



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

**ASUKOHAPÕHISTE MOBIILSIDEANDMETE KASUTAMINE  
LIIKUVUSE KAVANDAMISEL TALLINNA LINNAS**

**USING LOCATION-BASED CELLULAR DATA FOR MOBILITY  
PLANNING IN THE CITY OF TALLINN**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Olev Parts  
Üliõpilaskood: 204252EALM

Juhendaja: Kati Kõrbe  
Kaasjuhendaja: Tanel Jairus

Tallinn, 2024

## AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

2. jaanuar 2024.

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 20.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." .....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>[1]</sup>**

Mina Olev Parts

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

“Asukohapõhiste mobiilsideandmete kasutamine liikuvuse kavandamisel Tallinna linnas”

mille juhendajad on Tanel Jairus ja Kati Kõrbe Kaare

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

12.12.2023 (kuupäev)

---

**[1]** Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

**TalTech Inseneriteaduskonna**  
**Mehaanika ja -tööstustehnika instituut**  
**LÕPUTÖÖ ÜLESANNE**

**Üliõpilane:** Olev Parts, 204252 (nimi, üliõpilaskood)  
**Õppekava, peeriala:** EALM Logistika, peeriala Liikuvuskorraldus(kood ja nimetus)  
**Juhendaja(d):** PhD, Kati Kõrbe (amet, nimi, telefon)  
Tanel Jairus

**Lõputöö teema:** (eesti keeles) **Asukohapõhiste mobiilsideandmete kasutamine liikuvuse kavandamisel Tallinna linnas**

(inglise keeles) Using location-based cellular data for mobility planning in the city of Tallinn

**Lõputöö põhieesmärgid:**

1. Kasutada asukohapõhiste mobiilsideandmeid selgitamiseks välja Tallinnas genereeritud liikumiste liikumisviiside modaalkaotus ja CO2 heitmete kogus
2. Pakkuda välja alternatiivne meetodika inimeste liikumisharjumuste mõõtmiseks Tallinnas
3. Uurida asukohapõhiste mobiilsideandmete potentsiaali liikuvuse kavandamisel

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
2.	Lõputöö teema kinnitamine	23.11.2023
3.	Lõputöö esitamine	2.01.2024
4.	Lõputöö kaitsmine	11.01.2024

**Töö keel:** eesti

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** 2. jaanuar 2024a

**Üliõpilane:** Olev Parts ..... ".....".....20....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Kati Kõrbe ..... ".....".....20....a  
/allkiri/

**Konsultant:** Tanel Jairus ..... ".....".....20....a  
/allkiri/

**Programmijuht:** Peep Tomingas ..... ".....".....20....a  
/allkiri/

# SISUKORD

SISUKORD .....	5
EESSÕNA .....	7
SISSEJUHATUS .....	8
1 INIMESTE LIIKUMISHARJUMUSED .....	12
1.1 Inimeste liikumisharjumused linnades .....	12
1.2 Meetodid liikumisharjumuste mõõtmiseks .....	13
1.3 Mobiilsideandmed liikumisharjumuste mõõtmiseks .....	15
1.3.1 GPS-andmed .....	16
1.3.2 Mobiilsideandmed .....	17
1.3.3 SIM-kaardi põhised GPS-andmed .....	18
1.4 CERO mudel .....	21
1.5 Transpordiameti Eesti elanike liikuvusuuring .....	23
1.5.1 Liikuvusuuringu meetoodika .....	23
1.5.2 Liikuvusuuringu tulemused .....	24
2 TALLINNA LIIKUVUS .....	26
2.1 CO2 heitmete hindamine Tallinnas .....	28
2.2 Tallinna liikuvuseesmärgid .....	30
2.3 Liikumisviiside jaotuse hindamine Tallinnas .....	31
3 METOODIKA .....	37
3.1 Uurimisstrateegia kirjeldamine .....	37
3.2 Telia Crowd & Emission Insights platvormi meetoodika .....	37
3.2.1 Andmete hankimine .....	38
3.2.2 Valimi moodustamine .....	40
3.2.3 Andmete töötlemine .....	41
3.2.4 Peamised veaallikad ja kõrvalekalded .....	42
3.3 Tallinna linna liikumisharjumuste analüüsimine .....	43
3.4 Andmete valideerimine .....	44

3.5 SOAR analüüsi metoodika .....	45
4 EMPIIRIKA .....	48
4.1 Liikumisviiside jaotuse määramise tulemused .....	48
4.2 CO2 heitmete määramise tulemused .....	53
4.3 Andmete valideerimistulemused .....	61
4.4 SOAR analüüsi tulemused .....	62
4.5 Järeldused ja edasised uurimisteemad .....	62
KOKKUVÕTE .....	65
SUMMARY .....	68
KASUTATUD KIRJANDUS .....	71
LISAD .....	82
Lisa 1 Erinevate liikumisviiside kasutussagedus .....	82
Lisa 2 Telia Emission Insights platvormi andmed liikumisviiside jaotuse kohta .....	84
Lisa 3 Registrite järgi arvutatud ja küsitluses vastatud elukoha kokkulangevus asustusüksuse tasemel .....	85
Lisa 4 Elukohtade ning töö- ja õpikohtade korrespondents Tallinna transporditsoonide vahel .....	86
Lisa 5 Telia Travel Emission Insight andmed aasta 2022 kohta linnaositi .....	87
Lisa 6 Mobiilsideandmeid kasutavate uuringud ning küsitlusi kasutavad uuringud .....	89
Lisa 7 Liikumisviiside osakaal kõikidest liikumistest võrdlus erinevate allikate vahel ....	91

# EESSÕNA

Käesoleva magistritöö pealkiri on „Asukohapõhiste mobiilsideandmete kasutamine liikuvuse kavandamisel Tallinna linnas“. Magistritöö koostati Tallinna Tehnikaülikoolis.

Magistritöö uurimuse probleemipüstitus seisneb ühekülgse liikuvuse kavandamiseks kasutatud andmete hankimise meetodikas Tallinnas. Seni on neid andmeid hangitud läbi ressursimahukate rahuloluküsitluste, mis asetavad koormuse vastajale ning annavad meile ebatäiuslikku informatsiooni tallinlaste liikumisharjumuste mõjude kohta. Probleemi lahendamiseks oli seatud eesmärk kasutada asukohapõhiseid mobiilsideandmeid inimeste liikumisharjumuste mõõtmiseks Tallinna linnas, täiendades sellega liikuvuse kavandamiseks kasutatavaid andmeid.

Magistritöö käigus uuris magistritöö autor passiivselt kogutud asukohapõhiste mobiilsideandmete võimalusi liikuvuse kavandamisel. Eelkõige analüüsis autor asukohapõhiste mobiilsideandmete põhjal inimeste liikumisharjumusi Tallinnas. Analüüsi tulemusena sai välja selgitatud olemasoleva praktika puudused, asukohapõhiste mobiilsideandmete kasutamise potentsiaal liikuvusuuringutes ning asukohapõhiste mobiilsideandmetele tuginev erinevate liikumisviiside osakaal liikumistes ning liikumiste genereeritud CO<sub>2</sub> heitmete kogus Tallinnas.

Saadud tulemustest selgus, et mobiilsideandmete abil määratud liikumisviiside jaotus erineb rahuloluküsitlustega määratud liikumisviiside jaotusest.

Autor soovib tänu avaldada juhendajatele, kes andsid autorile asjakohast nõu ning tagasid ligipääsu vajalikele andmetele.

Võtmesõnad: liikumisviiside jaotus, Tallinna linn, asukohapõhised mobiilsideandmed, CO<sub>2</sub> heitmed, magistritöö.

## SISSEJUHATUS

Rahvastiku kasv ning inimeste elu- ja töökohtade linnalisse piirkonda siirdumine ning sellest tulenev kõrge eraautode omamise ja kasutamise osakaal kõikidest liikumisviisidest on toonud kaasa nii otseseid liikuvusprobleeme kui ka kaudseid probleeme inimese tervisele. Otsese liikuvusprobleemide seas on ummikud, lähte- ja sihtkohtade vaheliste ühendusaegade pikenedamine, keskkonnasaaste suurenemine, liiklusõnnetused ning linnaruumi ebavõrdne jaotumine. Kaudsetest probleemidest inimese tervisele on peamiselt liikumisharjumuste muutusest tingitud terviseprobleemid nagu stress, hingamisteede haigused ja vähk (Department of Health, 2004; World Health Organization [WHO], 2006). Liiklusmahtude, ummikute, müra ja saastetaseme kasvu kontekstis on oluline tegeleda säästva transpordipoliitikaga ning soodustada keskkonnasõbralike transpordiliikide kasutamist. Transpordist tulenevaid sotsiaalseid ja keskkondlikke kulusid tuleks täies mahus arvesse võtta. (Göteborgi Euroopa Ülemkogu, 2001)

Inimtegevusest tulenevad kasvuhooonegaasid on alates 20. sajandi keskpaigast täheldatud kliimamuutuste kõige olulisem tegur (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023). CO<sub>2</sub> heitmed moodustavad ligikaudu kaks kolmandikku kasvuhooonegaasidest maailmas. Transpordisektor toodab 14% kõikidest kasvuhooonegaasidest maailmas (United Nations Environment Programme [UNEP], 2023). Euroopa Liidus moodustavad heitmed transpordist 25% kõikidest kasvuhooonegaasidest (European Environment Agency [EEA], 2023). Pariisi kliimaleppega lepiti kokku üleilmse temperatuuri tõusu hoidmine alla 2 kraadi Celsiuse skaalal (Ühinenud Rahvaste Organisatsioon [ÜRO], 2015). Selle põhiline tööriist on kliimaleppe sõnul heitmete koguse vähendamine. Heitmete koguse, eelkõige süsinikdioksiidi ehk CO<sub>2</sub> vähendamist transpordis (peamiselt sõiduautodes ja raskeveokites) mainib ka Euroopa Liidu pakett "Eesmärk 55" (Euroopa Ülemkogu, 2023; Euroopa Liidu Nõukogu, 2023).

Säästvamate liikumisviiside eelistamine on Euroopas püsinud peamise lahendusena keskkonnamõjude vähendamisel transpordis. Aktiivselt on asutud vähendama autoliikluse osakaalu liikumistes linnalistes keskkondades ning tõstma jalgsi, rattaga ning ühistranspordiga tehtud sõitude osakaalu. Transpordinõudluse kasvuga ei saa ühiskonna vastus olla ainult uue infrastruktuuri ehitamine ja turgude laiendamine. (Euroopa Komisjon, 2001) Olukorras, kus autoliikluse läbilaskvus on Euroopa linnades ammendunud ning erasõidukite infrastruktuuri laiendamine ei ole kas võimalik või otstarbekas, on modaalne nihe eeldus linnalise liikuvuse edasisele arengule. Liikumiskiiside jaotuse muudatuste



lähtepunktiks ja rakendatud meetmete mõju hindamise eelduseks on adekvaatne info hetkeolukorrast.

Senimaani on Tallinna linnas liikumisviiside jaotust välja selgitatud tallinlastele suunatud rahuloluküsitluste kaudu, kasutamata teisi meetodeid selle hindamiseks. Rahuloluküsitluste tulemused on kokku koondatud Tallinna statistika aastaraamatus "Tallinn arvudes" (Tallinna Linnavalitsus, 2022). Ressursimahukad rahuloluküsitlused panevad suure koormuse vastajale ning annavad aimu ainult Tallinna linna sisse kirjutatud elanike liikumisharjumuste kohta, jättes tähelepanuta väljaspool Tallinnat elavate, kuid Tallinnas liiklust genereerivate inimeste liikumisharjumused.

Magistritöö probleem seisneb ühekülguses liikuvuse kavandamiseks kasutatud andmete hankimise meetodikas Tallinnas. Seni on neid andmeid hangitud läbi ressursimahukate rahuloluküsitluste, mis asetavad koormuse vastajale ning annavad meile ebatäiuslikku informatsiooni tallinlaste liikumisharjumuste mõjude kohta.

Käesoleval ajal puudub ametlikus kasutuses olev võrreldav alternatiivne meetodika rahuloluküsitluste tulemuste valideerimiseks. Tallinna strateegilistes dokumentides on määramata liikumisviiside modaaljaotus kõikidest liikumistest, mis on välja toodud olulise mõõdikuna Tallinna liikuvuskavas ning käesoleva magistritöö käigus proovib autor kõnealuse mõõdiku asukohapõhiste mobiilsideandmete abil välja selgitada. Antud magistritöö tulemused võivad potentsiaalselt olla sisendiks strateegilistele dokumentidele. Samuti puudub teadmine, kas kaasaegsetel tehnoloogiatel põhinevad meetodid on täpsemad või efektiivsemad, kui kasutatav praktika. Probleemist lähtuvalt on magistritöö autor püstitanud neli uurimisküsimust:

1. Milliste andmete põhjal määratakse Tallinnas liikumisviiside jaotust täna ning millised on praeguse praktika piirangud?
2. Millist informatsiooni inimeste liikumisharjumuste kohta saavad anda meile mobiilsideoperaatorite asukohapõhised andmed?
3. Kuidas saaks asukohapõhiste mobiilsideandmete põhjal määrata Tallinnas liikuvusnäitajaid, sh liikumisviiside jaotust ning liikumistest tekkivat CO2 heitmete kogust?
4. Milline on Tallinna inimeste liikumisviiside jaotus rahuloluküsitluste põhjal ning kuidas erineb see asukohapõhiste mobiilsideandmete põhjal määratud liikumisviiside jaotusest?

Magistritöö eesmärk on kasutada asukohapõhiseid mobiilsideandmeid inimeste liikumisharjumuste mõõtmiseks Tallinna linnas, täiendades sellega liikuvuse kavandamiseks kasutatavaid andmeid.

Asukohapõhiste mobiilsideandmete töötamiseks valis autor Telia mobiilsideandmete platvormi, mis on ainus asukohapõhiste mobiilsideandmete põhjal liikuvusandmete töötlust pakkuv platvorm Eestis. Ainulaadsuse tõttu ei ole võimalik seda platvormi võrrelda teiste analoogsetega. Autor valideerib magistritöös Telia platvormi Tallinna linna näitel.

Probleemi läbi töötamisest võib kasu olla erinevatele linnalistele piirkondadele nii Eestis kui mujal ning liikuvuse, poliitika või linnaplaneerimisega töötavatel asutustel, kellele tuleb täpsem info inimeste liikumisharjumustest kasuks liikuvuspoliitikate kujundamisel.

Magistritöö on jaotatud neljaks peatükiks. Esimeses peatükis käsitletakse töö teoreetilisi aluseid, mille seas tuuakse välja inimeste liikumisharjumused ja nende mõjud linnades, inimeste liikumisharjumuste mõõtmise vajadused ja võimalused ning asukohapõhiste mobiilsideandmete kasutamise võimalused ning ohud liikuvuse hindamisel. Viimasena tuuakse välja Telia liikuvusandmete töötlemise platvormi kasutatavad mudelid ning uuringud.

Teises peatükis antakse ülevaade Tallinna liikuvuse eripäradest, tuuakse välja Tallinna liikuvuseesmärgid ning senised praktikad CO<sub>2</sub> heitmete ning liikumisviiside jaotuse hindamisest.

Kolmandas peatükis on välja toodud magistritöös kasutatav uurimisstrateegia, milles on esmalt kirjeldatud kasutatavate andmete valik, nende asjakohasus ja rakendatavus probleemi lahendamiseks. Järgnevalt kirjeldatakse Telia asukohapõhiste mobiilsideandmete kogumise ja töötlemise metoodikat ning liikuvusandmete töötlemise platvormi metoodikat. Seejärel kirjeldatakse Telia liikuvusandmete töötlemise platvormil tehtud analüüsi Tallinna linna liikumisharjumuste analüüsiks. Liikuvusandmete ja platvormi valideerimiseks kasutatakse alternatiivset andmestikku Tallinna ühistranspordi sõidunõudluse kohta. Viimasena viiakse läbi SOAR analüüs ning kahe liikuvusandmete hankimise metoodika võrdlus. Lisaks on peatükis välja toodud metoodika rakendamise laiendatavus ja piirangud.

Neljandas peatükis esitatakse andmeanalüüsi tulemused, milles on toodud asukohapõhiste mobiilsideandmete töötlemisel määratud peamiste liikumisviiside modaalklassifikatsioon ning CO<sub>2</sub> liikumistest tekkinud heitmete kogus Tallinnas. Seejärel esitletakse SOAR analüüsi tulemused ning seejärel tehakse järeldusi asukohapõhiste mobiilsideandmete kasutusvõimaluste kohta liikuvuse kavandamisel Tallinnas.

# 1 INIMESTE LIIKUMISHARJUMUSED

## 1.1 Inimeste liikumisharjumused linnades

Vastavalt universaalse reisiaja eelarve teooriale kulutab inimene päevas reisimisele umbes tund aega (Marchetti, 1994) (Schafer, 2000). Inimese liikumisviis mõjutab nii inimest ennast (nt terviseseisundit) kui ka teda ümbritsevat keskkonda (Department of Health, 2004; WHO, 2006). Käesolev magistritöö võtab lähtepunktiks inimest ümbritseva keskkonna. Täpsemalt keskkonnamõjude potentsiaalse vähendamise läbi parema info hetkeolukorra kohta, mille alusel langetada liikuvusalaseid poliitilisi otsuseid säästva arengu eesmärkide saavutamiseks ning paremini mõõta olemasolevate strateegiliste eesmärkide senist mõju.

Erasõidukite kasvuhoonegaaside heitkoguse vähendamine on muutunud kriitiliseks ülemaailmseks kliimamuutuste leevendamise eesmärgiks (IPCC, 2018). Kasvuhoonegaaside emissioonid mootorsõidukite kasutamisel tulenevad kütuse kulumisest ning sõltuvad põletatud ühiku kütusest eralduvatest emissioonide hulgast ning läbitud distantsist (Cervero *et al.*, 2009).

$$\text{Kasvuhoonegaaside emissioonid} = \left(\frac{\text{liitreid}}{\text{kilomeeter}}\right) \times \left(\frac{\text{süsinik}}{\text{liiter}}\right) \times (\text{Sõidukite läbitud kilomeetrid})$$

Fossiilsetel kütustel töötavad sõidua autod toodavad kasvuhoonegaasidest süsihappegaasi (CO<sub>2</sub>), metaani (CH<sub>4</sub>) ning lämmastikdioksiidi (N<sub>2</sub>O) (Environmental Protection Agency [EPA], 2023). Keskmisel bensiinil töötaval autol moodustavad CO<sub>2</sub> emissioonid 95-99% kõikidest kasvuhoonegaasidest (*Ibid.*). CO<sub>2</sub> heitmete vähendamist transpordis on võimalik saavutada kolmel viisil (Ewig *et al.*, 2008):

1. parandades sõidukite kütusesäästu;
2. vähendades kütuste kasvuhoonegaaside sisaldust;
3. vähendades sõidukite läbitud kilomeetreid (VKT, ingl Vehicle Kilometers Travelled).

Kahte esimest võib nimetada säästvaks liikuvuseks ja kolmandat säästvaks urbanismiks. Säästev urbanism jaguneb kaheks: VKT vähendamine sõidukite omanike seas (nt läbi distantside vähendamise) ja sõidukite omamise määra vähendamine. Läbi säästvate liikumisviiside prioritseerimise on võimalik mõlema säästva urbanismi elemendi kasutamine transpordist tulenevate CO<sub>2</sub> emissioonide vähendamiseks. (Cervero *et al.*, 2009) Liikuvuse kavandamisel ja kliimaeesmärkide saavutamisel läbi CO<sub>2</sub> heitmete vähendamise on suurima

positiivse mõjuga samaaegselt säästvamate kütuste kasutamine ning säästvamate liikumisviiside eelistamine. (Viri & Mäkinen, 2023)

Linnalise liikumiskultuuri ning selles kultuuris osalevate elementide uurimisel on võetud aluseks Klinger *et al.* (2013) antud definitsioon, mille kohaselt moodustavad linnalise liikumiskultuuri liikumisega seotud infrastruktuur, eeskirjad, praktikad ja elustiilid. Liikumiskeskonna kultuuride kontseptsioon on objektiivsete ja subjektiivsete tunnuste kombinatsioon (Næss, 2016). Ühelt poolt on tegu ruumiliste, sotsiaalmajanduslike ja poliitiliste struktuuridega (objektiivsed) ning teisalt liikuvusega seotud eelistuste ja praktikatega (subjektiivsed). Linnad, millel on samasugune ajalooline ja sotsiaalmajanduslik lähtepeitsioon, võivad omada erinevat linnalise liikumiskeskonna kultuuri. See viitab sellele, et need sotsiaalsed struktuurid ei ole fikseeritud ja homogeensed üksused, vaid dünaamilised ja muudetavad. (Klinger *et al.*, 2013)

Multimodaalne transport võib viidata erinevate transpordiliikide kasutamisele samal teekonnal (Euroopa Komisjon, 2018), aga ka rohkem kui ühe transpordiliigi kasutamisele teatud aja jooksul (Heinen & Mattioli, 2017). Ühistranspordi, jalgsi ja jalgrattasõidu kombineeritud kasutamine on transpordi energiakasutuse vähendamisel kriitilise tähtsusega. Transpordenergia tarbimine on madalam linnades, mis rõhutavad neid modaalsusi läbi ühistranspordivõrgu laiendamise, ühistranspordi kiiruse ja kvaliteedi parandamise, liikluse rahustamise ning jalakäimise ja jalgratta kasutamise tingimuste parandamise. (Kenworthy *et al.*, 2018)

Transpordi mõjul halvenev õhukvaliteet võib suurendada isiklike sõidukite kasutust ja sellest tulenevat heitkoguste taset, mis vähendab aktiivsete liikumisviiside ja ühistranspordil kasutust. Kohaliku õhukvaliteedi parandamine võib seega aidata minimeerida negatiivset mõju liikumisviisidele. (Jain *et al.*, 2022)

## **1.2 Meetodid liikumisharjumuste mõõtmiseks**

Transpordi tagajärjel tekkinud emissioonide koguse vähendamiseks on vaja omada ülevaadet inimeste liikumisharjumustest, et suunata säästva liikuvuse poliitikaid, mis mõjutaksid inimeste liikumisviiside valikuid.

Inimeste liikumisharjumusi on aastakümneid uuritud läbi traditsioonilistelt liikumisküsitlustelt saadud andmete, et nende alusel suunata transpordi arengut. Liikumisküsitluste tulemusel on

uuritud kodumajapidamiste liikumisharjumusi toetamaks reisimisnõudluse mudeleid (Lawson *et al.*, 2023) ning muutusi multimodaalses reisikäitumises (Deschaintres *et al.*, 2021). Transpordiuuringutes kasutatavad traditsioonilised andmekogumismeetodid nagu küsitlused ja päevikud on muutunud koormavaks ja ebatõhusaks võrreldes uute passiivselt kogutavate andmetega (Rojas *et al.*, 2016). Traditsiooniliste reisiuuringute probleemidena on välja toodud madalat vastamismäära, suurt koormust vastajale ja märkimisväärseid rakenduskulusid. (Wolf *et al.*, 2003)

Hiljuti oleme info- ja kommunikatsioonitehnoloogia arenguga jõudnud suurandmete (ingl *big data*) ajastusse ning liikumisharjumuste uuringutes on esile kerkinud palju uudseid andmeallikaid, sealhulgas mobiilsideandmed (Wang *et al.*, 2018). Hiljutised kiired muutused transporditehnoloogiates, nagu COVID-19 kriisist tingitud vajadused uute liikumismudelite järele on tekitanud huvi uute reisikäitumise andmete kogumisviiside (sh nutitelefonirakenduste) vastu (Lawson *et al.*, 2023).

Suurandmed, mille hulka kuuluvad ka mobiilsideoperaatorite andmed, on jõudnud igasse maailmamajanduse sektorisse. Suurandmed viitavad andmekogumitele, mille suurus ületab tüüpiliste andmebaasitarkvara tööriistade võimet jäädvustada, salvestada, hallata ja analüüsida. See määratlus on tahtlikult subjektiivne ja sisaldab liikutavat määratlust selle kohta, kui suur peab olema andmekogum, et seda saaks käsitleda suurandmetena. Ettevõtted väljastavad ning töötlevad tehingutes üha kasvavat hulka andmeid, kogudes triljoneid baite teavet oma klientide, tarnijate ja tegevuste kohta. Miljoneid võrku ühendatud sensoreid paigaldatakse füüsilise maailma seadmetesse, nagu mobiiltelefonid, nutikad energiaarvestid, autod ja tööstusmasinad, mis tajuvad, loovad ja edastavad andmeid. Isiku asukoha andmete mahud on mobiiltelefonide kasutuselevõtu kasvuga kiirelt tõusnud ning sellega seoses ka mobiiltelefoni asukoha trianguleerimiseks kasutatav mobiilsidemastide signaalide kasutamine. (Manyika *et al.*, 2011) Suurandmetele kui olulisele trendile ja sellega kaasnevale vajadusele uute meetodite ja tehnoloogiliste lahenduste, et mahukate andmetega toime tulla ja nendest kasu saada viitab ka Eesti infoühiskonna arengukava 2020 (Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium, 2013). Suurandmete kasutamist liikumaks andmepõhiste avalikele teenustele ning kasutamaks andmeid paremaks otsuste langetamiseks mainiti 2017. aastal Tallinna e-valitsemise deklaratsioonis, millele kirjutasid alla kõik Euroopa Liidu liikmesriigid, sealhulgas Eesti (Euroopa Komisjon, 2017).

Inimeste liikumisharjumuste ning erinevate liikumisteenuste kasutamise uurimisel on viimasel ajal järjest enam kasutatatud passiivseid andmeid teenuste kasutuse kohta nt liiklusloenduste andmestikud, kiipkaartide valideerimisandmestikud ühistranspordis ning kasutusandmestikud autojagamisteenuse, taksoteenuse ja rattajagamisteenuse suurimate teenusepakkujate poolt. (Deschaintres *et al.*, 2019) (Morency *et al.*, 2018). Passiivselt kogutud andmed, nagu GPS-andmed (ülemaailmne asukoha määramise süsteem, ingl Global Positioning System), mobiilsidevõrgu andmed ja mobiiltelefoni GPS-andmed, võivad täiendada traditsioonilisi leibkondade liikumisharjumuste uuringuid ja lahendada olemasolevaid probleeme tavapäraste meetodite juures, sealhulgas parandada andmete kvaliteeti ning täpsust (Wolf *et al.*, 2003) (Rojas *et al.*, 2016).

