

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma  
Kandidaatintyö

**KESTÄVÄN LIIKKUMISEN VAIKUTUS  
LÄHIPÄÄSTÖIHIN**

**The impact of sustainable transport on local emissions**

Työn tarkastaja: Apulaisprofessori, TkT Ville Uusitalo  
Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, DI Lauri Leppäkoski

Lappeenrannassa 26.4.2021  
Noora Rantala

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT  
LUT School of Energy Systems  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Noora Rantala

### **Kestävän liikkumisen vaikutus lähipäästöihin**

Kandidaatintyö

2021

30 sivua, 1 taulukko ja 8 kuvaa

Työn tarkastaja: Apulaisprofessori, TkT Ville Uusitalo

Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, DI Lauri Leppäkoski

Hakusanat: liikenteen käyttövoimat, lähipäästöt, kestävä liikkuminen

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on arvioida kestävä liikkumisen vaikutuksia lähipäästöihin. Työssä käydään läpi suomalaisten liikkumista, Suomen autokantaa, liikenteen käyttövoimia sekä lähipäästöjä ja niiden vaikutuksia. Lisäksi lasketaan eri kuljutavoille lähipäästöjen määriä tapauksessa, jossa kuljetaan kilometrin pituinen matka Lappeenrannan kaupunkikeskustassa. Päästömäärät lasketaan VTT:n Lipasto-tietokannan päästökertoimien avulla. Työssä keskitytään vain suoriin pakokaasupäästöihin.

Ilmansaasteet ovat suurin ympäristöperäinen terveyshaitta, ja merkittävä ilmansaasteiden päästölähde on liikenne. Liikenteen lähipäästöillä tarkoitetaan typen oksideja, hiukkaspäästöjä, hiilimonoksidia, hiilivetyjä ja rikkidioksidia. Lähipäästöillä on ihmiselle terveysvaikutuksia erityisesti sen takia, että päästöt muodostuvat suoraan ihmisen hengityskorkeuteen. Lähipäästöt voivat sekä aiheuttaa suoria terveysvaikutuksia että lisätä altistumisen riskiä erilaisille sairauksille. Suomalaiset liikkuvat kaikista eniten bensiini- ja dieselkäyttöisillä henkilöautoilla. Kyseisillä tavoilla on tässä työssä lasketuista vaihtoehdoista kaikista suurimmat lähipäästömäärät. Kestävämpään liikkumiseen, kuten pyöräilyyn, vaihtamalla lähipäästöjen määrät pienentyvät.

## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	4
2	LIKKUMINEN SUOMESSA .....	6
2.1	Suomen autokanta .....	8
3	LIIKENTEEN KÄYTTÖVOIMAT .....	10
3.1	Bensiini .....	10
3.2	Diesel .....	11
3.3	Sähkö.....	11
3.4	Kaasu.....	12
4	LÄHIPÄÄSTÖT .....	14
4.1	Typen oksidit NO <sub>x</sub> .....	14
4.2	Hiukkaspäästöt PM .....	15
4.3	Hiilimonoksidi CO.....	15
4.4	Hiilivedyt HC.....	16
4.5	Rikkidioksidi SO <sub>2</sub> .....	17
5	MENETELMÄT JA LASKENTA.....	18
5.1	Lipasto-tietokanta.....	18
5.2	Laskenta ja oletukset.....	18
6	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	20
6.1	Johtopäätökset.....	20
7	YHTEENVETO .....	25
	LÄHTEET .....	26

# 1 JOHDANTO

Suurin ympäristöperäinen terveyshaitta sekä Suomessa että maailmalla on ilmansaasteet, joiden yksi merkittävimmistä päästölähteistä on liikenne. Liikenne aiheuttaa erilaisia lähipäästöjä, kuten palamisprosessiperäisiä pakokaasupäästöjä, rengas- jarru- ja katupölyä sekä melusaasteita. Pakokaasupäästöistä yleisimpiä ovat typen oksidit, hiukkaspäästöt, hiilimonoksidi, hiilivedyt ja rikkidioksidi. Liikenteen lähipäästöt lisäävät altistumisen riskiä erilaisille sairauksille, kuten syövälle, ja aiheuttavat ennenaikaisia kuolemia. Liikenteen ilmastovaikutuksien ohella myös näitä terveyshaittoja on pyritty ehkäisemään erilaisin toimin. Esimerkiksi autojen pakokaasupäästöjä on pyritty vähentämään muuttamalla moottorityyppejä ja käyttövoimia. (Traficom 2020.)

Vuonna 2016 suomalainen kulki keskimäärin vuorokauden aikana 41 kilometriä, joista 79 prosenttia tapahtui henkilö- tai pakettiautolla (Liikennevirasto 2018). Päästöjen vähentämisessä ei yleisesti keskitytä liikkumisen vähentämiseen, vaan suositaan vaihtoehtoisin kulutapoihin ja kestävämpään liikkumiseen siirtymistä. Kävely, pyöräily ja joukkoliikenne olivat henkilöautoilua kestävämpiä vaihtoehtoja. Välttämätön henkilöautoilukin voi olla kestävää liikkumista, jos suositaan kimpakyytejä, autojen yhteiskäyttöä ja vähän kuluttavia autoja, jotka käyttävät uusiutuvia voimanlähteitä. (Motiva Oy 2020e.)

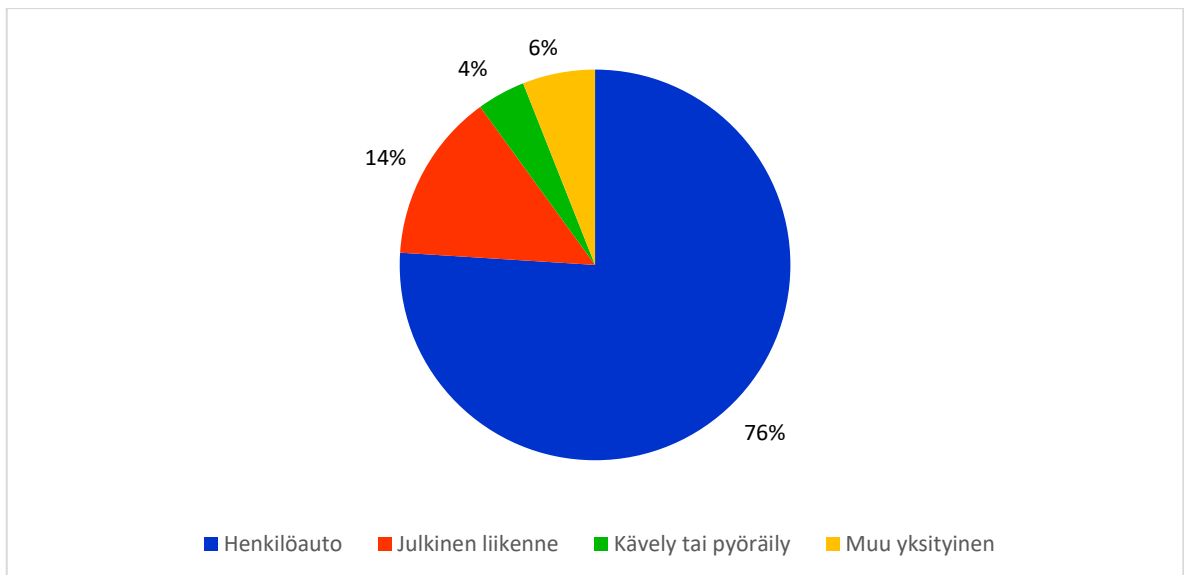
Suomen autokannan uusiutuminen on hidasta ja henkilöautojen keski-ikä on tällä hetkellä 12,5 vuotta (Traficom 2021b). Suomen kansallisen energia- ja ilmastostrategian yhtenä tavoitteena on nopeuttaa autokannan uusiutumista. Esimerkiksi tarkoituksena on selvittää, voidaanko nykyistä autojen hankintaan kohdentuvaa verotusta keventää. Nopeampi autokannan uusiutuminen tarkoittaisi uuden teknologian nopeampaa hyödyntämistä ja ajoneuvojen energiatehokkuuden parantamista. Liikennesektorin päästöjen vähentämiseksi myös liikennejärjestelmän energiatehokkuutta on tarkoitus parantaa. Esimerkiksi kävelyn, pyöräilyn ja joukkoliikenteen toimintaedellytyksistä huolehdittaisiin paremmin. Suomen kansallinen energia- ja ilmastostrategia pyrkii myös lisäämään uusiutuvien polttoaineiden käyttöä. Tällä hetkellä Suomen autokannasta lähes 70 % käyttää voimanlähteenä bensiiniä, joka on uusiutumaton

polttoaine (Traficom 2021b). Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla voisi vähentää päästöjä arviolta 1–2 Mt vuodessa. Yhteensä liikennesektorin arvioitu päästövähennys vuonna 2030 voisi olla 2,6–3,6 Mt. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017.)

