Tallinna CO2 jalajälje hindamine ja ettepanekud selle vähendamiseks

Assessment of Tallinn's CO2 footprint and proposals to reduce it

Projekt

Üliõpilane: Vladislav Karpovitš, Aleksandra Kroon, Sander Lillepea, Georgi Arefjev

Üliõpilaskood: 243649EACB, 250783EACB,232701EACB, 252352EACB

Juhendaja: Janika Laht, TalTech

Tallinn 2025

SISUKORD

SISUKORD *2*

SISSEJUHATUS *4*

1 PROJEKTI KIRJELDUS *6*

1.1 Koostöö Tallinna linna ja KOV-i spetsialistidega 6

1.2 Projekti eesmärk 7

1.3 Projektis käsitletavad ülesanded 7

1.3.1 Algandmete kogumine ja analüüs 7

1.3.2 Simulatsiooniplatvormi ülesehitus 7

1.3.3 Poliitikastsenaariumide valik 7

1.3.4 Poliitikate rakendumise loogika simulaatoris 8

1.4 Projekti praktiline väljund ja oodatavad tulemused 8

1.5 Projekti olulisus Tallinnale ja riiklikule kliimapoliitikale 9

2 KIRJANDUSE ÜLEVAADE *10*

2.1 Tallinna linna ülevaade 10

2.2 CO_2 - jalajälje määratlus, olulisus, ekvivalendi selgitus, arvutamise alused ja selle hindamine 12

2.3 Poliitikad transpordisektori CO_2-jalajälje vähendamiseks - ülevaade ja rahvusvahelised näited 15

3 METOODIKA *20*

3.1 Uuringu metoodiline raamistik 20

3.2 Kasutatud andmestik 20

3.3 Baasstsenaariumi koostamine 21

3.4 Simuleeritavad poliitikastsenaariumid ja nende erinevus baassstsenaariumist 21

3.5 Riskianalüüs 23

3.6 Tegevuskava 26

4 PRAKTILINE OSA *29*

4.1 Poliitikate jõustumine simulaatoris 30

5 TULEMUSED JA JÄRELDUSED *31*

5.1 Süsinikneutraalse transpordi osakaalu suurenemine **31**
5.2 TLT busside üleminek diislilt gaasile **32**
5.3 Eratranspordi üleminek süsinikneutraalsele kütusele **33**
6 JÄRELDUSED JA SOOVITUSED ***35***
6.1 Süsinikneutraalse transpordi osakaalu suurenemine **35**
6.2 TLT busside üleminek diislilt gaasile **35**
6.3 Eratranspordi üleminek süsinikneutraalsele kütusele **36**
6.4 Simulaatori tugevused ja piirangud **36**
KASUTATUD ALLIKAD ***38***

SISSEJUHATUS

Viimastel kümnenditel on kliimamuutused tõusnud üheks keskseks väljakutseks, millega riigid, linnad ja kohalikud omavalitsused kogu maailmas peavad tegelema. Linnad vastutavad ligikaudu 70% globaalsest CO_2 heitest, mis tähendab, et just kohalikul tasandil tehtavad otsused mõjutavad oluliselt nii riiklikku kui ka rahvusvahelist kliimapoliitikat. [1] Kliimamuutuste mõju on muutunud üha nähtavamaks: ekstreemsed ilmastikunähtused, üleujutused, põuad, tormid, troopikavöötme nihkumine, merepinna tõus ja ökosüsteemide tasakaalu muutumine mõjutavad nii inimeste elukvaliteeti kui ka majandusstruktuure. Rahvusvahelised kliimateadlased on korduvalt rõhutanud, et ülemaailmne temperatuuritõus tuleks piirata 1,5 °C juurde, kuid selle eesmärgi saavutamise eelduseks on kiire ja ulatuslik CO_2 heitkoguste vähendamine. [7]

Eesti kontekstis mängib Tallinna linn erilise strateegilise rolli: tegemist on riigi suurima asustusüksusega, rahvusvahelise transpordisõlmega ning majandusliku keskusega, kus elab üle kolmandiku Eesti elanikkonnast. [2] Seetõttu on Tallinna süsinikujalajälje mõistmine ja vähendamine otsustava tähtsusega kogu Eesti kliimaeesmärkide saavutamisel. Tallinn on viimastel aastatel aktiivselt arendanud rohepöörde poliitikaid, seadnud sihte kliimaneutraalsuse poole ning liitunud mitmete rahvusvaheliste algatustega, nagu EU Mission: 100 Climate-Neutral and Smart Cities by 2030. [3] [4] Samas seisab linn silmitsi mitme süsteemse väljakutsega: transpordi- ja energiasektori heitmed, hoonete madal energiatõhusus, kiiresti kasvav linnastumine, tarbimismustrite muutused ning prügimajanduse surve. Nende tegurite koosmõju tingib vajaduse teaduspõhise, täpse ja regulaarselt uuendatava CO_2 jalajälje hindamise järele, mis võimaldab teha strateegilisi otsuseid nii lühi- kui pikaajalises vaates. [5] [6] [3]

Transpordisektoril on kliimamuutuste kontekstis eriline tähtsus, kuna see on üks kiiremini kasvavaid CO_2 heitmete allikaid nii globaalsel kui ka kohaliku tasandi lõikes. Lisaks CO_2 heitele põhjustab transpordisektor ka olulist õhukvaliteedi halvenemist suurtes linnades, mõjutades otseselt elanike tervist ja linnaökosüsteeme. Euroopa Keskkonnaameti raportid rõhutavad, et Euroopa Liidus pärineb ligikaudu 25% kõigist kasvuhoonegaaside heitmetest transpordist, kusjuures maismaatransport (eelkõige sõiduautod) annab nendest enamiku.

Tallinna puhul omab transpordisektor eriliselt suurt rolli, kuna linn on tiheda asustusega ja tugeva pendelrändega piirkond, kuhu saabub igapäevaselt kümneid tuhandeid inimesi nii Harju- kui ka kaugematest maakondadest. [8] See suurendab liiklusintensiivsust, energiatarbimist ja heidet. Tallinna kliimakava andmetel on transpordisektor üks linna suurimaid CO_2 emissiooniallikaid, mis moodustab 37% CO_2 heitest, millele lisandub väljakutse autostumise kasvutrendi näol. Sellest tulenevalt on transpordisektori

süsinikujalajälje täpne hindamine ja modelleerimine kriitilise tähtsusega, et kujundada tõhusaid meetmeid - näiteks ühistranspordi elektrifitseerimine, liikuvuse ümberkorraldamine, jalgratta- ja kergliiklusteede laiendamine ning autostumise vähendamine. [6]

1 PROJEKTI KIRJELDUS

1.1 Koostöö Tallinna linna ja KOV-i spetsialistidega

Projekti ettevalmistus ja metoodiline ülesehitus toimus tihedas koostöös Tallinna linna Keskkonna- ja Kommunaalameti ning teiste kohaliku omavalitsuse (KOV) valdkondlike spetsialistidega. Koostöö eesmärk oli tagada, et töös kasutatav andmestik, poliitikavalikud ja simulatsioonistsenaariumid oleksid kooskõlas Tallinna strateegiliste arengudokumentide, kliimaeesmärkide ning tegelike transpordipoliitikate suunaga.

KOV-i esindajad jagasid projektile detailseid andmeid Tallinna transpordisektori struktuuri, sõidukipargi koosseisu, ühistranspordi energiakasutuse ja olemasolevate rohepöörde meetmete kohta. Need andmed kujunesid simulatsioonimudeli üheks keskseks sisendiks ja võimaldasid koostada realistse baasstsenaariumi Tallinna tegelikust olukorrast.

Koostöö käigus toimus mitu töökoosolekut, kus arutati:

- millised poliitikad on Tallinna linnas juba käimas
- millised tulevikustsenaariumid on linnale strateegiliselt olulised
- millised poliitilised sekkumised võiksid anda suurima potentsiaali CO_2 emissioonide vähendamiseks
- milliseid andmeid linnaasutused ise kasutavad otsuste tegemisel ning millised näitajad tuleks kindlasti mudelis arvesse võtta.

KOV-i spetsialistid andsid tagasisidet ka simuleeritavatele stsenaariumidele ning kinnitasid kolme poliitikavaliku – modal shift, TLT diiselbusside asendamine gaasibussidega ning erasõidukite elektrifitseerimine – olulisust Tallinna kliimaneutraalsuse eesmärgi seisukohalt. Nende sisend aitas tagada, et simulatsioon ei oleks pelgalt teoreetiline, vaid vastaks linna reaalsele kontekstile ja vajadustele.

Samuti väljendas Tallinna linn selget huvi projekti tulemuste vastu, kuna simulatsioon võimaldab hinnata erinevate poliitikameetmete pikaajalist mõju enne nende rakendamist. Linn rõhutas, et teaduspõhised analüüsid on vajalikud, et vältida üleinvesteerimist, hinnata meetmete kulutõhusust ning tagada, et transpordisektori areng liigub kooskõlas Tallinna kliima- ja energiakava eesmärkidega.

1.2 Projekti eesmärk

Projekti eesmärk on simuleerida ja hinnata erinevate transpordipoliitikate mõju Tallinna transpordisektori süsinikujalajäljele ning teha kindlaks, millised sekkumised aitavad kõige tõhusamalt vähendada CO_2 emissioone nii lühemas (kuni 2030) kui pikemas perspektiivis (kuni 2050).

Projekti keskne ülesanne on luua täpne ja andmepõhine transpordisektori mudel, mis arvestab Tallinna liikumismustreid, sõidukipargi koosseisu, kütusetarbimist ning elanikkonna käitumist. Sellele mudelile rakendatakse erinevaid poliitikamuutusi, mille mõju hinnatakse kvantitatiivselt CO_2 emissioonide vähenemise alusel.

