

Energiaskenaarioiden järjestelmävaikutukset ja niiden taloudelliset, ympäristölliset ja yhteiskunnalliset seuraukset

Juha Vanhanen, Iivo Vehviläinen, Mikko Halonen ja Anna Kumpulainen
Gaia Consulting Oy

Sisällysluettelo

Esipuhe	3
Summary	4
1 Johdanto	6
2 Tarkasteltavat skenaariot	8
2.1 "Energiateollisuuden visio" -skenaario	8
2.2 "Tehokkuuskumous"-skenaario – VNK A	11
2.3 "Omassa vara parempi"-skenaario – VNK C	13
2.4 "Teknologia ratkaisee" -skenaario – VNK D	14
3 Menetelmäkuvaus	17
3.1 Tarkastelun lähtökohdat	17
3.2 Käytettävät lähtötiedot ja määritelmät	17
3.3 Tarkastelukehikko ja laskentaperiaatteet	18
4 Skenaarioiden laskennalliset järjestelmävaikutukset	21
4.1 Rakennusten lämmitysenergia	21
4.2 Liikenteen energiankulutus ja liikenne-järjestelmät	30
4.3 Energiantuotantojärjestelmä	36
4.4. Energian siirto- ja jakelujärjestelmät	43
5 Taloudelliset seuraukset	47
5.1 Investointitarpeet	47
5.2 Investointien rahoitus	51
5.3 Energian kustannuskehitys ja hinnoittelu	53
5.4 Vaikutuksia markkinoihin ja liiketoimintaan	57
5.5 Kilpailu puusta	58
6 Ympäristölliset seuraukset	59
6.1 Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys	59
6.2 Vaikutukset ilman laatuun	62
6.3 Biodiversiteetti ja muita ympäristövaikutuksia	63
7 Yhteiskunnalliset seuraukset	65
7.1 Infrastruktuuri-investointien vaikutus työllisyyteen	65
7.2 Aluekehitys ja yhteiskunnallinen hyväksyttävyyys	68
8 Tapaustutkimus: Pääkaupunkiseutu	71
8.1 Perusskenaario ja herkkystarkastelut	71
8.2 Rakennusten lämmitysenergia	72
8.3 Liikenne	73
8.4 Energiajärjestelmät	75
8.5 Vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin	76
9 Yhteenveto ja johtopäätökset	78
Liite A: Laskennan lähtötietoja	82
Liite B: Skenaarioiden kuvaukset	86

Esipuhe

Suomi on sitoutunut kasvihuonekaasupäästöjen merkittäviin leikkauksiin kansainvälisillä ja kansallisilla tavoitteilla, jotka kohdistuvat mm. vuosille 2012, 2020 ja 2050. Erityisen kunnianhimoisen tavoite on valtioneuvoston tulevaisuusselonteon 80 %:n vähennys päästöissä vuoteen 2050 mennessä. On selvä, että näihin tavoitteisiin pääseminen edellyttää monia samanaikaisesti edistyviä rinnakkaisia toimenpiteitä kaikilla keskeisillä alueilla, joita ovat ainakin uudisrakentaminen, korjausrakentaminen sekä keskitetty ja hajautettu energiantuotanto. Jotta sanoista päästäisiin tekoihin, tarvitaan yhteiskunnallista keskustelua ja päätöksiä siitä, mitä toimenpiteitä, missä järjestyksessä ja laajuudessa on tarkoituksenmukaista tehdä. Koska päästövähennyksiä voidaan osoitetusti saada aikaan hyvinkin erilaisilla teknisillä ratkaisuilla, tarvitaan tällaiseen arvovalintojakin sisältävään ja eri sektoreita koskevaan yhteiskunnalliseen keskusteluun hyvät taustatiedot vaihtoehtoisten ratkaisujen vaikuttavuudesta, kustannuksista ja yhteiskunnallisista seurannaisvaikutuksista.

Tässä selvityksessä on pyritty tuottamaan sellaisia taustatietoja, joita voidaan hyödyntää etsittäessä Suomen kannalta parhaita ratkaisuja. Hankkeessa on tarkasteltu, mitä erilaiset tulevaisuuden energiaskenaariot tarkoittavat järjestelmätasolla ja infrastruktuurien rakentamistarpeiden osalta. Työn tuloksena on pystytty esittämään eri kehityspolkujen taloudellisia, ympäristöllisiä ja yhteiskunnallisia vaikutuksia. Selvityksen on laatinut Gaia Consulting Oy, ja sitä ovat rahoittaneet Sitran Energiaohjelma ja Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Selvityksen tekijät ja rahoittajat uskovat, että tulosten perusteella voidaan käydä laadukasta keskustelua päästöleikkausten vaatimista toimenpiteistä ja investoinneista sekä tehdä eri toimenpiteitä vertailevia jatkotarkasteluja ja löytää oikeat, kokonaisvaltaisesti parhaiten Suomeen soveltuvat ratkaisut toteutettaviksi.

Helsingissä 30.4.2010

Jarek Kurnitski

Johtava asiantuntija, rakennettu ympäristö
Energiaohjelma
Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra

Summary

Shift to low carbon economy requires significant investments to energy infrastructures. This study has analyzed the effects of approx 80 % GHG emission reductions in the Finnish context by 2050. The analysis has focused on energy related changes in buildings and transportation as well as in energy production and distribution. The study has been based on the scenario works by the Finnish Prime Minister's Office and the Finnish Energy Industries. The objective of the study has been to identify the most relevant infrastructure changes, and assess their economical, environmental and social implications.

Depending on the scenario, cumulative energy related infrastructure investments vary from 100 to 150 billion euro by 2050. This corresponds to annual investments of 2.5–3.7 billion euro on average from 2010 to 2050. The highest infrastructure investments are related to energy efficiency improvements in the existing building stock, investments to new electricity production capacity and the enlargement of current railway infrastructure.

In the building sector, energy efficiency investments have been studied both in the existing building stock and in new buildings. The cumulative energy efficiency investments in buildings can be up to 40 billion euro by 2050. The main challenges in the building sector are to find effective market mechanisms to support energy efficiency investments and to find cost-efficient renovation innovations for the existing buildings.

One variable in the scenarios is the need of transport. Scenarios with significant transportation needs require cumulative investments of approx 10 billion euro for larger road network and higher upkeep need. In transportation, modal shift from road to rail seems to require even higher investments; depending on the scenario from 10 to 20 billion euro by 2050. Furthermore, if diesel and internal combustion engine cars will be replaced totally by electric cars by 2050, cumulative investments of approx 5 billion euro are needed for building comprehensive charging infrastructure.

Cumulative investments to low carbon electricity production capacity are in the range of 30–60 billion euro by 2050. Based on the known investment plans, the electricity capacity investments are similarly high in all the scenarios in 2010's. Thereafter the differences between scenarios are significant depending on the development of electricity consumption. Regardless of the scenario, assumed investments to new production capacity imply a higher electricity price in the future. As a result, the electricity cost for the national economy will increase to 6–11 billion euro by 2050. The high variation is mainly due to different electricity consumption of the scenarios. In any case, the increase is significant in comparison to the average annual level of approx 3 billion euro in the 2000's.

This study included a case study of the energy infrastructure effects in the Helsinki region. The results of the case study indicate that significant GHG emission reductions can be achieved by 2030. However, this requires decisive measures and sizeable investments in all the relevant sectors. In energy production, investments of approx 2–3 billion euro are needed by 2030. The requirements for energy efficiency investment in the building sector can be up to 2–4 billion euro in the same timeframe. Furthermore, investments in the transportation sector, taking into account the road and railway investments and the charging infrastructure for electric cars, are roughly in the same level.

The results of this study show that significant infrastructure investments are needed to achieve a low carbon future. In practice, this means higher energy prices and increased costs in the transportation and building sectors. On the other hand, investments in energy efficiency can decrease energy costs in the long term. The financing of infrastructure investments is expected to be carried out either by consumers, enterprises or the society. More detailed studies are needed to analyze various financing options as well as to develop new and innovative funding solutions.

Depending on the scenario, infrastructure investments can create 40 000–50 000 jobs in the sectors studied. Furthermore, infrastructure investments can indirectly create new jobs in other sectors and also enhance technology development and the export of climate technologies. On the other hand, some of the new job opportunities can come at the cost of reduced employment elsewhere. A more comprehensive analysis of the employment effects in the Finnish context would also be beneficial.

All scenario studies contain numerous assumptions and uncertainties. The most interesting and significant areas, which contain uncertainties, are the cost-efficient solutions of energy efficient renovations, cost-benefit analysis of railways to reduce GHG emissions and more accurate studies of the costs of new technologies, such as wind power, CCS technology and electric cars. Therefore, it is recommended to launch further studies in these sectors in order to better understand the cost and uncertainties related to these issues in the future.

1 Johdanto

Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastategiassa¹, Valtioneuvoston tulevaisuusselonteossa ilmasto- ja energiapolitiikasta² sekä Energiateollisuus ry:n Visiossa³ on pohdittu tehokkaimpia ilmastonmuutoksen hillintätoimia ja energian roolia. Käyty keskustelu on painottunut energian kulutuksen kokonaismäärään ja vaihtoehtoihin energiatuotantotapoihin. Selvästi vähemmälle huomiolle ovat jääneet eri skenaarioiden järjestelmätason vaikutukset sekä niiden taloudelliset, ympäristölliset ja yhteiskunnalliset seuraukset.

Tässä hankkeessa on pureuduttu neljään kasvihuonekaasupäästöjen kannalta keskeiseen järjestelmätason osa-alueeseen, jotka ovat energiantuotantojärjestelmä, energian siirto- ja jakelujärjestelmät, rakennukset ja niiden lämmitysenergian tarve sekä liikennejärjestelmä ja sen energiankulutus. Tämän hankkeen tavoitteena on selvittää, millaisia muutostarpeita edellä mainittuihin infrastruktuureihin liittyy erilaisissa skenaarioissa. Erityisesti tässä hankkeessa on tarkoituksena selvittää eri kehityspolkujen taloudelliset, ympäristölliset ja yhteiskunnalliset seuraukset.

Taloudellisten vaikutusten osalta hankkeessa tarkastellaan ensisijassa infrastruktuurien vaatimia investointeja, niiden rahoittamista, vaikutuksia energian hintaan sekä laajemminkin vaikutuksia liiketoimintaympäristöön. Ympäristöllisten vaikutusten osalta tarkastellaan kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä sekä vaikutuksia ilman laatuun ja biodiversiteettiin. Yhteiskunnallisten vaikutusten osalta tarkastellaan erityisesti vaikutuksia työllisyyteen, aluekehitykseen ja yhteiskunnalliseen hyväksyttävyyteen.

Hankkeen tulokset palvelevat sekä infrastruktuurien kanssa tekemisissä olevia yksityisiä yhtiöitä että julkisia toimijoita, jotka vastaavat infrastruktuurien kehittämisestä ja niihin liittyvästä lainsäädännöstä. Työn tulosten perusteella voidaan arvioida millaisia investointitarpeita eri tulevaisuudenkuvat vaativat ja miten liiketoimintaympäristö muuttuu. Ylipäätään energiatulevaisuuden järjestelmävaikutukset tulevat toteutumaan maailmanlaajuisten trendien saattamana pitkän ajan kuluessa. Päätökset järjestelmäinvestointien suunnasta tehdään kuitenkin jo lähivuosina.

Hankkeessa hyödynnetään sellaisenaan osaa aiemmin tehdyistä Valtioneuvoston kanslian tuottamista skenaariosta (VNK:n skenaariot) ja ET:n luomaa hiilineutraalia visiota vuodelle 2050 (ET:n Visio). Tulevaisuusselonteon mukaan VNK:n skenaarioiden tarkoitus on tuoda keskusteluun esimerkkejä mahdollisista vähäpäästöisistä poluista todeten, että jokaisessa VNK:n skenaariossa on omat vahvuutensa ja haasteensa, eikä niistä valita yhtä toteutettavaksi. ET:n Visio on puolestaan yhteenvedo siitä, mitä Energiateollisuus ry:n tavoittelee. Täten ET:n Visio ja VNK:n skenaariot eivät ole suoraan rinnasteisia keskenään. Tässä hankkeessa sekä ET:n Visioon että VNK:n skenaarioihin viitataan kuitenkin skenaarioina. Valitut skenaariot ja erityisesti

¹ Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastategia, Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008

² Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta: kohti vähäpäästöistä Suomea, Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 28/2009.

³ Haasteista mahdollisuuksia – sähkön ja kaukolämmön hiilineutraali visio vuodelle 2050, Energiateollisuus, 2009.

niiden infrastruktuurimuutokset on kuvattu lyhyesti luvussa 2. Lisäksi liitteessä B on esitetty yhteenvetotaulukko skenaarioiden keskeisistä ominaispiirteistä. Tarkastelu-horisontti ulottuu vuoteen 2050 asti.

Hankkeessa käytettävä tarkastelukehikko ja laskentaperiaatteet on esitetty luvussa 3. Luvun alussa on kuvattu tarkastelun lähtökohdat, käytettävät lähtötiedot sekä laskennassa käytettävien keskeisten termien määritelmät. Peruslähtökohtana on, että laskennassa hyödynnetään mahdollisimman paljon skenaarioiden tuottamaa aineistoa ja tätä täydennetään tarvittaessa tarkentavilla laskentaoletuksilla. Tämän lisäksi hankkeessa on kehitetty laskentamalleja erityisesti infrastruktuuri-investointi-en määrittämiseksi sekä osaltaan myös työllisyysvaikutusten arvioimiseksi.

Eri skenaarioiden vaatimia järjestelmämuutoksia on tarkasteltu luvussa 4. Tarkastelu on tehty järjestelmäkohtaisesti. Ensin on tarkasteltu merkittäviä energian loppukäyt-tösektoreita eli rakennuksia ja niiden lämmitysenergiankulutusta sekä liikennejär-jestelmää ja sen energiankulutusta. Tämän jälkeen on tarkasteltu energiantuotan-tojärjestelmää ja lopuksi energian siirto- ja jakelujärjestelmiä. Järjestelmien osalta on ensin kuvattu eri skenaarioiden vaatimat muutokset, minkä jälkeen on esitetty infrastruktuurien vaatimat investoinnit sekä muut kvantitatiiviset laskentatulokset kussakin skenaariossa.

Infrastruktuurimuutosten aiheuttamia taloudellisia vaikutuksia on tarkastelu tarkem-min luvussa 5. Ympäristölliset vaikutukset on koottu lukuun 6 ja yhteiskunnalliset muutokset lukuun 7. Tarkastelussa on pyritty kvantitatiiviseen tarkasteluun erityises-ti investointien, kasvihuonekaasupäästöjen ja työllisyysvaikutusten osalta. Lisäksi on pyritty arvioimaan energian tuotantokustannusten kehitystä sekä hintavaikutuksia energiansiirrossa. Kvantitatiivisia arvioita on täydennetty joukolla kvalitatiivisia arvi-oita, jotka kohdistuvat niin energiamarkkinoiden toimintaan, ilmanlaatuun, biodiver-siteettiin kuin eri skenaarioiden yhteiskunnalliseen hyväksyttävyyteen.

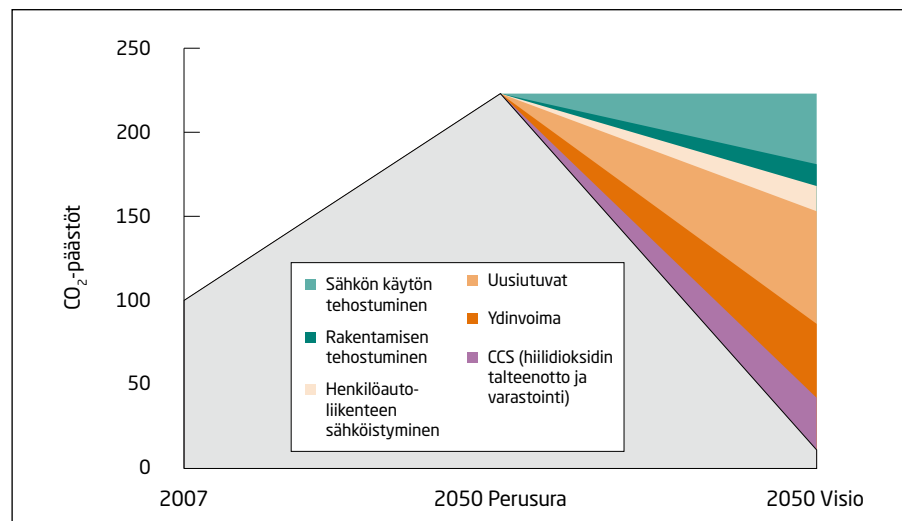
Hankkeeseen on myös otettu mukaan pääkaupunkiseudun tapaustutkimus, joka on kuvattu luvussa 8. Tapaustutkimuksen tarkoituksena on konkretisoida tarkastelua maantieteellisesti suppeammalla alueella huomioiden alueen erityispiirteet. Tarkas-telun pohjaksi on luotu yksi perusskenaario, jonka lisäksi on tehty joukko herk-kyystarkasteluja, jotka konkretisoivat millaisiin päästövähennyksiin voidaan päästä erilaisilla toimilla rakennusten lämmitysenergian käytössä, liikenteessä ja energian tuotannossa.

Hankkeen keskeisimmät johtopäätökset on esitetty luvussa 9. Johtopäätöksissä on arvioitu erityisesti vaadittujen investointien määrää ja kohdistumista eri skenaariois-sa sekä nostettu esille skenaarioiden eroja infrastruktuurien kehittymisen kannalta. Lisäksi on arvioitu, mitkä asiat ovat kriittisiä kohtia infrastruktuurien tulevaisuuden kannalta.

2 Tarkasteltavat skenaariot

2.1 "Energiateollisuuden visio" -skenaario

Energiateollisuus ry:n laatimassa sähkön ja kaukolämmön hiilineutraalissa visiossa vuodelle 2050⁴ tarkastellaan energiantuotannon ja -kulutuksen vaihtoehtoisia ratkaisuja, joiden avulla voitaisiin pitkällä aikavälillä vastata ilmastonmuutoksen ja energiaturvallisuuden haasteisiin sekä samanaikaisesti turvata kohtuuhintainen energia keskeisenä elinkeinoelämän kilpailukykytekijänä ja suomalaisen hyvinvoinnin perustana (ks. kuva 2.1). ET:n Visio luo Energiateollisuus ry:n tavoitetilan siitä, miten energia Suomessa tulevaisuudessa tuotetaan ja käytetään sekä arvion siitä, millä edellytyksillä ja toimenpiteillä tavoitetilaan voitaisiin päästä. ET:n Vision oletuksena on, että Suomen kansantalous kasvaa keskimäärin 2 prosenttia vuodessa vuoteen 2050 mennessä.



Kuva 2.1. Energiankäytön tehostumisen ja tuotantorakenteen muutosten vaikutukset CO₂-päästöihin. Kuvassa tarkastellut päästöt sisältävät sähkön ja kaukolämmön tuotannon, henkilöautoliikenteen sekä rakennusten lämmityksen polttoainekäytön CO₂-päästöt (noin 70 prosenttia Suomen CO₂-päästöistä⁵). Lähde: Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

⁴ Haasteista mahdollisuuksia – sähkön ja kaukolämmön hiilineutraali visio vuodelle 2050, Energiateollisuus, 2009.

⁵ Tarkastelun ulkopuolelle rajattiin mm. teollisuusprosessien, jätehuollon ja maatalouden muut kuin energiaperäiset hiilidioksidipäästöt, kaikkien muiden kasvihuonekaasujen päästöt sekä maankäytön ja maankäytön muutosten aiheuttamat päästöt. Hiilidioksidipäästöjen osalta tarkastelun ulkopuolelle jäi ainoastaan laiva- ja lentoliikenteen, raskaan liikenteen kuljetusten sekä työkoneiden energiankäyttö. Mukana tarkastelussa on noin 90 prosenttia kaikesta Suomen nykyisestä ja tulevasta energiankäytöstä, mukaan lukien rakennusten lämmitys ja jäähdytys, kotitalouksien sähkönkäyttö, palveluelinkeinojen, rakentamisen ja teollisuuden energiankäyttö sekä henkilöautoliikenne.

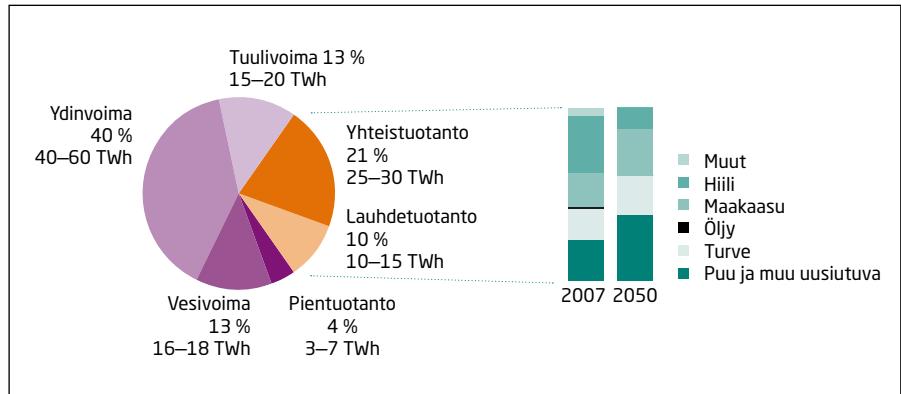
ET:n Visiossa⁶ sähkön osuus loppuenergiasta kasvaa samanaikaisesti kun lämpöenergian tarve vähenee. Sähkön ja lämmön yhteistuotantopotentiaali vähenee kehityksen seurauksena ja erillisen sähköntuotannon tarve kasvaa sekä absoluutisesti että suhteellisesti (ks. kuva 2.2). Nykyisistä ja rakenteilla olevista voimalaitoksista on käytössä vuonna 2050 enää jo rakennettu vesivoima ja rakenteilla oleva ydinvoimalaitosyksikkö⁷.

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto säilyttää kilpailukykyä ja on vuonna 2050 hiilineutraalia. Sähkön hintakehitys ja tekninen kehitys tekevät sähkön ja lämmön yhteistuotannosta kannattavaa myös nykyistä pienemmässä mittakaavassa. Ydinvoiman, tuulivoiman ja aurinkoenergian kilpailukyky fossiilipolttoaineisiin perustuvaan tuotantoon näiden paranee ja samanaikaisesti vesivoiman tuotantoedellytykset lisääntyvät.

ET:n Vision mukaan hiilidioksidin talteenotto- ja varastointitekniikan oletetaan kaupallistuvan vuoden 2030 jälkeen. Tekniikka otettaisiin käyttöön rannikon uusissa suurissa yhteistuotantolaitoksissa, mikä mahdollistaisi näiden laitosten osalta monipuolisen polttoainekäytön ja erillissähkön tuotannon. Bio- ja monipolttoainelaitoksissa puu syrjäyttää turpeen pääpolttoaineena, voimakkaammin sisämaan laitoksissa. Biopolttoainelaitosten yleistyessä fossiilisten tuontipolttoaineiden osuus poltosta vähenee ja puun käyttö lämmön ja sähkön tuotannossa kasvaa voimakkaasti. Turpeen merkitys säilyy suurena sekä polttoteknisistä syistä että kotimaisuutensa ja toimitusvarmuutensa ansiosta. Hajautettu, erityisesti rakennuksiin integroitava sähköntuotanto yleistyy ja pienimittakaavaiset yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotantomuodot kaupallistuvat. Pienimuotoisessa energiantuotannossa hyödynnetään erityisesti tuulta, aurinkoa ja haja-asutusalueilla myös bioenergiaa.

⁶ Turun Kauppakorkeakoulun Tulevaisuuden tutkimuskeskuksen suunnittelema ja toteuttama tulevaisuusprosessi tuotti Energiategollisuuden vision taustaksi neljä vaihtoehtoista energiaskenaariota jotka kuvaavat erilaisia kehityskulkuja vuoteen 2050: Suomi ajopuuna kiristyneessä maailmassa, ekologiset arvot hallitsevat, irti öljyriippuvuudesta hyvinvointi turvaten teollinen kasvu.

⁷ Energiategollisuuden vision mukaan näiden vuotuinen sähköntuotantokyky on 27–28 TWh, kun otetaan huomioon ilmastonmuutoksen tuoma lisäys vesivoimatuotantoon. Sähkön ja koko kaukolämmön tarve tuotetaan näitä lukuun ottamatta uusilla tuotantolaitoksilla vuonna 2050.



Kuva 2.2. Energiategollisuuden visio sähköntuotannosta Suomessa vuonna 2050. Pientuotannolla tarkoitetaan lähinnä rakennusten, maatalojen ja muiden kulutuskohteiden yhteydessä tapahtuvaa pienimuotoista sähköntuotantoa.⁸

Energiategollisuuden arvion mukaan vuonna 2050 Suomi toimii osana vähintäänkin EU:n laajuisia yhteisiä sähkömarkkinoita. Älykäs sähköverkko tulee lisäämään tehokkuutta luomalla kysynnän mukaan joustavan energijärjestelmään.

ET:n Visiossa rakennuskannan keskimääräisen ominaislämmöntarpeen ennakoidaan pienentyvän 32 prosenttia vuoteen 2050 mennessä. Ilmastonmuutoksen odotetaan edellä esitetyn muutoksen lisäksi pienentävän rakennusten lämmitystarvetta Suomessa 16 prosenttia vuoteen 2050 mennessä, mutta jäähdytyksen tarve kasvaa samanaikaisesti vastaavalla määrällä. Rakennuskannan kasvusta huolimatta lämmitysenergian kokonaistarve pienentyy 30 prosenttia ja osa jäähdytystarpeesta voidaan kattaa energiatehokkaalla kaukojäähdytyksellä. Kotitalouksissa lisääntyvät sähkölaitteet kasvattavat Energiategollisuuden skenaarion mukaan sähkön käyttöä, siitä huolimatta, että laitteiden energiatehokkuus paranee.

Teollisuus vastaa nykyään yli puolesta sähkönkulutusta Suomessa (ks. taulukko 2.1). Sähkön osuuden teollisuuden energiankäytöstä oletetaan edelleen jatkavan kasvuaan ja sähkön oletetaan olevan 40 prosenttia teollisuuden energian loppukäytöstä vuonna 2050. Teollisuuden lämpöenergian tarpeen sekä kaukolämmön kulutuksen ennakoidaan alenevan nykyisestä energiatehokkuuden ja sähkön käytön lisäämisen seurauksena. Palvelusektori muodostaa Energiategollisuuden skenaariossa merkittävimmän sähkön kulutuksen kasvusektorin (osin johtuen palvelusektorin BKT-osuuden kasvusta).

ET:n Visiossa oletetaan liikenteen kasvavan 34 prosenttia vuosina 2006–2040. Kasvuvauhdin jatkuessa samansuuruisena vuoden 2040 jälkeen tieliikenne lisääntyy 40 prosenttia vuodesta 2006 vuoteen 2050. Sähköautojen yleistyminen tulee merkitsemään huomattavaa lisätarvetta sähköntuotantoon (ks. taulukko 2.1).⁹

⁸ Haasteista mahdollisuuksia – sähkön ja kaukolämmön hiilineutraali visio vuodelle 2050, Energiategollisuus, 2009.

⁹ Tieliikenne kasvaa skenaariossa n, 40 prosenttiin vuodesta 2006 vuoteen 2050.

Raideliikenne kasvaa noin prosentin vuosivauhtia ja sen määrä puolitoistakertaistuu vuoteen 2050. Samanaikaisesti skenaarioissa oletetaan rataverkon sähköistysasteen nousevan.¹⁰

Taulukko 2.1. Energiatellisuuden arvio sähkön kulutuksesta Suomessa vuosina 2030 ja 2050.

Sektorit	Sähkön käyttö vuonna 2007 (tWh/a)	Sähkön käyttö vuonna 2030 (tWh/a)	Sähkön käyttö vuonna 2050 (tWh/a)
Asuminen	23	24–26	24–27
kotitaloussähkö	11	13	13–14
rakennusten lämmitys	12	11	9–11
rakennusten jäähdytys	0,2	1	2
Teollisuus	48	49–56	48–58
Palvelut ja julkinen	15,5	12	30–40
Liikenne	0,5	3	8–10
Häviöt	3	3	4
Yhteensä	90	100–111	113–138

ET:n Vision lähtökohtina ovat myös energiaturvallisuus ja omavaraisuus. Tavoitellussa vuonna 2050 Suomi on kilpailukykyinen ja sitä kautta omavarainen eurooppalaisilla sähkömarkkinoilla. Esitetty visio poistaa sähkön nettotuonnin, joka on viime vuosina ollut tasolla 10–15 TWh/a. Suomi voisi olla lievästi sähkön nettoviejä.¹¹

2.2 ”Tehokkuuskumous”-skenaario – VNK A

Valtioneuvoston tulevaisuusselonteon¹² taustaksi laadittiin neljä vaihtoehtoista tulevaisuuden kehityspolkua, joiden avulla Suomen päästöt vähenevät vähintään 80 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä.¹³ Tähän tarkasteluun valittiin näistä skenaarioista kolme eli *Tehokkuuskumous -skenaario* ja *Omassa vara parempi -skenaario* sekä *Teknologia ratkaisee -skenaario*, jotka yhdessä ET:n Vision kanssa tarjoavat toisistaan poikkeavia polkuja vähäpäästöiseen Suomeen 2050. Tehokkuuskumous -skenaariossa energiankäytön tehokkuus parantuu radikaalisti ja energian loppukulutus Suomessa puolittuu vuoteen 2050 mennessä. Kaikki energia

¹⁰ Skenaariossa todetaan myös että polttokennotekniikan mahdollinen käyttöönotto raskaassa liikenteessä vaikuttaa sähkön tarpeeseen mutta vedyn sähköintensiivistä valmistusta liikennekäyttöön ei ole sisällytetty vision sähkön tarvearvioon.

¹¹ Tuonti vähenee etenkin Venäjältä, vähäisessä määrin myös EU:n sähkömarkkinoilta. Suomesta tulisi sähköä lievästi, noin 0–10 TWh vuodessa vievä maa. Vienti kohdentuisi lähinnä EU-maihin, Venäjän suhteen Suomi olisi suunnilleen tasapainossa viennin ja tuonnin osalta.

¹² Valtioneuvoston tulevaisuusselonteko ilmasto- ja energiapolitiikasta: kohti vähäpäästöistä Suomea, Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 28/2009.

¹³ Kyseiset skenaariot ovat nimeltään A: Tehokkuuskumous, B: Kestävä arkipolitiikka, C: Omassa vara parempi sekä D: Teknologia ratkaisee. Näiden skenaarioiden yhteisinä lähtökohtina (vähintään 80 % päästövähennyksen lisäksi) oletetaan että kansainväliset ilmastoneuvottelut ovat edenneet ja muutkin maat rajoittavat päästöjä, ilmasto lämpenee kahden asteen mukaista polkua, teknologian kehitys maailmalla on ripeää ja energiatahokkuus paranee kaikilla sektoreilla. Tämän lisäksi VNK-skenaarioissa päästövähennykset oletetaan toteutettavan kotimaisin toimin. Metsien ja maaperän nielut on rajattu tarkastelun ulkopuolelle

tuotetaan uusiutuvilla energialähteillä Suomessa. Alerakenne kehittyy kohti 8–12 vahvaa, kaupunkimaista aluekeskusta ja samanaikaisesti elinkeinorakenne palveluvaltaistuu voimakkaasti. Keskimääräinen vuotuinen talouskasvu tässä skenaariossa on 1,7 %.

Kokonaisuutena metsäenergia säilyy selvästi tärkeimpänä uusiutuvan energian lähteenä. Sen osuus uusiutuvasta energiasta on kahden kolmanneksen luokkaa ja skenaariossa metsäteollisuudelta vapautuvaa¹⁴ puuta käytetään energiantuotantoon. Tuulivoima nousee sähkön tuotannossa tärkeimmäksi yksittäiseksi tuotantomuodoksi. Tehokkuuskumous -skenaariossa uusiutuvilla energialähteillä tapahtuva yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto muodostaa toiseksi suurimman sähkön tuotantomuodon, nousten hiukan vesivoimaa suuremmaksi. Lämmöntuotanto vähenee merkittävästi. Valtaosa kaukolämmöstä ja teollisuuden lämmönkulutuksesta tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotannossa.

Suomi on osa kansainvälistä sähköverkkoa ja kytkeytynyt osaksi Pohjanmeren tuulivoimatuotannon superverkkoa. Älykäs sähköverkko mahdollistaa energian käytön ohjauksen, uusiutuvien energiamuotojen voimakkaan lisäyksen ja sähköautojen yleistymisen.

Asuin- ja palvelurakennusten lämmityksessä energiankulutus laskee selvästi, mutta kaukolämpö säilyttää reilun 50 prosentin osuudella asemansa merkittävimpänä lämmitysmuotona. Uusissa rakennuksissa siirrytään vaihteittain nykyistä selvästi energiatehokkaampaan rakentamiseen. Vanhoissa rakennuksissa energiatehokkuutta parannetaan remonttien yhteydessä ja energiatehottominta rakennuskantaa puretaan. Lämpöpumppujen käyttö kiinteistöjen lämmityksessä lisääntyy merkittävästi lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä.¹⁵

Tehokkuuskumous -skenaariossa liikenteen osuus energian loppukulutuksessa putoaa merkittävästi niin absoluuttisesti kuin suhteellisesti (alle kolmanneksen vuoden 2007 noin 50 TWh:n tasosta). Skenaariossa liikenne sähköistyy nopeasti, mikä mahdollistaa liikennesektorin energiankulutuksen merkittävän vähentämisen.¹⁶ Sähköautojen osuus henkilöautoista nousee 90 prosenttiin. Joukkoliikenteen osuus henkilöliikenteen suoritteesta kasvaa kaupunkimaisessa skenaariossa yli puolella ja kevyen liikenteen osuus kaksinkertaistuu. Kuljetusten päästöjä vähentävät siirtymisen raiteille, tehokkaammat ajoneuvot ja vaihtoehdot polttoaineet.

Kuten yllä on todettu, palveluiden volyyymi kasvaa tässä skenaariossa selvästi, mikä lisää niiden sähkönkulutusta, mutta samanaikaisesti energiatehokkuuden parantaminen leikkaa tätä tarvetta lähes samansuuruisesti. Esimerkiksi valaistuksen tehok-

¹⁴ VNK A -skenaariossa paljon ostoenergiaa kuluttavan metsäteollisuuden tilalle on tullut uutta, korkean jalostusasteen osaamisteollisuutta.

¹⁵ Vuonna 2020 ilmalämpöpumppuja on kiinteistökohtaisessa lämmityksessä 400 000–500 000 ja maalämpöpumppuja noin 200 000. Vuoteen 2050 tultaessa pumppujen määrä kääntyy laskuun, koska uudisrakentamisessa valitaan muita lämmitystapoja.

¹⁶ Nopeasti sähköistyvän liikenteen skenaariossa kulutus putoaa eniten, sillä sähkömoottori on olennaisesti polttomoottoria tehokkaampi. Polttomoottoriautojen energiatehokkuuden on oletettu kaksinkertaistuvan vuoteen 2050 mennessä.

kuuden arvioidaan paranevan 60 prosenttia ja palvelusektorin muun sähkökäytön 30 prosenttia vuoteen 2050 mennessä.

Elinkeinorakenteen voimakkaan palveluvaltaistumisen (noin 80 prosenttia bruttokansantuotteesta) ja teollisuuden energiankulutuksen tehostumisen¹⁷ myötä teollisuuden energiankulutuksen arvioidaan suunnilleen puolittuvan, niin sähkön kuin lämmön kulutuksen osalta.

Tehokkuuskumous -skenaariossa energiaomavaraisuus paranee nykyisestä olennaisesti, koska vuonna 2050 kaikki Suomessa tuotettu energia perustuu kotimaisiin energianlähteisiin. Lisäksi vihreän sähkön tuonnilla katetaan neljä prosenttia energiankulutuksesta.

2.3 ”Omassa vara parempi”-skenaario – VNK C

Valtioneuvoston tulevaisuuselontekotyön Omassa vara parempi -skenaariossa, asetettujen päästövähennystavoitteiden lisäksi, painotetaan laajasti omavaraisuuden merkitystä ja arvostetaan paikallisuuteen liittyviä näkökulmia¹⁸. Tällaisessa tavoitetilassa yhdyskuntarakenne on melko hajautunutta ja uusi asutus on ohjautunut pariinkymmeneen vahvaan aluekeskukseen. Pientalot tuottavat energiansa pääosin itse ja autot kulkevat päästöttömällä sähköllä ja kotimaisilla biopolttoaineilla. Metsäteollisuus on muuttunut bioteollisuudeksi ja kotimainen elintarviketeollisuus on vahvaa. Keskimääräinen vuotuinen talouskasvu tässä skenaariossa on 1,2 %.

Omassa vara parempi -skenaariossa energian loppukulutus kokonaisuutena vähenee noin kolmanneksella nykyiseen verrattuna. Tämän skenaarion mukaisessa tulevaisuuden uusiutuvat energialähteet muodostavat noin 75 prosentin osuudella tärkeimmän sähköntuotannon lähteen, metsäenergian vastatessa suurimmasta osasta uusiutuvaa energiaa.¹⁹ Tuulisähkön tuotanto moninkertaistuu vuoteen 2050 mennessä reiluun 20 TWh ja siitä tulee suurin sähkön tuotantomuoto. Vesivoima säilyy seuraavaksi suurimpana uusiutuvan energian lähteenä, olettaen että taloudellisesti merkittävät kohteet myös suojelluissa vesistöissä (mm. Ounasjoki, Vuotos ja Kollaja) hyödynnetään. Tässä skenaariossa ydinvoiman tuotanto laskee nykytasosta 40 prosenttia.²⁰ Turpeella katetaan vielä noin 10 prosenttia energiantarpeesta, mutta keskitetyssä energiantuotannossa turpeen käytön oletetaan olevan päästötöntä hiilen talteenoton ja varastoinnin ansiosta.