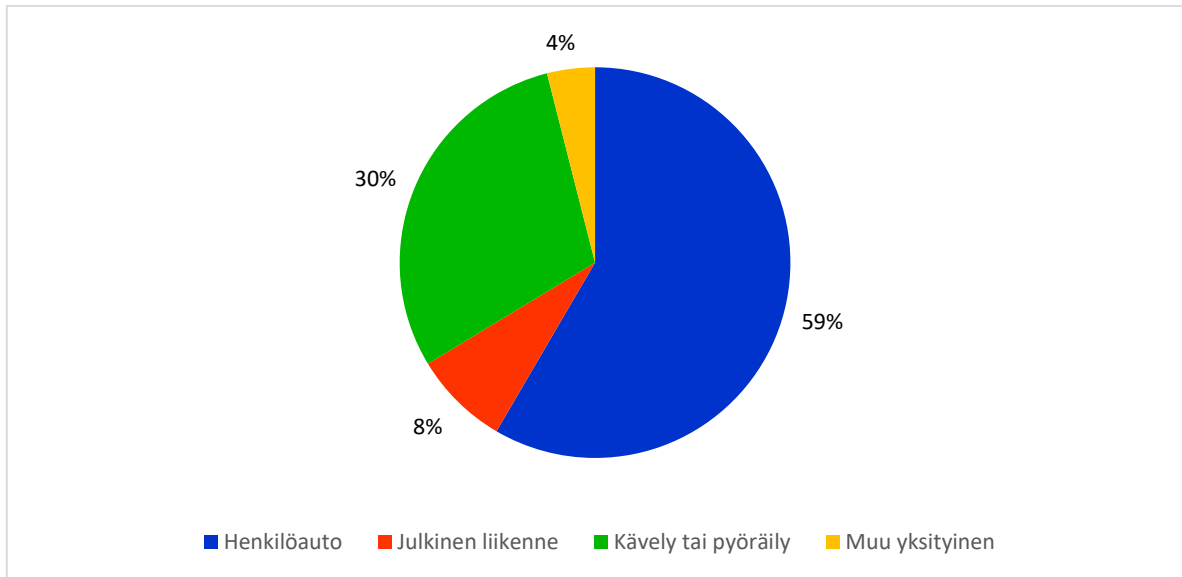
Tämän työn tarkoituksena on arvioida, miten kulkutapavalinnoilla voidaan vaikuttaa lähipäästöjen määriin. Työssä selvitetään suomalaisten liikkumista, Suomen autokantaa, liikenteen käyttövoimia sekä sitä, mitä liikenteen lähipäästöt ovat sekä minkälaisia terveys- ja ympäristövaikutuksia niillä on. Lisäksi lasketaan lähipäästöjen määriä tapauksessa, jossa Lappeenrannan kaupunkikeskustassa kuljetaan kilometrin pituinen matka. Laskennassa käsitellään vain suoria pakokaasupäästöjä eikä niissä ole huomioitu muita elinkaarenaikaisia päästöjä, kuten esimerkiksi ajoneuvojen ja polttoaineiden valmistuksesta aiheutuvia päästöjä. Päästömäärät lasketaan VTT:n Lipasto-tietokannan tietojen pohjalta bensiini-, diesel-, sähkö- ja kaasukäyttöiselle autolle, diesel- ja kaasukäyttöiselle linja-autolle sekä kävelyllä ja pyöräilyllä. Tulokseksi saadaan lähipäästöjen määriä eri liikkumismuodoilla.

## 2 LIIKKUMINEN SUOMESSA

Suomalaiset liikkuvat eniten henkilöautoilla. Vuonna 2016 suomalainen kulki keskimäärin vuorokauden aikana 41 kilometriä, josta 76 % tapahtui henkilöautolla, 14 % julkisella liikenteellä, 4 % kävellen tai pyöräillen ja 6 % muilla yksityisillä tavoilla. Henkilöautoa käytetään usein pidemmillä matkoilla, kun taas joukkoliikenne, kävely ja pyöräily valitaan lyhyemmillä matkoilla. Matkojen määrillä mitattuna suomalainen teki keskimäärin vuorokaudessa 2,7 matkaa, joista 59 % tapahtui henkilöautolla, 30 % jalan tai pyöräillen, 8 % julkisella liikenteellä ja 4 % muilla yksityisillä tavoilla. Suomalaisten matkasuorite kilometreinä mitattuna on esitetty kuvassa 1 ja matkojen määrillä mitattuna kuvassa 2. (Liikennevirasto 2018.)



**Kuva 1.** Suomalaisten matkasuorite kilometreinä mitattuna (Liikennevirasto 2018).



**Kuva 2.** Suomalaisten matkasuorite matkoina mitattuna (Liikennevirasto 2018).

Suuri osa suomalaisten matkoista vuonna 2016 liittyi vapaa-aikaan. Kilometreinä mitattuna 43 % matkoista liittyi vapaa-aikaan, 28 % työhön tai koulutukseen, 19 % ostoksiin ja asiointiin ja 10 % kyyditsemisiin ja saattamiseen. Yleisimmät matkakohteet olivat työpaikka, päivittäistavarakauppa ja vierailupaikka. Matkan tarkoitus ja kohde vaikuttavat myös liikkumismuodon valintaan. Henkilöautolla tehdyt matkat kuljettajana ovat yleisempiä kodin ja ostos- tai asiointikohteen välillä. Matkustajan roolissa henkilöautolla kuljetaan useimmiten vapaa-aikaan liittyviin kohteisiin. Joukkoliikennettä käytetään eniten, kun liikutaan kodista työpaikalle, koululle tai opiskelupaikalle. (Liikennevirasto 2018.)

Matkaan kuluva aika on yksi ratkaiseva tekijä liikkumismuodon valinnassa. Jos autolla ja joukkoliikenteellä matkaan kuluu sama aika, valitaan usein joukkoliikenne. Autolla kulkeminen valitaan, jos se on selvästi nopeampi vaihtoehto. Keskimäärin ihminen käytti yhteen matkaan aikaa 27 minuuttia vuonna 2016 ja kokonaismatka-aika vuorokaudessa oli 73 minuuttia. (Liikennevirasto 2018.)

Erot liikkumisessa eri puolilla Suomea ovat suuret. Liikennejärjestelmä ja liikkumiseen käytettävä ympäristö aiheuttavat suurimmat erot. Kaupungissa matkat ovat usein lyhyempiä, jolloin kulkeminen jalan ja pyöräillen on helpompaa. Kaupunkiympäristössä myös joukko-

liikenne on helpommin hyödynnettävissä. Esimerkiksi Helsingissä kestävien liikkumismuotojen kulkutapaosuus on 50 prosenttia, kun koko Suomessa se on vain 37 prosenttia. (Liikennevirasto 2018.)

Jos sisempiä kaupunkialueita ei huomioida, keskimääräinen matkojen määrä eri kulkutavoilla on melko samanlainen riippumatta siitä, asutaanko esimerkiksi taajamassa tai maaseudulla. Matkojen pituudet kuitenkin kasvavat sitä mukaa, mitä harvempaan asutetulla alueella asutaan. Väljin asutetuilla alueilla työmatkat ovat keskimäärin kaksi kertaa, ostosmatkat kolme kertaa ja asiointimatkat reilusti yli kaksi kertaa pidempiä kuin tiheästi asutetuilla alueilla. Henkilöautoilun osuus kasvaa matkasuoritteesta kilometreinä mitattuna sitä mukaa, kuinka harvalla asutusalueella sijaitaan. Tämä johtuu auton suosimisesta yleisesti pidemmillä matkoilla ja maaseuduilla joukkoliikenne on myös vähäisempää ja hankalammin toteutettavissa kuin kaupunkiseuduilla. (Liikennevirasto 2018.)

Matkasuoritteiden eroavaisuutta lisäävät myös ikä ja elämäntilanne. Lapset ja nuoret suosivat kävelyä tai pyöräilyä ja suurin osa matkojen syistä liittyy kouluun, opiskeluun tai harrastuksiin. Nuoret aikuiset ja aikuiset valitsevat usein auton, jos siihen on mahdollisuus. Vuonna 2016 työmatkoilla oli suuri osuus aikuisten matkan tarkoituksista ja keskimäärin työmatkoja tehtiin vuodessa 300 kappaletta per henkilö. Koronaepidemia on kuitenkin lisännyt etätyöskentelyä merkittävästi ja 76 prosenttia työmatkalaisista teki töitä etänä keväällä 2020 (Motiva 2020a). Ikäihmiset liikkuvat huomattavasti vähemmän kuin muut ryhmät. Kun keskivertoaikuinen liikkui vuorokauden aikana yhteensä 43 kilometriä, ikäihminen liikkui vain 17 kilometriä. Osasyyn tähän suureen eroon on liikkumattomat ihmiset. Jokaisesta ikäryhmästä löytyy kokonaan liikkumattomia henkilöitä, mutta suurin prosenttiosuus löytyy kuitenkin ikäihmisistä. (Liikennevirasto 2018.)

