

TAMPERE

Kantakaupungin yleiskaava

valtuustokausi 2017-2021



Tulevaisuuden yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten arviointi

ubigu

Tietotakomo

GISPO

TAMPERE.
FINLAND



TAMPEREEN KAUPUNKI

Ubigo Oy, Avoin yhtiö Tietotakomo, Gispo Oy, Tampereen kaupunki

Tampereen kaupunki
Kaupunkiympäristön suunnittelu
Yleiskaavoitus
PL 487, 33101 Tampere

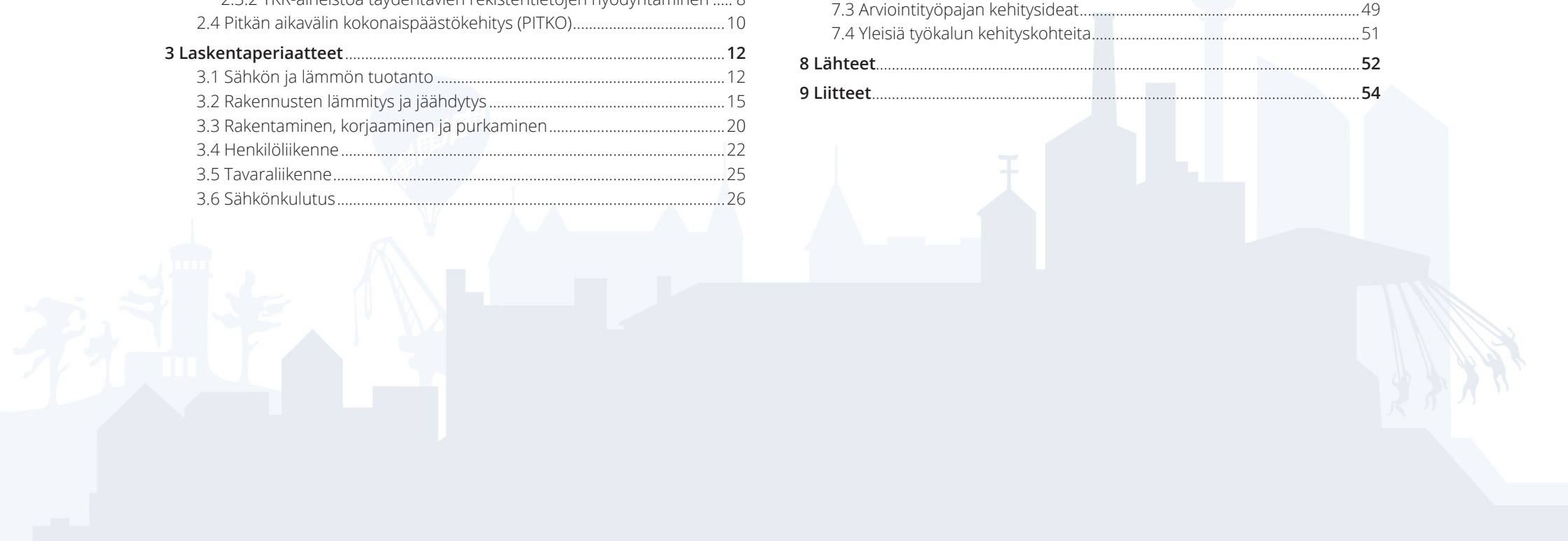
www.tampere.fi/asuminen-ja-ympa-risto/kaavoitus/yleiskaavoitus

Taitto: Birgitta Helsing

ID 4983752
20.11.2019

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	5	4 Työkalun kuvaus.....	28
2 Päästölaskennan lähtökohdat	6	5 Tampereen nykyrakenteen ilmastovaikutukset	30
2.1 Arviointityöpaja.....	6	5.1 Yhteenveto	30
2.1.1 Asuminen ja rakentaminen.....	6	5.2 Lämmitys ja jäähdytys.....	34
2.1.2 Liikenne.....	6	5.3 Rakentaminen (korjaus- ja saneeraus).....	35
2.1.3 Päästöjen hillintä	6	5.4 Liikenne	36
2.1.4 Yleisiä ajatuksia työkalusta	6	5.5 Sähkönkulutus	40
2.2 Kansalliset lähtöaineistot	6	5.6 Hiilinielut ja -varastot	42
2.2.1 Yhdyskuntarakenteen seurantajärjestelmä.....	6	6 Tulevaisuuden päästölaskennan periaatteita.....	45
2.2.2 Yhdyskuntarakenteen vyöhykkeet	7	6.1 Suunnittelutiedon numeeristaminen	45
2.2.3 Keskusta-alueet	8	6.2 Vyöhyketietojen päivittäminen	46
2.2.4 Henkilöliikennetutkimus	8	7 Laskennan ja aineistojen kehittämistarpeita	47
2.3 Paikalliset lähtöaineistot	8	7.1 YKR-aineistojen laajempi hyödyntäminen tai kehittäminen.....	47
2.3.1 Maankäytön suunnitelmat	8	7.2 3D-aineistojen hyödynnettävyyden arviointi.....	48
2.3.2 YKR-aineistoa täydentävien rekisteritietojen hyödyntäminen	8	7.3 Arviointityöpajan kehitysideat.....	49
2.4 Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys (PITKO).....	10	7.4 Yleisiä työkalun kehityskohteita.....	51
3 Laskentaperiaatteet.....	12	8 Lähteet.....	52
3.1 Sähkön ja lämmön tuotanto	12	9 Liitteet.....	54
3.2 Rakennusten lämmitys ja jäähdytys	15		
3.3 Rakentaminen, korjaaminen ja purkaminen.....	20		
3.4 Henkilöliikenne	22		
3.5 Tavaraliikenne.....	25		
3.6 Sähkönkulutus.....	26		



1 Johdanto

Tampereen kaupungin tavoitteena on 1,4% vuotuinen väestönkasvu ja hiilineutraalius vuonna 2030. Kaupungin energia-, ilmasto- ja resurssiviisautta koskevat tavoitteet sekä niihin liittyvät toimenpiteet kootaan ”Kesästä Tampere 2030” -tiekarttaan. Hiilineutraaliustavoite otetaan huomioon kaikessa kaupungin toiminnassa. Yleiskaavoituksen pyrkimyksenä on kestävän kasvun mahdollistaminen siten, että kaupunkiympäristön laatu ja toiminnallisuus säilyvät. Yhdyskuntarakenteen tuottamien ilmastovaikutusten arviointi on noussut keskeiseksi käynnissä olevassa yleiskaavatyössä, jossa sovitaan yhteen kaupungin kasvun ja kestävyden tavoitteita. On syntynyt tarve tutkia aiempaa tarkemmin yhdyskuntarakenteen nykytilanteen ja tulevaisuuden ilmastovaikutuksia huomioiden myös kaupungin erilaistuminen taajamiin ja maaseutualueisiin.

Ilmastovaikutusten arviointimenetelmän kehittämisen lähtökohtana oli EPECC:in (Oy Eero Paloheimo Ecocity Ltd.) vuonna 2015 Tampereen kaupungille laatinut työkalu, jolla on mahdollista arvioida yhdyskunnan nykyrakenteen energiatehokkuutta ja ilmastovaikutuksia. Nyt kehi-

tetty työkalu perustuu valtakunnalliseen YKR-ruutuaineistoon sekä haluttaessa myös paikallisen, tarkemman aineiston hyödyntämiseen. Tämän työn tarkoituksena on ollut kehittää olemassa olevaa työkalua siten, että saadaan suunnittelua ja poliittista päätöksentekoa tukevaa tietoa nykyisen ja tulevan yhdyskuntarakenteen päästövaikutuksista. Tietoa voidaan käyttää päätöksenteon tukena ratkaistaessa tulevaisuuden kasvun suuntia ja muita kaupunkirakenteen kestävyyyteen vaikuttavia linjauksia.

Työ jakautui kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa arvioitiin aiemmin käytössä olleen työkalun ajantasaisuutta ja soveltuvuutta olemassa olevan yhdyskuntarakenteen päästövaikutusten kuvaamiseen. Tämän yhteydessä järjestettiin Tampereella 5.2.2019 asiantuntijoille työpaja, jossa hahmotettiin ilmastovaikutusten arvioinnin ja tähän rakennettavan työkalun keskeisiä tarpeita ja lähestymistapoja. Toisessa työvaiheessa kehitettiin uusi mallinnusmenetelmä siten, että työkalulla on mahdollista arvioida tulevaisuuden yhdyskuntarakenteen ennakoituja

ilmastovaikutuksia esimerkiksi erilaisista kaavavaihtoehtoista tai muista maankäytön skenaarioista. Suuri osa työvaiheesta oli laskurin ohjelmointia, laskennan oletusarvojen parametrisointia tietokantaympäristöön sekä testausta. Työtä voidaan pitää jatkumona Tampereen kaupungin aiempiin maankäytön digitalisaation kehitystoimenpiteisiin, joilla on kehitetty mm. tietomallipohjaista yleiskaavoitusta ja ajantasaisen maankäytön seurantatiedon tuottamista.

Projektin tuloksena syntyivät tietokantaympäristöön kehitetty päästölaskentalaskuri ja tämän hyödyntämät ominaispäästötiedot sekä muut viitearvot nykyisen ja tulevan yhdyskuntarakenteen päästöjen arvioinnille. Lisäksi toteutettiin laskurin graafinen käyttöliittymä QGIS-ohjelmiston lisäosana, visualisointimenetelmät laskurin tuottamille paikkatietoaineistoille, tekninen dokumentaatio sekä lisätyönä toteutettuja prosessointimalleja paikallisen rekisteri- yms. aineistojen hyödyntämiseen. Näillä saavutettiin merkittäviä parannuksia päästölaskennan laatuun. Kehitetyt työkalut rakennettiin avoimen lähdekoodin teknologioilla ja myös julkaistiin avoimena koodina.

Kehitetty laskentaprosessi toimii siten, että käyttäjä syöttää työkaluun tarvittavia valtakunnallisia YKR-lähtöaineistoja tai vastaavaa paikallisesti laadittua aineistoa. Mikäli nykyrakenteen arvioinnin lisäksi halutaan tuottaa myös tulevan yhdyskuntarakenteen päästölaskenta, syötetään työkalulle kaavanomaisia aineistoja (käyttötarkoituusalueet, haluttaessa myös keskusverkko ja liikennejärjestelmä) (ks. liitteet 1 ja 2). Näiden ohella käyttäjä voi määritellä laskenta-asetuksia, joista tärkeimpänä on pitkän aikavälin kokonaispäästökehityksen yhteiskunnallinen taustaskenaario, joka perustuu tuoreen PITKO-hankkeen tuloksiin. Laskennan tuloksena syntyy paikkatietoaineisto, jota voidaan havainnollistaa esimerkiksi erilaisin kartta- tai kuvaajavisuaalisoinnein ja aikasarjoin. Työkalun laskentaympäristö voidaan asentaa tyypillisille nyky- aikaisille tietokantapalvelimille.

Työn toteuttivat yhdessä Tampereen kaupungin ja Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) kanssa Ubigo Oy, avoin yhtiö Tietotakomo sekä Gispo Oy osana SYKE:n YKR-Demo -hanketta.

2 Päästölaskennan lähtökohdat

2.1 Arviointityöpaja

Hankkeen alkaessa konsulttien sisäisessä tapaamisessa vertailtiin kaupungin aiempaa ilmastovaikutusten arviointityökalua ja päästölaskennan parhaita nykykäytänteitä. Samalla tutkittiin olemassa olevan työkalun laskennan oletusarvojen ja menetelmien ajantasaisuutta. Tämän rinnalle laadittiin kuvaus uuden työkalun mahdollisesta sisällöstä, johon lisättiin laskennassa jatkossa tarkasteltavia asioita, esimerkiksi erilaisia päästöihin vaikuttavia trendejä ja osa-alueita (Liite 3). Sekä nykytilan kuvausta että aihiota tulevasta päästölaskennasta pohdittiin työpajassa Tampereella 5.2.2019. Työpajatyöskentely jaettiin neljän teeman alle: Asuminen ja rakentaminen, liikenne, päästöjen hillitseminen (hiilinielut ja -sidonta) sekä yleiset ajatukset ilmastotyökalusta.

2.1.1 Asuminen ja rakentaminen

Työkaluun on tärkeää sisällyttää rakennuskannan kattava tarkastelu. Asumisen lisäksi tulisi huomioida työpaikat, palvelut ja muu rakennuskanta sekä rakennusten käytön intensiteetti, kuten asuinrakennuk-

sesta asuvat asukkaat, työpaikkojen määrä, kaupan kerrosala ja teollisuusrakennukset toimialoittain. Rakennusten päästölaskentaan kaivattiin elinkaariajattelua, joka huomioi rakentamisen, saneerausten ja purkamisen päästöpiikit.

2.1.2 Liikenne

Liikenteen päästölaskennassa ensisijaisena pidettiin liikennesuoritteiden jakamista yhdyskuntarakenteen ominaisuuksien mukaan. Osana yhdyskuntarakenteellista tarkastelua pitäisi huomioida myös laskentaruutujen etäisyys keskustasta.

Liikennejärjestelmän, tulevan maankäytön ja liikennesuoritteiden välisen suhteen arviointi nähtiin tärkeäksi, mutta haasteelliseksi. Tulevat kaavoitusratkaisut esimerkiksi tiivistävän kaupunkirakenteen myötä vaikuttavat asukkaiden kulkutapa-jakaumaan. Tampereella oleellisena laskentamalliin päivitettävänä asiana nähtiin raitiotien ja lähijunaseisakkeiden huomiointi. Tunnistettiin myös, että liikkumisen tavoitteet eivät voi olla samat kaikille alueille. Osalla alueista liikenne on jo kestävämpää kuin yleisissä tavoitteissa, osa puolestaan on tavoitteista kaukana.

Työpajassa keskusteltiin liikennepäästöjen kohdentumisesta asuin-, työpaikka- ja asiointiruutuihin ja tavaraliikenteen kohteena oleviin kiinteistöihin sekä liikenteen seudullisista vaikutuksista. Tunnustettiin, että sillä, mihin palvelut ja työpaikat on sijoitettu, on vaikutus päästöihin. Työkallussa työmatkaliikenne on jaettu puoliksi asuin- ja työpaikan välillä. Asiointiliikenteen päästöt sijoitetaan asuinruutuihin.

2.1.3 Päästöjen hillintä

Hiilivarastot ja -nielut ovat tärkeitä kasvi-huonepäästöjen kompensoinnissa. Hankkeessa tarkasteltiin hiilivarastoja ja -nieluja päästölaskennan rinnalla. Hiilen sidonnassa pohdittiin tarkastelualueen rajaamisongelmaa: rajattaisiinko hiilen sidonnan ja varastoitumisen tarkastelu vain Tampereen kuntarajojen sisälle vai huomioidaanko seudulliset hiilivarastot? Hankkeessa hiilen sidonta huomioitiin vain Tampereen alueella, missä suurimmat hiilivarastot sijaitsevat Pohjois-Tampereella.

2.1.4 Yleisiä ajatuksia työkalusta

Työkalun laskentatuloksista tulisi voida erotella kaavaratkaisujen ilmastovaikutuk-

set erilaisten tulevaisuuden kehityspolkujen tuottamista ilmastovaikutuksista. Työkalusta toivottiin riittävän yksinkertaista ja käyttäjäystävällistä, jotta sitä käytettäisiin aktiivisesti. Käyttäjän säädettäväksi haluttiin valikoima keskeisiä muuttujia.

Tulokset haluttiin paikkatietomuo-dossa ja lisäksi työkaluun kaivattiin mahdollisuutta tarkastella kokonais- tai asukas-kohtaisia päästöjä sekä päästöjen jaottelua lajeittain (liikenne, lämmitys, jne.).

2.2 Kansalliset lähtöaineistot

2.2.1 Yhdyskuntarakenteen seurantarjestelmä

Yhdyskuntarakenteen seurantarjestelmä (YKR) on Suomen ympäristökeskuksen ja Tilastokeskuksen tuottama paikkatietopohjainen seurantarjestelmä ja tietoi-neisto valtakunnallisesti ja ajallisesti vertailukelpoisten yhdyskuntarakenteen analyysien toteuttamiseen. YKR on tarkoitettu yhdyskuntarakenteessa pitkällä aikavälillä tapahtuvien muutosten seurantaan ja analysointiin ja aineistolla edistetään maan-käyttö- ja rakennuslain rakennettua ympä-

ristöä koskevien seurantaveloitteiden toteuttamista. Aineisto koostuu säännöllisestä 250 metrin ruudukosta, johon voi liittää temaattisesti jaoteltua tilastoaineistoa.

YKR-aineisto on luonteeltaan historia-tietoa. Aineistoteemasta riippuen joko vuosittain tai muutaman vuoden välein tuotettavat vuositasen tilastotiedot ovat tyypillisesti saatavilla noin 1-2 vuotta jälkikäteen (esim. vuoden 2018 ruututasen tilastotiedot väestöstä tai työpaikoista saatavilla 2019 tai 2020). Aineiston käyttö edellyttää sopimusta SYKE:n kanssa, ja aineisto on melko laajasti etenkin julkishallinnon käytössä. Aineistoa voidaan hyödyntää joko Liiteri-palvelun kautta tai ladata paikallisesti käytettäväksi. Hankkeessa kehitetty työkalu edellyttää aineistojen lataamista.

Työkaluun haluttiin valita käytettäväksi tarkoin rajatut aineistoteemat YKR-aineistosta, jotta sen käyttö ei olisi käyttäjilleen, esim. suunnittelijoille, liian raskasta. Työkalussa hyödynnetään seuraavia YKR-aineistoja: väestö (ei ikä- eikä sukupuolijaottelua), työpaikat (kokonaismäärä) sekä rakennukset (Liite 4). Näistä rakennustietoja käytetään työkalussa eniten. Rakennukset teemassa on kuvattu keskeisiä tunnuslukuja rakennuskannasta rakennusten käyttötarkoituksen mukaan luokiteltuna. Data perustuu Väestötietojärjestelmän (VTJ)

rakennus- ja huoneistorekisteriin (RHR), jota on paranneltu Tilastokeskuksessa mm. käytössäolotilanteen osalta. Väestöaineisto perustuu VRK:n väestön keskusrekisterin tietoihin. Vuodesta 2007 lähtien tiedot on tuotettu vuosittain. Väestöllä tarkoitetaan alueella vakinaisesti asuvaa väestöä. Väestön sijainti määräytyy asuinrakennusten perusteella. Työpaikkatiedot perustuvat useisiin rekisteritietoihin, etenkin Tilastokeskuksen yritys- ja toimipaikkarekisteriin. Työpaikkojen lukumäärällä kuvataan alueella työssäkäyvien henkilöiden määrää.

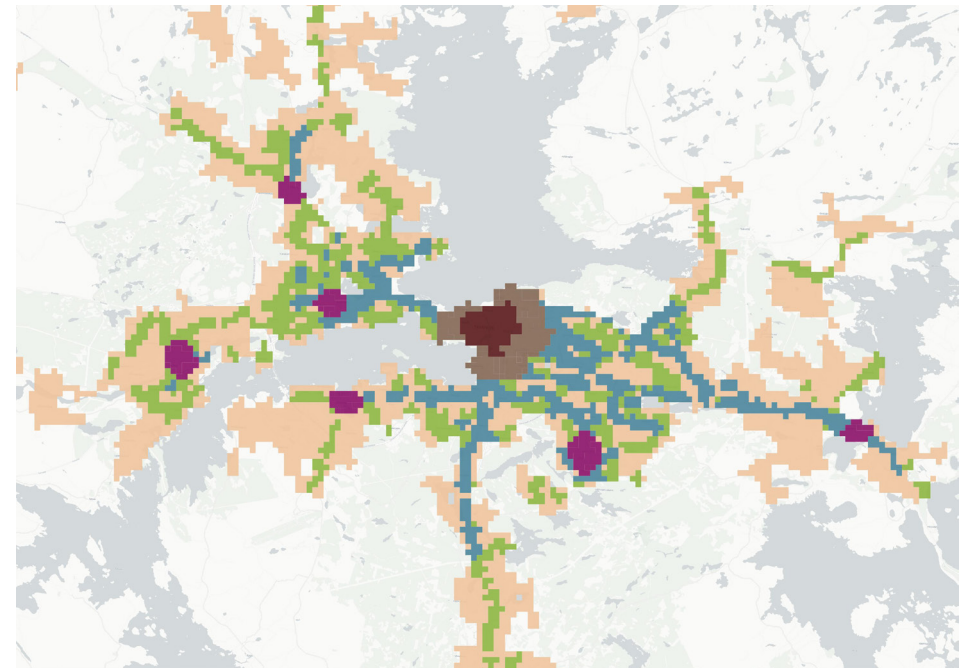
2.2.2 Yhdyskuntarakenteen vyöhykkeet

Yhdyskuntarakenteen vyöhykkeet (UZ) on Suomen ympäristökeskuksen Urban Zone -hankkeissa (SYKE 2013, 2017) tuotettu avoin tietoaaineisto, joka on muodostettu 34 kaupunkiseudulle luokittelemalla ja yhdistelemällä YKR:n mukaisia taajamaruutuja erilaisiin vyöhykkeisiin ruutujen keskustaetäisyyden, joukkoliikenteen palvelutason ja väestö- ja työpaikkatietojen perusteella. Aineisto koostuu pääosin viidestä vyöhyketyypistä: keskustan jalankulkuvyöhyke, keskustan reunavyöhyke, intensiivinen joukkoliikennevyöhyke, joukkoliikennevyöhyke ja autovyöhyke (Kuva 1).

Ilmastovaikutusten arvioinnissa UZ-ai-

neistoa on hyödynnetty, jotta henkilöliikenteen päästöjä voitiin arvioida aiempaa tarkemmin. Koska laadullisesti erityyppisillä alueilla liikkumistavat ja -mahdollisuudet ovat yleensä erilaiset, yhdistettiin laskentaa varten valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen tulokset UZ-aineistoon, jol-

loin saatiin tietoa liikennesuoritteista erilaisilla alueilla. Tulevaisuuden skenaarioita laskettaessa laskentakaavat tuottavat vyöhykkeistä arvion kunkin vuoden mukaisesta tilanteesta.



Yhdyskuntarakenteen vyöhykkeet

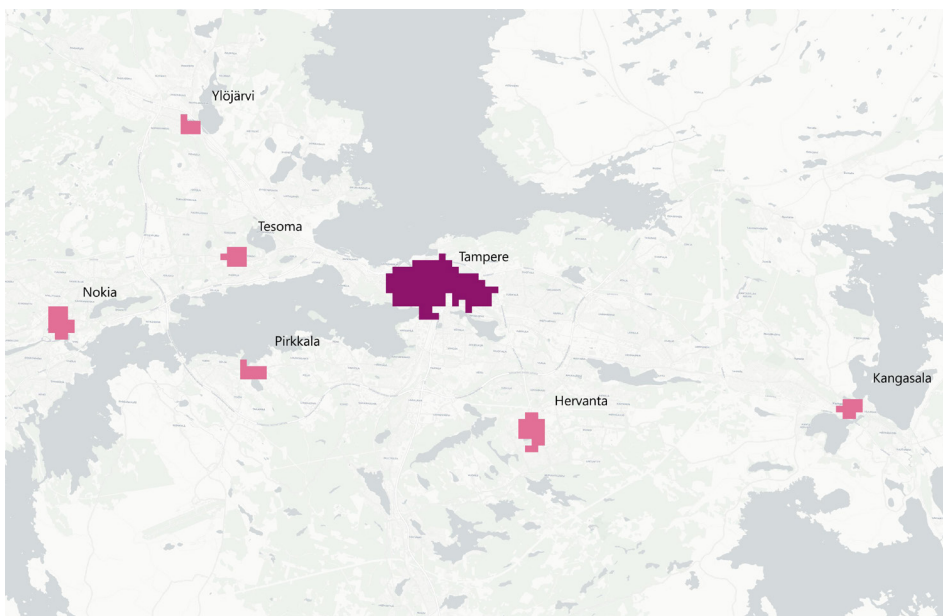
 Keskustan jalankulkuvyöhyke	 Joukkoliikennevyöhyke
 Keskustan reunavyöhyke	 Autovyöhyke
 Intensiivinen joukkoliikennevyöhyke	 Alakeskuksen jalankulkuvyöhyke

Kuva 1. Nykyiset yhdyskuntarakenteen vyöhykkeet (Urban Zone) Tampereen kaupunkiseudulla.

2.2.3 Keskusta-alueet

Tietoa kaupunkien ja niiden alakeskusten keskustoista hyödynnetään laskennan eri vaiheissa, kun määritellään mm. UZ-vyöhykkeiden kehittymistä ja liikkumistottumuksia. Keskusta-alerajauksina käytetään SYKE:n Keskustat ja kaupan alueet -aineistoa, joka on muodostettu pitkälti YKR-aineiston pohjalta hankkeissa Kaupunkiseu-

tujen yhdyskuntarakenteen monikeskussisuus ja kauppa (2010-11) ja Keskustojen elinvoimaisuus ja asema yhdyskuntarakenteessa (2012-13) (SYKE 2014). Laskennan yhteydessä vertaillaan käyttäjän syöttämiä suunnitelmätietoja tähän valtakunnalliseen aineistoon (Kuva 2), ja tämän pohjalta päätellään mahdollisia keskusverkolla tapahtuvia merkittäviä muutoksia.



Keskusta-alueet (SYKE)

Kaupunkiseudun keskusta Kaupunkiseudun iso alakeskus

Kuva 2. SYKE:n määritelmän mukaisia keskusta-alueita Tampereen ydinkaupunkiseudulla.

2.2.4 Henkilöliikennetutkimus

Henkilöliikenteen päästölaskenta perustuu liikkumisen suoritteisiin eri kulkuvälineillä. Tiedot on johdettu noin 5 vuoden välein laadittavasta valtakunnallisesta henkilöliikennetutkimuksesta (HLT). Tuorein HLT on vuodelta 2016. Joidenkin seutujen kuten Tampereen osalta on tutkittu lisäotoksia, joilla saadaan tarkempaa tietoa kyseisen seudun liikkumistottumuksista. Työkaluun vietiin Tampereen seudun HLT2016 liikennesuoritetiedot, joita SYKE on tarkentanut siten, että suoritteet on laskettu yhdyskuntarakenteen vyöhykkeille ja eri etäisyyksille. Viitearvojen perusteella henkilöliikennesuorite saadaan jaettua myös asuin- ja työssäkäyntipaikkojen välille. Lisäksi tulevaisuuden liikennepäästöjen mallintamiseksi hyödynnettiin Tampereen seudun liikennemallin (TALLI) tuloksia, koska Tampereelle rakennetaan täysin uusi kulkumuoto (raitiotie).

2.3 Paikalliset lähtöaineistot

2.3.1 Maankäytön suunnitelmat

Työkalun tapa arvioida tulevaisuuden yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutuk-

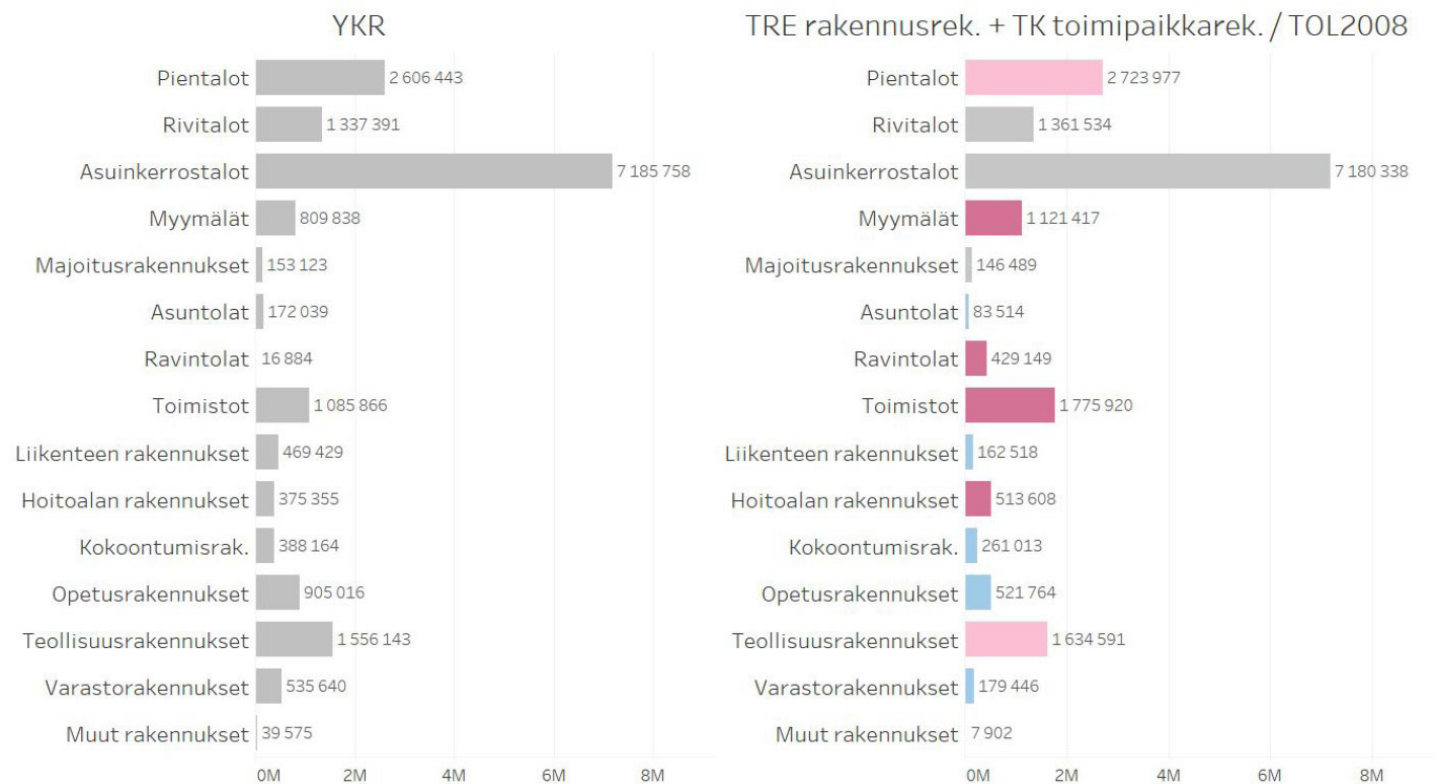
sia perustuu maankäytön suunnitelmatojen hyödyntämiseen. Mikäli käyttäjä ei syötä työkaluun kaavatietoa tai kaavantausta tietoa, lasketaan ilmastovaikutukset vain nykyiselle yhdyskuntarakenteelle. Laskennalle keskeisiä kaavatietoja ovat käytötarkoituksalueet sekä haluttaessa mahdolliset keskusverkkoa koskevat suunnitelmat ja osa joukkoliikennejärjestelmää. Näiden avulla päivitetään väestö-, työpaikka-, rakennus-, ja yhdyskuntarakenteen vyöhyketiedot kullekin tarkasteluajankohdalle. Käytännössä tämä edellyttää määritellyn tietomallin käyttämistä työkaluun annetuissa suunnitelmätiedoissa, mikä on kuvattu työn teknisessä dokumentaatiossa.

2.3.2 YKR-aineistoa täydentävien rekisteritietojen hyödyntäminen

Työkalua rakennettaessa ilmeni, että YKR-aineisto ei nykyisessä muodossaan sisällä päästölaskennan näkökulmasta tietoa rakennuksista riittävän kattavasti ja laadukkaalla tasolla. Merkittävimmät YKR-aineistoon liittyvät ongelmat ovat YKR-aineistossa käytetty tietosuojauksen taso, rakennusten lämmitysmuototiedon puuttuminen, sekä liian yleistä-

soinen tieto myymälä- ja teollisuuden toimintoista. Tietosuoja-asetus estää päästö-laskennan toteuttamisen yksittäisille suurille teollisuus- ja myymälärakennuksille, jos tällainen rakennus on ainoa yksittäisen YKR-ruudun sisällä. Tällaisia rakennuksia ovat esimerkiksi Tampereen Linnainmaan Prisma, Tampereen IKEA ja Lempäälän Ideapark. Tietosuojattujen ruutujen osuus koko aineistosta on merkittävä.

Lämmitysmuotoon liittyvän tiedon puuttuminen YKR-aineistosta ei mahdollista rakennusten lämmöntuotannon tarkempaa päästöarviointia. Rakennusrekisteriaineistosta saatiin laskettua kerrosalan jakautuminen eri lämmitysmuotojen mukaan, eli esimerkiksi kaukolämmön, sähkölämmityksen, öljylämmityksen ja maalämmön osalta ruuduittain ja rakennusajankohdittain. YKR-aineistossa (ja rakennusluokitus 1994:ssä) ei ole myöskään tietoa teollisuus- ja myymälätoiminnasta halutulla tarkkuudella. Muita YKR-aineiston haasteita ovat mm. tietojen tuotannon ja julkaisun n. 1-2 vuoden viive lähes reaaliaikaiseen rekisteriaineistoon verrattuna sekä rakennuksen pääkäyttötarkoituksesta (esim. asuinkerrostalo) poikkeavan tilan käytön tietojen puuttuminen (esim. myymälä, toimisto tai liiketila asuin-kerrostalossa).



Kuva 3. Kerrosalan jakautuminen YKR-aineistossa ja yhdistelmä-aineiston perusteella vuoden 2017 tilanteessa Tampereella. Tummempaan punaisella käyttötarkoituksiluokat, joissa kerrosalan kasvu suhteellisesti isoa YKR-aineistoon verrattuna, vaaleanpunaisella suhteellisesti pienempi kerrosalan kasvu, harmaalla lähes tulkoon nykyistä YKR-aineistoa vastaava taso ja sinisellä kerrosalan vähenemä. Huom! Kerrosalan jakautuminen eri käyttötarkoituksille voi vaihdella huomattavasti eri kaupunkien välillä.

Päädettiin siihen, että työkaluun rakennettiin mahdollisuus täydentää YKR-aineiston Rakennukset-tietoja Tampereen omalla yhdistelmäaineistolla. Siihen on yhdistetty tietoja Tampereen kau-

pungin rakennusvalvonnan ylläpitämästä rakennusrekisteristä, kaupungilla käytössä olevasta Facta-väestörekisteristä (asukkaiden lukumäärä rakennuksittain) ja Tilastokeskuksen yritys- ja toimipaikkarekisteristä.

Toimipaikkarekisteriä ja rakennusten asukasmäärätietoa hyödyntämällä voitiin tunnistaa rakennuksissa tapahtuvaa sekoittunutta käyttöä ja arvioida rakennuksen käyttötarkoitusta eri toimintoihin. Esimerkiksi

Tampereella Pyynikin Trikoon vanhassa teollisuuskiinteistössä on YKR- ja rakennusrekisteritiedoissa yhä teollisuuskäytössä noin 38 000 kerrosneliötä, kun todellisuudessa kiinteistö on erityyppisten yritysten, myymälöiden, varastoinnin, pienteollisuuden ja asumisen käytössä ja muuttumassa tulevina vuosina pääasiassa asuinkäyttöön.