¹⁷ Skenaariossa oletetaan keskimäärin viidenneksen parannus tuotannon ominaistehokkuudessa.

¹⁸ Tällaisessa skenaariossa myös energiaomavaraisuutta tukeva uudis-, korjaus- ja puurakentaminen on kysyttyä. Kasvis- ja lähiruoan suosio kasvaa omavaraisuutta tavoittelevassa skenaariossa, jossa ruoka pyritään tuottamaan mahdollisimman pitkälle kotimaassa.

¹⁹ Tämä osuus on samansuuruinen kuin VNK A -skenaariossa mutta energianpuun, sivutuotteiden ja jätehiemien keskinäiset osuudet ovat hyvin erilaiset johtuen eri oletuksista metsäteollisuuden tulevaisuudesta. Tehokkuuskumous-skenaariossa metsäteollisuudelta vapautuvaa puuta käytetään energiantuotantoon, kun taas tässä skenaariossa teollisuuden sivuvirrat pysyvät tärkeimpinä bioenergian lähteinä.

²⁰ Kuten VNK A-skenaariossa, fossiilisten polttoaineiden nykymuotoisesta käytöstä energiantuotannossa luovutaan.

Energiaverkot ovat muihin skenaarioihin verrattuna rakennettu enemmän kansallisista lähtökohdista. Älykäs sähköverkko mahdollistaa kuitenkin paikallisen tuotannon kasvun.

Kuten Tehokkuuskumous -skenaariossa, myös tässä skenaariossa oletetaan asuin- ja palvelurakennusten lämmityksen energiankulutuksen laskevan merkittävästi. Noin 50 prosentin leikkaus lämmityksen energiankulutuksessa aikaansaadaan siirtymällä nykyistä selvästi energiatehokkaampaan uudisrakentamiseen ja parantamalla systemaattisesti vanhan rakennuskannan energiatehokkuutta remonttien yhteydessä.²¹ Niin ilma- kuin maalämpöpumppujen käyttö kiinteistöjen lämmityksessä lisääntyy merkittävästi lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä.

Vaikka henkilöliikenteen matkasuoritteet säilyvät nykytasolla, liikenteen osuus energian loppukulutuksessa putoaa noin puoleen nykyisestä tasosta johtuen vähäpäästöisemmästä kulkumuotojakaumasta sekä ajoneuvoteknologiasta. Sähköautojen osuus henkilöautoista on vuonna 2050 noin 20 prosenttia. Sekä palveluiden että teollisuuden kuljetukset kasvavat määrällisesti jonkin verran tässä skenaariossa. Kuten Tehokkuuskumous -skenaariossa, myös tässä skenaariossa sähkön käyttö palveluissa ja kotitalouksissa tehostuu merkittävästi. Näin ollen kotitalouksien sähkönkulutuksen arvioidaan jonkin verran laskevan (laitteiden määrän lisääntymisestä huolimatta) ja palveluiden sähkönkulutuksen pysyvän nykytasolla (yhteiskuntarakenteen palveluvaltaistumisesta huolimatta).

Elinkeinorakenteen asteittaisen palveluvaltaistumisen ja teollisuuden energiankulutuksen tehostumisen²² myötä teollisuuden energiankulutuksen arvioidaan laskevan niin sähkön kuin lämmön kulutuksen osalta yli 20 prosenttia.

Omassa vara parempi -skenaariossa energiaomavaraisuus paranee merkittävästi nykyisestä, koska energia tuotetaan lähes kokonaan kotimaassa ja tuotanto perustuu pääosin kotimaisiin energianlähteisiin. Sähkön tuonnin ja viennin tarve arvioidaan olemattomaksi tässä skenaariossa. Huoltovarmuuden, niin energian kuin maataloustuotannon kannalta, arvioidaan kehittyvän erinomaiseksi.

2.4 ”Teknologia ratkaisee” -skenaario – VNK D

Valtioneuvoston tulevaisuusselonteon Teknologia ratkaisee -skenaariossa energiankulutus on vuonna 2050 samalla tasolla kuin nykyisin. Teollisuuden osuus kansantuotteesta on edelleen merkittävä. Tässä skenaarioissa fossiilisia polttoaineita käytetään edelleen merkittävästi hiilen talteenoton ja varastoinnin avulla. Samanaikaisesti ydinvoimaa on rakennettu merkittävästi lisää. Väestön keskittyminen eteläiseen Suomeen on jatkunut vahvana. Suurkaupunkien ympärillä on väljä yhdyskuntarakenne, mutta asutus maaseudulla on merkittävästi vähentynyt. Liikennetarve on kasvanut ja sen tyydyttävät sähköautot ja nopeat junat.^{23,24}

²¹ Näissä molemmissa VNK- skenaarioissa oletetaan asumisväljyyden kasvavan hieman vuoteen 2050 mennessä.

²² Skenaariossa oletetaan keskimäärin viidenneksen parannus tuotannon ominaistehokkuudessa.

²³ Skenaariossa maatalouden päästöt vähenevät 1,6 miljoonaan tonniin, mutta leikkaus perustuu ruoantuotannon osittaiseen ulkoistamiseen muille maille. Peltojen viljelypinta-ala on skenaariossa laskenut 60 prosenttia ja lypsykarjan määrä 70 prosenttia nykytasosta.

²⁴ Skenaariossa energiapihiä osaamisteollisuutta on keskittynyt Etelä-Suomeen ja luonnonvaroja tehokkaasti hyödyntävä energiantensiivinen teollisuus on ruuhka-Suomen ulkopuolella.

Teknologia ratkaisee -skenaariossa palveluiden osuus bruttokansantuotteesta on noin kaksi kolmannesta. Teollisuus säilyttää pääosin nykyisen osuutensa ja rakenteensa,²⁵ kun taas maatalous supistuu merkittävästi. Energian loppukulutus kokonaisuutena pysyy suunnilleen nykytasolla, mutta sähkönkulutus kasvaa erityisesti teollisuuden takia.²⁶ Vuotuisen keskimääräisen talouskasvun arvioidaan tässä skenaariossa olevan noin 1,8 %.

Sähköntuotannossa ydinvoimaa rakennetaan lisää ja ydinvoima nousee selkeästi tärkeimmäksi yksittäiseksi energian tuotantomuodoksi (tuotanto yli kolminkertaistuu). Kokonaisuutena uusiutuvan energian tuotanto muodostaa myös tässä skenaariossa suurimman energialähteen, nousten noin 57 prosenttiin kulutuksesta. Teknologia ratkaisee -skenaariossa tuotetaan vuonna 2050 vajaa 160 TWh uusiutuville energialähteillä: metsäenergia (jäteliemet, sivutuotteet, energiapuu) on tästä reilu 110 TWh, tuulivoima reilu 22 TWh ja vesivoima reilu 15 TWh.

Tässä skenaariossa kivihieillä ja maakaasulla tuotetaan seitsemän prosenttia kokonaisenergiasta, mutta hiilen talteenotolla ja varastoinnilla päästöt saadaan poistettua lähes kokonaan. Sähkön tuotanto yhdistetyllä sähkön ja lämmön tuotannolla kasvaa, mutta lämmön tuotanto vähenee kulutuksen mukana (kuten muissakin VNK-skenaarioissa). Skenaariossa vajeat puolet kaukolämmöstä tuotetaan ydinvoimalla. Turpeella katetaan vielä vajaa kymmenes energiantarpeesta mutta keskitetyssä energiantuotannossa turpeen käytön oletetaan olevan päästötöntä hiilen talteenoton ja varastoinnin ansiosta.

Kuten Tehokkuuskumous -skenaariossa, Suomi on osa kansainvälistä sähköverkkoa ja älykäs sähköverkko mahdollistaa energian käytön ohjauksen, uusiutuvien energialähteiden voimakkaan lisäyksen ja sähköautojen lisääntymisen.

Skenaariossa oletetaan asuin- ja palvelurakennusten lämmityksen energiankulutuksen laskevan merkittävästi, reiluun 37 TWh:iin. Noin 50 prosentin leikkaus lämmityksen energiankulutuksessa aikaansaadaan siirtymällä nykyistä selvästi energiatehokkaampaan uudisrakentamiseen ja parantamalla systemaattisesti vanhan rakennuskannan energiatehokkuutta remonttien yhteydessä.²⁷ Niin ilma- kuin maalämpöpumppujen käyttö kiinteistöjen lämmityksessä lisääntyy merkittävästi lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä.

Vaikka henkilöliikenteen matkasuoritteet kasvavat noin kolmanneksella liikenteen osuus energian loppukulutuksessa putoaa noin puoleen nykyisestä tasosta johtuen vähäpäästöisemmästä kulkumuotojakaumasta sekä ajoneuvoteknologiasta. Teknologia ratkaisee -skenaariossa henkilöautokannan oletetaan sähköistyvän kokonaisuudessaan vuoteen 2050 mennessä. Teollisuuden kuljetukset kaksinkertaistuvat tässä skenaariossa, oletetun teollisuuden kasvun mukaisesti, mutta samanaikaisesti myös näissä kuljetuksissa sähkön osuus kasvaa merkittäväksi (noin 30 prosenttiin) ja osa kuljetuksista siirtyy raiteille.

²⁵ Oletetun vajaan 2 %:n vuotuisen talouskasvun seurauksena tuotanto kasvaa kuitenkin absoluuttisesti.

²⁶ Teollisuuden energiankulutus riippuu tuotannon määrästä, rakenteesta ja tehokkuudesta. Kaikissa VNK-skenaarioissa oletetaan keskimäärin viidenneksen parannus tuotannon ominaistehokkuudessa.

²⁷ Huolimatta siitä, että asumisväljyys kasvaa huomattavasti tässä skenaariossa vuoteen 2050 mennessä.

Kuten Tehokkuuskumous-skenaariossa, myös Teknologia ratkaisee -skenaariossa sähkön käyttö palveluissa ja kotitalouksissa tehostuu merkittävästi. Näin ollen kotitalouksien sähkönkulutuksen arvioidaan pysyvän ennallaan (laitteiden määrän lisääntymisestä huolimatta) ja palveluiden sähkönkulutuksen nousevan jonkin verran (noin 20 TWh:iin vuoteen 2050 mennessä) tässä skenaariossa.

Energiankulutuksen tehostumisesta huolimatta²⁸ teollisuuden energiankulutuksen arvioidaan kasvavan niin sähkön kuin lämmön kulutuksen osalta. Taustalla on oletus talousrakenteen säilymisestä lähes ennallaan, teollisuuden muodostaessa myös jatkossa merkittävän osuuden kansantuotteesta ja pysyvän kasvu-uralla.

Teknologia ratkaisee -skenaariossa energiaomavaraisuus paranee nykyisestä, koska energia tuotetaan lähes kokonaan kotimaassa ja perustuu pääosin kotimaisiin energianlähteisiin, ydinvoimaa lukuun ottamatta. Skenaariossa tuotetaan myös jonkin verran sähköä vientiin. Suomalaisen energiajärjestelmän huoltovarmuus voidaan tässä skenaariossa arvioida kohtuulliseksi.

²⁸ Skenaariossa oletetaan keskimäärin viidenneksen parannus tuotannon ominaistehokkuudessa.

3 Menetelmäkuvaus

3.1 Tarkastelun lähtökohdat

Tämän hankkeen tarkastelun lähtökohtina ovat ET:n Visio ja Valtioneuvoston kanslian tuottamat skenaariot vaihtoehtoisista energiatulevaisuuksista. Kaikissa skenaarioissa on oletettu, että maailmassa päästään kattavaan ilmastopimukseen ja että kasvihuonekaasupäästöjä leikataan globaalisti. Ilmasto lämpenee kuitenkin kahden asteen mukaista polkua. Lisäksi on oletettu, että teknologia kehittyy niin energian tuotannon kuin energiatehokkuuden osalta, mutta mitään erityisiä uusi läpimurtoja ei oleteta tapahtuvan, ellei CCS-teknologiaa ja sähköautoja lasketa sellaiseksi.

Energiamarkkinoiden oletetaan kehittyvän kaikissa skenaarioissa yhä avoimemmaksi ja yhdyntävän koko Eurooppaan. Samoin sähköverkkojen oletetaan kehittyvän älykkäämmiksi, mikä mahdollistaa yhtäältä lisääntyvän pientuotannon liittämisen sähköverkkoon ja toisaalta helpottaa kulutuksen ohjaamista ja koko energijärjestelmän säätämistä.

Skenaarioiden yleisten lähtökohtien merkittävin ero liittyy väestönkasvuun. Energiatulevaisuuden skenaariossa on käytetty Tilastokeskuksen tuoreinta väestönkasvuennustetta, minkä vuoksi Suomen väkiluku vuonna 2050 on tässä skenaariossa 300 000 henkilöä suurempi kuin Valtioneuvoston kanslian skenaarioissa. Tätä eroa ei ole lähdetty laskennallisesti oikaisemaan tässä hankkeessa, vaan tämä ero on huomioitava tuloksia tulkittaessa.

Vaikka energiatehokkuusteknologioiden on oletettu kehittyvän kaikissa skenaarioissa, on niiden käyttöönotossa kuitenkin merkittäviä eroja eri skenaarioissa. Etenkin eroja on rakennusten energiatehokkuudessa ja liikenteessä – lähinnä ajoneuvokannan sähköistymisen seurauksena. Nämä energiatehokkuuteen liittyvät erot, kuten muutkin skenaariokohtaiset erot kuvataan tarkemmin luvussa 4, jossa tarkastellaan yksityiskohtaisesti skenaarioiden järjestelmävaikutuksia eri infrastruktuurien osalta.

3.2 Käytettävät lähtötiedot ja määritelmät

Tässä hankkeessa käytetään lähtötietoina edellä mainittujen skenaarioiden lukuarvoja, jotka perustuvat sekä skenaariokohtaisiin lähtöoletuksiin että laskemalla saatuihin tuloksiin. Molempia käytetään sellaisenaan eikä niitä ole tässä hankkeessa muokattu. Mikäli jotkut laskennassa tarvittavat lähtöoletukset eivät käy suoraan ilmi itse skenaarioista, on hankkeessa suoritettu tarkentavia laskelmia. Näissäkin tapauksissa on oltu uskollisia skenaarioiden lopputuloksille.

Hankkeen laskennassa käytettävien keskeisimpien termien määrittely on kuvattu alla:

Lähtöoletukset = oletukset, joita on käytetty tarkasteltavissa skenaarioissa ja joiden pohjalta ovat syntyneet lähtötiedot investointilaskelmiin. Nämä tiedot otetaan sellaisenaan skenaarioista.

Lähtötiedot = skenaarioista peräisin olevat tiedot, joita käytetään investointi- ja muissa laskelmissa. Nämä tiedot ovat laskettu skenaarioiden lähtöoletusten perusteella. Nämä tiedot otetaan sellaisenaan skenaarioista.

Laskentaoletukset = investointi- ja muiden laskelmien oletukset, joita ei suoraan saa skenaarioista, vaan ne perustuvat joko kirjallisuuslähteisiin tai asiantuntija-arvioihin. Laskentaoletuksista vastaavat tämän hankkeen tekijät.

Laskentamalli = malli, jonka perusteella tarvittavat investoinnit ja muut mahdolliset kvantitatiiviset arvot lasketaan perustuen sekä skenaarioiden lähtötietoihin että laskentaoletuksiin. Laskentamallista vastaa tämän hankkeen tekijät

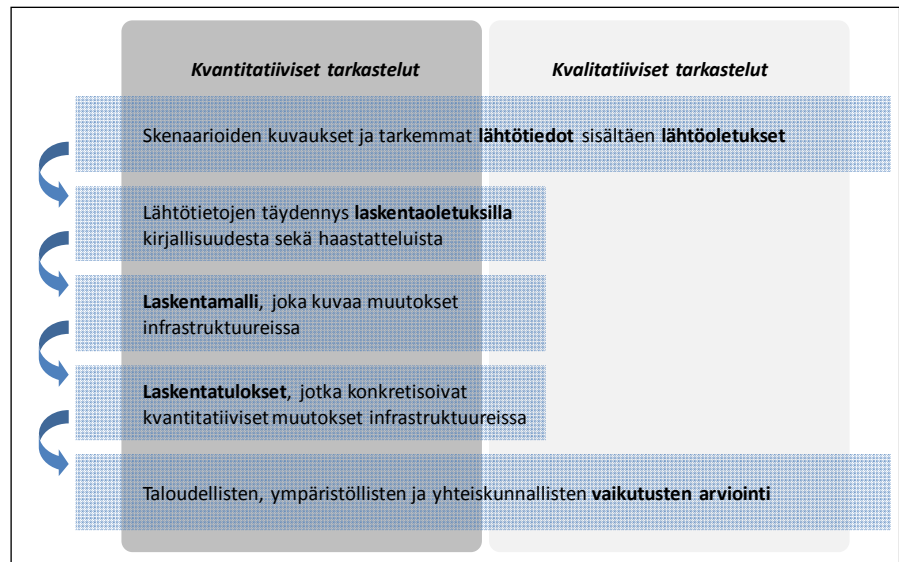
Laskentatulokset = edellä kuvatun laskentamallin perusteella saadut laskennalliset tulokset, jotka ovat tämän hankkeen lopputuloksia.

Yleisesti voidaan siis todeta edellä kuvattujen määritelmien pohjalta, että *lähtö*-alkuiset sanat ovat peräsin suoraan skenaarioista, kun taas *laskenta*-alkuiset sanat viittaavat tämän työn tekijöiden tekemiin oletuksiin, malleihin tai laskennan perusteella saatuihin tuloksiin.

3.3 Tarkastelukehikko ja laskentaperiaatteet

3.3.1 Yleiskuvaus tarkastelukehikosta

Hankkeessa käytettävä tarkastelukehikko on esitetty kuvassa 3.1. Hankkeessa tarkasteltavat taloudelliset, ympäristölliset ja yhteiskunnalliset vaikutukset on jaoteltu kvantitatiivisiin ja kvalitatiivisiin tarkasteluihin. Kvantitatiiviset tarkastelut kohdistuvat energiantuotantojärjestelmään, energian siirto- ja jakelujärjestelmään, rakennuskantaan ja rakennusten lämmitysenergiankulutukseen sekä liikennejärjestelmään ja liikenteen energiankulutukseen. Kvantitatiiviset laskelmat liittyvät pääosin tarvittaviin investointeihin, työllisyysvaikutuksiin sekä kasvihuonekaasupäästöjen määrään. Kvalitatiiviset tarkastelut puolestaan kohdistuvat ympäristövaikutusten osalta muun muassa ilman laatuun ja biodiversiteettiin sekä yhteiskunnallisten vaikutusten osalta muun muassa alueelliseen kehitykseen ja yhteiskunnalliseen hyväksyttävyyteen.



Kuva 3.1. Tarkastelukehikko ja laskennan eteneminen

Hankkeen laskenta on edennyt siten, että ensin on kerätty lähtötiedot aiemmin tuotetuista skenaarioista. Näitä lähtötietoja on täydennetty kvantitatiivisten laskelmien vaatimilla laskentaoletuksilla, jotka perustuvat joko kirjallisuuteen tai asiantuntijoiden haastatteluihin. Syöttämällä lähtötiedot ja laskentaoletukset infrastruktuurimuutoksia kuvaaviin laskentamalleihin on saatu lopputuloksena laskentatulokset, jotka konkretisoivat infrastruktuureissa tapahtuvat muutokset kvantitatiivisesti. Näiden laskentatulosten sekä alkuperäisten skenaariokuvausten perusteella voidaan arvioida eri skenaarioiden taloudelliset, ympäristölliset ja yhteiskunnalliset seuraukset. Tarkempi kuvaus käytetyistä lähtötiedoista, laskentaoletuksista ja laskentamalleista on esitetty luvussa 4 kunkin infrastruktuuritarkastelun osalta erikseen.

3.3.1 Kvantitatiiviset tarkastelut

Kvantitatiiviset tarkastelut kohdistuvat pääosin infrastruktuurien vaatimiin muutoksiin sekä investointitarpeisiin. Lisäksi on tarkasteltu myös infrastruktuurimuutosten työllisyysvaikutuksia. Rakennusten lämmitysenergiankulutuksen osalta on tarkasteltu kvantitatiivisesti seuraavia asioita:

- Rakennusten lämmitysenergiankulutuksen kehitys
- Korjausrakentamisen määrä
- Investoinnit korjausrakentamisen energiatehokkuustoiimiin
- Uudisrakentamisen määrä
- Investoinnit uudisrakentamisessa vuoden 2008 normeja parempaan energiatehokkuuteen
- Energiatehokkaan rakentamisen työllisyysvaikutukset

Liikennejärjestelmän ja liikenteen energiankulutuksen osalta on tarkasteltu seuraavia asioita:

- Liikenteen kokonaisenergiankulutus
- Sähkönkulutus liikenteessä
- Tieinvestoinnit perustienpitoon ja kehittämisinvestointeihin
- Ratainvestoinnit radanpitoon ja kehittämisinvestointeihin
- Investoinnin sähköautojen latauspisteisiin
- Väylärakentamisen työllisyysvaikutukset.

Energiantuotantojärjestelmän osalta on tarkasteltu seuraavia asioita:

- Sähkön tuotantokapasiteetin tarve
- Investoinnit sähkön tuotantokapasiteetin lisäykseen
- Sähkön tuotantokustannusten kehittyminen
- Sähkön kokonaishankinnan kustannusten kehittyminen
- Sähköenergian keskimääräiset kokonaishankintakustannukset
- Sähkön tarve huippukuormitustilanteessa
- Lisäsäädön tarve huippukuormitustilanteessa
- Nopean säätökapasiteetin tarve
- Kiinteän puupolttoaineen tuotannon ja turvetuotannon työllisyysvaikutukset
- Energiantuotantokapasiteetin rakentamisen työllisyysvaikutukset.

Energian siirto- ja jakelujärjestelmien osalta on tarkastelu puolestaan seuraavia asioita:

- Investoinnit sähkönjakelun uusiin liittymiin
- Sähkönjakelun yksikköhinnan kehitys
- Sähkön kanta- ja alueverkkojen arvonkehitys
- Kaukolämpöverkkojen arvonkehitys
- Kaukolämmön jakelun yksikköhinnan kehitys.

Näiden sektorikohtaisten asioiden lisäksi on tarkasteltu eri skenaarioiden kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä kokonaisuudessaan.

3.3.2 Kvalitatiiviset tarkastelut

Kvalitatiivisten tarkastelujen tarkoituksena on ollut täydentää kvantitatiivista tarkastelua tuoden esille vaadittujen toimenpiteiden taloudellisia, ympäristöllisiä ja yhteiskunnallisia seurauksia. Taloudellisten seurausten osalta on tarkasteltu investointien kohdistumista ja painotuksia eri skenaarioissa sekä investointien rahoitusta. Tämän lisäksi on arvioitu vaikutuksia energian hinnoitteluun sekä laajemminkin vaikutuksia markkinoihin ja yritysten liiketoimintaan. Erityiskysymyksenä on tarkasteltu kilpailutilannetta puuvaroista eri skenaarioissa.

Ympäristön osalta kvantitatiivista kasvihuonekaasujen päästötarkastelua on täydennetty ilman laatua ja biodiversiteettiä koskevilla asioilla. Yhteiskunnallisten asioiden osalta kvantitatiivista työllisyystarkastelua on täydennetty alueellisen kehityksen tarkastelulla ja yhteiskunnallisen hyväksyttävyyden pohdinnalla.

4 Skenaarioiden laskennalliset järjestelmävaikutukset

4.1 Rakennusten lämmitysenergia

4.1.1 Rakennusten lämmitysenergiankulutuksen ajurit

Rakennuskanta jakaantuu karkeasti asuinrakennuksiin ja muihin rakennuksiin. Asuinrakennukset pitävät sisällään omakotitalot, rivitalot sekä asuinkerrostalot. Muut rakennukset sisältävät liikerakennukset, toimistorakennukset, liikenteen rakennukset, hoitoalan rakennukset, kokoontumisrakennukset, opetusrakennukset, teollisuuden rakennukset ja varastorakennukset. Tässä hankkeessa on tarkasteltu asuinrakennuksia ja palvelurakennuksia, jotka sisältävät muut rakennukset pois lukien teollisuuden rakennukset ja varastorakennukset. Asuinrakennusten yhteenlaskettu tilavuus vuonna 2010 on noin 810 milj. m³ ja palvelurakennusten tilavuus noin 430 milj. m³.²⁹

Rakennusten lämmitysenergian kulutuksen voidaan ajatella muodostuvan lämmitettävästä tilavuudesta, rakennuskannan ominaislämmönkulutuksesta sekä lämmitystarpeesta. Rakennuskannan ominaislämmönkulutuksella tarkoitetaan tässä laskennallista lämmitysenergian tarvetta tilavuusyksikköä kohden vuosien 1971–2000 keskimääräisissä lämpöoloissa.³⁰ Lämmitystarve muuttaa tätä rakennuksen ominaislämmönkulutusta, joko ulkoisen lämpötilan poiketessa vuosien 1971–2000 tasosta, sisälämpötilan muutoksien vuoksi tai rakennuksen sisäisten lämpökuormien vaikutuksesta.

Lämmitettävän tilavuuden määrittää asuinrakennuksissa väkiluku ja asumisväljyys. Vastaavasti palvelurakennuksissa lämmitettävä tilavuus saadaan työpaikkojen ja tilatehokkuuden tulona. Väkiluvulle, asumisväljyydelle, työpaikkojen lukumäärälle ja tilatehokkuudelle on skenaarioissa esitetty arvioita taulukon 4.1 mukaisella tavalla. Näiden lähtöoletusten avulla voidaan laskea muutokset tilantarpeessa suhteessa nykytilaan. Kun tilantarpeen muutokset tunnetaan, saadaan selville uudisrakentamisen määrä. Uudisrakentamisessa pitää lisäksi ottaa huomioon vanhan rakennuskannan poistuma. Poistuman on oletettu kasvavan maltillisesti rakennuskannan ikääntymisenä.³¹ Lisäksi VNK A -skenaariossa on oletettu merkittävä, noin 90 000 asunnon (vastaa noin 3,5 % koko rakennuskannasta) ylimääräinen poistuma sekä 2010-että 2020-luvulla.

²⁹ Lähde: Heljo, J. et al., Rakennusten energiankulutus ja CO₂-ekv päästöt Suomessa, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakentamistalouden laitos. Raportti 2005:4.

³⁰ Tässä raportissa esitetyt ominaislämmönkulutukset pitävät sisällään huoneisto- ja kiinteistö-sähköstä, asukkaista sekä muista rakennuksen sisäistä lämmönlähteistä tulevan hyödyn.

³¹ Asuinrakennusten poistuman on oletettu olevan noin vuosittain noin 0,3 % koko rakennuskannasta vuosien 2010–2019 välisenä aikana. Poistuman oletetaan kohdistuvan yli 40 vuotta vanhoihin rakennuksiin. Poistuman oletetaan kasvavan noin 0,6 %:iin koko rakennuskannasta vuoteen 2050 mennessä. Arviot noudattavat likimain raportissa VTT Asuinrakentaminen vuoteen 2025 esitetyjä arvioita poistuman määrästä. Palvelurakennuksille poistuman on oletettu olevan kaksinkertainen suhteessa asuinrakennuksiin.

Taulukko 4.1. Rakennustilavuuden määrittämiseen käytetyt lähtötiedot.

	Nykytila	ET Visio 2050	VNK A 2050	VNK C 2050	VNK D 2050
Väkiluku (milj.)	5,4	6,1	5,8	5,8	5,8
Asumisväljyys (m ² /henk)	39	48	53	53	60
Ei-teolliset työpaikat (milj.)	1,6	-	2,0	1,8	1,9
Tilatehokkuus (m ² /htv)	65	-	90	90	101

Skenaarioiden lähtöoletuksien erot väkiluvussa vuonna 2050 ovat seurausta skenaarioiden laadintahetkien välillä päivittyneestä Tilastokeskuksen väestöennusteesta.³² Asumisväljyys kasvaa vähiten ET Visio -skenaariossa ja eniten VNK D -skenaariossa.³³ Asumisväljyyden kasvu pitää sisällään myös kakkos- ja kolmosasuntojen lisääntyvän määrän. Palvelurakennusten tilantarvetta on VNK:n skenaarioissa arvioitu ei-teollisten työpaikkojen ja tilatehokkuuden kehityksen kautta. Työpaikkojen määrä on puolestaan johdettu skenaarioissa oletetusta palvelusektorin tuottamasta arvonalisästä. Tilatehokkuuden melko suurta lukuarvoa selittää mukana olevan palvelurakennuskannan laaja kirjo. Esimerkiksi toimistorakennuksissa tilatehokkuus on selkeästi pienempi.³⁴

ET:n Visiossa on tehty oletukset, joiden mukaan liike- ja toimistorakennusten rakennuskanta kasvaa 28 % ja julkisten palvelurakennusten kanta pienenee 2 % vuoteen 2050 mennessä.³⁵ Riippuen palvelualan työpaikkojen kehityksestä tämä tarkoittaisi vastaavana tilatehokkuutena noin 60–65 m²/htv tasoa. Palvelurakennuskanta kasvaa täten ET Visiossa selvästi muita skenaarioita maltillisemmin.

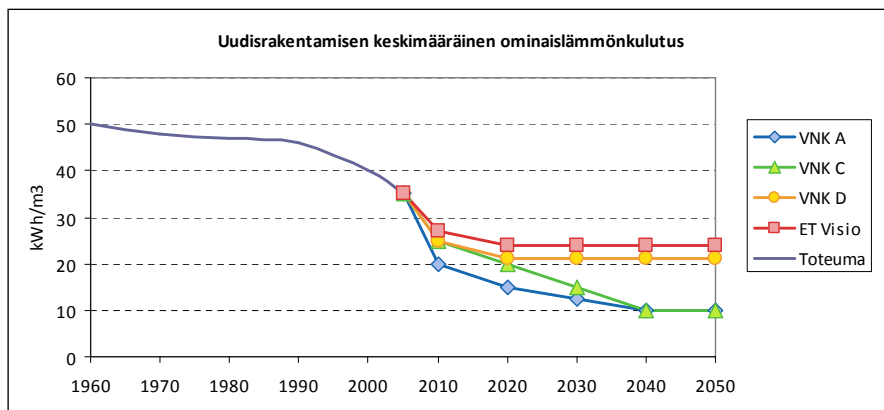
Rakennuskannan keskimääräinen ominaislämmönkulutus kuvastaa kuinka paljon energiaa lämmitettävää tilavuusyksikköä kohden kuluu vuodessa. Uudisrakentamisen energiatehokkuuden tasoa kuvaavat keskimääräiset ominaislämmönkulutukset on esitetty kuvassa 4.1. Lämmitysenergian kulutuksessa on otettu huomioon lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia, joka on suuruudeltaan noin 5–10 kWh/m³. Vaikka joissakin skenaarioissa uudisrakentamisen energiatehokkuus paranee selkeästi, on huomattava että koko rakennuskannan keskimääräinen ominaislämmönkulutus muuttuu selkeästi hitaammin.

³² ET:n Visiossa on käytetty Tilastokeskuksen väestöennustetta 2009–2060. VNK:n skenaariossa on käytetty Tilastokeskuksen väestöennustetta 2007–2040, jonka pohjalta on tehty arvio vuoden 2050 väkiluvusta.

³³ Nykytilan lähde: Tilastokeskus, Asuinolot Suomessa vuonna 2008, 15.12.2009.

³⁴ Ei-teolliset työpaikat pitävät sisällään Tilastokeskuksen toimialaluokat G-U. Tilatehokkuus on laskennallinen arvo, joka perustuu työpaikkojen lukumäärään, lähtöoletuksena olevaan palvelurakennuskannan tilavuuteen sekä oletukseen keskimääräisestä palvelurakennuskannan kerroskorkeudesta (4,0 m).

³⁵ Energiateollisuus ry, Haasteista mahdollisuuksia – sähkön ja kaukolämmön hiilineutraali visio vuodelle 2050, 2009.



Kuva 4.1. Skenaarioiden uudisrakentamisen keskimääräisen ominaislämmönkulutuksen kehittyminen tulevaisuudessa sekä arvio historiallisesta kehityksestä.³⁶

Koska nykyisen rakennuskannan osuus on suhteessa uudisrakentamiseen suuri, on korjausrakentamisen yhteydessä tehtävillä energiatehokkuustoimilla uudisrakentamista suurempi vaikutus ominaislämmönkulutukseen. Korjaamisen vaikutuksen koko rakennuskantaan määrää korjaamisvauhti ja toteutettavien energiatehostamistoimien suuruus. Taulukossa 4.2 kuvataan korjausrakentamisen vaikutusta rakennuskannan energiatehokkuuteen skenaarioiden lähtötietojen perusteella laskettuna.³⁷ Korjausrakentamisen avulla oletetaan siis voitavan pienentää nykyisen rakennuskantamme keskimääräistä omaislämmönkulutusta, esimerkiksi ET:n Visiossa 9 % ja VNK D -skenaariossa 50 % vuoteen 2050 mennessä.

Taulukko 4.2. Korjausrakentamisen laskennallinen vaikutus vuoden 2010 rakennuskannan keskimääräisen energiankulutukseen vuoteen 2050 mennessä (poistumaa ei huomioitu).³⁸

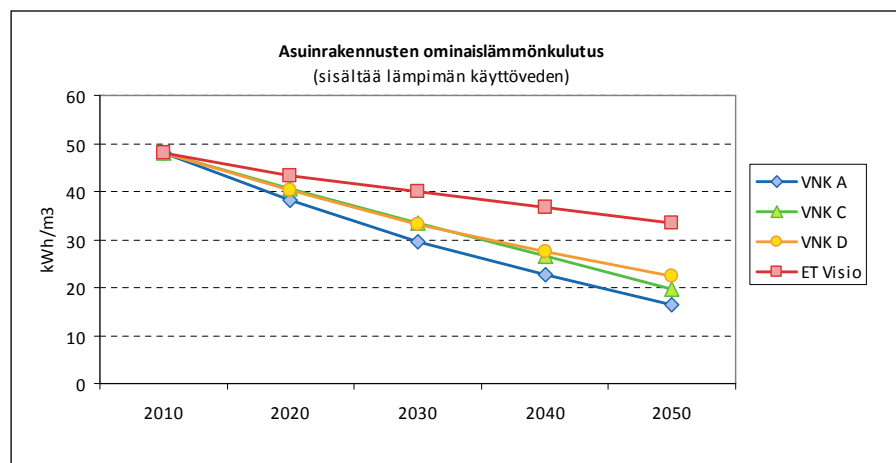
	ET Visio	VNK A	VNK C	VNK D
Ominaiskulutuksen pieneneminen korjausrakentamisessa	-9 %	-56 %	-50 %	-50 %

³⁶ ET:n Visiossa ei ole annettu yksityiskohtaisia lukuarvoja uudisrakentamiselle. Arvot on laskettu perustuen ET:n Visiossa esitettyihin arvioihin rakennustyyppikohtaisten ominaislämmönkulutusten kehittymisestä. Lähde: Energiateollisuus ry, Haasteista mahdollisuuksia – sähkön ja kaukolämmön hiilineutraali visio vuodelle 2050, Liite 1, 2009. Ks. myös taulukko 4.2. Arvio vuosille 1960–2010 Gaian tietoihin perustuen.

³⁷ Vertailukohtana esimerkiksi VTT Suomalaisten rakennusten energiakorjausmenetelmät ja säästöpotentiaalit, 2007 esittää korjaustoimet, joilla 1950–1980 välillä valmistuneiden rakennusten energiankulutusta vähennetään 50 %. Teknisesti vieläkin tehokkaampia menetelmiä on varmasti mahdollista ottaa käyttöön, mutta toisaalta osa koko rakennuskannan energiatehostamispotentiaalista on jo hyödynnetty.

³⁸ ET:n Visiossa ei ole annettu yksityiskohtaisia lukuarvoja korjausrakentamiselle. Arvot on laskettu perustuen ET:n Visiossa esitettyihin arvioihin rakennustyyppikohtaisten ominaislämmönkulutusten kehittymisestä. Lähde: Energiateollisuus ry, Haasteista mahdollisuuksia – sähkön ja kaukolämmön hiilineutraali visio vuodelle 2050, Liite 1, 2009. Ks. myös kuva 4.1.

Kuva 4.2 havainnollistaa skenaarioiden taustaoletusten perusteella muodostetut asuinrakennusten koko rakennuskannan keskimääräisen ominaislämmönkulutuksen kehitykset vuoteen 2050 asti. Ominaislämmön kulutus laskee kaikissa VNK:n skenaarioissa merkittävästi ja ET Visio -skenaariossa maltillisemmin. Ominaislämmönkulutusta laskevat sekä tiukat uudisrakentamisen normit ja erityisesti VNK:n skenaarioissa myös korjausrakentamisessa oletettu merkittävä energiatehokkuuden paraneminen. Skenaarioissa palvelurakennusten ominaislämmönkulutuksen suhteellinen kehitys noudattaa likimain asuinrakennusten ominaislämmönkulutuksen kehittymistä.



Kuva 4.2. Asuinrakennusten keskimääräisen laskennallisen ominaislämmönkulutuksen kehittyminen.