Mobiilsideandmete uurimine on alles algusfaasis, kuid neid võib pidada tänapäeval üheks peamiseks andmeallikaks transpordiplaneerimisel ja nõudluse prognoosimisel. Mobiilsideandmete rakendamine reisimustrite analüüsil on mobiiltelefonide laialdase kasutamise ning mobiilsideandmete unikaalsete omaduste tõttu võrreldes küsitlustest saadud andmetega veelgi otstarbekam (Wang *et al.*, 2018) (Chiou & Hsieh, 2021). Mobiilsideoperaatorite valduses olevatel suurandmetel on potentsiaal muuta meie linnad targemaks, hõlbustades linnaarengu ning selle dünaamika avastamist ja selgitamist. Parem arusaamine sellest, kuidas, kus ja millal inimesed igapäevaselt liiguvad, eriti tihedalt asustatud piirkondades, võib viia linnaplaneerimise, transpordi infrastruktuuri projekteerimise ja keskkonnamõjude hindamise paranemiseni. (Ahas & Mark, 2005) (Steenbruggen *et al.*, 2015)

### **1.3 Mobiilsideandmed liikumisharjumuste mõõtmiseks**

Asukohapõhiseid mobiilsideandmeid saab eristada sõltuvalt sellest, kuidas neid kogutakse. kahte peamist tüüpi. Esiteks saadakse mobiilsidevõrgu operaatorite andmeid rutiinselt, kas kõnetoimingute kirjete (CDR, ingl Call Detail Records) või pideva võrgu signalisatsioonandmete voo kujul (CSD ehk ingl Cellular Signaling Data). CDR-id pakuvad mobiilimasti tunnust kõnede, tekstisõnumite või muude SIM-kaardiga seotud tegevuste jaoks, samas kui võrgu signalisatsioonandmed annavad pidevat teavet mobiilimasti kohta, millega telefon on ühendatud, kuni see on sisse lülitatud. Mõlemal juhul annab mobiilimast kasutajale ligikaudse asukoha kõne või teksti saatmise ajal, kusjuures asukoha täpsus sõltub mobiilimastide tihedusest piirkonnas. Teiseks asukohapõhiseks sideandme tüübiks on globaalse positsioneerimissüsteemi jäljed, mis on nutitelefonidest või GPS-seadetest saadud andmed ja annavad aja jooksul seadme täpseid asukohaandmeid. (Kishore *et al.*, 2020)

Mobiilsideandmed on asukoha osas täpsed, kuid mõnikord on need katvuse ja esinduslikkuse osas piiratud, eriti madala sissetulekuga asustusalades, kus paljudel inimestel ei ole nutitelefone (Fraiberger *et al.*, 2020). Mobiilsideandmed esindavad üldiselt rohkem põhipopulatsiooni kui GPS-jäljed (mis on sõltuvad nutitelefonidest), kuna tavaliste mobiiltelefonide levik on peaaegu universaalne. See arusaam jääb üldiselt paika ka kõrgelt arenenud asustusalades, sest GPS-andmeid kogutakse tavaliselt ainult elanikkonna alamhulga kohta, kes kasutab konkreetset rakendust ja annab nõusoleku asukohateenuste jagamiseks. Rohkem kui ühe SIM-kaardi omamine ja piiratud andmete detailsus piiravad mobiilsideandmete kasutamist liikuvusanalüüside jaoks, mida on näidanud Wesolowski *et al.* (2012) ja Buckee *et al.* (2013) uuringud. (Kishore *et al.*, 2020)

### **1.3.1 GPS-andmed**

Esimesed edusammud traditsiooniliste reisuuringute täiustamisel saavutati GPS-seadmete kaasamisel. GPS-seadmed võivad keskmise Maa orbiidil olevate satelliitide abil pakkuda täpset asukohateavet kõikjal maailmas. Seadme asukohta arvutatakse iga 1–4 sekundi järel. Asukoht arvutatakse seadme ja satelliitide vahelise kauguse põhjal. Kahe satelliidiga ühendamine annab laius- ja pikkuskraadi. Kolmanda satelliidi kaasamine võimaldab arvutada kõrgust; täiendavate satelliitide kasutamine suurendab täpsust. (Rojas *et al.*, 2016) GPS-i horisontaalne täpsus on ~3 m ja vertikaalne ~5 m, 95% ajast (U.S Department of Defense, 2020). GPS-i asukoha täpsus kannatab, kui signaal on takistatud, näiteks linnades kõrghoonestuse lähedal (Lindsey *et al.*, 2013).

Tüüpiline toores GPS-andmete kogum sisaldab iga kirje ajatemplit, laiust, pikkuskraadi, kõrgust ja kiirust. Andmekogumid võivad sisaldada ka pealkirja ja täpsusmõõtu. (Rojas *et al.*, 2016)

Märkimisväärne hulk uuringuid on käsitletud GPS-andmete kasutamist ja nende võimet täiendada või asendada leibkonna liikumisuuringuid (Chen *et al.*, 2013). Enamikus uuringutes oli GPS-seade osaleja sõiduki külge kinnitatud või osaleja kandis seadet iga päev (Bohte *et al.*, 2009). Kuigi need uuringud näitasid, et GPS esitas üksikasjalikud reisirajektoori andmed piisava täpsusega, oli GPS-il ka mõningaid piiranguid. GPS-seadmete ostmise ja küsitluse läbiviimise on kulukas ning vastajate ja uuringus osalejate peale on pandud kõrge koormus. (Rojas *et al.*, 2016)



### 1.3.2 Mobiilsideandmed

Katsed parandada tavapäraseid reisiuuringuid on hõlmanud ka mobiilsideandmeid - kõige sagedamini kõnetoimingute kirjete andmeid (CDR). Sarnaselt GPS-iga arvutatakse mobiiltelefoni asukoht selle kauguse järgi ümbritsevatest mobiilsidemastidest. Vahekaugus, mastide arv ja signaali tugevus mõjutavad otseselt andmete täpsust. Andmed salvestatakse siis, kui telefon on aktiivne, näiteks telefonikõne või sõnumi saatmise ajal. Kui mobiiltelefon liigub, lülitub signaal lähima ja tugevaima torni signaalile. Telefon ei pea aga tornide vahetamiseks liikuma. Telefon võib lülituda tornide vahel või "võnkuda" jõudluse optimeerimise võrgupoliitika või võrdse tugevusega konkureeriva mobiilmasti läheduse tõttu, mis võib reisiuuringutes anda märku valedest liikumistest. Reaalset liikumist võib liikumise kordumise alusel ka võnkumisenähtusega valesti tõlgendada. Tüüpiline kõnetoimingu andmekogum sisaldab helistaja ID-d, ajatemplit, kõne või muu tegevuse kestust, pikkus- ja laiuskraadi. Saadaval võivad olla ka muud andmed, näiteks kõne vastuvõtja ID. Privaatsusprobleemide tõttu muudetakse need ID-d alati anonüümseks ja vorming on operaatoriti erinev. (Rojas *et al.*, 2016)

Mobiiltelefonide leviku tõttu saab suhteliselt madalate kuludega hankida suure hulga andmeid. Hiljutised andmed näitavad, et Euroopas on mobiilsidega telefonilepingute levik 120% ning 100 inimese kohta omab telefoni 92,9 inimest. (International Telecommunication Union, 2023). Need tulemused näitavad Rojas *et al.* (2016) sõnul, et inimestel, eriti arenenud riikides, võib olla rohkem kui üks mobiiltelefon. Seetõttu tuleb olla ettevaatlik, kuna mobiiltelefonivõrkude valimi võtmine võib sisaldada ebatäpsusi või viia mitme telefoniga osalejate ülesindatuseni. Mobiilsideandmete andmekogumite ulatus pole mitte ainult tohutu, vaid selline andmete kogumise vorm kõrvaldab ka vastaja koormuse; enamik vastajaid pole isegi teadlikud, et andmeid salvestatakse. CDR-i andmed on aga vähem täpsed kui GPS-andmed (*Ibid.*). Kuna CDR-i andmed on sõltuvuses mobiiltelefoni kasutamise aktiivsusest (Silm & Ahas, 2014), on CDR-i andmed harvemad ja ebaregulaarsed ning võivad seetõttu jätta trajektoori jälgedesse olulisi lünki ja raskendada andmete rakendamist. Mobiiltelefoni kasutamise aktiivsus on erinevates elanikkonna segmentides ja tegevustes erinev (Wei & Lo, 2006). Kõnetoimingute kirjeid on kasutatud meetodikas uurimaks rahvastiku paiknemise dünaamikat omavalitsustes (Ahas *et al.*, 2010), pendelrännet linnaregioonides (Ahas *et al.*, 2010), etnilisi erinevuseid ja ebavõrdsust (Silm & Ahas, 2014a; 2014b) ning turismi (Raun *et al.*, 2016; 2020) (Silm *et al.*, 2020).

Võrreldes traditsiooniliste ankeetküsitlustega on mobiilsideandmete kasutamisel järgmised eelised: kõrgem värskendamise sagedus, efektiivsus, katvus ja lisakulude puudumine. Siiski puudub mobiilsideandmetel teatud oluline teave nagu mobiilikasutajate sotsiaaldemograafilised andmed ja reisiatribuudid (nt reisimotivatsioon ja reisi eesmärk). Mobiilsideandmete kasutamine liikumismustrite analüüsimiseks nõuab andmehüpete ja katkendlike trajektooripunktide ületamiseks täpset protsessi. (Chiou & Hsieh, 2021) Oma 2021. aasta uuringus viisid nad läbi analüüsi, mille käigus uurisid 30 katsealuse liikumist nii mobiilsideandmete järgi kui ka liikumispäeviku abil Taipeis, Taiwanis. Läbi arendatud algoritmi, mille abil liikuvusandmetest genereerida liikumistrajektoore ning analüüsida liikumismustreid, leidsid nad, et pideva võrgu signalisatsiooniandmete (CSD) ning liikumispäeviku põhjal saadud tulemused kattusid 84% ulatuses reisi täpsuse määramisel ning 89% ulatuses reisi eesmärgi tuvastamisel. Chiou ja Hsieh märkisid, et küsitlused annavad andmeid tegeliku käitumise kohta ja mobiilsideandmed pakuvad suure sageduse ja katvuse. Kombineerides mõlemat andmeallikat saab reisimustreid kirjeldada kasutades mobiilsideandmeid, kusjuures küsitluste andmeid kasutatakse käitumise selgitamiseks ja asjakohase mudeli kalibreerimiseks. Kuigi liikumisharjumuste analüüsimisel on suundumus suurandmete analüüsi poole, on reisimustrite aluseks olevate reeglite kindlaksmääramiseks ja selgitamiseks endiselt vaja küsitluste andmeid. (*Ibid.*)

### **1.3.3 SIM-kaardi põhised GPS-andmed**

Mobiiltelefoni GPS-i või "abistatud GPS-i" andmete tulek edendas liikumisuuringute muutust veelgi. See tehnoloogia ühendab mobiiltelefonivõrgu ja traditsioonilised GPS-andmed. Sarnaselt mobiilsidevõrgu andmetega on mobiiltelefonide GPS-andmetel potentsiaal laiahaardelise kasutuse jaoks ja vähendada vastajate koormust. Näiteks võib andmete salvestamine lühendada aku kasutusaega ja selliste andmete väljavõtmine võib olla koormav. See allikas võib põhjustada ka valimi kallutatust. (Rojas *et al.*, 2016) Mobiiltelefoni GPS-andmete täpsus on sarnane GPS- seadmete andmetega 9 meetrit (Lindsey *et al.*, 2013).

Mobiiltelefoni asukoht arvutatakse triangulatsiooni abil. Andmepunkte saab salvestada juhtmevaba funktsiooni, GPS-satelliidi või mobiilsidevõrkude kaudu. Teatud telefonid annavad kasutajatele kontrolli andmete salvestamise üle energia säästmise eesmärgil. Erinevalt mobiilsidevõrgu kõnetoimingute kirjetest on võimalik jälgida telefoni, kui seda ei kasutata ja seda saab jälgida ilma mobiiltelefoni signaalita tingimusel, et telefon on satelliitide vaateväljas. Kui telefon on paigal, suureneb salvestuskiirus üle 1 minuti, kuid ületab harva 5 minutit. Seetõttu on tavaline, et päevas registreeritakse üle 1000 punkti. (Rojas *et al.*, 2016)

Mobiiltelefoni GPS-andmete salvestamise sagedused varieeruvad olenevalt liikumisest. Kui telefon on paigal, salvestatakse vähem andmeid. Näiteks kui mobiiltelefon liigub, salvestatakse Google'i asukohaajaloo andmed tavaliselt iga 30–60 sekundi järel. (Ruktanonchai *et al.*, 2018)

Ruktanonchai *et al.* (2018) kasutasid Google'i asukoha ajalugu (GLH, ingl Google Location History) inimeste liikumisharjumuste analüüsiks. Olemasolevate andmete puuduste ja vajadusest mõista tegevusrume ajalistes skaalades, oli Ruktanonchai *et al.* sõnul vaja uudeid andmeid, mida saab hõlpsasti koguda sotsiaalse ja demograafilise teabega, hõlmata pikki ajavahemikke ja tuvastada reisimise asukohad suure ruumilise täpsusega. Nad uurisid Google'i asukohaajaloo andmeid kui inimeste liikuvust käsitleva teabe alakasutatud allikat, mis võiks selle niši paljudes uurimiskontekstides täita. Need andmed koosnevad geograafilistest koordinaatidest, mida Android-telefonid regulaarselt salvestavad, ja on seotud konsolideeritud kasutajakontoga, võimaldades asukohaandmeid, mis salvestatakse kõigis üksikisikule kuuluvates mobiilseadmetes. GLH-andmeid on Androidi kasutajate jaoks kogutud passiivsel viisil, kuna asukohateenused integreeriti täielikult Androidi 2012. aastal. (MacLean *et al.*, 2015) Iga kasutaja pääseb oma andmetele kiiresti ja vabalt ligi veebibrauseri kaudu. GLH-andmeid kasutavates uuringutes saavad kasutajad alla laadida seotud andmed ja edastada need teadlastele uuringute käigus, mis hõlmavad asjakohast teadlikku nõusoleku protsessi. Kuna asukoht tuvastatakse telefoni sisemise GPS-i ja ühendatud WiFi-seadmete ja mobiilimastide kombinatsiooni abil, siis on andmed aastate lõikes ruumiliselt sama viimistletud kui GPS-jälgija andmed. Lisaks väldib GLH-andmete passiivne kogumine paljusid teadaolevaid kõrvalekaldeid, mis tulenevad GPS-jälgimisseadmeid kasutavate uuringute nõuetele vastavuse probleemidest ning väldib kõrvalekaldeid tegelikkusest, mis esineb ise teatatud liikumisandmete meenutamisel (nt liikumisküsitlustes). (Ruktanonchai *et al.*, 2018)

#### 1.3.4 Privaatsus ning andmete ruumiline ja ajaline agregeerimine

Andmepakkujaid juhivad riiklikud reguleerivad asutused, kes määravad, milleks mobiilsideandmeid (ja mõnikord ka GPS-i jälgimisandmeid) kasutada saab ning kas koondandmeid saab teadlaste või poliitikakujundajatega jagada. Enamikes Euroopa riikides saab operaator asukohaandmeid kasutada ainult siis, kui need on anonümiseeritud või on saadud isiku nõusolek vastavalt isikuandmete kaitse üldmäärustele. (Kishore *et al.*, 2020)

Privaatsuse säilitamiseks tuleb andmed koondada. Teisalt nõuavad poliitikakujundajad ja teadlased kõrge eraldusvõimega liigendatud andmeid. Tasakaalu saavutamiseks tuleb

andmed optimeerida vastavalt kasutatavale ruumilisele piirile, näiteks haldustsoonile või ruudustikule ja ajaskaalal, mis võib anda olulist teavet konkreetsetele vajadustele vastavalt. Halduspiiride ulatus sõltub sellest, kas kõnealune asukoht on maal või linnas; linnad vajavad mõnikord väiksemaid ruumilisi mastaape. Seetõttu on standardsed ruudustikuruudud kasulikud mõne uurimisküsimuse jaoks. Ajaskaala on samuti erinev ja uurimisküsimusi tuleks kohandada vastavalt ajaskaalale. Ööpäevane varieeruvus võib olla väga kasulik näiteks pendelrände mustrite joonistamiseks, samas kui hooajaline varieeruvus võib näidata rändemustreid, mis on seotud põllumajanduse, pühade, haridustingimuste või isegi tööpäevade või nädalavahetuste voogudega. (zu Erbach-Schoenberg, 2016) (Kishore *et al.*, 2020)

Vajalik ruumiline ulatus sõltub ka poliitikast või uurimiseesmärgist. Näiteks võivad linnavõimud olla huvitatud kogukondade liikumistest või teatud tüüpi tegevuste (nt toidupoodide, ühistranspordisõlmede ja koolide külastused) tuvastamisest, samas kui suuremate haldusüksuste (nt riikide) valitsused võivad olla rohkem huvitatud halduspiire ületavatest reisijatest. Kui vastutajad saavad piisavalt ressursse pühendada, võivad nad kaaluda analüüside koostamist erineva ruumilise eraldusvõimega, mis on iga kasutusjuhtumi jaoks spetsiifilised. Mobiilsideandmete liigendamist sotsiaaldemograafilise teabe alusel, nagu vanus, sugu ja rass või etniline kuuluvus, tuleks Kishore *et al.* (2020) sõnul kaaluda ainult siis, kui sellel on mõjuv põhjus. Näiteks võib COVID-19 pandeemia korral olla mõistlik jagada andmeid vanuse järgi, et tuvastada üle 60-aastaste inimeste liikumismustreid. Samamoodi peab ruumiline liitmine tagama, et unikaalsete seadmete arv ei langeks alla künnise, mis võimaldab üksikisikute või rühmade uuesti tuvastamist. (Sweeney, 2000) (Narayanan & Shmatikov, 2008) Üldiselt ei tohiks vähem kui viie kuni kahekümne kasutajaga võrguelemente jagada väliste osapooltega (Maas, 2019). Analüüsi kohordi igapäevane lähtestamine kaitseb samuti privaatsust (Andrés, 2013); Ding *et al.*, 2018; ElSalamouny, 2016; Kishore *et al.*, 2020).

Populaarne lähenemine andmete anonümiseerimisele on K-anonüümsus. K-anonüümsusega saab isiku teavet sisaldava algse andmekogumi teisendada nii, et kolmandal osapoolel on raske selles andmekogumis olevate isikute identiteeti kindlaks teha. K-anonüümseks muudetud andmekogumil on omadus, et iga kirje on potentsiaalselt tuvastavate muutujate osas sarnane vähemalt  $k-1$  muu kirjega. Näiteks kui  $k = 5$  ja potentsiaalselt tuvastavad muutujad on vanus ja sugu, siis on k-anonüümseks muudetud andmekogumil vähemalt viis kirjet iga vanuse ja soo väärtuskombinatsiooni kohta. (El Emam *et al.*, 2008)

### 1.3.5 Telia liikuvusandmete platvorm

Telia Crowd Insights ja Travel Emission Insights platvorm põhineb Telia andmesidevõrkude mobiilimastide tuvastamise põhjal saadud mobiilsideandmete liikuvusandmeteks töötlemisel. Telia Crowd Insights on anonüümsetel ja agregeeritud andmetel põhinev andmevoog Telia võrgu 16 miljoni abonendiga üle Põhjamaade ja Baltikumi, mis muudab need andmed läbi töötamise kasutatavaks teabeks. Andmeid kogutakse raadiosideelementidega ühendatud signaalide kaudu. Nendes raadiosideelementides toimub 200–400 võrgusündmust kasutaja kohta päevas, mis tähendab miljardeid signaale ja andmepunkte päevas. Andmeid luuakse ja kogutakse järjepidevalt püsiva kliendibaasi jaoks, mis muudab rahvahulga liikumise mudelid usaldusväärseks. Miljardeid andmepunkte saab puhastatud ja teisendatud kujul kasutada töölaudade, andmefailide või aruannete kaudu, mille põhjal saab hiljem teha teadlikke otsuseid ja kujundada meetmeid. (Telia, 2020)

Telia Crowd Insights andmestiku alusel saab genereerida kolme tüüpi aruandeid (*Ibid.*):

- Päritolu ja sihtkoha maatriksi aruanded annavad ülevaate sellest, kust piirkondades on inimesed pärit, kuhu nad lähevad ja kuidas nad riigiüleselt liiguvad.
- Marsruudi aruanded annavad ülevaate kõige tõenäolisematest teekonna marsruutidest. Kui telekommunikatsiooni leviala on füüsiliselt eraldatav, näitavad tulemused kaardil kas sõidud on tehtud maantee, raudtee, õhutee või mereteede kaudu.
- Tegevuse aruanded annavad ülevaate sellest, kus inimrühmad on viibinud, mis ajal ja kust nad on tulnud või kuhu nad on läinud.

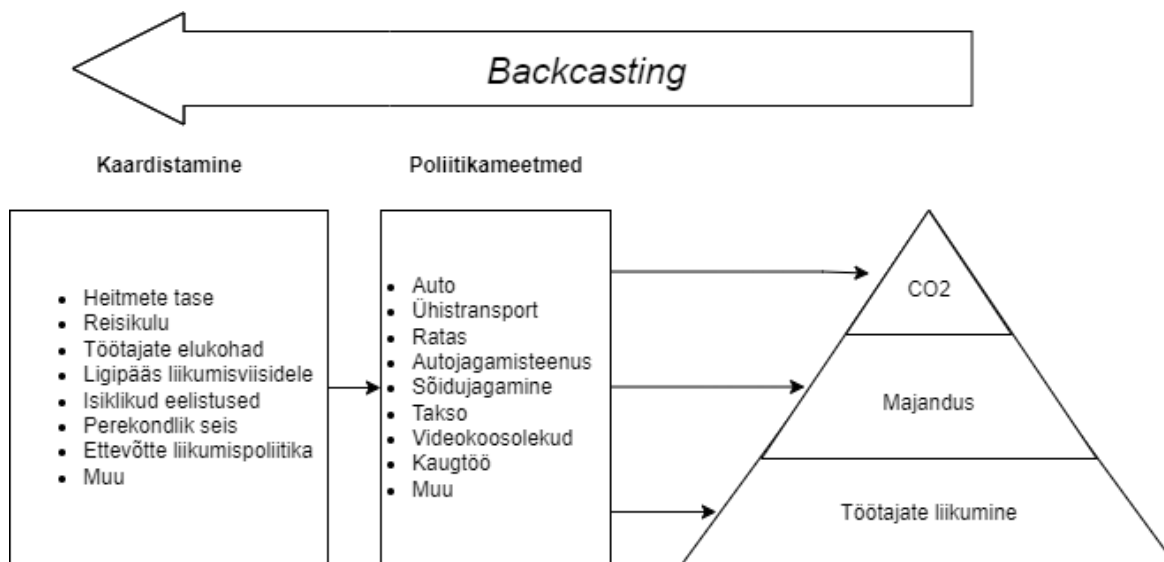
## 1.4 CERO mudel

Telia Travel Emission Insights ühendab Telia Crowd Insights platvormi asukohapõhised mobiilsideandmed CERO arvutusmudeliga, mis põhineb Markus Robèrti välja töötatud kliimapõhise reisiplaneerimise mudelile (Robèrt, 2009). Robèrti kasutas loodud *backcasting* (tuletavate tulevikustsenaariumide loomine vastandina ennustavatele (*forecasting*) mudelit esmalt keskkonnasäästlikuma ettevõtete liikumispoliitikate eesmärgipäraseks planeerimiseks ja jälgimiseks Stockholmi ettevõtetes Stockholmi Mobiilsusprojekti raames. Kliimapõhise reisiplaneerimise raamistik on mõeldud kohaldatavaks igat tüüpi ettevõtetele ja organisatsioonidele, kes soovivad kasuhoonegaaside heitkoguste vähendamiseks välja töötada kuluefektiivse reisipoliitika. (*Ibid.*)

*Backcasting* kontseptsioon (Robinson, 1982) on konstruktiivne viis integreerimaks järgmised küsimused tulemuspõhisesse raamistikku (Robèrt, 2009):

- Milline eesmärk on seatud tulevikuks (reisiheitmete, reisikulude ja töötajate töötingimuste osas)?
- Kus on ettevõtte praegu selle eesmärgi suhtes (mis puudutab heitkoguseid, reisikulusid ja töötajate reisimisharjumusi)?
- Kuidas tuleks eesmärk sõnastada, et see oleks arusaadav ja ettevõtte reispoliitika kaudu saavutatav?
- Milliseid sihipäraseid ettevõttepoliitikaid peaks ettevõtte seadma prioriteediks, et liikuda praegusest olukorrast eesmärkide täitmise poole?

Stockholmi Mobiilsusprojekti raames alustasid ettevõtted eesmärgi määratlemisega kontseptuaalsel tasemel. Seejärel kaardistati ettevõtete liikumisharjumuste hetkeolukord kõikide aspektide osas, mis mõjutavad eesmärgi saavutamise väljavaateid. Nende kahe olukorra määratlemisel on väljakutse luua kohandatud ettevõtte poliitikate ja strateegiate komplektid, mis viiksid ettevõtte praegusest olukorrast eesmärgi saavutamiseni. (Robèrt, 2009)



Joonis 1.4.4.1. *Backcasting* raamistiku kolm komponenti  
Allikas: Autori koostatud ja tõlgitud Robèrt (2009) *backcasting* raamistiku baasil.

*Backcastingu* raamistiku (Joonis 1.4.4.1) (hiljem CERO mudeli) puhul on oluline järjestus, kus sihtmärgi kirjeldus (püramiid) ja kaardistamise protseduur (vasak kast) on mõlemad tõhusate reispoliitikate (parem kast) kujundamise aluseks (Robèrt, 2009).

Mudelit on kasutatud liikumismustrite jälgimiseks ettevõtetes ning omavalitsustes ning strateegilise liikuvuskorralduse planeerimiseks heitmete vähendamise eesmärkide suunas (Robèrt, 2009, 2015, 2016). Mudel annab omavalitsustele teavet selle kohta, millistel marsruutidel enamik inimesi reisib, millist transpordiliiki nad kasutavad ja kui palju CO2 heitkoguseid tekib nende liikumisharjumuste tulemusel. CERO mudel põhineb enam kui 300 000 liikumisharjumuse uuringul, milles hinnatakse liikumisviise ja sõiduaegu ning arvutatakse CO2 heitmete kogust. Seeläbi saab CERO mudeliga hinnata liikumisviiside valikut erinevates olukordades ning iga liikumisviisi heitmete kogust. (Telia, 2021)

## **1.5 Transpordiameti Eesti elanike liikuvusuuring**

Mobiilsideandmete liikuvusandmeteks teisendamisel Telia Crowd Insights platvormil on kasutatud Eesti elanike liikuvusuuringu andmeid inimeste liikumisviiside kohta. Täpset metoodikat Eesti elanike liikuvusuuringu andmete kasutamisest Telia Crowd Insights platvormil ei ole võimalik kirjeldada, kuna see on kaitstud konfidentsiaalsuslepinguga. Transpordiameti ning Kantar Emori koostööl 2021. aastal läbi viidud uuringu eesmärk oli kaardistada küsitluse teel Eesti elanike liikumismustrid seotuna vastajate ning nende leibkondade sotsiaalmajandusliku taustaga. Küsitlus koos liikumispäevikuga viidi läbi ajavahemikul 14. september kuni 12. detsember 2021. (Transpordiamet, 2021)

### **1.5.1 Liikuvusuuringu metoodika**

Liikumispäevikuga kaardistati vastajate 2 päeva liikumised, liikumiste eesmärgid, liikumisviisid, sihtkohad, liikumiste vahemaa ja ajaline kestvus. Tegemist oli suurima üleeestilise liikumispäeviku metoodikale tugineva uuringuga. Üldkogumi moodustasid Eesti alalised elanikud vanuses 7-80 aastat ning valimiks kujunes 6581 vastajat, millest 825 Harjumaal. (Transpordiamet, 2021)

Liikumine küsitlusuuringu kontekstis on inimese liikumine alguspunktist sihtpunkti ühel eesmärgil. Kui liikumise alguspunktist sihtpunkti on mitu erinevat eesmärki, eristatakse mitut liikumist. Liikumise jooksul tehtud vahepeatused mitteolulistel eesmärkidel ei eristata. Mitteolulised vahepeatused on lühiajalised ja sisu osas hinnangulised. Liikumine võib olla jagatud erinevatesse etappidesse, kus kasutatakse erinevat liikumisviisi. Liikumisandmete kogumine tähendas töövõtja etteantud kuupäevadel tehtud tegelike liikumiste kaardistamist kahel päeval: 1 tööpäeval ja 1 puhkepäeval (sh riiklik püha). Päevikupäevaks loeti 24 tundi ajavahemikus 04.00-3.59 öösel. Liikumispäevikus ei kajastatud nende vastajate tööliikumisi,

kelle ametikohustuse täitmine põhines valdavalt liikumisel, nii jalgsi kui auto/masinaga vastavalt elukutsele. Lisaks ei kajastatud alla minimaalse nõude liikumisi, milleks olid alla 50m lõigul läbimine, liikumine ainult oma maa-alal ning liikumine hoonete sees. Samuti ei kajastatud üle maksimaalse nõude liikumisi, mille alla kuulus riigipiiri ületavad liikumised, mille puhul fikseeriti liikumine piirini. (*Ibid.*)

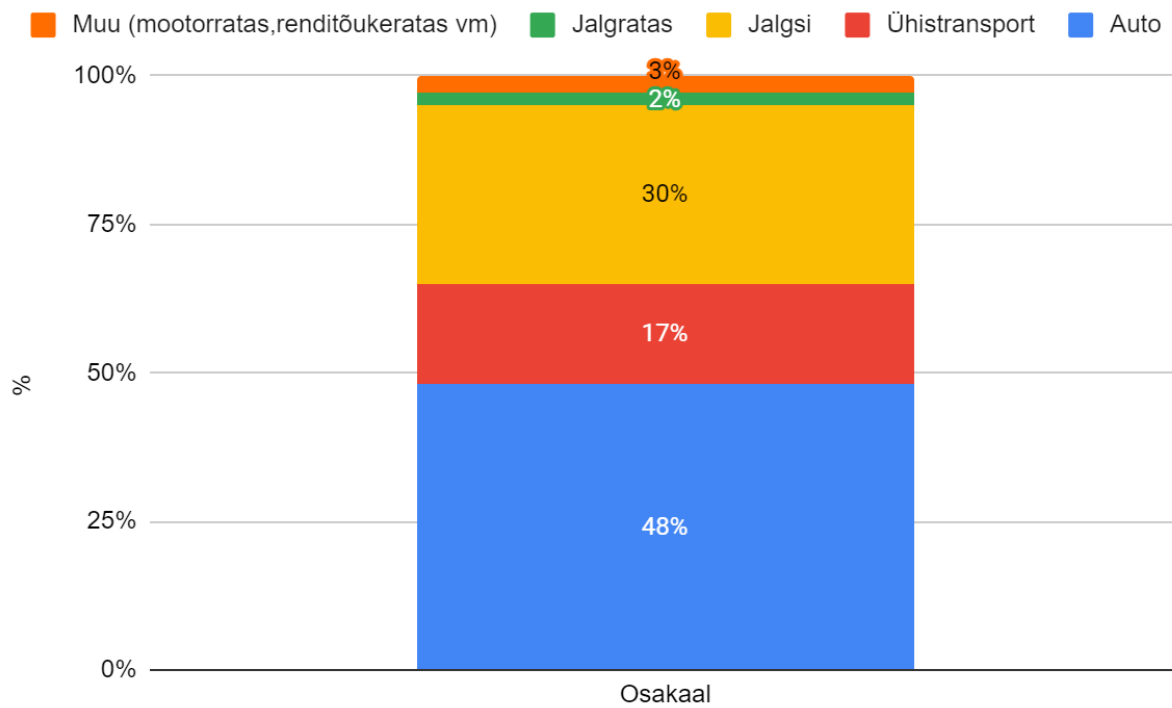
Liikumisviisidest kasutati liikumispäeviku täitmisel järgmisi (*Ibid.*):

1. Jalgsi;
2. Jalgratas;
3. Mootorratas/mopeed;
4. Auto juhina;
5. Auto kaassõitjana;
6. Linnasisene ühistransport (tramm, troll, linnaliin, linnasisene rong);
7. Linnaväline ühistransport (kaugliinibuss, linna lähiliini buss, liinitakso);
8. Linnadevaheline rong;
9. Takso, sh sõidujagamisteenus;
10. Muu ühistransport.