Rekisteriaineistojen pohjalta voitiin jakaa YKR:ssä yhtenä kokonaiskerrosalana ilmoitettu teollisuusrakennusten kerrosalatie tieto päästölaskennan näkökulmasta mielekkäämmällä 14 luokkaisella jaotuksella. Teollisuuden osalta uudet luokat ovat: elintarviketeollisuus, tekstiiliteollisuus, puuteollisuus, paperiteollisuus, graafinen ja painoteollisuus, kemian teollisuus, elektroniikateollisuus, kumi- ja muovituotteiden valmistus, metalliteollisuus, koneiden ja laitteiden valmistus, voimalaitosrakennukset, yhdyskuntatekniikan rakennukset, kaivosteollisuus ja muu teollisuus. Myymälät jaoteltiin päästölaskentaa varten neljään luokkaan: pienet päivittäistavarakaupat, supermarketit, hypermarketit ja muut myymälät.

Aineistojen yhdistely ja käsittely toteutettiin FME Workbench -malleina. Mallien pohjalta aineiston käsittelyä pystytään laajentamaan koskemaan myös muissa kunnissa mahdollisesti toteutettavaa samankaltaista päästölaskentaa. Tampereella nykyisen yhdyskuntarakenteen päästöjä laskettaessa oli eri lähtöaineistojen käytöllä kokonaispäästöihin n. 3-9 % vaikutus.

Rakennusrekisterin perusteella tuotetun aineiston vaikutus YKR:ään verrattuna oli noin +8-9% kokonaispäästöissä. Tämä johtui erityisesti siitä, että YKR:ssä tietosisällöltään rajatuille ruuduille saatiin Tampereen rakennusrekisteristä käyttötarkoitustiedot rakennuksille, jotka muutoin jäivät laskennan ulkopuolelle. Sekoitettun rakenteen analyysistä laaditun aineiston myötä kokonaispäästöt muuttuivat noin +3-4%. Tarkempi käyttötarkoitustieto ja -jakauma suhteessa vain rakennus- ja huoneistorekisteristä muodostettuun aineistoon laskee kokonaispäästöjä. Todennäköisesti päästöt olisivat rakennusrekisteriaineiston perusteella tulevaisuudessa YKR-aineistolla laskettua pie-

nemmät, mikäli tavaraliikenteen päästöt saataisiin jatkossa laskettua muutoin kuin teollisuus- ja varastorakennusten lukumäärän perusteella.

2.4 Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys (PITKO)

Yhdyskuntarakenteen laatu, määrä ja sijainti sekä näiden suunnittelu ovat vain yksi tekijä yhdyskuntarakenteesta aiheutuvien ilmastovaikutusten kokonaisuudessa. Useat näistä vaikutuksista riippuvat vahvasti muusta toimintaympäristöstä ja siinä tapahtuvista muutoksista. Tällaisia voivat olla esimerkiksi tekniset ja yhteiskunnalliset kehitysaskleet sekä paikalliset, kansalliset ja kansainväliset poliittiset ohjaus-toimet. Esimerkiksi yhdyskuntarakenteen suunnittelu määrää, minne on järkevää rakentaa kaukolämpöverkostoa, jos se on yhteiskunnallisesti ja taloudellisesti kannattavaa. Jos on päätetty tuottaa energiaa kivihiilellä, ovatkin kaukolämmitetyn yhdyskuntarakenteen päästöt varsin korkeat.

Jotta yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten arvioinnissa voitaisiin huomioida tämänkaltaisia taustavaikutuksia, sisällytettiin työkaluun mahdollisuus valita erilaisia toiminta- ja ohjausympäristön taustaskenaarioita. Tämä toteutettiin hyödyntämällä Valtioneuvoston uutta kansallista Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys (PITKO) -tutkimusta (Koljonen ym. 2019) ja siinä määriteltyjä eri toimintaympäristön muutoskenaarioita, jotka yltyvät vuoteen 2050. Tutkimuksen laadinnasta vastasivat VTT, SYKE ja Merit Economics, ja siihen osallistui lisäksi noin sata tutkijaa ja muuta asiantuntijaa mm. ilmastotutkimuksen ja politiikan saralta.

PITKO-tutkimus arvioi Suomelle sopivaa kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitetta vuodelle 2050 ja keskeisiä etenemisvaihtoehtoja tavoitteen saavuttamiseksi. Hiilineutraalisuustavoite voidaan saavuttaa maassamme noin vuonna 2040 tai jopa aiemmin, jos päästöt vähenevät ja hiilinielut kehittyvät PITKO-skenaarioiden mukaisesti. Tähän tarvitaan erityisesti energian käytön tehostumista yhteiskun-

nan kaikilla osa-alueilla, uusiutuvan energian merkittävää lisäystä, energiajärjestelmän sähköistymistä sekä hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia (CCS) bioenergian ja teollisuuden prosessien yhteydessä. (Koljonen ym. 2019)

PITKO-tutkimuksen skenaariot kuvaavat polkuja, joilla päästään hiilineutraalisuustavoitteeseen vuoteen 2050 mennessä. Ne pohjautuvat Low Carbon Finland 2050 – platform -hankkeen (VTT 2013) neljään perusskenaarioon: Jatkuva kasvu, Romahdus, Säästö ja Muutos. Näitä LCFinPlat-skenaariosta muokattiin PITKO-hankkeen aikana neljä vähähiilisyyskenaariota työpajamenetelmien, laskennallisten mallinnusten ja laadullisten analyysien avulla. Näiden skenaarioiden lisäksi hankkeessa käytettiin WEM- ja EU-80%-vertailuskenaariota.

Kuuden skenaarion WEM, EU-80%, Jatkuva kasvu, Muutos, Säästö ja Pysähdys¹ keskeiset elementit ovat seuraavat:

¹ LCFinPlat-hankkeen (VTT 2013) Romahdus-skenaario ei vastannut PITKO-hankkeen vähähiilisyyskenaariotarinaa, joten se muutettiin Pysähdys-skenaarioksi (Koljonen ym. 2019).

With Existing Measures (WEM)

-skenaario perustuu valtioneuvoston kansallisen energia- ja ilmastostrategian (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017) ja keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman (Ympäristöministeriö 2017) vertailuskenaarioiden lähtökohtiin. Baseline-tyyppiseen skenaarioon sisältyvät periaatteessa työkalun laadinnan aikana vuoden 2019 alku-puoliskolla voimassa olleet politiikat sekä tiedossa olleet päätetyt toimet.

EU-80%-skenaario on WEM-skenaarion kaltainen baseline-ura. Se toteuttaa vuodelle 2030 asetetut energia- ja ilmastopoliittiset toimet. Vuoden 2050 kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoite kiristyy 80 %:iin Suomessa ja EU:ssa. Skenaarion lähtökohtana on energia- ja ilmastostrategian (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017) politiikkalinjaukset. Ne liittyvät mm. uusiutuvan energian käytön lisäämiseen, öljyn käytön puolittamiseen ja kivihiilestä luopumiseen.

Jatkuva kasvu -skenaariossa vähäpäästöisyystavoitteet saavutetaan uuden teknologian kiihdytetyllä käytönotolla. Taustalla on voimakas sähköistyminen, digitalisaatio ja teollisuuden uudistuminen.

Muutos-skenaariossa ihmisten arvojen muutos ja ympäristötietoisuuden kasvu mahdollistavat radikaalit muutokset. Vähäpäästötavoitteet saavutetaan yhteiskunnan merkittävän palvelultaistumisen, uusien teknologioiden käyttöönoton, ruokavaliomuutosten ja teollisuuden rakennemuutoksen avulla.

Säästö-skenaariossa kiertotalous, jakamistalous ja merkittävä energian käytön tehostuminen ovat keskeisiä tekijöitä hiilineutraalisuustavoitteiden saavuttamisessa. Maa- ja metsätalous toimivat kiertotalouden edistäjinä. Öljypohjaisia tuotteita korvataan uusilla biotuotteilla.

Pysähdys-skenaariossa kehitystä hidastaa ja hidastaa epävakaata globaali kehitys. Talouden kasvu ei kuitenkaan romahda. Nykymuotoinen EU hajoaa ja Aasian asema vahvistuu. Suomi toteuttaa vähäpäästöisyystavoitteensa ”viime tipassa”. Uutta ja energiatehokkaampaa teknologiaa otetaan skenaariossa käyttöön, mutta ratkaisut ovat kustannustehottomampia kuin muissa skenaarioissa.

Käytännössä työkalun taustalle rakennettuihin ominaispäästöihin, muihin parametreihin sekä näiden tulevaisuuden projektoihin rakennettiin rinnakkaiset kehityspolut kullekin PITKO-skenaariolle. Tarkastelussa käytettävä PITKO-skenaario valitaan käyttäjän toimesta työkalussa. Vaihtoehdot ovat: 'wem', 'eu80', 'kasvu', 'muutos', 'saasto' ja 'pysähdys'. Näiden lisäksi lisättiin mahdollisuus jättää nämä toimintaympäristön muutosprojektiot huomioimatta, jolloin käyttäjä voi tarkastella pelkän yhdyskuntarakenteen suunnittelun vaikutuksia päästöjen kehittymiseen, ('static').

3 Laskentaperiaatteet

Yhdyskuntarakenteen suunnittelun kasvihuonekaasupäästöt syntyvät välillisesti yhdyskuntarakenteeseen liittyvistä päästölähteistä. Pitkävaikutteiset ja usein myös lukkiuttavat yhdyskuntarakenteen kehitystoimenpiteet toimivat ensisijaisesti muiden päästölähteiden päästövähennysten alustana ja mahdollistajana. Selkeimmät ilmastomuutoksen hillinnän vaikutuskanavat liittyvät rakennusten, liikenteen, infrastruktuurin ja maankäytön muutosten kasvihuonekaasupäästöihin sekä hiilinieluihin ja -varastoihin. Maankäytön ratkaisulla on myös epäsuorat kytkeytymät maatalous- ja teollisuustoiminnan aiheuttamiin päästöihin.

Työkalu arvioi YKR-ruudun rakennus- ja väestötietojen sekä ruudulle määritellyn asukkaiden ja työssäkävijöiden liikennesuoritetietojen avulla rakennusten lämmityksestä, jäähdytyksestä, rakentamisesta, korjaamisesta ja purkamisesta, henkilö- ja tavaraliikenteestä sekä kiinteistöjen, kotitalouksien, palvelujen ja teollisuuden sähkönkäytöstä vuodessa aiheutuneet kasvihuonekaasupäästöt. Laskenta ja sen mallit vastaavat kuntatason päästölaskennassa

tyypillisesti käytettyä käyttöperusteista tarkastelua. Se sisältää eri kulutussektorien rajatun alueen sisällä vuoden aikana käyttämään energiaan liittyvät kasvihuonekaasupäästöt riippumatta siitä, missä sähkönä, lämpönä tai polttoaineina käytetty energia on tuotettu. Rakentamisen päästöjen tarkastelu eroaa kuitenkin laskennalliselta rajaukseltaan työkalun muusta energiankäyttöön, liikenteeseen ja sähkön liittyvästä laskennasta. Se sisältää kulutusperusteisesti myös uudisrakentamisen rakennusmateriaalien tuotannosta syntyneet välilliset kasvihuonekaasupäästöt (ks. kpl 3.3).

Kasvihuonekaasupäästöjen laskenta on kerroin pohjaista ja etenee siten, että määriteltujen kerroinparametrien avulla lasketaan ensin kerrosala-, asukasmäärä- tai liikennesuoritteista lämmityksen, jäähdytyksen, liikenteen tai sähkönkäytön energiankulutus. Tämän jälkeen määritellään energialähteen ominaispäästökertoimella energiankulutuksesta aiheutuneet kasvihuonekaasupäästöt. Teknisessä raportissa esiteltävät päästölaskentakaavat ovat periaatteessa yksinkertaisia yhteen-, vähen-

nys-, jako- ja kertolaskutoimituksiin perustuvaa laskentaa. Parametrit määritellään ensisijaisesti paikallisten avoimien aineistojen ja niiden pohjalta tehtyjen taustalaskelmien pohjalta. Toissijaisena lähteenä ovat kansallisen tason tilastot ja selvitykset. Aineistorajoitteiden vuoksi joudutaan lisäksi tekemään asiantuntijapohjaisia arvioita etenkin yleisiä muutostekijöitä ja toimintaympäristön muutosta kuvaavien PIT-KO-taustaskenaarioiden parametrien määrittelyssä.

Kasvihuonekaasupäästöjen määrä ilmaistaan hiilidioksidiekvivalentteina (CO₂-ekv), joka huomioi myös muut kasvihuonekaasut kuin hiilidioksidin. Eri kasvihuonekaasuilla on erilainen lämmönpidätyskyky ja vaikutusaika ilmakehässä. Metaani on hiilidioksidia lyhytikäisempi, mutta yli 20 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu. Sitä pääsee ilmaan erityisesti märehittöiden ruoansulatuksesta ja karjan lannasta sekä jätteiden ja jätevesien käsittelystä. Dityppioksidi pidättää lähes 300 kertaa voimakkaammin lämpösäteilyä kuin hiilidioksidi. Sen päästöjä syntyy keinolannoituksessa, polttoprosesseissa ja vähenemässä

määrin autojen katalysaattoreissa. Kaasujen lämmitysvaikutukset suhteutetaan hiilidioksidin tietyntyyppinä, yleensä sadan vuoden tarkastelujaksona kertomalla kasvihuonekaasun päästöjen määrä sen lämmitysvaikutusta kuvaavalla GWP-kertoimella, joka on hiilidioksidille 1, metaanille 25 ja dityppioksidille 298. Tuloksena saatava hiilidioksidiekvivalentti on laskennallinen kasvihuonekaasu, jossa eri kaasuja on painotettu niiden voimakkuuden ja pysyvyyden mukaan.

3.1 Sähkön ja lämmön tuotanto

Nykytilanne

Työkalu käyttää sähkön kasvihuonekaasupäästöjen ominaispäästökertoimena keskimääräistä kansallista vuositason päästökerrointa. Se lasketaan työkalua varten Energiategollisuuden sähkötilastojen, Tilastokeskuksen Energiatilastojen energian hankintaa ja tuotantoa koskevien tilastotietojen sekä Tilastokeskuksen polttoaineluokituksen avulla. Nykyrakenteen kaukolämmön päästökerroin määritellään Tampe-

reen Sähkölaitoksen (TSL) tiedoista ja Energiategollisuuden kaukolämpötilastoista.

Kolmannes kotimaisesta sähköstä ja noin 70 % Tampereen kaukolämmöstä on tuotettu sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa. Yhteistuotannon (CHP) aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt voidaan jakaa sähkölle ja lämmölle eri menetelmillä (ks. esim. Lounasheimo 2009). Suomessa käytetään yleensä joko energia- tai hyödynjakomenetelmää. Energiamenetelmässä yhteistuotannon päästöt jyvitetään tuotettujen energiamäärien suhteessa sähkölle ja lämmölle. Energiatehokkaan yhteistuotannon etu kohdistuu polttoaine- ja päästömielessä pääosin sähkölle, sillä erikseen tuotettuna sähköenergiakilowattitunnin tuottamiseen tarvitaan yli kaksi kertaa enemmän polttoainetta kuin lämpöenergiakilowattitunnin tuottamiseen. Hyödynjakomenetelmä jakaa yhteistuotannon polttoaineet ja päästöt sähkön ja lämmön vaihtoehtoisten erillistuotantotapojen polttoaineiden kulutusten suhteessa (ks. esim. Lounasheimo 2009, luku 3.2.1). Yhteistuotannon energiatehokkuus etu jakaantuu energiamenetelmää tasaisemmin molemmille energiatuot-

teille. Sähköntuotannolle jyvitetään energiasäiltöjen suhdetta suurempi osa polttoaineen kulutuksesta ja päästöistä, sillä sähkön erillisen lauhdetuotannon hyötysuhde on huonompi kuin lämmöllä.

Sähkön ominaispäästökerrointa voidaan tarkastella tuotanto- tai hankintaperusteisesti (ks. esim. Huuhtanen 2017, luku 4.1.2). Tuotantoperusteinen päästökerroin lasketaan kotimaisen sähköntuotannon käyttämien energialähteiden aiheuttamien päästöjen avulla. Hankinta- tai kulutusperusteinen kerroin huomioi kotimaisen tuotannon lisäksi myös sähkön vuosittaisen nettomääräisen tuonnin ja verkostohäviöt. Tuontisähkön päästöjä ei huomioida kertoimen laskennassa, sillä ne sisältyvät sähköntuottajamaan kasvihuonekaasupäästöinventaarioon. Paikallinen sähkön tuotanto vaikuttaa laskettuihin päästöihin ainoastaan välillisesti kaukolämmön yhteistuotannon kautta. Työkalun laskentamallin ensimmäinen versio ei huomioi YKR-ruuduissa kiinteistö- ja aluetasolla tapahtuvaa aurinko- ja tuulivoiman tuotantoa ja sen vaikutusta verkosta hankittavan sähkön tarpeeseen ja edelleen alueen laskennal-

liseen sähkön ominaispäästökertoimeen. Laskennan taustaoletuksena on tässä vaiheessa, että paikallisesti hajautetusti tuotettu sähkö käytetään tuotantopaikassa, jolloin se vähentää kohteessa keskimääräisen kansallisen ostosähkön tarvetta.

Tulevaisuus

Kuvan 4 mukaiset sähkön ominaispäästökertoimien vaihtoehtoiset kehityspolut määritellään hyödyntämällä PITKO-selvityksen (Koljonen ym. 2019) oletuksia ja tuloksia suomalaisen sähkön kysynnän ja hankinnan rakenteesta ja muutoksista. PITKO-skenaarioiden yhteinen piirre on energijärjestelmän sähköistymisen voimistuminen vuoden 2030 jälkeen. Ilmastomuutoksen pysäyttämiseksi sähköntuotanto ja -kulutus muuttuvat skenaarioissa täysin uudella tavalla. Sähkömarkkinoiden muutosta vauhdittavat fossiilisten energialähteiden ehtyminen sekä yhä joustavampi ja älykkäämpi sähkön kysyntä ja tarjonta, kun yhä suurempi osa energiantuotannosta muuttuu säästä riippuvaiseksi.

PITKO-pohjaisten taustaskenaarioiden keskeisimmät sähköntuotannon ole-

tukset koskevat ydinvoimaa ja uusiutuvaa energiaa. Olkiluoto 3 käynnistyy vuonna 2020 ja nykyisten ydinvoimaloiden käyttöikää pidennetään kaikissa skenaariossa. Hanhikiven ydinvoimala otetaan käyttöön vuonna 2028 muissa paitsi Muutos-skenaariossa. Tuuli- ja aurinkovoima nousevat kaikissa skenaarioissa merkittävään asemaan. Vesivoiman tuotanto kasvaa hitaasti lähinnä vanhojen voimalaitosten tehon nostoilla. Biopolttoaineilla tuotetun sähkön määrä on ensi vuosikymmenellä lähes sama kaikissa skenaarioissa ja vasta vuoden 2030 jälkeen niissä alkaa näkyä merkittäviä eroja varsinkin puun energiatehokkuudessa. Puupolttoaineiden käyttö kasvaa selvästi ainoastaan EU-80%- ja Pysähdys-skenaarioissa. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen osuus vähenee sähköntuotannossa kaikissa skenaarioissa ja kivihiilen käyttö loppuu yhdyskuntien sähkön ja lämmön tuotannossa vuoden 2029 jälkeen. Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS) on vuoden 2030 jälkeen laajasti käytössä EU-80%- ja Säästö-skenaarioissa sekä rajoitetummin Muutos- ja Pysähdys-skenaarioissa. Jatkuva kasvu -skenaa-

riossa CCS-ratkaisut osoittautuvat maasamme teknis-taloudellisesti tai hyväksytävyyteen liittyvien esteiden vuoksi toteuttamiskelvottomiksi. (Koljonen ym. 2019, luvut 5.2. ja 5.3.)

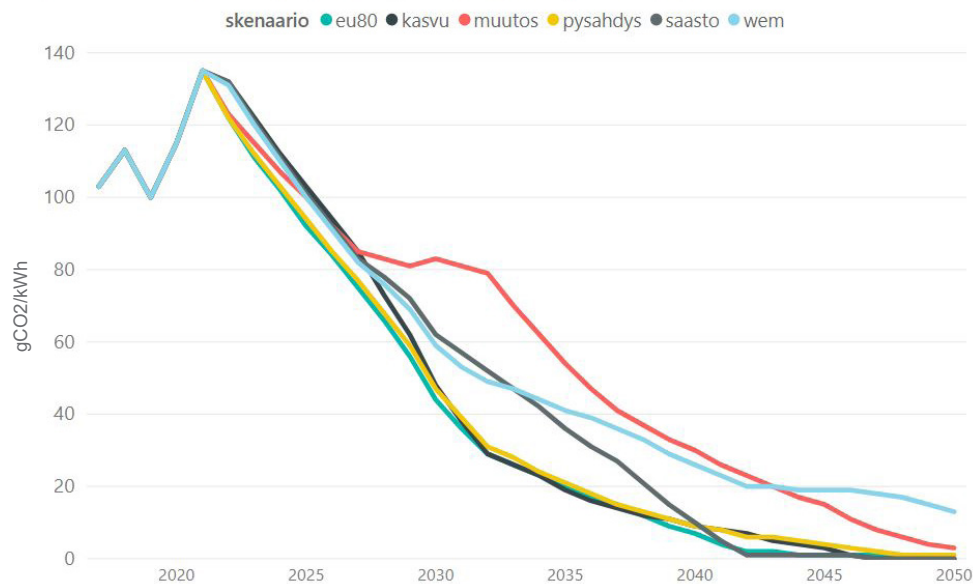
Kaukolämmön ominaispäästöjen kehitys perustuu työkalun skenaarioissa Kestävä Tampere 2030 -tiekartan taustaskenaarion laskentamalliin. Työkalussa ei tehdä tarkkoja oletuksia kaukolämmön tuotannon muutoksesta tai investointien

ajoittumisesta, vaan paikallista kehitystä hahmotellaan PITKO-selvityksen (Koljonen ym. 2019) energiantuotanto-oletusten pohjalta. Ajatuksena on, että päästökaupan kaltaiset ohjausmekanismit, markkinoiden paine ja paikallisten voimalaitosten uudistamistarve ohjaavat tuotantoa ja investointeja vähäpäästöisempään suuntaan. Ominaispäästöjen oletetaan pienenevän kuvan 5 mukaisesti nopeasti ensi vuosikymmenen aikana. Taustalla on maakaasun ja tur-

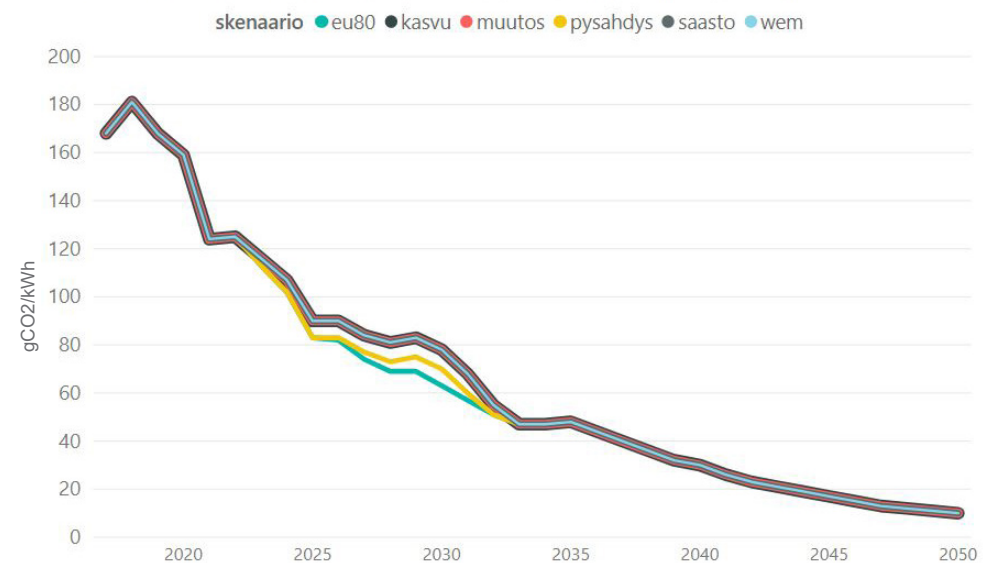
peen korvautuminen puulla ja muilla vähäpäästöisillä energialähteillä. Kehitysoletusta tukevat tiedossa olevat investoinnit Tampereen Sähkölaitoksen Naistenlahti 2 -voimalaitoksen saneeraukseen ja Neka-laan rakennettavaan geotermisen energian tuotantolaitokseen. Sinänsä ominaispäästöjen taustalaskennassa ei ole määriteltä kaukolämmön tuotannon energialähteitä tai teknologioita, vaan on ainoastaan oletettu, että kaukolämpö tuotetaan nolla-

tai lähes nollapäästöisesti puun lisäksi mahdollisesti esim. kaukolämpöpumppujen, aurinkolämmön, geolämmön tai hukkalämmön avulla.

Kaukolämmön ominaispäästöjen laskentaperiaatteet ja kehitys perustuvat Kestävä Tampere 2030 -tiekartan energia- ja ilmastotiekartan skenaariolaskennan luonnosoletuksiin, joita on päivitetty Tampereen Sähkölaitoksen (TSL) tiedoilla ja Energiategollisuus ry:n kaukolämpötilastoilla.



Kuva 4. Sähköntuotannon ominaispäästöjen kehitys PITKO-skenaarioissa (energiamenetelmä).



Kuva 5. Kaukolämmön tuotannon ominaispäästöjen kehitys PITKO-skenaarioittain (energiamenetelmä).

Kaukolämmön kehitysoletuksia muokattiin PITKO:n pohjalta (Koljonen ym. 2019). Ominaispäästöjen laskennassa käytetty kaukolämmön tarve ja vastaava energia- tuotannon kapasiteetti perustuvat energia- ja ilmastotiekartan skenaariolaskelmiin, olettamiseen TSL:n energiantuotannon kehityspoluista. Siksi kapasiteetti ei välttämättä täysin vastaa työkalulla laskettujen Tampereen skenaarioiden rakennuskannan muutoksia. Skenaarioiden mahdollisesti vaatima kaukolämpötuotannon lisäkapasiteetti oletetaan saatavan optimoimalla yhteistuotantoa ja rakentamalla tarvittaessa tueksi biopolttoaineita käyttävä lämpö- tai lämpöpumppulaitos. Kaukolämmön ominaispäästöjen kehityslaskelmat eivät periaatteellisella tasolla myöskään sulje pois Jatkuva kasvu -skenaarion mukaisia suurten kaupunkien modulaarisia ydinvoima-CHP-ratkaisuja.

Kaukolämmön ominaispäästöt kehittyvät kuvan 5 mukaisesti työkalun PITKO-pohjaisissa skenaarioissa hyvin samansuuntaisesti. Merkittävimmät painotuserot liittyvät siihen, miten nopeasti turpeen ja maakaasun käytön oletetaan vähenvän 2020-luvulla. Puupolttoaineiden käyttö lisääntyy kaikissa skenaarioissa vuoteen 2030 saakka, jonka jälkeen kasvu jat-

kuu merkittävänä enää EU-80%- ja Pysähdys-skenaarioissa. Skenaariosta riippuen 2030-luvun alusta tai puolivälistä eteenpäin kaukolämmön ominaispäästökerroin muodostuu enää jätepolttoaineen fossiilisesta osuudesta. Oletuksena on, että jätteen koostumuksen muutos pienentää sen fossiilisen hiilen sisältöä ja edelleen sen ominaispäästökerrointa 2030-luvulta lähtien. Skenaarioissa ei oleteta, että Tampereella otetaan energiantuotannossa käyttöön CCS-ratkaisuja ennen vuotta 2050.

Fossiilisista polttoaineista luopumisen heikentää yhteistuotannon taloudellista potentiaalia, ellei kilpailukykyisiä vähäpäästöisempiä energialähteitä ole riittävästi tarjolla. Koljosen ym. (2019) mukaan yhdyskuntien yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto supistuu kaikissa PITKO-skenaarioissa vuoteen 2050 mennessä. Sähkön yhteistuotannon kannattavuuden oletetaan heikkenevän ja sähköntuotannon vähentyvän TSL:n voimalaitoksissa puoleen nykyisestä. Kehitystä vauhdittaa rakennusten energiatehostuminen, joka pienentää kaukolämmön kysyntää ja edelleen yhteistuotantopotentiaalia. Kaukolämmön tuotannon oletetaan kuitenkin pysyvän Tampereella taloudellisesti kannattavana kaikissa työkalun skenaariovaihtoehdoissa.

3.2 Rakennusten lämmitys ja jäähdytys

Nykytilanne

Rakennuksen energiankulutuksen kasvihuonekaasupäästöt johtuvat tilojen ja ilmanvaihdon lämmityksestä ja jäähdyttämisestä, käyttöveden lämmittämisestä sekä kiinteistön järjestelmien sähkön käytöstä. Lämmityksen, jäähdytyksen ja kiinteistösähkön päästölaskenta hyödyntää YKR-ruutukohtaisia tietoja rakennusten kerrosalasta, käyttötarkoituksesta, lämmitysmuodosta ja iästä. Tarkastelussa käytetään YKR:n mukaista rakennusten käyttötarkoitus- ja ikäluokittelua. YKR-rakennustietoa voidaan tarkentaa käyttämällä toimipaikkatallalla jalostettua kunnan rakennusrekisteriaineistoa, joka mahdollistaa luotettavamman rakennusten energiatarpeen tarkastelun.

Rakennuksen lämmitystarve syntyy vaipan johtumisesta, ilmanvaihdesta, vuotoilmasta ja käyttöveden lämmityksestä aiheutuvista lämpöhäviöistä, joita katetaan lämmitysjärjestelmän lämmöntuotannolla. Nettolämmitystarvetta vähentää ilmaise-nergia, joka syntyy ihmisistä, valaistuksesta ja laitteiden hukkalämmöstä sekä ikkunoiden kautta tulevasta auringon säteilystä.

Poistoilmasta, jätevedestä ja muista energiavirroista talteen otetusta energiasta saadaan myös hyödyksi lämmitysenergiaa. Lämmitysjärjestelmän kaukolämmön, sähkön tai polttoaineen tarvetta pienentää myös ilmalämpöpumpuilla, aurinkokeräimillä tai tulisijoilla tuotettu energia.

Tilojen nettolämmitystarve lasketaan rakennuksen kerrosalasta ominaiskulutuskertoimella, joka kuvaa rakennustyyppin tietyn ikäluokan keskimääräisen kerrosneliömetrin lämmittämiseen vuoden aikana tarvittavaa energiamäärää. Kerroin on lämpötilakorjattu eikä riipu tarkasteltavan vuoden säästä. Yksinkertaistettu laskentatapa merkitsee, että kerroin sisältää epäsuorasti oletukset ihmisten, laitteiden, auringon säteilyn ja muiden lähteiden vaikutuksesta rakennuksen lämmitystarpeeseen. Työkalua voidaan jatkossa kehittää huomioimaan keskiarvotarkastelua paremmin ilmais- ja hyötyenergiälähteiden hajontaa rakennuskannassa.

Nykyrakenteen pien-, rivi- ja asuinkerrostalojen lämmityksen ominaiskulutuksen määrittelyssä hyödynnetään Tampereen Sähkölaitoksen (2015 ja 2019) kaukolämpöasiakkaiden lämpöindeksitietoja. Niistä on muokattu tilojen nettolämmitystarpeen laskentaan soveltuvat lämpötila-

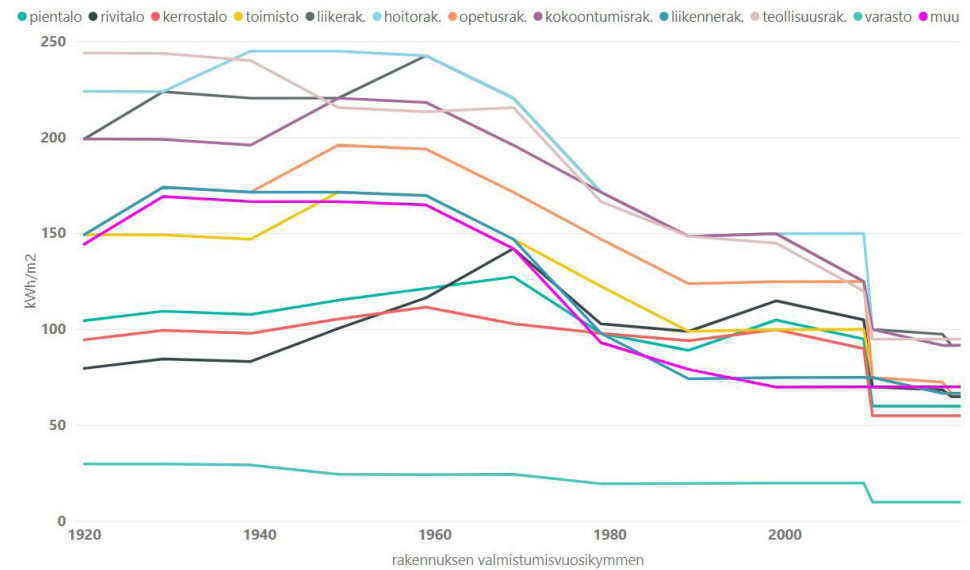
korjatut kerrosalakohtaiset kertoimet eri ikäryhmien asuinrakennuksille. Palvelu-, teollisuus- ja varastorakennusten ominaiskuluskertoimien määrittelyssä käytetään lämpöindeksitietojen puuttumisen vuoksi muiden lähteiden² ja rakennuskantarekisteritietojen pohjalta tehtyjä laskennallisia arvioita (ks. kuva 6 ja Liite 5).

Lämmitysjärjestelmä siirtää lämmitysenergian nettotarvetta vastaavan energian rakennuksen tiloihin ja käyttöveteen. Hyötysuhteen ja lämpöpumppujen tapauksessa lämpökertoimen avulla voidaan laskea, kuinka suuri on lämmityksen energiankulutus. Lämmitysjärjestelmien keskimääräiset vuosittaiset hyötysuhteet ja lämpökerroin määritetään ympäristöministeriön (2018, taulukot 7.1, 7.2 ja 6.1) rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystarpeen laskentaohjeiden avulla. Yksinkertaisuuden vuoksi oletetaan, että kertoimet ovat samat kaikissa rakennustyypeissä ja -ikäluokissa.

² Asuin- ja muiden rakennusten kertoimien muokkauksessa ja arvioinnissa käytettyjä lähteitä ovat mm. KEKO (2016), Lehtilä ym. (2014), Möttönen ym. (2014), Virta ym. (2011), Rakennustieto Oy (2013), Mattinen (2016), Honkapuro ym. (2009), Airaksinen ym. (2017), Reinikainen ym. (2015), Tampereen kaupunki (2016), VTT (2018a ja 2018b) sekä ympäristöministeriö (2018a).

Hyötysuhteen tai lämpökertoimen lukuarvo riippuu lämmitysjärjestelmän lämmönlähteestä (Liite 6). Nykyinen YKR-aineisto ei sisällä rakennuskannan lämmitystietoja. Rakennusten keskimääräinen lämmitysmuotojakauma voidaan määrittellä paikallisen tai kansallisen tilastoaineiston pohjalta eri rakennustyypeille ja -ikäluokille. Jakaumatietoja on edelleen mahdollista tarkentaa YKR-ruututasolle paikallisen rakennus- ja huoneistorekisteriaineiston avulla. Rekisteripohjainen tarkastelu mahdollistaa Tilastokeskuksen rakennuskantatietoja tarkemman lämmitysmuotojaottelun, joka sisältää kauko- ja aluelämmön, kevyen ja raskaan polttoöljyn, maakaasun, sähkölämmityksen, puupolttoaineet, turpeen, kivihiilen ja koksen, maalämmön ja muut lämpöpumput sekä muut lämmitysmuodot, joihin sisältyvät lisäksi tuntemattomat lämmitysmuodot.

