

Hajautetun uusiutuvan energian aluetaloudellisten vaikutusten arviointi ENVIREGIO-mallilla

Hannu Savolainen, Santtu Karhinen, Teemu Ulvi ja
Maria Kopsakangas-Savolainen



Hajautetun uusiutuvan energian aluetaloudellisten vaikutusten arviointi ENVIREGIO-mallilla

**Hannu Savolainen, Santtu Karhinen, Teemu Ulvi ja Maria
Kopsakangas-Savolainen**



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

POHJOIS-POHJANMAA
Council of Oulu Region

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 31 | 2019

Suomen ympäristökeskus
Kulutuksen ja tuotannon keskus

Kirjoittajat: Hannu Savolainen ¹⁾, Santtu Karhinen ¹⁾, Teemu Ulvi ¹⁾, Maria Kopsakangas-Savolainen ¹⁾
¹⁾ Suomen ympäristökeskus

Vastaava erikoistoimittaja: Ari Nissinen

Rahoittaja/toimeksiantaja: Euroopan aluekehitysrahasto
Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (SYKE)
Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Taitto: Hannu Savolainen
Kannen kuva: YHAn kuvapankki / Jari Kurvinen

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

ISBN 978-952-11-5057-9 (nid.)
ISBN 978-952-11-5058-6 (PDF)
ISSN 1796-1718 (pain.)
ISSN 1796-1726 (verkkoj.)

Julkaisu vuosi: 2019

TIIVISTELMÄ

Hajautetun uusiutuvan energian aluetaloudellisten vaikutusten arviointi ENVIREGIO-mallilla

Tutkimuksessa analysoitiin hajautetun uusiutuvan energian hyödyntämisen vaikutuksia aluetalouteen ja kasvihuonekaasupäästöihin. Mallinnus toteutettiin potentiaaleihin perustuvana skenaariotarkasteluna alueellisella, ympäristölaajennetulla ENVIREGIO-panos-tuotomallilla. Tutkimuksen kohteena olivat kahdeksan kuntaa Pohjois-Pohjanmaalla. Uusiutuvan energian tarkasteltavia potentiaaleja olivat metsäbioenergia, aurinkoenergia, tuulivoima ja maalämpö- sekä ilmalämpöpumput. Skenaarioissa tarkasteltiin tuulivoimainvestointeja, aurinkoenergiainvestointeja erilaisiin kiinteistöihin, lämpöpumppujen asentamista öljy- ja sähkölämmitteisiin kiinteistöihin sekä turpeen ja kevyen polttoöljyn korvaamista metsähakkeella etenkin kaukolämmön tuotannossa.

Vaikutuksia arvioitiin maakunnan ja kolmen seutukunnan tasolla. Tarkastelun kohteena olivat sekä investoinneista aiheutuvat kertaluonteiset vaikutukset että jatkuvan toiminnan vaikutukset. Käytetyllä mallilla laskettiin suorat, välilliset ja tulovaikutukset. Tulokset osoittivat, että energiapotentiaalien käytönnotosta seurasi positiivisia aluetaloudellisia vaikutuksia tuotokseen, arvonlisään sekä työllisyyteen. Uusiutuvan energian potentiaalien hyödyntämisen taloudellinen kannattavuus vaihteli kuitenkin selkeästi. Öljylämmityksen korvaaminen joko maa- tai ilmalämmöllä oli erityisen tehokas tapa vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Sen sijaan aurinkoenergiainvestoinnit eivät olleet yhtä päästövähennystehokkaita. Suuren mittakaavan tuulivoimainvestoinnit työllistivät ja vähensivät päästöjä merkittävästi. Aluetaloudellisten vaikutusten lisäksi arvioitiin uusiutuvan energian investointien kannattavuutta yksittäisen omakotitalouden osalta.

Metsähakeskenaariossa ei oletettu investointeja, joten tarkastelu keskittyi jatkuvan toiminnan vaikutuksiin. Alueellisten energiavarantojen hyödyntämisen näkökulmasta lämmityspolttoaineen vaihto tarkoitti siirtymistä turpeen nostosta ja käytöstä metsähakkeen tuotantoon ja käyttöön. Kokonaisuutena polttoainevaihdon vaikutukset tuotokseen ja arvonlisäykseen olivat lievästi positiivisia, mutta työllisyysvaikutus jäi lievästi negatiiviseksi. Päästövähennykset olivat huomattavia, mutta tarkastelussa ei huomioitu lisääntyvän metsähakkeen käytön vaikutusta hiilinieluihin.

Hajautetun uusiutuvan energian eri teknologioita verrattiin toisiinsa suhteuttamalla työllisyysvaikutuksia ja päästövähennyksiä investoituihin euroihin. Tässä vertailussa ilmalämpöpumppujen ja maalämpöpumppujen asentaminen öljylämmitteisiin taloihin näyttäytyi parhaana vaihtoehtona. Kun vastaava suhteutus tehtiin asennettua tehoa kohti, maalämpöpumput olivat selkeästi paras vaihtoehto.

Osana tutkimusta kehitettiin vaihtoehtoinen laskentatapa uusiutuvan energian tuotantomäärien ja päästövähennysten sekä sähköntuotannon päästökertoimien arvioimiseen tuntikohtaisesti.

Julkisen vallan toimenpiteet (taloudelliset kannustimet, informaatio-ohjaus) olisi tutkimustulosten valossa syytä kohdentaa lämpöpumppujen asentamiseen öljylämmitteisissä kohteissa, mikäli tavoitellaan nopeita päästövähennyksiä kohtuullisin investointikustannuksin. Toimenpiteet tuottavat myös myönteisiä aluetaloudellisia vaikutuksia.

Asiasanat: uusiutuva energia, vähähiilisyys, kasvihuonekaasupäästöt, panos-tuotos, aluetalous, taloudelliset vaikutukset

SAMMANDRAG

Bedömning av regionalekonomiska effekter av decentraliserad förnybar energi med ENVI-REGIO-modellen

I undersökningen analyserades vilka effekter utnyttjandet av decentraliserad förnybar energi har på regionalekonomin och utsläppen av växthusgas. Modelleringen genomfördes genom en potentialbaserad scenariogranskning med hjälp av den regionala, miljöanpassade input-outputmodellen ENVIREGIO. Undersökningen fokuserade på åtta kommuner i Norra Österbotten. De potentialer för förnybar energi som granskades var skogsbioenergi, solenergi, vindkraft samt jord- och luftvärmepumpar. Utifrån scenarierna granskades investeringar i vindkraft, solenergiinvesteringar i olika fastigheter, montering av värmepumpar i olje- och eluppvärmda fastigheter samt ersättning av torv och lätt eldningsolja med skogsflis i synnerhet vid fjärrvärmeproduktion.

Effekterna bedömdes på landskapsnivå och för tre ekonomiska regioner. Granskningen fokuserade på såväl konsekvenser av engångskaraktär till följd av investeringar som konsekvenserna av fortlöpande verksamhet. Med den använda modellen beräknades såväl direkta och indirekta effekter som inkomsteffekter. Resultaten visade att ibruktage av energipotentialer hade positiva regionalekonomiska effekter på outputen, värdeökningen och sysselsättningen. Den ekonomiska lönsamheten i att utnyttja potentialer med förnybar energi varierade ändå tydligt. Ersättning av oljeuppvärmningen med antingen jord- eller luftvärme visade sig vara ett särskilt effektivt sätt att minska växthusgasutsläppen. Investeringar i solenergi var däremot inte lika effektiva i detta avseende. Storskaliga investeringar i vindkraft bidrog till sysselsättningen och minskade utsläppen betydligt. Utöver de regionalekonomiska effekterna bedömde man även hur lönsamma investeringar i förnybar energi är för enskilda hushåll.

I scenariot med skogsflis förutsattes inga investeringar, så granskningen fokuserade på vilka effekter fortlöpande verksamhet skulle ge. Med tanke på utnyttjande av de regionala energireserverna innebar byte av uppvärmningsbränsle övergång från brytning och användning av torv till produktion och användning av skogsflis. På det hela taget hade bränslebytet svagt positiva effekter på outputen och värdeökningen men sysselsättningseffekten förblev svagt negativ. Utsläppsminskningarna var betydande men inverkan av den ökade användningen av skogsflis på kolsänkorna förbisågs i granskningen.

Olika tekniker för decentraliserad produktion av förnybar energi jämfördes med varandra genom att sysselsättningseffekter och utsläppsminskningar ställdes i relation till investerade belopp. I denna jämförelse visade sig montering av luftvärme- och jordvärmepumpar i hus med eluppvärmning vara det bästa alternativet. När motsvarande jämförelse gjordes av den monterade effekten, var jordvärmepumpar det klart bästa alternativet.

Inom ramen för undersökningen tog man fram ett alternativt sätt att beräkna utsläppsminskningar och produktionsmängder av förnybar energi samt bedöma elproduktionens utsläppskoefficienter per timme.

De åtgärder som det offentliga vidtar (ekonomiska sporrar, informationsstyrning) borde i ljuset av undersökningsresultaten fokusera på montering av värmepumpar i hus med oljeuppvärmning, om man är ute efter snabba utsläppsminskningar till rimliga investeringskostnader. Åtgärderna har också positiva regionalekonomiska effekter.

