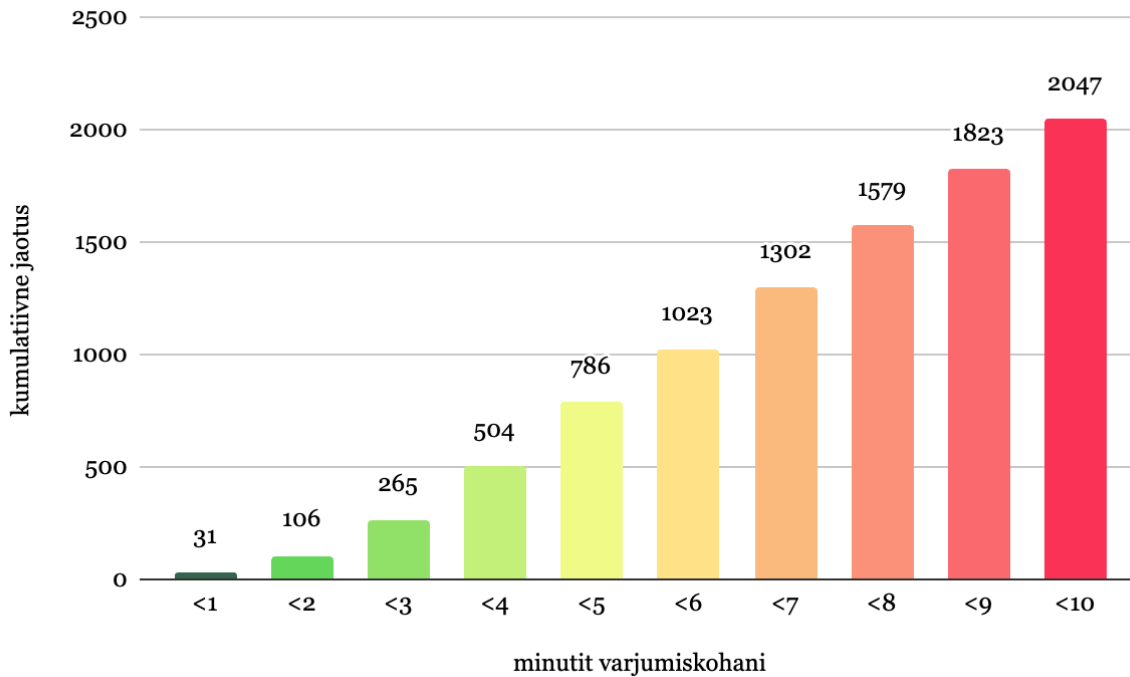
- Kastani tn 42 – Aparaaditehas

Sinna on kogunenud mitmed teenused, seal liigub palju jalakäijaid. Aparaaditehas külgneb Riia ja Kastani tänavaga, ehk selle ümber on ka tihe liiklusvoog.

- Sadama 1 – Teaduskeskus AHHA

AHHA keskus on hetkel juba kriisiinfokeskus (Tartu..., i.a). Sellel hoonel palju keldripinda, kuhu inimesed võiksid vajadusel saada ka varjuda.