Eri ikäisten rakennustyyppien käyttöveden vuosittainen lämmitystarve arvioidaan kerrosalan ja lämpimän käyttöveden ominaiskuluskertoimen avulla. Käyttöveden lämmittämiseen kuluva energiaa ei normiteta lämmitystarveluvulla, koska se ei juurikaan riipu ulkolämpötilasta. Kerroinliökohtainen ominaiskuluskertoimen lasketaan kertomalla rakennustyypeittäin ja



Kuva 6. Nykyrakennuskannan lämmityksen energiatarve rakennustyypeittäin ja ikäluokittain vuonna 2019.

-ikäluokittain määritetty lämpimän käyttöveden kuutiometrimääräinen vuosikulutus yhden vesikuution lämmittämiseen tarvittavalla energiamäärällä. Laskenta ja käyttöveden kulutusmäärät perustuvat ympäristöministeriön (2018) rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystarpeen laskentaohjeiden ja Motivan (2019a) tietoihin. Tukena on käytetty myös raportin alaviitteessä 2 mainittuja tilojen lämmityksen ominaispäästökertoimien määrittelyssä käytettyjä lähteitä. Työkalu ei huomioi

veden lämmitykseen käytettyä omavaraisenergiaa kuten aurinkolämpöä. Lämmittämiseen tarvittu ostoenergia saadaan jakamalla käyttöveden tilojen nettolämmitystarve lämmitysjärjestelmän hyötysuhteella tai lämpökertoimella, joista vähennetään 5 %-yksikköä (vrt. esim. Honkapuro ym. 2009 ja Ympäristöministeriö 2018).

Rakennusten jäähtymisen energiankulutus arvioidaan jäähtymisenergian nettotarpeesta, joka vastaa jäähtymisjärjestelmän tiloihin ja tuloilmaan tuomaa energia-

määrää. Työkalun laskentamalli huomioi periaatteessa jäähdytystarpeen laskennassa rakennusten jäähdytettävän kerrosalan osuuden, jäähdytysenergian ominaiskulutuksen, jäähdytysmuodon osuuden tilojen jäähdytyksestä rakennustyypeittäin ja -ikäluokittain sekä jäähdytyksen määrän kehityksen taustaskenaarioissa. Jäähdytysmuotoina ovat energialähteittäin kaukokylmä, sähkö, lämpöpumput tai muu tapa. Viimeksi mainittu on mukana lähinnä valmiutena huomioida työkalun laskennassa uusia, vielä tarkentumattomia jäähdytysmuotoja. Jäähdytyksen ominaiskulutuskertoimen määrittelyssä käytetään mm. KEKO-oletuksia (2016), Kangasta ym. (2019), Airaksista ym. (2015 ja 2017), Vainiota ym. (2015) ja Möttöstä ym. (2014).

Jäähdytyslaskenta on aineistopuutteiden vuoksi yllä hahmoteltua yksinkertaisempaa. Jäähdytysmuotojen käytöstä ja osuuksista on tehty yksinkertaistavia oletuksia, sillä mm. kaukokylmän todellisesta käytöstä ja jakeluverkon kattavuudesta ei ole tietoa rakennus- ja huoneistorekisterissä. Laskennassa oletetaan, että muissa paitsi teollisuusrakennuksissa koko kerrosala jäähdytetään ja että jäähdytysmuotojen tarkastelu perustuu kaikkien jäähdytysenergilähteiden keskiarvoon. Tarkastelu

ei sisällä teollisuusrakennuksia eri teollisuudenalojen erilaisten jäähdytystarpeiden huonon arvioitavuuden vuoksi; jäähdytykseen tarvitsema sähköenergia sisältyy kuitenkin välillisesti sektorin arvioituun sähkönkulutukseen. Lähestymistavassa on myös päällekkäisen laskennan riski, sillä rakennusten jäähdytykseen liittyvä energia voi sisältyä myös kiinteistösähkön kulutukseen.

Rakennusten tilojen ja käyttöveden lämmityksen sekä tilojen jäähdytykseen kasvihuonekaasupäästöt lasketaan hankitun energiamäärän ja lämmitys- ja jäähdytysmuodon ominaispäästökertoimen tulona. Kertoimet määrittyvät kaukolämmölle sekä sähkölämmityksen ja maalämpöpumppujen sähkönkäytölle kappaleen 3.1 periaatteiden mukaisesti. Kertoimet fossiilisille ja uusiutuville polttoaineille pohjautuvat Tilastokeskuksen polttoaineluokitukseen. Kaikissa taustaskenaarioissa oletetaan, että erillislämmitykseen kevyelle polttoöljylle otetaan käyttöön 10 %:n bio- nesteen sekoitusvelvoite lineaarisesti vuosina 2020–2030.

Tulevaisuus

Rakennusten lämmityksen ja jäähdytyksen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt las-

ketaan tulevaisuuden osalta samoilla periaatteilla kuin nykyrakenteen päästöt. Olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuuden kehitystä tarkastellaan tilojen ja käyttöveden lämmityksen ominaiskulutuskertoimen keskimääräisen muutoksen avulla. Liitteen 8 taulukossa esitetyt taustaskenaarioiden asuin- ja muiden rakennustyyppien tilojen ja käyttöveden lämmityksen energiankäytön tehostumiskehitykset noudattavat PITKO-selvityksen oletuksia ja tuloksia (Koljonen ym. 2019, taulukko 4). Laskentamalli olettaa yksinkertaisuuden vuoksi teollisuus-, varasto- ja muiden rakennusten lämmityksen ominaiskulutuskertoimien noudattavan PITKO-selvityksen liike- ja palvelurakennusten kehitystä, koska selvityksestä ei tule suoraan esiin tähän rakennusryhmään liittyviä oletuksia.

WEM- ja EU-80%-vertailuskenaariossa olemassa olevan rakennuskannan energiatehostuminen noudattaa PITKO-selvityksen (Koljonen ym. 2019) mukaista perusuraa. Jatkuva kasvu -skenaariossa säädösohjaus ja rakennusteollisuuden tuotekehitystoiminta pienentävät rakennusten energiankulutusta ja korjausrakentamisen investoinnit lisääntyvät. Säästö-skenaariossa energiankäytön tehostamistavoitteet ovat

kunnianhimoisia. Korjaaminen yleistyy ja koko maan tasolla vanhojen rakennusten käyttöikä nousee. Muutos-skenaariossa on Säästö-skenaariion oletusten lisäksi suuremmat rakennuksiin ja niiden korjaamiseen liittyvät teknologiset muutokset, jotka mahdollistavat muita työkalun taustaskenaarioita nopeamman rakennuskannan energiatehokkuuden paranemisen. Pysähdys-skenaariossa muutokset ovat maltillisia. Muissa skenaarioissa saavutettavat kunnianhimoiset tehostamistavoitteet epäonnistuvat ja korjausten määrän kehitys on lähellä nykytasoa.

Uusien rakennusten tilojen lämmityksen ominaiskulutuskertoimien lähtötasot määrittyvät KEKO-mallin (2016, Taulukko 5) Normi 2013 -tason mukaisesti. Rakennustyyppien ominaiskulutukset kehittyvät WEM- ja EU-80%-skenaariossa vuoteen 2030 mennessä lineaarisesti KEKO-mallin (2016, Taulukko 5) matalaenergiatasolle, jonka jälkeen ne pysyvät käytännössä vakioina tarkastelujänteen vuosina 2030–2050. Uusien rakennusten lämmityksen ominaiskulutuskertoimet määräytyvät muissa työkalun taustaskenaarioissa PITKO-selvityksen (Koljonen ym. 2019, taulukko 3) uudisrakennusten keskimääräisen lämpöenergian kulutuksen kehityk-

sen perusteella. Kuten liitteen 9 taulukosta ilmenee, uusien rakennusten energiatehokkuus paranee suhteellisen nopeasti erityisesti Jatkuva kasvu-, Muutos- ja Säästö-skenaarioissa. Rakentamisessa ylletään vuonna 2050 skenaariosta riippuen hyvälle passiivitasolle ja Muutos-skenaariossa ”lähes” nollaenergiatasolle. Työkalu ei sisällä tässä vaiheessa päälämmitysjärjestelmien tukena käytettäviä kiinteistötason hajautettuja ratkaisuja kuten aurinkosähköä ja -lämpöä. Tämän vuoksi sen laskentamalli ei ota kunnolla huomioon nolla- ja plusenergiarakennuksia, joissa uusiutuvan energian ylijäämä on vähintään yhtä suuri kuin kulutetun uusiutumattoman energian määrä.

Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa tilojen lämmitystarpeeseen. Sen oletetaan pienenevän kaikissa skenaarioissa vuosien 2018 ja 2050 välisenä aikana 15 %:lla. Kehitysoletus perustuu Pirisen ym. (2014) mukaisesti aiemman IPCC:n käyttämän ilmastonmuutosmallin SRES-kasvihuonekaasuinventaarion A1B-skenaarioon. Se vastaa uudemmissa kasvihuonekaasujen pitoisuuksien mahdollisia kehityskulkuja kuvaavissa RCP-päästöskenaarioissa optimistisimman RCP4.5- ja pessimistisen

RCP8.5-skenaarion välimaastoa (ks. esim. Ympäristöministeriö 2013). Rakennusten jäähdytystarveluku lähtee kasvamaan vuoteen 2050 tultaessa maamme etelä- ja itäosissa kaikissa SRES-skenaariossa. Jäähdytystarve on kuitenkin vuosisadan lopulla kin pieni verrattuna lämmitystarpeeseen. (Pirinen ym. 2014) Tämän vuoksi jäähdytystarpeeseen ei oleteta työkalun skenaarioissa muutoksia. Ulkolämpötilasta johtuva rakennusten jäähdytystarve on myös vähäinen auringon säteilyn, ihmisten, sähkölaitteiden ja valaistuksen lämpökuormista johtuvaan jäähdytystarpeeseen verrattuna (Vainio ym. 2015).

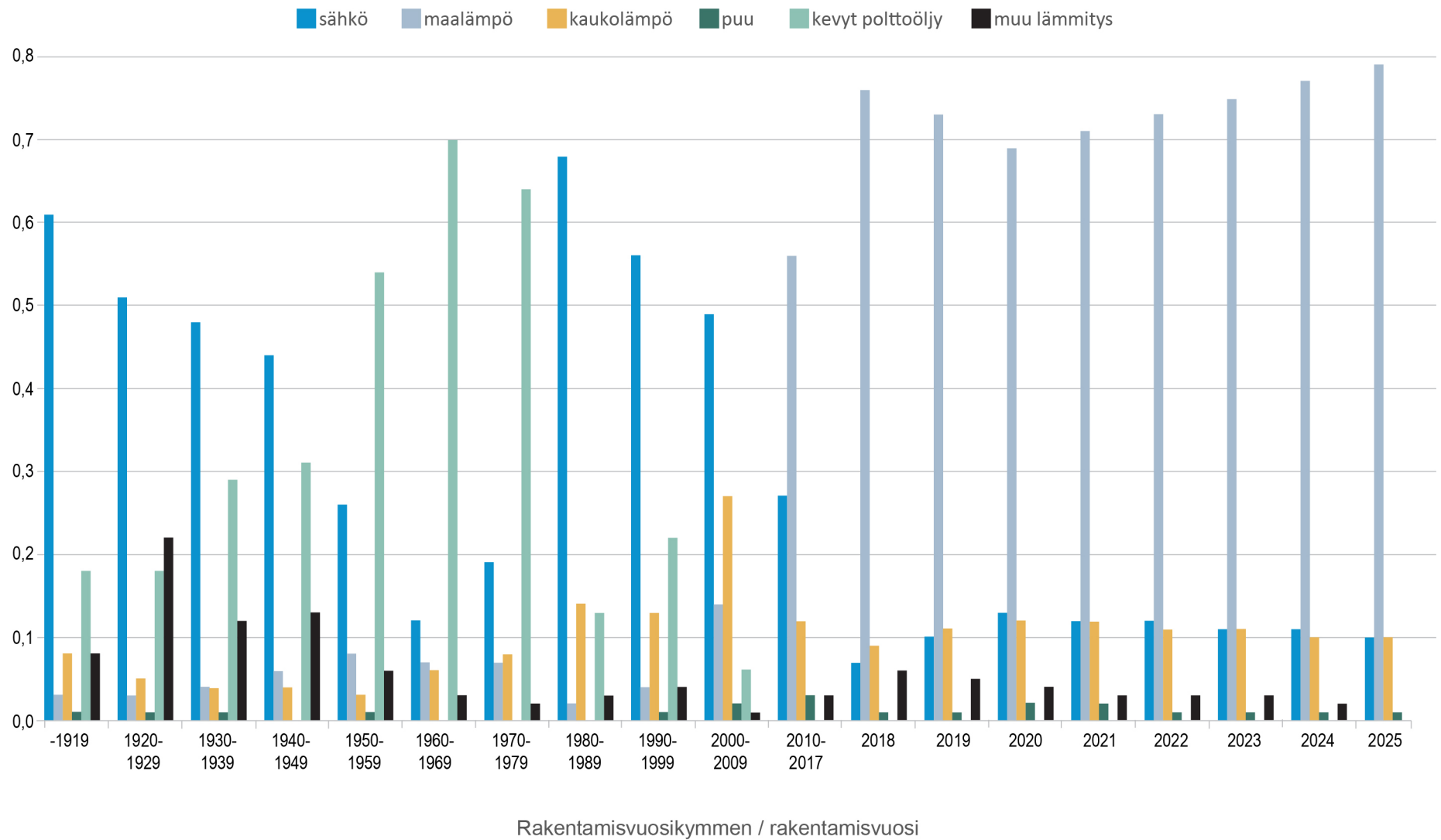
Lämmityksen energiankulutuksen laskennassa tarvittavien lämmitysjärjestelmien hyötysuhteiden ja lämpökertoimen tulevan kehityksen arvioinnissa käytetään apuna Mattista ym. (2016, taulukot 1 ja 2) ja Honkapuroa ym. (2009, taulukot 3.5–3.8). Olemassa olevan rakennuskannan öljy- ja kaasulämmitteisten rakennusten oletetaan siirtyvän vähitellen lämpöpumppeihin ja pieneltä osin kaukolämpöön. Fossiilisten polttoaineiden lisäksi lämmitysmuotosiirtymää tapahtuu kaukolämmöstä ja vesikierroisesta sähkölämmityksestä lämpöpumppeihin. Muutos huomioidaan laskennassa

siten, että tietty osuus rakennustyyppin lämmitysmuodon kerrosaloista muuntuu vuoden aikana toisen lämmitysmuodon kerrosalaksi. Lämmitysmuotojen vuosittainen nettomääräinen kerrosalan muutos on liitteen 10 taulukon mukaisesti skenaariosta ja rakennus- ja lämmitysmuodosta riippuen -2,8 – +18,3 %. Rakennustyyppin lämmitysmuotojen kerrosalojen suhteelliset muutokset pysyvät skenaarioissa samoina koko tarkastelujänteen ajan.

Uusien rakennusten lämmitysmuotojakauman määrittelyssä sovelletaan lähtökohtana vuosien 2017 ja 2018 sekä vuosien 2010–2016 keskimääräisiä rakennustyyppien jakaumatietoja. Maalämmön ja muiden lämpöpumppujen osuus kasvaa skenaarioissa kaikissa rakennustyypeissä (ks. liite 7). Olemassa olevassa rakennuskannassa lämmitysmuotojen välinen kerrosalamuutos riippuu fossiilisista lämmityspolttoaineista luopumisen ajankohdasta. Öljyn lämmityskäyttö vähenee kaikissa skenaarioissa merkittävästi vuoteen 2030 mennessä. WEM-skenaariossa öljylämmityksestä luovutaan pientaloista Mattista ym. (2016) mukaillen vuoteen 2050 mennessä, muissa talotyypeissä öljyn osuuden pysyessä muutamissa prosenteissa.

KAISU-suunnitelma (YM 2018) nopeuttaa EU-80%-skenaariossa öljystä luopumista siten, että öljyn erillislämmityskäyttö päättyy asuinrakennuksissa ja julkisen sektorin palvelurakennusten vuonna 2040. Muutos- ja Säästö-skenaarioissa öljystä ja muista fossiilista polttoaineista luovutaan muita skenaariota nopeammin ja erillislämmitys on fossiilitonta asuinrakennuksissa vuonna 2037 ja koko rakennuskannassa 2045. Jatkuva kasvu-skenaariossa on sama lämmitysmuotojen muutos kuin EU-80%-skenaariossa. Pysähdys- ja WEM-skenaarioissa muutos pysyy hitaana. Kuvassa 7 on kuvattu esimerkinomaisesti lämmitysjärjestelmien muutoksia WEM-skenaariossa vuoteen 2025 asti.

Rakennusten jäähdytyksen energiankulutuksen laskenta on myös skenaarioissa nykyrakenteen laskennan tavoin yksinkertaistettua aineistopuutteiden vuoksi. Laskennassa tarvittavien jäähdytysenergian ominaiskulutusten ja jäähdytyksen määrän tulevan kehityksen määrittelyssä käytetään apuna mm. KEKO-oletuksia (2016), Kangasta ym. (2019), Airaksista ym. (2015 ja 2017), Vainiota ym. (2015) ja Möttöstä ym. (2014).



Kuva 7. Erillispientalojen lämmitysmuotojakauman kehitys vuoteen 2025 WEM-skenaariossa.

3.3 Rakentaminen, korjaaminen ja purkaminen

Nykytilanne

Rakentamisen, korjaamisen ja purkamisen kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa hyödynnetään ympäristöministeriön (2019a) rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmän yksinkertaistettua taulukkoarvopohjaista laskentaa. Mukana ovat rakennuksen elinkaarenaikaisista (esim. Ympäristöministeriö 2019b) päästölähteistä rakentamisen, korjaamisen ja purkamisen työmaatoiminnot ja niihin liittyvät kuljetukset. Purkuvaiheen tarkastelussa ovat mukana myös purkujätteen jätteenkäsittelyn ja loppusijoituksen päästöt. Näiden lisäksi työkalu arvioi uudisrakentamisen rakennustuotteiden välilliset päästöt. Tämän vuoksi rakentamisen päästölaskenta on rajaukseltaan erilainen kuin työkalun pääosin tarkasteluvuoden energiankäyttöön liittyvä laskenta. Rakentaminen sisältää kulutusperusteisesti välilliset materiaalien päästöt, kun taas muu tarkastelu on käyttöperusteista tarkastelua.

Nykyrakenteen tarkastelu sisältää vain korjausrakentamisen päästötarkastelun.

Olemassa olevan rakennuskannan korjaukset jaetaan rakennusten vähähiilisuuden arviointimenetelmän (Ympäristöministeriö 2019a) mukaisesti laajamittaisiin peruskorjauksiin ja tavanomaisiin korjauksiin. Laajoissa peruskorjauksissa korjausten kokonaiskustannukset ovat yli neljäsosa rakennuksen arvosta ilman rakennusmaata. Tavanomaiset korjaukset tarkoittavat rakennuksen käytön aikana tehtäviä pieniä ylläpitotoimia kuten yksittäisten rakennusosien korjauksia ja vaihtoja, huoltomaalauksia ja tiivistyksiä. Korjausrakentamisen päästölaskennassa käytetään YKR-aineiston rakennustyyppisiä ja -ikäluokkia. Laskenta kattaa työmaavaiheen energiankäytön ja kuljetukset eivätkä mukana ole korjaukseen tarvittavien rakennustuotteiden valmistusta, vanhojen rakenteiden purkua eikä rakennus- ja purkujätteen kuljetuksia ja käsittelyä.

Laajamittaisien korjausten työmaavaiheen kasvihuonekaasupäästöt lasketaan rakennusten kerrosalan sekä laajamittaisen korjausrakentamisen osuuden ja siihen liittyvän energian käytön ominaispäästökertoimen tulona. Kertoimena käytetään samaa rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmän yksinkertaistettua ker-

rointa kuin uudisrakentamisen arvioinnissa. Rakennustyyppien ikäluokan korjausrakentamisen osuus vaihtelee tarkasteluvuosittain siten, että korjaus painottuu 40–70 vuotta sitten rakennettuihin taloihin, joiden kerrosalan saneerausosuudeksi oletetaan 2–3 % vuodessa. Yksinkertaisen oletuksen mukaan korjausosuus riippuu vain rakennuksen ikäryhmästä, ei tyypistä.

Rakennustyyppien käytön aikana tehtävien tavanomaisten korjausten ja rakennustuotteiden vaihtojen energiankäytön päästöt lasketaan rakennusalasta ominaispäästökertoimien avulla. Kertoimet kuvaavat rakennustyyppien pienimuotoisten korjausten työmaatoimintojen ja rakennustuotteiden kuljetusten vuotuisia kasvihuonekaasupäästöjä yhtä kerrosneliötä kohti. Rakennuksen ikäluokasta riippumattomien kertoimien määrittelyn pohjana käytetään ympäristöministeriön (2019a, liite 8) rakennuksen elinkaaren aikana tehtävien korjausten energian ominaiskulutusta lämmitettyä nettoneliötä kohti. Elinkaarenaikasta kulutusta kuvaava kerroin muunnetaan asuin- ja muiden rakennusten oletetun käyttöiän avulla vuosikertoimiksi, jotka ovat rakennustyyppistä riippuen 24–38 gCO₂-ekv/m².

Tulevaisuus

Tulevaisuutta koskevissa skenaarioissa huomioidaan korjausten lisäksi uusien rakennusten rakentaminen ja vanhojen purkaminen. Rakentamisessa syntyy kasvihuonekaasupäästöjä työkaluiden ja laitteiden sekä rakennustöiden väliaikaisten tilojen energiankäytöstä sekä rakentamisvaiheen prosesseista ja kuljetuksista. Päästöt lasketaan YKR-ruudun uudesta kerrosalasta (ks. kpl 6) vähähiilisuuden arviointimenetelmän (Ympäristöministeriö 2019a, liite 8) rakennusvaiheen taulukkoarvoihin perustuvien ominaispäästökertoimien avulla. Uusien rakennusten rakennustyyppijako on yksinkertaistettu erillispientaloiksi, asuinkerrostaloiksi ja muiksi kuin asuinrakennuksiksi. Ominaispäästökerroin on rakennustyyppistä riippuen 31–36 kg CO₂-ekv/m².

PITKO-pohjaiset taustaskenaariot huomioivat rakentamisen työmaatoimintojen sähkön tarpeen kehityksen vaikutuksen päästökertoimeen sähkön käyttöosuuden kasvun, käytön tehostumisen ja päästökertoimen muutoksen kautta. Rakentamisen kasvihuonekaasupäästöjen kehitykseen vaikuttaa myös fossiilisten polttoainei-

den käytön tehostuminen ja bio-osuuden kasvu. Rakentamisvaiheen kuljetusten arvioinnissa käytetään samoja periaatteita kuin kappaleen 3.5 tavaraliikenteen laskennassa. Sähköön, polttoaineisiin ja kuljetuksiin liittyvät oletukset pienentävät työmaatoimintojen ominaispäästökerrointa skenaariosta riippuen 3–5 % vuodessa siten, että vuonna 2040 päästökerroin 51–57 % pienempi kuin vuonna 2020.

Rakennustuotteiden kasvihuonekaasupäästöt muodostuvat välillisesti tuotteiden raaka-aineiden hankinnasta, valmistuksesta ja niihin liittyvistä kuljetuksista. Työkalu arvioi nämä päästöt ominaispäästökertoimilla uusien rakennusten kerrosalasta (ks. uusien rakennusten määrittelystä lisää kappaleesta 6). Kertoimet kuvaavat rakennustyyppin rakentamiseen tarvittujen rakennustuotteiden tuotannon välillisiä päästöjä kerrosneliometriä kohti. Ne perustuvat KEKO-mallin (2016, taulukko 1) rakennus- ja runkorakennetyyppien keskimääriäisiin Kivitalo1-päästökertoimiin tavalisissa perustamisolosuhteissa. KEKO-kertoimet sisältävät kaikki rakentamisvaiheen päästöt, joten niistä vähennetään erikseen tarkastellut työmaatoimintojen ja -kuljetus-

ten kerroinosuudet. Rakennustuotekertoimet ovat uudisrakennustyyppistä riippuen 285–707 kg CO₂-ekv/m². Skenaarioissa on vähäisiä oletuksia rakennustuotteiden hiilisisällön kehityksestä. EU-80%-, Jatkuva kasvu- ja Muutos-skenaariossa oletetaan, että energiatehokkaamman rakentamisen vuoksi materiaalien määrä kasvaa 2020-luvun aikana pari prosenttia perustilannetta suuremmaksi (ks. KEKO 2016, taulukko 2).

Rakentamisvaiheen energiaperäisten ja rakennustuotteiden välillisten päästöjen arviointi on nykytilan osalta suuntaa antavaa. Skenaarioiden tulevaisuustarkastelut lisäävät epävarmuutta mm. siitä, miten rakennusalan teknologiaratkaisut vaikuttavat rakentamisvaiheen energiankäyttöön, miten energiatehokkaammaksi kehittyvä rakentaminen lisää rakennustuotteiden tarvetta ja kuinka näiden tuotteiden valmistuksen välilliset päästöt jatkossa kehittyvät. Nykyisellään työkalu ei ota myöskään huomioon puurakentamisen vaikutusta rakennusmateriaalien välillisiin päästöihin. Laskennassa ei ole mukana laajemmin tarkasteltavan alueen hiilinieluihin ja -varastoihin (ks. kpl 5.6) liittyvää puurakentamisen hii-

livarastojen ja sementtituotteiden karbonisoitumisen hiilinielujen arviointia (esim. Ympäristöministeriö 2019a).

Laajamittaisten korjausten kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttaa skenaarioissa ominaispäästökertoimen lisäksi rakennusten ikäluokkien saneerausosuus. Laajemman korjaamisen oletetaan painottuvan vuosien 2020 ja 2040 välillä 1950–1980-luvulla valmistuneisiin rakennuksiin. Taustaskenaariosta riippuen laskentaoletusten perusteella rakennuksista korjattaisiin 20 vuoden tarkastelujakson aikana 54–70 %. Käytön aikana tehtävien tavanomaisten korjausten tulevaisuustarkasteluissa huomioidaan uudisrakentamisen ja saneerausten tavoin sähkön kehityksen, fossiilisten polttoaineiden käytön vähenemisen ja kuljetusten tehostumisen vaikutus ominaispäästöihin. Sähkö-, polttoaine- ja kuljetusoletukset pienentävät korjauksen ominaispäästökerrointa skenaariosta riippuen 2–8 % vuodessa siten, että vuonna 2040 päästökerroin 48–84 % pienempi kuin vuonna 2020.

Rakennuksen purkamisen kasvihuonekaasupäästölähteisiin sisältyvät työkoneiden ja purkutöitä varten mahdoli-

sesti tarvittavien väliaikaisten tilojen sekä valaistuksen, lämmityksen, jäähdytyksen, pölynsidonnann tai muun purkutyön energiankäyttö sekä kuljetukset purkupaikalta uudelleenkäyttöön, kierrätykseen ja jätteenkäsittelyyn. Purkujen päästöt laskeaan arvioidusta rakennusten poistumasta ominaispäästökertoimilla. Yhtä purettua kerrosneliötä kohti määritelty 21–30 kg CO₂-ekv/m² kertoimet kattavat rakennuksen purkamisen, puretun materiaalin kuljetusten ja niiden käsittelyn päästöt. Rakennusten vähähiilisuuden arviointimenetelmän taulukkoarvojen pohjalta määritelty kertoimet riippuvat YKR-rakennustyyppistä ja skenaarioista. Rakennuksen iällä ei ole vaikutusta. Purkuvaiheen päästökerroin pienenee skenaarioissa 3–5 % vuodessa siten, että vuonna 2040 kerroin on 39–56 % pienempi kuin vuonna 2020.

3.4 Henkilöliikenne

Nykytilanne

Työkalu hyödyntää liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa Suomen ilmastopaneelin liikenteen ilmastomuutoksen hillinnän toimenpiteitä käsitelleen tutkimuksen (Liimatainen ym. 2015, Kuva 1) liikenteen päästöjen muodostumisen ja vaikutusmahdollisuuksien esittävän ideaa. Siinä tarpeet, tottumukset ja tekniikka vaikuttavat liikenteen päästöihin väestön, matkamäärien, matkojen keskipituuksien, kulkumuotojakauman, kulkuvälineiden keskikuormituksen sekä liikumiseen tarvittujen käyttövoimien keskikulutuksen ja ominaispäästöjen kautta. Ihmisten liikennetarve on pysynyt vuosikymmenien saatossa melko muuttumattomana, mikä rajoittaa mahdollisuuksia pienentää liikenteen päästöjä matkamääriä muuttamalla. Niitä on kuitenkin mahdollista vähentää vaikuttamalla keskimääräisiin matkojen pituuksiin ja kulkutapajakaumaan yhdyskuntarakennetta ja liikennejärjestelmää kehittämällä.

Henkilöliikenteen kulkumuodot jaetaan valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen (HLT, Traficom (ent. Liikenne-

virasto) 2018) mukaisesti jalankulkuun ja pyöräilyyn, linja-autoihin, raideliikenteeseen, henkilöautoihin ja muihin liikkumismuotoihin. YKR-ruudun asukkaiden ja sen työpaikkojen avulla määriteltyjen työssäkävijöiden työmatkojen suoritteet perustuvat myös henkilöliikennetutkimuksen aineistoon. Työkalu ei ota huomioon YKR-ruudussa olevien työpaikkojen työntekijöiden työasiamatkoja eikä yrityksiin mahdollisesti liittyviä asiakasvirtoja. Suoritteet kuvaavat eri kulkumuodoilla vuorokauden aikana tehtyjen matkojen keskipituutta henkilöliikennetutkimuksen tulokset on jaoteltu työkalussa yhdyskuntarakenteen erilaisille vyöhykkeille, minkä lisäksi tuloksista on hyödynnetty tietoa liikennesuoritteiden keskimääräisistä muutoksista etäisyyden kasvaessa ydinkeskustasta.

Liikkumisen energiamäärät saadaan kulkumuodoittain muuntamalla henkilökilometrimääräiset suoritteet kuormituskertoimien avulla ajokilometreiksi ja kertomalla kulkumuotojen käyttövoimien keskikulutuksella. Keskikuormitus kuvaa kulkumuodon käyttäjien määrää matkayksikköä kohti. Se riippuu kulkumuodon lisäksi siitä, tarkastellaanko asukkaiden vai YKR-ruudussa työssä käyvien henkilöiden liikku-

mista. Henkilöautojen ja bussien kuormituskertoimet perustuvat VTT:n LIPASTO-laskentajärjestelmän yksikköpäästötietokannan oletuksiin. Kaupunkibusseilla on Tampereella isompi paino kuin valtakunnallisesti. Raideliikenteen kuormitus lasketaan henkilöjunien kuormitusoletusten ja vuodesta 2021 eteenpäin kasvavan raitiotien käytön kuormitusoletuksen perusteella. Asukkaiden ja työssä käyvien suoritteita tarkastellaan vuositasolla. Työpaikkojen osalta muunnoskerroin eroaa työpäivien määrän vuoksi asukkaiden 365 päivän kertoimesta. Työkalun tässä versiossa muunnoskerroin ero huomioidaan työpaikkaliikenteen kuormituskertoimien yhteydessä. Niihin on sisällytetty työpaikkaliikenteen matkojen vuosimuunnos 230 vuorokauden tehollisella vuosityöpäivämääräarviolla.

Kulkumuodon käyttövoimien keskikulutus kuvaa sen suoritekohtaista energiankäyttöä. Se lasketaan eri käyttövoimille kulkumuotojen käyttövoimien suoriteosuuksilla painotettuna keskiarvona kulkumuotojen käyttövoimajakauman (liite 11) ja käyttövoimien energian keskikulutuksen (liite 12) tulona. Henkilö-, paketti-, linja- ja kuorma-autojen käyttövoimajakauman mää-

rittelyn lähtökohtana ovat LIPASTO-järjestelmän autokannan, suoritteiden ja kulutuksen ALIISA-laskentamallin käyttövoimakohtaiset suoriteosuudet. Tarkasteltavat käyttövoimat ovat bensiini, diesel, korkeaseosetanoli (E85), kaasu, bensiini- ja dieselkäyttöiset pistokehybridit, sähkö sekä vety. Ajoneuvojen kertoimet perustuvat kansalliseen keskiarvoon eivätkä huomioi alueitaista eroa ajoneuvotyyppien rakenteen jakaumassa. Kulkumuotojen käyttövoimien keskikulutuksen laskennassa tarvittava ajoneuvojen käyttövoimakohtainen energiankäyttö lasketaan nykytilanteessa mahdollisuuksien mukaan LIPASTO:n yksikköpäästötietokannan suoritekohtaisiin tietoihin. Paketti-, linja- ja kuorma-autojen käyttövoimien suoritekohtainen energiankäyttö perustuu henkilöautoja enemmän LIPASTO-tietojen lisäksi kirjallisuuden pohjalta tehtyyn arvioon.

YKR-ruudun asukkaiden ja työssäkävijöiden liikkumisen kasvihuonekaasupäästöt saadaan kertomalla kulkumuodon liikumiseen vuodessa tarvitsema energiamäärä sen keskimääräisellä kasvihuonekaasupäästöjen ominaispäästökertoimella. Kerroin on kulkumuodon eri käyttövoimien ominaispäästökertoimien suoriteosuuk-

silla painotettu keskiarvo. Laskennassa huomioidaan käyttövoimien bio-osuudet ja niiden kehitykset skenaarioissa. Sähkön kerroin perustuu työkalulla laskettuihin keskimääräisiin kansallisiin ominaispäästöihin. Biopolttoaineiden ja bio-osuuksien kertoimet oletetaan nolliksi.

Tulevaisuus

Työkalun yleistä liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen toimintaympäristön kehitystä määrittävät PITKO-skenaariot. Niiden taustalla ovat liikenne- ja viestintäministeriön Hiiletön liikenne 2045 -hankkeen (Särkijärvi ym. 2018a,b) ILMO-skenaariot, joissa on hahmoteltu eri vaihtoehtoja liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen poistamiseksi kokonaan vuoteen 2045 mennessä. WEM-skenaariossa ajoneuvotekniikoiden osuuskehitysoletukset vastaavat kansallisen energia- ja ilmastostrategian (Työ- ja teollisuusministeriö 2017) oletuksia ja LIPASTO-laskentajärjestelmän perusuraa. Sähkö- ja biokaasuautojen määrä kasvaa skenaariossa markkinaehtoisesti. Biopolttonesteiden jakeluvaihtoehto säilyy samalla 20 %:n tasolla kuin vuonna 2020. EU-80%-skenaario sisältää lisäksi kansallisen energia- ja ilmastostrategian vuoteen

2030 tähtäävät politiikkatoimenpiteet. Liikennejärjestelmän energiatehokkuus paranee. Sähkökäyttöisten autojen määrä on vähintään kaksinkertainen ja kaasuautojen yli kolminkertainen WEM-skenaarioon verrattuna. Tieliikenteen biopolttoaineosuutta kasvatetaan lineaarisesti 30 %:iin vuoteen 2030 mennessä. Koko maan tasolla liikenteen päästöt voidaan puolittaa EU-80%-skenaariossa vuonna 2030.