Nyckelord: förnybar energi, koldioxidsnålhet, växthusgasutsläpp, input-output, regionalekonomi, ekonomiska effekter

ABSTRACT

Assessing the impact of decentralised renewable energy on the regional economy based on the ENVIREGIO model

The study analysed the impacts that the use of decentralised renewable energy may have on the regional economy and greenhouse gas emissions. The modelling was implemented as a potential-based scenario review, using a regional, environmentally-extended ENVIREGIO input-output model. The study covered eight municipalities in North Ostrobothnia. The renewable energy potentials examined were forest bioenergy, solar energy, wind power and geothermal and air-source heat pumps. The scenarios examined wind power investments, solar energy investments in various properties, the installation of heat pumps in properties heated with oil and electricity, the replacement of peat and light fuel oil with wood chips, especially in district heat production.

The effects were assessed at the regional level and within three sub-regions. The examinations targeted both the one-off impacts of investments and the effects of continuous operations. The model was used to calculate direct, indirect and income impacts. The results indicated that the implementation of energy potentials had positive economic impacts on the output, added value and employment in the region. However, there was significant variation in the economic profitability of utilising the potentials of renewable energy. Replacing oil heating with either geothermal or air-source heating was found to be a particularly effective way of reducing greenhouse gas emissions. Investments in solar energy, on the other hand, did not reduce emissions as effectively. Large-scale investments in wind power provided more jobs and reduced emissions substantially. In addition to the regional economic impacts, the profitability of renewable energy investments for an individual household living in a detached home was assessed.

The wood chip scenario was presumed to be investment-free, so the examination focused on the effects of continuous operations. From the perspective of leveraging regional energy reserves, changing the heating fuel meant a transition from the harvesting and utilisation of peat to the production and use of wood chips. Overall, the effects of the fuel change on the output and value added were slightly positive, whereas the employment impacts were slightly negative. The emission reductions were notable, but the analyses did not take into account the effect of the increasing use of wood chips on carbon sinks.

The various technologies of decentralised renewable energies were compared by proportioning the employment impacts and emission reductions to the euros invested. In this comparison, the installation of air-source heat pumps and geothermal pumps in oil heated buildings presented itself as the best option. When applying the same proportioning to installed power, geothermal pumps were found to be the best option by far.

As part of the study, an alternative calculation method was developed for assessing renewable energy output, emission reductions and the emission factors of electricity production on an hourly basis.

In light of the study's results, the measures taken by public authorities (financial incentives, information-based steering) should focus on installing heat pumps in oil heated sites, if fast emission reductions are sought at reasonable investment costs. The measures also generate positive impacts for the regional economy.

Keywords: renewable energy, low carbon level, greenhouse gas emissions, input-output, regional economy, economic impacts

ESIPUHE

Kansainväliset ja kansalliset tavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä ovat saavutettavissa ainoastaan maakunta-, seutukunta- ja kuntatason konkreettisilla toimenpiteillä. Kansalaiset, yritykset ja julkiset organisaatiot voivat yhdessä edistää vähähiilisyttä ja vihreämpää taloutta, mutta on tärkeää tietää, millaisia päästövähennyksiä ja taloudellisia vaikutuksia eri toimenpiteistä seuraa. Päätöksenteon pohjaksi tarvitaan monipuolista arviointia erilaisten energiatehokkuutta ja uusiutuvaa energiaa lisäävien investointien vaikutuksista niin talouteen kuin päästöihin. On pyrittävä ottamaan huomioon alueelliset olosuhteet niin talouden rakenteen kuin käytössä olevan infrastruktuurin suhteen. Vaikuttavuudessa on syytä tarkastella rinnakkain talous-, työllisyys- ja ympäristövaikutuksia.

Tässä raportissa arvioidaan hajautetun, uusiutuvan energiantuotannon aluetaloudellisia kokonaisvaikutuksia Pohjois-Pohjanmaan maakunnassa sekä Oulun, Oulunkaaren ja Nivala-Haapajärven seutukunnissa. Tarkastelun kohteena ovat erilaisten uusiutuvan energian investointien ja jatkuvan toiminnan suorat ja välilliset vaikutukset työllisyyteen ja arvonlisäykseen. Lisäksi raportissa vertaillaan toimenpiteiden vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin. Kokonaisuutena raportti tarjoaa kuvan hajautetun uusiutuvan energiantuotannon vaikutuksista talouteen, kestävyys- ja vähähiilisyys- maakunta- ja seutukuntatasoilla.

Pääosa tämän raportin taustatyöstä on tehty osana hanketta Vähähiilisydestä kilpailuetua kunnille (VÄHÄHIKU). Taloudelliset ja päästölaskelmat on tehty hankkeessa kehitetyllä ENVIREGIO-mallilla, joka on päästölaajennettu alueellinen panos-tuotosmalli. Mallia on tarkennettu ja tämä raportti on viimeistely Elinvoimaa Pohjois-Pohjanmaalle vähähiilillä ja resurssiviisailta ratkaisulla (VÄRE) -hankkeessa. Pohjois-Pohjanmaan liitto on osarahoittanut molempia hankkeita Euroopan aluekehitysrahaston varoista.

Raportin ovat pääosin laatineet Hannu Savolainen ja Santtu Karhinen Suomen ympäristökeskuksen Oulun toimipaikasta. Datapohjan keräämisessä huomattavan työn on tehnyt Teemu Ulvi, tutkimusasetelman ja skenaarioiden suunnitteluun on osallistunut Maria Kopsakangas-Savolainen ja hyödyllisiä kommentteja ovat esittäneet Jyri Seppälä ja Sampo Soimakallio.

Oulussa 20.6.2019

Tekijät

SISÄLLYS

1 Vaikutusarvioinnin lähtökohdat	11
2 Uusiutuvan energian potentiaalit	13
2.1 Metsäbioenergia.....	13
2.2 Aurinkoenergia	14
2.3 Tuulivoima.....	16
2.4 Lämpöpumput.....	17
3 Hajautetun uusiutuvan energian skenaariot.....	19
3.1 Tuulivoimaskenaario	19
3.2 Aurinkoenergiaskenaario	20
3.3 Lämmitysskenaario	21
4 ENVIREGIO-mallin kuvaus	23
4.1 Panos-tuotosmenetelmä	23
4.1.1 Panos-tuotostaulu	23
4.1.2 Panos-tuotosmalli.....	24
4.2 Alueellisten panos-tuotostaulujen muodostaminen	28
4.2.1 Panos-tuotostaulujen alueellistamismenetelmät.....	28
4.2.2 Pohjois-Pohjanmaan maakunnan ja sen seutukuntien panos-tuotostaulujen muodostamismenettely.....	31
4.3 Kasvihuonekaasupäästöjen arvioiminen.....	33
4.3.1 Alueellisen panos-tuotosmallin kasvihuonekaasupäästölaajennus	33
4.3.2 Vuotuisten kasvihuonekaasupäästövähennysten arviointi	34
5 Tulokset	37
5.1 Investointien vaikutukset aluetalouteen.....	37
5.2 Investointien aiheuttamat tulovaikutukset	39
5.3 Jatkuvan toiminnan vaikutukset aluetalouteen	41
5.4 Vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin	43
5.5 Uusiutuvan energian teknologioiden vertailu	44
6 Yhteenveto ja johtopäätökset	49
Liite 1: Skenaarioiden laskentaoletukset.....	50
Aurinkoenergiaskenaario	50
Lämmitysskenaario	50
Liite 2: Panos-tuotosmallin toimialatiedot	51
SANASTO	53
LÄHTEET.....	54

1 Vaikutusarvioinnin lähtökohdat

Tässä raportissa kuvatus mallintamisen tavoitteena on arvioida hajautettujen, uusiutuvan energian potentiaalien hyödyntämisestä aiheutuvia aluetaloudellisia ja kasvihuonekaasupäästövaikutuksia. Arviointi perustuu VÄHÄHIKU-hankkeessa kehitettyyn ENVIREGIO-malliin (Environmental and Regional Input-Output Model), joka on päästölaajennettu alueellinen panos-tuotosmalli.

VÄHÄHIKU-hankkeessa identifioitiin uusiutuvan energian potentiaalit kaikissa hankkeen kahdeksassa kohdekunnassa. Potentiaalien kartoitus tehtiin osana uusiutuvan energian kuntakatselmuksia, joissa on määritelty paikalliset uusiutuvat energiavarat ja energian tuotantotavat. Tarkastelukunnista Kempele, Liminka, Muhos ja Tyrnävä kuuluvat Oulun seutukuntaan, Kärsämäki, Nivala ja Pyhäjärvi Nivala-Haapajärven seutukuntaan ja Ii Oulunkaaren seutukuntaan. Kuntien ja seutukuntien perustiedot esitellään taulukossa 1.

Taulukko 1. Työssä tarkastellut kunnat ja seutukunnat.

Kunta	Seutukunta	Asukasluku	Pinta-ala, km ²
Ii	Oulunkaari	9666	2809
	Oulunkaaren seutukunta yhteensä	20972	12177
Kempele	Oulu	16889	110
Liminka	Oulu	9740	652
Muhos	Oulu	8986	797
Tyrnävä	Oulu	6735	495
	Kohdekunnat seutukunnassa yhteensä	42350	2054
	Oulun seutukunta yhteensä	241712	7308
Kärsämäki	Nivala-Haapajärvi	2696	701
Nivala	Nivala-Haapajärvi	10945	537
Pyhäjärvi	Nivala-Haapajärvi	5562	1459
	Kohdekunnat seutukunnassa yhteensä	19203	2697
	Nivalan-Haapajärven seutukunta yhteensä	29583	3989
	Pohjois-Pohjanmaan maakunta yhteensä	405397	44089

Tässä raportissa on tarkasteltu tuulivoiman ja aurinkoenergian rakennuspotentiaalia ja fossiilisten polttoaineiden korvaamisesta uusiutuvilla energianlähteillä lämmityksessä. ErillISRakennusten kohdalla öljyn korvaajina on analysoitu maa- ja ilmalämpöpumppuja sekä puupolttoaineiden käytön lisäämistä. Lisäksi on tarkasteltu ilmalämpöpumppujen asentamista sähkölämmitteisiin rakennuksiin. Kaukolämmön tuotannossa kevyt polttoöljy ja turve on esitetty korvattavaksi metsähakkeella.