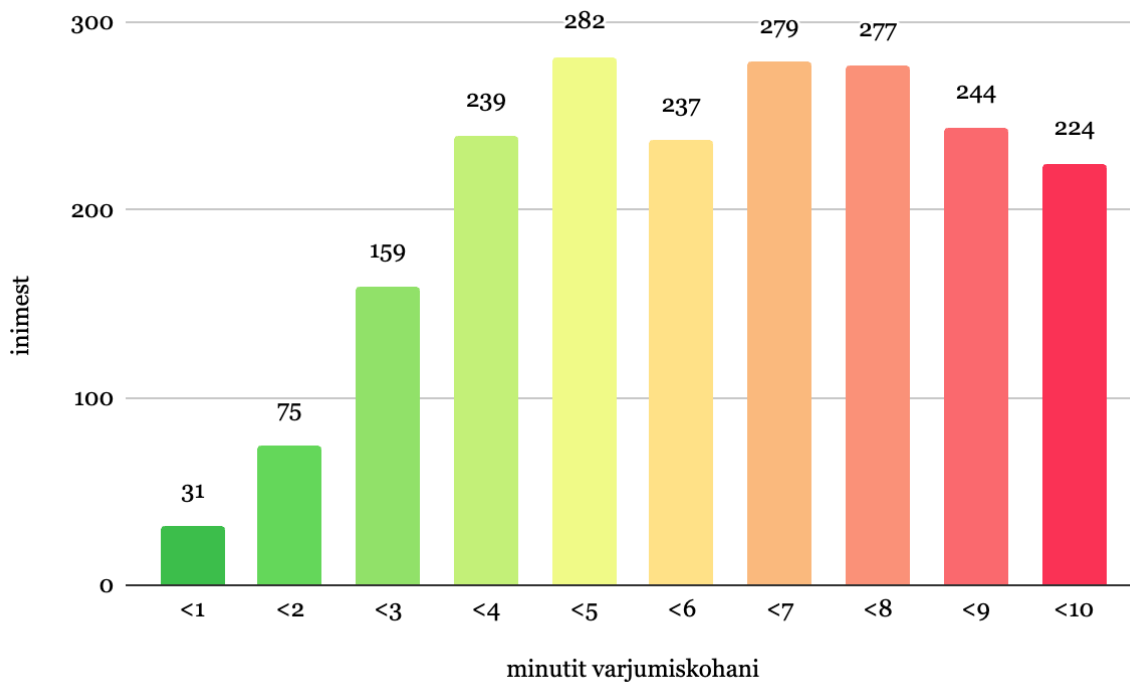
Autor tegi lisatud varjumiskohtadega andmeanalüüsi mõlemale ajahetkele, kuid tulemustes on välja toodud vaid kolmapäevase tiptunni tulemused, sest need on taas protsentuaalsete väärtuste poolest väga sarnased laupäevasele pärastlõunale. Kokku jõudis varjumiskohtadesse alla viie minutiga 786 inimest (23,75% kõigist liikujatest) ning alla kümne minutiga 2 047 inimest (61,87% kõigist liikujatest) (joonis 6). See tähendab, et viie minutiga jõuab 190 inimest rohkem varjumiskohta, ning kümne minutiga 296 (tabel 1). Võimalik on veel välja tuua, et praeguste varjumiskohtadega on kasvab minutite kaupa varjumiskohtadeni jõudvate inimeste arv pea igal minutil, kuid uute tulemuste põhjal jõuab kõige rohkem inimesi viiendal minutil (joonis 7).



Joonis 6. Kolmapäevalisel tiptunnil juhuslikul hetkel liikujate kumulatiivne arv ja varjumiskohani jõudmiseks kuluv aeg minutites koos potentsiaalsete varjumiskohtadega.