1.3 Projektis käsitletavad ülesanded

1.3.1 Algandmete kogumine ja analüüs

Projekti tarbeks koguti Tallinna transpordisektorit iseloomustavad andmed, sealhulgas:

- erasõidukite arv ja kütusetüübid,
- kaubaveo sõidukite arv (HDV, N-kategooria),
- TLT bussipargi koosseis ja kütusetüübid,
- tallinlaste igapäevased liikumisviisid (auto, ühistransport, jalgratas, jalgsi),
- keskmine päevane liikumiskaugus,
- sõidukite keskmine kütusekulu,
- Euroopa Liidu CO_2 emissioonistandardid,
- Tallinna populatsioon.

1.3.2 Simulatsiooniplatvormi ülesehitus

Simulatsioon võimaldab muuta sisendparameetreid ja hinnata nende mõju kogu transpordisektori CO_2 emissioonidele. Mudel arvutab:

- aastase sõidumahu (vehicle-km ja person-km),
- energiatarbimise kütusetüüpide kaupa,
- CO_2 emissioonid vastavalt EL emissioonifaktoritele,
- poliitikamuutuste kumulatiivse mõju aastate lõikes.

1.3.3 Poliitikastsenaariumide valik

Tallinna linna soovil modelleeriti kolme peamist poliitikameedet:

1. Süsinikneutraalse transpordi osakaalu suurendamine
    - Üleminek auto/ühistranspordilt jalgrattale
    - Poliitika: *Modal Shift Policy*
2. TLT bussipargi üleminek diislilt biometaanile
    - Vastab TLT 2030 plaanile
    - Poliitikad: *Transition to low/zero carbon fuels* ja *RES share increase*
3. Eratranspordi elektrifitseerimine
    - Sisepõlemismootorid → elektrisõidukid
    - Poliitika: *Transition to low and zero carbon fuels*

Iga poliitika mõju simuleeriti aastani 2050 ning analüüsiti nii lühiajalist kui pikaajalist CO_2 kokkuhoidu.

1.3.4 Poliitikate rakendumise loogika simulaatoris

Iga stsenaariumi puhul:

1. Muudeti vastavat sisendparameetrit (nt EV-de osakaalu tõus, jalgrattakasutuse kasv, diiselbusside asendamine).
2. Arvutati liiklusmaht ümber.
3. Arvutati energiatarbimine vastavalt uuele sõidukipargile või liikumisvalikutele.
4. Arvutati CO_2 emissioonid.
5. Tulemused kajastati:
    - tonni CO_2 säästetud aastas (% kasvu kohta),
    - akumuleeritud CO_2 vähenemine kuni 2050,
    - graafiline võrdlus baasstsenaariumiga.

1.4 Projekti praktiline väljund ja oodatavad tulemused

Projekt annab Tallinna linnale järgmised tulemused:

- selge ülevaade kolme transpordipoliitika mõjust linna CO_2 heitmetele;
- kvantitatiivne hinnang säästetud CO_2 kogustele (tonni/aastas);
- võrdlus, milline poliitika annab suurima kasu;
- pikaajaline prognoos aastani 2050, sh poliitikate kumulatiivne mõju;
- visuaalsed graafikud ja tabelid, mis sobivad Tallinna KOV-i otsustusprotsessidesse;
- põhjendatud poliitikasoovitused, mis arvestavad nii Tallinna reaalset olukorda kui ulatuslikke rohepöörde eesmärke.

1.5 Projekti olulisus Tallinnale ja riiklikule kliimapoliitikale

Projekti tulemused aitavad:

- vähendada ühe Tallinna suurima emissioonisektori - transpordi - CO_2 jalajälge;
- hinnata kolme strateegia mõju enne nende rakendamist (riskide vältimine);
- luua teaduspõhine alus poliitilisteks otsusteks;
- toetada Tallinna eesmärki jõuda kliimaneutraalsuseni 2030–2050;
- panustada Eesti riikliku kliimapoliitika täitmisesse.

2 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

2.1 Tallinna linna ülevaade

Projekti raames keskendume Tallinna linna kohaliku omavalitsuse (KOV) transpordisektori CO_2 jalajälje hindamisele, kuna transport on üks olulisemaid heiteallikaid nii Tallinnas kui ka kogu Eesti kontekstis.

Viimastel aastatel on Tallinna transpordikäitumises toimunud märkimisväärsed muutused, mida on mõjutanud nii linna strateegilised eesmärgid kliimaneutraalsuse suunas liikumisel, rohepöörde poliitikad kui ka kasvav surve vähendada keskkonnamõjusid. Autostumise kasv, linnastumine ja liikluskoormus seavad Tallinna KOV-ile vajaduse otsida tõhusaid lahendusi nii logistilise toimivuse parandamiseks kui ka CO_2 heitmete vähendamiseks. [3]

Käesolev projekt aitab Tallinna linnal paremini mõista transpordisektori heitemustreid, hinnata olemasolevate liikuvusmeetmete tõhusust ning töötada välja andmepõhiseid lahendusi, mis toetaksid keskkonnasäästlikku ja jätkusuutlikku linnaliikuvust. Transpordisektori analüüs on Tallinna KOV-i jaoks strateegiliselt oluline, kuna just siin tekivad suured heitemahud, samal ajal kui muudatused toovad kaasa kõige vahetuma ja mõõdetavama mõju linna kliimaeesmärkide saavutamisele.

Aasta 2024 alguse seisuga elab Tallinnas 457 572 inimest, mis kinnitab linna jätkuvat positsiooni Eesti suurima ja kiireimini kasvava linnalise keskuse rollis. Võrreldes eelneva aastaga suurenes elanikkond 3 708 inimese võrra, peamiselt sisserände mõjul. Kokku moodustab see ligikaudu 1% aastase kasvutempo, mis viitab stabiilsele ja mõõdukale demograafilisele arengule. [2] Tallinna rahvastikustruktuur mõjutab otseselt linna majandus- ja taristuvajadusi ning loob baasi pikaajaliste arengustrateegiate kujundamiseks.

Tallinna liikuvusmustrid näitavad, et transpordisektor mängib linna arengus ja keskkonnamõjus väga olulist rolli. Igapäevaselt kasutab tööle sõitmiseks isiklikku sõiduautot 39% Tallinna elanikest, mis tähendab ligikaudu 179 935 sõitjate arv iga päev linnaliikluses. [16] Selline autokeskne liikuvuskäitumine tekitab märkimisväärset koormust nii transpordivõrgule kui ka linnakeskkonnale tervikuna: suureneb vajadus parkimiskohtade järele, kasvab ummikute oht ning suureneb transpordiga seotud CO_2 heitmete maht. Samal ajal tehakse Tallinnas päevas kokku 329 846 erasõitu, mille kütusetüüpide jaotus näitab linna transpordisüsteemi fossiilkütustest tugevat sõltuvust: 51,60% sõidukitest kasutab bensiini, 45,85% diislikütust, 2,11% elektrit ja 0,45% gaasi. [17] Selline struktuur rõhutab vajadust liikuda järk-järgult puhtamate ja energiatõhusamate transpordiviiside suunas.

Tallinna ühistranspordivõrk on ulatuslik ja igapäevaseks liikumiseks keskse tähtsusega. Linnas on kasutusel 557 bussi ja 65 trammi, mis moodustavad suure osa ühistranspordi kandvast võimekusest. [18] Ühistransporti kasutab igapäevaselt ligikaudu 61% elanikest, mis peegeldab Tallinna tugevat positsiooni ühistranspordikeskse linnana. [16] See omakorda tähendab, et transpordisektori heitmete vähendamine sõltub suurel määral linna võimest suurendada ühistranspordi ja aktiivsete liikumisviiside atraktiivsust ning mugavust.

Tallinna transpordi- ja liikuvusmustrite analüüs on hädavajalik, kuna transpordisektor moodustab olulise osa linna CO_2 jalajäljest ning mõjutab otseselt nii õhukvaliteeti, energiatarbimist, mürareostust kui ka elukeskkonna kvaliteeti. Kõrge autokasutuse tase, fossiilkütustest sõltuv sõidukipark loovad keeruka väljakutsete süsteemi, millega linn peab tegelema, et saavutada seatud kliimaeesmärgid ja liikuda jätkusuutlikuma linnaruumi suunas. [6]

2.2 CO_2 - jalajälje määratlus, olulisus, ekvivalendi selgitus, arvutamise alused ja selle hindamine

Süsiniku jalajälg, süsinikdioksiidi (CO2) heitkoguste hulk, mis on seotud isiku või muu üksuse (nt hoone, ettevõtte, riigi jne) kõigi tegevustega. See hõlmab otseseid heitkoguseid, näiteks neid, mis tulenevad fossiilkütuste põletamisest tootmises, küttes ja transpordis, samuti heitkoguseid, mis on vajalikud tarbitavate kaupade ja teenustega seotud elektri tootmiseks. Lisaks hõlmab süsiniku jalajälje kontseptsioon sageli ka teiste kasvuhoonegaaside, näiteks metaani, dilämmastikoksiidi või klorofluorosüsivesinike (CFC-de) heitkoguseid. [9]

Süsiniku jalajälg on oluline, sest see mõõdab meie tegevuse põhjustatud kasvuhoonegaaside koguheidet, pakkudes olulist mõõdikut meie panuse mõistmiseks ja leevendamiseks kliimamuutustesse. Oma süsiniku jalajälje jälgimise ja vähendamise abil saame vähendada oma mõju planeedile, säilitades seda tulevastele põlvedele ning edendades jätkusuutlikumat ja õiglasemat maailma.

