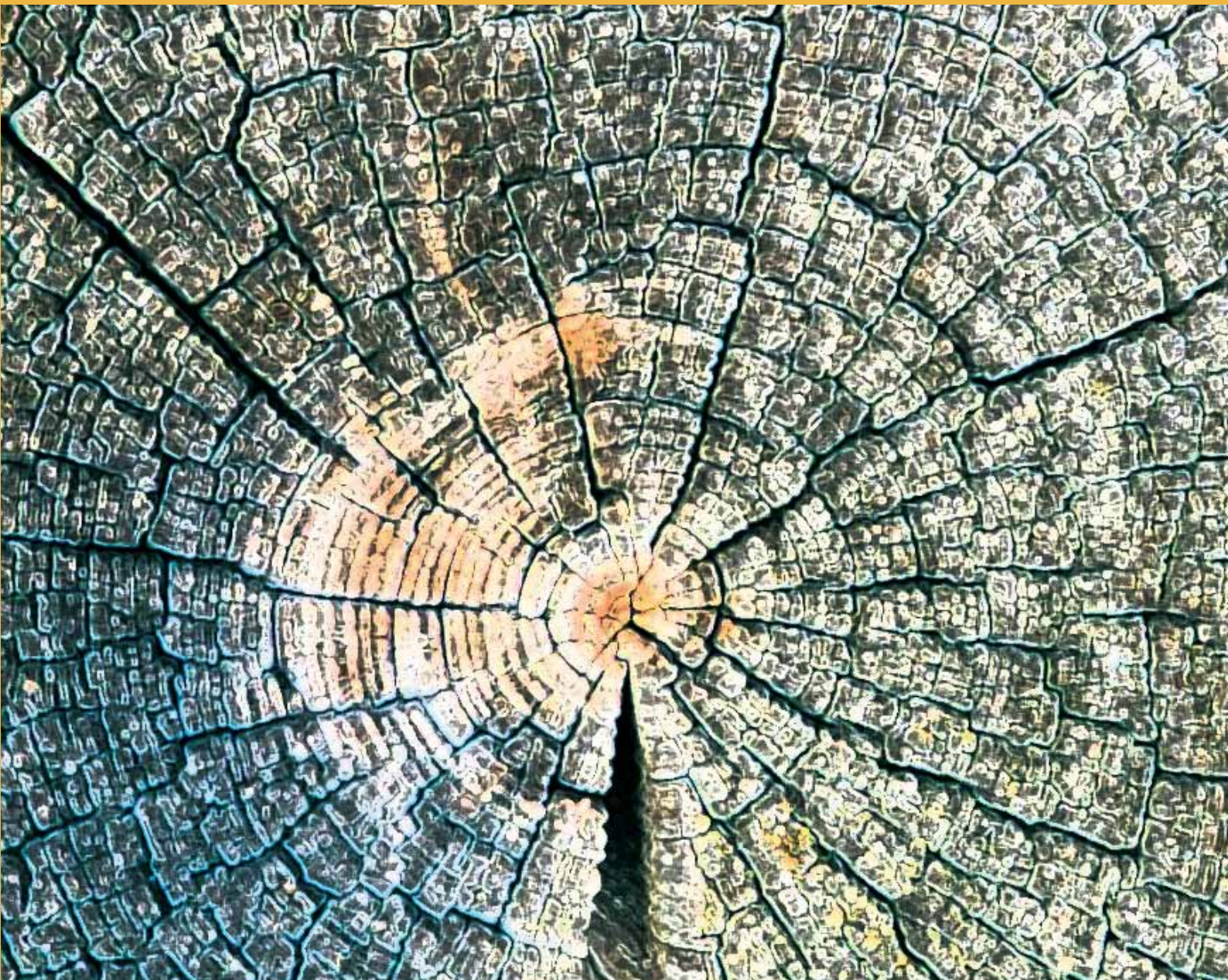


Kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt

Kehitysvertailuja 2005–2050

Pekka Lahti
Paavo Moilanen

RAKENNETTU
YMPÄRISTÖ



Kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt

Kehitysvertailuja 2005–2050

**Pekka Lahti
Paavo Moilanen**

Helsinki 2010

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ



YMPÄRISTÖMINISTERIÖ
MILJÖMINISTERIET
MINISTRY OF THE ENVIRONMENT

SUOMEN YMPÄRISTÖ 12 | 2010
Ympäristöministeriö
Rakennetun ympäristön osasto

Taitto: Ainoliisa Miettinen
Kansikuva: Ympäristöhallinnon kuvapankki

Julkaisu on saatavana myös internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

Edita Prima Oy, Helsinki 2010

ISBN 978-952-11-3766-2 (nid.)
ISBN 978-952-11-3767-9 (PDF)
ISSN 1238-7312 (pain.)
ISSN 1796-1637 (verkkoj.)



ESIPUHE

Ilmaston muutoksen oleellisia aiheuttajia ovat ihmisten toiminnasta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Lähes puolet kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuu yhdyskuntien toiminnasta. Muita aiheuttajia ovat mm. teollisuus ja maatalous. Yhdyskunnissa energiaa kuluttavat ja päästöjä aiheuttavat rakennukset ja liikenne. Myös rakennustoiminta aiheuttaa päästöjä, mutta vähemmän kuin rakennusten, rakenteiden ja liikenteen toiminta ja ylläpito niiden elinkaaren aikana.

Suomen yhdyskunnat ovat yhdyskuntarakenteeltaan varsin hajanaisia. Muiden pohjoismaiden yhdyskunnat ovat kaksi ja puoli tai kolme kertaa tiheämmin asuttuja kuin suomalaiset. Keski-Euroopan maissa yhdyskunnat ovat vielä tiiviimmin asuttuja. Kuinka paljon Suomen kasvihuonekaasupäästöjä voitaisiin vähentää jos yhdyskuntia rakennettaisiin vähemmän energiaa kuluttaviksi ja vähemmän päästöjä aiheuttaviksi?

Yhdyskuntarakenne, rakennusten teknologia ja liikenteen määrä voivat oleellisesti muuttua siellä missä on runsaasti rakennustoimintaa, täydennysrakentamista ja korjausrakentamista. Muutosmahdollisuuksien kannalta oleellisessa asemassa ovat Suomen kasvavat kaupunkiseudut. Ympäristövaikutusten ohella yhdyskuntarakenteen kehityksellä on suuri vaikutus kaupunkiseutujen talouden tehokkuuteen.

Tässä tutkimuksessa tehtiin yhdyskuntien realistisiin kehitysvaihtoehtoihin pohjautuva arvio Suomen kaupunkiseutujen rakenteen aiheuttamasta kasvihuonekaasupäästöjen määrästä ja sen muutosmahdollisuuksista nykypäivästä vuoteen 2050 asti.

Tutkimuksen toimeksiantajia olivat ympäristöministeriö (YM), liikenne- ja viestintäministeriö (LVM) sekä työvoima- ja elinkeinoministeriö (TEM). Toimeksiantajien lisäksi ohjausryhmään ovat kuuluneet Suomen Kuntaliitto ja valtioneuvoston kanslia (VNK). Ohjausryhmään kuuluivat ympäristöneuvos Harry Berg, pj. (YM), yli-insinööri Petteri Katajisto (YM), ylitarkastaja Saara Jääskeläinen (LVM), yli-insinööri Pentti Puhakka (TEM), projektipäällikkö Pirkko Heikinheimo (VNK) ja yliarkkitehti Ritva Laine (Suomen Kuntaliitto).

Tutkimuksen tekivät yhteistyössä Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT ja Strafica Oy. Nämä tutkimustahot vastasivat yhdyskuntarakenteen muutoksien ja niiden aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen vaikutusten mallinnuksesta ja laskennasta. Työhön osallistui myös Suomen ympäristökeskus SYKE, joka laati kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenteen tulevan kehityksen ”perusuran”. Siihen liittyvä työ on raportoitu erikseen SYKE:n verkkosivuilla. Tutkimuksen raportin ovat laati- neet johtava tutkija tekn. lis. (arkkit.) Pekka Lahti (VTT) ja dipl.ins. Paavo Moilanen (Strafica Oy). Työ on tehty ohjausryhmän tuella, mutta tekijät vastaavat tutkimukseen liittyvistä arvioista sekä tuloksista ja niiden tulkinnasta.

Ympäristöneuvos Harry Berg

SISÄLLYS

Esipuhe	3
Tiivistelmä	7
I Tutkimuksen tausta ja tavoite	11
1.1 Peruskäsitteet	11
1.2 Muut yhteiskunnalliset tavoitteet.....	14
2 Nykytietämys yhdyskuntarakenteen khk-vaikutuksista	16
2.1 Nykytilanteen yhdyskuntarakenteesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt	18
2.2 Yhdyskuntarakenteeseen kohdistuvien muutosten vaikutusten arviointi	25
3 Yhdyskuntarakenteen muutoksen ja khk-päästöjen mallinnus	32
3.1 Perusura	32
3.2 Vaihtoehtoisten kehitysurien ja vaikutusarvioinnin mallinnus	40
3.3 Kasvihuonekaasupäästöjen mallinnus.....	49
3.4 Yhdyskuntarakenteellisten muutosten mallinnus.....	52
3.5 Yhdyskuntarakenteeseen vaikuttavat toimenpiteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi	54
4 Päätelmät	76
Lähteet.....	83
Kuvailulehti	85
Presentationsblad	86
Documentation page	87

Tiivistelmä

Tutkimuksessa on arvioitu yhdyskuntarakenteen kehityksen erilaisten kehityskulkujen vaikutukset kasvihuonekaasujen (khk) päästöihin vuoteen 2050 asti sekä mahdollisuudet päästöjen vähennyksiin ohjaamalla yhdyskuntarakenteen kehitystä.

Tutkimus on tehty ympäristöministeriön (YM:n), liikenne- ja viestintäministeriön (LVM:n) ja työvoima- ja elinkeinoministeriön (TEM:n) toimeksiannosta Strafica Oy:n ja VTT:n yhteistyönä.

Suomen yhdyskuntarakenne koostuu rakennetusta ympäristöstä siihen välittömästi kuuluvine luontoalueineen. Rakennettu ympäristö koostuu rakennuksista ja perusrakenteesta. Rakentaminen ja valmiin ympäristön käyttö mukaan luettuna henkilöliikenne aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä, jotka riippuvat osittain siitä millaista yhdyskuntarakennetta rakennuksista ja perusrakenteesta on muodostettu. Yhdyskuntarakenteen "aiheuttamien" kasvihuonekaasupäästöjen määrän suuruusluokaksi nykytilanteessa arvioitiin noin 34 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia (CO₂ekv tonnia) vuodessa.

Yhdyskuntarakenteen nykytilannetta ja tulevia kehitysnäkymiä arvioitiin tyyppitelemällä 34 suurimman kaupunkiseudun maankäyttö (asukkaiden, työpaikkojen ja rakennusten sijainti kilometrin ruuduissa). Päästöt arvioitiin rakennusten ja perusrakenteen materiaalien ja energian kulutuksen sekä liikenteen ominaispäästöjen avulla. Pääosa nykytilanteen (2005) päästöistä aiheutuu rakennusten käyttövaiheessa ja seuraavaksi eniten liikenteessä (miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia vuodessa ja tonnia asukasta kohti vuodessa):

• rakentaminen	2,1 Mt	0,6 t/asukas
• käyttö	17,6 Mt/v	5,0 t/asukas, v
• henkilöliikenne	6,6 Mt/v	1,9 t/asukas, v
• yhteensä	26,2 Mt/v	7,4 t/asukas, v

Suurimpien kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenteellisten kasvihuonekaasupäästöjen määrä on nykytilanteessa (2005) noin 76 % koko maan vastaavista päästöistä (34 Mt/v) ja 37 % koko maan kaikista khk-päästöistä (vuonna 2008 70 Mt/v).

Selvityksessä arvioitiin myös yhdyskuntarakenteen tulevan kehityksen erilaisten mahdollisten kehityskulkujen seuraukset kasvihuonekaasujen päästöihin vuoteen 2050 asti. Arviointi koski 34 suurinta kaupunkiseutua, joiden osuus koko väestöstä on 68 % (vuonna 2050 noin 4,2 miljoonaa asukasta). Mahdollisia kehityskulkuja on hahmoteltu menneen kehityksen (1980–2005) perusteella, seuraavien perusoletusten ja -rajausten puitteissa:

- Perusura kuvaa tulevaa kehitystä perustuen menneen kehityksen (1980–2005) jatkamiseen.
- Vaihtoehtoiset mahdolliset kehityskulut (skenaariot) on muodostettu perusuraan nähden harventuvampana tai tiivistyvämpänä (taajamien maa-alan kulutus asukasta kohti vaihtelee) ja toisaalta keskittyvämpänä tai hajautuvampana vaihtoehtona (väestönkasvu kohdistuu enemmän tai vähemmän suuriin keskuksiin).

- On oletettu, että kaupunkiseudut (siihen kuuluvat kunnat yhteisesti) tekevät yhdyskuntarakenteellista politiikkaa eri skenaarioissa parhaimmillaan (tai huonoimmillaan) kuten perusuran ao. kriteerin suhteen "paras" tai "huonoin" kaupunkiseutu vuoteen 2050 mennessä.
- Hajautumiskehitys jatkuu vuoteen 2050 liikennejärjestelmän saavutettavuuden suhteen samantyyppisenä kuin 1980–2005 välisenä aikana.
- Nykyistä yhdyskuntarakennetta ei pureta ja täydennysrakentaminen (suhteessa alueen nykyiseen tiiveyteen) onnistuu kuten keskimäärin vuosina 1980–2005.
- Teknologian kehitys, energiatehokkuusmääräykset ja rakennuskannan uusiumisvauhti oletetaan sellaiseksi kuin ne nähdään uusimmissa teknologiaenakoinneissa koskien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuuksia (Teknologiapolut 2050, 2008).

On mahdollista, että nämä perusteet muuttuvat merkittävästi, jolloin arvioinnit on syytä päivittää. Laskentajärjestelmä mahdollistaa tarvittaessa hyvinkin poikkeuksellisten olettamusten tekemisen. Laskentajärjestelmä on kehitetty tätä selvitystä varten, joten sen myöhemmissä sovelluksissa on tunnettava mallinnuksen perusolettamukset ja niiden merkitys kokonaisuudessa.

Perusurassa, jossa suurimpien kaupunkiseutujen asukkaiden määrä vuonna 2050 on kasvanut nykytilanteen (2005) 3,5 miljoonasta 4,2 miljoonaan henkeen, kasvihuonekaasupäästöjen määrä vähenee vuoteen 2050 mennessä ao. kaupunkiseuduilla uudisrakentamisessa ja rakennuskannan korjaamisessa saavutettavien parannusten ansiosta keskimäärin 26 % (kaupunkiseudusta riippuen 22–42 %) asukasta kohti verrattuna nykytilaan. Henkilöliikenteen osalta vähennys on lähinnä ajoneuvojen ekotehokkuuden parantumisen ansiosta 27–35 % per asukas.

• rakentaminen	2,5 Mt	0,6 t/asukas
• käyttö	14,9 Mt/v	3,6 t/asukas, v
• henkilöliikenne	5,5 Mt/v	1,3 t/asukas, v
• yhteensä	22,9 Mt/v	5,5 t/asukas, v

Selvityksessä on myös arvioitu konkreettisia mahdollisuuksia kasvihuonekaasujen päästöjen vähennyksiin pitkällä aikavälillä ohjaamalla yhdyskuntarakenteen kehitystä oikealla tavalla. Arvioidut mahdolliset kehityskulut (skenaariot) kuvaavat erilaisia taajama- ja hajautumiskehityksiä. Tulokset osoittavat, että vaihtoehtoisten yhdyskuntarakenteellisten kehityskulujen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin vaihtelee kaupunkiseuduittain siten, että tiiviit ja keskittyvät taajamat tuottavat CO₂ekv-päästöjä noin 1,2 % vähemmän kuin perusura, kun taas harvenevat ja hajautuvat taajamat tuottavat noin 1,9 % enemmän. Ero pienimmän ja suurimman vaikutuksen välillä on yli 4 %.

Taajama- ja hajautumiskehityksen muutosten lisäksi tehdyt joukkoliikenteen käyttöä, asumisväljyyttä ja liikenteen hinnoittelua muuttavat toimenpiteet osoittivat testilaskennassa, että:

- Tiivistyvä yhdyskuntarakenne voimistaa muiden kasvihuonekaasupäästöjä vähentävien toimenpiteiden vaikutusta.
- Laajeneva ja hajautuva yhdyskuntarakenne vähentää muiden toimenpiteiden vaikutusta.
- Hajautuvan rakenteen muita toimenpiteitä heikentävä vaikutus on 10–30 %.
- Tiivistyvän rakenteen muita toimenpiteitä voimistava vaikutus on 5–20 %.

Kuinka paljon eri toimenpiteet lopulta tonnimääräisesti eri yhdyskuntarakenteissa vaikuttavat, riippuu arvioinnissa tehdyistä oletuksista. Muiden toimenpiteiden käytön taso on tässä selvityksessä sovitettu viimeaikaisten analyysien, esimerkiksi LVM:n ilmastopoliittisten strategioiden mukaisiksi.

Yhdyskuntarakenteen ja kasvihuonekaasupäästöjen keskinäiset vaikutusmekanismit on kuvattu pelkistettynä laskentamallin parametreihin. Todellisuudessa yhdyskuntarakenne muuttuu monimutkaisten keskinäisvaikutusten kautta. Yhdyskuntarakennetta ohjaavat mm. asukkaiden ja työpaikkojen sijoittuminen kaupunkiseudulla, siihen kytkeytyvät rakennustapavalinnat (mm. talotyypit ja aluetehokkuus) sekä asumisväljyys, jotka molemmat riippuvat myös elintason (tulotason ja varallisuuden) ja elämäntapojen tulevasta kehittämisestä. Lisäksi joukkoliikenteen järjestämisvalinnat ja hinnoittelu vaikuttavat asukkaiden sijoittumispäätöksiin ja ilmenevät monimuotoisesti eri asukasryhmissä ja eri alueilla.

Yhdyskuntarakenteen muutoksen ohjaamisella on mahdollista vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Yhdyskuntarakenteen muutokset vaikuttavat koko yhteiskuntaan monella tavalla ja useiden vuosikymmenien, jopa vuosisatojen ajan. Yhdyskuntarakennetta ohjaavat toimenpiteet on näistä syistä tehtävä ajoissa. Suomen kansainvälisesti verrattuna hyvin hajanaista yhdyskuntarakennetta on syytä tiivistää ja alueellista laajenemista rajoittaa. Näin voidaan välttyä tarpeettoman laajoilta ja vajaakäyttöisiksi jääviltä perusrakenteilta sekä lyhentää työ- ja asiointimatkojen sekä muun liikenteen etäisyyksiä. Tiivistyvällä ja keskittyvällä yhdyskuntarakenteella voidaan voimistaa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistoimien vaikuttavuutta ja toisaalta estää se, etteivät muilla toimenpiteillä aikaan saadut hyvät tulokset valu hukkaan. Jatkuvasti hajautuva yhdyskuntarakenne voi heikentää muiden toimenpiteiden vaikutuksia jopa 30 % ja tiivistyvällä rakenteella voidaan niitä vastaavasti voimistaa jopa 20 %.

1 Tutkimuksen tausta ja tavoite

Yhdyskuntien rakenne vaikuttaa yhdyskuntien toiminnasta aiheutuvaan liikenteen määrään, polttoaineiden kulutukseen ja tämän myötä kasvihuonekaasujen päästöihin. Myös yhdyskuntarakenteesta johtuva tarvittavan infrastruktuurin määrä ja infrastruktuurin ylläpito vaikuttavat yhdyskuntien kasvihuonekaasujen päästöihin.

Tutkimussuunnitelman mukaan "selvityksen ensimmäisenä tehtävänä on osoittaa mittaluokaltaan Suomen yhdyskuntien aiheuttamien kasvihuonekaasujen päästöjen määrä. Toisena tehtävänä on osoittaa yhdyskuntarakenteen kehityksen erilaisten kehityskulkujen seuraukset kasvihuonekaasujen päästöihin. Kolmas tehtävä on osoittaa konkreettiset mahdollisuudet kasvihuonekaasujen päästöjen vähennyksiin pitkällä aikatahtaimella ohjaamalla yhdyskuntarakenteen kehitystä asian kannalta hyvällä tavalla. Lopuksi selvityksen tuottamat luvut suhteutetaan Suomen kansainvälisiin sitoumuksiin kasvihuonekaasujen vähentämisessä."

Yhdyskuntien aiheuttamia kasvihuonekaasujen päästöjä arvioidaan sekä rakennusvaiheessa että yhdyskuntien toiminnassa (mukaan lukien kaikkien fyysisten rakenteiden käyttö, ylläpito ja yhdyskuntarakenteesta riippuva henkilöliikenne) pitkällä aikavälillä (vuoteen 2050 asti).

Yhdyskuntarakenteen kehityksen suurimmat vaikutukset syntyvät suurilla kaupunkiseuduilla ja taajamissa erityisesti väestöltään ja elinkeinotoiminnoiltaan kasvavilla alueilla. Tutkimuksessa on keskitytty 34 suurimman kaupunkiseudun muutoksien arviointiin. Nämä kaupunkiseudut kattavat noin 68 % Suomen väestöstä. Kaupunkiseutujen lisäksi "tutkimuksen tulee sisältää myös karkea arvio muiden alueiden yhdyskuntarakenteeseen kytkeytyvien päästöjen suuruusluokasta"... ja "myös karkea arvio oleellisiksi katsottavista alueidenkäytön erityisten muotojen aiheuttamien kasvihuonekaasujen päästöjen suuruusluokasta. Näitä voivat olla esimerkiksi loma-asuntojen ja muun vapaa-ajan toiminnan aiheuttamat päästöt ja kaupan suuryksiköiden sijoittuminen."

1.1

Peruskäsitteet

Yhdyskuntarakenteen "aiheuttamiksi" kasvihuonekaasupäästöiksi on tässä määritellyt ne päästöt, joita yhdyskuntien fyysisten rakenteiden (rakennusten ja perusrakenteiden) tuottaminen (rakentaminen alkaen rakennusmateriaalien ja raaka-aineiden valmistamisesta ja kuljettamisesta työmaalle), käyttö (lämmitys, ilmanvaihto, jäähdytys, vesi- ja jätehuolto ja muu sähkönkäyttö) ja yhdyskunnissa asuvien henkilöliikenne (työ-, asiointi- ja vapaa-ajan matkat) aiheuttavat mitattuna hiilidioksidiekvivalenttitonneina (CO₂ekv t) vuodessa.

Pääosa em. päästöistä "aiheutuu" siitä riippumatta millaiseksi yhdyskuntarakenne suunnitellaan tai rakennetaan. Asunnot ja toimitilat tietyn suuruiselle väestölle edellyttävät joka tapauksessa tiettyä määrää rakennustilavuutta ja perusrakenteita, jotka aiheuttavat khk-päästöjä sijainnistaan riippumatta. Osa päästöistä kuitenkin riippuu yhdyskuntarakenteesta eli siitä, minne rakennetaan (sijainti ilmasto- ym. maantieteellisissä olosuhteissa, suhteessa naapuriyhdyskuntiin, seudulliseen rakenteeseen sekä työpaikka- ja palvelukeskittymiin), millaisella aluetehokkuudella tai kortteli- ja talotyypeillä ja minkäläisten energia- ja liikennejärjestelmien varaan yhdyskunnat toteutetaan.

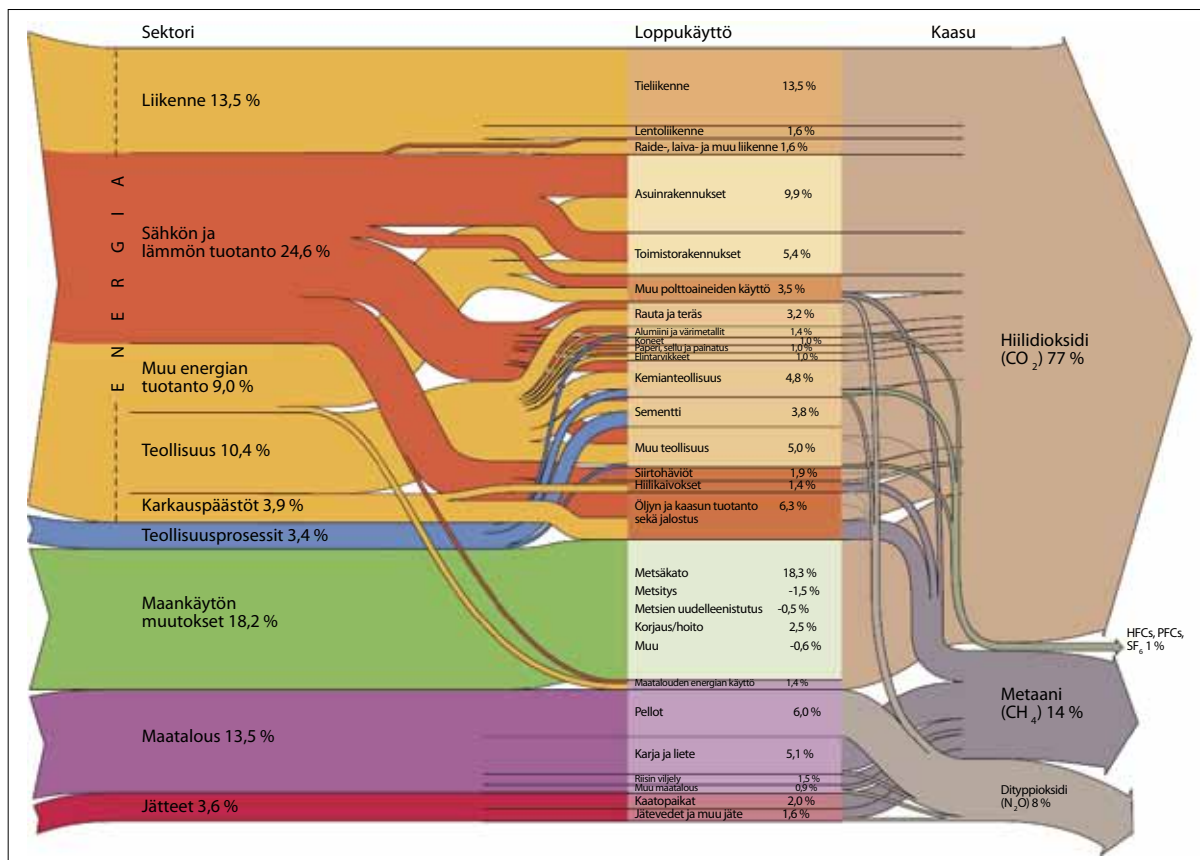
Yhdyskuntarakenteella tarkoitetaan tässä tutkimuksessa lähinnä yhdyskuntien fyysisiä rakenteita (rakennuksia, verkostoja ym. rakenteita ml. viher- ym. vapaa-alueet) ja niiden välisiä suhteita. Tämä johtuu siitä, että kasvihuonekaasupäästöt ovat viime kädessä seurauksena fyysisen ympäristön rakentamisesta ja käytöstä. Fyysiset rakenteet kuitenkin palvelevat toiminnallisia rakenteita (kuten asumista, työntekoa, vapaa-ajan toimintoja, liikkumista jne.) eli tästä syystä toiminnalliset rakenteet ja niiden subjektit eli ihmiset ovat kasvihuonekaasupäästöjen varsinaisia "aiheuttajia".

Yhdyskuntarakenne leviää suomalaisissa yhdyskunnissa usein varsin laajalle alueelle, jolloin esimerkiksi useita kuntia käsittävien kaupunkiseutujen tai työssäkäyntialueiden osalta voitaisiin käyttää myös käsitettä aluerakenne. Tässä tutkimuksessa käytetään kuitenkin käsitettä yhdyskuntarakenne, koska tutkimuskohteena ovat yksittäiset toiminnalliset yhdyskuntakokonaisuudet, kaupunkiseudut, riippumatta niiden sisällä olevista hallinnollisista tai muista rajoista. Aluerakenne voi käsitteenä sisältää useita kaupunkiseutuja, koko maakunnan tai valtakunnan alueen. Yhdyskuntarakenteeseen sisältyvät taajama-alueiden lisäksi myös ne haja-asutus- ja kokonaan rakentamattomat alueet, jotka jäävät tarkasteltavan toiminnallisen yhdyskuntarakenteen (kaupunkiseudun tai työssäkäyntialueen) sisälle.

Yhdyskuntarakenteeseen kuuluvat yksityiskohtaisemmalla tasolla mm. korttelimuodot, talotyypit, liikenneverkot ym. tekniset järjestelmät. Erityisesti tässä tarkoitetaan niitä yhdyskuntarakenteellisia valintoja, joita suunnittelun ja toteutuksen yhteydessä tehdään ja joilla on tai voi olla merkittäviä vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöjen syntymiseen. Käytännössä tutkimuksessa on rajauduttu 34 suurimpaan kaupunkiseutuun, joita SYKE:n YKR-seurantajärjestelmä koskee ja joista on saatavissa tätä tutkimusta varten yhtenäistä tilastollista ja alueellisesti rajattua tietoa menneestä kehityksestä ja arvioita tulevasta kehityksestä (ks. luku Perusura). Koska YKR-seurantajärjestelmä on toteutettu ruututarkasteluna (1 km * 1 km ja 250 m * 250 m), on ruututasoa tarkemmat yhdyskuntarakenteen ominaisuudet (kortteli- ja talotyypit) yleistetty ruutukohtaisiksi tiedoiksi. Perusuran mallinnus perustuu Tilastokeskuksen väestöennusteeseen, jonka taustaoletuksiin sisältyvät menneen kehityksen pohjalta arvioidut alue- ja yhdyskuntarakenteelliset muutokset (muuttoliike yhdyskuntien välillä sekä haja-asutuksen ja taajamien välillä)

Kasvihuonekaasupäästöillä tarkoitetaan sellaisia ihmisen toiminnasta aiheutuvia tai luonnossa muuten syntyviä kaasumaisia päästöjä, jotka lisäävät ilmakehän keskimääräisiä pitkän aikavälin lämpötiloja ns. kasvihuoneilmiön kautta¹. Näihin kaa-

¹ Vesihöyry ja hiilidioksidi ovat luonnollisia ilmakehän kaasuja ihmisen toiminnasta riippumatta ja ne ylläpitävät maanpinnalla ihmiselle ja muille eliöille suotuista lämpötilaa. Ilman kasvihuonekaasuja maapallon pintalämpötila olisi vain -15 °C. Teollistumisen aikakausi (1700-luvulta alkaen) ja siihen liittyvä hiilen ja muiden fossiilisten polttoaineiden poltto ovat johtaneet kehitykseen, jossa ilmakehän CO₂-pitoisuus on kasvanut 36 % runsaassa 200 vuodessa.



Kuva 1. Maailman kasvihuonekaasupäästöjen synty sektoreittain ja päästömuodoittain vuonna 2005 (Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko 2009, alkuperäinen lähde: Baumert, K. A. et al. 2005. Navigating the Numbers – Greenhouse Gas Data and International Climate Policy. World Resources Institute.). Yhdyskuntarakenteeseen liittyviä suurimpia päästölähteitä ovat loppukäyttäjittäin ylhäältä lukien liikenne, asuin- ja toimistorakennukset, rakennusmateriaalien (rauta, teräs, alumiini, värimetallit, koneet, kemikaalit, sementti) valmistus ja polttoaineiden hankinta (hiilikaivokset, öljyn ja kaasun tuotanto).

suihin luetaan tässä hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄) ja dityppioksidi² (N₂O), joita painoyksiköissä mitaten yhdessä nimitetään hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO₂ekv)³.

Pääosa kasvihuonekaasupäästöistä syntyy fossiilisten polttoaineiden käytöstä energiantuotannossa mm. rakennusten lämmityksessä, valaistuksessa ja muussa sähkökäytössä sekä liikenteessä (kuva 1). Yhdyskuntarakenteella voidaan vaikuttaa kaikkiin em. päästölähteisiin.

² Saman kaasun muita nimityksiä ovat: typpioksiduli, dityppimonoksidi eli ilokaasu.

³ Kasvihuonekaasujen kokonaismäärää eli hiilidioksidiekvivalenttia (CO₂ekv) arvioitaessa metaani CH₄ kerrotaan yleensä luvulla 21 ja dityppioksidi N₂O luvulla 310 ennen yhteenlaskua hiilidioksidin kanssa, koska näiden kaasujen vaikutus ilmakehän lämpenemiseen on arvioitu näiden lukujen osoittamaa kerrointa suuremmaksi kuin hiilidioksidin. Kertoimissa on otettu huomioon keskimäärin 100 vuoden pituinen aikajakso, jolloin vaikutukset ilmenevät. Jos aikaväliksi otettaisiin 20 vuotta, kertoimet olisivat metaanilla 72 ja typpioksiduulilla 289. Metaani kestää ilmakehässä keskimäärin 12 vuotta, dityppioksidi 114 vuotta ja hiilidioksidi satoja vuosia. Hiilidioksidista puolet häipyy 30 vuodessa, 70 % muutamassa vuosisadassa ja 20 % säilyy vuosituhansia. Kioton pöytäkirjassa on em. kaasujen lisäksi käsitelty seuraavia kasvihuonekaasuja: rikkiheksafluoridi SF₆, fluorihilivety HFC ja perfluorihilivety PFC (IPCC 2007, McKibben 2007, National Geographic 2008, Kioton pöytäkirja 2004).

Vaikutuksilla tarkoitetaan tässä niitä muutoksia kasvihuonekaasupäästöissä, joita yhdyskuntarakenteelliset muutokset välittömästi tai välillisesti aiheuttavat koko fyysisen yhdyskuntarakenteen elinkaaren aikana.

Elinkaareen sisältyvät tuotanto- ja käyttövaiheet alkaen raaka-aineiden valmistuksesta ja päätyen rakenteiden purkamiseen, käsittelyyn jätteenä tai kierrätykseen. Fyysisen yhdyskuntarakenteen keskimääräiseksi eliniäksi on oletettu 50 vuotta. Tämä tarkoittaa sitä, että rakenteiden tuottamisen (rakentamisen) aiheuttamat kasvihuonekaasut lasketaan mukaan kerran jokaisen vuonna 2050 tilanteessa olevan rakenneosan kohdalta ja rakennusten lämmitysenergian, valaistuksen ym. sähkön käytön tuottamat kasvihuonekaasut samoin kuin yhdyskuntarakenteen aiheuttama (henkilö) liikenne lasketaan 50 vuoden ajalta riippumatta siitä, milloin kukin rakenneosa on todellisuudessa rakennettu.

Liikenne sisältää kaiken henkilöliikenteen mitä kaupunkiseutujen asukkaat aiheuttavat riippumatta siitä suuntautuuko se kaupunkiseudun rajojen sisällä vai ulkopuolella olevaan kohteeseen (työpaikkaan, kauppapalveluun, vapaa-ajan kohteeseen tms.), mutta ei tavaraliikennettä. Matkamäärät (kpl/henkilö vuodessa) vastaavat henkilöliikennetutkimuksen (HLT 2004–2005) keskimääräisiä matkamääriä. Matkapituudet (km) lasketaan kaupunkiseutu- ja ruutukohtaisesti saavutettavuusanalyysin tuloksien perusteella.

1.2

Muut yhteiskunnalliset tavoitteet

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitetta voidaan vertailla muihin yhteiskunnallisiin tavoitteisiin kuten yhdyskuntarakenteen kustannusten kurissa pitämiseen ja laadun nostamiseen. Kasvihuonekaasupäästöjen määrä on vain yksi kriteeri monien muiden kaupunkiympäristön rakentamista ohjaavien kriteerien joukossa. Ilmastomuutoksesta ja sen seurausten arvioidusta vakavuudesta johtuen asetutvat kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamistoimet ja niihin liittyvät energian käyttöä koskevat määräykset kuitenkin erityisasemaan. Tämä johtuu siitä, että kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamaton kasvu todennäköisesti hankaloittaa useiden muiden tavoitteiden saavuttamista.

Ilmaston lämpenemisestä saattaa olla myös hyödyllisiä vaikutuksia, kuten aiempaa vähäisempi lämmitystarve tai suotuisimmat kasvuolosuhteet maa- ja metsätaloudessa koskien myös kaupunkiseutuja, kuten puutarhaviljelyä tai vaikkapa kaupunkimaa-taloutta. Toisaalta negatiiviset vaikutukset kuten mahdollinen merenpinnan nousu ja rankkasateiden määrän kasvu ja niistä johtuvat tulvansuojelu- ja vesihuoltoverkon suojaustarpeet tai lisääntyvä jäähdytysenergian tarve aiheuttavat sekä lisäkustannuksia että -päästöjä. Lumettomien aikojen piteneminen, räntä- ja vesisateiden määrän kasvu lisäävät ulkoalueiden keinovalaistuksen tarvetta ja myös vähentävät ulkona-liikkumisen miellyttävyyttä.

Maailmanlaajuisesti ilmastomuutoksen aiheuttamat nettovaikutukset on arvioitu niin negatiivisiksi, että kansainvälisin sopimuksin⁴ pyritään ilmastomuutoksen torjumiseen, pysäyttämiseen tai jopa kääntämiseen kohti aikaisempaa, hyväksyttävänä pidettyä tilaa. Yhtenä merkittävimpänä keinona pidetään energiankulutuksen hillitsemistä. Energiankäytössä on tällöin kiinnitettävä erityishuomio uusiutumattomien energialähteiden käytön rajoittamiseen. Toimenpiteiden joukosta on etsittävä ne, joilla voidaan tehokkaimmin vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä eli ne, jotka voidaan toteuttaa pienimmin kustannuksin ja joilla on parhaat kaupunkiympäristön ja elämän laatua nostavat ominaisuudet. Hyvien ratkaisujen löytymisessä kysymys on suunnittelun ja tuotekehittelyn innovatiivisuudesta, mikä lisää tarvetta tutkimukseen, koulutukseen ja yleiseen tiedon tason lisäämiseen.

Tutkimuksen tavoite on muodostaa kokonaiskuva nykyisen ja tulevan yhdyskuntarakenteen vaikutuksista kasvihuonekaasupäästöihin sekä arvioida miten eri toimenpiteillä päästöjen määrään voidaan vaikuttaa.

⁴ Merkittävimmät kasvihuonekaasujen rajoittamiseen tähtäävät kansainväliset sopimukset ovat Kioton pöytäkirja (1997) ja useat Euroopan Unionin energiankäytön tehokkuutta lisäävät päätökset (ks. luku "Yhdyskuntarakenteeseen vaikuttavat toimenpiteet...").

2 Nykytietämys yhdyskuntarakenteen khk-vaikutuksista

Yhdyskuntarakenteen ja ilmastomuutoksen tai kasvihuonekaasujen välisiä yhteyksiä alettiin tutkia 1980-luvun lopulla, jolloin teema oli yleensä yhtenä kestävä kehityksen ja ympäristösuojelun edistämisen lukuisia muita teemoja. Ilmastomuutos ja kasvihuoneilmiö mainitaan mm. kansainvälisiä lähteitä referoineessa kirjallisuustutkimuksessa (erityisesti ajankohdalle poikkeuksellisen edistyksellisen Alankomaiden vuonna 1989 julkaistun kansallisen NEPP-ohjelman kohdalla, ks. mm. lähteen s. 39–43):

1. Lahti, P. ja Harmaajärvi, I. 1992. Yhdyskuntarakenne ja kestävä kehitys, kansainvälisiä kokemuksia. Ympäristöministeriö, kaavoitus- ja rakennusosasto. Tutkimusraportti 1 1992. Helsinki 1992. 92 s.

Hollannin NEPP-ohjelma (National Environmental Policy Plan) totesi kasvihuoneilmiön keskeisimmäksi globaaliksi ongelmaksi, johon liittyvät ilmakehän lämpeneminen, merenpinnan kohoaminen ja otsonikato. Rakennustuotanto, energiantuotanto, liikenne ja kuluttajakäyttäytyminen ovat niiden alojen joukossa, joissa toimenpiteitä vuoteen 2010 asti ulottuvassa ohjelmassa tulisi tehdä. Ohjelmaan sisältyvään "Kestävä rakentaminen" -projektiin sisältyi myös yhdyskuntarakennetta sivuavia toimenpiteitä, kuten asunto- ja työpaikka-alueiden sijoittaminen joukkoliikennettä tukien.

VTT:llä ryhdyttiin helmikuussa vuonna 1991 kehittämään arviointimallilla, jolla kyettäisiin tekemään karkeita laskelmia asuntoalueen rakentamisen, käytön ja liikenteen ympäristövaikutuksista (materiaalien ja energian kulutuksesta sekä päästöistä ja jätteistä):

2. Harmaajärvi, I. 1992. Kestävän kehityksen tavoitteen mukainen asuntoalue. Arvio neljästä tyypillisestä suomalaisesta asuntoalueesta kestävä kehityksen kannalta. VTT Tiedotteita 1378. Espoo 1992. 60 s.

Tärkein kasvihuonekaasu hiilidioksidi sisältyi arviointimalliin, mutta ei muita kasvihuonekaasuja. Tutkimukseen sisältyi neljän asuntoalueen arviointi ja sen perusteella voitiin tehdä jo joitakin johtopäätöksiä suunnitteluvalintojen (kuten alueen koon, rakentamistehokkuuden, talotyyppien ja materiaalivalintojen) vaikutuksista esimerkiksi hiilidioksidipäästöihin. Asuntoalueeseen laskettiin kuuluviksi asuinrakennukset, asuntoalueen peruspalvelut ja muu perusrakenne (liikenne ja teknisen huollon verkot).

Suomessa kansallinen ilmasto-ohjelma laadittiin vuonna 2000 ja sen osana oli mm. ympäristöministeriön sektoriohjelma, jossa yhdyskuntarakenteen ja ilmastomuutoksen yhteyksiä arvioitiin:

3. Lahti, P., Harmaajärvi, I. & Huhdanmäki, A. 2000. Alue- ja yhdyskuntarakennetta koskevat osat teoksessa Kansallinen ilmasto-ohjelma – ympäristöministeriön sektoriselvitys. Helsinki 2000.

Sen yhteydessä tehtiin ensimmäiset arviot yhdyskuntarakenteesta 'aiheutuvien' kasvihuonekaasupäästöjen kokonaistasona koko maan laajuisesti. Muutosarviot ulotettiin vuoteen 2010 asti. Sitä varten tehty tutkimustyö raportoitiin täydellisempänä:

4. Harmaajärvi, I., Huhdanmäki, A. & Lahti, P. 2001. Yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt. Suomen ympäristö 522. Ympäristöministeriö. Helsinki 2001. 64 s.

Julkaisusta tehtiin myös englanninkielinen lyhennetty versio:

5. Harmaajärvi, I., Huhdanmäki, A. & Lahti, P. 2002. Urban form and greenhouse gas emissions. Ministry of the Environment. The Finnish Environment 573. Helsinki 2002. 28 p.

Selvitys rajattiin rakennuskannan osalta "asuin- ja palvelurakennuksiin" (ja niitä koskevaan perusrakenteeseen) johtuen ympäristöministeriön ja kauppa- ja teollisuusministeriön työnjaosta kansallisessa ilmasto-ohjelmassa.

Hankittua arviointiosaamista kehitettiin edelleen ympäristöklusterin rahoittamassa tutkimusohjelmassa koskien asuin ympäristön mahdollisia muutoksia kahdessa skenaariossa koko Suomessa aikavälillä 2000–2030:

6. Lahti, P. & Halonen M. 2004. Asuin ympäristön muutos ja sen ekotehokkuus Suomessa 2000–2030. Arviointimallin kehitys ja soveltaminen kahdessa yhdyskuntarakenneskenaariossa: Nykykehitys ja kaupunkimaisen pientalon vaihtoehto. VTT Tutkimusraportti VTT-R-03399-06. 89 s.

Selvitys koski "asuin ympäristöä", johon sisältyivät asuntoaluetasoiset rakennukset (kaikki asuinrakennukset ja asuntoaluekohtaiset palvelurakennukset), niitä palveleva perusrakenne ja asukaskohtainen henkilöliikenne (työ- ja asiointiliikenne). Liikenteen osalta arviointi kattoi vain energiankulutukseen (kWh) ilman muunnosta kasvihuonekaasupäästöiksi.

Arviointimenetelmien siirtäminen lähemmäksi paikallisia olosuhteita mahdollistui viiden maakuntaliiton ja ympäristöhallinnon rahoittamassa Metka-selvityksessä 2008, jossa kasvihuonekaasupäästöt olivat osana alue- ja yhdyskuntarakenteen muutoksien ekotehokkuuden vaikutusarviointia:

7. Lahti P., Halonen M. & Wahlgren I. 2008. Metropolialueen aluerakennevaihtoehtojen ekotehokkuus. VTT Tutkimusraportti VTT-R-01343-08. Espoo 6.5.2008. 94 s.

Ilmastomuutoksen vaikutuksia ja niihin vaikuttamista yhdyskuntasuunnittelun keinoin on lisäksi tutkittu kohdealueittain pieninä ja suurina kokonaisuuksina (esimerkiksi Helsingin Kalastamassa, Espoossa, pääkaupunkiseudulla, Uudenmaan maakunnassa, Kuopiossa ja Kokkolassa). Näitä on referoitu lähteessä:

8. Wahlgren I., Kuismanen K. & Makkonen L., Ilmastonmuutoksen huomioiminen kaavoituksessa – tapauskohtaisia tarkasteluja. VTT-R-03986-08. Espoo 9.5.2008. 173 s.

Seuraavassa tehdään lyhyt yhteenveto em. tutkimuksessa arvioiduista yhdyskuntarakenteen aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä (lähteistä 2, 4, 6, 7 ja 8).