Jatkuva kasvu -skenaariossa henkilö- ja joukkoliikenne sähköistyy voimakkaasti kuten ILMO-skenaarioiden TEKNO-polussa. Kehityksen tukena on laaja keinovalikoima autoilun verotuksen kokonaisuudesta ja investointituista sähköautojen edistämiskampanjoihin ja kokeiluihin saakka. Biopolttoaineosuuden kehitys on sama kuin EU-80%-skenaariossa ilmastostrategian mukaisissa toimenpiteissä ja henkilöautosuorite kasvaa koko maassa strategian WAM-skenaariosta mukaisesti hieman WEM-skenaariota hitaammin. Muutos-skenaario painottaa ILMO:n PALVELU-polun tavoin liikennejärjestelmän voimakasta tehostamista ja siitä seuraavaa henkilöautosuoritteen merkittävää vähentämistä. Skenaariossa panostetaan liikenteen palveluvaltaistumiseen (MaaS) ja uudenaisten

kulkumuotojen kehittämiseen. Auto-kannan uusiutumista erityisesti sähkökäyttöiseksi tuetaan. Myös liikenteen biopolttoaineisuus kasvaa. Kaupungit näyttelevät aktiivista roolia liikenteen vähähiilisyys-toimenpiteissä yhteistyössä valtion, yritysten ja tuotekehittäjien kanssa. Kokeileva ja aktiivinen kuluttajan voimaannuttaminen on keskeinen työkalu liikenteen ilmastotyön työkalupakissa.

Säästö-skenaariossa painottuu ILMO-skenaarioiden BIO-polun mukaisesti biopolttoaineiden käyttöön. Biopohjaisia polttoaineita tuetaan ja kestäviä biojalosteita käytetään erityisesti raskaammassa liikenteessä. Joukkoliikenne on tärkeässä roolissa kaupungeissa. Jakamistalouden ja etäratkaisujen käyttöä tuetaan kannustimilla, kokeiluilla ja muilla mahdollistavilla toimenpiteillä. Informaatio-ohjaus, kasvatusta ja media valjastetaan tavoitteiden saavuttamisen tueksi. Säästö-skenaariossa oletetaan läsiirtymää kevyeen ja julkiseen liikenteeseen. Pysähdys-skenaariossa henkilöautosuorite pienenee WEM-skenaariosta verrattuna. Yksityisautoilun kalleus kannustaa kävelyyn ja pyöräilyyn sekä joukkoliikenteen ja kimpapakyytien käyttöön. Kautunkiseuduilla investoidaan kestäviin kul-

kutapoihin ja niitä tukevaan yhdyskuntarakenteeseen. Tavaraliikenne tapahtuu pitkälti vielä fossiililla polttoaineilla ja liikenteen sähköistyminen on vähäistä. Biopolttoaineisuus kehittyy samalla tavalla kuin EU-80%-skenaariossa. Kansallisesti käyttöön otetut henkilökohtaiset hiilibudjetit ja kansalaisten välinen päästökauppa tukevat kuitenkin Pysähdys-skenaariossa liikennesektorin päästövähennystavoitteita.

Henkilöliikenteen kasvihuonekaasupäästöt arvioidaan myös skenaarioissa käyttövoiman ominaispäästökertoimen avulla YKR-ruutukohtaisten suoritteiden, kulkumuotojen kuormituskertoimien ja käyttövoimien keskikulutuksen avulla määrittelystä liikkumisen energian käytöstä. Liikkumisen energiamäärien laskennassa tarvittavat kulkumuotojen kuormituskerroimet ovat käytännössä samat kaikissa muissa taustaskenaarioissa paitsi voimakasta liikennejärjestelmän muutosta painottavassa Muutos-skenaariossa. Työkalun laskentamalli sisällyttää kuormituskerroimeen työpaikkaliikenteen matkoihin vaikuttavat vuosittainen työpäivien muutokset. Muutos- ja Säästö-skenaarioissa oletetaan PITKO-selvityksen (Koljonen ym. 2019)

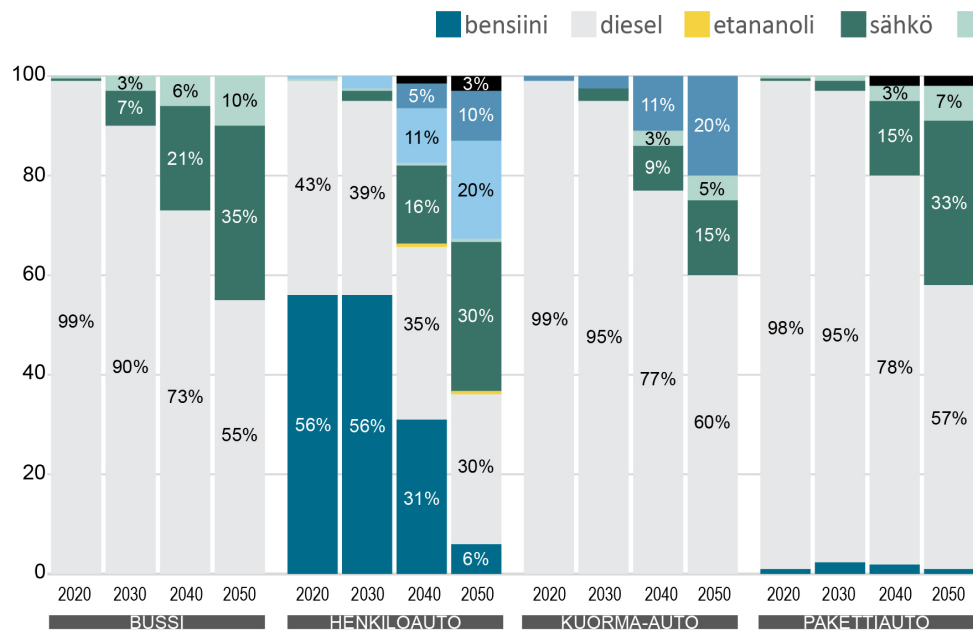
mukaisesti, että etätö ja vastaavat uudet työskentelytavat pienentävät työpaikalla vietettävien vuosityöpäivien määrää menettäessä kohti vuotta 2050.

Kulkumuodon käyttövoimien keskikulutuksen laskennassa tarvittavan ajoneuvojen käyttövoimajakauman ja käyttövoimien energian keskikulutuksen skenaariokehitystä esitellään liitteiden 11 ja 12 taulukoissa. Kehityksen määrittelyssä hyödynne-

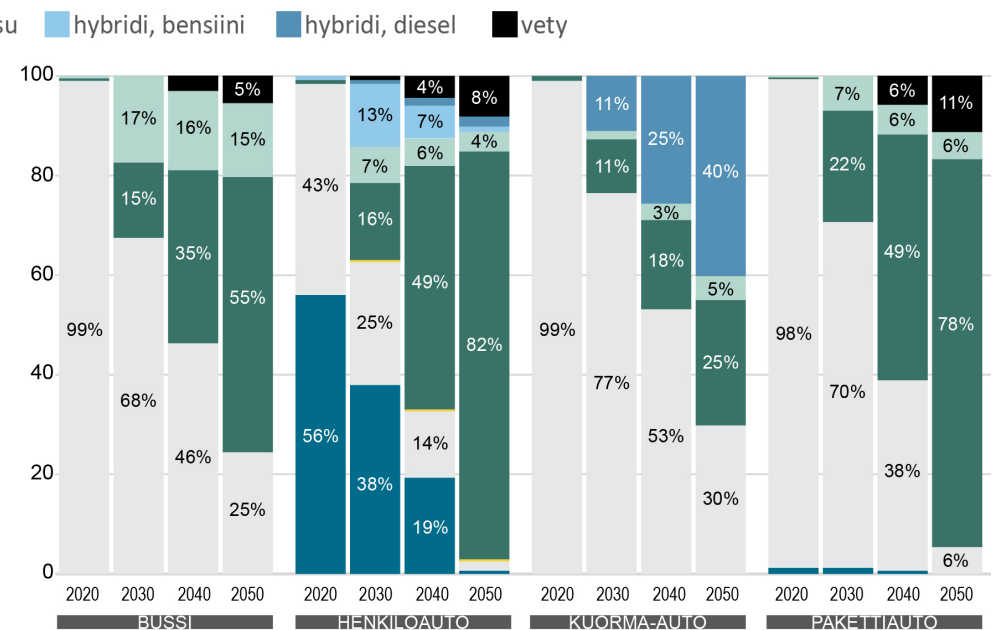
tään PITKO-selvityksen tuloksia (Koljonen ym. 2019, taulukko 9). WEM-, EU-80%- ja Pysähdys-skenaarioiden käyttövoimien suhteosuusien tarkentamisessa käytetään Nylundin ym. (2014 ja 2017) pohjalta OECD:n (2014 ja 2017) NETP-julkaisun ajoneuvojen päästörajoituksia ja kestävä kehityksen tyyppistä kehitystä kuvaavaa 2DS-uraa. Työkalun taustaskenaarioiden määrittelyssä käytetään apuna myös pro-

gressiivisempaa hiilineutraaliin energiajärjestelmään tähtäävää CNS-uraa. Jatkuva kasvu- ja Muutos-skenaariossa painottuvat sähkö- ja vetyautot, kun taas Säästö-skenaariossa korvataan fossiilista bensiiniä ja dieseliä toisen sukupolven liikenteen biopolttoaineilla. Kuvissa 8 ja 9 on esimerkinomaisesti esitetty ajoneuvojen käyttövoimajakauman kehitys WEM- ja Jatkuva kasvu-skenaarioiden osalta kunkin vuosikymmen-

nen alkuvuotena. Kulkumuotojen energia- ja kustannusten kehitysarvio on sama muissa taustaskenaarioissa paitsi Pysähdys-skenaariossa, jossa tekninen kehitys on muita skenaariota hitaampaa. Lähtöoletukset perustuvat Koljosen ym. (2019) viittaamiin liikenteen teknologiajulkaisuihin.



Kuva 8. Ajoneuvojen käyttövoimien kehitys vuosikymmenittäin WEM-skenaariossa.



Kuva 9. Ajoneuvojen käyttövoimien kehitys vuosikymmenittäin Jatkuva kasvu-skenaariossa.

3.5 Tavaraliikenne

Nykytilanne

Tavaraliikenteen kasvihuonekaasupäästöt noudattavat kappaleen 3.4 henkilöliikenteen laskentaperiaatteita paketti- ja kuorma-autojen käyttövoimien keskikulutuksien ja keskimääraisten ominaispäästökerroimien määrittelyssä. Päästölaskennassa tarvittavan YKR-ruudun palvelu- tai teollisuusrakennuksen kuljetusten suoritteiden määrittelyssä hyödynnetään arvioita paketti- ja kuorma-autokuljetusten käyntikerroista, kuljetusmatkojen pituuksista ja kuormausasteista.

Palvelurakennusten tavaraliikenteen suoritelaskennan rakennusluokittelu noudattaa lähtökohtaisesti YKR-aineiston palvelurakennusluokittelua. Liikerakennusten luokka tarkennetaan myymälä-, majotus- ja ravintolarakennuksiksi ja myymälät jaetaan hyper-, super-, pien- ja muiksi myymälöiksi. Suorite määritellään palvelurakennustyypeille ja muille rakennuksille paketti- ja kuorma-autokuljetusten sataa kerrosneliometriä kohti laskettujen käyntikertojen vuorokausittaisella määrällä. Käyntikerrat määritellään Liikennetarpeen

arviointi maankäytön suunnittelussa -selvityksen (Kalenoja ym. 2008) avulla. Kuljetusten vuosisuorite saadaan kertomalla vuorokausisuorite 260 arkipäivällä.

Palvelujen tavaraliikenteen kuljetusmatkojen arvioinnin apuna käytetään tavararyhmittäistä ja -lajeittain kerättyjä Tilastokeskuksen kotimaan kuorma-autoliikenteen suoritetilastoja. Kuljetuksen päästövaikutusten ja siten kuljetusmatkojen oletetaan allokoidun tasan kuljetuksen lähtöpaikan ja määränpään välille. Laskennalliset kuljetusmatkat vaihtelevat työllä lassa palvelurakennustyypeittäin paketti-autoilla 5–10 km/käynti ja kuorma-autoilla 40–91 km/käynti. Tilastokeskuksen tieliikenteen tavarankuljetustilastoja hyödynnetään myös kuljetusten kuormausasteen määrittelyssä. Niiden arvioidaan olevan palvelurakennuksesta riippuen 45–60 %.

Teollisuus- ja varastorakennusten paketti- tai kuorma-autokuljetusten vuosisuoritteiden laskennassa käytetään kerrosalan sijaan rakennustyyppin lukumääriä, jotka kerrotaan Kalenolan ym. (2018) pohjalta määritellyillä tavaraliikenteen vuorokausittaisilla käyntikerroilla ja samalla arkipäivien vuosimuunnoskertoimella. Teol-

lisuusrakennukset luokitellaan laskentaa varten Tilastokeskuksen TOL 2008 -toimialaluokituksen neljän pääluokan avulla: kaivostoiminta ja louhintaa, teollisuus, sähkö-, kaasua- ja lämpöhuolto ja jäähdytysliiketoiminta sekä vesihuolto, viemäri- ja jätevesihuolto, jätehuolto ja muu ympäristön puhtaanapito. Rakennukset jaotellaan TOL-pääluokkien kaksinumeroitson mukaisesti 14 ryhmään: kaivos-, elintarvike-, tekstiili-, puu-, paperi-, kemian-, metalli- ja metallinjalostusteollisuus, koneita ja laitteita valmistava teollisuus, energia-teollisuus, jätehuolto, vesihuolto ja muu teollisuus. Laajennettuja rakennustietoja hyödynnetään myös kappaleessa 3.6 käsiteltävässä teollisuuden sähkönkulutuksen laskennassa.

Teollisuusrakennusten luokittelua käytetään teollisuuden tavarakuljetusten keskimääraisten kuljetusmatkojen määrittelyssä. Matkapituuksien ja kuormausasteen laskennallisen arvioinnin apuna on palvelurakennusten tavoin Tilastokeskuksen kuorma-autoliikenteen suoritetilastot. Kuljetusmatkat jaetaan myös teollisuuden kuljetusten laskennassa tasan lähtöpaikan ja määränpään välille. Laskennalliset kulje-

tusmatkat vaihtelevat teollisuusryhmittäin 22–81 km välillä sisältäen 33–91 % kuormausasteen vaikutuksen. Kerroinmäärittely kompensoi jonkin verran suhteellisen suuren rakennusmäärän aiheuttamaa virhettä YKR-ruutujen teollisuuden ja varastojen tavaraliikenteen suoritteissa ja päästöissä (ks. myös kpl 5.4).

Tulevaisuus

Palvelu- ja teollisuusrakennuksiin liittyvien kuljetusten kasvihuonekaasupäästöjen laskenta etenee skenaarioissa samalla tavalla kuin nykyrakenteessa. Paketti- ja kuorma-autojen käyttövoimien keskikulutuksen laskennassa käytettävien käyttövoimajakaukien kehitykset ilmenevät liitteen 11 taulukosta. Niiden kehityksen määrittelyssä käytetään PITKO-selvityksen tuloksia (Koljonen ym. 2019, taulukko 9) ja kappaleessa 3.4 mainittua lisäaineistoa. Kappaleessa 3.4 käsitellyn henkilöliikenteen tavoin myös tavarakuljetusten suoritemäärien laskentaan käytettäviin kuljetusten käyntikertojen, pituuksien ja kuormausasteiden kertoimiin vaikuttavat periaatteessa PITKO-selvityksen liikennetarkastelujen taustalla olevat ILMO-skenaariot (Särkijärvi ym. 2018a,b).

Skenaarioiden välillä ei ole suuria eroja tavarakuljetusten kehittymisen osalta. Laskennan yksinkertaistamiseksi skenaarioiden väliset erot tiivistetään laskennassa palvelu- ja teollisuusrakennusten paketti- ja kuorma-autojen käyntikertamääräkertoimien muutoksiksi. Perustilanteessa WEM- ja EU-80%-skenaarioissa rakennuskohtaisten kuljetusten lukumäärät, pituudet ja tehokkuudet pysyvät muuttumattomina nykyisellä tasolla. Logistiikan oletetaan tehostuvan eniten Muutos- ja Säästö-skenaarioissa, joissa liikennejärjestelmän kehittämiseen panostaminen pienentää käyntikertojen määrää sektorista ja toimialasta riippuen keskimäärin -0,2 – -3,2 % vuodessa. Vahva talouden kasvu lisää Jatkuva kasvu -skenaariossa kuljetuksia ja vuosimuutos jää siinä logistiikan tehostumisesta huolimatta -0,1 – -1,6 %:iin. Kehitys oletetaan samaksi myös Pysähdys-skenaariossa.

3.6 Sähkönkulutus

Nykytilanne

Sähkönkulutus kattaa työkalussa rakennusten lämmityksen ja jäähdytyksen sähkön, kiinteistösähkön sekä kotitalouksien, palvelujen ja teollisuuden muunlaisen sähkönkäytön. Päälämmitysmuotona käytettävien sähkö- ja lämpöpumppulämmitysjärjestelmien ja rakennusten tilojen jäähdytysjärjestelmien sähkönkäyttö käsittelen rakennusten kappaleen 3.2 lämmitys- ja jäähdytystarkastelun yhteydessä. Poikkeuksena ovat teollisuus- ja varastorakennusten kiinteistösähkön kulutus, jota ei arvioida työkalussa erikseen, vaan se sisältyy teollisuussektorin muuhun kuin lämmitykseen liittyvään sähkönkäyttöön. Sähkönkulutuksen kasvihuonekaasupäästöt saadaan kertomalla vuoden aikana käytetty sähkön määrä kappaleen 3.1 kansallisella sähkön ominaispäästökertoimella.

Kiinteistösähköä kuluu eri rakennuksissa mm. yleisten tilojen ja pihojen valaistukseen, hisseihin, autolämmitykseen, talosaunoihin ja erilaisiin sulanapitojärjestelmiin. Mukana ovat myös kiinteistön ilmanvaihdon ja lämmityslaitteiden sähkönkulutus lukuun ottamatta varsinaiseen lämmitykseen ja jäähdytykseen käytettyä sähköä. Työkalu laskee kiinteistösähkön kulutuksen ominaiskulutuskertoimen avulla eri asuin- ja palvelurakennustyypeille. Liitteen 13 taulukon kertoimet ovat lähdekirjallisuuden³ pohjalta tehtyjä arvioita eri rakennustyyppien ja ikäryhmien kerrosneliökohtaisesta kiinteistösähkön kulutuksesta.

Kotitalouksien sähkönkulutus vastaa työkalussa huoneistosähkön kulutusta. Se sisältää asukkaiden muuhun kuin asuinrakennusten lämmitykseen, jäähdytykseen, kiinteistön laitteisiin ja liikenteeseen käytämän sähkön. Työkalu laskee YKR-ruudun kotitalouksien vuosittaisen sähkönkulu-

tuksen asuntojen laitesähkön ja valaistussähkön tarpeen ja asukasmäärästä riippuvan sähkön lisätarpeen summana. Asuinrakennustyyppien kerrosalakohtaisten laitesähkön ja valaistuksen ominaispäästökertoimien ja asukaskohtaisen kulutuskerroimien määrittelyn tukena ovat Adaton (2013) tutkimuksen omakoti-, rivi- ja kerrostaloasuntojen keskivertokulutustiedot ja -jakaumat. Nykyrakenteessa pien-, rivi- ja kerrostalojen vuosikertoimet ovat laitesähkölle 30, 26 ja 31 kWh/m² ja valaistukselle 7, 8 ja 9 kWh/m². Asukaskohtainen lisäkulutus on rakennustyyppistä riippumatta vuodessa 500 kWh/asukas.

³ Rakennus- ja ikäryhmäkohtaisten kiinteistösähkön ominaiskulutuskertoimien arvioinnissa on hyödynnetty lähteinä mm. KEKO-mallin taustakertoimia (KEKO 2016, Taulukko 5), Lylykangasta ym. (2013a,b), Mattista ym. (2016, taulukko 3), Möttöstä ym. (2014, taulukot 1–21) sekä Virtaa ym. (2011, kuvat 2.7 ja 2.8).

Työkalu laskee palvelusektorin muuhun kuin lämmitykseen, jäähdytykseen ja kiinteistöön käyttämän sähkön kasvihuonekaasupäästöt sektorin rakennusten kerrosalan avulla. Kerrosalakohtainen ominaiskulutuseroin määrittellään YKR-aineiston palvelurakennustyypeille, jotka on laajennettu kappaleen 3.5 tavaraliikennetarkastelun mukaisesti liikerakennusten osalta neljäksi myymälätyypiksi sekä majotus- ja ravintolarakennuksiksi. Ominaiskulutuskertoimen määrittelyssä käytetään apuna mm. palvelusektorin ominaiskulutustietoja (Motiva 2019) ja Tampereen kaupungin (2016) energiatehokkuusseuranta-raportointia.

Teollisuuden ja varastojen muun sähkönkäytön laskenta perustuu myös rakennusten kerrosalaan ja ominaiskulutusta kuvaavaan kertoimeen. Teollisuuden rakennukset on luokiteltu kappaleen 3.5 jaottelun mukaisesti 14 eri teollisuusryhmään. Näille ryhmille arvioidaan karkeasti omat sähkön kerrosneliökohtaiset kulutuskertoimet. Näin pyritään ottamaan

YKR-ruututasolla paremmin huomioon eri teollisuuden toimialojen ja tuotantosuuntien välisiä eroja sähkön käytön intensiteetissä. Laskentaa on mahdollista tarkentaa edelleen esimerkiksi hyödyntämällä Tilastokeskuksen yritys- ja toimipaikkarekisterin tietoja henkilöstön jakaumasta toimialoittain. Toisin kuin kotitalouksien ja palvelujen sähkönkulutuksen päästölaskenta, teollisuussektorin tarkastelu sisältää myös arvion teollisuus- ja varastorakennusten kiinteistösähkön käytöstä.

Tulevaisuus

Sähkönkulutuksen rakenne muuttuu merkittävästi PITKO-selvityksen (Koljonen ym. 2019) skenaarioissa. Sähköistyminen on keskeistä kaikilla yhteiskunnan sektoreilla ja se on avainasemassa vähäpäästöisyys-tavoitteiden saavuttamisessa, koska fossiilisia polttoaineita ei pystytä korvaamaan kestävästi bioenergialla riittävän laajassa mittakaavassa. Digitalisaatio, energian varastointi ja hiilineutraalien polttoaineiden jalostus lisäävät sähkön tarvetta.

Kulutuksen kasvun negatiivista päästövaikutusta pienentää osaltaan energiankäytön tehostuminen. Sähkön kokonaiskulutus kasvaa kuitenkin koko maan tasolla vielä vuoteen 2030 mennessä suhteellisen vähän eikä kulutusmäärissä ole PITKO-skenaarioiden välillä suuria eroja (Koljonen ym. 2019, kuva 21). Pidemmällä tarkastelujänteellä sähkönkulutus kasvaa eniten Jatkuva kasvu -skenaariossa. Talouskasvu on skenaariossa hyvä ja sähköllä korvataan laajimmin polttoaineiden käyttöä. Sähkönkulutus kasvaa vähiten EU-80%-skenaariossa, jossa energijärjestelmän muutokset ovat PITKO-poluista maltillisimpia.

Työkalun PITKO-pohjaisissa taustaskenaarioissa pyritään huomioimaan PITKO-selvityksen oletusten ja tulosten vaikutukset kiinteistösähkön, kotitalouksien, palvelujen ja teollisuuden muuhun kuin lämmitykseen ja jäähdytykseen liittyvään sähkön käyttöön tulevaisuudessa. Kiinteistösähkön kulutuksen muutosta olemassa olevassa rakennuskannassa kuvataan skenaarioissa rakennustyyppistä riippumattomalla

vuosittaisella muutuskertoimella (Liite 14). Sähköä kuluttavan tekniikan ja automatiikan oletetaan lisääntyvän vanhemmissa kiinteistöissä. Nopein, 0,6–1,2 %:n vuosikasvu on Jatkuva kasvu- ja Muutos-skenaariossa, joissa oletetaan voimakasta sähköistymistä ja rakennuksiin liittyvää teknologisia kehitystä. Säästö-skenaariossa oletetaan rakennusten energiankäytön tehostamisesta näkyy kiinteistösähkön ominaiskulutuskertoimen nollakehityksenä. WEM-, EU-80%- ja Pysähdys-skenaarioissa olemassa olevan rakennuskannan kiinteistösähkön vuosimuutos on 0,5–1,0 %. Skenaariossa energiatehokkuuspainotuksesta riippuen kotitalouksien sähkönkulutus pienenee laitesähkössä keskimäärin vuodessa 1–3 %, valaistuksessa 2–3 % ja asukaskoh- taisessa lisäkulutuksessa 0,5–1,5 % vuosien 2020–2050 aikana. Suurimmat vähenykset tapahtuvat Säästö- ja Pysähdys-skenaariossa.

4 Työkalun kuvaus

Laskentatyökalulle rakennettiin käyttöliittymä (kuva 10) Gispo Oy:n toimesta QGIS-paikkatieto-ohjelmiston lisäosana (versio 3.4), joka voidaan asentaa Gispon GitHub-tililtä.

Työkalussa valitaan ensin geometrisen aluerajaustason työtilastaan, jonka perusteella laskenta rajataan haluttuihin ruutuihin (esim. Tampereen kantakaupungin alue). Työkalun tässä versiossa valitaan myös hallinnollinen alue, esim. kunta tai maakunta, jonka perusteella ominaispäästöt ja muut parametrit haetaan tietokannasta. Sen jälkeen syötetään tarpeelliset YKR-paikkatiedot työkalulle (rakennukset, väestö, työpaikat). Näiden tilalla voi käyttää myös paikallisista rekisteri- yms. aineistoista jalostettua ruutuaineistoa.

Mikäli haluaa laskea pelkän nykyrakenteen ilmastovaikutusten analyysin lisäksi tulevaisuuden skenaarioita, on työkaluun syötettävä vähintäänkin käyttötarkoitusta- tai aluevaraustyyppiset paikkatiedot sekä laskennan tavoitevuosi, johon asti vuosittain päästöt lasketaan. Tämän ohella voidaan syöttää lisäksi tietoa joukkoliikennejärjestelmästä ja keskusverkkoa koskevista suunnitelmista.

Työkalun valinnaiset asetukset koskevat laskennan parametrien hakua. Oleellisin näistä on PITKO-skenaario, jota hyödynnetään pääasiassa tulevaisuuslaskennassa. Nykytilan laskennassa käytetään vakiona WEM-skenaariota, koska tämä kuvastaa nykyisenkaltaista kehitystä, ja eri PITKO-skenaarioissa on usein eroja jo

nykyhetkestä lähtien. Päästöjen allokointimenetelmä on kuvattu edellä kappaleessa Sähkön ja lämmön tuotanto. Työkalussa valitaan, lasketaanko tietyt päästölajit energia- vai hyödynjakomenetelmällä. Viimeisenä valitaan, käytetäänkö sähkön päästöjen laskennassa hankinta- vai tuotantopereusteista ominaispäästömittausta.

Työkalun laskettua päästöt joko nykyrakenteesta tai tulevaisuuden skenaarioista, visualisoidaan tulokset automaattisesti kartoin QGIS:n työtilaan (kuva 11). Kartoilla esitetään mm. ruutukohtaiset kokonaispäästöt, asukasmäärä ja suurin päästölähde. Tietokantaan tallentuvista tulostiedoista on mahdollista myös julkaista tuloksia suoraan karttapalveluihin esim. rajapintapalveluiden kautta. Tulos-

taulukoista voidaan erotella sekä yksittäisten päästölajien laskentatuloksia (esim. kiinteistösähkö), yleistettyjä luokiteltuja päästöjä (esim. sähkön kokonaiskulutus) sekä kokonaispäästöjä. Tulostietoihin on liitetty myös tiedot asukasmääristä, yhdyskuntarakenteen vyöhykkeistä sekä rakennusten kerrosalasta ruuduittain kullekin vuodelle. Näiden perusteella käyttäjä voi tehdä useita erilaisia jatkotarkasteluja esimerkiksi päästöjen suhteellisista määristä tai alueellisista eroista.

Ilmastotyökalu

▼ Tarkastelualueen rajaus

Geometrinen alue: **Tampere**

Hallinnollinen alue: **Pirkanmaa**

☐ Käytä vain valittuja kohteita

▼ Nykytilanne (pakollinen)

YKR-Väestö: ... ☐ Lataa tasosta

YKR-Työpaikat: ... ☐ Lataa tasosta

YKR-Rakennukset: ... ☐ Lataa tasosta

☐ Laske tulevaisuustiedot

▼ Tulevaisuustiedot

▼ Pakolliset

Aluevaraustiedot: ... ☐ Lataa tasosta

Tavoitevuosi: **2050**

▼ Vaihtoehtoiset

Keskusverkkotiedot: ... ☐ Lataa tasosta

Joukkoliikennepysäkit: ... ☐ Lataa tasosta

▼ Lisäasetukset (valinnainen)

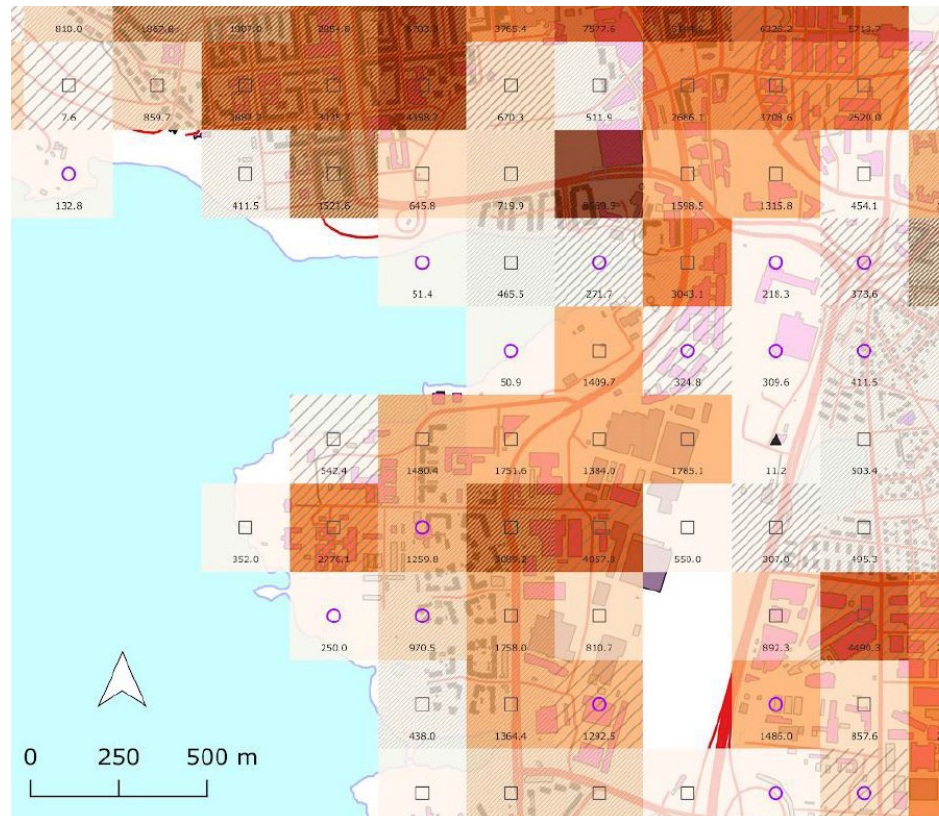
PITKO-skenaario: **wem**

Päästöjen allokointimenetelmä: **hjm**

Sähköpäästölaji: **hankinta**

Asetukset... Info... **OK** Peru

Kuva 10. Työkalun käyttöliittymä (QGIS-paikkatieto-ohjelmiston lisäosa).



Kuva 11. Esimerkki laskentatuloksista ja niiden visualisoinneista ruututasolla.

Suurin päästölähde

- ☐ Tilojen lämmitys
- ▲ Sähkö
- Liikenne
- ◆ Korjaussaneeraus

Asukasmäärä

- 1-10
- 10-50
- 50-100
- 100-500
- 500-1366

Päästöt, hiilidioksiditonnia

- 1-600
- 600-1200
- 1200-2000
- 2000-4000
- 4000-8000
- 8000-12139

5 Tampereen nykyrakenteen ilmastovaikutukset

5.1 Yhteenveto

Tampereen kaupungin nykyrakenteen synnyttämä kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärä on tarkasteluvuonna 2019 yhteensä noin 850 000 hiilidioksidiekvivalenttonnia (t CO₂-ekv). Lukema sisältää rakennusten tilojen ja käyttöveden lämmityksen ja tilojen jäähdytyksen sekä rakentamisen osalta korjaus- ja saneerausrakentamisen energian käytön (kuva 12). Liikenteen päästölähteistä on arvioitu tarkastelualueen asukkaiden ja työpaikkojen aikaansaama henkilöliikenne sekä palvelu- ja teollisuusrakennuksiin liittyvä tavaraliikenne (pl. läpiajoliikenne). Rakennusten lämmitykseen ja jäähdytykseen käytetyn sähkön lisäksi päästölaskenta kattaa kiinteistösähkön sekä kotitalouksien, palvelujen ja teollisuuden muun sähkönkulutuksen.

Kasvihuonekaasupäästöt on laskettu hankkeessa kehitetyllä työkalulla SYKE:n yhdyskuntarakenteen seurantajärjestelmän (YKR) mukaisella 250 metrin säännöllisen ruudukon tarkkuustasolla (kuva 13). Lähtöaineistoa on jalostettu kaupungin ajantasaisella rakennusrekisteriaineistolla ja Tilastokeskuksen yritys- ja toimipaikka-

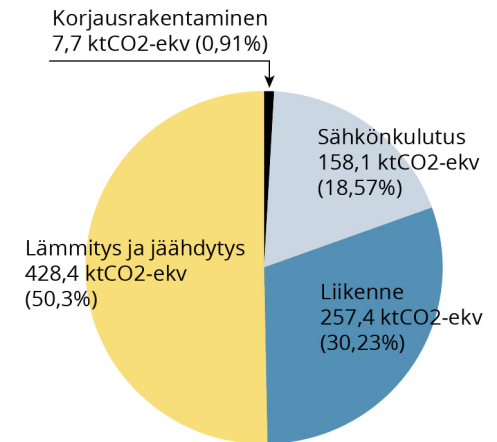
tiedoilla. Näin on saatu ajantasainen kuva todellisesta rakennuskannan käytöstä ja laajuudesta.

Aiemmassa, EPECC:n vuoden 2011 YKR-aineistolla laatimassa yhdyskuntarakenteen päästöarvioinnissa, kokonaispäästöiksi Tampereella saatiin 1271,0 kt CO₂-ekv. Päästöt jakautuivat päästölähteittäin siten, että 73,5% päästöistä aiheutuu rakennusten energiankulutuksesta, 14 % henkilöliikenteestä, 7,5 % tavaraliikenteestä ja 5 % rakennusten korjauksesta ja kunnossapidosta. Tuoreessa tarkastelussa päästöt ovat merkittävästi pienemmät. Rakennusten lämmityksen osuus on pienentynyt. Samalla liikenteen osuus on kasvanut. Tämä on looginen kehityssuunta, joka näkyy myös Tampereen Benviroc Oy:ltä tilaamissa vuositaisissa käyttöperusteisissa kuntatason kasvihuonekaasupäästöraporteissa. Asukkaiden ja siten myös liikenteen määrä kaupungissa on kasvanut, mutta ajoneuvokannan, käyttövoimien ja ennen kaikkea kulku- muotojakautumisen muutokset eivät ole erityisen nopeita.