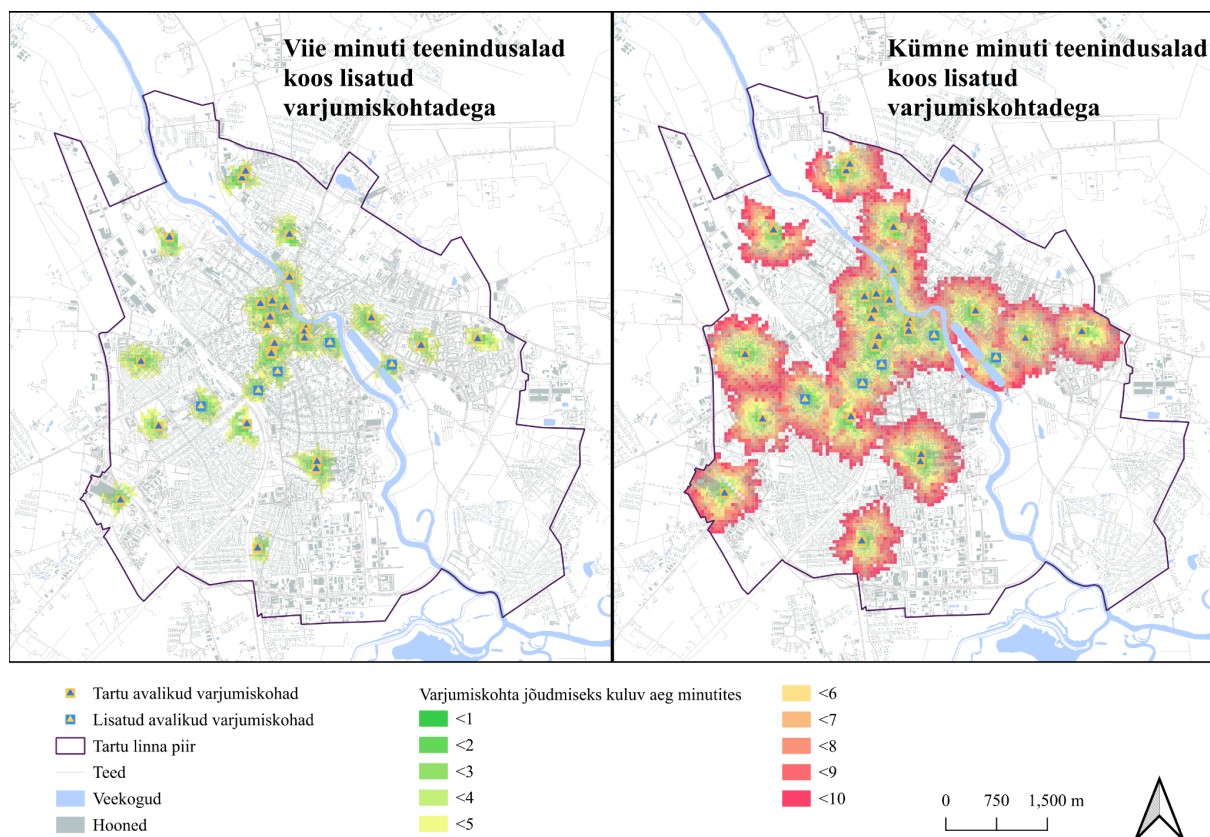
Tabel 1. Varjumiskohtadesse jõudvate inimeste kumulatiivne jaotus olemasolevate ja lisatud varjumiskohtade võrdluses.

Minutit varjumiskohani	Praegune võrgustik		Praegune võrgustik koos lisatud varjumiskohtadega		Muutus %
	Liikujate arv	% kõigist liikujatest	Liikujate arv	% kõigist liikujatest	
<1	25	0.76	31	0.94	0.18
<2	86	2.60	106	3.20	0.60
<3	211	6.38	265	8.01	1.63
<4	394	11.91	504	15.23	3.32
<5	596	18.01	786	23.75	5.74
<6	794	24.00	1023	30.92	6.92
<7	1017	30.73	1302	39.35	8.61
<8	1261	38.11	1579	47.72	9.61
<9	1502	45.39	1823	55.09	9.70
<10	1751	52.92	2047	61.86	8.95



Joonis 7. Kolmapäevasel tipptunnil juhuslikul hetkel liikujate arv ja varjumiskohani jõudmiseks kuluv aeg minutites koos potentsiaalsete varjumiskohtadega.

Suurim nähtav erinevus teenindusalades on Riia tn lõigul raudtee veaduktist kuni Kaitseväe Akadeemiani, mida teenindavad nüüd endise Ekraani kino ja Aparaaditehase varjumiskohad (joonis 8). Potentsiaalse ohu korral võivad muutuda Tartus Emajõe sillad potentsiaalseteks pudelikaeladeks, mille lähedal on varjumiskohtade olemasolu eriti olulise tähtsusega. Tänu lisatud AHHA ja Eedeni varjumiskohtadele on nüüd nii Turusilla kui Sõpruse silla läheduses olemas varjumiskohad.



Joonis 8. Tartu avalike varjumiskohtade viie ja kümne minuti teenindusalad koos lisatud varjumiskohtadega.