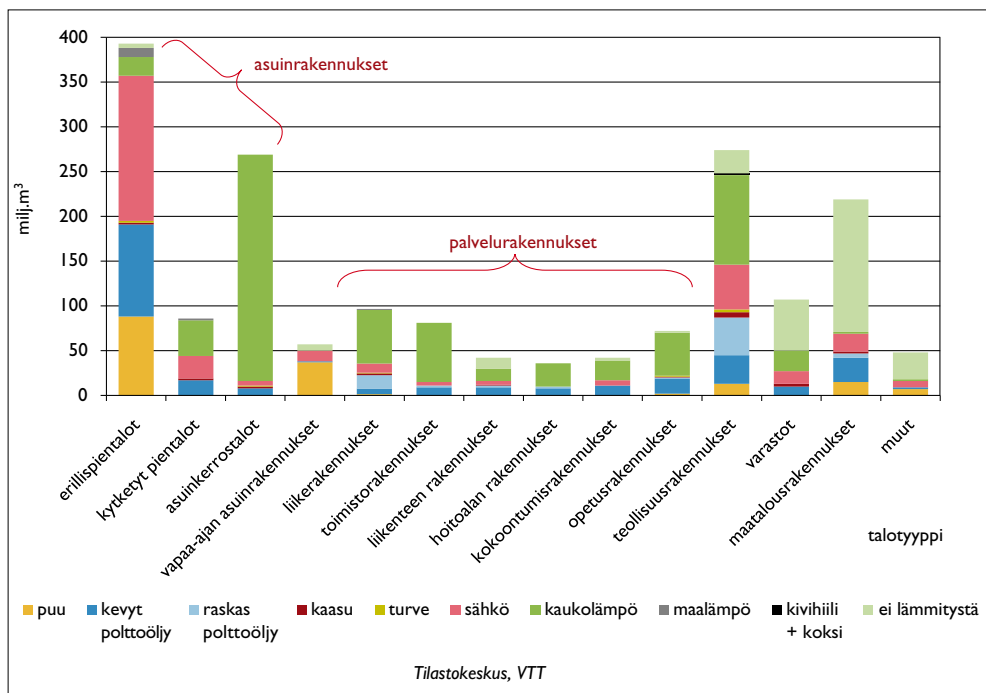
Nykytilanteen yhdyskuntarakenteesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt

Taulukko 1. Yhdyskuntarakenteesta johtuvat CO₂ekv-päästöt asukasta kohti eri tutkimusten (edellä mainitut lähteet) mukaan. Tulevaisuutta (vuosia 2010, 2030 ja 2050) koskevat kehitysarviot ovat perusuran tai sitä vastaavien trendiskenaarioiden mukaisia. Tosin osassa lähteessä 8 referoituja selvityksiä on oletettu muista poiketen huomattava vähennys rakennusten lämmityksen ominaisenergiankulutuksessa, jonka takia rakennuksia koskevat luvut ovat muita selvästi alhaisempia. Eri lähteistä kootut luvut eivät ole muutenkaan suoraan vertailukelpoisia, koska arvioinnin kohdealueet ja -vuodet ovat erilaisia, oletukset teknologisista ym. muutoksista tulevaisuudessa vaihtelevat, osassa on kyse pelkistä CO₂-päästöistä (ilman muita kasvihuonekaasupäästöjä) ja myös henkilöliikenteen rajaukset ovat hieman erilaisia. Lähteessä 6 liikenteen osalta arviointi koski energiankulutusta, ei päästöjä. Rakennuksia koskevat asukasta kohti lasketut päästöarvot ovat myös herkkiä käytetyille asumisväljyyksille ja eri selvityksissä on käytetty sekä alueesta että ajankohdasta johtuen erilaisia väljyyksilukuja. Lukuihin eivät useimmiten sisälly toimisto- ym. toimitilojen, teollisuuslaitosten, maatalousrakennusten ja vapaa-ajanrakennusten yms. energian käytöstä, vapaa-ajan liikenteestä (ml. pitkämatkainen liikenne) ja tavarankuljetuksesta aiheutuvat CO₂ekv-päästöt. Puuttuvien yhdyskuntarakenteen osien ja -toimintojen osalta päästöt eivät välttämättä riipu niinkään yhdyskuntarakenteellisista ratkaisuksista kuin esimerkiksi teollisuuden alasta, toimialarakenteesta (esimerkiksi niiden energiantensiivisyydestä) tai elämäntapavalinnoista (kuten kesämökkien määristä, etäisyyksistä tai käytöstä).

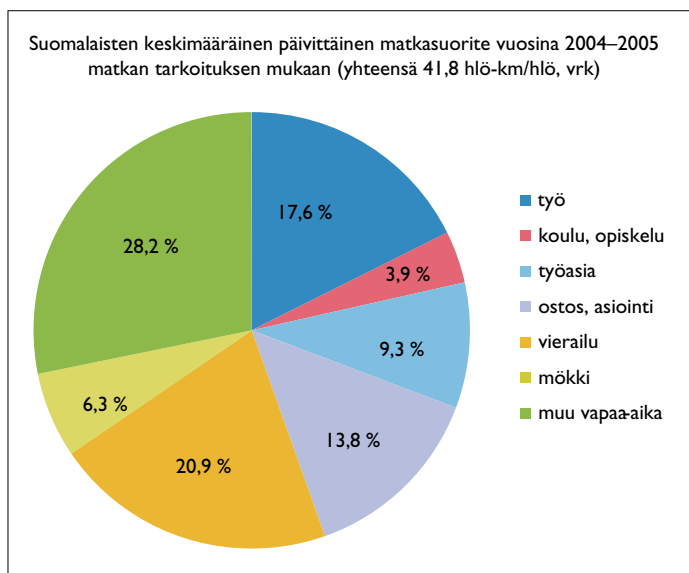
	CO ₂ /CO ₂ ekv tonnia/asukas vuodessa						
	lähde 2	lähde 4	lähde 6	lähde 4	lähde 8	lähde 6	lähde 7
laskennan kohdevuosi	1992	1998	2000	2010	2020–2035	2030	2050
käytetty khk-indikaattori	CO ₂	CO ₂ ekv	CO ₂ ekv	CO ₂ ekv	CO ₂ ekv	CO ₂ ekv	CO ₂ ekv
asuin- ja palvelurakennukset + infra	3,1	3,3	2,8	4,2	3,0	3,4	5,3
yhdyskuntatasoinen henkilöliikenne	0,4	0,8		0,8	1,3		1,5
yhteensä	3,5	4,1		5,0	4,3		6,8

Koska arviot koskevat rakennuskannan osalta useimmissa rajatusti "asuin- ja palvelurakennuksia", joihin on laskettu asuin-, liike- ja julkiset rakennukset (ml. niitä palveleva perusrakenne), on niiden lisäksi syytä arvioida myös muiden (lämmitettävien) rakennustyyppien osuus. Rakennus- ja huoneistorekisteristä (RHR:stä) laskettavissa olevien tietojen mukaan (kuva 2) tulisi taulukon 1 rakennuksia koskeviin vuosien 1998–2000 päästöihin lisätä noin 23 % eli noin 0,7–0,8 miljoonaa tonnia, jotta päästään koko rakennuskannan tuottamalle päästötasolle. Puuttuvat henkilöliikenteen osat (vapaa-ajan liikenteen eri muodot) lisättynä kokonaispäästöt kasvavat vielä noin 0,5 tonnilla asukasta kohti⁵. Vapaa-ajanliikenteestä kertyy suhteellisen paljon henkilökilometrejä (kuva 3).

⁵ Arvio perustuu Henkilöliikennetutkimuksen 2004–2005 verkossa julkaistuihin tietoihin henkilökilometreistä. Päästötonnien arvioiminen edellyttäisi tietoja matkaryhmien ajoneuvokuormituksista (hlöä/ajoneuvo), joista voitaisiin laskea ajoneuvosuoritteet. Näitä ei em. tietoihin sisälly, vaan tätä varten on tehty karkea arvio. Tarkempi arvio edellyttäisi parempia lähtötietoja kuin mitä on ollut käytettävissä.



Kuva 2. Rakennuskannan koostumus talotyypeittäin ja lämmönlähteittäin (2001). Asuin- ja palvelurakennusten lisäksi on tässä arvioitava muut lämmitettävät rakennukset. Senkin jälkeen jää arvioimatta muissa rakennuksissa (myös lämmittämättömissä) tarvittavan valaistuksen ym. sähkölaitteiden kuluttaman energian aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt.



Kuva 3. Suomalaisten keskimääräinen matkasuorite (kotimaan matkat, kaikki kulkutavat, henkilö-km/henkilö, vrk) vuosina 2004–2005 (Henkilöliikennetutkimus 2004–2005). Yhdyskuntasoinen työ- ja asiointiliikenne (ml. koulumatkat ja työasiamatkat) on vajaa puolet koko henkilömatkasuoritteesta. Loput matkat (vihreän eri sävyillä) ovat vapaa-ajan matkoja, joissa ajoneuvojen kuormitusaste (henkilö/ajoneuvo) on suurempi kuin työ- ja asiointimatkoissa, joten ajoneuvokilometreissä (ja siitä johtuen myös päästöissä) vapaa-ajan matkojen osuus ei ole näin suuri.

Edellä olevien korjausten ja täydennysten jälkeen vuosien 1998–2000 rakennuskannan kokonaispäästöiksi saadaan noin 4,5 miljoonaa tonnia asukasta kohti vuodessa ja henkilöliikenne mukaan luettuna yhdyskuntarakenteen kokonaispäästöiksi noin 6,6 tonnia asukasta kohti vuodessa.

Olettaen "nykytilanteen" poikkileikkausvuodeksi noin 2005 ja väestön määräksi 5,2 miljoonaa asukasta, saadaan yksikköpäästöllä 6,6 tonnia/asukas vuodessa yhdyskuntien asuin- ja palvelurakennusten ja henkilöliikenteen CO₂ekv-päästöiksi noin 34 miljoonaa tonnia vuodessa. Tämä on lähes puolet (49 %) Suomen koko CO₂ekv-päästöistä (kuvat 4–6), jotka vuonna 2008 olivat 70,1 tonnia/vuosi (Tilastokeskus 2010) eli noin 13,5 tonnia asukasta ja vuotta kohti⁶.

Tämän tarkempaan aiempien tutkimusten vertailuun ei tässä ole syytä mennä, vaan keskittyä uusien tietojen ja arviointityökalujen avulla saataviin aiempaa luotettavampien arvioiden tekoon.

Kansainvälisenä vertailuna on syytä ottaa esiin empiirinen tutkimus yhdyskuntarakenteen ja liikenteen energiankulutuksen välisistä suhteista. Aiempia lähinnä tilastollisiin selvityksiin perustuvia kansainvälisiä tutkimustuloksia (Newman & Kenworthy 1989) haluttiin testata pohjoismaisella laajalla empiirisellä tutkimuksella (Næss 1995), joka koski Norjan, Ruotsin, Tanskan ja Islannin kaupunkeja. Kaupunkien liikenteen energiankulutusta verrattiin taajama-alueiden asukastiheyteen. Tämän empiirisen tutkimuksen mukaan taajaman pinta-alan kaksinkertaistuminen asukasta kohti lisää liikenteen energiankulutusta asukasta kohti noin 50 %. Tilastollisen korrelaation merkitsevyys oli kohtuullisen hyvä (R² = 0,58) ja sen perusteella voidaan karkeasti arvioida liikenteen energiankulutus asukasta kohti taajaman maa-alan kulutuksen perusteella seuraavalla kaavalla: 3 % käytetystä maa-alasta (m²/asukas) + 9 = liikenteen edellyttämä energia GJ/v asukasta kohti.

Suomalaisista taajamista tehty vertaileva selvitys tuotti samansuuntaisia tuloksia (Matinheikki 1995). Suomalaiset taajamat ovat kuitenkin keskimäärin harvempia kuin muissa pohjoismaissa ja tuottavat siksi keskimäärin enemmän liikennesuoritteita ja energiankulutusta asukasta kohti. Tästä erosta johtuen maa-alan kulutuksen lisäkasvu asukasta kohti ei enää vaikuta niin jyrkästi kuin muissa pohjoismaissa puhumattakaan muista Euroopan maista.

Muiden pohjoismaiden tasoon pääseminen edellyttäisi suomalaisten taajamien tiivistämistä noin kaksinkertaiseksi nykyisestä. Silloin liikenteen energiankulutus (MJ/asukas vuodessa) ja vastaavat päästöt laskisivat yli kolmanneksella nykyisestä. Tämä ei ole käytännössä mahdollista muuten kuin noudattamalla useiden vuosikymmenien ajan tiukkaa maa-, kaavoitus- ja rakennuslupapolitiikkaa (eli uudisrakentamisen sijainninsäätelyä) – harjoittamalla voimakasta täydennysrakentamista ja kaupunkiseutujen sisäistä kasvua ja rajoittamalla tiukasti uusien rakentamisalueiden käyttöönottoa nykyisten taajamarajojen ulkopuolelta.

⁶ Kioton pöytäkirjan mukainen Suomen sallittu kasvihuonekaasupäästöjen määrä vuosina 2008–2012 on keskimäärin 71 miljoonaa tonnia/vuosi. Ennakkotieto Suomen khk-päästöistä vuonna 2008 on samalla tasolla eli noin 70,8 Mt/v (Tilastokeskus 2009) eli noin 13,6 tonnia/asukas. Tästä luvusta arvioitu 6,6 Mt on noin 48 %. Mikäli teollisuuden khk-päästöt jatkavat viime vuosien alenevaa kehityssuuntaansa, nousee yhdyskuntarakenteen osuus edelleen.

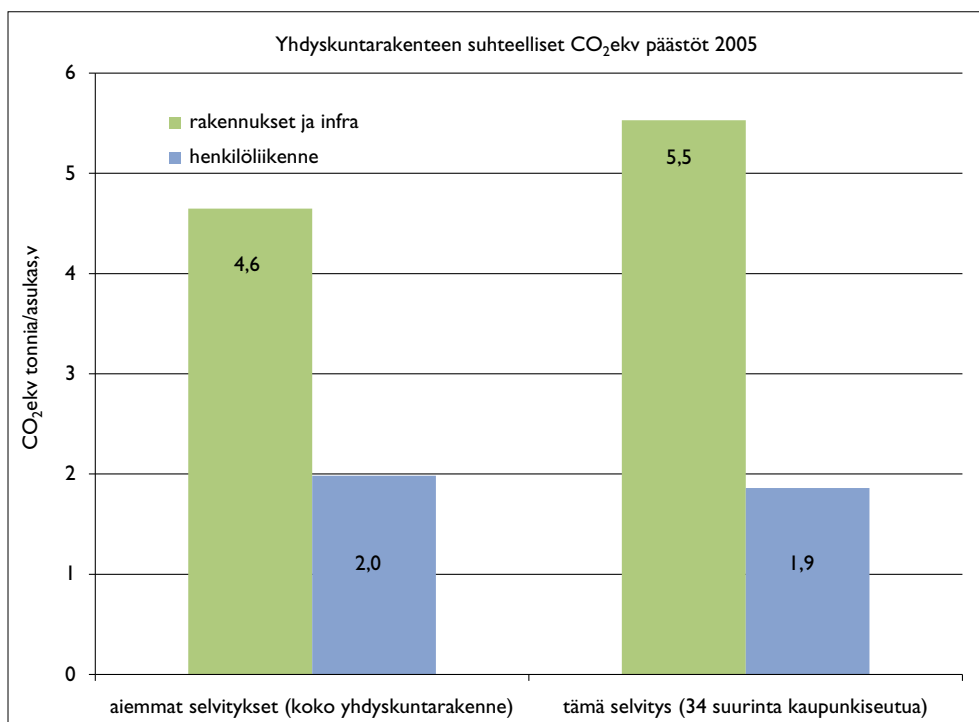
Vertailu tämän selvityksen arvioihin

Tässä selvityksessä tehty 34 suurinta kaupunkiseutua ja nykytilannetta (2005) koskeva rakennus- ja huoneistorekisterin aineistoon perustuva 1 km * 1 km ruutuihin (YKR) perustuva karkea CO₂ekv-päästölaskelma antoi seuraavat tulokset (miljoonaa tonnia vuodessa ja tonnia asukasta kohti vuodessa) energiankäyttö- eli päästölähteittäin:

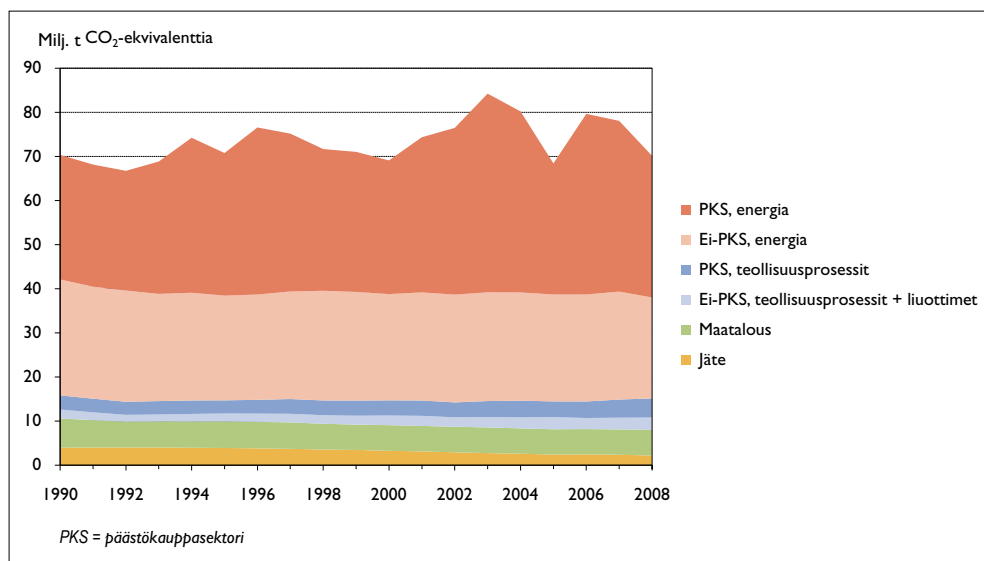
• rakentaminen	2,1 Mt	0,6 t/asukas
• käyttö	17,6 Mt/v	5,0 t/asukas, v
• henkilöliikenne	6,6 Mt/v	1,9 t/asukas, v
• yhteensä	26,2 Mt/v	7,4 t/asukas, v

Tässä jaottelussa "rakentaminen" tarkoittaa rakennettuun ympäristöön (rakennuksiin ja perusrakenteeseen) tuotannon aikana sitoutunutta energiaa. "Käyttö" tarkoittaa rakennusten ym. rakenteiden vuosittaista käyttöä (joka edellyttää lämmitystä, jäähdytystä, valaistusta ja muuta sähkön käyttöä). "Liikenne" puolestaan sisältää sekä yhdyskuntatasoisen että pitkämatkaisen henkilöliikenteen kuluttaman energian (ei kuitenkaan lento- eikä laivaliikenteen).

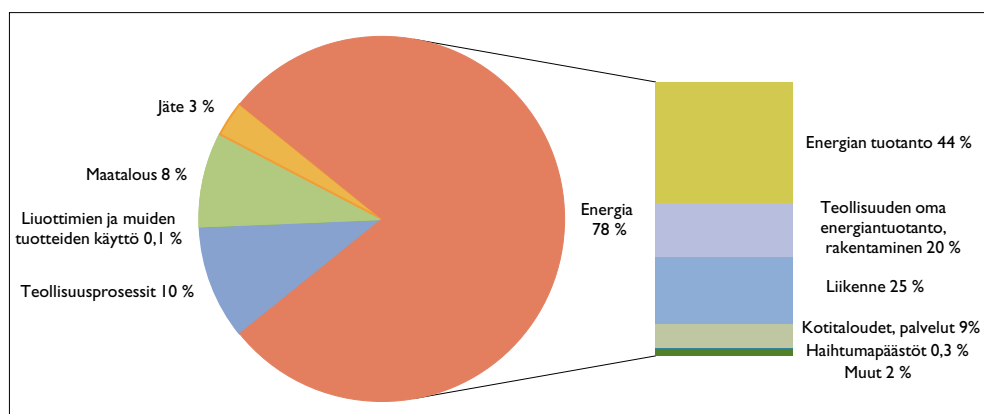
Vertailua aiempiin tutkimustuloksiin voidaan tehdä suhteellisten khk-päästöjen (tonnia/asukas) tasolla (kuva 4). Vertailu on kuitenkin jonkin verran ongelmallista, koska 34 suurimman kaupunkiseudun ja muun maan yhdyskuntarakenteiden välillä on eroja, joiden päästövaikutuksia tässä tutkimuksessa ei ole selvitetty. Ero aiempien tutkimusten ja tämän selvityksen karkean kokonaisarvion välillä ei ole kovin suuri (noin +0,8 tonnia/asukas eli noin +11 %, kuva 4). Rakennusten ja infrastruktuurin



Kuva 4. Suomen yhdyskuntarakenteesta johtuvat suhteelliset CO₂ekv-päästöt (tonnia/asukas vuodessa) nykytilanteessa aiempien ja tämän selvityksen mukaan. Ero kokonaistasossa (6,6 tonnia verrattuna 7,4 tonniin) on noin 12 % ja selittyy rakennuksia ja infraa koskevien lähtötietojen ja rajausten eroista.



Kuva 5. Suomen CO₂ekv-päästöt ja niiden vaihtelu vuosina 1990–2008 (Tilastokeskus 2010).

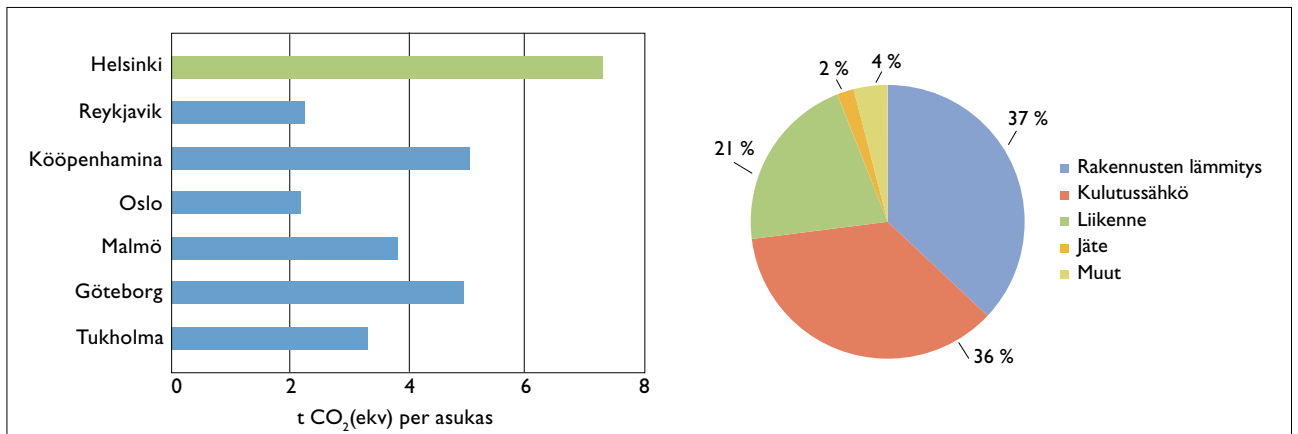


Kuva 6. Kasviuonekaasupäästöjen (yhteensä 70,1 miljoonaa CO₂ekv tonnia) lähteet ja jakauma Suomessa 2008 (Tilastokeskus 2010). Valtaosa syntyy "energiantuotannossa", josta suurin osa on myytävän lämmön ja sähkön tuotantoa esimerkiksi asuntojen ja toimitilojen tarpeisiin, mutta sen lisäksi teollisuus ja asuminen tuottavat osan tarvitsemastaan energiasta itse omaan käyttöönsä samoin kuin liikenne.

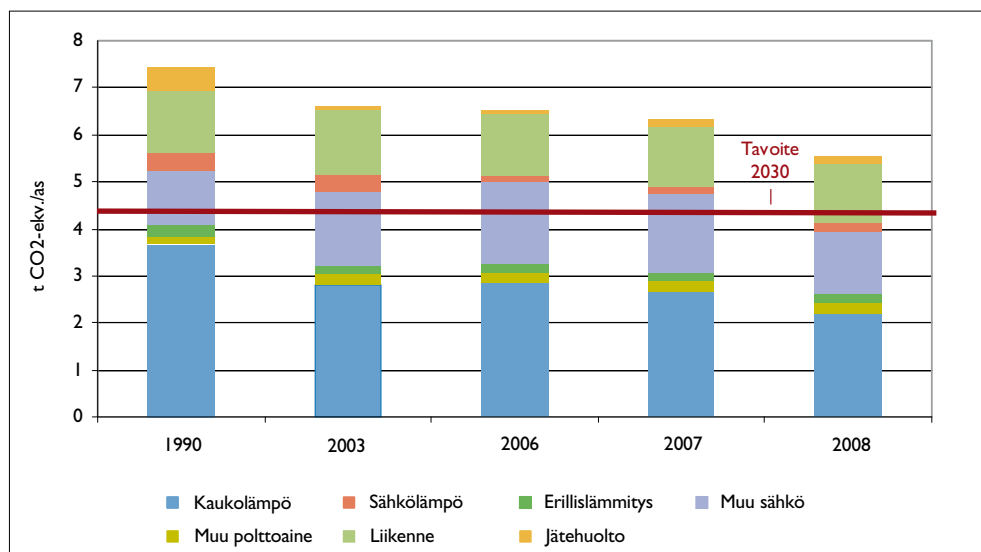
osalta erikseen tarkasteltuina ero on suurempi eli noin +19 % kun taas liikenteen osalta pienempi eli noin -6 %, mutta kokonaisvaikutuksissa erot kompensoivat toisiaan. Erot suhteellisissa luvuissa selittyvät osittain myös sillä, laskentojen perusoletukset poikkeavat korjausten jälkeenkin jonkin verran toisistaan ja myös sillä, että tämän selvityksen rakennuskantatiedot ovat yli 5 vuotta tuoreempia ja yksityiskohtaisempia kuin vertailtavissa selvityksessä. Rakennuskannan koko, asumis- ja työpaikkaväljyydet ja niiden mukana päästöt ovat siis kasvaneet. Tarkemmat sijaintitiedot (kuntakohtaisten tietojen sijasta ruututietona), talotyypitiedot ja jakaumat voivat myös jonkin verran vaikuttaa kokonaispäästöjen tasoon. Aiemmissä selvityksissä on käytetty selvästi enemmän karkeistettuja keskiarvotietoja kuin tässä selvityksessä. Liikenteen osalta aiempaa pienemmät päästöluvut johtunevat parantuneista ajoneuvokannan ominaispäästöistä (CO₂ekv/ajoneuvo-km), jota kasvaneet ajokilometrit asukasta kohti eivät ole kokonaan kompensoineet.

Tavaraliikenne ei sisälly mihinkään em. luvuista, joten yhdyskuntarakenteen kokonaisvaikutukset khk-päästöihin on sekä aiemmissa että tässä selvityksessä jonkin verran aliarvioitu. Yhdyskuntarakenteeseen liittyvät ominaisuudet (sijaintitekijät, aluetehokkuus, toimintojen erottelu, liikennejärjestelmien laatu jne.) vaikuttavat olennaisesti keskimääräisiin etäisyyksiin eli eri matkatyyppien ja kuljetussuoritteiden keskimääräisiin matkapituuksiin sekä sitä kautta kokonaissuoritteiden suuruuteen ja jakaumaan.

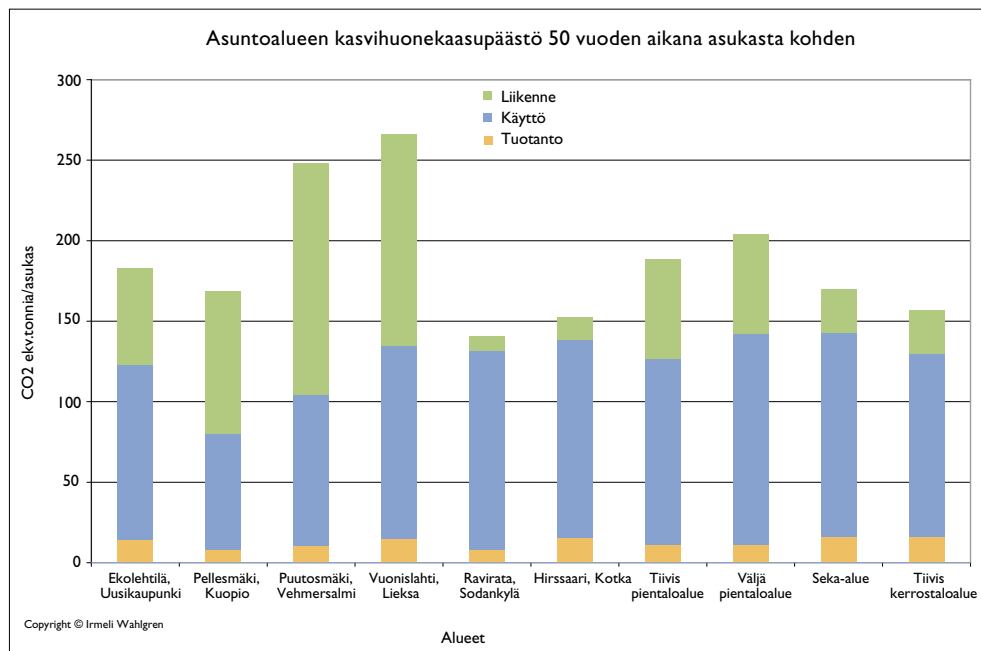
Päästöjen määrät vaihtelevat alueittain. Energiaintensiiviset tuotannonalat nostavat ao. alueiden keskimääräisiä päästölukuja. Koko Suomen kansainvälisesti korkeaan ekologiseen jalanjälkeen vaikuttaa nimenomaan metsäsektorin (paperi- ja puunjalostusteollisuuden) korkeat energiankäyttöluvut. Helsingin kaupungin kasvihuonekaasupäästöjen tasoon (runsas 6 CO₂ekv tonnia/asukas, vuosi) vaikuttaa puolestaan se, että suuri osa tarvittavasta lämmöstä ja sähköstä tuotetaan kivihiilen ja maakaasun poltolla ja uusiutuvien energialähteiden osuus on suhteellisen pieni verrattuna esimerkiksi muiden pohjoismaiden suuriin kaupunkeihin (kuvat 7–8). Pääkaupunkiseudun ilmastostrategian mukainen tavoite vuodelle 2030 on noin 4,4 CO₂ekv tonnia/asukas, v (kuva 9). Alueen sijainnin ohella alueellisiin eroihin vaikuttaa mm. toimitilojen suhteellinen osuus ja talotyyppijakauma (kuva 10).



Kuvat 7 ja 8. Kasvihuonekaasujen päästöt asukasta kohti pohjoismaisissa suurissa kaupungeissa (vasemmalla) ja päästölähteiden jakauma pääkaupunkiseudulla (Lund 2006) (oikealla). Helsingillä on tämän vertailun perusteella suuri päästöjen vähentämispotentiaali (nykytasosta noin 6 CO₂ekv tonnia/asukas, vuosi, ks. kuva 9) ja siitä valtaosa on rakennuskannassa, sen lämmityksessä ja sähkönkäytössä. Seuraavaksi suurin päästölähde on liikenne, jossa on myös suuria säästöpotentiaaleja.



Kuva 9. Helsingin kaupungin kulutusperusteiset kasvihuonekaasupäästöt 1990–2008 (CO₂-ekv-tonnia asukasta kohti vuodessa) syntyvätavoittain ja suhteessa tavoitteeseen. Päästöjen taso on laskenut vuoden 1990 tasosta noin 7,4 CO₂-ekv tonnia/asukas jo alle 6 miljoonaan CO₂-ekv tonnia/asukas. Vuoden 2009 ennakkotieto on sama kuin vuonna 2008 eli n. 5,5 CO₂-ekv tonnia/asukas (Helsingin kaupungin ympäristöraportti 2007, 2008, Pääkaupunkiseudun ilmatoraportti 2010).



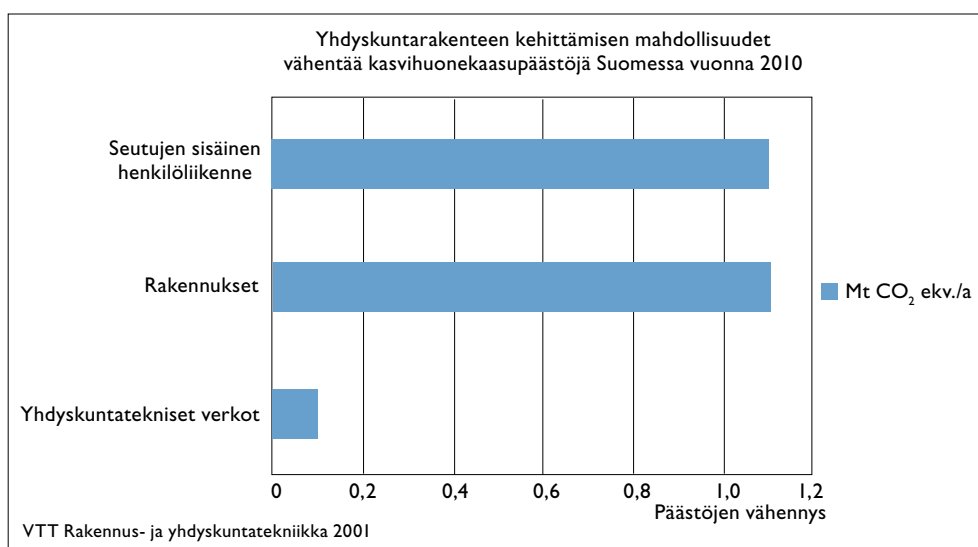
Kuva 10. Eräitä kohdealueita koskevien selvitysten tulokset koskien 50 vuoden aikana syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Vaihteluväli on noin 150–250 CO₂-ekv tonnia/asukas eli noin 3–5 CO₂-ekv tonnia/asukas vuodessa (Wahlgren 2008). Suurimmat erot selittyvät sijainnista (matka- ja kuljetusyksyksistä työpaikkoihin ja palveluihin) sekä alueen luonteesta (pelkkä asuinalue vai myös työpaikka-alue, pientalo- vai kerrostaloalue jne.).

Yhdyskuntarakenteeseen kohdistuvien muutosten vaikutusten arviointi

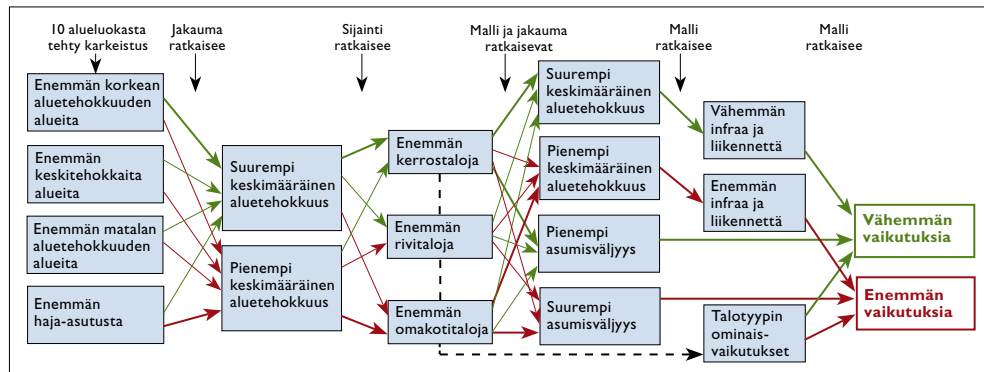
Yhdyskuntien rakenne vaikuttaa yhdyskuntien toiminnasta aiheutuvaan liikenteen määrään, polttoaineiden kulutukseen ja tämän myötä kasvihuonekaasujen päästöihin. Myös yhdyskuntarakenteesta johtuva tarvittavan infrastruktuurin määrä ja infrastruktuurin ylläpito voivat vaikuttaa yhdyskuntien kasvihuonekaasujen päästöihin. Yhdyskuntarakenteen mahdollisuudet ovat merkittävät ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Maankäytön ja liikenteen ohjauksen keinovalikoima on laaja sisältäen usean tyyppisiä toimia mm. seuraavista aihepiireistä:

- yhdyskuntien eheyttäminen mm. kaavamääräysten avulla
- liikkumistottumuksiin vaikuttaminen
- joukkoliikenteen tarjonnan lisääminen ja laadun parantaminen
- verotuksen ja maksuja kehittäminen
- uudet yhdyskunta- ja liikennevälineteknologiat
- liikennettä aiheuttavien toimintojen sijainnin ohjaus
- maa- ja asuntopolitiikka.

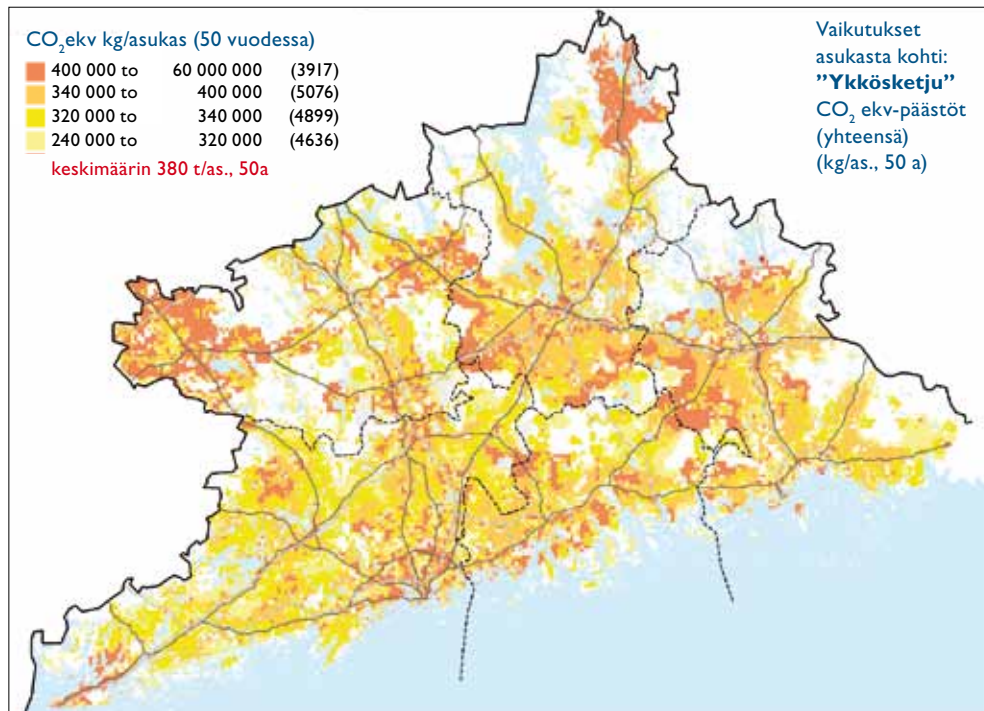
Lähteessä 4 todettujen vaikutuskeinojen (yhdyskuntarakenteen lisähajautumisen estäminen ja liikenteen vähentäminen monin eri tavoin), arvioitu vaikutus vuoden 2010 kasvihuonekaasupäästöihin olisi noin 2,3 miljoonan tonnin vähennys vuodessa (kuva 11). Vähennys on karkeasti 10 % pienempi kuin taso, johon päädyttäisiin 1990-luvulla vallinneilla yhdyskuntarakentamisen trendeillä. Vähennykset aikaansaataisiin pysäyttämällä yhdyskuntarakenteen hajautuminen, jonka ansiosta työmatka- ym. etäisyydet eivät jatka entistä kasvuaan sekä hyödyntämällä täydennysrakentamisen kautta kaukolämmitysjärjestelmiä ym. perusrakenteita.



Kuva 11. Yhdyskuntarakenteellisten vaikutuskeinojen arvioitu kasvihuonekaasupäästöjen vähennys vuoden 2010 tilanteessa verrattuna 1990-luvun mukaiseen trendiin (Harmaajärvi, Huhdanmäki & Lahti 2001). Suurimmat vaikutukset syntyisivät henkilöliikenteessä ja rakennusten energiankäytössä, jonkin verran myös kunnallisteknisten verkostojen rakentamisessa ja kunnossapidossa.



Kuva 12. Metka-mallin vaikutusarvioinnin yleiset periaatteet koskien alue- ja yhdyskuntarakenteen muutoksien vaikutuksia ekotehokkuusindikaattoreihin (mm. kasvihuonekaasupäästöihin) (Lahti et al. 2008, s. 11).



Kuva 13. Esimerkki "Helsingin metropolialueelle" laadituista rakennemalleista tehtyjen ekotehokkuusarvioiden tuloksista. Rakennemalli "Ykkösketjun" aiheuttamat rakennetun ympäristön sekä liikenteen aiheuttamat elinkaaren mukaiset (50 v) CO₂ ekv-päästöt asukasta kohti (kg/as) yhteensä vuoden 2050 tilanteessa (Lahti et al. 2008, s. 92). Alhainen asutustiheys ja pitkät etäisyydet näkyvät suurina suhteellisinä päästöinä.

Helsingin metropolialueen kestävä kehitys Metka-hankkeessa (Metropolialueelle...2008 ja Lahti et al. 2008) luotiin menetelmä, jonka avulla voitiin arvioida erilaisia alue- ja yhdyskuntarakenteita eli asukkaiden ja työpaikkojen sijoittumista neliökilometrin ruuduissa. Alue- ja yhdyskuntarakenteista johdettiin mm. alueen rakennuskannan ominaisuudet ja liikenteen määrät ja niitä vastaavat CO₂ ekv-päästöt. Kokonaismäärien lisäksi saatiin päästöjen alueellisia jakaumia kuvaavia karttoja (kuvat 12–13).

Alue- ja yhdyskuntarakenteelliset valinnat heijastuvat keskimääräisen aluetehokkuuden ja sitä kautta talotyyppi- ja elämäntapavalintojen kautta investointien ja kulutuksen suuntautumiseen ja kasvihuonekaasupäästöjen määrään.

Aluerakennemallien välinen vertailu osoitti, että alue- ja yhdyskuntarakennetta ohjaamalla voidaan kasvihuonekaasupäästöjen määrää vähentää skenaariosta riippuen nykytrendiin (Vanhaan malliin) verrattuna 1–4 %. Suurin vaikutusmahdollisuus syntyy silloin kun uusi rakentaminen sijoitetaan lähelle nykyisiä taajamia. Tällöin kyetään lisäämään keskimääräistä aluetehokkuutta ja vähentämään infrastruktuurin rakentamistarvetta ja liikennemääriä.

Rakentamistehokkuudella on perinteisesti ollut melko kiinteä yhteys talotyyppien yleisyyteen ja sitä kautta esimerkiksi puun ja betonin käyttömääriin ja edelleen sitä kautta hiilidioksiditaseeseen. Puun käyttö sitoo hiilidioksidia rakenteisiin ja syrjäyttää vastaavan määrän muita rakennusmateriaaleja, joista monien valmistus synnyttää kasvihuonekaasupäästöjä.

Ottamalla käyttöön eri skenaarioissa ekotehokkaimmiksi havaittuja alueita (kuten rata- ym. liikennekäytävien tällä hetkellä alhaisella tehokkuudella rakennettuja varsia, niiden nykyisiä ja uusia asemanseutuja) voidaan lisätä kevyen ja joukkoliikenteen kulkutapaosuuksia merkittävästi.

Ekotehokkuuden parantamiseen on olemassa useita keinoja ja niitä kaikkia on syytä käyttää yhdessä ja niin, että toimenpiteet tukevat toisiaan. Merkittävään ekotehokkuuden parantamiseen päästään vain useiden keinojen yhdistelmällä. On todennäköistä, että Kioton pöytäkirjan ja EU:n päätösten asettamiin tavoitteisiin ei päästä vain yhdellä tai muutamalla keinolla, vaan on otettava käyttöön kaikki ne mahdollisuudet, joita nykyteknologia sekä rakentamis- ja suunnittelukäytännöt mahdollistavat. Niiden lisäksi on syytä myös harkita aivan uusien ratkaisujen kehittämistä ja käyttöönottoa. Alue- ja yhdyskuntarakenteelliset ratkaisumahdollisuudet kuuluvat varteenotettavien keinojen joukkoon. Suomen alue- ja yhdyskuntarakenne ovat kansainvälisesti vertaillen suhteellisen hajautettuja ja keskimääräiset aluetehokkuudet alhaisia. Ekotehokkuuden lisäämisen näkökulmasta tämä on positiivinen asia, koska jo rakennettu infrastruktuuri sisältää merkittävän ja tähän asti hyödynnettömän potentiaalín ekotehokkuuden parantamiseksi. Uutta voidaan rakentaa runsaasti entisen infrastruktuurin varaan. Perusrakenteen välitys- tai palvelukyvyyn ja muun tehokkuuden lisääminen on huomattavasti edullisempaa kuin kokonaan uusien väylien ja verkkojen rakentaminen. Samalla säästyy maata ja luontoalueet säilyvät yhtenäisempinä esimerkiksi asukkaiden virkistyskäyttöön.

Metka-tutkimuksen tuloksissa todetut vaikutuskeinot ovat seuraavissa neljässä ryhmässä (Lahti & Halonen 2008):

1. aluetehokkuutta (kaikilla tasoilla) lisääviin toimiin,
2. liikennejärjestelmiä ja niiden palvelualueita koskeviin tehostamistoimiin,
3. energian tuotanto- ja jakelujärjestelmiä koskeviin innovatiivisiin järjestelyihin ja
4. ekotehokasta rakentamista, rakenteiden käyttöä ja liikkumista tehostaviin muihin toimiin.

"1. Aluetehokkuuden (rakennettuja kerrosneliöitä maa-alaa kohti) lisääminen on mahdollista kaikilla yhdyskuntarakentamisen tasoilla: maakunta- ja seututasoilla, yhdyskuntatasoilla (erityisesti työssäkäyntialueiden tasolla), yhdyskuntien osa-aluei-

den (kaupunginosien ja kortteleiden) tasolla ja tonttitasolla. Tehokkuuden lisääminen tarkoittaa ensinnäkin sitä, että rakennettuihin alueisiin jo sisältyvät käyttämättömät mahdollisuudet otetaan käyttöön. Näitä ovat jo kaavoihin sisältyvät kaavavarannot (rakentamattomat tontit ja vajaasti rakennetut tontit) eli käyttämättömät rakennusoikeudet, alhaisen tehokkuuden alueiden tehokkuuslukujen (rakennusoikeuksien) nostaminen ja talotyyppien muuttaminen sekä kaava-alueisiin sisältyvien vähäisellä käytöllä tai kokonaan käyttämättömiksi jääneiden alueiden (joutomaiden) ottaminen rakennuskäyttöön.

Täydennysrakentaminen on useissa selvityksessä todettu huomattavasti taloudellisemmaksi kuin uusien alueiden käyttöönotto (esim. Lahti & Rauhala 1994). Aluetehokkuuden kasvaessa lisääntyy yleensä myös asukas- tai työpaikkatiheys (asukkaita/km² tai työpaikkoja/km²), mikä merkitsee enemmän asiakkaita perusrakenteiden palvelualueita kohti. Tämä lisää palvelujen käyttöastetta, asiakasmäärää ja yleensä samalla myös ekotehokkuutta, tarjolla olevien palvelujen määrää ja kannattavuutta.

Aluetehokkuuden nosto lyhentää toimintojen välisiä keskimääräisiä etäisyyksiä, perusrakenteiden (liikenteen ja teknisen huollon verkkojen) verkostopituuksia ja sitä kautta vähentää niiden kuluttamia materiaali- ja energiamääriä ja vastaavia päästöjä. Tästä riippuvuudesta on myös aiempaa empiiristä näyttöä. Norjalaisen väitöskirjatutkimuksen (Næss 1995) mukaan pohjoismaisten yhdyskuntien (22 kpl) vertailussa maa-alan kaksinkertaistuminen asukasta kohti (eli asukastiheyden puolittuminen) lisäsi liikenteen energiakuluja noin puolitoistakertaiseksi.

Suurempi asukastiheys mahdollistaa joukkoliikennejärjestelmien tehostamisen ja levittämisen uusille alueille. Lyhyemmät etäisyydet puolestaan lisäävät myös kevyen liikenteen (kävelyn ja pyöräilyn) osuuksia kulkutapajakaumissa. Sekä joukkoliikennejärjestelmien että kevyen liikenteen osuuksien kasvu merkitsevät yhdyskuntien ekotehokkuuden parantumista.