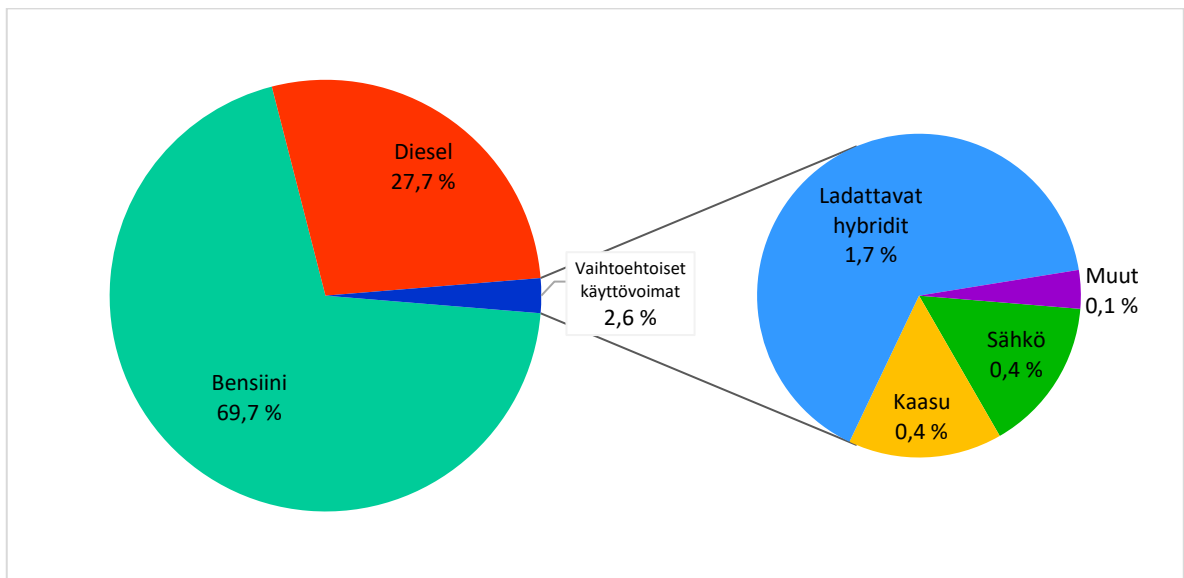
## **2.1 Suomen autokanta**

Suomessa oli vuoden 2020 lopussa liikennekäytössä noin 2,7 miljoonaa henkilöautoa. Suomen autokannan uusiutuminen on hidasta. Suomen liikennekäytössä olevien henkilöautojen keski-ikä on ollut tasaisessa kasvussa viimeiset kymmenen vuotta ja henkilöautojen keski-ikä on tällä hetkellä 12,5 vuotta. Uuden energiatehokkaamman ja vähäpäästöisemmän tek-



nologian hyödyntäminen ajoneuvoissa edellyttää autokannan uusiutumista ja sen nopeuttaminen on yksi osa Suomen kansallista energia- ja ilmastostrategiaa. (Traficom 2021a; Traficom 2021b.)

Bensiini on kaikista suosituin käyttövoima ja 69,7 % kaikista henkilöautoista vuonna 2020 oli bensiinikäyttöisiä. Toiseksi suosituin käyttövoima on diesel, jonka osuus oli 27,7 %. Vaihtoehtoisten käyttövoimien osuus on vielä toistaiseksi suhteellisen pieni. Vuonna 2019 vaihtoehtoisten käyttövoimien osuus oli vain 1,6 %, joten vuoden 2020 osuus 2,6 % kuitenkin kertoo positiivisesta kehityksestä. Vaihtoehtoisisilla käyttövoimilla tarkoitetaan tässä tilanteessa kaasulla, sähköllä ja vedyllä käyviä autoja sekä korkeaseosanoliautoja eli flex-fuel-autoja. Myös ladattavat hybridit lasketaan mukaan vaihtoehtoisiin käyttövoimiin, vaikka ne käyttävätkin sähköä, vetyä tai kaasua vain osittain käyttövoimanaan. Henkilöautojen jakautuminen käyttövoimittain on esitetty kuvassa 3. (Traficom 2021b.)



**Kuva 3.** Henkilöautojen käyttövoimien jakautuminen Suomessa (Traficom 2021b).

### 3 LIIKENTEEN KÄYTTÖVOIMAT

Suosituimmat käyttövoimat liikenteessä ovat bensiini, diesel, sähkö ja kaasu. Auto voi käyttää joko yhtä käyttövoimaa tai se voi olla hybridi, joka käyttää useampaa käyttövoimaa. Yleisin hybridauto on ladattava hybridi, jolla on bensiini- tai dieselmoottorin lisäksi sähkömoottori.

#### 3.1 Bensiini

Bensiini on uusiutumaton nestemäinen polttoaine, joka on jalostettu öljystä. Se koostuu pääasiassa hiilestä ja vedystä. Bensiinissä käytetään lisäksi erilaisia lisäaineita, jotka muun muassa voitelevat polttoainejärjestelmää, ehkäisevät korroosiota ja parantavat polttoaineen säilyvyyttä. Suomessa bensiinin joukkoon lisätään myös biokomponenttia, kuten esimerkiksi etanolia, jotta liikennepolttoaineiden biovelvoitteet täyttyvät. (Motiva Oy 2020d; Motiva Oy 2020f.)

Bensiinimoottori on ottomoottori. Ottomoottori voi olla joko kaksi- tai nelitahtinen. Nykypäivän autoissa käytetään lähinnä nelitahtisia moottoreita, joiden toiminta perustuu neljään eri vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa eli imutahdissa moottorin mäntä liikkuu alaspäin sylinterissä ja palokammioon virtaa ilman ja polttoaineen seos imuventtiilistä. Toisessa vaiheessa eli puristustahdissa polttoaine puristuu männän liikkuessa ylös. Kolmannessa vaiheessa eli työtahdissa polttoaineseos sytytetään sähköisellä kipinällä, mikä aiheuttaa seoksen voimakkaan laajenemisen ja männän liikkumisen alas. Tämä liike-energia siirtyy kampiakselin ja vaihteiston kautta auton pyörille (Motiva 2020f). Moottorin neljännessä vaiheessa eli poistotahdissa mäntä työntää polttoaineen palamisesta aiheutuneet kaasut pois pakovoenttiin kautta. (Cromer ja Proctor 2019.)

Bensiiniautojen etuja ovat erityisesti niiden luotettavuus, edullinen hankintahinta ja edulliset käyttökustannukset pienillä ajomäärillä. Lisäksi bensiiniä on auton käyttäjälle helposti saatavilla ja tankkaus on helppoa. Bensiiniautojen yleisiä heikkouksia käyttäjälle ovat korkea polttoaineenkulutus ja ajoneuvovero. (Motiva Oy 2020c; Motiva Oy 2020d.)

## 3.2 Diesel

Diesel on yleinen polttoaine suurissa ajoneuvoissa. Se on kasvattanut suosiotaan myös yksityisautoilussa. Dieseliä on olemassa kolmea eri päätyyppiä, jotka ovat fossiilinen diesel, perinteinen biodiesel ja kehittynyt uusiutuva diesel. Fossiilista dieseliä valmistetaan öljystä tislamalla. Perinteinen biodiesel tuotetaan esteröimällä kasviöljyä tai rasvoja. Kehittyntä uusiutuvaa dieseliä valmistetaan muun muassa teollisuuden prosessitähteistä. (Motiva Oy 2020d; St1 2021.)

Dieselmoottori on toimintaperiaatteeltaan lähes samanlainen kuin bensiinimoottori. Erot moottorityyppien välillä tulevat polttoaineen syötössä ja sytytyksessä sekä päästöjen jälkikäsittelyssä. Dieselmoottorissa imutahdissa sylinteriin imetään ilmaa, joka puristustahdissa puristetaan korkeaan paineeseen. Puristustahdin lopussa polttoaine ruiskutetaan sylinteriin. Polttoaine syttyy suuren paineen vaikutuksesta, eikä sitä tarvitse erikseen sytyttää kipinällä. Bensiinimoottorin tapaan polttoaineen syttyminen laajentaa polttoaineseosta ja liikuttaa moottorin mäntää alas, mikä aikaansaa liike-energiaa. Palamisesta syntyneet kaasut poistuvat moottorista pakoventtiilin kautta männän liikkeessä takaisin ylös. (Motiva Oy 2020f; Proctor & Armstrong 2020.)

Diesikäyttöisillä autoilla on yleisesti pieni kulutus, joka ei nouse kaupunkiajossa tai talviolosuhteissa yhtä paljon kuin muilla polttoaineilla. Dieselin muita hyviä puolia ovat hyvä suorituskyky, biopolttoaineiden käyttömahdollisuus ja alhaiset hiilidioksidipäästöt, minkä takia niiden verotusta on myös madallettu. Dieselautojen suurimpana ongelmana ovat suuret hiukkas- ja typenoksidipäästöt. Päästöjen vähentämiseksi auto tarvitsee kallista teknologiaa, mikä heikentää dieselautojen hintakilpailukykyä. (Motiva Oy 2020c.)

## 3.3 Sähkö

Sähköä voidaan tuottaa joko uusiutumattomista tai uusiutuvista lähteistä. Vuonna 2020 Suomen sähköntuotannosta noin 51 % toteutettiin uusiutuvilla lähteillä, 34 % ydinvoimalla ja 14 % fossiilisilla lähteillä tai turpeella (Energiateollisuus 2021). Sähköautoissa ajamiseen tarvittava sähköenergia varastoidaan ladattaviin akkuihin. Sähköautojen lataus tapahtuu niille suunnitelluista latauspisteistä ja käytännössä se tapahtuu siellä, missä autoa säilytetään. (Motiva Oy 2020c.)

Sähköenergia muunnetaan liike-energiaksi sähkömoottorilla, jonka toiminta perustuu sähköisiin magneetteihin. Moottorin kaksi perusosaa ovat akselin mukana pyörivä roottori ja paikallaan pysyvä staattori. Joko staattorissa tai roottorissa luodaan sähköinen magneetikenttä, jonka vastaparina käytetään toista sähkömagneettia tai kestromagneettia. Sähkövirran taajuutta muuttamalla saadaan vaihdettua magneetikentän napaisuutta, mikä saa moottorin pyörimään. (Motiva Oy 2020f.)