4. Arutelu

Teostatud andmeanalüüsi põhjal on võimalik vastata uurimistöö esimesele uurimisküsimusele: „Kui suurele osale tänaval liikuvatest inimestest on Tartu varjumiskohad kättesaadavad?” Selgus, et Tartu linnas jõuab ligi viiendik kõigist liikujatest varjumiskohta viie minutiga ning kümne minutiga juba üle poole liikujatest. Riikliku varjumisjuhendi järgi peaks tegelikult valdav osa liikujatest leidma varju kusagil mujal kui avalikes varjumiskohtades (Kriis..., 2026). Kõige paremini on kaetud kesklinn. Halvemini kaetud aladeks on mitmed elumupiirkonnad nagu Tammelin, Supilinn, Karlova, Ihaste ja Tähtvere. Antud piirkondades on küll liikujaid pigem vähe, kuid siiski tähendab see kõrget riski seal liikuvatele inimestele. Avalike varjumiskohtade kogumahutavus on antud töö tulemuste valguses piisav, aga varjumiskohtade tihedus ei võimalda inimestel sageli varjumiskohtadesse jõuda.

Teiseks uurimisküsimuseks oli: “Kus on Tartus potentsiaalne nõudlus kõrge, aga puuduvad varjumiskohad?” Tulemustest selgus, et need alad on suuremate autoteede, liiklussõlmede või sildade juures.

Potentsiaalsete varjumiskohtade hoonete valimine ei olnud töö peamine eesmärk ning autor ei selgitanud välja, kas on reaalne võimalus, et kunagi just nendesse kohtadesse rajatakse uued varjumiskohad. Sellele vaatamata oli võimalik tänu uutele varjumiskohtadele tuvastada, kui palju rohkem inimesi jõuab varjumiskohtadeni luues vaid viis uut varjumiskohta.

Olukord võib osutada kriitiliseks, kui sireenide ja varjumise vajaduse ajaline vahe on nii lühike, et inimesed on sunnitud varjama näiteks ühe, kahe või kolme minutiga. Sellisel juhul on varjumiskohtadeni jõudvate inimeste arv väike ja tänavatel liikujatel on vaja leida varju mujal. Eestis on enamus erahoonete udest lukustatud – erinevalt Iisraelist, kus inimestel on häire korral võimalus varjuda korterelamute trepikodades (Steinberg, 2012). See tähendab, et inimesed ei pruugi jõuda varju siseruumidesse, vaid on sunnitud varjuma majade seinte vahel. Lisaks ei ole arvestatud potentsiaalse nõudluse juures nende inimestega, kes peavad lahkuma hoonetest, kus nad parasjagu viibivad, kui need ei paku neile piisavalt kaitset.

Antud töö puhul on võimatu hinnata, milline on Tartus liikujate arvud juhul, kui Eesti satuks militaarkonflikt. Aastal 2023 oli Tartus elanike arv umbes 97 000 (Tartu..., 2026), ning kolmapäevasel tipptunnil oli liikujate koguarv üle 20 000. Paljud inimesed võivad linnast või riigist lahkuda nagu juhtus Kiievis pärast Venemaa rünnakud (Visit Ukraine, 2023). See ei

tähenda, et Tartus ei oleks vajadust avalikele varjumiskohtadele, sest Tartu võib sellises olukorras muutuda oluliseks keskuseks, kuhu inimesed ja teenused koonduvad. Kindlasti tuleks rajada veel uusi varjumiskohti, et suurendada kodanikukaitset.

Eestil oleks kindlasti võimalik õppust võtta Soome varjumiskohtade rahastusmudelitest, mis eristab neist teistest riikidest, kes arendavad varjumiskohti (Kyrenius, 2025). Soome on üheks parimaks eeskujuks kõigile riikidele, kelle eesmärk on kaitse sõjalises olukorras nii õhurünnakute eest kui ka tuuma-, radioloogilise, keemilise ja bioloogilise sõjapidamise ohtude eest.