Eriti Tallinna kontektis on transpordisektor suur CO_2 allikas, mõjutades nii õhukvaliteeti kui ka riiklikke kliimaeesmärke. 2023. aastal oli transpordisektori kasvuhoonegaaside heide 2650,16 kt CO2 ekvivalenti. Transpordisektori osakaal energiasektoris oli 30,29% ja ligikaudu 24,42% kasvuhoonegaaside koguheitest (ilma LULUCF-i arvestamata) 2023. aastal. [11]

CO_2 ekvivalent (CO_2 ekv) on mõõtühik, mis võimaldab väljendada erinevate kasvuhoonegaaside (nt metaan ja dilämmastikoksiid) mõju ühes mõõtkavas, võrreldes neid süsinikdioksiidiga (CO_2). Kasvuhoonegaasidel on erinev globaalne soojendamise potentsiaal (GWP), mis tähendab, et iga gaas mõjutab kliima soojenemist erineval määral. CO_2 ekv kasutamine võimaldab arvutada kogu mõju, koondades kõik gaasid ühtseks väärtuseks, mis väljendab nende kumulatiivset mõju kliimale. [10]

CO_2 - jalajälje saab hinnata erineva tasandi järgi:

1. Individuaalne süsiniku jalajälg

See põhineb inimese tarbimisharjumustel ja võtab arvesse tema transpordivahenditega seotud kasvuhoonegaaside heitkoguseid, elektri tarbimist kodus kütmiseks ja jahutamiseks, toitumisharjumusi ja kaupade tarbimist.

2.Toote jalajälg

See hõlmab kasvuhoonegaaside heitkoguseid tooraine kaevandamise, tootmisprotsessi, vajaliku energia tootmise, etappidevahelise transpordi, kliendipoolse kasutamise ja jäätmekäitluse etappidel.

3. Ettevõtte jalajälg

See hõlmab ettevõtte või organisatsiooni tegevusega seotud kasvuhoonegaaside heitkoguste inventuuri. See aitab tuvastada energiatõhususe meetmeid organisatsioonis, samuti meetmeid koos teiste sektori ettevõtetega. [12]

Ulatused (vastavalt GHG Protokollile [13])

1. ulatuse heitkogused

1. ulatus hõlmab heitkoguseid allikatest, mida organisatsioon omab või kontrollib otseselt – näiteks kütuse põletamisest meie sõidukipargis (kui need ei ole elektrilised).

2. ulatuse heitkogused

2. ulatus on heitkogused, mida ettevõte põhjustab kaudselt ja mis pärinevad kohast, kus toodetakse tema ostetud ja kasutatavat energiat. Näiteks kuuluvad sellesse kategooriasse heitkogused, mis tekivad meie hoonetes kasutatava elektri tootmisel.

3. ulatuse heitkogused

3. ulatus hõlmab heitkoguseid, mida ei tooda ettevõte ise ja mis ei ole tema omanduses või kontrolli all olevate varade tegevuse tulemus, vaid need, mille eest ta kaudselt vastutab oma väärtusahelas. Näiteks on see, kui me ostame, kasutame ja utiliseerime tarnijatelt tooteid. 3. ulatuse heitkogused hõlmavad kõiki allikaid, mis ei kuulu 1. ja 2. ulatuse piiridesse.

CO_2-jalajälje arvutamiseks on vaja kvalitatiivseid ja kvantitatiivseid andmeid, näiteks:

1. Energiatarbimine: kWh, liitrid kütust.
2. Kütusetüüp: bensiin, diisel, maagaas, elekter, biokütus.
3. Sõidukite arv ja kategooria (eraautod, ühistransport, kaubaveo sõidukid).
4. Läbitud distantsid: km aastas või person-km.
5. Emissioonitegurid: t CO_2e liitri või kWh kohta (EL standardid või IPCC andmed).
6. Populatsioon või töötajate arv (kui arvutatakse kogujalajälge).

CO_2-emissiooni arvutamise põhiline valem:

$$CO_2\ heide\ (t) = aktiivsuse\ andmed * emissioonitegur \quad (3.1)$$

Näiteks sõidukite heited:

$$CO_2\ = läbitud\ km * \frac{liitrite\ arv\ kütust}{100\ km} * CO_2\ emissionitegur\ (t/l) \quad (3.2)$$

CO_2-ekvivalent arvutab ka teised kasvuhoonegaasid, korrutades need nende globaalsoojenduse potentsiaaliga (GWP). Näiteks: CH_4 × 28, N_2O × 265. [14]

Üksikisiku või organisatsiooni süsiniku jalajälge mõjutavad mitmed võtmetegurid. Energiatarbimine on üks olulise maid tegureid, kusjuures fossiilkütuste põletamine elektri, kütte ja transpordi jaoks eraldab märkimisväärses koguses CO2. Transporditegevus, sealhulgas autode, veoautode, laevade ja lennukite kasutamine, suurendab jalajälge kütusekasutuse tõttu. Tööstusprotsessid, näiteks tsemendi ja terase tootmine, tekitavad samuti suures koguses kasvuhoonegaase. Lisaks aitab jäätmeteke kaasa heitkogustele orgaaniliste jäätmete lagunemise kaudu prügilates, mis tekitab metaani, mis on tugev kasvuhoonegaas. Eluviisivalikud, sealhulgas toitumisharjumused, reisimine ja tarbimisharjumused, mõjutavad veelgi üldist heitkogust, kusjuures sellised tegevused nagu toidu ja kaupade tootmine ja tarbimine mängivad olulist rolli. [15]

2.3 Poliitikad transpordisektori CO_2-jalajälje vähendamiseks - ülevaade ja rahvusvahelised näited

Transpordi dekarboniseerimine nõuab kombineeritud poliitikapaketti, mis ühendab liikumisharjumuste muutmise, tehnoloogilise ümberkujundamise, hinnapõhised ja regulatiivsed meetmed ning sihipärase infrastruktuuriinvesteeringu, üksikutest meetmetest harva piisab, pigem toimivad nad sünergias.

Peamised poliitikad ja rakendusloogikad

Transpordiviisi muutmine (Modal shift) - eesmärk on vähendada erasõidukite (ICE-auto) kasutust ning suunata reisimist madala emissiooniga alternatiividele nagu ühistransport, jalgrattad ja kõndimine.

Uuringu tulemused näitavad, et jalgrattasõit ei ole lihtsalt lisanduv liikumisviis, vaid otsene asendus mootorsõidukitele, mis vähendab märkimisväärselt päevaste liikumiste CO_2 jalajälge. Seetõttu peab poliitika keskenduma tingimuste loomisele, mis muudavad jalgrattasõidu igapäevaelus mugavaks, ohutuks ja kättesaadavaks.

Poliitiline sekkumine on seni aidanud suunata tähelepanu töö- ja haridusreisidelt ka isiklikele sõitudele, mis moodustavad suure osa lühikestest, kuid CO_2 intensiivsetest liikumistest. Just siin avaneb kõige suurem potentsiaal, sest lühikesed ostu-, vaba aja- ja muud isiklikud sõidud on jalgrattale üleminekuks kõige sobivamad. Uuringu rakendusloogika tugineb igapäevaste liikumiste detailsele analüüsile: koguti mahukas hulk reisiandmeid, hinnati sõidukite ja kütuste eluetsüklipõhiseid emissioone ning võrreldi eri liikumisviiside mõju.

Selle põhjal on võimalik kujundada tõenduspõhist poliitikat, mis julgustab inimesi tegema ühe autosõidu vähem ja ühe jalgrattasõidu rohkem - samm, mis vähendab transpordi eluetsükli CO_2 heidet koguni 67%. Uuring näitab, et kui 10% elanikkonnast asendaks ühe autotasandiga reisi jalgrattaga, väheneks asjakohane heide umbes 10%, mis kinnitab poliitikameetmete suurt potentsiaali. Lisaks näitab analüüs, et just sagedasem jalgrattasõit – näiteks kolm või enam korda päevas – kärbib töö- ja haridusreiside heidet lausa 78%, tõestades tööle ja kooli rattaga liikumise programmide tõhusust. [19]

Uuring näitab, et autosektori süsinikheidete trajektoor on hetkel selgelt vastuolus Paris Agreement eesmärkidega: suur osa heidetest pärineb endiselt fossiilsetel sisepõlemismootoritel (ICE) töötavatest sõidukitest.

Põhipoliitiliseks järelduseks on, et kõige tõhusam strateegia autotranspordi dekarboniseerimiseks kombineerib kiiret elektrifitseerimist uute autode puhul ja jääkandevuse vähendamist ning fossiilkütuste asendamist alternatiivkütustega olemasolevate ICE-sõidukite puhul.

See poliitika aitab mitmel moel:

- Uute elektrisõidukite (EV) müügi kiire soodustamine vähendab tulevaste sõidukite kasvu CO_2-jalajäljega.
- Alternatiivsete kütuste (nt biopõhised või jätkusuutlikud vedelkütused) kasutuselevõtt võimaldab vähendada heitmeid ka seni ringluses olevatest ICE-sõidukitest, mis ei asendu kohe EV-dega.
- Koos vähendatud sõidukipargi kasvuga (nt piirates uute autode arvu või edendades sõidukite jagamist) väheneb kogu maailma autopargi CO_2-heide selgelt aitab hoida transpordisektori süsinik eelarves vastavuses kliimaeesmärkidega.