Uudessa laskennassa tieto rakennus-

ten lämmitysmuodosta on ajantasaistettu ja ottaa huomioon esim. kaukolämmön todellisen käyttösuuden aiemmassa laskennassa käytettyihin oletamiin verrattuna. Mukana ovat myös maalämpökaivot, joiden määrä on merkittävästi kasvanut viime vuosina ja vähentänyt erityisesti öljylämmityksen määrää. Rakennuskannan energiatehokkuus on myös parantunut. Suurin vaikutus on ollut sillä, että Tampereen Sähkölaitos on muuttanut kaukolämmössä käytettäviä polttoaineita entistä uusiutuvimmiksi. Myös kansallisen sähkön hankinnan mukainen ominaispäästökerroin on huomattavasti pienentynyt aiemman laskennan tarkasteluvuoden 2011 tasolta.

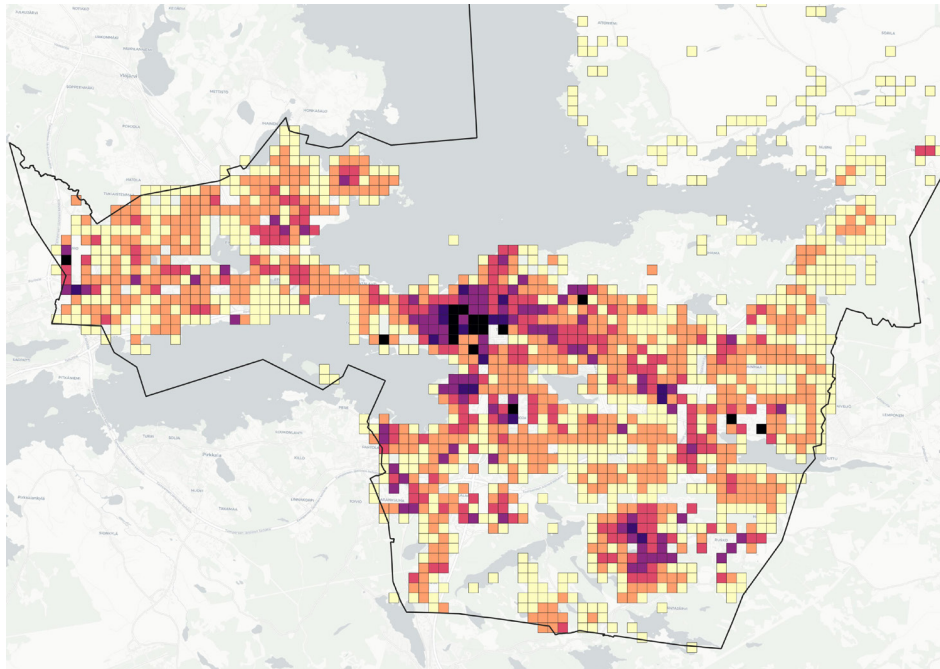
Tuloksia verrattaessa yhdyskuntarakenteen vyöhykkeisiin (kuva 14), rakennuksiin ja väestöön, voidaan hahmottaa, millainen rakenne tuottaa vähiten päästöjä suhteessa sillä sijaitseviin toimintoihin (kuvat 15 ja 16). Tampereella pienimmät kokonaispäästöt sekä asukasta että rakennettua kerrosalaa kohti ovat alakeskusten jalankulkuvyöhykkeellä, missä painoarvo



Kuva 12. Tampereen yhdyskuntarakenteen päästöjen jakautuminen päästölajeittain 2019.

on etenkin Hervannalla. Tämä on loogista, sillä alueen väestötiheys ja aluetehokkuus ovat korkeita, mutta alueella ei juuri ole energiantensiivisiä työpaikkatoimintoja tai palveluita. Samalla alueen liikkumistottumukset ja siten liikenteen yksikköpäästöt ovat kaupungin kestävimpiä.

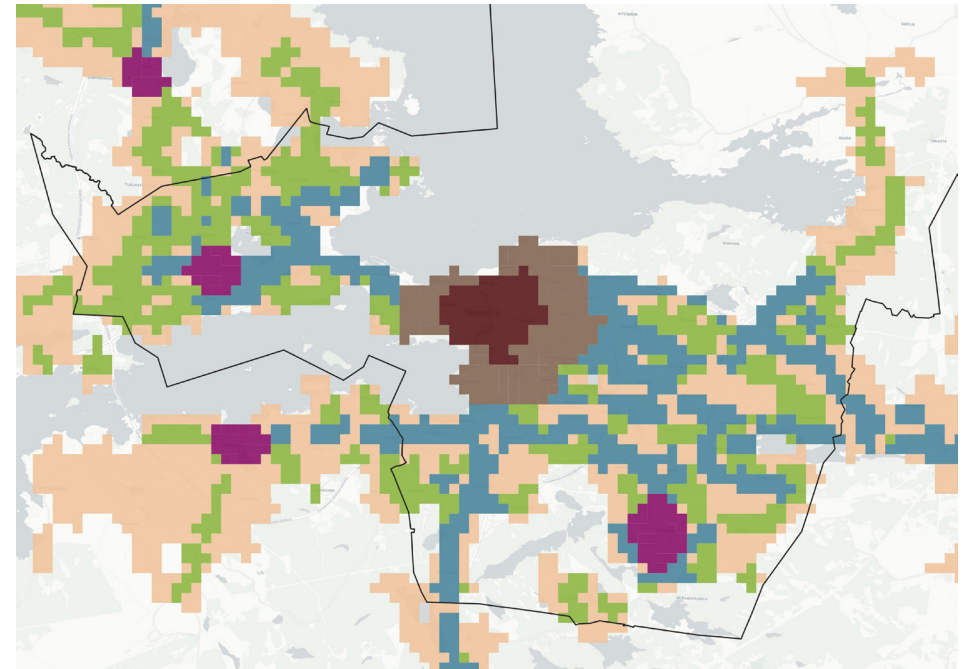
Kerrosalaan suhteutettuna ydinkes-



Päästöt yhteensä tCO₂-ekv/v (Vain ruudut, joilla vähintään 10 asukasta tai ei asukkaita)



Kuva 13. Kasvihuonekaasupäästöt ruuduittain Tampereella 2019.



Yhdyskuntarakenteen vyöhykkeet



Kuva 14. Yhdyskuntarakenteen nykyiset vyöhykkeet Tampereen ydinkaupunki-seudulla.

kustan alue on päästöiltään lähes yhtä tehokas, kuitenkin asukasta kohti päästöt ovat selvästi korkeammat. Tämä selittyy keskustan merkittävällä työpaikka- ja palveluintensiteetillä suhteessa asukasmäärään. Vastaavasti keskustan reunavyöhykkeellä sijaitsee Tampereella merkittävässä määrin keskustamaista palvelu- ja työpaikkatoimintaa. Tampereella keskustan reunavyöhykkeen suhteellisia päästöjä nostavat mm. useat energiaintensiiviset toiminnot Hatanpää-Nekalan teollisuusalueilla.

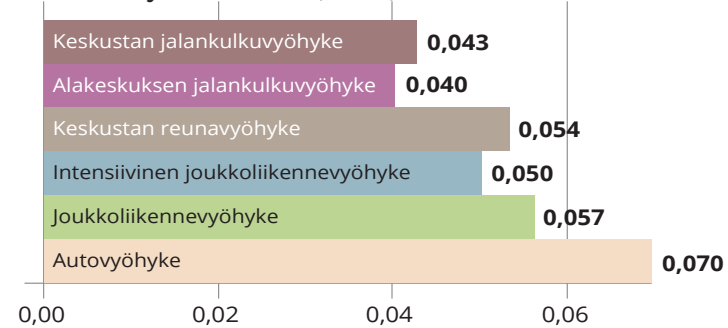
Asukaskohtaiset päästöt ovat matalimpia intensiivisillä sekä muilla joukkoliikennevyöhykkeillä. Koska tässä tehdyt yhteenvedot perustuvat koko kaupungista laskettuihin vyöhykeluokittaisiin tilastollisiin tarkasteluihin, on huomioitava alueiden monimuotoisuus siirryttäessä keskustamaisilta alueilta yhä laajemmille vyöhykkeille, sekä mahdolliset syy-seuraus-suhteet tai niiden puuttuminen. Esimerkiksi intensiivisillä joukkoliikennevyöhykkeillä on paljon päästöjä tuottavia toimintoja, jotka ovat voineet olla alueella jo ennen joukkoliikennettä, tai tulleet alueelle hyvän joukkoliikenteen vuoksi, tai sijaitsevat vyöhykkeellä vain sattumalta.

Nykytilan tarkastelussa alakeskus-

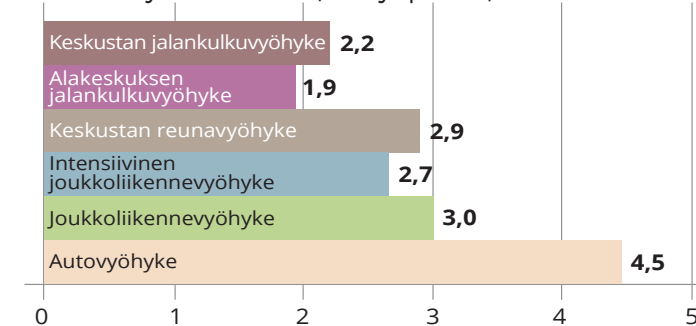
luokka tarkoittaa Tampereella Tesomaa ja Hervantaa. Tulevaisuusskenaarioiden tarkastelussa Tampereelle muodostuu yleensä myös muita suuria alakeskuksia. Henkilöliikennetutkimuksen otoksen pienuudesta johtuen Tesoman liikennesuoritteet poikkesivat selvästi muista vastaavista alueista. Tämä nosti alakeskuksen päästöjä tarkastelussa, vaikka sen keskimääräisiä liikennesuoritteita korjattiinkin aluetta ympäröivien joukkoliikennevyöhykkeiden tiedoilla. Tampereen alakeskuksista Hervannassa on kestävä liikumistottumukset. Tästä voi suuntaantavasti päätellä, että mikäli uusia tai nykyisiä alakeskuksia kehitetään, tulee se tehdä riittävällä volyymillä ja erilaisia toimintoja sekoittamalla, jotta kysyntää joukkoliikenteelle muodostuu, ja toisaalta että alue itsessään muodostaa riittävän vetovoimaisen kävely- ja pyöräily-ympäristön.

Suurimmat kerrosala- ja asukaskohtaiset päästöt löytyvät autovyöhykkeeltä. Tässä suurin tekijä ovat huomattavasti muita vyöhykkeitä keskimäärin korkeammat henkilöliikenteen päästöt. Vaikka autovyöhykkeet kattavat hyvin laajoja osia kaupungista ja ovat luonteeltaan varsin heterogeenisiä, eri päästölajeista lähinnä liikenteen osalta vyöhyke erottuu epäedukseen.

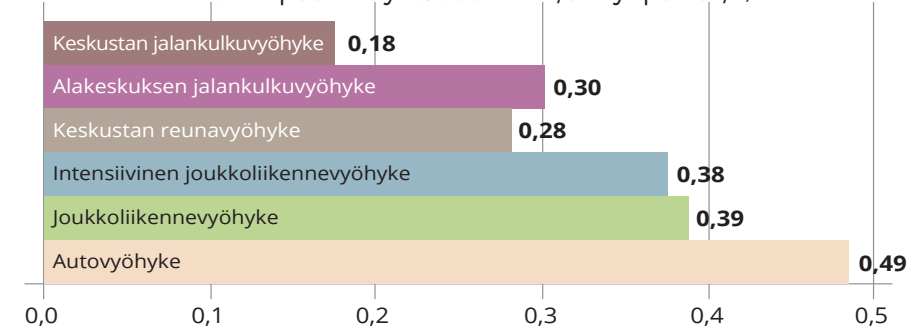
Päästöt yht. tCO₂-ekv/k-m²/v, 2019



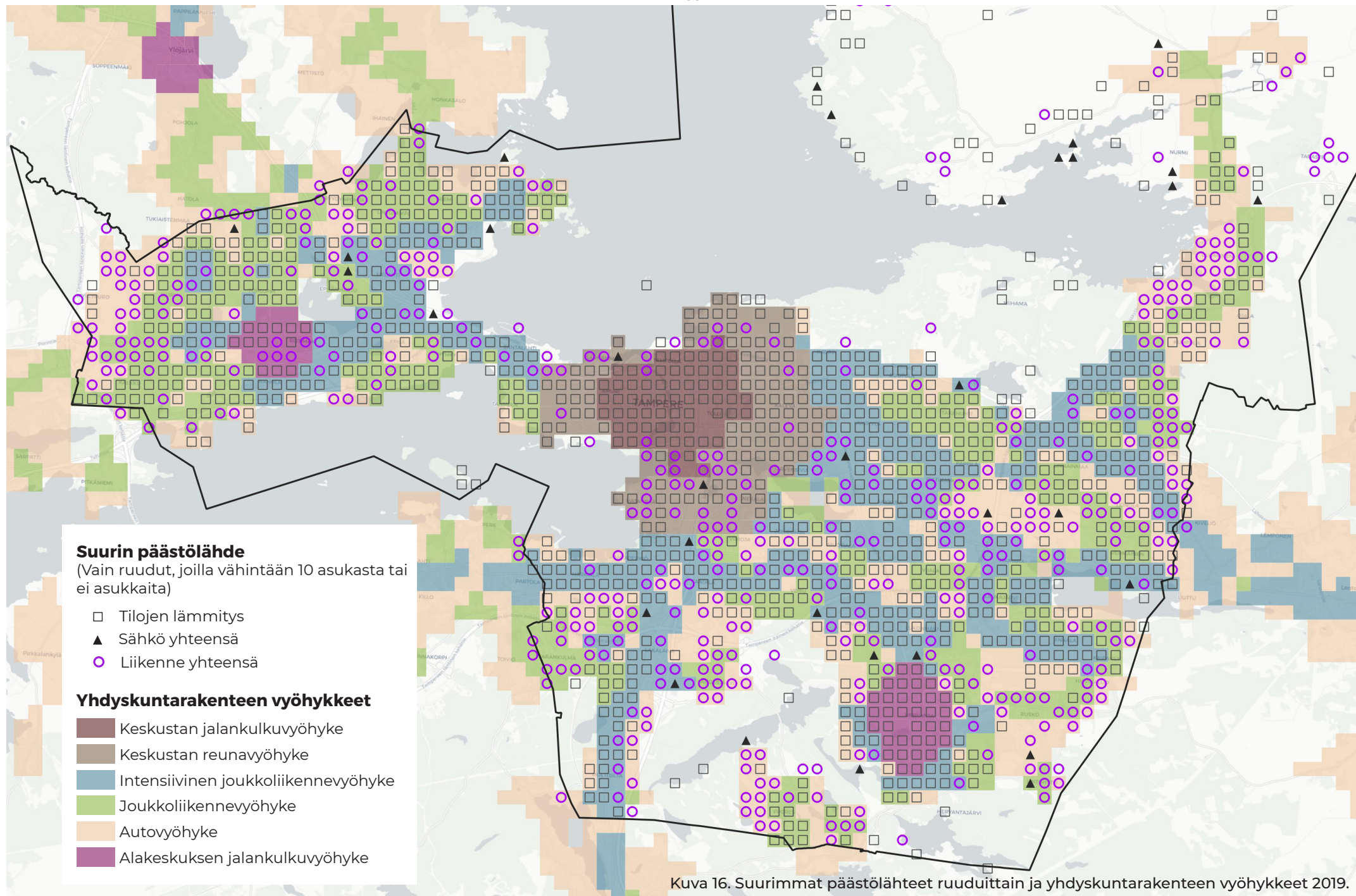
Päästöt yht. tCO₂-ekv/as+työpaikat/v, 2019



Henkilöliikenteen päästöt yht. tCO₂-ekv/as-työpaikat/v, 2019



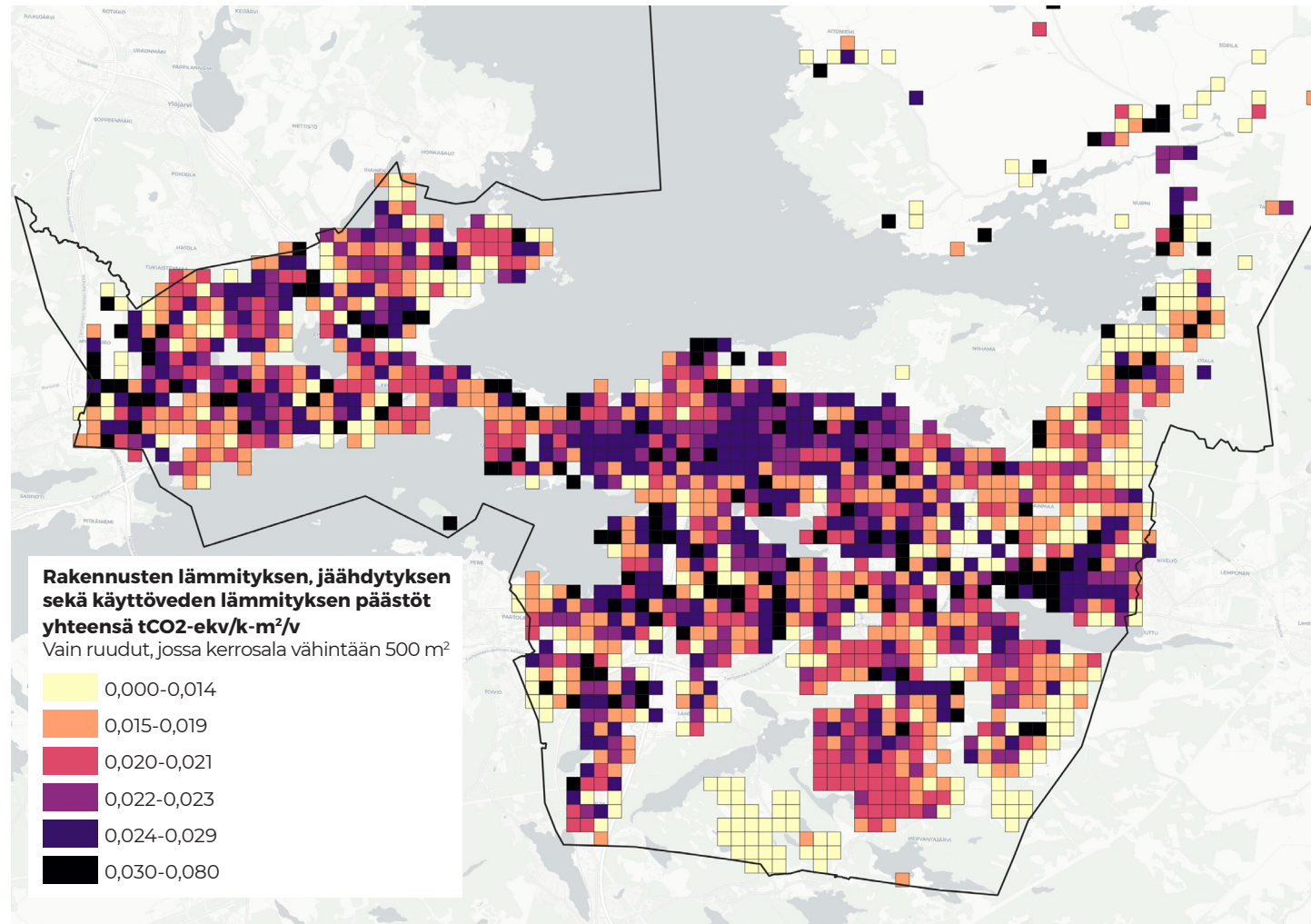
Kuva 15. Tampereen yhdyskuntarakenteen päästöt yhdyskuntarakenteen vyöhykkeittäin 2019.



Kuva 16. Suurimmat päästölähteet ruuduittain ja yhdyskuntarakenteen vyöhykkeet 2019.

5.2 Lämmitys ja jäähdytys

Rakennusten lämmityksen ja jäähdytyksen kasvihuonekaasupäästöt ovat 428 kt CO₂-ekv:n ja ne muodostavat 50 % lasketuista nykyrakenteen päästöistä. Tilojen lämmityksen 342 kt CO₂-ekv:n kasvihuonekaasupäästöt aiheuttavat 80 % rakennusten lämmityksen ja jäähdytyksen päästöistä. Käyttöveden lämmityksen 82,0 kt CO₂-ekv:n päästöjen osuus on vajaa 20 %. Tehtyjen laskelmien mukaan vain 0,8 % Tampereen nykyrakenteen rakennusten CO₂-päästöistä johtuu tilojen jäähdytyksen 3 kt CO₂-ekv:n päästömääristä. Jäähdytyksen päästöosuus on todennäköisesti Tampereella todellisuudessa arvioitua suurempi, sillä laskennassa on tehty aineistopuutteiden vuoksi yksinkertaistavia oletuksia jäähdytysmuotojen käytöstä ja niiden osuuksista. Esim. kaukokylmän todellisesta käytöstä ja sen jakeluverkoston kattavuudesta ei ollut tietoa Tampereen rakennus- ja huoneistorekisterissä. Laskennassa on käytetty jäähdytysmuodoista kaukokylmän, sähkön, lämpöpumppujen ja muun mahdollisen teknologian ominaispäästöjen keskiarvoa (ks. kpl 3.2). Suhteutettuna rakennettuun kerrosalaan, pienimmät päästöt ovat käytännössä uusilla asuinalueilla, joilla pääasiallinen lämmitysmuoto on maalämpö ja kaukolämpö (kuva 17).

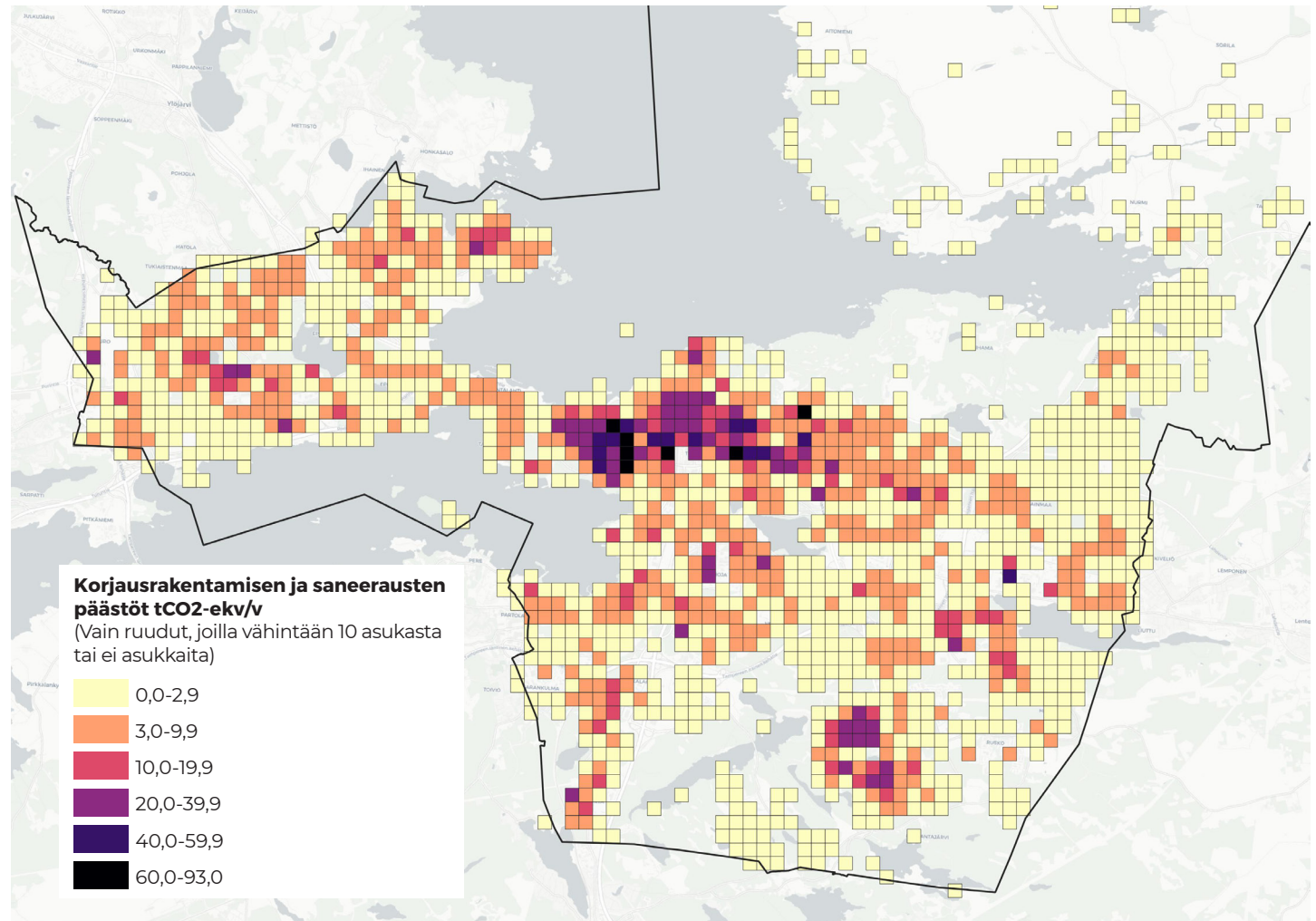


Kuva 17. Rakennusten (ja käyttöveden) lämmityksen ja jäähdytyksen päästöt rakennettua kerrosalaa kohden 2019.

5.3 Rakentaminen (korjaus- ja saneeraus)

Rakennusten korjausten kasvihuonekaasupäästöjen suuruudeksi arvioidaan noin 8 kt CO₂-ekv. Määrä on murto-osa Tampereen nykyrakenteen kokonaispäästöistä. Laskennassa ei ole huomioitu korjausrakentamiseen tarvittujen materiaalien tuotannon kasvihuonekaasupäästöjä. Nykytilan tarkastelu ei sisällä myöskään uudisrakentamisen aiheuttamaa "hiilipiikkiä" eikä rakennusten purkuun liittyviä ilmastovaikutuksia.

Nykytilanteessa rakennusten korjausten ja saneerausten päästöt kohdentuvat ymmärrettävästi alueille, joilla on runsaasti rakennettua kerrosalaa, erityisesti 60-80-luvuilla rakennettuja kerrostaloja. Tällaisina nousevat karttatarkastelussa esiin esimerkiksi keskustan ja Kalevan alueet, Hervanta, Kaukajärvi, Lentävän niemi, Peltolammi-Multisilta ja Tesoma.



Kuva 18. Korjausrakentamisen ja saneerausten päästöt 2019.

5.4 Liikenne

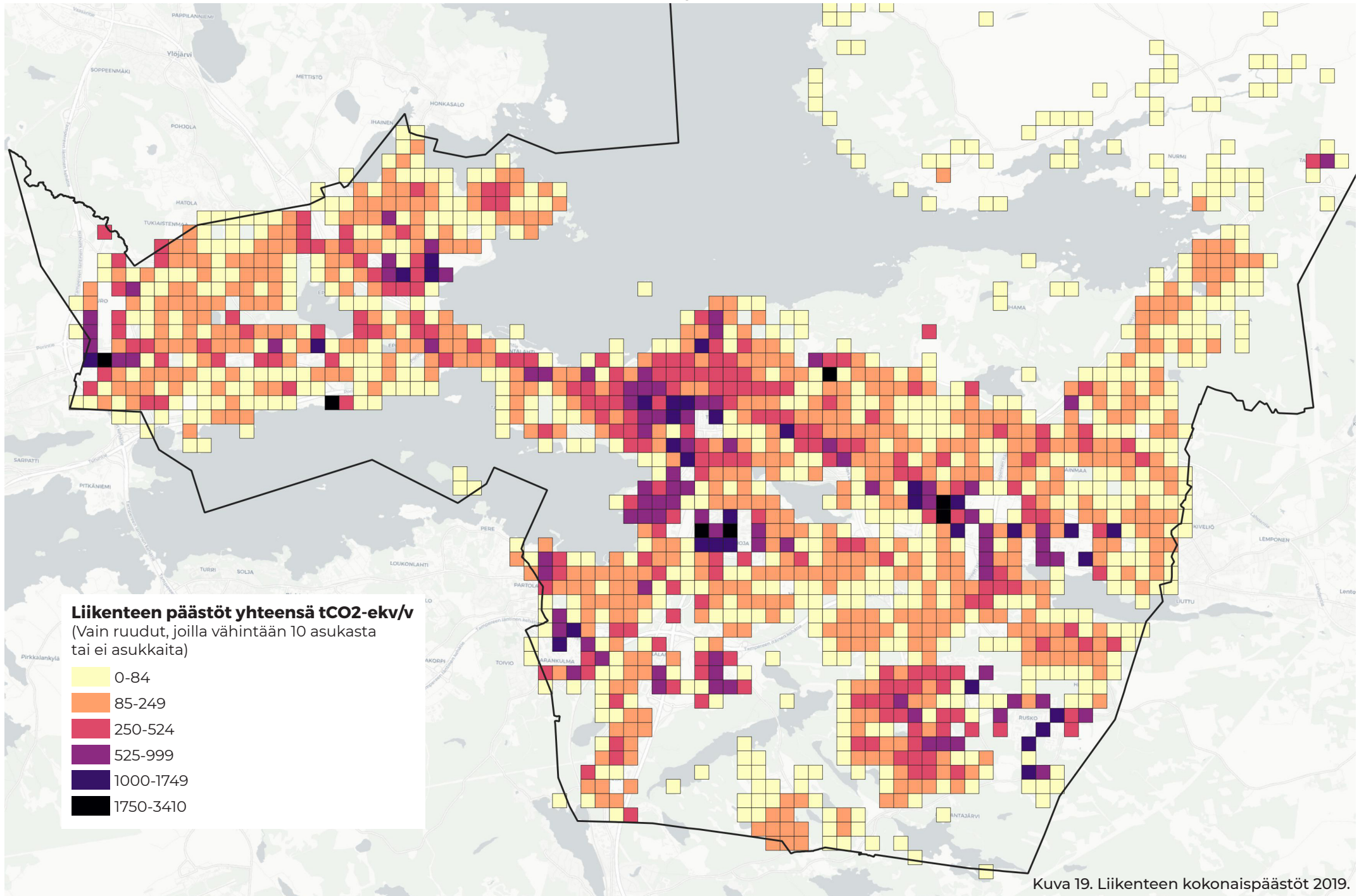
Tampereen henkilö- ja tavaraliikenteen kasvihuonekaasupäästöt ovat 257 kt CO₂-ekv, joka on nykyrakenteen kokonaispäästöistä 30 % (kuva 19). Asukkaiden ja työpaikkojen liikennesuoritteiden 112 kt CO₂-ekv:n kasvihuonekaasupäästöt ovat 48 % liikenteen kokonaispäästöistä (kuvat 20, 21). Palveluiden ja teollisuuden tavarakuljetusten 120 kt CO₂-ekv:n päästömäärät muodostavat 52% liikenteen kasvihuonekaasupäästöistä. Työkalussa teollisuus- ja varastorakennusten tavarakulje-

tusten suoritteet määrittellään rakennusten lukumäärän pohjalta. Suhteellisen suuren rakennusmäärän vuoksi laskentatapa vääristää todennäköisesti tässä tarkastelussa huomattavasti teollisuuden ja varastojen tavaraliikenteen suoritetta ja siten myös lisää päästöjen määrää.

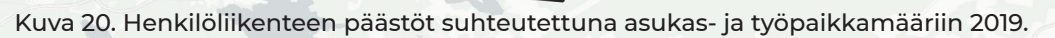
Rakennusten lukumääräpohjainen päästölaskenta on osoittautunut erittäin hankalaksi käsitellä etenkin, jos käytetään "sekoittunein" toiminnoin jalostettua rakennusaineistoa. Tällöin verrattuna

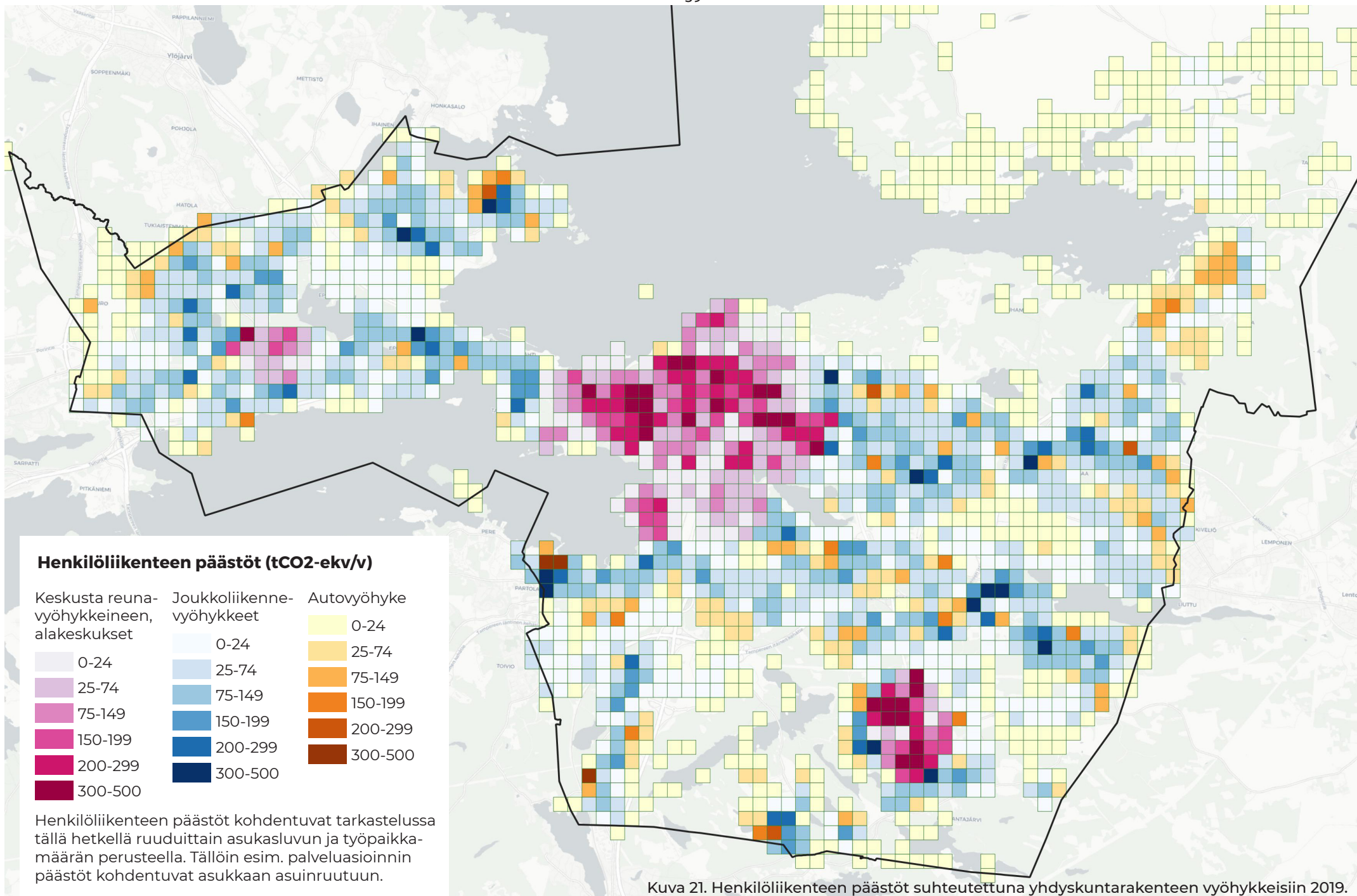
esimerkiksi puhtaaseen YKR-aineistoon, on teollisuus- tai varastotoimintaa sisältäviä rakennuksia noin 2,5-kertainen määrä. Käytännössä useissa rakennuksissa on siis erittäin pientä teollista toimintaa tai pieniä varastotiloja. Tämän vuoksi tavaraliikenteen päästöjä on tässä esitetty usean eri aineistolla tehdyn laskenta-ajon keskiarvona. Lukumääräperusteisesta laskentatavasta eroon pääsy edellyttää jatkotutkimusta tavaraliikenteen ominaissuoritteista. Toisaalta "sekoittuneiden" raken-

nusten aineiston tuottaminen lisäsi merkittävästi palveluja sisältävien rakennusten määrää suhteessa YKR-aineistoihin. Tämä on nostanut palveluliikenteen määrää ja päästöjä etenkin Tampereen keskustan kaltaisilla sekoittuneilla alueilla, joilla aiemmin YKR-aineistojen pohjalta arvioituna oli suhteellisen vähän tilaa palvelutoiminnan käytössä.