Kasutatud meetoodika tugevusteks on mobiilpositsioneerimisandmete kasutamine, mis erinevalt teistest andmetest võimaldavad hinnata tänavatel liikuvate inimeste arvu. See on väga oluline, sest just tänavatel liikujad on need, kellele on mõeldud avalikud varjumiskohad. Lisaks ei ole kasutatud liikumisteede hindamisel linnulennulisi vahemaid, vaid teekonnad varjumiskohtadeni on mõõdetud kasutades teedevõrgustikku. Antud meetoodikaga on võimalik hinnata erinevaid ajahetki. Töö keskendus pigem suurema riskiga ajahetkedele.

Andmeanalüüsil oli ka mitmeid piiranguid. Lähteandmete ruumiüksuste suurused ei võimalda täpselt hinnata, kus inimesed liiguvad. Inimeste arvud olid jagatud suurte ruutude sees olevate väikeste ruutude vahel võrdselt ära. See tähendab, et liikujate arvud on omistatud ka ruutudele, mis asuvad veekogudes või mujal, kus inimene reaalselt olla ei saa. Lisaks ei ole kasutatud `time_travel_matrix()` täiuslik vahend, millega hinnata inimeste liikumisteede teekondasid. See tööriist ei suuda arvutada teekondasid, kui teed pole omavahel ühendatud. Näiteks tekkis selle vea tõttu auk Tamme Staadionile, kus tribüünide all on varjumiskoht, aga teisel pool jalgpalliväljakut olevalt mänguväljakult kulub varjumiskohani jõudmiseks pea 10 minutit.

Antud tööd annab edasi arendada, et saada veelgi täpsemad tulemused. Näiteks annaks analüüsis arvesse võtta varjumiskohtade mahutavusi ning tuvastada, kas võib tekkida olukord, kus inimesed ei mahu korraga ühte varjumiskohta. Lisaks muudaks tulemused oluliselt täpsemaks see kui mitte jagada inimesi suurte ruutude sees väikeste ruutude vahel võrdselt, vaid leida viis kaardistada täpsemalt liikuvate inimeste asukohad. Sarnast analüüsi oleks võimalik teha ka teistes Eesti linnades nagu näiteks Tallinnas või Narvas.

5. Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli hinnata Tartu linna avalike varjumiskohtade kättesaadavust tänavatel liikuvate inimeste jaoks ning välja selgitada, kus on kõrge nõudlus, kuid varjumisvõimalused puuduvad.

Selleks oli kõigepealt vaja kindlaks teha, kellele on varjumiskohad eelkõige mõeldud ja mis eesmärki need täidavad. Lisaks oli oluline välja selgitada, milline võiks olla potentsiaalne nõudlus erinevatel ajahetkedel. Töös arutletakse selle üle, kuidas käituvad inimesed kriisiolukordades, et ennustada, milline võiks olla potentsiaalne nõudlus ka siis kui varjumiskohti päriselt vaja läheb.

Uurimistöös kasutati mobiilpositsioneerimise andmetel põhinevaid lähte-sihtkohtmaatrikseid, mis olid laiendatud kogu elanikkonnale. Analüüs viidi läbi autori poolt loodud 50 m x 50 m suuruste ruutude põhjal, arvutades RStudio keskkonnas ja r5r tööriistaga ajakulu lähima varjumiskohani. Analüüsi aluseks võeti kaks stsenaariumit, mis kujutavad pigem kõrgema riskitasemega olukorda, kus tänavatel on inimesi rohkem.

Töö peamised tulemused näitasid, et olemasoleva võrgustiku puhul jõuab kümne minutiga varjumiskohta ligikaudu 53% tänaval liikuvatest inimestest. Kriitilise viie minuti jooksul jõuab varjumiskohtadesse vaid ca 18% liikujatest. Kõige paremini on varjumiskohtadega kaetud Tartu kesklinn. Siiski on Tartus mitmeid piirkondi, millest enamus on suuremad elamurajoonid.

Töö raames modelleeriti ka olukorda, kus võrgustikku lisati viis täiendavat potentsiaalset asukohta. Nende lisamine parandas kättesaadavust märgatavalt, tõstes kümne minutiga varju jõudvate inimeste osakaalu lihi 62%-ni.

Kokkuvõtteks tõestab töö, et mobiilpositsioneerimise andmed on tõhus meetod tänavatel liikuva elanikkonna dünaamilise paiknemise hindamiseks ja elanikkonnakaitse planeerimiseks.