Lämmitystarpeen määrittää yksinkertaisimmillaan halutun sisälämpötilan ja vallitsevan ulkolämpötilan välinen erotus. Lisäksi sähkölaitteiden ja ihmisten rakennuksen sisällä vapauttama hukkalämpö vähentää lämmitystarvetta. Lämmitystarpeeseen vaikuttavat täten sekä kulutustottumukset ja sähkölaitteiden kulutus että ilmaston lämpenemisen osalta kuvataan taulukossa 4.3. Hukkalämpöjen osuuden on oletettu säilyvän ennallaan.³⁹

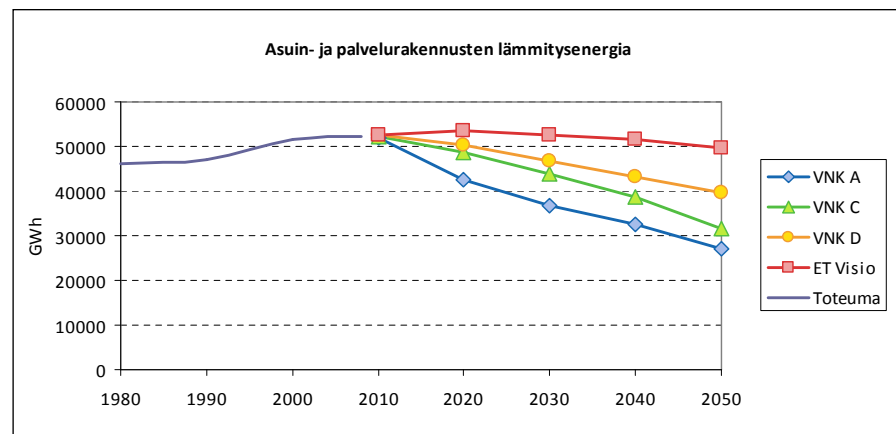
³⁹ Perustuen ET:n Vision taustaoletuksiin hukkalämmön kokonaismäärän on oletettu olevan noin 12 TWh ja määrän ei oleteta muuttuvan tarkasteluajanjaksolla. Oletus on sama kaikissa skenaarioissa. Asuin- ja palvelurakennusten laskennallinen bruttohyötyenergian tarve on täten 12 TWh korkeampi, kuin tässä raportissa esitetyt luvut.

Taulukko 4.3. Kulutustottumusten muutoksien ja ilmastonmuutoksen arvioidut vaikutukset lämmitystarpeeseen.

	ET Visio	VNK A	VNK C	VNK D
Sisälämpötilan muutoksen vaikutus v. 2030 mennessä	0 %	-10 %	-2,5 %	0 %
Lämpimän käyttöveden kulutuksen muutos v. 2030 mennessä	0 %	-30 %	-7,5 %	0 %
Ilmaston lämpenemisen vaikutus lämmitystarpeeseen v. 2050 mennessä	-16 %	-16 %	-16 %	-16 %

4.1.2 Muutokset rakennusten lämmityksessä

Edellä esitettyjen lähtötietojen avulla laskettu asuin- ja palvelurakennusten lämmitysenergiatarve on esitetty kuvassa 4.3. Vuoden 2050 tiedot perustuvat skenaarioissa annettuihin lähtötietoihin⁴⁰. Kuvattu polku nykytilasta vuoteen 2050 on viitteellinen. Laskennassa on mahdollisuuksien mukaan hyödynnetty skenaarioissa tai muissa lähtötiedoissa esitettyjä arvioita nykytilan ja vuoden 2050 välillä. Mikäli muita tietoja ei ole ollut käytettävissä, on kehityksen oletettu olevan suoraviivaista.



Kuva 4.3. Rakennusten vuotuisen laskennallisen lämmönkulutuksen kehittyminen eri skenaarioissa.⁴¹

⁴⁰ ET:n Visiossa annetusta kaikkien rakennusten bruttolämmitysenergian tarpeesta on poistettu teollisuusrakennusten osuus ja sähkölaitteiden hukkalämpö.

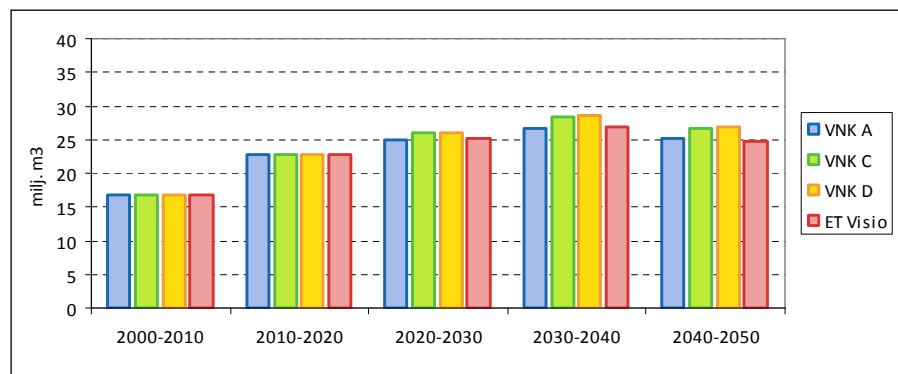
⁴¹ Skenaarioissa ei ole annettu yksityiskohtaisia lukuarvoja asuin- ja palvelurakennusten lämmitysenergian tarpeen kehittymiselle. Esitetyt lukuarvot perustuvat edellä kuvattuihin lähtötietoihin ja tässä hankkeessa tehtyihin laskelmiin. Lämmitysenergian tarve on säädöksiä mukaisesti IPCC:n skenaarioiden keskiarvon mukaiseen lämmitystarpeeseen. Vuoden 2010 kulutus on täten noin 8 % ja vuoden 2050 kulutus 16 % alhaisempi kuin vuosien 1971–2000 säätilassa. Vastaavat lämpötilaerot ovat noin +1,9 °C vuonna 2020 ja +3,2 °C vuonna 2050 suhteessa vuosien 1971–2000 keskiarvoon.

Asuin- ja palvelurakennusten energiankulutus vähenee vuoteen 2020 mennessä voimakkaammin VNK A -skenaariossa, jossa on oletettu energiatehokkuuden voimakas parantuminen korjausrakentamisessa, muita tiukemmat uudisrakentamisen normit sekä lisäksi ylimääräinen vanhan rakennuskannan purkaminen. Skenaariossa VNK C ja VNK D kulutus laskee myös, mutta VNK A -skenaarioita hitaammin lievempien energiatehokkuustoimien myötä. ET Visio -skenaariossa asuin- ja palvelurakennuskannan lämmitysenergian kulutus kääntyy myös loivaan laskuun vuoden 2020 jälkeen, mutta kulutus säilyy selkeästi muita skenaarioita korkeammalla tasolla.

4.1.3 Infrastruktuurivaikutukset

Rakennusten lämmitysenergian tarpeen vähentämiseksi tarvitaan energiatehokkuusinvestointeja. Näitä investointeja voidaan tehdä joko olemassa olevaan rakennuskantaan korjausrakentamisen yhteydessä tai tekemällä normeja energiatehokkaampia uudisrakennuksia.

Korjausrakentamisen yhteydessä tehtävät investoinnit riippuvat vuosittain korjattavasta rakennuskannasta, ominaiskulutuksen parantamisen suuruudesta sekä energiatehokkuuden parantamisen hinnasta korjausrakentamisen yhteydessä. Korjausrakentamisen määräksi on kaikille skenaarioille oletettu 2,5 % vuodessa siinä osassa rakennuskantaa, joka on yli 30 vuotta vanhaa. Korjausrakentamisen määrät on esitetty kuvassa 4.4.



Kuva 4.4. Korjausrakentamisen laskennalliset vuotuiset määrät eri skenaarioissa⁴²

Korjausrakentamisen yhteydessä tehtävien energiatehokkuusinvestointien vaatimia investointeja on arvioitu perustuen energiatehokkuuden parantamisen kustannuksiin. Energiatehokkuustoimien oletetaan siis tapahtuvan muiden korjaustoimien yhteydessä, mikä alentaa kustannustasoa erillisiin toimenpiteisiin verrattuna. Esimerkiksi käyttöikänsä päähän tulleiden ikkunoiden vaihtaminen voidaan samalla tehdä energiatehokkaampiin ikkunoihin huomattavasti taloudellisemmin kuin jos ikkunat vaihdettaisiin erillistoimena. Energiatehokkuuden parantamisen investointikustan-

⁴² Skenaarioissa ei ole annettu yksityiskohtaisia lukuarvoja rakentamisen määristä. Esitetyt lukuarvot perustuvat edellä kuvattuihin lähtöoletuksiin ja tässä hankkeessa tehtyihin laskelmiin. Myös vuosien 2000–2010 lukuarvot ovat laskennallisia

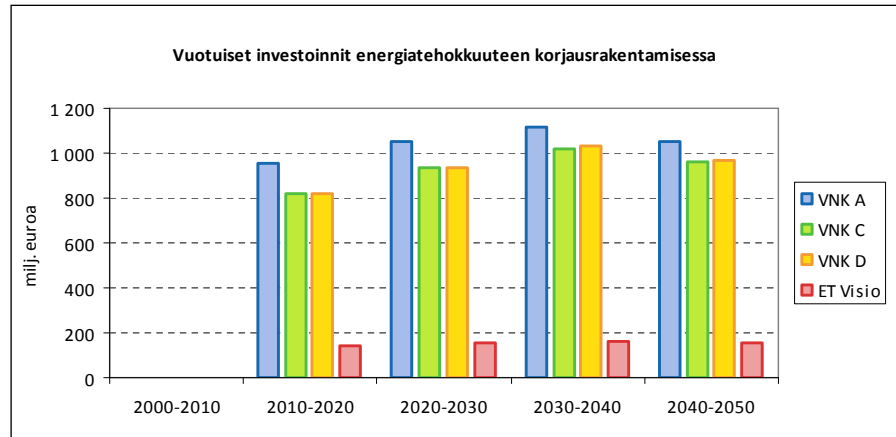
nuksena on käytetty 1,5 € yhdessä vuodessa säästettyä kilowattituntia kohti⁴³. Esimerkiksi omakotitalon vuotuisen energiankulutuksen alentaminen 10 000 kWh maksaisi tehdyllä oletuksella noin 15 000 euroa. Tämä vastaa 170 m²:n eli 500 m³:n omakotitalossa ominaiskulutuksen alentamista noin 60 kWh/m² tai 20 kWh/m³ vuodessa. Esimerkin energiatehokkuusremontin hinta olisi noin 90 €/m². Takaisinmaksuaika rakennuksen omistajalle olisi esimerkin tapauksessa sähkölämmitteisessä omakotitalossa sähkön nykyhinnalla hieman yli 15 vuotta.⁴⁴ Lähtötietoja on eritelty liitteessä A.

Skenaarioissa, joissa energiatehokkuutta parannetaan enemmän, vaaditaan täten myös suurempia investointeja, kuten kuvassa 4.5 esitetään. Tarkastelussa on tehty oletus, jonka mukaisesti korjausrakentamisen energiatehokkuuden parantamisen kustannukset ovat suoraan verrannollisia saavutettaviin tehokkuusparannuksiin. Käytännössä parannustoimet koostuvat talokohtaisesti lukuisista toimenpiteistä, joiden kustannukset vaihtelevat. Toimenpiteitä ovat esimerkiksi lämmitysjärjestelmän tasapainottaminen, termostaattien uusiminen, ikkunoiden ja ovien uusiminen, vaipan eristystason ja tiiviyn parantaminen sekä ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantaminen. Osa toimenpiteistä voidaan toteuttaa esitettyä arviota pienemmin kustannuksin ja osalle kustannukset ovat suuremmat. Toimenpiteiden tarkastelu koko rakennuskannan tasolla keskiarvoistaa näiden erojen vaikutuksia, jolloin keskimääräisen oletuksen käyttö on perusteltua.

Missään skenaariossa ei ole tarkasti yksilöity tai kohdennettu energiatehokkuuden parantamiseksi tehtäviä toimenpiteitä. Esimerkiksi vuosien 1960–1980 välillä rakennettujen lähiöiden korjaamistoimet ja näiden kannattavuus voivat poiketa merkittävästikin vaikkapa ennen vuotta 1950 rakennettujen omakotitalojen toimenpiteistä. Samoin rakennuksen lämmitystavalla on suuri vaikutus sekä saavutettavissa olevaan energiatehokkuusparannuksiin ja niiden kustannuksiin. Kustannuksiin vaikuttaa myös se kuinka hyvin energiatehokkuustoimet voidaan integroida muuhun perusparrannustoimintaan. Lisäksi on syytä huomata, että ET:n Visiossa, jonka korjaustoimin saavutettavaksi oletetut energiatehokkuusparannukset ovat merkittävästi muista skenaarioista alemmat, olisivat toimenpiteet todennäköisesti mahdollista toteuttaa muita skenaarioita alhaisemmin kustannuksin (ks. myös kohta 5.1.3). Korjausrakentamisen energiatehokkuustoimien tarkempi selvitys niin toimien vaikuttavuuden kuin kannattavuudenkin osalta on yksi selkeä jatkotutkimuskohde.

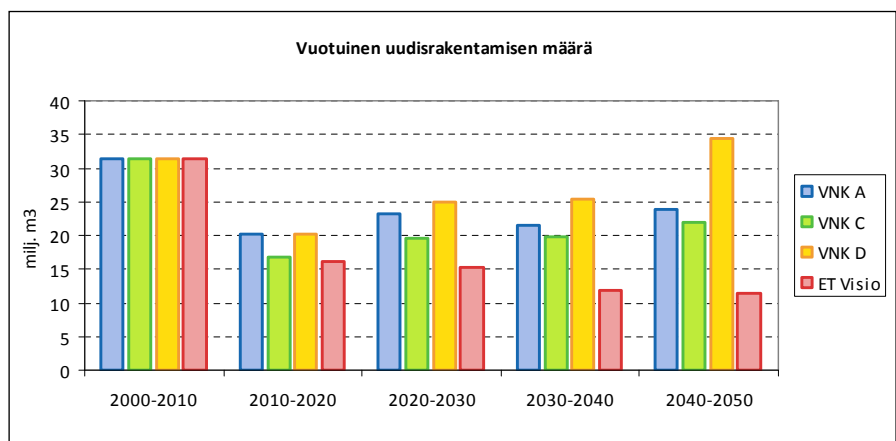
⁴³ Investointikustannukset arvioitu perustuen teokseen Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, RIL 249-2009 Matalaenergiara-kennukset, 2009, ks. tarkemmin Liite A.

⁴⁴ Sähkön verollisena kokonaishintana on käytetty koko maan keskiarvoa 9,77 snt/kWh, josta siirtohinnan osuus on 3,9 snt/kWh ja sähköenergian hinnan 5,87 snt/kWh. Lähde: Energiamarkkinavirasto, Sähkön hinnan kehitys, 1.3.2010.



Kuva 4.5. Laskennalliset investoinnit energiatehokkuuden parantamiseen korjausrakentamisessa. Koko korjausrakentamisen vuotuinen arvo oli noin 9,4 miljardia euroa vuonna 2008.⁴⁵

Uudisrakentamisen energiatehokkuusinvestoinnit riippuvat uudisrakentamisen määrästä, uuden kannan energiatehokkuudesta sekä energiatehokkuuden parantamisen hinnasta uudisrakentamisen yhteydessä. Uudisrakentamisen laskennalliset määrät on esitetty kuvassa 4.6. Uudisrakentaminen on vuosien 2010–2020 välisenä aikana edellistä vuosikymmentä vähäisempää. Vuoden 2020 jälkeen skenaariokohtaiset erot voimistuvat. VNK D -skenaariossa uudisrakentaminen on voimakasta sekä asuin-, että palvelurakennusten tilantarpeen kasvaessa. VNK A -skenaariossa näkyy vuosien 2010–2030 välillä tehtyä tehostettua poistumaa varten tarvittava vastaava uudisrakentaminen. ET:n Visiossa sekä asuinrakentaminen että palvelurakentaminen on muita skenaarioita hitaampaa.



Kuva 4.6. Uudisrakentamisen laskennalliset määrät eri skenaarioissa.⁴⁶

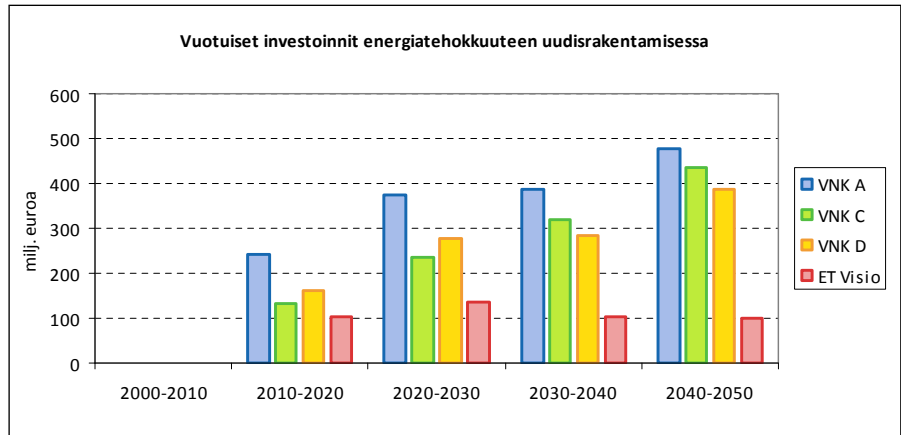
⁴⁵ Rakennusteollisuus ry, Rakennustuotannon arvo vuonna 2008.

⁴⁶ Skenaarioissa ei ole annettu yksityiskohtaisia lukuarvoja rakentamisen määristä. Esitetyt lukuarvot perustuvat edellä kuvattuihin lähtöoletuksiin ja tässä hankkeessa tehtyihin laskelmiin, myös vuosien 2000–2010 arvo on laskennallinen.

Kuten korjausrakentamisessa, myös uudisrakentamisessa energiatehokkaampi rakentaminen edellyttää investointeja energiatehokkuuteen. Energiatehokkuusinvestointeja on arvioitu verrattuna vuoden 2008 normitalon energiatehokkuusvaatimuksiin. Normitaloon 2008 verrattuna energiatehokkuuden parantamisen investointikustannuksena on käytetty noin 0,8 € yhdessä vuodessa säästettyä kilowattituntia kohti⁴⁷. Esimerkiksi matalaenergiatalon, jonka kulutus jää vuodessa 10 000 kWh alhaisemmaksi kuin normitalo 2008:n, rakennuskustannukset ovat täten noin 8 000 euroa normitaloa korkeammat. Noin 170 m²:n eli 500 m³:n omakotitalossa vastaava parannus ominaiskulutuksessa on normitalon noin 100 kWh/m²:n tai 35 kWh/m³:n tasolta noin 45 kWh/m² tai 15 kWh/m³ tasolle. Esimerkin tapauksessa energiatehokkaampi rakentaminen lisää omakotitalon rakennuskustannuksia siis noin 3–4 %. Koroton takaisinmaksuaika rakennuksen omistajalle olisi esimerkin tapauksessa sähkölämmitteisessä omakotitalossa keskimääräisin nykyhinnoin hieman yli 8 vuotta.⁴⁸ Kuten korjausrakentamisessa, myös uudisrakentamisessa käytännön toimenpiteiden kirjo ja kustannustaso on laaja, mutta koko rakennuskannalle voidaan käyttää keskimääräisiä kustannusarvioita. Koko rakennuskannantasolla skenaarioissa, joissa uudisrakentaminen on energiatehokkaampaa, vaaditaan kuvan 4.7 mukaisesti suurempia investointeja.

⁴⁷ Investointikustannukset arvioitu perustuen teokseen Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, RIL 249-2009 Matalaenergiara-kennukset, 2009. Uudisrakentamisen kustannukset on mallinnettu perustuen matalaenergiatalojen ja passiivitalojen lisärakennuskustannuksiin suhteessa normitaloon.

⁴⁸ Sähkön verollisena kokonaishintana on käytetty koko maan keskiarvoa 9,77 snt/kWh, josta siirtohinnan osuus on 3,9 snt/kWh ja sähköenergian hinnan 5,87 snt/kWh. Lähde: Energiamarkkinavirasto, Sähkön hinnan kehitys, 1.3.2010.



Kuva 4.7. Laskennalliset vuotuiset investoinnit energiatehokkuuden parantamiseen uudisrakentamisessa. Koko uudisrakentamisen arvo on noin 15 miljardia euroa vuodessa.⁴⁹

4.2 Liikenteen energiankulutus ja liikennejärjestelmät

4.2.1 Liikenteen energiankulutuksen ajurit

Liikenteen energiankulutukseen vaikuttavat liikkumisen tarve, kulkutapa- ja kuljetustapavalinnat sekä kulkuneuvojen teknologia. Liikenne voidaan jaotella henkilöliikenteeseen ja tavaraliikenteeseen tai toisaalta tieliikenteeseen ja raideliikenteeseen.

Liikennesuoritteet määräytyvät henkilöliikenteessä matkan tarkoituksen mukaisesti karkeasti työ- ja koulumatkoihin, ostos- ja asiointimatkoihin, vierailumatkoihin, mökkimatkoihin ja muihin vapaa-ajan matkoihin. Tavaraliikenteessä liikennesuoritteisiin vaikuttaa taloudellisen aktiiviteetin määrä sekä toiminnan luonne. Liikennesuoritteiden määrät vaihtelevat alkutuotannon, teollisuuden ja palvelusektorin välillä sekä myös näiden sektoreiden sisällä.

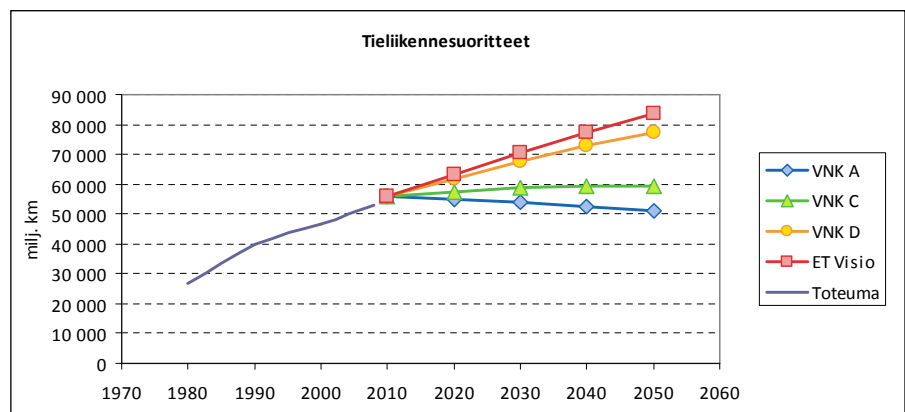
Henkilöliikenteen kulkutapavalinnat tehdään päätasolla kevyen liikenteen, julkisen liikenteen ja yksityisen ajoneuvoliikenteen välillä. Tavaraliikenteessä kuljetustapavalintoina on tässä hankkeessa tarkasteltu pääasiassa tiekuljetuksia ja raidekuljetuksia. Skenaariokohtaiset keskeiset erot on esitetty taulukossa 4.4.

⁴⁹ Rakennusteollisuus ry, Rakennustuotannon arvo vuonna 2008.

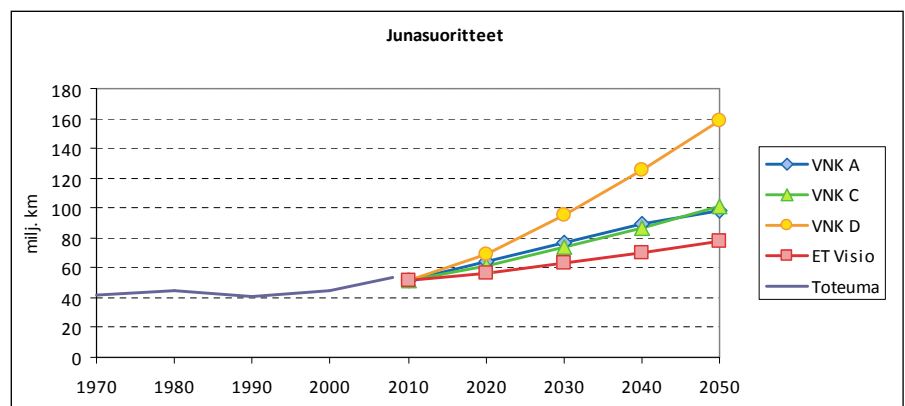
Taulukko 4.4. Skenaarioiden lähtöoletusten perusteella muodostetut liikenteen lähtöoletukset.

	ET Visio 2050	VNK A 2050	VNK C 2050	VNK D 2050
Muutos liikennesuoritteissa henkilöä kohden	+25 %	-10 %	± 0 %	+30 %
Raideliikenne suhteessa nykytilaan	1,5 x	1,9 x	2,0 x	3,0 x
Henkilöautoilun osuus tieliikenteessä	76 %	62 %	72 %	73 %

Edellä esitettyjen oletusten perusteella voidaan määrittää liikennesuoritteet skenaariokohtaisesti. Tieliikennesuoritteet on esitetty kuvassa 4.8 ja junakilometrit kuvassa 4.9.



Kuva 4.8. Tieliikenteen suoritteet.⁵⁰



Kuva 4.9. Junakilometrit.⁵¹

⁵⁰ Toteuma vuoteen 2008 asti, lähde: Liikennevirasto.

⁵¹ Toteuma vuoteen 2008 asti, lähde: Liikennevirasto ja Tilastokeskus.

Tieliikenteen suoritteet kasvavat voimakkaasti skenaarioissa VNK D ja ET Visio, kun taas skenaariossa VNK A tieliikenteen suoritteet kääntyvät laskuun ja skenaariossa VNK C kasvu on melko tasaista. Junakilometrien määrä kasvaa kaikissa skenaarioissa. Voimakkainta kasvu on skenaariossa VNK D, jossa myös raskaan teollisuuden liikennöintiä oletetaan siirtyvän voimakkaasti raiteille.

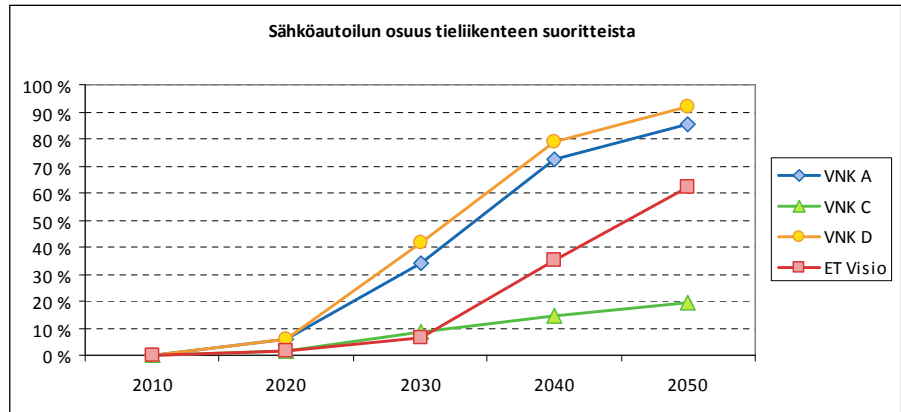
Liikennesuoritteiden kuluttamaan energiaan vaikuttaa käytetty ajoneuvoteknologia. Kaikissa skenaarioissa on oletettu keskimääräisen energiatehokkuuden paranevan maltillisesti kaikissa kulkuvälineissä. Tämän lisäksi henkilöautojen, pakettiautojen ja joissakin skenaarioissa myös raskaan liikenteen on oletettu osin siirtyvän käyttämään energialähteenä sähköä.⁵² Sähkön käytön oletetaan aluksi yleistyvän ladattavien hybridi-autojen myötä ja myöhemmin sähköautojen myötä. VNK:n skenaarioiden taustaoletuksena on, että ladattavien hybridien osuus voi nousta uusista myydyistä autoista noin 40 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Ensimmäiset ladattavat hybridi-autot saapunevat markkinoille vuonna 2012, jonka jälkeen markkinaosuuden on oletettu kasvavan tasaisesti. Yhteensä ladattavia hybridi-autoja olisi tällöin liikenteessä noin 370 000 autoa, mikä vastaa noin 12 % koko henkilöautokannasta vuonna 2020.⁵³ Koska energiankulutuksen kannalta ajoneuvojen lukumäärää tärkeämpi suuren on liikennesuoritteiden määrä, ei skenaarioissa ole tehty yksityiskohtaisia lukumäärä arvioita sähköautojen määristä. Vuoteen 2030 mennessä osuus voisi olla noin 1,3 miljoonaa autoa, vastaten noin 40 % koko autokannasta ja vuoteen 2050 mennessä koko autokanta voi sähköistyä. Ladattavien hybridien ja sähköautojen keskimääräisen akkuteknologian on puolestaan oletettu mahdollistavan noin 50 kilometrin ajon vuoteen 2020 mennessä. Vuoteen 2050 mennessä on oletettu teknologian ja latausjärjestelmien mahdollistavan tarvittaessa kaikkien henkilöautomatkojen sähköisen ajon.⁵⁴

Sähkön osuus tieliikenteen suoritteista on esitetty kuvassa 4.10. Skenaarioissa VNK A ja VNK D oletetaan liikenteen sähköistyvän yllä esitetyn nopean kehityksen kaltaisesti. ET:n Visiossa sähköautojen osuus lisääntyy merkittävästi vasta vuoden 2030 jälkeen. Skenaariossa VNK C sähköautot pysyvät pienemmässä roolissa ja valtaosa ajosta tehdään biopolttoaineita käyttäen.

⁵² Raskaan liikenteen sähköistymisen on oletettu nousevan VNK A-skenaariossa 50 %:iin ja VNK D-skenaariossa 30 %:iin vuoteen 2050 mennessä. Molemmissa skenaariossa pitkien kuljetusmatkojen oletetaan siirtyvän enemmän raideliikenteen varaan. Raskas syöttöliikenne voidaan tällöin järjestää ainakin osin sähköisesti. Sähköisiä raskaita ajoneuvoja on jo markkinoilla, ks. esim. www.balqon.com.

⁵³ Henkilöautokannan on oletettu kasvavan Ajoneuvohallintokeskuksen teettämän selvityksen Autokannan tulevaisuustutkimus, 2006, perusskenaarion mukaisesti.

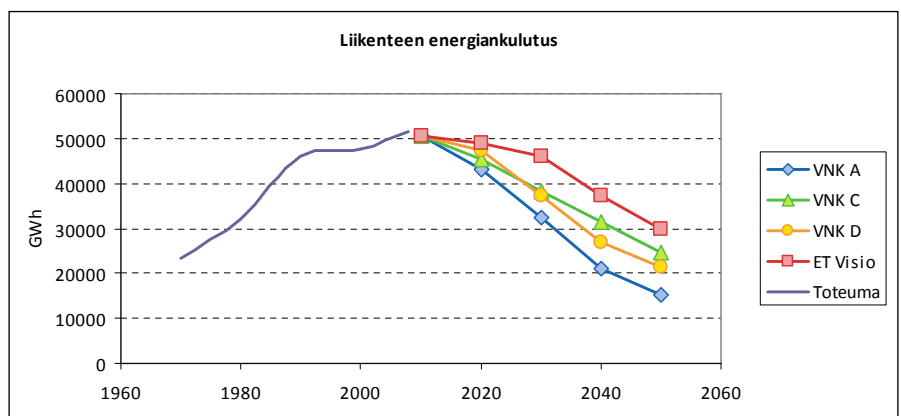
⁵⁴ VNK skenaarioissa on lisäksi oletettu pakettiautojen ja linja-autojen sähköistyvän likimain samassa suhteessa henkilöautojen kanssa, mutta hitaammassa tahdissa. VNK A ja VNK D skenaarioissa on lisäksi oletettu osan raskaasta liikenteestä päätyvän sähköpohjaiseksi pitkien kuljetusvälien siirtyessä enenevässä määrin raideliikenteen piiriin.



Kuva 4.10. Sähköautoilun osuus tieliikennesuoritteista (%).

4.2.2 Muutokset liikenteen energiankulutuksessa

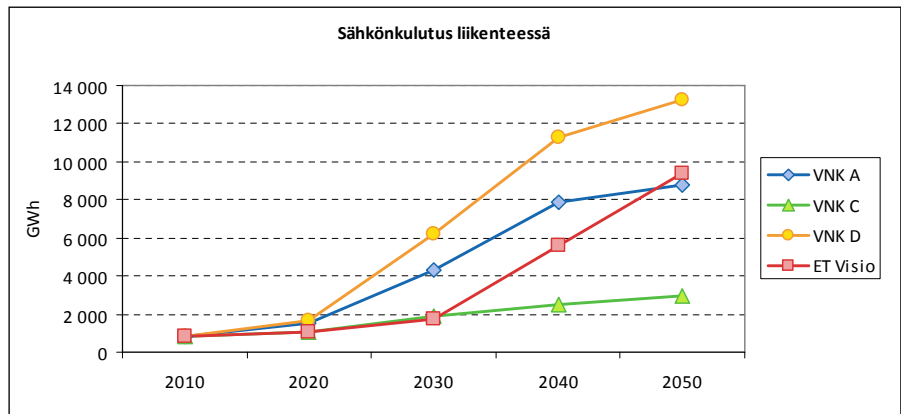
Skenaarioiden lähtöoletusten perusteella laskettu liikenteen energiankulutus on esitetty kuvassa 4.11. Energiankulutus kääntyy kaikissa skenaarioissa selvään laskuun, koska autokannan ja muiden kulkuvälineiden keskimääräisten kulutusten oletetaan kääntyvän laskuun jo ennen vuotta 2020. Myöhemmässä vaiheessa energiankulutukseen vaikuttaa sekä liikennesuoritteiden määrä, että sähköautoilun osuuden kasvu. Aikajakson alussa sähköautojen oletetaan olevan noin 3 kertaa energiatehokkaampia kuin keskimääräisen polttomoottoriauton. Vuoteen 2050 mennessä eron oletetaan pienenevän ja sähköautojen olevan vajaa 2 kertaa keskimääräistä polttomoottoriautoa tehokkaampia.



Kuva 4.11. Liikenteen laskennallinen energiankulutus skenaarioittain.⁵⁵

⁵⁵ Toteuma vuoteen 2008 asti, lähde: Tilastokeskus. Liikenteen energiankulutus on laskettu Tilastokeskuksen tilastointitavan mukaisesti. Mukana ovat siis myös laivaliikenteen ja lentoliikenteen energiankulutukset. Näiden osalta muutoksien vaikutukset ovat suhteessa vähäisiä, koska niiden yhteenlaskettu osuus on vain noin 4–5 TWh.

Skenaarioiden sähkön kokonaiskulutus liikenteessä on esitetty kuvassa 4.12. Valtaosa sähkönkulutuksen kasvusta on seurausta tieliikenteen sähköistymisestä. Voimakkaasta kasvusta huolimatta junaliikenteen osuus sähkönkulutuksesta on kaikissa skenaarioissa vain noin 1–1,5 TWh.



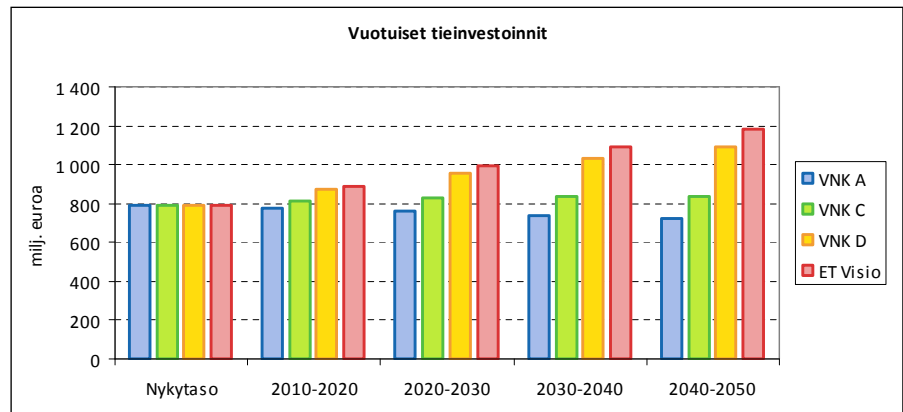
Kuva 4.12. Sähkön laskennallinen kulutus liikenteessä.

4.2.3 Järjestelmävaikutukset

Liikennemäärien muutosten teillä ja raiteilla voidaan olettaa vaikuttavan väyliin tarvittavien investointien määrään. Investointeja tarvitaan sekä perusväylänpitoon ja kehittämisinvestointeihin. Molempien osalta on laskentaa varten tehty oletus, että investointien määrä on suoraan verrannollinen liikennesuoritteiden määrään.

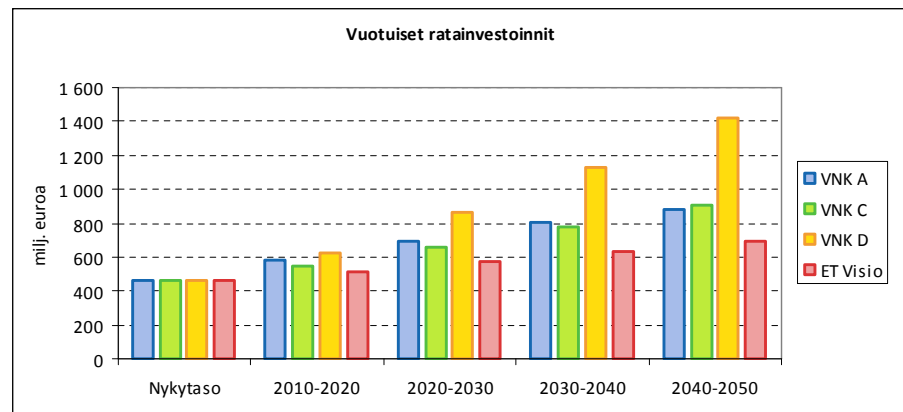
Tieinvestointien määrä on esitetty kuvassa 4.13. Perustienpidon investoinnit pitävät sisällään myös tieverkon hoidon ja liikenteen operatiivisen ohjauksen kustannukset⁵⁶. Tieliikenteen määrä kasvaa voimakkaasti ET Visio ja VNK D -skenaarioissa, mikä edellyttää oletuksen mukaisesti lisäinvestointeja tieverkostoon. Investointitarve on vähäisempi skenaariossa VNK C. Sen sijaan skenaariossa VNK A tieliikenteen liikennesuoritteet vähenevät ja täten myös oletettu investointitarve.

