

Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015-2050

Maija Mattinen, Juhani Heljo, Mikko Savolahti



Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015-2050

Maija Mattinen, Juhani Heljo, Mikko Savolahti



SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 35 | 2016
Suomen ympäristökeskus

Kirjoittajat: Maija Mattinen¹⁾, Juhani Heljo²⁾, Mikko Savolahti¹⁾

¹⁾ Suomen ympäristökeskus

²⁾ Tampereen teknillinen yliopisto

Vastaava erikoistoimittaja: Jari Lyytimäki

Rahoittaja/toimeksiantaja: Ympäristöministeriö

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (SYKE)
PL 140, 00251 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Taitto: Maija Mattinen

Kannen kuva: Pirjo Ferin / Ympäristöhallinnon kuvapankki

Julkaisu on saatavana vain internetistä: www.syke.fi/julkaisut | helda.helsinki.fi/syke sekä ostettavissa painettuna SYKEN verkkokaupasta: syke.juvenesprint.fi

ISBN 978-952-11-4644-2 (PDF)

ISSN 1796-1726 (verkkojulk.)

Julkaisuvuosi: 2016

TIIVISTELMÄ

Ilmaston lämpenemistä aiheuttavista kasvihuonekaasupäästöistä noin 80 % on peräisin energian tuotannosta ja kulutuksesta (ml. liikenne), mikä tarkoittaa, että energia- ja ilmastopolitiikka ovat tiivis kokonaisuus. Vuonna 2016 Suomessa valmisteltiin uutta energia- ja ilmastostrategiaa, johon kuuluu myös skenaarioiden valmistelu. Tässä raportissa esitetty työ tukee strategian valmistelutyötä.

Raportti jakaantuu kahteen osaan: rakennuskannan energiankäytön ennustamiseen ja puun pienpolton lisäämisen tarkasteluihin. Työssä tehtiin rakennustyypeittäin perusskenaarion mukainen tarkastelu, joka jatkaa tulevaisuuteen energiatilastojen lukuja vuodesta 2015 aina vuoteen 2050. Perusskenaariolla arvioidaan jo päätettyjen ja toimeenpantujen politiikkatoimien vaikutusta tulevaisuuden kehitykseen. Rakennuskannan energiankäytön osalta tehtiin ennuste peruskehityksestä ja lisäksi matalamman talouskasvun ennuste. Energiankulutus on esitetty sekä hankitun energian tasolla että hyötyenergiana.

Varsinaisten asuinrakennusten (pientalot, rivi- ja ketjutalot, asuinkerrostalot) hankitun energian määrässä on pieni laskeva trendi, mutta energiantarve pysyy oleellisesti samalla tasolla tarkasteluajanjaksolla. Aurinkolämmön kehitykselle muodostettiin maltillinen lineaariseen kasvuun perustuva ennuste.

Toiseksi työssä tarkasteltiin puun pienpolton lisäämisestä aiheutuvia pienhiukkaspäästöjä ja niiden vaikutusta väestöaltistukseen. Laskentaesimerkin perusteella voidaan todeta, että myös modernien, verrattain vähäpäästöisten varaavien takkojen kasvava käyttö lisää hengitysilman pienhiukkaspitoisuuksia.

Asiasanat: rakennuskanta, energiankulutus, skenaariot, pienhiukkaset, päästöt, strategiatyö

SAMMANDRAG

Cirka 80 procent av de växthusgasutsläpp som orsakar klimatuppvärmning härstammar från energiproduktionen och -förbrukningen (inkl. trafiken), vilket innebär att energi- och klimatpolitiken utgör en helhet. År 2016 bereddes en ny energi- och klimatstrategi i Finland. Till den hör också att ställa upp scenarion. Det arbete som presenteras i denna rapport stöder beredningen av strategin.

Rapporten består av två delar: en prognos ställs för byggnadsbeståndets energiförbrukning och småskalig vedeldning inkluderas i analyserna. I arbetet gjordes analyser per byggnadstyp enligt grundscenariot, som visar energistatistikens siffror från 2015 med en prognos fram till 2050. Med hjälp av grundscenariot utvärderas konsekvenserna av fattade beslut och verkställda politiska åtgärder för den framtida utvecklingen. Med tanke på byggnadsbeståndets energiförbrukning ställdes en prognos för den grundläggande utvecklingen och ytterligare en prognos för en lägre ekonomisk tillväxt. Energiförbrukningen presenteras som både anskaffad energi och nyttoenergi.

En viss nedåtgående trend kan skönjas i mängden anskaffad energi till egentliga bostadsbyggnader (småhus, rad- och kedjehus, flervåningsbostadshus), men energibehovet förblir huvudsakligen på samma nivå under observationsperioden. För utvecklingen av solvärme ställdes en prognos baserad på en måttfull lineär ökning.

I arbetet analyserades också utsläppen av små partiklar på grund av den ökande småskaliga vedeldningen och deras inverkan på befolkningen som utsätts för utsläppen. Utifrån kalkylen kan konstateras att även växande användningen av moderna värmelagrande spisar med relativt låga utsläpp höjer halten av små partiklar i andningsluften.

Nyckelord: byggnadsbestånd, energiförbrukning, scenarier, småpartiklar, utsläpp, strategiarbete

ABSTRACT

About 80% of the greenhouse gas emissions that warm the climate are from energy production and consumption, including transportation which means that energy and climate policies form a compact unity. In 2016 a new energy and climate strategy was prepared in Finland. The work includes the preparation of scenarios too. The work presented in this work support these preparations.

This report is divided into two parts: forecasting the energy consumption of the building stock and assessing the impacts of increase in the residential wood combustion. In this work a base line scenario assessment was developed for each building type; the scenario continues the values from the energy statistics from 2015 until 2050. The base line scenario is used to assess the impact of measures that are already adopted and implemented in the future development. In addition to the energy consumption of building stock in the baseline scenario, a forecast corresponding to a lower economic growth was formed. The energy consumption is presented both at the purchased energy level and as net effective heating energy.

There is a decreasing trend in the purchased energy of residential houses (detached houses, attached and apartment houses), but the energy need stays essentially on the same level during the assessment period. A moderate scenario based on linear growth was formed for the production of the solar heat.

Secondly, in the work was assessed the small particles emissions related to increase in the residential wood combustion, and the effect on population exposure. According to the calculation example, even the growing use of modern, low-emitting masonry heaters increases the small particle concentration of the air.

Keywords: building stock, energy consumption, scenarios, small particles, emissions, strategy work

ESIPUHE

Ilmaston lämpenemistä aiheuttavista kasvihuonekaasupäästöistä noin 80 % on peräisin energian tuotannosta ja kulutuksesta. Rakennetun ympäristön energiankulutuksesta rakennusten osuus on noin 38%. Rakennusten lämmityksen kasvihuonekaasupäästöt ovat noin 30 % Suomen kokonaispäästöistä.

Suomen ilmastolain tavoitteena on vähentää ihmisen toiminnasta ilmakehään aiheutuvien kasvihuonekaasujen kokonaispäästöjä vuoteen 2050 mennessä vähintään 80 prosenttia verrattuna vuoteen 1990. Tavoitteen saavuttaminen pyritään varmistamaan keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmalla (KAISU). Pariisin ilmastosopimus asetti lisäksi uusia ilmastotavoitteita, kuten maapallon keskilämpötilan nousun rajoittaminen enintään kahteen asteeseen ja pyrkimys toimiin, joilla lämpeneminen rajattaisiin alle 1,5 asteeseen. Lisäksi Suomessa on valmisteilla EU:n hallintomallin vaatima kansallinen energia- ja ilmastosuunnitelma, jonka ensimmäinen versio pitäisi olla valmiina vuonna 2017. Komissio työstä parhaillaan tämän suunnitelman sisältöä.

RakSkenE -projektissa on tuotettu kaavamutainen esitys rakennustyypeittäin perusskenaarion mukaisesta vuosittaisesta energiankulutuksesta aikajänteellä 2015–2050, dokumentoitu perusskenaarion periaatteet ja tulkinta eri vaikutusarvioinneissa sekä tarkasteltu puun pienpolton lisäämisestä aiheutuvia pienhiukkaspäästöjä ja niiden vaikutusta väestöaltistukseen. Lisäksi hankkeessa on arvioitu matalamman talouskasvun vaikutuksia rakentamiseen, rakennusten energiankulutukseen ja energiakulutuksen perusskenaarioon aikajänteellä 2014–2050. Laskelmissa on otettu huomioon olemassa oleva kanta, poistuma, uudistuotanto, korjausrakentamisen vaikutus sekä ilmaston lämpenemisestä johtuva lämmitystarvevähenemä ja eritelty lämmitysenergia sekä huoneisto- ja kiinteistösähkö. Työssä on tarkasteltu perusskenaariota, johon sisältyvät rakennuskantaan kohdistuvat politiikkatoimet, jotka on kansallisesti implementoitu tai päätös implementaatiosta on tehty ennen vuotta 2016.

Hankkeen toteutuksesta on vastannut Suomen ympäristökeskus, jossa työhön ovat osallistuneet ryhmäpäällikkö Ari Nissinen, erikoistutkija Maija Mattinen sekä tutkimusinsinöörit Mikko Savolahti ja Ville-Veikko Paunu. Lisäksi alihankkijoina työn toteutukseen ovat osallistuneet projektipäällikkö Juhani Heljo Tampereen teknillisestä yliopistosta sekä Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy ja Forecon Oy. Työtä ohjanneeseen seurantaryhmään kuuluivat ylitarkastaja Bettina Lemström Työ- ja elinkeinoministeriöstä sekä yli-insinööri Jyrki Kauppinen ja ylitarkastaja Virve Hokkanen ympäristöministeriöstä.

Ympäristöministeriö hyödyntää projektin tuloksia valmistellessaan ilmastolain edellyttämää keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmaa (KAISU) sekä sen kanssa koordinoitua laadittavaa energia- ja ilmastostrategiaa 2016. Raportti ja siihen sisältyvä laskentaohjeistus ovat tuottaneet myös ministeriön tulevien selvitysten ja strategioiden kannalta olennaista tietoa laskentatapojen yhteensopiavuudesta. Tulokset ovat lisäksi hyödynnettävissä mm. rakentamismääräysten valmistelussa. Ympäristöministeriö kiittää toteuttajia heidän merkittävästä työpanoksestaan.

Helsinki 22.7.2016

Jyrki Kauppinen
yli-insinööri

Virve Hokkanen
ylitarkastaja

SISÄLLYS

1.	Johdanto	9
2.	Rakennuskanta ja energiankulutus – peruskäsitteet	10
2.1.	Hyötyenergia ja hankittu energia	12
3.	Rakennuskannan kehityksen ennustaminen	14
3.1.	Uudistuotanto ja poistuma.....	14
3.2.	Lämmitystavat	14
3.3.	Perusskenaarion kantaennuste.....	15
4.	Skenaariovuosien energiankulutuksen laskenta	17
4.1.	Perusskenaarion politiikkatoimet	18
4.2.	Rakennusten ominaiskulutus	18
4.3.	Sähkön erityispiirteitä	19
4.4.	Korjaustoiminta	21
4.5.	Lämmitystapamuutokset	22
4.6.	Ilmastonmuutoksen vaikutus lämmitystarpeeseen	23
4.7.	Rakennuskannan lisälämmitykset ja saunojen energiankäyttö	23
4.7.1	Takat.....	23
4.7.2	Saunat	24
4.7.3	Lämpöpumput	25
4.7.4	Aurinkolämpö.....	26
5.	Perusskenaarion tulokset	28
6.	Matalamman talouskasvun vaikutusten arviointi	34
6.1.	Matalamman talouskasvun mukainen kantaennuste	34
6.1.1	Uudistuotanto	35
6.1.2	Poistuma	35
6.2.	Rakentaminen ja korjausrakentaminen matalamman talouskasvun skenaariossa....	36
6.3.	Rakennuskannan energiankulutus matalamman talouskasvun skenaariossa	38
6.4.	Arvio matalamman talouskasvun vaikutuksista perusskenaarioon.....	39
7.	Puun polton lisääminen uusissa pientaloissa: vaikutuksen väestön altistumiseen pienhiukkasille	40
7.1.	Laskentaesimerkki takkalämmityksen lisäämisen päästövaikutuksista	40
7.1.1	Päästö ja väestön altistuminen.....	41
7.1.2	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset takkalämmityksen lisäämisestä	42
8.	Näkökohtia perusskenaarion muodostamisen kehittämiseen	44
8.1.	Tilastoinnin kehittäminen.....	44
8.2.	Rakennuskantaennuste	44
8.3.	Lämpöpumput	45
9.	Yhteenveto ja päätelmät	46
9.1.	Rakennusten energiankulutuksen perusskenaariorio	46

9.2. Puun pienpolton lisääminen uudisrakennuksissa	47
Liite 1 Korjaustoiminnan säästöt rakennustyypeittäin	48
Liite 2 Rakennusten hankittu energia perusskenaariossa	51
Liite 3 Rakennusten hyötyenergia perusskenaariossa	54

1. Johdanto

Ilmaston lämpenemistä aiheuttavista kasvihuonekaasupäästöistä noin 80 % on peräisin energian tuotannosta ja kulutuksesta (ml. liikenne), mikä tarkoittaa, että energia- ja ilmastopolitiikka ovat tiivis kokonaisuus. Suomessa energia- ja ilmastostrategiaa uudistettiin vuonna 2016. Tähän työhön kuuluu myös skenaarioiden valmistelu. Kukin sektoriministeriö vastaa oman sektorinsa arvioinneista. Ympäristöministeriön vastuualueeseen kuuluvat mm. rakennukset. Energia- ja ilmastostrategian lisäksi skenaarioita tarvitaan mm. keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmaan (KAISU). Tässä hankkeessa luotiin perusskenaario rakennuskannan energiankulutukselle. Perusskenaariolla arvioidaan jo päätettyjen ja toimeenpantujen politiikkatoimien vaikutusta tulevaisuuden kehitykseen.

Ympäristöministeriön toimeksiannosta Suomen ympäristökeskus (SYKE) muodosti rakennuskannan perusskenaarion. Työn tavoitteena oli:

- 1) Laskea ja tuottaa rakennustyypeittäin perusskenaarion mukainen vuosittainen energiankulutus aikajänteellä 2015–2050.
- 2) Dokumentoida perusskenaarion periaatteet sekä tulosten muoto ja tulkinta eri vaikutusarvioinneissa (raportoinneissa), sekä tuottaa selkeä ohjeistus perusskenaariolaskennan toteuttamiseksi, jotta tulevaisuuden selvitykset ovat vertailukelpoisia.
- 3) Arvioida perusskenaariota matalamman talouskasvun vaikutuksia rakentamiseen ja rakennusten energiankulutukseen.
- 4) Tarkastella puun pienpolton lisäämisestä aiheutuvia pienhiukkaspäästöjä ja niiden vaikutusta väestöaltistukseen.

Selvityksessä hyödynnettiin olemassa olevia tilasto- ja tutkimusaineistoja skenaarion tuottamiseen. Pienpolton päästövaikutusten ja väestöaltistuksen arvioinnissa käytettiin SYKEN FRES-ilmansaastemallia. Työ toteutettiin 1/2016-5/2016 välisenä aikana. Rakennuskannan kerrosalatioilla painotettu lämmitystarveluvun kehitys ilmaston lämpenemisen myötä perustuu Ilmatieteen laitoksen Pentti Pirisen tekemään paikkatietopohjaiseen laskelmaan. Tekijät kiittävät Piristä aineiston tuottamisesta.

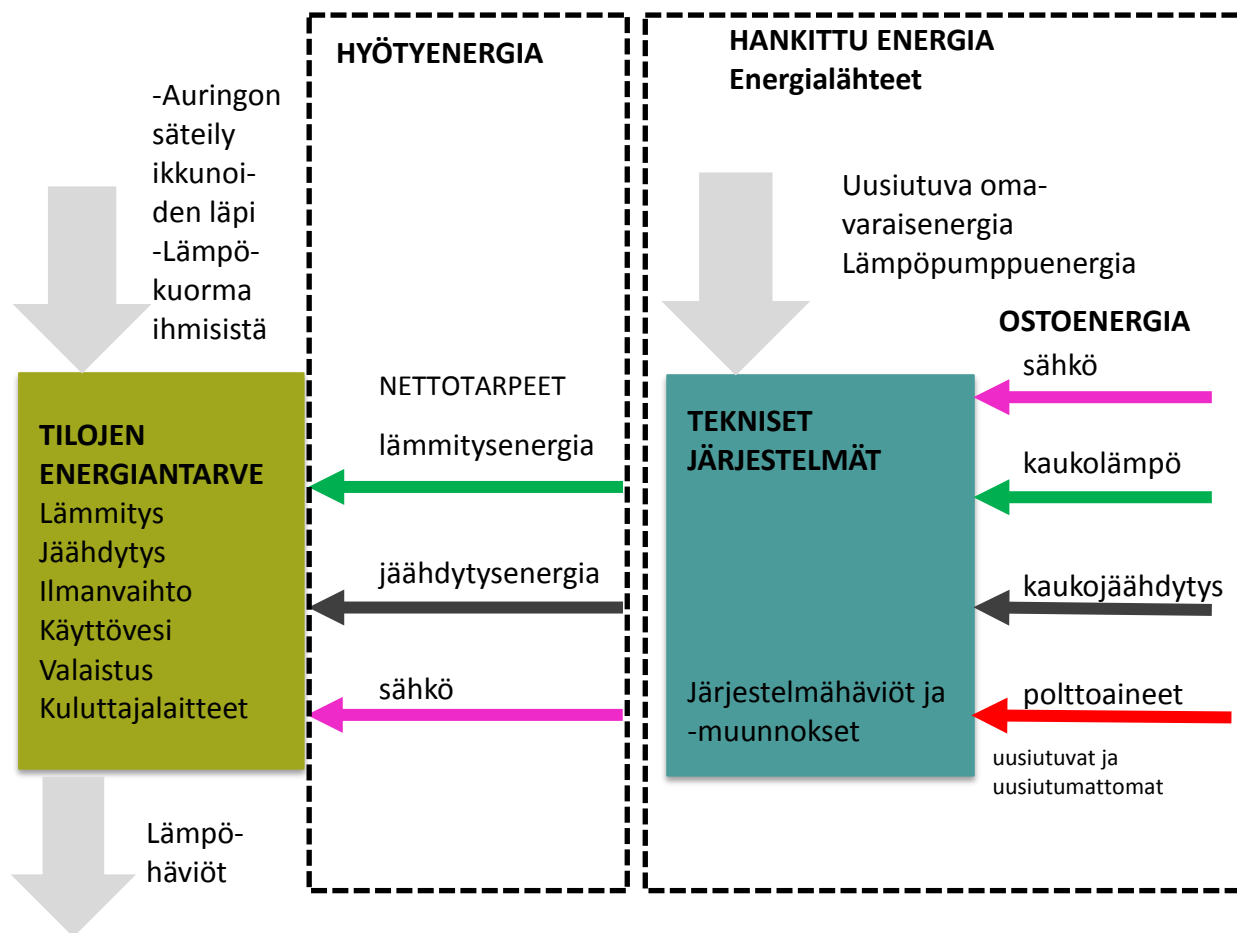
2. Rakennuskanta ja energiankulutus – peruskäsitteet

Tässä työssä tarkasteltiin asuin- ja palvelurakennuksia. Asuinrakennukset jaettiin edelleen kolmeen ryhmään: erilliset pientalot, rivi- ja ketjutalot ja asuinkerrostalot. Vapaa-ajan asuinrakennukset käsiteltiin erikseen. Palvelurakennuksiin luettiin Tilastokeskuksen rakennusluokittelun mukaan seuraavat rakennustyytit: liike-, toimisto-, kokoontumis- ja opetusrakennukset, sekä liikenteen että hoitoalan rakennukset (ks. Kuva 1). Tuotantorakennuksia ei tarkastella. ”Muut rakennukset” voidaan tilanteen mukaan jättää tarkastelun ulkopuolelle, esittää erikseen tai liittää johonkin muuhun käyttötarkoituserhmään. ”Muita rakennuksia” ovat mm. saunarakennukset ja talousrakennukset. Näiden osuus koko rakennuskannasta on kuitenkin hyvin pieni (0,4 %), joten niiden käsittelytavalla ei ole suurta merkitystä koko rakennuskantaa koskevissa tarkasteluissa muuten kuin tarkistusten ja vertailujen näkökulmasta. Tässä työssä luokka muut rakennukset käsiteltiin kantaennustetta muodostettaessa mutta niiden mahdollista energiankulutusta ei sisällytetty tuloksiin.

Skenaariossa tarkastellaan nettolämmitysenergiaa (hyötylämpö) rakennustyyteittäin (Kuva 2). Hankittu energia saadaan hyötyenergiasta kertomalla lämmönlähdekohtaisilla hyötysuhteilla. Hankitusta energiasta osa on ostettua energiaa ja osa voi olla omavaraisenergiaa. Merkittävin omavaraisenergia tällä hetkellä on lämpöpumppuenergia, joka tarkoittaa mm. maasta ja ilmasta ”pumpatun” lämmön määrää. Hankitun lämmitysenergian tasolla lämpöpumppujen sähkö sisältyy energiailastoissa sähkөөn. Hankittu lämmityssähkö ei siis tarkoita pelkästään sähkölämmityksen sähkөөä vaan siinä on mukana myös mm. lämpöpumppujen käyttämä sähkö.

	Rakennusten käyttö- tarkoituserluokitus	Käyttötarkoituserluokkien yhdistelmät	
	Nykyinen luokitus (1994-)		
Yksityiset palvelurakennukset l. liike- ja toimistorakennukset	<ul style="list-style-type: none"> Erilliset pientalot (l. omakotitalot) Kytkeytyt pientalot (l. rivi- ja ketjutalot) Asuinkerrostalot Vapaa-ajan asuinrakennukset (l. kesämökit) 	Asuinrakennukset	Asuinrakennukset
	<ul style="list-style-type: none"> Liikerakennukset Toimistorakennukset Liikenteen rakennukset 	(Yksityiset ja julkiset) palvelurakennukset	Toimitilat
Julkiset palvelurakennukset	<ul style="list-style-type: none"> Hoitoalan rakennukset Opetusrakennukset Kokoontumisrakennukset Pelastustoimen rakennukset 		
Tuotantorakennukset	<ul style="list-style-type: none"> Teollisuusrakennukset Varastorakennukset 	Tuotanto- ja muut rakennukset	
	<ul style="list-style-type: none"> Maatalousrakennukset 		
	<ul style="list-style-type: none"> Muut rakennukset 		

Kuva 1. Tilastokeskuksen luokittelun mukainen rakennusten käyttötarkoituserluokitus (Kuva mukailtu lähteestä Heljo ym. 2005).



Kuva 2. Rakennusten energiankäytön pääkäsitteet energiatilastoissa. Kuvan perusrakenteen lähteenä on rakentamismääräyskokoelman osa D5 (2012) Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystarpeen laskenta (kuva mukailtu lähteen Ympäristöministeriö 2013b perusteella).

2.1. Hyötyenergia ja hankittu energia

Kuvassa 2 on esitetty energiankäytön peruskäsitteitä. Rakennusten energiankäyttöä tilastoidaan energiatilastoissa hyötyenergiatasolla ja hankitun energian tasolla energialähteittäin. Lämpöpumppulämmitys on ongelmallisin luokittelussa ja tilastoinnissa. Energiatilastoissa ”hankitussa energiassa” on esitetty erikseen ”lämpöpumppuenergia”. Lämpöpumppuenergialla tarkoitetaan lämpöpumpuilla ympäristöstä (maasta, ilmasta tai vedestä) talteenotettua energiaa, jota käytetään rakennusten lämmitykseen. Lämpöpumppuenergia on lämpöpumppujen tuottaman lämmön ja niiden kuluttaman sähkön välinen erotus. Samaa terminologiaa käytetään tässä raportissa. Hyötyenergiatasolla tilastoidaan lämpöpumppujen tuottama lämpö, josta osa tulee lämpöpumppujen käyttämästä sähköstä.

Hyötyenergia on se osa asuinrakennukseen hankitusta energiasta, joka saadaan hyödyksi lämmityksessä. Osa hankitusta energiasta menee hukkaan, koska polttoaineissa on muunto- ja siirtohäviöitä. Hyötyenergia on laskettu vähentämällä asuinrakennusten lämmitykseen käytetystä energiamäärästä lämmitysjärjestelmien häviöt. Kauko- ja sähkölämmitys ovat hyötyenergiata sellaisenaan, eli oletetaan, että kaikki ostettu energia saadaan hyödyksi. Lämpöpumppujen hyötyenergia sisältää myös pumpun kuluttaman sähkön. Energialähteiden oletushyötysuhteita on koottu taulukkoon 1. Lämpöpumppujen sähkönkulutus tuotettua lämpöä kohden on esitetty taulukossa 2.

Hankittu energia tarkoittaa lämmityksen osalta samaa kuin energiatilastoissa tilastoidut energialähteet. Kaukolämpöön ja sähköön eivät sisälly niiden tuotanto- ja siirtohäviöt. Energiatilastossa (taulu 7.3) asuinrakennusten puun pienkäyttöluku sisältää puupäälämmityksen ja puulisälämmitykset. Muille rakennustyypeille ei ole laskettu lisälämmityksiä. Puulisälämmityksistä on olemassa tilastokeskuksella oma aineisto, joka sisältää puulisälämmitysten ja puukiukaiden luvut. Puupäälämmitys sisältää nk. kuivat (uuni tai varaava takka) ja märät (keskuslämmityskattila) lämmitysjärjestelmät. Kaikki muu puulämmitys on lisälämmitystä.

Vuodesta 2008 energiatilastojen taulukon 7.3 sähkö sisältää päälämmityssähkön, lämpöpumppujen käyttämän sähkön ja lämmitykseen liittyvien laitteiden sähkönkäytön (lämmitysjärjestelmät, lämmönjakolaitteet, ilmanvaihto). Ilmanvaihdon sähkö kuuluu asuinrakennusten lämmityssähköön, mutta ei palvelurakennusten sähköön.

Taulukko 1. Hyötysuhteet energialähteittäin (%) (Tilastokeskus 2016d, TEM 2016).

Puun pienkäyttö	55
Turve	60
Hiili	60
Raskas polttoöljy	83
Kevyt polttoöljy	78
Maakaasu	90

Taulukko 2. Lämpöpumppujen sähkönkulutus tuotettua lämpöä kohden [kWh/kWh] ja lämpökertoimet Työ- ja elinkeinoministeriön ohjeistuksen mukaan (TEM, 2016).

maalämpöpumput	0.3 (lämpökerroin 3.3)
ilmalämpöpumput	0.55 (lämpökerroin 1.8)
poistoilmalämpöpumput	0.4 (lämpökerroin 2.5)

3. Rakennuskannan kehityksen ennustaminen

3.1. Uudistuotanto ja poistuma

Rakennusten uudistuotannon määrää ja ennustamista on tarkasteltu useissa eri tutkimuksissa. (Vainio 2012, 2015, Savolahti 2015, Heljo 2005). Uudistuotannon määrään vaikuttavat väestön määrä, maan sisäinen muutto, tilojen käytön tehokkuus (mm. asumisväljyys) ja vanhojen rakennusten poistuma. Koviin tarkkaa tuotantoennustetta ei nykyisessä monin tavoin muuttuvassa tilanteessa pysty tekemään.