Potential demand for public shelters based on mobile positioning data

Neo Naatan Alakivi

Summary

This bachelor's thesis focused on evaluating how accessible public shelters are for people moving around the city of Tartu and on identifying areas where the need for shelter is greater than the current availability. In order to address this topic, the study first examined the role of public shelters within the context of civil protection and considered who these shelters are primarily intended for. The research also explored how the number and location of people in public space may change over time, as well as how individuals are likely to behave during emergency situations, since these factors directly influence potential shelter demand.

The empirical analysis relied on origin–destination matrices based on mobile positioning data that had been generalised to represent the broader population. For the spatial analysis, the author created a grid consisting of 50×50 metre cells and calculated travel times from each grid cell to the nearest shelter using the `r5r` package in the RStudio environment. The study concentrated on two scenarios that reflect situations with relatively high numbers of people present in public space and therefore a potentially increased need for shelter access.

The findings indicated that the current shelter network enables roughly 53% of people on the streets to reach a shelter within ten minutes. However, accessibility during the first five minutes, which are considered especially critical in emergency situations, remains considerably lower, as only about 18% of people are able to reach shelter within that time. The best accessibility was observed in the city centre of Tartu, while several residential neighbourhoods were identified as having insufficient coverage.

An additional scenario was also analysed in which five new potential shelter locations were incorporated into the network. This resulted in a notable improvement in accessibility, increasing the proportion of people able to reach shelter within ten minutes to nearly 62%.

The study demonstrates that mobile positioning data can be successfully applied to assess the dynamic distribution of people in urban environments and can support more effective planning of shelter networks and broader civil protection measures.

Tänuavaldused

Soovin tänada oma juhendajat Ago Tomingat, kes vastas alati töö käigus tekkinud küsimustele ja aitas mind RStudio andmetöötusega. Soovin tänada ka kõiki lähedasi, kes aitasid mind nõu ja jõuga. Aitäh Eesti Kaitseväge, kes vabastas mind õppekogunemisest, et saaksin seda tööd kirjutada.

Kasutatud kirjanduse loetelu

Bengtsson, L. Lu, X. Thorson, A. Garfield, R. von Schreeb, J. 2011. Improved Response to Disasters and Outbreaks by Tracking Population Movements with Mobile Phone Network Data: A Post-Earthquake Geospatial Study in Haiti. PLoS Medicine, 8(8), e1001083.

<https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001083>

Chen, W. Fang, Y. Zhai, Q. Wang, W. Zhang, Y. 2020. Assessing Emergency Shelter Demand Using POI Data and Evacuation Simulation. ISPRS International Journal of Geo-Information. 2020, 9(1), 41; <https://doi.org/10.3390/ijgi9010041>

Dijst, M. de Jong, van Eck, T-J, R. 2002. Opportunities for Transport Mode Change: An Exploration of a Disaggregated Approach. Environment and Planning B: Planning and Design 29 (3): 413–30. <https://doi.org/10.1068/b12811>.

Dovidka.info. i.a. What is shelter? <https://dovidka.info/en/what-is-shelter/> (viimati vaadatud 02.05.2026)

Geurs, K. van Wee, B. 2004. Accessibility Evaluation of Land-Use and Transport Strategies: Review and Research Directions. Journal of Transport Geography 12 (2): 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>

Greyman-Kennard, D. 2026. Shelter gaps in Israel's old neighborhoods leave Israelis scrambling for protected spaces. The Jerusalem Post <https://www.jpost.com/israel-news/defense-news/article-889804> (viimati vaadatud 25.04.2026)

HeiGIT gGmbH. i.a. OpenRouteService. <https://openrouteservice.org/> (viimati vaadatud 19.05.2026)

Howlett, M. Parry, C. Nicholson, S. Lambe, S. ja Aldridge, A. (2025). Sheltering the nation: The politicisation of Ukraine's civilian shelters amidst Russia's aggression. Geopolitics, 30(5), 2219–2253. <https://doi.org/10.1080/14650045.2025.2465672>