⁵⁶ Ks. tarkempi jaottelu esim. Tiehallinto, Tiehallinnon toiminta- ja taloussuunnitelma 2008–2012.



Kuva 4.13. Liikennesuoritteiden perusteella lasketut tieinvestoinnit perustienpitoon ja kehittämisinvestointeihin.

Raideinvestointien määrä on esitetty kuvassa 4.14. Raideliikenteen määrä kasvaa nykytasosta kaikissa skenaarioissa. Kasvu on voimakkainta VNK D:ssä liikennemäärien voimakkaan kasvun myötä.



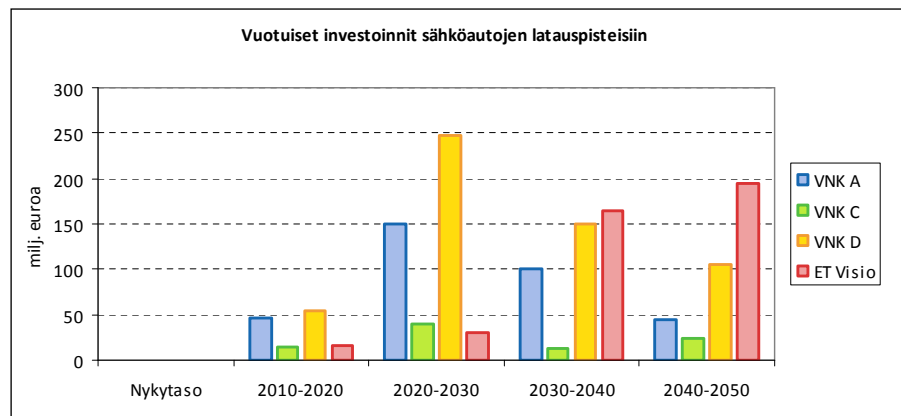
Kuva 4.14. Liikennesuoritteiden perusteella lasketut ratainvestoinnit perusradanpitoon ja kehittämisinvestointeihin.

Sähköautoilun lisääminen edellyttää investointeja latauspisteisiin. Latauspisteiden määrään vaikuttaa sähköautojen ja ladattavien hybridautojen lukumäärä⁵⁷. Yhtä sähköautoa varten oletetaan tarvittavan noin 2,5 latauspistettä, kun markkina on saavuttanut kypsän vaiheen. Kotona ja työpaikalla olevien latauspisteiden lisäksi on tällöin ylimääräisiä jaettavia latauspisteitä esimerkiksi asiointi- ja vapaa-ajan matkoja varten. Alkuvaiheessa ajoneuvoa kohti tarvittavien latauspisteiden määrä on suurempi, jotta latauspiesteverkosto on riittävän kattava käytännössä. Latauspistei-

⁵⁷ Sähköautojen lukumäärän kehitystä on arvioitu sähköautojen ja ladattavien hybridien kaupallisen saatavuuden ja markkinaosuuksien muutosten kautta. Sähköautojen määrän kehityminen vastaa karkeasti niiden liikennesuoritteiden määrän kehittymistä (ks. kuva 4.11).

den keskihinnaksi on oletettu 500 euroa. Riippuen latauspisteen toiminnallisuudesta ja ominaisuuksista, investointikustannukset vaihtelevat huomattavasti⁵⁸. Laskennalliset sähköautojen latauspisteiden edellyttämät investoinnit on esitetty kuvassa 4.15. Sähköjakelun ja -siirron edellyttämiä muita investointeja tarkastellaan luvussa 4.4.

On huomattava, että pitkällä aikavälillä yleistyvä sähkökäytön lisäys liikenteessä vähentää polttonesteiden ja näiden jakelujärjestelmien tarvetta. Täten erityisesti mikäli sähköstä tulee liikenteen hallitseva energianlähde, vähenevät yhteiskunnan kustannukset esitetyistä jonkin verran.



Kuva 4.15. Sähköautojen liikennemäärien perusteella lasketut investoinnit sähköautojen latauspisteisiin.

4.3 Energiantuotantojärjestelmä

4.3.1 Energiantuotanto

Tarkasteltavissa skenaarioissa on määritetty sähköntuotanto vuotuisina energiamäärinä tuotantolähteittäin. Taulukossa 4.5 on esitetty sähköntuotannon nykytila⁵⁹ ja skenaarioissa määritelty lopputilanne vuonna 2050.

⁵⁸ Kotilataukseen soveltuvan perusmallin investointikustannukseksi on arvioitu 250 euroa.

Toimintaindikoinnin, energiamittaroinnin sekä latauksen toimintakunnon valvonnan sisältävä laajemman toiminnallisuuden mallin kustannusten on puolestaan arvioitu olevan noin 1200 euroa. Elektronisten maksuominaisuuksien tai AMR-toiminnallisuuden lisääminen nostaa kustannuksia huomattavasti. Lähde: Matti Rae, epävirallinen asiantuntija-arvio, Ensto Oy.

⁵⁹ Arviot perustuvat noin keskimääräiseen tilanteeseen noin vuosina 2007–2008 ennen taloudellisen taantumun vaikutuksia.

Taulukko 4.5. Skenaarioissa määritelty sähköntuotanto 2050 ja viitteellinen lähtötilanne 2010.⁶⁰

TWh	Nykytaso	ET Visio 2050	VNK A 2050	VNK C 2050	VNK D 2050
Ydinvoima	22	53	0	13	65
Vesivoima	14	17	15	18	15
Tuulivoima	0	18	23	20	22
Yhteistuotanto	29	28	17	18	35
Lauhde	14	13	8	5	9
Muut	0	5	1	0	0
Tuonti (+) tai vienti (-)	12	-2	5	0	-5
Kulutus yhteensä	92	130	69	74	140
Tuotanto yhteensä	80	132	64	74	145

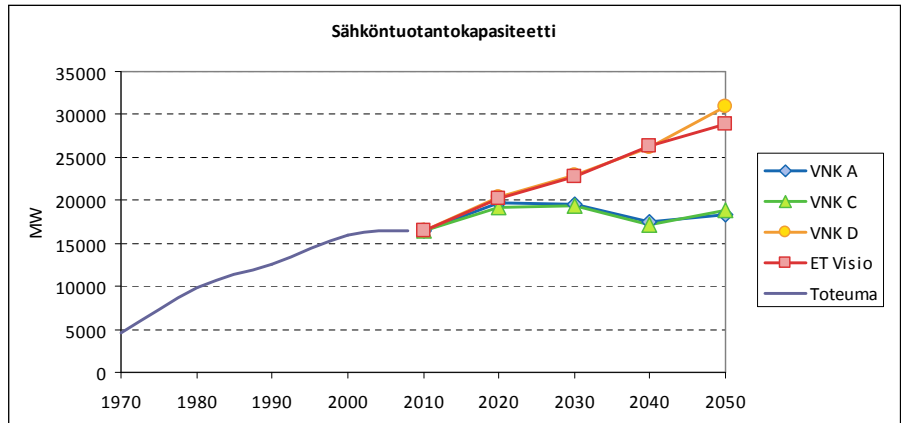
Sähkönkulutus vaihtelee skenaarioissa merkittävästi. VNK D- skenaariossa kulutus on kaksinkertainen verrattuna VNK A -skenaarioon. ET:n Visiossa kulutus on lähellä VNK D -skenaariota ja VNK C -skenaario on puolestaan lähellä VNK A -skenaariota.

Skenaarioiden sähköntuotannon suurimmat erot ovat ydinvoiman tuotannossa. Ydinvoiman tuotanto on merkittävää VNK D -skenaariossa ja ET:n Visiossa vuonna 2050, kun taas VNK C -skenaariossa tuotanto on vähäistä ja VNK A -skenaariossa ydinvoimaa ei ole lainkaan. Vesivoiman ja tuulivoiman tuotantomäärät ovat kaikissa skenaariossa melko lähellä toisiaan. Vesivoimassa ei ole mahdollisuuksia merkittäviin tuotantomäärien kasvattamiseen, kun taas kaikissa skenaarioissa tuulivoimatuotantoa lisätään merkittävästi. Yhteistuotannon osuus on nykytasolla ET:n Visiossa ja hieman korkeampi VNK D -skenaariossa, mutta laskee selvästi VNK A ja C -skenaarioissa.

Tiettyä vuotuista energiamäärää varten vaadittava tuotantokapasiteetti vaihtelee tuotantomuodoittain. Kun esimerkiksi perusvoimaa tuottavaa ydinvoimalaa käytetään tämän hankkeen laskentaoletuksien perusteella vuodessa 8000 tuntia, on tuulivoimalan vuotuisten käyttötuntien määräksi tässä hankkeessa oletettu keskimäärin 2850. Ydinvoimakapasiteettia vastaavan energiamäärän tuottamiseen tarvitaan siis noin kolminkertainen määrä tuulivoimakapasiteettia⁶¹. Kuvassa 4.16 on esitetty vaadittavan tuotantokapasiteetin kehittyminen skenaariossa.

⁶⁰ Vuoden 2008 lopussa alkaneen taloudellisen taantuman vaikutuksia ei ole otettu nykytason kuvauksessa huomioon. ET:n visiossa vuoden 2050 lauhdetuotanto pohjautuu yhteistuotantolaitoksien yhteydessä tuotettavaan lauhdesähköön, mikä mahdollistaa skenaarion oletusten mukaisesti hiilidioksidin taloudellisen talteenoton myös lauhdetuotannon osalta.

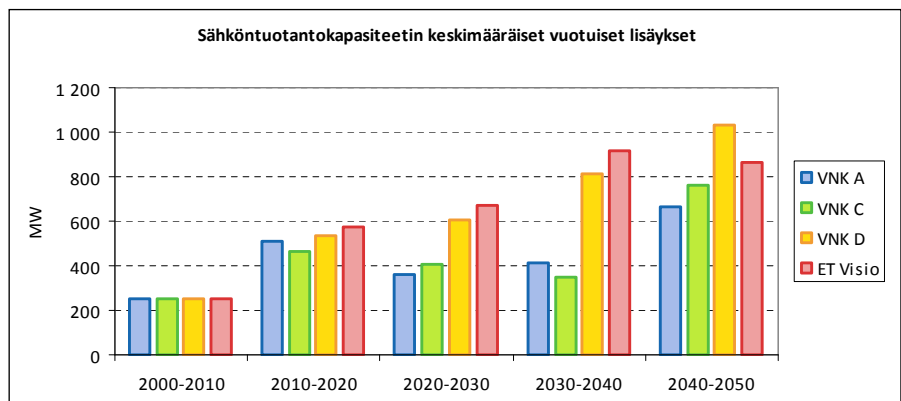
⁶¹ Yksityiskohtaiset oletukset huipunkäyttäjöille on esitetty liitteessä A.



Kuva 4.16. Sähköntuotantokapasiteetin kehittyminen skenaarioittain.⁶²

Skenaarioiden energiantuotantomääristä lasketun tarvittavan kapasiteettimäärän lisäksi on otettava huomioon, että nykyinen sähköntuotantokapasiteetti tulee jossain vaiheessa käyttökänsä päähän. Nykyisen tuotantokapasiteetin osalta on tehty oletuksia kapasiteetin käyttöiästä tuotantolajeittain ja lisäksi uudelle rakennettavalle kapasiteetille on määritelty teknis-taloudelliset käyttöiät⁶³. Kapasiteetin tarpeen ja poistuman kautta voidaan laskea tarvittavien kapasiteetti-investointien määrä tuotantolajeittain.

Kuvassa 4.17 on kuvattu sähköntuotantokapasiteettiin kunakin vuosikymmenenä tarvittavat lisäykset. Kaikissa skenaarioissa tarvitaan uutta kapasiteettia korvaamaan vanhenevaa kapasiteettia sekä erityisesti tulivoimatuotannon lisäämiseen. Suurimmat kapasiteetti-investoinnit tehdään skenaarioissa VNK D ja ET Visio, joissa on myös suurin sähkönkulutus.



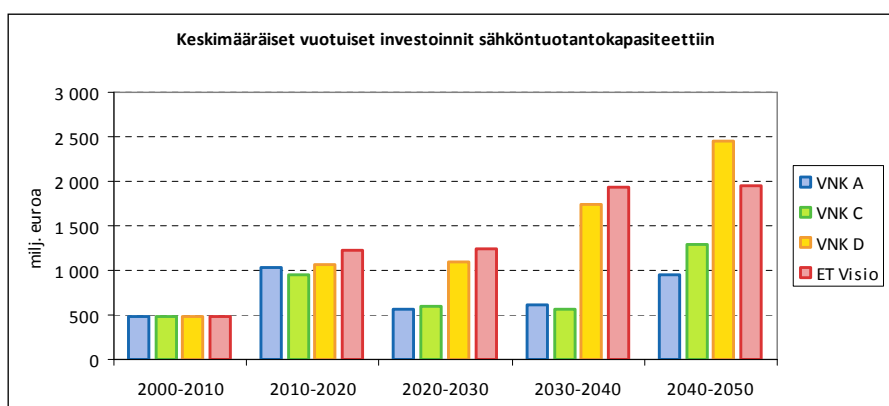
Kuva 4.17. Sähköntuotantokapasiteetin lisääminen vuosikymmenittäin.⁶⁴

⁶² Esitetyt luvut ovat laskennallisia arvioita perustuen oletuksiin huipunkäyttöajoista ja skenaarioissa annetuista tuotantomääristä. Toteuma vuoteen 2005 asti, lähde: Tilastokeskus.

⁶³ Teknistaloudellisena käyttöikä on käytetty ydinvoimalle 40 vuotta, vesivoimalle 100 vuotta ja kaikille muille tuotantoinvestoinneille 25 vuotta. Yksityiskohtaiset oletukset kapasiteettien poistumasta on esitetty liitteessä A.

⁶⁴ Vuosien 2000–2010 lähteenä on käytetty Energiategollisuuden teettämää selvitystä Energiantuotannon investoinnit ja investointipäätökset 2000–2009.

Edellä esitetyn sähköntuotantokapasiteetin lisäämiseen vaaditaan myös huomattavia investointeja. Investointien suuruusluokat on esitetty kuvassa 4.18. Investointikustannukset on laskettu olettaen tuotantolajikohtaisia kustannuksia kapasiteettiyksikköä kohden⁶⁵. Investoinnit ovat suurimpia skenaariossa VNK D ja ET Visio. Tämä on seurausta suuremmasta kapasiteettitarpeesta sekä tarpeesta investoida CCS-teknologiaan. Kaikissa skenaarioissa näkyy vuosien 2010–2020 välille sijoittuva ydinvoimalainvestointi⁶⁶.



Kuva 4.18. Sähköntuotantokapasiteetin lisäämisen edellyttämät keskimääräiset vuotuiset investoinnit.⁶⁷

Kapasiteettitarpeen avulla voidaan myös hahmottaa skenaarioiden vaikutusta jo tehtyihin investointeihin. Mikäli tuotantokapasiteetti muuttuu tarpeettomaksi ennen teknis-taloudellisen käyttöikänsä päättymistä, aiheutuu kapasiteettiin sijoittaneelle kariutuneita kustannuksia. Skenaarioissa tehtävät kapasiteetti-investoinnit on pyritty sovittamaan siten, että kariutuneiden kustannusten osuus on mahdollisimman vähäinen. Kaikissa skenaarioissa voidaan välttää ylimääräisiä kustannuksia, mikäli kapasiteetin vähennykset sovitetaan optimaalisesti tulevaan kysyntään ja tuotantorakenteeseen.

4.3.2 Energialähteiden saatavuus, hinnat ja logistiikka

Energiantuotannon energialähteinä ovat fossiiliset polttoaineet ja turve, uusiutuvat energianlähteet sekä ydinpolttoaineet. Fossiilisia polttoaineita ovat öljy, maakaasu ja kivihili. Näiden saatavuuden oletetaan säilyvän hyvänä ja hintojen kohtuullisina tuoreimman IEA:n World Energy Outlookin mukaisesti⁶⁸. Samoin ydinpolttoaineena käytettävän rikastetun uraanin saatavuuden oletetaan säilyvän hyvänä. Ydinpolttoaineiden hintojen oletetaan kuitenkin nousevan, koska kasvava kysyntä nostaa tuotantokustannuksia.⁶⁹ Päästöoikeuden hinnan oletetaan nousevan 78 euroon CO₂-tonnilta vuoteen 2050 mennessä.

⁶⁵ Yksikkönä on €/kW, yksityiskohtaiset oletukset on esitetty liitteessä A.

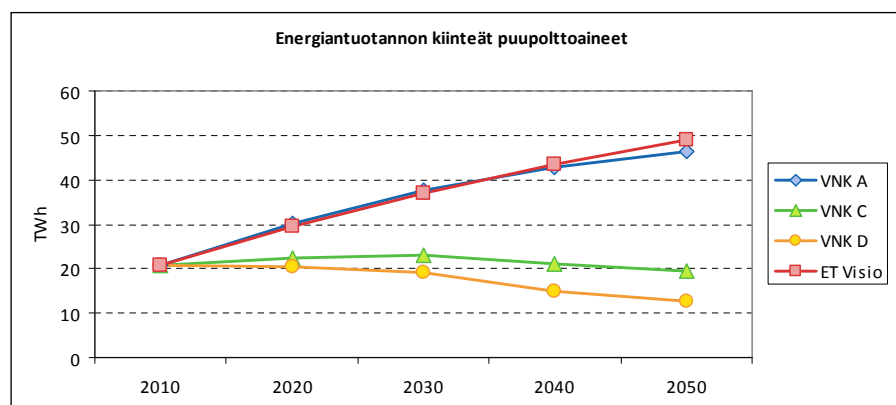
⁶⁶ Investointi on kokonaisuudessaan kohdistettu tälle aikavälille, vaikka suuri osa on jo toteutunut ennen vuotta 2010. Investointikustannuksena on käytetty samaa laskennallista oletusta kuin muullekin kapasiteetille.

⁶⁷ Sisältää yhteistuotantolaitoksien koko investointikustannukset. Vuosien 2000–2010 luku on arvio perustuen rakennetun uuden kapasiteetin määrään ja arvioihin investointikustannuksista.

⁶⁸ IEA, World Energy Outlook 2009.

⁶⁹ IAEA, Analysis of Uranium Supply to 2050, 2001.

Uusiutuvista energialähteistä suurimmat rajoitteet kohdistuvat uusiutuvien biomassojen saatavuuteen, erityisesti tässä selvityksessä metsäperäisiin biomassoihin. Skenaarioiden tuotantomääristä lasketut energiantuotannon kiinteät puupolttoaineet on esitetty kuvassa 4.19. Polttoainemäärät on laskettu skenaarioissa määritellyistä uusiutuvan energian tuotantomääristä käyttäen oletuksia tuotannon hyötysuhteista ja niiden kehittymistä⁷⁰.



Kuva 4.19. Energiantuotannossa käytettävät kiinteät puupolttoaineet⁷¹.

Muista energialähteistä vesivoiman lisääminen vähäisissä määrin onnistuu nykyisten vesivoimalaitosten modernisointien kautta. Usean terawattitunnin vesivoimalisäys edellyttäisi uusien voimalaitosten tai säännöstelyaltaiden rakentamista osin myös nykyisen suojelun piirissä olevissa kohteissa.

4.3.3 Sääto- ja varakapasiteetti

Sähköntuotannon ja kulutuksen pitää olla joka hetki tasapainossa koko sähköjärjestelmässä. Vuosittaisen energian määrien lisäksi on täten tarpeen myös tarkastella skenaarioiden vaikutuksia sähköntuotantokapasiteetin tarpeeseen. Erityisesti tässä selvityksessä on kiinnitetty huomiota 1) huippukuorman aikaiseen kulutukseen, 2) tuulivoiman suuren lisäyksen vaikutuksiin sääto- ja varakapasiteettiin sekä 3) sähköntuotantojärjestelmän häiriötilanteita varten tarvittavaan varareservitarpeeseen.

Skenaarioiden sektorikohtaisten energiakulutustietojen pohjalta on arvioitu kussakin skenaariossa huippukuormitustilanteen sähkötehon tarvetta. Huippukuorman arvioinnin lähtökohdaksi on nykyoloihin perustuva käsitys, jonka mukaan huipputehon tarve on laskennallisesti 1,5-kertainen verrattuna vuosittaiseen keskitehoon⁷². Tulevat energiankäytön muutokset voivat muuttaa tätä oletusta. Skenaarioissa on oletettu sähkönkäytön tehostumisen olevan nopeampaa huippukuorman aikaan käytössä olevissa sähkökuormissa kuin peruskuormassa. Esimerkkejä ovat valaistuksen ja kodin sekä palveluiden sähkönkäytön tehostuminen suhteessa energiantensiivisen prosessiteollisuuden sähkönkäyttöön. Teollisuuden sähkönkäytön suhteellinen osuus putoaa VNK A -skenaariossa noin 15 % ja ET:n Visiossa noin 9 %. Näin

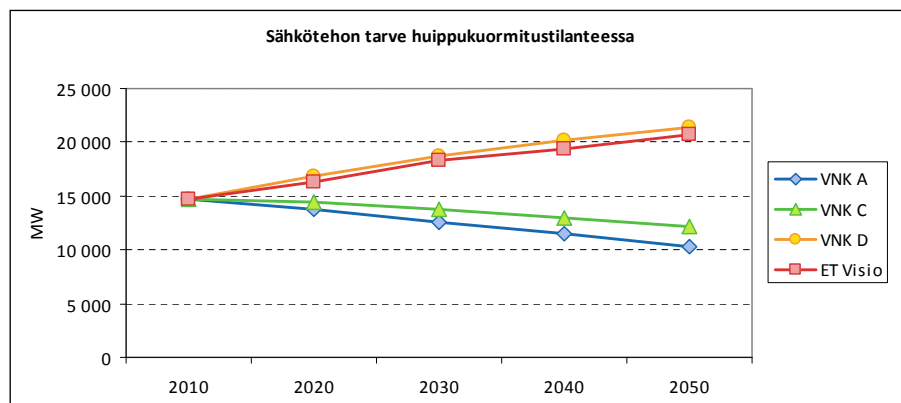
⁷⁰ Yksityiskohtaiset arviot on esitetty liitteessä A.

⁷¹ Ei sisällä metsäteollisuuden puupolttoaineita eikä puun pienkäyttöä.

⁷² VTT ja Fingrid, Sähköntuotannon tasapainon arvioiminen tulevaisuudessa, 2008.

palveluiden sähkönkäytön suhteellinen osuus toisaalta kasvaa. Huippukuormaa voi lisätä lämpöpumppujen kasvava osuus, mutta toisaalta tätä kehitystä kompensoi esimerkiksi takkojen lisääntyvä osuus⁷³. Huipputehon määrittävä kerroin onkin pidetty vakiona koko tarkasteluajanjakson.

Huippukuorman tarve on vähäisin niissä skenaarioissa, joissa sähkön kysyntä on vähäisin, kuten kuva 4.20 esittää. Huippukuorman määrittävästä sähkönkulutuksesta on vähennetty sähköautojen määräämä liikenteen sähkönkulutus. Sähköautojen latauksen on oletettu olevan riittävän älykästä, että huippukuorman aikaan latausta ei tapahdu merkittävässä määrin.



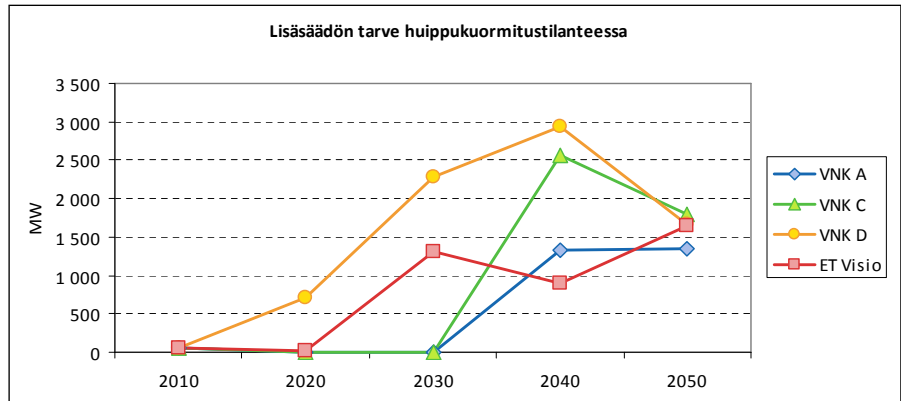
Kuva 4.20. Laskennallinen sähkötötehon tarve huippukuormitustilanteessa.

Sähköntuotantokapasiteettia huippukuormitustilanteessa on arvioitu ottaen huomioon skenaarioiden energiantuotantomäärien kattamiseksi rakennetun tuotantokapasiteetin määrän sekä oletukset vikaantumisesta huipunkäytön aikaan⁷⁴. Muista tuotantomuodoista poiketen tuulivoiman tuotannolle on oletettu 6 % käytettävyyttä huippukuorman aikaan⁷⁵. Kuvassa 4.21 on esitetty laskennallinen arvio huippukuormitustilanteesta vaadittavasta lisäkapasiteetista. Huippukuorman aikaan tarvittava lisäsähköntarve on mahdollista kattaa joko rakentamalla lisää lyhytaikaiseen käyttöön soveltuvaa tuotantokapasiteettia, kysyntäjoustojen avulla tai tuomalla sähköä. Huippukuorman aikainen lisäsähköntarve on aluksi vähäisin VNK A ja C -skenaarioissa, joissa tuotantokapasiteetti on aluksi suuri suhteessa vähenevään kulutukseen. Kun vanhaa tuotantokapasiteettia ajetaan alas, nousee lisäsäädön tarve myös näissä skenaarioissa. Huippukuorman aikainen lisäkapasiteettitarve on aluksi suurin skenaarioissa VNK D ja ET:n Visio, joissa suuri osa energiasta tuotetaan peruskuormanä ydinvoimalla.

⁷³ VTT:n Sekki-hankkeessa on arvioitu 200 000 lämpöpumpun asentamisen öljylämmitettyihin taloihin lisäävän huippukuormaa noin 1 500 MW, lähde: VTT, Suomen energiateollisuuden kilpailukyky ilmestopolitiikan muuttuessa, 2009. Toisaalta asentamalla pellettitakat noin 200 000 sähkölämmitteiseen taloon, on arveltu päästävän noin 1 000–1 500 MW huippukuorman vähennyksiin, lähde: BenetOy, Lämmityssähkön kulutuksen vähentäminen pellettitakkojen avulla, 2008.

⁷⁴ Vikaantumiskertoimet Energiamarkkinavirasto, Kertomus sähkön toimitusvarmuudesta 2009, mukaisesti.

⁷⁵ Osuus 6 % perustuu Fingridin oletukseen. Oletus on laadittu toteutuneen tilaston perusteella. VTT:n arvioiden mukaan osuus voi olla 13–18 %. Lähde: VTT, Tuulivoiman säätö- ja vara-voimatarpeesta Suomessa, 7.3.2008.



Kuva 4.21. Laskennallinen lisäsäätötehon tarve sähkön huippukuormitustilanteessa.

Tuulivoiman merkittävä lisärakentaminen lisää lyhytaikaisen säätövoiman käytön tarvetta. Kokonaan vähätuuliset ajankohdat pystytään ennustamaan melko tarkasti ja tuulivoiman maantieteellinen hajautuminen vähentää keskimääräistä säätötarvetta. VTT:n arvion mukaan 2000–4000 MW tuulivoiman säätöminen pelkästään Suomen sisäisellä säätökapasiteetilla edellyttäisi noin 240–640 MW säätövoiman lisärakentamista⁷⁶. Eri maiden kokemusten perusteella tuulivoiman vaatima säätötarve olisi noin 1–5 % asennetusta tuulivoimakapasiteetista, kun tuulivoimalla tuotetaan 5–10 % sähköstä. Saksassa osuuden on arvioitu olevan noin 8–9 %, kun tuulivoiman osuus on 15 % kulutuksesta. Tässä selvityksessä on tuulivoiman lisäsäätökapasiteettitarpeeksi oletettu 15 % asennetusta tuulivoimakapasiteetista.⁷⁷

Tuulivoiman käytön myötä nykyisen säätökapasiteetin käyttö kasvaa ja lisääntyvästä säädöstä aiheutuu tuulivoimalle kohdennettavissa olevia säätökuluja. Näiden suuruudesta ei ole tarkkoja vain Suomen oloihin soveltuvia arvioita, mutta kansainvälisissä tutkimuksissa on päädytty jopa 3 euron kustannuksiin tuotettua tuulivoimamegawattituntia kohden, mikäli säätö toteutetaan pääasiassa lauhdetuotannolla⁷⁸. Ylimääräisen säädön kustannukset kaikissa skenaarioissa nousisivat täten noin 60 miljoonaan euroon kaikissa skenaariossa. Suomen oloissa keskimääräiset kustannukset jäävät todennäköisesti pienemmiksi, koska suuri osa säädöstä voidaan kotimaassakin toteuttaa vesivoimalla.

Yllä kuvatun nykyisin markkinapohjaisen sähköjärjestelmän säädön lisäksi sähköjärjestelmässä varaudutaan tuotanto- tai siirtoyhteyksien vikaantumisista aiheutuviin häiriötilanteisiin. Tuulivoiman ja suurimman sähköverkkoon kytkettyneen voimalaitoksen mitoitusvian varakapasiteettitarpeen on tässä selvityksessä oletettu olevan katettavissa samoilla resursseilla. Nopeaksi häiriöreserviksi soveltuvat esimerkiksi nopeasti käynnistettävät kaasuturbiinit, irtikytettävät teollisuus- tai pienkuluttaja-

⁷⁶ Fingridin ja VTT:n lausunto, 2000 ja 4000 MW tuulivoiman liittäminen Suomen sähköjärjestelmään, 26.9.2008.

⁷⁷ VTT, Tuulivoiman säätö- ja varavoimatarpeesta Suomessa, 7.3.2008. Saksan korkeampi säätötarve sisältää myös päivää aiemmin tehtävän ennusteen ennustevirheen. Fingrid on omista laskelmissaan käyttänyt huomattavasti korkeampaa arviota, 25 % asennetusta kapasiteetista, lähde: Fingrid Oyj:n lehti, 3/2008.

⁷⁸ M. Klobasa et al., Demand Response – A New Option for Wind Integration, 2006.

kuormat sekä rajatasasähköyhteyksien käyttö. Suurimman sähköverkkoon kytketyn laitoksen mitoitusvika on Olkiluoto 3:n valmistumisen seurauksena kasvanut. Tähän varautukseen kantaverkkoyhtiö Fingrid rakentaa 200 MW uutta häiriöreserviä⁷⁹, nykyisin käytössä olevan noin 600 MW lisäksi⁸⁰. Irtikytkettävistä kapasiteetista häiriötilanteita varten on Suomessa hyödynnetty lähinnä teollisuuden sähkökuormia. Suomen prosessiteollisuuden irtikytkettävien kuormien potentiaalin on arvioitu olevan noin 1 280 MW. Tästä määrästä noin 400 MW on jo varattu häiriöreserviksi ja Olkiluoto 3:n valmistumisen jälkeen häiriöreservin määrä nousee noin 800 MW:iin.⁸¹

Uuden säätö- ja varavoimakapasiteetin lisäksi sähköjärjestelmän tasaamiseen voidaan käyttää myös kysyntäpuolen irtikytkettävää ja joustavaa kapasiteettia, joka ei vielä ole varattuna muuhun käyttöön. Esimerkiksi teollisuuden irtikytkettävästä kapasiteetista vajaa 500 MW on mahdollista tarjota markkinaehtoisesti säätökapasiteetiksi tai varata edelleen lisähäiriöreserviksi. Sähkölämmityksen kysyntäjouston on puolestaan arvioitu olevan noin 300 MW⁸². Älykkäämmät sähköverkot voivat mahdollistaa tämän hajautuneen kapasiteetin joustavamman käytön jatkossa. Niissä skenaarioissa, joissa sähköautojen osuuden oletetaan kasvavan voimakkaasti, tarjoavat sähköautojen akut joustavan hajautetun sähkövaraston, jota voitaneen hyödyntää osana säätöjärjestelmää.

4.4. Energian siirto- ja jakelujärjestelmät

4.4.1 Sähköverkot

Sähkön siirtäminen tuotantolaitoksilta kulutuskohteisiin jakaantuu karkeasti siirtoverkkoihin ja jakeluverkkoihin. Sähkön siirtoverkoston muodostavat valtakunnallinen kantaverkko sekä joukko pienempiä alueellisia alueverkkoja. Suurimmat tuotantolaitokset ja kulutuskohteet on liitetty suoraan siirtoverkkoihin ja suurimmissa kaupungeissa jakeluverkon piirissä oleviin suurjännitelinjoihin. Sähkön jakeluverkot palvelevat puolestaan pienkuluttajia niin kotitalouksissa kuin yritysten pienemmissä kulutuskohteissa.

Sähkönjakelujärjestelmän kannalta merkittävimpiä muutoksia aiheuttavat investoinnit uusiin jakelupisteisiin ja sähköautojen latausverkostoon, jota on tarkasteltu erikseen luvussa 4.2. Tässä yhteydessä tarkastellaan tarkemmin investointeja uusiin latauspisteisiin, jotka on jaoteltu maaseutumaisiin ja kaupunkimaisiin jakeluliittymiin taulukon 4.6 mukaisesti. Oletuksena on, että maaseutumaista liittymää kohden vaaditaan suurempia investointeja kuin kaupunkimaista liittymää kohden. Uusien liittymäpisteiden määrä on laskettu skenaarioiden rakennusmäärätietojen ja asumisväljyyden sekä asuntokunnan keskikoosta tehtyjen oletusten perusteella. Pienyritysten liittymiä on vastaavasti arvioitu palvelurakennuskannan kehittymisen kautta. Jako maaseutumaisiin ja kaupunkimaisiin liittymiin on tehty perustuen skenaariokohtaisiin arvioihin kerrostaloasuntojen ja muiden asuntojen määrästä.

⁷⁹ Fingrid, R. Päivinen, Ajankohtaista, esitys, 10.11.2009.

⁸⁰ VTT ja Fingrid, Sähköntuotannon tasapainon arvioiminen tulevaisuudessa, 2008.

⁸¹ TEM, Sähkön kysyntäjouston edistäminen, 2008.

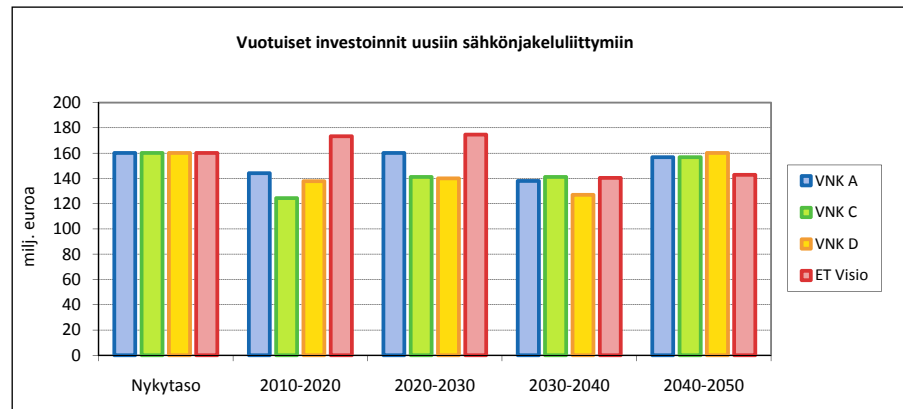
⁸² TEM, Sähkön kysyntäjouston edistäminen, 2008.

Taulukko 4.6. Sähkönjakeluliittymäpisteiden laskennallinen lukumäärä⁸³.

	Nykytila	ET Visio 2050	VNK A 2050	VNK C 2050	VNK D 2050
Maaseutumaiset (milj. kpl)	2,3	2,9	2,4	2,9	2,7
Kaupunkimaiset (milj. kpl)	0,6	1,3	1,8	1,1	1,3

Skenaarioista VNK A:ssa näkyy voimakkaimmin kaupungistumisen vaikutus, kun taas VNK C skenaariossa kehitys kohdistuu maaseutualueille. VNK D:ssä ja ET:n Visiossa kasvu jakaantuu tasaisemmin. On syytä huomata, että kaupunkiasuntojen asuntokunnan keskikoon on oletettu olevan maaseutumaisista asumista pienempi. Tästä syystä liittymien kokonaismäärä on suurempi VNK A -skenaariossa, kuin VNK C ja VNK D -skenaarioissa. ET:n Visiossa liittymien kokonaismäärä on suurempi suuremman väestönkasvun vuoksi.

Uusiin sähkönjakeluliittymiin tehtävien investointien laskennallinen tarve on esitetty kuvassa 4.22. Uusien liittymien arvon nykytilassa on oletettu olevan keskimäärin 4 000 euroa / liittymä maaseutumaisissa liittymissä ja 2 500 euroa / liittymä kaupunkimaisissa liittymissä⁸⁴.

**Kuva 4.22.** Laskennalliset investoinnit uusiin sähkönjakeluliittymiin⁸⁵.

Käytännössä vuotuiset verkkoinvestoinnit ovat olleet viime vuosina esitettyjä korkeampia, yhteensä noin 550 miljoonaa euroa vuonna 2008⁸⁶. Korkeampaa investointitasoa selittävät uusinvestointien lisäksi korvausinvestoinnit, joiden osuus on ollut noin kolmannes kaikista investoinneista. Korvausinvestointien määrä on ollut vuotui-

⁸³ Tehty jako perustuu karkeasti skenaarioissa tehtyihin kuvauksiin tulevasta kehityksestä. Nykytila perustuu Energiamarkkinaviraston tilastoihin. Jakoperusteena on käytetty alle 0,4 kV:n verkon maakaapelointiastetta, joka kaupunkimaisille verkoille täytyy olla yli 75 %.