Kymmenen viime vuoden keskimääräinen asuntotuotanto on ollut lähes 30 000 asuntoa. Asuntotuotantoennusteissa ei ole tehty ennusteita asuntotyyppien jakauman osalta. Pientalojen osuus asuntorakentamisesta on viime vuosina pienentynyt. Tilavuuden perusteella erillisten pientalojen osuus on tällä hetkellä noin puolet asuntotuotannosta ja asuntomäärän (yksittäiset asunnot) mukaan noin 30 % asuntotuotannosta.

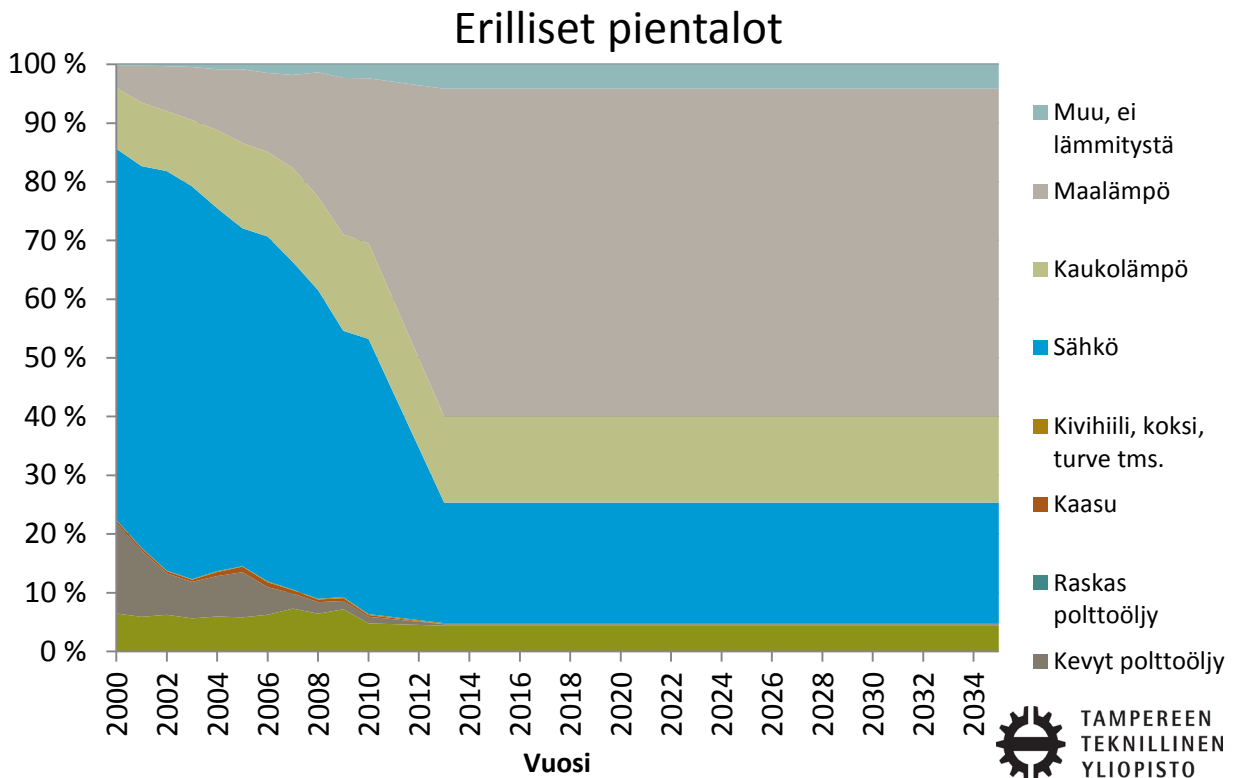
Palvelurakennusten tuotannon ennustaminen on huomattavasti vaikeampaa kuin asuntotuotannon. Julkisten palvelurakennusten määrä näyttäisi kuitenkin olevan kytköksissä asuinrakennustuotannon määrään. Se on ollut kymmenen vuoden aikana 20–30 % asuinrakennustuotannon määrästä. Hoitoalan rakennuksia, opetusrakennuksia ja kokoontumisrakennuksia on tehty viime vuosina 6–10 % asuntotuotannon määrästä vuosittain.

3.2. Lämmitystavat

Lämmitystapojen valintaan vaikuttavat voimakkaimmin rakennuksen käyttötarkoitus, koko ja sijainti. Suuret talot taajamissa liittyvät lähes kaikki kaukolämpöön, vaikka jonkin verran näissäkin on yleistynyt maalämpö. Suurin vaihtelu lämmitystavoissa on pientaloissa ja muissakin pienissä rakennuksissa, joissa maalämmön suosio on kasvanut ja suoran sähkölämmityksen suosio on vähentynyt (ks. Kuva 3, vuodet 2000–2013). Muutostrendi on jatkunut jo pitkään. Pientaloissa lämmitysjärjestelmien investointikustannukset ovat merkittävässä roolissa, koska energiankulutus on suhteellisen pientä. Vuonna 2012 tuli käyttöön uudisrakentamisen energiamääräyksissä (D3) E-luvun käyttö, joka vaikeutti sähkölämmitystalojen rakentamista. Täydellistä tietoa ei lämmitystavoista saada, koska rakennusluvan yhteydessä täytettävässä RH1 lomakkeessa ei ole mahdollista ilmoittaa kaikkia erilaisia nykyisiä lämmitystapoja. Lämmitystapojen kehityksen arvioinnissa joudutaan yleensä tukeutumaan kyselytutkimusten aineistoon (esim. RTS Rakennustutkimus Oy:n aineisto).

Rakennuskannan lämmitystapajakaumaennusteen lähtökohtana on Tilastokeskuksen rakennuskantatilaston viimeisin lämmitystapajakauma rakennuskuutioina. Asuinrakennusten osalta käytettiin tässä työssä energiatilastoja varten tehtyä korjattua rakennuskantaa, jossa lämmitystapoihin on tehty eri lähteiden perusteella korjauksia verrattuna ”viralliseen” tilastoon.

Uudistuotannossa käytettiin tässä työssä viimeisintä tilastoissa julkaistua lämmitystapajakaumatietoa rakennusten käyttötarkoituksiluokittain. Jakauman oletettiin perusskenaariossa pysyvän samana tarkasteluajanjaksolla. Tämän raportin laskelmissa tilastotiedot ovat vuodelta 2013. Kuvassa 3 on esitetty pientalojen osalta oletus lämmitystapojen valinnoista uudistuotannossa. Muissa rakennustyypeissä ei ole yhtä suuria ongelmia määrittää uudistuotannon valintajakaumaa, koska suurin osa suuremmista rakennuksista liitetään kaukolämpöön.



Kuva 3. Perusskenaariossa arvioitu uusien pientalojen päälämmitystapojen kehitys ja lämmitysmuotojen historiallinen kehitys (vuodet 2000–2013).

3.3. Perusskenaarion kantaennuste

Asuin- ja palvelurakennuskannan koon ja talotyyppien kehitysennuste on tehty käyttämällä perusmuuttujia, jotka on selostettu alla. Tavoitteena on, että ennustetta voidaan päivittää suhteellisen helposti näitä perusmuuttujia muuttamalla.

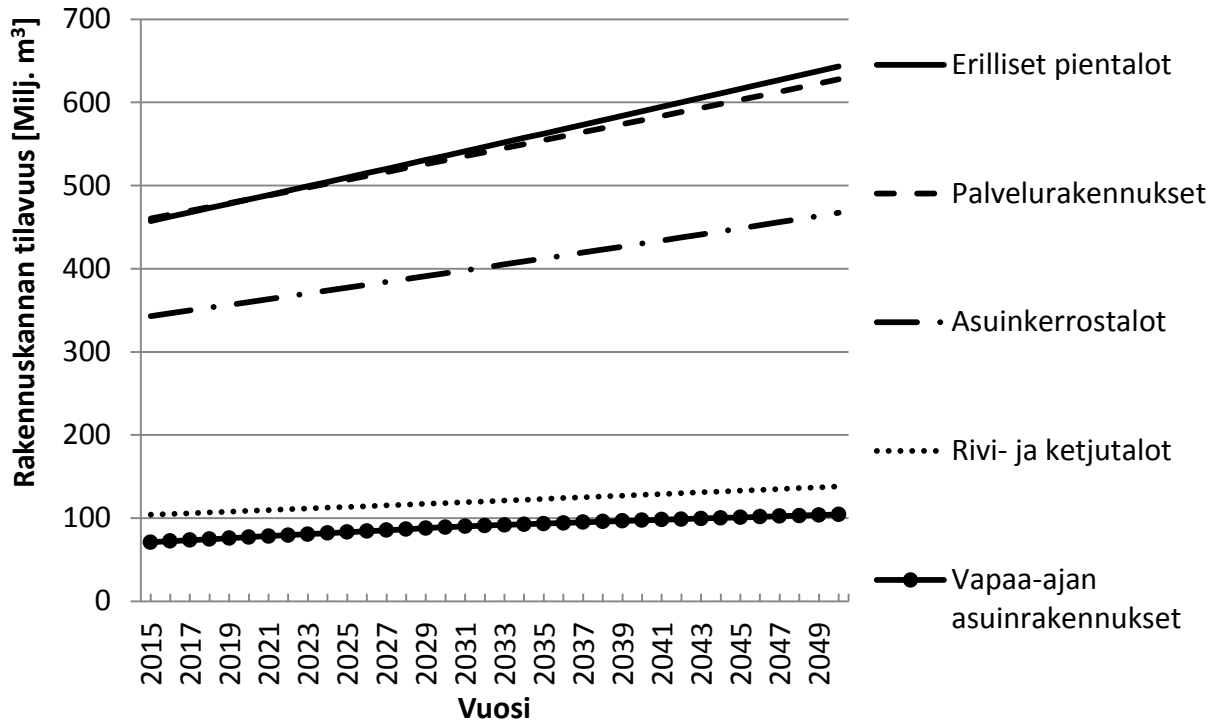
Ensin kehitysennusteessa lasketaan asuinrakennuskannan kokonaistarpeen kehittyminen väestökehitysennusteesta ja asumisväljyyden perusteella. Tarve jaetaan asuinrakennustyyppisiin tilastokeskuksen asuinrakennuskannan tuotantotrendin mukaan. Palvelurakennusten tarve lasketaan palvelurakennusten ja asuinrakennusten suhteen mukaan. Uudistuotannon määrä saadaan tarpeen lisäyksen ja poistuman summana. Kuvassa 4 on esitetty työssä käytetty kantaennuste.

Perusmuuttujien arvot tässä työssä:

- Laskelmat tehdään rakennuskuutioperusteisesti. Tarvittavat muunnokset eri määräyksiköiden välillä selostetaan yksityiskohtaisesti.
- Väestökehitysennusteena tilastokeskuksen väestökehitysennuste (Tilastokeskus, 2015).
- Asumisväljyyden kehityksenä käytetään SYKEN tekemää ennustetta (SYKE, 2016).
- Asuinrakennustyyppien jakauman trendinä käytetään tilastokeskuksen vuosien 2010–2014 keskimääräistä tuotantotrendiä (ka. muutos/v).
- Palvelurakennusten suhde asuinrakennuksiin lasketaan tilastokeskuksen vuoden 2014 rakennuskantatiedon mukaan.
- Poistumana käytetään asuinrakennusten osalta 0,3 % vuodessa ja palvelurakennusten osalta 1 % vuodessa.

Vapaa-ajan rakennusten osalta ei ole tehty kantaennustetta samalla tavalla kuin muiden asuinrakennusten osalta. Ennusteena on nyt käytetty Polirem-mallin ennustetta, jonka taustana on EPAT-

hankkeessa päivitetty kantaennuste (Heljo ym. 2012). Taustana on myös Vapaa-ajan rakentamisen ekotehokkuus -hankkeessa tehty ennuste (Rytönen ym. 2010). Vapaa-ajan rakennusten rakennuskanta ei ole yhtä selkeä kuin muiden rakennusten. RTS Rakennustutkimuksen mukaan neljäsosa ”mökeistä” on vanhoja maalaistaloja ym. (Rakennustutkimus RTS Oy 2016c). Uusilla kaavoitetuilla vapaa-ajan rakennusten tonteilla on usein pitkän aikaa vain saunamökki, joka luokitellaan tilastoissa saunaksi ja sijaitsee ryhmässä ”muut rakennukset”. Rakennuskantatilastoissa vapaa-ajanrakennusryhmässä on ”mökeistä” siten ehkä vain kolme neljäsosaa. Saman lähteen mukaan uusien vapaa-ajan rakennusten rakentamisen aloitukset ovat pudonneet puoleen kymmenessä vuodessa ja siksi tällä hetkellä on epävarmaa tehdä uutta ennustetta vapaa-ajan rakennuskannan kehittymisestä. Tulevaisuuden tarkasteluissa voidaan hyödyntää esim. kyselytutkimuksiin perustuvaa aineistoa (Adamiak ym. 2015).



Kuva 4. Työssä käytetty rakennuskannan tilavuusennuste rakennustyypeittäin.

4. Skenaariovuosien energiankulutuksen laskenta

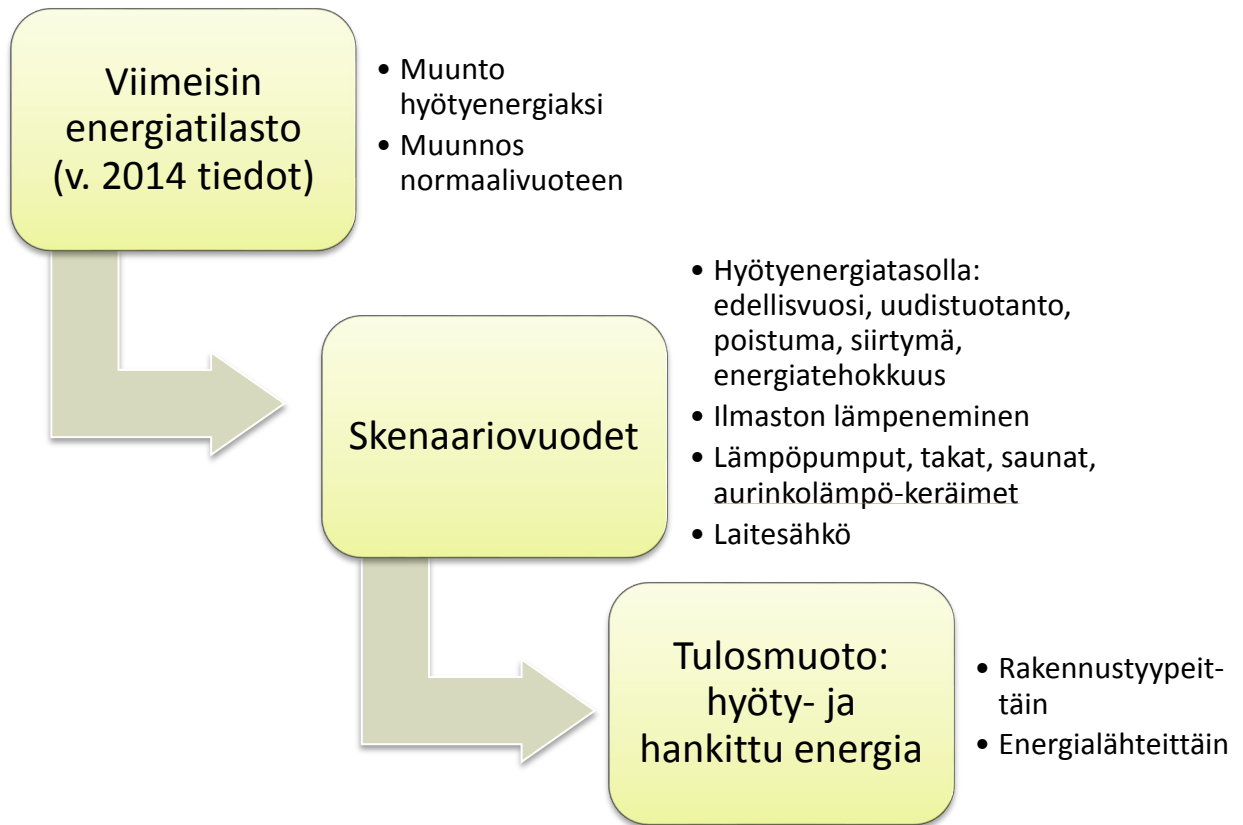
Kuvassa 5 on esitetty perusskenaarion muodostaminen, joka koostuu karkeasti ottaen kolmesta vaiheesta. Laskenta lähtee liikkeelle Tilastokeskuksen viimeisimmästä energiatilastosta (tässä työssä v. 2014 tiedot), jonka perusteella arvioidaan hyötyenergian kulutus päälämmityslähteittäin. Tämän jälkeen suoritetaan skenaariovuosien laskenta ottamalla huomioon uudistuotanto ja rakennusten poistuma, mahdolliset siirtymät lämmitystavoissa ja energiatehokkuuden paraneminen olemassa olevassa kannassa. Tässä vaiheessa myös huomioidaan ilmastonmuutoksen vaikutus lämmitystarpeeseen, sekä rakennusten lisälämmitykset ja/tai toissijaiset lämmitysmuodot (esim. lämpöpumput ja aurinkolämpökeräimet). Kolmannessa ja viimeisessä vaiheessa tulokset kootaan ja esitetään sekä hyöty- että hankitun energian tasolla rakennustyypeittäin ja energialähteittäin. Skenaariolaskelmassa laitesähkön kulutus arvioidaan erikseen. Vastaavien perusskenaarioiden laskentaan on tässä työssä tuotettu ohjeteksti (Liite 4), jonka tarkoitus on taata tulevien laskelmien vertailukelpoisuus ohjeistamalla käytettävät lähtötiedot ja laskentaperiaatteet.

Energiatilastojen rakennusten energiankäytön taulukoissa on esitetty todellinen kulutettu energia vuosittain, jolloin lämpötila vaikuttaa voimakkaasti energiantarpeeseen. Skenaariolaskennassa ulkolämpötilan vaihtelun vaikutus halutaan vakioida, joten laskennassa käytetään lämmitystarveluvun vertailuvuotta (nk. normaalivuosi), joka mahdollistaa vertailun eri vuosien välillä. Normaalivuodella tarkoitetaan tässä Jyväskylän ilmasto-olosuhteisiin suhteutettua lämmitystarvelukua. Tässä työssä käytettiin ilmastollisena vertailukautena julkaistuja vuosien 1981–2010 keskiarvoja (Ilmatieteen laitos 2016).

Laskennassa edetään seuraavasti. Tilastokeskuksen julkaisemista kulutusluvuista poistetaan ensin sellaiset kulutuserät, joihin ulkolämpötila ei vaikuta (mm. saunojen energiankulutus). Nämä energiat muunnetaan astepäivälukukorjauksen käänteisluvun avulla (kkorjaus) nk. normaalivuoden kulutuksiksi (Tilastokeskus 2016a):

$$k_{korjaus} = \frac{1}{APL_{korjaus}} = \left(\frac{APL_{JKLnorm}}{APL_{JKL}} - 1 \right) k + 1,$$

missä $APL_{korjaus}$ on tilastokeskuksen käyttämä astepäivälukukorjaus, $APL_{JKLnorm}$ on normaalivuoden astepäiväluku Jyväskylässä vertailukautena, APL_{JKL} on Jyväskylän toteutunut astepäiväluku tarkasteluvuonna ja kerroin k on muun kuin vedenlämmityksen osuus kulutuksessa. Tässä työssä lämpimän käyttöveden osuuksina $(1-k)$ käytettiin seuraavia lukuarvoja: pientaloille ja vapaa-ajan asuinrakennuksille 0,25, rivi- ja ketjutaloille 0,3, kerrostaloille 0,3 ja palvelurakennuksille 0,3. Vuoden 2014 normaalivuoden kulutus oli noin 8 % korkeampi kuin todellinen kulutus.



Kuva 5. Perusskenaarion muodostaminen.

4.1. Perusskenaarion politiikkatoimet

Perusskenaariossa otetaan huomioon rakennuskantaan kohdistuvien politiikkatoimet, jotka on kansallisesti implementoitu ennen vuotta 2016. Tämä vastaa siis nk. with measures skenaariota (WM) tai with existing measures (WEM) skenaariota.

Nykyilmaisäädännöllä tarkoitetaan tässä rakennusmääräyksiä, jotka tulivat voimaan vuonna 2012 (Ympäristöministeriö 2012). Tuolloin siirryttiin kokonaisenergiatarkasteluun, jossa rakennuksen kokonaisenergiankulutukselle määrätään rakennustyyppikohtainen yläraja, joka ilmaistaan ns. E-luvulla (kWh/netto-m²,a). E-luvun laskennassa huomioidaan rakennuksen käyttämän energian tuotantomuoto nk. energiamuotokertoimien avulla. Perusskenaarion politiikkatoimiin kuuluvat myös 2013 voimaan astuneet korjausrakentamisen energiatehokkuusvaatimukset (YM asetus 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä).

4.2. Rakennusten ominaiskulutus

Lämmön kulutuksen ominaiskulutukset perustuvat tämän työn laskelmissa asiantuntija-arvioon, jonka taustalla ovat EKOREM-mallin laskennalliset ominaiskulutusluvut (Heljo ym. 2005), eri lähteiden tiedot kulutuksista ja arviot eri lämmitystapojen vaikutuksista ominaiskulutuslutasoon.

EKOREM-malli on bottom-up -malli, jossa energian kulutusta on laskettu käyttäen lähtökohtana rakennusten rakennusteknisiä ominaisuuksia eri ikäluokissa. Malli laskee ensin lämmönkulutuksen ja sen jälkeen lämmitysenergian tarpeen, joka on jaettu eri lämmitystavoille. Laskenta ei ota huomioon, että rakennustekniset ominaisuudet riippuvat lämmitystavasta. Tämän työn lähteenä ovat myös Polirem-raportin laskelmat (Heljo ym. 2016), joissa on arvioitu, miten lämmitystavat vaikuttavat ominaiskulu-

tuksiin. Esimerkiksi sähkölämmitystalot on lämmöneristetty keskimäärin paremmin kuin muut talot johtuen korkeammasta lämmitysenergian hinnasta.

Pientaloissa kaikissa lämmitystavoissa käytetään varaavia takkoja jonkin verran lämmitykseen. Niiden osuutta lämmityksestä ei tiedetä ja tämä on yksi syy, miksi pientalojen lämmityksen todellisista lämmitysenergian tarpeista ja ominaiskulutuksista ei ole tarkkaa tietoa. Eniten takkoja käytetään sähkölämmitystaloissa. Vastaavasti puulämmitystaloissa ja erityisesti vanhoissa puu-uunilämmitystaloissa käytetään sähköä lämmitykseen puun ohella. Viime vuosina Tilastokeskus on arvioinut vuosittain näiden lisälämmitysten määriä. Käytössä olevissa päälämmitysmuotoon ja sen mukaiseen päälämmönlähteeseen perustuvissa ominaiskulutusluvuissa lisälämmitykset eivät ole mukana. Lisälämmitysten määrän arviointi on vaikeutunut kun ilmalämpöpumppujen suosio on voimakkaasti kasvanut eikä tiedetä tarkasti miten niitä käytetään lämmitykseen rakennuskannassa. Takkojenkin käyttö ja merkitys on muuttumassa uusissa rakennuksissa.

4.3. Sähkön erityispiirteitä

Sähkön (muu kuin lämmityssähkö) osalta on tehty erillinen sähkökäytön karkea mallinnus perustuen mm. Adaton selvityksiin ja EKOREM-mallin laskennallisiin arvoihin. Muiden rakennusten osalta on laskettu sähkön kulutus rakentamismääräyskokoelman osan D3 standardikäytön mukaan. Laskettuja sähkönkulutuksia on verrattu FinZeb-hankkeen (www.finzeb.fi) laskelmien perusteella ja Motivan keräämän energiakatselmusraportointikoonnin avulla (Motiva 2016). Vertailuaineiston ja lasketun sähkönkulutuksen erotus on lisätty laitesähköön muuksi tuntemattomaksi kulutukseksi (Taulukko 3). Tuntematon kulutus sisältää mm. ulkovalaistusta, pihojen ja vesikourujen sulanapitoa, keittiöiden sähkökäyttöä, erilaista pienimuotoista tuotannollista toimintaa rakennuksissa ym.

Energiatilastoissa rakennusten sähkökäytön käsittely on muuttunut ja se on hieman erilaista eri rakennustyypeissä. Taulukoissa 4 ja 5 on esitetty, mitkä osuudet sähkön kulutuksesta kuuluvat energiataloissa lämmitykseen ja mitkä osuudet muuhun sähkön käyttöön. Ilmanvaihtolaitteiden sähkökäyttö sisältyy ainakin asuinrakennusten osalta lämmitykseen. Palvelurakennusten osalta on epävarmuutta.

Taulukko 3. Muun kuin lämmityssähkön käytön (kWh/m³) arviointi ja jaottelu laskelmien ja lähteiden perusteella.

Arvio muun kuin lämmitys-sähkön käytöstä energia-määräysten talotyyppiäolla		Pientalo ja rivitalo	Kerros-talo	Toimisto	Liike-rakennus	Majoitus-rakennus	Opetus-rakennus	Liikunta-rakennus	Sairaala
Laitesähkö	Valaistus	2,5	3,2	5	17,4	9,5	5,1	5,5	12,2
	Kuluttajalaitteet	6,4	7,6	5	0,9	2,7	2,3	0	12,2
	Muu, tuntematon kulutus ^a	-	-	6	0	17	4	13	-
	Yhteensä	8,9	10,7	10,1	18,3	12,2	7,3	5,5	24,3
Lämmityslaitteet	Lämmöntuotto	0,1	0,03	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
	Lämmönjako	0,41	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	Lämpimän käyttöveden kierto	0,18	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	Lämmityslaitteet yht.	0,68	1,23	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Ilmanvaihto	Ilmanvaihto	1,8	2	4,5	6,1	11	4,3	6	21,9
Vertailuaineisto	FInZEB	-	14,9	12,4	23,9	24,4	11,3	9,2	42
	Energia-katselmuks Motiva, likimain	-	-	21	25	40	16	25	40

^a lähteiden ja lasketun kulutuksen erotuksena

Taulukko 4. Sähkönkäyttöosuudet jotka sisältyvät energiatilastoissa lämmityssähköön.