Khachidze, M. 2025. The Mamad: The room that saves lives in Israel. The Times of Israel Blogs. <https://blogs.timesofisrael.com/the-mamad-the-room-that-saves-lives-in-israel/> (viimati vaadatud 25.04.2026)

Koldekivi, L. L. 2023 Mobility Pattern Analysis using CDR: A Case Study of Estonian Public Holidays in January & February. Bachelor's Thesis. University of Tartu. <https://hdl.handle.net/10062/93822>

Kriis.ee veebilehekülg. 2025. Inimeste varjumisoskuste ja -võimalustega tuleb jõulisemalt tegeleda. Uudised.
<https://www.kriis.ee/uudised/inimeste-varjumisoskuste-ja-voimalustega-tuleb-jouulisemalt-tegeleda> (viimati vaadatud 19.05.2026)

Kriis.ee veebilehekülg. 2026. Varjumine ja varjumiskohad. Kriisideks valmistumine Eestis.
<http://kriis.ee/kriisideks-valmistumine-eestis/kriisideks-valmistumine-eestis/varjumine-ja-varjumiskohad> (viimati vaadatud 19.05.2026)

Kriisikaart. i.a. Tartu. https://kriisikaart.tartu.ee/?page=Avaleht#zoom_to_selection=true (viimati vaadatud 02.05.2026)

Kwan, M-P. 1998. Space-time and integral measures of individual accessibility: a comparative analysis using a point-based framework. *Geographical Analysis* 30: 191–216.
<https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1998.tb00396.x>

Kyrenius, P. 2025. The Finnish Civil Defence shelter system. Evolution of the regulation and technical specification 1954-2011.
<https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/01f45daf-3576-4335-8972-6d7863655b34/content>

Lemsalu, L. 2024. Varjumine. Päästeamet. Materjalid. PowerPoint.
<https://www.rescue.ee/files/Materjalid/2024-12-03-varjumine-l-lemsalu.pdf?fd42d11853>

Lonsdorf, K. Estrin, D. ja Harbage, C. 2022. Bar, bookstore or bunker? Kyiv residents wonder where to shelter in case of war. NPR.
<https://www.npr.org/2022/02/06/1078634148/kyiv-bunkers-ukraine-attack> (viimati vaadatud 02.05.2026)

Lu, X. Bengtsson, L. Holme, P. 2012. Predictability of population displacement after the 2010 Haiti earthquake. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 109, No. 29: 11576 - 11581. <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.1203882109>

Manor, U. Apter, S. Ben-Haim, G. Prat, D. 2023. Physical Trauma Following Rocket Warning Sirens in Israel. *Military Medicine*, 188(9/10), e2896–e2901.
<https://doi.org/10.1093/milmed/usac343>

Minuomavalitsus. i.a. Tööränne 2020.
<https://minuomavalitsus.ee/muud-toolauad/tooranne-2020> (viimati vaadatud 02.05.2026)

Ole valmis veebilehekülg. i.a. Varjumine
<https://www.olevalmis.ee/varjumiskoha-ettevalmistamine> (viimati vaadatud 31.03.2026)

Pelastustoimi. i.a. Preparedness. Civil defence. Answers to questions about civil defence shelters.

<https://pelastustoimi.fi/en/rescue-services/preparedness/civil-defence/answers-to-questions-about-civil-defence-shelters> (viimati vadatud 31.03.2026)

Pereira, R. H. M., Herszenhut, D. 2023. Introduction to urban accessibility: a practical guide with R. Ipea - Institute of Applied Economic Research.

<http://dx.doi.org/10.38116/9786556350547>

Päästeamet. 2025. Soovitused korterelamute keldrite varjumiskohtadeks kohandamisel.

<https://www.rescue.ee/files/Materjalid/2025-04-09-soovitused-korterelamute-keldrite-varjumiskohtadeks-kohandamisel-a5-veebi.pdf?826879645d>

Päästeameti veebilehekülg. i.a. Avalikud varjumiskohad.

<https://www.rescue.ee/et/juhend/avalikud-varjumiskohad> (viimati vaadatud 18.05.2026)

Päästeameti veebilehekülg. i.a. Varjumine.