Kuva 19. Liikenteen kokonaispäästöt 2019.

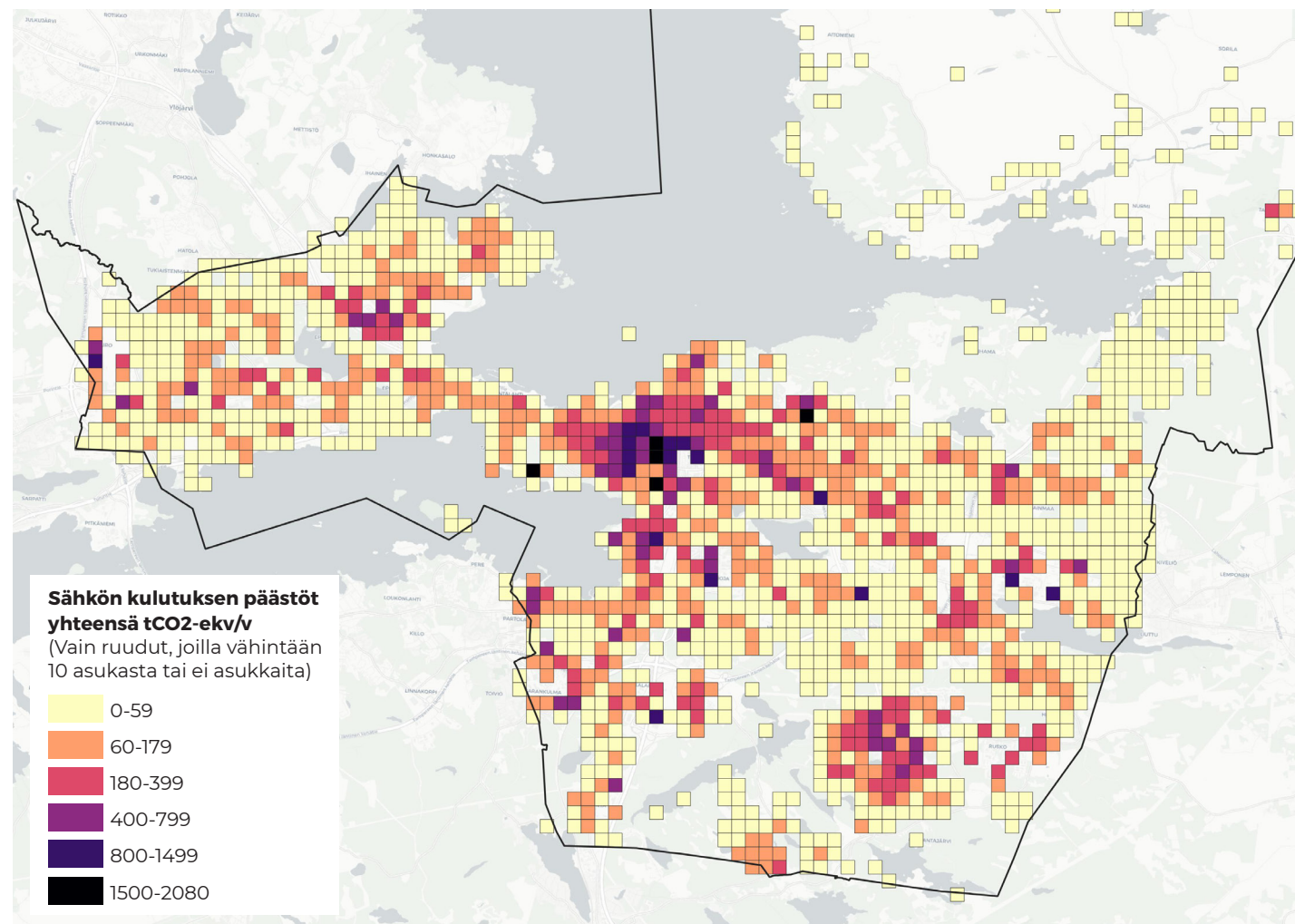




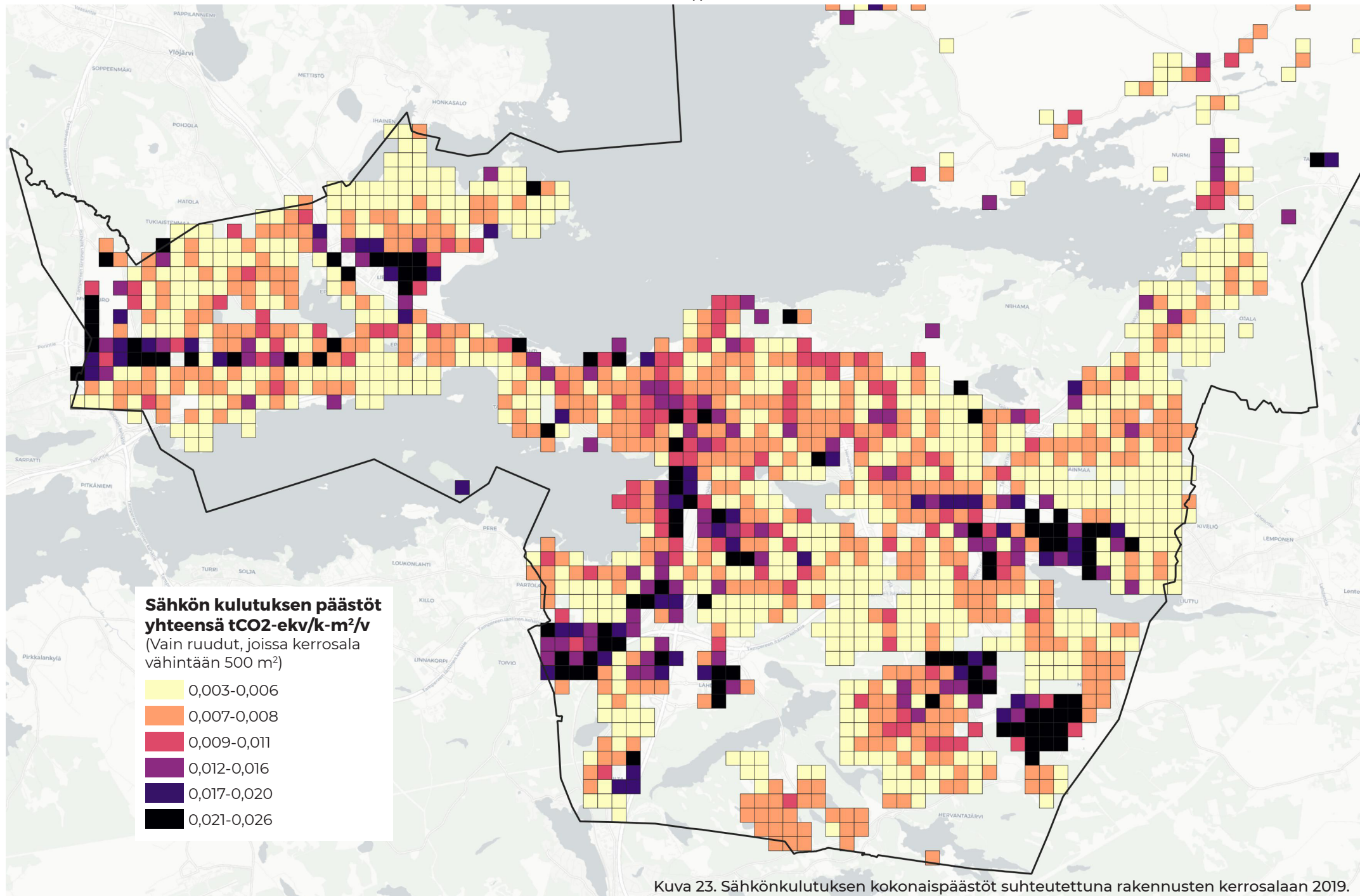
Kuva 21. Henkilöliikenteen päästöt suhteutettuna yhdyskuntarakenteen vyöhykkeisiin 2019.

5.5 Sähkönkulutus

Tampereen nykyrakenteen kotitalous-, palvelu- ja teollisuussektorin muuhun kuin lämmitykseen ja jäähdytykseen käyttämän sähkön kulutuksesta syntyy 158 kt CO₂-ekv:n päästöt (kuvat 22 ja 23). Määrä muodostaa 19 % arvioinnissa mukana olleista päästölähteistä. Näistä päästöistä 30 kt CO₂-ekv liittyy kiinteistösähköön. Kotitalouksien kuluttaman sähkön päästöt ovat 52 kt CO₂-ekv. Loppuosa muun sähkönkulutuksen kasvihuonekaasupäästöistä jakautuu palvelu- ja teollisuussektorille. Palvelujen muuhun kuin lämmitykseen, jäähdytykseen ja kiinteistöön käyttämän sähkön päästöt ovat noin 48 kt CO₂-ekv/v. Teollisuuden ja varastojen muu sähkön käyttö aiheuttaa 28 kt CO₂-ekv kasvihuonekaasupäästöjä.



Kuva 22. Sähkönkulutuksen kokonaispäästöt 2019.



Kuva 23. Sähkönkulutuksen kokonaispäästöt suhteutettuna rakennusten kerrosalaan 2019.

5.6 Hiilinielut ja -varastot

Hiilinielu tarkoittaa hiilen virtaa, joka poistaa tai jolla poistetaan ilmakehästä hiilidioksidia. Esimerkiksi kasvit sitovat kasvaessaan itseensä ja maaperään hiilidioksidia, eli ne ovat hiilinieluja niin kauan kuin ne kasvavat. Hiilivarastolla tarkoitetaan jotakin, mihin hiiltä on varastoitunut niin että se ei ole ilmakehässä. Tällaisia ovat esimerkiksi turve tai kasvit. Esimerkiksi puiden biomassasta noin puolet on hiiltä. Myös tietyt rakennusmateriaalit voivat olla hiilivarastoja. Hiilivaraston koko voi pienentyä, pysyä ennallaan tai kasvaa. Kasvavat hiilivarastot ovat hiilinieluja, pienenevät hiilen lähteitä. Laskennassa hiilivarastolla tarkoitetaan yleensä tällä hetkellä johonkin sitoutuneen hiilen määrää ja hiilinieluilla hiilen määrän muutosta hiilivarastossa jollakin aikaperspektiivillä (tarkastelun aikajänteenä usein vuosi).

Tampereen kaupunki on linjannut, että kaupunki on hiilineutraali vuonna 2030. Tuolloin Tampereen hiilinielut kat-

taisivat 20 prosenttia vuoden 1990 päästöistä. Mikäli nielut eivät riitä kompensoimaan päästöjä, toteutetaan kompensointilisätoimilla, joita ei ole vielä määritelty. Tätä tavoitetta vasten on tarpeen selvittää Tampereen kaupungin alueella olevien metsien hiilinielut.

Tampereen hiilivarastoja ja -nieluja tarkasteltiin työkalua rakennettaessa Pirkanmaan ekosysteemipalvelut (Pirkanmaan liitto 2015) -hankkeessa tuotetun paikkatietoaineiston pohjalta. Tarkkuudeltaan 20 metrin ruutuaineisto sisältää tiedot sekä hiilivarastoista että keskimääräisistä vuotuisista maaperän ja kasvillisuuden hiilinieluista 50 vuoden aikajänteellä laskettuna (kuvat 24 ja 25). Data on laadittu ILKKA-hankkeen (Ilmastokestävän kaupungin suunnitteluopas) hiilitasetutkimuksen metodeilla. Pääsääntöisesti Luken valtakunnan metsien inventointiaineistoon perustuva data yleistettiin tässä 250 metrin ruuduille.

Työn aikana kuitenkin ilmeni, että hiilinieluaineistossa on tuntemattomasta syystä johtuva kertaluokkavirhe, jonka vuoksi tuloksia ei näytetä tässä lukuina. Tämänhetkisten kaupungin saamien arvioiden perusteella nielujen määrä olisi kaupungin alueella noin 70–85 kt CO₂-ekv/v, mikä on noin 6–7% vuoden 1990 päästöistä. Nielujen alueellinen sijoittuminen vaikuttaa olevan oikein laskettu Pirkanmaan liiton aineistossa. Eri hankkeissa saadut erot hiilinielujen määrissä ovat olleet kuitenkin merkittäviä (suurin arvio 212 kt CO₂/v). Nielujen osalta lisätarkastelut ovat tarpeen, jotta hiilinielut saataisiin sisällytettyä osaksi ilmastovaikutusten arviointityökalua.

Todennäköisesti vuosittaisten arvioiden välillä voi olla suuria eroja hakkumääristä johtuen, joten pitkän aikavälin keskimääräistä kehitystä on vaikea ennustaa. Samoin metsien pitkän kasvuajan johdosta nielujen kehittymistä pitäisi tarkas-

tella esim. 100 vuoden aikajänteellä. Metsien hiilen sitominen vaihtelee metsän kasvuintensiteetin mukaan ajan kuluessa eli nuorehkot kasvatusmetsät sitovat hiiltä rivakammin ja sitominen hiipuu puuston vanhetessa. Tästä johtuen hiilen sitomisen taso vaihtelee puuston kasvukunnon mukaan eikä ole stabiili, joten pitkän aikavälin sidontapotentiaalin muutos riippuu tarkastelun aikajänteestä ja ajankohdasta.

Tarkasteltu hiilivarastoaineisto vaikuttaa olevan kunnossa, ja Tampereella maaperän ja metsien hiilivarastot olisivat noin 24 400 kt CO₂-ekvivalenttia, noin 3,5% koko Pirkanmaan varastoista. Metsistä 68 % on yksityisessä omistuksessa ja näiden metsien käytön ohjaukseen kaupungilla on varsin vähäiset vaikutusmahdollisuudet. Hiilivarastot painottuvat suoalueille ja vanhoihin metsiin Pohjois-Tampereella sekä Kintulammen alueella (ks. Myös Taulukko 1). Suurimmat hiilinielut sijaitsevat vahvasti kasvavan tiheäpuustoisien met-

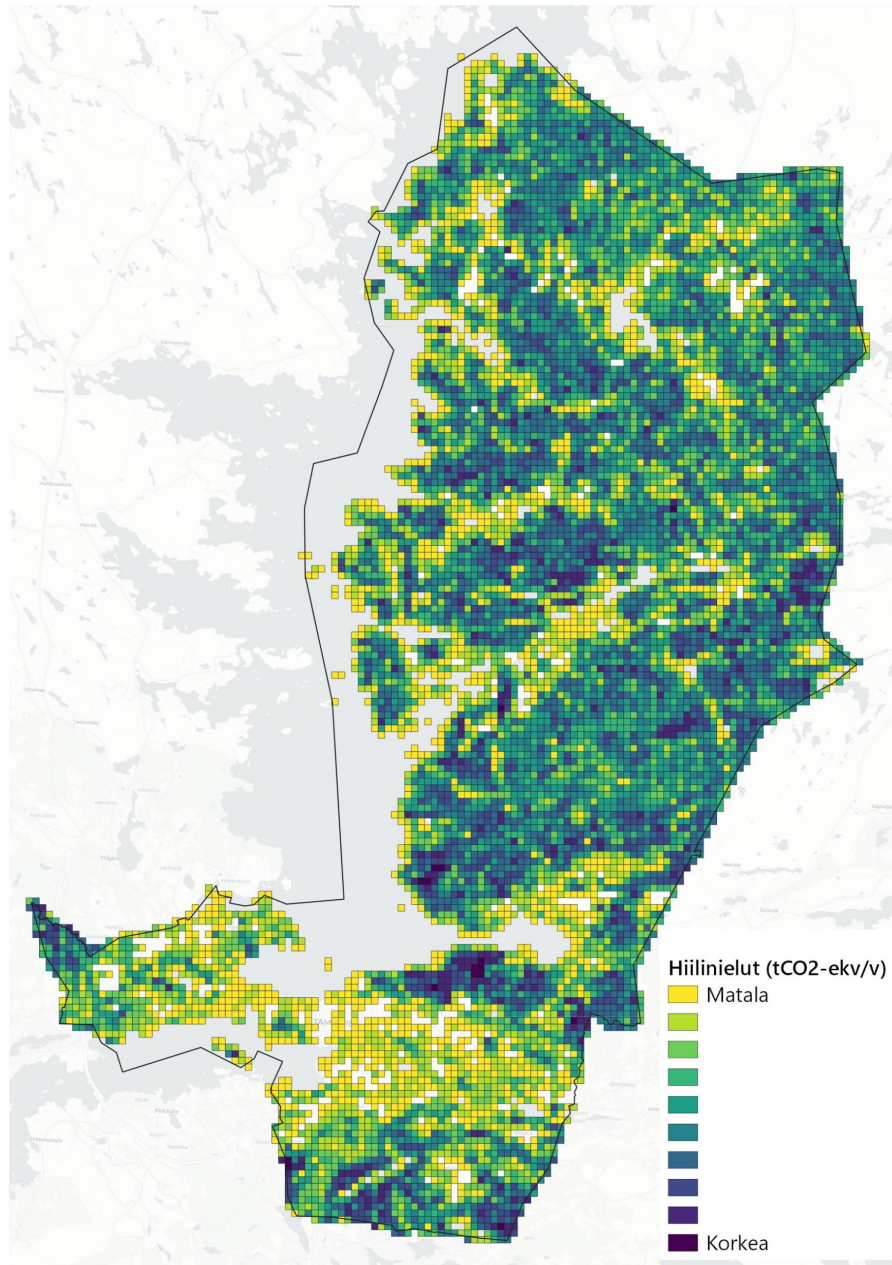
sän alueilla, joissa metsä ei kuitenkaan ole vielä suksession kliimaksivaiheessa. Tällaisista nousevat esille erityisesti Kauppi-Niihaman, Ojalan eteläpuolinen alue, Hervan-tajärven, Särkijärven, Pärinkosken-Taaporinvuoren ympäristön metsät sekä useat alueet Aitolahdessa ja tätä pohjoisempana (useita luonnonsuojelualueita sekä näitä ympäröiviä alueita). Kaupunkipuiden merkitystä hiilinielunäkökulmasta selvitetään iTree -hankkeessa ja sen tuloksia voidaan myöhemmin hyödyntää laskentatyökalun jatkokehittämisessä.

On tärkeää tarkastella yhdyskuntarakenteen muutosten vaikutuksia hiilinielujen ja -varastojen määrään. Maankäytön muutosten yhteydessä (rakentaminen) metsämaa muuttuu pysyvästi muuhun käyttöön, jolloin mahdollinen metsän sidontapotentiaali on menetetty lopullisesti. Samalla

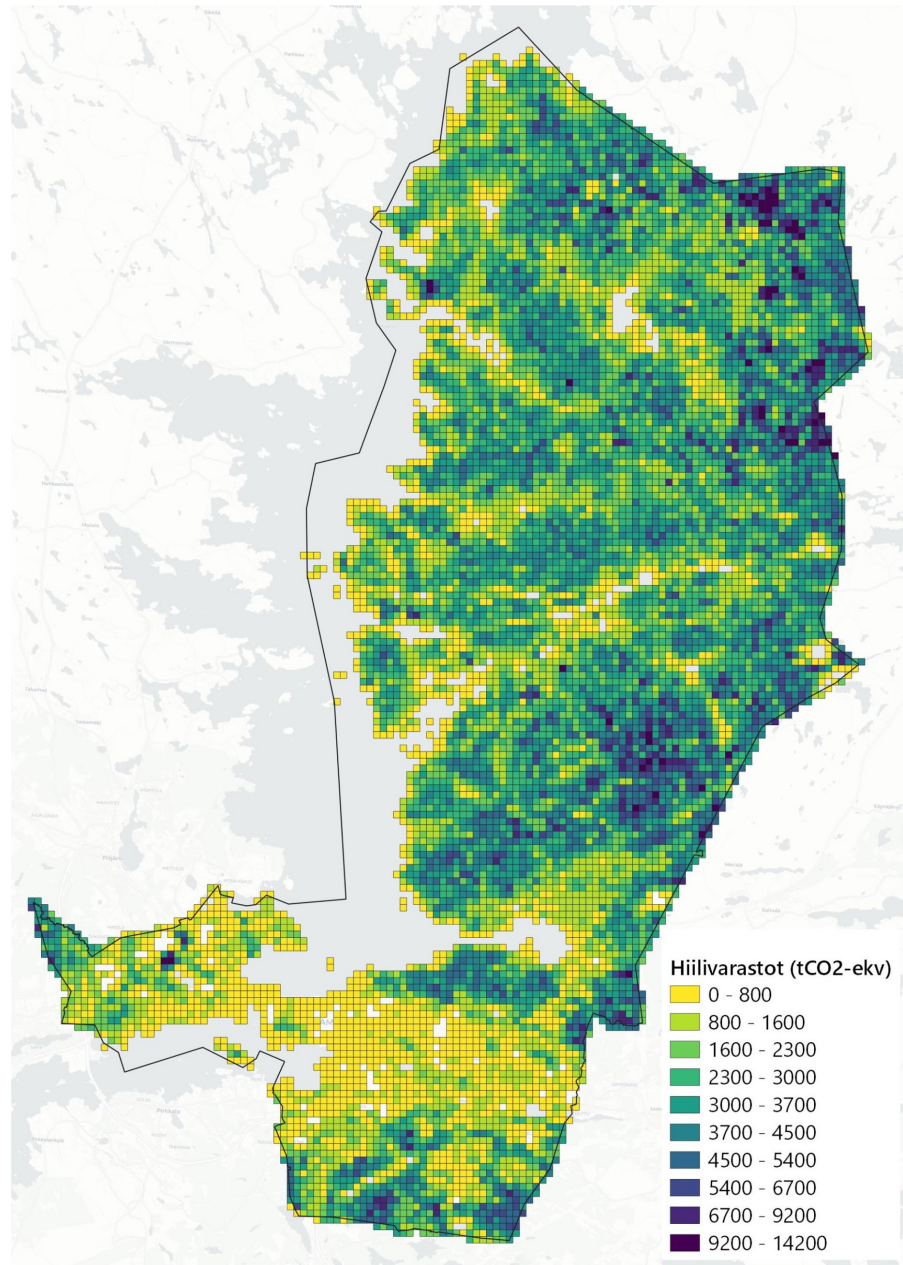
tavalla menetetään maaperään sitoutunut hiilivarasto, jonka määrä riippuu suuresti maaperän laadusta. Turveperäisen maan hiilivarasto on moninkertainen kivennäismaahan nähden. Sen sijaan puustoon sitoutunut hiilivarasto on ainakin osittain siirrettävissä ja säilytettävissä pitkäkestoisissa puutuotteissa. Aineistosta voisi paikatiedon perusteella haarukoida karkealla tasolla lyhyen tähtäimen vaikutuksia hiilinieluihin ja -varastoihin. Mitä pidemmälle ajanjaksolle suunnitelmia tehdään ja mitä laajempia metsäisiä alueita suunnitelmat koskevat, sitä tärkeämpää olisi saada päätösten pohjaksi nielujen ja varastojen muutosten vaikutukset. Metsillä ja muilla viheralueilla on myös muita kuin hiilensidontaan liittyviä ekosysteemipalveluja, jotka todennäköisesti menetetään samalla kun menetetään hiilivarasto ja hiilen sidonta.

Taulukko 1. Hiilivarastojen jakautuminen Tampereen kaupungin suuralueittain.

Suuralue	Hiilivarastot tCO ₂ -ekv	Hiilivarastot tCO ₂ -ekv / ha
luoteinen	117 543	135
lounainen	558 151	238
eteläinen	721 225	315
kaakkoinen	889 133	349
koillinen	1 204 021	327
keskinen	357 685	155
pohjoinen	20 585 468	452



Kuva 24. Hiilinielujen sijoittuminen ja intensiteetti Tampereella 2015.



Kuva 25. Hiilivarastojen sijoittuminen ja määrä Tampereella 2015.

6 Tulevaisuuden päästölaskennan periaatteita

6.1 Suunnittelutiedon numeeristaminen

Tulevaisuuden yhdyskuntarakenteen päästölaskenta perustuu maankäytön suunnitelmien (yleensä kaava, mutta myös muu työkalulle määritelty tietomallia käyttävä suunnitelmätieto) numeerisen tietosisälön soveltamiseen yhdyskuntarakenteen seurantarjestelmän eli YKR:n ruututasolle (Kinnunen 2016). Prosessissa keskeisiä ovat käyttötarkoituksalueet tai vastaavat alueet, joille on määritelty kerrosalamitoitukset käyttötarkoituksille jaoteltuna, esimerkiksi erityyppiset asumisen muodot sekä muu kerrosala (liiketilat yms.). Työkalu mahdollistaa aluekohtaisen suunnittelun aloitus- ja valmistumisajankohdan määrittämisen, joiden välille alueiden toteutuksen katsotaan jakautuvan tasaisesti. Muussa tapauksessa alueiden katsotaan toteutuvan lineaarisesti koko laskenta-ajanjakson aikana.

Yksinkertaisimmillaan käyttötarkoituksalueiden mitoitus jaetaan niiden alueelle sijoittuville ruuduille. Kerrosalamitoitukset muunnetaan kerrosalasta huoneistoalaksi ja asumisväljyyden mitoituksena on käytetty 50 k-m²/asukas. Työpaikkojen lisäyk-

set alueittain saadaan käyttäjän syöttäminä arvioina. Työkaluun on sisällytetty mahdollisuus määrittellä alueittain rakennuskannan poistuma kerrosneliömetreinä. Käytännössä poistuma lasketaan suhteellisesti ikä- ja käyttötarkoituksajakauman perusteella siten, että alueelta poistetaan eniten sen ikäistä rakennuskantaa, mitä alueella on, ja eniten sellaisia käyttötarkoituksia, mitä alueella on. Mikäli käyttäjä ei syötä aineistoonsa poistumatietoja, oletetaan poistuman olevan keskimäärin rakennuskannasta 0,15 % vuodessa Huuhka & Lahdensivu (2016) tutkimuksen mukaisesti.

Aineistoon muodostetaan laskennan yhteydessä uusia rakennuksia, jotka saavat valmistumisajankohdakseen kulloinkin käsiteltävän laskentavuoden. YKR-tietomallin vuosikymmenkohtaisesta valmistumisajankohdasta poiketen uusia rakennuksia generoidaan dataan vuosittain. Uusien rakennusten lämmitysmuoto määritetään siten, että mitä lähempänä ollaan nykyhetkeä, sitä enemmän ruudulle rakentuvat rakennukset muistuttavat lämmitysmuodoltaan ruudun alueella olevia uusien rakennus-

ten (2000-luvun rakennuskannasta laskettuna) lämmitysmuotoja tai laskenta-alueen keskimääräistä lämmitysmuotojakaumaa, mikäli kyseessä on uusi alue. Mitä pidemmälle lähestytään laskennan tavoitevuotta, sitä enemmän uudet rakennukset mukailevat yleistä tulevaisuuteen määriteltyä lämmitysmuotojakaumaa.

Hieman vastaavaa logiikkaa käytetään muiden kuin asuinrakennusten käyttötarkoituksen määrittelyssä. Käytännössä yhdyskuntarakenteen vyöhykkeittäin lasketaan koko tutkimusalueelta kunakin vuoden tilanteesta (rakennusten poistuman jälkeen) tilastollinen käyttötarkoituksajakauma, ja jyvitetään tämän perusteella käyttötarkoituksia uusille kerrosneliömetreille ruutukohtaisesti. Käytännössä tällöin uusien rakennusten ominaispäästöt ovat lähellä keskimääräisiä muiden kuin asuinrakennusten ominaispäästöjä, ja suurin osa kerrosalasta jyvittyy toimisto- ja liiketiloiksi. Aluekohtaisten käyttötarkoitustietojen syöttäminen osaksi suunnitelmätietoa nähtiin liian raskaaksi työkalun käytettävyyden näkökulmasta, ja tällaisen toteuttami-

nen edellyttäisi käytännössä interaktiivista mahdollisuutta muokata suunnitelmätietoa suoraan työkalusta. Työkalun yhteydessä toteutettiin sekoittuneet toiminnot tunnistava prosessointimalli, joka laajentaa myös YKR:n tietomallia kaupan ja teollisuuden toimintojen osalta. Käytettäessä tietosisälöltään laajennettua aineistoa, myös tällöin uusien rakennusten (tarkemmat) käyttötarkoitukset lasketaan vastaavalla logiikalla kuin yllä. Yleisiä keskiarvoja käytettäessä noin 82 % myymälöistä rakentuu kategoriin "muu myymälä" ja teollisuudesta 78 % luokkaan "muu teollisuus".

Kun kaikki uudet rakennukset on sisällytetty dataan, päivitetään vanhaan rakennuskantaan mahdolliset lämmitysmuotojen muutokset. Käytännössä tämä koskee erityisesti siirtymää fossiilisista polttoaineista maalämpöön ja kaukolämpöön (ks. Rakennusten lämmitys ja jäähdytys). Tämän jälkeen rakennusaineisto on valmista käytettäväksi päästölaskennassa, ja toimii jälleen pohjana seuraavan laskentavuoden rakennuskannan päivittämiseksi.

6.2 Vyöhyketietojen päivittäminen

Koska päästölaskenta hyödyntää tietoja yhdyskuntarakenteen vyöhykkeistä ja keskustaverkosta, päivitetään nämä taustatiedot laskennan yhteydessä vastaamaan tulevaa, suunnitelmia heijastelevaa tilannetta. Käyttäjä voi suunnitelma-aineistoista syöttää käyttötarkoituksalueiden lisäksi tietoa keskusverkosta sekä raidepohjaisen joukkoliikenteen pysäkkien sijainneista. Muun joukkoliikenteen osalta prosessointi tunnistaa muutokset muutoin.

Vyöhykkeiden muodostamisen kriteerit ovat Taulukon 2 mukaiset. Koska SYKE:n alkuperäinen malli hyödyntää useita erilaisia aineistoja ja erityisesti YKR-aineistosta lukuisia tietolajeja, on työkalua pyritty pitämään mahdollisimman kevyenä, ja siksi osa muista tietolähteistä korvataan käyttäjän syöttämillä tiedoilla tai tilastollisilla vertailu- ja regressioanalyseillä. Koska vyöhykeaineisto on luonteeltaan jokseenkin hierarkista, tapahtuu tietojen päivitys seuraavasti:

1) Keskusverkon päivittäminen (keskustan jalankulkuvyöhyke, keskustan reunavyöhyke sekä alakeskusten jalankulkuvyöhykkeet). Suunnitellut uudet keskukset lisätään soveltuvin osin valtakunnalliseen keskusta-aineistoon. Työkalussa huomioidaan vain suuret kaupunkiseudun isot alakes-

kukset, koska pienet alakeskukset sisältyvät UZ-vyöhykkeisiin lähinnä pääkaupunkiseudulla. Lisäksi liikkumistottumuksiin lähinnä isoilla alakeskuksilla on merkittävä vaikutus. Tässä on oletettu, että keskuksen toteutuksen ollessa puolessavälissä, se huomioidaan isona alakeskuksena ja tätä ennen mm. erilaisina joukkoliikennevyöhykkeinä. Prosessointi tarkastelee väestö- ja työpaikkatiheysarvojen muutosten perusteella mahdolliset nykyisen keskuksen ja sen reunavyöhykkeen laajenemissuunnat, ja tämän jälkeen lisää keskusverkkoon mahdolliset uudet keskustat ja näiden jalankulkuympäristön.

2) Joukkoliikennevyöhykkeiden päivittäminen. Tässä mukaillaan SYKE:n vyöhykemenetelmää aineistorajoitusten puitteissa. Määrittely perustuu erityisesti väestö- ja työpaikkatietojen naapurustosummien vertailuihin raja-arvoihin. Toisin sanoen, mikäli jonkin ruudun ja sen ympäristön väestö- ja/tai työpaikkatiheys ylittää tarvittavat raja-arvot, liitetään ruutu osaksi joukkoliikennevyöhykettä. Prosessoinnissa oletetaan, että palvelutasoltaan intensiiviset bussilinjat edellyttävät kyseisten tiheysarvojen toteutumista. Uudet raidepohjaiset joukkoliikennejärjestelmät ovat poik-

keuksellisia, ja niillä on huomattava vaikutus yhdyskuntarakenteeseen. Toisaalta niiden sijoittumisen ennakoiminen on bussilinjastoja hankalampaa (tai raideliikenteen suunnittelu ja toteutus edeltävät muuta rakentamista). Tämän vuoksi raideliikenteen sijoittumista tarkastellaan käyttäjän syöttämien tietojen perusteella. Kaupun-

kiseuduilla raitiotie, metro tai lähijunaliikenne katsotaan aina intensiiviseksi joukkoliikenteeksi, jolloin asemien tai pysäkkien ympäristöön muodostuu intensiivistä joukkoliikennevyöhykettä.

3) Autovyöhykkeeksi määritellään (taajama) ruudut, jotka eivät kuulu muihin luokkiin.

Taulukko 2. Yhdyskuntarakenteen vyöhykkeiden muodostamisen kriteerit.

vyöhyke	kriteeri
Keskustan jalankulkuvyöhyke	Kaupunkiseutujen keskustojen ruudut, jotka kuuluvat YKR-keskustarajaukseen (Rehunen ym. 2014), ja sijaitsevat enintään kilometrin (Helsinki 2, Tampere ja Turku 1,5 km) etäisyydellä kaupungin keskipisteestä.
Alakeskuksen jalankulkuvyöhyke	YKR-keskustarajauksen luokkaan kaupunkiseudun iso keskus tai kaupunkiseudun pieni keskus kuuluvat ruudut ja niiden naapuriruudut. Helsingistä, Tampereelta ja Turusta mukana vain isot keskukset.
Keskustan reunavyöhyke	Enintään kilometrin etäisyydellä keskustan jalankulkuvyöhykkeen reunasta sijaitsevat ruudut.
Intensiivinen joukkoliikennevyöhyke	Ruudut, joissa joukkoliikenteen vuoroväli enintään 15 min (Helsinki ydinalue: 5 min bussi-/10 min raideliikenteessä; kehysalue 15 min; Turku ja Tampere 10 min) ja kävelyetäisyys bussipysäkillä enintään 250 m, raideliikenteen asemalle 400 m.
Joukkoliikennevyöhyke	Ruudut, joissa joukkoliikenteen vuoroväli enintään 30 min (Helsingin ydinalue 15 min; kehysalue 30 min) ja kävelyetäisyys bussipysäkillä enintään 250 m, raideliikenteen asemalle 400 m.
Autovyöhyke	Taajama-alueet, jotka eivät täytä muiden vyöhykkeiden kriteerejä.