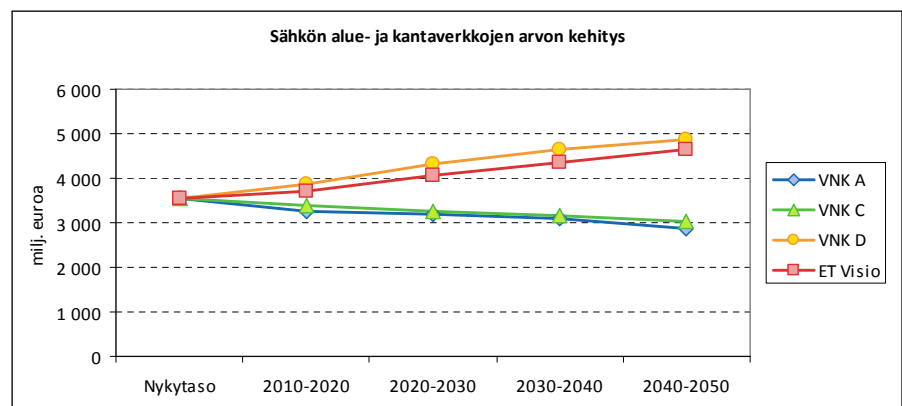
⁸⁴ Esitetyt arviot vastaavat karkeasti verottomia 3 x 63 A liittymien nykyhintoja.

⁸⁵ Myös investointitaso 2000–2010 on laskennallinen perustuen rakentamisen määriin ja edellä esitettyihin keskimääräisiin liittymien hintoihin.

⁸⁶ Energiamarkkinavirasto, M. Hänninen, Energiamarkkinaviraston Ajankohtaispäivät, esitys, 10.3.2009.

sia verkostosta tehtäviä tasapoistoja pienempi. Huomioiden sekä tehdyt investoinnit että poistot verkkojen arvo on kasvanut noin 150 miljoonaa euroa vuodessa.

Sähkön alue- ja kantaverkkotasolla tapahtuvien siirtoverkkojen arvolle sähkön siirtomäärällä on jakeluverkkoja huomattavasti suurempi merkitys. Kuvassa 4.23 on havainnollistettu näiden siirtoverkkojen yhteenlasketun arvon kehittymistä, kun sähkön kulutus ja siirtomäärät muuttuvat. Skenaarioissa, joissa siirtomäärät kasvavat, siirtoverkkojen arvo lisääntyy ja vastaavasti skenaarioissa, joissa kulutus laskee, vähenee siirtoverkkojen arvo. Tämän kehityksen voidaan pitkällä aikavälillä ajatella olevan seurasta tarvittavien investointien määrästä⁸⁷.



Kuva 4.23. Sähkön alue- ja kantaverkkojen laskennallinen arvonkehitys.

Edellä esitettyjen kulutusperustaisten muutosten lisäksi uudella tuotantokapasiteetilla on myös vaikutuksia sähköverkkoihin. Tuulivoimatuotannon osalta on oletettu, että keskimääräinen tarve verkostoinvestoinnille on noin 100 €/kW⁸⁸. Tällöin esimerkiksi 100 MW:n tuulivoimatuotannon liittämisen siirtoverkkoon maksaisi noin 10 miljoonaa euroa. Kaikissa skenaarioissa tuulivoimaan investoidaan liki samalla tahdilla. Investointien on lisäksi oletettu jakautuvan tasaisesti koko tarkasteluajavälille. Näillä oletuksilla tuulivoiman liittämisen kustannukset ovat keskimäärin noin 15–20 miljoonaa euroa vuodessa koko aikavälin 2010–2050. Kumulatiiviset investoinnit ovat suurimmat VNK A:ssa, noin 800 miljoonaa euroa, ja pienimmät ET:n Visiossa, noin 600 miljoonaa euroa. Ydinvoiman osalta verkoston vahvistamisen lisäkustannuksina on käytetty noin 20 €/kW⁸⁹. Ydinvoiman verkkoon liittämisestä aiheutuvat kustannukset ovat VNK C skenaariossa noin 40 miljoonaa euroa, VNK D -skenaariossa 180 miljoonaa euroa ja ET Visio -skenaariossa noin 150 miljoonaa euroa.

⁸⁷ Verkkojen arvonmuutosten on oletettu riippuvan siirtomäärien arvonmuutoksista siten, että 10 % muutos siirtomäärässä tarkoittaa 8 % muutosta verkon arvossa. Kantaverkko-yhtiö Fingridin lähtöarvona on käytetty toimitusjohtaja J. Ruususen esittämää 3,3 miljardin euron arviota, lähde: Tekniikka & Talous, Huonot sähkönsiirtolinjat maksavat suomalaisille satoja miljoonia vuodessa, 29.10.2008. Alueverkkoyhtiöiden lähtöarvona on käytetty 220 miljoonaa euroa, lähde: Energiamarkkinavirasto, M. Matikainen, Energiamarkkinaviraston Ajankohtaispäivät, esitys, 10.3.2009.

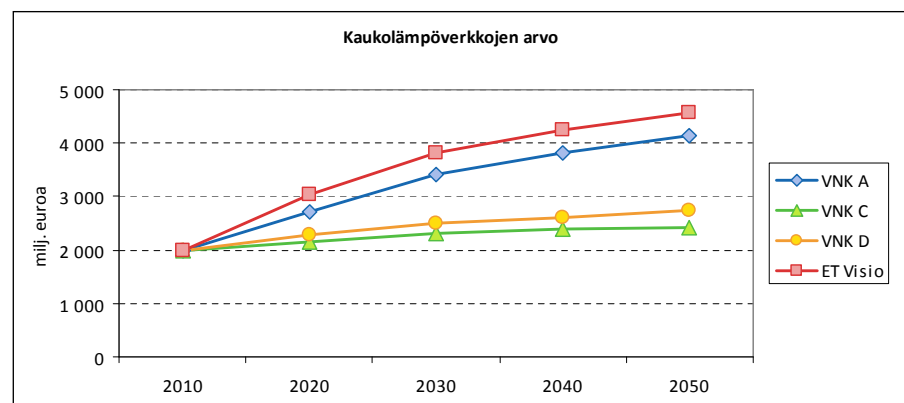
⁸⁸ Oletus perustuu arvioihin todellisten tapaustutkimusten perusteella.

⁸⁹ Perustuen Olkiluoto 3:n verkostoinvestointeihin, Fingrid Oy, Fingridin uusi siirtoyhteys Olkiluodosta Huittisiin otettiin käyttöön, lehdistötiedote, 1.11.2007.

4.4.2 Kaukolämpöverkot

Kuten sähkönjakeluverkkojen tapauksessa, kaukolämpöverkkoihin tarvittaviin investointeihin vaikuttaa erityisesti verkon jakelun piirissä olevat liittymät. Siirrettävän kaukolämmön määrällä on vähäinen vaikutus pääasiassa putkistojen mitoituksen kautta, mutta erot kustannuksissa ovat kohtuullisen vähäisiä⁹⁰. Kaukolämmityksen piiriin tulevien uusien liittymien määrä on arvioitu kuten sähköverkkojen tapauksessa skenaarioiden rakennusmäärätietojen ja asumisväljyyden sekä asuntokunnan keskikoosta tehtyjen oletusten sekä vastaavien pienyrityskohtaisten oletusten perusteella. Uusien liittymien arvon nykytilassa on oletettu olevan keskimäärin 4 000 euroa / liittymä.

Edellä kuvattujen tietojen perusteella on tehty laskennallinen arvio kaukolämpöverkkojen arvon kehityksestä eri skenaarioissa (ks. kuva 4.24). VNK C ja VNK D -skenaarioissa kaukolämmön osuus uusista liittymistä laskee selvästi ja verkon arvo kasvaa muita skenaarioita hitaammin. VNK A ja ET:n Visio -skenaarioissa uusia kaukolämpö liittymiä rakennetaan enemmän ja verkon laskennallinen arvo kasvaa täten vastaavasti voimakkaammin. Kaukolämpöverkkojen arvossa ei ole otettu huomioon mahdollisia ydinkaukolämpöinvestointeja.



Kuva 4.24. Kaukolämpöverkkojen laskennallinen arvonkehitys.

⁹⁰ Ks. esim. Energiateollisuus, Maanalaisten kiinnivaahdotettujen kaukolämpöjohtojen rakentamiskustannukset 2007. Tässä on oletettu liittymän arvon muuttuvan suhteessa siirrettävän kaukolämmön määrän muutoksiin niin, että yhden yksikön muutos kaukolämmön siirrossa aiheuttaa 0,2 yksikön muutoksen liittymän arvossa.

5 Taloudelliset seuraukset

5.1 Investointitarpeet

5.1.1 Vuotuiset investointitarpeet eri sektoreilla

Infrastruktuurimuutosten vaatimat investointitarpeet ovat vuotuisella tasolla miljardi-luokkaa niin energian kulutus- kuin tuotantosektorilla. Skenaarioiden väliset erot syntyvät lähinnä siinä, mihin investoinnit kohdistetaan. Seuraavassa on kuvattu ensin sektorikohtaisia vuotuisia investointitarpeita, jonka jälkeen on arvioitu tarvittavia kumulatiivisia investointeja. Tarvittavia investointeja on tarkasteltu varsin karkealla tarkkuudella laskelmiin liittyvien epävarmuuksien vuoksi. Laskelmat osoittavat kuitenkin selkeästi investointien suuruusluokat eri skenaarioissa.

Rakennussektorilla korjausrakentamisen määrä kasvaa jo lähivuosisikymmeninä, kun 60- ja 70-luvulla rakennettu suuri rakennuskanta tulee peruskorjausikänsä. Kaikissa skenaarioissa korjausrakentamisen tarve on suurin piirtein sama – eroja syntyy siitä, kuinka paljon energiatehokkuusinvestointeja tehdään korjausrakentamisen yhteydessä. Kaikissa tarkastelluissa VNK:n skenaarioissa energiatehokkuuden parantamisen investoinnit nousevat noin 1 miljardiin euroon vuodessa, kun ET:n Visiossa investoinnit ovat hieman alle 200 miljoonaa euroa vuodessa (ks. kuva 4.5). Vuonna 2008 korjausrakentamisen arvo oli vajaa 10 miljardia euroa, mikä tarkoittaa, että VNK:n skenaarioissa joka kymmenes korjausrakentamiseen käytetty euro pitäisi sijoittaa energiatehokkuuden parantamiseen. Uudisrakentamisen puolella investointitarpeet vuoden 2008 normeja parempaan energiatehokkuuteen jäävät korjausrakentamista vähäisemmäksi ja vaihtelevat vuotuisesti 100–500 miljoonan euron välillä skenaariosta ja vuosikymmenestä riippuen (ks. kuva 4.7). Tähän yhtenä merkittävänä syynä on se, että uudisrakentamisessa energiatehokkuustoimet ovat edullisempia toteuttaa kuin korjausrakentamisen yhteydessä.

Liikennesektorilla on tarkasteltu tie- ja raideinvestointeja. Merkittävimmät erot skenaarioiden välillä liittyvät liikennesuoritteiden kehittymiseen. Tieliikenteen osalta VNK D:ssä ja ET:n Visiossa tieliikennesuoritteet kasvavat käytännössä nykyiseen tahtiin, kun taas VNK C:ssä ja erityisesti VNK A:ssa liikennesuoritteiden kasvu taittuu. Liikennesuoritteiden perusteella lasketut tieinvestoinnit perustienpitoon ja kehittämiseen kasvavat VNK D:ssä ja ET Visiossa pitkällä tähtäimellä 200–400 miljoonaa euroa vuodessa nykyisestä noin 800 miljoonan euron vuotuisesta tasosta (ks. kuva 4.13). VNK C:ssä investoinnit pysyvät likimain nykytasolla ja VNK A:ssa laskevat aavistuksen.

Raideliikenteessä erityisesti VNK D:ssä vaaditaan merkittäviä lisäinvestointeja – nykyisestä vajaan 500 miljoonan euron vuotuisesta investointitasosta radanpitoon ja kehittämiseen olisi pitkällä tähtäimellä kasvatettava investointeja jopa reilusti yli miljardiin euroon (ks. kuva 4.14). Kaikissa muissakin skenaarioissa on tarve kasvat-
taa raideliikenneinvestointeja 1,5–2 -kertaiseksi nykytasolta. Sähköautojen vaatiman infrastruktuurin investointitarpeiden arviointi on vielä haastavaa, koska kustannuk-
sista ja palvelutasosta ei ole vielä luotettavia tietoja. Karkeasti arvioiden kattavan
infrastruktuurin rakentaminen vaatii sähköautovaltaisissa skenaarioissa (muut
paitsi VNK C) keskimäärin noin 100–250 miljoonan euron vuotuisia investointeja
(ks. kuva 4.15), hieman investointien ajoituksesta riippuen.

Energiantuotannon osalta tarkastelu on kohdistettu sähköntuotantokapasiteettiin. VNK D:ssä ja ET:n Visiossa sähköntuotantokapasiteetin tarve kasvaa merkittävästi, kun taas VNK A:ssa ja C:ssä kasvu on maltillista. Kaikissa skenaarioissa tehdään vielä 2010-luvulla likimain saman verran investointeja tuotantokapasiteettiin – keskimäärin noin 1 miljardi euroa vuodessa (ks. kuva 4.18)⁹¹. Skenaarioiden väliset erot alkavat näkyä 2020-luvulla, jolloin vuotuiset investoinnit ovat 0,6–1,2 miljardia euroa vuodessa skenaarioista riippuen. Myöhemmin erot kasvavat vielä suuremmiksi ja 2040-luvulla VNK D:ssä investoinnit ovat noin 2,5 miljardia euroa vuodessa. Myös VNK A:ssa ja C:ssä tarvitaan 2040-luvulla investointeja uuteen kapasiteettiin noin miljardi euroa vuodessa. ET:n Visiossa 2030- ja 2040-luvuilla tarvitaan puolestaan noin 2 miljardin euron vuotuiset investoinnit.

Sähkön jakeluverkkoihin tehtävät investoinnit riippuvat uusien jakelupisteiden määrästä ja siitä painottuvatko uudet liittymät kaupunkeihin vai maaseudulle. Sähkön jakeluverkkojen investointitarpeet (pois lukien sähköautoinfrastruktuurin vaatimat investoinnit) säilynevät kaikissa skenaarioissa likimain samalla tasolla. Uusien liittymien investointitarpeet ovat karkeasti noin 150 miljoonan euron luokkaa vuodessa, minkä lisäksi verkkojen poistojen vastapainoksi tarvitaan noin 400 miljoonan euron korvaavat investoinnit.⁹²

Sähkön siirtoverkoissa tarvittavien investointien määrä riippuu sähkön kulutuksesta ja uuden tuotannon liittämistä verkkoon. Kulutusperusteiset investoinnit vaihtelevat suuresti eri skenaarioissa – VNK D:ssä ja ET:n Visiossa keskimääräiset vuotuiset investoinnit ovat luokkaa 40–90 miljoonaa euroa⁹³, kun taas VNK A ja C -skenaarioissa investoinnit jäävät poistoja pienemmiksi, jolloin siirtoverkoston arvo alkaa laskea. Tuotannon osalta tuulivoiman liittäminen sähköverkkoon edellyttää keskimäärin noin 15–20 miljoonan euron vuotuisia investointeja, mikäli tuotantokapasiteetin rakentaminen tapahtuu tasaisesti vuoteen 2050. Lisäksi muiden tuotantolaitosten liittäminen verkkoon edellyttää suhteessa pienempiä investointeja.

Kaukolämpöverkostoinvestoinnit ovat merkittäviä ET:n Visiossa ja VNK A:ssa – tosin erona on se, että VNK A:ssa kulutus vuonna 2050 on vain puolet ET Vision kulutuksesta. Näissä skenaarioissa vuotuiset uudet investoinnit kaukolämmön jakeluverkkoon ovat noin 100–120 miljoonaa euroa, minkä seurauksena kaukolämpöverkkojen arvo karkeasti kaksinkertaistuu vuoteen 2050 mennessä. VNK C:ssä ja D:ssä kaukolämpöverkkojen kasvu taittuu ja niiden arvo säilyy karkeasti nykytasolla.

5.1.2 Kumulatiiviset investoinnit

Rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen panostetaan eniten VNK A -skenaariossa, jossa tehdään vuoteen 2050 mennessä yli 50 miljardin euron investoinnit. Muissa VNK:n skenaarioissa investoinnit ovat hieman tätä pienemmät. Investoinneista valtaosa kohdistuu korjausrakentamiseen. ET:n Visiossa rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen investoidaan kumulatiivisesti noin 10 miljardia euroa vuoteen 2050 mennessä.

⁹¹ Suuri osa 2010-luvun investoinneista on jo päätetty ja täten samoja kaikissa skenaarioissa. Mukaan on laskettu Olkiluoto 3:n laskennallinen investointi kokonaisuudessaan.

⁹² Osa korvaavista investoinneista on puhtaasti korvaavia investointeja ja osa uusinvestoinneiksi laskettavia investointeja, jossa osa verkosta rakennetaan uudelleen uudemmalla tekniikalla tai muuttamalla esimerkiksi ilmajohtoa maakaapeliksi.

⁹³ Arviosta puuttuvat voimalaitoksien liittämiseen tehdyt investoinnit. Investointitaso kanta- ja alueverkkoihin on ollut viimevuosina noin 90–150 miljoonaa euroa vuodessa. Lähde: EMV ja Fingrid.

Liikenteessä vaadittavia infrastruktuuri-investointeja voidaan tarkastella tarvittavina muutoksina nykyiseen investointitasoon. Tieliikenteen osalta VNK A:ssa vähenevät liikennesuoritteet mahdollistavat investointien vähentämisen siten, että kumulatiivinen vaikutus vuoteen 2050 mennessä olisi noin 2 miljardia euroa ja vastaavasti VNK C:ssä lisäinvestoinnit olisivat noin 2 miljardia euroa. VNK D:ssä ja ET:n Visiossa liikennesuoritteiden kasvu vaatisi merkittäviä lisäinvestointeja tieverkostoon. VNK D:ssä suuruusluokaltaan noin 8 miljardia euroa ja ET:n Visiossa yli 10 miljardia euroa vuoteen 2050 mennessä. Raideliikenteen osalta lisäinvestointitarpeet olisivat jopa tätä suurempia – VNK A:ssa ja C:ssä yli 10 miljardia euroa, VNK D:ssä jopa yli 20 miljardia euroa ja ET:n Visiossakin noin 6 miljardin euron luokkaa.

Sähköntuotantokapasiteetin lisärakentaminen on selkeästi merkittävin energiasektorin investointikohde. Tarvittava kapasiteetti riippuu pitkälti sähkön kulutuksen kehitymisestä. VNK A:ssa sähkönkulutuksen kasvu taittuu nopeimmin, mutta silti tässäkin skenaariossa vaaditaan vuoteen 2050 mennessä kumulatiivisesti noin 30 miljardin euron investoinnit. VNK C:ssä investoinnit ovat hieman tätä suuremmat. VNK D:ssä ja ET:n Visiossa investoinnit sähköntuotantoon ovat noin kaksinkertaiset eli noin 60 miljardia euroa vuoteen 2050 mennessä. Energian siirto ja jakelujärjestelmään tarvitaan myös tulevaisuudessa merkittäviä investointeja, mutta niiden suuruus jää kuitenkin pienemmäksi kuin investoinnit uuteen tuotantokapasiteettiin.

Yhteensä kumulatiiviset investoinnit on esitetty taulukossa 5.1. Rakennusten energiatehokkuuden parantamisen investoinnit koostuvat korjausrakentamisen yhteydessä tehtävien energiatehokkuustoimien kustannuksista sekä uudisrakentamisen vuoden 2008 normitason ylittävistä kustannuksista. Liikenteessä lisäinvestoinneilla kuvataan eroa investointitarpeessa suhteessa nykytilaan tie- ja raideliikenteen osalta. Sähköntuotantokapasiteetin lisärakentamisen kustannukset sisältävät sähköntuotantolaitosten investoinnit. Energian siirto- ja jakelujärjestelmien osalta taulukossa on esitetty investoinnit sähköautojen latauspisteisiin sekä uusiin jakeluliittyimiin.

Taulukko 5.1. Skenaariossa tehtävät laskennalliset kumulatiiviset investoinnit jaoteltuna investointien kohderyhmiin.

Miljardia euroa	ET Visio	VNK A	VNK C	VNK D
Rakennusten energia-tehokkuuden parantaminen	11	57	49	49
Liikenteen lisäinvestoinnit	16	10	12	30
Sähköntuotantokapasiteetin lisärakentaminen	64	32	34	64
Investoinnit sähköauton lataus-pisteisiin ja uusiin sähköjakeluliittyimiin	10	9	7	11
<i>Edelliset yhteenlaskettuna</i>	<i>100</i>	<i>107</i>	<i>101</i>	<i>153</i>

5.1.3 Investointitarpeisiin liittyvät epävarmuudet

Edellä esitetyt laskelmat investointien kustannuksista perustuvat lähtökohtana olevissa skenaarioissa esitettyihin tietoihin sekä tässä hankkeessa tehtyihin laskentaoletuksiin. Yhtenä hankkeen rajoituksena on, että laskentaoletukset on pidetty samoina kaikissa skenaarioissa. Mikäli investointimäärät eri skenaarioissa ovat lähellä toisiaan, voidaan oletusta pitää perusteltuna. Niiltä osin, kun skenaariot poikkeavat toisistaan merkittävästi, on oletettavaa, että myös laskentaoletuksia olisi tarpeen tarkastella skenaariokohtaisesti. Erityisesti merkittäviä eroja skenaarioiden välillä on korjausrakentamisessa, väyläinfrastruktuureissa sekä energiantuotantokapasiteetissa. Kaikkia eroavaisuuksia ei ole kuitenkaan voitu tämän hankkeen puitteissa selvittää. Näiden yksityiskohtainen lisäselvitys onkin tarpeen aihepiiriokohtaisesti.

Myös käytettyihin laskentaoletuksiin liittyy epävarmuutta. Käytetyillä laskentaoletuksilla suurimmat investointitarpeet syntyvät nykyisen rakennuskannan energiatehokkaan korjaamisessa, raideliikenteen lisäämisessä sekä energiantuotantokapasiteetin uusimisessa ja lisäämisessä.

Energiatehokkaan korjausrakentamisen kustannuksena on laskennassa käytetty 1,5 € yhdessä vuodessa säästettyä kilowattituntia kohti⁹⁴. Kustannus on laskettu keskimäärin noin 50 % suuruisen energiavähennyksen saavuttamiseksi vaadittavista toimista nykykustannustasolla. Kustannuksien on oletettu pysyvän vakiona koko tarkasteluajaksolla. Käytännössä yksittäisten toimenpiteiden kustannukset vaihtelevat merkittävästi. Mikäli kustannukset osoittautuvat oletettua korkeammiksi, tulisivat erityisesti VNK -skenaarioissa oletetut merkittävät energiatehokkuuskorjaustoimet esitettyä kalliimmiksi. Toisaalta mikäli teknologinen kehitys alentaa kustannuksia, voivat kustannukset jäädä esitettyä alhaisemmiksi.

Raideliikenteen lisäämisen kustannukset, jotka ovat erityisesti VNK D -skenaariossa korkeat, on arvioitu perustuen nykyiseen kustannustasoon. Jotta oletuksen mukaisesti erityisesti teollisuuden kuljetuksia siirtyisi tieliikenteestä raiteille, olisi raideliikenteen oltava kilpailukykyinen vaihtoehto tieliikenteelle. Tällöin raideliikenneinvestointien toteutuminen markkinaehtoisesti edellyttäisi merkittävää tieliikennekuljetusten kustannusten nousua.

Energiatuotantokapasiteetin uusimisessa eri teknologioiden vaatimien investointikustannusten on oletettu pysyvän vakiona merkittävien tuotantomuotojen osalta lukuun ottamatta tuulivoimaa ja CCS-teknologiaa. Näiden muita uudempien teknologioiden osalta on oletettu teknologisen kehityksen alentavan kustannuksia. Kustannuskehityksen on oletettu noudattavan pääpiirteissään kansainvälisen energiajärjestön IEA:n esittämiä arvioita⁹⁵. Mikäli tuulivoiman tai CCS-teknologian kustannukset alenevat oletettua hitaammin, lisää tämä myös investointitarvetta.

⁹⁴ Laskentaoletus perustuu raportissa Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, RIL 249-2009 Matala-energiarakennukset, 2009 esitettyihin arvioihin.

⁹⁵ Ks. IEA, Energy Technology Perspectives 2050, 2008 sekä IEA, CO₂ capture and storage – A key carbon abatement option, 2008.

5.2 Investointien rahoitus

Investointien rahoitusta tarkasteltaessa on huomioitava, mitkä ovat kansantalouden edellytykset selviytyä investoinneista, mitkä investoinnit toteutuvat normiohjauksen mukaisesti, mitkä voidaan toteuttaa markkinaehtoisesti ja mitkä puolestaan vaativat mahdollisia yhteiskunnan tukitoimia.

Infrastruktuureihin tehtävät investoinnit ja energiankäyttö ovat kansantalouden näkökulmasta tuotantoon käytettäviä panostuksia, joita tarvitaan kansantuotteen kasvattamiseksi ja ylläpitämiseksi. Investointimääriä ja kustannuksia on tässä hankkeessa tarkasteltu erityisesti kansantalouden näkökulmasta. Käytännössä investointeja tekevät ja energiankäyttöä rahoittavat kuitenkin joko yksityiset kuluttajat, yritykset tai yhteiskunta.

Kaikissa skenaariossa oletetaan tapahtuvaksi sellaisia infrastruktuurimuutoksia, jotka edellyttävät yhteiskunnan lisärahoitusta suhteessa nykytilaan. Selkeimmin kasvava rahoituksen tarve näkyy väyläinvestoinneissa, jotka Suomen nykyisessä yhdyskuntarakenteessa ovat pitkälti yhteiskunnan kustantama palvelu yritysten kuljetuksille ja kansalaisten liikkumiselle. Energiantuotantoon ja siirtoon tehtävien investointien rahoituksesta vastaavat pääosin energiayhtiöt, joiden tekemien investointien tulee olla kannattavia yrityksen näkökulmasta. Tämä edellyttää tuotantoinvestointien kohdalta investointien kattamiseksi riittävää sähkön markkinahintaa tai muuta energianhintaa, joka puolestaan koituu energiankuluttajien maksettavaksi. Energiaverkostoinvestoinneissa mahdollisten kustannusten nousun maksajana ovat myös energiankuluttajat korotettujen siirtokulujen muodossa.

Energiankäytön kustannuksista ja energiatehokkuuden investoinneista vastaavat kuluttajat itse. Tässä hankkeessa on tarkasteltu erityisesti rakennusten energiankulutukseen tehtäviä investointeja ja niiden vaikutuksia. ET:n Visiossa on oletettu energiatehokkuusinvestointien kannattavuudelle on oletettu muita skenaarioita tiukemmat kannattavuusvaatimukset ja investointeja on tällöin oletettu tapahtuvan suhteessa muita skenaarioita vähemmän. Muissa skenaariossa on oletettu, että rakennussektorin energiatehokkuustoimet toteutuvat ET:n Visiota reippaammin. VNK A:ssa yhtenä ajurina on kulutuskäyttämisen muutos. Erityisesti VNK C ja VNK D -skenaarioissa kuvattujen kaltaiset muutokset edellyttävät joko energiatehokkaiden korjaustoimien kustannusten alenemista esimerkiksi teknologian kehittyessä tai yhteiskunnan ohjaustoimia, kuten harkinnassa oleva kiinteistöveron porrastus energiatehokkuuden mukaisesti⁹⁶.

Skenaarioihin sisältyy myös investointeja, joiden investointien tekijästä ja rahoittamisesta ei tällä hetkellä ole täyttä varmuutta. Selkein esimerkki ovat sähkökäyttöisten ajoneuvojen lataamiseksi vaadittavat investoinnit sähköverkkoihin ja latauspisteisiin. Toisaalta sama esimerkki kuvastaa myös skenaarioiden myötä purkautuvasta investointitarpeesta. Suuri sähköautoilun osuus vähentää tarvetta polttonesteisiin pohjautuvan tankkausverkon ylläpitoon.

⁹⁶ Ympäristöministeriö, Rakennusten kiinteistöveron porrastamista energiatehokkuuden ja lämmitystavan perusteella harkitaan, tiedote, 14.10.2009.

Yhteiskunnan taloudellisten voimavarojen lisäksi myös muiden ohjaukeinojen kohdistamisella on eroja. Rakennusten energiatehokkuuden säädökset tulevat vaikuttamaan VNK:n skenaariossa ET:n Visiota voimakkaammin rakennuksiin. Kaavoituksen avulla luodaan nykyistä energiatehokkaampaa yhteiskuntarakennetta VNK A -skenaariossa, kun taas muissa skenaarioissa yhdyskuntarakenteen kehittymistä ei juurikaan oleteta ohjattavan. Toisaalta monet skenaarioiden oletuksina olevista energiatehokkuustoimista ovat jo EU:n valmisteltavina ja kansalliset vaikutusmahdollisuudet näihin toimiin ovat joka tapauksessa vähäisempiä.

Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen uudisrakentamisen yhteydessä toteutuu pitkälti normiohjaukseen perustuen. Tällöin energiatehokkuustoimien kustannukset kohdistuvat asuntojen rakentajille ja sitä kautta viime kädessä loppukulluttajille. Uudisrakentamisen yhteydessä energiatehokkuustoimet ovat taloudellisia toteuttaa ja vaikutus asuntojen hintaan on muutaman prosentin luokkaa.

Korjausrakentamisen yhteydessä energiatehokkuustoimet on yleensä kalliimpia toteuttaa kuin uudisrakentamisen yhteydessä. Vaikka korjausrakentaminen tapahtuu periaatteessa markkinaehtoisesti, käytännössä kuitenkin esimerkiksi VNK:n skenaarioissa esitetty kehitys edellyttää nykyistä voimakkaampia ohjaukeinoja – joko normiohjausta tai taloudellista ohjausta. Taloudellisia ohjaukeinoja voivat olla esimerkiksi kiinteistöveron voimakas porrastus energiankulutuksen mukaan tai tuki itse korjausrakentamiseen – esimerkiksi kotitalousvähennystä laajentamalla. Yhteiskunnan tuilla voidaan saada ainoastaan katalyyttinen vaikutus, sillä kokonaisuudessaan tarvittavat rahasummat ovat suuria. Ylipäätään korjausrakentamisessa on tarve kokonaan uusille rahoitusratkaisuille tai olemassa olevien mallien, esimerkiksi ESCO-toiminnan, laajemmalle soveltamiselle.

Tie- ja raideliikenteen investointitarpeet ovat kaikissa skenaarioissa varsin suuret. Tämä luo haasteita valtion budjetin tasapainottamiseen monien muiden haasteiden rinnalle. Väyläinvestoinnit ovat perinteisesti Suomessa olleet yhteiskunnan rahoittamia. Toisaalta erityisesti tieliikenteelle on myös kohdistettu erillisiä veroja, kuten autovero, ajoneuvovero ja nestemäisten polttoaineiden valmistevero. Vaihtoehtona on rahoituksen järjestäminen uusien keinoin, kuten esimerkiksi Lahden moottoritien yhteydessä on kokeiltu. Tieliikenteessä rahoitusmalleina voivat tulla kyseeseen väylämaksut tai muut suoriteperustaiset maksut. Myös raideliikenteen vaatimat investoinnit ovat niin suuria, että niiden kattaminen edellyttää uusien rahoitusmallien pohtimista.

Energiantuotantokapasiteetti rakennetaan pääosin markkinaehtoisesti lukuun ottamatta tuulivoiman ja CCS-laitosten rakentamista. Kaikissa skenaarioissa tämä edellyttää sähkön markkinahinnan selvää nousua, mutta nousun suuruutta ei ole tässä hankkeessa tarkemmin arvioitu. Lisäksi pientuotannon lisääminen saattaa edellyttää taloudellista tukea, mutta sen merkitys kokonaisuuden kannalta jäänee vähäiseksi. Puun ja turpeen energiankäytön tukitarpeet ovat pitkälti riippuvaisia mm. muun talouden hintakilpailukyvyvystä sekä sähkön markkinahinnan kehityksestä, joka puolestaan riippuu fossiilisten polttoaineiden hintakehityksestä ja päästöoikeuden hinnasta. Näiden vaikutuksia ei ole tässä raportissa arvioitu. Tuulivoima vaatii tukea ainakin 2010-luvulla ja todennäköisesti vielä 2020-luvulla⁹⁷. Todennäköisesti

⁹⁷ Työ- ja elinkeinoministeriö, luonnos hallituksen esitykseksi uusiutuville energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta, 11.3.2010.

tuulivoiman lisärakentamista tullaan tukemaan syöttötariffijärjestelmän avulla. Tuen suuruuteen vaikuttaa sähkön markkinahinnan kehitys ja tuulivoimakapasiteetin määrä. Mikäli vuonna 2020 tuulivoimalla tuotetaan 6 TWh sähköä ja markkinahinnan ja syöttötariffin ero on 33,5 €/MWh, on vuotuinen tukitarve noin 200 miljoonaa euroa.⁹⁸ Toisaalta tuulivoimatuotannon lisääminen alentaa sähkön markkinahintaa pohjoismaisilla markkinoilla arviolta noin 1,2 €/MWh, joka vastaa noin 98–121 miljoonan euron säästöä suomalaisille sähkönkuluttajille. Lisäksi mikäli päästöoikeuden hinta on 20–50 €/tCO₂, vähentää 6 TWh tuulivoimatuotanto päästöoikeuksien ostamiseen tarvittavaa rahoitusta 74–186 miljoonaa euroa.⁹⁹

Tuulivoimaa merkittävämpi tukitarve kohdistunee CCS-tekniikan kehittämiseen ja käyttöönottoon. Tässä vaiheessa on liian varhaista esittää tarkempia arvioita vaadituista kehityskustannuksista ja rahoituksesta. Yhtenä vaihtoehtona on esitetty päästöoikeuksien huutokaupasta saatujen varojen käyttämistä CCS:n kehittämiseen ja demonstrointiin.

Sähkön siirron ja jakelun osalta investoinnit tapahtuvat markkinaehtoisesti jakeluverkkoyhtiöiden toimesta, mikäli monopolitoiminnan valvontamalli takaa riittävän tuoton sijoitetulle pääomalle. Samoin kaukolämmön osalta jakeluverkkoinvestoinnit tapahtuvat nykyisin markkinaehtoisesti kaukolämpöyhtiöiden toimesta. Skenaariossa VNK A vähenevä kulutus ja kaukolämmön lisääntyvä markkinaosuus muodostavat kuitenkin suuren haasteen kaukolämpöalan kilpailukyvyille. Skenaarion toteutuminen markkinaehtoisesti edellyttääkin kaukolämmön kustannustason merkittävästi alenemista alhaisen kulutustason olosuhteissa.

5.3 Energian kustannuskehitys ja hinnoittelu

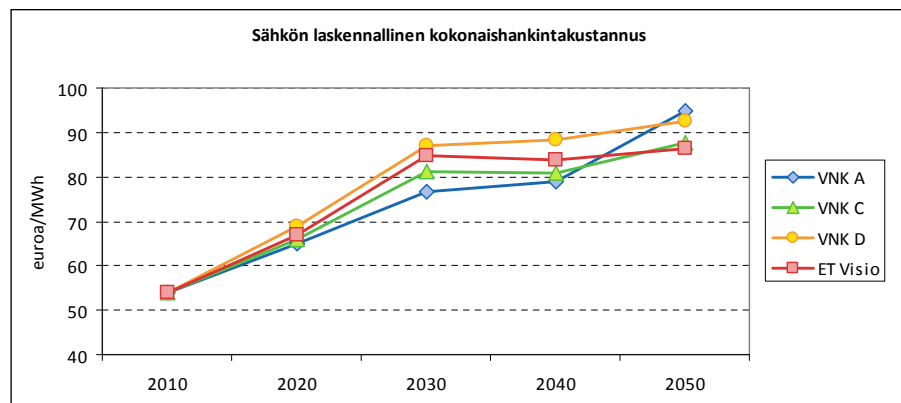
Sähkön ja ylipäättään energiatuotteiden hintaan vaikuttavat useat tekijät niin kansainvälisellä kuin pohjoismaisella tasolla, joten niiden ennustaminen on erittäin haastavaa. Siksi tässä hankkeessa on rajoitettu tarkastelemaan sellaisia energia- ja siirron kustannuskomponentteja, joista voidaan kohtuullisella tarkkuudella tehdä arvioita ja jotka heijastuvat myös pitkällä tähtäimellä energiatuotteiden hinnoitteluun.

Sähköntuotantoon tehtyjen investointien, polttoaineiden käytön, rajasiirtojen, päästöjen sekä polttoaineiden ja päästöjen hinta- ja oletusten avulla voidaan arvioida sähkön keskimääräisen hankintakustannuksen kehittymistä eri skenaarioissa. Kuvassa 5.1 on havainnollistettu tehtyjen oletusten perusteella sähkön laskennallisen kokonaishankintakustannuksen kehittymistä. On huomattava, että hankintakustannus ei välttämättä kuvasta sähkön markkinahintatasoa, koska laskelmassa ei ole otettu huomioon esimerkiksi sähkömarkkinan kilpailusta aiheutuvaa dynamiikkaa tai ympäröivien alueiden hintatasojen muutoksia. Hankintakustannus on laskettu koko Suomen tasolla ja se pitää sisällään myös sähkön tuonnista koituneet kulut tai viennistä saadut tulot. Mahdollisen tuontisähkön kustannuksena tai viennisähkön tulona

⁹⁸ Jos tämän tukisumman jakaa tasan koko sähkönkulutukselle, on sen hintavaikutus 0,1–0,2 snt/kWh riippuen skenaariosta.