<https://www.rescue.ee/et/juhend/varjumine/varjumiskohad> (viimati vadatud 19.01.2026)

Regeringskansliet. 2022. Ett starkt skydd för civilbefolkningen vid höjd beredskap: 136-137.

<https://www.regeringen.se/contentassets/a40cae48c8794f34ac2616b339f3810a/ett-starkt-skydd-for-civilbefolkningen-vid-hojd-beredskap-sou-2022-572.pdf>

Riigikantselei ja Siseministeerium. 2018. Elanikkonnakaitse kontseptsioon. Tallinn.

https://kriis.ee/sites/default/files/documents/2022-05/elanikkonnakaitse_kontseptsioon_15.02.2018.pdf

Riigikogu. 2025. Hädaolukorra seaduse ja teiste seaduste muutmise seadus. Riigi teataja. RT I, 02.10.2025, 2. <https://www.riigiteataja.ee/akt/102102025002>

Saraiva, M, Pereira, R, H, M, Herszenhut, D, Magnus, A , Bhagat-Conway, M, W. 2025.

Travel time matrices. r5r. https://ipeagit.github.io/r5r/articles/travel_time_matrix.html

(viimati vaadatud 02.05.2026)

Shapiro, M, Bird-David, N. 2019. Domesticating spaces of security in Israel. In S. Low & M. Maguire (Eds.), Spaces of security: Ethnographies of securityscapes, surveillance, and control (163–183). New York University Press.

<https://doi.org/10.18574/nyu/9781479863013.003.0008>

Sisäministeriö. i.a. Civil defence shelters.

<https://intermin.fi/en/rescue-services/preparedness/civil-defence-shelters> (viimati vadatud 31.03.2026)

Statistikaamet. i.a. Liikumisanalüüs.

<https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/eksperimentaalstatistika/liikumisanaluus>

Steimberg, J. 2012. Stairwell to heaven. Tel Avivians and Jerusalemites get a taste of (social) life under rocket fire. The Times of Israel.

<https://www.timesofisrael.com/stairwell-to-heaven/> (viimati vaadatud 25.04.2026)

Tartu linna kodulehekülj. i.a. Koalitsioonileping. <https://tartu.ee/et/koalitsioonileping> (viimati vaadatud 02.05.2026)

Tartu linna kodulehekülj. i.a. Varjumine. <https://tartu.ee/et/varjumine> (viimati vaadatud 02.05.2026)

Tartu linna kodulehekülj. i.a. Kriisiinfokeskused. <https://tartu.ee/et/kriisiinfokeskused> (viimati vaadatud 16.05.2026)

Tartu linna kodulehekülj. 2026. Statistika. <https://tartu.ee/et/statistika> (viimati vaadatud 19.05.2026)

Tartu Ülikooli Kliinikum. 2022. Maarjamõisa meditsiinilinnaku III ehitusjärg on jõudmas lõpule.

<https://www.kliinikum.ee/maarjamoisa-meditsiinilinnaku-iii-ehitusjark-on-joudmas-lopule/> (viimati vaadatud 16.05.2026)

Tominga, A. Raidma, E. Veenpere, H. 2024. Projekti "Liikuvusandmete rakendusuuring Päästeametis ja Sisekaitseakadeemias" lõpparuanne.

<https://www.rescue.ee/files/2025-08/mpd-rakendusuuringu-lopparuanne-2025-01-16.pdf?5136e92d2f> (viimati vaadatud 20.05.2026)

Tominga, A. Silm, S. Orru, K. Vent, K. Klaos, M. Võik E.-J. Saluveer, E. 2023. Mobile positioning-based population statistics in crisis management: An Estonian case study. International Journal of Disaster Risk Reduction. 96, 103887.

<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103887>

Litsents

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Neo Naatan Alakivi,

1. Annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

Avalike varjumispaikade potentsiaalne nõudlus mobiilpositsioneerimise andmetel,

mille juhendaja on Ago Tominga,

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.

Neo Naatan Alakivi

20.05.2026