Rakendusloogika põhineb elutsükli analüüsil (LCA tootmine, kasutus, energiaallikas), regionaalsel adekvaatsusel ja prognoosidel: mudeldati erinevaid stsenaariume, kus muudetakse EV-de osakaalu, elektrivõrkude dekarboniseerimise kiirust ja alternatiivkütuste kasutuselevõttu. [20]

Sellepärast peab poliitika sekkumine olema mitmetahuline ja tehnoloogiliselt avatud: seadusandlus, mis toetab elektrisõidukite kiiret levikut, samal ajal julgustades alternatiivkütuste tootmist ja kasutamist ning arvestades energiatransitsiooni (rohelektri) ning infrastruktuuri.

Hinnapõhised ja regulatiivsed meetmed - need muudavad autokasutuse kulukamaks või piiravad selle juurdepääsu (nt congestion charging, parkimistasude tõstmine, madala emissiooniga tsoonid), luues majandusliku stiimuli valida alternatiivid.

Rahvusvahelised juhtumid näitavad, et nõudluse juhtimine teehinnastuse abil võib vähendada ummikuid ja kiirendada modal shift'i, kui samal ajal on olemas usaldusväärne ühistransport.

London Congestion Charge on hinnapõhine poliitikameede, mille eesmärk on vähendada mootorsõidukite liikluskoormust Londoni kesklinnas, parandada õhukvaliteeti ja suunata inimesi säästvamate liikumisviiside poole. Süsteem nõuab autojuhtidelt tasu - umbes £15 päevas, kui nad sisenevad määratud tasulisse tsooni tipptundidel. Maks toimib käitumist mõjutava majandusliku signaalina: mida kallim on autokasutus kesklinnas, seda suurem

on tõenäosus, et inimesed otsustavad liikuda ühistranspordiga, jalgrattaga, jalgsi või kombineeritud liikumisviisidega. Meetme tulemusena on London näinud märgatavat liiklustiheduse vähenemist, mis omakorda on lühendanud sõiduaegu ning parandanud linnakeskkonna elukvaliteeti. [21]

Integreeritud planeerimine ja MaaS (Mobility as a Service) - liikuvus teenusena (MaaS) integreerib erinevad transpordiliigid ja transpordiga seotud teenused üheks terviklikuks ja tellitavaks liikuvusteenuseks. MaaS pakub lõppkasutajatele lisaväärtust, pakkudes liikuvusele juurdepääsu ühe rakenduse ja ühe maksekanali kaudu (mitme piletimüügi ja maksetoimingu asemel). Kliendi soovi rahuldamiseks pakub MaaS-i operaator mitmekesist transpordivõimaluste menüüd, sealhulgas (kuid mitte ainult) ühistransporti, aktiivseid transpordiliike, nagu kõndimine ja jalgrattasõit, sõiduauto/ratta/jalgratta jagamine, takso ning autorenti või -liisimist või nende kombinatsiooni. [22]

Luxembourg - riiklik tasuta ühistransport + multimodaalne infrastruktuur

Alates 1. märtsist 2020 on kogu Luksemburgis ühistransport tasuta kõigis transpordiliikides – trammides, rongides ja bussides. Skeem kehtib nii elanikele, kui ka turistidele.

Asepeaminister François Bausch rõhutab, et ühistranspordi atraktiivsuse suurendamiseks on hädavajalik järjepidev ja süsteemne investeerimine. Teenuse valik, täpsus ja kvaliteet on võtmetegurid inimeste liikumisharjumuste muutmisel ning nende motiveerimisel loobuma eraautodest ja eelistama ühistransporti.

Nende eesmärkide saavutamine on võimalik üksnes läbi multimodaalse transpordikontseptsiooni. Pärast planeerimisfaasi on enamik selle kontseptsiooni projekte välja töötamisel või juba elluviimisel. Nende hulka kuuluvad riikliku raudteevõrgu süsteemne laiendamine, P+R-parklate arvu kahekordistamine - eriti piirialadel, et 200 000 igapäevasel pendelrändajal oleks mugav ühendus –, reaalajas reisijate teabe pakkumine, riikliku bussivõrgu täielik ümberkorraldamine ja bussipargi üleviimine alternatiivsetele jõuallikatele aastaks 2030, elektriautode laadimispunktide arvu kasvatamine üle riigi 1600 ühikuni 2020. aasta lõpuks, sidusa rattateede võrgustiku arendamine, regionaaltrammi laiendamine ning tulevikus kolmanda sõiduraja kasutamine kiirteedel ühissõidukiradade ja busside tarbeks. [23]

Hindamisuuringud näitavad, et tasuta ühistransport on toonud kaasa statistiliselt mõõdetava käitumusliku muutuse ja on seotud teatud liiklusmahtude vähenemise ning ühistranspordi kasutuse suurenemisega.

Ühistranspordi infrastruktuuri laiendamine ja moderniseerimine (Rail + Tram Expansion) Tasuta transpordile lisaks tehti mahukaid infrastruktuuriinvesteeringuid, mis on poliitika tõhususe seisukohalt otsustava tähtsusega. Need hõlmavad:

riikliku raudteevõrgu võimsuse strateegiline suurendamine,

trammi laiendamine (2017–2022 pidev kasv: 8 → 17 peatust; 10 km liini),

plaan 3 lisatrammiliiniks aastaks 2035,

bus network reform ja teenuse kvaliteedi tõstmine.

Need investeeringud loovad tasuta transpordi poliitikale tegeliku toimivuse, sest kasutajate kasv eeldab suuremat mahtu, tihedust ja kvaliteeti.

Piiriülene ja multimodaalne liikuvus (Multimodal Strategy + Cross-Border Measures)

Arvestades, et 200 000 inimest pendeldab igapäevaselt naaberriikidest Luksemburgi, keskendub poliitika ka:

P+R (Park-and-Ride) parklate suurendamisele, eriti piirialadel,

soodsamatele piiriülestele piletitele (naaberriikidega kokkulepped),

mitmeliigilise transpordi (buss + rong + tramm + jalgratas) sidususe parandamisele,

eesmärgile transportida 20% rohkem inimesi 2025. aastaks, samal ajal vähendades tipptunni ummikuid. [24]

Helsinki — MaaS ja integreeritud mobiilsus kui jätkusuutlik strateegia

Helsinki metropolipiirkonnas on MaaS (Mobility-as-a-Service) rakendunud eelkõige läbi Whim-rakenduse, mis käivitati 2016. aastal ja sai kommertsliku lanseerimise 2017. aasta novembris. Whim ühendab ühistranspordi, rattaringluse, taksod, autorendi ja ühiskasutatavad sõidukid ühte rakendusse, võimaldades kasutajal planeerida, valida liikumisviisi ja maksta kogu reisi eest ühe platvormi kaudu. [25] [26]

Praegu on Helsingi MaaS-teenusel 45 000 kasutajat, kellest 5100 maksavad kuutasu. Teenusepakkuja Whimi sõnul oleks teenusepakkuja rahaliselt tasuv, kui 3–5% piirkonna elanikkonnast kasutaks kuutasu. See oleks umbes 60 000 igakuist kasutajat ja selle arvu juures saaks Whim osta teenusepakkujatelt transporditeenuseid hulgi ja seejärel need individuaalsetele klientidele pakkuda. [27]

MaaS-i edu Helsingis sõltus tugevalt avaliku ja erasektori koostööst: HSL (kohalik ühistranspordi haldusorganisatsioon) võimaldas ligipääsu transporditeenuste andmetele ja maksesüsteemidele, samal ajal kui erasektor arendas rakenduse ja teenused [28].

Oluline oli ka olemasolev infrastruktuur, mis hõlmas busse, ronge, tramme, rattaringlust ja autorendi teenuseid, vähendades takistusi MaaS-i kasutuselevõtuks. Lisaks mängis avalik sektor määravat rolli regulatiivsete ja seadusandlike meetmete kaudu, võimaldades eri transporditeenuseid integreerida ühte süsteemi Whim ja MaaS-lahendused Helsingis näitavad, et tehnoloogia üksi ei taga edukust — edu saavutamiseks on vajalik tugev avalik poliitika, sidusrühmade koordineerimine ja integreeritud teenuste pakkumine. Sellised lahendused aitavad vähendada autostumist, tipptunni ummikuid ja CO_2 heidet ning soodustavad linnaplaneerimise ja liikuvuspoliitika jätkusuutlikku arengut.

Singapur — nõudluse juhtimine (Area Licensing Scheme → ERP), CO_2 ja ummikute vähendamine

Singapur on üks maailma esimesi ja edukamaid riike, kes rakendas süsteemset nõudluspõhist liiklusjuhtimist, et vähendada autokasutust, ummikuid ja sellega seotud CO_2 heidet. Juba 1975. aastal kasutusele võetud Area Licensing Scheme (ALS) oli maailma esimene tasulise ummikumaksu süsteem. [29]

ERP on tõestanud, et see vähendab oluliselt kitsaskohti. Tipptundidel kulude strateegiline tõstmine hoiab ära mittevajalike sõidukite ülekoormamise olulistel teedel. Andmed näitavad, et liikluskiirused on märgatavalt paranenud – ideaalne pendeldajatele, kes peavad omavahel tihedas ajakavas toime tulema. [30]

Seevastu teises aruandes märgiti, et liiklus vähenes tipptundidel ligi 25 000 sõiduki võrra, kusjuures keskmine kiirus maanteel suurenes umbes 20%. [31]

Kokkuvõttes näitab Singapuri kogemus, et hinnapõhine nõudluse juhtimine, toetatud tugeva ühistranspordisüsteemi ja MaaS-lahendustega, võib väga tõhusalt vähendada autostumist, CO_2 heidet ja ummikuid ning suunata inimesi säästlikumate liikumisviiside kasutamisele.