⁹⁹ Työ- ja elinkeinoministeriö, Syöttötariffityöryhmän loppuraportti. Ehdotus tuulivoimalla ja biokaasulla tuotetun sähkön syöttötariffiksi, 2009.

on pidetty hiililauhteen muuttuvia kustannuksia ottaen huomioon päästöoikeuden hinnan.¹⁰⁰ Hankintakustannus pitää myös sisällään sijoitetulle pääomalle lasketun 10 % reaalisen tuottovaatimuksen.

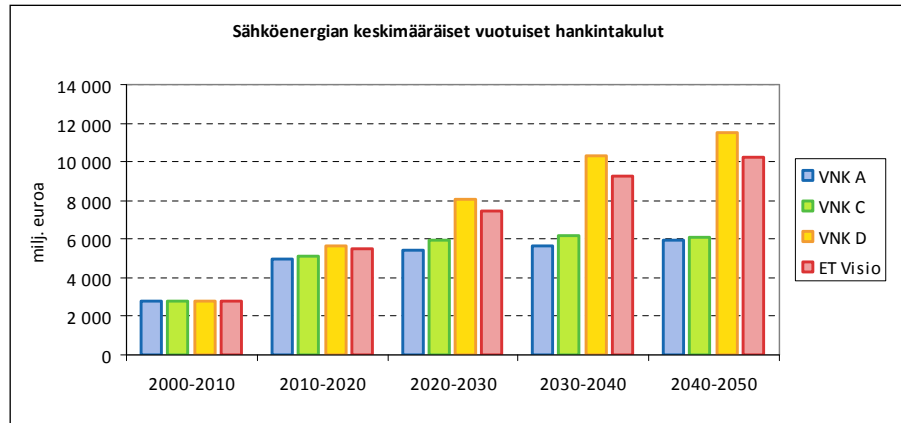


Kuva 5.1. Sähkön laskennallinen kokonaishankintakustannus (sisältää rajasiirtokulut sekä 10 % tuoton sijoitetulle pääomalle).

Skenaarioiden oletusten mukaisesti kaikissa skenaarioissa tehdään merkittäviä investointeja tuotantokapasiteettiin. Lisäksi polttoaineiden ja päästöoikeuksien hinnat nousevat. Näillä oletuksilla on selvää, että myös sähkön hankintakustannus nousee. Kustannusten nousu on aluksi suurinta niissä skenaarioissa, joissa tehdään eniten investointeja poistuvan kapasiteetin korvaamiseen ja uuteen kysyntään vastaamiseksi (VNK D ja ET:n Visio). Samanaikaisesti myös päästöoikeuksien ja biomassojen hinnat nousevat voimakkaasti. Lopussa VNK A:ssa näkyy kasvava kalliin uusiutuvan lauhdetuotannon osuus. On myös syytä huomioida, että ET:n Visiossa tehdyt oletukset investoinneista on suhteutettu ET Visiossa oletettuihin hintatasoihin, jotka voivat jonkin verran poiketa tässä tehdyistä oletuksista.

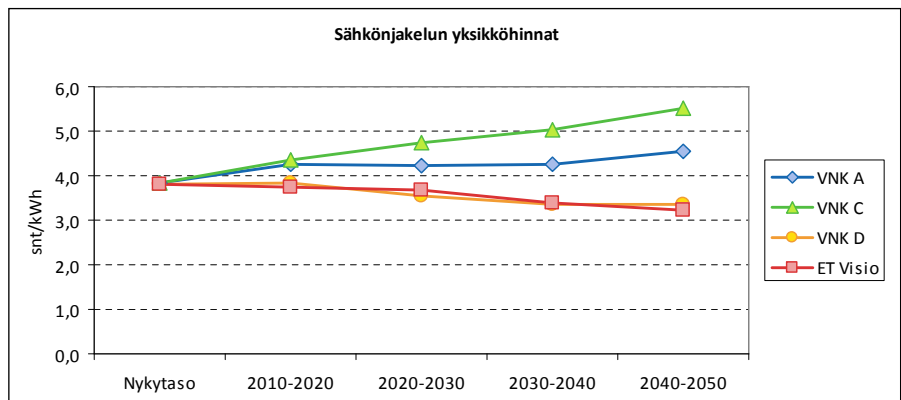
Edellä kuvattujen oletusten perusteella voidaan myös laskea sähkönhankintaan kuluvat rahamäärät, kuten kuvassa 5.2 on tehty. Sähkönhankinnan kokonaiskustannukset kohoavat kaikissa skenaarioissa verrattuna vuosien 2000–2009 keskimääräisiin toteumiin.

¹⁰⁰ Kustannustaso on noin 50 €/MWh vuoden 2010 hintatasoilla ja nousee noin 100 €/MWh vuoteen 2050 mennessä tehtyjen oletusten perusteella.



Kuva 5.2. Sähkön laskennalliset hankintakulut.

Sähkön jakeluverkko toiminnan osalta voidaan tarkastella hintavaikutuksia tehtyjen investointien ja siirrettävän sähkömäärän perusteella. Kun sähkönjakeluverkkoihin investoidaan uusien liittymäpisteiden myötä, kasvaa myös sähkönjakeluyhtiöiden verkkotoimintaan sitoutunut pääoma. Jotta investoinnit jakeluverkkoihin ovat taloudellisesti järkeviä toteuttaa eli sijoitetulle pääomalle saa riittävän tuoton, tulee tällöin myös jakeluverkkoyhtiöiden liikevaihdon kasvaa. Toisaalta sähkönjakelun määrät muuttuvat sähkönkulutuksen muutosten myötä, millä on vaikutusta yksikkökustannuksiin. Skenaariokohtaisesti sähkönjakelun laskennalliset yksikkökustannukset kehittyvät tällöin kuvan 5.3 mukaisesti. Sähkönkulutuksen kasvu skenaarioissa VNK D ja ET Visio mahdollistaa yksikköhintojen alenemisen, kun taas skenaariossa VNK A yksikköhinnat kohoavat pienen kulutuksen myötä. Skenaariossa VNK C näkyy alenevan kulutuksen lisäksi muita skenaarioita korkeammat investoinnit maaseutu- maisiin jakeluliittymiin.

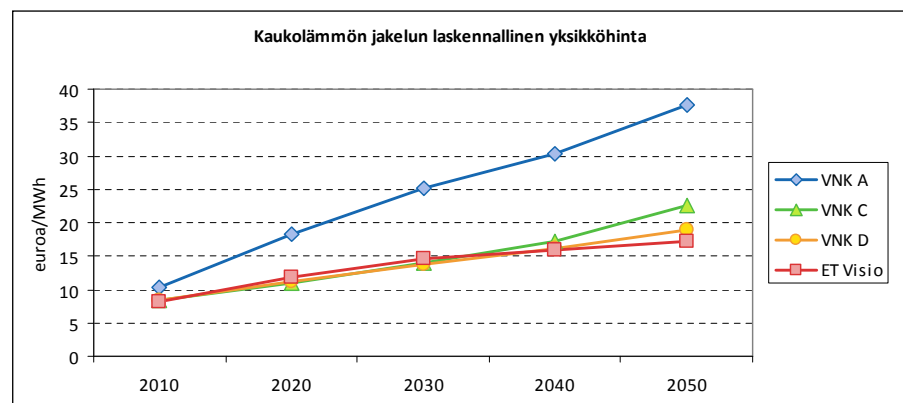


Kuva 5.3. Sähkönjakelun laskennalliset keskimääräiset yksikköhinnat (sis. nykytasosen sähköveron, huoltovarmuusmaksun ja arvonnäkövero).

Tulevaisuudessa sähkön siirtopalvelu jakeluverkoissa hinnoiteltaneen yhä enemmän kiinteänä tehomaksuna ja todennäköisesti myös dynamisemmin kulutuksen mukaan. Jakeluverkkoyhtiöiden paine siirtyä tehopainotteiseen hinnoitteluun on suurempi niissä skenaarioissa, joissa sähkönkulutus ei enää merkittävästi kasva tai jopa taittuu laskuun. Erityisesti hyvin vähän energiaa kuluttavien passiivitalojen tai nollaenergiatalojen osalta siirtohinnoittelun tarkistamisen tarve näyttää selvältä.

Kaukolämmön hintaan vaikuttaa erityisesti polttoaineiden ja päästöoikeuksien hinnan kehitys, mutta myös kysynnän kehittyminen. Paineet kaukolämmön hinnan nousuun tulevat pääosin polttoaineiden hinnannousun kautta. Erityisesti puun käytön lisääminen nykytasolta sähkön ja kaukolämmön tuotannossa saattaa aiheuttaa hintapaineita, kun puu joudutaan hankkimaan yhä pidempien etäisyyksien päästä ja hankalammin korjattavista paikoista. Tässä yhteydessä ei ole kuitenkaan tehty arviota polttoaineiden hintakehityksestä, vaan tarkastelu on kohdistettu pelkästään kaukolämmönjakeluun, jotta voidaan havainnollistaa kaukolämmön jakelutoimintaan tehtyjen investointien vaikutus kaukolämmön hintaan.

Kuten sähkönjakelussa, myös kaukolämpöyhtiöiden kaukolämmön siirrosta saatavien tulojen tulee periaatteessa kasvaa samalla kun verkkoon tehtävät investoinnit kasvavat, jotta sijoitetulle pääomalle saadaan riittävä tuotto. Skenaariokohtaisesti kaukolämmönjakelun laskennalliset yksikkökustannukset kehittyvät tällöin kuvan 5.4 mukaisesti. Kaukolämpöverkkoihin sidotut pääomat kasvavat liki samaan tahtiin VNK A ja ET Visio -skenaarioissa, mutta kaukolämmön kulutus on VNK A -skenaariossa vain noin puolet ET Visio -skenaariosta. Tällöin kaukolämmön yksikkökustannukset kasvavat VNK A:ssa selkeästi muita skenaarioita voimakkaammin. Skenaarioissa VNK C ja VNK D kaukolämpöliittymäkohtainen kulutus etenee samaa tahtia ET Visio -skenaarion kanssa.



Kuva 5.4. Kaukolämmön jakelun laskennallisen yksikköhinnan kehitys.

Tulevaisuudessa kaukolämmönjakelun merkitys kaukolämmön kokonaishinnassa tulee siis olemaan kaikissa skenaarioissa huomattava. Muuttoliike kaupunkeihin yhdistettynä lämmitysenergiankulutuksen laskuun aiheuttaa erityisesti VNK A -skenaariossa haasteen kaukolämpötoiminnalle. Samaan aikaan kun kulutus vähenee, on laajennettava verkkoa ja liitettävä uusia asiakkaita. Tästä syntyy erityinen haaste, jos kaukolämpöyhtiöt veloitetaan liittämään kuluttajat kaukolämpöverkkoon.

5.4 Vaikutuksia markkinoihin ja liiketoimintaan

Skenaarioissa kuvatut infrastruktuurimuutokset aiheuttavat myös vaikutuksia markkinoiden toimintaan ja yritysten liiketoimintaedellytyksiin, joita on osaltaan kuvattu jo edellisissä luvuissa. Seuraavassa on pureuduttu lyhyesti eri sektoreiden markkinoiden dynamiikkaan ja nostettu myös esille kysymyksiä, jotka ovat keskeisiä alan liiketoiminnan ja markkinoiden kehittymisen kannalta.

Kuten aiemmin on todettu, korjausrakentamisen yhteydessä on tarve suurille energiatehokkuusparannuksille. Toistaiseksi tämä markkina on vielä varsin neitseellinen, joten avainkysymyksenä on, tapahtuuko tämän markkinan haltuunotto perinteisten isojen rakennusyhtiöiden toimesta vai tuleeko markkinoille uusia toimijoita, jotka ovat keskittyneet energiaremontteihin? Suurilla toimijoilla on varmasti edellytykset ottaa markkinat haltuun, mutta toisaalta rakennusalalla on kokemusta pitkistäkin alihankintaketjuista, joka puoltaisi osaltaan sitä näkemystä, että erikoistuneilla energiaremontoijilla voisi olla kysyntää. Tapahtuipa kehitys kummalla tavalla tahansa alan osaamista on nostettava merkittävästi ja alan koulutukseen on panostettava nykyistä enemmän, sillä nykyinen osaaminen ei riitä VNK:n skenaarioiden osoittamiin energiaremonttien täysimittaiseen toteuttamiseen.

Markkinadynamiikan näkökulmasta on huomattava, että korjausrakentamisessa ja erityisesti energiaremonteissa tulee olemaan merkittävä ero sillä, kuka tai ketkä kiinteistön omistavat. Kiinteistösijoittajat tekevät päätökset pitkälti taloudellisten reunaehtojen mukaan, kun taas asunto-osakeyhtiössä vallitseva päätöksentekomalli hidastaa merkittävästi energiaremonttien toteuttamista. Yksityisessä omistuksessa olevissa pientaloissa kysyntään vaikuttavat mahdolliset tukimekanismit ja konkreettiset rahoitusmahdollisuudet.

Liikennesektorilla mielenkiintoinen markkinahavainto on, että sähköistyminen lisää kilpailua liikenteen energialähteissä samalla kun nestemäisten biopolttoaineiden osuutta halutaan lisätä direktiivin voimin. Osassa skenaarioita nestemäisten polttoaineiden kysyntä vähenee merkittävästi, mikä aiheuttaa alalle merkittäviä muospaineita samalla kun bensiinin ja dieselin rinnalle tulee erilaisia biopolttonesteitä. Tämä puolestaan lisää polttoaineiden jakeluverkoston ja huoltamoiden kustannuksia. Toisaalta sähköautoinfrastruktuurin rakentaminen ja ylläpito avaa uusia liiketoimintamahdollisuuksia monille eri toimijoille.

Sähköntuotantoon vaaditaan lähivuosikymmeninä suuria investointeja skenaariosta riippumatta. Tämä nostaa esille myös kysymyksen, kenellä on varaa investoida ja keskittyykö tuotanto yhä harvempiin käsiin? Toisaalta markkinoilla on havaittavissa, että pienemmät sähköyhtiöt ja jopa energian kuluttajat liittoutuvat isojen tuotantohankkeiden ympärille. Lisäksi alan toimijoiden ristiinomistukset ovat varsin merkittäviä. On mielenkiintoista nähdä jatkuuko tämä kehitys edelleen, vai alkavatko omistukset purkautua jossain vaiheessa.

Toinen merkittävä havainto on, että sähkön osuus kokonaisenergiasta kasvaa kaikissa skenaarioissa. Tällöin energiayhtiöistä tulee yhä enemmän sähköyhtiöitä. Erityisesti VNK A ja D -skenaarioissa sähkön suhteellinen osuus on erittäin suuri. Toisaalta kaukolämmön suhteellinen merkitys kasvaa kaupungistumisen myötä useimmissa skenaarioissa, vaikka kokonaiskulutus pienenee. On hyvin mahdollista, että kaukolämpökentässä tapahtuu jakautuminen voittajiin ja häviäjiin. Voittajia

ovat todennäköisesti suuret ja keskisuuret kaupungit, jotka pystyvät sopeuttamaan investoinnit muuttuvaa kysyntään sekä hyödyntämään sähkön ja lämmön yhteistuotantoa.

5.5 Kilpailu puusta

Suomen tulevaisuuden yksi kiinnostavista kysymyksistä liittyy metsien käyttöön. Yhtäältä metsillä nähdään luonto- ja virkistysarvoja – toisaalta metsävarat tarjoavat raaka-ainetta energiantuotantoon ja teollisuuden tarpeisiin. Lisäksi metsät toimivat arvokkaina hiilinieluinä. Tässä yhteydessä tarkastelu rajataan koskemaan kilpailua metsävarojen hyödyntämisestä ottaen kuitenkin huomioon metsien moninaiskäyttö ja nieluominaisuudet resurssienkäytön reunaehtoina.

Kaikissa skenaarioissa kilpailu puuraaka-aineesta näyttää lisääntyvän. Ainoastaan VNK A -skenaariossa, jossa teollisuuskäyttö on vähäistä, kilpailu voi olla maltillisempaa. Tässä skenaariossa haasteena on kuitenkin puun suuri kulutus energiantuotantoon, mikä tarkoittaa, että myös ainespuuta hyödynnetään merkittävässä määrin energiantuotantoon. Muissa skenaarioissa energiakäyttö kilpailee joko perinteisen metsäteollisuuden tai biopoltoainetuotannon kanssa. VNK C:ssä biopoltoaineiden tuotanto kilpailee suoran energiankäytön kanssa samasta raaka-aineesta. VNK D:ssä puolestaan teollisuuden kokonaiskulutus on sen verran suurta, että siinä edellytetään merkittävästi puun tuontia. Erityisesti VNK D:ssä puun kokonaiskäyttö on niin suurta, että se saattaa johtaa kielteisiin ympäristövaikutuksiin, koska metsien muu käyttö jää selkeästi vähemmälle huomiolle.

Kilpailua puusta tulevat lisäämään myös erilaiset pullonkaulat hankintaketjussa. Esimerkiksi työvoiman saatavuuden ongelmat tulevat painottumaan raaka-aineen hankintaan.¹⁰¹ Alan heikko palkkaus ja työn kausiluonteisuus tekevät työvoiman rekrytoinnin tulevaisuudessa vaikeaksi. Toisaalta alan rakenteelliset muutokset ja ympäristötietoisuuden lisääntyminen voivat osaltaan lisätä alan houkuttelevuutta. Selvityksen mukaan alan asiantuntijat eivät usko laajamittaiseen ulkomaisen työvoiman käyttöön.

¹⁰¹ Bioenergia 2020 – arvioita kasvusta, työllisyydestä ja osaamisesta, työ- ja elinkeinoministeriö, työ ja yrittäjyys, 6/2010.

6 Ympäristölliset seuraukset

6.1 Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys

Kakkien hankkeessa tarkasteltujen skenaarioiden lähtökohtana on tunnistaa kehityspolkuja, joiden avulla voidaan radikaalisti vähentää Suomen kasvihuonekaasujen päästöjä vuoteen 2050 mennessä.¹⁰²

ET:n visio keskittyy siihen, miten sähkö ja kaukolämpö voivat olla merkittävältä osaltaan ratkaisemassa energia- ja ilmastohaasteita. ET:n Visio kattaa noin 70 prosenttia Suomen CO₂-päästöistä sisältäen sähkön ja kaukolämmön tuotannon, henkilöauto liikenteen sekä rakennusten lämmityksen polttoainekäytön CO₂-päästöt. Vertailukohtana asetetulle päästövähennystavoitteelle toimii ”nykytila” eli käytännössä skenaarion laatimisvuosi 2009. Kuten luvussa 2 on esitetty, ET:n Visiossa sähkön ja kaukolämmön tuotannon kokonaispäästöt laskevat skenaariossa nykyisestä noin 30 miljoonasta tonnista 5–7 miljoonaan tonniin hiilidioksidia vuoteen 2050 mennessä. Vision tavoitteena on luoda sähköstä ja kaukolämmöstä päästöneutraali.

ET:n Vision mukaisesti sähköntuotannon nettomääräiset hiilidioksidipäästöt vuonna 2050 ovat negatiiviset, kun kokonaislaskelmassa otetaan huomioon energiantuotannon vuoden 2050 suorat päästöt (5–7 MtCO₂), fossiilisten polttoaineiden korvautuminen sähköllä ja kaukolämmöllä liikennesektorilla, lämmityksessä ja teollisuudessa sekä arviot viennin/tuonnin¹⁰³ kautta aikaansaaduista globaaleista päästövähennyksistä (ks. kuva 6.1).

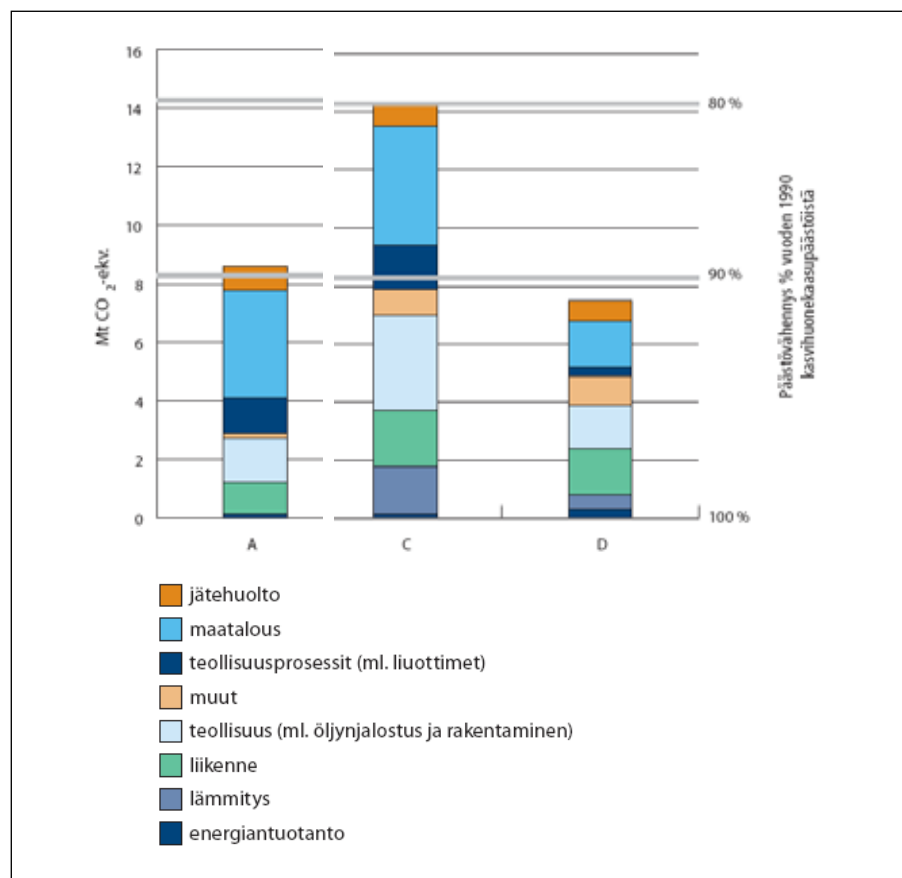
Energiantuotannon suorat päästöt	+ 5–7 Mt Co ₂ /vuosi
Fossiilisen polttoaineen korvautuminen sähköllä ja kaukolämmöllä	
- liikenne	- 8 Mt Co ₂ /vuosi
- lämmitys	- 3 Mt Co ₂ /vuosi
- teollisuus	- 1 Mt Co ₂ /vuosi
Sähköntuotannon päästöjen vähentyminen muissa maissa	
- sähkön tuonnin korvautuminen	- 4 Mt Co ₂ /vuosi
- sähkön viennin päästöjä vähentävä vaikutus	- 2 Mt Co ₂ /vuosi
= Energiavision mukaisen tuotannon nettopäästöt	- 11– - 13 Mt Co ₂ /vuosi

Kuva 6.1. ET:n Vision arvio sähköntuotannon nettomääräisestä hiilidioksidipäästöstä vuonna 2050.

¹⁰² Tiettyjä eroja voidaan skenaarioiden välillä tunnistaa esim. tehdyissä rajauksissa sekä vertailuvuoden valinnassa. Lämpötilan nousun osalta esim. ET Visio olettaa maailman keskilämpötilan olevan vuonna 2050 kaksi astetta nykyistä korkeampi kuin VNK skenaarioiden lähtökohtana on EU:n virallinen linjaus korkeintaan kahden asteen lämmön nousun hyväksyttävyydestä suhteessa esiteolliseen aikaan.

¹⁰³ Visio poistaa nykyisen, n. 10–15 TWh/a suuruisen sähkön nettotuonnin. Tuonti vähenee etenkin Venäjältä, vähäisessä määrin myös EU:n sähkömarkkinoilta. Suomesta tulisi sähköä lievästi, n. 0–10 TWh vuodessa vievä maa. Vienti kohdentuisi lähinnä EU-maihin, Venäjän suhteen Suomi olisi suunnilleen tasapainossa viennin ja tuonnin osalta. Tuonnin muuttuminen lieväksi vienniksi vähentää päästöjä n. 6,2 miljoonaa hiilidioksiditonnia vuodessa. Sähkön tuonti aiheuttaa nykyisin keskimäärin n. 4,2 MtCO₂/a hiilidioksidipäästön sähkön tuottajamaissa. Vienti korvaisi n. 2 MtCO₂/a päästöjä EU-markkinoiden muissa tuottajamaissa. Vertailukohtana on käytetty Venäjän ja EU:n nykyistä keskimääräistä sähkön ominaispäästöä.

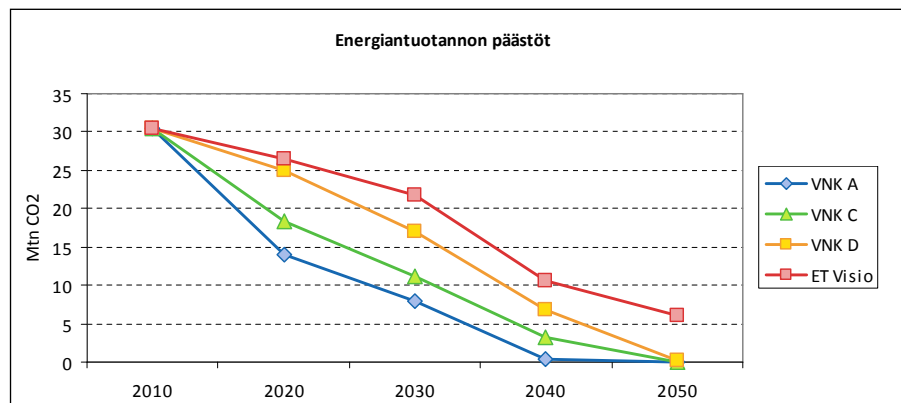
VNK:n skenaariot kattavat periaatteessa kaikki kasviuonekaasupäästöt ml. energiantuotanto, liikenne, lämmitys, teollisuus, jätehuolto, maatalous, teollisuusprosessit. Vertailukohtana skenaariotarkastelussa on vuoden 1990 päästötaso. Tehokkumous -skenaariossa (Vnk A-skenaario) päästövähennys vuoteen 2050 mennessä on lähes 90 %. Omassa vara parempi -skenaariossa (Vnk C) päästövähennys on noin 80 % ja vastaavasti Teknologia ratkaisee -skenaariossa (Vnk D) päästövähennys on yli 90 % (ks. kuva 6.2).



Kuva 6.2. Kasviuonekaasujen päästöt tarkastelluissa Vnk-skenaarioissa vuonna 2050.

Tässä hankkeessa on tarkasteltu erityisesti energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä. Skenaarioiden energiantuotannon päästöjen kehitys on esitetty kuvassa 6.3. Päästöt vähenevät kaikissa skenaarioissa, kun vanhaa tuotantoa korvautuu vähäpäästöisimmillä tuotantomuodoilla. Vähennys on nopeinta Vnk A -skenaariossa, jossa myös energiankulutus vähenee nopeimmin ja fossiilista tuotantoa vähennetään eniten. Nykyisen päästöjä tuottavan kapasiteetin oletetaan olevan käyttöikänsä päässä pääosin vuoteen 2040 mennessä, jolloin Vnk A -skenaariossa on jo päästy lähes päästöttömään tuotantoon. ET:n Visio -skenaariossa fossiilisten polttoaineiden ja turpeen osuus säilyy korkeimpana. ET:n Vision päästöt kääntyvät voimakkaampan laskuun vasta vuoden 2030 jälkeen, jolloin hiilidioksidin talteenoton oletetaan

tulevan laajamittaisesti kaupalliseen käyttöön. Hiilidioksidin talteenoton osuus on oletettu hyvin korkeaksi VNK C ja VNK D -skenaarioissa, mikä saattaa olla haaste verrattuna nykyisiin käsityksiin teknologisista mahdollisuuksista. Arviot hiilidioksidin talteenoton tehokkuudesta vaihtelevat noin 85–95 % välillä, tuotannon ja talteenoton teknologioista riippuen.¹⁰⁴



Kuva 6.3. Energiantuotannon päästöjen laskennallinen kehitys skenaarioissa.

Skenaarioiden päästöjen ja sähköntuotannon avulla lasketut ominaispäästökertoimet on esitetty taulukossa 6.1. Ominaispäästöt laskevat kaikissa skenaarioissa vuoteen 2020 mennessä lisääntyväksi oletetun ydin- ja tuulivoiman vuoksi. Erot päästöjen välillä suurenevät vuoteen 2030 mennessä ja vuoteen 2050 mennessä ET:n Visiota lukuun ottamatta on päädytty nollopäästöihin. On huomattava, että vaikka tällöin päästöjen puolesta ei sähkön säästöjä kannattaisi tehdä, on skenaarioiden sisäisen logiikan kannalta energiantuotantojärjestelmät mitoitettu ottaen huomioon tehtävät energiatehokkuustoimet.

Taulukko 6.1. Skenaarioiden sähköntuotannon ominaispäästökertoimet.

kgCO ₂ /MWh	2010	2020	2030	2040	2050
ET Visio	237	190	135	56	30
VNK A	237	93	56	2	0
VNK C	237	130	77	31	1
VNK D	237	176	105	38	1

Myös VNK-skenaarioissa on tunnistettavissa päästövähennyksiä vastaavalla logiikalla, jota ET:n Visiossa on käytetty (ks. kuva 6.1). Näitä ei ole kuitenkaan samalla tavoin kvantifioitu. Sähkön tuonnin ja viennin osalta voidaan todeta, että VNK C on viennin ja tuonnin suhteen tasapainossa, kun VNK A:ssa on hieman tuontia ja VNK D:ssä vientiä. Mikäli tuotava sähkö olisi VNK A:ssa tehty kivihiihilauhteella, voivat laskennalliset lisäpäästöt nousta skenaariossa A korkeintaan noin 4 MtnCO₂:iin.

¹⁰⁴ IEA, CO2 capture and storage – A key carbon abatement option, 2008.

Skenaarioiden vaikutukset lämmityksen päästöihin ovat samansuuntaisia kaikissa skenaarioissa. Öljylämmityksen korvaantuminen sähköllä, kaukolämmöllä ja puun pienkäytöllä vähentää lämmityksen päästöjä kaikissa skenaarioissa. Liikenteessä päästövähennyksiä saavutetaan VNK C -skenaarioissa biopolttoaineilla ja muissa skenaarioissa erityisesti sähköautoilla.

6.2 Vaikutukset ilman laatuun

Ilmanlaadun kannalta skenaarioissa tarkastellut keskeiset tekijät liittyvät voimalaitosten polttoaineisiin, pienpolton polttoaineisiin, liikenteen polttoaineisiin sekä asutuksen keskittymiseen.

Metsäenergian hyödyntäminen kasvaa kaikissa skenaarioissa merkittävästi. Vaikutus ilmanlaatuun riippuu polttotekniikan oletetusta kehityksestä (ml. voimalaitokset, CCS, pienpoltto), joihin skenaarioissa ei erikseen ole otettu kantaa. VNK C:ssä ja ET:n Visiossa on myös merkittävässä määrin hajautettua pientuotantoa, joka edellyttää nimenomaan kyseiseen kokoluokkaan soveltuvan teknologian kehitystä paikallisen ilmanlaadun turvaamiseksi tulevaisuudessa.¹⁰⁵

Turpeen käytössä on erittäin suuria eroja skenaarioiden välillä. VNK A -skenaariossa turpeen käytöstä on luovuttu.¹⁰⁶ Ne skenaariot, joissa turvetta edelleen hyödynnetään oletetaan CCS:n olevan käytössä. ET:n Visiossa kivihiilen osuus putoaa, mutta sitä käytetään edelleen rannikon hiilidioksidin talteenotolla varustetuissa monipolttoainelaitoksissa¹⁰⁷. VNK D -skenaariossa kivihiihellä ja maakaasulla tuotetaan noin 7 % energiasta, mutta kasvihuonekaasupäästöt saadaan nollattua hiilen talteenotolla ja varastoinnilla. Skenaariossa ei oteta kantaa yksittäisten CCS-teknologioiden kehittymiseen, mutta CCS-teknologioiden oletetaan tulevaisuudessa olevan lähes päästöttömiä, eivätkä siten aiheuta uusia päästöongelmia ilman laadunkaan kannalta.

Liikenteessä autokannan vahva sähköistyminen ja biopolttoaineiden lisääntyminen ovat useimmille skenaarioille yhteisiä piirteitä. Raskaan liikenteen osalta skenaariot pääsääntöisesti näkevät sähköistetyn raideliikenteen merkityksen kasvavan.¹⁰⁸ Autokannan sähköistymisaste vaihtelee VNK C -skenaariosta 20 %:sta aina VNK D -skenaariosta 100 %:iin. Erityisesti VNK C -skenaariossa kotimaisten biopolttoaineiden rooli on suuri. Myös ET:n Visiossa oletetaan sähköautojen rinnalla ladattavien hybridien ja biopolttoaineiden hyödyntämisen liikenteessä laajenevan (biopolttoaineina

¹⁰⁵ Päästöjen sallitut raja-arvot tulevat jatkossa kiristymään (katso esim. luonnos Valtioneuvoston asetukseksi polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista, päivätty 19.2.2010) ja raja-arvojen erot eri polttoaineiden välillä todennäköisesti kaventumaan.

¹⁰⁶ ET:n Visiossa turpeen käytön sähkön ja lämmön tuotannossa arvioidaan kasvavan noin 35 TWh:iin vuoteen 2050 mennessä. VNK C ja D -skenaarioissa turpeella katetaan vielä noin kymmenes energiantarpeesta 2050.

¹⁰⁷ Maakaasun osuus kaikesta polttoaineen käytöstä vähenee, mutta sen kokonaiskäyttö voi jopa vähän kasvaa. Maakaasua hyödynnetään etelärannikon teollisuudessa ja kaupungeissa.

¹⁰⁸ ET:n Visiossa ennakoitaan suuren osan tieliikenteen raskaasta kalustosta myös siirtyvän polttokennojen ja vedyn käyttöön.

bioetanolialla, biodiesellä). Biopolttoaineiden osalta skenaarioissa ei ole kuitenkaan otettu yksityiskohtaisesti kantaa eri polttoainevaihtoihin (nestemäiset, kaasumaiset) tai niiden mahdollisiin hyötyihin/haittoihin. Ajoneuvojen käytön aikaiset haitalliset päästöt voivat biopolttoaineiden ansiosta tulevaisuudessa vähentyä, mikä aiheuttaa hyötyjä etenkin taajamissa. Vain biodieselin pakokaasujen typenoksidipäästöjen on todettu olevan hiukan suurempia kuin fossiilisten dieselin pakokaasujen. Biokaasun hiukkaspäästöt ovat lähellä nollaa ja terveydelle haitallisten yhdisteiden päästöt vähäiset (PAH, CO,...).

Näin ollen seuraavien sukupolvien biopolttoaineiden ja polttoteknologian kehittymisen määrittelee käytännössä ilmanpäästöjen määrän ja laadun kehityksen. Ilman laatuun liittyvien vaikutusten osalta on hyvä todeta, että myös biopolttoaineiden kokonaisvaikutusten kannalta merkittävä osa päästöistä ilmaan syntyy ketjun alkupäässä (biopolttoaineen tuotanto, kuljetus ja käsittely) ja vain osa vaikutuksista syntyy loppukäytön yhteydessä.¹⁰⁹

Asutuksen keskittyminen useimmissa skenaarioissa lisää altistumista katupölylle ja melulle, mutta julkisen liikenteen osuuden kasvu sekä erityisesti autokannan sähköistyminen kompensoivat tätä kehitystä. Esimerkiksi VNK A -skenaariossa sähköautojen osuus henkilöautoista nousee 90 prosenttiin ja samanaikaisesti joukkoliikenteen osuus henkilöliikenteen suoritteesta kasvaa kaupunkimaisessa skenaariossa yli puolella ja kevyen liikenteen osuus kaksinkertaistuu.

6.3 Biodiversiteetti ja muita ympäristövaikutuksia

Biodiversiteetin ja muiden ympäristövaikutusten kannalta skenaarioiden olennaiset muutostekijät liittyvät erityisesti maa- ja metsätalouden rooliin kansantaloudessa, puun käyttöön energiantuotannossa ja teollisuudessa sekä vesivoiman rakentamiseen.

Maatalouden osalta biodiversiteetille ei muodostu erityisiä uhkia skenaarioiden kuvaamissa kehityspoluisissa. VNK A ja C -skenaarioissa luomutuotannon määrä kasvaa selkeästi. Vastaavasti VNK D skenaariossa maatalous supistuu merkittävästi, jolloin mahdollisena uhkana voidaan tunnistaa lähinnä maatalousbiotooppien häviäminen. ET:n Visiossa ei ole erikseen käsitelty maataloutta.

¹⁰⁹ Esim. biopolttoaineiden pienhiukkaspäästöt liikennekäytössä ovat keskimäärin alhaisemmat kuin fossiilisten polttoaineiden mutta tietyillä biopolttoaineilla saattaa olla happamoitumisen kannalta suurempi potentiaali kuin fossiililla liikennepolttoaineilla (vaikka biopolttoaineiden ympäristövaikutuksissa kokonaisuutena happamoituminen ei ole merkittävin tekijä). Kiristetty EU lainsäädäntö tulee edellyttämään päästöjen vähennyksiä tulevina vuosina (kattaen mm. NOx, CO, ja VOC -päästöt), jotka koskevat yhtäläillä fossiilisia kuin biopolttoaineita ja näin ollen pidemmällä aikajänteellä ilman laadun osalta liikennepolttoaineiden väliset erot tullevat vähenemään. Useat kysymykset ovat edelleen tutkimuksen kohteena (mm. mahdolliset syöpää aiheuttavat päästöt, aldehydit erityisesti etanolin käytöstä). Katso esim. VTT RESEARCH NOTES 2482, Assessing the sustainability of liquid biofuels from evolving technologies (2009), 2426 Status and outlook for biofuels, other alternative fuels and new vehicles (2008).