Asukastiheyttä voidaan nostaa myös ottamalla asumiskäyttöön sellaiset teollisuus-, varasto-, satama-, varikko- yms. alueet, joilla on suhteellisen alhainen käyttäjätiheys tai jotka ovat laskevan tai kaupunkiympäristöön sopimattoman tuotantoalan käytössä (ns. brownfield development). Suuremmissa keskuksissa ja tehokkaiden rata- ym. joukkoliikennekäytävien (transit corridors) varsilla on yleensä suhteellisen runsaasti alhaisen käyttöasteen reuna- tai välialueita, jotka liittyvät suurien asiakaspotentiaalien alueisiin ja joille on mahdollista järjestää edellä kuvatuunlaisia ekotehokkaita liikennejärjestelmiä.

Aluetehokkuuden nostamista kannattaa harkita ensisijaisesti juuri niillä alueille, joissa tätä potentiaalia on valmiiksi olemassa. Aluetehokkuutta voidaan nostaa sekä kerros- että pientaloalueilla. Jälkimmäisestä tavasta hyviä esimerkkejä on viime vuosina syntynyt matala-tiivis-tyyppisillä talo- ja korttelityyppiratkaisuilla. Kaupunkirakenteen ekotehokkuutta lisäävät innovatiiviset kehitysideoita ovat tarpeen myös rakennusten ulkopuolella olevilla muilla osa-alueilla (korttelimuodot, piharatkaisut, pysäköinti-alueet ja -talot, liikenneväylät, kaupunkipuistot jne.)

2. Liikennejärjestelmien ja erityisesti joukkoliikennekäytävien tehokas hyödyntäminen on toinen merkittävä ryhmä alue- ja yhdyskuntarakenteiden ekotehokkuuden lisäämisen keinovalikoimassa. Joukkoliikennekäytävillä tarkoitetaan nopeiden raide- ja bussiyhteyksien väyliä, joilla voi olla samanaikaisesti sekä junaratoja että bussiväyliä samassa "käytävässä" (rinnakkaisilla väylillä). Ollakseen tehokas joukkoliikenteen väylä, täytyy itse kuljetusvälineen (junan, metron, pikaratikan tai bussin)

päästä suhteellisen esteettömästi ja ruuhkia välttäen liikkumaan asema- ja pysäkki-paikkojen välillä. Juna- ja metroradoilla tämä on perinteisesti suhteellisen helppo järjestää, mutta myös lähes vastaavaan tehokkuuteen päästään pikaratikka- tai bussijärjestelmissä, joissa väylät on riittävän eristettyjä muusta liikenneympäristöstä (kuten bussijärjestelmä Brasilian Curitibaassa).

Raideliikenteen verkkojen laajentaminen ja tihentäminen tulee mahdolliseksi kun asiakastiheys on riittävä suuri. Riittävän ekotehokkuuden saavuttamiseksi maankäytön suunnittelun tulee liittyä kiinteästi liikennejärjestelmien suunnitteluun. Asemien ja pysäkkien lähiympäristössä pitää olla riittävä määrä riittävän lähellä asuvia tai työssäkäyviä. Näin voidaan taata riittävä liikennöintiä ja sitä kautta joukkoliikenteen palvelutaso, joka kilpailee henkilöauton käytön kanssa. Kulkuapajakaudessa tämä näkyy niin, että sekä kevyen että joukkoliikenteen osuudet kasvavat verrattuna henkilöautoihin.

Ekotehokkuuden lisäämisessä on tärkeä kartoittaa kaikki ne mahdollisuudet, mitä nykyiset joukkoliikennekäytävät tarjoavat joukkoliikennepalvelujen lisäämiseen. Sen jälkeen on tarkistettava myös mahdollisuudet uusien käytävien perustamiseen. Molemmilla tapauksissa kyseeseen tulevat nykyisten ja uusien asema- ja pysäkkipaikkojen lähiympäristöjen asiakaspohjan kasvattaminen. Tämä tulisi tehdä ensisijaisesti kävelyetäisyyksillä (noin 800 m:n päässä) asemista tai pysäkeistä ja toissijaisesti ns. liityntäliikenteen toimintasäteen alueella (noin 2 km:n säteellä). Molemmat keinot lisäävät ekotehokkaiden liikkumismuotojen osuutta.

Ratalinjoiden varsilla voidaan myös tarkistaa mahdollisuudet lisätä uusia asemapaikkoja tai pysäkkejä, uusia ratoja, junavuoroja, liikennöintiä nopeuksia, junapituuksia tai muulla tavalla aiempaa suuremman kapasiteetin omaavia vaunuja jne. Liikennöintiä tehostavat ja turvallisuutta lisäävät automaatiikat ym. teknologiset ratkaisut kuuluvat tietysti kaikkiin em. keinojen yhteyteen. Kaikilla näillä toimilla voidaan lisätä joukkoliikennekäytävän suorituskykyä eli matkustajamäärää väylä-kilometriä, pysähtymispaikkaa ja tuntia kohti. Aluerakenteesta muodostuu tällöin joukkoliikennekäytäviä tehokkaasti hyödyntävien asutustihentymien helminauhaverkko.

3. Alueellisten energiajärjestelmien parantaminen aiempaa ekotehokkaammiksi voi lisätä yhdyskuntien ekotehokkuutta merkittävästi, koska sen vaikutukset ulottuvat lähes kaikkiin rakennuksiin ja teknisiin järjestelmiin ja vaikuttavuus kertaantuu joka vuosi niin kauan kuin järjestelmät ovat toiminnassa.

Perinteinen suomalainen kaukolämpöjärjestelmä on jo valmiiksi suhteellisen ekotehokas, koska se on yhdistettyä lämmön ja sähkön tuotantoa eli siinä sähkön tuotannon yhteydessä sivutuotteena syntynyt lämpö hyödynnetään kaukolämpönä lähialueen talojen lämmityksessä. Kaukolämpöverkko on kuitenkin suhteellisen kallis investointi ja edellyttää riittävää asiakasmäärää ja aluetehokkuutta ollakseen kannattava. Kaukojäähdytysverkkoa koskee sama tehokkuusvaatimus, joten sekin sopii luontevasti suuriin asutuskeskittymiin.

Harvassa asutusrakenteessa lämmitysenergia on joko tuotettava paikallisesti (kiinteistö- tai talokohtaisissa lämpölaitoksissa tai aurinkokeräimillä) tai käytettävä valtakunnallisessa sähköverkossa tarjolla olevaa sähköä, mikä ei ole nykyisillä polttoainejakaumilla (ydinvoima, kivihili ja maakaasu suurimpina energialähteinä) yhtä ekotehokasta kuin yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon tapauksessa. Energiajärjestelmien kehitystyön kautta markkinoille tulee kuitenkin jatkuvasti uusia ja aikaisempaa ekotehokkaampia mahdollisuuksia, kuten biopolttoaineiden tehok-

kaampi hyödyntäminen, aurinko- ja tuulisähkö, lämpöpumput ja matalan exergian energiajärjestelmät. Myös hajautettu sähkön tuotanto on tulossa teknisesti ja taloudellisesti mahdolliseksi lähivuosina. Tällöin rakennukset ja alueet eivät välttämättä ole enää niin riippuvaisia muualla tuotetusta sähköstä, vaan voivat tehdä sitä itse ja tarjota sitä jopa alueen ulkopuolisten käyttöön.

4. Alue- ja yhdyskuntarakenteellisilla valinnoilla voidaan tukea niitä rakennus- ja liikenneteknologisia innovaatioita tai niihin liittyviä kaava- tai rakentamismääräyksiä, maa-, tontti- tai veropoliittisia, maksupoliittisia ym. ekotehokkuuteen vaikuttavia ohjauskeinoja, joita on päätetty jo muutenkin soveltaa tai joita arvioidaan suurella todennäköisyydellä olevan tulossa.

Suomessa on VTT:n tekemissä mallilaskelmissa oletettu CO₂ekv-päästöjen kustannuksiksi 20–50 €/päästötonni aikavälillä 2010–2030 (Ekholm et al. 2008). Kanadalainen mallilaskelma lähtee oletuksista, joissa hiilivero (CO₂ekv-päästövero) saattaa nousta jopa yli 200 €/CO₂ekv-tonni vuoteen 2050 mennessä riippuen siitä kuinka aikaisin toimenpiteisiin ryhdytään (NRTEE 2007). Tästä johtuen on perusteetonta suunnitella sellaisia alue- ja yhdyskuntarakenteita, jotka toimivat näitä tavoitteita vastaan – esimerkiksi, että yhdyskuntien toimivuus perustuisi pelkästään bensiini- tai dieselpolttoaineilla kulkevan henkilöautoliikenteen varaan. Aiheuttaja maksaa -periaatteen mukaisesti tietysti sekin lienee edelleen mahdollista, mutta tällöin kyseessä eivät ole vain polttoainekustannukset vaan myös infraverkon rakentamisen ja ylläpidon kokonaiskustannukset ja -päästöt (ml. välilliset vaikutukset).

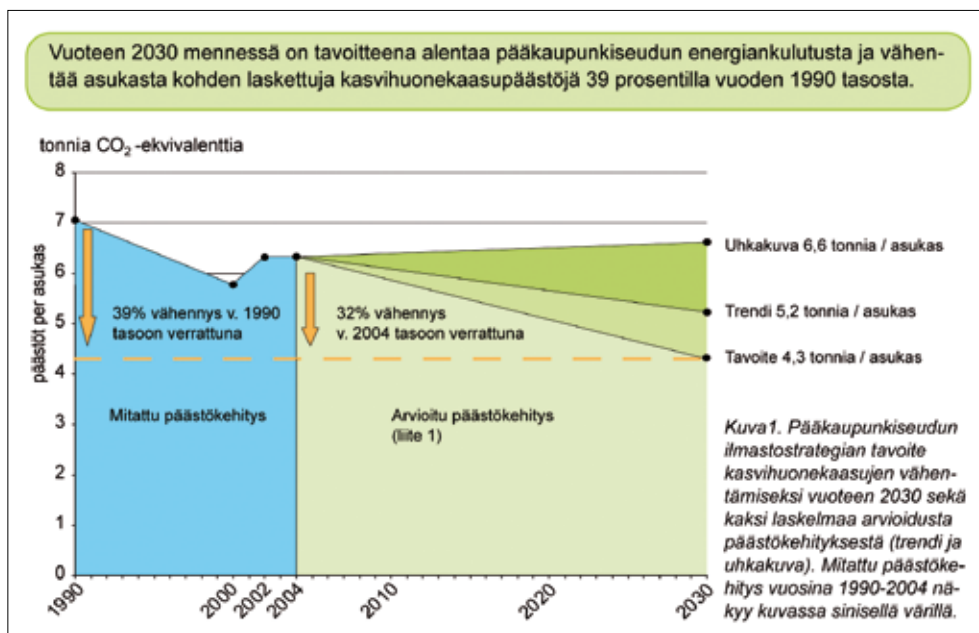
On vaikea perustella sellaisten yhdyskuntien rakentamista jotka syövät niitä hyötyjä mitä muilla yhteiskuntapoliittisilla toimilla saadaan aikaan. Fyysisen ympäristön rakenteet, sijainti- ja järjestelmä-valinnat ovat niin pitkäikäisiä tai pitkävaikutteisista valintoja, että on syytä arvioida riittävällä tarkkuudella nykyisten valintojen vaikutukset vähintään 50 vuoden, mieluummin ainakin 100 vuoden päähän."

Pääkaupunkiseudun ilmastostrategiassa on asetettu tavoite vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 39 % vuoteen 2030 mennessä (kuva 14). Vuodelle 2004 arvioidusta tasosta 6,3 CO₂ekv-tonnia asukasta kohti vuoden 2030 tasoon 4,3 CO₂ekv-tonnia asukasta kohti vähennys olisi lähes 32 % eli keskimäärin 1,5 % vuodessa.

Yhteenvetona tehdyissä tutkimuksissa mainituista kasvihuonekaasupäästöjen määrään vaikuttamiskeinoista voidaan mainita seuraavat tekijät:

- aluetehokkuuden (rakennettu kerrosala per maa-ala) nosto
- täydennysrakentaminen
- käytöstä poistuvien tai vajaakäyttöisten teollisuus-, varasto-, satama- yms. alueiden käyttöön otto joko asumiseen tai toimisto- ja palvelurakennusten alueiksi, käyttötarkoituksen muutokset ja muu tehostaminen (ns. brownfield development)
- liikennejärjestelmien, joukkoliikennekäytävien ym. palvelualueiden tehokkuuden nosto
- aiempaa ekotehokkaampien energiajärjestelmien valinta
- uusien tietoteknisten välinen ja teknologisten ratkaisujen hyödyntäminen asumisessa, työnteossa, palveluissa, liikenteessä ja vapaa-ajanvietossa sekä
- kuluttajan asumis- ja liikkumisvalintoihin vaikuttaminen veroin, maksuin, rakentamismääräyksiin jne.

Osa em. keinoista on osittain päällekkäisiä ja osa sellaisia, että niitä voidaan toteuttaa muista riippumatta. Tehokkaimpia tuloksia saavutetaan muodostamalla useiden keinojen yhdistelmiä. Aluetehokkuus kasvaa täydennysrakennettaessa ja usein myös ns. brownfield -tyyppisessä rakentamisessa. Liikenne- ja energiajärjestelmien tehokkaimpia muotoja voidaan usein toteuttaa vasta kun saavutetaan riittävä aluetehokkuus ja asiakaspohja. Kuluttajien valintapäätöksiin voidaan vaikuttaa useilla tavoilla ja keinot riippuvat ainakin asukasryhmästä, asutokunnan koosta ja rakenteesta sekä rakennetun ympäristön ominaisuuksista.



Kuva 14. Pääkaupunkiseudun ilmastostrategian tavoitteet. (YTV 2007).

Läpikäydyn kirjallisuuden ja julkaistujen selvitysten mukaan yhdyskuntarakenteen (rakennusten, perusrakenteen ja henkilöliikenteen) kokonaisvaikutus kasvihuonekaasupäästöihin on Suomessa tällä hetkellä noin 6,6 hiilidioksidiekvivalenttonnia (CO₂ekv tonnia) asukasta kohti vuodessa. Tämän tutkimuksen tulos on 7,4 CO₂ekv tonnia. Ero johtuu rajausten, menetelmien, käytettävissä olleiden lähtötietojen ja määritelmien pienistä eroista. Rakennusten ja perusrakenteen osuus päästöistä on noin 3/4 ja henkilöliikenteen osuus noin 1/4. Tärkeimmiksi vaikutuskeinoiksi on useimmiten mainittu sekä uudisrakentamisen sijaintivalintojen kautta tapahtuva yhdyskuntarakenteen tiivistyminen ja täydentyminen että liikkumista ohjaavat liikennejärjestelmän toimivuutta parantavat ja liikkumismuotojen valintaa ohjaavat toimenpiteet.

3 Yhdyskuntarakenteen muutoksen ja khk-päästöjen mallinnus

Yhdyskuntarakenteen tulevia muutoksia on arvioitu kolmessa vaiheessa: perusura, vaihtoehtoiset kehitysurat ja toimenpiteet.

3.1

Perusura

Perusura kuvaa kehityskulkua, jossa viime vuosien muutokset jatkuvat suurin piirtein entisellä tavalla ja vauhdilla. Kyseessä ei ole ennuste eikä arvio todennäköisestä kehityskulusta, vaan mekaaninen laskelma tulevasta kehityskulusta siinä tapauksessa, että tiettyjen, valittujen yhdyskuntarakenteellisten ominaisuuksien muutokset jatkuvat samaan tapaan kuin viime aikoina. Perusuran mallinnuksessa kuvataan keskeisten muuttujien muutokset läpinäkyvästi niin, että käy selvästi ilmi mitä aiempia muutoksia seurataan ja mitä mittareita käytetään. Suomen ympäristökeskuksen (SYKE:n) laatiman perusuran⁷ peruslähtökohdat ovat seuraavat:

- Tilastokeskuksen ennustama kunnittainen väestönmuutos muutetaan yhdyskuntarakenteen seurantatietojen (YKR 1980–2005) perusteella taajaman pinta-alarapeeksi 34 suurimmalla kaupunkiseuduilla aikavälillä 2005–2050.
- Laskelma koostuu neljästä osasta: väestöennuste, asuntokuntamuodostus, väestö- ja asuntokuntaennusteiden sovittaminen kaupunkiseudun taajamiin sekä taajama-alan mitoitus.

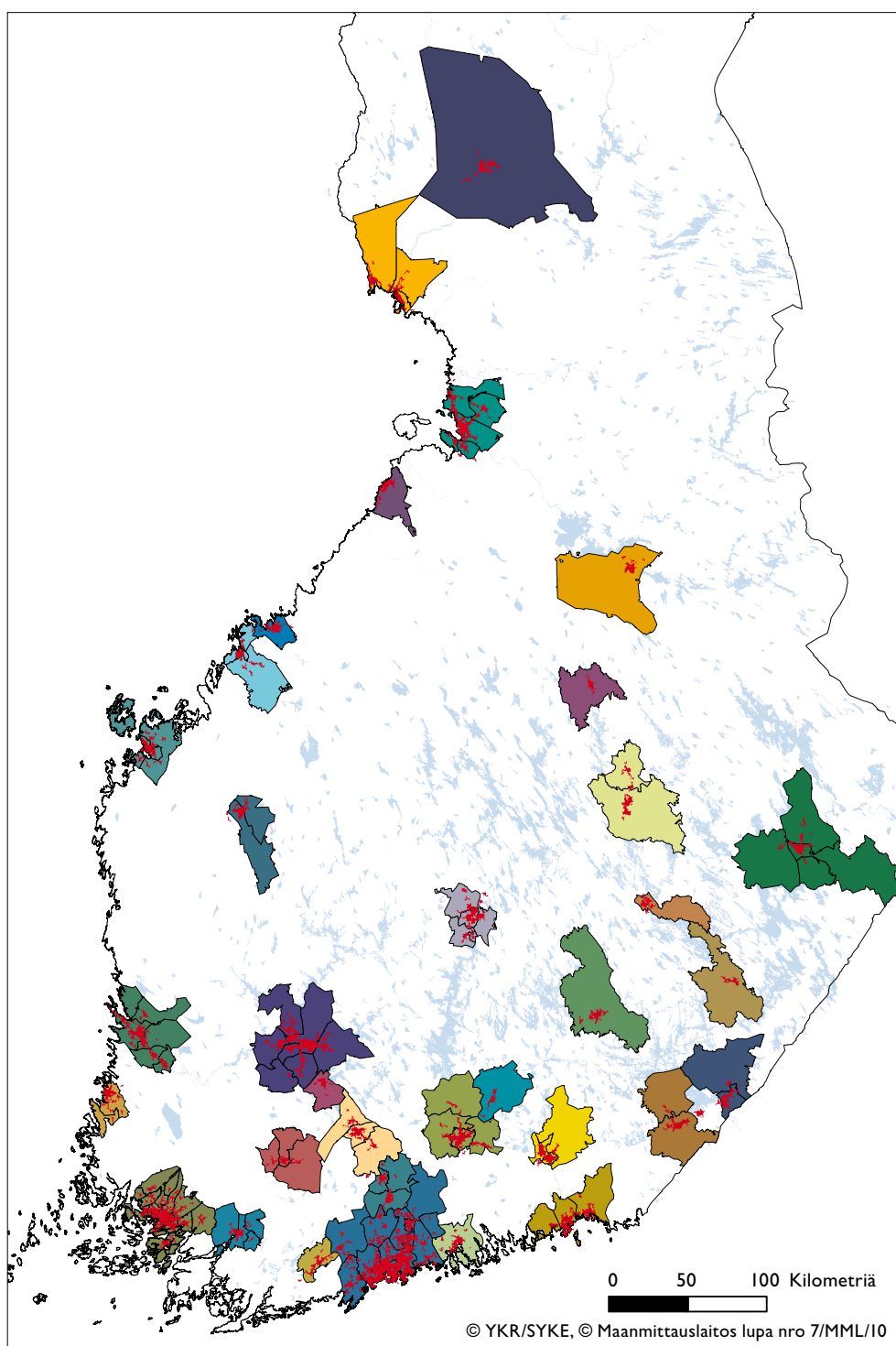
Perusuran lähtötietona on Tilastokeskuksen väestöennuste 2007 kunnittain ja ikäryhmittäin vuoteen 2040 asti. Tilastokeskuksen väestöennuste perustuu havaintoihin syntyvyyden, kuolevuuden ja muuttoliikkeen menneestä kehityksestä.

Kaupunkiseudut on määritelty kuntarajoista riippumattoman taajamarajauksen perusteella. Kuntapohjaisen väestöennusteen hyödyntäminen edellyttää kuitenkin kuntapohjaisten kaupunkiseutujen käyttöä. Kuntapohjaiset kaupunkiseudut on rajattu poimimalla kaupunkiseutukohtaisesti ne kunnat, joiden taajama-alasta merkittävä osa kuuluu kaupunkiseudun taajamiin (kuva 15). Kuntarajat leikkaavat kaupunkiseutuja ja niitä ympäröiviä alueita siten, että joissakin tapauksissa on ollut perusteltua jättää kuntia pois kaupunkiseudusta vaikka kaupunkiseutu ulottuu niiden alueelle. Lähtökohdiana on se, että mukana olevat kunnat edustavat mahdollisimman hyvin kaupunkiseudun taajama-asutuksen (sekä väestön että alueen) muutosta (kuvat 16–19).

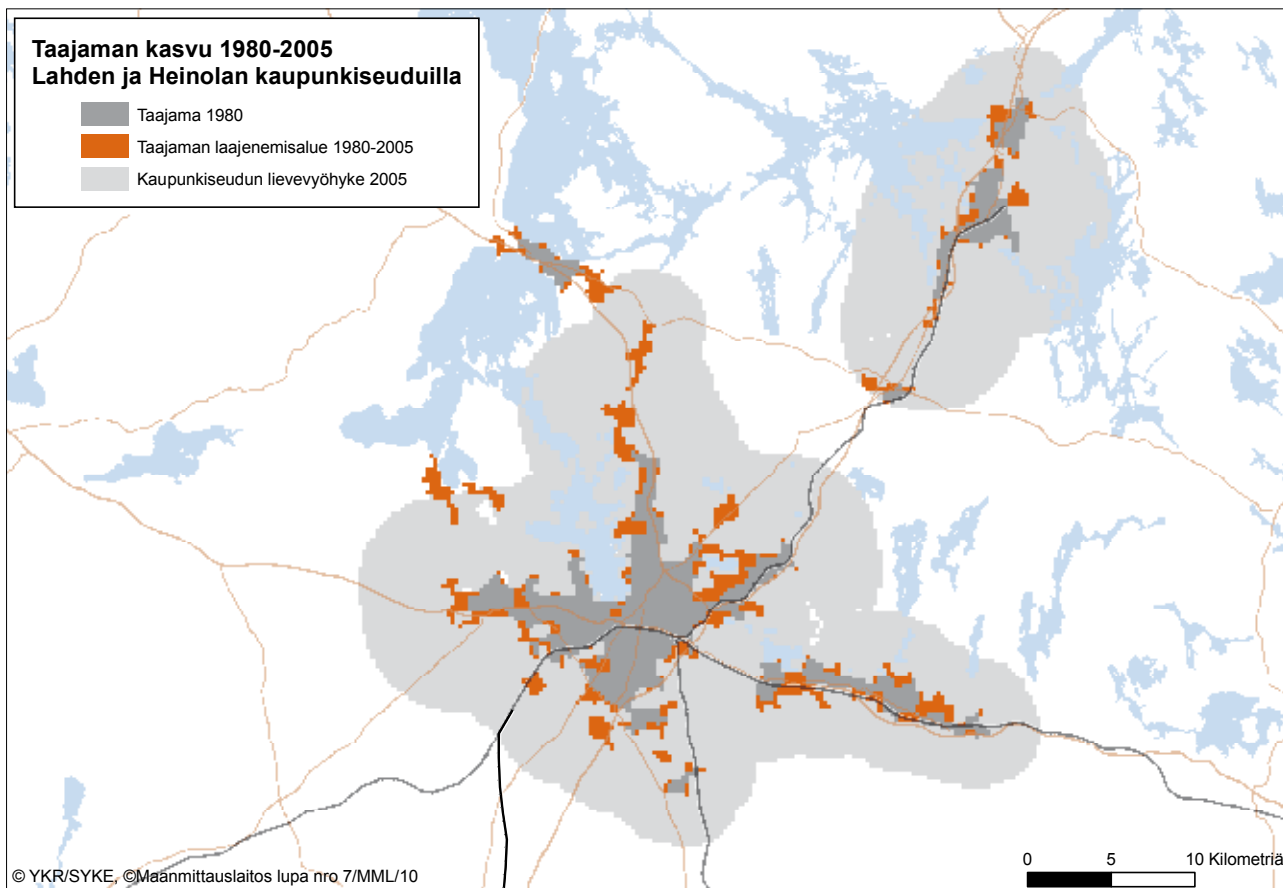
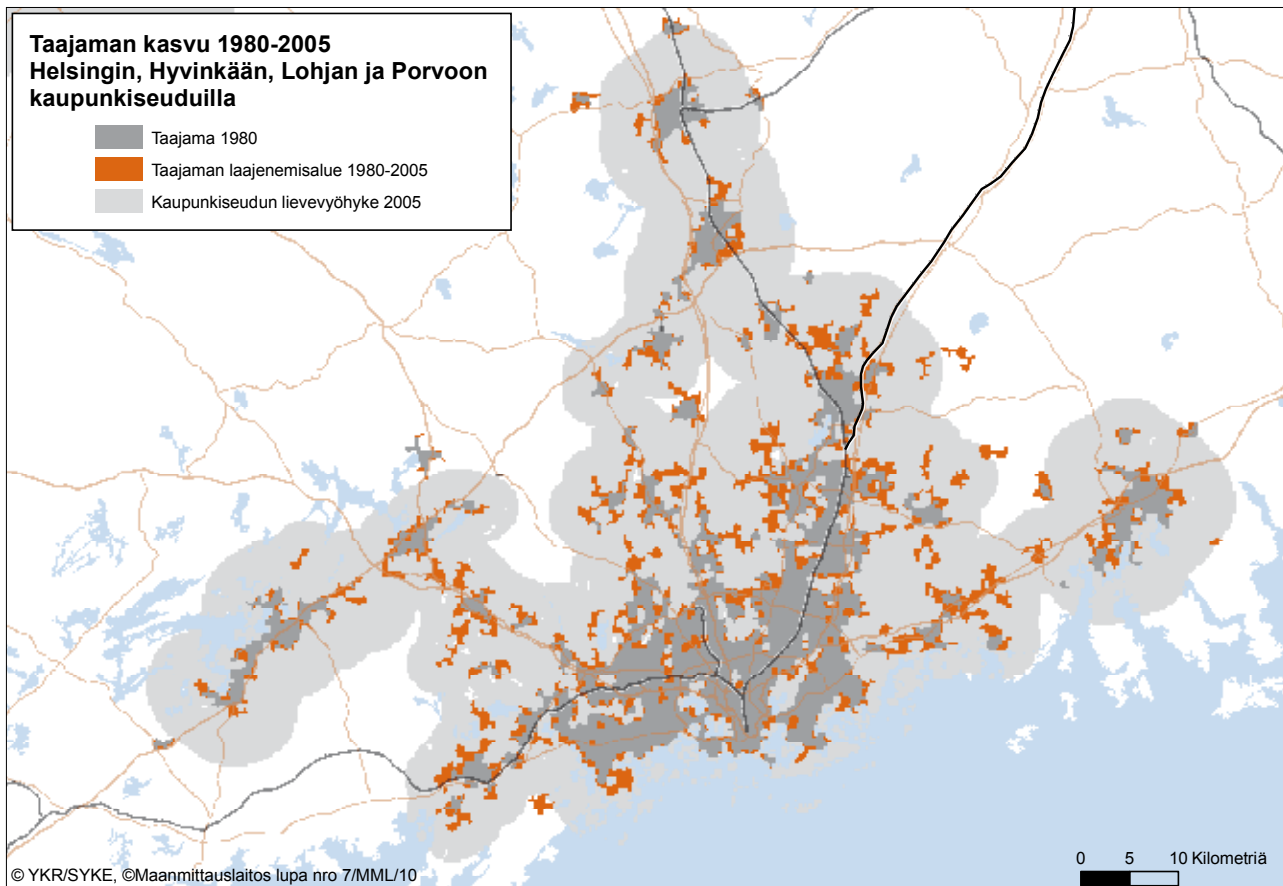
Tilastokeskuksen kunnittainen väestöennuste on kohdistettu muodostetuille kaupunkiseuduille aikavälille 1980–2040 viiden vuoden välein. Tämä kaupunkiseutukohtainen ikäryhmittäinen väestöennuste muodostaa perusuran laskentamallin pohjan.

⁷ Suomen ympäristökeskuksen laatiman perusuran kuvaus raportoidaan erikseen omana julkaisunaan. Tässä raportissa on kuvattu tiivistetysti perusuran keskeiset ominaisuudet perustuen tätä projektia varten erikseen tuotettuun kuvaukseen (Helminen 2009) ja muuhun aineistoon.

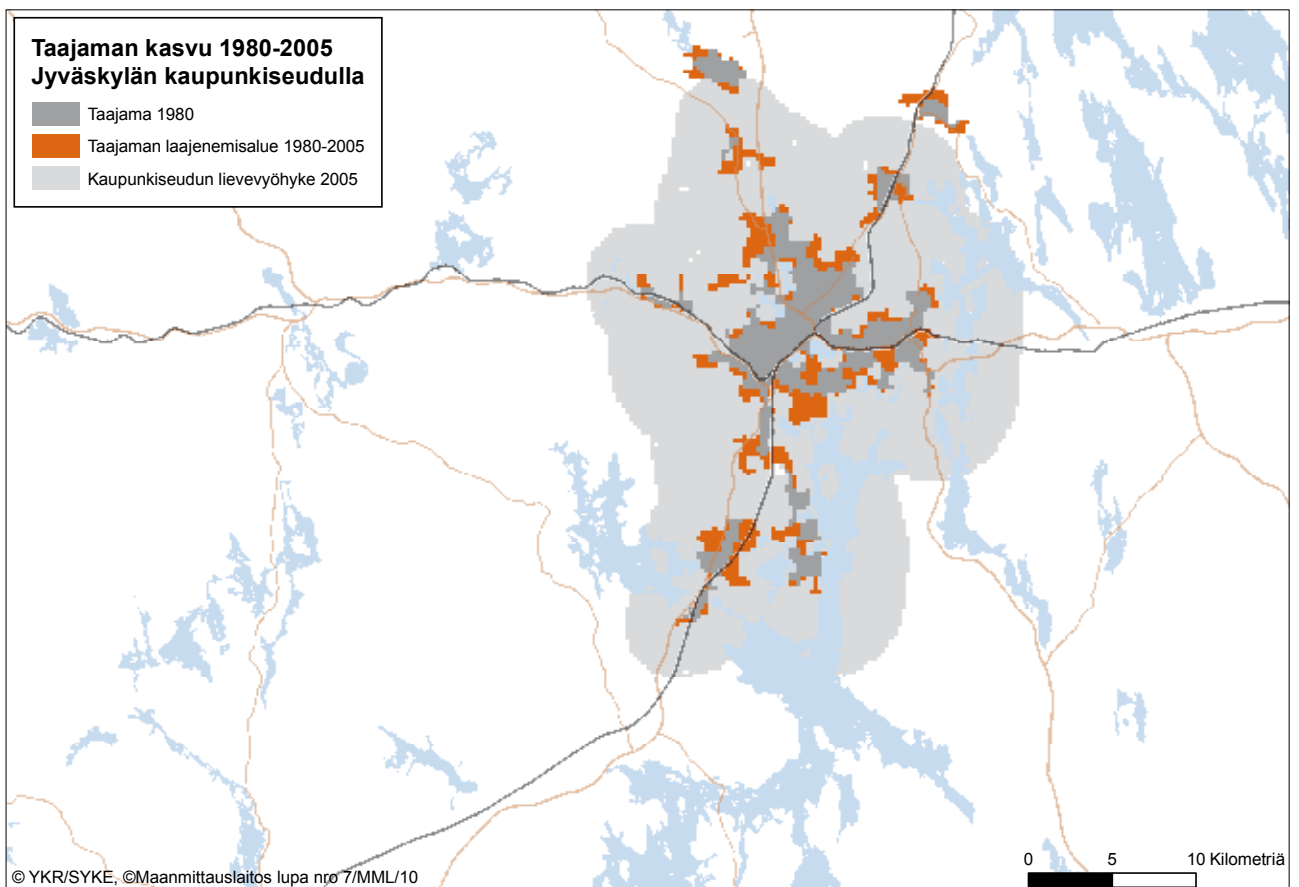
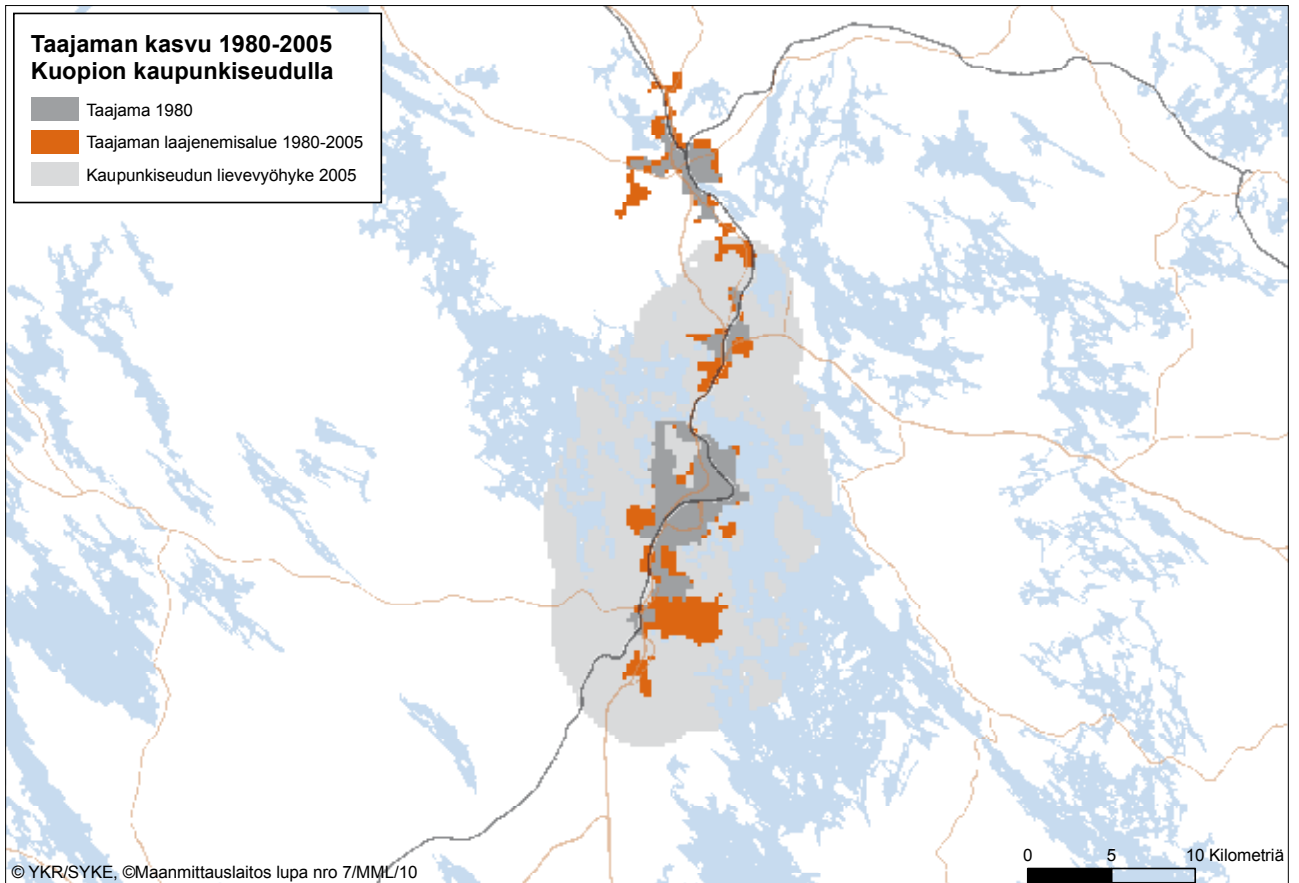
Aikajakso 2040–2050 on määritelty kehittyvän samalla tavalla kuin 2035–2040. Laskennan keskeiset muuttujat ovat asutokunta, asutokuntaväestö, asumisväljyys, asutokuntatiheys ja asuttu asunto.



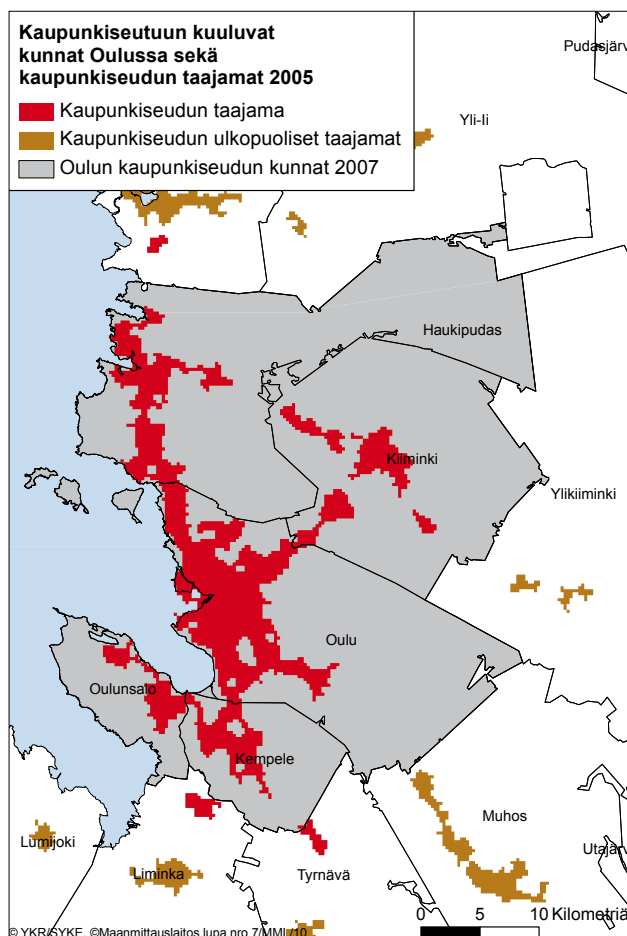
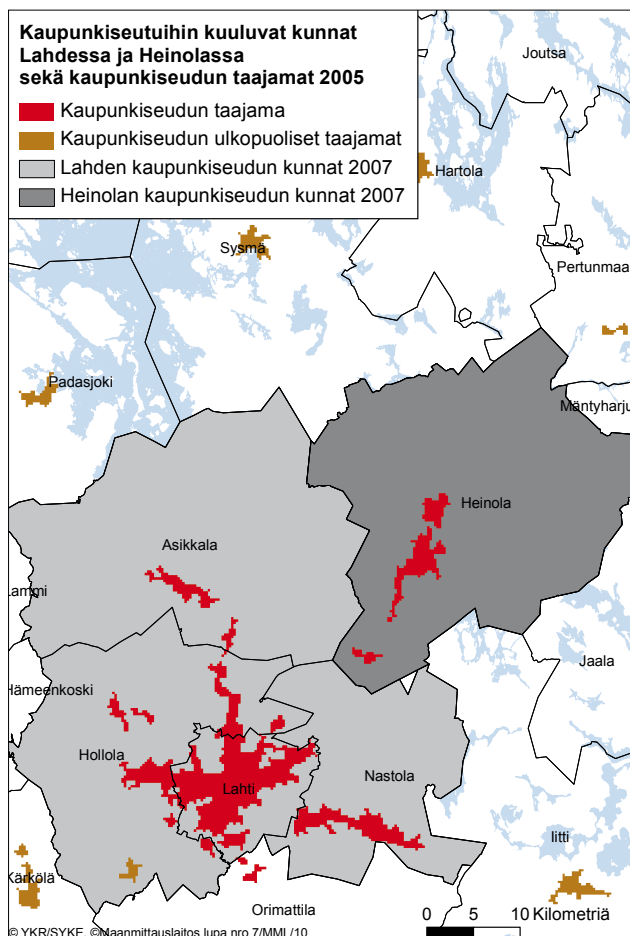
Kuva 15. Perusuran 34 suurimman kaupunkiseudun taajamat ja kunnat vuonna 2005. Eteläisin näistä kaupunkiseuduista on Helsinki ja pohjoisin Rovaniemi.



Kuvat 16 ja 17. Taajama-alueiden muutos 1980–2005: esimerkit kolmesta kaupunkiseudusta: Helsinki, Lahti ja Heinola.



Kuvat 18 ja 19. Taajama-alueiden muutos 1980–2005: esimerkit kahdesta kaupunkiseudusta: Kuopio ja Jyväskylä.



Kuvat 20 ja 21. Kaupunkiseudun taajama-alueet ja kunnat vuonna 2005 Lahdessa, Heinolassa ja Oulussa. Väestöennusteen perustuva asuntokuntaennuste on tehty kunnittain. Ennustealue jakautuu kartalla punaiseen kaupunkiseudun taajamaan ja niitä ympäröivään harmaaseen alueeseen, joka on pääosin haja-asutusta. Joihinkin kaupunkiseutuihin on laskettu mukaan myös kaupunkiseutuihin kuulumattomien kuntien taajamia. Tällöin kaupunkiseudun väestö ja alue eivät aivan vastaa toisiaan.

Asuntotarpeen synty ja asuntokuntien muodostuminen perustuvat demografiseen rakennemuutokseen ja asuntovajauksen purkautumiseen (Lankinen et al. 1996). Ikäryhmittäisen perheasemajakautuksen avulla voidaan määrittää mikä osa väestöstä muodostaa asuntokuntia ja ovatko nämä asuntokunnat esimerkiksi yhden aikuisen vai kahden aikuisen asuntokuntia. Asuntokuntien määrä on laskettu jakamalla kunkin vuoden ikäluokkien väestö perheaseman mukaisesti. Perheasemarakenne on muuttunut 1980–2005, erityisesti siksi, että yksinasuvien määrä on kasvanut seurantajaksolla.

Kuntapohjaisen väestöennusteen mukainen kehitys on jaettu kaupunkiseudun taajamien ja niitä ympäröivän alueen välille (kuvat 20–21) jokaiselle ennustevuodelle.

Taajama-alueen laajeneminen lisää kaupunkiseudun taajamissa asuvien osuutta, ellei myös ympäröivällä alueella tapahdu merkittävää kasvua. Perusrassassa on yksinkertaistettu laskentaa siten, että asuntokuntien keskikoon suhteellinen muutos on sama koko alueella.

Taajama-alan laajuuden arviointi perustuu asuntokuntatiheyteen, joka on asuntokuntien lukumäärä suhteessa taajaman pinta-alaan. Se mittaa asuttujen asuntojen

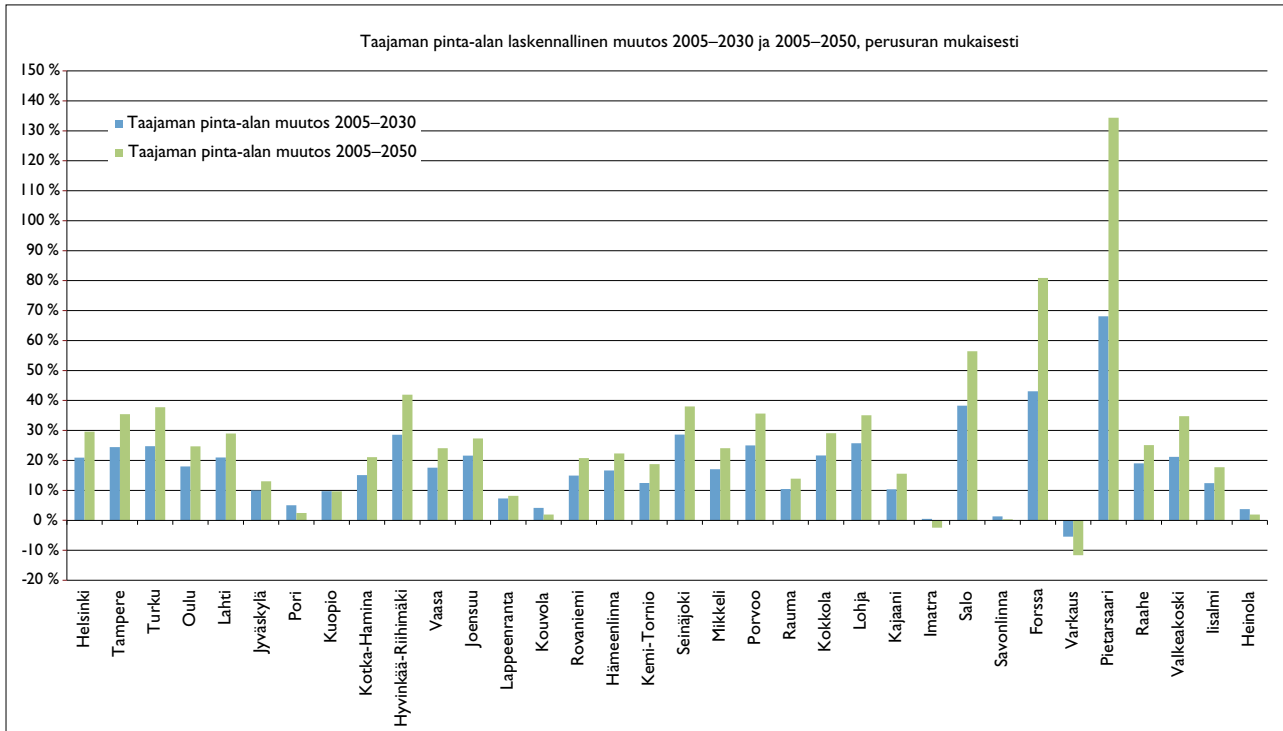
alueellista tiheyttä. Kullekin kaupunkiseudulle on laskettu taajaman keskimääräinen asuntokuntatiheys. Tiheydeltään erilaisia alueita ei ole eroteltu taajaman sisällä.

Asuntokuntatiheys kuvaa asuntokuntien (ei väestön tai koko rakennuskannan) tiiviyttä tai hajautuneisuutta koko taajama-alueella. Niillä kaupunkiseuduilla, joiden taajamissa on paljon tilaa vieviä työpaikka-, liikenne- ja virkistys- ym. vapaa-alueita, on alhaisempi asuntokuntatiheys. Asuntokuntatiheyden muutos ei siis riipu pelkästään taajaman uusien asuinalueiden tiiviydestä tai täydennysrakentamisen määrästä, vaan myös muun taajama-alueen maankäytön tilatarpeen muutoksesta. Asuntokuntatiheyteen vaikuttaa suoraan myös asuntokuntien keskikoko (asukasta/asuntokunta) eli vaikka väestön määrä tietyllä alueella (väestötiheys) pysyisi samana, niin asuntokuntatiheys voi nousta, jos asuntokuntien keskikoko laskee.