### **1.5.2 Liikuvusuuringu tulemused**

Harjumaal liikumispäeviku esitanute arv oli 825 inimest, kes tegid 3409 liikumist, keskmiselt 2,07 liikumist päevas. Tulemused liikumisviiside jaotusest on toodud joonisel 1.5.2.1.

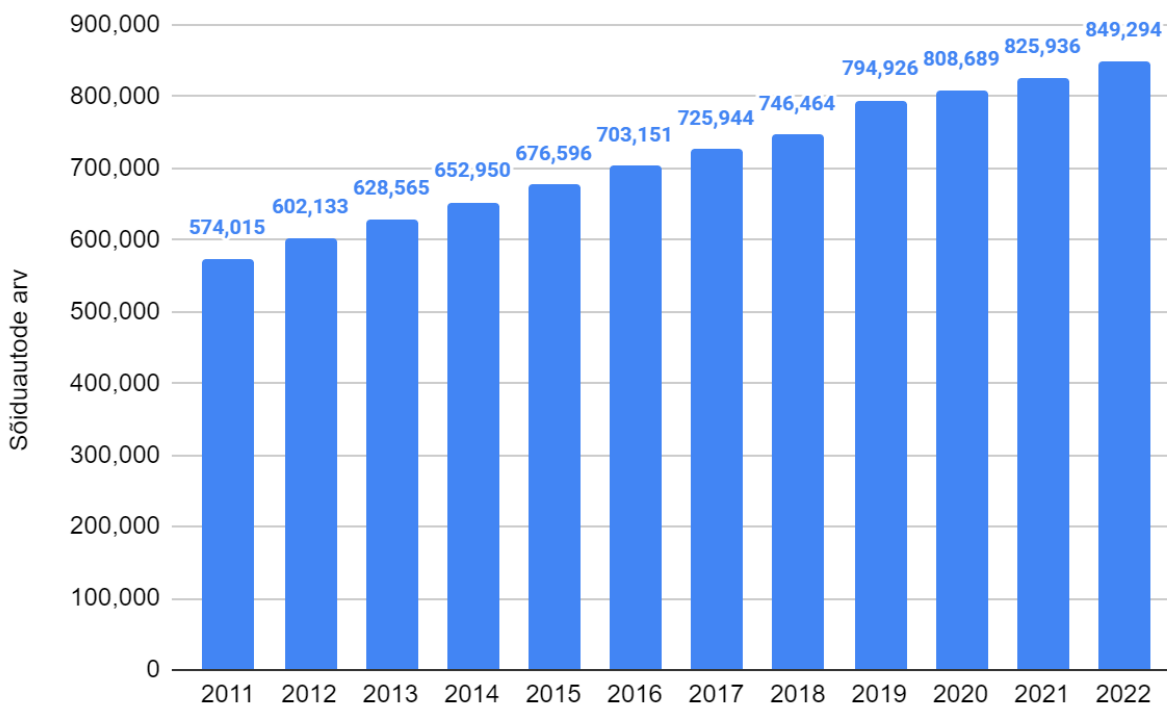




Joonis 1.5.2.1. Liikumisviiside jaotus osakaaluna kõikidest reisidest.  
 Allikas: Autori koostatud Transpordiameti 2021. aasta Liikuvusuuringu andmete põhjal.

## 2 TALLINNA LIIKUVUS

Statistikaameti aastate 2011-2022 andmetel on Eestis 2021. aasta seisuga 825936 sõiduautot (Statistikaamet, 2023a), mis teeb 1000 elaniku kohta 621 autot (rahvaarv 2021. Aastal 1,33 miljonit. Allikas: Statistikaamet 2023b) See on ühtlasi Euroopa üks suurimaid näitajaid. Euroopa keskmine on 2021. aastal 567 autot 100 elaniku kohta. Eestist kõrgemal autode arvu tuhande elaniku kohta on Küpros (661), Itaalia (672), Poola (684) ning Luksemburg (698) (ACEA, 2023).

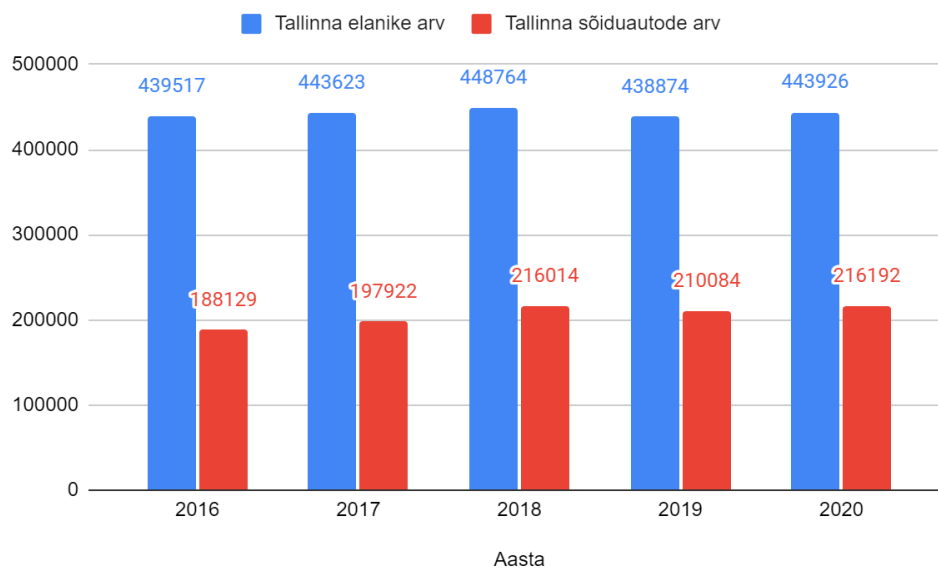


Joonis 2.1. Registreeritud liiklusvahendid: Sõiduautode arv Eestis aastatel 2011-2022  
Allikas: Autori koostatud Statistikaamet (2023a) andmete põhjal.

Statistikaameti andmetest tuleb ka välja, et sõiduautode arvu kasv on sõidukiliikide seas olnud suurim.

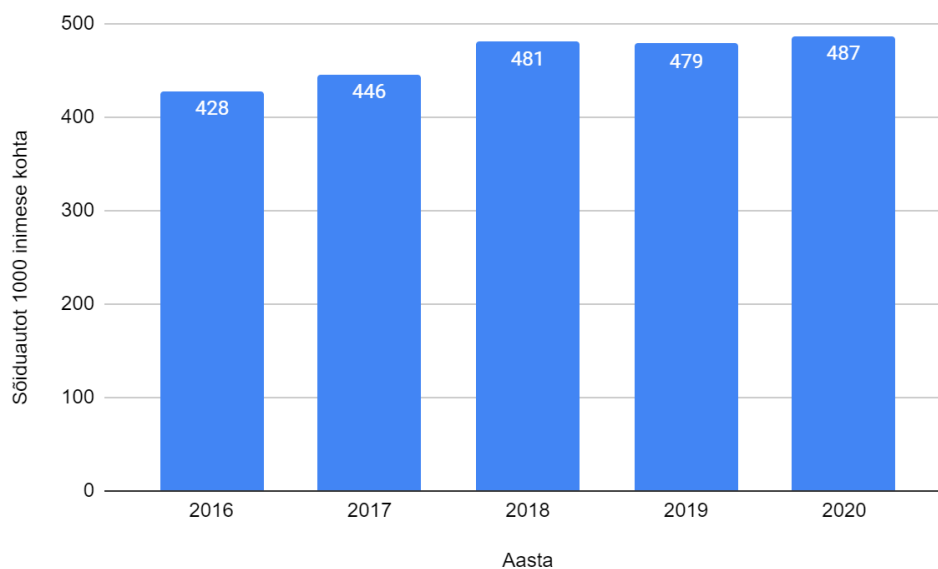
Rahvastikuregistri 01.03.2023 andmetel on Tallinnas on 1.03.2023 seisuga 460392 elanikku (Tallinna Linnavalitsus, 2023b). Tallinna pindala on 159,3 ruutkilomeetrit ehk 15930 hektarit (Tallinna Linnavalitsus, 2022), mis teeb asustustiheduseks 29 inimest hektari kohta. Tallinna elanike ning sõiduautode arv aastatel 2016-2020 on toodud Joonisel 2.2. Tallinnas oli 2020.

aastal 443926 elaniku kohta 216192 sõiduautot, mis on 2016-2020 aastavahemikus kõrgeim arv. (Tallinna Linnavalitsus 2022)



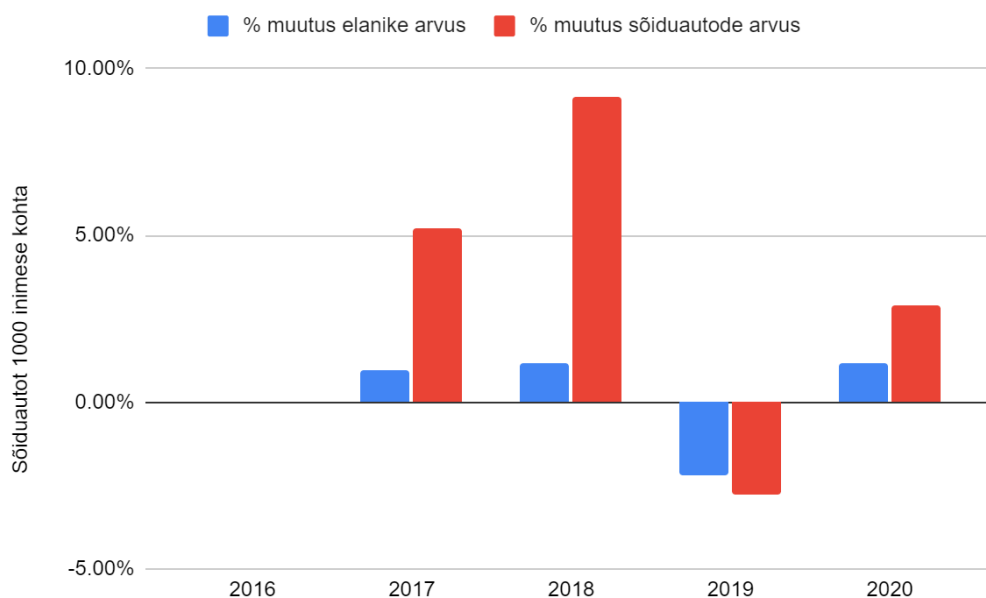
Joonis 2.2. Tallinna elanike ning sõiduautode arv aastatel 2016-2020  
Allikas: Autori koostatud Tallinn arvudes (2022) andmete põhjal.

Tallinnas oli 2020. aasta seisuga 1000 elaniku kohta 487 autot (vt Joonis 2.3), mis on sarnaselt riiklikule statistikale aastate 2016-2020 kõrgeim number.



Joonis 2.3. Sõiduautode arv 1000 elaniku kohta Tallinnas aastatel 2016-2020  
Allikas: Autori koostatud Tallinn arvudes (2022) sõiduautode statistika andmete põhjal.

Lisaks saab välja tuua sõiduautode arvu kasvu võrreldes elanike arvu kasvuga (vt Joonis 2.4), mis on protsentuaalselt suurem.



Joonis 2.4. Protsentuaalne muutus elanike ning sõiduautode arvus Tallinnas võrreldes eelneva aastaga aastatel 2017-2020

Allikas: Autori koostatud Tallinn arvudes (2022) sõiduautode statistika andmete põhjal.

Statistikast kujuneb välja, et autode arv kasvas aastal 2020 jätkuvalt nii Eestis kui ka Tallinnas.

## 2.1 CO2 heitmete hindamine Tallinnas

Tallinna linna transpordisektorist tulenevaid CO2 heitmete kogust Tallinnas on arvatatud CO2 heitkoguste olukorda inventuuride kaudu aastatel 2007, 2011 ning 2015 (ÅF-ESTIVO AS, 2009; OÜ Hendrikson & Ko, 2013; Nomine Consult OÜ, 2018). CO2 heitkoguste inventuurid on arvanud CO2 heitmete koguse müüdnud kütuse pealt Tallinnas. Tallinna transpordisektori energiatarbimine on aastatel 2007-2011 vähenenud, kuid aastaks 2015 uuesti tõusnud (vt Joonis 2.1.1).

Tabel 2.1.1. Kütuse ja elektri tarbimine (GWh) Tallinna transpordisektoris aastatel 2007, 2011 ja 2015

	2007	2011	2015
Vedelkütused (GWh)	3606	2300	2693

Gaasilised kütused (GWh)	–	–	15
Elekter (GWh)	25	22	20
Kütus ja elekter kokku (GWh)	3632	2322	2728

Allikad: ÄF-ESTIVO AS (2009); OÜ Hendrikson & Ko (2013); Nomine Consult OÜ (2018)

Märkus: Andmed gaasiliste kütust tarbimisest aastatel 2007 ja 2011 ei olnud eraldi välja toodud.

Energiatarbimise otsene tulemus on CO<sub>2</sub> heitmed ning seetõttu on energiatarbimise liikumisega kaasas käinud ka CO<sub>2</sub> heitkogus Tallinna transpordisektoris aastatel 2007-2015 (vt Joonis 2.1.2). Sarnase liikumise on läbi teinud ka CO<sub>2</sub> heitmete kogus kütuse tarbimisest elaniku kohta (vt Joonis 2.1.3).

Tabel 2.1.2. CO<sub>2</sub> heitkogus tonnides Tallinna transpordisektoris aastatel 2007, 2011 ja 2015

	<b>2007</b>	<b>2011</b>	<b>2015</b>
Vedelkütused (CO <sub>2</sub> /t)	925870	594128	704506
Gaasilised kütused (CO <sub>2</sub> /t)	–	–	2999
Elekter (CO <sub>2</sub> /t)	32100	26234	22287
Kütus ja elekter kokku (CO <sub>2</sub> /t)	957980	620362	729792

Allikad: ÄF-ESTIVO AS (2009); OÜ Hendrikson & Ko (2013); Nomine Consult OÜ (2018)

Tabel 2.1.3. Elanike arv ning heitkogus elaniku kohta (t/elanik) Tallinna transpordisektoris aastatel 2007, 2011, 2015

	<b>2007</b>	<b>2011</b>	<b>2015</b>
Elanike arv	397235	400 682	418 601
Heitkogus (CO <sub>2</sub> ) kütuse tarbimisest elaniku kohta, t/elanik:			
Kütus	2,33	1,5	1,68
Kütus ja elekter	2,41	1,6	1,74

Allikad: ÄF-ESTIVO AS (2009); OÜ Hendrikson & Ko (2013); Nomine Consult OÜ (2018)

Vedelkütuste ülekaal on aastatel 2007-2015 Tallinna transpordisektoris olnud püsiv läbi aastate 2007-2015 (vt Joonis 2.1.4) ning suurem osa kütuste tarbimist leiab aset maanteetranspordis (vt Joonis 2.1.5).

Tabel 2.1.4. Tallinna transpordisektori CO<sub>2</sub> heitkogused kütuse- ja energialiikide kaupa aastatel 2007, 2011, 2015

	<b>2007</b>	<b>2011</b>	<b>2015</b>
Vedelkütused	97%	96%	97%
Elekter	3%	4%	3%

Allikad: ÅF-ESTIVO AS (2009); OÜ Hendrikson & Ko (2013); Nomine Consult OÜ (2018)

Tabel 2.1.5. Tallinna transpordisektori CO2 heitkogused alamsektorite lõikes aastatel 2007, 2011 ja 2015

	<b>2007</b>	<b>2011</b>	<b>2015</b>
Maanteetransport	92%	92%	93%
Raudteetransport	6%	5%	4%
Veetransport	2%	3%	3%

Allikad: ÅF-ESTIVO AS (2009); OÜ Hendrikson & Ko (2013); Nomine Consult OÜ (2018)

Tallinna transpordist tulenev kasvuhoonegaaside heitkogus peaks vastavalt linnapeade paktiga kokkulepitule 2007. aastaga võrreldes vähenema 20% aastaks 2021 (Tallinna linnavolikogu, 2011). Kliimaneutraalne Tallinn seab eesmärgiks kogu kasvuhoonegaaside koguse vähendamise 40% võrra aastaks 2030 (Tallinna Linnavalitsus, 2011, 2021).

## 2.2 Tallinna liikuvuseesmärgid

Tallinna liikuvuseesmäärke on kirjeldatud mitmes strateegilises dokumendis. Keskseim on Tallinn 2035 arengustrateegia, milles on paika pandud mõõdik "Ühistranspordiga, jalgsi või jalgrattaga liikumise osakaal Tallinna linnaregioonis", mille sihttasemeks on Tallinna linn määranud 50% aastaks 2025 ning 70% aastaks 2035 (Tallinna Linnavalitsus, 2020). See eesmärk eeldab eramootorsõidukitega tehtud liikumiste maksimaalset osakaalu vastavalt 50% aastal 2025 ja 30% aastal 2035.

Lisaks on teemakohased ka strateegiad "Tallinna regiooni säästva linnaliikuvuse strateegia 2035", mis ilmus aastal 2019 ning selles sisalduva stsenaariumi "Tallinna liikuvus++" põhjal aastal 2023 vastu võetud Tallinna jätkusuutliku linnaliikuvuse kava 2035 (ka Liikuvuskava), mis keskendub Tallinn 2035 arengustrateegia seireks vajalike indikaatorite ehk väljund- või tulemusnäitajate määramisele. Tallinna liikuvuskava toetab arengustrateegia „Tallinn 2035“ eesmärkidele „Terve Tallinn liigub“ ja „Sõbralik linnaruum“ ning suurel määral strateegiliste sihtide „Kodu, mis algab tänavast“, „Roheline pööre“ ja „Loov maailmalinn“ saavutamist.

Tallinna jätkusuutliku linnaliikuvuse kavas on eeskju võetud ka teistest strateegilistest dokumentidest:

- Eesti riiklik transpordi ja liikuvuse arengukava 2021-2035;
- Tallinna regiooni liikuvuse koostöömemoandum;

- Harju maakonna arengustrateegia;
- Kliimakava 2030;
- Tallinna üldplaneeringud;
- Tallinna Rattastrateegia 2018-2027;
- Keskkonnahoiu arengukava;
- Ülemaailmsed säästva arengu eesmärgid.

Tallinna liikuvuskavaga seatakse kolm eesmärki:

1. Tallinna regiooni liikumisviiside jaotus on tasakaalus;
2. Tallinna regiooni liikuvustaristu on ligipääsetav ja sihtkohad kõigile liikumisviisidele hästi ühendatud;
3. Tallinna regiooni liikuvuskeskkond on ohutu.

Esimese Tallinna liikuvuskava eesmärgi saavutamiseks on välja käidud 6 mõõdikut:

- Liikumiskiiside modaali jaotus kõigis liikumistes;
- Tallinna linnaregioonis hõivatute ühistranspordiga, jalgsi või jalgrattaga liikumise osakaal töö ja kodu vahel;
- Elanike osakaal, kes liiguvad oma peamisesse sihtkohta ühistranspordiga, jalgrattaga või jalgsi;
- Sõiduautode arv 1000 elaniku kohta;
- Transpordist tulenev kasvuhooonegaaside heitkogus / heitkoguse muutus võrreldes baastaseme aastaga;
- Keskmise ühissõidukiga sõidu kestus keskuste vahel.

Käesoleva magistr töö tulemus võib seega olla relevantne Tallinna liikuvuskava tasakaalus liikumisviiside eesmärgi mõõdikute "liikumiskiiside modaali jaotus kõigis liikumistes" ning "Transpordist tulenev kasvuhooonegaaside heitkogus" määramisel.

## **2.3 Liikumiskiiside jaotuse hindamine Tallinnas**

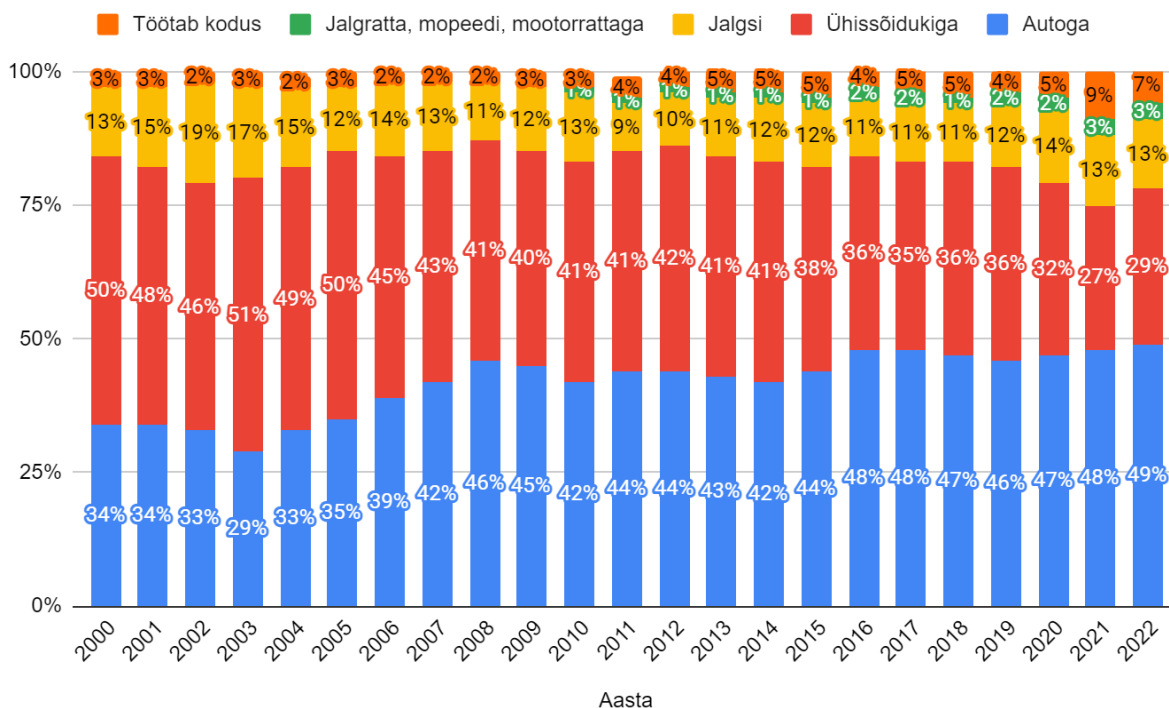
Liikumisharjumusi on enim eristatud liikumisviiside jaotuse ehk modaalsuse järgi. Liikumiskiiside määramisel kasutatakse erinevaid mõisteid defineerimaks liikumisviiside jaotust:

- Liikumiskiiside modaali jaotus kõikides liikumistes (Tallinna Linnavalitsus, 2022);
- Hõivatute töö-kodu liikumisviiside jaotus (Transpordiamet, 2022);
- Liikumiskiis peamisesse sihtkohta (Tallinna Linnavalitsus, 2023).

Tallinn 2035 Arengustrateegia on oma eesmärkides sõnastanud mõõdiku "Ühistranspordiga, jalgsi või jalgrattaga liikumise osakaal Tallinna linnaregioonis" ning on selle sihttasemeks määranud 50% aastaks 2025 ning 70% aastaks 2035. Eesmärgiks on säästvate liikumisviiside osakaalu tõstmine autode arvelt. Selle sihttase on 2023. aasta seisuga arengustrateegias määramata. Liikumisviiside jaotus on märgitud ka Tallinna liikuvuskavas, mis toetub Tallinn 2035 strateegiale. Tallinna liikuvuskavas on kirjeldatud tasakaalustatud liikumiste eesmärgi mõõdikut: Liikumisviiside jaotus Tallinna linnas kõigis liikumistes, mille lähtetase ning sihttase on määramata. Mõõdik sisaldab endas liikumisviiside modaalkaotust järgmiste liikumisviiside vahel: 1) auto, 2) ühistransport, 3) jalgratas, 4) jalgsi, 5) muu.

Magistritöö tulemused võivad potentsiaalselt olla selle mõõdiku algtasemeks.