Puuta käytetään kaikissa skenaarioissa nykyistä enemmän. ET:n Visiossa metsäteollisuuden kysynnän kasvu elpyy ja muodostaa myös tulevaisuudessa keskeisen osan Suomen kansantuotteesta. Metsäenergian käyttö lisääntyy voimakkaasti sähkön ja kaukolämmön tuotannossa, mutta vähenee jonkin verran teollisuuden energian tuotannossa. Kokonaisuutena ET:n Visio lisää puuperäisen polttoaineen käyttöä, jolloin biodiversiteetti-näkökulma on myös huomioitava.

VNK:n skenaariossa puuta hyödynnetään 180–220 TWh, kun nykykulutus on noin 155 TWh. Erityisesti VNK D -skenaariossa (220 TWh) biodiversiteetti saattaa olla uhattuna, vaikka osa puusta oletetaan tuotavan ulkomailta. VNK A -skenaariossa metsäenergian käyttö on suurta, mutta kestäväällä tasolla, koska metsäteollisuudelta vapautuu ainespuuta energiantuotantoon. Tarkastelluista skenaarioista VNK A antaa eniten mahdollisuuksia luonnon monimuotoisuuden suojeluun ja myös maatalouden kuormituksen oletetaan vähenevän (maataloudessa luomutuotannon osuus kasvaa, lihantuotanto vähentyy ja keskittyy).

Myös turpeen ja mahdollisesti uraanin louhinnalla voi olla kielteisiä ympäristövaikutuksia. VNK D ja C -skenaarioissa turvetuotanto jatkuu, vastaten noin 10 % energian tarpeesta vuonna 2050 ja ET:n Visiossa turvetuotanto lisääntyy selkeästi.¹¹⁰ Skenaarioissa VNK D sekä ET:n Visiossa ydinvoiman käyttö kasvavat merkittävästi, mutta niissä ei ole otettu kantaa, mistä tarvittava uraani on peräisin. Tämän lisäksi vesivoiman lisärakentaminen, erityisesti VNK skenaariossa C, voi muodostaa erään uhkatekijän luonnon monimuotoisuudelle.

Kokonaisuutena voidaan arvioida maatalouden vesistökuormituksen pienenevän tarkastelluissa skenaarioissa lannoitteiden käytön tai koko tuotannon vähetessä (ET:n Visiossa ei ole erikseen käsitelty maatalouden kehityspolkua). Ydinvoiman lauhdevesillä voi myös olla tiettyjä ympäristövaikutuksia, mutta lauhdevesien määrää vähentää niiden hyödyntäminen kaukolämmön tuotannossa VNK skenaariossa D. Ydinvoiman hyödyntäminen sähkön ja lämmöntuotannossa on myös mukana vaihtoehtona ET:n Visiossa.

Kaikissa skenaarioissa on komponentteja, jotka lähtökohtaisesti voivat parantaa ihmisten terveyttä. Liikenteen ilmansaasteita¹¹¹ ja melua vähentävät autoilun vähentyminen, sähköistyminen, raskaan liikenteen siirtyminen raiteille¹¹² ja/tai joukkoliikenteen osuuden kasvu. Toisaalta esim. puun pienkäyttö voi lisätä terveydelle haitallisia hiukkaspäästöjä, jos käyttöön ei oteta tehokkaita poltto- tai suodatustekniikoita.

¹¹⁰ Turpeen käytön sähkön ja lämmön tuotannossa arvioidaan kasvavan ET Visiossa noin 35 TWh:iin vuoteen 2050 mennessä.

¹¹¹ Esim. liikenteen typpipäästöt vähenevät merkittävästi kaikissa skenaarioissa.

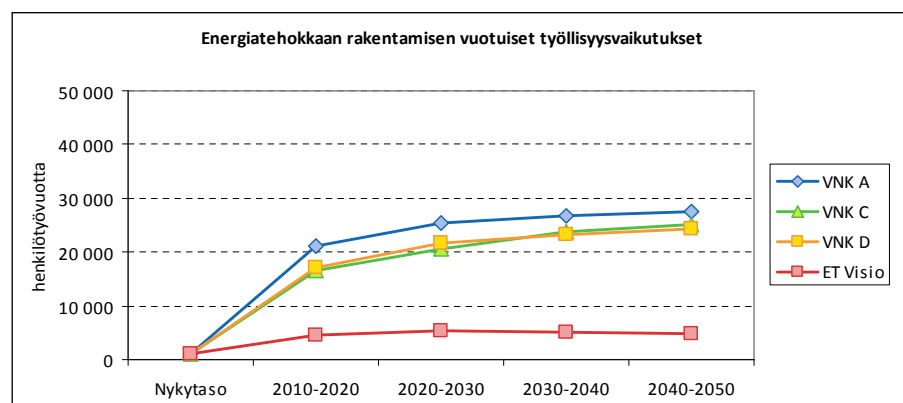
¹¹² Tai ei-fossiilisten polttoaineiden käyttöön.

7 Yhteiskunnalliset seuraukset

7.1 Infrastrukturi-investointien vaikutus työllisyyteen

Tässä hankkeessa on tarkasteltu työllisyysvaikutusten osalta niitä lisätyöpaikkoja, jotka voisivat syntyä infrastrukturi-investointien kautta. Työllisyysvaikutuksia on arvioitu investoitujen euromäärien kautta. Tarkastelun rajauksista on hyvä todeta, että kansantaloudellisia työllisyysvaikutuksia laajemmin tarkasteltaessa on huomioitava myös ns. mahdolliset transaktiovaikutukset. Tämä tarkoittaa, että osa uusista työpaikoista saattaa vähentää aiempaan talousrakenteeseen kuuluneita työpaikkoja ja työpaikkojen menetykset saattavat kohdistua erityisesti tiettyihin alueisiin Suomessa. Laadittaessa vähähiilisen tulevaisuudenpolun kokonaistarkastelua nämä yhteiskunnalliset hyvinvointikysymykset ovat eittämättä tärkeä osa keskustelua (ks. myös luku 7.2).

Energiatehokkaan rakentamisen työllisyysvaikutukset liittyvät sekä energiatehokkaampaan uudisrakentamiseen että korjausrakentamisen yhteydessä tehtäviin energiatehostamistoiimiin. Rakentamisen työllisyysvaikutuksista on oletettu, että miljoonan euron investointi luo suoria ja epäsuoria työpaikkoja 17 henkilötyövuoden verran¹¹³. Rakentamisen ylimääräisten energiatehokkuusinvestointien työllisyysvaikutukset on esitetty kuvassa 7.1. Vertailukohtana talonrakennustoiminta työllistää suoraan noin 135 000 työntekijää¹¹⁴. Energiatehokkaan rakentamisen nykytaso on hyvin vähäinen, joten alalle tarvittaisiin merkittävästi lisää työvoimaa.

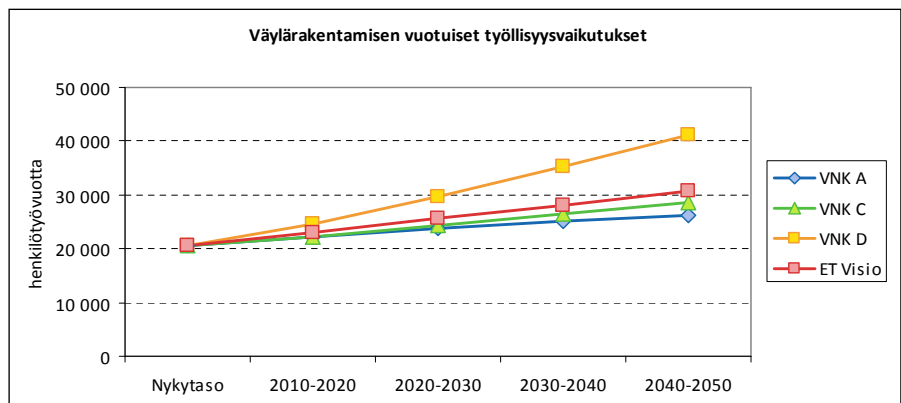


Kuva 7.1. Rakennusten energiatehokkuusinvestointien laskennalliset työllisyysvaikutukset eri skenaarioissa suhteessa nykytilaan.

¹¹³ Työllisyysvaikutukset rakennustyömaalla ovat noin 8–9, rakennustuoteteollisuudessa 5–6 ja rakentamisen palveluissa 3 henkilötyövuotta sijoitettua miljoonaa euroa kohden. Lähde: VTT, Rakentamisen yhteiskunnalliset vaikutukset – rahavirrat ja työllisyys, 2008.

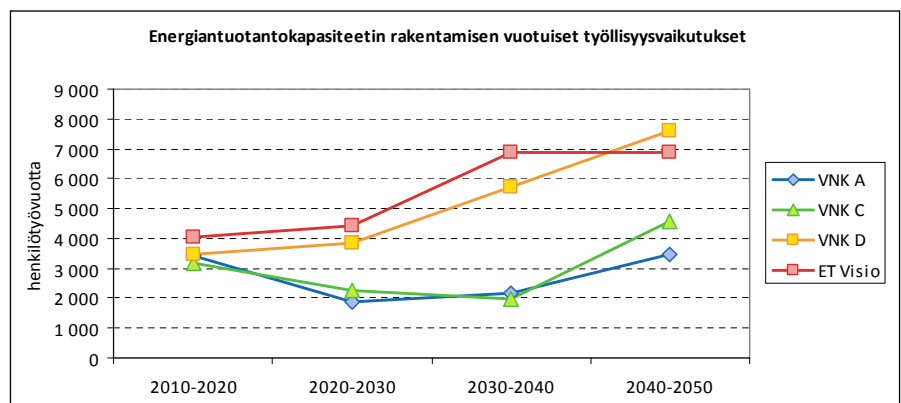
¹¹⁴ VTT, Rakentamisen yhteiskunnalliset vaikutukset – rahavirrat ja työllisyys, 2008.

Väylärakentamisen arvioituja työllisyysvaikutuksia on kuvattu kuvassa 7.2. Erityisesti raideliikenteen kasvava osuus edellyttää investointeja ja luo työpaikkoja kaikissa skenaarioissa. Skenaariossa VNK D on oletettu sekä raideliikenteen että tieliikennesuoritteiden kasvavan voimakkaasti. Infrastruktuuri-rakentamisen on arvioitu luovan noin 17 työpaikkaa sijoitettua miljoonaa euroa kohden¹¹⁵.



Kuva 7.2. Väylärakentamisen laskennalliset työllisyysvaikutukset eri skenaarioissa.

Myös energiantuotantokapasiteettiin tehtävät investoinnit luovat rakentamisen aikana työpaikkoja. Kuvassa 7.3. on esitetty laskennallinen arvio rakentamisen työllistävyydestä. Laskennan perustana on käytetty nykyisten hankkeiden perusteella muodostettuja arvioituja suoria työllisyysvaikutuksia.¹¹⁶ Työllistävä vaikutus on suurin niissä skenaarioissa, joissa kapasiteettia lisätään eniten. Lisäksi tuotantokapasiteetin lisääminen luo työtä myös kotimaiselle teollisuudelle. Toisin kuin rakentamisessa, epäsuorien työllisyysvaikutusten kotimaisuusasteen arviointi on kuitenkin haasteellisempää, koska tuonnin osuus on suurempi energiantuotantolaitosten osista ja komponenteista.

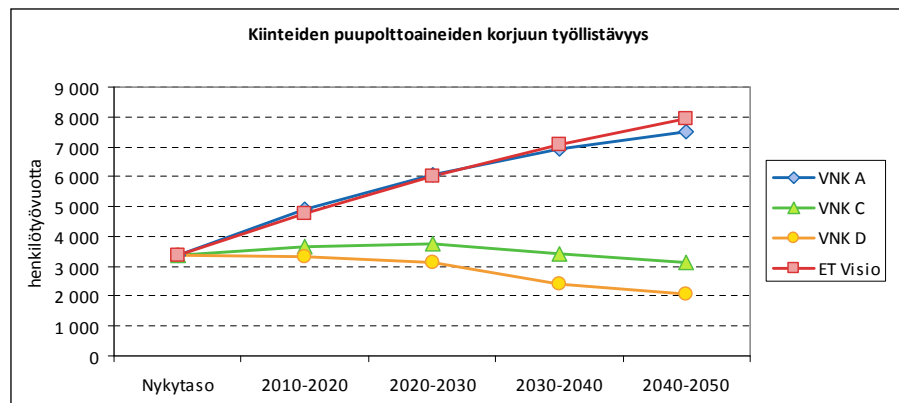


Kuva 7.3. Energiantuotantokapasiteetin rakentamisen laskennalliset työllisyysvaikutukset eri skenaarioissa.

¹¹⁵ Työllisyysvaikutukset rakennustyömaalla ovat noin 7, rakennustuoteteollisuudessa 2 ja rakentamisen palveluissa 6–8 henkilötyövuotta sijoitettua miljoonaa euroa kohden. VTT, Rakentamisen yhteiskunnalliset vaikutukset – rahavirrat ja työllisyys, 2008

¹¹⁶ Ydin- ja vesivoiman sekä muun energiantuotantokapasiteetin työllistävyyden on oletettu olevan 10 henkilötyövuotta yhtä megawattia kohden ja muun kapasiteetin 5 htv/MW. Arviot sisältävät CCS:n laitosinvestoinnit.

Uusiutuvan biomassan tuotanto edellyttää toimivaa korjuuketjua, joka pitää sisällään korjuutyötä ja kuljetuslogistiikkaa. Tässä työllisyysvaikutuksia on tarkasteltu erityisesti puupohjaisen metsähakkeen keräyksen ja käsittelyn näkökulmasta. Näiden kiinteiden puupolttoaineiden työllisyysvaikutuksen on oletettu pysyvän vakiona koko tarkasteluajavälin yli ja olevan noin 160 henkilötyövuotta yhtä tuotettua polttoaineterawattituntia kohden¹¹⁷. Näillä oletuksilla lasketut työllisyysvaikutukset on esitetty kuvassa 7.4. Kiinteiden puupolttoaineiden energiakäyttö ja täten myös työllisyys kasvaa eniten VNK A ja ET Visio -skenaarioissa. Lisäksi puun pienkäytöllä, kierrätyspolttoaineilla, biokaasulla, peltobiomassojen hyödyntämisellä ja biopolttonesteiden valmistuksella on mahdollisesti joitakin satoja tai tuhansia henkilöitä työllistävä vaikutus.

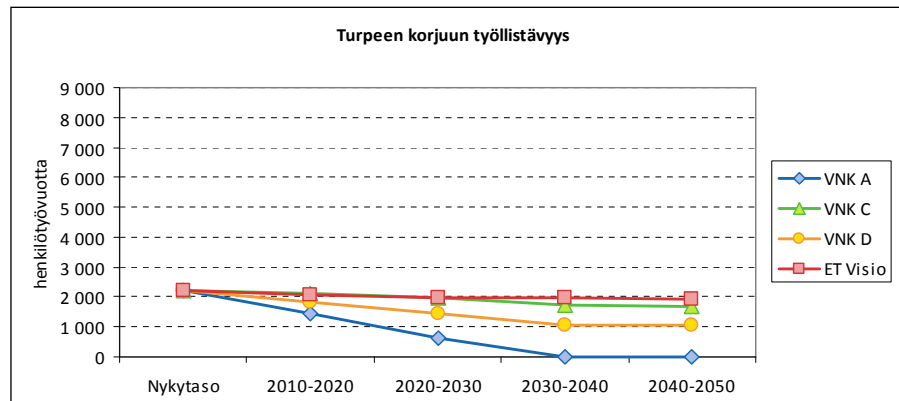


Kuva 7.4. Kiinteiden puupolttoaineiden laskennalliset työllisyysvaikutukset eri skenaarioissa.

Vastaavasti myös turpeen korjuulla on merkittäviä paikallisia työllisyysvaikutuksia, joita on tarkasteltu kuvassa 7.5. Myös turpeen korjuun työllisyysvaikutuksen on oletettu pysyvän vakiona koko tarkasteluajavälin yli ja olevan noin 100 henkilötyövuotta yhtä tuotettua polttoaineterawattituntia kohden¹¹⁸. Työllistävyys säilyy likimain nykyisellä tasolla VNK C:ssä ja ET Visiossa, joissa turvetta käytetään edelleen nykytasolla myös 2050. VNK A -skenaariossa turpeen käytöstä luovutaan kokonaan ja VNK D -skenaariossa käyttö noin puolittuu. Vastaavat vaikutukset näkyvät myös työllisyysdessa.

¹¹⁷ Bioenergian käytön osalta ei tässä ole tarkkaan eroteltu teollisuuden ainespuun käytön vaikutuksia. Suuruusluokaltaan työllisyysvaikutus vastaa VTT, Bioenergian tuotanto- ja käyttöketjut sekä niiden suorat työllisyysvaikutukset, 2003 -selvityksessä esitettyä perusteellisempaa arviota. TEM Pk-bioenergia toimialaraportin 5/2009 mukaan bioenergia alan työllisyys pk-yrityksissä olisi kokonaisuudessaan noin 3 600, mutta osa näistä on esim. lämpöyrittäjiä, joita ei tässä ole huomioitu.

¹¹⁸ Työllisyysvaikutus on hieman korkeampi kuin VTT, Bioenergian tuotanto- ja käyttöketjut sekä niiden suorat työllisyysvaikutukset, 2003 -selvityksessä esitettyä perusteellisempaa arviota.



Kuva 7.5. Turpeen laskennalliset työllisyysvaikutukset eri skenaarioissa.

Tunnistettujen työllisyysvaikutusten toteutumisen kannalta on myös huomioitava mahdolliset skenaariopolun pullonkaulat. Esim. voimakas panostaminen korjausrakentamiseen tulee edellyttämään ripeää panostusta alan koulutukseen, jotta nykyinen puutteellinen energiatehokkuusosaaminen korjausrakentamisessa ei estä skenaariopolun toteutumista.

7.2 Aluekehitys ja yhteiskunnallinen hyväksyttävyys

Tarkastellut skenaariot toteutuessaan merkitsisivät huomattavia muutoksia yhteiskunnan rakenteisiin ja toimintatapoihin. Tarkasteltaessa skenaarioiden polkuja aluekehityksen näkökulmasta voidaan todeta, että päästöjen voimakas vähentäminen on skenaarioiden mukaan mahdollista sekä erittäin tiiviin ja keskittyneen aluerakenteen että hajautuneen Suomen oloissa.

VNK A -skenaariossa aluerakenne on keskittynyt kohti 8–12 vahvaa, tiivistä aluekeskusta. VNK D -skenaariossa aluerakenne on keskittynyt Etelä-Suomeen, tiivisiin kaupunkeihin, joiden ympärillä on väljä yhdyskuntarakenne. Tässä skenaariossa asutus maaseudulla on selkeästi vähentynyt. VNK C -skenaariossa aluerakenne on hajautunut 20 vahvaan aluekeskukseen. Yhdyskuntarakenne on hajautunut ja toimii mahdollisimman omavaraisten yksiköiden varassa. ET:n Visiossa ei ole otettu tarkkaan kantaa aluerakenteen tulevista kehityssuunnista.

Kokonaisuudessa, kaupungit ja toimenpiteet kaupungeissa muodostavat kaikissa skenaarioissa keskeisen toimintayksikön tarvittavien päästövähennyksen aikaansaamiseksi. Myös VNK C -skenaariossa, jossa aluerakenne on hajautunut 20 vahvaan aluekeskukseen, kaupungit muodostavat vähähiilisen kehityspolun keskeisen (tässä tapauksessa myös vahvasti omavaraisten) yksikön.

Kaikille skenaarioille yhteisenä lähtökohtana voidaan pitää laajaa yhteiskunnallista sitoutumista merkittäviin pitkän aikavälin päästövähennyksiin, joka on vahvistettu niin Suomen kansallisissa että EU-strategialinjauksissa sekä Suomen sitoumuksissa kansainvälisiin ilmastopöytäkirjoihin. Käytännössä esitettyjen kehityspolkujen toteut-

taminen edellyttää yhteiskunnallisen hyväksyttävyyssnäkökulman huomioimista ja konkretisoimista niin poliittisen järjestelmän, kansalaisten kuin talousjärjestelmän näkökulmasta.

Kaikissa skenaarioissa joudutaan puuttumaan poliittiseen päätöksentekoon, yhteiskunnan tuotanto- ja kulutustapoihin, markkinajärjestelmään ja kansalaisten arkeen tavalla, joka edellyttää laajaa yhteiskunnallista hyväksyntää. Kansalaisten näkökulmasta skenaarioiden yhteiskunnalliseen hyväksyttävyyteen voi liittyä seuraavia näkemyksiä:

- Skenaarioiden tiivis yhteiskuntarakenne ja kaupungistuminen (VNK A ja D) herättää huolen mahdollisesta vieraantumisesta luonnosta (skenaarioiden toimenpiteiden lähtökohtana on nimenomaan elää paremmin sopusoinnussa luonnon reunaehtojen kanssa) ja alueellisen tasapainon muuttumisesta. Avainkysymyksenä on miten välttää nämä ristiriidat ja miten pitää maaseutu edelleen elinvoimaisena, jos niin halutaan?
- Energiantuotannon rakentamiseen liittyy keskeisiä kansalaisten hyväksyttävyyden edellyttäviä toimenpiteitä, jotka linkittyvät konkreettisesti mm. NIMBY-asenteiden¹¹⁹ voittamiseen (esim. tuulivoima, jätteenpoltto) tai laajemmin lisäydinvoiman rakentamiseen liittyvien riskien hallintaan niin tänä päivänä kuin tulevaisuudessa ydinjätehuollon osalta.
- Ovatko kansalaiset valmiita hyväksymään energian hinnan nousun tulevaisuudessa edellyttäen, että riittävät poliittiset/tiedolliset/tieteelliset perustelut kehitykselle esitetään, vaihtoehtoja energiakulujen leikkaamiselle tarjotaan ja toisaalta yhteiskunnallinen tasavertaisuus/oikeudenmukaisuus taataan?
- Teollisuustyöpaikkojen muuttuminen ja/tai siirtyminen palvelusektorille (esim. VNK A) saattaa herättää huolta Suomen talouden kuihtumisesta, maatalouden alasajo (VNK D) Suomen ruokaturvallisuuden heikkenemisestä ja laajemmin maaseudun köyhtymisestä. Energiantuotannon ratkaisut saattavat ilman kompensoivia toimenpiteitä johtaa työllisyysaasteisiin tietyillä alueilla (esim. turvetuotantoon liittyen VNK A -skenaariossa).

Näihin yhteiskunnallista hyväksyttävyyttä käsitteleviin kysymyksiin ei skenaarioissa anneta yksityiskohtaisia vastauksia. Ne nimenomaan kuvaavat vaihtoehtoisia polkuja vähäpäästöiseen ja hyvinvoivaan Suomeen vuonna 2050, minkä perusteella voidaan nostaa keskusteluun tämän tyyppisiä kysymyksiä skenaariopolkujen hyväksyttävyydestä ja yhteiskunnallisesta haluttavuudesta.

Tarkasteltaessa mahdollisia kehityspolkuja näin pitkällä aikajänteellä on selvää, että matkan varrella tapahtuu useita teknologisia, tieteellisiä ja taloudellisia yllätyksiä – esimerkiksi teknologioiden läpimurrot tulevat tapahtumaan arvioitua nopeammin tai hitaammin, täysin uudet päästöttömät teknologiat tulevat valtaamaan alaa samalla, kun luovutaan aiemmista ratkaisuista, päästövähennystavoitteet saattavat kiristyä entisestään edellyttäen jopa negatiivisia kasvihuonekaasupäästöjä. Toisaalta täysin uudet ympäristöhaasteet saattavat nousta esille (esim. vesikriisit, yhteiskuntien kemikalisoituminen), jotka asettavat kehityspoluille uusia rajaehdoja. Lisäksi turvalli-

¹¹⁹ Not In My BackYard eli ei minun takapihalleni.

suuspoliittinen tilanne saattaa muuttaa toimintaympäristöä jne. Muun muassa näistä syistä kansallisella tasolla hyväksyttävyyden yhtenä näkökulmana tullaan tarkastelemaan skenaarioiden "toimintavarmuutta" – eli millaisia riskejä päästötavoitteen saavuttamisen suhteen kuhunkin skenaarioon liittyy tai kuinka suuria marginaaleja toimintavarmuuden kannalta vaaditaan (mitä jos yksi keskeinen lenkki pettää, toimintaympäristössä tapahtuu merkittäviä muutoksia jne.).

Tästä näkökulmasta voidaan skenaarioiden merkittävien päästövähennystavoitteiden lisäksi nostaa esiin toinen yhteinen skenaarioiden peruspilari. Kaikissa skenaarioissa oletetaan talouden kasvun jatkuvan edelleen 1,2–2,0 % vuosivauhdilla.¹²⁰ Kasvu on hitainta VNK C -skenaariossa, jossa on oletettu tehtävän omavaraisuutta korostavia valintoja, jotka hidastavat talouskasvua. Mikään skenaarioista ei olela elintason merkittävää laskua merkittävien päästövähennysten edellytyksenä, siitä huolimatta että mm. yhteiskunnan ja talouden rakenne tai globaali toimintaympäristö saattavat huomattavasti poiketa toisistaan eri skenaarioissa.

¹²⁰ ET:n Vision talouskasvua on tarkasteltu VATT:n laatiman mallin avulla. VNK skenaariot on pääsääntöisesti laadittu hyödyntäen ns. back-casting menetelmää. Talouskasvun oletuksen realistisuus on tarkastettu skenaariopolun rakentamisen jälkeen.

8 Tapaustutkimus: Pääkaupunkiseutu

8.1 Perusskenaario ja herkkyystarkastelut

Tässä luvussa kuvataan Espoon, Helsingin, Kauniaisten ja Vantaan muodostaman pääkaupunkiseudun tulevia energiajärjestelmämuutoksia, vaihtoehtoisia kehityskulkuja ja niiden vaikutuksia. Pääkaupunkiseudun mahdollisia kehityskulkuja tarkastellaan muodostamalla perusskenaario. Perusskenaarioita rakennettaessa on käytetty hyväksi eri tahojen tekemiä selvityksiä, laskelmia ja kehitysohjelmia yhdistämällä ne yhdeksi loogiseksi kokonaisuudeksi. Perusskenaario on siten työn tekijöiden kokoama näkemys yhdestä mahdollisesta kehityspolusta, jolla voitaisiin päästä merkittäviin kasvihuonekaasupäästöjen leikkauksiin pääkaupunkiseudulla. Perusskenaarion tarkastelun lisäksi tässä yhteydessä tehdään myös herkkyystarkasteluja, joissa tarkastellaan eri sektoreilla toteutettavien voimakkaampien toimintavaihtoehtojen vaikutuksia niin investointitarpeisiin kuin kasvihuonekaasupäästöihin. Tässä yhteydessä tarkastelu rajataan kasvihuonekaasupäästöjen kannalta oleellisimpiin sektoreihin eli energiantuotantoon, rakennusten lämmitysenergiankulutukseen sekä liikennejärjestelmään.

Perusskenaarion laskelmissa noudatetaan seuraavia linjauksia:

- Pääkaupunkiseudun väestöpohja kasvaa vuoden 2008 noin 1,02 miljoonasta 1,20 miljoonaan vuoteen 2030 mennessä.
- Uudisrakentamisessa noudatetaan 2010-luvulla keskimäärin vuoden 2012 oletettuja normeja. Myöhemmin 2020-luvulla ominaiskulutus pienenee tästä edelleen keskimäärin 20 %.
- Asumisväljyys kasvaa vuoteen 2030 mennessä noin 41 m²/asukas.
- Korjausrakentaminen etenee nykyistä tahtia. Kaikissa peruskorjattavissa kohteissa tehdään energiaremontti, jolloin energiankulutus vähenee keskimäärin 20 % tai 10 kWh/m³,a vuosien 2010–2020 välissä ja 40 % tai 20 kWh/m³,a vuosina 2020–2030.
- Henkilöautojen liikennesuoritteiden määrä kasvaa vuodesta 2005 vuoteen 2030 mennessä noin 45 %, joukkoliikenne noin 20 % ja kevyt liikenne noin 12 %. Joukkoliikenteen kasvu tapahtuu pääosin raideliikenteessä.
- Sähköautojen määrä on Helsingissä vuonna 2030 noin 100 000 kpl,¹²¹ mikä vastaisi karkeasti 30 % ajosuoritteista. Vastaava kehitys tapahtuu koko pääkaupunkiseudulla.
- Energiantuotantosektorilla kaukolämmön tuotantoon ja sen päästöihin vaikuttavat pääosin seuraavat joko suunnitellut tai osin toteutetut toimenpiteet:
 - Espoon Suomenojan maakaasukombivoimalaitos (valmistunut 2009)
 - Vantaan Långmossebergin jätevoimala (arvioitu valmistuminen 2014)
 - Helsingissä kivihiilivoimalaitoksissa biopoltto-aineosuuden 40 %:iin (arvio 2014–2018)
 - Helsingissä uusi monipolttoainelaitos (vuosina 2010–2030)

¹²¹ Vastaa perusskenaarioita selvityksessä "Sähköautojen Helsinki 2030", Jussi Palola, Helsingin Energia. http://www.helen.fi/pdf/sahkoauto_helen.pdf

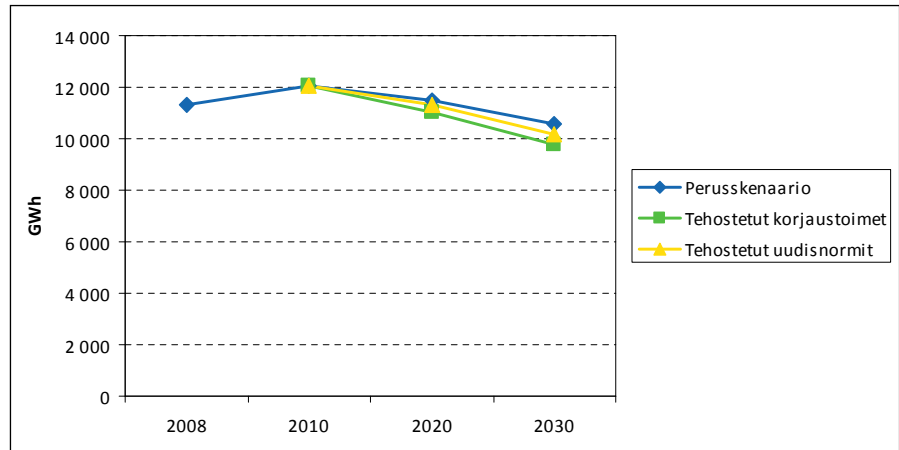
- Sähköntuotannon osalta tuulivoiman määrä kasvaa pääkaupunkiseudullakin. Tarkastelussa ei kuitenkaan eritellä missä sähkö tuotetaan, vaan laskennassa sähkönkulutuksen päästöinä käytetään arvioidun keskimääräisen Suomen sähköntuotannon päästökerrointa, jonka arvioidaan olevan vuonna 2020 noin 160 kgCO₂/MWh ja vuonna 2030 noin 100 kgCO₂/MWh.

Herkkyystarkastelut tehdään puolestaan seuraavien toimenpiteiden osalta:

1. Vuoden 2020 jälkeen tehostettu korjausrakentaminen ja niiden yhteydessä energiaremontti, jossa lämmön ominaiskulutus laskisi noin 50 % nykytasosta. Lisäksi toteutetaan jo vuosina 2010–2020 noin 40 %:n vähennys ominaiskulutukseen.
2. Erittäin energiatehokas uudisrakentaminen siten, että uudisrakennusten ominaiskulutus lähestyisi mahdollisimman nopeasti passiivitasoa.
3. Sähköautojen käytön nopeampi lisääntyminen siten, että sähköautoja olisi Helsingissä vuonna 2030 noin 170 000 ja niiden osuus Helsingin henkilöautojen liikennesuoritteista olisi noin 50 prosenttia. Vastaava kehitys tapahtuisi koko pääkaupunkiseudulla.
4. Voimakas panostus raideliikenteeseen, jolloin raideliikenteen liikennesuoritteet kaksinkertaistuisivat vuoteen 2030 mennessä. Tällöin henkilöautojen liikennesuoritteiden kasvu tippuisi 45 %:sta 33 %:iin.
5. Kaukolämmön puhtaampi tuottaminen ottamalla maakaasulaitoksissa CCS käyttöön vuoteen 2030 mennessä.

8.2 Rakennusten lämmitysenergia

Tehtyjen oletusten mukaisesti rakennusten lämmitysenergiantarve kääntyy pääkaupunkiseudulla loivaan laskuun vuoden 2010 jälkeen (ks. kuva 8.1). Vuosien 2010–2020 välillä perusskenaarion mukainen kehitys pitää sisällään uudisrakentamisen normien oletetun kansallisen kiristymisen sekä maltilliset energiakorjaustoimet. Vuosien 2020–2030 välillä sekä uudisrakentamisen että korjausrakentamisen toimien kiristyminen vaikuttaa lämmitysenergiantarpeeseen enenevissä määrin. Kokonaisuudessaan energiankulutus vähenee vuoden 2010 noin 12 TWh tasolta noin 10,5 TWh:iin vuoteen 2030 mennessä. Laskelmassa on otettu huomioon myös ilmastonmuutoksen tuoma, arviolta noin 6 %:n vähenemä lämmitysenergiankulutukseen vuonna 2030 verrattuna vuoteen 2010.



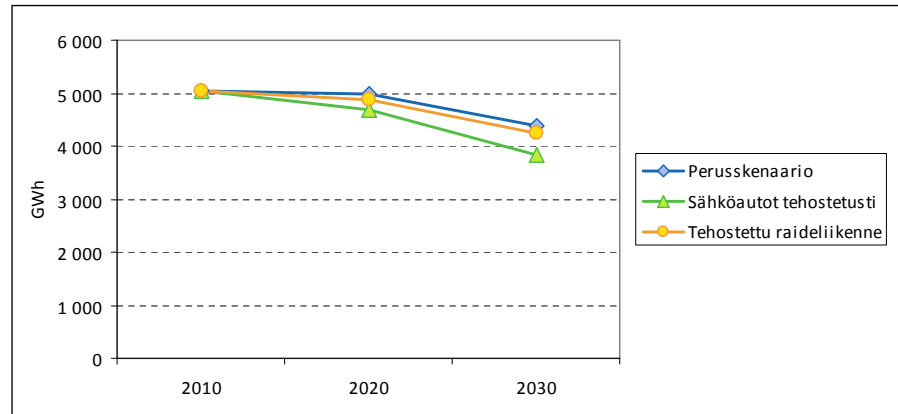
Kuva 8.1. Rakennusten laskennallinen lämmitysenergian kulutus pääkaupunkiseudulla.

Herkkyystarkastelussa oletetuilla tehostetuilla uudisrakentamisen normeilla voidaan saada noin 0,4 TWh:n vähennys kulutukseen. Tehostetut korjaustoimet puolestaan voivat tuoda noin 0,8 TWh:n lisävähennyksen. Yhteensä tehostetuilla rakentamisen toimilla voitaisiin siis saavuttaa noin 1,2 TWh:n lisävähennys, jonka jälkeen rakennusten lämmitysenergian tarve olisi noin 9,3 TWh.

Energiatehokkaan korjausrakentamisen kustannukset pääkaupunkiseudulla ovat perusskenaariossa noin 80 miljoonaa euroa vuosittain vuosina 2010–2020. Korjausrakentamisen lisääntyvän energiatehokkuuden myötä vuotuiset kustannukset nousevat noin 150 miljoonaan euroon vuosina 2020–2030. Tehostetussa korjausrakentamisen skenaariossa kustannukset ovat noin 160 miljoonaa euroa vuodessa aikavälillä 2010–2020 ja kustannukset nousevat noin 230 miljoonan euroon vuodessa vuosina 2020–2030.

8.3 Liikenne

Liikenteessä lisääntyvä liikkumistarve ja kasvava väestöpohja nostavat liikennesuoritteiden määrää. Tehtyjen oletusten valossa liikennesuoritteet kasvavat yhteensä 37 % vuodesta 2010 vuoteen 2030. Keskimääräinen päivittäinen matkasuorite nousee perusskenaariossa noin 20 % ja loppu kasvusta selittyy kasvavalla väestöpohjalla. Samaan aikaan ajoneuvojen energiatehokkuuden oletetaan parantuvan. Erityisesti autokannan polttomoottoreiden keskimääräisen ominaiskulutuksen oletetaan putoavan nykyisestä noin 25 %. Tehdyillä oletuksilla liikenteen energiankulutus putoaa nykyiseltä noin 5,0 TWh:n tasolta noin 4,4 TWh:n tasolle (ks. kuva 8.2).



Kuva 8.2. Liikenteen laskennallinen energiankulutus pääkaupunkiseudulla.

Liikenteen energiankäytön tehostamiseksi on lisäksi tarkasteltu mahdollisuutta sähköautojen tehostettuun käyttöönottoon. Sähköautojen osuus perusskenaariossa on 30 % henkilöautojen liikennesuoritteista vuonna 2030. Ilman tätä sähköauto-osuutta liikenteen energiankulutus kasvaisi ja olisi noin 5,3 TWh vuonna 2030. Perus-skenaariossa sähköautoilla vähennetään liikenteen energiankulutusta siis jo noin 0,9 TWh. Tehostetussa skenaariossa sähköautojen osuus liikennesuoritteista kasvaa 50 %:iin vuonna 2030. Tällöin niiden vaikutus energiankulutukseen on noin 1,5 TWh ja pääkaupunkiseudun liikenteen kokonaisenergiankulutus jäisi 3,8 TWh:iin.