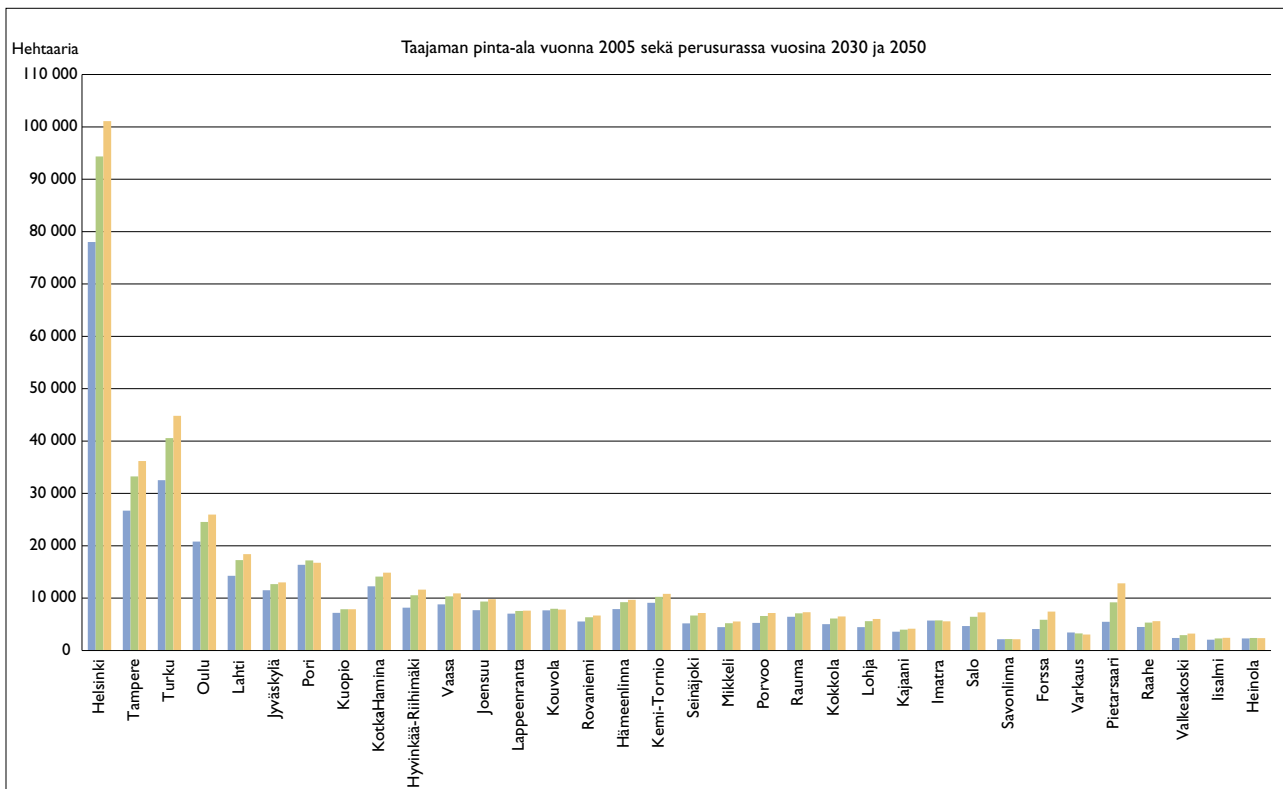
Asuntokuntatiheyden muutos on ekstrapoloitu muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta vuosien 1990–2005 välisen suhteellisen muutoksen perusteella. Jos asuntokuntatiheys on noussut (kuten Oulun kaupunkiseudulla), sen oletetaan jatkuvan. Tiivistyminen on kuitenkin suhteutettu asuntokuntien kokonaiskasvuun. Tällöin kaupunkiseutu tiivistyy samassa suhteessa kuin 1990–2005 jaksolla, mutta vain asuntokuntien määrän kasvun sallimissa rajoissa.

Perusuran asuntokuntatiheyden muutos ei ota huomioon asuntojen keskikoon muutoksia. Perusurassa ei myöskään arvioida talotyypijakauman muutoksia. Asuntojen keskikoko on laskettu 2001–2005 valmistuneista uusista asuinhuoneistoista olettaen, että uusien asuntojen keskikoko pysyy samana. Asuntojen poistumaksi on kaikilla kaupunkiseuduilla oletettu 0,2 % vuodessa. Varauman (tyhjien asuntojen) osuus asunnoista pidetään vakiona.

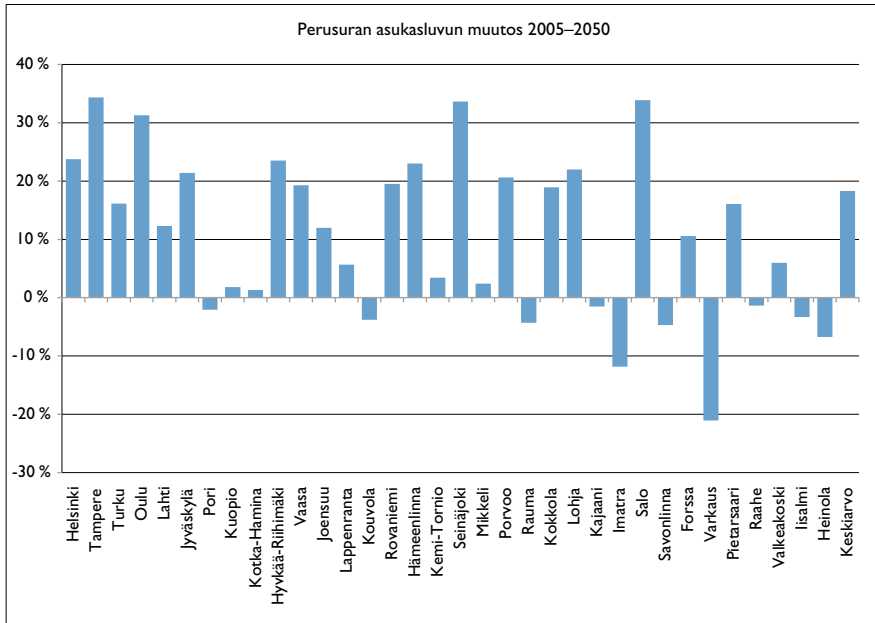
Perusuran laskennan yksi tulos on "laskennallisen taajama-alan" muutos, useimmiten sen kasvu. Laskennallisella taajama-alalla tarkoitetaan tässä sitä taajama-alaa, joka tarvitaan väestön asuttamiseen kaupunkiseudun keskimääräisen *asuntokuntakohtaisen* taajama-alarpeen perusteella. Se on laskettu jakamalla kullekin tarkasteluvuodelle ennakoitu asuntokuntien määrä vastaavalla asuntokuntatiheydellä (asuntokuntia/taajama-ala). Perusurassa tehtyjen laskentaoletusten mukaan laskennallinen taajama supistuu sellaisilla kaupunkiseuduilla, joissa asuntokuntien lukumäärä pienenee, mutta asuntokuntatiheys ei laske (kuvat 22 ja 23). Näitä tapauksia on 34 kaupunkiseudun joukossa vain kaksi. Niissäkin tapauksissa todellinen koko taajama-alue saattaa kuitenkin kasvaa, jos muiden kuin asuinrakennuksien määrä ja niiden tarvitsema maa-ala kasvaa. Yli puolet rakennuskannan kokonaistilavuudesta on muita kuin asuinrakennuksia eli toimitiloja (vrt. kuva 2). Taajaman pieneneminen on hyvin "laskennallista" ja teoreettista myös sen takia, että käytännössä uutta rakennetaan myös taantuvilla seuduilla.



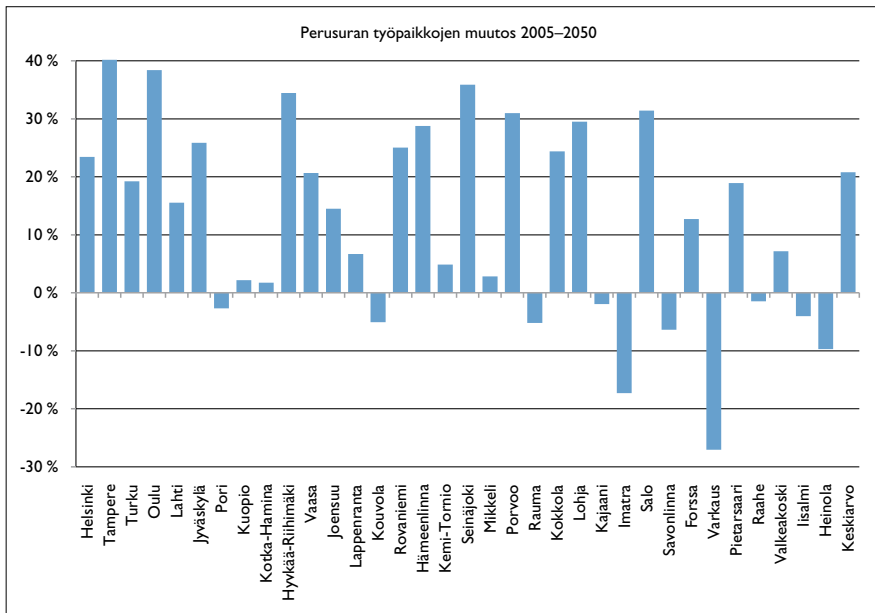
Kuva 22. Perusuran mukaisten "laskennallisten taajama-alojen" muutokset kaupunkiseuduilla 2005–2050. Laskenta ei ota huomioon muiden kuin asuinrakennusten taajama-alan tarpeen muutoksia ja sallii taajama pinta-alan supistumisen. Varkauden ja Imatran laskennallisen taajama-alan supistuminen on seurausta ennakoidusta suhteellisen suuresta asukasluvun ja asuntokuntien määrän laskusta (ks. kuva 24), jota edes asuntokuntatiheyden lasku ei pysty kompensoimaan. Lähde: YKR/SYKE.



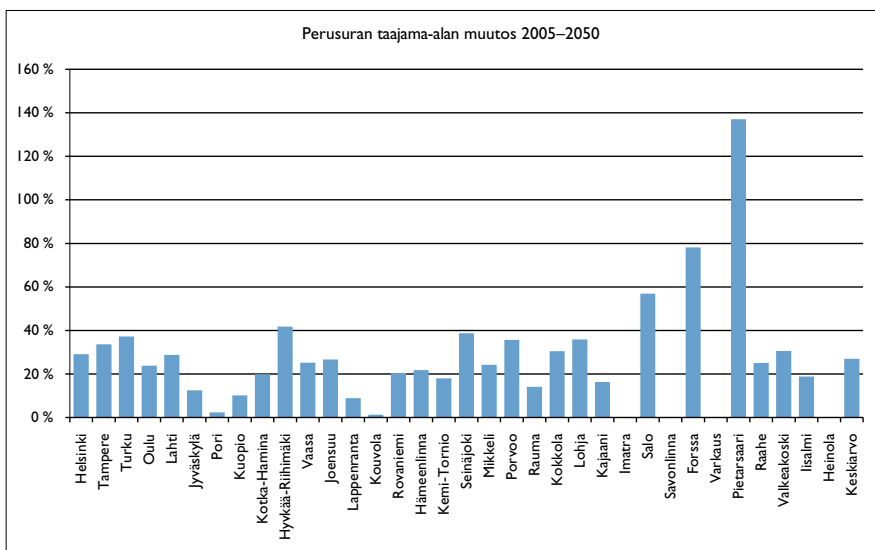
Kuva 23. Kaupunkiseutujen laskennallisten taajama-alojen muutokset perusurassa 2005–2050, kun taajama-alan supistumista ei sallita. Sininen on vuosi 2005, vihreä vuosi 2030 ja ruskea vuosi 2050. Suurimmat absoluuttiset muutokset ovat Helsingissä ja suhteelliset Pietarsaareissa (vrt. kuva 22). Lähde: YKR/SYKE.



Kuva 24. Kaupunkiseutujen väestönkasvu perusrassa 2005–2050.



Kuva 25. Kaupunkiseutujen työpaikkojen kasvu perusrassa 2005–2050.



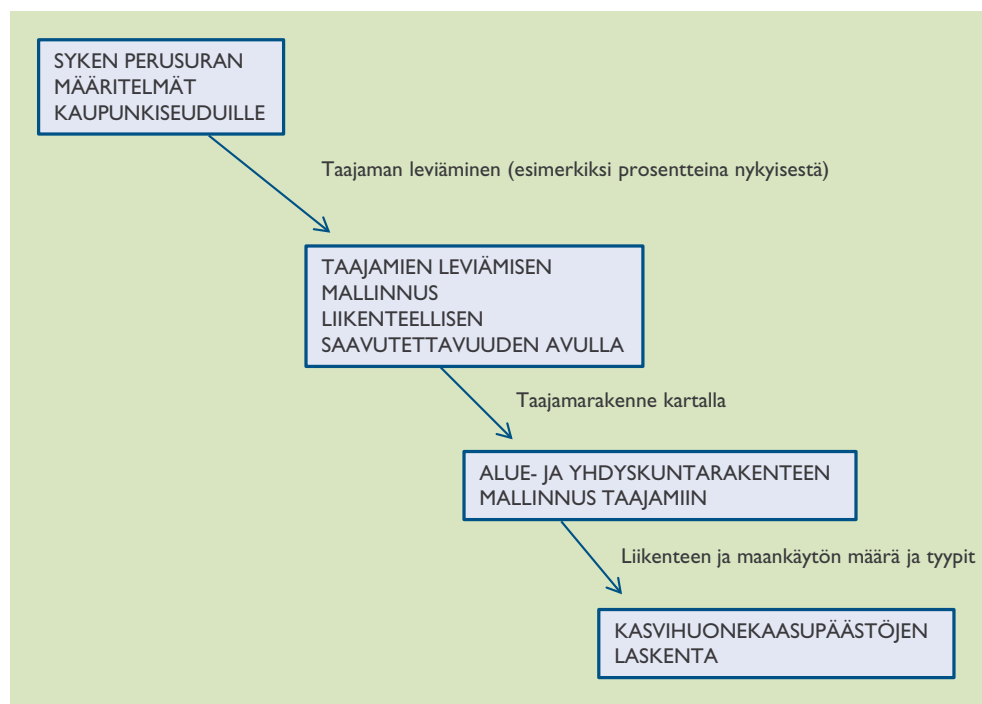
Kuva 26. Kaupunkiseutujen taajama-alan kasvu perusrassa 2005–2050, kun taajama-alan supistumista ei sallita (vrt. kuva 22).

Vaihtoehtoisten kehitysurien ja vaikutusarvioinnin mallinnus

Yhdyskuntarakenteen muutos on mallinnettu siten, että lähtökohdaksi otetaan perusuran mukaiset väestötiedoista johdetut taajama-alan suuruudet kaupunkiseuduittain (kuva 27). Vaikutusarvioinnin pohjana on käytetty kaupunkiseutukohtaisia asukasa ja työpaikkamääriä sekä taajama-alueen kasvuvauhtia. Kasvihuonekaasupäästöjen arviointia varten tarvitaan lisäksi tietoa siitä:

1. mihin taajama-alueet leviävät,
2. kuinka tehokkaasti (tiheästi) asukkaat ja työpaikat sijoittuvat näihin taajamiin ja
3. minkä tyyppisiä a) perusrakenteita b) niiden käyttöä ja c) liikkumisympäristöjä kyseiseen alue- ja yhdyskuntarakenteeseen tyypillisesti muodostuu.

Kukin aluetyyppi (erityisesti sen keskimääräinen aluetehokkuus, perusrakenteen suhteellinen määrä ja käytetyt talotyyppit) tuottaa eri määrän kasvuhuonekaasupäästöjä.



Kuva 27. Kaupunkiseutujen alueellisen leviämisen, siitä johtuvan yhdyskuntarakenteen muutoksen ja siitä johtuvan kasvuhuonekaasupäästöjä muutoksen mallinnuksen ja laskennan päävaiheet.

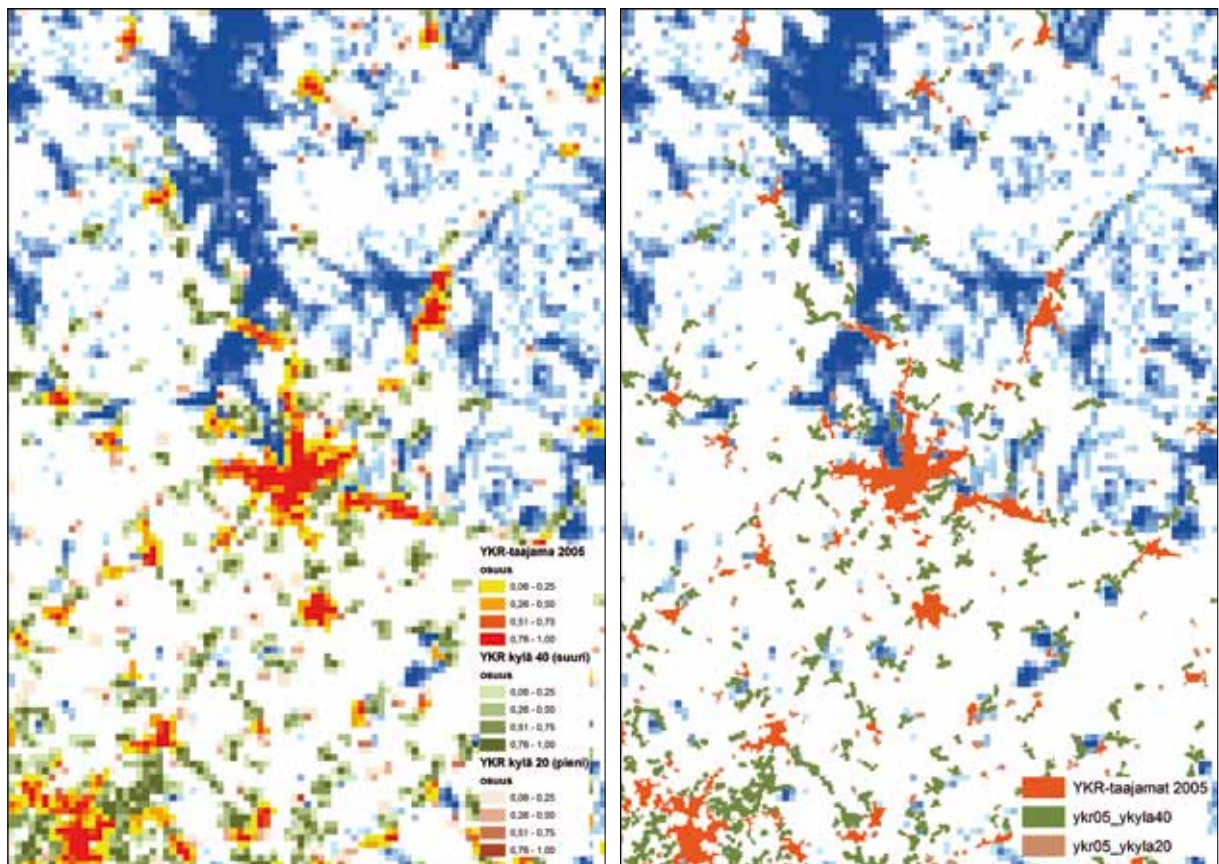
Mallinnusprosessi sisältää seuraavat vaiheet:

- Ruutuaineistot nykyisen aluerakenteen kuvaajana.
- Taajama-alueiden kasvu saavutettavuuden perusteella.
- Yhdyskuntarakenteen sijoittaminen taajamiin.
- Rajoitteiden ja nykyisen rakenteen huomioiminen.

Mallinnuksessa noudatetut periaatteet kuvataan seuraavassa.

Ruutuaineistot nykyisen aluerakenteen kuvaajana

Mallinnus perustuu ruutuaineistoihin. Menetelmässä käytetään pohjana nykyistä yhdyskuntarakennetta (YKR 2009) ja lasketaan tulevaisuuden vaihtoehtoisia yhdyskuntarakenteita koko Suomen kattavassa 1 km * 1 km ruudukossa. Taajama-alueet muunnettiin 250 m * 250 m taajamaruuduista taajamaprocenteiksi 1 km * 1 km ruudukkoon (kuvat 28–29).

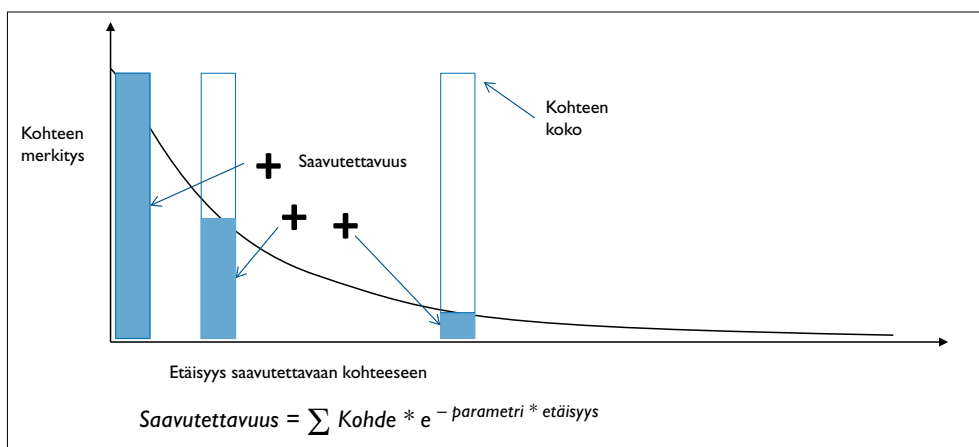


Kuvat 28 ja 29. Taajamaruudut ja erityyppisen asutuksen osuus niissä vuonna 2005. Punaiset ja keltaiset ruudut taajamia, kyläruudut vihreitä (isot kylät) ja ruskeita (pienet kylät). Oikeanpuoleisessa kuvassa taajama- ja kyläruudut 250 m * 250 m ruudukossa ja vasemmanpuoleisessa muunnettuna 1 km * 1 km ruudukkoon. Esimerkkinä Lahden kaupunkiseutu.

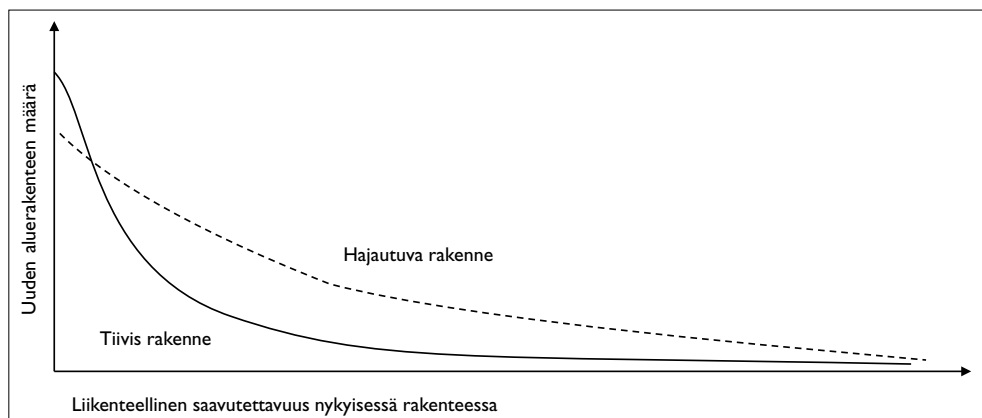
Taajama-alueiden kasvu saavutettavuuden perusteella

Taajama-alueen leviäminen on arvioitu kaupunkiseutujen väestön ja työpaikkojen kasvun pohjalta. Pinta-alan kasvusta on johdettu lisäalueen tarpeen sijoittuminen nykyisen taajama-alueen reunoille käyttäen hyväksi saavutettavuusfunktiota (kuva 30), joka kuvaa haja-asutusalueiden suhteellista läheisyyttä (houkuttelevuutta) nykyisten kylä- ja taajama-alueiden suhteen. Mitä lähempänä liikennejärjestelmän kautta saavutettavia nykyisiä taajamia ja kyliä alue on, eli mitä saavutettavampi se on, sitä vetovoimaisempi se on myös tulevaisuudessa. Parhaiten saavutettavissa olevat alueet otetaan ensin käyttöön ja siirrytään johdonmukaisesti seuraavaksi parhaiden alueiden käyttöönottoon jne.

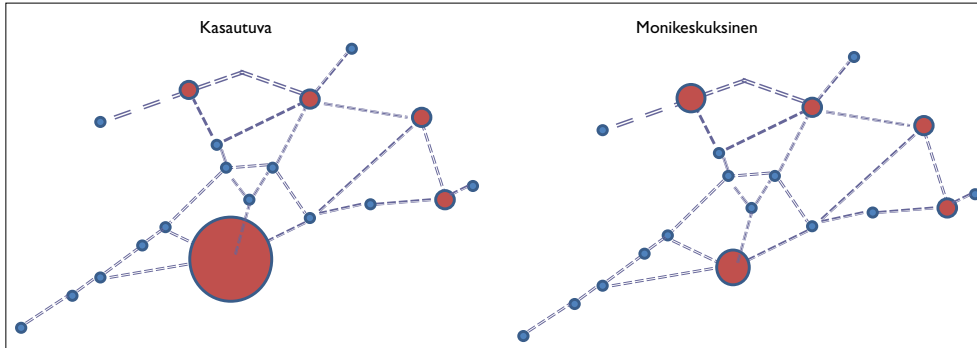
Hajautuvan ja tiivistyvän rakenteen eriaisteiset kehityslinjat saadaan mallinnettua säätämällä saavutettavuusfunktion jyrkkyyttä (kuva 31). Tulevaisuuden alue- ja yhdyskuntarakenteen mono- tai polysentrisyyttä ("yksi- tai monikeskuisuutta") voidaan puolestaan säädellä rajoittamalla voimakkaasti tai vähemmän voimakkaasti nykyisten suurimpien keskusten kokoa, jolloin pienten keskusten paino vastaavasti muuttuu (kuva 32).



Kuva 30. Saavutettavuusfunktio ja sen yleinen kuvaaja. Huono saavutettavuus eli suuret keskimääräiset etäisyydet vähentävät isonkin kohteen merkitystä (vetovoimaa).

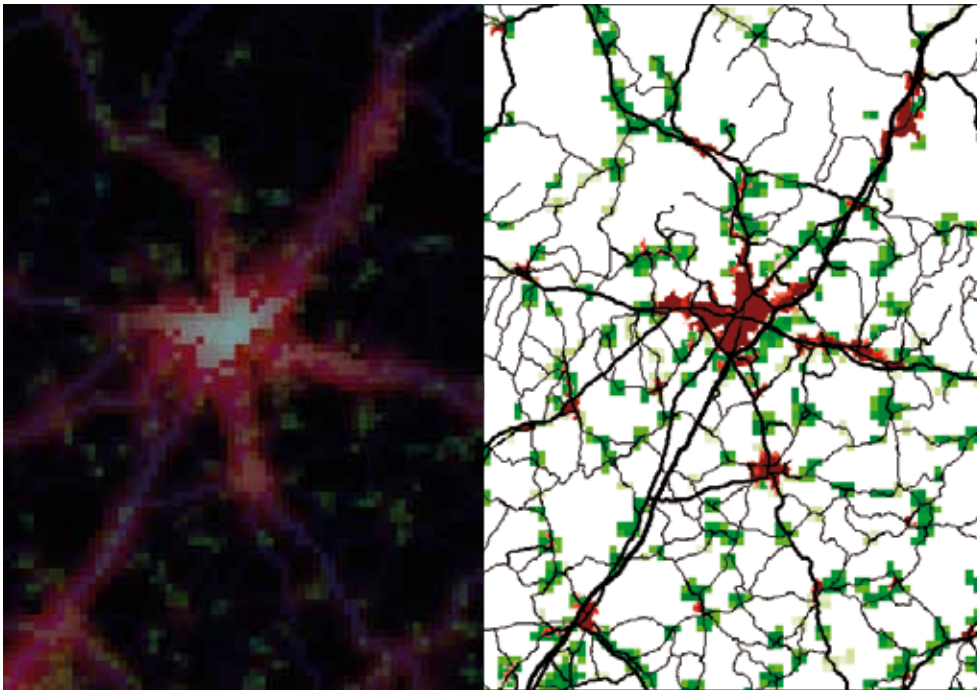


Kuva 31. Saavutettavuuden muutos riippuu siitä, hajautuuko vai tiivistyykö nykyinen yhdyskuntarakente. Verrattuna tiivistyvään rakenteeseen hajautuvassa rakenteessa niiden alueiden määrä kasvaa, joilla on huono saavutettavuus ja tiivistyvässä päinvastoin.



Kuva 32. Keskusten koko vaikuttaa sen vetovoimaan. Kasvun keskittyessä (kasautuessa) isot keskukset kasvavat enemmän kuin pienet, jolloin niiden vetovoima kasvaa enemmän kuin muiden. Samalla keskus laajenee alueellisesti, hajautuvassa nopeammin kuin tiivistyvässä.

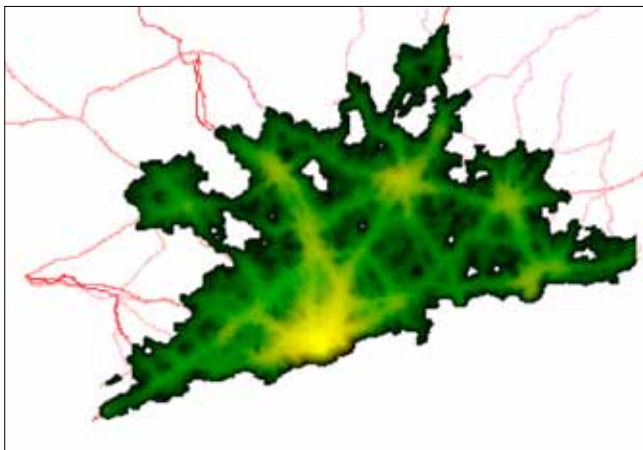
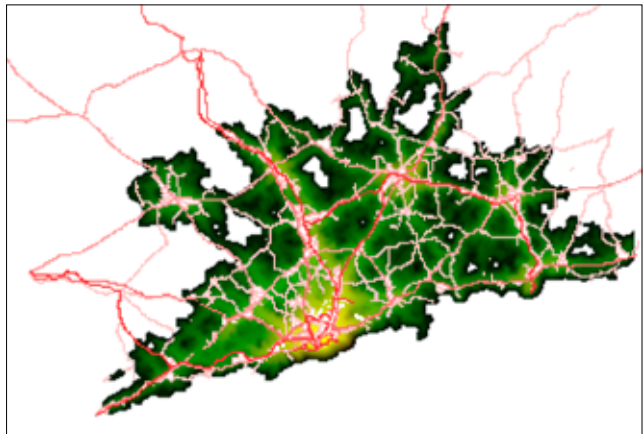
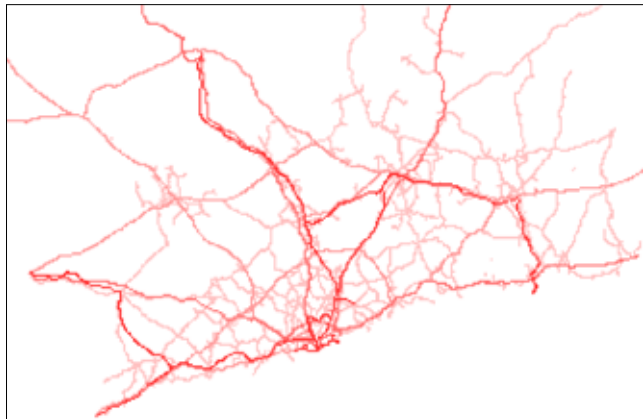
Käyttöön otettavat uudet rakennusalueet eivät noudata hallinnollisia rajoja, maanomistusolosuhteita tms. "keinotekoisia" rajoitteita. Alueellista kasvua voidaan siten luonnehtia orgaaniseksi tai luonnolliseksi kasvuksi vapaana satunnaisista alueellisista markkinatilanteista tai hallinnollisista rajoitteista (kuvat 33–34). Luonnollisista rajoitteista otetaan huomioon vain vesistöesteet eli uutta rakennusmaata ei vallata merestä tai järvistä. Maanpinnan korkeusvaihtelusta johtuvat rajoitteet oletetaan huomioonotetuiksi jo silloin kuin liikenneverkon sijainnista on päätetty. Etäisyydet mitataan todellista liikenneverkkoa pitkin, joten vesistöesteiden kiertäminen huontaa periaatteessa lähelläkin olevien alueiden saavutettavuutta.



Kuvat 33 ja 34. Taajama-alue on mallinnettu orgaanisen kasvun pohjalta (oikeanpuolimmaisessa kuvassa vaaleampi punainen merkitsee uudempaa taajama-aluetta, vihreä kylä-aluetta) ja toisaalta taajama- ja kylä-alueiden saavutettavuuspinnan avulla (vasemmanpuoleisessa kuvassa kirkkaampi punainen tarkoittaa saavutettavampaa aluetta suhteessa taajama-alueeseen). Esimerkkinä Lahden kaupunkiseutu.

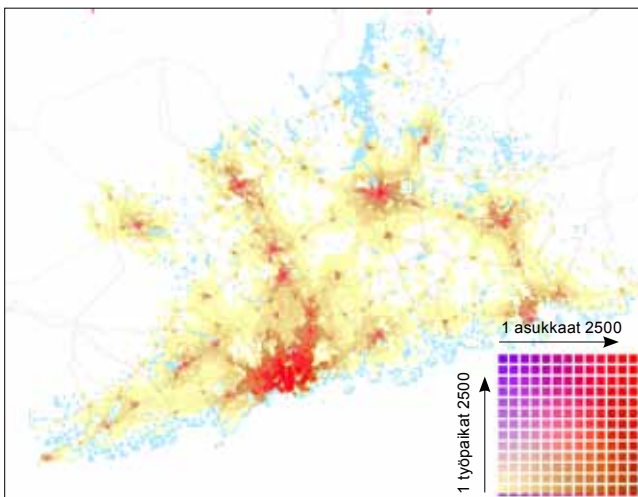
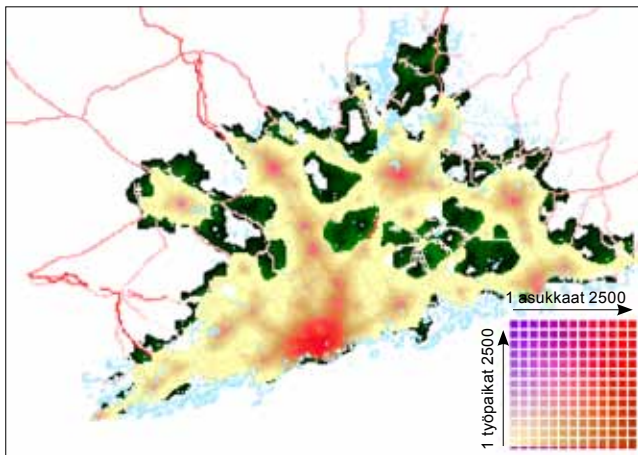
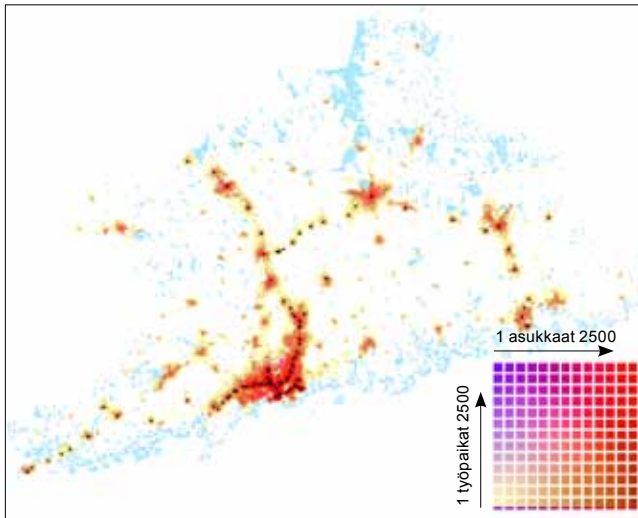
Yhdyskuntarakenteen sijoittaminen taajamiin

Saavutettavuuden arviointi tapahtuu ruuduittain siten, että saavutettavuus on sitä suurempi mitä lähempänä kaupunkiseudun rakennetun ympäristön (kerrosalan) keskittymiä ruutu sijaitsee ja mitä lyhyempi ja nopeampi kulkuyhteys niihin on. Yhteydet mitataan todellista liikenneverkkoa pitkin ja niiden ohjenupeuksia käyttäen (kuvat 35–37). Suora ja nopea tie lisää saavutettavuutta ja mutkainen ja hidas reitti päinvastoin.

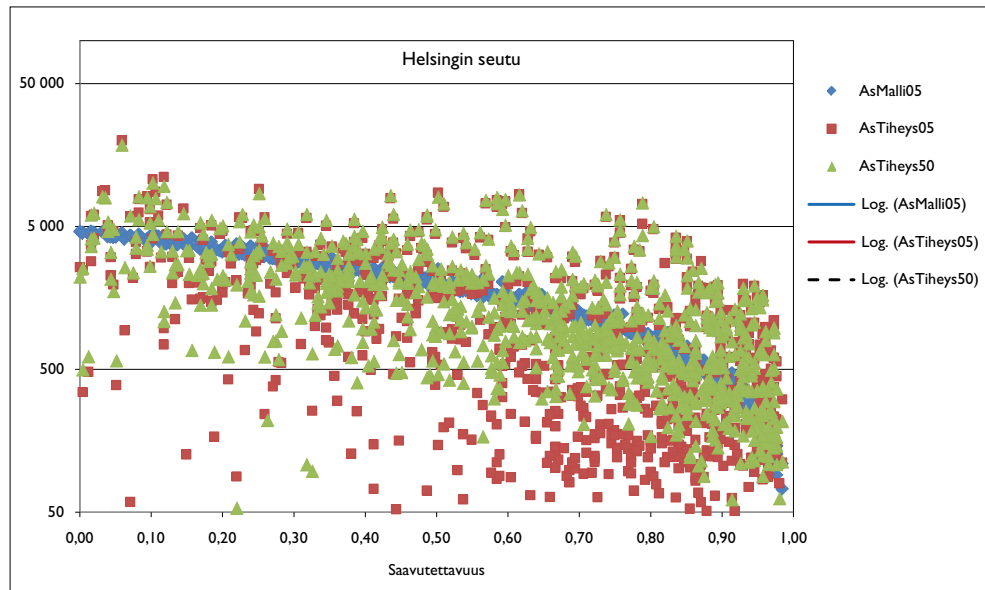


Kuvat 35–37. Liikenneverkon ohjenupeudet (ylhällä) vaikuttavat saavutettavuuteen ja siitä muodostettuun saavutettavuuspintaan (keskellä ja alhaalla). Saavutettavuus paranee kun siirrytään vihreästä keltaiseen väriin.

Nykyinen yhdyskuntarakenne on kuvattu ruuduittain asukas- ja työpaikkamäärien avulla, yhdistetty saavutettavuuspintaan, rakentamattomiin "vapaisiin" alueisiin ja rakentamisen ulkopuolelle jätettäviin virkistysalueisiin (kuvat 38–40).



Kuvat 38–40. Kaupunkiseutujen kasvun ja alueellisen laajenemisen arviointi perustuu nykyisiin rakennettuihin alueisiin (ylhällä), niiden saavutettavuuteen (keskellä) ja "vapaina" oleviin, rakentamiseen soveltuviin (virkistys- yms. alueiden ulkopuolisiin) alueisiin (alhaalla). Ruutujen väri muuttuu punaisemmaksi kun sen asukasmäärä kasvaa ja sinisemmäksi kun työpaikkamäärä kasvaa.

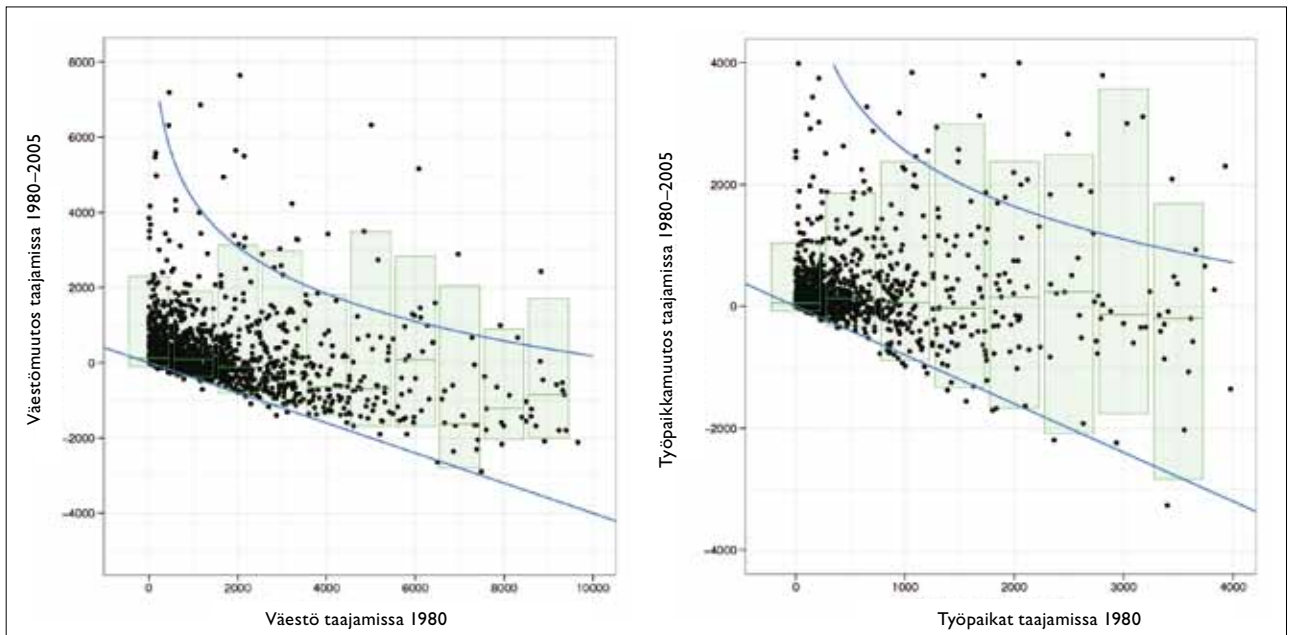


Kuva 41. Yhdyskuntarakenteen laajentumisen mallinnuksessa käytetty asukastiheyden (pystyakseli) ja saavutettavuuden (vaaka-akseli) välinen suhde. Saavutettavuuden alueellinen maksimi (jota on merkitty luvulla 0.00) on vasemmassa reunassa olevissa taajamaruuduissa, jotka ovat myös keskimäärin tiheimmin asuttuja (noin 5 000 asukasta /km²). Saavutettavuudeltaan heikoimmat taajamaruudut (merkitty luvulla 1.00) ovat vastaavasti kuvan oikeassa laidassa. Vuoden 2005 tilanne on merkitty punaisilla neliöillä ja mallin laskema tilanne perusurassa vuonna 2050 vihreillä kolmioilla. Taustalla näkyy mallin laskema saavutettavuuskäyrä sinisillä vinoneliöillä. Tulevan kehityksen ennakkoinnissa taajama-alue laajenee ja asukastiheys laskee, mutta muuten nykyisen rakenteen ominaisuudet pidetään ennallaan. Esimerkkinä Helsingin kaupunkiseutu.

Taajama-alueen kasvu perusurassa näkyy sekä nykyisten taajamien leviämisenä että uusien taajamien syntyä saavutettavimmille liikenneverkon vaikutusalueille (ks. kuva 40). Näille taajama-alueille sijoitetaan tulevaisuuden asukkaat ja työpaikat työpaikkasaavutettavuuden avulla. Tulevan kehityksen ennakkoinnissa on tukeuduttu menneessä kehityksessä havaittuihin muutossuuntiin. Lisäksi otetaan huomioon tulevaisuuden rakenteessa ns. "residuaalit" eli sellaiset tekijät joita mallinnus ei suoraan huomioi. Tällöin mallista tulee nykytilannetta saavutettavuusmuutosten takia muuttava malli eikä kokonaan uutta rakennetta luova (kuva 41).

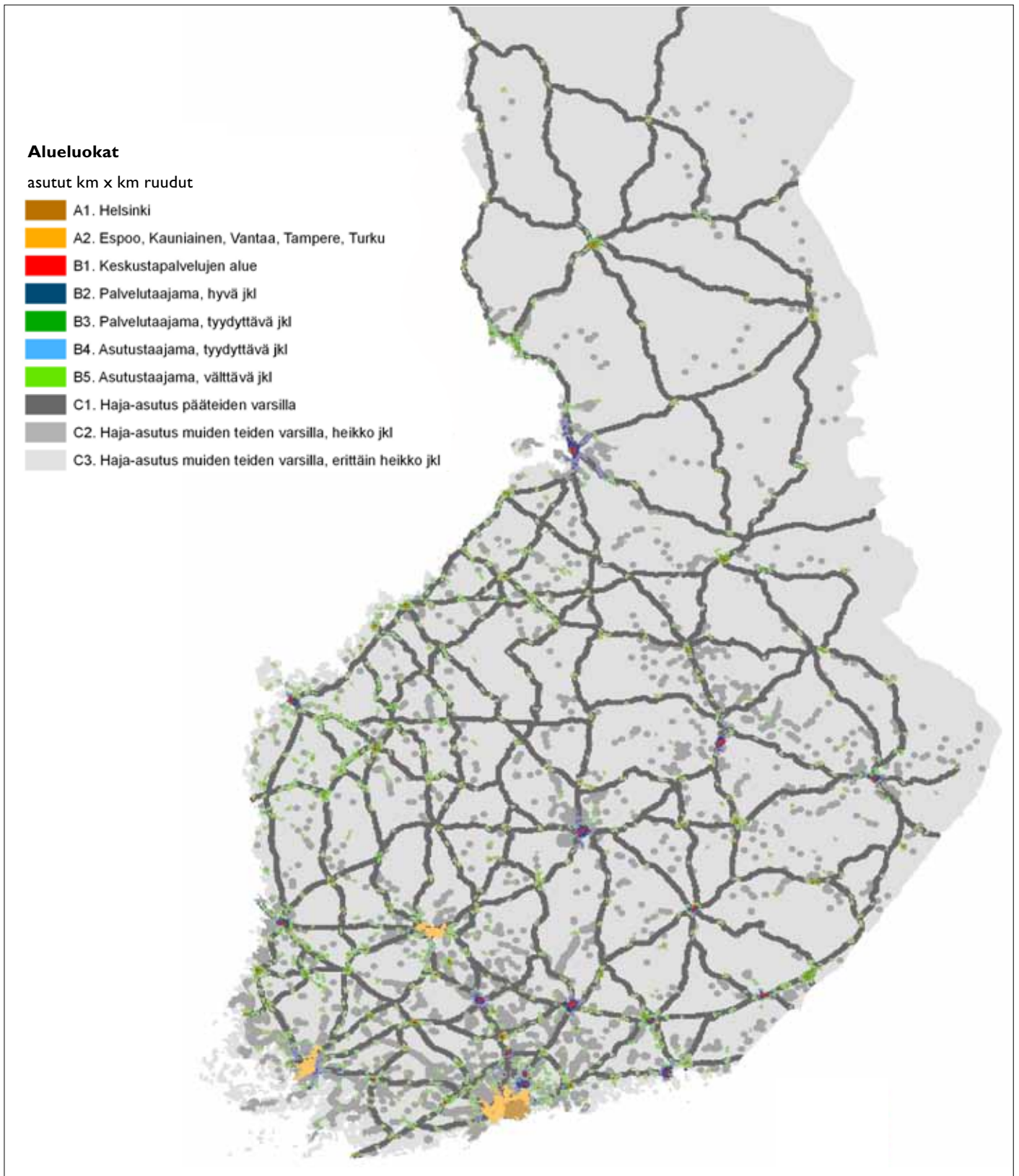
Rajoitteiden ja nykyisen rakenteen huomioiminen

Nykyinen yhdyskuntarakenne ja mennyt kehitys vaikuttavat taajama-alueiden tulevaan kehitykseen siten, että mitä tiiviimpi alue jo on, sitä vähemmän uutta rakennetta menetelmä voi sinne sijoittaa mahdollisesta saavutettavuuden paranemisesta huolimatta (kuva 42–43). Menetelmä mahdollistaa myös kaavarajoitteiden huomioinnin, mutta tässä tutkimuksessa ei ollut mahdollista rajoittaa sijoittumista kuin fyysisten (esimerkiksi vesistöalueiden) ja luonnonsuojelualueiden osalta kattavien aineistojen puutteen takia.