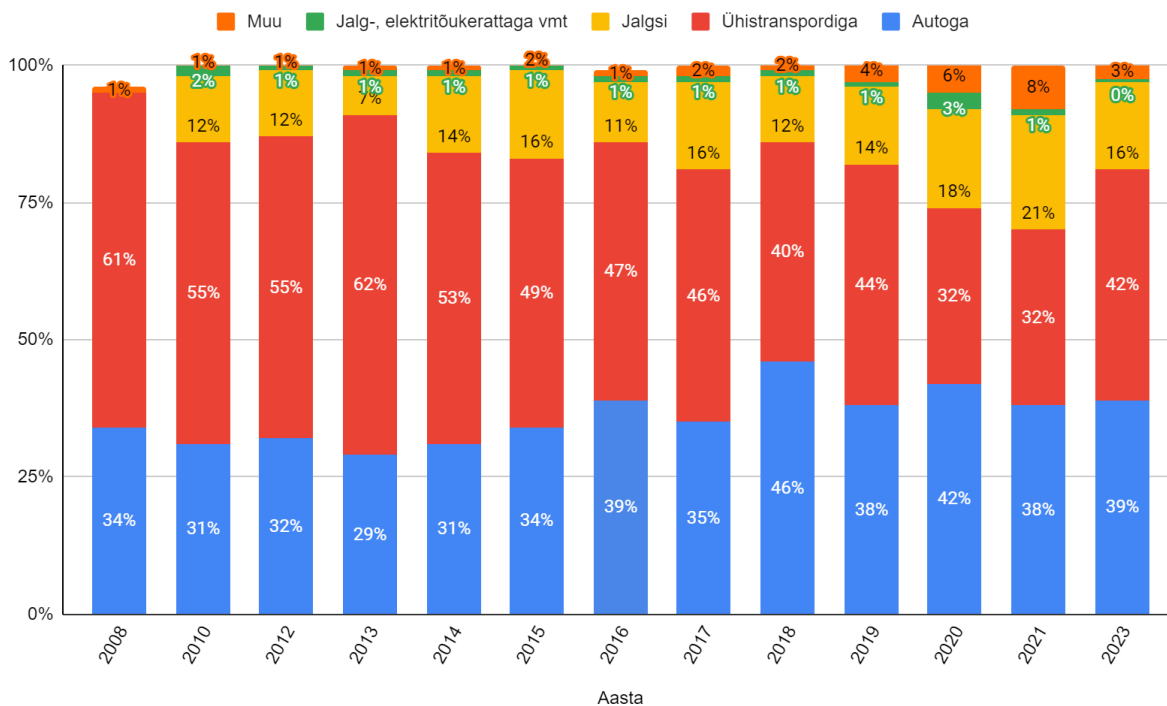
Hõivatute töö-kodu liikumisviiside jaotuse Tallinnas (vt Joonis 1.1) on määranud Transpordiamet liikuvuse statistikas Statistikaameti andmete põhjal (Transpordiamet, 2022).



Joonis 2.3.1. Liikumisviiside jaotus hõivatute hulgas töö ja kodu vahel liikumisel Tallinnas  
Allikas: Autori koostatud Transpordiamet (2022) andmete põhjal.

Liikumine peamisesse sihtkohta (Joonis ) liikumisviiside modaalkaotuse kitsendusest on mõõdetud Tallinna Rahuloluküsitlustes.

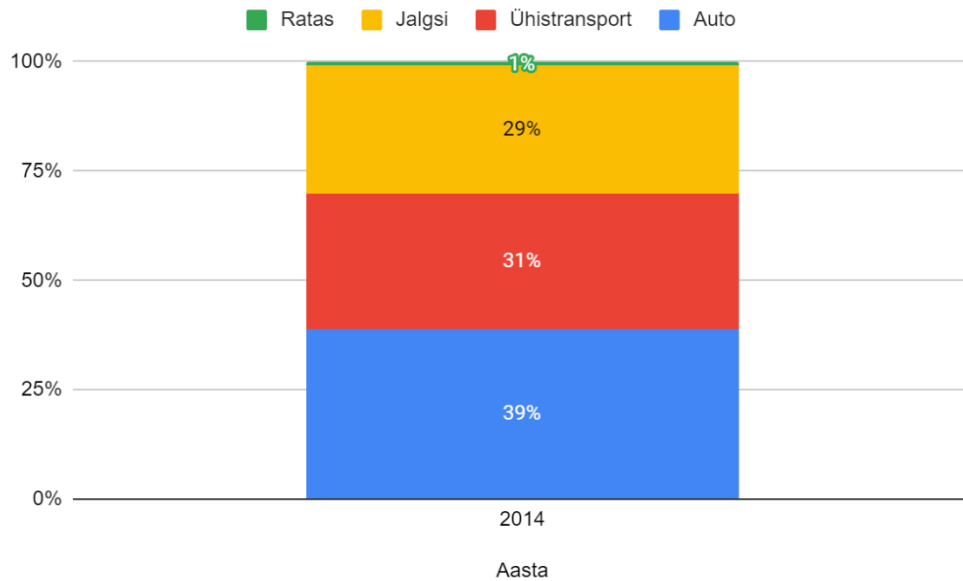




Joonis 2.3.2. Tallinlaste liikumisviisi peamiseks sihtkohta tavapärasel tööpäeval Tallinnas  
Allikas: Autori koostatud Tallinlaste rahuloluküsitlus (2021-3; 2023) andmete põhjal.

Tallinna rahuloluküsitlustes esitatud tulemused määravad vastavalt metodikale tallinlaste liikumisviise, kuid ei võta arvesse väljaspool Tallinnat elavaid, kuid Tallinnas töötavaid ning seetõttu Tallinnas igapäevaselt liiklust genereerivaid inimesi.

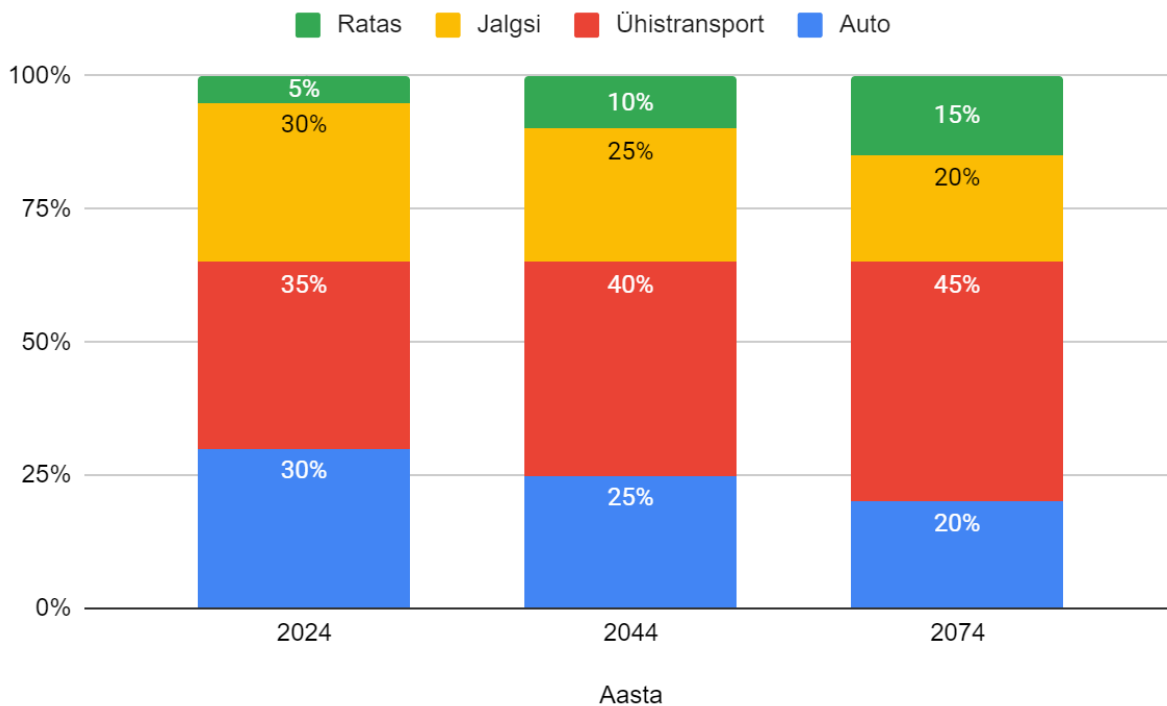
Inseneribüroo Stratumi 2014. aastal läbi viidud Põhja-Tallinna liikuvusuuringu kohaselt oli liikumiste analüüsi baastasemeks aasta 2014 liicluse olukord ning liikumisviiside modaalkoost: autod 39%, ühistransport 31%, jalgsi 29% ja rattad 1%. Aastal 2014 oli elanike arv 55646. Inseneribüroo Stratum kasutas kõnealuse uuringu metodikaks mobiilsideandmete positsioneerimist kasutades kõnetoimingute kirjeid, mida on kirjeldatud OÜ Positium LBS 2013. aasta aruandes Põhja-Tallinna liikuvusuuringu lähteandmete kogumine: tegevusruumide hindamine passiivse mobiilpositsioneerimise meetodil. Lähteandmetena on kasutatud passiivse mobiilpositsioneerimise andmeid perioodil november 2012-oktoober 2013.



Joonis 2.3.3. Liikumisviiside jaotus kõikides liikumistes Põhja-Tallinnas aastal 2014  
 Allikas: Autori koostatud Inseneribüroo Stratum (2014) ja OÜ Positium LBS (2013) andmete põhjal.

Uuringus tehti ka prognoos liikumisviiside jaotusele kõikides liikumistes tulevikus sõltuvalt välja ehitatud planeeritud ehitismahu osakaalust ning lisanduvatest elanikest. Võrdluseks võeti aasta 2014:

- 10 aastat ehk 2024, kui 15 % planeeritud ehitismahust on välja ehitatud ning olemasolevatele elanikele on lisandunud 6990 elanikku;
- 30 aastat ehk 2044, kui 35 % planeeritud ehitismahust on välja ehitatud ning olemasolevatele elanikele on lisandunud 16310 elanikku;
- 60 aastat ehk 2074, kui 100 % kogu planeeritud ehitismaht on välja ehitatud ning olemasolevatele elanikele on lisandunud 46 600 elanikku.



Joonis 2.3.4. Liikumisviiside jaotuse prognoos kõikides liikumistes aastateks 2024, 2044 ja 2074 Põhja-Tallinnas

Allikas: Autori koostatud Inseneribüroo Stratum (2014) ja OÜ Positium LBS (2013) andmete põhjal.

Liikumisviiside jaotuse näitajad üksinda on mittetäielikud säästva liikuvuse mõõdikud, sest liikumiste distantse ei ole võimalik hinnata, kuigi CO2 heitmete hindamisel on distantse määrava tähtsusega (Vanoutrive & Huyse, 2023). Sarnaste distantsidega liikumiste puhul on multimodaalsed liikumised seotud madalamate emissioonidega. Arvestamata läbitud distantse multimodaalsete liikumiste võrdluses jääb multimodaalsuse seos CO2 emissioonidega nõrgaks (Heinen & Mattioli, 2019). Seega tagab liikumisviiside jaotuse mõõtmisel läbitud distantse arvestamine parema info heitmete koguse kohta.

Hetkel kasutatakse Tallinna strateegilistes dokumentides rahuloluküsitluste põhjal saadud liikuvusandmeid, mida oleks vaja võrrelda alternatiivsel meetodil saadud andmetega, et välja selgitada olemasoleva info võimalik hälbimine uudse meetodi kasutamisel saadud tulemustest ning seeläbi täiendada võimalikku metoodikat.

Inimeste liikumisharjumusi mõõtes on võimalik kohandada linnaruumi inimeste paremaks mahutamiseks linnadesse. Inimeste liikumisharjumuste mõõtmisel on läbi aja olnud domineerivaks viisiks küsitlused inimeste seas. Küsitlused panevad aga suure vastutuse vastajate peale ning nende läbiviimine on ressursikulukas. Viimasel ajal on mobiilsideandmed

muutunud tänu mobiilseadmete laialdasele levikule üha täpsemaks ning laiahaardelisemaks andmestikuks, mille abil saab määrata inimeste liikumisharjumusi. Mobiilsideandmeid kogutakse passiivselt ning pidevalt, mis teeb nad täpsemaks ning nende kogumise ressursiefektiivsemaks, kui traditsioonilised küsitlused. Mobiilsideandmete piiranguks on GDPR (isikuandmete kaitse üldmäärus, ingl General Data Protection Regulation), mistõttu on vaja andmed muuta tuvastamatuks ning need enne liikuvusandmeteks teisaldamist agregeerida. Seetõttu kaob võime teha järeldusi konkreetsete sotsiaaldemograafiliste atribuutide järgi. Lisaks on mobiilsideandmed ebatäpsed piirkondades, kus ei ole mobiilsideandmeid.

Magistritöö uurimuse probleemipüstitus seisneb ühekülgses liikuvuse kavandamiseks kasutatud andmete hankimise meetodikas. Seni on neid andmeid hangitud läbi ressursimahukate rahuloluküsitluste, mis asetavad koormuse vastajale ning annavad meile ebatäiuslikku informatsiooni tallinlaste liikumisharjumuste mõjude kohta. Probleemi lahendamiseks oli seatud eesmärk hinnata asukohapõhiste mobiilsideandmete töötlemise võimalusi inimeste liikumisharjumuste mõõtmiseks Tallinna linnas efektiivsemaks liikuvuse kavandamiseks. Selleks püstitas autor järgnevad uurimisküsimused:

1. Milliste andmete põhjal määratakse Tallinnas liikumisviiside jaotust täna ning millised on praeguse praktika piirangud?
2. Millist informatsiooni inimeste liikumisharjumuste kohta saavad anda meile mobiilsideoperaatorite asukohapõhised andmed?
3. Kuidas saaks asukohapõhiste mobiilsideandmete põhjal määrata Tallinnas liikuvusnäitajaid, sh liikumisviiside jaotust ning liikumistest tekkivat CO2 heitmete kogust?
4. Milline on Tallinna inimeste liikumisviiside jaotus rahuloluküsitluste põhjal ning kuidas erineb see asukohapõhiste mobiilsideandmete põhjal määratud liikumisviiside jaotusest?

Läbi uurimisküsimustele vastuste leidmise määratakse kindlaks liikumisviiside jaotus Tallinnas kõikides liikumistes ning hinnatakse läbi mobiilsideandmete töötlemise inimeste liikumisharjumusi Tallinna linnas seeläbi pakkudes välja alternatiivse meetodi, mis täiendaks olemasolevat meetodikat liikumisviiside jaotuse määramisel. Tulemus võib olla relevantne Tallinna Liikuvuskava kõikide liikumisviiside jaotuse määramisel.

## **3 METOODIKA**

### **3.1 Uurimisstrateegia kirjeldamine**

Antud peatükis kirjeldatava uurimisstrateegia abil täidetakse magistritöö eesmärk, milleks on hinnata läbi mobiilsideandmete inimeste liikumist Tallinna linnas ning määrata kindlaks peamised liikumisviisid seeläbi pakkudes alternatiivset metoodikat, mis täiendaks olemasolevaid andmeid. Uurimisstrateegia on jaotatud nelja etappi:

1. Andmete kogumine;
2. Kasutatud andmete ning mudelite kirjeldamine;
3. Andmete analüüs;
4. Analüüsi tulemuste valideerimine.

Esimeses etapis on kogub autor liikumisharjumuste hindamiseks vajalikud olemasolevad asukohapõhised mobiilsideandmed kasutades Telia platvormi Telia Crowd Insights ja Travel Emission Insights.

Teises etapis kirjeldatakse kogutud andmeid ning mudeleid, mille abil hakatakse kolmandas etapis määrama liikumisviiside modaalkaotust ning CO2 emissioonide kogust Tallinnas.

Kolmandas etapis analüüsitakse asukohapõhiseid mobiilsideandmeid Tallinna linna põhjal ning kirjeldatakse erinevate uurimismeetodite kombinatsioonis Tallinna modaalse jaotuse välja selgitamist ning inimeste liikumisharjumuste mõõtmist. Seejärel kirjeldab autor SOAR analüüsi metoodikat, millega võrdleb asukohapõhiste mobiilsideandmete metoodikat küsitluste metoodikaga liikuvuse kavandamisel.

Neljandas etapis valideeritakse saadud tulemusi läbi alternatiivse andmestiku, millega on võimalik analoogseid liikumisharjumusi käsitleda. Valideerimisetapis kinnitatakse analüüsitud andmete ning kasutatud mudelite vastavus uurimismeetodite nõuetele ning praktiline rakendatavus päriselus.

### **3.2 Telia Crowd & Emission Insights platvormi metoodika**

Käesoleva magistritöö uurimisküsimustele vastamiseks analüüsis autor asukohapõhiste mobiilsideandmetest moodustatud liikuvusandmeid Telia Crowd Insights ja Travel Emission

Insights platvormil, mis töötab Tableau Serveri tööriistal. Telia andmete platvorm toetub CERO mudelile ning Eesti liikuvusuuringute andmetele liikumisviiside eristamisel.

Pilvepõhine platvorm Tableau Server on võrgupõhine ärianalüüsi tööriist, mis ühendab andmeallika (nt Microsoft Excel, tekstifailid, JSON-failid, PDF-failid, statistilised failid või veebipõhised andmed) serveriga. Tableau esitab toorandmeid arusaadavas vormingus ning tulemused on jagatavad. Tableau võimaldab andmeid ühendada, andmeid reaajas analüüsida ning andmeid omavahel seostada. (Khedikar, 2021)

### **3.2.1 Andmete hankimine**

Esimene oluline komponent liikuvuse kohta kehtiva ülevaate saamiseks on andmekogumiga seotud ruumiline viide. Selleks kasutab Telia Crowd Insights kogu Telia jalajälje ulatuses olemasolevaid raadiosideelemente hõlmavaid kaarte, mille eesmärk on raadiosideelementide planeerimine, kõrge signaalitugevuse ja teenuse kvaliteedi tagamine. Nende andmete formaat on ruumilised hulknurgad, mis kujutavad iga raadiosideelemendi leviala parimat hinnangut ja mida tavaliselt nimetatakse „parimaks serveri hinnanguks“. Need ruumilised hulknurgad on ainulaadsed ja olemas iga raadiosideelemendi jaoks, olenemata sellest, kas tegemist on 2G-, 3G-, 4G- või varsti 5G-võrguga. Raadiosideelementide suurus ja omadused võivad erineda sõltuvalt sellest, millise tehnoloogiaga on tegemist ja millises geograafilises piirkonnas see asub. Tavaliselt on 2G-elementid suuremad, samas kui 4G-elementid on kompaktsemad. Ühes kohas on tavaliselt mitu raadiosideelementi erinevate sagedustega, mille kattumine võib hõlbustada ruumilist positsioneerimist liikuvusest ülevaate saamiseks. Telia Crowd Insights ajakohastab raadiosideelementide katvuse andmeid iganädalaselt ja säilitab varasemad ülevaated, kui neid on vaja uuesti töödelda. Telia Crowd Insights ei kasuta triangulatsiooni telefonide asukoha määramiseks andmekaitse tõttu. Selle asemel tuginetakse raadioside katvusele, teabele maakasutuse kohta ja täiustatud andmetöötlusmeetoditele. Peamised eeldused ja loogika, mis on seotud paigutuse meetodikaga, on järgmised (Telia 2020):

- Inimesed veedavad 90% oma statsionaarsest ajast siseruumides või hoonete läheduses. Üle 30 minuti kestvate statsionaarsete signaalide seaduspärasuste perioodide puhul eeldatakse, et need asuvad seal, kus on registreeritud elanikud või päevane elanikkond Statistikaameti andmetel.
- Mobiiltelefonid ja telekommunikatsioonivõrgud eelistavad energia säästmiseks ühendust võtta lähima olemasoleva raadiosideelemendiga.

- Ümberlülitumine või ümberlülitamine raadiosideelementide vahel on tavaline, sest võrk ja telefon püüavad saavutada parimat teenuse kvaliteeti madalaima energiatasemega.

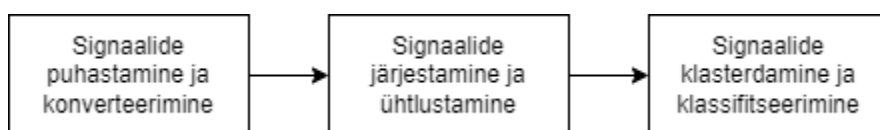
Suurema osa kasutusjuhtumite puhul annab see loogika täpsema ülevaate, sest eeldused vastavad üldisele populatsiooni seaduspärasusele. Siiski on oluline märkida, et selliste stsenaariumide puhul nagu suursündmused, kus raadiosideelement võib olla ülekoormatud suure hulga inimeste kogunemisega kohtades, kus on vähe registreeritud eluruume või töökohti (nt pargis) võib tulemuseks olla kehv paigutus, kus külastajad eeldatavasti asuvad pigem eluruumide ja töökohtade läheduses kui sündmuse piirkonnas. (Telia, 2020)

Teiseks oluliseks komponendiks on andmekogumiga seotud ajaline viide. Iga päev loovad miljonid Telia abonendid miljardeid andmepunkte lihtsalt oma telefoni tavapärasel viisil kasutades. Loodud andmed pärinevad nii aktiivsest kasutamisest kui ka passiivsetest sündmustest. Aktiivse kasutamise näiteks on SMS-i saatmine või andmete vastuvõtmine rakenduses. Passiivsed sondeerimisandmed tekivad, kui telefonid vahetavad ühe raadiosideelemendi teise vastu või kui raadiosideelement kontrollib, kas telefon on veel raadiosideelemendiga ühendatud. Enne kui andmeid saab kasutada liikuvuse ülevaate loomiseks, muudetakse need täielikult anonüümseks. Seetõttu saab iga IMSI (rahvusvaheline mobiiliabonendi identiteet, ingl International Mobile Subscriber Identity) jälitamatu UUID (universaalne unikaalne tunnus, ingl Universal Unique Identifier), mida ei saa seostada sellega ühenduses oleva kasutajaga. Seda anonümiseerimisprotsessi korratakse iga 24 tunni järel, nii et ükski sündmuste aegrida ei ole pikem kui 24 tundi ja kahe erineva päeva signaale ei saa omavahel ühendada. Samuti rakendatakse k-anonüümseuse filtrit, nii et kõik andmed, mis esindavad vähem kui 5 isikut 1 raadiosideelemendi kohta 1 tunni jooksul, kustutatakse. Kui anonümiseerimine ja esimene filtreerimine on toimunud, ei saa andmeid kasutada signaalidega seotud isikute taasidentifitseerimiseks, seega on täidetud anonümiseerimise ja GDPR-i nõue. Kuigi telekommunikatsioonivõrgus loodud andmed pärinevad rakendustest, veebi sirvimisest, tekstisõnumite saatmisest ja mujalt, hõlmab Telia Crowd Insights'i andmete hankimine kehtivat teavet sisaldavat 3 parameetrit: 1) jälitamatu UUID (kehtib 24 tundi), 2) raadiosideelemendi tunnus, 3) ajatempel.

See tähendab, et sõltumata sellest, milline tegevus toimus telekommunikatsioonivõrgus, muutub see raadiosideelemendi tunnuseks ja ajatempliks. Tavakasutajatel on 24 tunni jooksul pärast filtreerimist umbes 200–400 signaali/sündmust koos raadiosideelemendi

tunnuse ja ajatempliga. Tavaliselt on rohkem sündmusi siis, kui kasutaja on aktiivne, ja vähem siis, kui ta on mitteaktiivne, kuid keskmiselt tuleb signaal iga 4–5 minuti tagant. Selle ajaliste andmete hankimise protsessi tulemuseks on 24-tunnine anonüümne andmeseeria, mida saab seostada georuumilisi andmeid moodustavate raadiosideelementide tunnustega.

Pärast seda, kui andmete aegread on kogutud, toimuvad mitmed erinevad andmetöötlustoimingud (vt Joonis 1.4.1.1), et valmistada ette liikuvuse kohta käivate andmete loomine. Kõrvalekalduvad suundumused käivitavad häireid, meetmeid või andmete klassifitseerimist.



Joonis 1.4.1.1. Andmete hankimise ja kvaliteedi tagamise protsess  
Allikas: Telia, 2020

Kõigi nende etappide eesmärk on valmistada ette ruumilised ja ajalised andmed liikuvuse ülevaate loomiseks.

### 3.2.2 Valimi moodustamine

Telia Crowd Insights leiab kõik mobiiltelefonide abonemendid, mida kasutatakse mobiiltelefonide seadmetes kõikide Telia kaubamärkide all, milleks on Eestis Telia ning Diil. Eemaldatakse tundlikud abonemendid, mis kuuluvad teatud ettevõtetele ja asutustele. Telia andmete järgi on nende turuosa suuruseks 47% mobiilside teenuste turust. (Telia, 2020) Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Ameti 2021. aastal ilmunud elektroonilise side valdkonna raporti järgi on mobiiltelefonivõrgu operaatorite turuosad kasutajate arvu alusel 2020. aasta seisuga Telia 43%, Elisa 33% ning Tele2 24%. (Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Amet, 2021). Valim ekstrapoleeritakse kogu riigi populatsiooni esindatavaks. Eesmärgiga olla võimalikult lähedal tegelikule maailmale kaasatakse ainult mobiiltelefoniga seotud abonemendid, st eemaldatakse asjade interneti seadmete, ruuterite ja muude seadmete abonemendid. Valimi täpsemaks määratlemiseks jälgitakse turuosa pikema aja jooksul, kui on eeldatav tavapäraselt käitumise ajavahemik elanikkonnas. Lisaks on mõnedel kasutajatel rohkem kui üks seade, mille sees on mobiiltelefoni SIM-kaart. Kõiki eespool nimetatud tegureid võetakse arvesse, kui laiendatakse valimit täielikule populatsioonile. Viimased uuringud näitavad, et lapsed vanuses 6–7 aastat kannavad tänapäeval mobiiltelefoni endaga kaasas. Seetõttu laiendab Telia valimilt saadud tulemusi üldkogumile, kuid jätab sellest välja üldkogumi noorima osa vanuses 0–6 aastat. (Telia, 2020)



### 3.2.3 Andmete töötlemine

Pärast andmete hankimise lõpetamist algab miljonite 24-tunniste aegridade töötlemine, millest igaühes on sadu signaale sadade tuhandete raadiosideelementide kohta. Protsessi käigus määratakse kindlaks, mis on statsionaarne signalisatsioon ja mis on liikumine telekommunikatsioonivõrgus. Protsessi käigus saadakse ka ekstrapoleerimistegurid, harjumuspiirkonnad ja kvaliteeditasemed, mis on vajalikud valimi laiendamiseks kuni täieliku populatsioonini. Kui see on lõpetatud, tekivad sorteeritud statsionaarsete ja liikumisandmete esialgsed tabelid, mida saab kasutada erinevate seaduspärasuste loomiseks. Telia nimetab seda andmekogumit liikuvussignaaliideks. Seejärel saavad andmeteadlased ja analüütikud kasutada liikuvussignaaliide tabeleid, et luua vajalikke teadmisi liikuvuse kohta. (Telia, 2020)

Telia Crowd Insights platvormilt saadavad inimeste liikumisandmed on jaotatud kolme määratluse (*Ibid.*):

- Tegevuse määratlus - Tegevuse standardmääratlus on 20 minutit, mis tähendab, et kaks statsionaarset signaali samas piirkonnas, mis on üksteisest kaugemal kui 20 minutit, loetakse üheks tegevuseks. Kui seade külastas piirkonda ühe päeva jooksul mitu korda, loetakse see siiski üheks igapäevaseks tegevuseks, kuid tegevuste kestused summeeritakse koguarvuks. Andmed sisaldavad unikaalseid tegevusi päevas sõltuvalt valitud geograafilisest resolutsioonist (võrgustik, piirkond, omavalitsus või maakond). Kui inimesed veedavad ühe päeva jooksul mitmes piirkonnas rohkem kui 20 minutit, loovad nad tegevusi igas piirkonnas ja seetõttu võib kõigi piirkondade tegevuste summa ületada elanike arvu.
- Teekonna/reisi määratlus - Suunaline liikumine kahe asukoha vahel, mis loetakse üheks teekonnaks, kui ei toimu statsionaarset signalisatsiooni pausiparameetrist pikema aja jooksul. Standardseadistus on 20 minutit, mis tähendab, et kui statsionaarne signalisatsioon on tuvastatud 21 minuti jooksul, siis teekonna arvestamine lõpetatakse. Kui tuvastatakse uuesti liikumist näitav signaal, alustatakse uut teekonda sealt, kus eelmine lõppes. Pausiparameeter on konfigureeritav. Linnakeskkonnas saab teekondi tuvastada 300–500 meetri liikumise juures, samas kui maapiirkondades on see näitaja üle 1000 meetri. Vee kohal või piirkondades, kus elanikke peaaegu ei ole, ei pruugi liikumist võrgus tuvastada isegi pikemate vahemaade jooksul, sest telefonid jäävad ühe ja sama raadiosideelemendiga ühendatuks. Telia ruudustiku võrgu suurus vastab täpsusele, millega saab teekonda tuvastada (linnades 500 × 500 meetrit, kuid see võib kasvada kuni 16 × 16

kilomeetrini parkides/metsades). Telia ei anna täpsuse huvides ülevaateid väiksemate alade kohta, kui raadiosideelemendi suurus.