Sähköautot ovat kaikista ihanteellisimpia kaupunkiautoja muun muassa sen takia, että ne ovat hiljaisia. Sähköautot ovat myös helppokäyttöisiä ja tarvitsevat vähän huoltoa. Sähköauton hiilidioksidipäästöt katsotaan olevan nolla, minkä takia niistä maksetaan alin mahdollinen autovero. Alhaisen verotuksen lisäksi myös energiakustannukset ovat pienet. (Motiva Oy 2020c.)

Tällä hetkellä sähköautojen suurin kompastuskivi on kallis hankintahinta ja jälkimarkkinoiden kehittymättömyys. Niiden takia sähköauton kokonaiskustannukset ovat suuremmat kuin polttomoottoriauton. Suomessa julkinen latausasemaverkosto on vielä rakenteilla ja latauspisteitä on harvakseltaan, mikä hidastaa sähköautojen yleistymistä. Sähköautojen toimintasäde on myös rajallinen, johon osasyynä on akkujen alhainen energiatiheys. Toimintasäde heikkenee entisestään, kun käytetään ilmastointia tai lämmityslaitteita, ajetaan suurella ajonopeudella tai ulkolämpötila on alhainen. (Motiva Oy 2020f; Motiva Oy 2020c.)

### **3.4 Kaasu**

Yleisimmät liikennepolttoaineena käytettävät kaasut ovat biokaasu ja maakaasu, jotka ovat molemmat metaania. Biokaasun metaania syntyy luonnossa lahoamisprosessissa ja sitä tuotetaan polttoaineeksi biokaasulaitoksissa. Maakaasu on fossiilinen polttoaine, joka on maakerrosten alle suuriksi esiintymiksi kertynyttä metaania. Muita kaasumaisia liikennepolttoaineita ovat nestekaasu, dimetyylieetteri eli DME ja vety. Nestekaasu on suurimmaksi osaksi propaania tai propaanin ja butaanin seosta. Se on fossiilinen polttoaine ja sitä syntyy öljynjalostuksen sivutuotteena. DME voidaan valmistaa maakaasusta tai hiilestä, biomassasta ja selluprosessin sivutuotteesta mustalipeästä. Vety ei esiinny luonnossa kaasuna, vaan se täytyy valmistaa esimerkiksi hiilivedystä tai vedestä. Se olisi erityisesti pakokaasujen puhtau-

den takia hyvä polttoaine, mutta valmistukseen tarvittavan energian ja varastoinnin haasteellisuuden takia vedyn käyttö liikenteessä ei ole ainakaan vielä yleistynyt. (Motiva 2020d; Motiva 2020f.)

Kaasua käyttävät polttomoottorit ovat pitkälti samanlaisia kuin bensiinimoottorit. Suurimmat tekniset eroavaisuudet ovat polttoaineen varastoinnissa, joka kaasuautoissa tapahtuu paineistetussa painesäiliössä. Jos moottori on pelkästään kaasulla toimiva, bensiinin suihkutusjärjestelmä on korvattu kaasunsyöttöjärjestelmällä. On olemassa myös kaksoispolttoaineautoja, jotka käyttävät sekä kaasua että bensiiniä ja kummallekin polttoaineelle on tällöin oma syöttöjärjestelmä. Pelkästään kaasulla toimivan moottorin puristussuhde on korkeampi, minkä takia myös hyötysuhde ja polttoainetalous ovat paremmat. Kaksoispolttoaineautoilla on suurempi toimintasäde ja käyttö on mahdollista myös sellaisilla alueilla, joilla ei ole kaasutankkausmahdollisuutta. (Motiva 2020f.)

Kaasuautot ovat käyttöominaisuuksiltaan ja suorituskyvyltään samanveroisia bensiiniautojen kanssa. Myös talviolosuhteissa kaasuautot toimivat yhtä hyvin kuin bensiinikäyttöiset. Kaasun tankkausverkostot ovat ainakin toistaiseksi vielä rajoittuneet, minkä takia kaasuautot ovatkin yleensä kaksoispolttoaineautoja. Kaksoispolttoainejärjestelmän takia valmistuskustannukset ovat korkeat. Käyttökustannukset ovat kuitenkin alhaiset, koska varsinkin maa-kaasu on edullinen polttoaine ja hiilidioksidipäästöperusteiset verot ovat pienet kaasuautoilla. Kaasuautojen tarjonta on suppeampi kuin perinteisiä polttoaineita käyttävillä autoilla, mikä on osasy kaasuautojen pieneen esiintyvyyteen. (Motiva 2020c.)

## 4 LÄHIPÄÄSTÖT

Liikenteen päästöt voidaan eritellä palamisprosessiperäisiin pakokaasupäästöihin ja muihin päästöihin, joihin lukeutuu muun muassa rengas-, jarru- ja katupöly sekä melusaasteet. Tässä työssä keskitytään pakokaasupäästöihin. Usein lähipäästöillä tarkoitetaan lähinnä typen oksideja ( $\text{NO}_x$ ) ja hiukkaspäästöjä (PM). Näiden lisäksi tässä työssä käsitellään myös hiilimonoksidia (CO), hiilivetyjä (HC) ja rikkidioksidia ( $\text{SO}_2$ ).

### 4.1 Typen oksidit $\text{NO}_x$

Typen oksideja syntyy, kun polttoaine palaa moottorissa hapen läsnä ollessa. Typpi yhdistyy happeen palotilan korkean lämpötilan ja paineen seurauksena. Typen oksideja syntyy erityisesti, kun ajetaan lujaa tai kiihdytetään (Lipasto 2019a).  $\text{NO}_x$ -päästöistä noin 90 prosenttia on typpimonoksidia ja 10 prosenttia typpidioksidia. Typpimonoksidi reagoi ilmakehään päästessään hapen kanssa ja muodostaa typpidioksidia, minkä takia typen oksidien ympäristövaikutukset ovat lähes samanlaiset riippumatta siitä, mitä typen oksidia palaessa muodostuu. (European Environment Agency 2016; Autoalan tiedotuskeskus 2021.)

Typpidioksidia sisältävä ilma ärsyttää ihmisen hengitysteitä. Lyhyen ajan altistumiset aiheuttavat hengityselinoireita, kuten yskää, nuhaa ja hengitysvaikeuksia, sekä kärjistävät hengitystiesairauksia kuten, astmaa. Pitkän ajan altistumiset aiheuttavat hengitystiesairauksia ja kasvattavat hengitystietulehduksien mahdollisuutta. (Kampa ja Castanas 2008; United States Environmental Protection Agency 2016.)

Typpipäästöt aiheuttavat vesistöön joutuessaan rehevöitymistä ja ilmakehässä ne voivat muuttua happamaksi laskeumaksi ja lisätä vesistöjen happamuutta. Happamuus häiritsee vesieläiden toimintaa ja muuttaa ravintoverkkoja. Typen oksidit synnyttävät myös otsonia, kun ne reagoivat alailmakehässä auringon säteilyn takia hapen kanssa. Otsonilla on ilmaston lämpenemistä kiihdyttävä vaikutus. Ihmiselle se aiheuttaa oireita hengitysteissä ja keuhkoissa. Pitkään otsonille altistuminen voi aiheuttaa ihmiselle astmaa sekä sydän- ja verisuonitauteja. (Ympäristö NYT 2021; Kampa ja Castanas 2008; Traficom 2020.)

## 4.2 Hiukkaspäästöt PM

Hiukkaspäästöjä syntyy epäpuhtaasta palamisesta ja palamatta jääneestä polttoaineesta. Liikenteen osuus kokonaishiukkaspäästöistä on noin neljäsosa. Liikenteen pakokaasujen hiukkaset ovat suurimmaksi osaksi pienhiukkasia, joiden läpimitta on alle 2,5 mikrometriä (Niemi 2002). Pienhiukkaset ovat ihmisen terveydelle haitallisimpia hiukkasia ja ne saattavat kulkeutua keuhkorakkuloihin saakka. (Traficom 2020.)

Hiukkaspäästöt aiheuttavat ärsytysoireita ja hengityselinoireita, kuten kurkun kutinaa ja yskää, sekä lisäävät sairastuvuutta hengityselinsairauksiin sekä sydän- ja verisuonitauteihin. Pitkäaikainen altistuminen on erityisen haitallista terveydelle ja se aiheutti vuonna 2010 arviolta 380 000 ennenaikaista kuolemaa EU-maissa. Suomessa pitkäaikainen altistuminen aiheuttaa vuosittain arviolta 1 800 ennenaikaista kuolemaa. (Terveyden ja hyvinvoinninlaitos 2019; Terveyden ja hyvinvoinninlaitos 2020.)

Hiukkasilla on merkittävä vaikutus maapallon säteilytasapainoon, koska ne muun muassa sirottavat ja absorboivat auringon säteilyä ja maasta poistuvaa pitkäaaltoista lämpösäteilyä. Hiukkaset aiheuttavat pilvissä muutoksia, jotka voivat aiheuttaa muutoksia niiden heijastavuuteen ja kokonaissademäärään. Hiukkaset voivat myös häiritä ilmakehän yleistä kiertoliikettä sekä veden ja hiilen kiertokulkua. (Saxena ja Srivastava 2020.)

## 4.3 Hiilimonoksidi CO

Hiilimonoksidia syntyy polttoaineen epätäydellisestä palamisesta. Sitä syntyy erityisesti, kun ajetaan hiljaa tai todella kovaa sekä nykivässä ajossa kuten kaupunkiajossa. Hiilimonoksidi reagoi ilman hapen kanssa muutaman tunnin kuluessa ja muodostuu hiilidioksidia. Ulkoilman hiilimonoksidipäästöistä suurin osa on peräisin tieliikenteestä. (Lipasto 2019b; Tuomisto 2020.)