Kuvat 42 ja 43. Kaupunkiseutujen taajamaruuduissa vuosina 1980–2005 tapahtunut muutos asukasmäärän (vasen kaavio) ja työpaikkojen (oikea kaavio) vuoden 1980 määrien funktiona. Alempi käyrä kuvaa osuutta, joka mm. asumisväljyyden kasvaessa nykyisestä rakenteesta on poistunut viimeisen 25 vuoden aikana. Ylempi käyrä kuvaa tiivistämisen määrää, joka on puolestaan keskimäärin ollut enintään mahdollista. Näitä nykyisen ja uuden rakenteen suhteita käytetään nykyrakenteen tiivistämisen/väljentämisen säätelyssä.

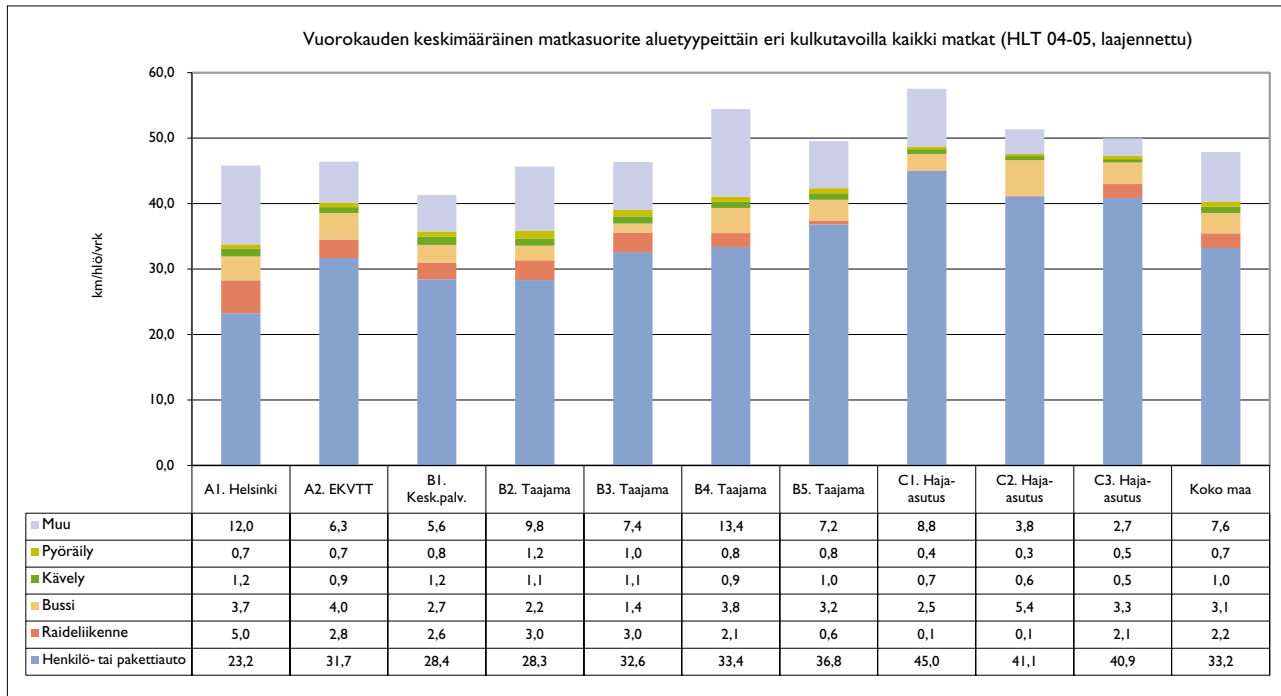
Yhdyskuntarakenteen muutoksen mallinnus perustuu tilastokeskuksen väestöennusteisiin 2040 ja niistä muodostettuun kaupunkiseutujen yhdyskuntarakennetta kuvaavaan perusuraan. Väestötiedot on muunnettu perusurassa asukkaita, asuntokuntia, asuntoja ja alueita koskeviksi tiedoiksi ja taajama-alan muutoksiksi menneen kehityksen (1980–2005) jatkumona vuoteen 2050 asti. Perusuraa koskevat tiedot on laskettu 34 suurimman kaupunkiseudun alueelta ruututietoina. Taajama-alueiden kasvu on sijoitettu kaupunkiseudun reunoilla sijaitseville ruuduille laskettujen saavutettavuusarvojen perusteella siten, että edullisimmin sijaitsevat alueet otetaan käyttöön ensimmäiseksi.



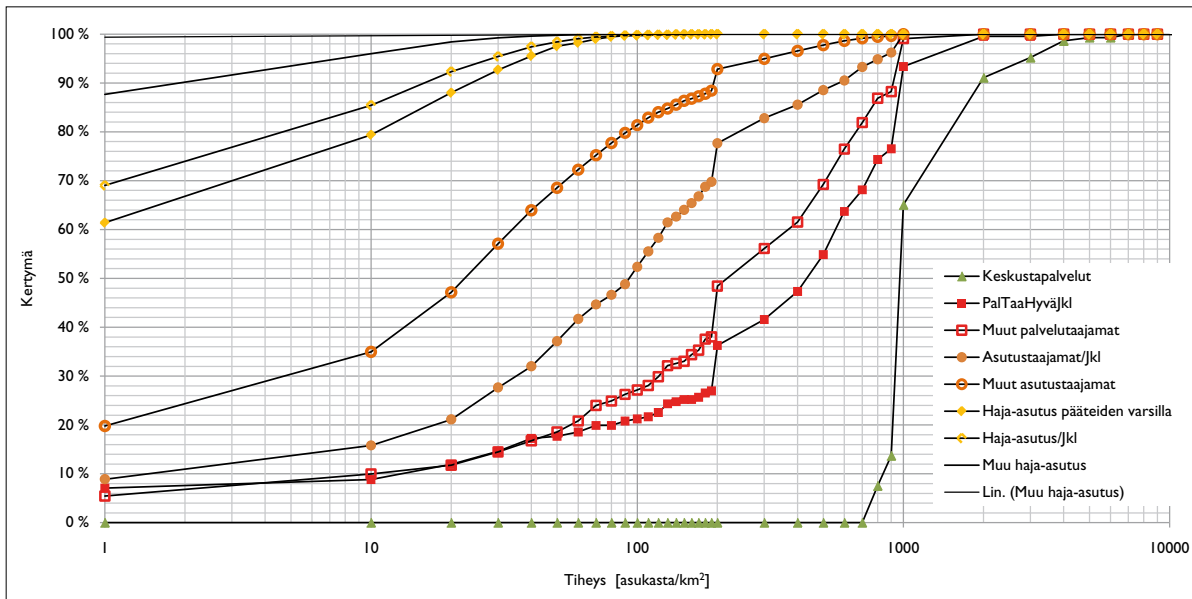
Kuva 44. Aluetyypit nykytilanteessa (2005) kattava 34 suurimman kaupunkiseudun alueet.

Kasvihuonekaasupäästöjen mallinnus

Liikenteen päästöjen laskenta perustuu yhdyskuntarakenteen luokitteluun eri "alue-tyyppeihin" (ns. Valhea-luokitus, ks. esim. Metropolialueelle...2008, Lahti et al. 2008) ja VTT:n LIISA 2007-mallin päästökertoimiin (g CO₂ekv/ajoneuvo-km), jotka on tämän tutkimuksen laskentamallissa extrapoloitu vuodesta 2028 vuoteen 2050. Biopolttoaineiden osalta LIISA-malli ennakoii noin 10 % polttoaineosuutta vuoden 2020 jälkeen. Alue-tyyppi (kuva 44) vaikuttaa liikenteen määrään ja päästöihin kulkutapa-jakauman kautta (kuva 45). Liikennemäärät perustuvat henkilöliikennetutkimuksen (HLT 2004–2005) aineistoon henkilömatkasuoritteista, joissa ovat mukana kaikki maanpinnalla tapahtuva matkat kulkutavasta ja matkapituudesta riippumatta. Myös pitkät, yli 200 km pituiset henkilömatkat ovat mukana, koska kaupunkiseudun koolla ja asukkaan sijainnilla yhdyskuntarakenteessa (keskustassa vai reunoilla) on todettu olevan vaikutuksia matkasuoritteeseen (ks. HLT 2004–2005, matkasuoritteet kulkuta-van, pituusluokan ja matkatyyppin suhteen). Tavaraliikenne, vesi- ja ilmaliiikenne eivät ole arvioinnissa mukana. Tulevan kehityksen ennakointi perustuu kaupunkiseutujen kasvun kautta arvioituun taajama-alueiden laajenemiseen ja ruutujen alue-tyyppiluokan ja asukastiheyden muuttumiseen (kuva 46).



Kuva 45. Kulkutapojen suorittemäärien riippuvuus alue-tyypeistä HLT 2004–2005 mukaan. Kaupunki-seutuja koskevat lähinnä kaavion vasemman laidan pylväät.



Kuva 46. Tutkimuksessa hyödynnetyn (koko Suomen kattavan 1 kilometrin ruutuaineiston) VALHEA-luokituksen eri aluetyypeillä on erilainen asukastiheyden jakaumaprofiili. Esimerkiksi "keskustapalveluiksi" luokitelluista ruuduista (vihreät kolmiot) kaikissa on vähintään 800 asukasta/km² ja 65 % vähintään 1 000 asukasta/km², kun taas "palvelutaajamissa, joissa on hyvä joukkoliikenteen taso" (täyspunaiset neliöt) noin puolessa on vähintään 400 asukasta/km² ja noin 20 % enintään 100 asukasta/km². "Asutustaajamien" ruuduissa, joissa "on joukkoliikennepalveluja" (täysruskea ympyrä) 70 prosentissa asukastiheys on enintään 200 asukasta/km². Asukastiheyden noustessa tasolle 200 asukasta/km² (2 as/ha) tapahtuu asukasmäärissä noin 5–10 prosenttiyksikön hyppäyksellinen nousu lähes kaikissa aluetyypeissä. Yhdyskuntarakenteen tuleva kehitys on mallinnettu siten, että alueet voivat siirtyä "ylempään luokkaan" näiden havaintojen mukaisesti.

Rakennetun ympäristön aiheuttama kasvihuonekaasupäästöjen määrä arvioidaan rakennuskannan ominaisuustietojen perusteella. Rakennuskanta jakautuu eri rakennustyyppisiin (asuinpienitalo, teollisuusrakennukset jne.), joilla puolestaan on erilaiset lämmönkulutus- ja lämmitystapajakaumat (vrt. kuva 2). Kukin lämmönlähde aiheuttaa sille ominaiset kasvihuonekaasupäästöt. Näistä on johdettu jokaiselle rakennustyyppille ominaiset keskimääräiset päästökertoimet.

Vuodelle 2050 ennakoitujen muutokset lämmitystarpeessa ja kasvihuonekaasupäästöissä perustuvat oletuksiin eri rakennustyyppien ulkovaipan U-arvojen ja ilmanvaihdon parantamistoimenpiteiden vaikutuksista. Oletukset ovat aina epävarmoja, josta syystä on sovellettu sekä "varovaista" että "optimistista" arviota (taulukko 2). Rakennustyyppistä riippuen on sovellettu joko varovaista tai optimistista arviota tai niiden välimuotoa (taulukko 3). Rakennustyyppien lämmitysenergian tuottamisessa käytettävä polttoainejakauma ja sen mukaiset päästökertoimet pidetään tässä tarkastelussa ajasta ja paikasta riippumattomina, valtakunnan keskiarvojen mukaisina vakioina, toisin sanoen esimerkiksi alueen satunnainen sijainti suhteessa läheisiin energialaitoksiin ei vaikuta päästöjen määrään. Sen sijaan sijainti yhdyskuntarakenteessa, aluetyypeissä, niiden mukaisissa asukastiheys- ja rakennustyyppiluokissa, vaikuttaa energiankulutukseen ja sitä kautta päästöihin (ks. kuva 64).

Taulukko 2. Energiatohokkuuden parantamiseen tähtäävien määräysten ym. toimien ansiosta rakennuskantaan kohdistetut, oletetut parannustoimet ja niiden vaikutus energiankulutukseen vuosien 2020 ja 2050 tilanteissa "varovaisessa" ja "optimistisessa" arvioissa. Edellisessä energiankulutuksen vähennys on noin 27 %, jälkimmäisessä 57 %. Rakennusten ulkovaipan U-arvot parantuvat tasolta $0,3 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$ tasolle 0,2 tai $0,12 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Ilmanvaihdon osalta toteutetaan lämmöntalteenoton laitteistoparannuksia siten, että lämpöä saadaan talteen joko 10 tai 50 %. Näiden lisäksi toteutetaan jonkin verran myös muita rakennusteknisiä parannustoimia. Kokonaisvaikutus on -28...-57 % rakennusten keskimääräisestä lämmitysenergian tarpeesta vuonna 2050. Oletukset perustuvat VTT:n "Teknologiapolut 2050" tutkimushankkeessa esitettyihin arvioihin (Teknologiapolut 2008, s. 173). Lihavoidut luvut ovat energiankulutuksen muutuskertoimia suhteessa rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen kerrosneliötä kohti. Tilojen lämmitystarpeen vähentyessä lämpimän käyttöveden energiankulutusosuus nousee tasolta 15 % vuonna 2020 tasolle 25 % vuonna 2050.

rakennuskannan energiaparannusten kaksi skenaariota tarkasteluvuosi	energiakerroin	
	2020	2050
VTT Visio 2050, varovainen:		
ulkovaipan parannus U-arvo $0,3 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1} > 0,2 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$		0,762
IV-parannus LTO -10%		0,970
yhteensä ml. muut rakennustekniset toimenpiteet	0,830	0,630
yhteensä koko energiantarpeesta	0,856	0,723
VTT Visio 2050, optimistinen:		
ulkovaipan parannus U-arvo $0,3 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1} > 0,12 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$		0,671
IV-parannus LTO -50%		0,850
yhteensä ml. muut rakennustekniset toimenpiteet	0,670	0,240
yhteensä koko energiantarpeesta	0,720	0,430

Taulukko 3. Eri rakennustyypeille sovelletut lämmitysenergiankulutuksen muutuskertoimet vuodelle 2050 käyttäen rakennustyyppistä riippuen hyväksi joko varovaisista tai optimistisista arviota (taulukko 2). Muutos on suhteellisen suuri johtuen oletetusta melko voimakkaista uusien energiatehokkuusmääräysten soveltamisesta rakennuskannan energiatohokkuuden parantamistoimiseksi (sekä uudisrakentamisen että korjausrakentamisen osalta). Muutos ei kuitenkaan ole suuri verrattuna valtioneuvoston tulevaisuusselonteon (2009) tavoitteisiin, joissa rakennuskannan energiankulutuksen määrän edellytetään vuoteen 2050 mennessä laskevan jopa 60 % verrattuna vuoden 1990 tasoon.

2050 rakennuskanta	energiankulutuksen muutuskertoin
erillispientalot	0,576
kytketyt pientalot	0,430
asuinkerrostalot	0,430
vapaa-ajan asuinrakennukset	0,723
toimisto-, liike- ja palvelurakennukset	0,430
teollisuusrakennukset ja varastot	0,723
muut rakennukset	0,723
painotettu keskiarvo	0,561

Rakennuskannan energiankulutukseen vaikuttavat sekä toteutettavan uudisrakentamisen energiatohokkuus että korjaustoiminnan laajuus ja laatu. Uudisrakentamisen on oletettu noudattavan vuoden 2003 rakennusmääräyksiä ja korjausrakentamisen kohdistuvan vuosittain 3,5 %:iin rakennuskannasta. Rakennusten sähkönkulutuksen suhteen arvio on varovaisen optimistinen: ominaiskulutukset/laite laskevat, mutta laitteiden määrä kasvaa. "Optimismia" siinä on se, että ominaiskulutus per asunto- m^2 ei enää kasvaisi.

Vuodesta 1990 vuoteen 2002 asuinrakennusten lämmityssähkön käyttö on kasvanut noin 2,8 % vuodessa, mikä vastaa noin 1,5 % per asunto- m^2 vuodessa (Tilastollinen vuosikirja 2003, Lahti & Halonen 2006). Kotitalouksien sähkölaitteiden sähkönkäyttö

on Suomessa kasvanut nopeasti (esimerkiksi vuosien 1993 ja 2006 välillä kasvu on ollut lähes 50 % eli noin 3,1 % vuodessa, Energy Visions, s. 115) ja noussut suuremmaksi kuin asuinrakennusten lämmityssähkön kulutus. Asuntoneliötä kohti kotitalouksien sähkönkulutus yhteensä on kasvanut noin 1,9 % vuosivauhtia. Vielä pitemmällä aikavälillä (1970–1999) sähkönkäyttö per asukas on kasvanut keskimäärin 5,0 % vuodessa (Teknologiapolut 2050, s. 161)

Tämän tutkimuksen laskentamallissa lämmitysenergia (ml. sähkölämmitys) ja muu sähkönkäyttö on arvioitu omina erinään. Tulevan kehityksen osalta oletetaan, että verotus- yms. keinoin muu kuin lämmityssähkönkulutus saataisiin pysymään nykyisellä tasolla. Lämmityssähkön kulutus puolestaan laskee oletettujen rakentamisen energiatehokkuusmääräysten takia. Sähkönkäyttö sisältää tässä vain rakennusteknisen sähkön eli valaistus-, LVI-tekniikan laitteiden ja kotitalous- ja viihde-elektroniikan tarvitseman sähkön, ei lämmityssähköä eikä teollisuuden, vesi- ja jätehuoltolaitosten yms. tuotantoprosessien tarvitsemaa sähköä.

Kasvihuonekaasupäästöjen mallinnus perustuu yhdyskuntarakenteen fyysisten elementtien (rakennusten, perusrakenteen ja liikennevälineiden) ominaispäästöihin sinä aikana kun ne on tuotettu (elinkaarinäkökulma) ja kun niitä käytetään. Rakennusten ja perusrakenteen ominaisuudet määräytyvät osittain niiden yhdyskuntarakenteellisten sijaintien perusteella. Hyvä saavutettavuus lisää mm. aluetehokkuutta, kerrostalojen osuutta, vähentää keskimääräisiä etäisyyksiä ja perusrakenteiden verkostopituuksia, jotka kaikki vaikuttavat syntyvän yhdyskuntarakenteen rakentamisen ja toiminnan aikaisiin keskimääräisiin kasvihuonekaasupäästöihin. Rakennuskannan eri talotyyppien energiankulutus- ja ominaispäästötiedot sekä energiatehokkuuden parantuminen uusien rakennusmääräysten käyttöönoton kautta perustuvat VTT:n tutkimus- ja laskentamallitietoihin. Liikenteen ominaispäästöt perustuvat VTT:n LIISA-mallin ajoneuvotyypikohtaisiin ominaislukuihin ja niiden ennakoituun muutokseen.

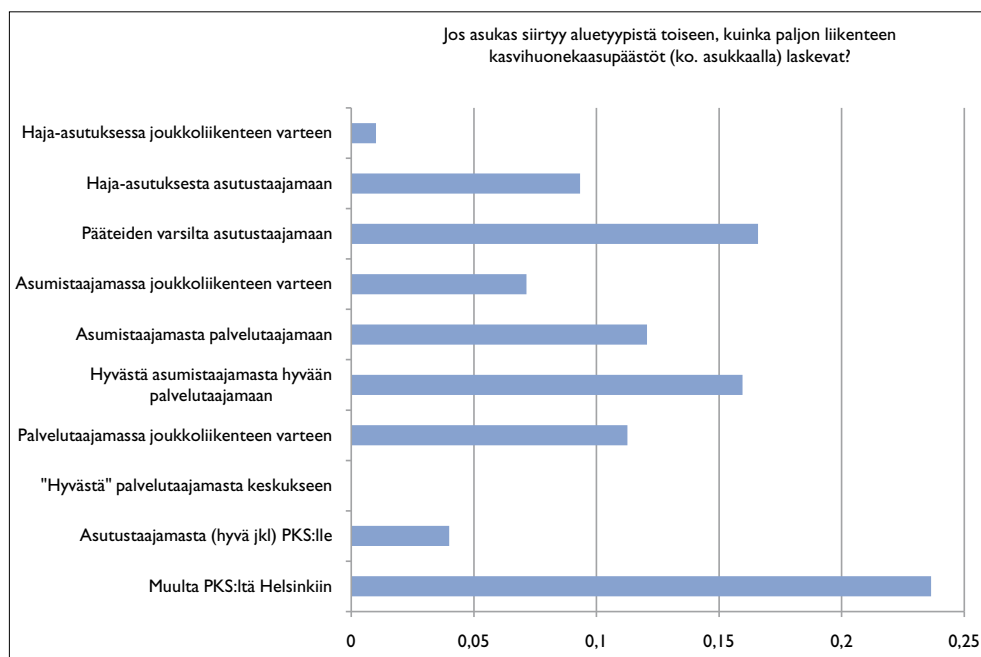
3.4

Yhdyskuntarakenteellisten muutosten mallinnus

Alueen sijainti yhdyskuntarakenteessa, aluetyypeissä, niiden mukaisissa asukastiheys- ja rakennustyyppiluokissa, vaikuttaa energiankulutukseen ja sitä kautta päästöihin sekä rakennuskannassa että liikenteessä (kuvat 47–48). Aluetyypit vaikuttavat henkilöliikenteen päästöihin saavutettavuuden ja liikkumiskäyttäytymisen kautta samaan tapaan kuin Metka-mallissa (Lahti et al. 2008, vrt. kuva 12). Arviointimallissa aluetyypit vaikuttavat alueen keskimääräiseen aluetehokkuuteen ja talotyyppijakaumaan (enemmän tai vähemmän kerrostaloja tai pientaloja), jotka puolestaan vaikuttavat asumisväljyyteen ja tarvittavan perusrakenteen (infran) määrään ja sitä kautta sekä rakennetun ympäristön että liikenteen energiantarpeeseen ja päästöihin. Taajamoituminen lisää keskimääräistä aluetehokkuutta ja vähentää päästöjä.

A1. Helsinki	Helsingin kaupunki on rajattu omaksi alueekseen, koska alueen joukkoliikennejärjestelmä on Suomen oloissa poikkeuksellisen tehokas, mikä heijastuu voimakkaasti autonomistukseen ja ihmisten matkustuskäyttäytymiseen.		KORKEA TEHOKKUUS
A2. Espoo, Kauniainen, Vantaa, Tampere, Turku	Taajama-alueet Espoon, Kauniaisten, Vantaan, Tampereen ja Turun alueella on käsitelty omana luokkana, koska näiden kaupunkien joukkoliikennejärjestelmän tehokkuus verrattuna muihin Suomen kaupunkeihin on parempi.	←	
B1. Keskustapalvelujen alue	Keskustapalvelujen alueita ovat kaupunkien keskustat ja muut erikokoiset keskuksat, joiden alueella on erikoiskaupan liikkeitä ja monipuolista palvelutarjontaa. Keski-suurissa kaupungeissa keskustapalvelujen alueen laajuus on tyypillisesti 3–5 km (halkaisija), pienissä kaupungeissa ja suurten kaupunkien kehyskunnissa alueen laajuus on tyypillisesti 1–2 km. Suuressa osassa kuntia edes kunnan keskusta ei kuulu tähän luokkaan vaan jompaankumpaan palvelutaajamien luokkaan.	←	
B2. Palvelutaajama, hyvä joukkoliikenne	Palvelutaajaman alueella on hyvät päivittäistavarakaupan palvelut ja muita palveluita siten, että oman alueen palvelut yleensä riittävät normaaleihin päivittäisiin tarpeisiin. Hyvän joukkoliikenteen palvelutaajamia on lähinnä keskisuurten kaupunkien joukkoliikennevyöhykkeillä ja suurempien kaupunkiseutujen kehyskunnissa. Hyvän joukkoliikenteen palvelutason saavuttaminen edellyttää yleensä paikallisliikennettä.	←	KESKITASON TEHOKKUUS
B3. Palvelutaajama, tyydyttävä joukkoliikenne	Palvelutaajaman alueella on hyvät päivittäistavarakaupan palvelut ja muita palveluita siten, että oman alueen palvelut yleensä riittävät normaaleihin päivittäisiin tarpeisiin. Tyydyttävän joukkoliikenteen palvelutaajamia on lähinnä pienten kuntakeskusten ympärillä. Tyydyttävä palvelutaso voidaan saavuttaa myös ilman omaa paikallista linjastoa.	←	MATALA TEHOKKUUS
B4. Asutustaajama, tyydyttävä joukkoliikenne	Asutustaajamassa on vain välttämättömät palvelut, jolloin merkittävä osa päivittäisistä ostos- ja asiointitarpeista edellyttää matkustamista oman asuinalueen ulkopuolelle. Tyypillisesti tyydyttävän joukkoliikenteen asutustaajama levittäytyy hyvän joukkoliikenteen palvelutaajaman ympärille, jolloin se on vielä paikallisliikenteen piirissä. Tyydyttävä joukkoliikenne voidaan saavuttaa myös pääväylien varrella, jolloin riittävän palvelutason tuottaa alueen läpi kulkeva seudullinen joukkoliikenne.	←	
B5. Asutustaajama, välttävä joukkoliikenne	Asutustaajamassa on vain välttämättömät palvelut, jolloin merkittävä osa päivittäisistä ostos- ja asiointitarpeista edellyttää matkustamista oman asuinalueen ulkopuolelle. Välttävän joukkoliikenteen asutustaajamat levittäytyvät yleensä tyydyttävän joukkoliikenteen palvelutaajaman ympärille tai ovat yksittäisiä kyläisiä asutuskeskittymiä.		
C1. Haja-asutus pääteiden varsilla	Valta- ja kantateiden vaikutuspiirissä oleva haja-asutus.		HAJA-ASUTUS
C2. Haja-asutus muiden teiden varsilla, heikko joukkoliikenne	Seutu- ja yhdysteiden vaikutuspiirissä oleva haja-asutus, jolle kuitenkin on tarjolla joukkoliikennepalveluja (esimerkiksi yksittäinen pysäkki, jolla vähintään 3 vuoroa/vrk).	←	
C3. Haja-asutus muiden teiden varsilla, erittäin heikko joukkoliikenne	Seutu- ja yhdysteiden vaikutuspiirissä oleva haja-asutus, jolle joukkoliikenteen tarjonta on erittäin vähäinen (esimerkiksi yksittäisillä pysäkeillä alle 3 vuoroa/vrk).		

Kuva 47. Aluetyyppien kymmenportainen kuvaus ja energiankulutuksen arvioinnissa käytetty neliportainen alueluokitus (Lahti et al. 2008).



Kuva 48. Aluetyypin muutoksen vaikutus henkilöliikenteen asukaskohtaisiin kasvihuonekaasupäästöihin. Suurin suhteellinen vähennys (24 %) tapahtuu silloin kun asukas muuttaa Helsinkiin muualta pääkaupunkiseudulta. Myös "pääteiden varsilta" "asutustaajamaan" ja "hyvästä asutustaajamasta" "hyvään palvelutaajamaan" muuttajilla päästöt vähenevät 16–17 %.

3.5

Yhdyskuntarakenteeseen vaikuttavat toimenpiteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi

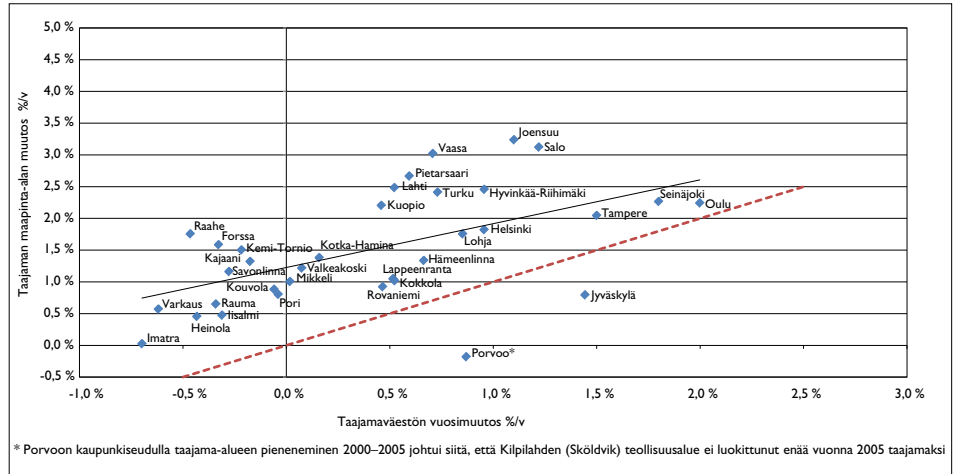
Yhdyskuntarakenteeseen vaikuttavia toimenpiteitä voidaan käyttää ja on käytetty eri tavoin eri kaupunkiseuduilla. Tässä tutkimuksessa on arvioitu erilaisia mahdollisuuksia vaikuttaa kasvihuonekaasupäästöihin yhdyskuntarakenteellisin toimenpitein. Toimenpidevalikoima on runsas, jonka takia arvioinnissa on tehtävä valintoja, jotka toisaalta kuvaavat riittävän hyvin niitä vaikutusmahdollisuuksia, joita on olemassa ja toisaalta mahdollistavat kohtuullisen luotettavan arvioinnin käytettävissä olevien lähtötietojen osalta. Näistä syistä arviointi on jaettu kahteen vaiheeseen:

1. Ensiksi selvitetään viimeaikaisen kehityksen mukainen taajama-alueiden ja maankäytön sijoittumisen mahdollinen ja todennäköinen tulevaisuuden vaihteluväli.
2. Toiseksi arvioidaan, mikä maankäytön sijoittumisen ja muiden yhdyskuntarakenteellisten toimenpiteiden yhteisvaikutus kasvihuonekaasupäästöjen kokonaisuutensa voimaansa voi olla.

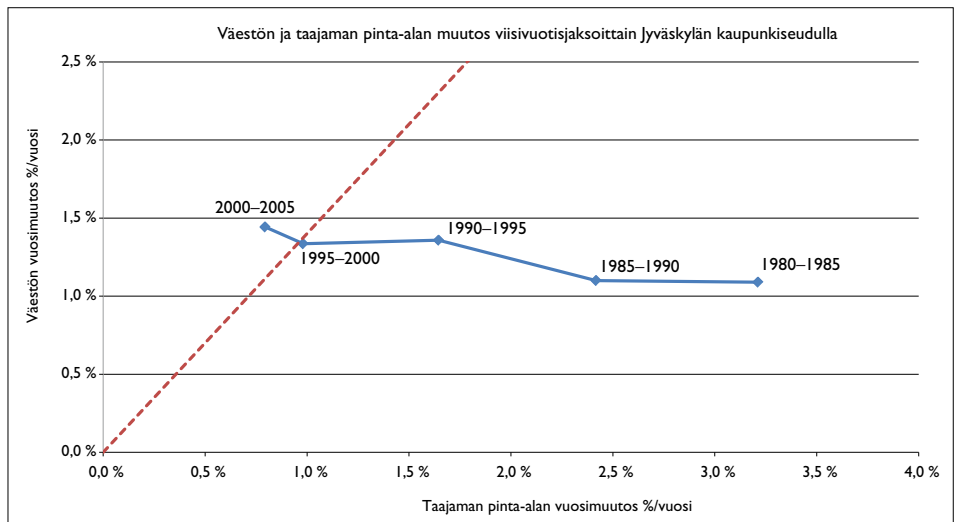
Näin pyritään välttämään epärealistisia arvioita useiden erillistoimenpiteiden yhteisvaikutuksista.

Taajama-alueen väestömäärän ja pinta-alan muutokset korreloivat tilastojen perusteella voimakkaasti keskenään. Kun väkiluku kasvaa, kasvaa myös pinta-ala. Viimeisen viiden vuoden (2000–2005) aikana tapahtunut muutos (kuvat 49 ja 50) voi kuitenkin poiketa pitkäaikaisesta trendistä, jolloin esimerkiksi aiempaa voimakkaam-

Kuva 49. Viime vuosien (2000–2005) trendi kaupunkiseutujen taajamaväestön ja taajaman maapinta-alan muutoksien suhteen näyttää kaupunkiseutujen rakenteen hajautumisen jatkumisen. Punaisella pisteiviivalla merkitty se raja-arvo, jossa molemmat muuttuvat samaa vauhtia eli asukastiheys pysyy vakiona. Pisteiviivan yläpuolella taajama-alueet harvenevat (hajautuvat) ja alapuolella tihenevät. Vain Jyväskylä ja Porvoo ovat viime vuosina tihentyneet, muut 32 ovat harventuneet. Keskimäärin (musta yhtenäinen viiva) taajamien pinta-ala näyttäisi kasvavan noin prosenttiyksikön nopeammin kuin väestön määrä. Jos väestö kasvaa 1 %, lisääntyy taajama-ala 2 % ja jos väestö ei kasva lainkaan, kasvaa kuitenkin maapinta-ala 1 %. Alimmillaan väestömuutos on tässä joukossa -0,7 % vuodessa (Imatra) mutta silloinkaan taajaman pinta-ala ei vielä ole vähentynyt. Rakennuksia puretaan (tosin harvoin), mutta "yhdyksuntarakenteen purkaminen" (rakennettujen alueiden ja liikenneverkon kattaman alueen muuttaminen taajamasta takaisin haja-asutusalueeksi) näyttää teollisen yhteiskunnan ja taloudellisen kasvun oloissa olevan lähes mahdotonta. Tilastollisesta taajamasta tilastolliseksi haja-asutusalueeksi muuttumiseen voi olla myös tilastolliseen luokituksen liittyvä syy, jossa reuna-alueella olevasta harvasta asutusalueesta irtoaa osa erilliseksi saarekkeeksi esimerkiksi pienen yksittäisen purkamistoimenpiteen seurauksena. Taajama-alueen pinta-alassa muutos näkyy silloin suurena, vaikka fyysisen rakenteen määrässä ja muodossa muutos on pieni. Lähde: YKR/SYKE.



Kuva 50. Jyväskylän kaupunkiseutu on poikkeuksellinen kaupunkiseutujen joukossa, koska siellä taajama-alue on viime vuosina tihentynyt (asukasmäärä/taajama-alue on kasvanut, ks. edellinen kuva). Muutos vuodesta 1985 vuoteen 1990 on sielläkin ollut harvempaa (punaisen vinoviivan oikealla puolella), mutta aikavälillä 1995–2000 trendi kääntyi ja on sen jälkeen ollut tihenevää (vinoviivan vasemmalla puolella). Pinta-alan kasvu on vuodesta 1985 alkaen jatkuvasti hidastunut ja hiukan ennen vuosituhannen vaihdetta kasvu kääntyi laskuksi. Jyväskylän esimerkkiä ei voi yleistää muita kaupunkiseutuja koskevaksi, koska niiden osalta (Porvoota lukuun ottamatta) kehitys jatkuu edelleen harvempaan suuntaan. Myöskään Jyväskylän osalta ei kehityksen mahdollista jatkumista samaan (tihentyvään) suuntaan voi pelkästään tämän perusteella ennustaa. Kyse on siitä miten yhdyskuntarakenteen muuttumista ohjaavat toimenpiteet, erityisesti uusien rakentamisalueiden valinta, kaupunkiseudun kasvua ohjaavat. Lähde: YKR/SYKE.



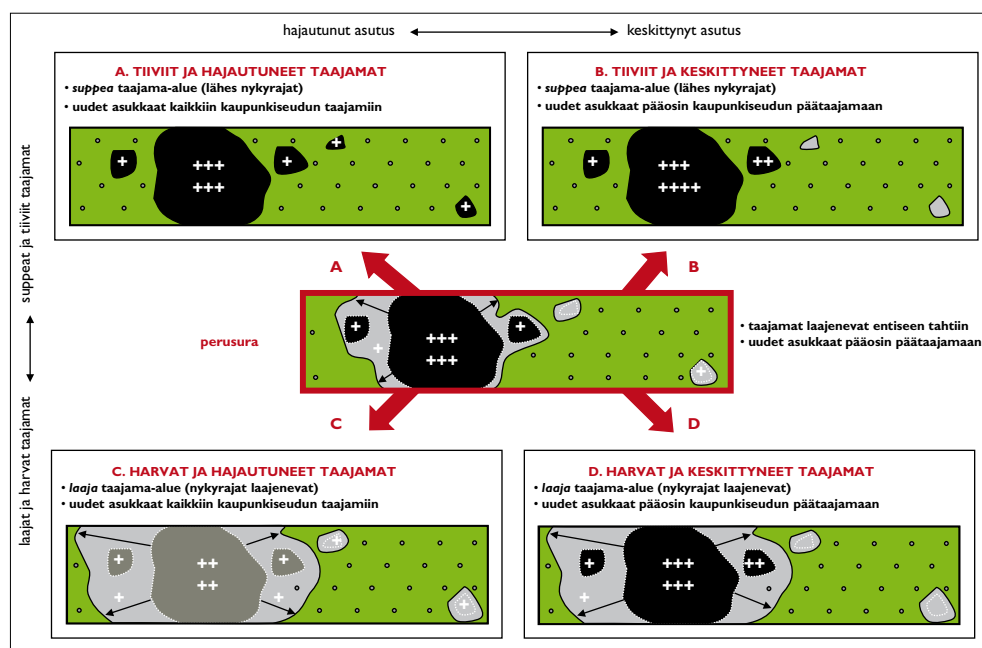
pi hajautumiskehitys (pinta-alan kasvu suurempaa kuin väkiluvun kasvu) johtaa perusurassa yhä laajempaan hajautumiseen ja tiivistyvässä tapauksessa taas päinvastoin. Pitkän aikavälin kehitysarvioinnissa onkin suhtauduttava viime vuosien trenditietojen käyttöön harkitusti ja joka tapauksessa läpinäkyvästi, jolloin tuloksia tulkitessa on koko ajan selvä mihin laskentaoletuksiin ne perustuvat.

Yhdyskuntarakenteen neljä kehityskulkua (skenaariota)

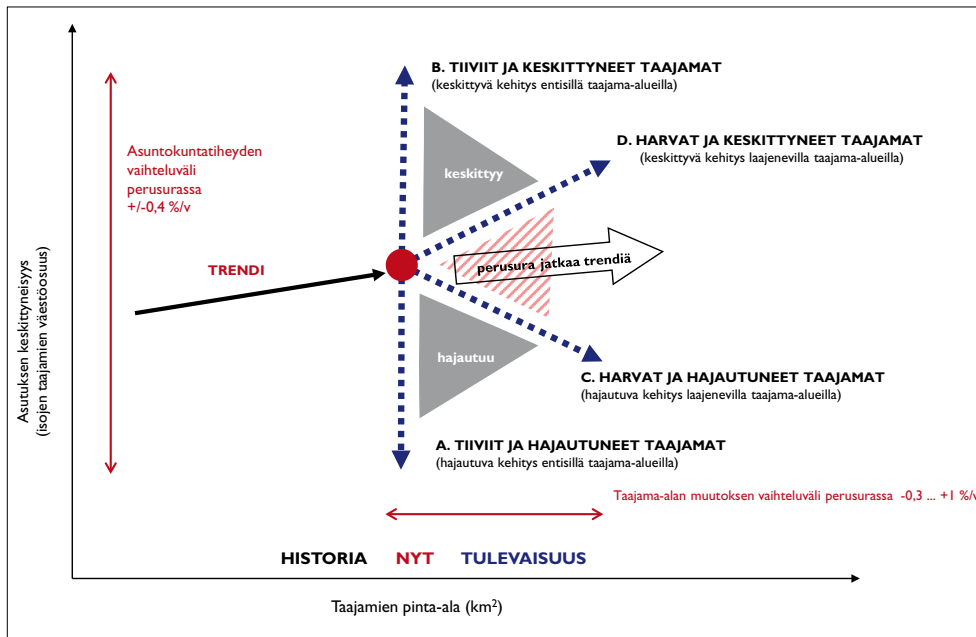
Vaikka väestömäärän ja pinta-alan muutokset korreloivat voimakkaasti keskenään, eri kaupunkiseudut ovat kehittyneet eri tavoin esimerkiksi muutoksien nopeuden ja uusien taajama-alueiden sijoittumisen suhteen. Tähän on erilaisia fyysisiä (mm. luonnonolosuhteisiin) ja sosiaalisia (mm. maapolitiikkaan ja yhdyskuntasuunnittelun käytäntöihin) liittyviä syitä, joita ei voi helposti kuvata mekaanisen ja koko maata kuvaavan yleistävän mallin avulla. Mahdollisia tulevia kehityskulkuja on tässä "haarukoitu" perusuran 34 kaupunkiseudun taajama-alueiden kasvukehityksen ja tiiveyden mahdollisten ääriarvojen avulla.

Tulevaa yhdyskuntarakenteen muutosta arvioidaan laatimalla perusuran vertailukohteiksi neljä periaatteellista kehitysmallia eli skenaariota (kuvat 51 ja 52):

- A. tiiviit ja hajautuneet taajamat
- B. tiiviit ja keskittyneet taajamat
- C. harvat ja hajautuneet taajamat
- D. harvat ja keskittyneet taajamat.

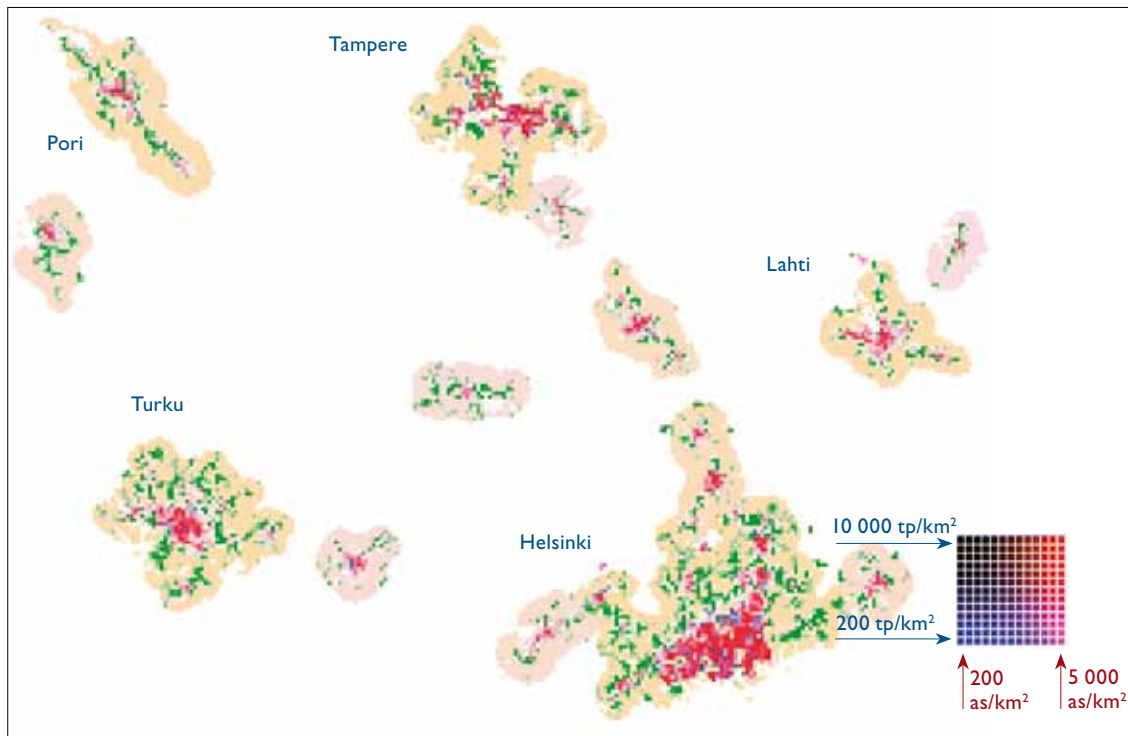


Kuva 51. Yhdyskuntarakenteen voi jatkaa muuttumistaan entiseen tapaan (perusura keskellä), jolloin taajamat laajenevat ja uudet asukkaat sijoittuvat enimmäkseen kaupunkiseudun päätaajamaan. Vaihtoehtoiset kehityskulut A–D voivat johtaa taajamiin entistä suurempaan laajenemiseen (alareunassa) tai pysymiseen lähes entisissä rajoissa (yläreunassa). Uusi asutus ja uudet työpaikat voivat sijoittua painotetusti isoihin taajamiin, erityisesti päätaajamaan (oikeassa reunassa), jolloin asutus keskittyy tai tasaisemmin kaiken kokoisiin taajamiin (vasemmassa reunassa), jolloin asutus hajautuu. Näistä vaihtoehdoista syntyy neljä yhdyskuntarakenteen muutosyhdistelmää, joiden suhteen kasvihuonekaasupäästöt on arvioitu. Kaikissa vaihtoehdoissa väestön ja työpaikkojen kokonaismäärät sekä taaja-asutuksen ja haja-asutuksen kokonaismäärät ovat samoja. Skenaariot kuvaavat syntyvän uuden taaja-asutuksen erilaisia yhdyskuntarakenteellisia sijaintivaihtoehtoja.