Perusskenaariossa liikenteessä on noin 230 000 sähköauton kanta. Tehtyjen oletusten mukaisesti vuoteen 2030 mennessä edellytetään laajoja investointeja sähköautojen latauspisteisiin, joita tarvittaisiin pääkaupunkiseudulla yhteensä noin 700 000. Yhteensä nämä latauspisteet edellyttäisivät yhteensä noin 350 miljoonan euron investointia. Mikäli sähköautojen käyttöä tehostetaan, nousee sähköautojen määrä noin 390 000:een ja tarvittavien latauspisteiden määrä 1,2 miljoonaan. Vaadittavat latauspisteinvestoinnit olisivat tällöin yhteensä noin 600 miljoonaa euroa.

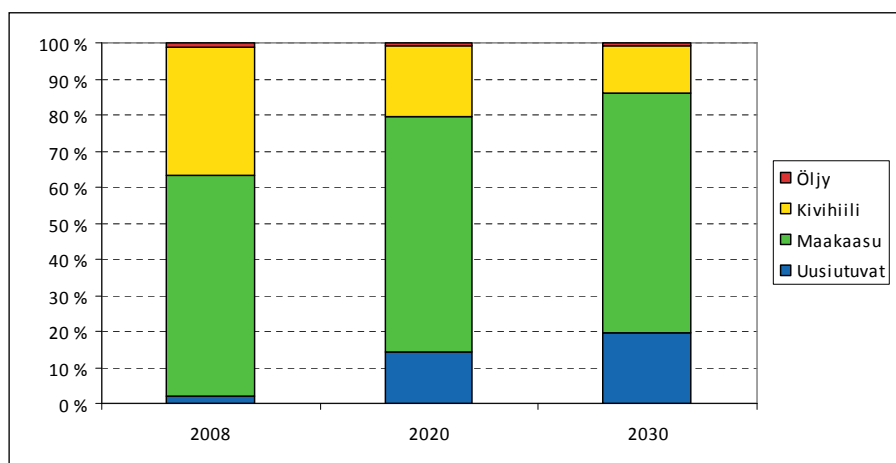
Lisäksi herkkyystarkasteluissa on hahmoteltu mahdollisuutta raideliikenteen merkittävään lisäämiseen. Raideliikenteen kaksinkertaistaminen vuoden 2010 tasosta vuoteen 2030 mennessä leikkaa henkilöautoilun liikennesuoritteiden kasvua noin 12 prosenttiyksikköä. Koska raideliikenne on merkittävästi yksityisautoilua energia-tehokkaampaa, vähenee liikenteen energiankulutus 0,2 TWh. Pääkaupunkiseudun liikenteen energiankulutus on tällöin noin 4,2 TWh.

Raideliikenteen voimakkaan lisäämisen kustannuksien arviointi on haasteellista. Jo perusskenaariossa oletetaan raideliikenteen liikennesuoritteiden kasvavan noin 35 %. Uusilla hankkeilla tulisi saavuttaa vielä 65 prosenttiyksikön lisäys. Näitä hankkeita voivat olla esimerkiksi Pisara-ratalenkki, toisen metrolinjan ulottaminen lentokentälle sekä Raide-Jokeri hanke. Hankkeiden yhteenlasketut kustannukset ovat noin 800–1 000 miljoonaa euroa.¹²² Lisäksi raideliikenteen suoritteiden tuplaaminen edellyttänee kaikkien suunnitelmassa olleiden investointihankkeiden lisäksi myös muiden ohjauskeinojen tehokasta käyttöä, kuten lisärakentamisen suuntaamista raideväylien varteen.

¹²² YTV, Pääkaupunkiseudun liikennejärjestelmäsuunnitelma, PLJ 2007 ja HKL, Metrolinja Pasilasta Helsinki-Vantaan lentoasemalle, 2006.

8.4 Energiajärjestelmät

Pääkaupunkiseudun lämmöntuotannossa suurissa yksiköissä poltettavilla kivihiilellä ja maakaasulla on nykyisin hallitseva, yli 95 %:n osuus. Uusiutuvien energialähteiden ja öljyn osuus jää vuonna 2010 muutamaan prosenttiin. Kuvassa 8.3 on esitetty perusskenaarion mukainen polttoainejakauman kehittyminen päävoimalaitoksissa vuoteen 2030 asti. Uusiutuvien osuus nousee ja korvaa erityisesti kivihiilen käyttöä.



Kuva 8.3. Energiantuotannon laskennallisten polttoaineosuuksien kehittyminen.

Perusskenaarion investointeja tehdään kaikissa kolmessa suuressa kaupungissa:

- Espoossa Suomenojalla on jo avattu uusi maakaasukombivoimalaitos. Fortumin mukaan Suomenojan voimalaitoksen käyttöönotto puolittaa kivihiilen käytön Espoon kaukolämmön tuotannossa¹²³. Voimalaitoksen investointikustannuksiksi on ilmoitettu 220 miljoonaa euroa¹²⁴.
- Vantaan Energian mukaan Långmossebergin jätevoimalan tuottaa vuosittain noin 750 GWh kaukolämpöä. Tuotannon energialähteenä käytetään noin 600 GWh maakaasua ja 940 GWh jätettä. Laitoksen käyttöönoton seurauksena hiilen käyttö Vantaalla vähenee 30 %¹²⁵. Laitoksen kustannusarvio on noin 250 miljoonaa euroa¹²⁶.

¹²³ Fortum, Fortumin uusi voimalaitos vihittiin käyttöön tänään Espoossa, tiedote, 10.12.2009.

¹²⁴ Fortum, Fortumin voimalaitosinvestointi Suomenojalle vahvistui, tiedote, 16.5.2007.

¹²⁵ Vantaan Energia, Jätevoimalahanke, www-sivut (saatavilla www.vantaanenergia.fi), viitattu 2.3.2010.

¹²⁶ Vantaan Energia, Energiavirtaa-asiakaslehti, 1/2009.

- Helsingin Energian kehitysohjelman mukaan Hanasaaren ja Salmisaaren kivihiihivoimalaitoksissa nostetaan biopolttoaineiden osuus 40 prosenttiin. Laitteistot asennetaan vuosina 2014–2018.¹²⁷ Vuosien 2020–30 välillä Helsingin Energia ottaa käyttöön monipolttoainelaitoksen, jonka teho on 500–700 MW¹²⁸. Uusi laitos korvaa tällöin vanhenevaa muuta kapasiteettia. Laitoksen biopolttoaineiden osuuden oletetaan olevan karkeasti noin 65 %. Näiden kehityshankkeiden kustannuksiksi on arvioitu 1 500–2 000 miljoonaa euroa vuoteen 2030 mennessä¹²⁹.

Energiantuotannon herkkystarkasteluna on lisäksi arvioitu hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin eli CCS-tekniikan käyttöönottoa maakaasulaitoksissa vuoteen 2030 mennessä. CCS:n käyttöön otto heikentää tuotannon hyötysuhdetta arviolta noin 8 prosenttiyksikköä, mikä lisää maakaasun vuotuista käyttöä noin 1,4 TWh. CCS:n investointikustannukset ovat arviolta noin 500 miljoonaa euroa.

Pääkaupunkiseudun sähköverkot ja kaukolämpöverkot ovat melko pitkälle valmiiksi rakennettuja. Lisärakentamistarpeita syntyy lähinnä uusien asuinalueiden myötä. Lisäksi kaukojäähdytys voi tuoda energian tarpeen kasvua tämän tarkastelun ulkopuolelta. Kaukolämmössä lämpöenergian kysynnän kasvun taittuminen sekä matalaenergia- ja passiivitalojen yleistyminen edellyttävät yhtiöiltä huolellista tarpeiden analysointia.

8.5 Vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin

Edellä esitettyjen toimien vaikutuksia hiilidioksidipäästöihin on kuvattu taulukossa 8.1. Perusskenaariossa tarkastellut päästöt vähenevät nykyiseltä noin 5,5 MtCO₂ tasolta noin 3,2 MtCO₂ tasolle vuoteen 2030 mennessä. Vähennystä tapahtuu kaikilla sektoreilla. Lämmityksessä päästöjä vähentää aleneva energiankulutus ja uusiutuvien energialähteiden osuuden kasvu tuotannossa. Liikenteessä erityisesti sähköautojen osuus vähentää energiantarvetta ja päästöjä. Kaikessa sähkönkäytössä (sähkölämmityksessä, liikenteen sähkönkäytössä ja muussa sähkönkäytössä) laskennallista vähennystä syntyy, koska kansallisen sähkön päästökertoimen oletetaan putoavan¹³⁰. Lisäksi sähkönkulutuksen oletetaan tehostuvan siten, että palveluissa sähkönkulutus on arviolta 10 % ja kotitalouksissa 20 % vähäisempi vuonna 2030 kuin vuonna 2010.

¹²⁷ Helsingin Energian kehitysohjelma kohti hiilineutraalia tulevaisuutta, 19.1.2010. Kehitysohjelman on hyväksynyt yhtiön johtokunnassa ja se menee alustavan aikataulun mukaan kaupunginhallituksen käsittelyyn huhtikuun lopussa ja valtuustoon toukokuussa.

¹²⁸ Tarkastelussa käytetty 600 MW.

¹²⁹ Koko investointiohjelman investointikustannukset ovat arviolta 3 000 miljoonaa euroa.

¹³⁰ Kansallisena päästökertoimenä on käytetty selvityksen muissa osioissa käytettyjen skenaariorakennelmien keskimääräistä päästökertoimenä, joka on 237 kgCO₂/MWh vuodelle 2010, 156 kgCO₂/MWh vuodelle 2020 ja 73 kgCO₂/MWh vuodelle 2030.

Taulukko 8.1. Pääkaupunkiseudun laskennallisten päästöjen kehitys.¹³¹

MtnCO ₂	2010	2020	2030	Muutos 2010->2030
Lämmitys	2,2	1,8	1,5	-32 %
Muu sähkönkäyttö	1,5	1,0	0,5	-73 %
Liikenne	1,2	1,2	1,1	-15 %
Muut	0,3	0,2	0,1	-50 %
Yhteensä	5,5	4,2	3,2	-42 %

Herkkyystarkasteluissa esitettyjen toimenpiteiden päästövähennyksiä suhteessa perusskenaarioon on kuvattu taulukossa 8.2. Vuoteen 2020 mennessä lisäpäästövähennykset ovat melko vähäisiä kaikilla toimenpiteillä ja lisävähennykset jäävät yhteensäkin noin 0,2 MtCO₂:iin. Vuonna 2030 lisävähennyspotentiaali kasvaa noin 1,3 MtCO₂:iin. Korjausrakentamisen tehostamisella näyttää tehdyillä oletuksilla olevan uudisrakentamista suurempi vaikutus. Toisaalta uudisrakentamisen perustaso on jo oletettu melko energiatehokkaaksi. Liikenteessä sähköautojen potentiaali päästöjen vähentämisessä on merkittävästi raideliikenteen osuuden lisäämistä suurempi. Vaikka raideliikenteen liikennemäärien oletetaan kaksinkertaistuvan, on raideliikenteen lähtötaso suhteessa autoiluun kuitenkin alhainen ja vaikutusmahdollisuudet vähäisempiä. Suurin yksittäinen vaikutus tarkastelluista toimenpiteistä näyttäisi olevan CCS:n käyttöönotolla maakaasun polton yhteydessä.

Taulukko 8.2. Tehostettujen toimien laskennalliset päästövähennykset.

MtnCO ₂	2010	2020	2030
Tehostettu korjausrakentaminen	0,00	-0,06	-0,12
Tehostettu uudisrakentaminen	0,00	-0,01	-0,02
Sähköautot tehostetusti	0,00	-0,10	-0,24
Tehostettu raideliikenne	0,00	-0,04	-0,07
CCS maakaasulle	0,00	0,00	-0,88
Yhteensä	0,00	-0,22	-1,32

Perusskenaarion mukaisin toimenpitein pääkaupunkiseudun päästöt vähenevät noin 40 % vuoteen 2030 mennessä suhteessa vuoden 1990 vertailutasoon. Ottaen käyttöön kaikki tehostetut toimenpiteet, voi vähennysmahdollisuus verrattuna vuoteen 1990 nousta 65 %:iin vuoteen 2030 mennessä. Suurempien päästövähennysten aikaansaaminen edellyttäisi muutoksia erityisesti rakennusten lämmitysenergian tuotantoon ja liikenteeseen. Lämmityksessä päästöttömiä suuren kokoluokan vaihtoehtoja voisivat olla esimerkiksi lämpöpumppujen voimakas lisäkäyttö. Liikenteessä joukkoliikenteen osuuden nosto edellyttäisi todennäköisesti henkilöautoilun kasvun rajoittamista voimakkain toimin, kuten tietullein.

¹³¹ Muut päästöt pitävät sisällään teollisuuden ja maatalouden päästöjä. Näiden osuuden on arvioitu vähenevän tasaisesti likimain nykyisten trendien mukaisesti. Muu sähkönkäyttö pitää sisällään sähkölämmityksen ja liikenteen ulkopuolisesta sähkönkäytöstä aiheutuvat päästöt. Sähköä käytetään palveluissa, kotitalouksissa ja teollisuudessa. Mukaan ei ole huomioitu mahdollista uusiutuvan sähkön käyttöä.

9 Yhteenveto ja johtopäätökset

Siirtyminen kohti hiiliniukkaa yhteiskuntaa, jossa kasvihuonekaasujen määrä on pudotettu nykytasolta yli 80 %, edellyttää merkittäviä muutoksia infrastruktuureissa. Tässä hankkeessa on tarkasteltu muutosten kannalta keskeisiä sektoreita eli rakennuksia, tie- ja raideliikennejärjestelmää sekä energian tuotantoa ja siirtoa. Tarkastelun pohjana on käytetty Valtioneuvoston ilmastopoliittisen tulevaisuusselon teon yhteydessä laadittuja skenaarioita (VNK skenaariot) ja Energiategollisuuden kuvaamaa tulevaisuuden tavoitetilaa (ET:n Visio). Työn tavoitteena ei ole ollut skenaarioiden asettaminen järjestykseen, vaan tehtävänä on ollut arvioida, millaisia infrastruktuurimuutoksia skenaarioiden kuvaamat tulevaisuuskuvat edellyttävät ja mitä vaikutuksia tällaisilla muutoksilla olisi talouteen, ympäristöön ja yhteiskuntaan.

Tarkasteltujen skenaarioiden välillä on merkittäviä eroja tulevaisuuden oletuksissa, jotka koskevat yhteiskunnan ja elinkeinoelämän rakenteita, arvovalintoja sekä väestönkasvua. Kaikissa skenaarioissa oletetaan talouden kuitenkin jatkavan kasvuun, joskin kasvuluvut poikkeavat merkittävästi toisistaan. Pienin talouskasvu on oletettu VNK C -skenaariossa (1,2 %) ja suurin ET:n Visiossa (2 %). Talouskasvun lähteenä on skenaariossa erityisesti teknologinen kehitys. Oletetussa talouskasvun suuruudessa on otettu huomioon tarvittavien investointien vaikutuksia ja elinkeinorakenteiden muutoksia skenaariokohtaisesti. Kasvun turvaavaa teknologista kehitystä ei kuitenkaan ole tarkemmin skenaarioissa yksilöity. Investointitarpeen suuri kasvu lisää painetta kansantalouden kasvulähteiden löytämiseen. Jotta kansantalouden kasvu voidaan turvata myös jatkossa, on tuottavuuskasvun lähteiden löytäminen erityisen tärkeä tutkimuskohde myös energianäkökulmasta tarkasteltuna. Yhtenä kasvun lähteenä skenaarioissa näyttäytyy kotimaisten energiateknologioiden ja -ratkaisuiden kehittäminen kasvavaksi ventialaksi.

Skenaarioiden toteutuminen edellyttää skenaariosta riippuen yhteensä 100–150 miljardin euron investointeja infrastruktuureihin keskeisillä tarkastelun kohteena olevilla sektoreilla vuoteen 2050 mennessä. Vuositasolla tämä tarkoittaa keskimäärin 2,5–3,7 miljardin euron investointeja. Merkittävimmät erot investoinneissa eri skenaarioissa liittyvät rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen, sähköntuotantokapasiteetin lisärakentamiseen ja raideliikenne investointeihin. Selkeästi suurimmat investoinnit ovat VNK D -skenaariossa, jossa panostetaan samanaikaisesti sekä energiantuotantoon että energiatehokkuuteen. Muiden skenaarioiden kokonaisinvestoinnit ovat melko lähellä toisiaan, vaikka investoinnit kohdistuvat eri asioihin.

Osa investoinneista tarvitaan lisääntyvän kulutuksen kattamiseksi tai vanhan kapasiteetin korvaamiseksi; osa kulutuksen vähentämiseksi tai siirtämiseksi energiatehokkaampaan ratkaisuun, kuten liikennesuoritteiden siirtämiseksi teiltä rautateille tai polttomoottoriautojen korvaamiseksi sähköautoilla. Investoinnit vaikuttavat myös kansantalouden energianhankintaan käyttämiin varoihin. Skenaarioiden valossa näyttäisi siltä, että riippumatta tulevasta kehityspolusta energiakustannukset nousevat tulevaisuudessa. Kun vuosittain vuosina 2000–2009 sähkönhankintaan käytettiin vajaat 3 miljardia euroa, nousevat reaaliset kustannukset skenaariosta riippuen arviolta 6–11 miljardiin euroon vuoteen 2050 mennessä.

Rakennusten lämmitysenergiankulutuksen vähentämiseksi tähtäävät toimet kohdistuvat sekä uudisrakentamiseen että olemassa olevaan rakennuskantaan. Uudisrakentamisen yhteydessä tehtävien energiatehokkuusinvestointien takaisinmaksuaika on tyypillisesti alle 10 vuotta. Korjausrakentamisessa rakennuksen omistajan tekemän investoinnin takaisinmaksuaika on puolestaan selvästi pidempi, tyypillisesti merkittävässä energiaremontissa nykyhinnoilla 10–20 vuotta. Täten lyhyellä tähtämellä tehokkaimpana keinona rakennusten lämmitysenergian kulutuksen laskemiseksi ja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi näyttäisi muodostuvan energiatehokkaiden uudisrakennusten rakentaminen. Kokonaisuudessaan rakennusten energiankulutuksen vähentämisen suurimpana haasteena on toimivien markkinamekanismien löytäminen korjausrakentamisen yhteydessä suoritettaville energiatehokkuustoimille, jotta suurimmillaan skenaarioissa esitetyt noin 40 miljardia euron korjausinvestoinnit käytännössä toteutuisivat vuoteen 2050 mennessä. Lisäksi energiatehokkaan rakentamisen osaamista on nostettava merkittävästi ja alan koulutukseen on panostettava, sillä nykyinen osaamis pohja ei näyttäisi olevan riittävä VNK:n skenaarioiden osoittamien energiaremonttien täysimittaiseen toteuttamiseen.

Merkittäviä investointeja tarvitaan tulevaisuudessa myös liikenneinfrastruktuurin kehittämiseen. Erityisesti skenaarioissa, joissa liikennesuoritteet kasvavat, tarvitaan kertaluokaltaan noin 10 miljardin lisäinvestoinnit tieverkostoon vuoteen 2050 mennessä. Liikennesuoritteiden siirtäminen tieliikenteestä kohtuullisessakin määrin raideliikenteeseen näyttäisi vaativan suuria investointeja; tarkastelluissa skenaarioissa kertaluokaltaan 10–20 miljardia euroa vuoteen 2050 mennessä. Raideliikenteen merkittävä lisääntyminen teollisuuden tavarankuljetuksissa edellyttäisi käytännössä myös raideliikenteen kilpailukyvyyn merkittävää parantumista suhteessa tiekuljetuksiin. Mikäli tieliikenteessä siirrytään vuoteen 2050 lähes kokonaan sähköisiin ajoneuvoihin, edellyttäisi se kumulatiivasti arviolta noin 5 miljardin euron investointeja sähköautojen latausverkoston rakentamiseen. On syytä huomata, että sähköautoihin liittyy vielä teknologisia epävarmuuksia, ja suunnitelmista huolimatta niitä ei ole vielä laajamittaisesti koekäytetty missään päin maailmaa.

Sähköntuotantokapasiteetin muuttaminen vähähiiliseksi vuoteen 2050 mennessä vaatii skenaariosta riippuen 30–60 miljardin euron investoinnit. Kaikissa skenaarioissa toteutuu suuria investointeja jo 2010-luvulla, jonka jälkeen erot investoinneissa riippuvat energian oletetusta kokonaiskulutuksesta kussakin skenaariossa. Päätöksiä energiantuotantoinvestoinneista joudutaan käytännössä kuitenkin tekemään ennen kuin tuleva energiankulutus on tiedossa, mikä hankaloittaa investointipäätöksien tekemistä käytännössä.

Merkittävimmät erot skenaarioiden energiantuotantorakenteessa liittyvät ydinvoiman käyttöön. Skenaarioissa, joissa energiankulutus on suurempi, käytetään enemmän ydinvoimaa. Kaikissa skenaarioissa oletuksena on, että tuuli- ja vesivoimaa sekä bioenergiaa käytetään teknistaloudellisesti toteutettavissa oleva määrä. Erot uusiutuvien energialähteiden käytön osalta ovat siten skenaarioissa varsin pieniä. Kaikissa skenaarioissa kilpailu puuraaka-aineesta näyttää lisääntyvän. Merkittävin teknologinen epävarmuus sähköntuotannon osalta liittyy CCS-teknologiaan, josta ei ole vielä käytännön kokemuksia. Muilta osin teknologia on jo olemassa ja laajalti käytettyä.

Tässä hankkeessa tarkasteltiin koko Suomen lisäksi tapaustutkimuksena pääkaupunkiseudun mahdollisia kehityspolkuja vuoteen 2030 mennessä. Tämä tarkastelu nosti esille, että pääkaupunkiseudulla on mahdollista alentaa merkittävästi kasvi- huonekaasupäästöjä jo vuoteen 2030 mennessä. Tämä edellyttää aktiivisia toimia kaikilla keskeisillä sektoreilla sekä merkittäviä investointeja. Haastavinta päästöjen vähentäminen vaikuttaisi pääkaupunkiseudulla olevan rakennusten lämmityksessä sekä liikenteessä. Pelkästään pääkaupunkiseudun energiantuotantosektorilla edellytetään noin 2–3 miljardin euron investointeja vuoteen 2030 mennessä. Korjausrakentamisen energiatehokkuusinvestoinnit nousevat kumulatiivisesti 2–4 miljardin euron välille vuoteen 2030 mennessä. Samoin liikennejärjestelmän sähköistymisen ja raideliikenteeseen panostamisen sekä lisääntyneen henkilöautoilun vaatimien tieinvestointien yhteissumman oletetaan nousevan karkeasti vastaavalle tasolle.

Tässä hankkeessa tehdyt laskelmat osoittavat, että vähähiiliseen yhteiskuntaan tähtäävät infrastruktuurimuutokset vaativat erittäin suuria investointeja. Suuret investoinnit tarkoittavat käytännössä energian, liikkumisen ja asumisen kustannusten nousua. Toisaalta investoinnit energiatehokkuuteen vähentävät kustannuksia pitkällä aikavälillä. Skenaarioiden välillä on eroja myös investointien rahoituksella. Käytännössä investointeja tekevät ja energiankäyttöä rahoittavat joko yksityiset kuluttajat, yritykset tai yhteiskunta. Kaikissa skenaariossa oletetaan tapahtuvaksi sellaisia infrastruktuurimuutoksia, jotka edellyttävät yhteiskunnan lisärahoitusta suhteessa nykytilaan. Markkinahintaohjauksen lisäksi yhteiskunnan tukia oletetaan kaikissa skenaarioissa tarvittavan uusien teknologioiden käyttöönoton nopeuttamiseksi. Osa investoinneista edellyttää myös rahoituksen pohtimista uudelta pohjalta. Erityisesti väyläinvestointien ja korjausrakentamisen rahoittamiseksi tarvittaneen uusia ratkaisumalleja.

Infrastruktuuri-investoinneilla voi päästövähennysten lisäksi olla muita merkittäviä yhteiskunnallisia vaikutuksia. Kaikkiaan tarkasteltujen infrastruktuuri-investointien työllisyysvaikutus on suuruusluokaltaan 40 000–50 000 työpaikkaa skenaarioista ja ajoituksesta riippuen. On kuitenkin huomattava, että osa uusista työpaikoista korvaa vanhoja työpaikkoja, jolloin nettovaikutus on pienempi. Toisaalta on huomattava, että tehdyt investoinnit luovat myös välillisesti uusia työpaikkoja muille sektoreille. Mikäli kotimarkkinoiden aktivoinnilla onnistutaan luomaan myös uutta teknologian ja osaamisen vientiä, on mahdollinen työpaikkojen määrä suurempi. Työllisyyden nettovaikutus vaatii jatkossa tarkempaa selvittämistä. Työikäisen väestön osuuden väheneminen ja osaamisvajeet joillakin erityisosaamista vaativilla aloilla voivat toisaalta muodostua rajoitteeksi ja hidastaa skenaarioissa esitettyjen toimenpiteiden toteuttamista.

Pitkälle tulevaisuuteen ulottuviin skenaarioihin liittyy lukuisia epävarmuuksia, joista huolimatta tässä hankkeessa on pyritty kuvaamaan myös lukuarvoin tulevien infrastruktuurimuutoksien vaikutuksia. Onkin huomattava, että näihin arvioihin liittyy huomattavaa epävarmuutta. Raportoinnissa on pyritty kuvaamaan ne keskeiset lähtöoletukset, joiden perusteella tuloksiin on päädytty. Tuloksia voidaan arvioida suhteessa näihin lähtötietoihin. Epävarmuutta voidaan pienentää lisäselvityksin. Vaikutuksiltaan alustavasti merkittäviä jatkotutkimuskohteita ovat energiatehokkaan korjausrakentamisen kustannustehokkaat keinot, raideliikenteen lisäämisen edellytykset sekä uusien päästöttömien teknologioiden, kuten tuulivoiman ja CCS:n, kustannusarvioiden tarkentaminen. Koska tulevaa kehitystä ei kuitenkaan kyetä täysin arvioimaan, olisi kustannusten herkkyyksien ja näistä aiheutuvien taloudellisten riskien arviointi sekä yhteiskunnan, että yritysten kannalta kiinnostava jatko-

tutkimusaihe. Lisäksi olisi syytä käynnistää tutkimusta infrastruktuuri-investointien rahoitusvaihtoehdoista ja näiden kansantaloudellisista vaikutuksista.

Raportissa kuvattujen, eri skenaarioiden vaatimien toimenpiteiden toteutuminen edellyttää myös laajaa yhteiskunnallista hyväksyntää. Yhtäältä se tarkoittaa varautumista kuluttamisen kustannusten nousuun sekä toisaalta sopeutumista uudenlaiseen yhteiskuntaan, joka saattaa poiketa merkittävästi nykyisestä. ET:n Vision ja VNK D -skenaarioiden oletuksena on, että tulevat päästövähennemät voidaan saavuttaa uusien teknologioiden avulla ilman, että nykyiseen energiankäytön kasvuun on tarvetta puuttua. VNK C -skenaariossa yhteiskuntarakenteen oletetaan palautuvan enemmän omavaraiseksi, minkä oletetaan johtavan muita skenaarioita alhaisempaan talouskasvuun. Muutokset energiankulutuksessa ovat suurimmat VNK A -skenaariossa, jossa lähtöoletuksena on vallankumous energiatehokkuudessa. Tulevat vuodet tulevat osoittamaan, mikä lopulta on kansalaisten valmius muutosten tekemiseen ja muutosten hyväksymiseen.

Liite A: Laskennan lähtötietoja

Taulukko A.1. Energiatohokkaan korjausrakentamisen oletetut kustannukset 1960-luvun kerrostalon ja pientalon tapauksissa nykytekniikoin toteutettuna. Taulukoiden lukujen perusteella on arvioitu keskimääräinen energiatohokkuuden parantamisen kustannus 1,5 € yhdessä vuodessa säästettyä kilowattituntia kohti¹³².

1960-luvun kerrostalo	Nykytila	Korjaus-konsepti 1	Korjaus-konsepti 2	Korjaus-konsepti 3
Ominaislämmönkulutus, kWh/m ³	67	50	33	17
Vaipan eristystason parantaminen, €/m ³	-	-	+13	+23
Ikkunoiden ja parvekeovien uusiminen, €/m ³	-	+10	+15	+20
Vaipan ilmatiiviyyden parantaminen, €/m ³	-	+5	+13	+17
Ilmanvaihto-osat, €/m ³	-	+12	+12	+13
Lämmitysosat, €/m ³	-	-	-5	-10
Rakennuskustannusero yhteensä, €/m ³	-	+27	+48	+63
Rakennuskustannusero yhteensä, €/m ²	-	+80	+145	+190

1960-luvun pientalo	Nykytila	Korjaus-konsepti 1	Korjaus-konsepti 2	Korjaus-konsepti 3
Ominaislämmönkulutus, kWh/m ³	67	50	33	17
Vaipan eristystason parantaminen, €/m ³	-	-	+17	+47
Ikkunoiden ja parvekeovien uusiminen, €/m ³	-	+10	+13	+22
Vaipan ilmatiiviyyden parantaminen, €/m ³	-	+3	+12	+20
Ilmanvaihto-osat, €/m ³	-	+12	+8	+10
Lämmitysosat, €/m ³	-	-	-7	-12
Rakennuskustannusero yhteensä, €/m ³	-	+25	+43	+87
Rakennuskustannusero yhteensä, €/m ²	-	+75	+130	+260

¹³² Lähde: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, RIL 249-2009 Matalaenergiarakennukset, 2009.

Taulukko A.2. Energiätehokkaan uudisrakentamisen kustannukset kerrostalon ja pientalon tapauksissa nykyteknikoin toteutettuna. Taulukoiden lukujen perusteella on arvioitu keskimääräinen energiätehokkuuden parantamisen kustannus 0,8 € yhdessä vuodessa säästettyä kilowattituntia kohti¹³³.

Uudisrakennus, kerrostalo	Normitalo 2008	Matala-energiatalo M-50	Passiivitalo P-30	Passiivitalo P-15
Ominaislämmönkulutus, kWh/m ³	33	17	10	5
Vaipan tiiviys- ja eristystaso, €/m ³	-	+10	+13	+35
Ikkunat ja parvekeovet, €/m ³	-	+8	+10	+10
Ilmanvaihto-osat, €/m ³	-	+7	+8	+12
Lämmitysosat, €/m ³	-	-12	-12	-12
Rakennuskustannusero yhteensä, €/m ³	-	+13	+20	+45
Rakennuskustannusero yhteensä, €/m ²	-	+40	+60	+135

Uudisrakennus, pientalo	Normitalo 2008	Matala-energiatalo M-50	Passiivitalo P-30	Passiivitalo P-15
Ominaislämmönkulutus, kWh/m ³	33	17	10	5
Vaipan tiiviys- ja eristystaso, €/m ³	-	+12	+15	+40
Ikkunat ja parvekeovet, €/m ³	-	+8	+8	+8
Ilmanvaihto-osat, €/m ³	-	+5	+7	+8
Lämmitysosat, €/m ³	-	-12	-12	-12
Rakennuskustannusero yhteensä, €/m ³	-	+13	+18	+45
Rakennuskustannusero yhteensä, €/m ²	-	+40	+55	+135

Taulukko A.3. Laskennassa käytetyt oletukset huipunkäyttöajoista.

h	2010	2020	2030	2040	2050
Ydinvoima	8 000	8 000	8 000	8 000	8 000
Vesivoima	4 700	4 700	4 700	4 700	4 700
Tuulivoima	2 000	2 850	2 850	2 850	2 850
CHP kaukolämpö	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
CHP teollisuus	5 500	5 500	5 500	5 500	5 500
Lauhdetuotanto	5 000	4 750	4 500	4 250	4 000
Muut	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000

¹³³ Lähde: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, RIL 249-2009 Matalaenergiarakennukset, 2009.

Taulukko A.4. Laskennassa käytetyt oletukset nykykapasiteetin poistuma.

MW	2010	2020	2030
Ydinvoima	0	0	500
Vesivoima	0	0	0
Tuulivoima	0	0	100
Yhteistuotanto, kaukolämpö	0	1 000	1 500
Yhteistuotanto, teollisuus	0	500	500
Lauhdetuotanto	0	500	1 500
Muut	0	0	0

Taulukko A.5. Laskennassa käytetyt investointikustannusoletukset.

€/kW	2010	2020	2030	2040	2050
Ydinvoima	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
Vesivoima	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Tuulivoima	1 700	1 400	1 300	1 200	1 200
CHP uusiutuva	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
CHP muut	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500
Lauhde uusiutuva	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200
Lauhde muut	900	900	900	900	900
Muut	4 000	3 750	3 500	3 250	3 000
CCS (kiinteä)	5 000	3 000	500	400	300
CCS (maakaasu)	4 000	2 000	300	250	200

Taulukko A.6. Laskennassa käytetyt oletukset voimalaitoksien polttoainehyötysuhteista.

%	2010	2020	2030	2040	2050
Ydinvoima	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Vesivoima	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Tuulivoima	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
CHP uusiutuva kl.	25 %	27 %	28 %	30 %	31 %
CHP uusiutuva teoll.	22 %	24 %	25 %	27 %	28 %
CHP muut kl.	35 %	36 %	37 %	38 %	39 %
CHP muut teoll.	32 %	33 %	34 %	35 %	36 %
Lauhde uusiutuva	35 %	37 %	39 %	41 %	43 %
Lauhde muut	40 %	43 %	46 %	49 %	52 %
Muut	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Taulukko A.7. Laskennassa käytetyt oletukset polttoaineiden hinnoista.

€/MWh _{pa}	2010	2020	2030	2040	2050
Ydinvoima	5	7	9	11	13
Vesivoima	0	0	0	0	0
Tuulivoima	0	0	0	0	0
Biomassat	18	23	28	31	34
Fossiiliset ja turve	15	17	18	20	22
Muut	0	0	0	0	0

Liite B: Skenaarioiden kuvaukset

	ET Visio 2050	VNK A 2050	VNK C 2050	VNK D 2050
Tavoite	Energiateollisuus ry:n tahtotila	Asiantuntijatyönä tehtyjä vähäpäästöisiä tulevaisuuden polkuja		
Yleiskuvaus	Sähkö- ja kaukolämpö ratkaisuna	Tehokkuuskumous	Omassa vara parempi	Teknologia ratkaisee
Elinkeinoelämä	BKT kasvu n. 2 % vuodessa. Perustuu teknologiseen kehitykseen, teollisuuden osuus kansantuotteesta säilyy merkittävänä	Ensin hitaampi kasvu suurten investointien takia, myöhemmin nopea alhaisten energiakulujen vuoksi. Keskimäärin kasvu 1,7 %. Palveluvaltaistuminen jatkuu.	Muita skenaarioita alempi taloukasvu tuottavuutta alentavien valintojen takia. Keskimäärin kasvu 1,2 %. Teollisuuden osuus säilyy suhteellisen suurena.	Ensin melko nopea kasvu, sitten hitaampi energia- ja päästökustannusten vuoksi. Keskimäärin kasvu 1,8 %. Teollisuuden osuus säilyy nykytasolla.
Väestöpohja*	Noin 6,1 miljoonaa asukasta 2050	Noin 5,8 miljoonaa asukasta 2050	Noin 5,8 miljoonaa asukasta 2050	Noin 5,8 miljoonaa asukasta 2050
Energiantuotanto	Lisää ydinvoimaa ja tuulivoimaa, CCS-teknologiaa isoissa yksiköissä	Kokonaan uusiutuvaa tuotantoa: tuulivoima, vesivoima ja bioenergia	Pääosin uusiutuvaa tuotantoa, mutta myös ydinvoimaa ja CCS-teknologiaa	Merkittävästi lisää ydinvoimaa, lisää tuulivoimaa, CCS-teknologiaa isoissa yksiköissä
Sähkön tuonti/vienti	Vientiä 0–10 TWh	Sähköntuontia, esim. tuulisähköä Pohjanmereltä	Omavarainen 2050	Sähköä vientiin
Rakennusten energiankäyttö	Rakennusten energiankäyttö tehostuu hieman	Rakennusten energiankäyttö tehostuu merkittävästi ja nopeasti.	Rakennusten energiankäyttö tehostuu kohtuullisesti. Merkittävät korjaustoimet.	Rakennusten energiankäyttö tehostuu hieman uudistaloissa. Merkittävät korjaustoimet.
Teollisuuden energiankäyttö	Teollisuuden sähkönarve kasvaa maltillisesti	Rakenteelliset muutokset vähentävät teollisuuden kulutusta. Maltillinen energiankäytön tehostuminen.	Rakenteelliset muutokset vähentävät teollisuuden energiankäytön tehostuminen.	Voimakas teollinen kasvu lisää energiankulutusta merkittävästi. Maltillinen energiankäytön tehostuminen.
Palveluuden & kotitalouksien energiankäyttö	Lisääntyvät sähkölaitteet lisäävät sähkönkäyttöä	Laitteiden ja koneiden energiatehokkuus paranee. Kulutustottumusten muutos vähentää käyttöä.	Laitteiden ja koneiden energiatehokkuus paranee.	Laitteiden ja koneiden energiatehokkuus paranee. Lisääntyvät sähkölaitteet lisäävät sähkönkäyttöä
Liikenne	Liikenne lisääntyy ja sähköistyy	Liikenne vähenee ja sähköistyy	Liikenne pysyy nykytasolla ja siirtyy biopolttoaineisiin	Liikenne lisääntyy ja sähköistyy