Uusiutuvan energiantuotannon investointivaikutuksia on arvioitu tuotoksen, arvonlisäyksen ja työllisyyden osalta. Tarkastelu sisältää sekä suorat että välilliset vaikutukset. Lisäksi tarkastelun kohteena ovat investointien tulovaikutukset ja jatkuvan toiminnan vaikutukset. Kasvihuonekaasupäästöjä on tarkasteltu sekä investointien että jatkuvan toiminnan (vuosittaiset päästöt) osalta. Eri toimenpiteiden vaikutusten vertailua on helpotettu esittämällä tuotos-, arvonlisäys-, työllisyys- ja päästövaikutukset asennettua megawattia (MW) tai tuotettua megawattituntia (MWh) ja euromääräistä investointia kohden.

Laskelmat pohjautuvat monipuoliseen ja valtaosin julkiseen tietoaaineistoon. Vertailuvuotena on käytetty vuotta 2014 aina, kun se on ollut mahdollista. Tilastokeskuksen tilastoihin perustuvat kunnittaiset tiedot rakennuskannasta lämmitystapoineen, toimialojen kasvihuonekaasupäästöt, koko maan panos-

tuotostaulukot, aluetilinpidon taloustoimet toimialoitain (maakunta- ja seutukuntataso) sekä energiantuotannon polttoaineiden hinnat (hake, turve). Tuulivoimaa koskevat tiedot on kerätty Suomen Tuulivoimayhdistyksen hankelistasta sekä tuulivoimahankkeiden YVA-raporteista. Sähkön siirtohinnat on koostettu Energiaviraston tilastoista. Öljyn myyntihinnat perustuvat Öljy- ja biopolttoaineala ry:n öljytuotteiden kuluttajahintaseurantatilastoon. Auringon säteilymääräarviot on otettu Euroopan komission yhteisen tutkimuskeskuksen laatimista tilastoista. Metsäenergiapotentiaalin arviointi pohjautuu Metsäkeskuksen ja Luonnonvarakeskuksen tilastoihin. Kaukolämpötiedot on kerätty Energiateollisuus ry:n kaukolämpötilastosta sekä suoraan yksittäisiltä kaukolämmön tuottajilta. Tiedot asennetuista lämpöpumpuista on saatu Suomen lämpöpumppuyhdistys SULPU ry:ltä. Eri energiamuotojen päästöjen arvioinnissa on käytetty itse laskettujen päästökertoimien lisäksi Motivan ilmoittamia ominaispäästökertoimia. Tarvittavia referenssihintoja on tiedusteltu suoraan eri toimialojen yrityksiltä (laitteiden ja asennusten hinnat, pilkepuun hinta). Sähköntuotannon päästötietoja on arvioitu ENTSO-E:n polttoainetietojen ja Fingridin sähkön tuonti- ja vientitietojen pohjalta. Päästölaskelmissa käytetyt säähavaintotiedot ja vuosittaiset lämmitystarveluvut ovat Ilmatieteen laitoksen tilastoista.

2 Uusiutuvan energian potentiaalit

2.1 Metsäbioenergia

Metsäbioenergian potentiaali kohdekunnissa arvioitiin metsistä saatavan metsähakkeen määrän perusteella. Metsähakkeella tarkoitetaan hakkuutähteistä, kannoista, pienpuusta ja järeestä (lahovikaisesta) runkokuusta valmistettua polttohaketta. Arviointi tehtiin työ- ja elinkeinoministeriön kiinteiden puupolttoaineiden saatavuutta koskevassa selvityksessä käytettyjen periaatteiden mukaisesti (Kärhä ym. 2010).

Energiapotentiaalın arvioinnissa käytetään useita eri potentiaalikäsitteitä (Kärhä ym. 2010). Teoreettinen hankintapotentiaali on se määrä hakkuutähteitä ja kantoja, joka syntyy päätehakuualoille, ja se määrä pienpuuta, joka saadaan, kun nuorten metsien kasvatushakkuut tehdään ehdotusten mukaisesti ajallaan ja hakkuu tehdään kokopuuna. Teknis-ekologinen hankintapotentiaali kuvaa talteen saatavissa olevaa metsähakkeen raaka-ainemäärää, jossa rajoitteina otetaan huomioon, että talteensaantoprosentti on alle 100, energiapuun korjuukohdevalinnassa noudatetaan Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion antamia suosituksia (Koistinen & Äijälä 2005), kaikki metsähakeraaka-aine ei tule markkinoille ja kaikki kuitupuu nuorista metsistä ei mene polttoon (Kärhä ym. 2010).

Hakkuutähde- ja kantopotentiaalit voidaan arvioida päätehakuuleimikoista kertyvien ainespuumäärien perusteella. Taulukossa 2 esitetään kertoimet, joiden avulla on määritetty teoreettiset hakkuutähdehakkeen ja kantomurskeen syntymäärät Pohjois-Suomessa korjattua ainespuukuutiota kohden eri puulajeilla.

Taulukko 2. Käytetyt kertoimet hakkuutähdehakkeen ja kantomurskeen teoreettisen hankintapotentiaalın määrittämisessä Pohjois-Suomessa (Lappi, Pohjois-Pohjanmaa ja Kainuu) (Kärhä ym. 2010).

	Kuusi	Mänty	Koivu, muu lehtipuu
Hakkuutähdettä/m ³ ainespuuta	0,62	0,32	0,39
Kantoja/m ³ ainespuuta	0,40	0,32	0,35

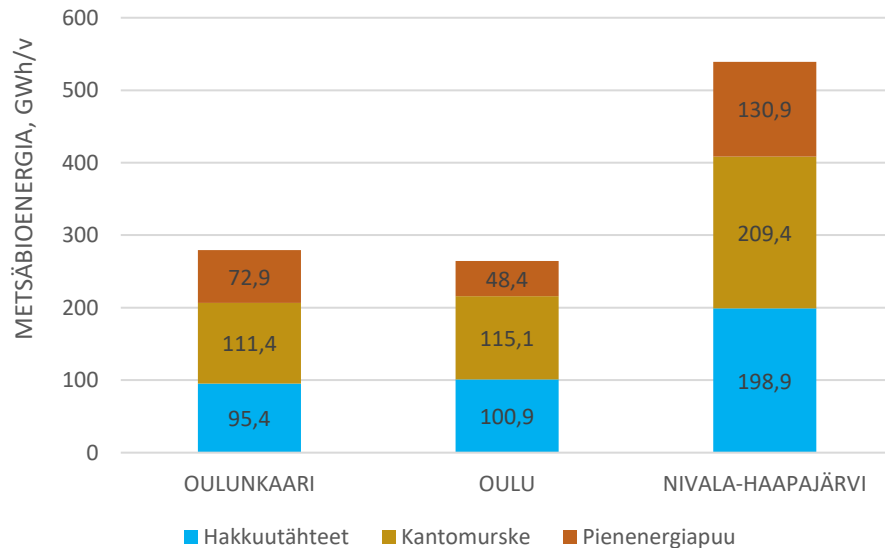
Teknis-ekologisten hankintapotentiaalın määrittämisessä talteensaantoprosentin oletettiin olevan hakkuutähteiden korjuussa 70 %, mäntykannoilla 85 %, kuusi- ja lehtipuukannoilla 90 % ja pienpuun korjuussa 95 %. Kun lisäksi korjuukohdevalinnassa noudatettiin edellä mainittuja Tapion suosituksia, Pohjois-Pohjanmaan alueella arvioitiin, että hakkuutähteistä saataisiin talteen 64 %, kannoista 86 % ja pienpuusta 84 %. Metsänomistajien energiapuun tarjontahalukkuuden määrittämisessä oletettiin, että yksityismetsänomistajien tarjontahalukkuus hakkuutähteille on 90 %, kannoille 70 % ja nuorista metsistä korjattavalla pienpuulle 80 %. Muiden metsänomistajaryhmien energiapuun tarjontahalukkuuden oletettiin olevan kaikilla raaka-ainejakeilla 100 %. Saatavissa olevan energiapuumäärän energiasisältö arvioitiin käyttämällä taulukon 3 mukaisia lämpöarvoja (Kärhä ym. 2010).

Taulukko 3. Käytetyt kertoimet eri metsähakelajien kiintokuutiometrien sisältämän energiasisällön määrittämiseksi, MWh/m³ (Kärhä ym. 2010).

Metsähakelaji	Kuusi	Mänty	Koivu, muu lehtipuu
Hakkuutähdehake	2,08	2,00	2,42
Kantomurske	2,13	2,38	2,41
Pienpuuhake		2,00	

Kuvassa 1 esitetään kahdeksan kohdekunnan arvioidut metsäbioenergian teknis-ekologiset hankintapotentiaalit (GWh/v) seutukuntaakohtaisina yhteenvedoina. Arviot perustuvat Suomen metsäkeskuksen

julkaisemiin, kuntakohtaisiin yksityismetsien hakkuuehdotuksiin vuosille 2015–2024 (Suomen metsäkeskus 2015). Laskennassa yksityismetsille annettuja hakkuuehdotuksia (m³/v) sovellettiin koskemaan kunnan koko metsäpinta-alaa eli myös kunnassa sijaitsevien yhteisöjen (kunnat, seurakunnat, valtio) omistamia metsiä. Metsähakkeen raaka-aineita voitaisiin saada tarkasteltujen kuntien alueilta yhteensä noin 1 080 GWh/v. Tästä noin 37 % muodostaisivat hakkuutähteet, 40 % kantomurske ja 23 % pienenergiapuu. Esitetyt energiamäärät laskettiin polttoaineen saapumistilassa laitokselle. Potentiaalissa ei huomioitu häviöitä, jotka syntyvät puun poltossa ja energian siirrossa.