3 METOODIKA

3.1 Uuringu metoodiline raamistik

Projekti eesmärk on hinnata erinevate transpordipoliitikate mõju Tallinna transpordisektori CO_2 heitetele ajavahemikus 2025–2050. Kuna transpordisektor moodustab olulise osa Tallinna kasvuhoonegaaside emissioonidest (ligikaudu 37%) [6] ning linnad vastutavad üle 70% globaalsest CO_2 heitest [1], on detailne modelleerimine kriitilise tähtsusega tõhusate leevendusmeetmete väljatöötamiseks. Metoodika põhineb andmepõhisel simulatsioonil, mis võimaldab hinnata nii lühi- kui pikaajalist mõju kolme valitud poliitikasekkumise puhul.

Simulatsiooniks loodi baasjooneline mudel, mis kirjeldab 2025. aasta Tallinna transpordisektori struktuuri, energiatarbimist ja CO_2 emissioone. Seejärel rakendati baasstsenaariumile erinevaid poliitikamuutusi ning hinnati iga poliitika mõju CO_2 heitmete vähenemisele.

3.2 Kasutatud andmestik

Simulatsioonimudel tugineb Tallinna transpordisektorit iseloomustavatele kvantitatiivsetele andmetele. Mudelisse sisestati järgmised andmed:

1. Tallinnas registreeritud erasõidukite arv
2. Tallinnas registreeritud kaubaveo sõidukite arv (HDV, N-kategooria)
3. TLT ühistranspordi busside arv
4. Erasõidukite kütusetüüpide jaotus: bensiin, diisel, elekter, gaas
5. TLT busside kütusetüüpide jaotus: bensiin, diisel, elekter, gaas
6. Tallinlaste igapäevased liikumisviisid: erasõiduk, ühistransport, jalgratas, jalgsi
7. Keskmine tallinlase liikumiskaugus päevas
8. TLT busside keskmine kütusekulu kütusetüübiti
9. Erasõidukite keskmine kütusekulu kütusetüübiti
10. Euroopa Liidu standardid kütuste CO_2 emissioonifaktorite kohta (t CO_2 / liiter)
11. Tallinna populatsioon

Need andmed võimaldasid arvutada:

- iga transpordiliigi aastase liikluskauguse (person-km ja vehicle-km),
- energiatarbimise (liitrites või kWh),
- kütusetüübipõhised CO_2 emissioonid,

- linna kogutranspordi süsinikujalajälje baasstsenaariumi.

3.3 Baasstsenaariumi koostamine

Baasstsenaarium (Baseline 2025) kirjeldab Tallinna transpordisektori olukorda enne poliitikamuutuste rakendamist. Mudel arvutab:

- sõidukipargi struktuuri (kütusetüübid ja kategooriad),
- liikluskäitumise jaotusprotsendid (auto, ühistransport, jalgratas, jalgsi),
- keskmise aastase läbisõidu liikuvusandmete põhjal,
- kütuse- ja energiatarbimise,
- CO_2 emissioonid EL regulatiivsete emissioonifaktorite põhjal.

3.4 Simuleeritavad poliitikastsenaariumid ja nende erinevus baassstsenaariumist

Tallinna linna eesmärk on jõuda transpordisektoris süsinikuneutraalsuseni aastaks 2050. Selleks määratleti koostöös Tallinna KOViga kolm poliitikastsenaariumi, mis peegeldavad linna strateegilisi suundi ning tegelikke plaane sõidukipargi ja liikuvuskultuuri muutmiseks. Kõik stsenaariumid simuleeriti sõltumatult baasstsenaariumist, mis kirjeldab 2025. aasta transpordisektori olukorda enne poliitilisi sekkumisi.

Baasstsenaarium eeldab, et:

- sõidukipargi kütusetüübid,
- linlaste liikumisviiside osakaal,
- energiatarbimine ja CO_2 emissioonid püsivad 2025. aasta tasemel kogu perioodi vältel. See võimaldab tuvastada poliitikamuutuste kumulatiivse mõju kuni aastani 2050.

Simuleeritud poliitikastsenaariumid olid järgmised:

Stsenaarium 1: Süsinikneutraalse transpordi osakaalu suurenemine

Seotud poliitikad: Modal Shift Policy

Selles stsenaariumis hinnati, milline oleks mõju juhul, kui teatud osa igapäevastest sõitudest liigub üle jalgrattale või teistesse madala CO_2 heitega transpordiviisidesse. Simulaatoris suurendati jalgrattakasutuse osakaalu samm-sammult, vähendades proportsionaalselt:

- erasõidukitega tehtud sõite või

- ühistranspordiga tehtud sõite (analüüsiti eraldi kahte varianti, mis KOVi huvi kohaselt võimaldasid eristada mõju eri sektoritele).

Erinevus baasstsenaariumist seisneb selles, et liikumisviiside jaotus ei jää enam 2025. aasta tasemele, vaid muutub järk-järgult süsinikneutraalsemate valikute kasuks.

Stsenaarium 2: TLT bussipargi üleminek gaasile ja elektrile

Seotud poliitikad: Transition to Low and Zero Carbon Fuels; RES Share Increase

Stsenaarium põhineb Tallinna Linnatranspordi (TLT) ametlikul plaanil asendada kõik diiselbussid gaasi- või elektribussidega aastaks 2030, kusjuures gaasibusside kütus (biometaan) on 84% ulatuses taastuvenergia päritolu.

Modelleeritud muudatused:

- diiselbusside osakaal väheneb nullini,
- gaasibusside osakaal kasvab vastavalt sihile,
- elektribusside osakaal säilitatakse olemasoleval tasemel.

Erinevus baasstsenaariumist tuleneb sellest, et kütusetüüpide struktuur muutub täielikult, mis mõjutab nii energiatarbimist kui ka emissioonitegureid.

Stsenaarium 3: Fossiilkütuste osakaalu vähenemine kogu transpordisektoris

Seotud poliitikad: Transition to Low and Zero Carbon Fuels (2050)

Selles stsenaariumis hinnati, milline oleks mõju siis, kui erasõidukite sisepõlemismootorid (bensiin ja diisel) asenduvad järk-järgult elektrisõidukitega. Simulatsioonis suurendati EV-de osakaalu järjekorras:

- väheneb diiselsõidukite osakaal,
- väheneb bensiinisõidukite osakaal,
- elektrisõidukite osakaal kasvab vastavalt seatud eesmärgile aastaks 2050.

Erinevus baasstsenaariumist seisneb selles, et sõidukipargi kütusetaristu ei ole enam staatiline, vaid liigub progresseeruvalt nullheite tehnoloogiate suunas.

Kõik kolm poliitikastsenaariumi kasutavad sama simulatsiooniloogikat. See tagab võrreldava tulemuse ning võimaldab hinnata poliitikate mõju nii eraldi kui potentsiaalselt kombineeritult.

Simulatsiooniprotsess koosneb viiest järjestikusest etapist:

1. Muutuja muutmine simulatsioonis (poliitika rakendumine)

Iga stsenaarium algab konkreetse sisendmuutuja muutmisest:

- jalgrattakasutuse osakaalu tõus,
- EV-de osakaalu kasv,
- diiselbusside asendamine gaasibussidega.

2. Liikuvuskäitumise ümberjaotus

Muudetud sisendit arvestades arvutab simulaator uuesti:

- person-km (liikumine inimesepõhiselt),
- vehicle-km (sõidukite tegelik läbisõit), mis peegeldab, kuidas liikluskoormus jaguneb ümber uute liikumisvalikute ja sõidukitüüpide vahel.

3. Energiatarbimise ja kütusekulu ümberarvutamine

Uue jaotuse põhjal arvutatakse uuesti:

- bensiinikulu,
- diislikulu,
- gaasikulu,
- elektritarbimine.

4. CO_2 emissioonide ümberhindamine

Kasutades Euroopa Liidu ametlikke emissioonifaktoreid (t CO_2 / liiter või t CO_2 / kWh), määratakse:

- iga kütusetüübi heide,
- sektori koguheide aastas,
- muutus võrreldes baasstsenaariumiga.

5. Tulemite agregeerimine

Simulaator esitab poliitika mõju kolmes mõõtmes:

- CO_2 sääst aastas (tonnides),
- kumulatiivne CO_2 vähenemine aastani 2050,
- suhtarvuline võrdlus baasstsenaariumiga.

3.5 Riskianalüüs

Tabel 1 Projekti riskianalüüs

Riski nimetus	Risk	Tagajärg	Leevendus

Probleemipüstitus on keeruline	Projekti algne eesmärk või fookus ei ole piisavalt selge või on liiga laialivalgu	Analüüs võib minna vales suunas; tulemused ei vasta KOV või juhendaja ootustele.	Täpsustada probleem koos juhendajaga varases faasis; koostada probleemipuu või selge teadusküsimus; kinnitada eesmärgid kirjalikult.
Inimressurss on kättesaamatu	Puuduvad inimesed, kes oskaksid vajalikku infot anda või analüüsi toetada (KOV, TLT, eksperdid).	Projekt venib, olulised andmed jäävad saamata, kvaliteet langeb.	Planeerida intervjuud ja koosolekud varakult; kasutada alternatiivseid allikaid; kaasata ülikooli või väliseksperte.
Lahendus ei ole uuenduslik	Välja töötatud lahendus või analüüs ei paku uut väärtust, kordab olemasolevaid teadmisi.	Projekt ei täida eesmärki ega anna KOV-ile praktilisi sisendeid.	Otsida uusi vaatenurki, kasutada mitut stsenaariumi; kaasata juhendaja tagasisidet regulaarselt; kasutada rahvusvahelisi näiteid.
Töömahu alahindamine	Tegelik analüüsi- ja simulatsioonimaht on suurem kui esialgu hinnati.	Tähtajad nihkuvad, analüüs jääb poolikuks või pealiskaudseks.	Jagada töö osadeks; hinnata realistlikku ajakulu; planeerida lisavaru aega; delegeerida töid meeskonnas.