- Külastuse määratlus - Külastuse määratluse puhul näitab kaart, kust valitud piirkonna külastused tulevad (nt alustavad oma päeva).

### **3.2.4 Peamised veaallikad ja kõrvalekalded**

Peamised veaallikad (Telia, 2020):

- Kasutusega seotud vead – kui kasutajad otsustavad oma telefoni koju jätta, lülitada lennurežiimi või lihtsalt lülitada telefoni mõneks ajaks välja, võib see mõjutada tulemusi. Seda viga on väga raske süstemaatiliselt tuvastada ja tõrjuda, kuid kuna Telia jälgib aktiivsete kasutajate turuosa, siis arvatakse, et sellel on tulemustele tähelepanuta jäetud mõju.
- Valimi järjepidevus – andmete analüüsimine pikkade ajavahemike jooksul nõuab, et andmed kogutakse ühtemoodi ja et valim on järjepidev. Telia kasutajaskond muutub pidevalt ning mõned abonemendid lõppevad ja teised tekivad juurde. Seetõttu arvutab Telia turuosa regulaarselt ümber, et tagada tulemuste järjepidevus. Selle ümberarvutuse vahemikku saab kohandada nii, et see sobiks pikkade aastaste suundumuste või lühikeste päevaste suundumustega. Kui tulemused hiljem aktiivsete kasutajate hindamisel kombineeritakse, saab kompenseerida veidi muutuvast valimist tulenevaid kõrvalekaldeid.
- Raadiosideelemendi leviala – telekommunikatsioonivõrgus on olemas meetodid raadiosideelementide tegelike levialade dokumenteerimiseks ja neid kasutatakse aja jooksul levialade ajakohastamiseks. Eriti siis, kui kõned või SMS-id katkevad, saab levialasid uuendada. Kuigi levialad ei ole kunagi 100% täpsed, jääb mõõtemääramatus Telia Crowd Insights'i jaoks ette nähtud ruumilise lahenduse piiresse.

Peamised kõrvalekalded (*Ibid.*):

- Valimi representatiivsus demograafiliste näitajate järgi – Telia teenus ja hinnatase võivad meelitada teatavat kasutajaskonda kõrgema hinnaklassi poole, kuid valimisse kuuluvad ka soodsad kaubamärgid (nt Diil). See ei pruugi kõrvalekaldeid kõrvaldada, kuid vähendab nende mõju. Tulemuseks on, et Telia Crowd Insights ei täida juhuslikult valitud valimi nõuet, kuid tänu kasutajate osakaalule muutuvad andmed representatiivseks tänu valimi osakaalule võrreldes üldkogumiga.

- Hooldustööde, uuenduste ja vigade tõttu võib teatavates riigi osades signaalide ja seadmete arv väheneda, mis võib mõjutada võimalust võrrelda mõningaid ajavahemikke omavahel.
- Teatud protsent ( $\approx 5\%$ ) signaalidest ja antennidest kõrvaldatakse vigaste metaandmete tõttu. Enamasti eeldatakse, et need jaotuvad ühtlaselt üle kogu riigi, kuid võivad mõnel juhul mõjutada teatavaid piirkondi rohkem kui teisi, mille tulemuseks võib olla suurem või väiksem inimeste arv aja jooksul.

### 3.3 Tallinna linna liikumisharjumuste analüüsimine

Telia asukohapõhised mobiilsideandmed on agregeeritud võrgustikuna Eesti kaardile ning nende põhjal saab välja lugeda inimeste teekondi (trips), külastusi (visits) ning tegevusi (activity). Antud magistritöö keskendus teekondadele selgitamaks välja liikumisviiside jaotus ning CO2 heitmete kogus. Uurimispiirkond on Tallinna linn.

Autor kasutas liikumisviiside jaotuse määramisel kõikidest liikumistest ning läbitud distantsist Telia Emission Insights platvormi. Andmeid saab ajaliselt ja ruumiliselt erinevate mõõtmetega filtreerida. Ruumiliselt saab vaadata liikuvusandmeid terve linna, linnaosade kui ka konkreetsete võrgustiku ruutude ning teekondade kohta. Ajaliselt on võimalik eristada aastaid ning kuid. Lähte- ja sihtkohtade maatriks näitas iga linnaosa puhul, millised teekonnad on lõpetatud selles linnaosas. Lähtekohaks võisid olla teised linnaosad ning konkreetne linnaosa, mille kohta sooviti andmeid välja võtta, st teekond võis alata ning lõppeda ühes linnaosas. Andmed, mis platvormilt võeti, puudutasid viimast täisaastat, mille kohta olid olemas terviklikud andmed. Tulemustena saab välja tuua aastal 2022 tehtud teekondade arvu, läbitud distantsi kuude lõikes, nende reise liikumisviiside jaotust ning teekondade tekitatud CO2 emissioone jaotatud linnaosade kaupa ning CO2 heitmete osakaal liikumisviiside lõikes.

Andmestikus esinesid ka liikumised Tallinna sadama piirkonnast "Pranglisaarte Muuseum" sihtruutu, mis on tõenäoliselt laevaga tehtud liikumised ning võivad tulemusi mõjutada. Kui telekommunikatsiooni leviala on füüsiliselt eraldatav, näitavad tulemused kaardil kas sõidud on tehtud maantee, raudtee, õhutee või mereteed kaudu (Telia 2020). Antud juhul eeldab autor, et leviala ei olnud osal liikumistel füüsiliselt piisavalt eraldatav, et eristada sõite veeteedel.

Asukohapõhised mobiilsideandmed vaatlusperioodil sooritatud teekondade kohta kombineerituna CERO mudeliga annavad võimaluse mõõta ka CO2 heitmete kogust aastast vastavalt liikumisviisile. Analüüsi tulemused on toodud peatükis 4.1 ning 4.2.

### **3.4 Andmete valideerimine**

Telia Crowd Insights mobiilsideandmete valideerimiseks kasutab autor mitmeid andmestikke elu- ja töökohtade ning inimeste liikumise kohta.

Valideerimisandmestikuks kasutas autor Statistkameti poolt transporditsoonideks jaotatud ning nõudlusmaatriksina kuvatud Maksu- ja Tolliameti andmestikku elu- ja töökohtade kohta (01.01.2020 seisuga). Kõnealune andmestik sisaldab andmeid isikute kohta, kelle tööandja aadress ja/või elukoha aadress on registreeritud Tallinna linnas. Andmed on esitatud üldistatuna transporditsoonide lõikes ega sisalda delikaatseid isikuandmeid. Andmestikku on kasutatud 2015. aasta seisuga Tallinna Tehnikaülikooli uuringus "Tallinna ühistranspordisüsteemi arendamine, liinivõrgu optimeerimine II etapp, aruande 1. Osa: Ettepanekud Tallinna ühistranspordisüsteemi kasutatavuse suurendamiseks lähiaja perspektiivis". (Tallinna Tehnikaülikool, 2017)

Andmestikus sisalduvatest vigadest toodi uuringus välja järgmised:

- Andmestik kasutab elanike registrisse kantud aadressi elukohana, mis ei pruugi langeda kokku tegelikuga;
- Tööandja aadressina kasutatakse ettevõtte registreerimisaadressi, mis ei pruugi olla töötaja tegelikult töökohaks;
- Andmestik sisaldab ilmselt ka topeltkirjeid, sh kui isik on saanud töist tulu mitmest asutusest, siis on need kirjed kajastatud mitmekordselt. Reaalselt liigub inimene siiski vaid ühele töökohale.

Nende vigade kõrvaldamiseks võrreldi töökohtade arvu transporditsoonide lõikes Tallinna Ettevõtlusameti andmetega, mis võimaldab kõrvaldada osa ülalmainitud vigu, kuid mitte kõiki. (Tallinna Tehnikaülikool, 2017)

Mobiilsidevõrgu andmete abil on võimalik veelgi täpsemalt määratleda lähte- ning sihtkohtade paare, mis arvestaksid inimeste tegelikku liikumist ning sihtkohtades viibimist.

Statistikaameti nõudlusmaatriksit on võimalik visualiseerida rakenduses Remix (vt Lisa 4). Remix on platvorm linnaliikluse kujundamiseks, ühistranspordi planeerimiseks ja geograafiliste andmete visualiseerimiseks, mis võimaldab linna- ja transpordiplaneerijatel ühistranspordimarsruute kavandada. Remix võimaldab panna andmekihte kaardile ning seeläbi töödelda demograafilisi andmeid ruumilises kontekstis. (Remix, 2023)

Autor võttis Telia andmetest kõik liikumised 2022. aastal. Statistikaameti andmed on elukohtade ja töö- ning õpikohtade korrespondentsid Tallinna transporditsoonide vahel väljendatuna potentsiaalne ühistranspordinõudlusena. Kõik Telia andmestiku ruudustiku andmehulgad on arvestatud vastama mingile transporditsoonile statistikaameti nõudlusmaatriksis mitu-mitmele stiilis, ehk igale transporditsoonile on arvestatud temaga kattuvad ruudud. Kui mõni Telia andmestiku ruut jääb 2 transporditsooni peale, arvestati ruudu andmed mõlema transporditsooni peale.

Oluline piirang andmete analüüsil ja tulemuste tõlgendamisel oli autori ligipääsmatus mobiilside algandmetele. Andmed pärinevad juba töödeldud kujul Telia andmebaasidest, mistõttu ei ole võimalik kasutatud mudelit kalibreerida. Algandmete töötlemise protsess ei ole kirjeldatav, kuna kuulub Teliale.

### **3.5 SOAR analüüsi metoodika**

Hindamaks passiivselt kogutud mobiilsideandmeid liikumisviiside modaalfaotuse määramiseks uue tehnoloogiana tegi autor SOAR analüüsi. SOAR analüüs on strateegilise planeerimise raamistik (Stavros *et al.*, 2003). Esimest korda 2003. aastal Stavrose *et al.* poolt tutvustatud SOAR analüüs on hilisemalt kasutusele võetud organisatsiooni arendamise uurimises (Zaretsky & Cole, 2017). Zaretsky ja Cole sõnul on organisatsiooni arendamise sekkumised tavaliselt tuginenud strateegilise planeerimise tugevustele, nõrkustele, võimalustele ja ohtudele ehk SWOT analüüsile (vt Tabel 3.5.1). Tugevuste, võimaluste, püüdluste ja tulemuste (SOAR) raamistik (vt Joonis 3.5.2) on suhteliselt uus innovatsioon organisatsiooni arendamises, mis võib olla alternatiiv SWOT analüüsile, neile, kes soovivad rakendada tunnustavat uurimismeetodit. Zaretsky ja Cole (2017) leidsid oma uurimuses 27 SOAR analüüsiga seotud publikatsiooni, mida seejärel kronoloogiliselt ja temaatiliselt analüüsiti. Kuigi leiud sisaldasid valdavalt positiivset hinnangut SOAR analüüsile, leiti raamistiku empiirilise toetusega seotud kirjanduses ja uuringutes palju lünki. Zaretsky ja Cole soovivad kasutada SOAR analüüsi SWOT asemel vähema konkurentsiga keskkondade ja organisatsioonide puhul.

Tabel 3.5.1. SWOT analüüs

Sisemine hindamine	<b>Tugevused</b> Kus suudame teisi edestada?	<b>Nõrkused</b> Kus suudavad teised meid edestada?
Väline hindamine	<b>Võimalused</b> Kuidas me saaksime turgu ära kasutada?	<b>Ohud</b> Mis/kes võib meie turupositsiooni ohustada?

Allikas: Stavros *et al.* (2003). Autori koostatud ja tõlgitud.

Tabel 3.5.2. SOAR analüüs

Strateegiline hindamine	<b>Tugevused</b> Mis on meie suurimad varad?	<b>Võimalused</b> Millised on parimad võimalused turul?
Tunnustav kavatsus	<b>Püüdlused</b> Milline on meie eelistatud tulevik?	<b>Tulemused</b> Millised on mõõdetavad tulemused?

Allikas: Stavros *et al.* (2003). Autori koostatud ja tõlgitud.

Tabel 3.5.3. Peamised võrdlused ja erinevused SWOT- ja SOAR-raamistike vahel

<b>SWOT</b>	<b>SOAR</b>
Nõrkused ja ohud	Püüdlused ja tulemused
Analüüsile orienteeritud	Tegevustele orienteeritud
Fookus konkurentsil	Fookus võimalustel
Järk-järguline täiustamine	Innovatsioon ja läbimurded
Ülevalt alla	Kaasatus kõikidel tasanditel
Fookus analüüs-> planeerimine	Fookus planeerimine -> rakendamine
Energiat kulutav "Palju nõrkuseid"	Energiat loov "Omab potentsiaali"
Tähelepanu lünkadele	Tähelepanu tulemustele

Allikas: Zaretsky & Cole (2017). Autori koostatud ja tõlgitud.

Arvestades Telia Crowd Insights platvormi uudset tehnoloogiat ning asukohapõhiste mobiilsideandmete innovatiivset kasutusvõimalust läbi mobiilsidemastide konstantse infovoov otsustas autor kasutada meetodikana SOAR analüüsi.

Täiendavaks meetodite võrdluseks SOAR analüüsis viis autor läbi tasuvusanalüüsi traditsioonilise küsitlusmetoodika ning passiivselt kogutud mobiilsideandmete abil tehtud uuringute vahel (vt Lisa 6). Andmed võttis autor riigihangete registrist ning valimiks on 15 hanget aastate 2014-2023 vahel - 7 hanget uuringutele, mis kasutasid meetodikas küsitlust ning 8 hanget, mis kasutasid meetodikas mobiilsideandmete töötlust. Täiendavalt on välja

toodud, kas uuringus kasutati kõnetoimingute kirjete (CDR) või pideva võrgu signalisatsioonandmete (CSD) meetodikat. Võrdluses tuleb esile tuua asjaolu, et liikuvusuuringute uuringuala suurus ja valim on erinev. Sarnase uuringuala ja valimiga on Eesti elanike liikuvuse küsitlusuuring (küsitlus+liikumispäevik, 195000€) ning Liikuvusandmete eeltötluse ja agregeeritud tulemi hankimine (mobiilsideandmete kasutamine, 138000€) Keskmine hind küsitlusuuringutel on 61232 eurot ning mobiilsideandmeid kasutavatel uuringutel 36597 eurot.

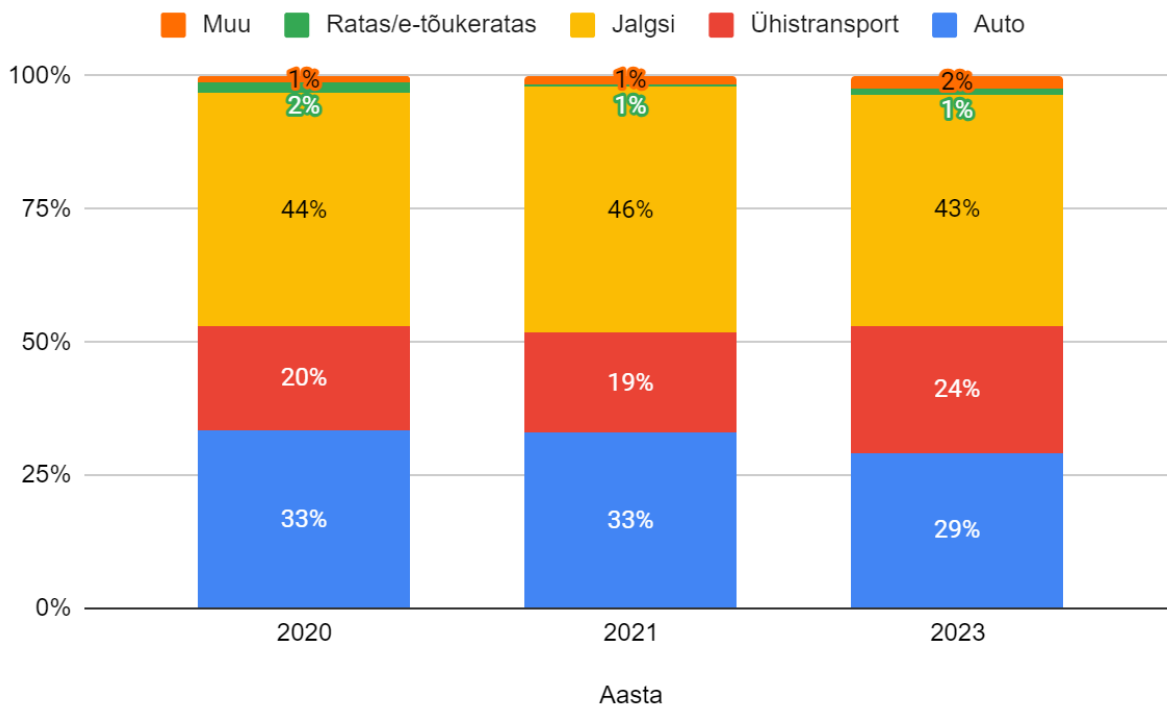
## 4 EMPIIRIKA

Andmeanalüüsi tulemusi on võimalik kasutada ühistranspordi planeerimisel täpsemalt, sest tulemused võimaldavad teha vahet puhkepäevastel ning tööpäevastel liikumistel ning linnaosa täpsuse asemel saab vaadata asumite ning veelgi väiksemate asustusüksuste piiride järgi. Lisaks annavad mobiilsidevõrgule tuginevad andmed täpsema arusaama inimeste tegelikest töö- ja elukohtadest kui registrites (nt Maksu- ja Tolliameti) olevates andmetest, mis võivad erineda tegelikest andmetest (Statistikaamet, 2021). Milliste andmete põhjal määratakse Tallinnas liikumisviiside jaotust täna ning millised on praeguse praktika piirangud?

### 4.1 Liikumisviiside jaotuse määramise tulemused

Magistritöö käigus analüüsiti liikumisviiside andmeid (Lisa 2) ning andmetöötluse käigus esitleti need liikumisviiside jaotusena reise osakaalust, läbitud distantsist ning CO2 heitmete järgi. Tallinna rahuloluküsitlustes on välja toodud andmed peamisesse sihtkohta liikumisel, kuid võrdluseks Telia andmetega, mis on kõikide reise ehk liikumiste kohta, ei ole peamisesse sihtkohta liikumise modaaljaotus sobilik. Tallinna 2023. aasta rahuloluküsitlustes on olemas andmed erinevate liikumisviiside kasutussageduse kohta, kus vastajad on märkinud mitmel korral eelmisel päeval nad oma käigud sel viisil tegid. Käigu all on silmas peetud liikumist ühest punktist teise, näiteks kodu ja töö või kooli vahel, vabaajategevustes või sisseoste sooritades. Juhul, kui vastaja kasutas ühe käigu jooksul mitut liikumisviisi, paluti arvestada neist peamist. Andmed koguti eraldi tööpäevade ning nädalavahetuse kohta. Autor leidis tööpäevade ning nädalavahetuste andmeid arvestades kaalutud keskmise (vt Lisa 1). Info 2022. aasta kohta puudus. Meetodika piiranguks on ainult Tallinna elanike arvestamisega, mis ei anna täielikku informatsiooni Tallinnas tehtud liikumiste kohta, sest Tallinna liikluses osalevad ka väljaspool Tallinnat elavad inimesed. Tulemus on vastus esimesele uurimisküsimusele.

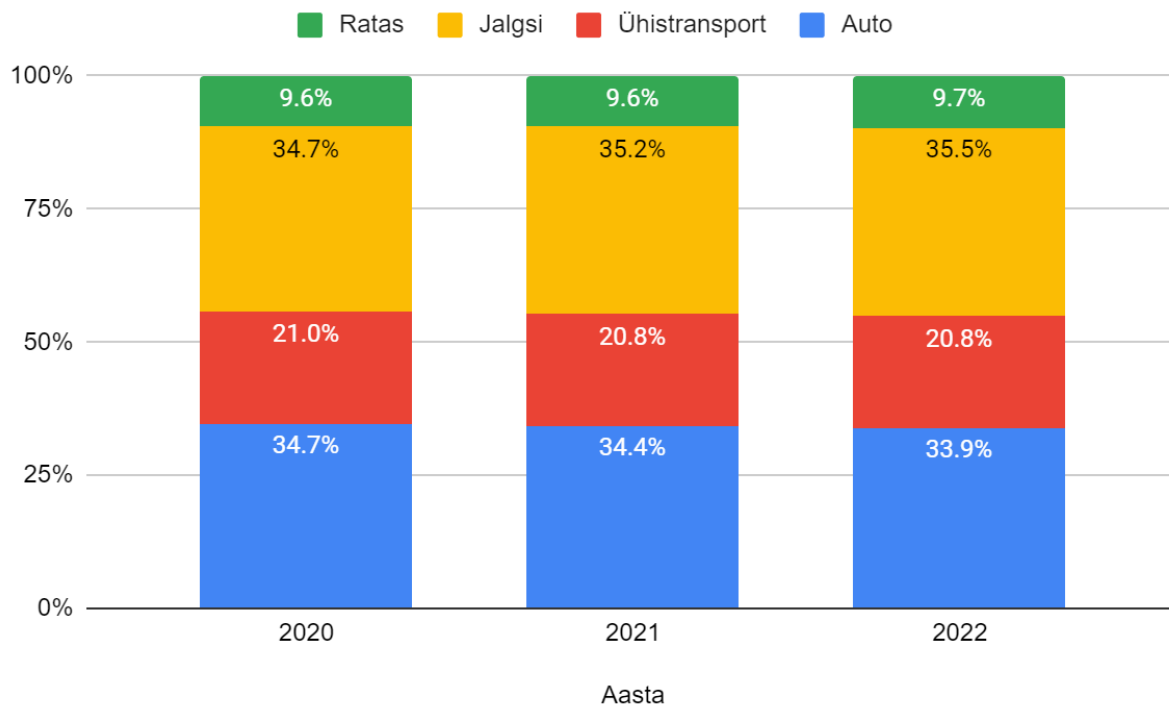




Joonis 4.1.1. Tallinlaste liikumisviiside jaotus osakaaluna kõikidest liikumistest aastatel 2020, 2021 ja 2023

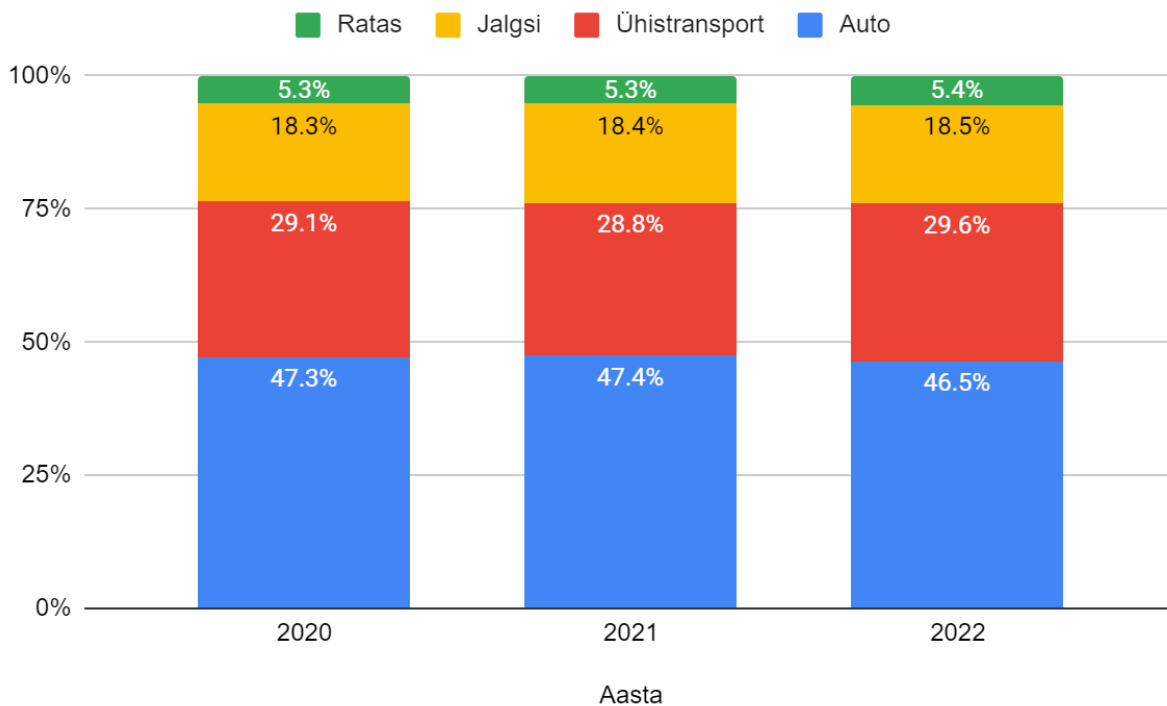
Allikas: Autori koostatud Tallinna rahuloluküsitluste (2023) andmetel.

Asukohapõhised mobiilsideandmed annavad meile erineva liikumisviiside jaotuse võetuna kõikidest liikumistest vaatlusperioodi jooksul. Joonisel 4.1.2 on toodud Telia Crowd Insights platvormilt 1.12.2023 võetud andmed asukohapõhiste mobiilsideandmete järgi liikumisviiside jaotuse kohta kõikidest liikumistest. Kasutatud meetodika ning tulemus annavad osaliselt vastuse kolmandale uurimisküsimusele.



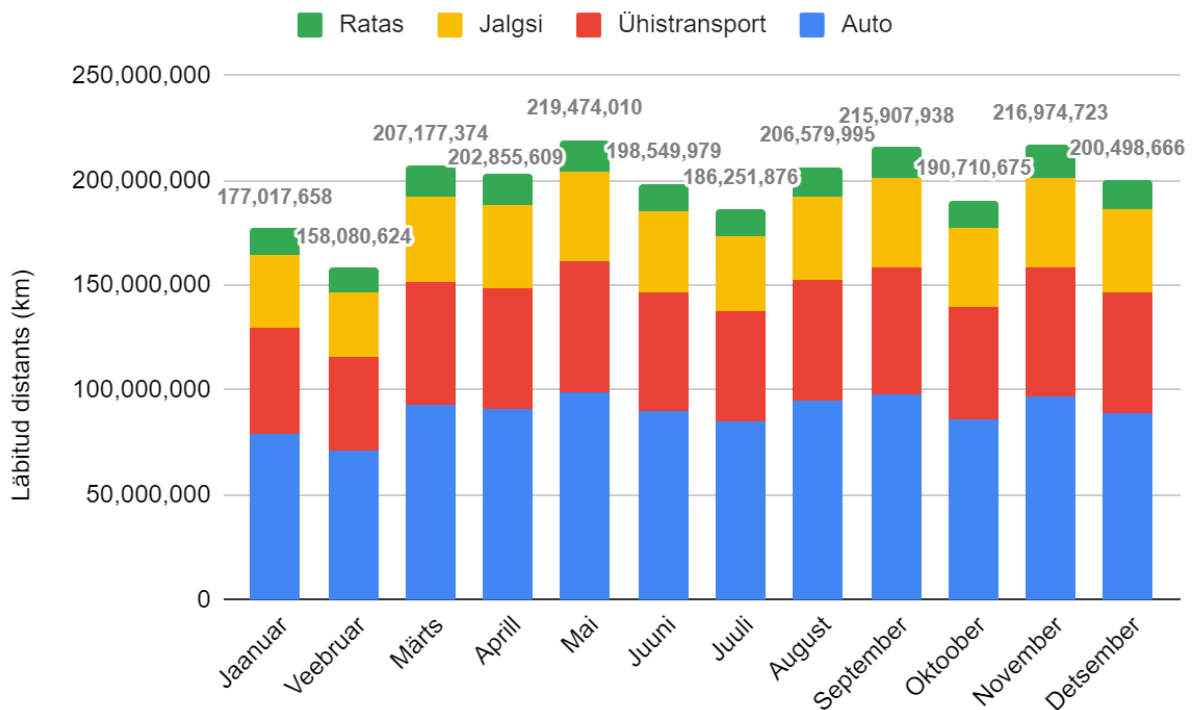
Joonis 4.1.2. Modaaljaotus osakaaluna kõikidest liikumistest Tallinnas aastatel 2020-2022  
 Allikas: Autori koostatud Telia Travel Emission Insights (2023) andmete põhjal.