Kuva 1. Metsäbioenergian vuosittainen hankintapotentiaali (GWh/v) kohdekunnissa ryhmiteltynä seutukunnittain.

Vuonna 2014 kohdekunnissa käytettiin energiantuotantoon puupohjaisia polttoaineita yhteensä noin 327 GWh. Tämä arvio sisältää myös saha- ja puuteollisuuden sivutuotteista valmistetun pelletin käytön, mutta sen osuus käytetyistä puupolttoaineista on hyvin pieni. Jos kaikki käytetty metsäenergia olisi peräisin kohdekuntien metsistä, vapaata metsäenergiapotentiaalia olisi käyttämättä yli 750 GWh. Arvioon sisältyy epävarmuutta, koska osa käytetyistä puupolttoaineista tuodaan todennäköisesti muualta eikä pelletin käyttömääristä kiinteistöjen erillislämmityksessä ole tietoa.

2.2 Aurinkoenergia

Aurinkoenergialla voidaan tuottaa sekä sähköä aurinkopaneeleilla että lämpöä aurinkokeräimillä. Suomessa on huomattava potentiaali aurinkoenergian tuotannolle. Aurinkoenergiaa voidaan tuottaa sekä rakennusten katoilla ja seinäpinnoilla että maa-alueilla. Aurinkoenergian tuotannon kehittymistä ei rajoitakaan tilan puute, vaan kannattavuus sekä kulutuksen ja tuotannon kohtaaminen (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017).

Aurinkoenergia ei luonnollisesti sovi Suomessa ympärivuotisesti ainoaksi energianlähteeksi, vaan sitä voidaan hyödyntää osana niin sanottuja hybridienergiajärjestelmiä, joissa tarvittava energia tuotetaan usealla toisiaan tukevalla energiajärjestelmällä. Aurinkosähköllä voidaan korvata kesäaikaan osa ostosähköstä, ja sitä voidaan käyttää esim. jäähdytykseen lämpöpumpuilla tai lämminvesivaraajan lämmittämiseen, tai se voi kattaa yleisen sähköverkon ulkopuolisissa kiinteistöissä kaiken sähköntarpeen. Sähköä voidaan syöttää myös verkkoon, mutta tuotettu sähkö kannattaa ensisijaisesti käyttää itse. Aurinkosähköjärjestelmän hankinta on kannattavinta kiinteistöissä, joissa sähkönkulutus on merkittävää kesäpäivinä, kuten liike- ja teollisuusrakennuksissa, joissa on kylmälaitteita tai paljon muuta sähkönku-

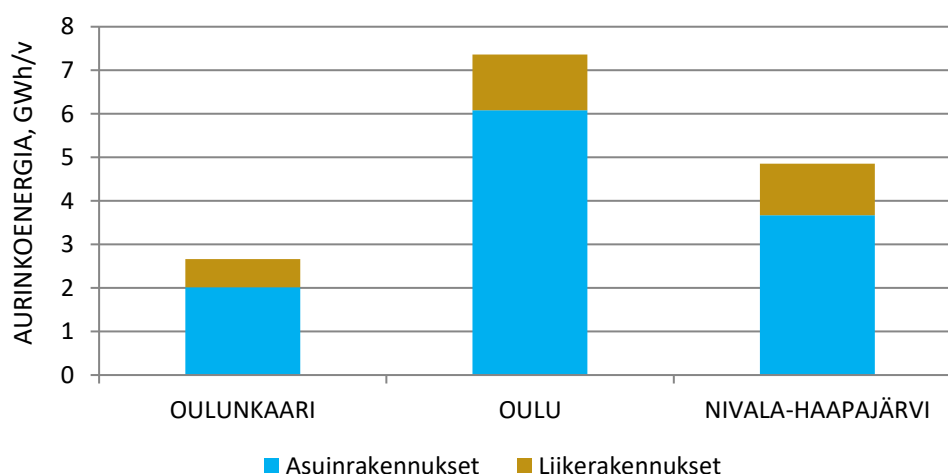
lutusta (Motiva 2018a). Aurinkolämmöllä lämmitetään tavallisimmin käyttövettä, mutta aurinkolämpö voidaan helposti liittää myös vesikiertoiisiin lämmitysjärjestelmiin. Aurinkolämpöjärjestelmissä tarvitaan kuitenkin käytännössä aina lämpövarasto (esim. lämminvesivaraaja), koska auringonsäteilyn määrät vaihtelevat runsaasti eikä kulutusta useinkaan ole samaan aikaan, kun aurinko paistaa (Motiva 2018b).

EU:n tutkimuslaitoksen Joint Research Centren laatiman aurinkoenergiälaskurin mukaan Pohjois-Pohjanmaalla vaakasuoralle pinnalle kohdistuva auringon säteily määrä on noin 850 kWh/m² (European Commission 2017). Suuntaamalla keräimet ja paneelit 45 asteen kulmassa etelään päin voidaan hyödynnettävän säteilyn määrää lisätä 20–30 % vuodessa verrattuna vaakasuoraan asennukseen (Motiva 2018a).

Tässä raportissa arvioitiin aurinkoenergian tuotantopotentiaalia vuoteen 2030 saakka ulottuvalla aikajaksolla. Aurinkopaneelien ja -keräimien energiantuotantomäärät ovat vuositason lähellä toisiaan, joten tuotantomääriä arvioitiin paneelien tuoton kautta. Potentiaalinen arviointi perustui kohde kuntien nykyiseen rakennuskantaan ja sen lämmöntuotantomuotojen jakaumaan, erityyppisissä rakennuksissa tavanomaisesti käytettyihin aurinkojärjestelmäkokoisiin ja niiden keskimääräiseen vuosituottoon Pohjois-Pohjanmaalla sekä ennusteisiin aurinkosähkön tuotannon kasvusta Suomessa.

Tarkasteluun otettiin mukaan asuin- ja liikerakennukset, koska niissä energiankulutusta kohdistuu parhaaseen tuotantoajankohtaan. Lähtöoletus oli, että aurinkopaneeleja asennetaan sellaisiin asuinrakennuksiin (erilliset pientalot, rivi- ja ketjutalot, kerrostalot), joissa käyttövesi lämmitetään joko sähköllä, maalämmöllä, puulla tai öljyllä, ja sellaisiin liikerakennuksiin, joissa sähköä voidaan käyttää kylmälaiteissa tai rakennuksen jäähdytyksessä. Gaia Consultingin tekemän selvityksen (Pesola ym. 2014) ja hiilineutraalien kuntien Hinku-verkoston aurinkopaneelien yhteishankinnoissa saatujen kokemusten perusteella voimaloiden tyyppikokoina mallinnuksessa käytettiin pientaloissa tehoa 4 kW, rivitaloissa 5 kW, kerrostaloissa 15 kW ja liikerakennuksissa 50 kW. Teholtaan 1 kWp:n aurinkopaneelin vuosituotona käytettiin 0,7 MWh/kWp, joka laskettiin Joint Research Centren laatiman aurinkoenergiälaskurin antamien säteilymääräarvioiden perusteella (European Commission 2017). Energia-alan toimijat odottavat, että 2020-luvun puolivälissä verkkoon kytkettyjä pientalojen aurinkosähköjärjestelmiä olisi Suomessa 150 000 (Pesola ym. 2014), joka on 13 % Suomen pientalokannasta. Tämän perusteella oletettiin, että kahdenkymmenen vuoden aikajänteellä aurinkosähkö- tai lämpöjärjestelmä on 20 %:ssa asuin- ja liikerakennuksista.

Kuvassa 2 esitetään kahdeksan kohdekunnan aurinkoenergian tuotantopotentiaalit (GWh/v) seutukuntaakohtaisina yhteenvetoina. Yhteensä kohdekunnissa voitaisiin tuottaa aurinkoenergiaa noin 15 GWh/v. Tästä asuinrakennuksiin asennetut aurinkoenergiajärjestelmät tuottaisivat noin 80 % ja liikerakennuksiin asennetut 20 %.



Kuva 2. Aurinkoenergian vuosittainen tuotantopotentiaali (GWh/v) kohdekunnissa ryhmiteltyinä seutukunnittain.

Maakunta- ja kuntakohtaisia tilastoja aurinkosähkön ja -lämmön tuotannosta ei ole saatavilla. Vuonna 2016 aurinkopaneelien kapasiteetti Suomessa oli 35 MWp ja aurinkosähkön kokonaistuotanto oli 17,8 GWh (Tilastokeskus 2018). Vuonna 2017 tuotanto oli jo 27,0 GWh (Suomen virallinen tilasto 2018). Aurinkokeräinten pinta-ala vuonna 2016 oli Suomessa 55 000 m² ja lämmön tuotanto yhteensä 19,2 GWh (Tilastokeskus 2018).