Vale ajaplaneerimine	Ajakava ei arvesta tegelikke takistusi, puhkuseid, andmete ooteaega jne.	Projekt ei valmi tähtajaks; stress ja töö kvaliteedi langus.	Seada vahetähtajad; kasutada projektikalendrit; jälgida edenemist nädalate kaupa.
Andmetele ligipääs puudub	Mõni vajalik andmestik (aastasõidud, energiatarve, busside tehnikaandmed jne) ei ole avalik või pole jagatav.	Simulatsioon näitab liiga optimistlikku või liiga pessimistlikku mõju	Küsida andmeid varakult; sõlmida infovahetuse kokkulepped; kasutada asendusandmeid ja tundlikkuse analüüsi.

3.6 Tegevuskava

Tabel 2 Projekti tegevuskava

Tegevus	Alategevused	Tööülesanded	Tähtaeg	Vastutaja
Kohtumine juhendajaga	Projekti üldpõhimõtete arutlemine	KOV-I valik Fookussektori arutlemine Mudeli põhimõte	22.09.2025	Vladislav Aleksandra Sander Georgi
Tutvumine materjalidega	Avaliku materjali otsing	Tutvustamine olemasoleva internetis materjalidega Puuduva info välja selgitada Mudeli esimesed uurimised	23.09.2025	Vladislav Aleksandra Sander Georgi
Kohtumine Tallinna KOV-ga	Arutelu projekti eesmärkide üle	Sektori kaardistamine Tallinna KOV-i ootuste arutlemine	02.10.2025	Vladislav Aleksandra
Ettevalmistus	Riskianalüüs ja projekti kavand	Võimalike riskide tuvastamine Kavandi koostamine	03.10.2025	Vladislav Aleksandra
Andmete uurimine	Tallinna poolt saadud andmete analüüs	Piisav andmete koguse kontroll	20.10.2025	Vladislav Aleksandra

	Mudeli uurimine	Andmete sobivust mudelile kontroll		Sander Georgi
Kohtumine Tallinna KOV-ga	Täpsustav arutelu andmete ja vajaduste kohta	Lisainfot pärimine Analüüsi fookuse täpsustamine	21.10.2025	Vladislav Aleksandra
Kohtumine juhendajaga	Töö edenemise arutamine	Esialgse tulemuse esitlemine Järgmise samme täpsustamine	28.10.2025	Vladislav Sander
Iseseisev töö andmetega ja mudeliga	Simulatsioonide läbiviimine	Mudeli täitmine sisenditega	04.10.2025	Vladislav Sander
Kohtumine juhendajaga	Mudeli töö printsiipi selgitus	Juhendaja paranduse ja selgituse vaatamine Muudatuste tööste viimine	05.11.2025	Vladislav Sander
Iseseisev töö mudeliga	Erinevate poliitikate analüüs	Poliitikate proovimine simulaatoris Mudeli tundlikuse hindamin	15.11.2025	Vladislav Sander

		Stsenaariumide võrdlemine		
Kohtumine Tallinna KOV-ga	Vahetulemuste esitamine, tagasiside kogunemine	Huvipoliitikate arutlemine	20.11.2025	Vladislav Sander
Kohtumine juhendajaga	Lõppanalüüsi suuna kinnitamine	Raporti sisu arutlemine	5.11.2025	Vladislav Sander
Lõppliku aruande kirjutamine	Struktuuri ja peatükkide koostamine	Kirjutada tekstiosad koos viidetega	08.12.2025	Vladislav Aleksandra Sander Georgi

4 PRAKTILINE OSA

Projekti praktiline osa sisaldab endas erinevate poliitikate simuleerimist, et vaadelda nende efektiivsust nii lähi- kui kaugtulevikus. Selleks sisestatakse simulaatorisse kogutud andmed, mis iseloomustavad tänapäevast Tallinna transpordisektorit. Sisestatavad andmed on:

- Tallinnas registreeritud erasõidukite arv
- Tallinnas regisreeritud kaubaveo sõidukite arv (HDV, N-kategooria sõidukid)
- TLT ühistranspordi busside arv
- Erasõidukite kütusetüüpide osakaal
    - Bensiin/diesel/elekter/gaas
- TLT ühistranspordi kütusetüüpide osakaal
    - Bensiin/diesel/elekter/gaas
- Tallinnlaste igapäevase liikumise meetodid
    - Erasõiduk/ühistransport/jalgratas/jalgsi
- Keskmine tallinlase liikumine päevas
- TLT ühistranspordi keskmine kütusekulu iga kütusetüübi kohta
- Erasõidukite keskmine kütusekulu iga kütusetüübi kohta
- Euroopa liidu standardid kütuste CO2 kulu kohta (tonn CO2/ liiter)
- Tallinna populatsioon

Neid andmeid kasutades oli võimalik luua baasjoon-olukord, mida sai muuta ning simuleerida aastate 2025-2050 vahel. Tallinna KOV-ga kokkuleppel simuleerisime me kolme erinevat olukorda:

- Süsinikneutraalse transpordi osakaalu suurenemine
    - Üleminek era- ja/või ühistranspordilt näiteks jalgrattale
    - Kasutatud poliitika: "Transpordiviisi muutuse poliitika" ("Modal shift policy")
- TLT busside üleminek diislilt gaasile
    - Eksisteeriv TLT plaan, mis peaks valmima aastaks 2030
    - Kasutatud poliitikad: "Üleminek madala ja null süsiniksisaldusega kütustele ("Transition to low and zero carbon fuels") ja "Taastuvenergia osakaalu suurenemine" ("RES share increase")
- Eratranspordi üleminek süsinikneutraalsele kütusele
    - Sisepõlemismootorid -> EV
    - Kasutatud poliitika: "Üleminek madala ja null süsiniksisaldusega kütustele ("Transition to low and zero carbon fuels")

4.1 Poliitikate jõustumine simulaatoris

Esimese olukorra puhul muudeti jalgratta transpordimeetodi osakaal protsendi haaval, võttes selle arvelt maha protsent era- ja ühistranspordist (2 eraldi olukorda). Saadud säästetud CO2 kogused koguti excelisse, ning graafiliselt toodi välja tulemus kui "tonni CO2 säästetud aastas % kasvu kohta" ühikuna. Mõlemas olukorras on % kasv suhteline, seega absoluutne osakaalu kasv kolmelt protsendilt kuuele vastaks 100% kasvule.

Teises küsimuses muudeti gaasibusside osakaalu olukorrani, kus kõik sisepõlemismootoritega bussid on asendunud gaasi omadega aastaks 2030, EV busside osakaal jäeti samaks. Samuti saadi kasutada kütuse tootmise muutmispoliitikat, sest TLT gaasi toodetakse 84% mahus BioForce biometaaniga.

Viimase puhul kasutati sama eelnevalt mainitud poliitikat, kus suurendati erasõidukite EV-de osakaalu sisepõlemismootorite arvelt (diesel/bensiin kordamööda).

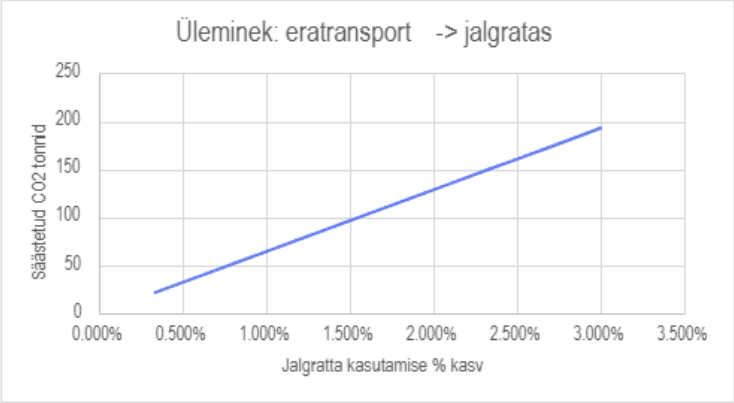
5 TULEMUSED JA JÄRELDUSED

Esimese ja kolmanda olukorra puhul saime välja tuua tulemused sama, “tonni CO2 säästetud aastas % kasvu kohta” ühikuna, teise puhul aga tonni “CO2 säästetud aastas”.

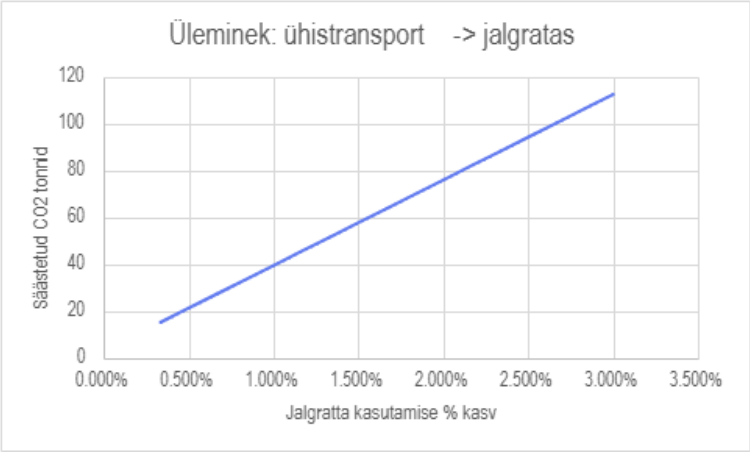
5.1 Süsinikneutraalse transpordi osakaalu suurenemine

Selles olukorras rakendatakse poliitika kasutades „Modal change“ poliitikat, seega luuakse olukord, kus jalgratta kasutamise osakaal kogu transpordisektoris tõuseb mingi suhtelise protsendi võrra. Jalgrataste osakaal tõuseb nii ühis- kui erantranspordi osakaalu arvelt.