Lämmitys	Pääasiallinen lämmitys	Toissijainen lämmitys	Käyttöveden lämmitys	Saunat	Lämmitysjärjestelmien laitteet	Lämmönjaon laitteet	Ilmanvaihdon laitteet
Erilliset pientalot	X	X	X	X	X	X	X
Rivi- ja ketjutalot	X	X	X	X	X	X	X
Asuinkerrostalot	X	X	X	X	X	X	X
Vapaa-ajan asuinrakennukset	X	X	X	X	X	X	X
Liikerakennukset	X	Lisäpatterit ja lattialämmitys	X		Päälämmitysjärjestelmän osalta		
Toimistorakennukset	X		X				
Liikenteen rakennukset	X		X				
Hoitoalan rakennukset	X		X				
Kokoontumisrakennukset	X		X				
Opetusrakennukset	X		X				

Taulukko 5. Sähkönkäyttöosuudet, jotka energiatilastoissa luetaan muuhun kuin lämmityssähköön.

Muu kuin lämmityssähkö	Kotitalouslaitteet (laitesähkö)			Lämmitysjärjestelmien laitteet	Lämmönjaon laitteet	Ilmanvaihdon laitteet	Muu
	Valaistus	Ruoan valmistus	Muut sähkölaitteet				
Erilliset pientalot	X	X	X				
Rivi- ja ketjutalot	X	X	X				
Asuinkerrostalot	X	X	X				
Vapaa-ajan asuinrakennukset	X	X	X				
Liikerakennukset	X	X	X	Muun kuin päälämmitysjärjestelmän osalta			X
Toimistorakennukset	X	X	X				X
Liikenteen rakennukset	X	X	X				X
Hoitoalan rakennukset	X	X	X				X
Kokoontumisrakennukset	X	X	X				X
Opetusrakennukset	X	X	X				X

4.4. Korjaustoiminta

Korjaustoiminnan energiansäästöarvion suuruusluokka perustuu EPAT hankkeen (Heljo ym. 2012) tuloksiin ja Polirem-mallilla (Heljo ym. 2016) laskettuihin rakennusten käyttötarkoituksuokittaiseen säästöarvioon. Säästöt arvioidaan menettelyllä, joka on kehitetty Suomen energiansäästöpolitiikan tuloksellisuuden arvioinnin yhteydessä vuonna 1997 (Kasanen ym. 1997).

Tilastokeskuksen korjaustilastojen perusteella määritetään mahdollisuuksien mukaan korjaustoiminnan euromääräinen arvo niiden korjausten osalta, joiden yhteydessä voidaan tehdä energiansäästötoimenpiteitä. Laskennassa arvioidaan, kuinka suuri osa korjauskustannuksista kohdistuu varsinaisten energiatehokkuustoimenpiteiden aiheuttamiin lisäkustannuksiin. Osuuden oletetaan vaihtelevan 5–15 % välillä. Laskelmissa on käytetty 10 % arvoa. Korjaustoiminnan energiansäästötoimenpiteistä saatu säästö investoitua euromäärää kohti on muodostettu asiantuntija-arvion perusteella. Laskelmissa on käytetty arvoa 0,8 GWh/Milj.€. Edellä mainittujen muuttujien avulla voidaan ennusteita tarvittaessa muuttaa ja tarkentaa. Näin laskien rakennusten korjaamisesta syntyväksi vuosittaiseksi hyötyenergian lisäsäästökseen muodostui asuin- ja palvelurakennuskannassa 383 GWh/v. Liitteessä 1 on esitetty käytetyt korjaustoiminnan säästöt talotyypeittäin.

Vuosisäästöt prosentteina lämmön kulutuksista (tilojen ja käyttöveden lämmitys) vaihtelevat asuinrakennusten 0,3 prosentista opetusrakennusten 1,2 prosenttiin. EPAT-hankkeessa päädyttiin siihen, että on mahdollista saavuttaa keskimäärin 0,5–0,6 % vuosittainen keskimääräinen lisäsäästö asuin- ja palvelurakennuskannassa.

Teoriassa nykyisessä rakennuskannassa on iso säästöpotentiaali. Siitä toteutuu kuitenkin vain osa ja sekin hitaasti. Toteutumista estävät ja hidastavat seuraavat seikat:

- Osa rakenteista on jo korjattu melko energiatehottomasti. Niitä ei todennäköisesti korjata enää uudestaan.
- Osa rakennuksista on suhteellisen uusia ja niin hyvin tehtyjä, että niitä ei paljon korjata ennen 2050.
- Yksityiset ihmiset omistavat noin 70 % asunnoista. Suurella osalla ei ole rahaa eikä motivaatiota tehdä kalliita korjauksia.
- Korjausten yhteydessä usein ilmanvaihtomäärät kasvavat, mikä syö osan todellisesta säästöstä. Muukin laatutason nosto lisää usein energiankäyttöä.

Tässä työssä korjaustoiminnan tarkastelussa ei ole mukana lämpöpumppuja eikä muitakaan lämmityslaitemuutoksia. Merkittävämpiä säästöjä ostoenergiassa on mahdollista saada nopeammin aikaan erilaisilla lämpöpumpuilla kuin korjaustoiminnalla, joiden käyttö ei ole yhtä sidoksissa rakennusten korjaustarpeeseen. Niihinkin liittyy kyllä omat ongelmansa toimivuuden ja säätöjen osalta, ja ne eivät ole yhtä varmatoimisia kuin lämmöneriste seinässä. Lämpöpumppujen vaikutuksia on tarkasteltu tässä hankkeessa erikseen uudistuotannon lämmitystapavalintojen, korjaustoiminnan lämmitystapamuutosten ja erikseen ilmalämpöpumppujen osalta.

4.5. Lämmitystapamuutokset

Erillisten pientalojen (omakotitalojen) osalta on lämmitystapamuutoksia tarkasteltu erikseen, koska niissä muutoksilla on suurin merkitys. Esimerkiksi asuinkeuhkaloista ja kaikista suurista rakennuksista suurin osa (monissa rakennustyypeissä lähes kaikki) ovat kaukolämmössä eikä merkittävää siirtymistä muihin lämmitystapoihin ole tapahtumassa. Vähäistä siirtymistä maalämpöön tapahtuu, mikä ei siis ole perusskenaariossa mukana.

Tässä työssä on laskettu pientalojen osalta lämmitystapamuutosten vaikutus energiankulutukseen. Laskennassa lämmitystapamuutokset käsiteltiin rakennuskuutiomuutoksina, sillä energiatasolla muutoksia ei voi tehdä helposti, koska ominaiskulutukset ovat eri lämmitystavoissa erilaisia.

Nykyisen rakennuskannan lämmitystapavalinnat perustuvat RTS Rakennustutkimuksen tekemien kyselyjen tuloksiin (Rakennustutkimus RTS Oy 2016a; 2016b). Näiden kyselyjen tulosten perusteella RTS Rakennustutkimus Oy muodostaa lämmitystapojen siirtymätaulukot, joissa on esitetty kappalemäärinä, kuinka paljon mistäkin lämmitystavasta siirtyy rakennuksia muihin lämmitystapoihin.

Lasketamallissa kappalemäärien muutokset muunnettiin lämmitystavoittain rakennuskuutiomuutoksiksi keskimääräisellä 400 m³ keskikoolla. Näillä rakennuskuutiomuutoksilla korjattiin omakotitalo-

jen rakennuskannan kuutioperäistä lämmitystapajakaumaa. Taulukossa 6 on esitetty tässä työssä tehty arvio lämmitystapamuutoksista kuutioina. Lämmitystapamuutosten oletetaan pysyvän perusskenaariossa samansuuruisena tarkasteluajanjaksolla.

Taulukko 6. Erillisten pientalojen lämmitystapamuutokset rakennuskuutioina (lähde: RTS Rakennustutkimus Oy 2016a).

Erillisten pientalojen lämmitystapamuutokset korjaustoiminnassa [Milj. m ³] ^a	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Puu, pelletti	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
Kevyt polttoöljy	-1,44	-1,44	-1,44	-1,44	-1,44	-1,44
Sähkö	-1,04	-1,04	-1,04	-1,04	-1,04	-1,04
Kaukolämpö	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Maalämpö	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44
Yhteensä	0	0	0	0	0	0

^aMuutos päälämmitystavoittain. Negatiivinen luku kuvaa kuutioita, josta siirrytty pois, positiivinen luku kertoo uuden lämmitysmuodon, johon on siirrytty muutoksen jälkeen.

4.6. Ilmastonmuutoksen vaikutus lämmitystarpeeseen

Ilmaston lämpenemisen seurauksena lämmitystarve Suomessa vähenee. Rakennusten lämmitystarveluvun kehitystä ilmaston lämpenemisen myötä on selvitetty Ilmatieteen laitoksella (Pirinen ym. 2014). Lämpenemisen vaikutusta rakennusten lämmitystarpeeseen arvioitiin tässä työssä kertoimen avulla, joka kertoo lämmitystarpeen suhteellisesta muutoksesta. Kerroin muodostettiin kansainvälisen ilmastopaneelin IPCC:n skenaarioon pohjautuen. Laskennassa lämmitystarpeen väheneminen vaikuttaa olemassa oleviin rakennuksiin, uudistuotantoon ja poistumaan.

Tässä työssä käytettiin A1B SRES-skenaariota, joka on välimuoto kasvihuonekaasupäästöjen kehityksen suhteen pessimistisen ja optimistisen väliltä (Pirinen ym. 2014). Lämmitystarveluvun kehittyminen ja laskenta on kuvattu tarkemmin Ilmatieteen laitoksen julkaisemassa raportissa (Pirinen ym. 2014). Uusimpaan IPCC:n skenaarioihin perustuvat hilamuotoiset skenaariot olivat vasta tekeillä Ilmatieteen laitoksella joten ne eivät olleet tämän työn laskelmissa vielä käytettävissä.

Lämmitystarveluku painotettiin asuin- ja palvelurakennusten kerrosaloilla. Painotuksessa tuotantorakennuksen jätettiin pois. Kerrosalat ovat rakennus- ja huoneistorekisterin (RHR 2014) mukaiset. RHR aineistossa on virheitä ja epätarkkuuksia mm. tilavuus- ja kerrosalatiedoissa. Pääasiassa virheet johtuvat siitä, että rekisteriin vietävät tiedot ilmoitetaan nk. RH1 lomakkeella rakennuslupavaiheessa, joten lopullisten rakennuskohteiden tiedot voivat päivityksien puuttuessa poiketa lupavaiheen tiedoista. Tästä johtuen kerrosalojen suhteen tehtiin seuraavia tarkistuksia ja korjauksia:

Pientaloista (RHR luokat 11, 12, 13) ja rivitaloista (luokat 21, 22) niiden rakennusten, joiden kerrosala oli yli 3000 m², kerrosala asetettiin ensin nollassa. Sitten kaikkien rakennusten, joiden kerrosala oli nolla (eli myös edellä mainitut liian isot rakennukset), kerrosalaksi asetettiin rakennusluokan keskiarvo. Keskiarvon laskennassa otettiin huomioon vain talot joiden kerrosala oli suurempaa kuin nolla. Lopuksi laskettiin kerrosalat yhteen halutussa hilaruudukossa.

4.7. Rakennuskannan lisälämmitykset ja saunojen energiankäyttö

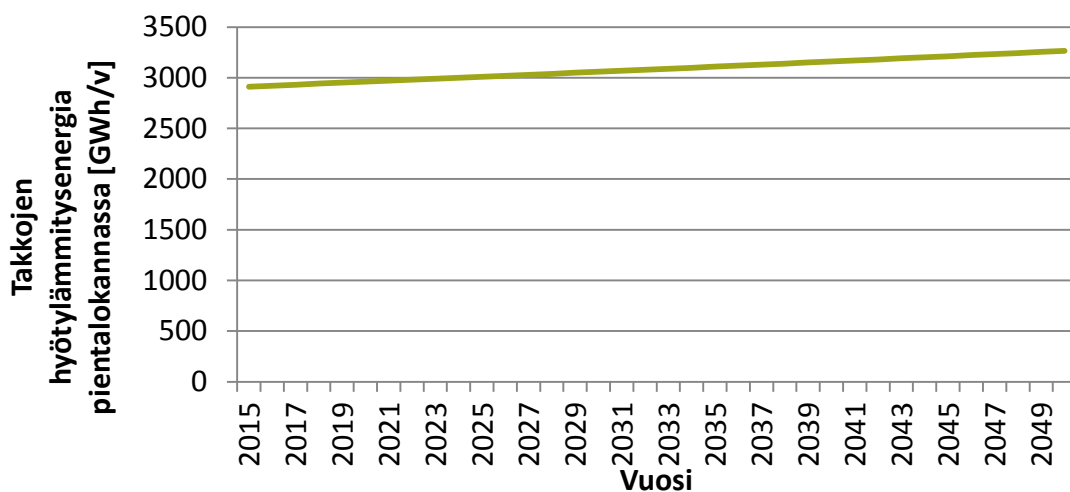
4.7.1 Takat

Pientaloissa varaava takka tai muu tulisija on yleinen lisälämmityslaite. Nykyisessä rakennuskannassa noin 60 % omakotitaloista sisältää varaavan takan tai uunin (Tilastokeskus 2016a), ja uudisrakennuksissa osuus on asiantuntija-arvion mukaan lähes 90 %. Lisälämmitystakoihin poltetun puun kokonaisener-

gia on otettu Tilastokeskukselta, ja se on jaettu nykyiseen rakennuskantaan päälämmitystavasta riippuvalla painokertoimella, sekä päälämmitystapojen suhteellisten osuuksien perusteella. Painokertoimet pohjautuvat HSY:n kyselyyn pääkaupunkiseudun tulisijojen käytöstä (Makkonen ym. 2012), ja ne löytyvät taulukosta 7.

Myös uudisrakennusten puunkäyttöä on arvioitu painokertoimien ja päälämmitystapojen suhteiden avulla, ottamalla lisäksi huomioon lämmitystarpeen alenema nykyisestä. Polirem-mallin perusteella on arvioitu kullekin päälämmitystavalle uudisrakennuksen lämmitysenergian tarve nykyiseen keskimääräiseen pientaloon verrattuna (Taulukko 7). Lämmitystarpeen laskun on oletettu alentavan suoraan myös takan käyttöä, paitsi sähkölämmitteisissä taloissa, joiden oletetaan hyödyntävän takkaa vähintään E-luvun laskennassa annetun maksimimäärän. HSY:n kyselyssä keskimääräinen varaavan takan puunkäyttö pientaloissa oli $2,7 \text{ [k-m}^3/\text{v]}$, josta on painokertoimen ja lämmitystarpeen aleneman perusteella laskettu päälämmitystavoiittain jaettu takan käyttö. Tämä on lopulta muutettu hankituksi energiaksi kertoimella 2250 kWh/k-m^3 , ja hyötylämmitysenergiaksi Tilastokeskuksen pienpuulle käyttämällä hyötysuhteella 0,55.

Uusien pientalojen päälämmitystapajakauma on kuvan 3 mukainen, ja rakennusmäärä vaihtelee vuosittain, kuten esitetty luvussa 3.3. Näiden tietojen ja taulukon 7 mukaan lasketaan vuosittaisen uudisrakennuskannan takoista saama hyötyenergia. Uudisrakennuksille ei oleteta poistumaa tai energiatehokkuutta parantavia remontteja tarkasteluajalla. Nykyisessä rakennuskannassa puun lisälämmityskäyttö vähenee rakennusten poistuman ja korjausrakentamisesta tulevan lämmitystarpeen vähenemisen myötä 0,6 % vuosittain. Takkojen käyttöiän päättyessä ne on oletettu korvattavan uudella. Johtuen uudisrakentamisen määrästä ja takkojen kasvaneesta suosiosta uusissa pientaloissa, puun lisälämmityskäytön on arvioitu kasvavan tulevaisuudessa (Kuva 6).



Kuva 6. Vuosittainen takkojen hyötylämmitysenergia pientalokannassa.

4.7.2 Saunat

Rakennusten energiankulutukseen sisällytetään myös saunojen lämmittämiseen käytetty puu ja sähkö. Tässä työssä saunojen energiankulutuksen arvioinnissa hyödynnettiin Tilastokeskukselta saatua asuinrakennusten lisälämmitysaineistoa vuosilta 2008–2014 (2016a) Aineiston perusteella puusaunojen energiankulutus on pysynyt lähes vakiona, joten skenaariovuosille saunojen puumäärät pidettiin vakiona, vastaten rakennustyypeittäin vuosien 2008–2014 keskiarvoa. Hankittuna energiana (GWh/v) saunojen keskimääräiset puuenergiat olivat pientaloille 1306, rivi- ja ketjutaloille 7, kerrostaloille 126 ja vapaa-ajan asuinrakennuksille 440.

Sähkösaunojen käyttämä energia arvioitiin erillisellä sähkömallilla. Sähkösaunoihin käytetty energia (kWh/m³) arvioitiin olevan pientaloille 1,6, rivi- ja ketjutaloille 1,8, asuinkerrostaloille 0,4 ja opetusrakennuksille 2,3. Vapaa-ajan asuinrakennuksissa ei tilastojen mukaan käytetä sähkösaunoja.

4.7.3 Lämpöpumput

Lämpöpumppuja käytetään rakennuskannassa rakennusten lämmittämiseen ja yhä enenevässä määrin myös jäähdyttämiseen. Tässä työssä keskityttiin kuitenkin vain lämmityksen energiankulutuksen mallintamiseen. Lämpöpumpuista käsiteltiin seuraavat: ilmalämpöpumput (ilma-ilma, ilp), ulkoilma-vesilämpöpumput (uvlp) ja poistoilmalämpöpumput (pilp). Pääasiallisena lähtöaineistona oli Tilastokeskukselta saatu lisälämmitysaineisto sekä Suomen lämpöpumppuyhdistyksen (SULPU) tilastot ja arviot tulevaisuuden pumppukannan kehityksestä (SULPU 2016; Gaia 2014).

Työssä muodostettiin ensin lämpöpumppukannan kehitysskenaario SULPUn myyntitilastojen perusteella, olettamalla seuraavat käyttöiät pumppuille: ilp 15 v., uvlp ja pilp 15 v. Taulukkoon 8 on koottu lämpöpumppumallinnuksen oletuksia.

Lämpöpumppujen vuosituotot perustuvat ilmalämpöpumppujen osalta Elvari-hankkeen aineiston (Motiva 2015) ja rakennusmääräyskokoelman laskentaliitteen (Ympäristöministeriö 2013) perusteella tehtyyn asiantuntija-arvioon, muiden pumpputyyppeiden tuotot ovat Tilastokeskuksen lisälämmitysaineiston avulla johdetut keskimääräiset. Ilmalämpöpumput ovat rakennuskannassa yleisimpiä.

Uusia lämpöpumppuja voidaan asentaa joko olemassa oleviin rakennuksiin tai uudiskohteisiin. Vastaavasti pumppuja poistuu joko kokonaan kannasta purettavan rakennuksen mukana, tai se korvataan käyttöiän päättyessä heti uudella. SULPUn tietojen mukaan 95 % ilp ja uvlp asennuksista tehdään saneerauskohteisiin, mikä tarkoittaa, että uudiskohteisiin menee vain 5 %. Mallinnuksessa huomioitiin pientalojen ja vapaa-ajan asuinrakennusten lämpöpumput, jotka kattavat yli 90 % lämpöpumppukannasta (SULPU 2016). Taulukkoon 9 on koottu mallinnetut lämpöpumppuenergiat poikkileikkausvuosina. Maalämpöpumppujen tuottoennuste perustuu Polirem-mallin mukaisiin laskelmiin.

Taulukko 8. Lämpöpumppujen määrä- ja tuottoennusteen muodostamisessa käytetyt oletukset..

	Ilmalämpöpumppu (ilp)	Ilmavesilämpöpumppu (uvlp)	Poistoilmalämpöpumppu (pilp)
Käyttöikä (vuosia)	10	15	15
Vuosittain tuotettu lämpö (kWh/pumppu/v)	5000 kWh (vanha pientalo) 1000 kWh (uusi pientalo)	27100	8900 kWh
COP kerroin (-)	1.8	1.8	2.5
Pumppuja kannassa v. 2020/2030/2050 (kpl)	568809/837500/1064000	25352/52400/74600	33668/48668/78668
Osuus asennuksista uudiskohteisiin (%)	5	5	Uudiskohteisiin asennettava määrä (1500) vakioitu skenaariossa

Taulukko 9. Mallinnettu lämpöpumppuenergia¹ (TWh/v) pumpputyypeittäin poikkileikkausvuosina.

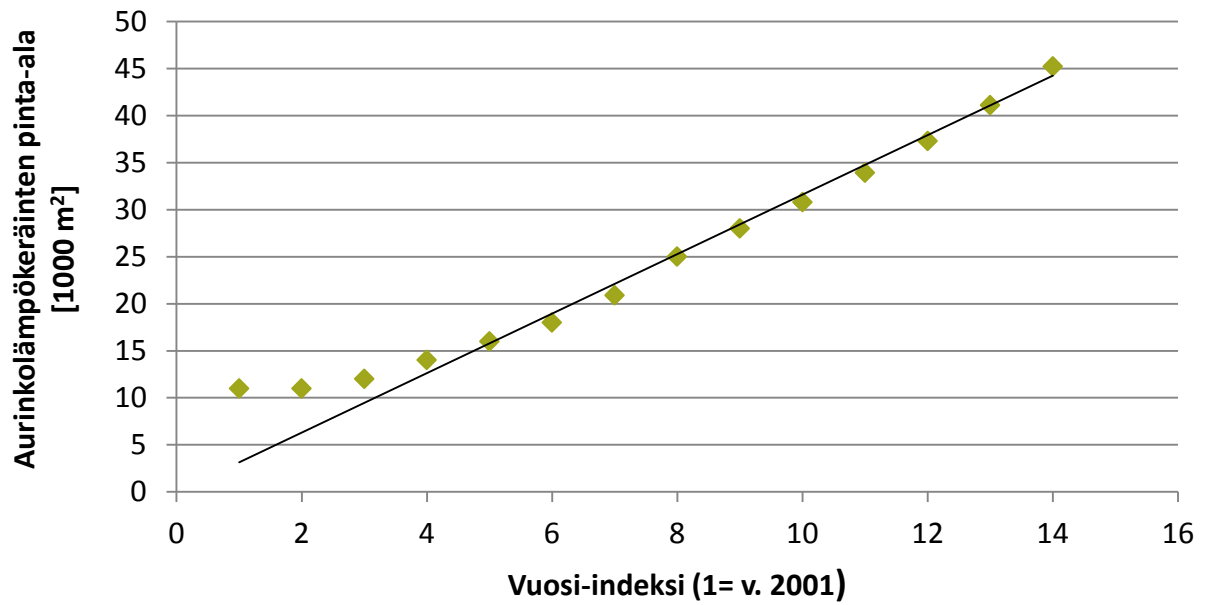
Vuosi	Ilmalämpöpumppu (ilp)	Ilmavesilämpöpumppu (uvlp)	Poistoilmalämpöpumppu (pilp)	Maalämpöpumppu (mlp)	Yht.
2020	1,3	0,3	0,2	2,8	4,6
2030	1,7	0,6	0,3	3,4	6,0
2050	1,9	0,9	0,4	4,4	7,5

¹Lämpöpumppuenergialla tarkoitetaan lämpöpumpuilla ympäristöstä (maasta, ilmasta tai vedestä) talteenotettua energiaa, jota käytetään rakennusten lämmitykseen. Lämpöpumppuenergia on lämpöpumpujen tuottaman lämmön ja niiden kuluttaman sähkön välinen erotus.

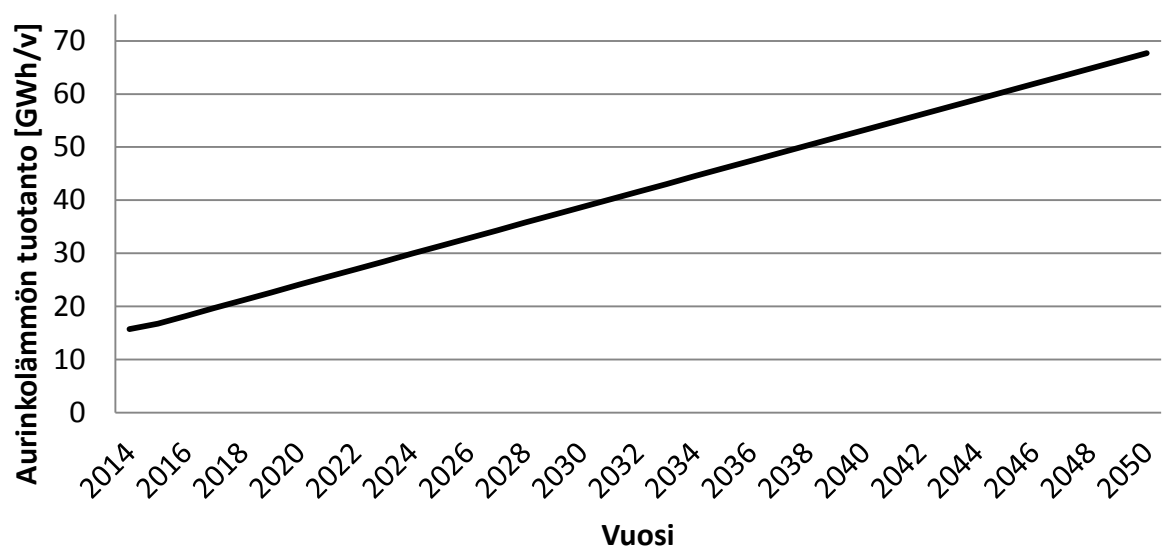
4.7.4 Aurinkolämpö

Uusiutuvan energian käytön lisäystä edellytetään EU-velvoitteen (ns. RES-direktiivi 2009/28/EY) mukaisesti. Aurinkolämpö lukeutuu uusiutuvan energian käyttöön, jolloin perusskenaariossa esitetään näkemys aurinkolämmön tuotannon kehityksestä. Aurinkolämpö käsitellään tuottona, joka lasketaan hankituksi energiaksi, tässä perusskenaariossa on huomioitu vain rakennuksissa aktiivisesti suoraan hyödynnetty tuotanto (ei siis esim. kaukolämmön kautta syötetty, eikä passiivisesti rakennusten sijoituksen ja ikkunoiden kautta saatava lämpö).