2.3 Tuulivoima

Tuulivoima on uusiutuva ja lähes päästötön energialähde, jonka tuotanto on kasvanut 2010-luvulla nopeasti. Vuonna 2017 tuulivoiman kokonaistuotanto Suomessa oli 4 800 GWh, kun se vielä vuonna 2011 oli vain noin 300 GWh (Energiateollisuus 2018). Tuulivoimatuotanto on keskittynyt voimakkaasti Pohjois-Pohjanmaalle. Vuonna 2016 Suomeen asennetusta tuulivoiman tuotantokapasiteetista peräti 44 % (570 MW) sijaitsi Pohjois-Pohjanmaalla (Suomen Tuulivoimayhdistys 2017a). Tuotannosta Pohjois-Pohjanmaan osuuden voidaan arvioida olevan yli 2 100 GWh. Kuntakohtaisia tuulivoiman tuotantotilastoja ei ole saatavilla.

Tarkasteltavat uudet tuulivoimainvestoinnit poimittiin Suomen Tuulivoimayhdistyksen hankelistasta (Suomen Tuulivoimayhdistys 2017b). Hankelistassa on ilmoitettu suunniteltujen voimalatehojen minimi- ja maksimitasot. Potentiaalien arvioinnissa käytettiin minimi- ja maksimitehtojen keskiarvoa tai rakennuttajan ilmoittamaa tehokapasiteettia. Oulunkaaren seutukunnan alueella vähintään kaavoitusvaiheessa olevien hankkeiden tuotantokapasiteetti on 512 MW (neljä hanketta Iissä), Oulun seutukunnassa 38 MW (Liminkaan ja Tyrnävälle yksi hanke molempiin) ja Nivala-Haapajärven seutukunnassa 178 MW (Nivalaan kolme ja Pyhäjärvelle kaksi hanketta). Uutta tuulivoiman tuotantokapasiteettia on valmisteilla yhteensä 728 MW, jonka arvioitu vuosituotanto on 1 913 GWh. Tarkastellut hankkeet esitellään tarkemmin taulukossa 4. Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Pohjanmaan manneralueen tuulivoimaselvityksessä (Pohjois-Pohjanmaan liitto 2011) maakunnan tuulivoimapotentiaali on arvioitu huomattavasti näitä suuremmaksi, mutta tässä työssä tarkastelu rajattiin vain jo tuotannossa tai vähintään kaavoitusvaiheessa oleviin hankkeisiin. Osa investoinneista on suunniteltu toteutettavaksi seuraavien viiden vuoden aikana, mutta osa ei välttämättä toteudu lainkaan. Tuulivoimapotentiaalın arvioinnin aikahorisontti on kaksikymmentä vuotta, mikä vastaa keskimääräisen tuulivoimalan käyttöikä.

Taulukko 4. Työssä tarkastellut, suunnitteilla olevat tuulivoimahankkeet.

Seutukunta	Kunta	Tuulipuisto	Kokonaisteho, MW	Arvioitu vuosituotanto, GWh
Oulunkaari	li	Viinämäki	23	60,4
	li	Suurhiekkä	400	1051,2
	li	Isokangas	23	60,4
	li	Palokangas	66	173,4
Oulu	Liminka	Hirvineva	13	34,2
	Tyrnävä	Kivimaa	25	65,7
Nivala-Haapajärvi	Nivala	Kukonaho	27	71,0
	Nivala	Hirsistönkangas	7	18,4
	Nivala	Puntarinkangas	38	99,9
	Pyhäjärvi	Vuhtomäki	26	68,3
	Pyhäjärvi	Murtomäki	80	210,2
Yhteensä			728	1913,2

2.4 Lämpöpumput

Lämpöpumpuilla voidaan ottaa lämpöenergiaa ulkoilmasta, ilmanvaihtojärjestelmän poistoilmasta, vedestä, maasta tai kalliosta. Lämpöpumppu toimii sähköllä, mutta se tarvitsee sähköä vain pienen osan suoran sähkölämmityksen vaatimasta määrästä. Lämpökerroin (COP, coefficient of performance) kuvaa lämpöpumpun hyötysuhdetta. Jos lämpöpumpun lämpökerroin on 3, se tuottaa lämpöä 3 kWh jokaista siirtotyöhön kuluttamaansa 1 kWh:n sähkötehoa kohti. Ilmalämpöpumppuja voidaan käyttää myös rakennusten viilentämiseen kesäaikaan. (Motiva 2018c)

Markkinoilla on saatavissa neljä lämpöpumpputyyppiä: ilmalämpöpumppu, maalämpöpumppu, poistoilmalämpöpumppu ja ilma-vesilämpöpumppu. Lämpöpumppujen suosio on Suomessa lisääntynyt voimakkaasti viime vuosina. Yhteensä erilaisia lämpöpumppuja on myyty jo miltei 800 000 kappaletta. Ilmalämpöpumput ovat rakennuksissa yleisimpiä ennen maalämpöpumppuja. Vuosittain lämpöpumppuja on otettu käyttöön noin 60 000 kappaletta. (Suomen lämpöpumppuyhdistys 2016)

Lämpöpumppujen potentiaalia tarkasteltiin tässä raportissa kahdesta näkökulmasta: öljylämmityksen korvaamisessa maalämmöllä ja ilma-ilmalämpöpumpun asentamisessa tukilämmitysmuodoksi öljy- ja sähkölämmitteisiin kohteisiin. Maalämmöllä on joissakin kohteissa korvattu kaukolämpöä, mutta kyseinen vaihtoehto rajattiin pois. Ilma-vesi- ja poistoilmalämpöpumppujen potentiaalia ei tarkasteltu niiden vähäisen asennusmäärän vuoksi. Olemassa olevasta rakennuskannasta tarkasteluun sisällytettiin maalämmön osalta öljylämmitteiset erilliset pientalot, rivi- ja ketjutalot ja asuinkerrostalot. Ilma-ilmalämpöpumppujen¹ osalta kohteena olivat öljy- ja sähkölämmitteiset erilliset pientalot ja rivi- ja ketjutalot.

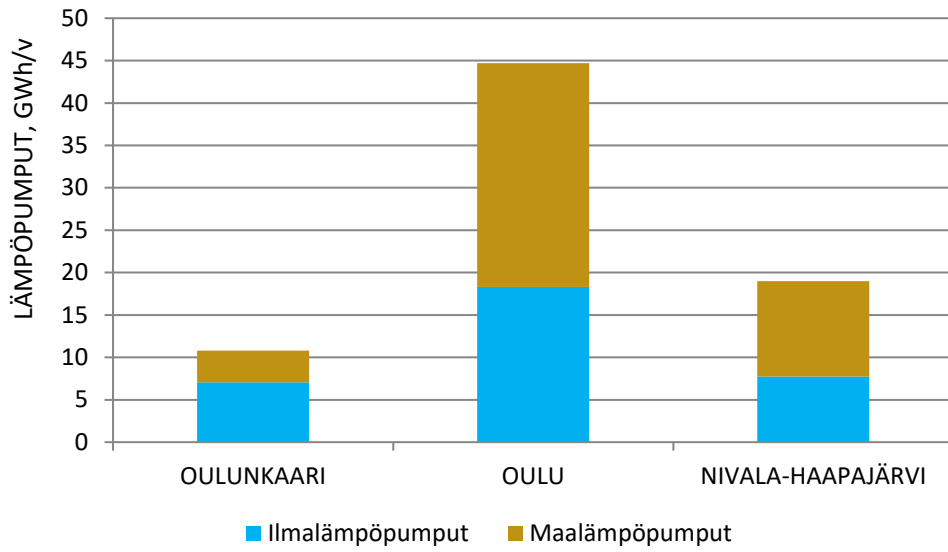
Energia- ja ilmastostrategian taustamateriaalin pohjalta arvioitiin, että vuoteen 2030 mennessä öljylämmitteisistä kohteista 50 % muutetaan maalämpöön ja 25 %:ssa otetaan täydentäväksi lämmitysratkaisuksi ilmalämpöpumpun (Pöyry Management Consulting Oy 2017). Sähkölämmitteisistä kohteista oletettiin, että vuoteen 2030 mennessä kaikkiin tarkasteltaviin rakennustyyppeihin on asennettu ilmalämpöpumppu. Suomessa jo asennettujen ilmalämpöpumppujen määrän pohjalta keskimääräiseksi lisäyspotentiaaliksi arvioitiin 47 % kohteista (Gaia Consulting Oy 2014; Suomen lämpöpumppuyhdistys 2017). Ilmalämpöpumpun arvioitiin vähentävän sähkönkulutusta 25 %, mikä on linjassa tehtyjen selvitysten kanssa (Laitinen 2016). Öljylämmitteisissä kohteissa ilmalämpöpumppu kattoi arvioinnissa siis noin 37,5 % lämmön tarpeesta.

Kohdekunnissa oli vuonna 2014 öljylämmityksessä yhteensä 2 955 erillistä pientaloa, 191 rivi- tai ketjutaloa ja 49 asuinkerrostaloa. Jos puoleen näistä asennettaisiin maalämpö, vähenisi öljynkulutus 56,7 GWh vuodessa. Vastaavasti sähkönkulutus lisääntyisi 15,3 GWh. Maalämpöpumppujen nettoenergiapotentiaali olisi 41,4 GWh vuosittain.

Kohdekunnissa oli sähkölämmityksessä 10 741 erillistä pientaloa ja 402 rivi- ja ketjutaloa. Mikäli 47 %:iin näistä asennettaisiin ilmalämpöpumppu, vuosittainen säästö lämmityssähkön osalta olisi 23,2 GWh. Jos taas 25 %:iin tarkasteltavista öljylämmitteisistä kiinteistöistä asennettaisiin tukilämmitysjärjestelmäksi ilmalämpöpumppu, öljynkulutus vähenisi 13,7 GWh vuosittain, mutta sähkönkulutus lisääntyisi 3,8 GWh. Ilmalämpöpumppujen nettoenergiapotentiaali olisi täten 33,1 GWh vuosittain.