Joonisel 4.1.3 on toodud Telia Crowd Insights platvormilt saadud mobiilsideandmete järgi liikumisviiside modaaljaotus osakaaluna läbitud distantist.



Joonis 4.1.3. Liikumisviiside jaotus proportsioonina läbitud kilomeetritest Tallinnas aastatel 2020-2022  
 Allikas: Autori koostatud Telia Travel Emission Insights (2023) andmete põhjal.

Autor eraldas läbitud distantse vastavalt liikumisviisidele kuude lõikes, iseloomustamaks läbitud distantse sesoonsust (vt Joonis 4.1.4). Enim distantse läbiti 2022. aastal mais, septembris ning novembris.



Joonis 4.1.4. Läbitud distants vastavalt liikumisviisile kuude lõikes Tallinnas aastal 2022  
 Allikas: Autori koostatud Telia Travel Emission Insights (2023) andmete põhjal.

Vastavalt Lisale 7 on toodud liikumisviiside jaotus kõikidest liikumistest erinevate magistritöös käsitletud uuringute ning andmestikkude vahel. Autor peab võrreldavaks Telia Crowd Insight andmetel leitud liikumisviiside jaotust kõikidest liikumistest ning Tallinna rahuloluküsitluse andmetest koostatud liikumisviiside jaotust eelneva päeva liikumistest. Välja on jäetud Transpordiameti Eesti elanike liikuvusuuringu tulemused, sest Telia arvestab konfidentsiaalsuslepinguga kaitstud viisil kõnealuse uuringu tulemusi liikumisviiside eristamises ning sellest tulenevalt võivad Eesti elanike liikuvusuuringu andmed olla juba sisalduvad Telia andmetes. Välja on jäetud ka Stratumi Põhja-Tallinna liikuvusuuringus Positium OÜ mobiilpositsioneerimise (CDR) meetodikal leitud liikumisviiside jaotus kõikidest liikumistest, sest analüüsi piirkond ning aeg eristuvad teistest uuringutest.

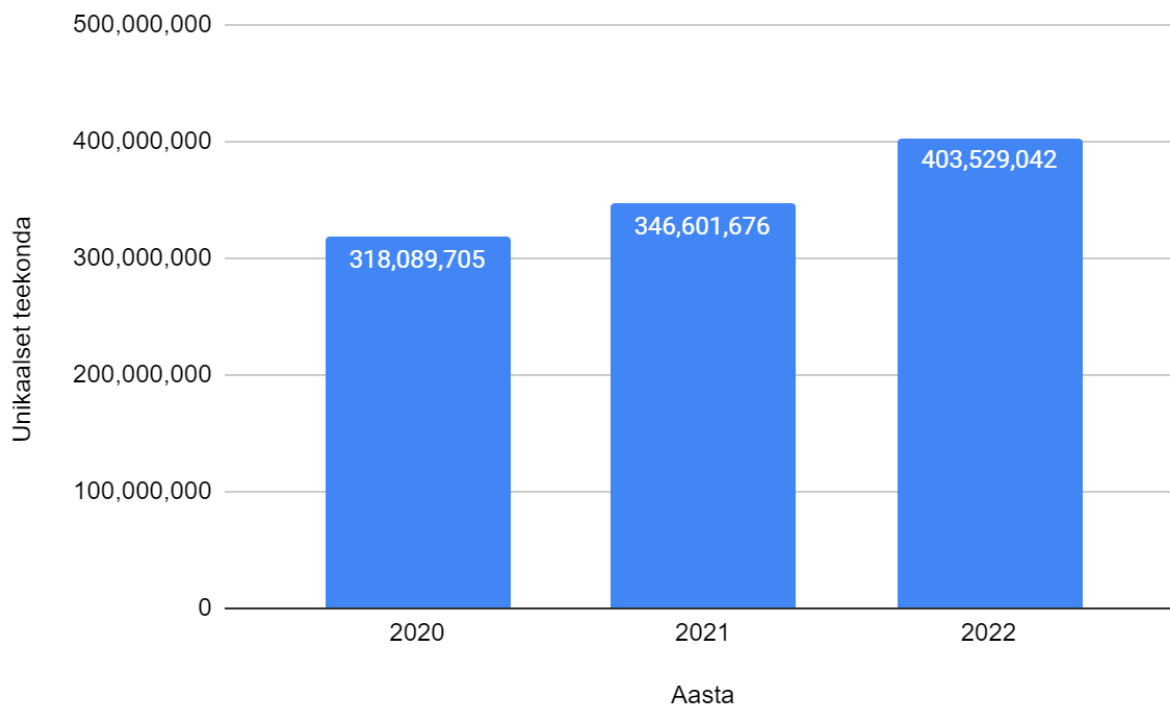
Tabel 4.1.1. Telia Emissions Insights andmete ning Tallinna rahuloluküsitluse töödeldud andmetel põhineva liikumisviiside osakaalu jaotuse võrdlus kõikidest liikumistest.

Andmete allikas	Telia Travel Emissions (2023)	Tallinna linnavalitsus (2023)
Uuringu nimi	-	Tallinna rahuloluküsitlus 2023
Analüüsiaasta	2021/2022	2021
Analüüsipiirkond	Tallinn	Tallinn (elanikud)
	Liikumisviisi osakaal kõikidest liikumistest	
Auto	34%	33%
Ühistransport	21%	19%
Jalgsi	35%	46%
Ratas	10%	2%

Suurim erinevus kahe meetodi vahel on tulemus jalgsi ning rattaga liikumiste osakaalus. Tallinna rahuloluküsitluse andmed on kogutud veebruaris ning märtsis, mis võib mõjutada ratas kasutanud inimeste osakaalu ning põhjendada erinevust jalgsi ning rattaga liikunud inimeste osakaalus. Auto ning ühistranspordi kasutamise osakaal kõikidest liikumistest on kahe andmestiku võrdluses sarnased. Tulemus on vastuseks neljandale uurimisküsimusele.

## 4.2 CO2 heitmete määramise tulemused

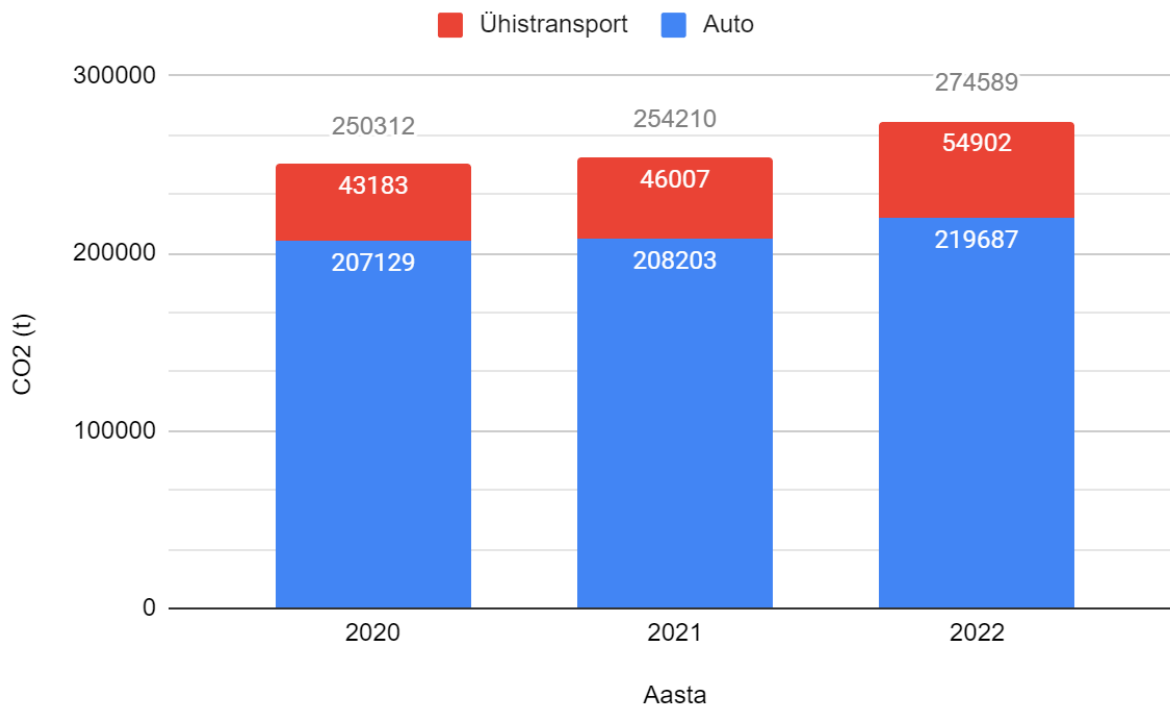
Travel Emissions Insights platvormil on andmed inimeste teekondade kohta alates 2020. aastast kuni 2022. aastani ning nende andmete põhjal on võimalik eristada teekondade arvu aastate ja kuude lõikes, liikumisi erinevates linnaosades Tallinnas ning Tallinna lähiümbruses. Andmestikus on kokku 1 068 220 423 teekonda (vt Joonis 4.2.1) eelmainitud perioodil. Nende teekondadega on andmete ning CERO mudeli põhjal tekkinud 768 049 tonni CO2 emissioone (vt Joonis 4.2.2), mis teeb 0,72 kilogrammi CO2 emissioone keskmiselt ühe teekonna kohta.



Joonis 4.2.1. Teekondade jaotumine aastati Tallinnas

Allikas: Autori koostatud Telia Travel Emissions Insights (2023) andmete põhjal.

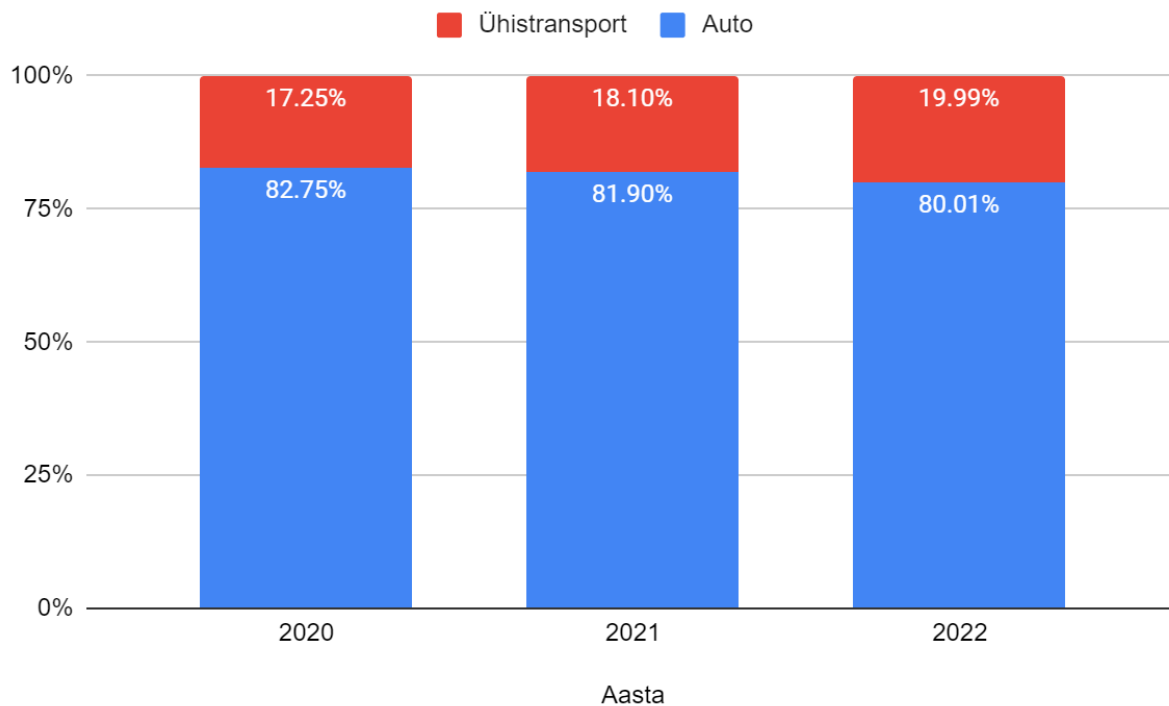
Joonisel 4.2.2 on kujutatud CO<sub>2</sub> heitmete kogus tonnides aastatel 2020-2022. CO<sub>2</sub> heitmete tõus on selgitatav liikumiste arvu tõusuga, mis on kujutatud Joonisel 4.2.3.



Joonis 4.2.2. Tallinna transpordist tulenevad CO2 heitmete koguste (tonnides aastas) võrdlus aastatel 2020-2022

Allikas: Autori koostatud Telia Travel Emission Insights (2023) andmete põhjal.

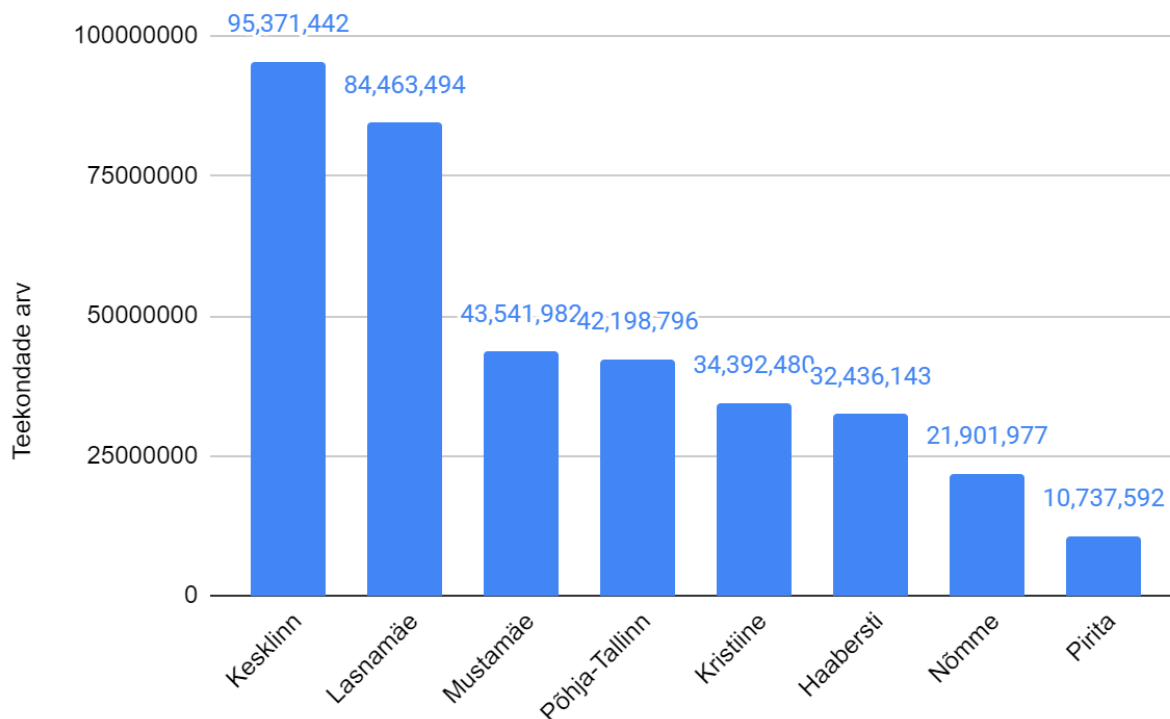
Täiendavalt on võimalik kujutada liikumisviiside osakaalu CO2 emissioonide tekitamisest. Joonisel 4.2.3 on kujutatud erinevate liikumisviiside CO2 heitmete osakaal. Aastate jooksul on püsinud osakaalud sarnased.



Joonis 4.2.3. Liikumisviiside osakaal CO2 emissioonide tekitamisest aastatel 2020-2022  
 Allikas: Autori koostatud Telia Emission Insights (2023) andmete põhjal.

Edasises analüüsis keskendus autor 2022. aasta andmetele, mis on viimane täisaasta, mille kohta on terviklikud andmed olemas. Esmalt on tulemustena toodud 2022. aasta teekondade arv linnaosade kaupa (vt Joonis 4.2.4).

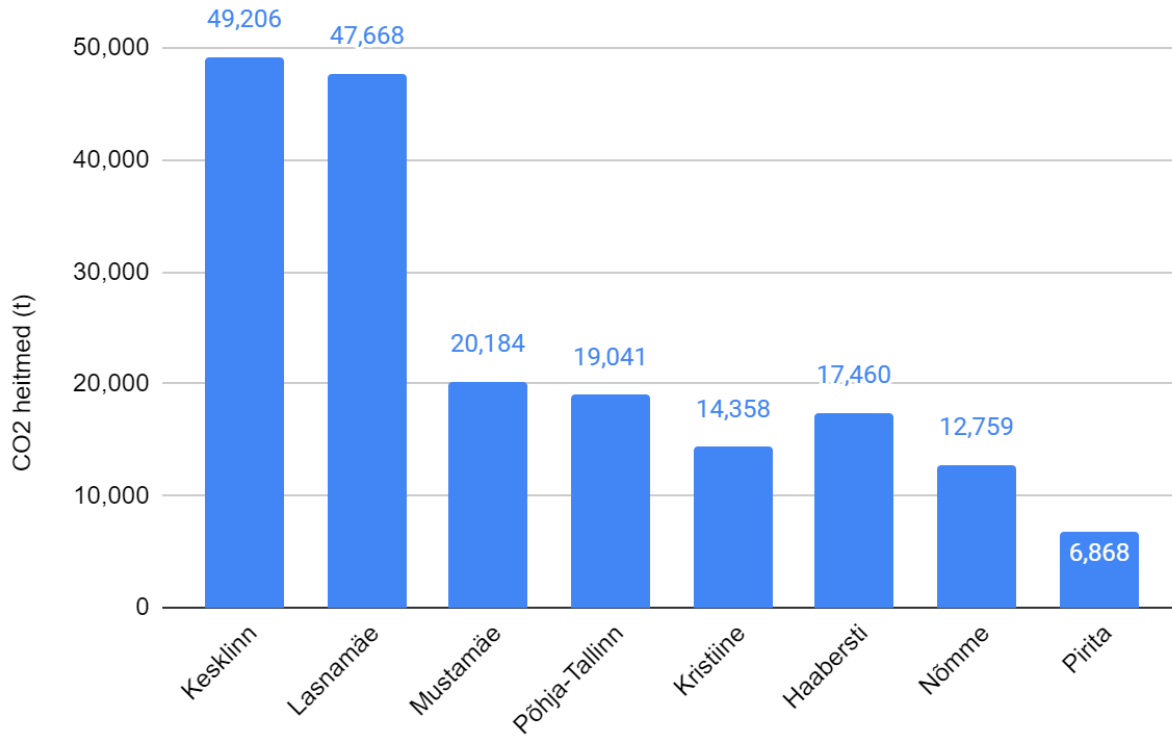




Joonis 4.2.4. Teekondade arv linnaosades aastal 2022.

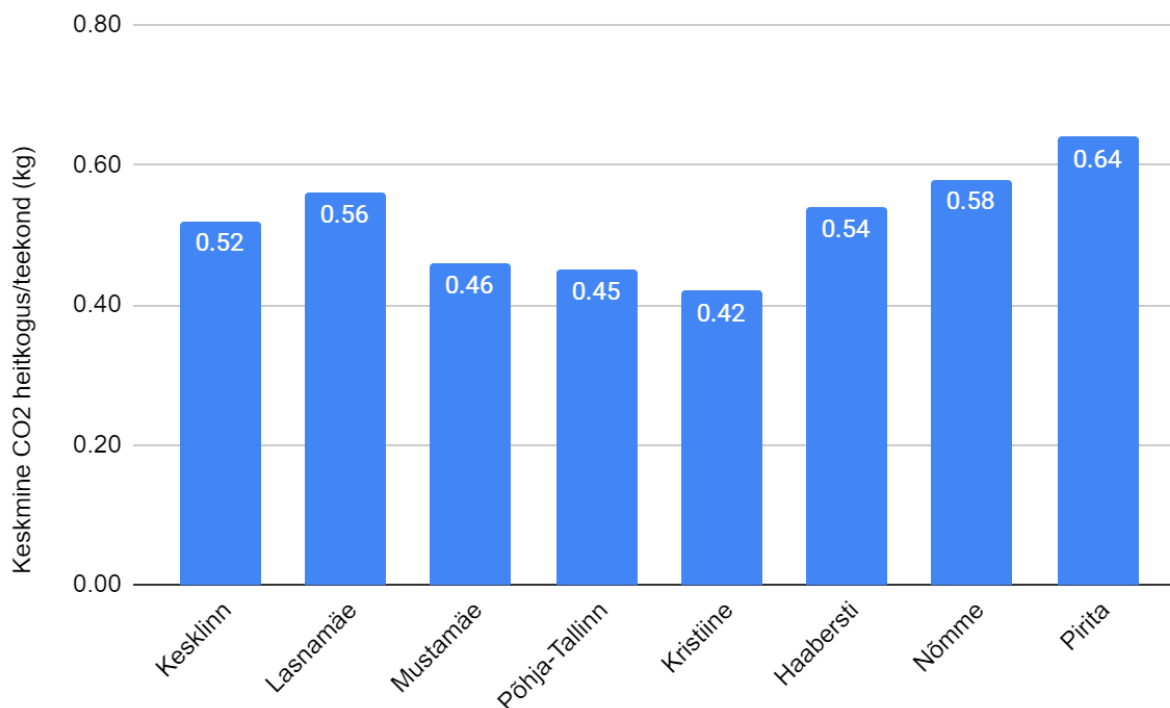
Allikas: Autori koostatud Telia Travel Emission Insights (2023) andmete põhjal.

Andmed viitavad sellele, et enim teekondi Tallinnas tehti Kesklinna ning Lasnamäe linnaosadesse. Järgnevalt on toodud CO2 heitmete koguarv tonnides linnaosades tehtud liikumiste kohta, mis on kujutatud Joonisel 4.2.5.



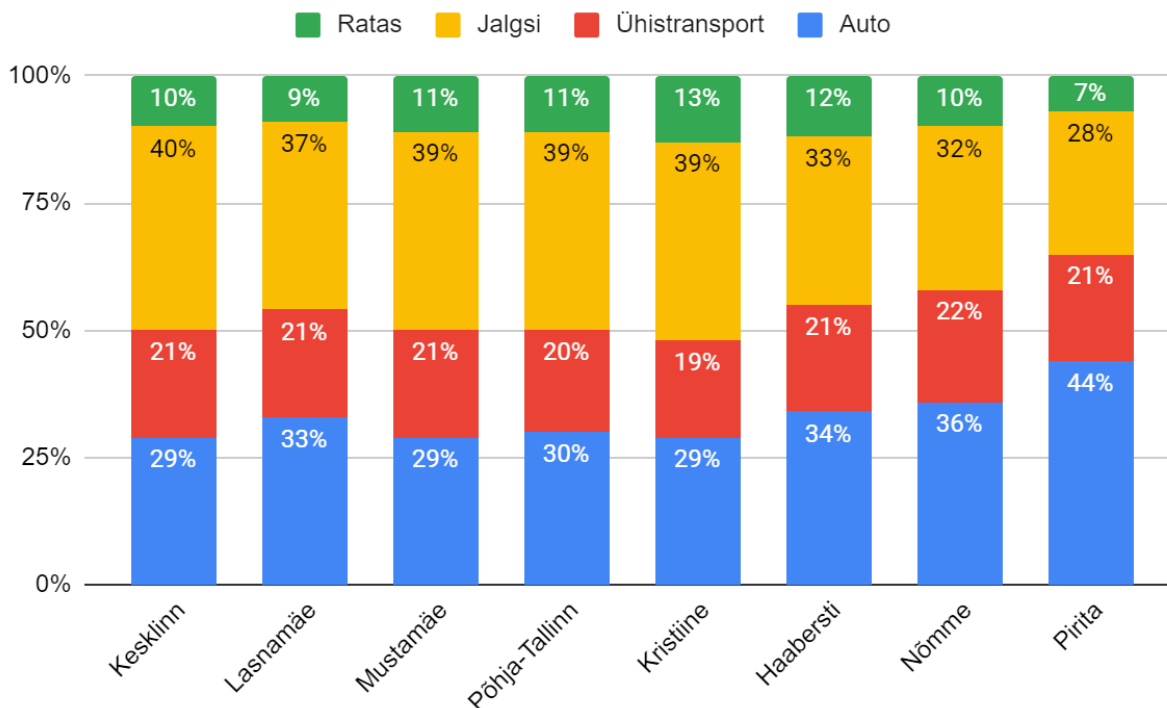
Joonis 4.2.5. CO2 emissioonid tonnides ühes kuus linnaositi aastal 2022.  
 Allikas: Autori koostatud Telia Travel Emission Insights andmete põhjal.

Linnaosade lõikes tekib enim CO2 emissioone Keskklinna ning Lasnamäe linnaosades. Kõige vähem CO2 emissioone tekib absoluutarvudes Pirital. Järgnevalt on Joonisel 4.2.6 toodud CO2 heitmete arv ühe teekonna kohta linnaositi.



Joonis 4.2.6. CO2 emissioonid reisi kohta kilogrammides linnaositi aastal 2022  
 Allikas: Autori koostatud Telia Travel Emission Insights andmete põhjal.

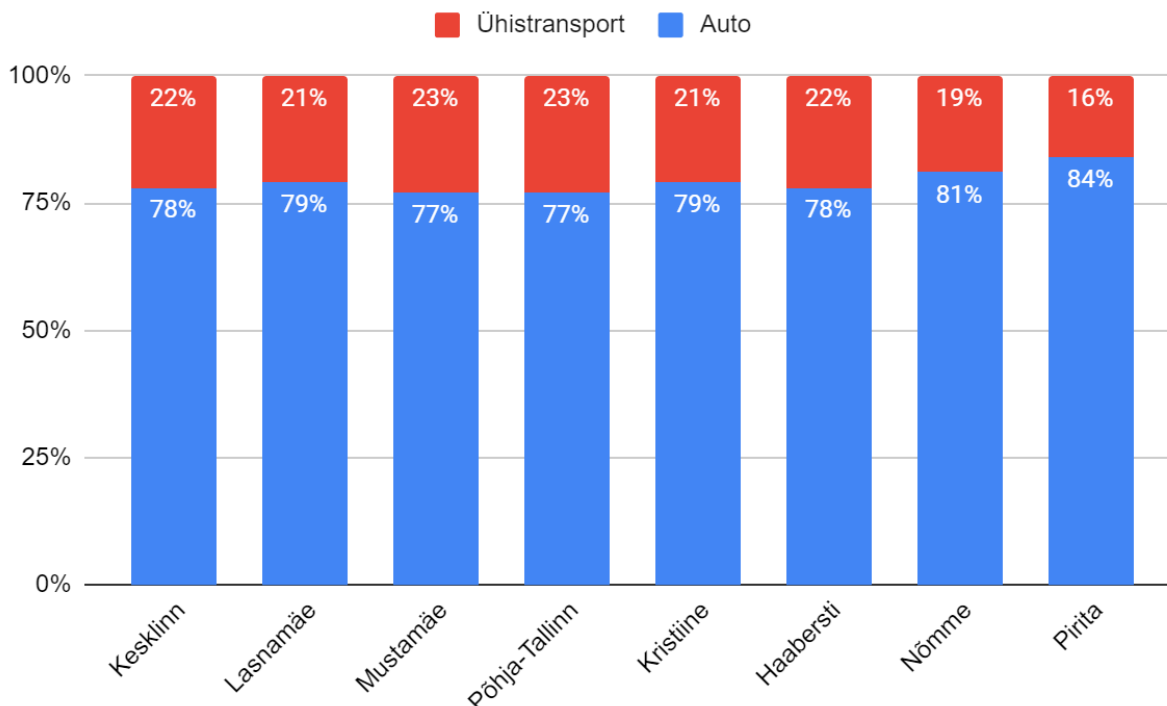
Vastavalt Joonisele 4.2.6 ei ole CO2 emissioonid reisi kohta korrelatsioonis ainult tehtud reiside arvuga ning sõltuvad ka liikumisviiside modaalkaotusest. Tehtud reisidest joonistuvad asukohapõhiste mobiilsideandmete ja CERO mudeli abil välja ka modaalkaotused linnaositi (vt Joonis 4.2.7).