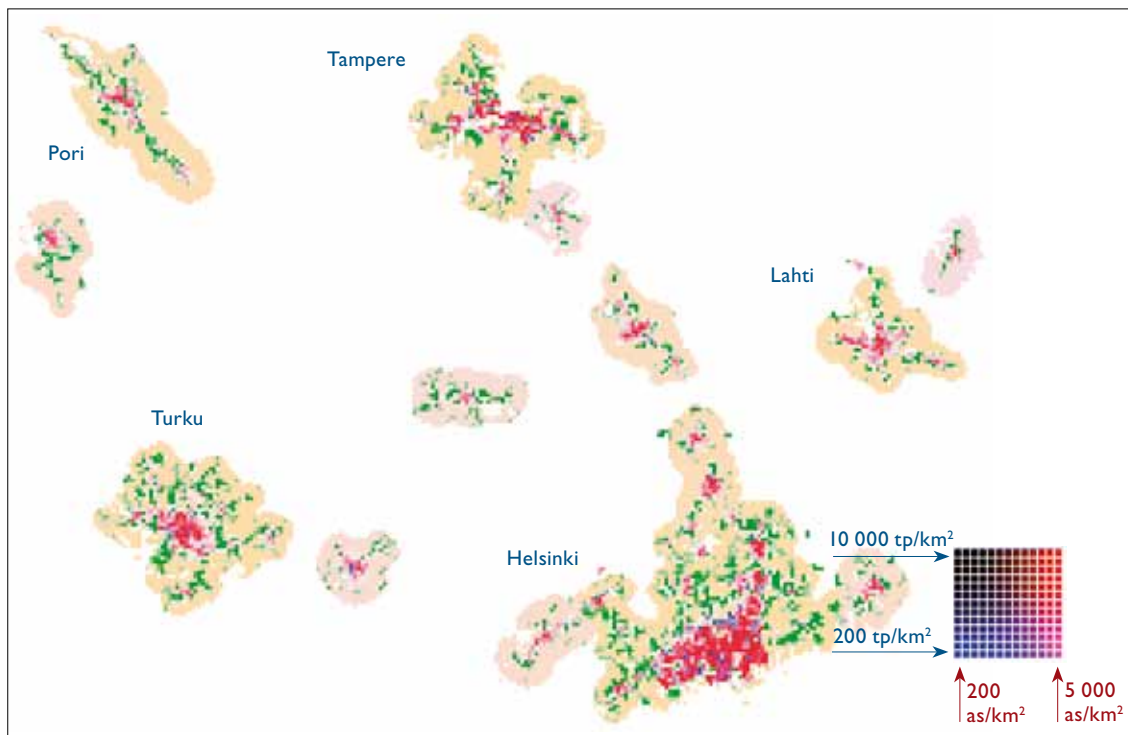


Kuva 52. Yhdyskuntarakenteellisten kehitysvaihtoehtojen havainnollistus. Sekä keskittyvässä että hajautuvassa kehityksessä taajamien sisäinen rakenne voi tiivistyä tai hajautua. Tiivistyvän kehityksen ääriarvo on se, että taajamien pinta-ala pysyy muuttumattomana ja kaikki uusi rakennetaan taajamarajojen sisäpuolelle (nuolet pystysuoraan). Asutuskuntien määrä maapinta-alaa kohti voi muuttua välillä $-0,4...+0,4$ % vuodessa. Vaihtoehtojen väkiluvuissa ei ole eroja, vain taajamien pinta-alat muuttuvat $(-0,3...+1$ % vuodessa), samoin se sijoittuu uusi rakentaminen enemmän isoihin ja keskeisempiin sijaitseviin taajamiin vai pieniin ja reunoilla oleviin.

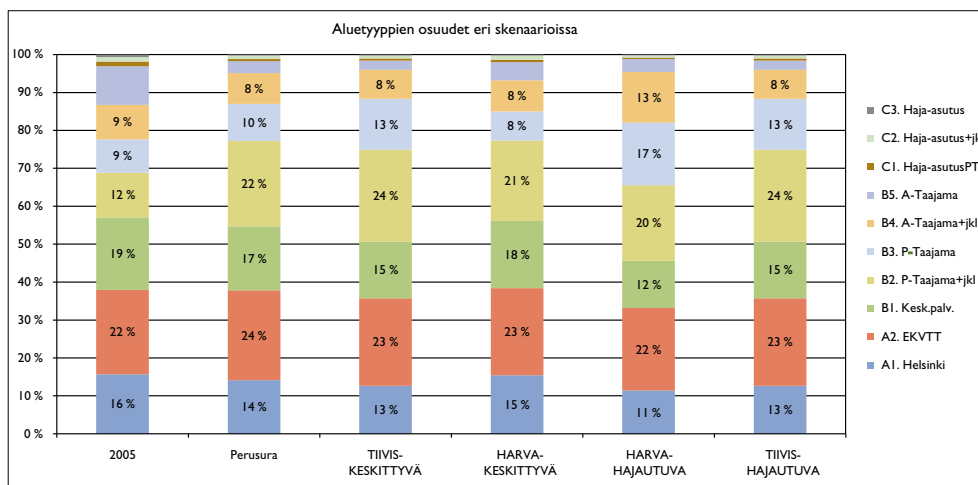
Valittu kehityskulku (A, B, C vai D) vaikuttaa taajama-alueiden muutoksen (vuodesta 2005 vuoteen 2050) määrään siten, että harvan ja hajautuneen vaihtoehdossa (C) taajama-alueet kasvavat vuodesta 2005 vuoteen 2050 eniten (keskimäärin 55 %) ja tiiviissä ja keskittyneessä vaihtoehdossa (B) vähiten (keskimäärin 20 %) (kuvat 53 ja 54). Perusurassa kaupunkiseudun taajama-alueet laajenevat keskimäärin 27 %.



Kuva 53. Kehitysvaihtoehdon B (tiivit ja keskittyneet taajamat) taajama-alueen tarve on pienin. Esimerkki Helsinki–Turku–Tampere alueelta. Vihreissä ruuduissa alle 200 asukasta/km².



Kuva 54. Kehitysvaihtoehdon C (harvat ja hajautuneet taajamat) taajama-alueen tarve on suurin. Esimerkki Helsinki–Turku–Tampere alueelta. Vihreissä ruuduissa alle 200 asukasta/km².



Kuva 55. Vaihtoehtoiset kehityskulut (skenaariot) vaikuttavat eri aluetyyppien osuuksiin kaupunkiseutujen maa-alassa. Erot skenaarioiden välillä ovat kuitenkin suhteellisen pieniä. Harvassa-hajautuvassa kehityskulussa aluetyyppien B3 ja B4 (eli matalan tehokkuuden alueiden) ja harvassa-keskittyvässä aluetyyppien A1 ja B1 (eli korkean tehokkuuden alueiden) osuudet ovat kuitenkin jonkin verran muita suurempia.

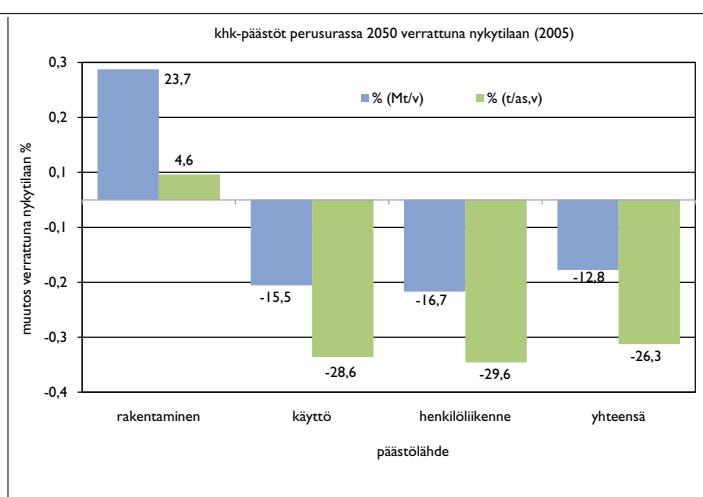
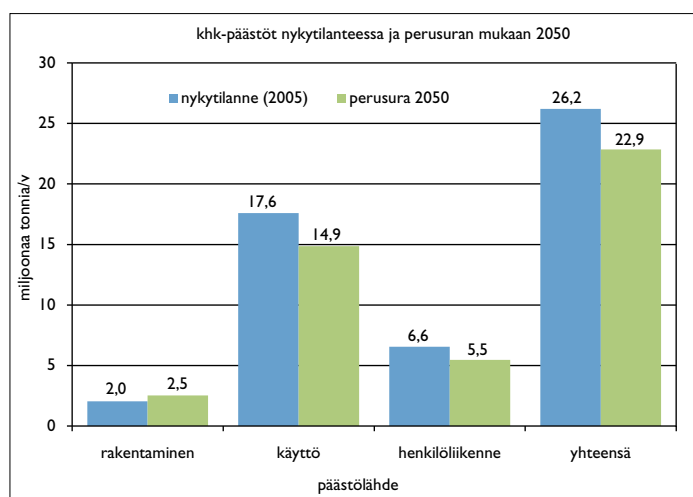
Perusura jatkaa aiempaa yhdyskuntarakenteen hajautumista siten, että suuret keskukset kasvavat enemmän kuin pienet. Vaihtoehtoisissa kehityskuluissa uusi taajama-asutus sijoittuu joko nykyisille taajama-alueille (niitä tiivistäen) tai muodostaen uutta taajamaa entisten reunoille. Molemmissa tapauksissa uusi asutus voi sijoittua painotetusti suuriin keskuksiin tai tasaisemmin kaiken kokosiin keskuksiin. Näin muodostetuille neljälle perusvaihtoehdolle on laskettu yhdyskuntarakenteesta riippuvat kasvihuonekaasupäästöt.

Perusurassa kasvihuonekaasupäästöjen määrä asukasta kohti vähenee uudisrakentamisessa ja rakennuskannan korjaamisessa saavutettujen parannusten ansiosta keskimäärin 26 % (kaupunkiseudusta riippuen 22–42 %) verrattuna nykytilaan (kuvat 56–60). Henkilöliikenteen osalta vähennys on 27–35 % asukasta kohti. Vaikka kaupunkiseutujen asukasluvu kasvaa melko paljon vuoteen 2050 mennessä, saavutetaan perusurankin päästöjen kokonaismäärässä (miljoonissa tonneissa) melko selvä vähennys, keskimäärin noin 13 % verrattuna nykyiseen tasoon johtuen lähinnä energiatehokkuuden parannustoimista koko rakennuskannassa (taulukko 4 ja kuva 57).

- | | | |
|-------------------|-----------|-----------------|
| • rakentaminen | 2,5 Mt | 0,6 t/asukas |
| • käyttö | 14,9 Mt/v | 3,6 t/asukas, v |
| • henkilöliikenne | 5,5 Mt/v | 1,3 t/asukas, v |
| • yhteensä | 22,9 Mt/v | 5,5 t/asukas, v |

Taulukko 4. Yhteenveto 34 suurimman kaupunkiseudun yhdyskuntarakenteen kasvihuonekaasupäästöistä nykytilanteessa (2005) ja perusuran mukaisessa tilanteessa vuonna 2050 sekä muutoksen suuruus verrattuna nykytilanteeseen, suhteessa Suomen nykyisiin (2008) kokonaispäästöihin ja tämän selvityksen mukaisiin yhdyskuntarakenteen kokonaispäästöihin vuonna 2005.

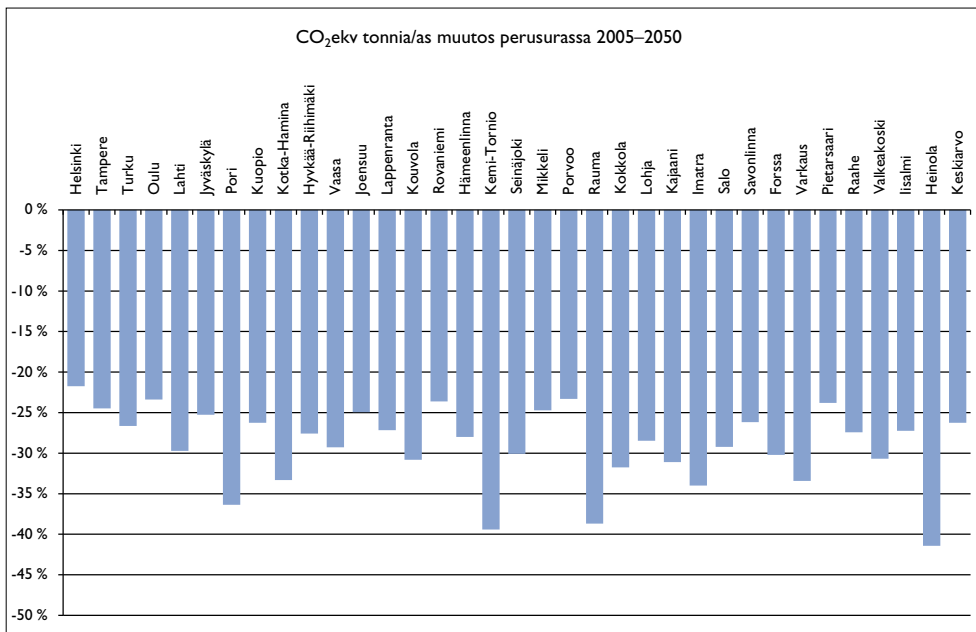
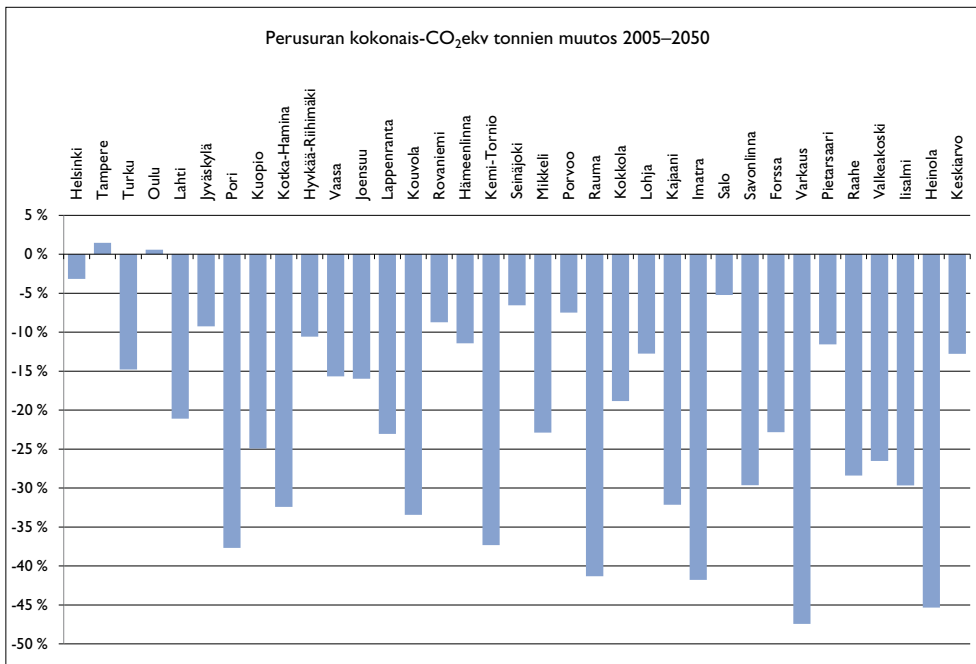
yhdyskuntarakenteen khk-päästöt	nykytilanne (2005)		perusura 2050		muutos 2005–2050				muutoksen osuus Suomen kokonaispäästöistä (n. 70 Mt) v. 2008	muutoksen osuus yhdyskuntarakenteen kokonaispäästöistä (n. 34 Mt) v. 2005
	Mt/v	t/as.,v	Mt/v	t/as.,v	Mt/v	t/as.,v	% (Mt/v)	% (t/as.,v)	%	%
rakentaminen	2,0	0,6	2,5	0,6	0,5	0,0	23,7 %	4,6 %	0,7 %	1,4 %
käyttö	17,6	5,0	14,9	3,6	-2,7	-1,4	-15,5 %	-28,6 %	-3,9 %	-8,0 %
henkilöliikenne	6,6	1,9	5,5	1,3	-1,1	-0,6	-16,7 %	-29,6 %	-1,6 %	-3,2 %
yhteensä	26,2	7,4	22,9	5,5	-3,3	-2,0	-12,8 %	-26,3 %	-4,8 %	-9,8 %



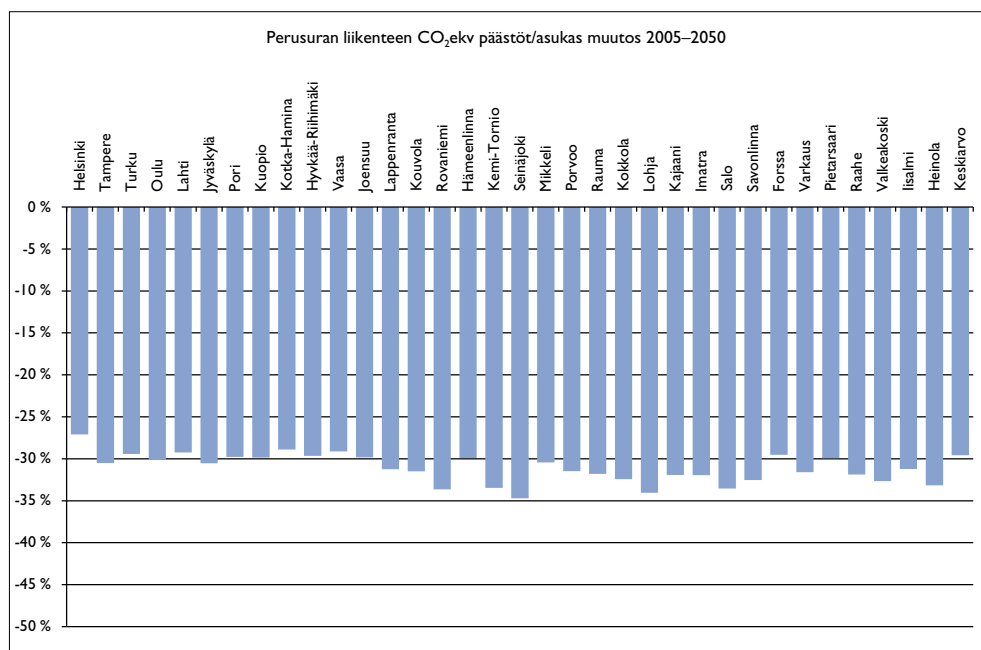
Kuvat 56 ja 57. Kasvihuonekaasupäästöjen muutos nykytilanteesta (2005) perusuran mukaiseen tilanteeseen vuonna 2050.

Vaihtoehtoisten yhdyskuntarakenteellisten kehityskulkujen tarkastelun kautta vaikutusten vaihteluväli kasvaa. Tutkituissa skenaarioissa kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärät vaihtelevat myös kaupunkiseuduittain (kuvat 61–62). Tiiviit ja keskittyvät taajamat tuottavat CO₂ekv-päästöjä keskimäärin 1,2 % (kaupunkiseudusta riippuen 0,5–1,8 %) vähemmän kuin perusura, kun taas harvenevat ja hajautuvat taajamat tuottavat 1,9 % (1,0–3,4 %) enemmän.

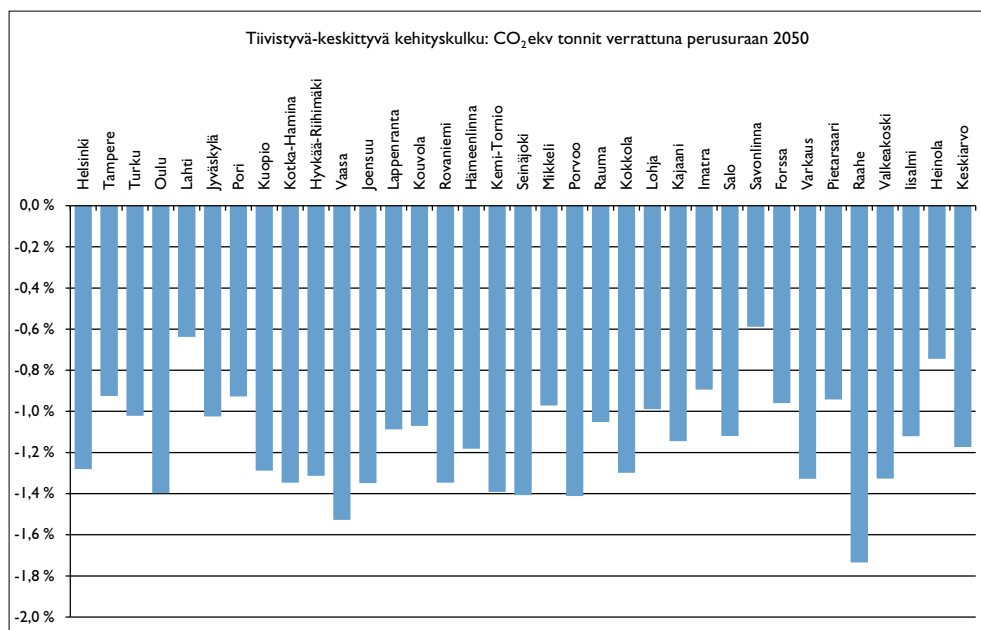
Perusuran mukaiset asukaskohtaiset khk-päästöt vähenevät vuoteen 2050 mennessä oletettujen uudisrakentamisen ja rakennuskannan energiatehokkuuden parannustoimien ansiosta kaupunkiseudusta riippuen 22–42 % (keskimäärin 26 %) verrattuna nykytilaan (2005).



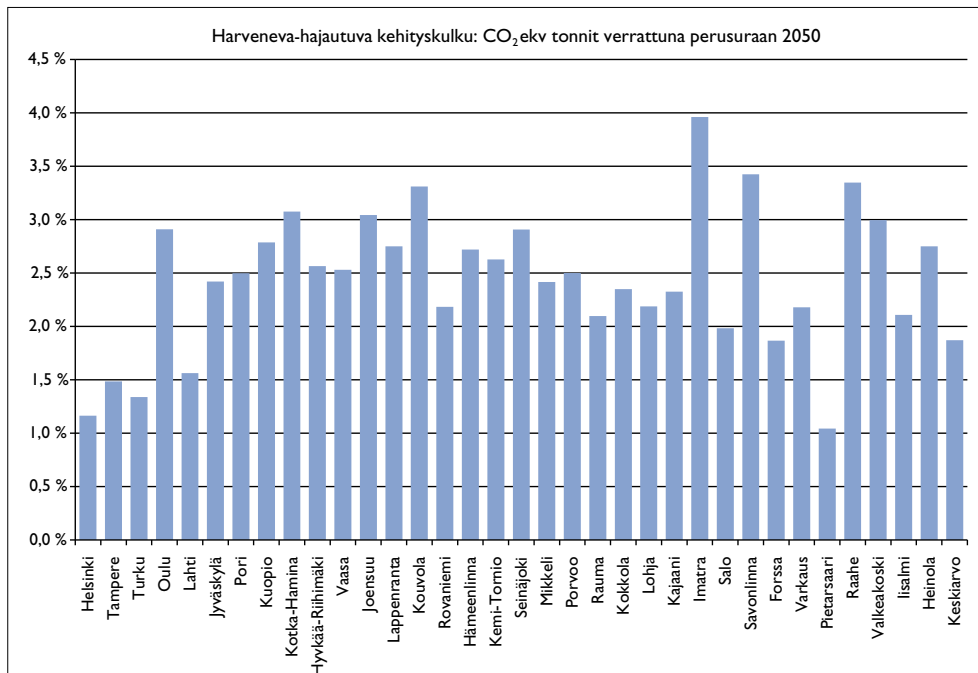
Kuvat 58 ja 59. Kasvihuoneekaasupäästöjen suhteelliset muutokset (yläkuvasa kokonaismäärissä ja alakuvasa asukaskohtaisissa määrissä) perusurassa vuoden 2050 tilanteessa verrattuna nykytilaan (2005). Päästöjen kokonaismäärissä oleva suuri vaihtelu kaupunkiseutujen välillä johtuu perusuran asukaslukujen vastaavista muutoseroista (ks. kuva 24), jotka pohjautuvat menneiden vuosien kehitystrendeihin. Suhteellisissa päästöissä (per asukas) oleva vaihtelu puolestaan johtuu kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenteellisista eroista ja mm. käyttöön otettavan uuden taajama-alueen suhteellisesta määrästä (ks. kuva 26) ja sijoittumisesta kaupunkiseudun nykyrakenteessa.



Kuva 60. Henkilöliikenteen aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen (per asukas) muutos perusurassa vuoden 2050 tilanteessa verrattuna nykytilaan (2005). Muutoksen vaihteluväli on -27 %...-35 %, keskimäärin -30 %.



Kuva 61. Kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärän (miljoonaa tonnia vuodessa) muutos tiivistävässä ja keskittävässä yhdyskuntarakenteessa verrattuna perusuraan. Muutoksen vaihteluväli on -0,6 %...-1,7 %, keskimäärin -1,2 % (-268 000 t vuodessa).

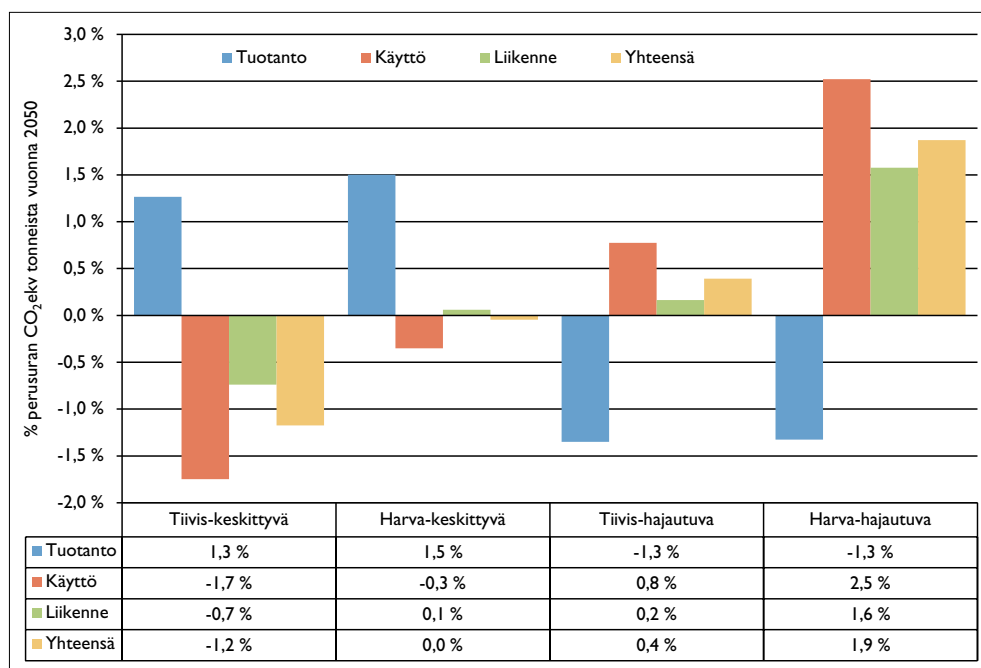
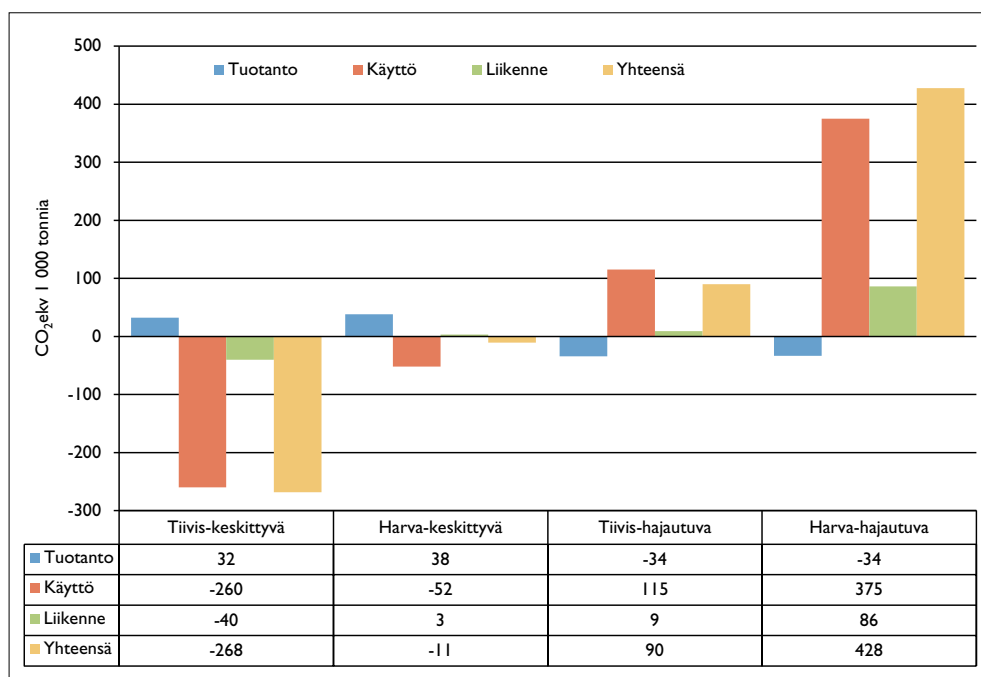


Kuva 62. Kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärän (miljoonaa tonnia vuodessa) muutos harvenavassa ja hajautuvassa yhdyskuntarakenteessa verrattuna perusuraan. Muutoksen vaihteluväli +1,0 %...+4,0 %, keskimäärin +1,9 % (+428 000 t vuodessa).

Vaihtoehtoisten kehityskulkujen (skenaarioiden) kasvihuonekaasupäästöjen erot verrattuna perusuraan ovat välillä -1,7 %...+2,5 % riippuen mistä päästölähteestä on kyse (kuvat 63–64).

Yhdyskuntarakenteen tulevan muutoksen "tiivistyvä ja keskittyvä" vaihtoehto näyttää tuottavan enimmillään noin 3 % pienemmät kasvihuonekaasupäästöt kuin tässä suhteessa huonoin tarkasteltu kehitysvaihtoehto "harva ja hajautuva". Eron pienuuteen vaikuttaa mm. se, että kaikkiin kehitysvaihtoehtoihin sisältyvät rakennuskannan energiatehokkuuden parantamistoimet vähentävät rakennusten energiankulutuksesta johtuvia päästöjä jo noin puoleen nykyisestä ja yhdyskuntarakenteelliset valinnat voivat enää vaikuttaa jäljellä olevaan energiankulutukseen. Toinen syy eron pienuuteen on se, että pääosa vuoden 2050 yhdyskuntarakenteesta on jo nyt rakennettu ja uudisrakentamalla ja sen rakenne- ja sijaintivalinnoilla voidaan vaikuttaa vain pieneen ja hitaasti kertyvään (runsas 1 % vuodessa) kannan osaan. Kasvihuonekaasupäästöiltään vähäisin on "tiivis-keskittyvä" yhdyskuntarakenne ja suurin "harva-hajautuva". Suurin ero syntyy rakennusten ja muiden rakenteiden käyttövaiheessa (ero pienimmän ja suurimman vaikutuksen välillä yli 4 %).

Rakennusvaiheessa keskittyvät vaihtoehdot tuottavat 1,3–1,5 % enemmän khk-päästöjä kuin perusura ja 2,6–2,8 % enemmän kuin hajautuvat vaihtoehdot johtuen lähinnä suuremmasta kerrostalo-osuudesta (joissa betonin, lasin ja teräksen kulutusmäärät ovat suuria verrattuna esimerkiksi puumateriaalin määrään). Materiaalivalikoiman muuttuminen talotyyppijakauman mukaan ei kuitenkaan ole "luonnonlaki", vaan perustuu nykykäytäntöihin. Pienkerrostalotyyppien ja "matalan ja tiiviin" rakennustavan kehittämisellä voidaan sekä pien- että kerrostalorakentamisessa päästä samaan materiaaliinjakamaan, jolloin tiivistyvän ja hajautuvan kehityksen välille ei synny eroja rakentamisvaiheen kasvihuonekaasupäästöissä.



Kuvat 63 ja 64. Vaihtoehtoisten kehityskulkujen (skenaarioiden) erot verrattuna perusuraan vuonna 2050 kasvihuonekaasupäästölähteittäin. Yhteenlaskettu CO₂ ekv-vaikutus (yläkuvasa kokonaismäärinä, alakuvassa suhteellisenä muutoksena) on "tiivis-keskittyvä" skenaariossa pienimmillään: vähennys verrattuna perusuraan yli 1 % ja verrattuna "harvaan-hajautuvaan" noin 3 %. Suurin vaihteluväli koskee rakennetun ympäristön käyttövaihtetta, jossa ero perusuraan on -1,7...+2,5 % eli yhteensä yli 4 %.

"Tiivis-keskittyvä" vaihtoehto johtaa liikenteen osalta pienempiin kasvihuonekaasupäästöihin kuin perusura johtuen keskimääräistä paremmasta saavutettavuudesta asuntojen, työpaikkojen ja palvelujen välillä. Muissa vaihtoehtoissa liikenteen khk-päästöt kasvavat entisestään, eniten "harvassa-hajautuvassa" (ero "tiiviseen-keskittyvään" noin 2,3 %). Pääasiallisena syynä tähän on kaupunkiseutujen taajama-alan ja väestömäärän kasvu. Jos taajama-alue kasvaa, uudet alueet mahdollistavat nykyrakenteen leviämisen keskittymisestä (asuntokuntatiheydellä mitattuna) huolimatta. Jos taas maankäyttö hajaantuu, nykyiset väljät taajamat mahdollistavat sijoittumisen kauemmaksi nykyisistä keskuksista. Lisäksi tulokseen vaikuttavat jonkin verran aluetyyppien muuttuminen asukastiheyden mukaan ja muut mallin rakenteeseen liittyvät mekanismit.

Perusuran vaihtoehtoiksi on laskettu neljä erilaista skenaariota yhdistelminä toisaalta harvanevasta tai tiivistyvistä ja toisaalta hajautuvasta tai keskittyvästä yhdyskuntarakenteesta. Eniten kasvihuonekaasupäästöjä tuottaa harvaneva ja hajautuva skenaario ja vähiten tiivistyvä ja keskittyvä skenaario. Ero näiden välillä on noin 700 000 tonnia eli noin 3 % vuosittaisissa CO₂ekv-päästöissä. Yhdyskuntarakenteellisia vaikutusmahdollisuuksia kaventaa se, että samalle aikavälille oletetut rakennuskannan energiatekniset parannustoimet yksistään vähentävät päästöjä jo 25 %. Uudisrakentamisen kautta saatavat muutokset vaikuttavat lisäksi melko hitaasti, koska vuosittain rakennettava määrä on vain runsas 1 % olevasta kannasta. Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt saadaan perusuraan verrattuna alenemaan vain tiivistyvässä ja keskittyvässä skenaariossa eli kaikki muut tarkastellut kehityskulut lisäävät liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä vielä nykyvauhtiakin enemmän.

Yhdyskuntarakenteeseen vaikuttavat toimenpiteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi

Tässä kuvatun mallinnusmekanismin avulla on arvioitu 34 kaupunkiseudun yhdyskuntarakenteen perusuran ja neljän vaihtoehtoisen kehityskulun mukaiset kasvihuonekaasupäästöt. Seuraavaksi tarkastellaan laajemmin niitä toimenpiteitä, jotka voivat vaikuttaa perusuran kehitykseen.

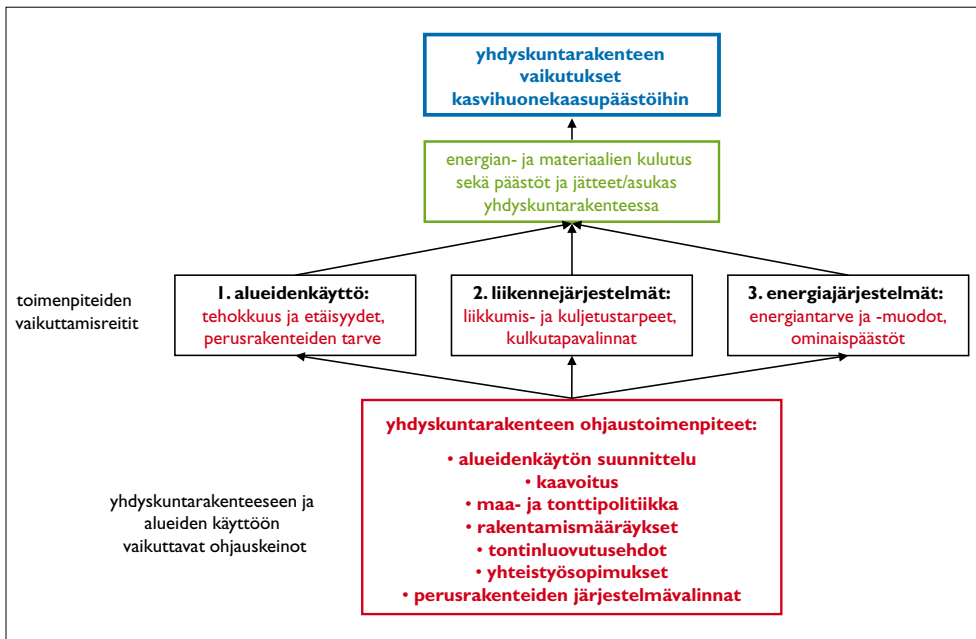
Yhdyskuntarakenteeseen voidaan vaikuttaa monella tavalla ja montaa reittiä. Pääjakona voidaan pitää seuraavaa:

- Aluepolitiikka (vaikuttaa kaupunkiseutujen kehitykseen).
- Maa- ja asuntopolitiikka.
- Yhdyskuntien eheyttämistoimet (kaavamääräykset, haja-asutuksen rajoitukset, poikkeuslupaehtojen kireys ym.).
- Sijainnin ohjaus (asuminen, palvelut, muut työpaikat).
- Liikenneverkon kehittäminen (moottoritiet, radat jne.).
- Liikkumistottumuksiin vaikuttaminen.
- Joukkoliikenteen tarjonnan lisääminen ja laadun parantaminen.
- Verotuksen ja maksujen kehittäminen ohjaavimmiksi (verrattuna siihen, että katetaan "vain" valtion ja kuntien menot).
- Uudet teknologiat ja niiden käyttöönotto (energiantuotanto-, liikenne- ja tietotekniikan teknologiat).

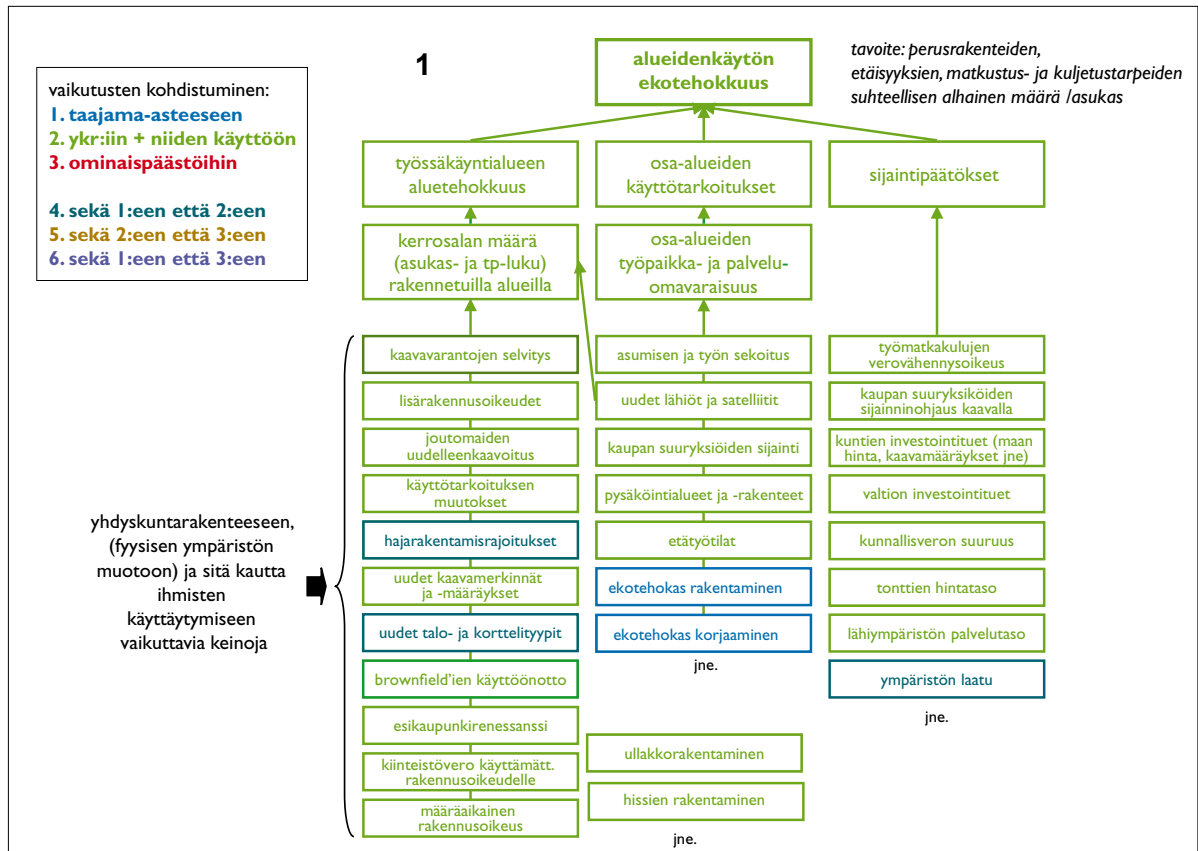
Keinovalikoimaa voidaan eritellä huomattavasti tarkemminkin (kuva 60). Vaikutusmekanismi siirrettynä tässä käytettyyn laskenta- ja arviointimalliin sisältää monia mahdollisuuksia "säädellä" kasvihuonekaasupäästöjen muutoksia (kuvat 65–68). Osa vaikutuksista syntyy alueidenkäyttöpäätösten kautta esimerkiksi siten, että "taajama-aste" nousee, mikä samalla merkitsee keskimääräisen asutustiheyden ja aluetehokkuuden kasvua. Osa vaikutuksista vaikuttaa muuhun yhdyskuntarakenteeseen ja sen käyttöön (toimintojen keskinäiseen sijaintiin, teknisten järjestelmien rakenteeseen, pysäköinti- ym. palvelujen rakenneratkaisuihin jne.). Osa vaikuttaa suoraan tai välillisesti rakenteiden tai toimintojen ominaispäästöihin.

<p>Sijainnin ohjaus</p> <ul style="list-style-type: none"> • kaavamerkintöjen ja -määräyksien kehittäminen ja yhtenäistäminen, • talotyyppijakauman kehittäminen ja suuntaaminen • suunnitteluratkaisujen ohjaaminen <p>Eheyttäminen suunnittelun keinoin</p> <ul style="list-style-type: none"> • asemaseutujen tiivistäminen • entiset teollisuus-, varasto- ja satama-alueet asuin-, toimisto- ja palvelukäyttöön • taajamien joutomaat rakentamiskäyttöön • tiivismatala-pientalorakentaminen esikaupunkialueilla • kerrostalovaltaisuuden lisääminen keskusta-alueilla, esikaupungeissa, lähiöissä • täydennysrakentaminen <p>Maa- ja asuntopolitiikka</p> <ul style="list-style-type: none"> • sosiaalisen asuntotuotannon sijoittaminen • kuntien epäterveen asukaskilpailun rajoittaminen, yhteistyön lisääminen, valtiosuusjärjestelmän uusiminen • maankäyttösopimukset • tontinluovutus sopimusten ehtojen tiukentaminen • vapaaehtoinen maanhankinta • lunastusmenettelyt, etuostot • kehittämisalumenettelyt, kehittämis-korvaus • yleisten alueiden toteuttaminen • rakentamiskehoitus, kaavan toteuttamisesta johtuva korvaaminen 	<p>Taloudellinen ohjaus</p> <ul style="list-style-type: none"> • tehokkuutta edistävien julkisten hankkeiden rahoittaminen • energialähteiden ja -tuotantomuotojen, materiaalivirtojen, päästöjen, jätteiden hinnoittelu • liikenteen hinnoittelu (ajoneuvoveron uudistaminen, auton hankinnan verotus, tieliikenteen käyttömaksut) • kiinteistö- ym. verotus, veroedut, luovutusvoiton verotus • polttoaineverotus, työmatkaliikenteen verovähennys, työsuhdeautoedut • subventiot, joukkoliikenteen tuet, työsuhdematkalippu <p>Tuotannollinen ohjaus</p> <ul style="list-style-type: none"> • tuotannon prosessien kehittäminen ja uudelleensijoittaminen. • energiatehokkuutta lisäävät hoidon ja kunnossapidon määräykset • energiatehokkuussopimukset, kuljetusketjujen energiakatselmukset • liikkumisen ohjaussuunnitelmat • julkisten hankintojen ohjeistus <p>Teknologian hyödyntämisen lisääminen</p> <ul style="list-style-type: none"> • materiaalien käytön ohjeistus ja rajoittaminen • LVI-tekniikatarkaisujen ohjaaminen rakennusteknologian kehittäminen ja ohjaus • moottoritekniikan kehittäminen • vaihtoehtoiset polttoaineet • ajoneuvojen kulutusmerkinnät • älykkäät ajoneuvopäätteet 	<p>Liikennejärjestelmäsuunnittelu</p> <ul style="list-style-type: none"> • kulkumuotojen roolitus • neliporrasmalli • investointien suunnittelu ja ajoitus • ym. <p>Joukkoliikenteen edistäminen</p> <ul style="list-style-type: none"> • investoinnit rataverkon kuntoon ja kapasiteettiin • vuoromäärien lisääminen • nopeuttaminen • matkaketjujen sujuvoittaminen • liityntäliikenne • liityntäpysäköinti • informaatio <p>Kävelyn ja pyöräilyn edistäminen</p> <ul style="list-style-type: none"> • väylien kehittäminen • liikkumisympäristöjen ja -olosuhteiden kehittäminen • pysäköinnin järjestäminen • tiedottaminen ja valistus <p>Liikenteen ohjaus</p> <ul style="list-style-type: none"> • nopeusrajoitukset • pysäköinnin ohjaus • opastustaulut, telematiikka <p>Liikkumistottumuksiin vaikuttaminen</p> <ul style="list-style-type: none"> • taloudelliseen ajotapaan tähtäävät toimet • autojen yhteiskäyttö • kimpakyytien edistäminen • etätöiden edistäminen
---	--	---

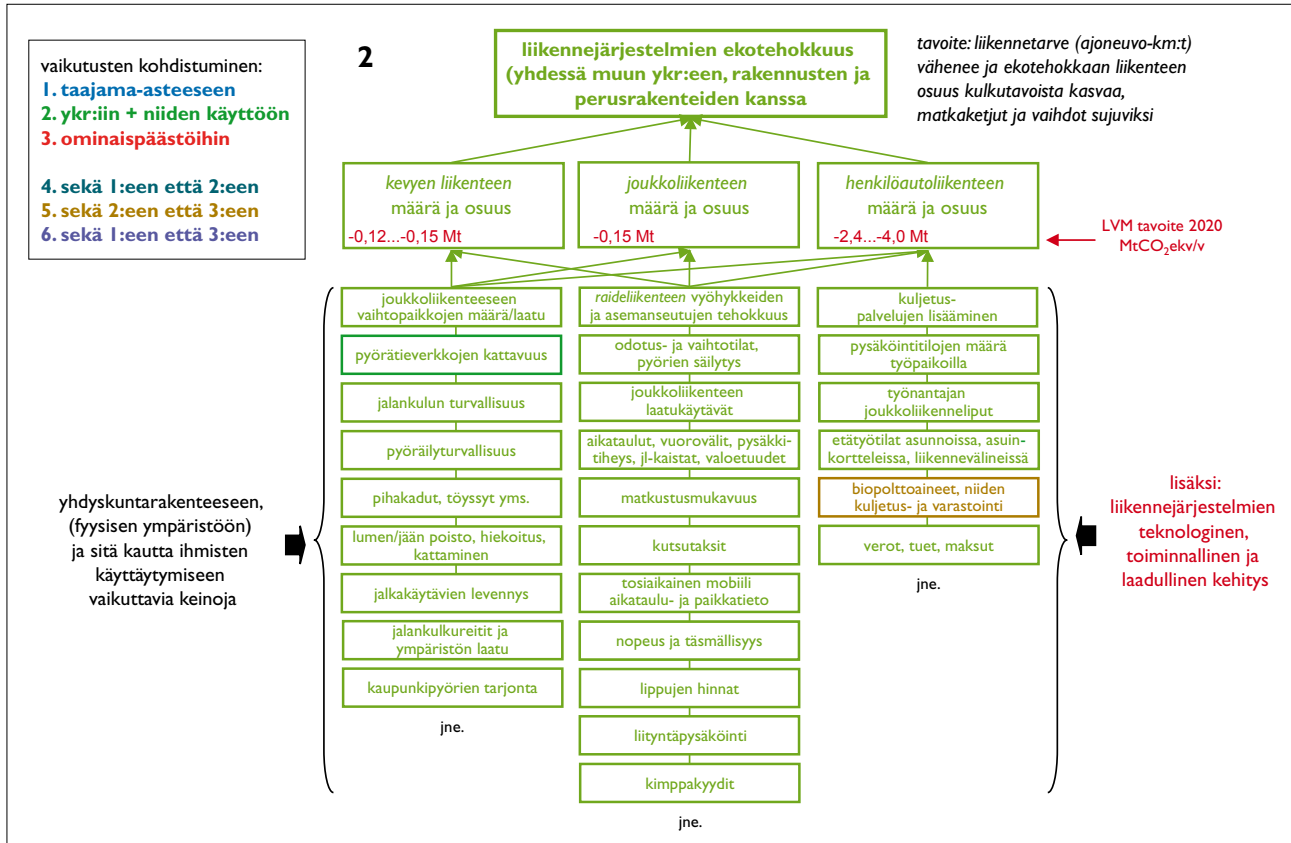
Kuva 64. Luettelo mahdollisista vaikutuskeinoista, joilla voidaan vaikuttaa yhdyskuntarakenteeseen siten, että kasvihuonekaasupäästöt vähenevät. Monet keinoista ovat sellaisia, joiden tehokkuus riippuu olennaisesti muista samaan aikaan tehtävistä toimenpiteistä. Esimerkiksi pyöräilyn edistäminen onnistuu parhaiten vasta silloin kun pyörätiet on hyvin suunniteltuja ja toteutettuja, niitä on tarjolla siellä missä niitä tarvitaan, niillä ajaminen on sujuvaa ja turvallista, polkupyörien säilytys kotona, työpaikoilla ja liikenneterminaalien alueilla on helppoa ja turvallista jne.