Lähes kaikki hiilimonoksidin terveysvaikutukset tulevat liikenteestä, koska liikenteen päästöt tulevat suoraan ihmisten hengitysilmaan. Hiilimonoksidi siirtyy ilmasta helposti keuhkojen kautta vereen. Se sitoutuu happea herkemmin veren punasolujen hemoglobiiniin, jolloin elimistöön syntyy hapenpuutetta. Hiilimonoksidin oireet johtuvat pääosin hapen puutteesta, mutta se voi myös suoraan vaurioittaa kudoksia ja suurina annoksina aiheuttaa sydänoireita.

Hiilimonoksidille altistuminen voi aiheuttaa muun muassa päänsärkyä, huimausta, oksentelua ja näköhäiriöitä. Vaikeat myrkytystapaukset aiheuttavat tajuttomuutta, kouristuksia ja hengitysvaikeuksia. Hiilimonoksidi on terveysriski yleensä vain silloin, kun se ei pääse reagoimaan ilmakehän hapen kanssa eikä pääse siten muuttumaan hiilidioksidiksi. Tällaisia tilanteita tapahtuu esimerkiksi tunneleissa ja pysäköintitaloissa. (Lipasto 2019b; Salomaa 2019; Autoalan tiedotuskeskus 2021.)

Hiilimonoksidilla ei itsessään ole suoria ympäristövaikutuksia, koska se viipyy suhteellisen lyhyen ajan ilmassa. Sillä kuitenkin on välillinen vaikutus ilmaston lämpenemiseen, koska se nostaa metaani- ja otsonipitoisuuksia ilmakehässä sekä osa siitä muuntuu hiilidioksidiksi. (Tilastokeskus 2021; Traficom 2020.)

#### **4.4 Hiilivedyt HC**

Hiilivetyihin kuuluu lukuisia eri yhdisteitä, kuten metaani ja bentseeni. Esimerkiksi bensiini koostuu yli 250 hiilivedyn sekoituksesta. Hiilivety päästöjä aiheutuu liikenteestä, koska polttoaineesta osa kulkeutuu moottorin läpi ilman, että se palaa. Hiilivetyjen määrä pakokaasussa riippuu ajotilanteesta, mutta niitä syntyy erityisesti hiljaa tai kovaa ajaessa sekä nykyvässä kaupunkiajossa. Pakokaasupäästöt sisältävät pääasiassa samoja hiilivetyketjuja kuin polttoaine, mutta ne voivat myös katketa ja yhdistyä toisiksi hiilivety-yhdisteiksi. Liikenteestä aiheutuu 30–50 prosenttia kaikista hiilivety päästöistä ilmakehään. (Motiva Oy 2019; Lipasto 2019c; Nicolopoulou-Stamati et al. 2005, 87.)

Osa hiilivedyistä aiheuttaa ihmiselle suoria myrkyvaikutuksia ja useat hiilivety päästöjen yhdisteet lukeutuvat karsinogeeneihin eli syöpää aiheuttaviin aineisiin. Hiilivedyt voivat aiheuttaa esimerkiksi keuhkotulehduksia ja suoria muutoksia DNA:han. (Nicolopoulou-Stamati et al. 2005, 87.)

Hiilivetyjen ympäristövaikutukset johtuvat lähinnä otsonista, jota muodostuu hiilivetyjen ja typen oksidien reagoimissa auringonsäteilyn vaikutuksesta. Otsoni aiheuttaa ilmaston lämpenemistä ja on myös ihmisen terveydelle haitallista. (Lipasto 2019c; Traficom 2020.)



## 4.5 Rikkidioksidi SO<sub>2</sub>

Rikkidioksidia syntyy rikkipitoisen polttoaineen palaessa. Lähes kaikki polttoaineen sisältämä rikki muuttuu rikin oksideiksi ja ne tulevat pakoputkesta ulos. Moottoreiden pakokaasuista on käytännössä mahdotonta poistaa rikkiä ja sen oksideja, minkä takia rikkipäästöjä voi vähentää vain vähentämällä polttoaineen rikin määrää. Nykyään henkilöautoissa käytetyt polttoaineet sisältävät todella vähän rikkiä. (Lipasto 2019d.)

Rikkidioksidi ärsyttää hengitysteitä ja keuhkoputkia. Se jää vesiliukoisuutensa takia enimmäkseen kosteille limakalvoille kurkkuun ja nieluun, mutta osa päätyy syvälle keuhkoihin aiheuttaen kudosaivourioita. Suuri määrä rikkidioksidia on ihmiselle hengenvaarallista, koska se voi aiheuttaa limakalvojen irtoamista sekä hammaskuoppien ja keuhkorakkuloiden verenvuotoa. (Harrison 2014, 158–159; Nicolopoulou-Stamati et al. 2005, 88.)

Rikkidioksidin ympäristövaikutukset johtuvat sen helposta liukenemisesta veteen, mikä muodostaa rikkihappoa. Rikkihappo päätyy pilviin, joista se sataa happosateena alas. Happosade happamoittaa vesistöjä ja maaperää sekä syövyttää rakennuksien materiaaleja. (Harrison 2014, 256–258.)

## **5 MENETELMÄT JA LASKENTA**

Tämän työn tarkoituksena on selvittää lähipäästöjen määriä eri kulkutavoilla. Tarkasteltavana tilanteena on kilometrin pituinen matka Lappeenrannan kaupunkikeskustassa. Eri kulkutavoiksi on valittu yleisimmät liikkumismuodot eli henkilöauto, linja-auto sekä kävely ja pyöräily. Käyttövoimista henkilöautolle on valittu bensiini, diesel, sähkö ja kaasu. Linja-autolle on valittu käyttövoimiksi diesel ja kaasu, koska Lappeenrannan kaupungin joukko liikenteen käytössä on diesel- ja kaasukäyttöisiä linja-autoja. Dieselillä tarkoitetaan tässä tilanteessa fossiilista dieseliä ja kaasulla maakaasua. Päästökertoimet eri kulkutavoille ja käyttövoimille haetaan Lipasto-tietokannasta.

### **5.1 Lipasto-tietokanta**

Lipasto on laskentajärjestelmä Suomen liikenteen pakokaasupäästöille ja energiankulutukselle. Sen on toteuttanut Suomen valtion omistama Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy ja sen rahoittamiseen on osallistunut Liikennevirasto, Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi, Liikenne- ja viestintäministeriö, Ympäristöministeriö sekä Tilastokeskus. (Lipasto 2017; VTT 2021.)

Lipasto muodostuu kahdesta osasta, jotka ovat liikenteen päästöinventaarior ja liikennevälineiden yksikköpäästökertoimet. Liikenteen päästöinventaariorissa lasketaan Suomen liikenteen vuotuiset kokonaispäästöt ja energiankulutus vuosittain päivittyvillä laskentamalleilla. Liikennevälineiden yksikköpäästötietokannassa on liikennevälineiden ja työkonoiden päästökertoimet, jotka kertovat käytönaikaiset päästömäärät kuljettua massa- tai henkilöyksikköä ja pituusyksikkö kohden. Tämän työn laskennassa hyödynnetään liikennevälineiden yksikköpäästökertoimia. (Lipasto 2017.)

### **5.2 Laskenta ja oletukset**

Euroopan Unionissa autojen pakokaasupäästöjä säännellään EURO-säädöksillä, joiden päästöjen raja-arvot uusien ajoneuvojen tulee täyttää. EURO-säädöksiä kiristetään aika ajoin ja riippuen siitä, minä vuonna auto on valmistettu, päästötasot ovat erilaiset. Näitä eri tasoja kutsutaan EURO-päästöluokiksi. (Autotuojat ja -teollisuus 2021.) Lipastossa on saatavilla

päästökertoimet jokaiselle EURO-päästöluokalle erikseen sekä keskimääräinen päästötaso vuodelta 2016. Tässä työssä käytetään vuoden 2016 keskimääräisiä päästökertoimia.

Lipaston päästökertoimet ovat laskettu keskimääräisten matkustajamäärien mukaan. Henkilöautojen päästökertoimet taajama-ajossa ovat kuormituksella 1,3 henkilöä. Linja-autoille päästökertoimia on saatavilla joko keskimääräisellä 18 matkustajan kuormituksella tai täyden ajoneuvon kuormituksella eli 43 matkustajan kuormituksella. Tässä työssä käytetään 18 matkustajan kuormituksen päästökertoimia.

Lipasto-tietokannasta saatavat päästökertoimet ovat yksikössä grammaa per henkilökilometri. Koska tarkasteltavana tilanteena on yhden kilometrin pituinen matka, päästökerroin kerrotaan kilometrillä ja tuloksena saadaan, kuinka monta grammaa yksi ihminen aiheuttaa päästöjä.