Lämpöpumppujen kokonaispotentiaaliksi kohdekunnissa arvioitiin yhteensä 74,5 GWh. Potentiaalilin jakautuminen seutukunnittain esitetään kuvassa 3.

¹ Tästä eteenpäin raportissa termillä *ilmalämpöpumppu* viitataan ilma-ilmalämpöpumppuihin.



Kuva 3. Maa- ja ilmalämpöpumppujen vuosittainen tuotantopotentiaali (GWh/v) kohdekunnissa ryhmiteltynä seutukunnittain.

3 Hajautetun uusiutuvan energian skenaariot

Aluetaloudellisten ja päästövaikutusten arviointi toteutettiin analysoimalla erilaisia uusiutuvaa energiaa lisääviä toimenpiteitä Pohjois-Pohjanmaalla. Lähestymistapaa voidaan luonnehtia skenaariotarkasteluksi, jossa tiettyjen oletusten vallitessa arvioidaan, mitä alueen taloudessa tapahtuisi, jos paikallista uusiutuvaa energiapotentiaalia otettaisiin käyttöön. Vaikutuksia arvioitiin vuoden 2014 aluetalouden rakenteen näkökulmasta. Skenaarioiden aikahorisontti oli 15–25 vuotta. Raportissa tutkittavien investointien ajateltiin jakautuvan kyseiselle ajanjaksolle, samoin jatkuvan toiminnan aikaisten vaikutusten. Tarkastelussa ei oteta kantaa investointien rahoitukseen. Rahoitus voi perustua etukäteissäästämiseen tai lainoitukseen, joka maksetaan myöhemmin takaisin. Mallinnuksen tulokset eivät riipu rahoituksen muodosta, koska tarkastelussa ovat aluetaloudelliset vaikutukset. Yksittäisen investoivan yrityksen näkökulmasta rahoituksen järjestäminen on oleellinen asia. Skenaarioiden tarkemmat laskentaoletukset on esitelty liitteessä 1.

3.1 Tuulivoimaskenaario

Skenaariotarkastelussa arvioitiin kohdekuntiin suunniteltujen tuulivoimahankkeiden (728 MW) aluetaloudellisia vaikutuksia (potentiaalın laskentaperusteet ja aikahorisontti on kuvattu luvussa 2.3). Investointikustannuksena käytettiin 1,3 miljoonaa €/MW (Vakkilainen & Kivistö 2017), joten kokonaisinvestointi Pohjois-Pohjanmaalle olisi noin 946 miljoonaa euroa. Tästä Suomeen kohdistuisi 75 % ja Pohjois-Pohjanmaalle noin 16 % (Vekara 2016). Seutukuntien osalta käytettiin samaa prosenttiosuutta. Taustaoletuksena oli, että investoinneista aiheutuvat ostot kohdistuvat seutukuntien yrityksiin, jotka pystyvät tyydyttämään kysynnän. Alueelliset ostot kohdistuivat etenkin rakentamiseen, kuljetukseen ja varastointiin sekä energiahuoltoon. Taulukossa 5 esitetään investointeihin liittyvien ostojen kohdistuminen eri toimialoille.

Taulukko 5. Tuulivoimainvestointien kohdistuminen eri toimialoille seutu- ja maakuntakuntatasolla (Vekara 2016).

Alue	Toimiala	Ostojen kohdistuminen
Seutukunta	35_39 Energiahuolto; Vesi- ja jätehuolto	12,3 %
	41_43 Rakentaminen	67,7 %
	49_53 Kuljetus ja varastointi	15,3 %
	Muut toimialat	4,7 %
Maakunta	35 Energiahuolto	12,3 %
	41_43 Rakentaminen	67,7 %
	49 Maaliikenne	15,3 %
	Muut toimialat	4,7 %

Taulukossa 6 kuvataan tuulivoimainvestointien avainluvut seutukuntien ja maakunnan tasolla. Vuosituotannon arvioinnissa on käytetty 30 %:n kapasiteettikerrointa².

² Kapasiteettikerroin kuvaa todellisen ja teoreettisen tuotannon suhdetta. Se lasketaan jakamalla todellinen vuosituotanto teoreettisella maksimituotannolla.

Taulukko 6. Tuulivoimainvestointien avainluvut.

Alue	Asennettava teho, MW	Voimaloiden kokonais-tuotanto, MWh/v	Investointi-kustannus, M€	Alueelle kohdistuva osuus, M€
Koko maakunta	728	1 913 184	946,4	147,5
Oulunkaari	512	1 345 536	665,6	103,7
Oulu	38	99 864	49,4	7,7
Nivala-Haapajärvi	178	467 784	231,4	36,1

Jatkuvan toiminnan suhteen oletettiin, että tuotettua megawattituntia kohden käyttö- ja ylläpitokustannukset ovat 10 euroa, ja ne kohdistuvat toimialalle 35 Energiahuolto (Vekara 2016)³. Jatkuvan toiminnan vaikutusten tarkastelussa noin 19 miljoonaa euroa kohdistettiin lisäkysyntänä maakunnan talouteen. Tuulivoimaloiden pitoajaksi oletettiin 20 vuotta.

3.2 Aurinkoenergiaskenaario

Kohdekuntien aurinkoenergiapotentiaalilaskelmat perustuvat asuin- ja liikerakennuksiin asennettaviin aurinkosähköjärjestelmiin (tarkemmat tiedot luvussa 2.2). Yhden paneelin tehoksi määritettiin Oulun Energian (2018) tietojen pohjalta 0,27 kWp. Tällöin erillistalojen 4 kWp:n voimalaan tarvittaisiin 15 paneelia, rivi- ja ketjutalon 5 kWp:n voimalaan 19 paneelia, asuinkerrostalojen 15 kWp:n voimalaan 56 paneelia ja liikerakennusten 50 kWp:n voimalaan 186 paneelia. Asuinrakennusten aurinkovoimaloiden osalta käytettiin paneelien kappalehintana 277 € ja asennushintana 168 € per paneeli (alv 0 %). Liikerakennusten kohdalla vastaavat hinnat olivat 232 € ja 120 € (alv 0 %). Paneelien hinta-arviot perustuvat Oulun Energian referenssihintoihin ja Suomessa toteutettuihin suuren mittakaavan aurinkovoimaloihin. Asennustöiden osuutena aurinkovoimalan kokonaishinnasta käytettiin 34 prosenttia (Jaatinen 2016).

Aurinkopaneelien hankinnasta aluetalouteen jyvitetään myynnin katteet (oletuksena 20 %), jotka kohdistettiin ostoina vähittäiskaupan toimialalle. Paneelien oletettiin olevan suomalaisvalmisteisia, joten tuotannon hyödyt jäisivät kotimaahan – vaikkakin Pohjois-Pohjanmaan ulkopuolelle. Asennuskustannukset kohdistettiin rakentamisen toimialalle. Taulukossa 7 esitetään yhteenveto aurinkopaneelien asentamisen avainluvuista seutukuntien ja maakunnan tasolla.

Taulukko 7. Aurinkoenergiainvestointien avainluvut.

Alue	Asennettava teho, MWp	Voimaloiden kokonais-tuotanto, MWh/v	Asennuskustannukset	Paneelien kate
Koko maakunta	21,3	14 878	12 353 053 €	4 256 650 €
Oulunkaari	3,8	2 662	2 188 948 €	757 354 €
Oulu	10,5	7 360	6 174 734 €	2 118 707 €
Nivala-Haapajärvi	6,9	4 856	3 989 372 €	1 380 589 €

Asennetuista aurinkoenergialoista aiheutuisi myös vuosittaisia eli jatkuvan toiminnan vaikutuksia. Näitä arvioitiin maakunnan tasolla. Tuotetusta sähköstä oletettiin, että 70 % päätyy omaan käyttöön ja loput myydään verkkoon. Sähkön ostot siis nettona vähenisivät aurinkovoimaloiden asentajilla, minkä seurauksena sähkön siirron kysyntä pienenesi (toimiala 35 energiahuolto) vuositasona noin 621 000 euroa⁴. Sähkön siirron kustannussäästöt arvioitiin kuntakohtaisten vuoden 2014 keskimääräisten siirtohintojen

³ Tutkimuskirjallisuudessa arviot tuulivoimaloiden käyttö- ja ylläpitokustannuksista vaihtelevat suuresti. Tässä tutkimuksessa käytetty 10 €/MWh perustuu Holttisen ja Peltolan (2009, 12–15 €/MWh) sekä Vakkilaisen ja Kivistön (2017, käyttökokemuksen pohjalta 10–15 €/MWh, tulevaisuuden ennuste 7,7 €/MWh, merituulen osalta 14 €/MWh) esittämiin lukuihin.

⁴ Sähköenergian kysynnän pieneneminen kohdistuu kokonaisuutena Suomen sähköntuotantoon, minkä vuoksi aluetarkastelussa on huomioitu ainoastaan sähkön siirtoon kohdistuvat vaikutukset.

pohjalta (Energiavirasto 2018). Lisäksi oletettiin, että paneelien 25 vuoden pitoajan aikana invertterit vaihdetaan yhden kerran. Kun nämä ylläpitokustannukset jyvitetään tasaisesti koko pitoajalle, saatiin vuosittaisiksi suoriksi vaikutuksiksi noin 44 000 euroa vähittäiskaupan toimialalle (invertterien 20 % kate) ja noin 90 000 euroa rakentamisen toimialalle (asennuskustannukset).