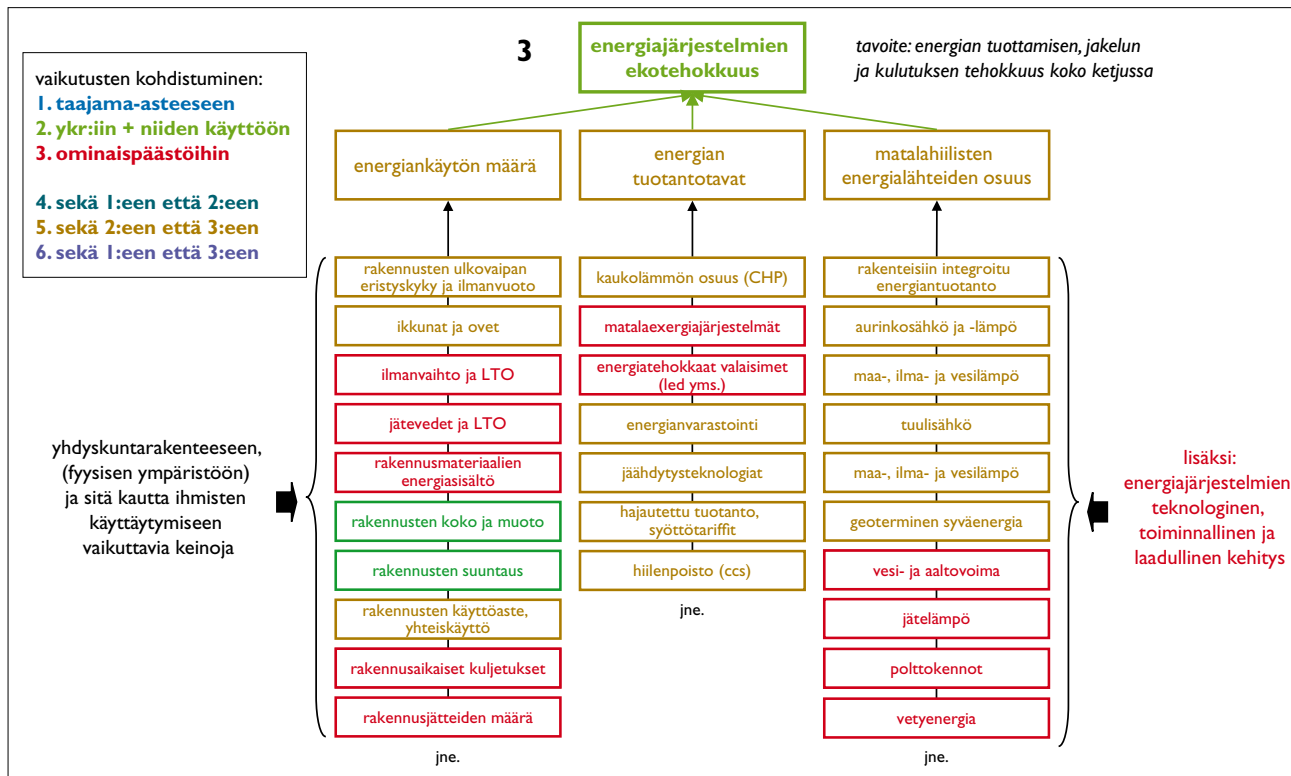
Kuva 65. Periaatekaavio yhdyskuntarakenteen vaikutuksista ja vaikutuskeinoista suhteessa kasvihuonekaasupäästöihin (vaikuttamisreittien 1–3 tarkempi erittely seuraavissa kaavioissa)



Kuva 66. Periaatekaavio alueidenkäytön vaikutuksista ja vaikutuskeinoista suhteessa kasvihuonekaasupäästöihin.

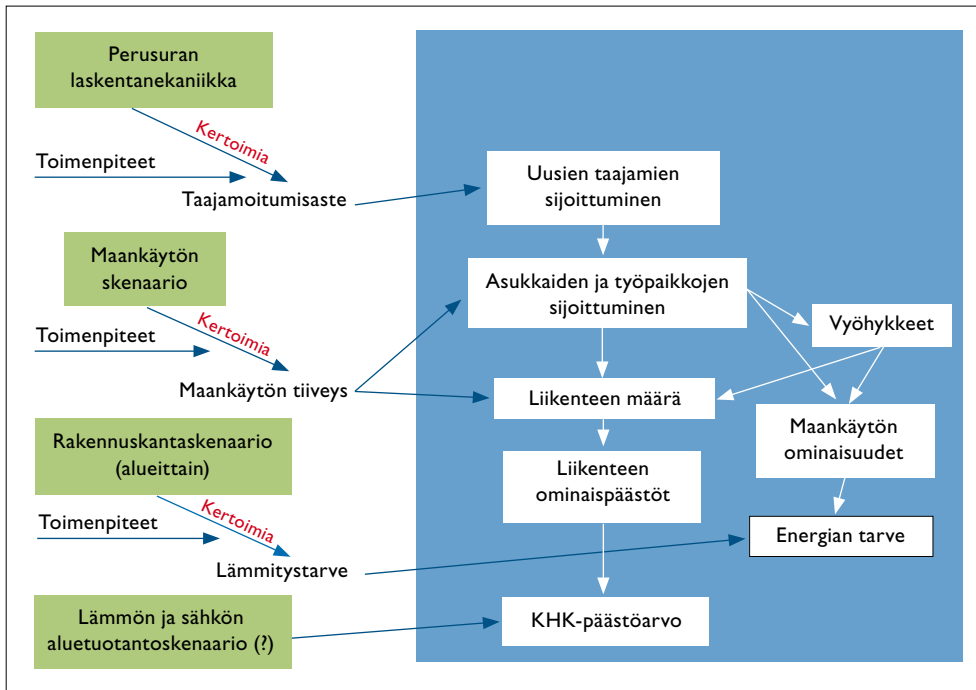


Kuva 67. Periaatekaavio liikennejärjestelmien vaikutuksista ja vaikutuskeinoista suhteessa kasvihuonekaasupäästöihin.



Kuva 68. Periaatekaavio energiajärjestelmien vaikutuksista ja vaikutuskeinoista suhteessa kasvihuonekaasupäästöihin.

Käytetyn mallinnusmekanismin avulla voidaan arvioida näiden, yksityiskohtaisemmin kuvattujen toimenpiteiden vaikutuksia. Tässä käytetyssä laskentamallissa on em. vaikutusketjuja yksinkertaistettu ja keskimääräistetty, jotta laskenta koko maassa ja kaikilla kaupunkiseuduilla pysyisi hallinnassa (kuvat 69–70).



Kuva 69. Toimenpiteiden vaikutusmekanismit laskenta- ja arviointimallissa.

	Taajamoitu- minen	Maankäytön sijoittuminen	Liikenteen määrä	Ominais- päästöt
Aluepolitiikka	X			
Maa- ja asunto- politiikka	X	X		
Eheyttäminen	X	X		
Sijainnin ohjaus		X		
Joukkoliikenteen parantaminen		X	X	X
Kävelyn ja pyöräi- lyn edistäminen		X	X	
Liikkumis- tottumukset			X	
Ohjaava verotus/ maksut	X	X	X	X
Uudet tuotanto ja liikenneväline- teknologiat				X

Kuva 70. Toimenpiteiden vaikutusmekanismien kytkentä toimenpideryhmiin laskenta- ja arviointimallissa. Luetellut toimenpiteet (vasemmassa reunassa) on otettu huomioon laskentamallien parametreissa (yläreunassa) rastitettujen ruutujen osoittamissa kohdissa.

Yhdyskuntarakenteeseen liittyvien toimenpiteiden vaikutukset eri skenaarioissa

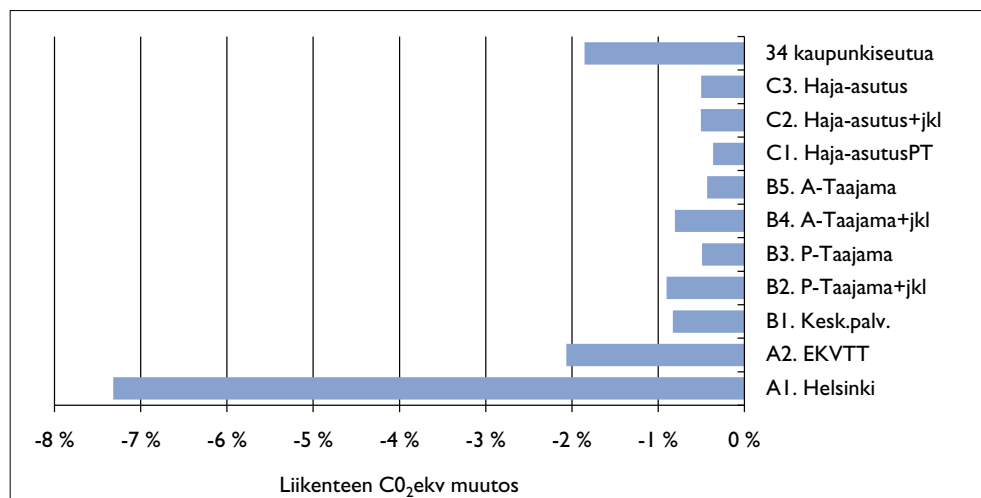
Mahdollisten keinojen tehokkuuden kartoittaminen jaettiin kahteen vaiheeseen, "puhdistettiin" maankäytön sijoittumistekijöihin eli taajama-alueen ja hajautumiskehityksen (asuntokuntatiheyden) muutoksiin sekä muihin toimenpiteisiin.

Perusuran ja vaihtoehtoskenaarioiden laskennan tuloksien perusteella tarkasteltiin, millä toimenpiteillä voisi olla suurin kasvihuonekaasupäästöjä alentava vaikutus. Laskelma tehtiin kolmen oletetun toimenpideryhmän ja niiden vaikuttavuuden pohjalta:

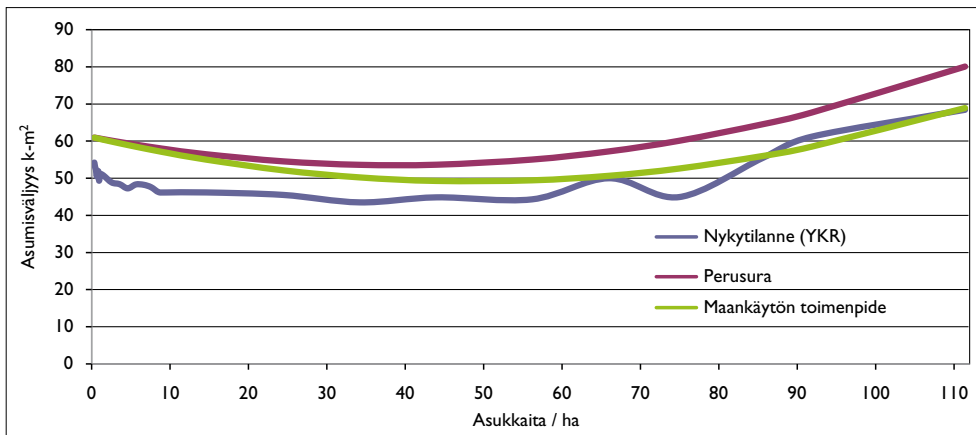
- 1) toteuttamalla toimenpiteitä, joilla joukkoliikenteen matkamääriä saataisiin lisättyä 20 %,
- 2) tiivistämällä yhdyskuntarakennetta, jolloin asukkaiden asunnonhankintavaihto-
n kohdistuvat aiempaa enemmän kaupunkimaisiin asumismuotoihin, joissa keskimääräinen asumisväljyys kasvaa 10 asunto-m²:n sijasta 5 asunto-m² ja
- 3) hinnoittelemalla liikenteeseen liittyviä maksuja ja palveluja niin, että saadaan henkilöautosuoritetta alennettua 9 % verrattuna perusuraan.

Joukkoliikenteen käyttäjämäärien kasvu (1,1 miljoonasta vuonna 2050) toteutettiin tasaisesti eri alueluokissa (kuva 71). Koska kokonaismatkamäärien ei oleteta muuttuvan, kyseiset matkat vähenevät automaatoista, jolloin niiden päästöt pienentyvät vastaavasti. Toimenpiteessä 2 asumisväljyyden kasvua laskettiin 5 asuntoneliötä per henkilö laskevasti kohti tiiviitä alueita (kuva 72). Kolmannessa toimenpiteessä vähennettiin henkilöautosuoritetta siellä missä on mahdollisuuksia valita (jousto kääntäen suhteessa kevyen- ja joukkoliikenteen osuuteen, kuva 73).

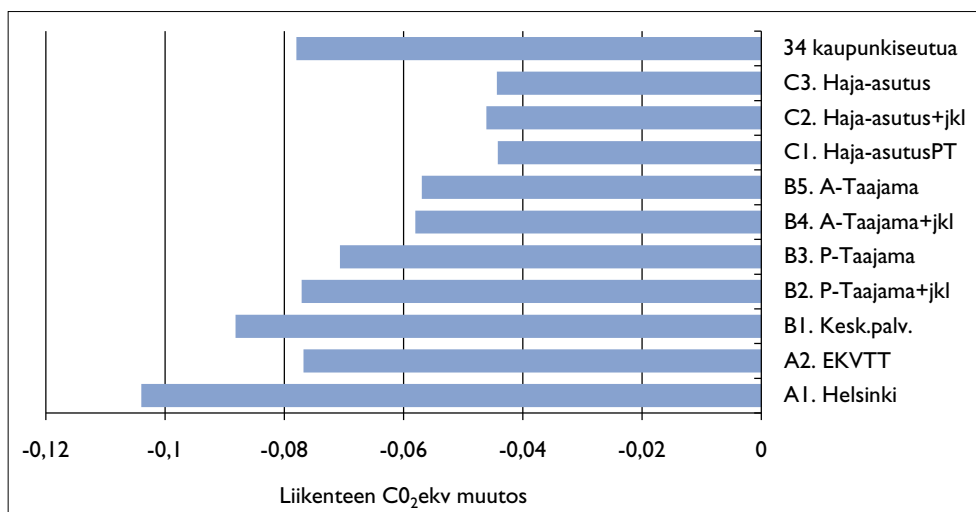
Toimenpiteet perustuvat selvästi yksinkertaistaviin oletuksiin niiden vaikuttavuudesta eri alueilla. Toimenpiteiden yhteisvaikutus arvioitiin sekä perusurassa että hajauttavimmassa ja tiivistävimmässä skenaariossa. Päästöjen kokonaismuutokset (kuvat 74–75) on arvioitu absoluuttisina lukuina (miljoonina CO₂ekv-tonneina suhteessa perusuraan).



Kuva 71. Joukkoliikenteen lisäämistoimien vaikutukset liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen muutoksiin (%) perusurassa eri yhdyskuntarakennetyypeissä. Lisäämistoimilla on nostettu joukkoliikenteen käyttäjämääriä 20 % ja vastaava määrä on otettu pois henkilöautomaatoista. Päästöt vähenevät erityisesti siellä missä joukkoliikenteen osuus on suuri.



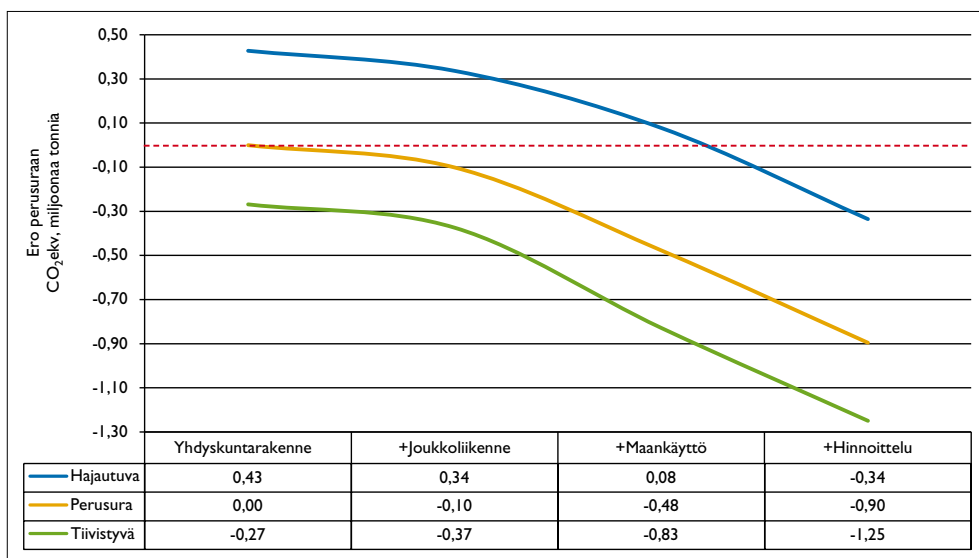
Kuva 72. Asumisväljyys korreloi asutustiheyden kanssa (väljemmät asunnot ovat harvemmin asutuilla alueilla). Muuttamalla yhdyskuntarakennetta tiheämpään ja keskittyvämpään suuntaan, voidaan keskimääräisoleutusten mukaan vaikuttaa keskimääräiseen asutustiheyteen, perusrakenteen määrään, talotyyppijakaumaan ja asumisväljyyteen ja sitä kautta kasvihuonekaasupäästöihin. Perusuraan (punainen käyrä) verrattuna tihennetty rakenne (vihreä käyrä) lähestyy vuoden 2050 tilanteessa asumisväljyyksissä nykytilanteessa tiheimmin asuttujen alueiden tasoa.



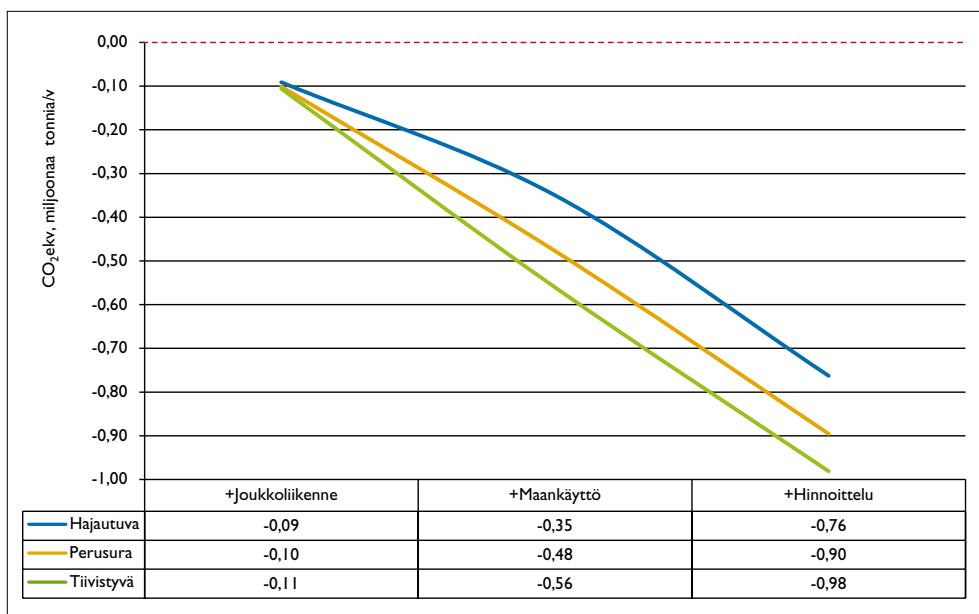
Kuva 73. Henkilöautoliikenteen suoritteiden vähentämistoimien vaikutukset liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen muutoksiin (%) perusurassa eri yhdyskuntarakennetyypeissä. Lisäämistimet on kohdistettu alueille, missä kulkumuotoon voidaan parhaiten vaikuttaa eli siellä missä voidaan valita vaihtoehtoinen liikkumismuoto (lyhyillä matkoilla kevyt liikenne, muilla joukkoliikenne). Päästöt vähenevät erityisesti siellä missä joukkoliikenteen osuus on suuri, suurimmilla kaupunkiseuduilla eniten.

Laskentamallilla tehtyjen arviointien tulokset osoittavat, että suurimmat suhteelliset muutokset (yli 7 % vähennys) verrattuna perusuraan liikenteen kasvihuonekaasupäästöissä saavutetaan Helsingin kaupunkiseudulla (kuvat 71 ja 73).

Toimenpiteiden kumuloituva vaikutus eri yhdyskuntarakenteissa (kuva 74) on tiivistävässä vaihtoehdossa suurempi kuin hajautuvassa. Tulokset on vakioitu siten, että ne ovat suhteessa kuhunkin yhdyskuntarakenteeseen (kuva 75). Tiivistyvä yhdyskuntarakenne voimistaa muiden toimenpiteiden vaikutusta. Hajautuvan rakenteen muita toimenpiteitä heikentävä vaikutus on 10–30 % ja tiivistyvän rakenteen muita toimenpiteitä voimistava vaikutus on 5–20 %.



Kuva 74. Toimenpiteiden yhteisvaikutus khk-päästöihin vuoden 2050 tilanteessa perusurassa, harvoissa ja hajautuneissa sekä tiiviissä ja keskittyneissä kaupunkiseutuskenaarioissa suhteessa perusuraan ilman toimenpiteitä. Toimenpiteet on lisätty toisiinsa vasemmalta oikealle. Vasta hinnoittelun lisääminen joukkoliikenteen parantamiseen ja asumisväljyyden pienentämiseen tuo hajautuvan yhdyskuntarakenteen päästöt (0,34 miljoonaa CO₂ekv-tonnia) alle sen mitä ne ovat perusurassa. Tiivistyvässä yhdyskuntarakenteessa toimenpiteiden yhteisvaikutus on noin 1,25 miljoonan CO₂ekv-tonnin päästövähennys verrattuna perusuraan ilman toimenpiteitä, mikä vastaa noin 5,5 % vähennystä perusuran tasosta (22,9 miljoonaa CO₂ekv-tonnia) vuonna 2050.



Kuva 75. Toimenpiteiden yhteisvaikutus khk-päästöihin vuoden 2050 tilanteessa perusurassa, harvoissa ja hajautuneissa sekä tiiviissä ja keskittyneissä kaupunkiseutuskenaarioissa verrattuna ao. skenaarioon ilman toimenpiteitä. Toimenpiteet on lisätty toisiinsa vasemmalta oikealle. Tiivistyvä yhdyskuntarakenne vahvistaa voimakkaimmin muiden toimenpiteiden vaikutusta. Kun tiivistyvä yhdyskuntarakenne ilman tässä tarkasteltuja toimenpiteitä vähentää päästöjä 0,27 miljoonalla CO₂ekv-tonnilla, niin nämä toimenpiteet lisäävät vähennystä vielä 0,98 miljoonalla tonnilla, jolloin yhteisvaikutus on 1,25 miljoonaa CO₂ekv-tonnia (vrt. kuva 74).

Kun perusrussa kasvihuonekaasupäästöt vähenevät rakennuskantaan kohdistuvien rakennusteknisten energiansäästöinvestointien ansiosta noin 25 % verrattuna nykytilaan, niin arvioitujen muiden yhdyskuntarakenteellisten toimenpiteiden yhteisvaikutus on perusurassa nähden noin 0,9 miljoonan CO₂ekv-tonnia pienempi. Hajautuvassa skenaariossa perusuran taso ylitetään, vaikka sekä toimenpiteet 1 ja 2 toteutetaan ja vasta kaikki toimenpiteet 1–3 yhdessä mahdollistavat perusuran tason alittamisen (0,34 miljoonan CO₂ekv-tonnin vähennys verrattuna perusurassa). Tiivistyvässä skenaariossa perusuran taso voidaan alittaa millä tahansa em. toimenpiteellä ja niiden yhteisvaikutuksena vähennys on noin 1,25 miljoonaa CO₂ekv-tonnia (noin 5,5 % perusuran päästötasosta vuonna 2050).

Yhdyskuntarakenteen kasvihuonekaasupäästöjen määrä suhteessa kansainvälisiin sopimuksiin

Merkittävimmät kasvihuonekaasujen rajoittamiseen tähtäävät kansainväliset sopimukset ovat Kioton pöytäkirja (1997) ja useat Euroopan Unionin energiankäytön tehokkuutta lisäävät päätökset.

EU:n ministerineuvosto hyväksyi marraskuun 2002 lopussa rakennusten energia- ja tehokkuuden parantamiseen tähtäävän direktiivin. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi tuli Suomessa siirtymäajan jälkeen voimaan osittain vuoden 2006 alussa ja kokonaisuudessaan vuonna 2009.

Kioton pöytäkirja hyväksyttiin vuonna 1997. Euroopan unioni ratifioi Kioton pöytäkirjan 31. toukokuuta 2002. Pöytäkirja tuli voimaan 16.2.2005, kun Venäjä oli ratifioinut sen. Osa teollisuusmaista, kuten Yhdysvallat ja Australia, ovat kieltäytyneet ratifioimasta sitä.

Suomen sallittu kasvihuonekaasujen päästömäärä Kioton pöytäkirjan 1. velvoitekaudella 2008–2012 (eli viiden vuoden yhteenlaskettu määrä) on vahvistettu vuonna 2006 tasolle 355 481 Gg CO₂ekv eli keskimäärin 71 miljoonaa tonnia CO₂ekv vuodessa (Tilastokeskus 2006). Vuosina 2003, 2004 ja 2006 päästöt olivat kaikkina vuosina yli 80 miljoonaa tonnia CO₂ekv⁸ eli keskimäärin noin 16 tonnia CO₂ekv asukasta kohti. Hiilinielut (metsien kasvu, maankäyttömuutokset yms.) kompensoivat näistä päästöistä noin 33,4 miljoonaa tonnia, jolloin nettopäästöiksi jää noin 47 miljoonaa CO₂ekv tonnia eli noin 7 tonnia CO₂ekv asukasta kohti vuodessa.

EU on ilmoittanut vähentävänsä vuoteen 2020 mennessä yksipuolisesti kasvihuonekaasupäästöjään 20 % verrattuna vuoden 1990 tasoon. Mikäli muut maat tulevat mukaan, EU on valmis 30 % vähennyksiin (vuoden 2010 alun tilanteessa tavoite on pysynyt 20 % vähennystasolla). Samalla EU on sitoutunut lisäämään vuoteen 2020 mennessä uusiutuvien energia-lähteiden osuutta 20 %:iin, lisäämään energiatehokkuuttaan 20 % ja nostamaan liikenteen biopolttoaineiden osuuden 10 %:iin. EU:n tavoitteena ovat yhteensä 60–80 % vähennykset kasvihuonekaasupäästöissä vuoteen 2050 mennessä.

⁸ Vuoden 2008 ennakkotieto kokonaispäästöistä on noin 70,1 Mt (Tilastokeskus 2009) eli noin 13,5 tonnia/asukas.

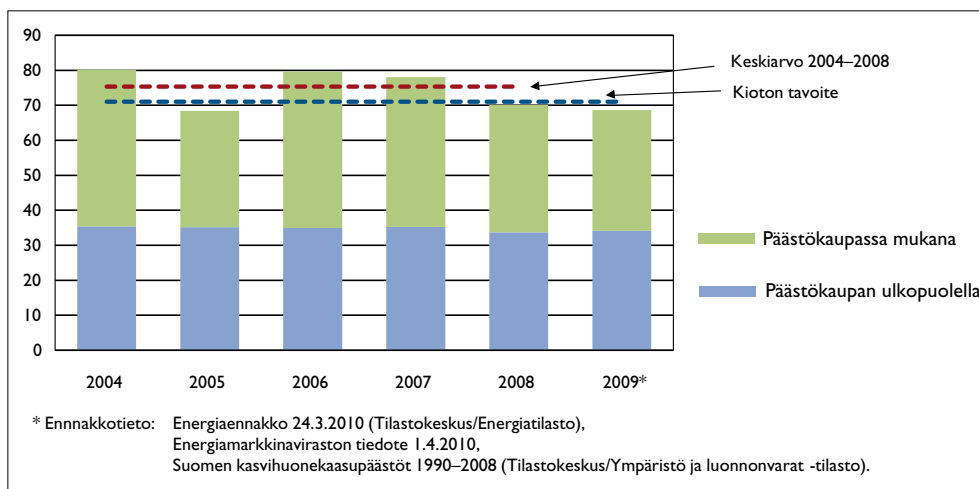
Sektorit	2005	2006	2020		
			Perusura	Tavoiteura	Päästövähennys 2005–2020, %
Liikenne	13,4	13,6	14,2	11,4	-15
Lämmitys	3,1	3,0	2,6	1,2	-60
Maatalous	5,6	5,6	5,5	4,9	-13
F-kaasut	0,9	0,8	1,0	0,7	-9
Jätehuolto	2,4	2,5	1,8	1,7–2,1	-28 ...-13
Työkoneet	2,6	2,6	3,0	2,8	+6
Muut lähteet, siitä	7,4	7,4	7,9	6,9	-7
• teollisuuden kattilat (ei päästökauppa), CO ₂	1,6	1,6	1,5	1,1	
• polttoprosessit, ei liikenne, N ₂ O	0,9	1,0	1,1	1,0	
• vedyn valmistus, CO ₂	0,07	0,07	0,8	0,8	
• värimetallien tuotto, CO ₂	0,7	0,7	0,9	0,8	
Yhteensä päästökaupparektorin ulkopuolella	35,4	35,5	36,0	29,7	-16
Päästöt päästökaupparektorilla	33,6	44,8	52,8		
Päästöt yhteensä	69,0	80,3	88,8		

Kuva 76. Suomen tavoitteet koskien päästökaupan ulkopuolisten alojen päästöjä (miljoonaa CO₂ekv tonnia) vuonna 2020 (Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia 2008). Päästövähennykset ovat yhdyskuntarakennetta koskien melko kunnianhimoiset: rakennusten lämmityksen osalta -60 % ja liikenteen osalta -15 % verrattuna vuoden 2005 tasoon. Päästökaupparektorin ulkopuolisten kkh-päästöjen osalta vähennystavoite on yhteensä 5,7 miljoonaa CO₂ekv tonnia eli 16 % verrattuna vuoden 2005 tilanteeseen. Rakennusten lämmityksen ja liikenteen osuus vähennystavoitteesta on 1,9 + 2,0 = 3,9 miljoonaa CO₂ekv tonnia eli 23,6 % verrattuna vuoden 2005 tasoon.

Valtioneuvosto laati pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategiansa vuonna 2008 (kuva 76) ja sen jälkeen tulevaisuusselonteon ilmasto- ja energiapolitiikasta (2009), joka asettaa Suomen tavoitteeksi vuodelle 2050 vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 80 % verrattuna vuoden 1990 tasoon, tehostaa rakennuskannan energiankäyttöä niin, että kulutus on 60 % pienempi kuin vuonna 1990, lisätä uusiutuvan energian osuutta 60 %:iin energian loppukulutuksesta ja leikata henkilöautokannan keskipäästöjä tasolle 20–30 g CO₂ekv ajoneuvokilometriä kohti.

Suomi on sitoutunut Kioton pöytäkirjan mukaan laskemaan kasvihuonekaasupäästöjen määrää niin paljon, että se saavuttaa vuoden 1990 tason vuosien 2008–2012 keskiarvoluvuissa. Tällä hetkellä tavoite näyttää mahdolliselta saavuttaa johtuen mm. taloudellisen laskukauden aiheuttamasta puunjalostusteollisuuden huomattavasti vähentyneistä tuotantomääristä viime vuosina. Rakennuskannan ja autokannan energiatehokkuuden kasvun (kerrosneliötä ja ajoneuvokilometriä kohti) osuus on tästä suhteellisen pieni ellei olematon koska samaan aikaan sekä asumisväljyydet (kerrosneliötä asukasta kohti) että autojen koot ja liikennesuoritteet (henkilökilometriä asukasta kohti) ovat kasvaneet.

Tässä arvioitujen yhdyskuntarakenteen kautta vaikuttavien toimenpideyhdistelmien yhteisvaikutus vuoden 2050 kasvihuonekaasupäästöihin on enimmillään noin 1,25 miljoonaa CO₂ekv tonnia verrattuna perusuraan. Tähän lukuun ei sisälly rakennuskannan energiatehokkuuden parantuminen, koska se sisältyy oletuksena jo perusuraan ja on melko huomattava. Energiatehokkuuden oletetun parantumisen päästövähennysvaikutus on kaupunkiseudusta riippuen 22–42 % verrattuna vuoden 2005 tasoon (keskimäärin 26 %). Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen kannalta tehokkaimmaksi arvioitu skenaario on tiivistyvä ja keskittyvä yhdyskuntarakennekehitys ja huonoin harventuva ja hajautuva yhdyskuntarakennekehitys.



Kuva 77. Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuosina 2004–2009 suhteessa Kiotoon pöytäkirjan mukaiseen tavoitteeseen (miljoonaa CO₂ekv tonnia) (Tilastokeskus 2010).

4 Päätelmät

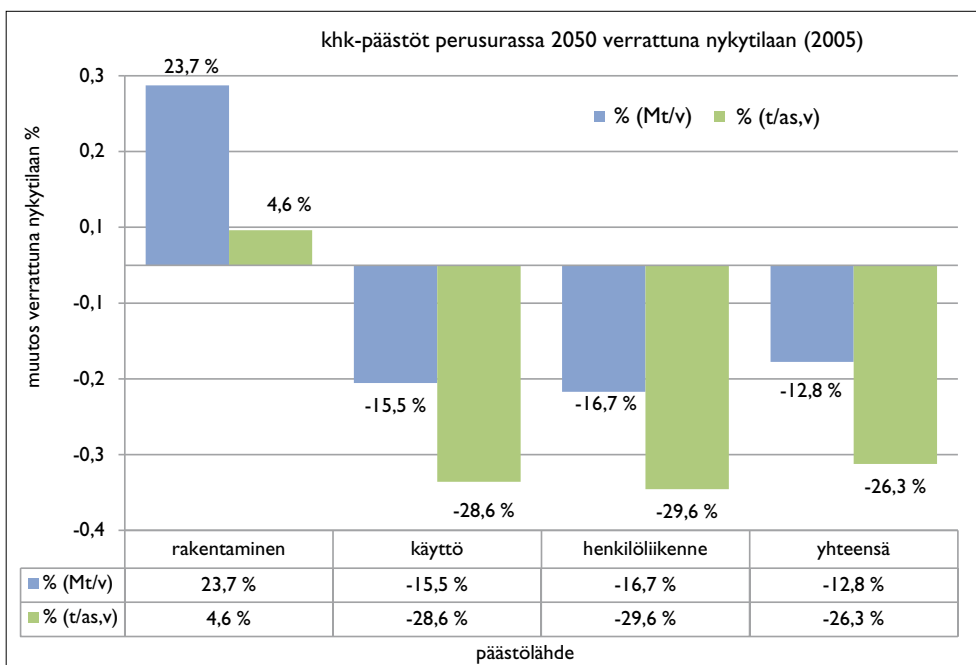
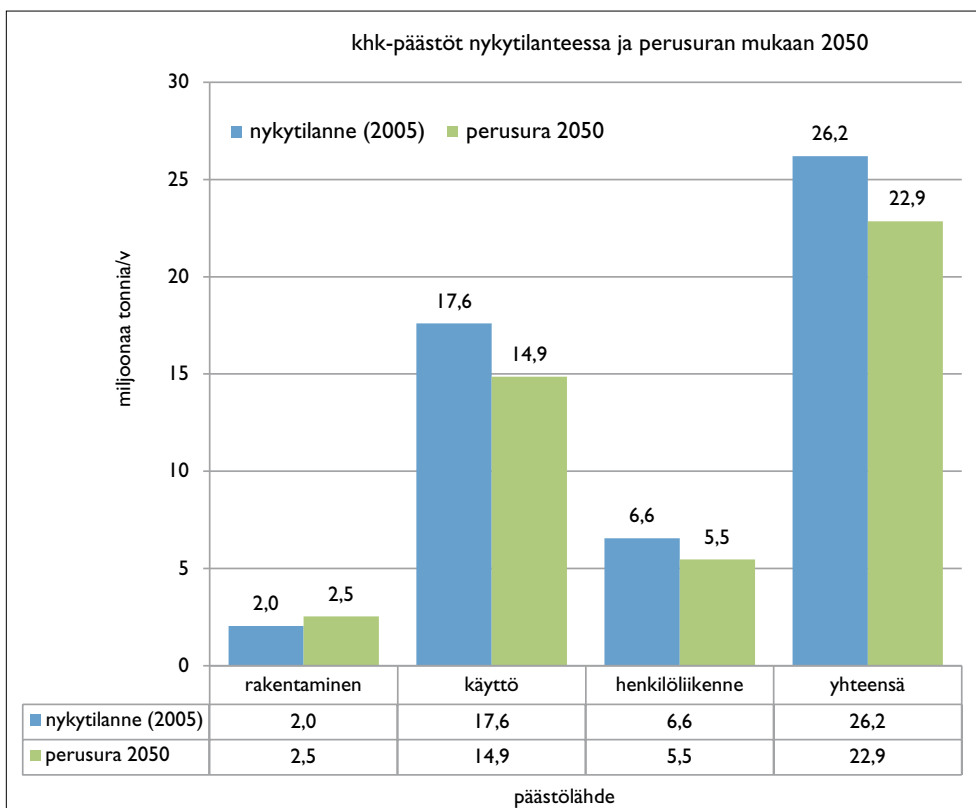
Suomen yhdyskuntarakenne koostuu rakennetusta ympäristöstä siihen välittömästi kuuluvine luontoalueineen. Rakennettu ympäristö koostuu rakennuksista ja perusrakenteesta. Rakentaminen ja valmiin ympäristön käyttö mukaan luettuna liikenne aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä, jotka riippuvat osittain siitä millaista yhdyskuntarakennetta rakennuksista ja perusrakenteesta on muodostettu. Yhdyskuntarakenteen "aiheuttamien" kasvihuonekaasupäästöjen määrän suuruusluokaksi arvioitiin nykytilanteessa noin 34 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia (CO₂ekv tonnia) vuodessa. Suomen 34 suurimman kaupunkiseudun vastaavat päästöt ovat runsaat 26 CO₂ekv tonnia vuodessa. Ao. kaupunkiseutujen osuus koko maan väestöstä on 68 % ja koko maan yhdyskuntarakennepäästöistä (34 Mt CO₂ekv/v) noin 76 %.

Perusurassa eli menneiden vuosien kehityskulkuja jatkettaessa päästöt laskisivat alle 23 miljoonaan CO₂ekv tonniin vuodessa (kuvat 78 ja 79). Päästöt alenevat vaikka rakennuskannan tilavuus kasvaa. Tämä johtuu pääasiassa sekä kannassa että uudisrakentamisessa toteutettavista, jo aloitetuista energiatehokkuusinvestoinneista. Vähennys (-3,3 Mt CO₂ekv/v) vastaa noin 5 % koko maan kaikista päästöistä (noin 70 Mt CO₂ekv/v) tai noin 6 % energiatuotannon päästöistä (jonka osuus on 78 % kaikista päästöistä, ks. kuva 6).

Päästöt on arvioitu rakennusten ja perusrakenteen materiaalien ja energian kulutuksen sekä liikenteen ominaispäästöjen avulla. Pääosa nykytilanteen päästöistä aiheutuu rakennusten käyttövaiheessa ja seuraavaksi eniten liikenteessä (miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia vuodessa ja tonnia asukasta kohti vuodessa).

Selvityksessä arvioitiin myös yhdyskuntarakenteen tulevan kehityksen erilaisten mahdollisten kehityskulkujen seuraukset kasvihuonekaasujen päästöihin vuoteen 2050 asti. Arviointi koski 34 suurinta kaupunkiseutua, joiden osuus koko väestöstä on 68 %. Mahdollisia kehityskulkuja on hahmoteltu menneen kehityksen (1980–2005) perusteella, seuraavien perusoletusten ja -rajausten puitteissa:

- Perusura kuvaa tulevaa kehitystä perustuen menneen kehityksen (1980–2005) jatkamiseen.
- Vaihtoehtoiset mahdolliset kehityskulut (skenaariot) on muodostettu perusuraan nähden harventuvampana tai tiivistyvämpänä (taajamien maa-alan kulutus asukasta kohti vaihtelee) ja toisaalta keskittyvämpänä tai hajautuvampana vaihtoehtona (väestönkasvu kohdistuu enemmän tai vähemmän suuriin keskuksiin).
- On oletettu, että kaupunkiseudut (siihen kuuluvat kunnat yhteisesti) tekevät yhdyskuntarakenteellista politiikkaa eri skenaarioissa parhaimmillaan (tai huonoimmillaan) kuten perusuran ao. kriteerin suhteen "paras" tai "huonoin" kaupunkiseutu vuoteen 2050 mennessä.
- Hajautumiskehitys jatkuu vuoteen 2050 liikennejärjestelmän saavutettavuuden suhteen samantyyppisenä kuin 1980–2005 välisenä aikana.
- Nykyistä yhdyskuntarakennetta ei pureta ja täydennysrakentaminen (suhteessa alueen nykyiseen tiiveyteen) onnistuu kuten keskimäärin vuosina 1980–2005.



Kuvat 78 ja 79. Kasviuonekaasupäästöjen muutos nykytilanteesta (2005) perusuran mukaiseen tilanteeseen vuonna 2050.

- Teknologian kehitys, energiatehokkuusmääräykset ja rakennuskannan uusiutumismäärä oletetaan sellaiseksi kuin se nähdään uusimmassa teknologiaennakoinneissa koskien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuuksia (Teknologiapolut 2050, 2008).

On tietysti mahdollista, että nämä perusteet muuttuvat merkittävästi, jolloin arvioinnit on syytä päivittää. Laskentajärjestelmä mahdollistaa tarvittaessa hyvinkin poikkeuksellisten olettamusten tekemisen. Laskentajärjestelmä on kehitetty tätä selvitystä varten, joten sen myöhemmissä sovelluksissa on tunnettava mallinnuksen perusolettamukset ja niiden merkitys kokonaisuudessa.

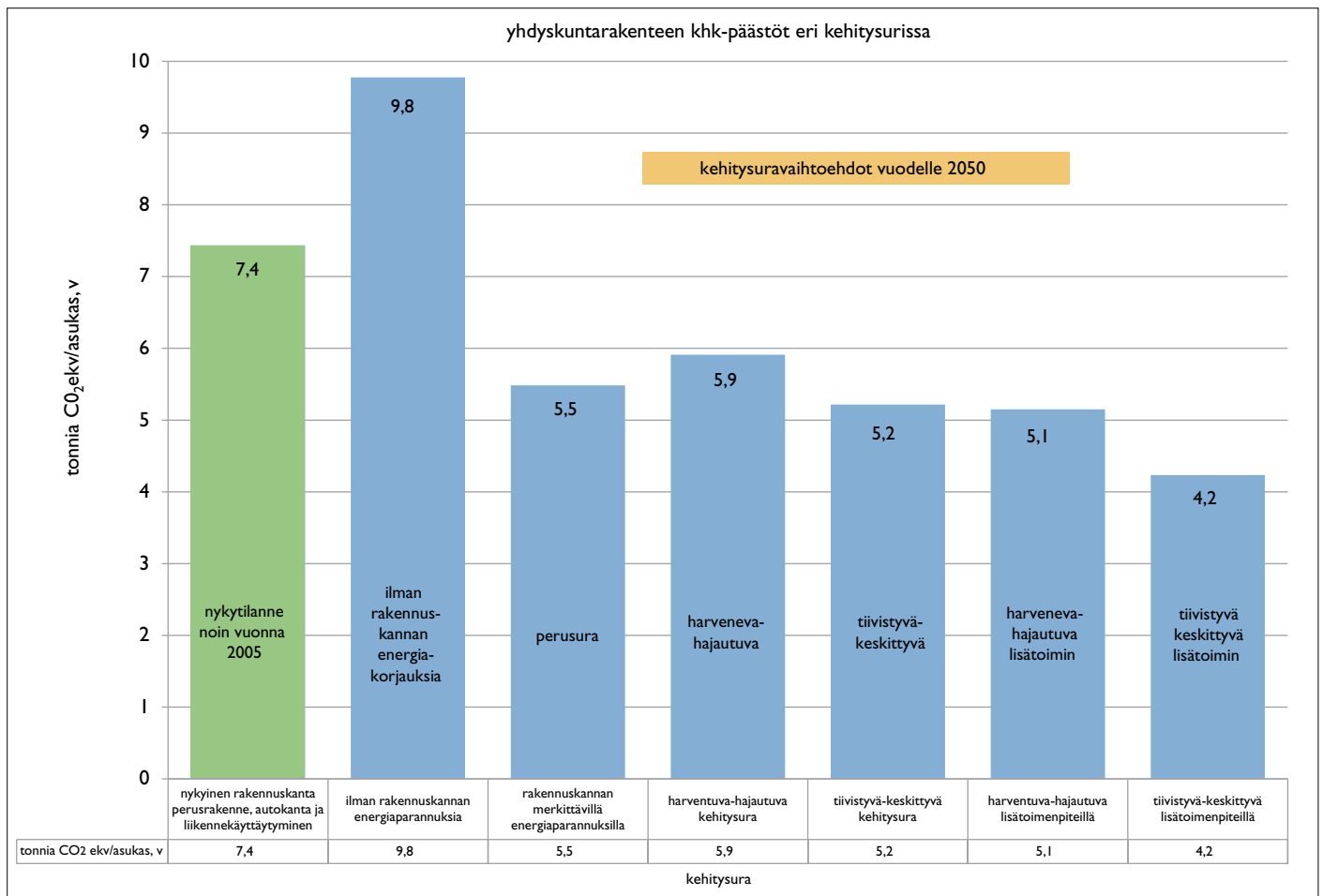
Perusurassa, jossa suurimpien kaupunkiseutujen asukkaiden määrä vuonna 2050 on kasvanut nykytilanteen (2005) 3,5 miljoonasta 4,2 miljoonaan henkeen, kasvihuonekaasupäästöjen määrä vähenee vuoteen 2050 mennessä kaupunkiseuduilla uudisrakentamisessa ja rakennuskannan korjaamisessa saavutettavien parannusten ansiosta keskimäärin 26 % (kaupunkiseudusta riippuen 22–42 %) verrattuna nykytilaan. Henkilöliikenteen osalta vähennys on 27–35 %.