Aurinkolämmön yleisyydestä ja tuotannosta ei ole kunnollista tutkimusaineistoa. Vuodesta 2009 lähtien Tilastokeskuksen aurinkoenergia-aineisto perustuu asiantuntijaryhmän arvioon. Tässä työssä aurinkolämmön tuotannon perusskenaario tuotettiin tilastokeskuksen aineiston perusteella (Tilastokeskus 2016c, Taulukko 2.12). Aineiston perusteella tehtiin lineaarinen sovitus vuosien 2001–2014 pinta-ala aineistoon (Kuva 7). Tilastotietojen mukaan aurinkokeräinten pinta-ala lähti kasvuun vuoden 2000 jälkeen. Keräinten pinta-alan kehitystä jatkettiin aikajänteelle 2015–2050 ko. lineaarisen sovituksen perusteella. Tämän kokonaiskeräinpinta-alan perusteella, ja olettamalla keräimien käyttöikäksi 15 vuotta, arvioitiin joka vuosi uusien keräinten ja poistuvien keräinten pinta-alat. Vuosittainen aurinkolämmön tuotto arvioitiin pinta-alan perusteella kertomalla se keskimääräisellä tuottolukemalla (tuotettu aurinkolämpö TJ/keräin-m²), jossa keskimääräinen tuotto perustuu vuosien 1990–2014 tilastolukemiin. Hyödyntämällä yksittäisen aurinkolämpökeräimen tuottoarviota, voidaan tuottolukemasta johtaa myös keräimien määrä vuosittain (uudet asennukset, poistuvat, keräinkanta kokonaisuudessaan). Tässä työssä yksittäisen aurinkokeräimen tuotoksi arvioitiin 830 kWh/v, mikä perustuu oletukseen 6 m² keräinpinta-alasta ja keskimääräisestä Jyväskylälle arvioidusta vuosituoosta 139 kWh/keräin-m² (Heimonen 2011). Tällä tavoin lineaarisesti määritetty aurinkolämpökeräimien vuosituoanto on esitetty kuvassa 8.



Kuva 7. Aurinkolämmön keräinpinta-alan kehitys vuosina 2001–2014 (Tilastokeskus 2016c) ja lineaarinen sovitus aineistoon.



Kuva 8. Lineaarisesti mallinnettu aurinkolämmön vuosituotanto.

5. Perusskenaarion tulokset

Perusskenaariossa on mallitettu rakennustyyppien energia sekä hankitun energian että hyötyenergian tasolla. Kuvassa 9 on esitetty rakennustyypeittäin hankittu energia yhteensä. Kuvissa 9–13 on esitetty rakennustyypeittäin hankitun energian kulutus perusskenaariossa. Liitteessä 2 on taulukoitu hankittu energia poikkileikkausvuosina ja liitteessä 3 on esitetty hyötyenergian kuvaajat. Vuosi 2014 on tilastotieto, ja skenaarioissa käytetty lämmitystarveluvun normaalivuosi aiheuttaa kuvissa näkyvän energiantarpeen kasvun seuraavaan vuoteen.

Kuvassa 9 varsinaisten asuinrakennusten (pientalot, rivi- ja ketjutilat, asuinkeuhkot) hankitun energian määrässä on pieni laskeva trendi, mutta energiantarve pysyy oleellisesti samalla tasolla tarkasteluajanjaksolla. Palvelurakennusten kokonaisenergian tarpeessa on selvä laskeva trendi, joka selittyy energiatehokkuuden paranemisella. Vapaa-ajan asuinrakennusten energiantarve taas lisääntyy mökkien sähkönkäytön lisääntyessä.

Pientaloissa hyödynnetään eniten puuta, sähköä ja kaukolämpöä sekä lämpöpumppujen tuottamaa energiaa (Kuva 10). Puusta noin 10 % käytetään saunoissa ja takkojen osuus vaihtelee 40–54 prosentin välillä tarkasteluajanjaksolla. Takkojen suhteellinen osuus kasvaa perusskenaariossa ajan myötä. Puun hankitun energian suurta määrää selittää myös tilastoissa ja tässä työssä käytetyt alhaiset hyötysuhteet puupäälämmitykselle, takoilta ja saunoille (55 %). Kevyen polttoöljyn käyttö on laskenut viime vuosikymmeninä ja sen oletetaan käytännössä häviävän vuoteen 2050 mennessä.

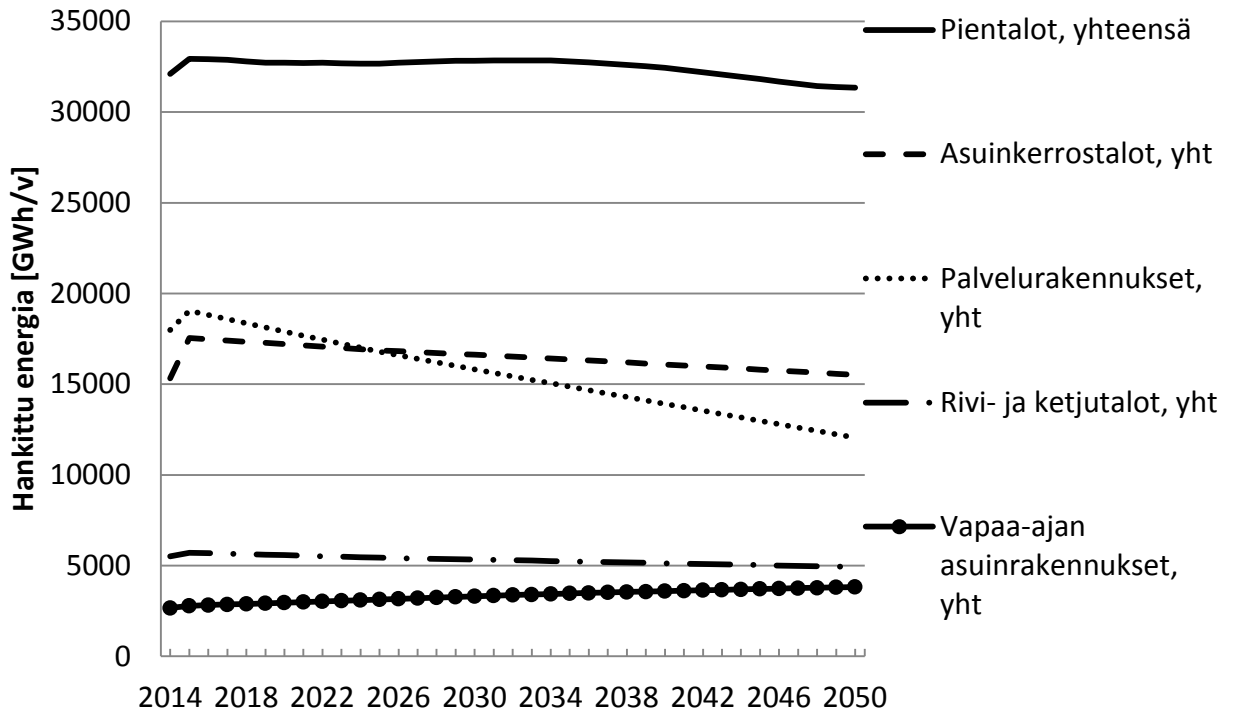
Toissijaiset lämmitysmuodot on käsitelty erillään päälämmitysmuodoista. Mallitettujen lämpöpumppujen tuotot eroavat tilastoinnissa käytetyistä vuosituotoista, mutta pumppumäärät perustuvat samaan aineistoon. Lämpöpumppuenergia kasvaa pientaloille tehdyssä skenaariossa, maalämmön osuus pumppuenergiasta on noin 60 %, loppu osuus jakautuu ilmalämpöpumppujen ja ulkoilmavesilämpöpumpun kesken. Tuosta osuudesta ilmalämpöpumppujen osuus vaihtelee välillä 67–85 %, ilmavesilämpöpumppujen vaihteluväli vastaavasti 33–15 % tarkastelujaksolla. Aurinkolämmön lineaariseen ennusteeseen perustuva tuotanto pientaloissa on esitetty kuvassa 8.

Kuvassa 11 on esitetty tarkemmin pientalojen sähkönkäyttö. Sähköpäälämmityksen käyttö vähenee perusskenaariossa. Kuvasta nähdään lämpöpumppujen yleistymisestä johtuva selvä kasvu lämpöpumppujen käyttämässä sähkössä. Lämpöpumppujen tuotto tulee käytännössä korvaamaan sähkö- ja öljypäälämmitystä. Sähkösaunojen, ilmanvaihdon ja lämmityslaitteiden käyttämä sähkö pysyy lähes ennallaan.

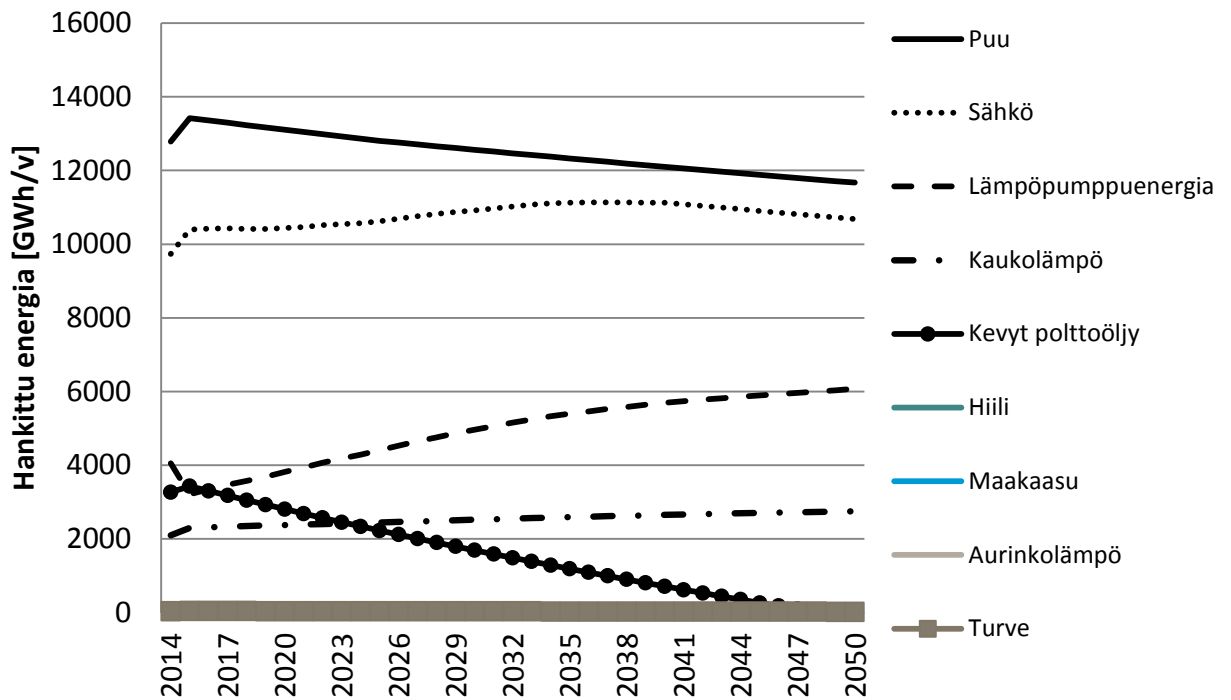
Rivi- ja ketjutiloissa kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto, mutta sähkölämmitys on myös yleistä. Maalämmön osuus kokonaisenergiankulutuksesta on pieni, mutta sen määrän oletetaan yleistyvän. Asuinkeuhkot ja palvelurakennukset lämmitetään käytännössä kaikki kaukolämmöllä (ks. Kuvat 12 ja 13).

Vapaa-ajan asuinrakennuksissa nähdään yleistyvän lämmityssähkön ja lämpöpumppujen hyödyntämisestä aiheutuva voimakas sähkökulutuksen kasvu (Kuva 14). Sähkön käyttö kasvaa jatkuvasti johdun peruslämmön lisääntymisestä. Peruslämmöllä tarkoitetaan vapaa-ajan rakennuksen lämmittämistä koko talviajan vähintään noin 10–15°C lämpötilaan, joka tavallisimmin peruslämpö toteutetaan suoralla sähkölämmityksellä. Nykyisin peruslämpö on noin 30 % vapaa-ajan rakennuksista. Uusiin se tulee noin 60 prosenttiin. Uudistuotannon ja perusparannusten myötä peruslämmön osuus ja samalla sähkön käyttö lisääntyy nopeammin kuin vapaa-ajan rakennuskannan koko. (Rytkönen ym. 2010).

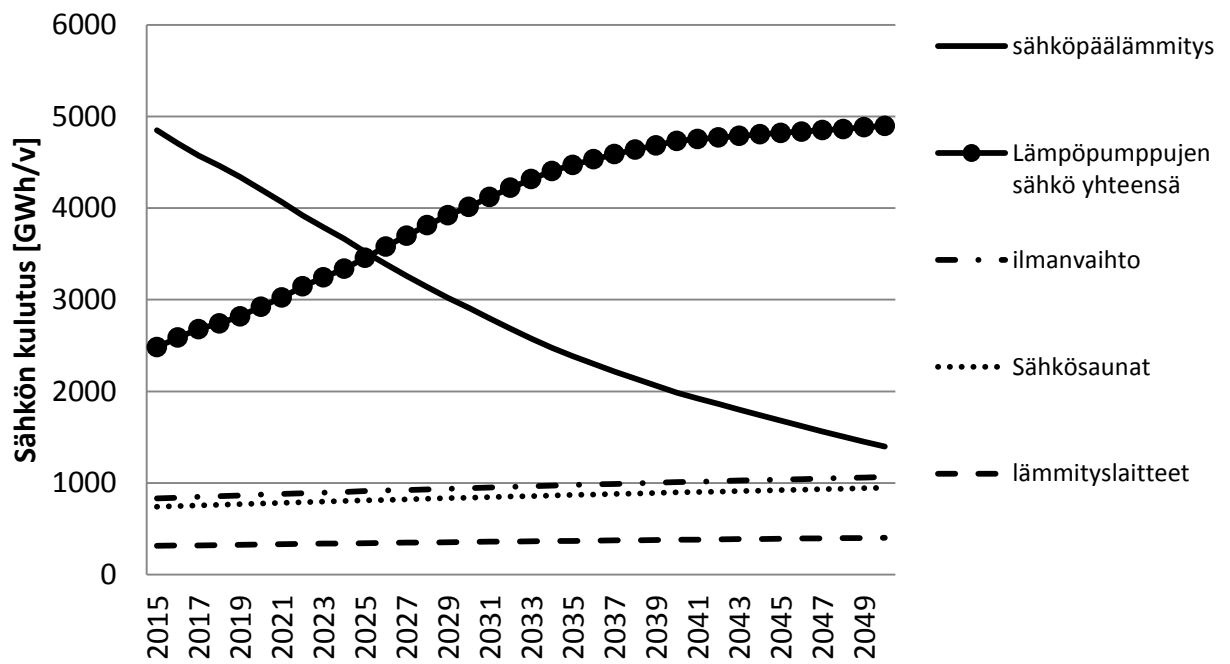
Vaikka palvelurakennuskanta kasvaa, kannan energiatehokkuuden parantuessa energian käyttö pienenee ajan myötä (ks. Kuvat 4 ja 15). Pääasiassa palvelurakennukset käyttävät kaukolämpöä ja sähköä. Kevyen polttoöljyn käyttö loppuu vuoteen 2050 mennessä.



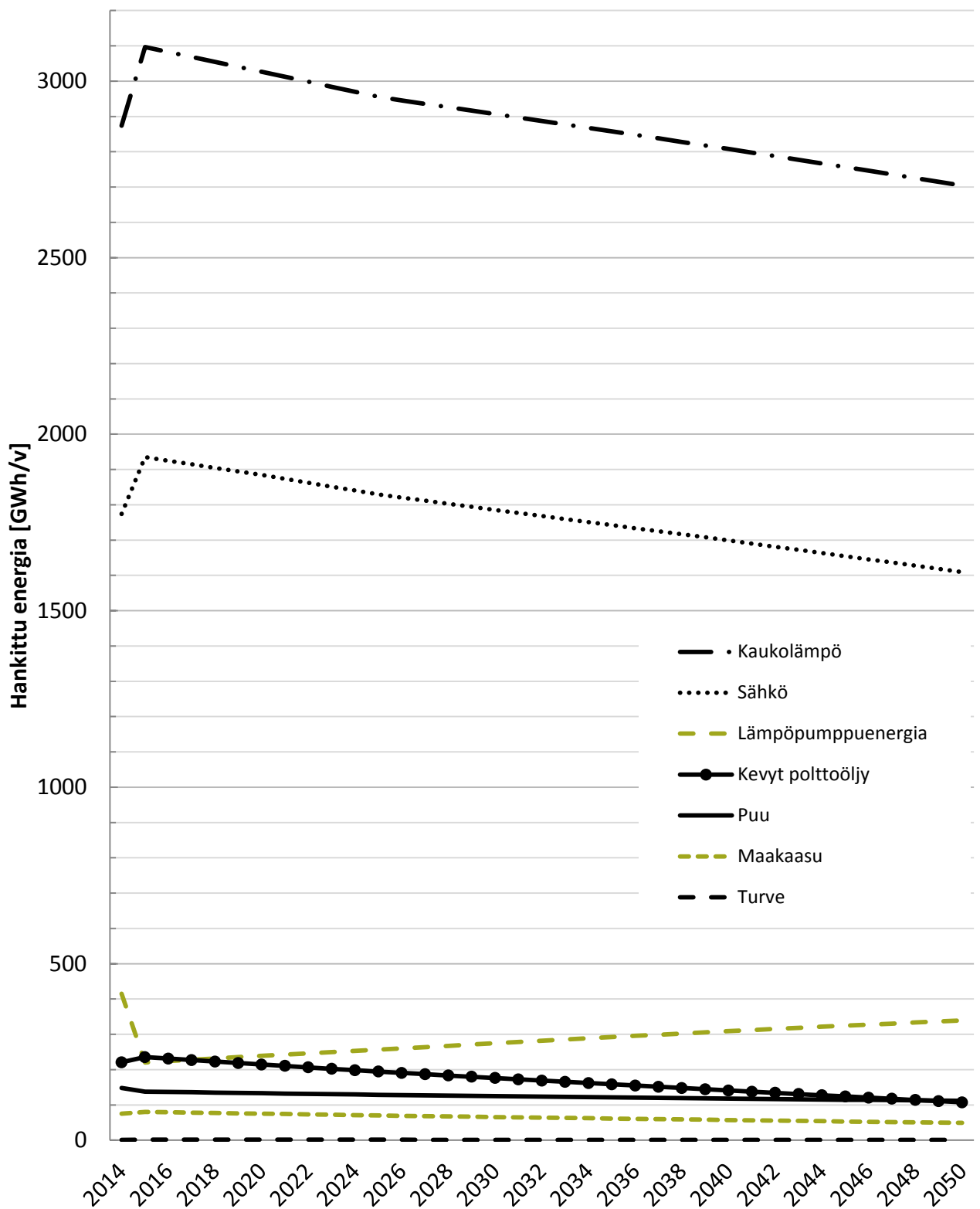
Kuva 9. Rakennustyyppien perusskenaarion mukainen hankittu energia yhteensä. Vuosi 2014 on tilastotieto ja skenaarioissa käytetty lämmitystarveluvun normaalivuosi aiheuttaa kuvassa näkyvän energiantarpeen kasvun seuraavaan vuoteen



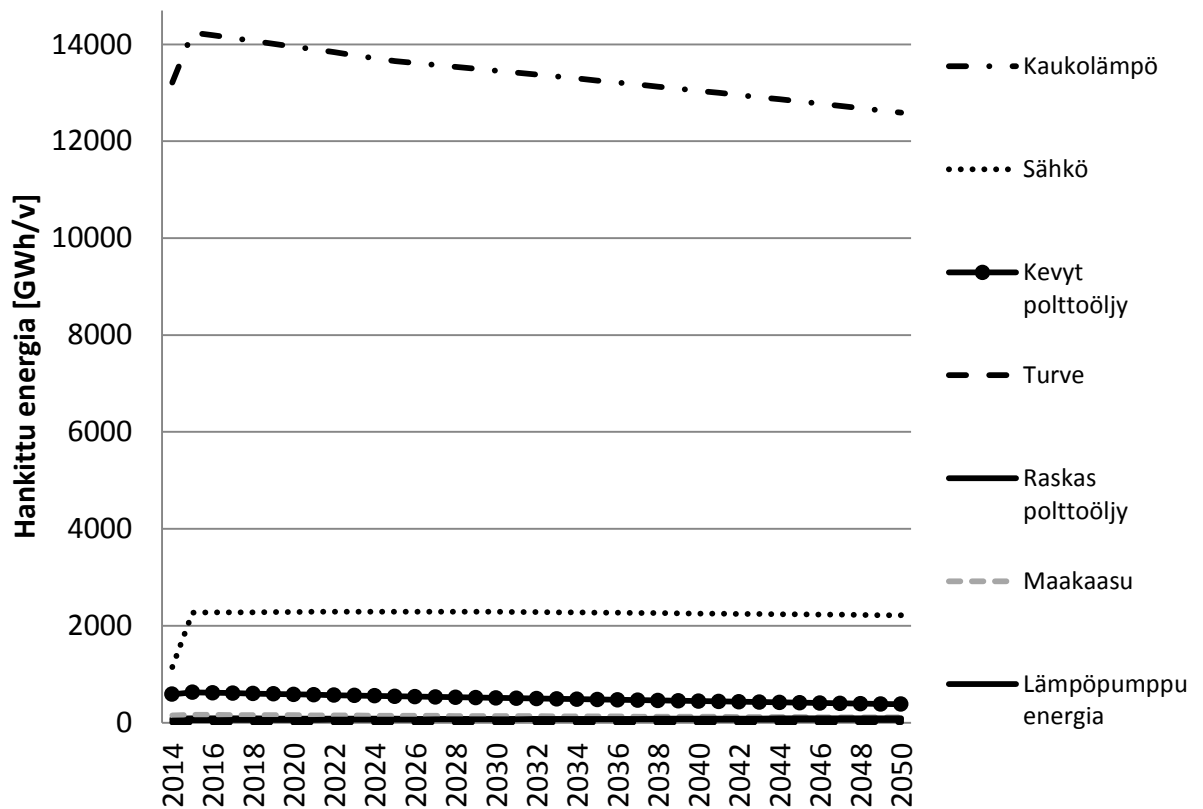
Kuva 10. Pientalojen hankittu energia perusskenaariossa. Vuosi 2014 on tilastotieto.



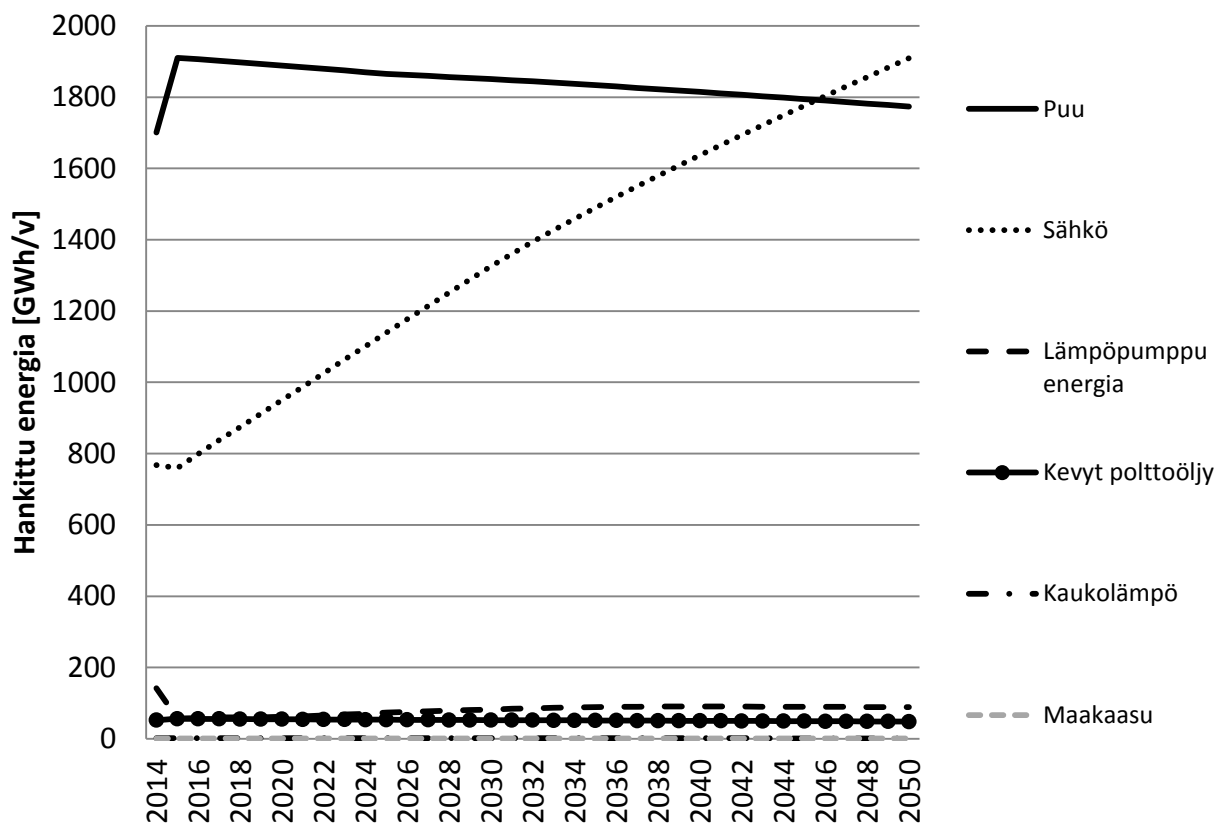
Kuva 11. Pientalojen sähkönkäyttö perusskenaariossa. Kuvaajassa esitetty kulutuserät, jotka sisällytetään nykyisessä energiatilastoinnissa rakennusten sähkönkäyttöön.