Joonis 1 Säästetud CO2 kogus tonnides (y) ning jalgratta kasutamise osakaalu suurenemise suhteprotsendi (x) seos, eratranspordilt ülemineku olukorras. Allikas: Interreg CO2 simulator



Joonis 2 Säästetud CO2 kogus tonnides (y) ning jalgratta kasutamise osakaalu suurenemise suhteprotsendi (x) seos, ühistranspordilt ülemineku olukorras. Interreg CO2 simulator



Saadud tulemused on simuleeritud aastani 2050, ehk näiteks olukord, kus x= 1% tähendab, et aastaks 2050 on jalgratta osakaal kasvanud ühe suhtelise protsendi võrra. Arvuliselt on simuleeritud olukordade tulemused:

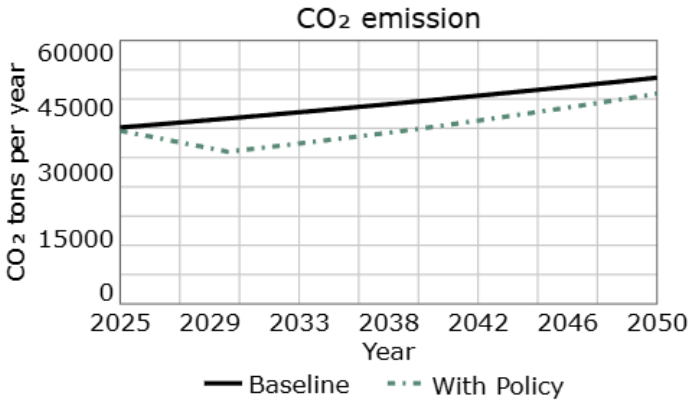
- Eratransport -> jalgratas
    - 64.33 tonni CO2 säästetud aastas % kasvu kohta
- Ühistransport -> jalgratas
    - 36.69 tonni CO2 säästetud aastas % kasvu kohta

Ühik „tonni CO2 säästetud aastas % kasvu kohta„ kehtib simulatsiooni lõppaasta kohta, seega numbriline väärtus on toodud aasta 2050 kohta, mitte akumulatiivne. Välja saab tuua ilmunud asjaolu, et üleminek eratranspordilt on palju efektiivsem, sest see transpordimeetod on palju CO2 intensiivsem kui ühistransport. Samuti on siin arvestatud, et jalgrattaga liikumine toodab otseselt 0 tonni CO2 igas olukorras, jalgrataste juurdeostu ei arvestata. Seega muutus see poliitika pindpealselt kõige efektiivsemaks, sest mitte ükski rohetehnoloogia ei saa sama efektiivne kui lihtsalt kütuse mitte tarbimine.

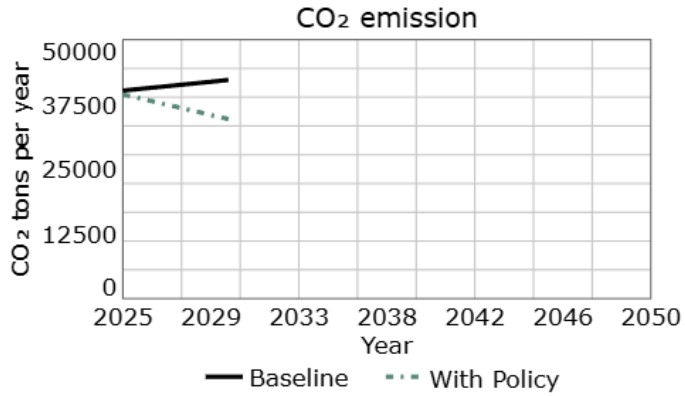
5.2 TLT busside üleminek diislilt gaasile

Teises olukorras on simuleeritud olukorda, kus 2025 oktoobri seisuga eksisteeriv TLT ühistranspordi diislibussid asendatakse gaasibussidega. Säästetud CO2 tonnid aastas on välja toodud kui erinevus joonise „Baseline” ning “With policy” olukordade vahel.

Joonis 3 Baastsenaariumi ning poliitikaga CO2 tootmise (y) stsenaariumite võrdlused aastani 2050 (x). Allikas: Interreg CO2 simulator



Joonis 4 Baastsenaariumi ning poliitikaga CO2 tootmise (y) stsenaariumite võrdlused aastani 2030 (x). Allikas: Interreg CO2 simulator

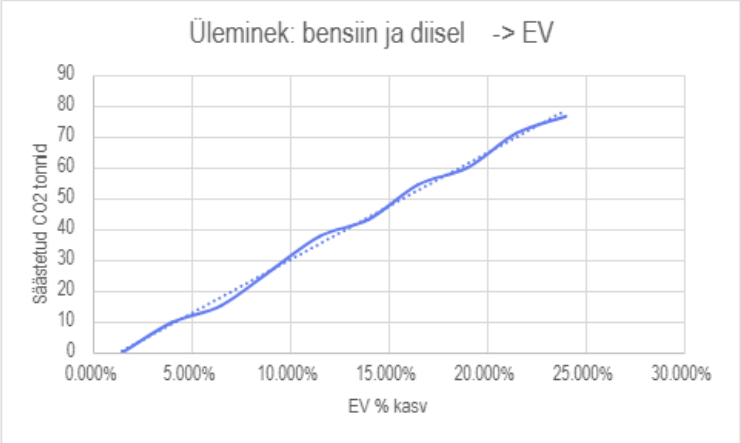


Aastaks 2030 säästab poliitika 7657 tonni CO2 aastas, aastaks 2050 aga 3656 tonni. Siin saab välja tuua kaks asjaolu. Esiteks on biometaanil sõitvate busside osakaalu suurendamine väga efektiivne, ning säästab aastalõikes väga palju CO2 tonne, kuid kui vaadelda olukorda kuni 2050 on selle mõju ajas kahanev. See tuleneb sellest, et simulaatoris on eeldus, et Tallinna transpordivajadus suureneb 1% aastas, mis loob olukorra kus aastaks 2058 ei säästeta selle tehnoloogiaga enam mitte ühtegi tonni CO2. Samas on see poliitika hetkel kasutuses heal põhjusel, biometaani tootmist saab suurendada veel edasi, hetkeselt 84% protsendilt, ning süsinikneutraalsete CNG ja LPG allikate ning tehnoloogiate arendamine on energiasektoris ajakohane teema.

5.3 Eratranspordi üleminek süsinikneutraalsele kütusele

Sarnaselt esimesele olukorrale on siin kasutusel „Modal change" poliitika, kus elektriautode osakaalu suurendatakse kordamööda nii bensiini- kui diiselautode osakaalu arvelt. Samamoodi on tulemus toodud seosena säästetud CO2 tonnides simulatsiooni lõppaastal (2050) ning EV-de suhtelise osakaalu tõusu vahel.

Joonis 5: Säästetud CO2 kogus tonnides (y) ning EV-de kasutamise osakaalu suurenemise suhteprotsendi (x) seos, sisepõlemismootoritelt ülemineku olukorras. Allikas: Interreg CO2 simulator



Säästetud CO2 tonn aastas % kasvu kohta: 3.356 tonni

Esmapilgul on see poliitika kõige väiksema mõjuga ning seda mitmel põhjusel. Hetkene EV-de osakaal Tallinnas on vaid 2.11%, mis tähendab et näiteks 20% kasv kirjeldab absoluutse väärtuse poolest vaid väga väikest tõusu. Lisaks on transpordivajaduse suurenemise kompenseerimiseks vaja veelgi suuremat tõusu et näha muutust CO2 tootmises.

Siin võib välja tuua ka simulaatori senise ainsa puudujäägi, milleks on Eestis toodetud elektri CO2 hind kWh kohta, mida ei olnud võimalik simulaatorisse sisestada. Tänapäeval on elektriautode osakaalu suurendamine siiski efektiivne strateegia, sest see võimaldab CO2 tootmise vähendamist mitte läbi ainult transpordisektori muutmise, vaid just süsinikneutraalse elektri tootmise, mis võimaldaks elektriautodel liikuda pea nullilähedase CO2 kuluga. Sama loogika kehtib ka TLT elektribusside kohta. Eestis aktuaalsed energiamajanduse teemad nagu päikese- ja tuulepargid ning esimene tuumajaam oleksid kõik suured kaasaaitajad selle poliitika puhul.

6 JÄRELDUSED JA SOOVITUSED

Kasutades teadmisi, mida me kogusime simulaatorite olukordadest ning kuulates Tallinna KOV mõtteid ja soovitusi saame luua konkreetse ja laiahaardelise lõpliku soovituse. Käsitletud poliitikat katavad kolme erinevat teemat, millest igaüks kajastab teema ühte poolt. Esimene poliitika käsitleb üleni süsinikneutraalset poliitikat, teine juba käivat poliitikat mis keskendub rohetehnoloogia arendamisele, ning kolmas tekitab võimaluse Eesti energiamaastikul transpordisektori arengus kaasa aidata.

6.1 Süsinikneutraalse transpordi osakaalu suurenemine

Tehnoloogilises mõttes on selle poliitika rakendamine kõige otsesem ning kergem. Seda suuresti sellepärast et jalgrattaliiklus on CO2 heidete poolest madalam kui enamus RES kütuseid, ning nende juurest ei too endaga kaasa suurt CO2 alginvesteeringut nagu näiteks elektriautod. Samas vajavad nad siiski oma spetsiaalset taristut, eriti arvestades Tallinna ja Eesti kliimat. Õige suund on juba ette võetud tänu punastele jalgrattateede rajamisega Tallinna linnaruumi, kuid asjad nagu hoiustusruum korteriühistutes ning parkimiskohad linnas on samuti tähelepanu vajavad, ning on vajalikud et seda transpordiviisi ka tulemuslikult tõsta. Samas peab olema realistlik ka selle muutuse mastaabiga, sest Eesti kontekstis on rattaga sõitmine vaadeldav ainult umbes kolmveerand aasta jooksul, kui ilm seda lubab.