Joonis 4.2.7. Liikumisviiside jaotus linnaositi osakaaluna reisidest aastal 2022.  
 Allikas: Autori koostatud Telia Travel Emission Insights (2023) andmete põhjal.

Suurem CO2 emissioonide hulk on seletatav suurema autode osakaaluga liikumisviiside jaotuses. Sellele viitab ka Joonisel 4.2.6 toodud CO2 emissioonide hulk teekonna kohta, mis on suurem linnaosadel, kus on suurem autode osakaal liikumisviiside modaalkaotuses.

Viimase näitajana toob autor andmeanalüüsi käigus välja CO2 heitmete osakaalu liikumisviiside jaotuse põhjal.



Joonis 4.2.7. CO2 emissioonide tekke osakaal liikumistes vastavalt liikumisviisile aastal 2022 linnaositi. Allikas: Autori koostatud Telia Travel Emission Insights (2023) andmete põhjal.

Tulemused (vt Joonis 4.2.1) erinevad Tallinna linna CO2 heitkoguste inventuuride (ÅF-ESTIVO AS, 2009; OÜ Hendrikson & Ko, 2013; Nomine Consult OÜ 2018) tulemustest, mis arvutavad CO2 heitmete koguse müüdnud kütuse pealt Tallinnas. Telia asukohapõhised mobiilsideandmed arvutavad läbi CERO mudeli CO2 kogust läbitud distantsi järgi liikumistes Tallinnas. Kasutatud meetoodika ning tulemused annavad vastuse kolmandale uurimisküsimusele.

### 4.3 Andmete valideerimistulemused

Andmete valideerimise tulemusena selgus, et Statistkameti andmete registreeritud elu ja kooli/töökohta ja tegelike liikumiste vahel on nõrk korrelatsioon (Pearsoni korrelatsioonikordaja  $r=0.30$ ). Kui eraldada Telia andmestikust ainult ühistranspordiga tehtud liikumised, suureneb korrelatsioonikordaja vähesel määral ( $r=0.34$ ) ning ühistranspordiga tehtud liikumised korreleeruvad Statistikaameti nõudlusmaatriksi andmetega paremini. Statistikaameti andmestik sisaldas andmeid isikute kohta, kelle tööandja aadress ja/või elukoha aadress on registreeritud Tallinna linnas. Vastavalt Lisale 4 ei lange registri järgi arvutatud ja küsitluses vastatud elukoht kokku kõikide linnaosade arvestuses keskmiselt 25%

registrikannete puhul (Statistikaamet, 2021), mis võib mõjutada korrelatsioonikordajat. Registreeritud töökoha ning tegeliku töötamise koha kokkulangevuse statistika puudub.

#### 4.4 SOAR analüüsi tulemused

SOAR analüüsi tulemusena (vt Tabel 4.4.1) selgusid asukohapõhiste mobiilsideandmete tugevused, võimalused, püüdlused ja tulemused võrreldes traditsiooniliste küsitlustega liikuvusandmete hankimiseks.

Tabel 4.4.1 SOAR analüüs

<b>Tugevused</b>  Andmete kättesaadavus Uuringu korratavus Suur valim ja ajaline ulatus Ressursitõhusus	<b>Võimalused</b>  Mobiilside kasutuse universaalsus Laiendatavus teistes linnalistes piirkondades Küsitlustulemuste valideerimine
<b>Püüdlused</b>  5G võrk kiirendab andmevahetust IoT seadmete levik suurendab valimit	<b>Tulemused</b>  Mobiilsideandmete (CSD) meetodika kasv liikuvusuuringutes Liikumisviiside ja -mustrite analüüsi automatiseerimine

Allikas: Autori koostatud

#### 4.5 Järeldused ja edasised uurimisteemad

Käesolev magistritöö demonstreeris asukohapõhiste mobiilsideandmete võimalikku kasutust liikuvuse kavandamisel ning pakkus alternatiivse meetodi inimeste liikumisviiside jaotuse leidmiseks. Mobiilsideandmete kasutamise eeliseks on väiksem koormus vastajale, suurem valim ja ajaline ulatus ning madalamad ressursikulud võrreldes küsitlustega. Lisaks on passiivsete mobiilsideandmete kogumine võimalik suurema ruumilise ja ajalise täpsusega ning väiksema ajaressursiga. Tallinna senine praktika liikumisviiside määramisel rahuloluküsitlustega hõlmab vaid tallinlasi, jättes välja mittetallinlaste liikumised linnas, mis väljaspool Tallinnat elavate, aga Tallinnas liiklust genereerivate inimeste liikumiste mitteametustamise tõttu on ebatäpsem hindamiseks Tallinna linnas tehtud liikumisi. Asukohapõhised mobiilsideandmed võimaldavad arvesse võtta kõiki Tallinnas genereeritud liikumisi, hoolimata liikuja tegelikust elukohast. Mobiilsideandmete järgi modaali jaotuse määramine annab seega parema ülevaate liikumisviiside jaotusest igapäevaliiklusest Tallinnas. Küsitluste käigus välja selgitatud liikumisviiside jaotus ei anna meile informatsiooni

läbitud distantsist, mis on vajalik näitaja liikumistest tuleneva CO2 heitmete koguse määramiseks.

Telia asukohapõhiste mobiilsideandmete uudne pideva võrgu signalisatsioonandmetele tuginev meetodika kasutab ära suurandmete võimalusi koguda rohkem infot, kui ainult kõnetoimingute kirjetele tuginev mobiilpositsioneerimine. See tähendab, et mobiilimastidega ühenduvate mobiilsignaali pidev infovoog annab liikuvuse kavandajatele täiuslikuma andmekogumi, kui juhuslikult genereeritud kõnetoimingute kirjed. Telia passiivse ja aktiivse mobiilsideandmete kogumise meetodi tulemusena on 24 tunni jooksul tavakasutajatel pärast filtreerimist umbes 200–400 signaali/sündmust koos raadiosideelemendi tunnuse ja ajatempliga, keskmiselt signaal iga 4–5 minuti tagant. See tagab suurema andmete koguse, kui on kõnetoimingute kirjete meetodikal. Lisaks võimaldab pidev andmevoog kaardistada marsruute. Kõnetoimingute kirjete meetodikaga on võimalik eelkõige tuvastada lähte- ning sihtkohad, kuid marsruudid on ebatäiuslikud.

Travel Emission Insights platvormi liikuvusandmete CERO mudelile toetudes määrati magistritöös Tallinna liikumistest tekkinud CO2 heitmete kogus, mida on võimalik edasistes uuringutes valideerida teiste meetodite abil ning potentsiaalselt kasutada mõõdikuna CO2 heitmeid käsitlevates uuringutes ning strateegiliste eesmärkide seadmisel. Rahuloluküsitluste abil liikuvusandmete kogumisel ei mõõdeta inimeste läbitud distantse ning CO2 heitmete kogust.

Magistritöö tulemus ning rakendatud meetodika võib olla kasulik Tallinna linnale ning teistele linnalistele piirkondadele määramaks inimeste liikumisviiside jaotust ning liikumiste genereeritud CO2 heitmeid. Saadud tulemusi saab omistada ainult Tallinna linnale, kuid asukohapõhiste mobiilsideandmete abil on võimalik analoogseid analüüse läbi viia teistes linnalistes piirkondades.

Mobiilsideandmete veelgi paremaks valideerimiseks oleks soovitatav viia läbi paralleelselt uuring mobiilsideandmeid jälgides ja reisipäevikut pidades.

Mobiilsideandmete rakendatavus liikumisharjumuste mõõtmisel ning liikumisviiside modaalsootuse määramise täpsus kasvab 5G tehnoloogia kasutuselevõtuga. Seda eelkõige asukoha täpsuse paranemise ning kiirema andmevahetuse võimaldamise teel. Seetõttu on võimalik antud teemat korduvalt ning täpsemalt uurida tehnoloogia arenedes.





## KOKKUVÕTE

Asjakohane info liikuvusest on oluline liikuvuse kavandamisel, et saavutada Tallinna strateegilisi eesmärke säästvate liikumisviiside prioritseerimisel ning heitmete vähendamisel, mis on võetud globaalseteks eesmärkideks vastavalt Pariisi kliimaleppele ning Fit for 55 kokkuleppele. Tallinnas kasutatakse liikuvuse kavandamiseks küsitlustest tulenevaid andmeid, mis jätavad tähelepanuta mitmed olulised liikuvusmõõdikud. Sellest tulenevalt oli magistritöö eesmärk kasutada asukohapõhiseid mobiilsideandmeid inimeste liikumisharjumuste mõõtmiseks Tallinna linnas, täiendades sellega liikuvuse kavandamiseks kasutatavaid andmeid.

Töö teoreetilises osas toodi välja inimeste liikumisharjumused ja nende mõjud linnades, inimeste liikumisharjumuste mõõtmise vajadused ning asukohapõhiste mobiilsideandmete võimalused nende mõõtmisel. Seejärel anti ülevaade Tallinna liikuvuse eripäradest, strateegilistest liikuvuseesmärkidest ning senisest praktikast liikuvusmõõdikute määramisel. Teoreetilises osas kirjeldati seni kasutatud meetodikat mobiilpositsioneerimisel kõnetoimingute kirjete abil ning toodi välja Telia kasutatava püsiva võrgu signalisatsioonandmete eelised liikumisharjumuste mõõtmisel, mille hulka kuulusid suurem andmehulk läbi tihedamate signaalide ja võimalus seeläbi marsruute täpsemalt kaardistada.

Eesmärgi saavutamiseks seatud uurimisküsimused olid järgmised:

1. Milliste andmete põhjal määratakse Tallinnas liikumisviiside jaotust täna ning millised on praeguse praktika piirangud?
2. Millist informatsiooni inimeste liikumisharjumuste kohta saavad anda meie mobiilsideoperaatorite asukohapõhised andmed?
3. Kuidas saaks asukohapõhiste mobiilsideandmete põhjal määrata Tallinnas liikuvusnäitajaid, sh liikumisviiside jaotust ning liikumistest tekkivat CO2 heitmete kogust?
4. Milline on Tallinna inimeste liikumisviiside jaotus rahuloluküsitluste põhjal ning kuidas erineb see asukohapõhiste mobiilsideandmete põhjal määratud liikumisviiside jaotusest?

Uurimisstrateegias küsimustele vastuste leidmisel kasutati andmete kogumist, juhtumianalüüsi Tallinna linna liikuvusandmete määramisel Telia liikuvusandmete platvormi

abil, valideerimist Statistikaameti nõudlusmaatriksi läbi ning SOAR analüüsi, et esile tuua asukohapõhiste mobiilsideandmete kasutuse võimalused.

Liikumisviiside jaotust määratakse Tallinnas ametlikult läbi rahuloluküsitlustest tulenevate andmete. Praegune praktika rahuloluküsitluste tulemustele tuginedes ei ole ainsa meetodikana kuigi usaldusväärne, kuna küsitluste puhul on mitmeid nõrkuseid ja piiranguid võrreldes passiivselt kogutud asukohapõhiste mobiilsideandmetega:

- Inimlikud vead;
- Suur koormus vastajal;
- Kõrge ressursikulu uuringu läbiviimiseks ning kordamiseks;
- Valim koosneb Tallinna elanikest, mitte Tallinnas liiklejatest;
- Valimi ajaline ning ruumiline ulatus on piiratud.

Mobiilsideoperaatorite asukohapõhised andmed annavad meile tänu kaasaegsetele tehnoloogiatele võimalusi hinnata inimeste liikumisi, liikumiste kestust, distantssi ja liikumisviiside jaotust ning liikumiste poolt tekitatud umbkaudset CO2 emissioonide kogust, mis on oluline mõõdik kliimalepete täitmise saavutamisel. CO2 emissioonide kogust Tallinnas rahuloluküsitlustega ei mõõdeta. CO2 emissioonide koguse mõõtmine on oluline liikuvuse kavandamisel, sest annab kätte lähtepunkti, mida sama meetodikaga hinnata tulevikus, et aru saada CO2 emissioonide koguse muutusest ajas, mis on oluline sisend Tallinna liikuvuseesmärkide saavutamisel. Mobiilsideandmed ei anna informatsiooni inimeste liikumiste eesmärkide ning demograafiliste näitajate kohta.

Mobiilsideoperaatorite asukohapõhiste andmete põhjal on võimalik eristada modaalfaotust linnaosade kaupa ning CERO mudelile toetudes arvutada välja nii transpordist tulenev CO2 heitmete kogus summaarselt reise kohta konkreetses piirkonnas kui ka individuaalse reisi kohta. Lisaks liikumisviiside modaalfaotusele on võimalik ka inimeste liikumismustrite tuvastamine linnaosade ning väiksemate piirkondade vahel, mis annab lisaks modaalfaotusele info inimeste marsruutide ja külastuste kohta. Mobiilsideandmete põhjal määratud liikumisviiside jaotust on võimalik kirjeldada läbi mitme erineva ajalise ning ruumilise parameetri, mis on samuti eelis küsitluste ees.

Analüüsi tulemustele toetudes saab välja tuua, et määratud liikumisviiside jaotus mobiilsideandmete põhjal erineb rahuloluküsitluste andmetel määratud liikumisviiside modaalfaotusest. Asukohapõhiste mobiilsideandmete kaudu leitud liikumisviiside jaotus

kõikides liikumistes Tallinnas aastal 2022 on 34% auto, 21% ühistransport, 35% jalgsi ning 10% ratas. CO2 heitmete määramisel leiti, et 2022. aastal tekkis Tallinna liikumistest 274 589 tonni CO2 heitmeid, millest tekkis linnosade lõikes kõige rohkem Kesklinnas ning Lasnamäel, mis olid ka suurima liikumiste arvuga linnaosad. CO2 heitmeid ühe teekonna kohta tekkis kõige rohkem Pirital, mis on seotud suurema autode osakaaluga liikumisviiside jaotuses võrreldes teiste linnaosadega. Andmeid valideerides selgus, et Statistikaameti nõudlusmaatriks registreeritud elukoha ning töö- ja koolikohtade vahel Tallinna transporditsoonides on nõrgas korrelatsioonis Telia liikumiste andmetega, mis viitab sellele, et registreeritud elukohtade ja töö- ning koolikohtade vahelised potentsiaalsed liikumised ei ole tugevas seoses asukohapõhiste mobiilsideandmetele vastavate tegelike liikumistega Tallinnas. Analüüsi tulemusel saadud täpsem info heitmete ning liikuvusnäitajate kohta võimaldab teha targemaid otsuseid liikuvuse kavandamisel.

Andmete tõlgendamisel toob autor tähelepanu piirangutele, mille hulka kuuluvad võimalik valimiviga seoses telefonide omamise ja kasutuse eripäradega erinevates demograafilistes gruppides, Telia võrgu kasutajaskonna muutusega ajas, hooldustööde ja uuendustega seotud signaalide arvu vähenemisega ning seoses vigaste metaandmetega, mille tulemusel kõrvaldatakse ca 5% signaalidest.

Autor soovib rõhutada asukohapõhiste mobiilsideandmete ning eelkõige püsiva võrgu signalisatsioonandmete uurimise uudsust ning tulevikupotentsiaali seoses tehnoloogia arenguga. 5G võrgutehnoloogia parandab tõenäoliselt signaalide täpsust ning andmete hankimise ja töötlemise kiirust, mis tõstab antud metoodika efektiivsust inimeste liikumisharjumuste uurimisel.

Autor soovitab liikuvusuuringutes kasutada Telia asukohapõhiseid mobiilsideandmeid koos liikumispäevikutega, et täita asukohapõhiste mobiilsideandmete puudujääke ning kaardistada mobiilsideandmete täpsust võrreldes tegelike liikumistrajektooriga.

## SUMMARY

Relevant information on mobility is important for mobility planning to achieve Tallinn's strategic goals of prioritising sustainable mobility modes and reducing emissions, which have been set as global targets under the Paris Climate Agreement and the Fit for 55 agreement. In Tallinn, mobility planning is based on survey data that overlooks a number of important mobility metrics. Consequently, the aim of the thesis was to use and assess the potential of location-based cellular data processing to measure people's mobility patterns in Tallinn for more effective mobility planning.

In the theoretical part of the thesis, the mobility patterns of people and their impacts in cities, the needs for measuring people's mobility patterns and the potential of location-based mobile data for their measurement were identified. An overview was then given on Tallinn regarding the specificities of mobility, the strategic mobility goals and the existing practice in measuring mobility metrics. In the theoretical part, the methodology used so far for mobile positioning using call record details was described and the advantages of the constant cellular signalling data used by Telia for measuring mobility patterns were highlighted, among which the larger amount of data through more frequent signals and the possibility to map routes more accurately.

The research questions set to achieve the objective were:

1. What data are used to determine the distribution of travel modes in Tallinn today and what are the limitations of current practice?
2. What information about people's mobility patterns can be obtained from location-based data from mobile operators?
3. How could location-based cellular data be used to determine mobility indicators in Tallinn, including the distribution of travel modes and the amount of CO<sub>2</sub> emissions from travel?
4. What is the modal distribution of travel modes of people in Tallinn based on satisfaction surveys and how does it differ from the modal distribution of travel modes based on location-based cellular data?

The research strategy used data collection, a case study of Tallinn city mobility data using the Telia mobility data platform, validation through the demand matrix of Statistics Estonia and SOAR analysis to highlight the potential of using location-based mobile data to answer the research questions.

The modal split in Tallinn is officially determined through survey data. The current practice of relying on satisfaction surveys as the sole methodology is not very reliable, as surveys have several weaknesses and limitations compared to passively collected location-based cellular data:

- Human errors,
- High burden on the respondent,
- High resource costs for conducting and replicating the survey,
- Sample consists of residents of Tallinn, not all commuters in Tallinn,
- Limited temporal and spatial coverage of the sample.

The location-based data from mobile network operators, thanks to modern technologies, allow us to estimate the movements of people, the duration, distance and distribution of movements and the approximate amount of CO<sub>2</sub> emissions generated by movements, which is an important metric for meeting climate targets. CO<sub>2</sub> emissions in Tallinn are not measured through satisfaction surveys. Measuring CO<sub>2</sub> emissions is important for mobility planning as it provides a baseline that can be assessed in the future using the same methodology in order to understand the change in CO<sub>2</sub> emissions over time, which is an important input for achieving Tallinn's strategic mobility targets. Mobility data do not provide information on the objectives of people's movements and their demographic characteristics.

Using location-based data from mobile network operators, it is possible to disaggregate modal split by urban area and, based on the CERO model, to calculate the total CO<sub>2</sub> emissions from transport per trip in a given area as well as per individual trip. In addition to the modal split of travel modes, it is also possible to identify the patterns of people's movements between neighbourhoods and smaller areas, which, in addition to the modal split, provides information on people's routes and visits. The distribution of travel modes determined from mobile data can be described through a number of different temporal and spatial parameters, which is also an advantage over surveys.

Based on the results of the analysis, it can be concluded that the distribution of the modal split based on the cellular data differs from the modal split based on the satisfaction survey data. The modal split for all trips in Tallinn in 2022 based on location-based cellular data is 34% car, 21% public transport, 35% walking and 10% cycling. The CO<sub>2</sub> emissions were determined to be 274 589 tonnes of CO<sub>2</sub> emissions from transport in Tallinn in 2022, with

the highest emissions by city districts in Kesklinn and Lasnamäe, which also had the highest number of total transport movements. The highest CO<sub>2</sub> emissions per trip were generated in Pirita, which is associated with a higher share of cars in the modal split compared to other districts. Validation of the data showed that the demand matrix of Statistics Estonia between registered residence and work and school locations in Tallinn transport zones is weakly correlated with Telia's data on all movements, suggesting that potential movements between registered residence and work and school locations are not strongly correlated with actual movements in Tallinn according to location-based mobile data. Accurate information on emissions and mobility characteristics resulting from the analysis will allow for smarter mobility planning decisions.

In interpreting the data, the author points to limitations, which include potential sampling error due to the specificities of phone ownership and usage in different demographic groups, changes in Telia's network user base over time, a reduction in the number of signals associated with maintenance and upgrades, and incorrect metadata resulting in the removal of approximately 5% of signals.

The author would like to highlight the novelty and future potential of location-based cellular data research, and in particular of constant cellular signalling data, in the context of technological developments. 5G network technology is likely to improve the accuracy of the signals and the speed of data acquisition and processing, which will increase the effectiveness of this methodology in the study of human movement patterns.

The author recommends the use of Telia's location-based mobile data in combination with movement diaries in mobility studies to fill the gaps of location-based mobile data and to map the accuracy of mobile data against actual movement trajectories.

## KASUTATUD KIRJANDUS

ACEA. (2023). *Vehicles in use Europe 2023*.

<https://www.acea.auto/files/ACEA-report-vehicles-in-use-europe-2023.pdf>

ÅF-ESTIVO AS. (2009). *Tallinna linna CO2 heitkoguste inventuur 2007*. Tellija Tallinna Keskkonnaamet. <https://www.tallinn.ee/et/media/302998>

Ahas, R., Silm, S., Leetmaa, K., Tammaru, T., Saluveer, E., Järv, O., Aasa, A., Tiru, M. (2010). Regionaalne pendelrändeuring.

Andrés, M. E., Bordenabe, N. E., Chatzikokolakis, K., Palamidessi, C. (2013). Geo-indistinguishability: differential privacy for location-based systems. *Proceedings of the 2013 ACM SIGSAC conference on Computer and Communications Security (CCS'13)*, ACM, 901-914. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1212.1984>

Bohte, W., Maat, K. (2009). Deriving and Validating Trip Destinations and Modes for Multi-Day GPS-Based Travel Surveys: A Large-Scale Application in the Netherlands. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* (pp. 285–297). <https://doi.org/10.1016/j.trc.2008.11.004>

Cervero, R., Murakami, J. (2010). Effects of Built Environments on Vehicle Miles Traveled: Evidence from 370 US Urbanized Areas. *Environment and Planning A*, 42(2), 400–418. <http://dx.doi.org/10.1068/a4236>

Chen, C., Gong, H., Lawson, C., Bialostozky, E. (2010). Evaluating the Feasibility of a Passive Travel Survey Collection in a Complex Urban Environment: Lessons Learned From New York City Case Study. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(10), 830–840. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.08.004>

Chiou, Y., Hsieh, C. (2021). Travel pattern analytics driven by cellular signaling data. *Asian Transport Studies*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.eastsj.2021.100042>

Comission of the European Communities. (2001). European transport policy for 2010: time to decide. Brussels, 12.9.2001 COM 370 final white paper.

Department of Health. (2004). Physical Activity, Health Improvement and Prevention, England, 2004. At least five a week. Consensus report.  
<http://www.dh.gov.uk/PublicationsAndStatistics/Publications>

Deschaintres, E., Morency, C., & Trépanier, M. (2019). Analyzing Transit User Behavior with 51 Weeks of Smart Card Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2673(6), 33-45.  
<https://doi.org/10.1177/0361198119834917>

Deschaintres, E., Morency, C., & Trépanier, M. (2021). Measuring Changes in Multimodal Travel Behavior Resulting from Transport Supply Improvement. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2675(9), 533–546.  
<http://dx.doi.org/10.1177/03611981211003104>

Ding, Z., Wang, Y., Wang, G., Zhang, D., Kifer, D. (2018). Proceedings of the 2018 ACM SIGSAC conference on computer and communications security. Detecting violations of differential privacy. *Association for Computing Machinery*, 475–489.  
<https://doi.org/10.1145/3243734.3243818>

EEA (2023). Transport and mobility. European Environment Agency. Kasutatud 30. detsember 2023 <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/transport-and-mobility>

El Emam, K., Dankar, F. K. (2008). Protecting privacy using k-anonymity. *Journal of the American Medical Informatics Association* 15(5), 627-37.  
<http://dx.doi.org/10.1197/jamia.M2716>

EISalamouny, E., Gambs, S. (2016). Differential privacy models for location-based services. *Transactions on Data Privacy*, 9(1), 15-48.

Environmental Protection Agency (EPA). (2023). Tailpipe Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle. The U.S Environmental Protection Agency Office of Transportation and Air Quality.



Euroopa Komisjon. (2017). Tallinn Declaration on eGovernment - at the ministerial meeting during Estonian Presidency of the Council of the EU on 6 October 2017. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/ministerial-declaration-egovernment-tallinn-declaration>

Euroopa Ülemkogu, Euroopa Liidu Nõukogu. (2023). Eesmärk 55. Kasutatud 8. november 2023 <https://www.consilium.europa.eu/et/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>

European Council. (2001). Presidency conclusions. Göteborg European Council 15 and 16 June 2001. <https://www.consilium.europa.eu/media/20983/00200-r1en1.pdf>

Ewing, R., Bartholomew, K., Winkelman, S., Walters, J., Don Chen, D. (2008). Growing Cooler: The Evidence on Urban Development and Climate Change. Urban Land Institute: Washington, DC, USA.

Gonzalez, J. N., Perez-Doval, J., Gomez, J., & Vassallo, J. M. (2021). What impact do private vehicle restrictions in urban areas have on car ownership? Empirical evidence from the city of Madrid. *Cities*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103301>

Heinen, E., Mattioli, G. (2019). Multimodality and CO2 emissions: A relationship moderated by distance, *Transportation Research Part D. Transport and Environment*, 75, 179-196. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.08.022>

Inseneribüroo Stratum. (2014). Põhja-Tallinna liikuvusuuring. <https://www.tallinn.ee/et/media/293588>

International Telecommunication Union. (2023). Time series of ICT data for the world, by geographic regions, by urban/rural area and by level of development, (2005-2022). Kasutatud 18. aprill 2023 <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>

IPCC. (2018). Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Cambridge University Press, pp. 3-24,

IPCC. (2023). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, (pp. 1-34). doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

Jain, D., Bhatnagar, S., Sachdeva, K. (2022). Impact of degrading air quality on mode choice and emissions – Study of ten global cities. *World Development Sustainability*, 1. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2022.100002>

Kenworthy, J. R. (2018). Reducing Passenger Transport Energy Use in Cities: A Comparative Perspective on Private and Public Transport Energy Use in American, Canadian, Australian, European and Asian Cities. *Urban Energy Transition (Second Edition)*, 169- 204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102074-6.00024-3>

Khedikar, K., A. (2021). Data Analytics for Business Using Tableau. *Proceedings of the International Conference on Innovative Computing & Communication (ICICC)*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3835030>

Kishore, N., Kiang, M. V., Engø-Monsen, K., Vembar, N., Schroeder, A., Balsari, S., & Buckee, C. O. (2020). Measuring mobility to monitor travel and physical distancing interventions: a common framework for mobile phone data analysis. *The Lancet Digital Health*, 2(11), e622–e628. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(20\)30193-X](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(20)30193-X)

Klinger, T., Kenworthy, J.R., Lanzendorf, M. (2013). Dimensions of urban mobility cultures – a comparison of German cities. *Journal of Transport Geography*, 31,18-29, <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.05.002>

Lawson, C. T., Krans, E., Rentz, E., Lynch, J. (2023). Emerging trends in household travel survey programs. *Social Sciences & Humanities Open*, 7(1). <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100466>

Lindsey, G., Hankey, S., Wang, X., Gorjestani, A., Chen., J. (2013). Feasibility of Using GPS to Track Bicycle Lane Positioning, Report CTS 13-16. *Intelligent Transportation Systems Institute, Center for Transportation Studies*, University of Minnesota, Minneapolis.