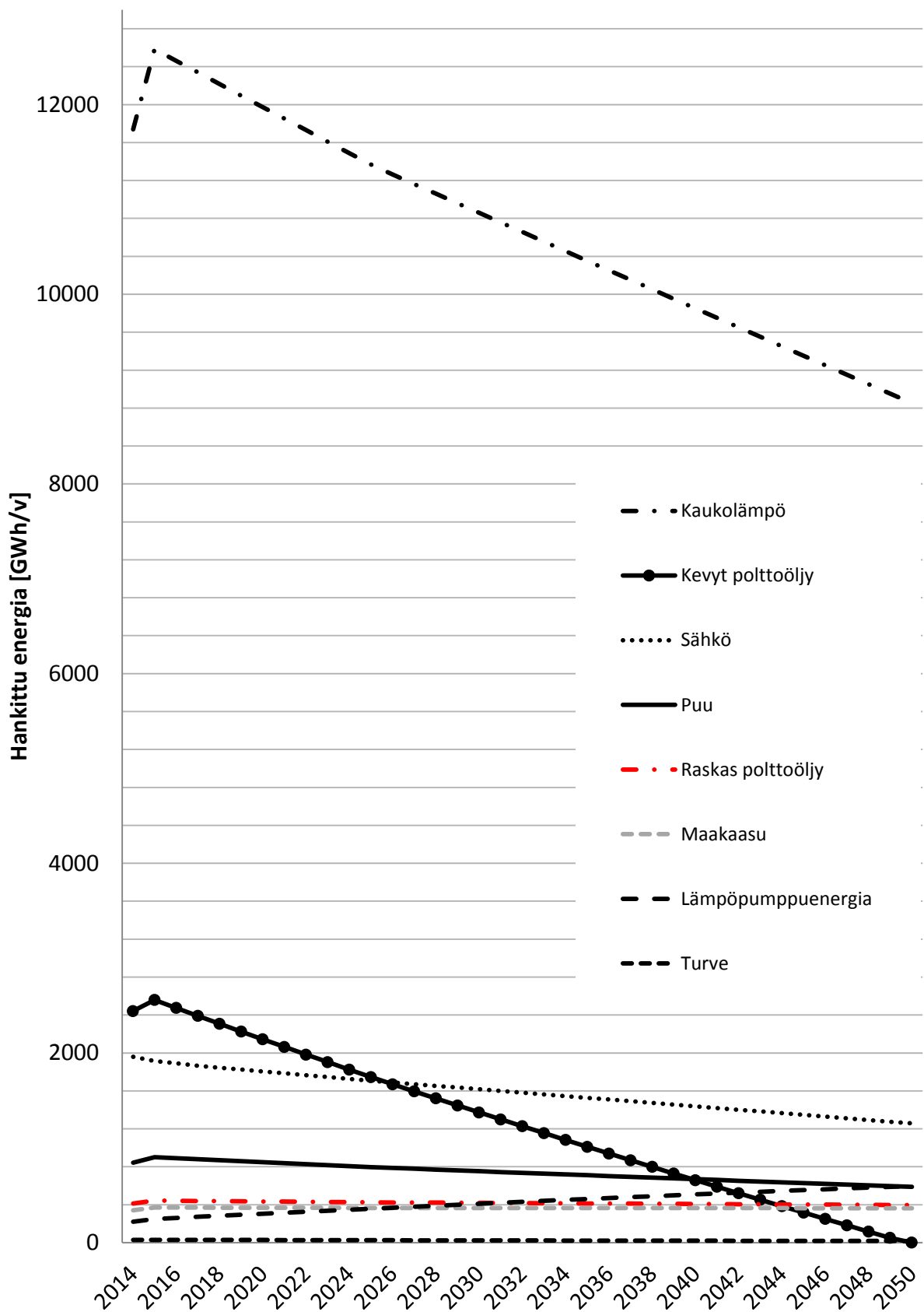
Kuva 12. Rivi- ja ketjutalojen hankittu energia perusskenaariossa.. Vuosi 2014 on tilastotieto. Lämpöpumppuenergian skenaario eroaa tilastokeskuksen tilastointitavasta, mikä selittää tasoeron vuoden 2014 jälkeen.



Kuva 13. Asuinkerrostalojen hankittu energia perusskenaariossa. Vuosi 2014 on tilastotieto.



Kuva 14. Vapaa-ajan asuinrakennusten hankittu energia perusskenaariossa. Vuosi 2014 on tilastotieto..



Kuva 15. Palvelurakennusten hankittu energia perusskenaariossa. Vuosi 2014 on tilastotieto.

6. Matalamman talouskasvun vaikutusten arviointi

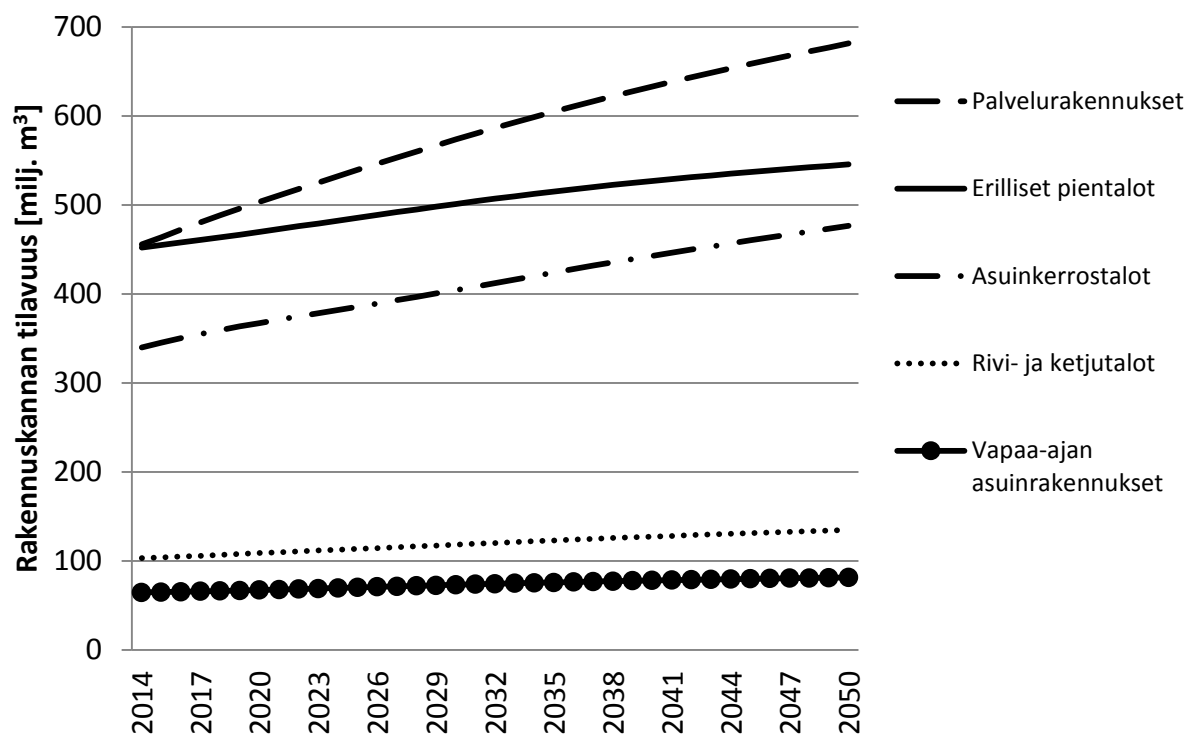
Tässä työssä arvioitiin myös perusskenaarion suhteen matalamman talouskasvun vaikutuksia rakentamiseen ja rakennusten energiankulutukseen. Matalan talouskasvun skenaariossa talouden kasvuna on käytetty noin 1–1,5%/v, mikä vastaa työ- ja elinkeinoministeriön energia- ja ilmastostrategian valmistelussa käyttämiä alhaisemman talouskasvun toimialakohtaisia lukuja.

Rakennuskannan energiankulutuksen arvioimiseksi matalamman talouskasvun skenaariossa tehtiin laskelma, jossa uudistuotanto, poistuma ja korjausrakentamisen määrä arvioitiin ja sen perusteella mallitettiin energiankulutus kuten perusskenaariossa. Rakennuskanta- ja korjausrakentamisen ennusteen tuotti Forecon Oy (2016), jonka tuottamaan raporttiin tässä luvussa esitetyt tiedot perustuvat. Ennusteen muodostamisessa on käytetty kansainvälisiä ja suomalaisia talousennusteita, suhdannekyselyitä sekä Foreconin omaa asiantuntemusta.

Koska matalamman talouskasvun ennusteen tuotti Forecon Oy, hyödynnettiin heidän asiantuntemustaan myös yleisemmin rakennustuotannon, poistuman ja korjausrakentamisen ennustamisessa. Matalamman talouskasvun ennusteessa on siten mukana muitakin muutoksia kuin pelkästään talouskasvuun liittyviä muutoksia.

6.1. Matalamman talouskasvun mukainen kantaennuste

Kuvassa 16 on esitetty rakennustyypeittäin matalamman talouskasvun mukainen kantaennuste. Alla käsitellään uudistuotannon ja poistuman ennustetta vielä tarkemmin.

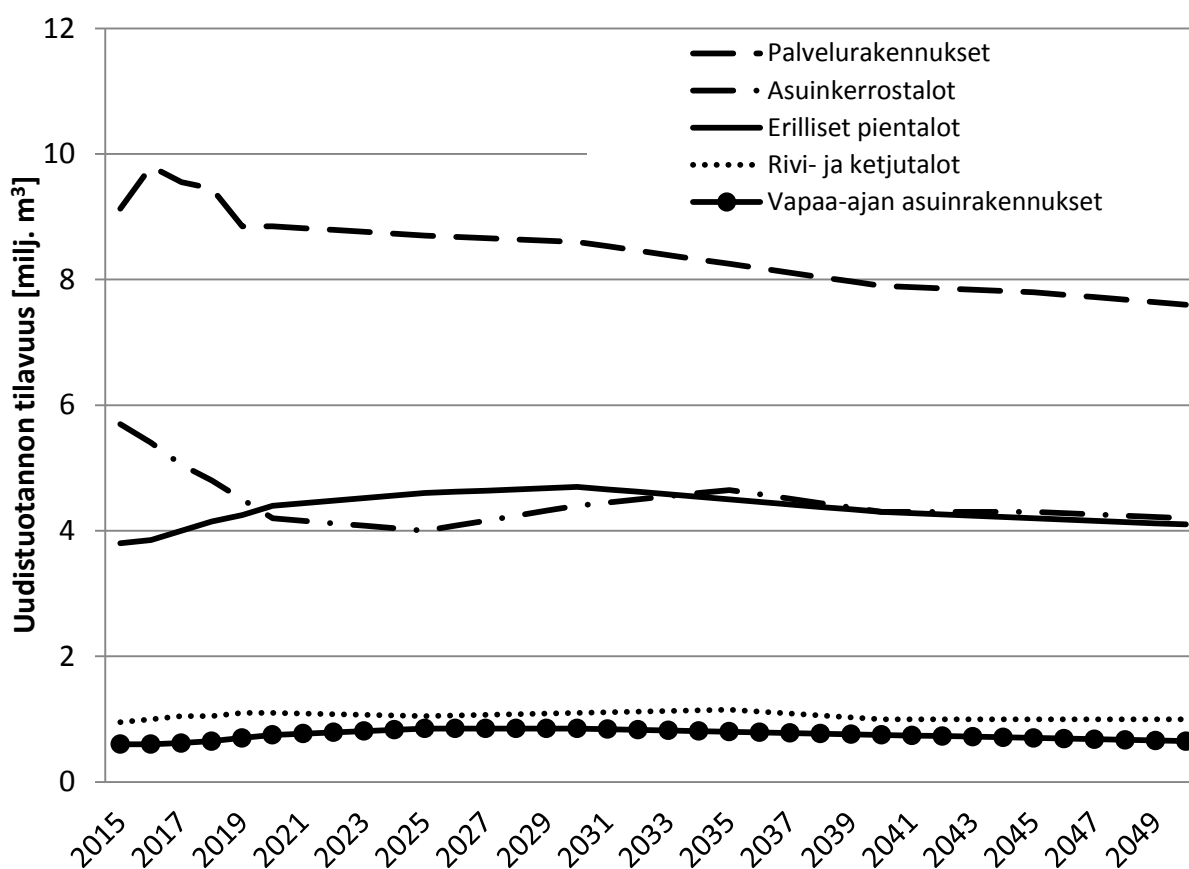


Kuva 16. Matalamman talouskasvun mukainen rakennuskantaennuste (Forecon 2016).

6.1.1 Uudistuotanto

Matalamman talouskasvun mukainen uudistuotantoennuste on esitetty kuvassa 17. Foreconin asuntotuotantotarpeen ennusteessa on oletettu kaupungistumisen jatkuvan hieman Tilastokeskuksen ennustetta vilkkaampana, lisäksi nettomaahanmuutto on Tilastokeskuksen vastaavaa suurempi ja kasvava. Poistuman on oletettu kasvavan aikajänteen lopussa, mikä lisää asuntotuotantoa. Edelleen on oletettu, että väestörakenne, kaupungistuminen ja suuri omakotitalokanta pitävät pientalorakentamisen määrän alhaisena, kysynnän painottuessa kerrostaloihin.

Palvelurakennusten osalta oletettu, että rakentamisen määrä pysyttelee korkealla, sillä väestön vaurastuminen ja ikääntyminen lisäävät palvelurakentamista. Toimistojen rakentaminen sen sijaan pysyttelee matalalla pitkään, sillä tyhjen tilojen määrä on tällä hetkellä suuri kaupungeissa. Opetusrakennusten määrään ei ole oletettavissa lisätarpeita, mutta näissä rakennuksissa on ollut paljon korjausrakentamista mm. home- ja sisäilmaongelmien takia.



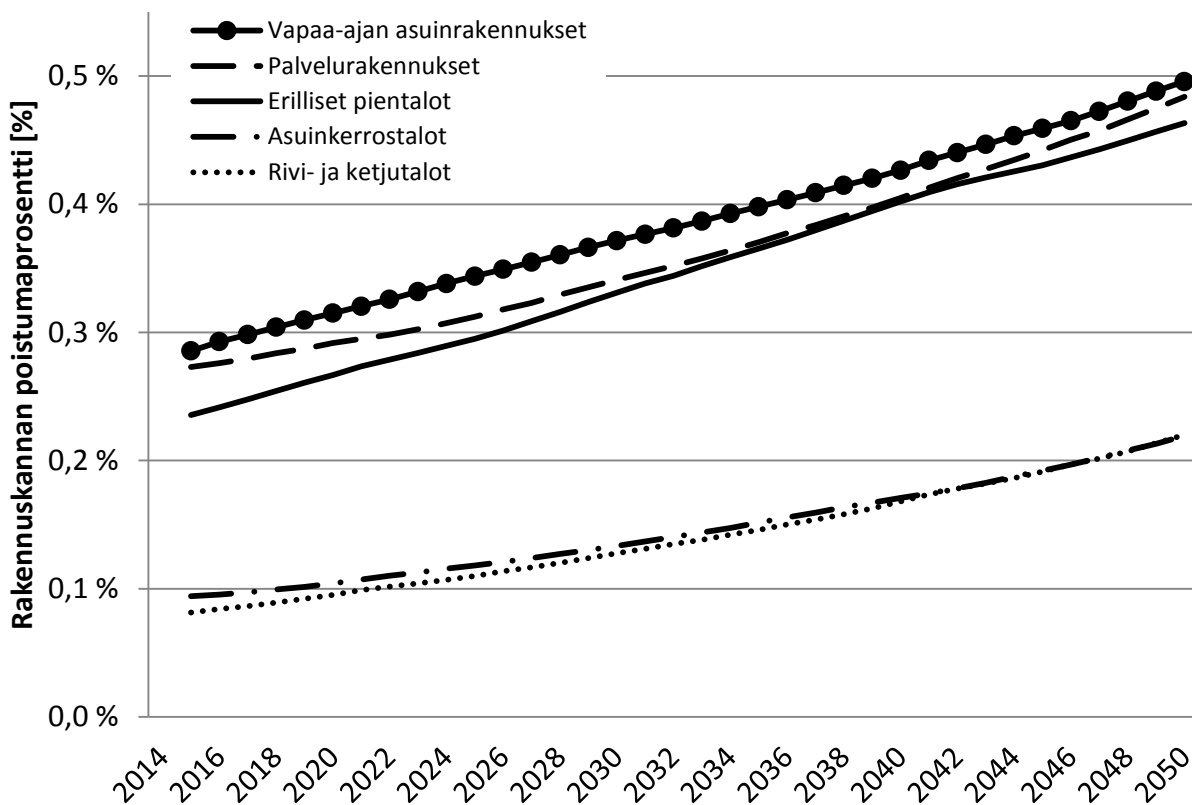
Kuva 17. Matalamman talouskasvun mukainen uudistuotanto rakennustyypeittäin (Forecon 2016).

6.1.2 Poistuma

Rakennusten poistuma on mallitettu Foreconin säilyvyysmallimenetelmällä, jonka lähtökohtana on rakennuskantatieto, rakennuksen alkuperäisen iän tai rakennuksen peruskorjausiän mukaan. Poistuma on ajoitettu 200 vuoden ajanjaksolle ja poistumaprosentit on asetettu vuosikymmenittäin mallinnuksen mukaisesti. Mallilaskelman kokonaispoistuma vastaa tämän hetkistä poistumaa.

Kuvassa 18 on esitetty poistumaprosentti rakennustyypeittäin matalamman talouskasvun ennusteessa. Rakennusten poistuma on pientä johtuen Suomen nuoresta rakennuskannasta. Ennusteen mukaan poistuman määrä kuitenkin yli kaksinkertaistuu ja nousee kokonaisuudessaan tarkasteluilla rakennus-

tyypeillä tasolle 7,6 miljoonaa m³, nykypoistuman ollessa noin 2,9 miljoonaa m³. Poistuma kasvaa vuosittain noin kolme prosenttia koko tarkasteluajanjaksolla, mikä on selvästi rakentamista enemmän. Poistuma on Foreconin arvion mukaan selkeästi alemmalla tasolla palvelurakennusten osalta kuin mitä peruslaskelmassa ja aiemmin on eri yhteyksissä käytetty. Yleisesti aiemmin on käytetty palvelurakennusten osalta 1 % vuosittaista poistumaa.



Kuva 18. Matalamman talouskasvun mukainen poistumaprosentti rakennustyypeittäin (Forecon 2016).

6.2. Rakentaminen ja korjausrakentaminen matalamman talouskasvun skenaariossa

Taulukkoon 10 on koottu Foreconin näkemys matalamman talouskasvun skenaarion mukaisesta uudis- ja korjausrakentamisesta.

Taulukko 10 Rakentamisen arvo (mrd. €) heikkomman talouskasvun skenaariossa (Forecon 2016).

	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Uudisrakentaminen	12,14	13,36	11,97	12,95	12,9	13,24
Korjausrakentaminen	8,21	10,91	13,17	14,89	16,13	16,9
Talonrakentaminen yhteensä	20,35	24,27	25,14	27,84	29,04	30,14

Forecon Oy tuotti myös korjaustarveskenaariot, joka on mallinnettu yrityksen korjaustarvemennettelmällä. Ennusteen lähtökohdaksi on rakennuskantatieto, rakennuksen alkuperäisen iän tai rakennuksen peruskorjauksiensa mukaan. Mallinnus huomioi useaan kertaan tehtävät korjaukset sekä poistuman, sillä

osa taloista poistuu ennen korjausrakentamista. Lisäksi menetelmässä on huomioitu taloudellinen kannattavuus, joka vaihtelee rakennusosittain ja sijainnin mukaan.

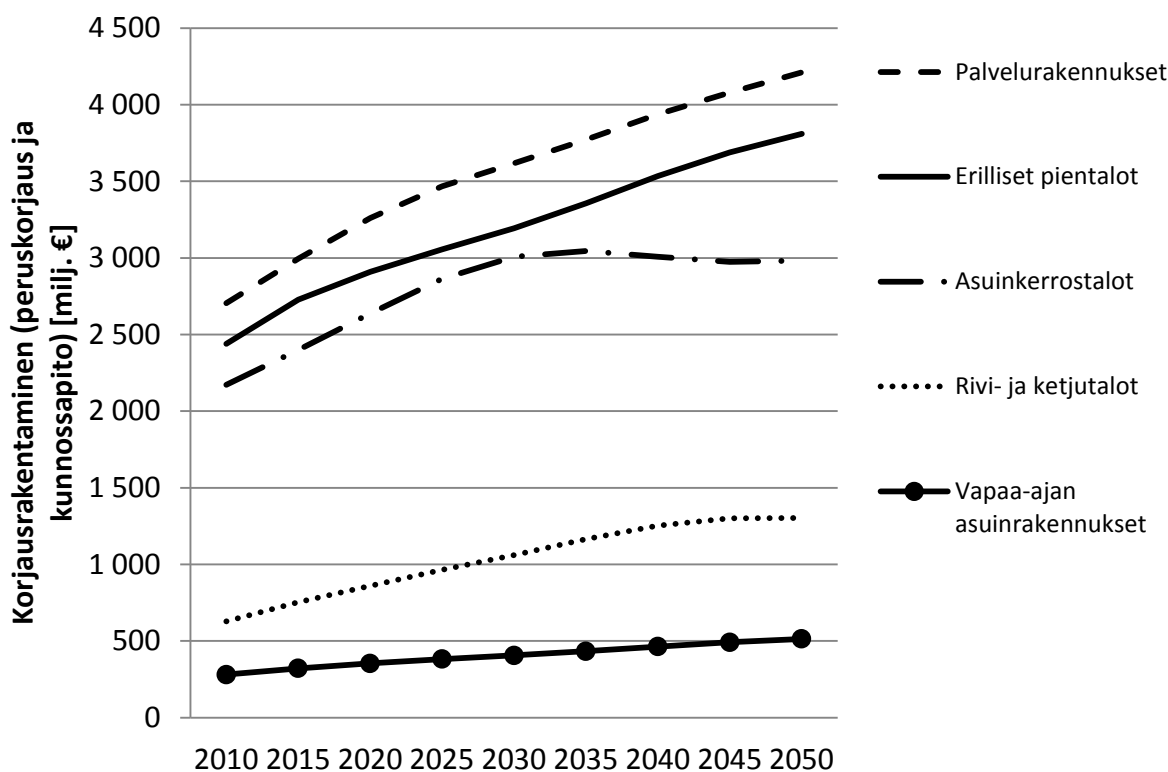
Ennusteen mukaan Suomessa korjausrakentamisen osuus nousee noin 60 prosenttiin koko talonrakentamisen arvosta. 1960–1980-lukujen rakennukset ovat tulossa korjausikään pääosin 2020-luvun loppuun mennessä. 2030-luvulla korjausrakentamisen rakenteellinen kasvu päättyy ja määrän vuosikasvu hidastuu n. 1 % tasolle.

Korjausrakentamisen arvosta karkeasti puolet on huoltoa ja ylläpitoa. Energiakorjaukset liittyvät erityisesti rakenteisiin (julkisivut, ikkunat ja yläpohja) sekä talotekniikkaan. Energiakorjausten osuutta on haastavaa arvioida, mutta arvioidut osuudet on esitetty taulukossa 11. Korjausrakentamisen euromääräinen kehitys on esitetty kuvassa 19.

Energian säästöä arvioitaessa on oletettu, että puolet esitetystä korjausrakentamisesta on varsinaista korjaamista. Tästä määrästä on ulkopintojen ja rakenteiden sekä talotekniikan osuudesta arvioitu olevan taulukon 11 perusteella keskimääräiset osuudet varsinaista energiansäästökorjausta, eli se lisäkustannus, mitä energiansäästö on aiheuttanut. Energiansäästötoimenpiteiden kustannusten perusteella voidaan arvioida energiansäästön määrä kun tiedetään karkeasti toimenpiteiden keskimääräinen kannattavuus. Laskelmissa on arvioitu syntyvän energiansäästöä 0,8 GWh/Milj.€.

Taulukko 11. Arvioidut energiakorjausten osuuksien vaihteluväli (%) korjausrakentamisessa talotyypeittäin (Forecon, 2016).

Rakennustyyppi	Ulkopinnat ja rakenteet	Talotekniikka
Pientalot	5-10	2-5
Rivi- ja kerrostalot	10-15	2-5
Palvelurakennukset	5-10	10-15



Kuva 19. Korjausrakentamisen määrä (milj. €) matalamman talouskasvun ennusteessa rakennustyypeittäin (Forecon 2016).

6.3. Rakennuskannan energiankulutus matalamman talouskasvun skenaariossa

Taulukoissa 12 on esitetty energiamuodoittain hankitun energian määrät poikkileikkausvuosina sekä perusskenaariossa että matalamman talouskasvun skenaariossa. Energiamuodoittain skenaarioiden tulokset eroavat pääasiassa muutamista prosenteista noin kymmeneen prosenttiin. Puun hankitun energian määrä on matalammassa talouskasvun skenaariossa aluksi korkeampi verrattuna perusskenaarioon (Taulukko 12), koska Foreconin poistumaennuste on perusskenaariota alhaisempi. Koko rakennuskannan energiankulutus on matalamman talouskasvun skenaariossa noin 10 % alhaisempi kuin perusskenaariossa v. 2050. Tuloksia tulkitessa tulee muistaa, että ero energiankulutuksessa skenaarioiden välillä ei ole suoraan talouskasvun vaikutus, sillä käytetyt rakennuskantaennusteet sekä korjausrakentamisen määrä-arvio on muodostettu eri menetelmillä. Talouskasvun vaikutusta rakennuskannan energiankulutukseen voidaan kuitenkin saada suuntaviivaa tehtyjen laskentojen perusteella.

Taulukko 12. Rakennuskannan hankittu energia [GWh/v] eri skenaarioissa.

	v.2020		v.2030		v.2040		v.2050	
	Perus-skenaario	Matalampi talouskasvu	Perus-skenaario	Matalampi talouskasvu	Perus-skenaario	Matalampi talouskasvu	Perus-skenaario	Matalampi talouskasvu
Puu	16061	16362	15367	15486	14772	14688	14207	13892
Turve	74	66	65	53	56	43	47	35
Hiili	3	2	3	1	2	0	2	0
Raskas polttoöljy	520	523	495	502	475	485	455	468
Kevyt polttoöljy	5808	5188	3806	3183	2009	1580	537	513
Maakaasu	694	672	655	622	621	579	587	542
Lämpöpumppuenergia	4480	4387	5801	5518	6687	6176	7196	6431
Aurinkolämpö	24	24	39	39	53	53	68	68
Kaukolämpö	31335	30708	29746	28107	28355	25613	26900	23142
Sähkö	17366	16002	17933	15902	18149	15732	17673	15221
Yhteensä	76365	74011	73910	69629	71179	65299	67672	60779

6.4. Arvio matalamman talouskasvun vaikutuksista perusskenaarioon

Talouskasvun voidaan ajatella vaikuttavan merkittävästi kahteen tekijään: korjaustoiminnan määrään sekä uudistuotantoon. Lisäksi se vaikuttaa epäsuorasti poistuman määrään. Jonkin verran on vaikutusta myös siihen, kuinka energiatehokkaita ratkaisuja valitaan korjausten yhteydessä. Matalamman talouskasvun skenaariossa korjaustoiminta vähenee. Tässä työssä esitetyssä laskelmassa korjaustoiminnan energiansäästövaikutus on noin puolet perusskenaariossa esitetystä tilanteesta. Korjaustoiminnan ollessa vähäisempää matalan talouskasvun skenaariossa energian säästö on siis pienempi, mikä tarkoittaa, että rakennuskannan energiankulutus ei laske yhtä paljon kuin perusskenaariossa.