## 6 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

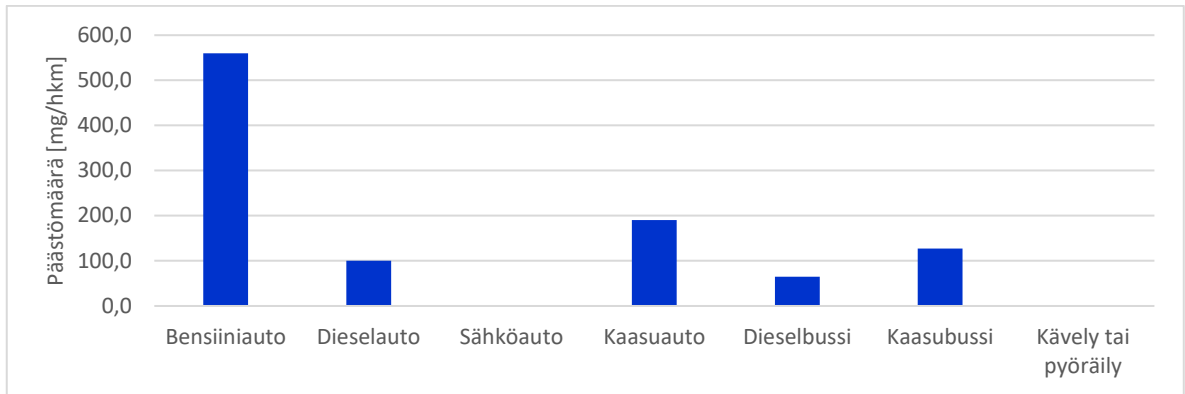
Saadut päästömäärät ovat esitetty taulukossa 1. Bensiinikäyttöinen auto muodostaa selvästi eniten hiilimonoksidipäästöjä. Hiilivetyjä muodostuu eniten maakaasubussilla. Dieselautolla muodostuu eniten sekä typen oksideja että hiukkaspäästöjä. Rikkipäästöt ovat todella alhaiset kaikilla kulkumuodoilla ja suurimmallakin rikkipäästölähteellä, eli bensiiniautolla, luku jää alle milligrammaa per henkilökilometri. Kävelyn ja pyöräilyn ohella myös sähköauto on nollapäästöinen.

**Taulukko 1.** Kuljetusajon päästömäärät milligrammaa per henkilökilometri

	CO [mg/hkm]	HC [mg/hkm]	NOx [mg/hkm]	PM [mg/hkm]	SO <sub>2</sub> [mg/hkm]
<b>Auto</b>					
Bensiini	560,0	41,0	100,0	1,5	0,8
Diesel	100,0	17,0	690,0	27,0	0,5
Sähkö	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kaasu	190,0	11,0	60,0	1,4	0,1
<b>Linja-auto</b>					
Diesel	65,0	10,0	300,0	6,2	0,2
Maakaasu	127,0	185,0	530,0	1,0	0,2
<b>Kävely tai pyöräily</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

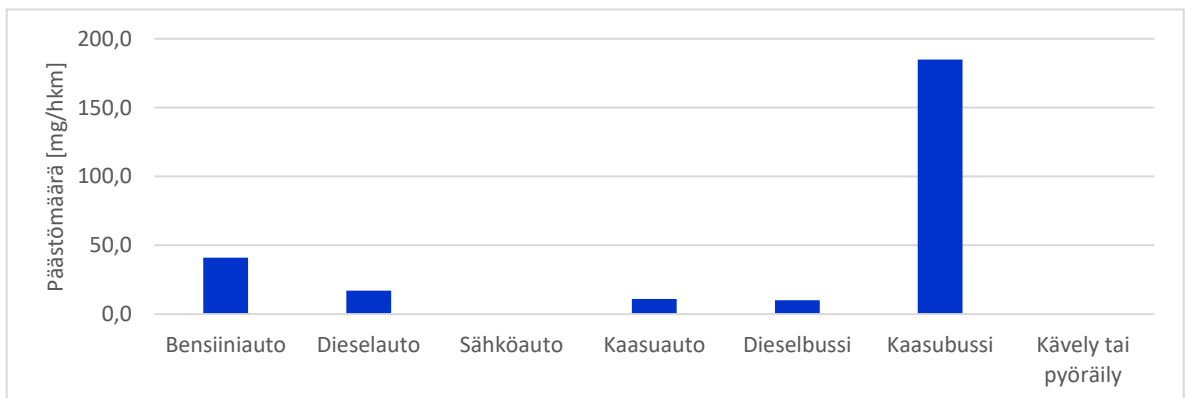
### 6.1 Johtopäätökset

Hiilimonoksidipäästöt eri kulkutavoille ovat esitetty kuvassa 4. Bensiinikäyttöisen auton päästömäärä on lähes kolminkertainen kaasuauton päästömäärään, joka on toiseksi suurin. Tuloksien perusteella hiilimonoksidipäästöjä voitaisiin vähentää tehokkaimmin keskittymällä oikean käyttövoiman eikä niinkään kulkuneuvon valitsemiseen. Hiilimonoksidien perusteella dieselkäyttöinen henkilö- ja linja-auto ovat parempia vaihtoehtoja kuin kaasukäyttöiset. Kaasuauton ja -bussin välillä sekä dieselauton ja -bussin välillä kummassakin tapauksessa linja-auto on kuitenkin hieman parempi vaihtoehto.



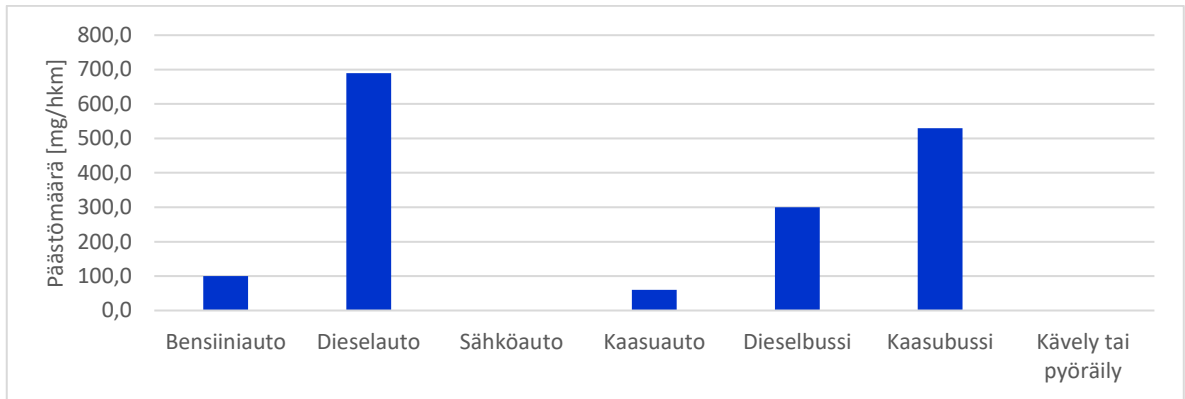
**Kuva 4.** Hiilimonoksidin päästö määrät kulkutavoittain

Kaasubussin hiilivety päästöjen määrä on huomattavasti suurempi kuin muiden kulkutapojen. Hiilivety päästöt ovat esitetty kuvassa 5. Hiilivedyissä ei ole havaittavissa samanlaista ilmiötä kuin hiilimonoksidissa, jossa erot johtuivat käyttövoimista eikä niinkään kulkuneuvosta. Hiilivetyjä muodostuu eniten kaasukäyttöisellä linja-autolla ja, jos nollopäästöisiä kulkutapoja ei huomioida, kaikista vähiten dieselkäyttöisellä linja-autolla.



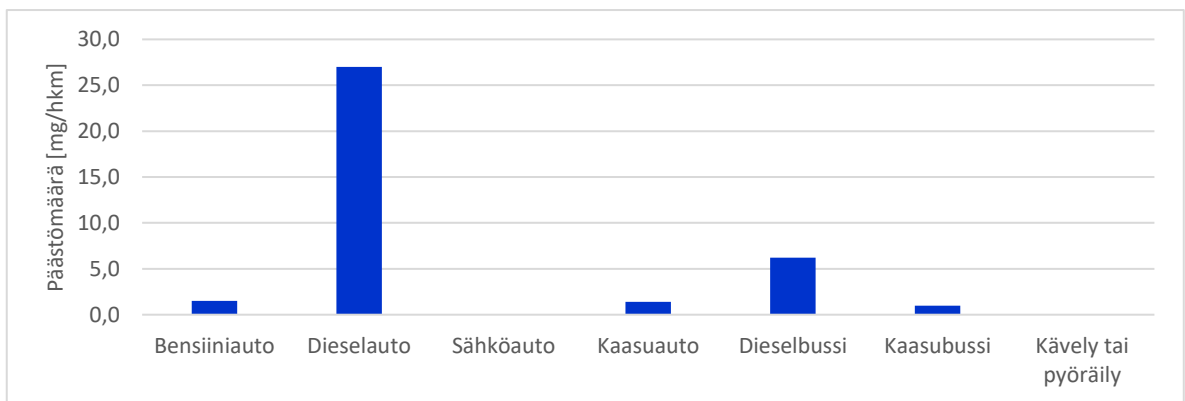
**Kuva 5.** Hiilivetyjen päästö määrät kulkutavoittain

Typenoksidien määrät ovat esitetty kuvassa 6. Dieselkäyttöisen auton käyttäminen muodostaa eniten typen oksideja ja seuraavaksi eniten muodostuu linja-autojen käytöstä. Hiilivetyjen tavoin myös typenoksidien määrä kaasuauton ja -bussin välillä on merkittävä.