3.3 Lämmitysskenaario

Fossiilisten polttoaineiden korvaamista rakennusten lämmityksessä tarkasteltiin useasta näkökulmasta. Arvioinnin lähtökohdaksi käytettiin oletusta, että rakennusten lämmityksessä öljy ja turve korvattaisiin metsähakkeella ja pienpuulla, maalämpöpumpuilla ja ilmalämpöpumpuilla.

Puupolttoaineiden suhteen tarkasteltiin kevyen polttoöljyn ja turpeen korvaamista kaukolämmön tuotannossa (toimiala 35 energiahuolto)⁵. Öljylämmitteisten erillistalojen osalta oletettiin, että pienpuun lisäkäytöllä korvattaisiin 10 % nykyisestä kevyen polttoöljyn (POK) tarpeesta polttamalla puuta joko erillisessä tulisijassa tai kaksoiskattilassa. Lisääntyvästä puunkäytöstä kohdistuisi ostoja puuntuottajille (02_03 metsätalous ja kalatalous) ja vastaavasti turpeen ja kevyen polttoöljyn kysyntä pienenisivät (turpeen osalta 05_09 kaivostoiminta ja louhintaa, POK:n katteiden osalta 46 tukkukauppa). Lisääntyvä puupolttoaineiden kysyntä pystyttäisiin tyydyttämään Nivalaa lukuun ottamatta kunnan alueen omalla metsäbioenergiapotentiaalilla. Nivala-Haapajärven seutukunnan metsäenergiapotentiaali riittäisi kuitenkin tyydyttämään myös Nivalan kasvavan haketarpeen.

Taulukoissa 8 ja 9 esitetään turpeen ja kevyen polttoöljyn korvaamisen avainluvut seutukuntien ja maakunnan tasolla. Hakkeen oletetaan korvaavan siis ennen kaikkea turvetta, jonka osuus on 91 % korvattavasta fossiilisesta polttoaineesta. Puupolttoaineen lisäämisen ei oletettu edellyttävän lisäinvestointeja⁶. Näin ollen kyseinen skenaario kuvaa jatkuvan toiminnan vuosittaisia vaikutuksia.

Taulukko 8. Turpeen ja kevyen polttoöljyn korvaaminen hakkeella kaukolämmön tuotannossa.

Alue	Säästyvä turve, MWh/v	Turpeen ostot vuodessa	Säästyvä POK, MWh/v	POK katteet vuodessa	Puun käytön lisäys, MWh/v	Puun ostot vuodessa
Koko maakunta	48 600	-656 100 €	1 200	-19 716 €	49 800	1 058 748 €
Oulunkaari	5 300	-71 550 €	0	0 €	5 300	112 678 €
Oulu	26 900	-363 150 €	700	-11 501 €	27 600	586 776 €
Nivala-Haapajärvi	16 400	-221 400 €	500	-8 215 €	16 900	359 294 €

Taulukko 9. Kevyen polttoöljyn korvaaminen pienpuulla erillistaloissa.

Alue	Puun käytön lisäys, MWh/v	Puun osto vuodessa	Säästyvä POK, MWh/v	POK katteet vuodessa
Koko maakunta	3 796	146 108 €	3 796	-62 367 €
Oulunkaari	500	19 245 €	500	-8 215 €
Oulu	2 255	86 776 €	2 255	-37 041 €
Nivala-Haapajärvi	1 042	40 087 €	1 042	-17 111 €

Lämpöpumppujen osalta oletettiin, että 50 %:iin nykyisistä öljylämmitteisistä erillis-, rivi- ja ketju- sekä asuinkeuhkaloista asennettaisiin maalämpö vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi 25 %:iin öljylämmitteis-

⁵ Huippu- ja varavoiman tuotannossa käytettyä raskasta ja kevyttä polttoöljyä ei ole oletettu korvattavaksi.

⁶ Todellisuudessa olisi todennäköistä, että uusia kattilainvestointeja tarvittaisiin. Aluetalouden näkökulmasta investoinnit ovat kuitenkin positiivinen kysyntäshokki, kun taas yksittäisen turvetuottajan näkökulmasta polttoainevaihdos voi olla epäedullinen.

tä erillis-, rivi- ja ketjutaloista lisättäisiin ilmalämpöpumppu täydentäväksi lämmitysmuodoksi. Lisäksi skenaariossa tarkasteltiin ilmalämpöpumppujen hankkimista sähkölämmitteisiin pientaloihin ja rivitaloihin täydentäväksi lämmitysmuodoksi. Ilmalämpöpumpun arvioitiin vähentävän sähkönkulutusta 25 %.

Laiteinvestoinnit jaettiin vähittäiskaupan (laitteiden kate, toimiala 47) ja rakentamisen (kaivojen poraus, asennuskustannukset, toimiala 41_43) kesken. Skenaariossa oletettiin, että lämpöpumppuja ei valmisteta tarkastelun kohteena olevissa seutukunnissa tai maakunnassa. Taulukoissa 10 ja 11 esitetään yhteenveto lämpöpumppujen asentamisen avainlukuista seutukuntien ja maakunnan tasolla.

Taulukko 10. Maalämpöpumppuinvestointien avainluvut.

Alue	Asennettu maalämpöpumppukapasiteetti, MW	Laitekustannusten kate	Lämpökaivokustannukset	Asennuskustannukset
Koko maakunta	12,6	2 186 634 €	11 879 311 €	8 410 132 €
Oulunkaari	1,2	206 608 €	1 122 436 €	794 645 €
Oulu	7,4	1 286 351 €	6 988 351 €	4 947 505 €
Nivala-Haapajärvi	4,0	693 675 €	3 768 524 €	2 667 982 €

Taulukko 11. Ilmalämpöpumppuinvestointien avainluvut.

Alue	Asennettu ilmalämpöpumppukapasiteetti, MW	Laitekustannusten kate	Asennuskustannukset
Öljylämmitteiset			
Koko maakunta	6,3	242 060 €	651 700 €
Oulunkaari	0,7	25 155 €	67 725 €
Oulu	3,8	148 265 €	399 175 €
Nivala-Haapajärvi	1,8	68 640 €	184 800 €
Sähkölämmitteiset			
Koko maakunta	36,3	1 406 278 €	3 798 305 €
Oulunkaari	7,2	280 449 €	755 055 €
Oulu	20,7	805 054 €	2 167 452 €
Nivala-Haapajärvi	8,4	320 775 €	875 798 €

Lämpöpumppujen asentamisen käyttö- ja ylläpitokustannukset arvioitiin maakunnan tasolla. Maalämpöpumppujen kohdalla sähkön tarve lisäisi sähkönsiirron kysyntää (toimiala 35 energiahuolto) vuosittain noin 700 000 euron arvosta, mutta öljyostot pienenisivät (POK:n kate, toimiala 46 tukkukauppa) noin 880 000 euroa. Ylläpitokustannuksissa huomioitiin kompressorin vaihtaminen kerran 20 vuoden pitoajan kuluessa. Kustannuksiksi arvioitiin vuositasolla 1 prosentti investoinnin kokonaissummasta. Niiden oletettiin jakautuvan laitekustannusten ja asennuksen välillä samassa suhteessa kuin varsinaisessa investoinnissa (laitehankinta 57 % ja asennus 43 %), jolloin rakentamiseen kohdistuisi noin 136 000 euroa ja vähittäiskauppaan (kompressorin kate) noin 35 000 euroa vuosittain.

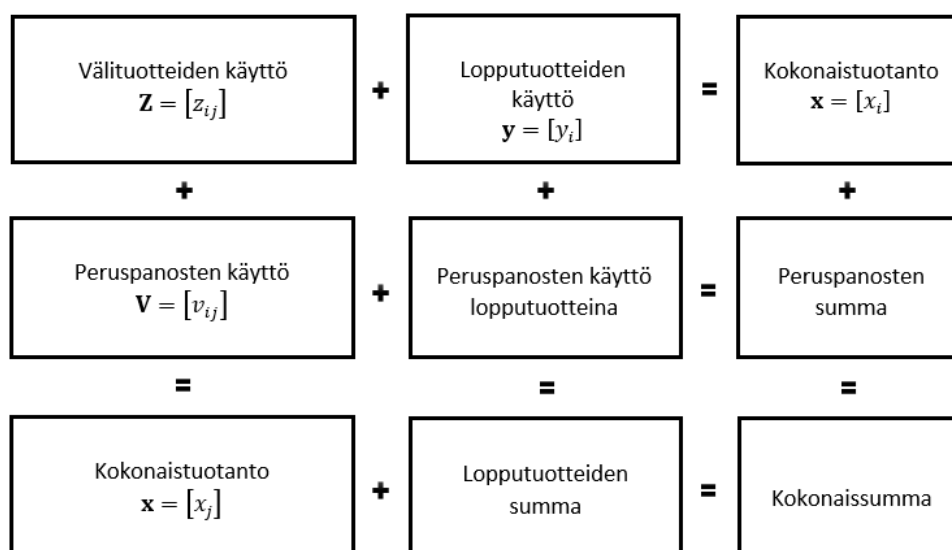
Ilmalämpöpumppujen osalta ylläpitotarpeeksi arvioitiin laitteen sisäyksikön pesu kolme kertaa 15 vuoden pitoajan kuluessa (noin 160 euroa, alv 0%). Öljylämmitteisissä taloissa vuosittaiseksi kokonaiskustannukseksi tulisi noin 30 000 euroa (kohdistuu rakentamisen toimialalle) ja sähkölämmitteisissä noin 175 000 euroa. Sähkölämmitteisissä taloissa ilmalämpöpumppujen asentamisesta seuraisi sähkön säästöä (vuosittain noin 1,17 miljoonan euron pienennys kysyntään energiahuollon toimialalta), kun taas öljylämmitteisissä taloissa öljyn tarve pienenesi (noin 152 000 euron vähennys ostoihin tukkukaupasta, POK kate) ja sähkönkäyttö lisääntyisi (noin 128 000 euron arvosta energiahuollon toimialalla).