7 Laskennan ja aineistojen kehittämistarpeita

7.1 YKR-aineistojen laajempi hyödyntäminen tai kehittäminen

Yhdyskuntarakenteen seurantarjestelmän hyödyntämisen vahvuus on siinä, että voidaan valtakunnallisesti, hallinnollisista rajoista riippumatta toteuttaa analyysejä sekä aineiston käsittelyä yhtenäiseen tietomalliin perustuen. YKR:ssä on kuitenkin haasteita, jotka on syytä ratkaista, mikäli esim. päästölaskennasta halutaan laadukkaita tuloksia aineistoon perustuen.

Merkittävä ongelma liittyy YKR-aineiston tietosuojaan usein tilanteissa, joissa tietosuojan merkitys on kyseenalainen. Päästölaskennassa käytetään paljon rakennustietoa. YKR:n rakennustiedoissa laskennalle oleelliset käyttötarkoitustiedot ovat salattuja, kun ruudussa on vain yksi rakennus. Usein kun kyse on päästövaikutuksiltaan merkittävästä rakennuksesta, ruudussa on yksi rakennus. Esimerkiksi Pirkanmaalla on käyttötarkoitustiedoiltaan salattuja YKR-ruutuja noin viidennes, mikä on merkittävä osuus rakennuksia sisältävien

ruutujen kokonaismäärästä. Usein salaus koskee pieniä maaseudun rakennuksia, mutta myös suuria teollisuusrakennuksia, myymälöitä ja kauppakeskuksia. Käyttötarkoitustietojen salaustarve on hieman epäselvä, varsinkin kun tiettyyn tarkkuustasoon rakennusten kerrosalat ja käyttötarkoitus ovat johdettavissa avoimista aineistoista. Joissakin tapauksissa salaus on ymmärrettävää, mutta mm. 140 000 kerrosneliömetrin Lempäälän Ideaparkin käyttötarkoitus on salattu YKR:ssä, koska tämä on ainoa rakennus ruudussaan.

Työn yhteydessä kehitettiin malli, jolla voidaan generoida YKR-datan kaltaista dataa, mutta lisättynä rakennusten energiamuototiedoilla ja tarkoilla käyttötarkoitustiedoilla. Tällaisen tietosisällön lisäämistä viralliseen YKR-aineistoon olisi mahdollisesti syytä tutkia.

Työkalussa ei lasketa vapaa-ajan asuntoista aiheutuvia päästöjä. Tämä olisi mah-

dollista toteuttaa hyödyntäen YKR-aineiston loma-asuntojen lukumäärätietoa. Vastaavat tiedot voitaisiin myös generoida kuntarekistereistä tai maastotietokannasta.

Tällä hetkellä laskennassa ei hyödynnetä YKR:n väestödatan ikäryhmätietoa. Tätä voisi hyödyntää esimerkiksi lämmön-, sähkönkulutuksen tai liikenteen päästöjen laskennan tarkentamisessa. Laskentaa voisi tarkentaa myös jakamalla ikäryhmät asuntotyyppittain. Tähän tarvittaisiin kuitenkin paikallista dataa ja jakauman kehityksen mallinnusta skenaarioita varten, mikä olisi varsin raskasta. Tarkemmalla, asuntotason väestöryhmittelyllä olisi mahdollista laskea tarkkaan myös esim. käyttöveden kulutus.

Myymläarakennusten kasvihuonekaasupäästöjen laskentaa voisi tarkentaa käyttämällä YKR:n kaupan toimipaikkojen ruutukohtaista lukumäärätietoa supermarketista, valintamyymälöistä, itsepalvelutavarataloista, tavarataloista, päivittäista-

varoiden erikoiskaupoista, tilaa vaativista kaupoista ja autokaupoista. Myymälätyyppien lukumäärien avulla arvioitaisiin tarkemmin myymälärakennusten tavaraliikennesuoritteiden kertoimet. Tulevaisuuden osalta tämä kaupan myymälätyyppien jaotelu olisi haastava toteuttaa. Tällä hetkellä on luotu malli, jolla voidaan Tilastokeskuksen datasta luoda tarkempia myymälöiden tyyppi/käyttötarkoitustietoja sekä teollisuusrakennusten käyttötarkoitustietoja. Tilastokeskuksen yritys- ja toimipaikkarekisteridatan hyödyntäminen olisi syytä tutkia mahdollisena tapana parantaa YKR-aineiston tarkkuutta. Näin saataisiin tehtyä analyysejä käyttötarkoitukseltaan sekoittuneiden alueiden rakennusten kerrosalojen jakautumisesta eri käyttötarkoituksille valtakunnallisesti (nyt toteutettu erikseen Tampereella).

7.2 3D-aineistojen hyödynnettävyyden arviointi

Osana työkalun laatimista arvioitiin 3D-kaupunkimallien ja -rakennusaineistojen mahdollista hyötyä ja käytettävyyttä päästölaskennassa. Kolmiulotteisen aineiston käytöstä voisi olla hyötyä laskennassa, jossa tarvitaan tietoa nimenomaan rakennuksista. Tällä hetkellä päästölaskenta pohjautuu kaksiulotteiseen aineistoon ja myös ”kaksiulotteiseen attribuuttitietoon”, erityisesti kerrosneliömetritietoon. Tätä pinta-alatietoa käytetään esimerkiksi lämmityksen ja jäähdytyksen, sähkönkulutuksen, tavaraliikenteen määrien ja päästöjen arvioinnissa sekä rakentamisen ja muissa rakennusten elinkaaren päästöjen arvioinnissa.

Kolmiulotteisen aineiston käyttämisessä loogisin hyöty voisi olla kolmiulotteisen attribuuttitiedon saaminen käyttöön. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että rakennuksista saataisiin käyttöön suoraan tilavuustiedot eli kuutiometrit. Tilavuustietoja hyödyntämällä olisi mahdollista saada tarkempaa tietoa esimerkiksi siitä, paljonko rakennusta joudutaan lämmittämään tai viilentämään, paljonko rakennuksen rakentamiseen, korjaamiseen tai purkamiseen tarvitaan energiaa tai uusiomateriaaleja,

kuinka suuri jokin varasto tai teollisuuskiinteistö tosiasiaa on ja paljonko sinne suuntautuu tavaraliikennettä.

Kolmiulotteisen aineiston käyttämisestä saatava lisäarvo on kuitenkin ainakin tällä hetkellä pieni, jollei jopa ylimääräisen työn kannalta negatiivinen, koska kolmiulotteinen aineisto generoidaan useiden kaksiulotteisten aineistojen (LOD0, ”level of detail”) pohjalta, esimerkiksi ”pursottamalla” rakennusten kaksiulotteista ”pohjakuviota” korkeustiedon perusteella (LOD1). Tai mikäli käytössä on kehittyneempi, LOD2 tai korkeamman tason malli, se ei yleensä sisällä mitään attribuuttitietoa, ellei sellaista malliin yhdistä kaksiulotteisesta aineistosta. Täten esimerkiksi LOD2 tai tarkempaan 3D-malliin usein yhdistetään attribuuttitiedot 2-ulotteisesta pursotetusta rakennus- ja huoneistorekisteritiedoista. Kuntien rakennusrekisteritiedot usein sisältävät siis jo muutoinkin rakennuksen tilavuustiedot, eikä niitä erikseen johdeta 3D-aineistosta. Järkevintä olisikin käyttää suoraan rakennusrekisterin tietoja. Laskennan näkökulmasta siirtyä kaksiulotteisesta kolmiulotteiseen attribuuttitietoon edellyttäisi todennäköisesti jossa-

kin määrin uutta pohjatutkimusta, sillä kirjallisuudessa merkittävä osa päästölaskennassa käytettävistä viitearvoista on kerrosneliömetripohjaisia.

Poikkeuksen tästä tekisi se, mikäli rakennusrekisterin tiedot ylläpidettäisiin ja generoitaisiin jo alusta pitäen esimerkiksi BIM/IFC-mallien pohjalta, jolloin päästäisiin korkeille LOD-tasolle. Tällöin malleista voisi johtaa hyvin tarkkaa tietoa rakennusten sisätilojen tilavuudesta ja rakennuksen runko-, julkisivu- ja muista materiaaleista, mikä mahdollistaisi hyvinkin tarkan uudis- ja korjausrakentamisen sekä rakennusten purun sekä rakennusten materiaalien elinkaarityypisen päästölaskennan. Käytännössä tällöin esimerkiksi teräksen, betonin, puun ja lasin paino tai tilavuus rakennuksessa saataisiin suoraan laskettua. Tällainen laskenta olisi jo joidenkin rakennusten osalta mahdollista, mutta ei kattavasti esim. koko kaupungin alueelta. Tämä edellyttäisi merkittäviä paikallisia ja kansallisia rakennusluvituksen ja muiden maankäyttöpäätösten prosessien ja niiden tietovirtojen muutosta. Tällä hetkellä on kuitenkin olemassa kiinteistö- ja rakennusalan toimijoita, joilla on kattavat tietopankit erityyp-

pisten rakennusten ja yhdyskuntarakentamisen materiaalitarpeista ja päästöistä. Tällaisen tiedon yhdistäminen nykyisenkaltaiseen laskentaan olisi huomattavasti helpompaa.

Osana rakennusten lämmönsäätelyä ja sähkönkulutusta voisi kolmiulotteisesta aineistosta olla hyötyä esimerkiksi lämmitystarpeen tarkassa arvioinnissa, jossa saataisiin huomioitua esimerkiksi rakennusten asemointi suhteessa auringonvaloon ja ympäröiviin varjostaviin elementteihin. Tämän vaikutus päästölaskennan kokonaisuuteen olisi todennäköisesti kuitenkin hyvin marginaalinen. Aurinkosähkön käytötpotentiaalin arvioinnissa voisi hyödyntää rakennusten kattojen koko- ja suuntatietoja. Tämäkin olisi kuitenkin mielekästä vain, mikäli kaikki rakennusten lähtötieto olisi laadittu kolmiulotteisena alusta pitäen, sillä muutoin käyttöpotentiaalia voi laskea riittävällä tasolla esimerkiksi korkeusmalleja, kaksiulotteisia rakennuskuvioita ja tarvittaessa myös avoimia laserkeilausaineistoja hyödyntämällä.

7.3 Arviointityöpajan kehitysideat

Hankkeen alkuvaiheessa 5.2.2019 järjestetyssä arviointityöpajassa nousi esiin paljon ideoita työkalun kehittämiseksi. Kaikkia näitä ei ollut mahdollista toteuttaa työkalun ensimmäisessä versiossa.

Rakennusten elinkaaritarkasteluun voisi sisällyttää tiedon rakentamisen materiaalivalinnoista kantavan rakenteen ja julkisivujen osalta (esim. puu, betoni) ja rakennusten käyttötarkoituksen ja lämmitysmuodon mahdolliset muutokset. Uudisrakentamisen osalta oleellista olisi myös tulevan talotyyppijakauman arviointi. Koska demografiset muutokset ovat tarkastelujaksolla merkittäviä, olisi syytä tutkia, miten esimerkiksi asutokuntien ikärakenne vaikuttaa jatkossa asumiseen, liikkumiseen ja kulutukseen.

Yhdyskuntasuunnittelun näkökulmasta mahdollinen asuinalueen tarkastelu olisi arvokasta, mikäli tällainen saataisiin malliin toteutettua. Tällöin esimerkiksi asuin ympäristön laadullisiin tekijöihin voisi paremmin puuttua jo suunnittelussa. Alueellaiset pysäköintinormistot ja niihin vaikuttaminen suunnittelulla olisi

myös tärkeää. Pysäköintimitoituksen sisällyttäminen laskentaan jonkinlaisena liikenteen kulkumuotojakaumaan vaikuttavana parametrina antaisi suunnittelijoille vahvaa tukea pysäköintinormien laadintaan.

Liikkumistarve on vaikeasti muutettava tekijä. Universaalin aikabudjetin periaatteiden mukaisesti liikkumisen määrä pysyy lähes vakiona, vain syy tai kohde ja väline muuttuvat. Lähinnä etätöiden kasvu voisi mahdollisesti vaikuttaa liikkumistarpeeseen, mutta tästä on näyttöjä vähänlaista. Kestäviä liikkumismuotoja koskevat parannustoimet ja trendit olisi hyvä huomioida, kuten kävely- ja pyöräilyolosuhteet, liityntäpysäköinti ja matkaketjut, yhteiskäyttöautot vs. autonomistukset, sähköautot ja itseohjautuvat autot. Näistä jälkimmäinen kytkeytyy paikoitusnormien suunnitteluun. MAAS-palveluiden edellytyksiin on kaavoituksella hankala vaikuttaa. Asiointiliikenne muuttunee verkkokaupan kasvaessa, mikä aiheuttaa sen, että liikennettä siirtyy henkilöliikenteestä tavaraliikenteeseen.

Yhdyskuntatekniikka- ja huolto liittyy yleisemmin infrastruktuuriin, sen raken-

tamiseen, ylläpitoon ja maankäytön muutoksiin. Liikenneinfran ja asuinrakentamisen välillä on kiinteä yhteys siten, että infrastruktuurin viemä maa-ala on pois muusta käytöstä. Infran rakentamisen aikaiset vaikutukset ja maankäytön muutos on tärkeä hahmottaa. Mitä korkeampi aluete-hokkuus, sitä vähemmän infraa tarvitsee rakentaa ja ylläpitää. Laskennallisesti infran määrän kullakin laskentaruudulla voisi arvioida yleisesti suhteessa muun rakentamisen määrään. Infrastruktuuria on verrattu myös korjausrakentamisen laskentaan: mitä enemmän rahaa kuluu, sitä enemmän päästöjä syntyy.

Katuvalaistus ja keskusta-alueilla katulämmitys voitaisiin mahdollisesti huomioida laskennassa. Vaikka valaistuksen määrä jatkuvasti kasvaa, kokonaiskulutus LED-tekniikan myötä vähenee (AL 2019). Tällä hetkellä ulkovalaistuksen sähkönkulutus on Tampereella n. 14-15 GWh/v, mikä vastaa noin 7500 kerrostaloasunnon sähkön vuosikulutusta (n. 7,5% Tampereen kerrostaloasunnoista). Tämän alueellinen mallintaminen ei kuitenkaan ole yksin-

kertaista, koska valaistus keskittyy usein muualle kuin rakennukset, etenkin päätietien varrelle, eikä laskenta ota kantaa tulevaan väyläverkkoon.

Infran kunnossapidolla on etenkin talvikaudella merkitystä. VTT:n Liisa-mallin perusteella Tampereen katuverkolla kuorma-autoliikennesuorite on noin 55000 km päivässä. Väestöllisesti Tamperetta suuremmassa, mutta katuverkon määrältään samankokoisessa Espoossa talvella lumen aurauskalustolle voi syntyä päivässä 10000 km ajosuorite (HS 2019), millä on jo vaikutus liikenteen kokonaissuoritteeseen ja päästöihin. Infran rakentamisen ja kunnossapidon kustannuksissa on oleellista sijainti yhdyskuntarakenteessa etenkin, kun mietitään, rakennetaanko uutta raakamaalle vai täydennysrakennetaanko. Myös etäisyys kaupungin jätehuollon ja kunnossapidon laitoksista vaikuttaa päästöihin. Tämän huomioiminen mallissa ei ole mielekästä, koska tällaiset laitokset keskittään usein yhteen tai muutamaan paikkaan etäälle asutuksesta.

Yhdyskuntarakentamiseen kytkeytyy myös massatasapaino ja materiaalivirrat. Maa-aineksen ottamista rakentamisen ja kunnossapidon tarpeisiin kannattaisi tutkia maankäytön muutoksen kautta. Tampereen seudulla on merkittävästi kiviaineksen ottotoimintaa ja tälle tehtyjä kaavavarauksia, mikä käytännössä yleensä poistaa alueilta metsäpeitteen (ennen toiminnan loppua ja metsittämistä/maisemointia) eli hiilinieluja. Kaatopaikkojen päästöt, etenkin metaani, ovat ennen olleet merkittävämpiä, joskin yhä pieni tekijä yhdyskuntien päästöissä. Vanhankaltaisista kaatopaikoista luovutaan ja puhutaan käytännössä jätteidenkäsittelylaitoksista, joissa mm. metaani otetaan talteen.

Päästöjen syntymisen kompensoinnissa hiilivarastot ja -nielut ovat tärkeässä asemassa. Tampereen alueella keskeisimpiä hiilivarastoja ja -nieluja ovat metsät, muut viheralueet ja puistot. Puunkasvun mahdollisen huomioimisen, esim. Val-

takunnallisen metsien inventoinnin (VMI) avulla, työkalulla saataisiin katettua suuri osa hiilinieluista. Hiilivarastojen ja -nielujen menetystä on syytä arvioida maankäytön muutoksen (LULUCF) näkökulmasta, missä voisi hyödyntää VMI:n biomassatietoa. Yhdyskuntasuunnittelulla voidaan vaikuttaa myös puuston poistumaan ja siihen paljonko rakennetaan metsäiselle raaka-maalle.

Arviointityöpajan työryhmissä pohdittiin mahdollisuutta muuttaa olemassa olevaa rakennetta hiilivarastoiksi ja -nieluiksi lisäämällä kaupunkivihreää, parantamalla tonttien ns. viherkerrointa ja viherkattojen määrää. Tällaisten toteutus on yksityiskohdaisemmassa suunnittelussa ratkaistava asia, mutta yleisellä tasolla työkalussa jatkossa arvioitavissa. Käytännössä kyse on ilmiöohjauksesta, joka voi tapahtua muutoin kuin kaavoilla. Viherkattoihin tai puurakentamiseen liittyviä ilmiöitä ja niiden trendejä voisi sisällyttää työkaluun.

Maaperää ja sen muutosta pidettiin merkittävänä seikkana. Turvealueille rakentaminen on kiistanalaista. Maaperän hiilinieluja voisi myös vahvistaa (ennallistaminen yms. kaupungin lähialueilla), mutta tällaista on kuitenkin työkalussa vaikea arvioida. Yleisesti maaperän ja maankäytön muutokset olisi minimoitavissa aluete-hokkuuden ja korttelirakenteen ratkaisuilla paikallista vihreyttä unohtamatta.

Yksi tulevaisuuden keskeisiä kysymyksiä on puurakentaminen eli rakennuksien käyttö hiilivarastoina sekä yleinen rakennusmateriaalien uusiokäyttö ja kiertotalous. Noin 5 % kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuu globaalisti sementin valmistuksesta. Betonin korvaaminen puurakentamisella toisi huomattavia positiivisia ilmastovaikutuksia sekä välillisiä vaikutuksia materiaalikiertoon (esim. kivimurskeen tarve). Kaupunki voi yhdyskuntasuunnittelulla ohjata rakennusten runko- ja julkisivumateriaaleja, mutta puurakentamisen suo-

sio ei ole kuitenkaan edennyt odotetusti. Rakennusmateriaalien jakautumista voisi tarkastella työkalussa jonkinlaisella säädetävällä jakaumalla esimerkiksi betonin tai puun osuus talotyypeittäin.

Jotta työkalussa voisi vertailla hiilidioksidipäästöjen arvoja ennalta määrittyihin optimiarvoihin, edellyttäisi se optimiarvojen yhteisesti hyväksyttyä määrittelyä (esim. jonkinlaisia tavoittelukuja). Jotta alueellisesta tarkastelusta saadaan toimiva, kaupungin kaavoituksessa pitää tuottaa tietoa ainakin uusista alueista ominaisuuksineen sekä tietoa esimerkiksi täydennysrakentamisen kohdentumisesta.

7.4 Yleisiä työkalun kehityskohteita

Työkalu kattaa merkittävimpiä yhdyskuntarakenteesta suoraan tai välillisesti aiheutuvia päästöjä, mutta ei kuitenkaan kattavasti. Kehitystarpeita on esimerkiksi jätehuollon sekä infran rakentamisen ja ylläpidon lisäämisestä laskentaan. Myöskään vapaa-ajan asumisen ja maaseudun tuotantotoiminnan tai -rakennusten päästöt eivät ole toistaiseksi tarkastelun piirissä.

Työkalussa hyödynnetään SYKE:n kehittämää yhdyskuntarakenteen vyöhykemenetelmää erilaisten ruutujen tyypittelyssä. Menetelmä on kuitenkin kehitetty ensisijaisesti suuremmille ja keskikokoisille kaupunkiseuduille. Jotta laskentaa voidaan tehdä kattavasti erilaisille alueille, on laskentaan syytä lisätä käytettäväksi esim. SYKE:n kaupunki-maaseutu-alueuokittelua.

Yksi merkittäviä kehityskohde on hiilinielujen ja -varastojen laskennan sisällyttäminen osaksi laskentaa sekä luonnonympäristöjen että rakennetun ympäris-

tön osalta. Työkaluun on alustavasti rakennettu mahdollisuus arvioida maankäytön muutoksesta johtuva hiilinielujen ja varastojen suhteellinen muutos tai menetys, mutta tätä ei ole toistaiseksi käytetty johdettujen testatussa hiilinieluaineistossa havaituista ongelmista. Kehitetty menetelmä perustuu ennalta muodostettuun hiilinielu- ja -varastodataan. Mikäli koko hiilitaselaskenta haluttaisiin osaksi työkalua, vaatisi tämä huomattavia kehityspanostuksia.

Kaukokylmän käyttö perustuu tällä hetkellä arvioihin. Tietoa kaukokylmästä ei ole kovinkaan kattavasti saatavilla esim. rakennus- ja huoneistorekisteristä. Tämän tiedon lisäämistä rekisteriin voisi pohdita. Muutoin tieto olisi saatavilla kaukokylmästä vastaavilta yrityksiltä tai liikelaitoksilta, mutta tiedonsaanti voi olla hankalaa. Vastaavasti apulämmitysmuotojen (takat, pumpput) huomiointia laskennassa on jo aloitettu toteuttaa, tällä hetkellä arvioihin perustuen. Näitä tietoja olisi mahdollista

hyödyntää jopa rakennusrekisteristä, tosin tietojen paikkansapitävyydestä ei ole tietoa. Apulämmitystiedon lisääminen esim. YKR:ää mukailevaan tietomalliin olisi liian raskasta, jolloin kysymykseen tulisi koko laskennan toteuttaminen ensisijaisesti rakennustason "raakatietojen" pohjalta.

Tällä hetkellä useita laskentaan liittyviä tulevaisuusprojekteja on laskettu kirjallisuuden ja asiantuntija-arvioiden pohjalta valmiiksi laskennan taustalla. Yksi kysymys on, halutaanko lisätä käyttäjän mahdollisuuksia säätää erilaisia muuttujia. Onko tarvetta käyttäjäpohjaiselle ominaiskulutuskertoimien säädettävyydelle vai halutaanko työkalu pitää käyttäjäliittymältään mahdollisimman yksinkertaisena? Todennäköisesti käyttäjäsäädöissä olisi syytä pitäytyä sellaisissa muuttujissa, joihin suunnittelijoiden työllä on mahdollista vaikuttaa. Tällainen voisi olla esimerkiksi rakentamisen primääristen materiaaivalintojen muutosten ohjaus.

Työkalun tarkastelua voidaan periaatteessa laajentaa koskemaan kohdealueen kotitalouksien muuta kuin asumista ja liikumista koskevan kulutuksen kasvihuonekaasupäästöjä. Laskenta kattaisi tällöin myös YKR-ruudun kotitalouksien kuluttamien elintarvikkeiden, tavaroiden ja palvelujen tuotantoprosessiin liittyvät välilliset päästöt. Tällainen kuntalaisen hiilijalanjalan ruutukohtainen laskenta voi olla mahdollista, jos käytettävissä on laajemmat demografiatiedot. Kulutusten välillisten vaikutusten arvioinnissa voi hyödyntää SYKE:n ENVIMAT-aineistoa ja YKR-aineiston asuntokuntien tulotietoja.

8 Lähteet

- Adato (2013). [Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011. Tutkimusraportti 26.2.2013.](#) Adato Oy.
- Airaksinen, M. ym. (2015). [Rakennusten jäähdytysmarkkinat.](#) VTT.
- Airaksinen, M. ym. (2017). [Energiamurroksen ennakoitavat vaikutukset 2030: Rakennusten energiatehokkuus.](#) Aalto-yliopisto.
- Honkapuro, S. ym. (2009). [Sähkön ja kaukolämmön rooli energiatehokkuudessa ja energian säästössä.](#) Lappeenrannan teknillinen yliopisto ja Tampereen teknillinen yliopisto.
- Huuhka, S. & Lahdensivu J. (2016). Statistical and geographical study on demolish buildings. Building research and information 44:1, 73-96.
- Huhtanen, J. (2017). [Kuntatason kasvihuonekaasupäästölaskentamallien vertailu.](#) Aalto-yliopisto.
- Kalenoja, H. ym. (2008). [Liikennetarpeen arviointi maankäytön suunnittelussa.](#) Suomen ympäristö 27/2008.
- Kangas, H.-L. ym. (2019). [Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutosten kansallisen toimeenpanon vaikutusten selvitys ja arviointi: Automaatiovelvoite, tekniset järjestelmät sekä lämmitys- ja ilmastointijärjestelmien tarkastukset.](#) Suomen ympäristökeskus, Tampereen ammattikorkeakoulu, VTT, Benviroc Oy ja Aalto yliopisto.
- KEKO (2016). [KEKO-laskennan kuvaus, 2016-04. Energia, kasvihuonekaasupäästöt ja luonnonvarojen käyttö.](#) Suomen ympäristökeskus.
- Kinnunen, J. (2016). [Numeerisen yleiskaavatiedon sovittaminen yhdyskuntarakenteen seurantajärjestelmään.](#) Pro gradu -tutkielma.
- Koljonen, T. ym. (2019). [Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys \(PITKO\).](#) Valtionneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta.
- Lehtilä, A. ym. (2014). [Low Carbon Finland 2050 -platform. Energijärjestelmien kehityspolut kohti vähähiilistä yhteiskuntaa.](#) VTT.
- Liimatainen ym. (2015). [Tarve, tottumukset, tekniikka ja talous – ilmastomuutoksen hilyn toimenpiteet liikenteessä.](#) Suomen ilmastopaneeli.
- Lounasheimo, J. (2009). [Kasvihuonekaasupäästöjen alueellisten laskentamenetelmien vertailua.](#) Laurea-ammattikorkeakoulu.
- Lylykangas, K. ym. (2013a). [ILTA-laskuri: rakennusten ja infran laskuri.](#) Aalto-yliopisto.
- Lylykangas, K. ym. (2013b). [Ilmastotavoitteita toteuttava kaavoitus.](#) Aalto-yliopisto.
- Mattinen, M. ym. (2016). [Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015–2050.](#) Suomen ympäristökeskus.
- Motiva (2019a). [Kiinteistön energiankäyttö. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi.](#) Motiva Oy.
- Motiva (2019b). [Palvelusektorin ominaiskulutuksia.](#) Motiva Oy.
- Möttönen, V. ym. (2014). [Lähiörakennusten perusparantaminen: vaikutusten arviointi.](#) VTT.
- Nylund, N.-O. ym. (2014). [Arvioita ajoneuvoliikenteen päästökehityksestä: Taustaa HLJ 2015 -työhön.](#) Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymä.
- Nylund, N.-O. ym. (2015). [Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Käyttövoimavaihtoehdot ja niiden kansantaloudelliset vaikutukset.](#) VTT.
- Nylund, N.-O. ym. (2017). [Älykäs ja vähähiilistä energiaa käyttävä liikenne – TransSmart-kärkihjelman loppuraportti.](#) VTT.
- OECD (2013). [Nordic Energy Technology Perspectives.](#) OECD ja IEA.

OECD (2016). [Nordic Energy Technology Perspectives 2016](#). OECD ja IEA.

Pirinen, P. (2014). [Ilmastomuutos ja lämmitystarveluku paikkatietoarvioina Suomessa](#). Ilmatieteen laitos.

Rakennustieto Oy (2013). [Asuinkiinteistön kuntoarvio](#).

Reinikainen, E. ym. (2015). [FinZEB-hanke: Lähes nollaenergiarakennuksen käsitteet, tavoitteet ja suuntaviivat kansallisella tasolla](#). Granlund Oy.

Suomen ympäristökeskus (2013). [Yhdyskuntarakenteen vyöhykkeet Suomessa - jalan- kulkun-, joukkoliikenne- ja autovyöhykkeiden kehitys vuosina 1985-2010](#).

Suomen ympäristökeskus (2014). [Keskusta-alueet ja vähittäiskauppa kaupunkiseuduilla](#).

Suomen ympäristökeskus (2017). [Yhdyskuntarakenteen tulevaisuus kaupunkiseuduilla – Kaupunkikudokset ja vyöhykkeet](#).

Särkijärvi, J. (2018a). [Hiilietön liikenne 2045 – polkuja päästöttömään tulevaisuuteen – Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän väliraportti](#). Liikenne- ja viestintäministeriö.

Särkijärvi, J. ym. (2018b). [Toimenpideohjelma hiilettömään liikenteeseen 2045 Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän loppuraportti](#). Liikenne ja viestintäministeriö.

Tampereen kaupunki (2016). [Tampereen kaupunkikonsernin energia- ja ilmastotoimien raportti 2015. Versio 30052016](#).

Työ- ja elinkeinoministeriö (2017). [Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030](#).

Traficom (2018). [Henkilöliikennetutkimus](#).

Tampereen Sähkölaitos (2015). Vertailuryhmien lämpöindeksit vuosina 2011–2014.

Tampereen Sähkölaitos (2019). Vertailukiinteistöjen lämpöindeksit 2015–2018.

Vainio, T. ym. (2015). [Tehokas CHP, kaukolämpö ja -jäähdytys Suomessa 2010–2025](#). VTT.

Virta, J. ym. (2011). [Taloyhtiön energiakirja](#). Kiinteistöalan kustannus Oy.

VTT (2013). [Low Carbon Finland 2050 -platform - Vähähiilinen Suomi 2050](#). Internetsivu.

VTT (2018a). [Korjausrakentamisessa noudatettavien energiatehokkuutta koskevien vähimmäisvaatimusten kustannusoptimaalisten tasojen laskenta](#).

VTT (2018b). Laskennallinen energiankulutus Helsingin rakennuskannassa ikäryhmittäin.

Ympäristöministeriö (2013). [IPCC 5. arviointiraportti. Osaraportti 1: Ilmastomuutoksen tieteellinen tausta](#). Ympäristöministeriö ja Suomen ympäristökeskus.

Ympäristöministeriö (2017). [Valtioneuvoston selonteko keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmasta vuoteen 2030 – Kohti ilmastoviisasta arkea](#).

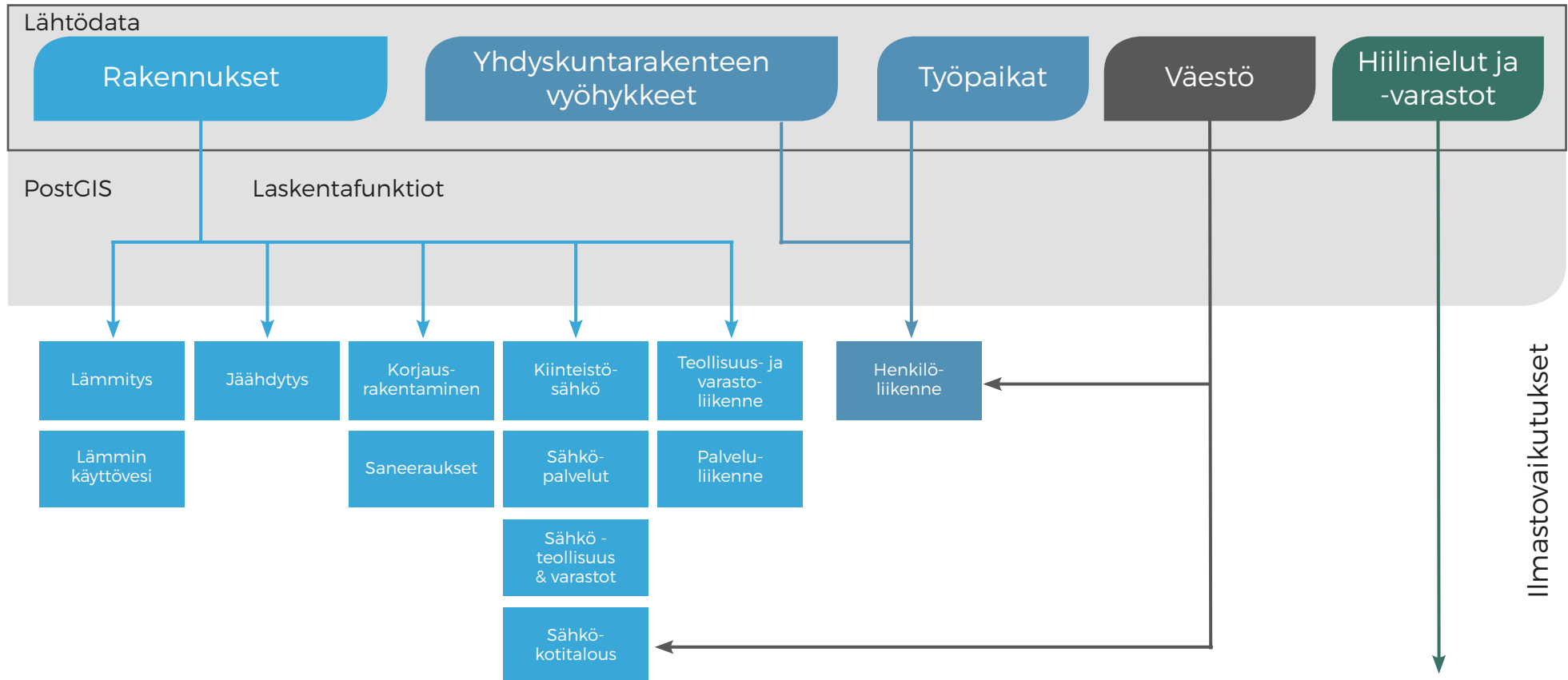
Ympäristöministeriö (2018). [Energiatehokkuus: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta](#).

Ympäristöministeriö (2019a). [Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä](#).