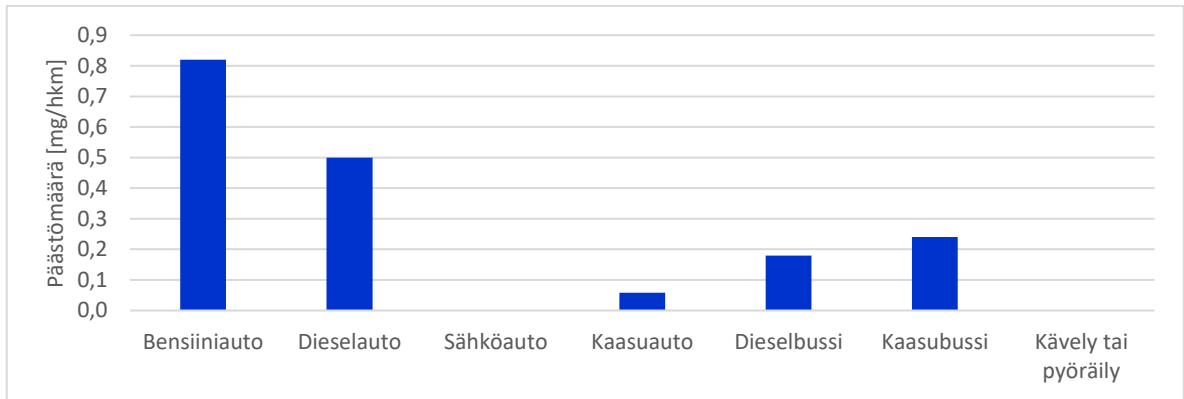
**Kuva 6.** Tyyppien oksidien päästö määrät kulkutavoittain

Hiukkaspäästöt ovat esitetty kuvassa 7. Dieselin käyttö muodostaa eniten hiukkasia. Dieselbussin hiukkasmäärät bensiini- ja kaasukäyttöisiin ajoneuvoihin verrattuna ovat moninkertaiset. Dieselauton hiukkasmäärät puolestaan ovat vielä moninkertaiset dieselbussiin verrattuna. Lasketut hiukkasmäärät ovat kokonaishiukkaspäästö määriä ja niissä ei ole eritelty hiukkaskokoja. Eri hiukkaskoot vaikuttavat terveyteen eri tavoin, koska niiden kulkeutuminen elimistössä määräytyy koon mukaan. Esimerkiksi suurimmat hiukkaset suodattuvat suurimmaksi osaksi jo nenäkuorikossa, kun taas kaikista pienimmät hiukkaset voivat kulkeutua keuhkorakkuloihin asti (Traficom 2020).



**Kuva 7.** Hiukkaspäästöt kulkutavoittain

Rikkidioksidin määrät ovat esitetty kuvassa 8. Rikkipäästöjä on vähennetty tehokkaasti polttoaineiden rikin määriä vähentämällä. Sen takia nykyään liikenteen rikkidioksidipäästöt eivät ole merkittäviä kokonaisrikkidioksidipäästöissä. Tuloksista nähdään, että rikkidioksidin määrät ovat vähäisiä ja muodostavat alle 0,1 % kaikista pakokaasupäästöistä. Kuten kaikki muutkin liikenteen päästöt, myös rikkidioksidi muodostuu lähelle ihmisten hengityskorkeutta, minkä takia myös todella pienet määrät voivat kuitenkin olla vaarallisia.



**Kuva 8.** Rikkidioksidin päästömäärät kulkutavoittain

Osa saaduista tuloksista olivat yllättäviä. Erityisesti kaasubussin hiilivety- ja typenoksidipäästöt olivat odotettua korkeammat. Tämä johtunee suurimmaksi osaksi laskennassa käytetyistä päästökertoimista, jotka olivat vuoden 2016 keskimääräisiä kertoimia. Kaasubussien päästötasot ovat tiukentuneet huomattavasti viimeisen 20 vuoden aikana. Esimerkiksi hiilivedyissä EURO II -luokan päästökerroin on 0,39 g/hkm ja EURO VI -luokan on vain 0,003 g/hkm. Tämä tarkoittaa, että vuonna 1996–2000 valmistettu kaasukäyttöinen linja-auto aiheuttaa keskimäärin yli 100 kertaa enemmän hiilivetypäästöjä kuin vuoden 2015 jälkeen valmistettu kaasukäyttöinen linja-auto.

Bensiini- ja dieselkäyttöisen auton sekä kaasukäyttöisen linja-auton valitseminen aiheuttaa laskennan mukaan eniten lähipäästöjä, ja ne löytyvät jokaisen eri lähipäästön määrissä kärkipäästä. Kaasukäyttöinen auto ja dieselkäyttöinen linja-auto sijoittuvat eri lähipäästöjen määrissä työn vaihtoehtoisissa keskivaiheille. Lähipäästöjen osalta kestävimmit liikkumisen muodot laskujen perusteella ovat sähköauto sekä kävely ja pyöräily. Tässä työssä laskettiin päästöä vain suorille pakokaasupäästöille ja esimerkiksi sähköauton todellisiin käyttövoiman päästöihin vaikuttaa myös sähköntuotantotapa.

Vaihtamalla esimerkiksi bensiinikäyttöisen auton polkupyörään voi yksi henkilö kilometrin pituisella matkalla vähentää hiilimonoksidin päästöjä 560 mg, hiilivetyjen 41 mg, typen oksidien 100 mg, hiukkaspäästöjen 1,5 mg ja rikkidioksidin 0,8 mg. Suomalainen liikkuu päivässä keskimäärin 41 kilometriä, josta 69,7 % tapahtuu bensiinikäyttöisellä autolla. Jos yksi henkilö vaihtaa bensiiniauton paikallisesti nollapäästöiseen kulkutapaan, päästöt vähenevät keskimäärin 16 g hiilimonoksidin, 1,17 g hiilivetyjen, 2,86 g typen oksidien, 0,04 g hiukkaspäästöjen ja 0,02 g rikkidioksidien osalta päivässä. Jos kaikki suomalaiset korvaisivat

bensini auton käytön nollopäästöisillä kulkutavoilla, hiilimonoksidipäästöt vähentyisivät keskimäärin 32 000 t, hiilivety-päästöt 2 400 t, typenoksidipäästöt 5 800 t, hiukkaspäästöt 86 t ja rikkidioksidipäästöt 47 t vuodessa.

Nollopäästöinen liikenne todellisuudessa vaatii koko liikennesektorin uudistamista, joka tulee kestävämpään useampia vuosia ja se onkin Suomen kansallisen energia- ja ilmastostrategian pitkän aikavälin tavoite. Lyhyen aikavälin tavoitteena on liikenteen päästöjen vähentäminen entisestään. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017) Teknologian kehitys polttoaineissa ja moottoreissa on ollut merkittävin lähipäästöjen vähentämiskeino tähän mennessä. Esimerkiksi katalysaattorit muuttavat autojen pakokaasuja vähemmän haitalliseksi ja niiden käyttöönotto 1990-luvun alussa muutti autojen pakokaasupäästöjä. Parhaimmillaan kolmitoimikatalysaattori vähentää hiilimonoksidi-, hiilivety- ja typenoksidipäästöjä yli 90 %. (Motiva Oy 2020f) Dieselautoissa käytettävä AdBlue-tekniikka on toinen esimerkki kehittyneestä moottori- ja polttoaineteknologiasta. AdBlue on ureaa ja vettä sisältävä lisäaine, joka kuumaan pakoputkeen ruiskutettaessa pelkistää typen oksidit vaarattomaksi typeksi. (Motiva Oy 2020b) Uusimman teknologian käyttöä autoissa on edistänyt esimerkiksi säädetyt EURO-luokat. Jatkuvasti kiristyvät päästömääräykset pakottavat moottorivalmistajia käyttämään uusinta teknologiaa ja kehittämään tekniikkaa yhä paremmaksi, mikä vähentää liikenteen päästöjä.



## 7 YHTEENVETO

Liikkuminen on päivittäinen asia suurimmalle osalle ihmisistä ja Suomessa suurin osa liikkumisesta tapahtuu henkilöautolla. Keskimäärin suomalainen liikkuu vuorokaudessa 73 minuuttia ja kulkee 41 kilometriä, joista lähes puolet liittyvät vapaa-aikaan. Suomen henkilöautokanta on vanhentunut viime vuosien aikana ja Suomessa liikennekäytössä olevien autojen keski-ikä on 12,5 vuotta. Suuriosa henkilöautoista ovat bensiinikäyttöisiä. Muita yleisimpiä käyttövoimia ovat diesel, sähkö ja kaasu.

Liikenteen pakokaasupäästöt muodostuvat suoraan ihmisten hengitysilmaan, minkä takia erityisesti kaupunkiympäristössä ihmiset altistuvat niille jatkuvasti. Lähipäästöt ovat pakokaasupäästöjä, jotka vaikuttavat erityisesti ihmisten terveyteen. Niitä muodostuu palamisprosesseissa esimerkiksi, kun polttoaine ei pala täydellisesti. Yleisimmät lähipäästöt ovat hiilimonoksidi, hiilivedyt, typen oksidit, hiukkaspäästöt ja rikkidioksidi. Lähipäästöt kulkeutuvat ihmisiin hengitysteiden kautta, minkä takia niiden aiheuttamat yleisimmät oireet ovat hengitystieoireita, kuten nuha, yskä ja hengenahdistus. Pitkäaikaisen altistumisen seurauksena lähipäästöt voivat aiheuttaa muun muassa hengitysteidentulehduksia ja -sairauksia, sydän- ja verisuonitauteja sekä syöpää. Lähipäästöillä on myös negatiivisia ympäristövaikutuksia, kuten esimerkiksi vesistöjen rehevöityminen, otsonin lisääntyminen ja maapallon säteilytasapainon häiritseminen.