• rakentaminen	2,5 Mt	0,6 t/asukas
• käyttö	14,9 Mt/v	3,6 t/asukas, v
• henkilöliikenne	5,5 Mt/v	1,3 t/asukas, v
• yhteensä	22,9 Mt/v	5,5 t/asukas, v

Selvityksessä on myös arvioitu konkreettisia mahdollisuuksia kasvihuonekaasujen päästöjen vähennyksiin pitkällä aikavälillä ohjaamalla yhdyskuntarakenteen kehitystä oikealla tavalla. Arvioidut mahdolliset kehitysurat (skenaariot) kuvaavat erilaisia taajamakehityksiä. Tulokset osoittavat, että vaihtoehtoisten yhdyskuntarakenteellisten kehitysurien vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin vaihtelee kaupunkiseuduittain siten, että tiiviit ja keskittyvät taajamat tuottavat CO₂ekv-päästöjä noin 1,2 % vähemmän kuin perusura, kun taas harvonevat ja hajautuvat taajamat tuottavat noin 1,9 % enemmän kuin perusura. Ero pienimmän ja suurimman vaikutuksen välillä on yli 4 % koskien rakennetun ympäristön käyttövaiheen päästöjä. Liikenteen osalta vaikutusmahdollisuudet kytkeytyvät lähinnä siihen sijoitetaanko uusi asutus kaupunkiseutujen keskuksiin vai reunoille. Hajautuva kehitys lisää eniten päivittäistä liikennettä, mutta jonkin verran myös pitkämatkaista (yli 100 km pituisten matkojen) liikennettä, joka tuottaa liikenteen ilmastopäästöistä kaksi kolmasosaa.

Taajama- ja hajautumiskehityksen muutosten lisäksi tehty joukkoliikenteen käyttöä, asumisväljyyttä ja liikenteen hinnoittelua muuttavat toimenpiteet osoittivat testitilaskennassa (kuva 80), että:

- Tiivistyvä yhdyskuntarakenteen voimistaa muiden kasvihuonekaasupäästöjä vähentävien toimenpiteiden vaikutusta niin, että yhteisvaikutus vuoden 2050 tilanteessa on noin 1,25 miljoonaa CO₂ekv tonnia vuodessa (5,5 % perusuran päästötasosta).
- Laajenevassa ja hajautuvassa yhdyskuntarakenteessa samat toimenpiteet pääasiassa kompensoivat hajautuvan rakenteen aiheuttamia lisäpäästöjä ja vasta kaikkien kolmen toimenpiteen toteuttaminen laskee päästöt 0,34 miljoonaa CO₂ekv tonnia perusuran tason alle.
- Hajautuvan rakenteen muita toimenpiteitä heikentävä vaikutus on 10–30 %.
- Tiivistyvän rakenteen muita toimenpiteitä voimistava vaikutus on 5–20 %.

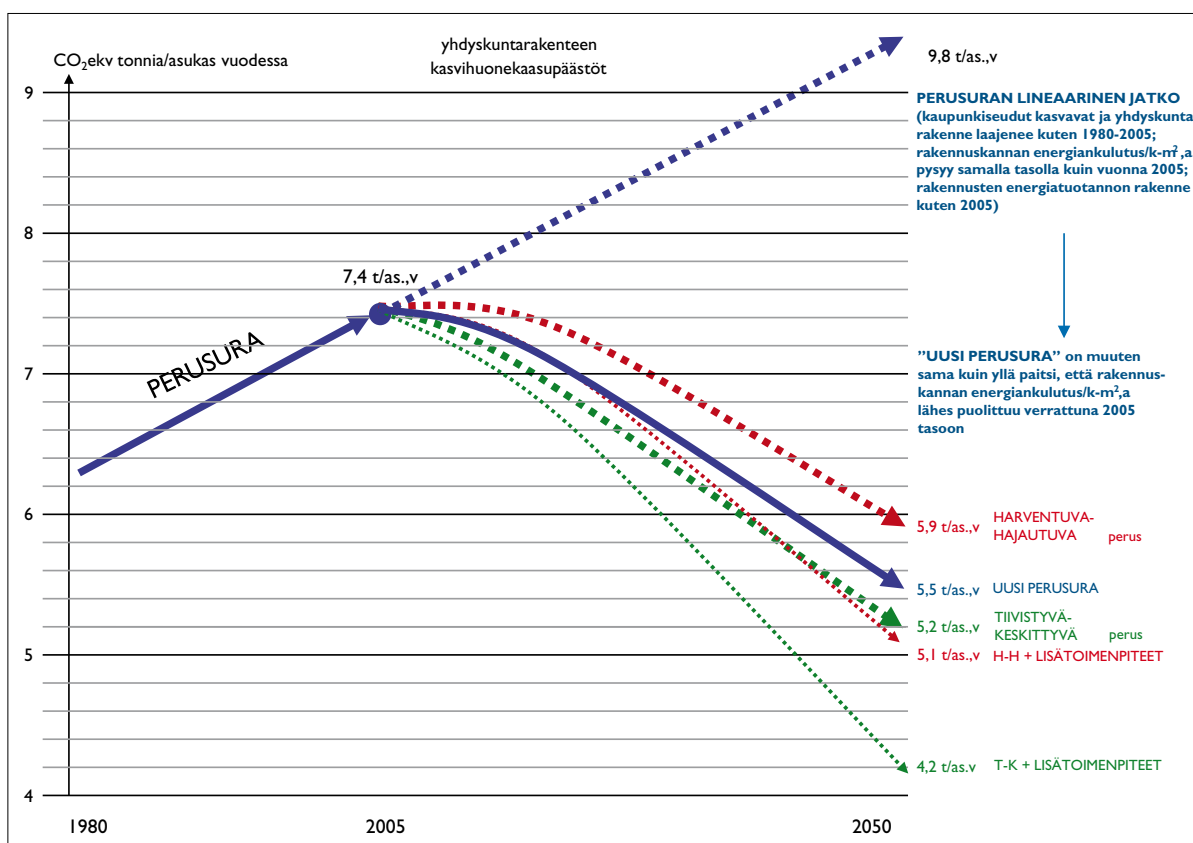


Kuva 80. Yhteenveto tämän selvityksen mukaisista yhdyskuntarakenteen khk-päästöistä. Vasemmassa reunassa aiempien ja tämän selvityksen arviot nykytilanteesta, sen jälkeen perusuran mukaiset arviot vuodelle 2050 ilman rakennuskannan energiaparannuksia, niiden kanssa ja sen jälkeen vaihtoehdot kehitysura harvassa ja hajautuvassa sekä tiivistävässä ja keskittyvässä yhdyskuntarakenteessa ilman erityistoimenpiteitä (joukkoliikenteen edistäminen, asumisväljyyden kasvun hillitseminen ja liikenteen hinnoittelu) ja niiden kanssa. Kolmannen ja neljännen pylvään välinen ero kuvaa sitä suurta päästövähennyspotentiaalia, joka Suomen rakennuskannassa energiaparannusten kautta on. Kolmas pylväs eli kehitysura vaihtoehto ”ilman rakennuskannan energiaparannuksia” on tässä esitetty vertailun vuoksi teoreettisena vaihtoehtona. Mitä suuremmat päästövähennykset saadaan jo rakennuskannan ulkovaipan ja LVIS-laitteistojen energiaparannuksilla, sitä pienemmäksi jäävät vaikutusmahdollisuudet varsinaisilla yhdyskuntarakenteellisilla keinoilla. Ääriesimerkkinä teoreettinen tilanne jossa kaikki rakennukset on korjattu nollaenergiataloiksi, jolloin ei muilla keinoilla (kuten asumisväljyydellä tai asumistapa- ja talotyypinvalinnoilla) ole enää rakennuskannan osalta suuria parantamisen mahdollisuuksia. Sen jälkeen jäävät kuitenkin polttoainevalinnat, perusrakenteeseen ja liikenteeseen liittyvät päästövähennysmahdollisuudet, joihin vaikutetaan energiantuotantojärjestelmillä sekä rakentamisen sijainti- ja aluetehokkuusvalinnoilla. Liikenteen osalta vastaava koko kantaa koskeva teoreettinen tavoitetaso kuin rakennusten nollaenergiatalot on tilanne, jossa autokanta lähestyy nollapäästötasoa, jolloin eivät matkamäärät ja -pituudet (mm. sijaintivalinnat ja aluetehokkuus) enää vaikuta liikenteen päästötasoon (muihin liikenteen haittoihin kyllä).

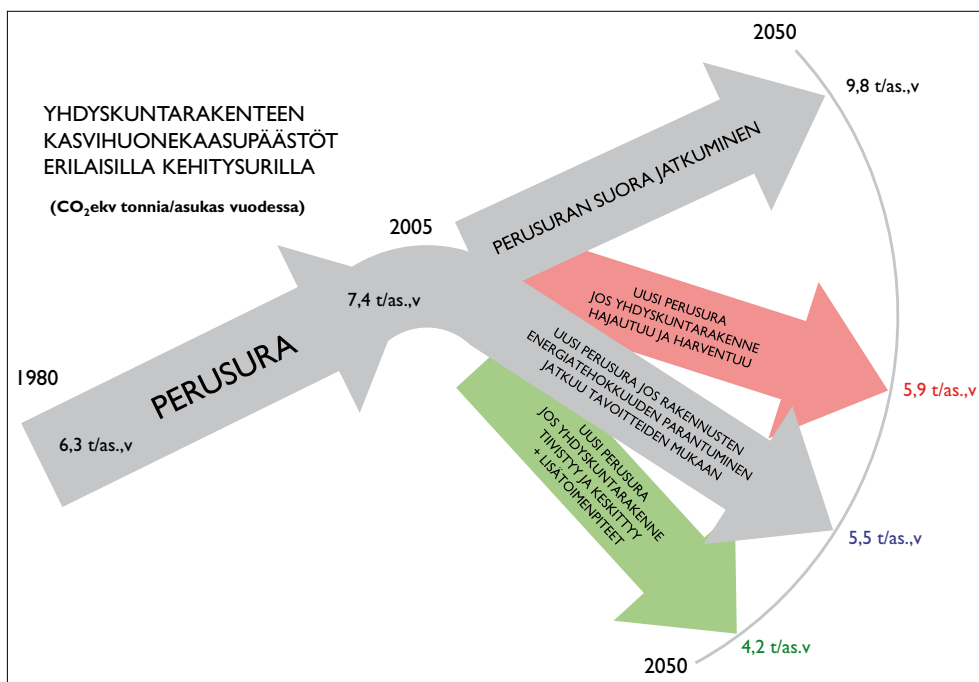
- Tarkasteltujen vaihtoehtoisten kehitysursien ja kolmen toimenpideryhmän yhteisvaikutus (vaihteluväli) vuoden 2050 tilanteessa on noin 1,7 CO₂-ekv tonnia/asukas vuodessa, mikä on noin 31 % kaikista yhdyskuntarakenteen aiheuttamista päästöistä.

Tässä tarkastelussa mukana olleet kehitysuravaihtoehdot ja niihin sisältyvät toimenpidekokonaisuudet mahdollistavat yhdyskuntarakenteellisten khk-päästöjen alentumisen tasolle 4,2–5,9 CO₂ekv tonnia/asukas vuodessa (kuvat 81 ja 82).

Tässä selvityksessä tarkasteltujen kehitysvaihtoehtojen vaihteluväli vuoden 2050 tilanteessa on 4,2...5,9 eli noin 1,7 CO₂ekv tonnia/asukas vuodessa eli koko maan tasolla (4,2 miljoonaa asukasta 34 suurimmalla kaupunkiseudulla) noin 7,1 miljoonaa CO₂ekv tonnia vuodessa. Tämä vaihteluväli vastaa noin 10 % Suomen nykyistä kokonaispäästöistä (70,1 miljoonaa tonnia vuodessa, joka tosin sisältää muutkin yhdyskunnat kuin 34 suurinta kaupunkiseutua). Jos muillakin kaupunkiseuduilla ja taajamissa kuin tässä tarkastelluilla 34 suurimmalla kaupunkiseuduilla toteutettaisiin yhtä tehokkaat ohjaustoimenpiteet, lisääntyisivät päästövähennykset vielä 3,5 miljoonalla CO₂ekv tonnilla vuodessa eli kokonaispäästövähennykset koskien yhteensä 6 miljoonaa asukasta olisivat noin 10 miljoonaa CO₂ekv tonnia vuodessa. Tämä tutkimus ei kuitenkaan selvittänyt muiden kuin 34 suurimman kaupunkiseudun yhdyskuntarakenteellisia kehitysuria.



Kuva 81. Vaihtoehtoisten kehitysurien vertailu. Perusura vuosien 1980–2005 trendien ja vuoden 2005 energian ominaiskulutuksien johtaisi lähes 10 tonnin CO₂ekv-päästötasoon vuonna 2050. Vaihtoehtoisilla kehitysurilla voidaan päästä tasoille 4,2...5,9 CO₂ekv tonnia/asukas vuodessa. Vaihteluväli kuvaa suomalaisessa kaupunkiseutujen yhdyskuntarakennekehityksessä todellisuudessa havaittujen muutosten eroja. Jos mahdollisten kehitysurien malleiksi valittaisiin muiden pohjoismaiden tai jopa keski-euroopplaisen kaupunkikehityksen mallit, päästäisiin vielä huomattavan paljon alhaisemmille päästötasoille. Tämä johtuu siitä, että muun Euroopan kaupungit ovat selvästi tiiviimmin rakennettuja kuin suomalaiset.



Kuva 82. Vaihtoehtoisten yhdyskuntarakenteellisten kehitysurien vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin vuonna 2050 tiivistettynä.

Suhteellinen vähennys 1,7 CO₂ekv tonnia/asukas vuodessa on noin 31 % arvioidusta vuoden 2050 perusuran mukaisista yhdyskuntarakenteen aiheuttamista päästöistä (5,5 tonnia/asukas). Absoluuttisina määrinä koko maan tasolle muunnettu 10 miljoonan CO₂ekv tonnin vähennys vuodessa vastaa noin 14 % Suomen nykyisistä kokonaispäästöistä (70,1 miljoonaa tonnia vuodessa)⁹. Nämä vähennykset eivät sisällä rakennuskannan energiaparannuksia, jotka sisältyvät perusuraan samoin kuin tarkasteltuihin muihinkin kehitysuriin. Ilman oletettuja rakennuskannan energiaparannuksia khk-päästöt nousisivat lähes tasolle 10 CO₂ekv tonnia/asukas vuodessa, mutta sitä vaihtoehtoa on pidettävä Suomen kansainväliset sitoumukset ja jo aloitetut energiamääräysten kiristämiset huomioon ottaen epärealistisena. Jos se kuitenkin otettaisiin huomioon, päästövähennysten vaihteluväli olisi huomattavasti suurempi eli 5,6 CO₂ekv tonnia/asukas vuodessa ja koko Suomen tasolla vaikutusmäärät jo lähes 34 miljoonaa CO₂ekv tonnia vuodessa.

Yhdyskuntarakenteen ja kasvihuonekaasupäästöjen keskinäiset vaikutusmekanismit on kuvattu pelkistettynä tämän selvityksen laskentamallin parametreihin. Todellisuudessa yhdyskuntarakenne muuttuu monimutkaisten keskinäisvaikutusten kautta. Yhdyskuntarakennetta ohjaavat mm. asukkaiden ja työpaikkojen sijoittuminen kaupunkiseudulla, siihen kytkeytyvät asumis- ja rakennustapavalinnat (mm.

⁹ Osuutta vuoden 2050 kokonaispäästöistä ei ole esitetty, koska arviot koko Suomen vuoden 2050 kokonaispäästöistä puuttuvat. Kansallisen energia- ja ilmastopoliittisen strategian yhteydessä tehdyt perusskenaariot ("with measures" eli WM-skenaariot) ja toimenpideskenaariot ("with additional measures" eli WAM-skenaariot) ulottuivat vain vuoteen 2025. WM-skenaarioiden päästötasojen vaihteluväliksi eri talouskasvuilla ja jo päätetyillä energiansäästötoimilla on arvioitu noin 85–90 miljoonaa CO₂ekv tonnia vuodessa (Tilastokeskus 2009). WAM-skenaarioissa pyritään saavuttamaan Kioton pöytäkirjan mukainen taso (eli vuoden 1990 taso noin 71 miljoonaa CO₂ekv tonnia vuodessa) uusilla toimenpiteillä.

talotyypit ja aluetehokkuus) sekä asumisväljyys, jotka molemmat riippuvat myös elintason (tulotason ja varallisuuden) ja elämäntapojen tulevasta kehittämisestä. Lisäksi joukkoliikenteen järjestämisvalinnat ja hinnoittelu vaikuttavat asukkaiden sijoittumispäätöksiin ja ilmenevät monimuotoisesti eri asukasryhmissä ja eri alueilla.

Yhdyskuntarakenteen muutoksen ohjaamisella on mahdollista vähentää huomattavasti kasvihuonekaasupäästöjä. Tässä selvityksessä tarkasteltujen kehitysvaihtoehtojen vaihteluväli vuoden 2050 tilanteessa on 4,2...5,9 eli noin 1,7 CO₂ekv tonnia/asukas vuodessa mikä vastaa koko maan 34 suurimman kaupunkiseudun alueella (4,2 miljoonaa asukasta) noin 7,1 miljoonaa CO₂ekv tonnia vuodessa. Tämä vaihteluväli vastaa noin 10 % Suomen nykyisistä kokonaispäästöistä (70,1 miljoonaa tonnia vuodessa). Jos muillakin kaupunkiseuduilla ja taajamissa kuin tässä tarkastelluilla 34 suurimmalla kaupunkiseuduilla toteutettaisiin yhtä tehokkaat ohjaustoimenpiteet, lisääntyisivät päästövähennykset vielä noin 3 miljoonalla CO₂ekv tonnilla vuodessa. Päästövähennys 1,7 CO₂ekv tonnia/asukas vuodessa on noin 31 % arvioiduista vuoden 2050 perusuran mukaisista yhdyskuntarakenteen aiheuttamista päästöistä (5,5 tonnia/asukas). Tämä vaihteluväli ei sisällä sitä edellä mainittua teoreettista vaihtoehtoa, jossa rakennuskannan energiaparannuksia ei lainkaan toteutettaisi (jolloin khk-päästöt nousisivat lähes tasolle 10 CO₂ekv tonnia/asukas vuodessa), koska sitä on pidettävä Suomen kansainväliset sitoumukset ja jo aloitetut energiamääräysten kiristämistoimet huomioon ottaen epärealistisena. Realistisena on pidettävä sitäkin tässä tehdyn arvioinnin lähtökohtaa, että tulevaisuudessa mahdollisissa kehitysurissa ”malleiksi” on otettu suomalaiset kaupunkiseudut ja niissä havaittu todellinen vaihtelu yhdyskuntarakenteen muutoksessa. Jos esikuviksi otettaisiin keskieuropallaiset kaupungit, päästäisiin huomattavasti tehokkaampiin yhdyskuntarakennemalleihin ja sitä kautta selvästi alhaisemmille päästötasoil- le. Yhdyskuntarakenteen muutokset vaikuttavat koko yhteiskuntaan monella tavalla ja useiden vuosikymmenien, jopa vuosisatojen ajan. Yhdyskuntarakennetta ohjaavat toimenpiteet on näistä syistä tehtävä ajoissa. Rakennuskannan ulkovaippaa ja teknisiä laitteita koskevia energiaparannustoimia on syytä jatkaa joka tapauksessa. Niiden lisäksi Suomen kansainvälisesti verrattuna hyvin hajanaista yhdyskuntarakennetta on syytä tiivistää ja alueellista laajenemista rajoittaa. Muussa tapauksessa vaivalla aikaansaadut energiataloudelliset ja päästöjen vähentämishyödyt valuvat osittain hukkaan.

LÄHTEET

- Baumert, K. A. et al. 2005. Navigating the Numbers – Greenhouse Gas Data and International Climate Policy. World Resources Institute.
- Ekholm, T., Lehtilä A. & Savolainen I. 2008. EU:n yksipuolinen päästöjen rajoittaminen ja kehittyneiden maiden yhteinen päästöjen rajoittaminen. Vaikutukset Suomeen arvioituna TIMES-mallilla. VTT Working Papers 96. Espoo 2008. 57 s.
- Energy Visions 2050. 2009. VTT Edita. Porvoo 380 s.
- Harmaajärvi, Irmeli 1992. Kestävän kehityksen tavoitteen mukainen asun-toalue. Arvio neljästä tyypillisestä suomalaisesta asuntoalueesta kestävän kehityksen kannalta. VTT Tiedotteita 1378. Espoo 1992. 60 s.
- Harmaajärvi, Irmeli, Huhdanmäki Aimo & Lahti Pekka 2001. Yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt. Suomen ympäristö 522.
- Harmaajärvi, I., Huhdanmäki, A. & Lahti, P. 2002. Urban form and green-house gas emissions. Ministry of the Environment. The Finnish Environment 573. Helsinki 2002. 28 p.
- Helminen, Ville 2009. Perusura (SYKE). (tätä projektia varten tuotettu dokumentti). 12 s.
- Helsingin kaupungin energiapoliittisia linjauksia 2008. Selonteko kaupunginvaltuustolle 23 päivänä tammikuuta 2008. Helsingin kaupunki Talous- ja suunnittelukeskus. 45 s.
- Helsingin kaupungin ympäristöraportti 2007. Ympäristöraportoinnin asiantuntijaryhmä. Toukokuu 2008. 42 s. <http://193.65.89.248/test/downloads/Kokoraportti07.pdf>
- Henkilöliikennetutkimus (HLT) 2004–2005. http://www.hlt.fi/tulokset/8_1_tark.xls
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007. Fourth assessment report, Working Group I Report "The Physical Science Basis". 996 p (Chapter 2 Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. p. 129-234).
- Johnson, George, Plugging into the Sun, National Geographic, September 2009, p. 28–53.
- Kioto pöytäkirja ilmastonmuutoksesta 2002. <http://europa.eu/scadplus/leg/fi/lvb/l28060.htm>
- Kukko Heikki, 2006. Asuntokuntien koon kehitys Suomessa – suurperheistä yksinasujiksi. Pellervon taloudellisen tutkimuslaitoksen työpapereita 82.
- Lahti, P. ja Harmaajärvi, I. 1992. Yhdyskuntarakenne ja kestävä kehitys, kansainvälisiä kokemuksia. Ympäristöministeriö, kaavoitus- ja rakennusosasto. Tutkimusraportti 1 1992. Helsinki 1992. 92 s.
- Lahti, P., Harmaajärvi, I. & Huhdanmäki, A. 2000. Alue- ja yhdyskuntarakennetta koskevat osat teoksessa Kansallinen ilmasto-ohjelma – ympäristöministeriön sektoriselvitys. Helsinki.
- Lahti, P. & Halonen M. 2004. Asuinympäristön muutos ja sen ekotehokkuus Suomessa 2000–2030. Arviointimallin kehitys ja soveltaminen kahdessa yhdyskuntarakenneskenaariossa: Nykykehitys ja kaupunkimaisen pientalon vaihtoehto. VTT Tutkimusraportti VTT-R-03399-06. 89 s.
- Lahti P., Halonen M. & Wahlgren I. 2008. Metropolialueen aluerakennevaihtoehtojen ekotehokkuus. VTT Tutkimusraportti VTT-R-01343-08. Espoo 6.5.2008. 94 s.
- Lankinen Markku, Lönnqvist Henrik, Niska Ari, Schulman Harry, 2005. Asumisväljyys Helsingissä 1950–2050. Helsingin kaupungin tietokeskus.
- Lehtinen Erkki, Nippala Eero, Jaakkonen Liisa, Nuutila Harri, 2005. Asuinrakennukset vuoteen 2025, Uudistuotannon ja perusparantamisen tarve. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.
- Lund P. 2006. Pääkaupunkiseudun ilmastostrategialuonnos 2030. Vaikutusten aviointi. Solpro 2.12.2006. 28 s.
- Matinheikki Matti 1995, Tieliikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakenteen välisiä yhteyksiä. Tielaitos, Tienpidon strateginen projekti S1. Tielaitoksen selvityksiä 10/1995. Helsinki 1995.
- Matinheikki Matti 1996, Tieliikenteen energiankulutus ja kaupunkirakenne – yhteyksiä eri kokoluokan taajamissa. Tielaitos, Tienpidon strateginen projekti S1. Tielaitoksen selvityksiä 14/1996. Helsinki 1996.
- McKibben, Bill 2007, Carbon's New Math, National Geographic, October 2007, p. 32–37, Changing Climate map.
- Metropolialueelle kestävä aluerakenne 2008. Uudenmaan liitto. Helsinki. 31 s.
- National Geographic 2008, Special report, Changing Climate (May 2008). 2008.
- NRTEE, (National Round Table on the Environment and the Economy) Annual Report 2000–2001. Measuring Eco-efficiency in Business: Developing a Core Set of Eco-efficiency Indicators
- Næss Petter 1995, Urban Form and Energy Use for Transport. A Nordic Experience. Oslo. 327 p.
- Newman P. & Kenworthy J. 1989, Cities and Automobile Dependency. Aldershot, Gower Publications.
- Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiasstrategia 2008, Valtioneuvoston selonteko 6. päivänä marraskuuta 2008.
- Pääkaupunkiseudun ilmasto- ja ympäristöraportti 2010. Päästöjen kehitys 2009. HSV Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Helsinki. 38 s.
- Teknologiapolut 2050, 2008. Teknologian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen syvien rajoittamistavoitteiden saavuttamiseksi Suomessa. VTT Tiedotteita 2432. Espoo 2008. 215 s.

- Tilastokeskus 2010 (23.4.2010). Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2008. Tilastokeskus Katsauksia 2010/1. 3. korjattu painos. Ympäristö ja luonnonvarat. Helsinki 66 s. http://www.stat.fi/tup/julkaisut/isbn_978-952-244-257-4.pdf
- Wahlgren I., Kuismanen K. & Makkonen L. 2007. Ilmastonmuutoksen huomioiminen kaavoituksessa – tapauskohtaisia tarkasteluja. VTT-R-03986-08. Espoo 9.5.2008. 173 s. LIISA 2007. Tieliikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä 2007. <http://lipasto.vtt.fi/liisa/liisa07.htm>
- Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta "Kohti vähäpäästöistä Suomea" 2009. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 28/2009. 180 s. sekä Tiivistelmä 24 s. www.vnk.fi/tulevaisuusselonteko
- YTV 2007. Pääkaupunkiseudun Ilmastostrategia 2030. http://www.ytv.fi/FIN/seutu_tulevaisuudessa/ilmastomuutos/seudun_paastot/etusivu.htm

KUVAILULEHTI

<i>Julkaisija</i>	Ympäristöministeriö Rakennetun ympäristön osasto		<i>Julkaisu-aika</i> Elokuu 2010	
<i>Tekijä(t)</i>	Pekka Lahti, Paavo Moilanen			
<i>Julkaisun nimi</i>	Kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt. Kehitysvertiluja 2005–2050			
<i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i>	Suomen ympäristö 12/2010			
<i>Julkaisun teema</i>	Rakennettu ympäristö			
<i>Tiivistelmä</i>	<p>Tutkimuksessa on arvioitu yhdyskuntarakenteen kehityksen erilaisten kehityskulkujen vaikutukset kasvihuonekaasujen (khk) päästöihin vuoteen 2050 asti sekä mahdollisuudet päästöjen vähennyksiin ohjaamalla yhdyskuntarakenteen kehitystä.</p> <p>Suomen yhdyskuntarakenne koostuu rakennetusta ympäristöstä siihen välittömästi kuuluvine luontoalueineen. Rakennettu ympäristö koostuu rakennuksista ja perusrakenteesta. Rakentaminen, rakennetun ympäristön käyttö ja henkilöliikenne aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä, jotka riippuvat osittain siitä millaista yhdyskuntarakennetta rakennuksista ja perusrakenteesta on muodostettu. Yhdyskuntarakenteen ”aiheuttamien” kasvihuonekaasupäästöjen määrän suuruusluokaksi nykytilanteessa arvioitiin noin 34 miljoonaa hiilidioksidiekvivalentttonnia (CO₂ekv tonnia) vuodessa.</p> <p>Yhdyskuntarakenteen nykytilannetta ja tulevia kehitysnäkymiä arvioitiin tyyppitelemällä 34 suurimman kaupunkiseudun maankäyttö (asukkaiden, työpaikkojen ja rakennusten sijainti kilometrin ruuduissa). Päästöt arvioitiin rakennusten ja perusrakenteen materiaalien ja energian kulutuksen sekä liikenteen ominaispäästöjen avulla. Pääosa nykytilanteen (2005) päästöistä aiheutuu rakennusten käyttövaiheessa ja seuraavaksi eniten liikenteessä (miljoonaa hiilidioksidiekvivalentttonnia vuodessa ja tonnia asukasta kohti vuodessa):</p> <ul style="list-style-type: none"> • rakentaminen 2,1 Mt 0,6 t/asukas • käyttö 17,6 Mt/v 5,0 t/asukas, v • henkilöliikenne 6,6 Mt/v 1,9 t/asukas, v • yhteensä 26,2 Mt/v 7,4 t/asukas, v <p>Mahdollisia kehitysuria vuoteen 2050 asti on hahmoteltu menneen kehityksen (1980–2005) perusteella lähtökohtana ns. perusura, joka jatkaa menneitten vuosien kehitystä samoilla kaupunkiseuduilla. Vaihtoehtoiset kehitysurat ovat perusuraan verrattuna tiivistäviä, keskittäviä, hajautuvia tai harventuvia. On mahdollista, että laskentaperusteet muuttuvat merkittävästi, jolloin arvioinnit on syytä päivittää. Laskentajärjestelmä mahdollistaa tarvittaessa hyvinkin poikkeuksellisten oletusten tekemisen.</p> <p>Perusurassa suurimpien kaupunkiseutujen asukkaiden määrä vuonna 2050 on kasvanut nykytilanteen (2005) 3,5 miljoonasta 4,2 miljoonaan henkeen. Kasvihuonekaasupäästöjen määrä kuitenkin vähenee. Tämä johtuu uudisrakentamisesta ja rakennuskannan korjaamisen yhteydessä tehtävistä energiaparannuksista. Päästöt alenevat perusurassa keskimäärin 26 % (kaupunkiseudusta riippuen 22–42 %) asukasta kohti verrattuna nykytilaan (henkilöliikenteen osalta vähennys on lähinnä ajoneuvojen ekotehokkuuden parantumisen ansiosta 27–35 % per asukas):</p> <ul style="list-style-type: none"> • rakentaminen 2,5 Mt 0,6 t/asukas • käyttö 14,9 Mt/v 3,6 t/asukas, v • henkilöliikenne 5,5 Mt/v 1,3 t/asukas, v • yhteensä 22,9 Mt/v 5,5 t/asukas, v <p>Vaihtoehtoisissa kehitysurissa vaikutukset vaihtelevat kaupunkiseuduittain siten, että ”tiivit ja keskittyvät” yhdyskunnat tuottavat CO₂ekv-päästöjä noin 1,2 % vähemmän kuin perusura, kun taas ”harvenevat ja hajautuvat” taajamat tuottavat noin 1,9 % enemmän. Tarkasteltujen vaihtoehtoisten kehitysurien ja kolmen toimenpideryhmän yhteisvaikutus (vaihteluväli) vuoden 2050 tilanteessa on noin 1,7 CO₂ekv tonnia/asukas vuodessa, mikä on noin 31 % kaikista yhdyskuntarakenteen aiheuttamista päästöistä perusurassa. Suurimpien kaupunkiseutujen alueella päästövaikutus on noin 7,1 miljoonaa CO₂ekv tonnia/v mikä vastaa noin 10 % Suomen nykyisistä (2008) kokonaispäästöistä (70,1 milj. t/v).</p>			
<i>Asiasanat</i>	yhdyskuntarakenne, kasvihuonekaasut, päästöt, ilmastonmuutos, tulevaisuus, kehitysurat, rakentaminen, energia, liikenne, mallinnus, laskentamalli			
<i>Rahoittaja/toimeksiantaja</i>	Ympäristöministeriö			
	ISBN 978-952-11-3766-2 (nid.)	ISBN 978-952-11-3767-9 (PDF)	ISSN 1238-7312 (pain.)	ISSN 1796-1637 (verkkoy.)
	<i>Sivuja</i> 87	<i>Kieli</i> suomi	<i>Luottamuksellisuus</i> julkinen	<i>Hinta (sis. alv 8 %)</i>
<i>Julkaisun myynti/jakaja</i>	Edita Publishing Oy, PL 780, 00043 EDITA Asiakaspalvelu: puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380 Sähköposti: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/netmarket			
<i>Julkaisun kustantaja</i>	Ympäristöministeriö			
<i>Painopaikka ja -aika</i>	Edita Prima Oy, Helsinki 2010			

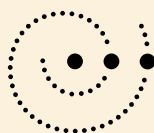
PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Miljöministeriet Avdelningen för den byggda miljön	Datum	Augusti 2010	
Författare	Pekka Lahti, Paavo Moilanen			
Publikationens titel	Kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt. Kehitysvertailuja 2005–2050 (Tätortsstrukturens förändring och växthusgasutsläppen i Finland fram till år 2050)			
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 12/2010			
Publikationens tema	Byggd miljö			
Sammandrag	<p>I undersökningen bedömdes verkningarna av olika utvecklingsförlopp inom tätortsstrukturens utveckling på utsläppen av växthusgaser (VHG) fram till år 2050 samt möjligheterna att minska utsläppen genom styrning av tätortsstrukturens utveckling.</p> <p>Tätortsstrukturen i Finland består av den byggda miljön inklusive angränsande naturområden. Den byggda miljön består av byggnaderna och grundstrukturen. Byggnade, användning av den byggda miljön och persontrafik orsakar växthusgasutsläpp, som delvis beror på hurdan den tätortsstruktur är som man skapat med byggnader och grundstruktur. Den mängd växthusgasutsläpp som tätortsstrukturen ger upphov till bedöms i dag vara ca 34 miljoner koldioxidkivälväntton per år.</p> <p>Tätortsstrukturens nuvarande tillstånd och kommande utvecklingsperspektiv bedömdes genom att typindela markanvändningen (invånarnas, arbetsplatsernas och byggnadernas placering i rutor på 1 km x 1 km) i de 34 största stadsregionerna. Utsläppen uppskattades utgående från materialet och energiförbrukningen hos byggnaderna och grundstrukturen samt de specifika utsläppen från trafiken. Huvudparten av utsläppen i nuläget (2005) härstammar från användningen av byggnader, och på andra plats ligger utsläppen från trafiken (miljoner koldioxidkivälväntton per år och ton per invånare och år):</p> <ul style="list-style-type: none"> • byggande 2,1 Mt 0,6 t/invånare • användning 17,6 Mt/år 5,0 t/invånare, år • persontrafik 6,6 Mt/år 1,9 t/invånare, år • totalt 26,2 Mt/år 7,4 t/invånare, år <p>Potentiella utvecklingsförlopp fram till år 2050 har gestaltats utifrån utvecklingen i det förgångna (1980–2005) och med utgångspunkt i ett s.k. grundscenariot, där utvecklingen fortsätter i samma stadsregioner i samma spår som förut. I jämförelse med grundscenariot är de alternativa utvecklingsscenarierna mer täta, centraliserade, decentraliserade eller glesa. Det är möjligt att kalkyleringsgrunderna förändras betydligt och då bör man uppdatera bedömningarna. Vid behov är det möjligt att göra även mycket exceptionella antaganden i kalkyleringssystemet.</p> <p>I grundscenariot kommer de största stadsregionernas invånarantal att växa från 3,5 miljoner i nuläget (2005) till 4,2 miljoner år 2050. Mängden utsläpp av växthusgaser kommer dock att minska. Detta beror på förbättringar i energieffektiviteten vid nybyggnad och renovering av byggnadsbeståndet. I grundscenariot minskar utsläppen i genomsnitt 26 % (22–42 % beroende på stadsregion) per invånare från nuläget (i persontrafiken är minskningen 27–35 % per invånare och beror huvudsakligen på fordonens förbättrade ekoeffektivitet):</p> <ul style="list-style-type: none"> • byggande 2,5 Mt 0,6 t/invånare • användning 14,9 Mt/v 3,6 t/invånare, år • persontrafik 5,5 Mt/v 1,3 t/invånare, år • totalt 22,9 Mt/v 5,5 t/invånare, år <p>I de alternativa scenarierna förekommer variationer i utsläppen mellan stadsregionerna så att täta och centraliserade samhällen ger upphov till 1,2 % mindre CO₂ekv-utsläpp än samhällen i grundscenariot, medan glesa och decentraliserade tätorter ger upphov till 1,9 % mer utsläpp. De alternativa scenariernas och de tre åtgärdsgruppernas samverkan (variationsvidd) i läget år 2050 är ca 1,7 CO₂ekv/invånare per år, vilket motsvarar ca 31 % av samtliga utsläpp från tätortsstrukturen i grundscenariot. I de största stadsregionerna är inverkan på utsläppen ca 7,1 miljoner CO₂ekv/år, vilket motsvarar ca 10 % av de nuvarande (2008) totalutsläppen (70,1 miljoner t/år) i Finland.</p>			
Nyckelord	tätortsstruktur, växthusgaser, utsläpp, klimatförändring, framtid, utvecklingsscenarier, byggande, energi, trafik, modellering, kalkyleringsmodell			
Finansiär/uppdragsgivare	Miljöministeriet			
	ISBN 978-952-11-3766-2 (hft.)	ISBN 978-952-11-3767-9 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)
	Sidantal 87	Språk Finska	Offentlighet Offentlig	Pris (inneh. moms 8 %)
Beställningar/distribution	Edita Publishing Ab, PB 780, 00043 EDITA Kundtjänst: tfn +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380 Epost: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/netmarket			
Förläggare	Miljöministeriet			
Tryckeri/tryckningsort och -år	Edita Prima Ab, Helsingfors 2010			

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Ministry of the Environment Department of the Built Environment			<i>Date</i> August 2010																								
<i>Author(s)</i>	Pekka Lahti, Paavo Moilanen																											
<i>Title of publication</i>	Kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt. Kehitysvertailuja 2005–2050 (Urban land use patterns and greenhouse gas emission in Finland 2005–2050)																											
<i>Publication series and number</i>	The Finnish Environment 12/2010																											
<i>Theme of publication</i>	Built Environment																											
<i>Abstract</i>	<p>The study examines different development alternatives of urban and regional form and their impact on greenhouse gas emissions until 2050. The possibilities to influence this development are evaluated as well.</p> <p>The Finnish conurbation is a composition of built environment together with its internal natural areas. The built environment consists of buildings and infrastructure. Construction, use of buildings and infrastructure as well as transportation create greenhouse gas (ghg) emissions depending on the way urban and regional communities are composed. The current amount of ghg emissions created by urban and regional communities is estimated to be approximately 34 million tons CO₂ equivalent per annum.</p> <p>The current situation and the possible future development was assessed by typifying the land use patterns (location of inhabitants, jobs and buildings in the grid of 1 km by 1 km) in the 34 biggest city regions in Finland. The estimations of ghg emissions were based on the specific consumption of materials and energy in the built environment including the infrastructure and passenger transportation. The majority of the emissions is induced during the use and operation of buildings as well as in transportation (million tons and tons per inhabitant per annum):</p> <table border="0"> <tr> <td>• Construction</td> <td>2.1 Mt</td> <td>0.6 t/inhabitant</td> </tr> <tr> <td>• Use and operation</td> <td>17.6 Mt/a</td> <td>5.0 t/inhabitant, a</td> </tr> <tr> <td>• Passenger transport</td> <td>6.6 Mt/a</td> <td>1.9 t/inhabitant, a</td> </tr> <tr> <td>• Total</td> <td>26.2 Mt/a</td> <td>7.4 t/inhabitant, a</td> </tr> </table> <p>Possible future alternatives until 2050 are evaluated by visualising the latest history (1980–2005) of urban development and its trends. Business as usual (BAU) is the basic trend continuing the historical trajectories in the studied city regions. Alternative development scenarios are either more dense and centralised or more sparse and decentralised than the BAU scenario. It is possible that the basic assumptions of calculations are changing in the future, which leads to need of updating the evaluations. The calculation system allows even extraordinary alternative assumptions.</p> <p>The BAU scenario includes the growth of population from 3.5 million to 4.2 million in the 34 biggest city regions by 2050. However, the amount of greenhouse gas emissions is decreasing in the same time. This is the result of the assumed implementation of energy-efficiency improvements in construction and renovation of the building stock. The emissions are decreasing by 26 percent per inhabitant (22–42 percent depending on the city region) compared to the current level (27–35 percent in passenger transport mainly because of improved vehicle efficiency):</p> <table border="0"> <tr> <td>• Construction</td> <td>2.5 Mt</td> <td>0.6 t/inhabitant</td> </tr> <tr> <td>• Use and operation</td> <td>14.9 Mt/a</td> <td>3.6 t/inhabitant, a</td> </tr> <tr> <td>• Passenger transport</td> <td>5.5 Mt/a</td> <td>1.3 t/inhabitant, a</td> </tr> <tr> <td>• Total</td> <td>22.9 Mt/a</td> <td>5.5 t/inhabitant, a</td> </tr> </table> <p>The average amount of emissions in the "dense and centralised" scenario is about 1.2 percent less and in the "sparse and decentralised" scenario about 1.9 percent more than in the BAU scenario. The total variation of the different scenarios and studied additional measures is about 1.7 tons CO₂eq per inhabitant per annum, which is about 31 percent of all greenhouse gas emissions in the BAU scenario caused by the urban and regional form. The total variation of ghg emissions in the 34 largest city regions is about 7.1 million tons CO₂ equivalent per annum equalling about 10 percent of the total amount of current (2008) ghg emissions in Finland (70.1 Mt/a).</p>				• Construction	2.1 Mt	0.6 t/inhabitant	• Use and operation	17.6 Mt/a	5.0 t/inhabitant, a	• Passenger transport	6.6 Mt/a	1.9 t/inhabitant, a	• Total	26.2 Mt/a	7.4 t/inhabitant, a	• Construction	2.5 Mt	0.6 t/inhabitant	• Use and operation	14.9 Mt/a	3.6 t/inhabitant, a	• Passenger transport	5.5 Mt/a	1.3 t/inhabitant, a	• Total	22.9 Mt/a	5.5 t/inhabitant, a
• Construction	2.1 Mt	0.6 t/inhabitant																										
• Use and operation	17.6 Mt/a	5.0 t/inhabitant, a																										
• Passenger transport	6.6 Mt/a	1.9 t/inhabitant, a																										
• Total	26.2 Mt/a	7.4 t/inhabitant, a																										
• Construction	2.5 Mt	0.6 t/inhabitant																										
• Use and operation	14.9 Mt/a	3.6 t/inhabitant, a																										
• Passenger transport	5.5 Mt/a	1.3 t/inhabitant, a																										
• Total	22.9 Mt/a	5.5 t/inhabitant, a																										
<i>Keywords</i>	Urban form, regional form, greenhouse gases, emissions, climate change, future, scenarios, construction, transportation, modelling, calculation model																											
<i>Financier/commissioner</i>	Ministry of the Environment																											
	ISBN 978-952-11-3766-2 (pbk.)	ISBN 978-952-11-3767-9 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)	ISSN 1796-1637 (online)																								
	<i>No. of pages</i> 87	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> For public use	<i>Price (incl. tax 8 %)</i>																								
<i>For sale at/distributor</i>	Edita Publishing Ltd, P.O. Box 780, FI-00043 EDITA Customer service: tel. +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380 Mail orders: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi www.edita.fi/netmarket																											
<i>Financier of publication</i>	Ministry of the Environment																											
<i>Printing place and year</i>	Edita Prima Ltd. Helsinki 2010																											

Tässä tutkimuksessa muodostetaan kuva Suomen kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenteen tulevista kehitysvaihtoehdoista ja kehitysvaihtoehtojen tuottamien kasvihuonekaasupäästöjen määrästä. Laskennoissa osoitetaan kuinka suuren eron päästöjen määrään kaupunkiseutujen eheytyvä tai hajautuva kehitys aiheuttavat vuoteen 2050 mennessä kun lähtökohdaksi otetaan suomalaisten kaupunkiseutujen menneessä kehityksessä havaittu ja tilastollisesti todennettu vaihtelu. Tarkastelun kohteena ovat myös kaupunkiseutujen nykytilaan ja kehitysvaihtoehtoihin perustuvat mahdollisuudet vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vaikka useimmat kaupunkiseudut kasvavat ja toiminnot lisääntyvät. Raportissa tarkastellaan myös yhdyskuntarakenteen ohjauskeinoja ja tehdään koelaskenta muutaman ohjauskeinojen tuottamien kasvihuonekaasupäästöjen vähennysten suuruudesta.



YMPÄRISTÖMINISTERIÖ
MILJÖMINISTERIET
MINISTRY OF THE ENVIRONMENT

Myynti: Edita Publishing Oy
Asiakaspalvelu:
PL 780, 00043 EDITA
puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380
asiakaspalvelu.publishing@edita.fi
www.edita.fi/netmarket

ISBN 978-952-11-3766-2 (nid.)
ISBN 978-952-11-3767-9 (PDF)
ISSN 1238-7312 (pain.)
ISSN 1796-1637 (verkkoj.)