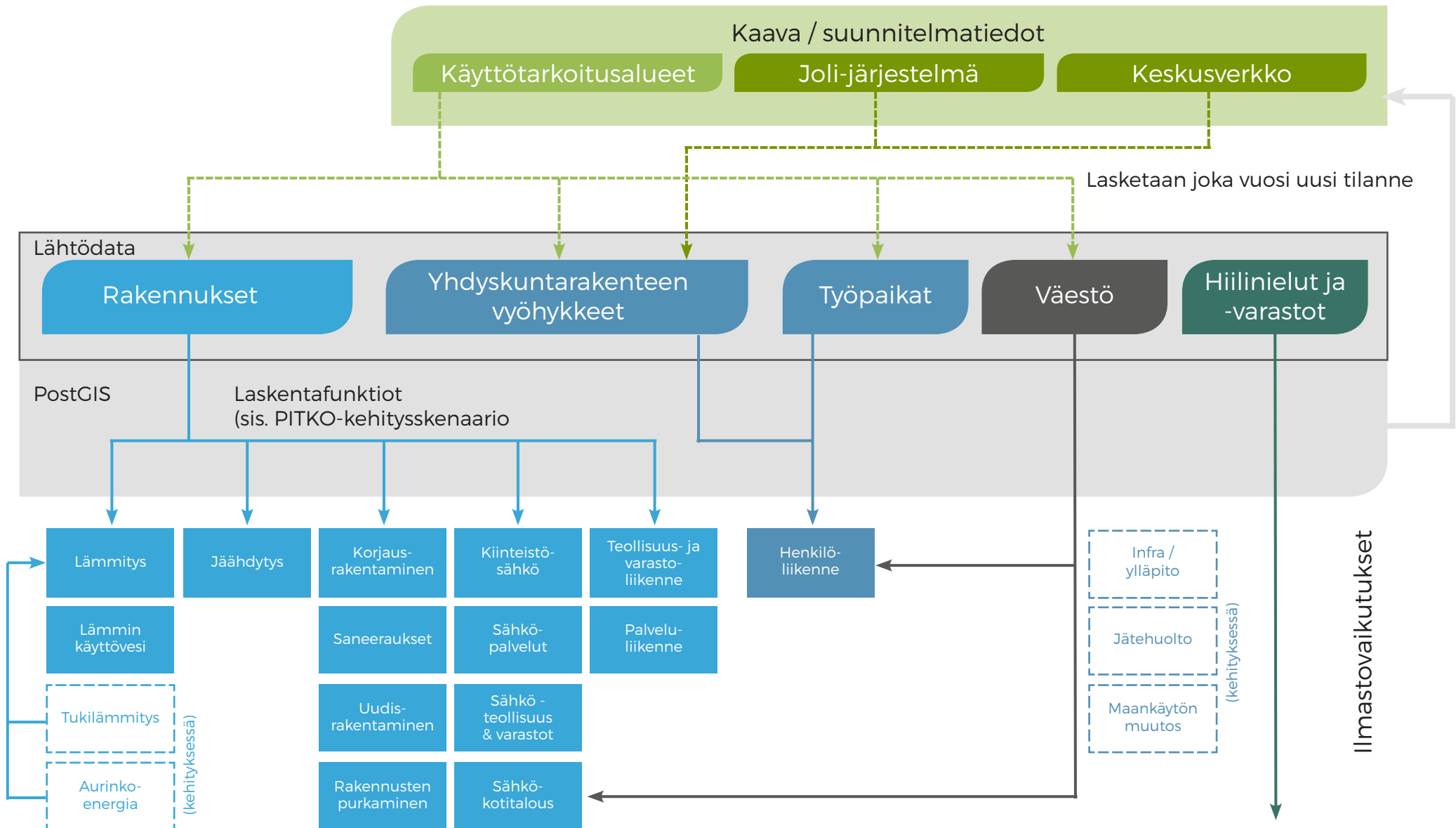
Ympäristöministeriö (2019b). [Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin](#).

9 Liitteet

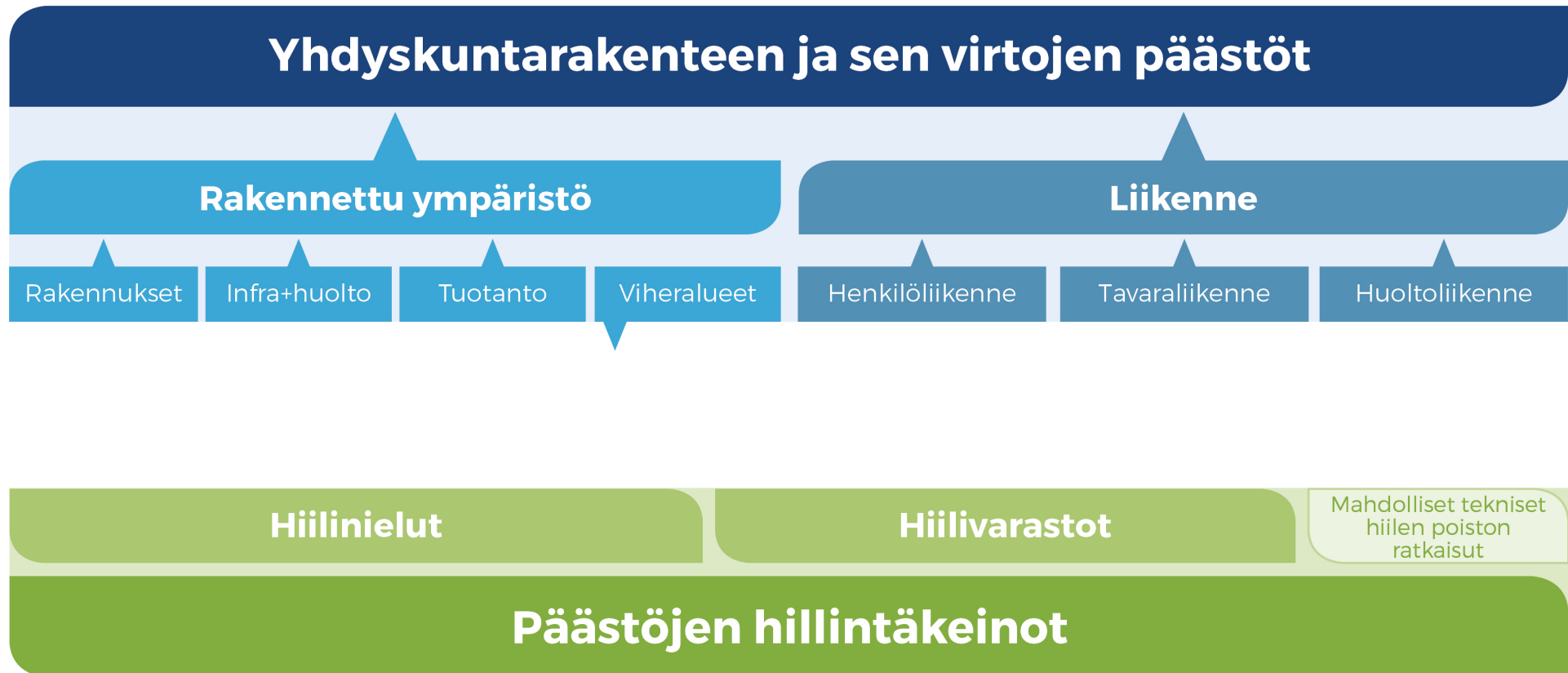
Liite 1. Nykytilan päästölaskennan yleispiirteinen visuaalinen kuvaus.



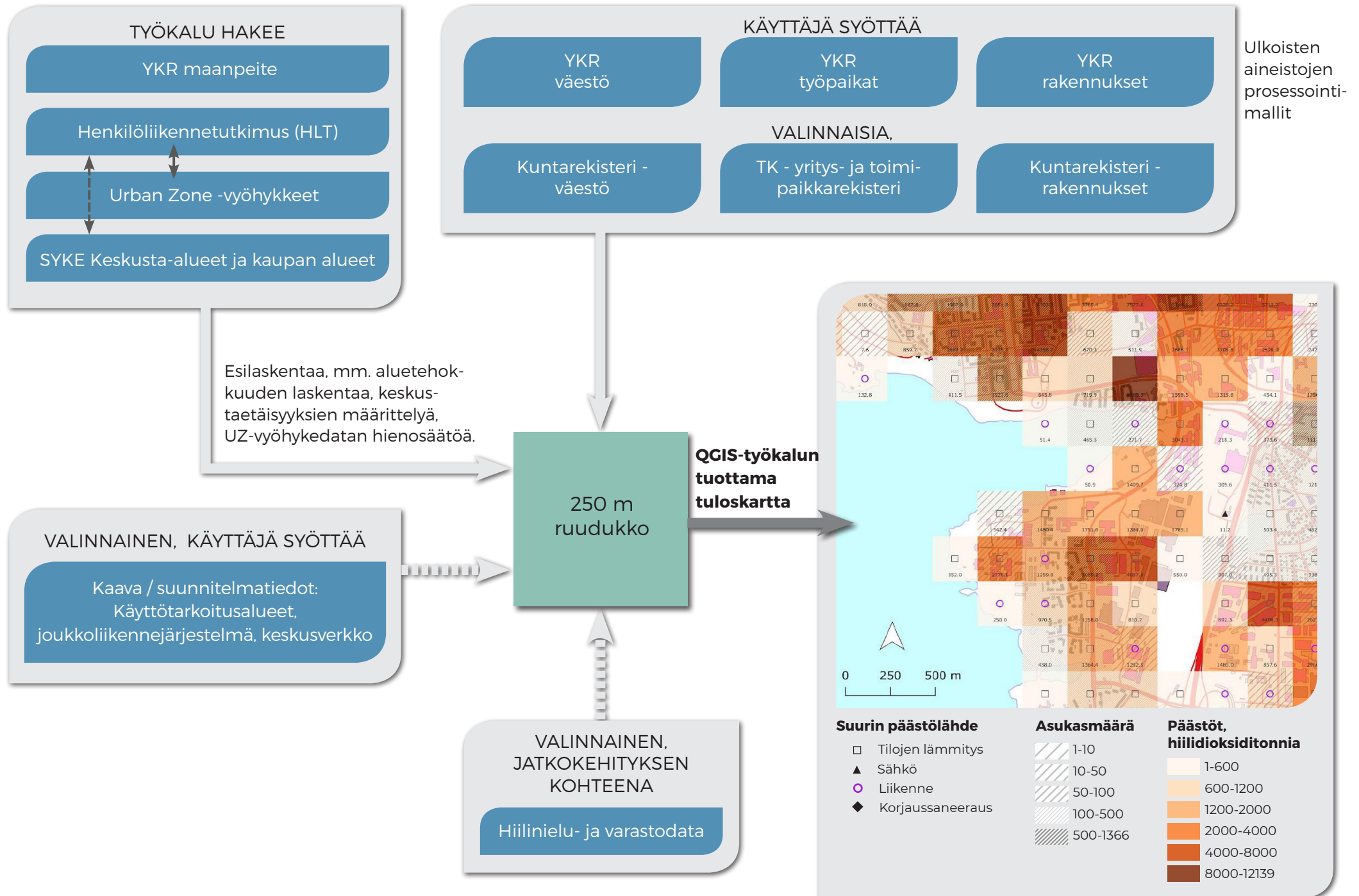
Liite 2. Tulevaisuuden päästölaskennan yleispiirteinen visuaalinen kuvaus.



Liite 3. Yhdyskuntarakenteen päästöjen ja niiden hillintäkeinojen kokonaisuus yleistettynä.



Liite 4. Laskennan lähtötietokokonaisuuden ja sen käsittelyn visuaalinen kuvaus.



Liite 5. Nykyrakenteen rakennusten tilojen ja käyttöveden lämmityksen ominaiskulutuskerroin (kWh/(m² vuosi)) rakennustyypeittäin ja -ikäluokittain

	Erillis-pientalot	Rivitalot	Asuinkerrostalot	Palvelurakennukset	Teollisuus-rakennukset	Varastot ja muut rakennukset
Tuntematon	164	156	136	162	143	132
-1920	169	160	130	223	283	182
1920–1929	174	170	130	228	268	172
1930–1939	184	185	140	226	228	173
1940–1949	189	199	145	240	178	163
1950–1959	189	209	149	240	158	163
1960–1969	194	193	153	194	148	172
1970–1979	169	181	141	172	118	133
1980–1989	148	150	124	158	113	123
1990–1999	146	157	135	137	103	108
2000–2009	149	135	128	116	93	93
2010–2019	102	104	86	90	53	49
2020	87	68	61	77	48	44

Liite 6. Nykyrakenteen rakennusten lämmitysjärjestelmien hyötysuhteet tai lämpökertoimet ja hyötysuhteiden tai lämpökertoimien suhteelliset muutokset vuodesta 2020 lämmitys-muodoittain

Lämmitysmuoto	Nykyrakenne	Muutos vuodesta 2020		
		2030	2040	2050
Kaukolämpö	0,84– 0,98	0	0	0
Kevyt polttoöljy	0,74– 0,86	0,02	0,02	0,02
Raskas polttoöljy	0,74– 0,86	0,02	0,02	0,02
Maakaasu	0,77– 0,90	0,02	0,02	0,02
Sähkö	0,85– 0,98	0	0	0
Puupolttoaineet	0,59– 0,81	0,01	0,01	0,01
Turve, hiili ja koksi	0,68– 0,81	0,02	0,02	0,02
Maalämpö ja muut lämpöpumput	2,80– 3,24	0,14	0,16	0,18

Liite 7. Uusien rakennusten lämmitysmuotojen jakaumat (%) nykyhetkessä (2020) sekä PITKO-skenaarioissa vuosina 2030, 2040 ja 2050.

Erillispientalot

PITKO	Ajankohta	Kaukolämpö	Sähkö	Puupoltto- aineet	Maalämpö ja muut lämpöpumput
	2020	12 %	8 %	8 %	72 %
WEM	2030	10 %	10 %	1 %	79 %
	2040	8 %	10 %	1 %	81 %
	2050	6 %	10 %	1 %	83 %
EU-80%	2030	9 %	10 %	1 %	80 %
	2040	7 %	10 %	1 %	82 %
	2050	5 %	10 %	1 %	84 %
Jatkuva kasvu	2030	8 %	8 %	1 %	83 %
	2040	6 %	8 %	1 %	85 %
	2050	4 %	8 %	1 %	87 %
Muutos	2030	8 %	10 %	1 %	81 %
	2040	6 %	10 %	1 %	83 %
	2050	4 %	10 %	1 %	85 %
Säästö	2030	9 %	10 %	3 %	78 %
	2040	7 %	10 %	5 %	78 %
	2050	5 %	10 %	5 %	80 %
Pysähdys	2030	11 %	15 %	1 %	73 %
	2040	11 %	15 %	1 %	73 %
	2050	11 %	15 %	1 %	73 %

Rivitalot

PITKO	Ajankohta	Kaukolämpö	Sähkö	Puupoltto- aineet	Maalämpö ja muut lämpöpumput
	2020	45 %	5 %	0 %	50 %
WEM	2030	30 %	10 %	0 %	60 %
	2040	24 %	10 %	0 %	66 %
	2050	22 %	10 %	0 %	68 %
EU-80%	2030	30 %	10 %	0 %	60 %
	2040	24 %	10 %	0 %	66 %
	2050	22 %	10 %	0 %	68 %
Jatkuva kasvu	2030	30 %	5 %	0 %	65 %
	2040	24 %	5 %	0 %	71 %
	2050	22 %	5 %	0 %	73 %
Muutos	2030	30 %	7 %	0 %	63 %
	2040	24 %	8 %	0 %	68 %
	2050	22 %	8 %	0 %	70 %
Säästö	2030	30 %	10 %	10 %	50 %
	2040	24 %	10 %	10 %	56 %
	2050	22 %	10 %	10 %	58 %
Pysähdys	2030	35 %	15 %	0 %	50 %
	2040	35 %	15 %	0 %	50 %
	2050	35 %	15 %	0 %	50 %

Asuinkerrostalot

PITKO	Ajankohta	Kaukolämpö	Sähkö	Puupoltto- aineet	Maalämpö ja muut lämpöpumput
	2020	95 %	0 %	0 %	5 %
WEM	2030	90 %	0 %	0 %	10 %
	2040	90 %	0 %	0 %	10 %
	2050	90 %	0 %	0 %	10 %
EU-80%	2030	90 %	0 %	0 %	10 %
	2040	90 %	0 %	0 %	10 %
	2050	90 %	0 %	0 %	10 %
Jatkuva kasvu	2030	85 %	0 %	0 %	15 %
	2040	85 %	0 %	0 %	15 %
	2050	85 %	0 %	0 %	15 %
Muutos	2030	85 %	0 %	0 %	15 %
	2040	85 %	0 %	0 %	15 %
	2050	85 %	0 %	0 %	15 %
Säästö	2030	90 %	0 %	5 %	5 %
	2040	90 %	0 %	10 %	0 %
	2050	90 %	0 %	10 %	0 %
Pysähdys	2030	95 %	0 %	0 %	5 %
	2040	95 %	0 %	0 %	5 %
	2050	95 %	0 %	0 %	5 %

Teollisuus- varasto- ja muut rakennukset

PITKO	Ajankohta	Kaukolämpö	Sähkö	Puupoltto- aineet	Maalämpö ja muut lämpöpumput
	2020	31 %	41 %	1 %	27 %
WEM	2030	29 %	31 %	1 %	38 %
	2040	29 %	26 %	1 %	43 %
	2050	28 %	26 %	1 %	44 %
EU-80%	2030	29 %	31 %	1 %	38 %
	2040	29 %	26 %	1 %	43 %
	2050	28 %	26 %	1 %	44 %
Jatkuva kasvu	2030	25 %	31 %	1 %	42 %
	2040	25 %	26 %	1 %	47 %
	2050	24 %	26 %	1 %	48 %
Muutos	2030	25 %	31 %	1 %	42 %
	2040	25 %	26 %	1 %	47 %
	2050	24 %	26 %	1 %	48 %
Säästö	2030	29 %	31 %	11 %	28 %
	2040	29 %	26 %	15 %	30 %
	2050	28 %	26 %	15 %	31 %
Pysähdys	2030	34 %	35 %	1 %	29 %
	2040	34 %	31 %	1 %	33 %
	2050	34 %	31 %	1 %	33 %

Liite 8. Rakennusten tilojen ja käyttöveden lämmityksen ominaiskulutuskertoimen keskimääräinen suhteellinen muutos nykyhetkeen verrattuna (%) erillispientaloille, rivi- ja kerrostaloille sekä muille rakennuksille

PITKO-skenaario	Vuosi-kymmen	Erillis-pientalot	Rivi- ja kerrostalot	Muut rakennukset
WEM	2030	-5 %	-4 %	-5 %
	2040	-10 %	-9 %	-11 %
	2050	-15 %	-12 %	-17 %
EU-80%	2030	-5 %	-4 %	-5 %
	2040	-10 %	-9 %	-11 %
	2050	-15 %	-12 %	-17 %
Jatkuva kasvu	2030	-20 %	-24 %	-18 %
	2040	-30 %	-31 %	-31 %
	2050	-36 %	-35 %	-40 %
Muutos	2030	-32 %	-43 %	-32 %
	2040	-41 %	-48 %	-46 %
	2050	-47 %	-55 %	-56 %
Säästö	2030	-14 %	-13 %	-12 %
	2040	-21 %	-17 %	-20 %
	2050	-26 %	-21 %	-27 %
Pysähdys	2030	-4 %	-3 %	-4 %
	2040	-8 %	-7 %	-9 %
	2050	-12 %	-9 %	-13 %

Liite 9. Uusien rakennusten tilojen ja käyttöveden ominaiskulutus-kertoimen suhteellinen muutos (%) vuoden 2020 tasolta asuin-, palvelu- sekä teollisuus-, varasto- ja muissa rakennuksissa

PITKO-skenaario	Vuosi-kymmen	Asuinraken-nukset	Palvelu-rakennukset	Teollisuus-, varasto- ja muut rakennukset
WEM	2030	-7 %	-10 %	-12 %
	2040	-7 %	-11 %	-12 %
	2050	-7 %	-11 %	-12 %
EU-80%	2030	-7 %	-10 %	-12 %
	2040	-7 %	-11 %	-12 %
	2050	-7 %	-11 %	-12 %
Jatkuva kasvu	2030	-16 %	-12 %	-9 %
	2040	-24 %	-17 %	-13 %
	2050	-33 %	-21 %	-18 %
Muutos	2030	-21 %	-18 %	-18 %
	2040	-32 %	-28 %	-27 %
	2050	-43 %	-36 %	-35 %
Säästö	2030	-19 %	-15 %	-13 %
	2040	-28 %	-22 %	-20 %
	2050	-38 %	-28 %	-26 %
Pysähdys	2030	-8 %	-9 %	-7 %
	2040	-12 %	-13 %	-10 %
	2050	-17 %	-16 %	-13 %

Liite 10. Lämmitysmuotojen keskimääräinen vuosittainen nettomääräinen kerrosalan muutos rakennus- ja lämmitysmuotokohtaisesti.

	Kaukolämpö	Öljy- ja kaasulämmitys	Sähkölämmitys	Maalämpö ja lämpöpumput
Erillispientalot	-0,2 % – 0,9 %	-5,3 % – -3,1 %	-1,3 % – -0,6 %	9,8 % – 17,1 %
Rivitalot	0,1 % – 3,2 %	-5,3 % – -3,0 %	-2,2 % – -1,3 %	9,2 % – 17,9 %
Asuinkerrostalot	0,6 % – 3,6 %	-5,3 % – -3,0 %	-3,1 % – -2,8 %	10,1 % – 18,3 %
Palvelurakennukset	0,1 % – 3,1 %	-4,5 % – -3,0 %	-3,7 % – -3,0 %	8,0 % – 12,2 %
Teollisuusrakennukset	0,0 % – 2,0 %	-3,7 % – -2,8 %	-1,3 % – -0,9 %	7,8 % – 11,3 %
Varastot ja muut rakennukset	0,1 % – 2,0 %	-3,7 % – -2,8 %	-1,3 % – -0,9 %	7,8 % – 12,2 %

Liite 11. Käyttövoimajakauma (%) eri ajoneuvoilla eri PITKO-skenaarioittain vuosikymmenittäin sekä nykyhetkessä.

Henkilöautot

PITKO	Ajan-kohta	Bensiini	Diesel	Kaasu	Pistoke-hybridit	Sähkö	Vety	Muut
	2019	57 %	42 %	0,20 %	0,50 %	0,10 %	0 %	0,20 %
WEM	2030	56 %	39 %	0 %	3 %	2 %	0 %	0 %
	2040	39 %	34 %	1 %	16 %	7 %	2 %	1 %
	2050	5 %	30 %	1 %	30 %	30 %	3 %	0 %
EU-80%	2030	45 %	32 %	2 %	13 %	8 %	0 %	0 %
	2040	35 %	24 %	1 %	24 %	13 %	3 %	1 %
	2050	6 %	15 %	1 %	35 %	35 %	7 %	1 %
Jatkuva kasvu	2030	38 %	25 %	7 %	13 %	16 %	1 %	0 %
	2040	20 %	14 %	6 %	8 %	49 %	4 %	0 %
	2050	1 %	2 %	4 %	3 %	82 %	8 %	1 %
Muutos	2030	49 %	30 %	5 %	6 %	9 %	1 %	0 %
	2040	27 %	16 %	5 %	6 %	42 %	4 %	1 %
	2050	3 %	2 %	4 %	6 %	75 %	10 %	1 %
Säästö	2030	52 %	35 %	3 %	5 %	3 %	1 %	0 %
	2040	39 %	28 %	4 %	15 %	8 %	5 %	1 %
	2050	8 %	20 %	5 %	25 %	25 %	17 %	1 %
Pysähdys	2030	50 %	39 %	3 %	5 %	3 %	0 %	0 %
	2040	36 %	32 %	3 %	18 %	9 %	2 %	1 %
	2050	3 %	25 %	2 %	30 %	35 %	4 %	1 %

Pakettiautot

PITKO	Ajan-kohta	Bensiini	Diesel	Kaasu	Pistoke-hybridit	Sähkö	Vety	Muut
	2019	1 %	98 %	0,20 %	0 %	0,20 %	0 %	0 %
WEM	2030	1 %	94 %	1 %	2 %	2 %	0 %	0 %
	2040	0 %	69 %	3 %	20 %	7 %	1 %	0 %
	2050	0 %	43 %	5 %	25 %	25 %	2 %	0 %
EU-80%	2030	2 %	81 %	3 %	4 %	10 %	0 %	0 %
	2040	1 %	53 %	4 %	24 %	16 %	2 %	0 %
	2050	1 %	25 %	4 %	27 %	40 %	3 %	1 %
Jatkuva kasvu	2030	1 %	66 %	6 %	5 %	21 %	0 %	0 %
	2040	1 %	36 %	6 %	9 %	46 %	3 %	0 %
	2050	0 %	5 %	5 %	10 %	70 %	10 %	0 %
Muutos	2030	2 %	77 %	4 %	5 %	12 %	0 %	0 %
	2040	1 %	44 %	7 %	10 %	36 %	3 %	0 %
	2050	0 %	10 %	10 %	15 %	60 %	5 %	0 %
Säästö	2030	1 %	78 %	5 %	9 %	7 %	0 %	0 %
	2040	0 %	49 %	5 %	23 %	19 %	4 %	0 %
	2050	0 %	20 %	5 %	30 %	30 %	15 %	0 %
Pysähdys	2030	1 %	83 %	4 %	7 %	4 %	0 %	0 %
	2040	1 %	52 %	5 %	19 %	23 %	2 %	0 %
	2050	0 %	20 %	5 %	30 %	41 %	4 %	0 %

Linja-autot

PITKO	Ajankohta	Diesel	Kaasu	Pistokehybridit	Sähkö	Vety	Muut
	2019	99 %	1 %	0 %	0,40 %	0 %	0 %
WEM	2030	90 %	2 %	0 %	7 %	0 %	0 %
	2040	81 %	6 %	0 %	13 %	1 %	0 %
	2050	55 %	10 %	0 %	35 %	1 %	0 %
EU-80%	2030	82 %	7 %	0 %	11 %	0 %	0 %
	2040	72 %	11 %	0 %	16 %	1 %	0 %
	2050	44 %	15 %	0 %	40 %	1 %	0 %
Jatkuva kasvu	2030	68 %	17 %	0 %	15 %	0 %	0 %
	2040	47 %	16 %	0 %	35 %	2 %	0 %
	2050	25 %	15 %	0 %	55 %	5 %	0 %
Muutos	2030	78 %	7 %	0 %	15 %	0 %	0 %
	2040	53 %	8 %	0 %	35 %	3 %	0 %
	2050	25 %	10 %	0 %	55 %	10 %	0 %
Säästö	2030	86 %	4 %	0 %	10 %	0 %	0 %
	2040	62 %	7 %	0 %	28 %	3 %	0 %
	2050	35 %	10 %	0 %	45 %	10 %	0 %
Pysähdys	2030	84 %	7 %	0 %	9 %	0 %	0 %
	2040	65 %	9 %	0 %	25 %	2 %	0 %
	2050	45 %	10 %	0 %	40 %	5 %	0 %

Kuorma-autot

PITKO	Ajankohta	Diesel	Kaasu	Pistokehybridit	Sähkö	Vety	Muut
	2019	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
WEM	2030	95 %	0 %	3 %	3 %	0 %	0 %
	2040	0 %	3 %	11 %	6 %	0 %	0 %
	2050	60 %	5 %	20 %	35 %	0 %	0 %
EU-80%	2030	88 %	1 %	5 %	5 %	0 %	0 %
	2040	0 %	1 %	17 %	10 %	0 %	0 %
	2050	43 %	2 %	28 %	40 %	0 %	0 %
Jatkuva kasvu	2030	77 %	2 %	11 %	11 %	0 %	0 %
	2040	0 %	3 %	25 %	15 %	0 %	0 %
	2050	30 %	5 %	40 %	55 %	0 %	0 %
Muutos	2030	80 %	1 %	11 %	8 %	0 %	0 %
	2040	0 %	3 %	25 %	12 %	0 %	0 %
	2050	35 %	5 %	40 %	55 %	0 %	0 %
Säästö	2030	88 %	1 %	5 %	5 %	0 %	0 %
	2040	0 %	3 %	25 %	8 %	0 %	0 %
	2050	35 %	5 %	45 %	45 %	0 %	0 %
Pysähdys	2030	95 %	0 %	3 %	2 %	0 %	0 %
	2040	0 %	3 %	12 %	7 %	0 %	0 %
	2050	50 %	5 %	20 %	40 %	0 %	0 %

Liite 12. Eri ajoneuvojen käyttövoimien energian keskikulutus (kWh/km) nykyhetkessä ja niiden muutos (%) vuosikymmenittäin.

Henkilöautot

PITKO	Ajan-kohta	Bensiini	Diesel	Kaasu	Pistoke-hybridit	Sähkö	Vety
	2019	0,6	0,56	0,52	0,39	0,19	0,11
WEM	2030	-15 %	-15 %	-15 %	-18 %	-13 %	-13 %
	2040	-27 %	-27 %	-27 %	-35 %	-26 %	-27 %
	2050	-37 %	-37 %	-37 %	-51 %	-39 %	-42 %
EU-80%	2030	-15 %	-15 %	-15 %	-18 %	-13 %	-13 %
	2040	-27 %	-27 %	-27 %	-35 %	-26 %	-27 %
	2050	-37 %	-37 %	-37 %	-51 %	-39 %	-42 %
Jatkuva kasvu	2030	-15 %	-15 %	-15 %	-18 %	-13 %	-13 %
	2040	-27 %	-27 %	-27 %	-35 %	-26 %	-27 %
	2050	-37 %	-37 %	-37 %	-51 %	-39 %	-42 %
Muutos	2030	-15 %	-15 %	-15 %	-18 %	-13 %	-13 %
	2040	-27 %	-27 %	-27 %	-35 %	-26 %	-27 %
	2050	-37 %	-37 %	-37 %	-51 %	-39 %	-42 %
Säästö	2030	-15 %	-15 %	-15 %	-18 %	-13 %	-13 %
	2040	-27 %	-27 %	-27 %	-35 %	-26 %	-27 %
	2050	-37 %	-37 %	-37 %	-51 %	-39 %	-42 %
Pysähdys	2030	-15 %	-15 %	-15 %	-18 %	-13 %	-13 %
	2040	-27 %	-27 %	-27 %	-35 %	-26 %	-27 %
	2050	-37 %	-37 %	-37 %	-51 %	-39 %	-42 %

Pakettiautot

PITKO	Ajan-kohta	Bensiini	Diesel	Kaasu	Pistoke-hybridit	Sähkö	Vety
	2019	1,16	1,06	0,95	0,32	0,36	0,12
WEM	2030	-10 %	-10 %	-10 %	-14 %	-13 %	-10 %
	2040	-19 %	-19 %	-19 %	-28 %	-26 %	-23 %
	2050	-27 %	-27 %	-27 %	-41 %	-39 %	-37 %
EU-80%	2030	-10 %	-10 %	-10 %	-14 %	-13 %	-13 %
	2040	-19 %	-19 %	-19 %	-28 %	-26 %	-27 %
	2050	-27 %	-27 %	-27 %	-41 %	-39 %	-42 %
Jatkuva kasvu	2030	-10 %	-10 %	-10 %	-14 %	-13 %	-13 %
	2040	-19 %	-19 %	-19 %	-28 %	-26 %	-27 %
	2050	-27 %	-27 %	-27 %	-41 %	-39 %	-42 %
Muutos	2030	-10 %	-10 %	-10 %	-14 %	-13 %	-13 %
	2040	-19 %	-19 %	-19 %	-28 %	-26 %	-27 %
	2050	-27 %	-27 %	-27 %	-41 %	-39 %	-42 %
Säästö	2030	-10 %	-10 %	-10 %	-14 %	-13 %	-13 %
	2040	-19 %	-19 %	-19 %	-28 %	-26 %	-27 %
	2050	-27 %	-27 %	-27 %	-41 %	-39 %	-42 %
Pysähdys	2030	-10 %	-10 %	-10 %	-14 %	-13 %	-13 %
	2040	-19 %	-19 %	-19 %	-28 %	-26 %	-27 %
	2050	-27 %	-27 %	-27 %	-41 %	-39 %	-42 %

Linja-autot

PITKO	Ajankohta	Diesel	Kaasu	Pistokehybridit	Sähkö	Vety
	2019	4,03	4,59	5,93	1,98	1,98
WEM	2030	-7 %	-7 %	-7 %	-7 %	-7 %
	2040	-17 %	-17 %	-17 %	-17 %	-17 %
	2050	-30 %	-30 %	-30 %	-30 %	-30 %
EU-80%	2030	-4 %	-4 %	-4 %	-4 %	-4 %
	2040	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %
	2050	-12 %	-12 %	-12 %	-12 %	-12 %
Jatkuva kasvu	2030	-4 %	-4 %	-4 %	-4 %	-4 %
	2040	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %
	2050	-12 %	-12 %	-12 %	-12 %	-12 %
Muutos	2030	-4 %	-4 %	-4 %	-4 %	-4 %
	2040	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %
	2050	-12 %	-12 %	-12 %	-12 %	-12 %
Säästö	2030	-4 %	-4 %	-4 %	-4 %	-4 %
	2040	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %
	2050	-12 %	-12 %	-12 %	-12 %	-12 %
Pysähdys	2030	-4 %	-4 %	-4 %	-4 %	-4 %
	2040	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %
	2050	-12 %	-12 %	-12 %	-12 %	-12 %

Kuorma-autot

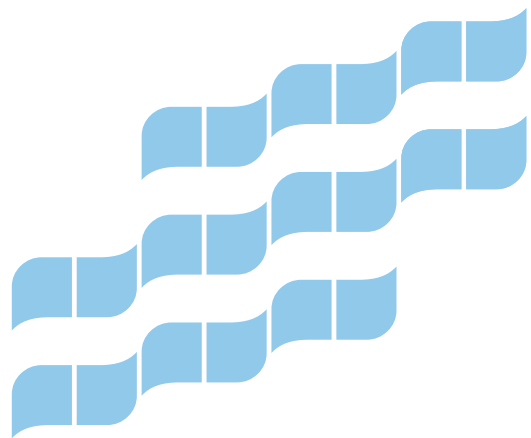
PITKO	Ajankohta	Diesel	Kaasu	Pistokehybridit	Sähkö	Vety
	2019	2,36	2,12	2,23	1,49	1,49
WEM	2030	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %
	2040	-22 %	-22 %	-22 %	-22 %	-22 %
	2050	-38 %	-38 %	-38 %	-38 %	-38 %
EU-80%	2030	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %
	2040	-22 %	-22 %	-22 %	-22 %	-22 %
	2050	-38 %	-38 %	-38 %	-38 %	-38 %
Jatkuva kasvu	2030	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %
	2040	-22 %	-22 %	-22 %	-22 %	-22 %
	2050	-38 %	-38 %	-38 %	-38 %	-38 %
Muutos	2030	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %
	2040	-22 %	-22 %	-22 %	-22 %	-22 %
	2050	-38 %	-38 %	-38 %	-38 %	-38 %
Säästö	2030	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %
	2040	-22 %	-22 %	-22 %	-22 %	-22 %
	2050	-38 %	-38 %	-38 %	-38 %	-38 %
Pysähdys	2030	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %	-8 %
	2040	-22 %	-22 %	-22 %	-22 %	-22 %
	2050	-38 %	-38 %	-38 %	-38 %	-38 %

Liite 13. Nykyrakenteen rakennusten kiinteistösähkön ominaiskulutuserroin (kWh/(m² vuosi)) rakennustyypeittäin ja -ikäluokittain.

Ajankohta	Erillis-pientalot	Rivitalot	Asuin-kerrostalot	Palvelu-rakennukset
Tuntematon	1	5	5	15
-1920	1	5	5	14
1920-1929	1	6	6	16
1930-1939	2	7	7	17
1940-1949	2	10	9	15
1950-1959	3	12	12	19
1960-1969	7	14	16	24
1970-1979	10	18	20	29
1980-1989	15	16	19	31
1990-1999	18	14	19	24
2000-2009	20	14	23	23
2010-2019	17	22	24	26
2020	10	20	22	25

Liite 14. Uusien rakennusten kiinteistösähkön ominaiskulutuskertoimen suhteellinen muutos (%) vuoden 2020 tasolta asuin- ja palvelurakennuksissa.

PITKO	Ajankohta	AsuinraKEN-nukset	Palveluraken-nukset
WEM	2030	0 %	-3 %
	2040	0 %	-3 %
	2050	0 %	-3 %
EU-80%	2030	0 %	-3 %
	2040	0 %	-3 %
	2050	0 %	-3 %
Jatkuva kasvu	2030	14 %	9 %
	2040	24 %	17 %
	2050	35 %	25 %
Muutos	2030	9 %	3 %
	2040	19 %	11 %
	2050	30 %	18 %
Säästö	2030	0 %	-3 %
	2040	0 %	-3 %
	2050	0 %	-3 %
Pysähdys	2030	0 %	-3 %
	2040	0 %	-3 %
	2050	0 %	-3 %



TAMPERE.
FINLAND