6.2 TLT busside üleminek diislilt gaasile

Sellele poliitikale leitud kvantifitseeritav vastus on meie töö puhul kõige lähedasem reaalsele olukorrale, sest olukorra parameetrid, nagu sõidetud kilomeetrid, busside arv ning kütusekulu on täpselt defineeritud. Kõige tähtsam mõju CNG busside osakaalu suurendamisel ei tulene aga üleni sellest, et hetkeni TLT poolt kasutatav gaas on loodussõbralikum kui diisel, kuigi see on just see faktor mis toob kaasa muutuse enne 2030. ndat aastat. Kõige suurem kasutegur võib ilmneda sellest et biometaani ja teiste RES kütuste tootmise osakaal on Euroopas ja Eestis tõusutrendis ning nende tootmisega seosev CO2 hind on langemas. See võimaldab edasise RES kütuste kasutuselevõtu ning võib väga tõenaoliselt tuua esile olukorra, kus eelnevalt välja toodud „With policy" olukord ei naase baastsenaariumisse aastaks 2058 vaid jätkab CO2 tootmise edasise vähenemise suunas.

6.3 Eratranspordi üleminek süsinikneutraalsele kütusele

Arvuliselt on see poliitika kolmest valitust kõige väiksema mõjuga, ning seda mitmel põhjusel. Nagu eelnevalt mainitud, on Tallinnas liikuvate sõidukite elektrisõidukite osakaal vaid 2.11% ehk selle suurenemist iseloomustav suhteprotsent peab olema väärtuselt palju suurem kui näiteks jalgratta osakaalu suurenemise oma. Faktorid nagu elektriauto ostuga kaasnev suur alginvesteering, Eesti laadimistaristu ning EV toetuspoliitikate puudused ja tarbimisharjumused on piiranud nende osakaalu naturaalset suurenemist ning kasvutrendi. Siiski on selle tehnoloogia kaasamine transpordisektori CO2 vähendamiseks kriitiline, sest see annab võimaluse Eesti energiamajandusele, et aidata transpordisektorile kaasa.

Selleks et olla realistlik Tallinna suhtes peab siin aga eraldama meetmed, mida saab rakendaga KOV, Eesti Vabariigi Valitsus ja Eesti energiamaastiku erasektor. Tallinna enda kätes oleks näiteks koostöö TLT-ga, et parendada veelgi nende hetkest transpordisüsteemi, ning edasine kergliiklusteede arendamine. Vabariigi Valitsus vastutaks nende poliitikate puhul rahastuse, ning potensiaalsete EV-de ostutoetustega ning energiamajanduse arengu suunamisega. Tallinna KOV enda kommentaaride järgi oleksid head lahendused (just elektrisõidukite puhul) parkimishindade alandamine ning laadimistaristu suurendamine, nii linnas kui eraklientidel.

6.4 Simulaatori tugevused ja piirangud

Tugevused

Põhineb reaalsetel Tallinna linna ja TLT andmetel,

Võimaldab stsenaariumipõhist poliitikaanalüüsi,

Toetub rahvusvahelistele kliimaeesmärkidele ja poliitikaraamistikele (nt EU Mission: 100 Climate-Neutral Cities) [3][4],

Võimaldab hinnata nii lühi- kui pikaajalist mõju (2025–2050).

Piirangud

Andmete täpsus sõltub sisendandmete kvaliteedist (nt täpsed läbisõidud, kütusekulu, kütuse emissioonitegurid).

Simulatsioon ei arvesta käitumuslikke muutusi (nt hinnatõusust või taristust tulenevad mõjud).

Elektri emissioonitegur võib tulevikus väheneda, kuid mudel kasutab konservatiivset hinnangut.

Jalgrattakasutuse kasv eeldab taristu olemasolu, mida modelleerimine automaatselt ei sisalda.

KASUTATUD ALLIKAD

1. UN Environment Programme. Cities and climate change. 2024. (05.12.2025) https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities-and-climate-change

2. Statistikaamet. Rahvaarv. 2025. (05.12.2025) https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/valdkonnad/rahvastik/rahvaarv

3.Tallinn 2035 Arengustrateegia. Roheline pööre. (05.12.2025) https://strateegia.tallinn.ee/roheline-poore/

4. Tallinn. Tallinn ühines Euroopa Liidu kliimaga kohanemise missiooniga ühines Euroopa Liidu kliimaga kohanemise missiooniga. 2023. (05.12.2025) https://www.tallinn.ee/et/uudis/tallinn-uhines-euroopa-liidu-kliimaga-kohanemise-missiooniga

5. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. Transpordi ja liikuvuse arengukava 2021–2035. (05.12.2025) https://www.valitsus.ee/sites/default/files/documents/2021-11/Transpordi%20ja%20liikuvuse%20arengukava%202021%E2%80%932035.pdf

6. Tallinn. Tallinna Kliimakava. Kliimaneutraalne Tallinn. (05.12.2025) https://www.tallinn.ee/et/strateegia/tallinna-kliimakava

7. The Intergovernmental Panel on Climate Change. Global Warming of 1.5 ºC. Summary for Policymakers. (05.12.2025) https://www.ipcc.ch/sr15/

8. Tallinn 2024 Aastaväljaanne. (05.12.2025) https://live.s3.teliahybridcloud.com/s3fs-public/inline-files/Tallinn_2024_aastav2ljanne_web_v1.1.pdf

9. Britannica. Carbon Footprint (05.12.2025) https://www.britannica.com/science/carbon-footprint

10.Keskkonnaministeerium. KHG Jalajälje Hindamise Juhend /KHG-jalaj%C3%A4lje-hindamise-juhend.pdf (05.12.2025)

11. Kliimaministeerium. Kasvuhoonegaaside inventuuri aruanne. (05.12.2025) https://kliimaministeerium.ee/sites/default/files/documents/2025-01/Kasvuhoonegaaside%20inventuuri%20aruanne.pdf

12. Repsol. Carbon Footprint. (05.12.2025) https://www.repsol.com/en/sustainability/sustainability-pillars/climate-change/reducing-carbon-footprint/index.cshtml

13.Nationalgrid. Energy explained. (05.12.2025) https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/what-are-scope-1-2-3-carbon-emissions

14. AgLEDx Resource Platform. Activity Data & Emission Factors. (05.12.2025) https://agledx.ccafs.cgiar.org/estimating-emissions/methods/activity-data-emission-factors/
15. Alteia. Carbon Footprint. (05.12.2025) https://alteia.com/resources/blog/carbon-footprint/
16. LT. (05.12.2025) https://tlt.ee/tallinna-uhistranspordi-kasutajate-arv-on-tousutrendis-soitjate-rahulolu-pusib-korge/
17. Transpordiamet. Sõidukite statistika. https://www.transpordiamet.ee/soidukite-statistika (05.12.2025)
18. TLT numbrites. (05.12.2025) https://tlt.ee/
19. EUROPEAN CYCLISTS FEDERATION. Cyclists have 84% lower daily CO2 lifecycle travel emissions that non-cyclists, new study finds (2020). ECF https://www.ecf.com/en/news/cyclists-have-84-lower-daily-co2-lifecycle-travel-emissions-than-non-cyclists-new-study-finds/ (07.12.2025)
20. Combining electrification and alternative fuels: an effective strategy to decarbonize the car sector. https://www.nature.com/articles/s44333-025-00051-7 (07.12.2025)
21. What is congestion charging? https://www.ptolemus.com/what-is-congestion-charging/ (08.12.2025)
22. Mobility as a Service? https://maas-alliance.eu/homepage/what-is-maas/ (07.12.2025)
23. Free public transport from 1st March 2020. https://transports.public.lu/en/plus/actualites/2020/02-fevrier-12-mobilite-gratuite-en.html (07.12.2025)
24. Zero fare, cleaner air? The causal effect of Luxembourg's free public transportation policy on carbon emissions. https://sachi-fernando.github.io/files/Transport_Luxembourg_Paper.pdf (07.12.2025)
25. Helsinki launches Whim Mobility - as - a - Service (Maas) app. https://knowledge-hub.circle-economy.com/cities/article/8977 (07.12.2025)
26. Insights from the world's first Mobility - as - a - Service (Maas) system. https://1library.net/document/qmk2l39z-insights-from-world-first-mobility-service-maas-system.html (07.12.2025)
27. How Helsinki became a "Mobility as a Service" https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/news-events/news/how-helsinki-became-mobility-service-leader-2018-07-20_en (07.12.2025)

28. Whim MaaS Platform. https://www.ccam-tac.org//wp-content/uploads/2022/12/Helsinki-Project.pdf (07.12.2025)

29. Area Licensing Scheme. https://www.nlb.gov.sg/main/article-detail?cmsuuid=072b1248-63b0-4b30-8a04-ba1742961351 (07.12.2025)

30. What is Electronic Road Pricin (ERP)? https://www.traveloka.com/en-sg/explore/tips/navigating-singapores-roads-smarter-all-you-need-to-know-about-erp-trp/477123 (08.12.2025)

31. UN Climate Techology Centre and Network. Road Pricing. https://www.ctc-n.org/technologies/road-pricing#:~:text=In%20Singapore%2C%20the%20ERP%20has,reduction%2C%20i.e.%20travel%20time%20savings (08.12.2025)