Maas, P. (2019). Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining. Association for Computing Machinery.

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Riigikantselei. (2013). Eesti infoühiskonna arengukava 2020.

Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., Byers, A.H. (2011). Big data: The Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity. McKinsey Global Institute. Kasutatud 10. oktoober 2023 <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation>

Marchetti, C. (1994). Anthropological invariants in travel behavior. *Technological Forecasting and Social Change*, 47(1), 75–88. doi:10.1016/0040-1625(94)90041-8

Morency, C., Trépanier, M., Saunier, N., Verreault, H., & Bourdeau, J.-S. (2018). Using 5 parallel passive data streams to report on a wide range of mobility options. *Transportation Research Procedia*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.10.014>

Næss, P. (2016). Built environment, causality and urban planning. *Planning Theory & Practice*, 17(1), 52–71. <https://doi.org/10.1080/14649357.2015.1127994>

Narayanan, A., Shmatikov, V. (2008). Robust de-anonymization of large sparse datasets. 2008 IEEE Symposium on Security and Privacy; Oakland, CA, USA. 18-21 May 2008.(pp. 111–125). <http://dx.doi.org/10.1109/SP.2008.33>

Nomine Consult OÜ. (2018). Tallinna linna ja linnastu 2015. aasta CO2 heitkoguste inventuur. Kasutatud 30. detsember 2023 <https://www.tallinn.ee/et/media/302997>

OÜ Hendrikson & Ko. (2013). Tallinna linna ja linnastu süsihappegaasi heitkoguste inventuur 2011. 30. detsember 2023 <https://www.tallinn.ee/et/media/303049>

OÜ Positium LBS. (2007). Valituristid Tallinnas 1. jaanuar – 31.detsember 2006.

OÜ Positium LBS. (2013). Põhja-Tallinna liikuvusuuringu lähteandmete kogumine: tegevusruumide hindamine passiivse mobiilpositsioneerimise meetodil. Kasutatud 1. september 2023 <https://uuringud.tallinn.ee/uuring/vaata/2013/Pohja-Tallinna-liikuvusuuringu-lahteandmete-kogumine-tegevusruumide-hindamine-passiivse-mobiilpositsioneerimise-meetodil>

Rahandusministeerium. (2023). Riigihangete infoportaal. Riigihangete register . Kasutatud 11. detsember 2023. <https://riigihanked.riik.ee/rhr-web/>

Ran, W. & Ven-Hwei, L. (2006). Staying connected while on the move: Cell phone use and social connectedness. *New Media & Society*. 8. 53-72. 10.1177/1461444806059870.

Raun, J., Ahas, R., Tiru, M. (2016). Measuring tourism destinations using mobile tracking data. *Tourism Management*, 57, 202-212. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.06.006>

Remix (2023). Remix: About us. Kasutatud 29. detsember 2023 <https://www.remix.com/about-us>

Robèrt, M. (2009). A Model for Climate Target–Oriented Planning and Monitoring of Corporate Travel. *International Journal of Sustainable Transportation*, 3(1), 1–17. <http://dx.doi.org/10.1080/15568310701517752>

Robèrt, M. (2016). Strategic travel planning toward future emission targets—A comparative analysis of 20 Swedish municipalities applying the CERO model. *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(5), 330–341. <http://dx.doi.org/10.1080/15568318.2016.1232452>

Robèrt, M. (2017). Engaging private actors in transport planning to achieve future emission targets – upscaling the Climate and Economic Research in Organisations (CERO) process to regional perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 140, 324–332. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.025>

Rojas, M. B., Sadeghvaziri, E., & Jin, X. (2016). Comprehensive Review of Travel Behavior and Mobility Pattern Studies That Used Mobile Phone Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2563(1), 71-79.

<http://dx.doi.org/10.3141/2563-11>

Ruktanonchai, N. W., Ruktanonchai, C. W., Floyd, J. R., Tatem, A. J. (2018). Using Google Location History data to quantify fine-scale human mobility. *International Journal of Health Geographics*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12942-018-0150-z>

Saluveer, E., Raun, J., Tiru, M., Altin, L., Kroon, J., Snitsarenko, T., Aasa, A., Silm, S. (2020). Methodological framework for producing national tourism statistics from mobile positioning data. *Annals of Tourism Research*, 81.

<https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.102895>

Schafer, A. (2000). Regularities in Travel Demand: An International Perspective Massachusetts Institute of Technology, *Journal of Transportation and Statistics*.

<https://doi.org/10.21949/1501657>

Siiri, S., Jauhiainen, J. S., Raun, J., Tiru, M. (2021). Temporary population mobilities between Estonia and Finland based on mobile phone data and the emergence of a cross-border region. *European Planning Studies*, 29(4), 699-

719. <https://doi.org/10.1080/09654313.2020.1774514>

Silm, S & Ahas, R. (2014b). Ethnic Differences in Activity Spaces: A Study of Out-of-Home Nonemployment Activities with Mobile Phone Data. *Annals of the Association of American Geographers*, 104 (3), 542-559. <https://doi.org/10.1080/00045608.2014.892362>

Silm, S., & Ahas, R. (2010). The Seasonal Variability of Population in Estonian Municipalities. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 42(10), 2527-2546.

<https://doi.org/10.1068/a43139>

Silm, S., Ahas, R. (2014a). The temporal variation of ethnic segregation in a city: Evidence from a mobile phone use dataset. *Social Science Research*, 47, 30-43.

<https://doi.org/10.1016/j.ssresearch.2014.03.011>

Statistikaamet. (2018). RV0291U: Rahvaarv, pindala ja asustustihedus, 1. jaanuar haldusjaotus seisuga 01.01.2018. Kasutatud 1. september 2023

[https://andmed.stat.ee/et/stat/rahvastik\\_rahvastikunaitajad-ja-koosseis\\_rahvaarv-ja-rahvastiku-koosseis/RV0291U/table/tableViewLayout2](https://andmed.stat.ee/et/stat/rahvastik_rahvastikunaitajad-ja-koosseis_rahvaarv-ja-rahvastiku-koosseis/RV0291U/table/tableViewLayout2)

Statistikaamet (2021). RL21040: Registrite järgi arvatud ja küsitluses vastatud elukoha kokkulangevus, 31. detsember 2021. Kasutatud 1. jaanuar 2023

[https://andmed.stat.ee/et/stat/rahvaloendus\\_rel2021\\_rahvastiku\\_paiknemine\\_elukoht-ja-soo-vanusjaotus/RL21040](https://andmed.stat.ee/et/stat/rahvaloendus_rel2021_rahvastiku_paiknemine_elukoht-ja-soo-vanusjaotus/RL21040)

Statistikaamet (2023a). TS32: Sõidukid ja erasõidukid, 31 detsember.. Kasutatud 1. jaanuar 2024 [https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus\\_transport\\_registreeritud-liiklusvahendid/TS32](https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus_transport_registreeritud-liiklusvahendid/TS32)

Statistikaamet (2023b). RV021: Rahvastik soo ja vanuserühma järgi. Kasutatud 1. jaanuar 2024 [https://andmed.stat.ee/et/stat/rahvastik\\_rahvastikunaitajad-ja-koosseis\\_rahvaarv-ja-rahvastiku-koosseis/RV021](https://andmed.stat.ee/et/stat/rahvastik_rahvastikunaitajad-ja-koosseis_rahvaarv-ja-rahvastiku-koosseis/RV021)

Stavros, J., Cooperrider, D., Kelley, D. (2003). Strategic Inquiry, Appreciative Intent: Inspiration to SOAR A New Framework for Strategic Planning, 5, 10-17.

Steenbruggen, J., Tranos, E., Nijkamp, P., (2015). Data from mobile phone operators: A tool for smarter cities? *Telecommunications Policy*, 39(3-4), 335-346.

<https://doi.org/10.1016/j.telpol.2014.04.001>

Sweeney, L. (2000). Simple Demographics Often Identify People Uniquely. Carnegie Mellon University, Data Privacy Working Paper 3.

Tallinna Energiaagentuur, Eesti Keskkonnauuringute Keskus.(2019). Kliimamuutus – tagajärgede leevendamine ja sellega kohanemine. 20. november 2023

<https://www.tallinn.ee/et/media/294303>

Tallinna Linnavalitsus. (2011). TALLINNA KESKKONNASTRATEEGIA AASTANI 2030. Kasutatud 20. november 2023 <https://www.tallinn.ee/et/keskkond/tallinna-keskkonnastrateegia-2030>

Tallinna Linnavalitsus. (2020). Tallinna arengustrateegia „Tallinn 2035“. [Kasutatud 1. september 2023](#) <https://strateegia.tallinn.ee/>

Tallinna Linnavalitsus. (2021). Kliimanutraalne Tallinn. Tallinna säästva energiamajanduse ja kliimamuutustega kohanemise kava 2030. Kasutatud 30. detsember 2023 <https://www.tallinn.ee/et/media/310541>

Tallinna Linnavalitsus. (2022). Tallinna statistika aastaraamat "Tallinn arvudes 2022". Kasutatud 20. märts 2023 <https://www.tallinn.ee/et/statistika/tallinna-statistika-aastaraamat-tallinn-arvudes>

Tallinna Linnavalitsus. (2023a). Tallinna jätkusuutliku linnaliikuvuse kava. Liikuvuse valdkonna arengukava 2035 (ka Tallinna Liikuvuskava). Kasutatud 1. detsember 2023 <https://www.tallinn.ee/et/media/525704>

Tallinna Linnavalitsus. (2023b). Tallinna elanike arv. Kasutatud 20. märts 2023 <https://www.tallinn.ee/et/tallinna-elanike-arv>

Tallinna Linnavolikogu. (2011). Tallinna säästva energiamajanduse tegevuskava aastateks 2011-2021. Kasutatud 29. detsember 2023 <https://oigusaktid.tallinn.ee/?id=3001&aktid=119834>

Tallinna Strateegiakeskus. (2021). PÕHJA-TALLINNA LINNAOSA ÜLDPLANEERING. Kasutatud 20. märts 2023 <https://www.tallinn.ee/et/media/309675>

Tallinna Tehnikaülikool. (2017). Tallinna ühistranspordisüsteemi arendamine, liinivõrgu optimeerimine II etapp, aruande 1. Osa: Ettepanekud Tallinna ühistranspordisüsteemi kasutatavuse suurendamiseks lähiaja perspektiivis.

Tarbijakaitse ja Tehnilise Järevalve Amet. (2021). Elektroonilise side aastaraamat 2020. Kasutatud 24. aprill 2023 <https://ttja.ee/media/1482/download>

Transpordiamet. (2022). Liikuvuse statistika. Kasutatud 17. mai 2023

<https://www.transpordiamet.ee/liikuvuse-statistika>

Transpordiamet, Kantar Emor. (2021). Eesti elanike liikuvuse küsitlusuuring. Kasutatud 21.

november 2023 <https://www.transpordiamet.ee/EELU2021>

Transpordiamet, Tallinna Transpordiamet. (2019). Tallinna regiooni säästva linnaliikuvuse strateegia 2035. Avalik strateegia kavand.

Turu-uuringute AS. (2021). Tallinlaste rahuloluküsitlus 2021-3. Küsitluse teemad: rahulolu

linna füüsilise elukeskkonnaga; liikumine linnas ja ühistranspordi kasutamine. Tellija:

Tallinna Strateegiakeskus. Kasutatud 1. september 2023

<https://uuringud.tallinn.ee/uuring/vaata/2021/Tallinlaste-rahulolukusitlus-2021-3>

Turu-uuringute AS. (2023). Tallinlaste rahuloluküsitlus 2023. Liikuvus ja Elukeskkond.

Tellija: Tallinna Strateegiakeskus. Kasutatud 1. september 2023

<https://uuringud.tallinn.ee/uuring/vaata/2023/Liikuvus-ja-elukeskkond-2023>

U.S Department of Defense. (2020) Global Positioning System (GPS) Standard Positioning

Service (SPS) Performance Standard - 5th Edition, Apr 2020. Kasutatud 17. aprill 2023

<https://www.gps.gov/technical/ps/2020-SPS-performance-standard.pdf>

UNEP. (2023). Emissions Gap Report 2023: Broken Record. Kasutatud 29. detsember 2023

<https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2023>

ÜRO. (2015) Pariisi kliimakokkulepe. Kasutatud 8. november 2023

[https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf)

Vanoutrive, T., Huyse, H. (2023). Revisiting modal split as an urban sustainability indicator

using citizen science. *Cities*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104592>.

Viri, R., Mäkinen, J. (2023). The impact of modal shift on passenger car CO2 emissions in

Tampere region. *Case Studies on Transport Policy*, 13.

<https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.101066>



Wang, Z., He, S. Y., & Leung, Y. (2018). Applying mobile phone data to travel behaviour research: A literature review. *Travel Behaviour and Society, 11*, 141–155.

<https://doi.org/10.1016/j.tbs.2017.02.005>

Wolf, J., Oliveira, M., & Thompson, M. (2003). Impact of Underreporting on Mileage and Travel Time Estimates: Results from Global Positioning System-Enhanced Household Travel Survey. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1854*(1), 189-198. <https://doi.org/10.3141/1854-21>

World Health Organization. (2006). Solid Facts – Promoting Physical Activity and Active Living in Urban Environments.

Zarestky, J., Cole, S. (2017). Strengths, opportunities, aspirations, and results: An emerging approach to organization development. *New Horizons in Adult Education and Human Resource Development, 29*, 5-19. <https://doi.org/10.1002/nha3.20166>

zu Erbach-Schoenberg, E., Alegana, V. A., Sorichetta, A. (2016). Dynamic denominators: the impact of seasonally varying population numbers on disease incidence estimates. *Population Health Metrics, 14*, 35. <https://doi.org/10.1186/s12963-016-0106-0>

## Lisa 1 Erinevate liikumisviiside kasutussagedus

Tööpäev	2020		2021		2023	
	%	kohaldatud	%	kohaldatud	%	kohaldatud
Liikumisviis						
Auto	49%	33.56%	47%	31.33%	43%	27.39%
Ühistransport	30%	20.55%	31%	20.67%	41%	26.11%
Kõndimine	63%	43.15%	69%	46.00%	68%	43.31%
Ratas/e-tõukeratas	2%	1.37%	1%	0.67%	2%	1.27%
Muu	2%	1.37%	2%	1.33%	3%	1.91%
Kokku	146.0%	100.00%	150.0%	100.00%	157.0%	100.00%
Nädalavahetus	2020		2021		2023	
	%	kohaldatud	%	kohaldatud	%	kohaldatud
Liikumisviis						
Auto	49%	33.33%	46%	37.10%	45%	34.04%
Ühistransport	25%	17.01%	17%	13.71%	24%	18.15%
Kõndimine	66%	44.90%	58%	46.77%	58%	43.87%
Ratas/e-tõukeratas	5%	3.40%	1%	0.81%	1.2%	0.91%
Muu	2%	1.36%	2%	1.61%	4%	3.03%
Kokku	147.0%	100.00%	124.0%	100.00%	132.2%	100.00%

Allikas: Autori koostatud Tallinna rahuloluküsitluse (2023) andmetel

	#	Osakaal aasta päevadest
Argipäevi	261	72%
Puhkepäevi	104	28%

Liikumisviis	2020		
	TP	LP/PP	Kaalutud keskmine aastas
Auto	33.56%	33.33%	33.50%
Ühistransport	20.55%	17.01%	19.54%
Kõndimine	43.15%	44.90%	43.65%

Ratas/e-tõukeratas	1.37%	3.40%	1.95%
Muu	1.37%	1.36%	1.37%

	2021		
Liikumisviis	TP	LP/PP	Kaalutud keskmine aastast
Auto	31.33%	37.10%	32.98%
Ühistransport	20.67%	13.71%	18.68%
Kõndimine	46.00%	46.77%	46.22%
Ratas/e-tõukeratas	0.67%	0.81%	0.71%
Muu	1.33%	1.61%	1.41%

	2023		
Liikumisviis	TP	LP/PP	Kaalutud keskmine aastast
Auto	27.39%	34.04%	29.28%
Ühistransport	26.11%	18.15%	23.85%
Kõndimine	43.31%	43.87%	43.47%
Ratas/e-tõukeratas	1.27%	0.91%	1.17%
Muu	1.91%	3.03%	2.23%

## Lisa 2 Telia Emission Insights platvormi andmed liikumisviiside jaotuse kohta

Aasta	Liikumisviis	Liikumisi kokku	Läbitud distantis (km)	CO2 emissioonid (t)	Reiside osakaal	Läbitud distantsi osakaal	CO2 emissioonide osakaal
2020	Auto	110813604	1170223038	207129	34.7%	47.3%	82.7%
2020	Ühistranspord	66960157	719710818	43183	21.0%	29.1%	17.3%
2020	Kõndimine	110818370	452694289	0	34.7%	18.3%	0%
2020	Ratas	30665905	130724977	0	9.6%	5.3%	0%
2020	Kokku	319258036	2473353122	250312	100%	100%	100%
2021	Auto	119652310	1261834050	208203	34.4%	47.4%	81.9%
2021	Ühistranspord	72285651	766776039	46007	20.8%	28.8%	18.1%
2021	Kõndimine	122581870	490864854	0	35.2%	18.4%	0%
2021	Ratas	33413689	141378057	0	9.6%	5.3%	0%
2021	Kokku	347933520	2660853000	254209	100%	100%	100%
2022	Auto	137502107	1435864650	219687	33.9%	46.5%	80%
2022	Ühistranspord	84446881	915025008	54902	20.8%	29.6%	20%
2022	Kõndimine	143972239	572204546	0	35.5%	18.5%	0%
2022	Ratas	39180311	165528430	0	9.7%	5.4%	0%
2022	Kokku	405101538	3088622633	274589	100%	100%	100%
2023	Auto	146547162	1509673483	230980	41.9%	54.7%	80.2%
2023	Ühistranspord	89288352	950944603	57057	25.5%	34.4%	19.8%
2023	Kõndimine	71350212	126090531	0	20.4%	4.6%	0%
2023	Ratas	42883000	174498818	0	12.2%	6.3%	0%
2023	Kokku	350068726	2761207435	288037	100%	100%	100%

Allikas: Telia Emission Insights (2023) (seisuga 1.12.2023)

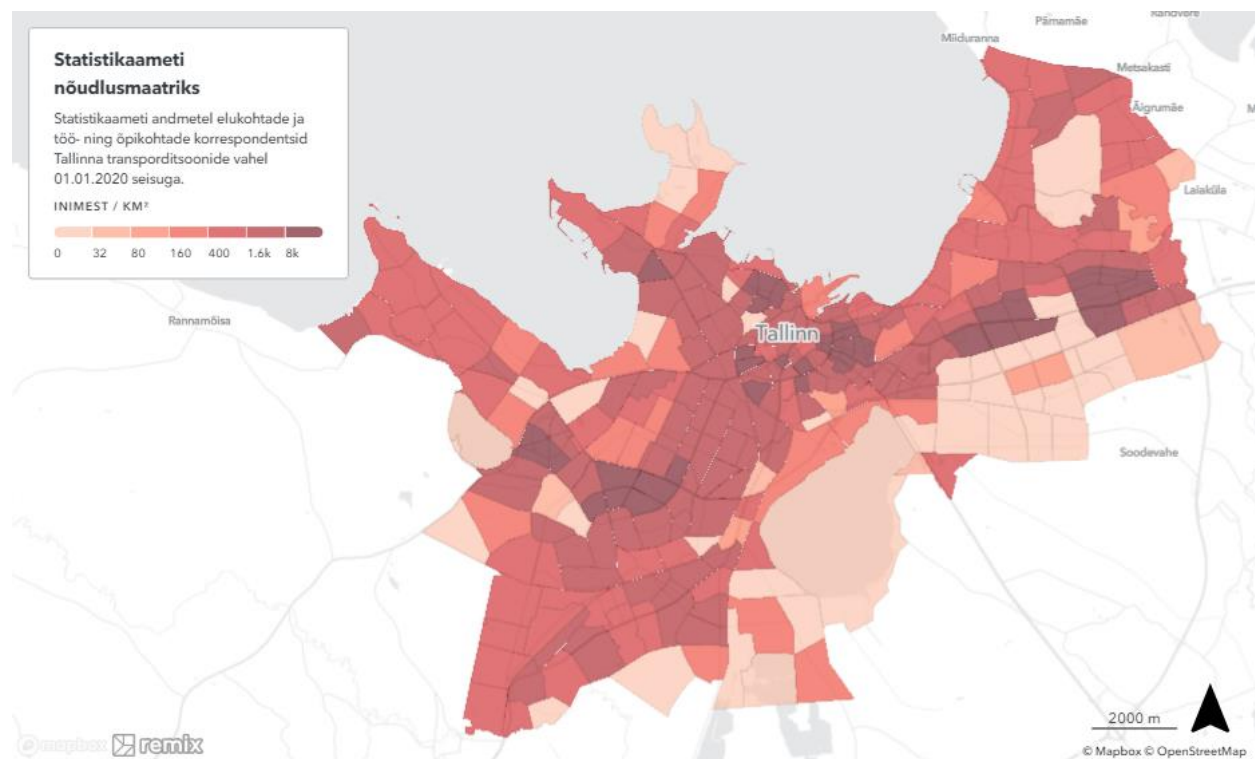
**Lisa 3 Registrite järgi arvatud ja küsitluses vastatud elukoha kokkulangevus  
asustusüksuse tasemel**

Linnaosa	%
Haabersti linnaosa	80.6
Kesklinna linnaosa	62.9
Kristiine linnaosa	74.7
Lasnamäe linnaosa	76.5
Mustamäe linnaosa	70.4
Nõmme linnaosa	79.6
Pirita linnaosa	84.6
Põhja-Tallinna linnaosa	74.4

Allikas: Statistikaamet (2021)

## Lisa 4 Elukohtade ning töö- ja õpikohtade korrespondents Tallinna transporditsoonide vahel

Lisa 4. Statistikaameti andmetel elukohtade ning töö- ja õpikohtade korrespondents Tallinna transporditsoonide vahel 01.01.2020 seisuga  
Allikas: Statistikaamet (2020). Visualiseeritud rakenduses Remix.



Allikas: Statistikaamet (2020) 01.01.2020 seisuga. Visualiseeritud rakenduses Remix.

## Lisa 5 Telia Travel Emission Insight andmed aasta 2022 kohta linnaositi

Linnaosa	Osakaal liikumisviiside jaotuses			
	Auto	Ühistransport	Jalgsi	Ratas
Kesklinn	29%	21%	40%	10%
Lasnamäe	33%	21%	37%	9%
Mustamäe	29%	21%	39%	11%
Põhja-Tallinn	30%	20%	39%	11%
Kristiine	29%	19%	39%	13%
Haabersti	34%	21%	33%	12%
Nõmme	36%	22%	32%	10%
Pirita	44%	21%	28%	7%

Linnaosa	Teekondade arv	CO2 heitmed (t)	Keskmine CO2 heitkogus/teekond (kg)
Kesklinn	95,371,442	49,206	0.52
Lasnamäe	84,463,494	47,668	0.56
Mustamäe	43,541,982	20,184	0.46
Põhja-Tallinn	42,198,796	19,041	0.45
Kristiine	34,392,480	14,358	0.42
Haabersti	32,436,143	17,460	0.54
Nõmme	21,901,977	12,759	0.58
Pirita	10,737,592	6,868	0.64

Linnaosa	Osakaal CO2 heitmetest	
	Auto	Ühistransport
Kesklinn	78%	22%
Lasnamäe	79%	21%
Mustamäe	77%	23%
Põhja-Tallinn	77%	23%
Kristiine	79%	21%

Haabersti	78%	22%
Nõmme	81%	19%
Pirita	84%	16%

Allikas: Telia Emission Insights (2023)



## Lisa 6 Mobiilsideandmeid kasutavate uuringud ning küsitlusi kasutavad uuringud

Hanke nimi	Maksumus (€)	Hankija	Metoodika	Pakkuja/Töövõtja	Aasta
Elanike rahulolu Tallinna linna avalike teenustega 2014	26944	Tallinna Linnakantsel ei	Küsitlus	OÜ SAAR POLL	2014
Liikumisviiside uuring elektrisõidukite lühirendi ja säästva transpordi kasutuse arendamiseks	85995	Sihtasutus KredEx	Küsitlus + liikumispäevik	aktsiaselts Emor	2015
Elanike rahulolu Tallinna linna avalike teenustega 2015	25944	Tallinna Linnakantsel ei	Küsitlus	OÜ SAAR POLL	2015
Elanike rahulolu Tallinna linna avalike teenustega 2016 Tallinna-teemaline telefoniküsitlus 2016	26300	Tallinna Linnakantsel ei	Küsitlus	Osaühing Faktum & Ariko Turu-uuringute AS	2016
Tallinna lähipiirkonna - Harjumaa (v.a Tallinna linn) ning Kohila ja Rapla valdade elanike liikumisviiside uuring	45800	Maanteeamet	Küsitlus + liikumispäevik	aktsiaselts Emor	2017
Tartu linna elanike liikuvusuuring	22640	Tartu Linnavalitsus	Küsitlus + liikumispäevik	Skepast&Puhkim OÜ	2018
Eesti elanike liikuvuse küsitlusuuring	19500	Transpordiamet	Küsitlus + liikumispäevik	aktsiaselts Emor	2021

Allikas: Autori koostatud Riigihangete (2023) registri andmete põhjal

Hanke nimi	Maksumus (€)	Hankija	Metoodika	Pakkuja/Töövõtja	Aasta
Põhja-Tallinna liikuvusuuring	13200	Tallinna Linnaplaneerimise Amet	Mobiilsideandmete kasutamine (CDR)	Osaühing Stratum	2014
Viimsi valla liikuvusuuringu teostamine	25820	Viimsi Vallavalitsus	Mobiilsideandmete kasutamine (CDR)	OÜ Hendrikson & Ko	2016
Liikuvusuuring Valga piirkonnas	16640	Valga Linnavalitsus	Mobiilsideandmete kasutamine (CDR)	OÜ Hendrikson & Ko	2017
Rae valla põhjapiirkonna liikuvusuuringu teostamine	19200	Rae Vallavalitsus	Mobiilsideandmete kasutamine	OÜ Hendrikson & Ko	2017

			(CDR)		
Lääne-Viru kohalike omavalitsuste liikuvusuuringu teostamine	30000	Viru-Nigula vallavalitsus	Mobiilsideandmete kasutamine (CDR)	Tallinna Tehnikaülikool	2020
Luunja valla liikuvus- ja liiklusuuring	22820	Luunja Vallavalitsus	Mobiilsideandmete kasutamine (CDR)	Aktsiaselts Teede Tehnokeskused	2021
TalTechi liikuvusanalüüsi lahenduse koostamine	26296	Tallinna Tehnikaülikool	Mobiilsideandmete kasutamine (CSD)	Telia Eesti AS	2022
Liikuvusandmete eeltötluse ja agregeeritud tulemi hankimine	138800	Siseministerium	Mobiilsideandmete kasutamine (CSD)	Telia Eesti AS	2023

Allikas: Autori koostatud Riigihangete (2023) registri andmete põhjal

**Lisa 7 Liikumisviiside osakaal kõikidest liikumistest võrdlus erinevate allikate vahel**

Andmete allikas	Telia Travel Emissions (2023)	Transpordiamet (2021)	Stratum (2014)	Tallinna linnavalitsus (2023)
Uuringu nimi	-	Eesti elanike liikuvusuuring	Põhja-Tallinna liikuvusuuring	Tallinna rahuloluküsitlus 2023
Analüüsiaasta	2021/2022	2021	2013	2021
Analüüsi piirkond	Tallinn	Harjumaa	Põhja-Tallinn	Tallinn (elanikud)
	Liikumisviisi osakaal kõikidest liikumistest			
Auto	34%	48%	39%	33%
Ühistransport	21%	17%	31%	19%
Jalgsi	35%	30%	29%	46%
Ratas	10%	5%	1%	2%

Autori koostatud