Hitaamman talouskasvun seurauksena myös uudistuotanto on vähäisempää. Käytännössä siis rakennuskanta kasvaa hitaammin ja näin ollen myös koko kannan kulutus kasvaa hitaammin kuin perusskenaariossa. Uudistuotannon ollessa matalammalla tasolla myös vanhoja rakennuksia korvautuu uusilla, energiatehokkaammilla taloilla vähemmän ja koko kannan tasolla siis hitaammin. Tämän seurauksena rakennuskannan energiankulutus ei vähene niin paljon kuin perusskenaariossa.

Talouskasvun kokonaisvaikutusta rakennuskantaan ja sen energiankulutukseen on haastavaa. Edellä esitetyt muutokset vaikuttavat eri suuntiin. Mainittujen tekijöiden lisäksi talouden muutokset ja kehitys vaikuttaa rakennusteollisuuteen ja ihmisten käyttäytymiseen laajasti esim. energian hintojen ja muutto liikkeen seurauksena, ja sitä kautta myös rakennuskannan energiankulutukseen.

7. Puun polton lisääminen uusissa pientaloissa: vaikutuksen väestön altistumiseen pienhiukkasille

Hengitysilman pienhiukkaset ovat merkittävin ihmisten terveyteen vaikuttava ympäristöhaitta Suomessa (Pekkanen 2010), ja puun pienpoltto on suurin kotimainen pienhiukkasten päästölähde (Savolahti ym. 2015). Päästöjä aiheuttavat keskuslämmityskattilat, varaavat takat ja muut lisälämmityslaitteet, puukiukaat ja virkistyskäyttöön tarkoitettut takat. Suurin osa päästöistä tulee tulisijoista, jotka eivät toimi rakennusten pääasiallisina lämmönlähteinä.

Pienhiukkasille altistuminen aiheuttaa monenlaisia terveyshaittoja, ulottuen ohimenevistä hengitystien oireista kroonisiin sairauksiin ja ennenaikaiseen kuolemaan. Päästöjen aiheuttamaan väestöaltistukseen ja syntyvien terveyshaittojen määrään vaikuttaa oleellisesti päästölähteen sijainti. Taajaman pientaloalueella saman päästömäärän altistusvaikutus on usein yli kertaluokkaa suurempi kuin maaseudulla tai kesämökillä (Paunu 2012).

Tämän raportin perusskenaariossa (luku 4.7) arvioitiin uusien pientalojen takkalisälämmityksestä saadun hyötyenergian olevan keskimäärin 1300–2150 kWh/v, riippuen päälämmitystavasta. Poikkeuksena oli puukattilaa päälämmitysvälineenään käyttävät rakennukset, joissa arvioitiin myös lisälämmityksen puunkäytön olevan selvästi korkeampi. Tällä hetkellä E-luvun laskennassa varaavasta takasta saaduksi hyötylämmitysenergiaksi voidaan lukea korkeintaan 2000 kWh/v (Ympäristöministeriö 2013a).

7.1. Laskentaesimerkki takkälämmityksen lisäämisen päästövaikutuksista

Tässä luvussa tarkastellaan pienhiukkaspäästöjen vaikutusta väestön altistumiseen esimerkkitalanteessa, jossa uusissa pientaloissa lisätään varaavien takkojen käyttöä.

Tarkastelun lähtökohdaksi on otettu, että kaikki varaavan takan sisältävät uudet pientalot saavat siitä hyötylämmitysenergiaa 2000 kWh/v, päälämmitystavasta riippumatta. Tätä kutsutaan Peruslinjaksi ja sen voidaan katsoa kuvaavan tositalannetta riittävällä tarkkuudella. Laskennassa on havainnollistettu tilannetta, jossa E-luvun laskennassa käytetyn maksimimäärän nosto 2000 kWh/v:sta kasvattaisi myös talojen varaavan takan käyttöä vastaavan suuruisesti.

Takallisia pientaloja arvioidaan tulevan käyttöön vuosittain keskimäärin 16 000 kpl aikavälillä 2013–2050. Tarkastelun aloitusvuodeksi valittiin 2013, koska määräykset E-luvun laskemisesta säädettiin silloin. Yllä esitetyn oletuksen mukaisella takkojen käytöllä uudet pientalot saisivat niistä hyötylämmitysenergiaa yhteensä 32 GWh/v. Rakentamismääräyskokoelman D5 (Ympäristöministeriö 2013b) mukaisesti laskennassa on muutettu varaavan tulisijan primäärienergia hyötylämmitysenergiaksi kertoimella 0,6. Tällöin tarkasteltavat uudisrakennukset käyttäisivät puuta 53 GWh/v. Jos tulisijan palamishyötysuhde tiedetään, voidaan sitä käyttää hyötylämmitysenergian kertoimen laskemiseen, jolloin uusissa takoissa päästään lähelle arvoa 0,7. E-luvun nykyisessä laskentamenetelmässä tästä seuraa, että varaavan takan käyttö lisälämmityksessä alentaa E-lukua sähkö-, öljy- tai kaasulämmitteisissä taloissa, mutta ei kauko- tai maalämpöaloissa.

Esimerkissä on laskettu skenaariot, joissa 2012 jälkeen rakennetut pientalot saavat takastaan hyötylämmitysenergiaa 2000 (Peruslinja), 3000 tai 4000 kWh/v vuonna 2050. Lisäksi on tarkasteltu tilannetta, jossa sähkölämmitteiset talot käyttävät takkaansa tuplamäärän (4000 kWh/v mutta muut pientalot 2000 kWh/v).

Syntyvät pienhiukkaset (PM_{2,5}) on laskettu päästökertoimella 48 mg/MJ-poltoaine, perustuen Itä-Suomen yliopiston mittauksiin suomalaisista moderneista varaavista takoista. Päästöt on sijoitettu kartalle 1 km x 1 km ruudukkoon edellisen kymmenen vuoden uusien pientalojen sijaintitietojen mukaisesti.

ti. Skenaariossa talouskehitykseen liittyvien ilmiöiden huomioiminen on haastavaa, tässä esimerkissä esimerkiksi talouskehityksen vaikutusta pientalorakentamiseen ei ole syvällisesti tarkasteltu. Sijoittelun perusteena käytetty ajanjakso sisältää kuitenkin sekä talouden nousu- että laskukauden pientalorakentamistietoja. Skenaarioissa oletetaan, että tulevaisuudessa asuntoja rakennetaan asukastiheydeltään saman tyyppisille alueille, kuin mille on rakennettu eniten viime vuosina.

Päästöistä syntyvät hengitysilman pitoisuudet on laskettu leviämismatriisein (Karvosenoja ym. 2011; Karppinen ym. 1998), hyödyntäen SYKEN FRES-mallia (Karvosenoja 2008). Kun mallinnetut pitoisuudet yhdistetään väestötietoihin, on mahdollista tarkastella väestön altistumista hiukkasille. Tulokset kuvaavat vuosikeskiarvoja tarkasteluvuonna 2050.

7.1.1 Päästö ja väestön altistuminen

Tarkasteltujen rakennusten takoista syntyisi pienhiukkaspäästöjä vuodessa 350–700 tonnia (Taulukko 13), joka vastaisi noin 4–7 % vuoden 2014 kaikista puun pienpolton päästöistä. Vuodelle 2050 ei ole tehty kattavaa pienpolttosektorin päästöarviota, mutta vuosien 2010 ja 2030 välillä pienhiukkaspäästöjen on arvioitu laskevan noin 40 %, jos puunkäyttömäärät laskevat Energia- ja ilmastostrategian (TEM 2013) mukaisesti (Savolahti ym. 2015). Jos puunkäyttö pysyy vuoden 2010 tasolla, päästöt vähenisivät noin 18 %. Päästöennusteisiin vaikuttaa siis oleellisesti puulämmityksen ja takkojen virkistyskäytön suosio, jonka kehitystä on vaikea arvioida, mutta laitekannan modernisoitumisen myötä vuoden 2050 kokonaispäästöjen voidaan pienpolttosektorilla olettaa olevan merkittävästi pienemmät kuin nyt.

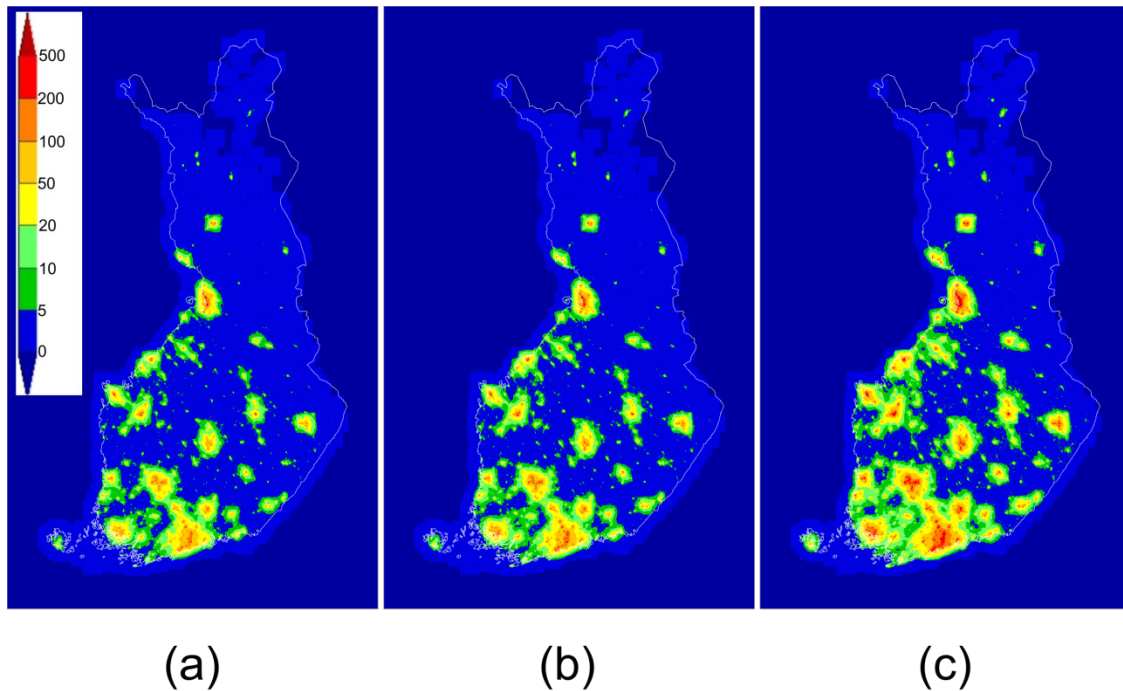
Päästöjen mallinnettu vaikutus hengitysilman pienhiukkaspitoisuuksien kasvuun on esitetty kuvassa 20. Tällä hetkellä mitatut taustapitoisuudet Suomen taajama-alueilla ovat tyypillisesti noin 7–10 µg/m³. Pääasiassa kuvan 20 pitoisuudet ovat tapauksessa a) luokkaa < 0,5 µg/m³ ja tapauksessa c) < 1,3 µg/m³. Päästöt keskittyvät pitkälti isoimpien asutuskeskusten ympärille, ja ne nostaisivat pienhiukkasten taustapitoisuuksia näillä alueilla noin 1–10 %.

Uusien pientalojen ja täten päästöjen sijainnista johtuen myös valtaosa altistumisesta (93 %) tapahtuu taajamissa. Tässä tarkasteltujen pientalojen yhden päästötonnin suhteellinen väestöaltistus on noin puolet suurempi kuin nykyisellä koko pienpolttosektorilla keskimäärin (Paunu 2012). Tämä tarkoittaa, että tarkastellut rakennukset sijaitsevat tyypillisesti tiiviimmin asutuilla alueilla kuin missä valtaosa puun pienpoltosta tapahtuu nyt.

Ilmanlaadun terveysvaikutuksiin keskittyneessä CAFE-ohjelmassa esitettiin karkea arvio, että 1 µg/m³ nousu hengitysilman pienhiukkaspitoisuudessa kasvattaisi ei-tapaturmaisten kuolemantapausten määrää 0.62 % (Hurley ym. 2005). Väestöpainotteinen altistus kuvaa pienhiukkaspitoisuuksien aiheuttamaa altistusta suomalaisille keskimäärin. Tilanteessa, jossa kaikissa tarkastelluissa rakennuksissa lisätään takkojen käyttöä 2000 kWh/v -> 4000 kWh/v, mallinnettu väestöpainotteinen altistus kasvaisi noin 0,06 µg/m³. Yllä mainitun arvion ja vuoden 2014 kuolemansyytilaston (Tilastokeskus 2016b) mukaisesti tämä takkojen käytön lisä aiheuttaisi noin 15 uutta kuolemantapausta vuodessa. Pienhiukkasten on arvioitu aiheuttavan Suomessa noin 1800 ennen aikaista kuolemantapausta vuodessa (Pekkanen 2010).

Taulukko 13. Vuosittaiset pienhiukkaspäästöt eri skenaarioissa 2050.

Skenaario	PM2,5 –päästö [tonnia/v]
Peruslinja, 2 000 kWh/v kaikissa	350
1000 kWh/v lisää kaikkiin	525
2000 kWh/v lisää kaikkiin	700
2000 kWh/v lisää vain sähkölämmitteisiin	425



Kuva 20. Mallinnetut PM_{2,5}-pitoisuudet [ng/m³] vuonna 2050, jos vuoden 2012 jälkeen rakennetut pientalot saavat takasta hyötyenergiaa a) 2000 kWh/v, b) 2000 kWh/v, paitsi sähkölämmitteisissä rakennuksissa 4000 kWh/v ja c) 4000 kWh/v.

7.1.2 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset takkalämmityksen lisäämisestä

Laskentaesimerkin tulosten tulkinnessa on huomioitava, että E-luvun laskentasäännön oletettu vaikutus todelliseen puunkäyttöön on vain teoreettinen ja tarkoituksena on esittää suuruusluokka-arvio potentiaalisista ilmanlaatuvaikutuksista. Merkittävämpiä takkojen lisälämmityskäyttöön vaikuttavia tekijöitä ovat energian hinta, ulkoilman lämpötila ja talojen energiatehokkuus. Myöskään nykyisellä E-luvun laskentajärjestelmällä takkojen hyötylämmön 2000 kWh/v rajan nostaminen ei toisi etua juuri muihin kuin sähkölämmitteisiin taloihin. Käytön tuplaaminen sähkölämmitteisissä taloissa kasvattaisi kokonaiskäyttöä vain noin 20 % (Taulukko 9). Sähkölämmitteisten talojen sijaintia tarkasteltiin myös erillään muista lämmitysmuodoista, mutta niistä syntyvien päästöjen keskimääräinen altistusvaikutus ei eronnut kaikkien pientalojen keskiarvosta.

Epävarmuuksia laskentaan tuovat oletukset uudisrakennusten määrästä ja keskimääräisestä puunkäytöstä. Omakotitalojen rakennusmäärä on esimerkissä arvioitu nykytasoa korkeammaksi. Toisaalta uusien talojen oletetut sijainnit ovat määrästä riippumattomia, jolloin altistusvaikutukset muuttuvat lineaarisesta suhteesta talojen lukumäärään.

Yllä esitettyihin kuolleisuuslukuihin sisältyy myös suuria epävarmuuksia, ja niitä voi pitää vain karkeasti suuntaa-antavina. Toisaalta on kiistatonta näyttöä siitä, että pitkäaikainen pienhiukkasille altistuminen lisää väestön terveyshaittoja, eikä pienhiukkaspitoisuuksille ole löydetty turvallista alarajaa. Päästöistä arviolta 80 % syntyy loka-maaliskuussa, jolloin niistä aiheutuvat pitoisuudet ovat lämmityskaudella kuvan 1 vuosikeskiarvoja korkeammat. Myös paikalliset vuosikeskiarvot esim. pientaloalueella voivat olla selvästi korkeammat kuin 1 x 1 km mallikehikko näyttää. Pienhiukkasten terveysvaikutusten osalta oleellista on kuitenkin pitkäaikaisaltistuminen, jota väestömääriin suhteutetut pitoisuuksien vuosikeskiarvot kuvaavat melko hyvin.

Esimerkin perusteella voidaan todeta, että myös modernien, verrattain vähäpäästöisten varaavien takkojen käytöllä on vaikutusta hengitysilman pienhiukkaspitoisuuksiin. Peruslinjan mukaiset lisälämmityksen päästöt uusissa pientaloissa vaikuttavat jo havaittavasti väestön altistumiseen ja tuovat terveyshaittoja. Kun otetaan lisäksi huomioon, että puun poltosta syntyy myös kasvihuonekaasuja ja muita

ilmastoon vaikuttavia päästöjä, kuten ilmakehää lämmittäviä nokihiukkasia, on ympäristövaikutusten kannalta perustellumpaa keskittyä rakennusten energiantarpeen vähentämiseen kuin puupolttoaineiden käytön lisäämiseen.

8. Näkökohtia perusskenaarion muodostamisen kehittämiseen

8.1. Tilastoinnin kehittäminen

Energiatilastojen taulujen tulkinta osoittautui työn aikana hankalaksi erityisesti sellaisten energiamuotojen kannalta, joissa on aggregoitu useita eri kulutuseriä (esim. sähkö tai puu) tai jos kulutuseriä on eritelty ja esitetty eri tauluissa (esim. laitesähkö palvelurakennuksissa). Tulkintaa hankaloittaa myös tapahtuneet ja odotettavissa olevat tilastomuutokset. Tulevaisuuden tilastomuutoksiin vaikuttavat mm. erilaiset raportointivelvoitteet ja niissä tapahtuvat muutokset. Erityisen hankalaksi osoittautui palvelurakennusten laitesähkö, koska käytännössä siihen voidaan sisällyttää sellaista kulutusta, joka ei liity rakennukseen, vaan esim. tuotantoon. Lisäksi tilastoissa on nk. kaatoluokkia, joihin on koottu sekalaisia kulutuseriä, esim. katuvalaistusta jne. Tilastojen dokumentaatio tai taulujen yhteydessä julkaistut selitykset ovat joskus myös puutteellisia tai monitulkintaisia, joten on vaikea arvioida mitä kaikkea tauluihin on sisällytetty. Näiden hankaluuksien vuoksi yhteistyötä Tilastokeskuksen kanssa olisi hyvä tehdä myös jatkossa tiiviisti, jotta mallinnustyö ja laskennat olisivat tarpeen mukaan verrattavissa tilastoihin. Tällainen yhteistyö ja tietojen käytettävyys edellyttää, että Tilastokeskuksella on riittävästi resursseja laadukkaaseen tilastotyöhön.

8.2. Rakennuskantaennuste

Rakennuskannan mallintamisessa yksi pääelementti on kantaennusteen muodostaminen. Rakennuskannan koko ja lämmitystapajakauma vaikuttavat merkittävästi mallintamalla saatuun rakennusten energiankulutuksen kehitykseen. Toistaiseksi eri tutkimuksissa, selvityksissä ja organisaatioissa on ollut eroavia käytäntöjä kantaennusteen muodostamisessa. Lisäksi ennusteessa kysynnän ja tarjonnan alueellinen eroavaisuus on ollut haastavaa huomioida. Kansallisella tasolla vertailukelpoisuuden varmistamiseksi energia- ja ilmastostrategian ja muissa vastaavissa skenaariotöissä tulisi käyttää samoin periaattein muodostettuja kantaennusteita. Rakennuskannan kehityksen ennustamisen tulisi olla jatkuva prosessi, joka perustuisi siihen, että aluksi muodostetaan asianmukaiset perusteet ennusteen muodostamiseksi, ja päivitystyö tapahtuisi perusmuuttujia virittämällä, kun uutta tietoa saadaan esim. tilastoista. Perusteellisempi kantaennusteen päivitys voisi tulla kyseeseen 5–10 vuoden välein.

Rakennusten poistuman ennustamiseen tarvitaan lisätutkimusta, sillä aiemmat ennusteet ovat jo osin vanhentuneita. Poistuma on tässä työssä arvioitu karkeasti, eikä poistumaprosentin kehitysennustetta ole muodostettu. Asuinrakennusten poistuma on asuinrakennusten osalta tämänhetkinen keskimääräinen poistuma (Heljo ym. 2012). Pientalojen osalta se on suurella todennäköisyydellä suurempi ja kerrostalojen osalta pienempi. Teoriassa eri laskelmien mukaan poistumaprosentti tulisi nousemaan tulevaisuudessa 0,5–1 % välille ennen vuotta 2050, jos oletetaan rakennusten poistuvan saman ikäisinä kuin tällä hetkellä. Todennäköisesti poistumisikä kuitenkin kasvaa.

Kantaennustetta voidaan muodostaa tilavuuteen tai pinta-alaan pohjautuen. Tässä työssä ennuste muodostettiin kuutioperusteisesti. Pinta-alaperusteinen laskenta on kuitenkin yleistymässä, sillä rakennusten energialaskenta olisi tarkoituksenmukaista tehdä neliöperusteisesti. Nykyisellään on olemassa joitakin muuntokertoimia asuinrakennuksille. Tarvittavat muuntokertoimet olisi tärkeää sopia kansallisella tasolla, jotka olisivat tarkistettu ja määritetty viimeisimmän tiedon mukaan. Tällaiset yhteisesti määritetyt ”viralliset” muuntokertoimet voitaisiin määrittää käyttämällä tilasto- ja rekisteritietoja (esim. rakennus- ja huoneistorekisteri). Lisäksi olisi tärkeää määrittää tarkasti mitä pinta-alaa (kerrosala, brutto neliöt, jne.) tarkoitetaan missäkin tilanteessa. Nykyisellään muuntokertoimien käyttö ja dokumentointi

neliöperusteisten ja kuutioperusteisten laskelmien välillä on sekavaa, mikä aiheuttaa muunnosvirheitä tuoden epätarkkuutta laskelmiin sekä hankaloittaa laskelmien vertailua.

Perusteelliseen kantaennusteen periaatteiden muodostamiseen, käytettävien muuntosuhteiden yhtenäistämiseen ja poistuman tarkempaan ennustamiseen tarvitaan uusia hankkeita ja tutkimusta, jossa kantaennusteen muodostamisen peruseriaatteet ja päivitysohjeistus muodostettaisiin yhteistyössä useiden eri tahojen kanssa.

8.3. Lämpöpumput

Toissijaisina käytettävien lämpöpumppujen energiankulutuksen ja -tuotannon ennustaminen on haastavaa. Lämpöpumppuja käytetään osittain korvaamaan tai täydentämään päälämmitysmuodon käyttöä mutta toisaalta niitä voidaan myös käyttää kesäisin rakennuksen jäähdyttämiseen. Lisäksi lämpöpumput ovat tyypillisesti teholtaan alimitoitettuja, mikä vaikuttaa energiankulutukseen. Energiatilastoissa lämpöpumput käsitellään laskennallisesti perustuen SULPUn tietoihin ja arvioituihin vuosituottoihin. Energiankulutusta voidaan arvioida todennäköisyyksien ja kertoimien avulla, mutta se on haastavaa, koska mitattua tietoa on vain vähän saatavilla.

Lämpöpumpuissa nykyisin käytettävät kylmäaineet ovat pääasiassa fluorattuja kasvihuonekaasuja (F-kaasut). F-kaasujen käyttöä ja niihin liittyvää toimintaa säädellään EU:ssa F-kaasusetuksen (N:o 517/2014) avulla. Kansallisten raportointivelvoitteiden puitteissa myös F-kaasujen käytöstä muodostetaan kehitysennuste. SYKE vastaa raportoinnista ja ennusteen muodostamisesta F-kaasujen osalta, jossa myös huomioidaan ilmastoinnin jäähdytyslaitteet. Tämän vuoksi on tärkeää, että rakennuksissa käytettävien lämpöpumppujen ja tarvittaessa myös ilmastoinnin jäähdytyslaitteiden kehitysennuste olisi yhdenmukainen lämpöpumppujen F-kaasuskenaarioiden kanssa.

9. Yhteenveto ja päätelmät

Tässä raportissa esitetty työ jakaantuu kahteen osaan: rakennuskannan energiankäytön ennustamiseen ja puun pienpolton lisäämisen tarkasteluihin. Rakennuskannan energiankäytön osalta tehtiin ennuste peruskehityksestä ja lisäksi matalamman talouskasvun ennuste.

9.1. Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario

Työn ensimmäisessä osassa tuotettiin rakennustyypeittäin perusskenaarion mukainen tarkastelu, joka jatkaa tulevaisuuteen energiatilastojen lukuja vuodesta 2015 aina vuoteen 2050. Energiankulutus on esitetty sekä hankitun energian tasolla että hyötyenergiana, ja ne on käsitelty samalla periaatteella kuin energiatilastoissa.

Varsinaisten asuinrakennusten (pientalot, rivi- ja ketjutalot, asuinkerrostalot) hankitun energian määrässä on pieni laskeva trendi, mutta energiantarve pysyy oleellisesti samalla tasolla tarkasteluajan jaksolla.

Rakennuksista eniten energiaa käyttävät pientalot, joissa on myös monipuolisin päälämmitystapaja-kauma sekä toissijaisia lämmitysmuotoja ja erilaisia lämmityksen hybridiratkaisuja. Pientaloissa tapahtuvien lämmitystapamuutosten myötä öljyn käyttö loppuu käytännössä vuoteen 2050 mennessä. Aurinkolämmön kehitykselle muodostettiin maltillinen lineaariseen kasvuun perustuva ennuste.

Puun käyttö pientaloissa vähenee kokonaisuudessa mutta takkojen käyttö kasvaa. Nykyisessä rakennuskannassa puun lisälämmityskäyttö vähenee rakennusten poistuman ja korjausrakentamisesta tulevan lämmitystarpeen vähenemisen myötä. Pientaloissa varaava takka tai muu tulisija on yleinen lisälämmityslaite. Perusskenaariossa mallitettua takkojen käytön kasvua tukee viimeaikainen trendi, jossa puun käyttö on noussut 2000-luvulla sekä kysely (Torvelainen, 2009), jossa ihmiset ovat kertoneet lisäävänsä tulevaisuudessa puun käyttöä.

Palvelurakennusten kokonaisenergian tarpeessa on laskeva trendi, joka selittyy energiatehokkuuden paranemisella sekä ilmaston lämpenemisen tuoman lämmitystarpeen vähenemisellä. Vapaa-ajan asuinrakennusten energiantarve taas lisääntyy mökkien sähkönkäytön lisääntyessä.

Muun kuin lämmityssähkön merkitys rakennuskannassa kasvaa voimakkaasti. Joissakin uusissa palvelurakennuksissa muun kuin lämmityssähkön määrä voi olla jo puolet koko energiankäytöstä. Sähkön käyttöä tunnetaan kuitenkin erittäin huonosti nykyisellään varsinkin palvelurakennusten osalta. Lisäksi käyttöä kuvaava terminologia ja tilastointi on epäyhtenäistä, mikä vaikeuttaa rakennusten sähkönkäytön ja siten energiankäytön kokonaiskuvan muodostamista.