Kulikutapojen valinnoilla voi vaikuttaa lähipäästöjen määriin ja kestävämpään liikkumiseen siirtyminen vähentää lähipäästöjä. Bensiini- ja dieselauto sekä maakaasubussi aiheuttavat eniten lähipäästöjä työhön valituista kulkutavoista. Maakaasuauto ja dieselbussi ovat työn tuloksien perusteella näitä vaihtoehtoja vähäpäästöisempiä. Sähköauto, kävely ja pyöräily ovat paikallisesti päästöttömiä, minkä takia ne olisivat lähipäästöjen minimoimisen kannalta suotuisimmat vaihtoehdot.

## LÄHTEET

Autoalan tiedostuskeskus. 2021. Pakokaasupäästöt [Verkkosivu] [Viitattu 15.2.2021] Saatavissa: [https://www.aut.fi/ymparisto/autojen\\_paastot\\_ja\\_niiden\\_mittaus/pakokaasupaastot](https://www.aut.fi/ymparisto/autojen_paastot_ja_niiden_mittaus/pakokaasupaastot)

Cromer, Orville C. ja Proctor, Charles Lafayette. 2019. Gasoline engine. Encyclopedia Britannica. [Viitattu 22.3.2021] Saatavissa: <https://www.britannica.com/technology/gasoline-engine>

Energiateollisuus. 2021. Energiavuosi 2020 – Sähkö. [Verkkodokumentti] [Viitattu 26.4.2021] Saatavissa: [https://energia.fi/tilastot/sahkotilastot/sahkontuotanto\\_ja\\_kaytto](https://energia.fi/tilastot/sahkotilastot/sahkontuotanto_ja_kaytto)

European Environment Agency. 2016. Explaining road transport emissions. s. 11 [Raportti] [Viitattu 16.2.2021] Saatavissa: <https://www.eea.europa.eu/publications/explaining-road-transport-emissions>

Harrison, R. M. 2014. Pollution - Causes, Effects and Control (5th edition). Cambridge, England: Royal Society of Chemistry Publishing. s. 158-159, 256-258

Kampa, M. ja Castanas, E.. 2008. Human health effects of air pollution. Environmental Pollution. s. 362–367.

Liikennevirasto. 2018. Henkilöliikennetutkimus 2016. [Verkkodokumentti] [Viitattu 29.1.2021] Saatavissa: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti\\_2018-01\\_henkiloliikennetutkimus\\_2016\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti_2018-01_henkiloliikennetutkimus_2016_web.pdf)

Lipasto. 2017. Lipasto – Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. [Verkkojulkaisu] [Viitattu: 8.2.2021] Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/index.htm>

Lipasto. 2019a. Tieliikenne Typen oksidit NO<sub>x</sub>. [Verkkojulkaisu] [Viitattu 16.2.2021] Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/liisa/noxs.htm>

Lipasto. 2019b. Tieliikenne – Hiilimonoksidi CO. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 16.2.2021] Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/liisa/cos.htm>

Lipasto. 2019c. Tieliikenne – Hiilivedyt HC. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 16.2.2021] Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/liisa/hcs.htm>

Lipasto. 2019d. Tieliikenne – Rikkidioksidi SO<sub>2</sub>. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 18.2.2021] Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/liisa/so2s.htm>

Motiva Oy. 2019. Autojen pakokaasupäästöt. [Verkkosivu]. [Viitattu 16.2.2021]. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/perustietoa\\_liikenteesta/autojen\\_pakokaasupaastot](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/perustietoa_liikenteesta/autojen_pakokaasupaastot)

Motiva Oy. 2020a. Ajankohtaista VILI-verkostolle – Seitsemän seikkaa, miten koronaepidemia muutti liikkumista. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 10.2.2021] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/liikkumisen\\_ohjaus/viisaan\\_liikkumisen\\_verkosto\\_vili/ajankohtaista\\_vili-verkostolle/seitseman\\_seikkaa\\_miten\\_koronaepidemia\\_muutti\\_liikkumista.15255.news](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/liikkumisen_ohjaus/viisaan_liikkumisen_verkosto_vili/ajankohtaista_vili-verkostolle/seitseman_seikkaa_miten_koronaepidemia_muutti_liikkumista.15255.news)

Motiva Oy. 2020b. Ajoneuvotekniikka- ja polttoainesanasto. [Verkkosivu] [Viitattu 11.4.2021] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/valitse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka-ja\\_polttoainesanasto](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka-ja_polttoainesanasto)

Motiva Oy. 2020c. Autotyyppi. [Verkkosivu] [Viitattu 26.3.2021] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/valitse\\_auto\\_viisaasti/autotyyppi](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/autotyyppi)

Motiva Oy. 2020d. Energialähteet. [Verkkosivu] [Viitattu 22.3.2021] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/valitse\\_auto\\_viisaasti/energialahteet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/energialahteet)

Motiva Oy. 2020e. Kestävä liikenne ja liikkuminen. [Verkkosivu]. [Viitattu 29.1.2021]. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen)

Motiva Oy. 2020f. Moottoritekniikka. [Verkkosivu] [Viitattu 25.3.2021] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ja\\_liikkuminen/nain\\_liikut\\_viisaasti/va-litse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/va-litse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka)

Nicolopoulou-Stamati, P. et al. (2005) Environmental Health Impacts of Transport and Mobility. Vol. 21. Dordrecht: Springer-Verlag. s. 87–88

Niemi, Jarkko. 2002. Kasvillisuuden vaikutus tienvarsien ilmanlaatuun. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2002:2. Helsinki: YTV:n monistamo. s. 12

Proctor, Charles Lafayette ja Armstrong, Lloyd Van Horn. 2020. Diesel engine. Encyclopedia Britannica. [Viitattu 22.3.2021] Saatavissa: <https://www.britannica.com/technology/diesel-engine>

Salomaa, Eija-Riitta. 2019. Häkämyrkytys. Lääkärikirja Duodecim. Kustannus Oy Duodecim. [Verkkoartikkeli] [Viitattu: 17.2.2021] Saatavissa: [https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk00759](https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00759)

Saxena, P. ja Srivastava, A. 2020 Air Pollution and Environmental Health. 1st ed. 2020. Singapore: Springer Singapore. s. 10

St1. 2021. Diesel. [Verkkosivu] [Viitattu: 22.3.2021] Saatavissa: <https://www.st1.fi/yri-tyksille/tuotteet-ja-palvelut/poltonesteet/dieselit-ja-adblue>

Suomen ympäristökeskus SYKE. 2020. Suomen hiukkaspäästöt. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 16.2.2021] Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat\\_ja\\_tilastot/Ympariston\\_tilan\\_indikaattorit/Ilman\\_epapuhtaudet/Suomen\\_hiukkaspaaastot\(28647\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Ilman_epapuhtaudet/Suomen_hiukkaspaaastot(28647))

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2019. Pienhiukkasen vaikutusmekanismit. [Verkkosivusto] [Viitattu 16.2.2021] Saatavissa: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilmansaasteet/pienhiukkasten-vaikutusmekanismit>

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2020. Ilmansaasteet. [Verkkosivusto] [Viitattu 16.2.2021] Saatavissa: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilmansaasteet>

Tilastokeskus. 2021. Käsitteet – Hiilimonoksidi (CO). [Verkkojulkaisu] [Viitattu 17.2.2021] Saatavissa: <https://www.stat.fi/meta/kas/hiilimonoksidi.html>

Traficom. 2020. Tieliikenteen eri käyttövoimien ja polttoaineiden lähipäästöt ja niiden haitalliset vaikutukset. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 29.1.2021]. Saatavissa: [https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Tieliikenteen%20eri%20k%C3%A4ytt%C3%B6voimien%20ja%20polttoaineiden%20l%C3%A4hip%C3%A4st%C3%B6t%20ja%20niiden%20haitalliset%20vaikutukset\\_Vaihe%20\\_final.pdf](https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Tieliikenteen%20eri%20k%C3%A4ytt%C3%B6voimien%20ja%20polttoaineiden%20l%C3%A4hip%C3%A4st%C3%B6t%20ja%20niiden%20haitalliset%20vaikutukset_Vaihe%20_final.pdf)

Traficom. 2021a. Ajoneuvokannan tilastot. [Verkkojulkaisu] [Viitattu 17.3.2021] Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/tilastot/ajoneuvokannan-tilastot>

Traficom. 2021b. Henkilöautokanta. [Verkkojulkaisu] [Viitattu 17.3.2021] Saatavissa: <https://www.liikennefakta.fi/fi/ymparisto/henkiloautot/henkiloautokanta>

Tuomisto, Jouko. 2020. Ei kai häkämyrkytys ole tätä päivää? [Verkkoartikkeli] [Viitattu 17.2.2021] Saatavilla: [https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=asy00402](https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=asy00402)

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. s. 51–57 [Verkkojulkaisu] [Viitattu 11.4.2021] Saatavilla: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79189>

United States Environmental Protection Agency. 2016. Basic Information about NO<sub>2</sub>. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 16.2.2021] Saatavissa: <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2>

VTT. 2021. Tietoa VTT:stä. [Verkkosivusto] [Viitattu 8.2.2021] Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/fi/tietoa-meista/tietoa-vttsta>

Ympäristö NYT. 2021. Liikkumisen valinnat. [Verkkajulkaisu] [Viitattu 16.2.2021] Saatavissa: <https://ymparistonyt.fi/vaikutavesiin/liikun-maalla-ja-vesilla/liikkumisen-valinnat/>