Rakennuskanta ennuste (pl. vapaa-ajan asuinrakennukset) muodostettiin käyttämällä päivitettäviä perusmuuttujia. Tässä työssä ei tehty perusskenaariossa poistumaprosentin kehitysennustetta, joten poistuma ja uudistuotanto ovat todennäköisesti liian vähäisiä, mutta oletukset eivät vaikuta kannan kokonaisuuteen. Lämmitysenergian kulutuksen osalta energian kulutus voi ennusteessa olla hieman liian korkea, koska uusien vähemmän energiaa kuluttavien rakennusten osuus jää pienemmäksi. Sähkön kulutuksen (muu kuin lämmityssähkö) osalta oletetuilla poistumalla ja uudistuotannolla ei todennäköisesti ole suurta vaikutusta.

Alemman talouskasvun ennusteessa talouden kasvuna on käytetty noin 1–1,5%/v. Rakennuskannan energiankulutuksen arvioimiseksi matalamman talouskasvun skenaariossa tehtiin laskelma, jossa uudistuotanto, poistuma ja korjausrakentamisen määrä arvioitiin ja sen perusteella mallitettiin energiankulutus kuten perusskenaariossa. Koko kannan energiankulutus on matalamman talouskasvun skenaariossa noin 10 % alhaisempi kuin perusskenaariossa v. 2050. Vaikka perusskenaariossa ja matalamman talouskasvun ennusteessa käytetyt rakennuskantaennusteet sekä korjausrakentamisen määrään arvio on muodos-

tettu eri menetelmillä, talouskasvun vaikutusta rakennuskannan energiankulutukseen voidaan kuitenkin saada suuntaviivaa tehtyjen laskentojen perusteella.

9.2. Puun pienpolton lisääminen uudisrakennuksissa

Toiseksi työssä tarkasteltiin puun pienpolton lisäämisestä aiheutuvia pienhiukkaspäästöjä ja niiden vaikutusta väestöaltistukseen. Laskentaesimerkin perusteella voidaan todeta, että myös modernien, verrattain vähäpäästöisten varaavien takkojen käytöllä on vaikutusta hengitysilman pienhiukkaspitoisuuksiin. Peruslinjan mukaisessa tarkastelussa kaikki varaavan takan sisältävät uudet pientalot saavat siitä hyötylämmitysenergiaa 2000 kWh/v päälämmitystavasta riippumatta. Peruslinjan lisälämmityksen päästöt uusissa pientaloissa vaikuttavat jo havaittavasti väestön altistumiseen ja tuovat terveyshaittoja. Kun otetaan lisäksi huomioon, että puun poltosta syntyy myös kasvihuonekaasuja ja muita ilmastoon vaikuttavia päästöjä, kuten ilmakehää lämmittäviä nokihiukkasia, on ympäristövaikutusten kannalta perustellumpaa keskittyä rakennusten energiantarpeen vähentämiseen kuin puupolttoaineiden käytön lisäämiseen.

Liite 1 Korjaustoiminnan säästöt rakennustyypeittäin

Taulukoihin L1.1-L1.5 on koottu kumulatiivinen korjaustoiminnalla saavutettu energiatarpeen vähenemä [GWh] rakennustyypeittäin poikkileikkausvuosina. Negatiivinen luku tarkoittaa säästyvää energiaa. Taulukon L1.4 näkyvä vapaa-ajan asuinrakennusten energiankulutuksen lisäys (positiiviset luvut) johtuvat perusparannuksesta aiheutuvasta peruslämmönkulutuksesta.

Taulukko L1.1 Pientalojen korjaustoiminnan tuoma energiatarpeen muutos (GWh) poikkileikkausvuosina perusskenaariossa. Negatiivinen luku tarkoittaa säästyvää energiaa (energiatarve pienenee).

Päälämmitysmuoto	2020	2030	2040	2050
Puulämmitys	-75,2	-184,5	-296,6	-412,2
Kevyt polttoöljy (POK) -lämmitys	-51,9	-109,8	-146,9	-160,5
Raskas polttoöljy (POR) -lämmitys	0,0	0,0	-0,1	-0,1
Maakaasulämmitys	-2,2	-5,3	-8,5	-11,8
Kivihiili, koksi, turve tms. -lämmitys	-1,3	-3,2	-5,3	-7,6
Sähkölämmitys	-164,7	-405,2	-653,4	-911,2
Kaukolämpölämmitys	-39,5	-110,1	-199,5	-310,6
Maalämpölämmitys	-62,9	-222,1	-472,4	-827,5
Muu lämmitys	-2,5	-9,0	-19,7	-35,0

Taulukko L1.2 Rivi- ja ketjutalojen korjaustoiminnan tuoma energiatarpeen muutos (GWh) poikkileikkausvuosina perusskenaariossa. Negatiivinen luku tarkoittaa säästyvää energiaa (energiatarve pienenee).

Päälämmitysmuoto	2020	2030	2040	2050
Puulämmitys	-0,6	-1,5	-2,4	-3,3
Kevyt polttoöljy (POK) -lämmitys	-3,6	-9,5	-15,1	-20,5
Raskas polttoöljy (POR) -lämmitys	0,0	0,0	0,0	0,0
Maakaasulämmitys	-1,0	-2,5	-3,9	-5,3
Kivihiili, koksi, turve tms. -lämmitys	0,0	0,0	-0,1	-0,1
Sähkölämmitys	-23,1	-62,3	-102,5	-143,6
Kaukolämpölämmitys	-52,3	-147,2	-252,5	-369,4
Maalämpölämmitys	-4,1	-14,5	-29,7	-50,3
Muu lämmitys	-0,3	-1,0	-1,7	-2,7

Taulukko L1.3 Asuinkerrostalojen korjaustoiminnan tuoma energiatarpeen muutos (GWh) poikkileikkausvuosina perusskenaariossa. Negatiivinen luku tarkoittaa säästyvää energiaa (energiantarve pienenee).

Päälämmitysmuoto	2020	2030	2040	2050
Puulämmitys	-1,0	-2,7	-4,3	-5,9
Kevyt polttoöljy (POK) -lämmitys	-13,4	-35,3	-56,5	-77,2
Raskas polttoöljy (POR) -lämmitys	-1,8	-4,9	-7,8	-10,6
Maakaasulämmitys	-2,9	-7,4	-11,8	-15,9
Kivihiili, koksi, turve tms. -lämmitys	-0,1	-0,3	-0,5	-0,9
Sähkölämmitys	-6,2	-16,6	-27,1	-37,7
Kaukolämpölämmitys	-360,3	-1013,6	-1738,6	-2542,8
Maalämpö-lämmitys	-1,5	-5,7	-12,1	-20,9
Muu lämmitys	-0,2	-0,6	-0,9	-1,3

Taulukko L1.4 Vapaa-ajan asuinrakennusten korjaustoiminnan tuoma energiatarpeen muutos (GWh) poikkileikkausvuosina perusskenaariossa. Negatiivinen luku tarkoittaa säästyvää energiaa (energiantarve pienenee).

Päälämmitysmuoto	2020	2030	2040	2050
Puulämmitys	-6,3	-18,7	-33,8	-52,2
Kevyt polttoöljy (POK) -lämmitys	-0,2	-0,6	-1,1	-1,6
Raskas polttoöljy (POR) -lämmitys	0,0	0,0	0,0	0,0
Maakaasulämmitys	0,0	0,0	0,0	0,0
Kivihiili, koksi, turve tms. -lämmitys	0,0	0,0	0,0	0,0
Sähkölämmitys	145,4	385,4	621,8	853,6
Kaukolämpölämmitys	0,0	-0,1	-0,3	-0,6
Maalämpö-lämmitys	-0,1	-0,3	-0,5	-0,8
Muu lämmitys	-0,6	-1,8	-3,2	-4,9

Taulukko L1.5 Palvelurakennusten korjaustoiminnan tuoma energiatarpeen muutos (GWh) poikkileikkausvuosina perusskenaariossa. Negatiivinen luku tarkoittaa säästävää energiaa (energiatarve pienenee).

Päälämmitysmuoto	2020	2030	2040	2050
Puulämmitys	-6,7	-14,9	-21,8	-27,6
Kevyt polttoöljy (POK) -lämmitys	-77,3	-171,9	-249,8	-311,9
Raskas polttoöljy (POR) -lämmitys	0,0	-0,2	-0,4	-0,6
Maakaasulämmitys	-1,1	-4,2	-8,8	-15,1
Kivihiili, koksi, turve tms. - lämmitys	-0,3	-0,7	-1,0	-1,2
Sähkölämmitys	-36,6	-94,4	-159,0	-230,9
Kaukolämpölämmitys	-329,1	-829,5	-1374,8	-1976,2
Maalämpö-lämmitys	-6,6	-26,7	-61,1	-111,8
Muu lämmitys	-12,4	-34,4	-60,8	-91,7

Liite 2 Rakennusten hankittu energia perusskenaariossa

Taulukoihin L2.1-L2.5 on koottu rakennustyypeittäin hankittu energia perusskenaariossa. Sähkö sisältää sähköpäälämmityksen, saunojen hyötyenergian ja lämmityslaitteiden käyttämän sähkön ja lämpöpumppujen käyttämän sähkön. Lämpöpumppuenergia vastaa lämpöpumppujen tuottoa, josta on vähennetty niiden käyttämä sähkö. Puu sisältää puupäälämmityksen, lisälämmitykset ja puukiukaat.

Taulukko L2.1 Pientalojen hankittu energia (GWh/v) poikkileikkausvuosina perusskenaariossa (Kuvan 10 tiedot).

Energialähde	2020	2030	2040	2050
Puu	13108	12562	12100	11670
Turve	40	34	28	22
Hiili	3	3	2	2
Raskas polttoöljy	0	0	0	0
Kevyt polttoöljy	2809	1694	714	0
Maakaasu	97	86	77	68
Lämpöpumppuenergia	3817	4963	5696	6078
Aurinkolämpö	24	39	53	68
Kaukolämpö	2380	2523	2654	2752
Sähkö	10441	10916	11122	10681
Yhteensä	32719	32820	32447	31341

Taulukko L2.2 Rivi- ja ketjutalojen hankittu energia (GWh/v) poikkileikkausvuosina perusskenaariossa (Kuvan L2.2 tiedot).

Energialähde	2020	2030	2040	2050
Puu	133	125	118	111
Turve	1	1	1	1
Hiili	0	0	0	0
Raskas polttoöljy	0	0	0	0
Kevyt polttoöljy	215	176	141	107
Maakaasu	75	66	57	49
Lämpöpumppuenergia	239	275	309	339
Aurinkolämpö	0	0	0	0
Kaukolämpö	3027	2907	2808	2704
Sähkö	1885	1785	1699	1609
Yhteensä	5575	5335	5133	4922

Taulukko L.2.3 Asuinkerrostalojen hankittu energia (GWh/v) poikkileikkausvuosina perusskenaariossa (Kuvan L2.3 tiedot).

Energialähde	2020	2030	2040	2050
Puu	83	76	70	64
Turve	5	6	7	7
Hiili	0	0	0	0
Raskas polttoöljy	86	76	67	59
Kevyt polttoöljy	585	511	444	381
Maakaasu	153	136	122	107
Lämpöpumppuenergia	58	71	83	93
Aurinkolämpö	0	0	0	0
Kaukolämpö	13954	13457	13041	12590
Sähkö	2285	2290	2254	2217
Yhteensä	17210	16623	16088	15519

Taulukko L.2.4 Vapaa-ajan asuinrakennusten hankittu energia (GWh/v) poikkileikkausvuosina perusskenaariossa (Kuvan L.2.4 tiedot).

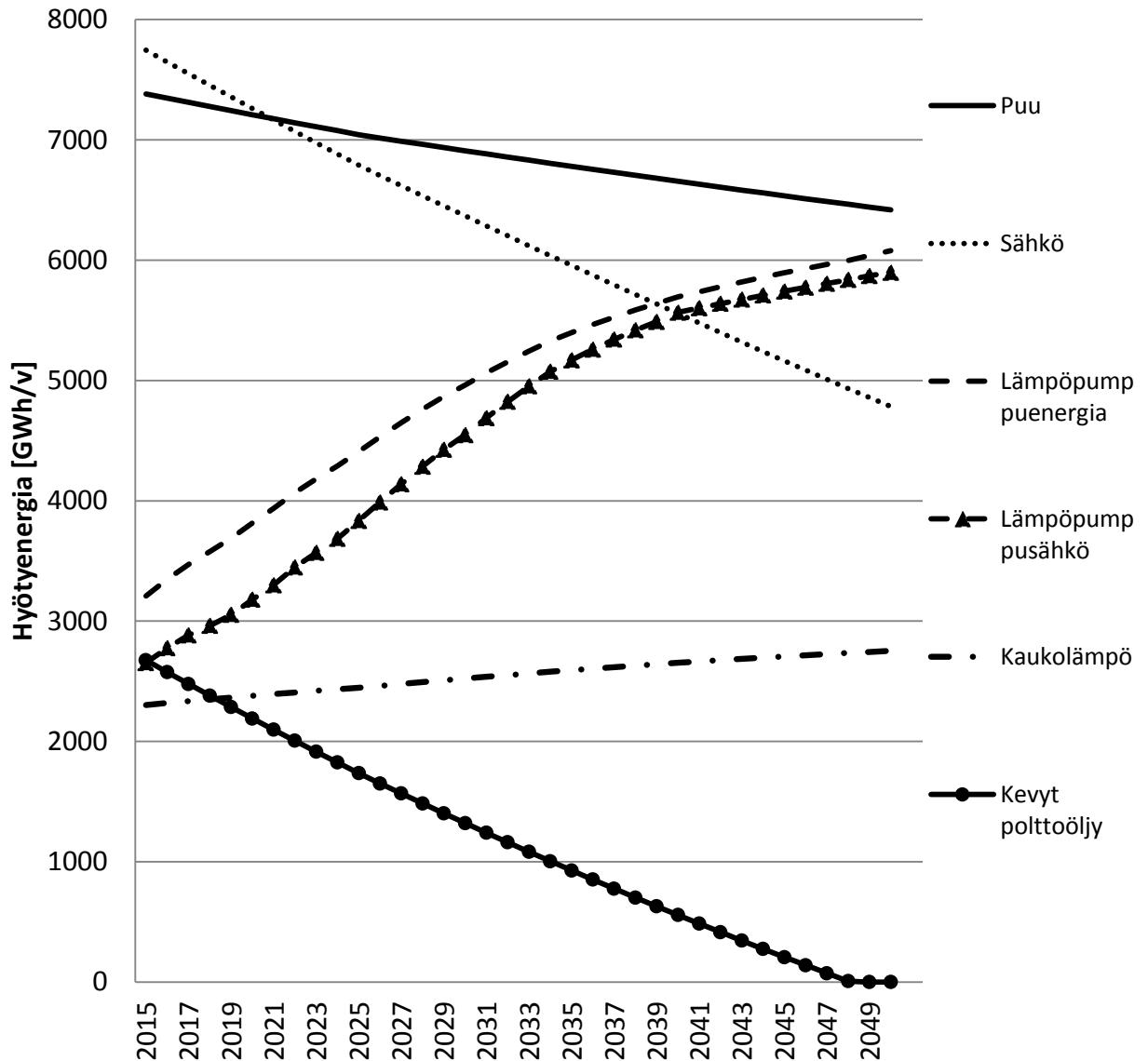
Energialähde	2020	2030	2040	2050
Puu	1888	1851	1815	1773
Turve	0	0	0	0
Hiili	0	0	0	0
Raskas polttoöljy	0	0	0	0
Kevyt polttoöljy	55	53	51	49
Maakaasu	1,1	1,1	1,1	1,1
Lämpöpumppuenergia	62	82	91	89
Aurinkolämpö	0	0	0	0
Kaukolämpö	2	2	2	1
Sähkö	950	1325	1637	1909
Yhteensä	2958	3314	3596	3822

Taulukko L2.5 Palvelurakennusten hankittu energia (GWh/v) poikkileikkausvuosina perusskenaariossa (Kuvan L2.5 tiedot).

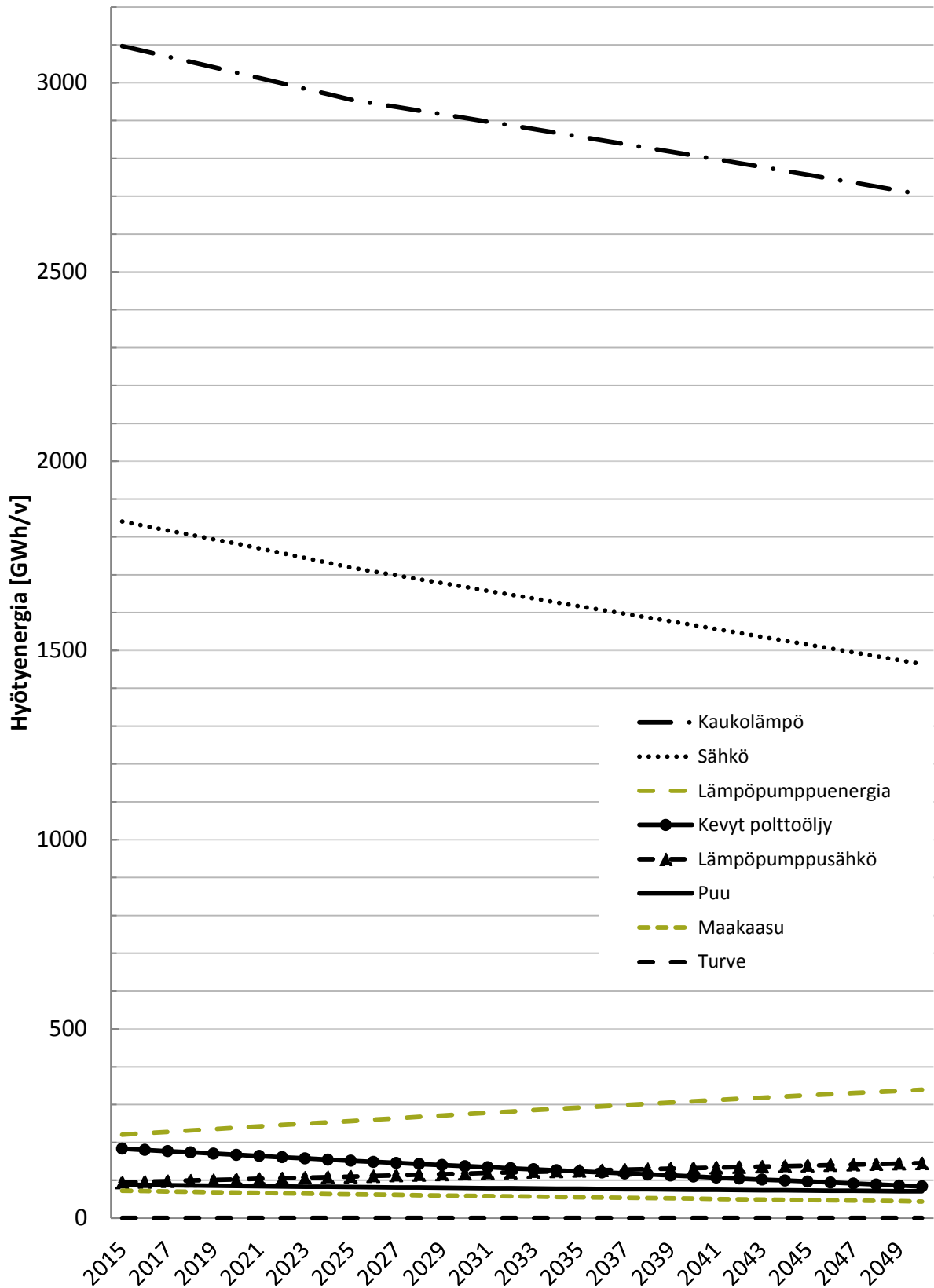
Energialähde	2020	2030	2040	2050
Puu	848	753	669	589
Turve	27	23	20	16
Hiili	0	0	0	0
Raskas polttoöljy	434	419	408	396
Kevyt polttoöljy	2144	1373	659	0
Maakaasu	368	365	364	362
Lämpöpumppuenergia	305	410	508	597
Aurinkolämpö	0	0	0	0
Kaukolämpö	11973	10858	9851	8852
Sähkö	1805	1617	1437	1257
Yhteensä	17904	15818	13915	12068

Liite 3 Rakennusten hyötyenergia perusskenaariossa

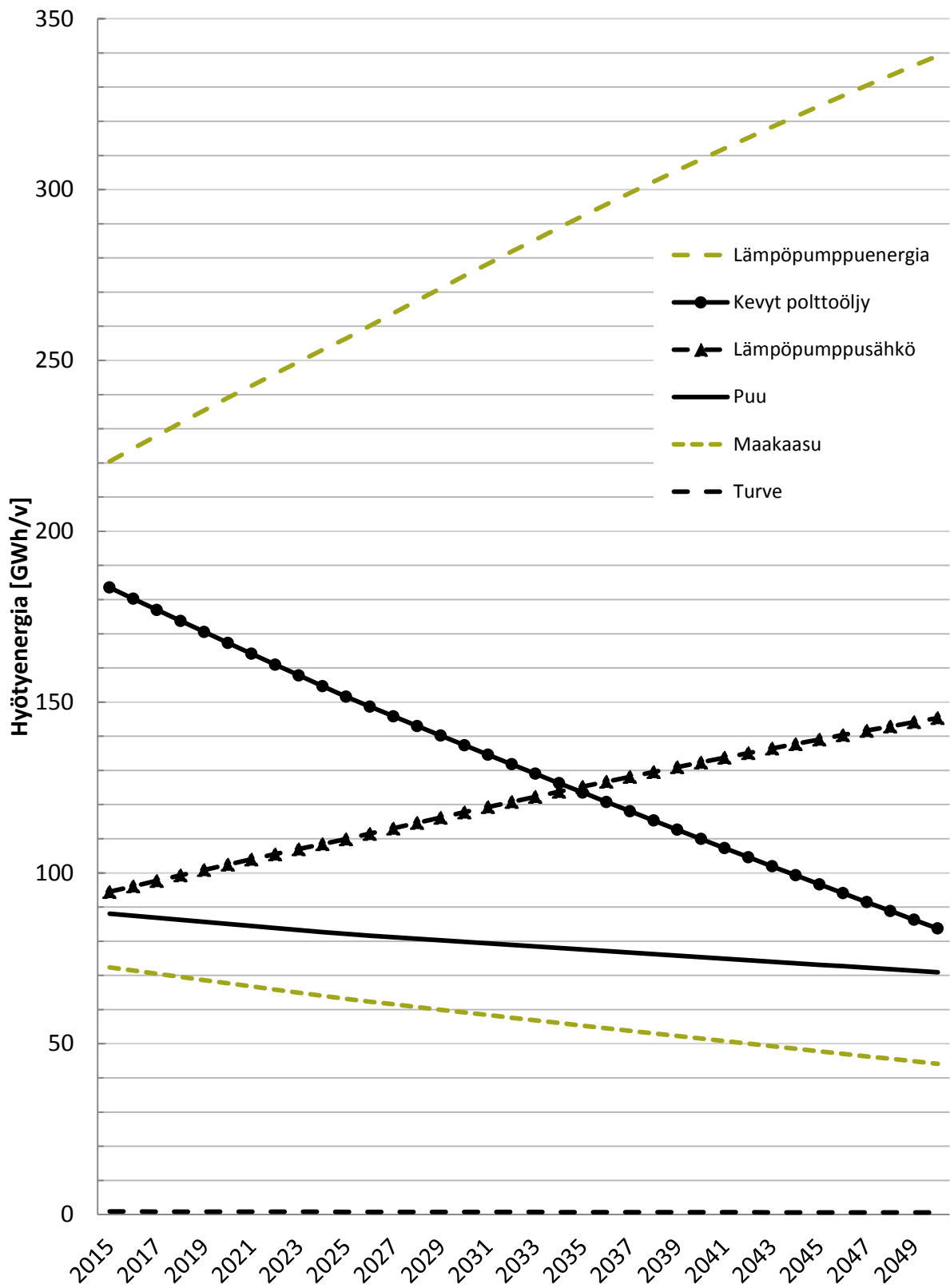
Kuviin L3.1-L3.7 ja taulukoihin L3.1-L3.5 on koottu rakennustyypeittäin hyötyenergia perusskenaariossa. Sähkö sisältää sähköpäälämmityksen, saunojen hyötyenergian ja lämmityslaitteiden käyttämän sähkön. Lämpöpumppuenergia vastaa lämpöpumppujen tuottoa, josta on vähennetty niiden käyttämä sähkö. Lämpöpumppujen käyttämä sähkö on eritelty. Puu sisältää puupäälämmityksen, lisälämmitykset ja puukiukaat.



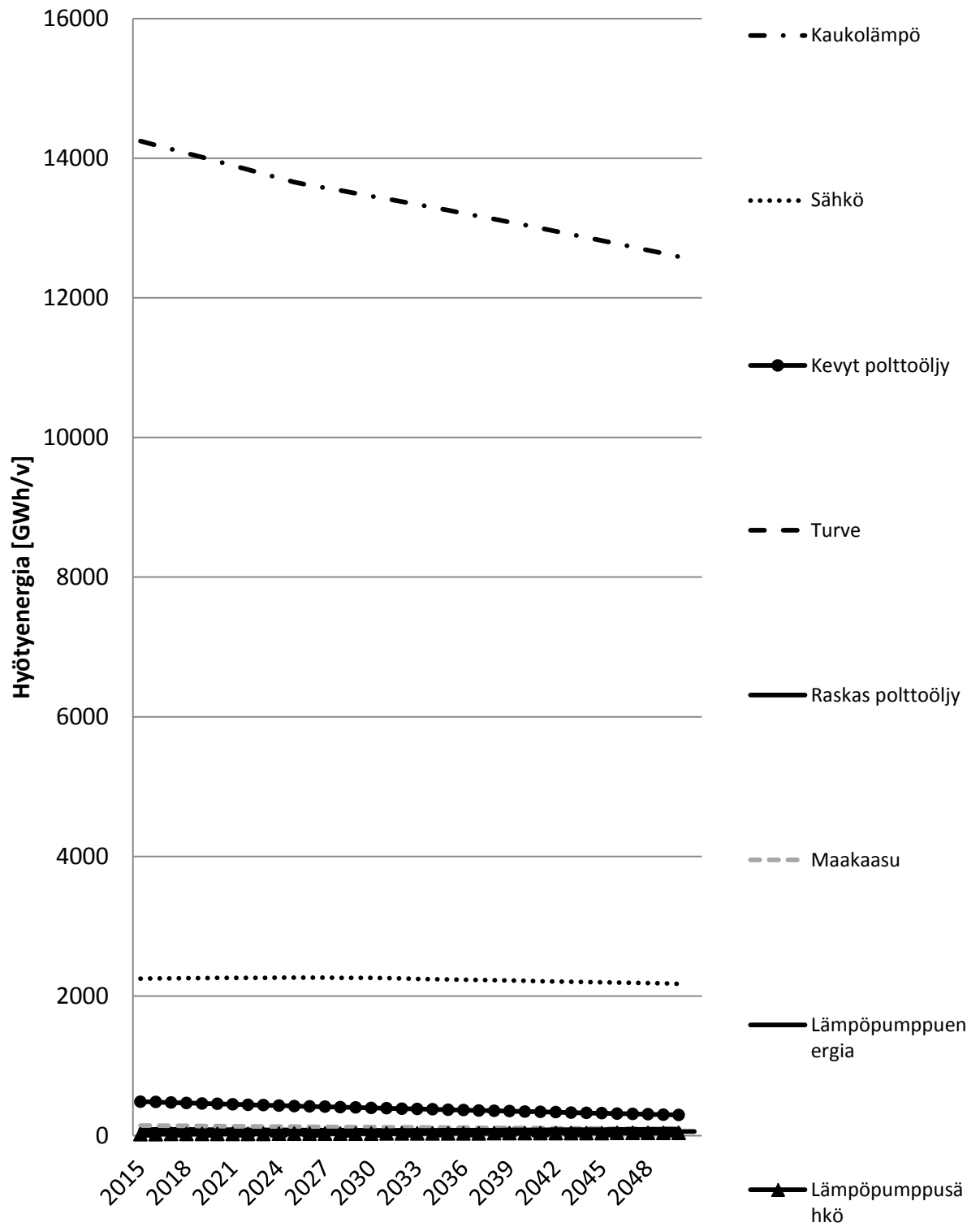
Kuva L3.1. Pientalojen hyötyenergia perusskenaariossa.



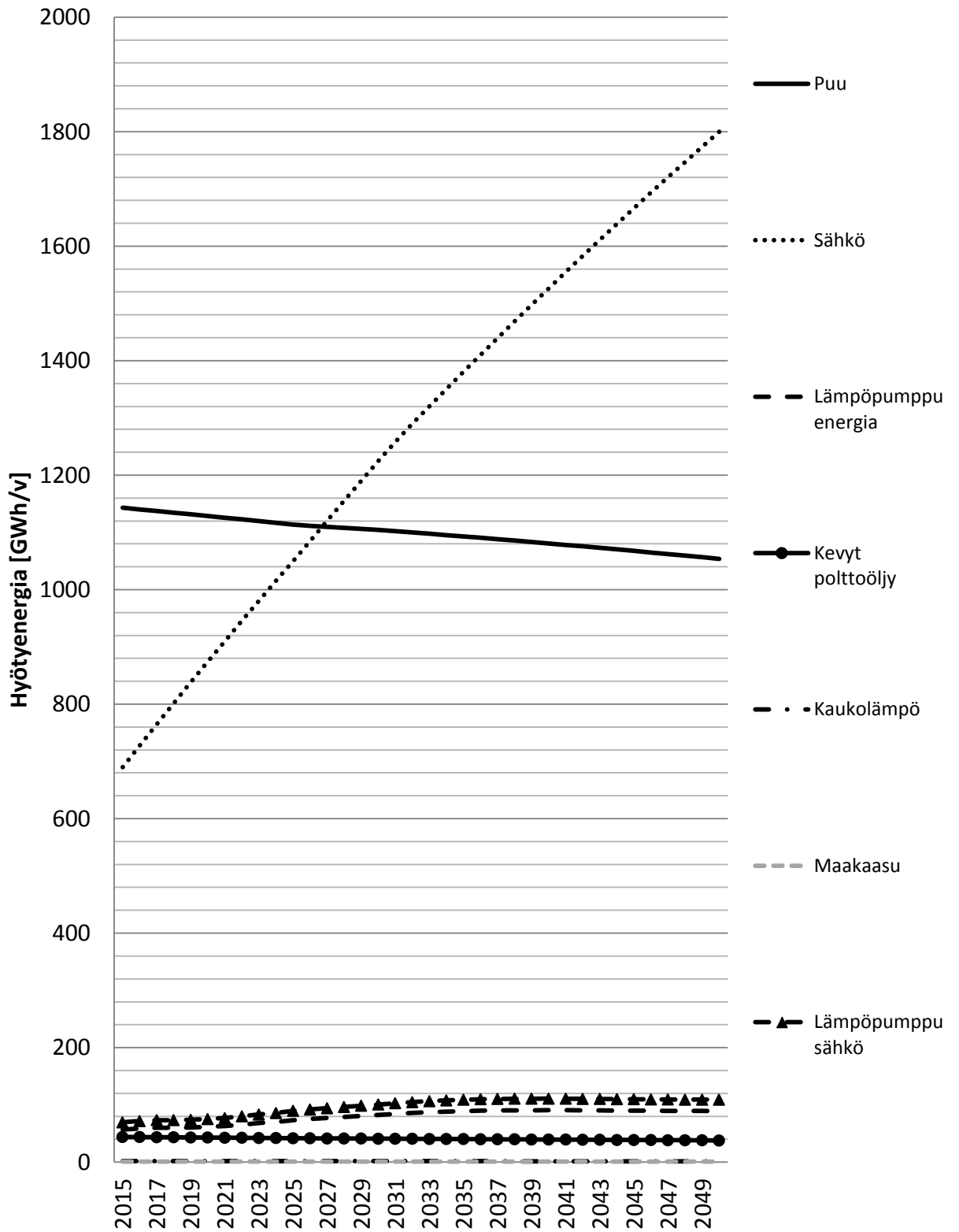
Kuva L3.2. Rivi- ja ketjutalojen hyötyenergia perusskenaariossa. Muut kuin kaukolämpö ja sähkö on esitetty tarkemmin kuvassa L3.3.



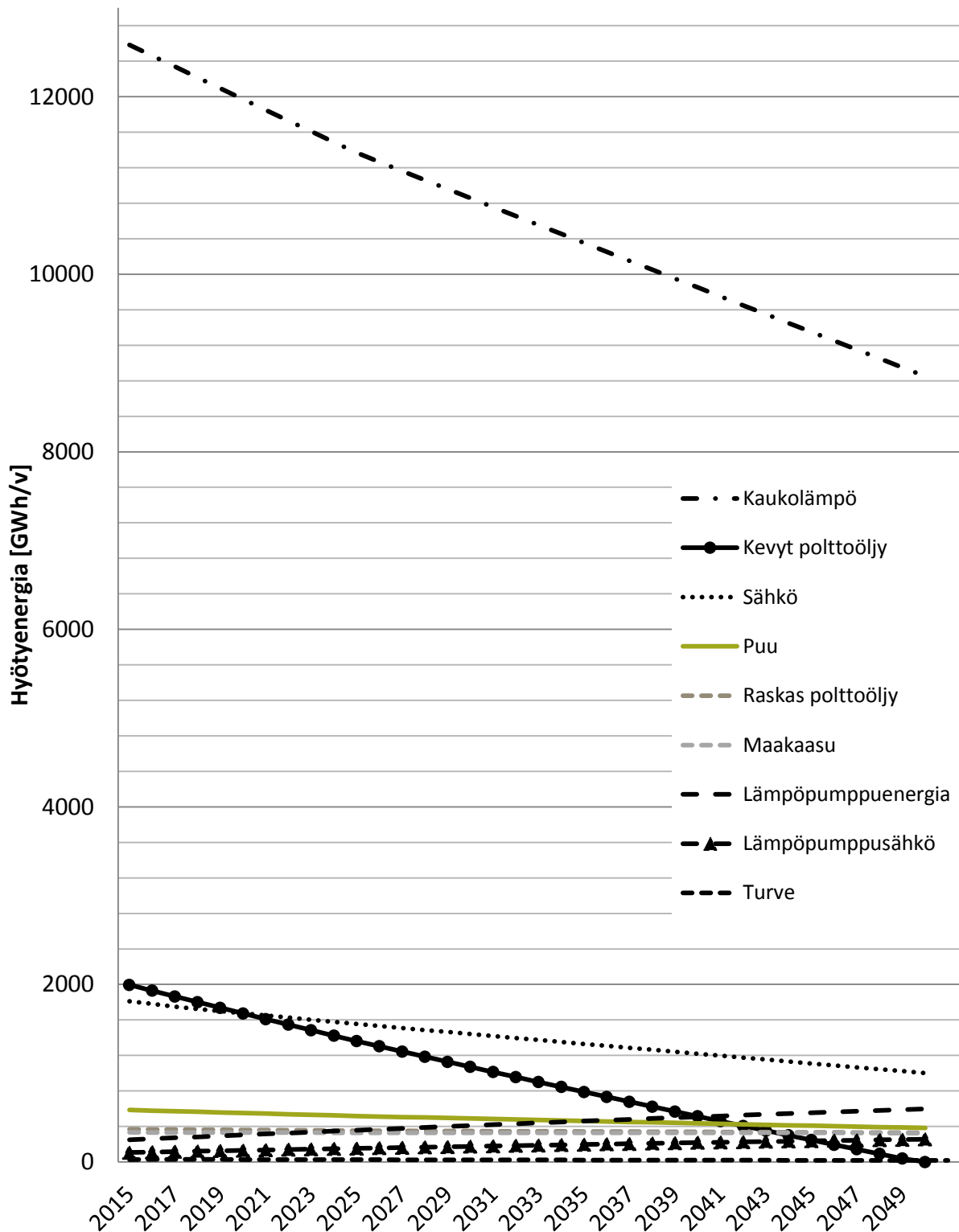
Kuva L3.3. Rivi- ja ketjutalojen hyötyenergia perusskenaariossa (pl. kaukolämpö ja sähkö, jotka esitetty kuvassa L3.2).



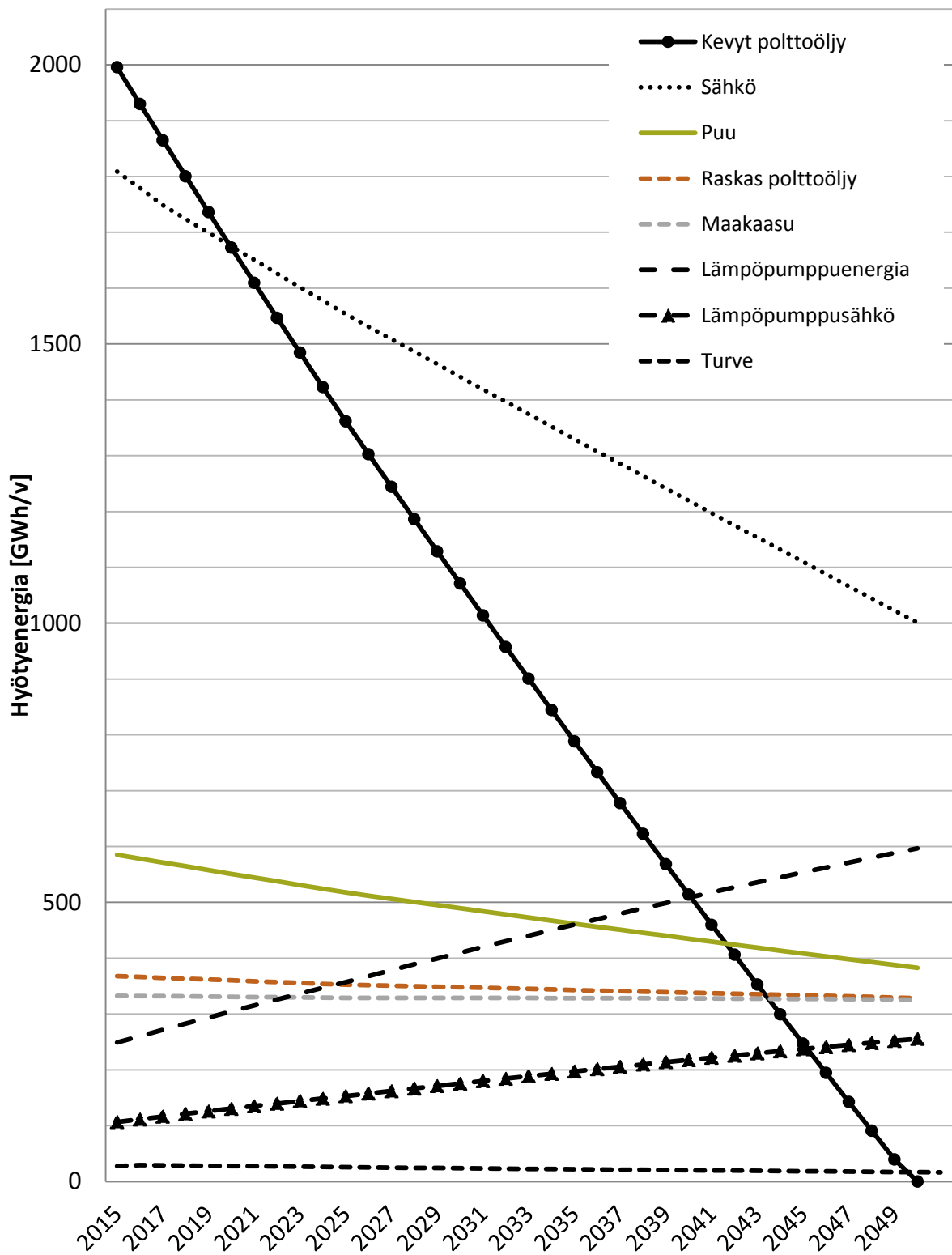
Kuva L3.4. Asuinkerrostalojen hyötyenergia perusskenaariossa.



Kuva L3.5. Vapaa-ajan asuinrakennusten hyötyenergia perusskenaariossa.



Kuva L3.6. Palvelurakennusten hyötyenergia perusskenaariossa. Muut kuin kaukolämpö on esitetty tarkemmin kuvassa L3.7.



Kuva L3.7. Palvelurakennusten hyötyenergia perusskenaariossa (pl. kaukolämpö, joka esitetty kuvassa L3.6).

Taulukko L3.1 Pientalojen hyötyenergia (GWh/v) poikkileikkausvuosina perusskenaariossa (Kuvan L3.1 tiedot).

Energialähde	2020	2030	2040	2050
Puu	7209	6909	6655	6418
Turve	24	20	17	13
Hiili	2	2	1	1
Raskas polttoöljy	0	0	0	0
Kevyt polttoöljy	2191	1321	557	0
Maakaasu	87	78	69	61
Lämpöpumppuenergia	3817	4963	5696	6078
Aurinkolämpö	24	39	53	68
Kaukolämpö	2380	2523	2654	2752
Sähkö	7261	6368	5556	4783
Lämpöpumppusähkö	3179	4548	5566	5898

Taulukko L3.2 Rivi- ja ketjutalojen hyötyenergia (GWh/v) poikkileikkausvuosina perusskenaariossa (Kuvan L3.2 tiedot).

Energialähde	2020	2030	2040	2050
Puu	85	80	75	71
Turve	1	1	1	1
Hiili	0	0	0	0
Raskas polttoöljy	0	0	0	0
Kevyt polttoöljy	167	137	110	84
Maakaasu	68	59	51	44
Lämpöpumppuenergia	239	275	309	339
Aurinkolämpö	0	0	0	0
Kaukolämpö	3027	2907	2808	2704
Sähkö	1782	1668	1567	1464
Lämpöpumppusähkö	102	118	132	145

Taulukko L3.3 Asuinkerrostalojen hyötyenergia (GWh/v) poikkileikkausvuosina perusskenaariossa (Kuvan L3.4 tiedot).

Energialähde	2020	2030	2040	2050
Puu	49	45	41	37
Turve	3	4	4	4
Hiili	0	0	0	0
Raskas polttoöljy	71	63	56	49
Kevyt polttoöljy	456	398	347	297
Maakaasu	138	123	109	97
Lämpöpumppuenergia	58	71	83	93
Aurinkolämpö	0	0	0	0
Kaukolämpö	13954	13457	13041	12590
Sähkö	2260	2259	2218	2177
Lämpöpumppusähkö	25	30	36	40

Taulukko L3.4 Vapaa-ajan asuinrakennusten hyötyenergia (GWh/v) poikkileikkausvuosina perusskenaariossa (Kuvan L3.5 tiedot).

Energialähde	2020	2030	2040	2050
Puu	1129	1104	1081	1054
Turve	0	0	0	0
Hiili	0	0	0	0
Raskas polttoöljy	0	0	0	0
Kevyt polttoöljy	43	41	39	38
Maakaasu	1	1	1	1
Lämpöpumppuenergia	62	82	91	89
Aurinkolämpö	0	0	0	0
Kaukolämpö	2	2	2	1
Sähkö	875	1225	1526	1800
Lämpöpumppusähkö	75	101	111	109

Taulukko L3.5 Palvelurakennusten hyötyenergia (GWh/v) poikkileikkausvuosina perusskenaariossa (Kuvan L3.6 tiedot).

Energialähde	2020	2030	2040	2050
Puu	551	489	435	383
Turve	16	14	12	10
Hiili	0	0	0	0
Raskas polttoöljy	360	348	338	329
Kevyt polttoöljy	1673	1071	514	0
Maakaasu	331	329	328	326
Lämpöpumppuenergia	305	410	508	597
Aurinkolämpö	0	0	0	0
Kaukolämpö	11973	10858	9851	8852
Sähkö	1675	1441	1219	1001
Lämpöpumppusähkö	131	176	218	256

LÄHTEET

Adamiak, C., Vepsäläinen, M., Strandell, A., Hiltunen, M., J., Pitkänen, K., Hall C., M., Rinne, J., Hannonen, O., Paloniemi, R. & Åkerlund, U., 2015, Vapaa-ajan asuminen Suomessa, Asukas- ja kuntakyselyn tuloksia vapaa-ajan asumisen nykytilasta ja kehittämistarpeista, Suomen ympäristökeskuksen raportteja 22/2015.

Forecon Oy 2016. Rakentamisen kehitys vuoteen 2050 matalan talouskasvun skenaariossa. 18.5.2016.

Gaia Oy 2014. Lämpöpumppuinvestointien alue- ja kansantaloudellinen tarkastelu. Raportti 6.11.2014. <http://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/L%C3%A4mp%C3%B6pumppuinvestointien%20alue-%20ja%20kansantaloudellinen%20tarkastelu%20-%20raportti.pdf> [luettu 26.4.2016.]

Heljo, J. & Vihola, J. 2005. Rakennusten energiankulutus ja CO₂-ekv päästöt Suomessa. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakentamistalouden laitos. Raportti 2005:4. http://webhotel2.tut.fi/ee/Materiaali/Ekorem/EKOREM_Loppuraportti_051214.pdf [luettu 26.4.2016.]

Heljo, J. & Vihola, J. 2012. Energiansäästömahdollisuudet rakennuskannan korjaustoiminnassa. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. 84 s.

Heljo, J. & Vihola, J. 2016. Rakennuskannan energiankäytön ja kasvihuonekaasupäästöjen kehittyminen. Energiapoliittista päätöksentekoa palveleva simulointi- ja ennakointimalli POLIREM politiikkatoimien vaikutusten arviointiin ja seurantaan. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos. Käsikirjoitus

Heimonen, I. 2011. Aurinko-opas 2012. Aurinkolämmön ja –sähkön energiantuoton laskennan opas. <http://www.ym.fi/download/noname/%7BF4F73E83-56AF-4112-AD7B-0E1F1804D38B%7D/30750> [luettu 26.4.2016.]

Hilden M., Karvosenoja N., Koskela S., Kupiainen K., Liski J., Manninen K., Paunu V.-V., Repo A. & Savolahti M. 2013. Kansallisen energia- ja ilmastostrategian päivityksen ympäristövaikutusten arviointi. Suomen ympäristökeskus 19.3.2013

Hurley F., Hunt A., Cowie H., Holland M., Miller B., Pye S. & Watkiss P. 2005. Service Contract for Carrying out Cost-Benefit Analysis of Air Quality Related Issues, in particular in the Clean Air for Europe (CAFE) Programme. Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE: Volume 2: Health Impact Assessment.

Ilmatieteen laitos 2016. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut> [luettu 28.4.2016.]

Hänninen O., Leino O., Kuusisto E., Komulainen H., Meriläinen P., Haverinen-Shaugnessy U., Miettinen I. & Pekkanen J. 2010. Elinympäristön altisteiden terveysvaikutukset Suomessa. Ympäristö ja Terveys -lehti 3/2010. s. 12-35.

Karppinen A., Kukkonen J., Nordlund G., Rantakrans E. & Valkama I. 1998. A dispersion modelling system for urban air pollution. Finnish Meteorological Institute, Publications on air quality 28, Helsinki.

Karvosenoja N. 2008. Emission scenarios model for regional air pollution. Väitöskirja. Monographs Boreal Environment Research 32.

Karvosenoja N., Kangas L., Kupiainen K., Kukkonen J., Karppinen A., Sofiev M., Tainio M., Paunu V.-V., Ahtoniemi P., Tuomisto J. T. & Porvari P. 2011. Integrated modeling assessments of the population exposure in Finland to primary PM_{2.5} from traffic and domestic wood combustion on the resolutions of 1 and 10 km. Air Quality, Atmosphere & Health 4:179–188.

Kasanen, P., Heljo, J., Lund, P., Mäenpää, I. & Nippala, E. 1997. Energiansäästöpolitiikan tuloksellisuuden arviointi. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 11/1997. Helsinki 1997. 209 s.

Makkonen J., Tuomi S., Gröndahl T. & Myllynen M. 2012. Tulisijojen käyttö ja päästöt pääkaupunkiseudun pientaloista. Helsingin seudun ympäristöpalvelut.

Motiva 2015. Tutkittua energiansäästöä ilmalämpöpumpulla. Elvari-hankkeen julkaisu, http://www.motiva.fi/files/5427/Tutkittua_energiansaastoa_ilmalampopumpulla.pdf [luettu 26.4.2016.]

Motiva 2016. Palvelusektorin ominaiskulutuksia, Sähköenergian vuosittaisia rakennustyyppikohtaisia ominaiskulutuksia (kWh/r-m³) raportoidussa palvelusektorin rakennuskannassa. http://www.motiva.fi/files/10851/Ominaiskulutus_Sahko.pdf, [luettu 29.4.2016.]

- Paunu V-V. 2012. Emissions of residential wood combustion in urban and rural areas of Finland. Diplomityö.
- Pekkanen J. 2010. Elin- ja työympäristön riskit Suomessa. Ympäristö ja Terveys-4 lehti 3:2010.
- Pirinen, P., Simola, H., Nevala, S., Karlsson, P. & Ruuhela, R. 2014. Ilmastonmuutos ja lämmitystarveluku paikkatietoarvioina Suomessa, Ilmatieteenlaitos, raportteja 2014:3. <http://hdl.handle.net/10138/135722> [luettu 29.4.2016.]
- Rakennustutkimus RTS Oy 2016a. Kooste: omakotitalojen lämmityksen muutosvirrat.
- Rakennustutkimus RTS Oy 2016b. Sähköposti tutkimuspäällikkö Jari Toivonen 17.2.2016. [Jari Toivoselta saadut täsmennykset toimitettuun aineistoon.]
- Rakennustutkimus RTS Oy 2016c. Suomirakentaa markkinakatsaus 2/2016. https://issuu.com/suomirakentaa/docs/suomirakentaa_markkinakatsaus_2_201 [luettu 28.4.2016].
- Rytkönen, A. & Kirkkari A-M., (toim.) 2010. Vapaa-ajan asumisen ekotehokkuus. Helsinki, Ympäristöministeriö. 122 s.
- Savolahti M., Karvosenoja K., Kupiainen K. & Paunu V-V. 2015. Pienpolton päästövähennyskeinojen kustannustehokkuus ja vaikutukset väestöaltistukseen. Suomen ympäristökeskus.
- SULPU (Suomen lämpöpumppuyhdistys) 2016. Sähköpostit Jussi Hirvonen, 11.2.2016 ja 19.2.2016.
- SYKE (Suomen ympäristökeskus) 2016. Perusurran muuttujien kehitys 2005-2050. http://www.ymparisto.fi/-FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Yhdyskuntarakenne/Tietoa_yhdyskuntarakenteesta/Taajamien_kehitys_20052020 [luettu 20.4.2016.]
- TEM 2013. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle. VSN 2/2013. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto. 8/2013
- TEM 2016. Sähköposti, ylitarkastaja Bettina Lemström 14.1.2016. [Bettina Lemströmilä saadut tiedot laskennan parametreista]
- Tilastokeskus 1994. Rakennusluokitus 1994. <http://www.tilastokeskus.fi/meta/luokitukset/rakennus/001-1994/index.html> [luettu 20.4.2016.]
- Tilastokeskus 2015. Väestö ikäryhmittäin koko maa 1900-2060 (vuodet 2020-2060: ennuste). http://stat.fi/til/vaenn/2015/vaenn_2015_2015-10-30_tau_001_fi.html [luettu 26.4.2016.]
- Tilastokeskus 2016a. Sähköposti Jonna Hakala 9.2.2016.
- Tilastokeskus 2016b. Liitetaulukko 1a. Kuolleet peruskuolemansyyn ja iän mukaan 2014, molemmat sukupuolet. http://www.stat.fi/til/ksyyt/2014/ksyyt_2014_2015-12-30_tau_001_fi.html [luettu 26.4.2016.]
- Tilastokeskus 2016c. Energia 2015 –taulukkopalvelu. Eräiden polttoaineiden ja energialähteiden kulutuksen jakautuminen, 2.12 Aurinkoenergia. http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2015/html/suom0001.htm [luettu 26.4.2016.]
- Tilastokeskus 2016d. Energia 2015 – taulukkopalvelu. Asuin- ja palvelurakennusten lämmityksen hyötyenergia, 7.2.: http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2015/html/suom0001.htm [luettu 26.4.2016.]
- Torvelainen J. 2009. Metsätalastiedote: pientalojen polttopuun käyttö 2007/2008. Metsäntutkimuslaitos. Metsätalastollinen tietopalvelu.
- Vainio, T., Belloni, K. & Jaakkonen, L. 2012. Asuntotuotanto 2030. Asuntotuotantotarpeeseen vaikuttavia tekijöitä. Espoo 2012. VTT Technology 2. 33 s. + liitt. 17 s.
- Vehviläinen, I., Pesola, A., Heljo, J., Vihola, J., Jääskeläinen, S., Kalenoja, H., Lahti, P., Mäkelä, K. & Ristimäki, M., 2010. Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt. Sitran selvityksiä 39.
- Ympäristöministeriö 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Määräyksen ja ohjeet 2012, D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. http://www.ymparisto.fi/-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma [luettu 26.4.2016]

Ympäristöministeriö 2013a. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 176/2013.

Ympäristöministeriö 2013b. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012.

Ympäristöministeriö 2013c. Laskentaliite ympäristöministeriön asetuksen ”rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä”. <http://www.ym.fi/download/noname/%7BE6B413C1-DAB5-4433-9D0F-F4C81AC6EF00%7D/31398> [luettu 26.4.2016.]