4 ENVIREGIO-mallin kuvaus

4.1 Panos-tuotosmenetelmä

4.1.1 Panos-tuotostaulu

Panos-tuotostaulun ja panos-tuotosmallin kuvaus perustuu pääosin Forssellin (1985), Miller ja Blairin (2009) ja Karhisen (2013) edeltäviin töihin. Panos-tuotostaulu kuvaa tietyllä alueella toimivien toimialojen välisiä hyödykevirtoja tietyssä ajanjaksona. Tyypillisesti kuvattava ajanjakso on yksi vuosi. Hyödykevirtoja syntyy, kun toimialalla valmistettuja hyödykkeitä käytetään tuotantotoiminnan välituotteina muilla toimialoilla tai kulutuskysynnän lopputuotteina. Panos-tuotostaulussa hyödykevirtoja kuvataan sekä kulutuksen (panos) että tuotannon (tuotos) näkökulmista. Taulussa kokonaiskysyntä muodostuu tuotantotoiminnan tuotosten ja niiden valmistamiseen tarvittavien panosten yhteyksistä (Forssell 1985). Kuvan 4 mukaisesti, toimialojen tuotannot (vektori x) jaetaan välituotekäyttöön (matriisi Z) ja lopputuotekäyttöön (vektori y). Lopputuotekäyttöksi voidaan yksinkertaisesti määritellä toimialojen tuotanto, jota ei käytetä välituotteina muilla toimialoilla (Ainali 2011). Lopputuotekäyttö koostuu useista eristä, kuten yksityisistä ja julkisista kulutusmenoista, kiinteän pääoman bruttomuodostuksesta, viennistä ja varastojen lisäyksestä.



Kuva 4. Panos-tuotostaulun lohkokaaavio (Forssell 1985: 14).

Välituotepanoksia jalostetaan tuotantotoiminnassa tuotokseksi käyttämällä pääoma- ja työpanoksia. Kotimaassa tuotettujen välituotteiden lisäksi ulkomailta voidaan tuoda välituotteita. Yhdessä nämä kuuluvat panos-tuotostaulun peruspanoksien matriisiin V , johon lasketaan mukaan myös tuotantoverot ja tuotetukipalkkiot, kiinteän pääoman kuluminen sekä toimintaylijäämä (Forssell 1985). Peruspanokset vähennettynä välituotteiden tuonnilla muodostavat toimialojen arvonlisäyksen (Ainali 2011). Panos-tuotostaulun vaakarivit (myynnit) osoittavat tietyn toimialan valmistamien hyödykkeiden käytön välituotepanoksina ja lopputuotteina. Sarakkeista (ostot) puolestaan nähdään tietyn toimialan valmistuksessa tarvittavien välituotepanoksien määrät muilta toimialoilta ja peruspanosten määrät.

Oletetaan, että taloudessa on n toimialaa. Kuvion 1 mukaisesti toimialan i tuotosta merkitään x_i ja toimialan i tuotteen kysyntää lopputuotteena y_i . Lisäksi toimialan i tuotosta voidaan käyttää muilla toimialoilla j välituotteina z_{ij} niiden omassa tuotantotoiminnassa. Tuotos jaetaan myynniksi muille toimialoille ja lopputuotekäyttöön seuraavasti:

$$x_i = z_{i1} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{in} + y_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + y_i \quad (i = j), (i, j = 1, \dots, n) \quad (1)$$

Yhtälö (1) pätee jokaiselle toimialalle erikseen:

$$\begin{aligned} x_1 &= z_{11} + \dots + z_{1j} + \dots + z_{1n} + y_1 \\ &\vdots \\ x_i &= z_{i1} + \dots + z_{ij} + \dots + z_{in} + y_i \\ &\vdots \\ x_n &= z_{n1} + \dots + z_{nj} + \dots + z_{nn} + y_n \end{aligned} \quad (2)$$

mikä voidaan kirjoittaa matriisinotaationa seuraavasti:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Z}\mathbf{i} + \mathbf{y} \quad (3)$$

missä $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$, $\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \dots & z_{nn} \end{bmatrix}$ ja $\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$ ja \mathbf{i} on pystyvektori, jonka kaikki elementit

sisältävät arvon 1. Kertomalla matriisi \mathbf{Z} vektorilla \mathbf{i} saadaan pystyvektori, joka sisältää matriisin \mathbf{Z} rivisummat. Kunkin yksittäisen toimialan kokonaistuotannon tulee olla yhtä suuri kuin sen tuotoksen valmistamiseen käytettyjen panosten summa (Forssell 1985). Välituotepanoksien kaksiulotteisuudesta seuraa, että hyödykkeiden tuotanto välituotteiksi on yhtä suuri kuin niiden käyttö välituotteena muiden toimialojen tuotantotoiminnassa.

4.1.2 Panos-tuotosmalli

Panos-tuotosmallin keskiössä on taloudellisen toiminnan aiheuttamien kerrannaisvaikutusten tarkastelu. Ajatuksena on, että tietyn toimialan tuotantotoimintaan kohdistuva kysyntäimpulssi saa aikaan laajemmalle tuotanto- ja talousjärjestelmässä leviävän kysyntäketjun. Näiden toimialojen välisten kytkentöjen kautta alkuperäisen kysyntäimpulssin vaikutus voimistuu. Kerrannaisvaikutuksia voidaan arvioida panos-tuotosmenetelmällä, jolla lasketut taloudelliset vaikutukset jaetaan tässä raportissa seuraaviin kolmeen osaan:

- 1) välittömät suorat vaikutukset,
- 2) välilliset vaikutukset ja
- 3) tulovaikutukset.

Välittömät vaikutukset kohdistuvat suoraan niihin yrityksiin ja toimialoihin, joilta välituotepanoksia hankitaan. *Välilliset vaikutukset* tarkoittavat sitä, että alkuperäisestä välittömästä kysyntäimpulssista lähtee liikkeelle taloudellisia vaikutusketjuja. Toisin sanoen, jotta tietylle toimialalle kohdistuva välitön kysyntäimpulssi voidaan tyydyttää, tarvitaan sen tuotantotoiminnassa myös muiden toimialojen tuotosta välituotteiksi. Siten syntyy pitkä tavarointa ja palveluita koskeva vaimeneva hankintaketju, joka suuntau-

tuu tuotantojärjestelmässä ns. taaksepäin⁷ (Forssell 1985). On selvää, että tarkasteltavan talousalueen koko ja tuotantotoimintojen muodostaman verkoston tiheys vaikuttavat välillisten kerrannaisvaikutusten suuruuteen (Forssell 1985). Mallilla lasketut tuotantotoiminnan kerrannaisvaikutukset ovat siis sitä suurempia mitä suurempi tarkasteltava alue on ja mitä tiheämpi toimialojen välinen riippuvuusverkosto on. Lisäksi jalostettujen tuotteiden kerrannaisvaikutukset ovat tyypillisesti suurempia kuin alkutuotannossa.

Tulovaikutukset kuvaavat niitä välittömiä ja välillisiä kulutuskysynnän vaikutuksia, joita muodostuu, kun työntekijät käyttävät yrityksen maksamia palkkatuloja alueella tuotettujen hyödykkeiden ostoihin. Palkkojen maksun seurauksena toimialojen tuotoksen kysyntä kasvaa, minkä tyydyttämiseksi tarvitaan lisää välituotepanoksia.

Tuotantomallin avulla voidaan laskea taloudellisen toiminnan kokonaisvaikutukset, jotka kuvaavat toiminnan bruttomerkityksen taloudessa. Hypoteettisesti tämä kattaa kaiken sen tulon, joka taloudesta häviäisi tuotantotoiminnan lakatessa. Mallissa toimialojen kokonaistuotokset riippuvat niiden tuotokseen kohdistuvista loppu- ja välituotekysynnöistä. Toisaalta toimialojen tuotantoteknologia määrittelee lopputuotteiden valmistamiseksi tarvittavien perus- ja välituotepanoksien määrät. Tuotantoteknologian tehokkuus vaikuttaa siis suuresti paitsi tuotantotoiminnan kannattavuuteen myös alueella syntyviin kerrannaisvaikutuksiin. Osa tuotantotoiminnassa käytetyistä panoksista tuodaan tarkasteltavan alueen ulkopuolelta, jolloin myös niiden tuotannosta syntyneet kerrannaisvaikutukset kohdistuvat tarkasteltavan alueen ulkopuolelle.

Malliteknisesti toimialojen kokonaistuotannot ovat tuotantomallin selittävät muuttujat, kun taas lopputuotteiden kysynnat toimivat tuotantoja selittävinä tekijöinä. Panoskertoimet, joita kutsutaan myös teknisiksi kertoimiksi, toimivat toimialojen välisiä riippuvuuksia kuvaavina parametreina. Panoskertoimilla arvioidaan tietyn suuruisen lopputuotekysynnän tyydyttämiseksi tarvittavat tuotokset eri toimialoilta. Panoskertoimet muodostavat tuotantotoiminnan reseptin, tuotantofunktion, jossa välituotepanosten ja tuotoksen välillä oletetaan olevan kiinteä suhde⁸. Toisin sanoen, jotta toimialan i hyödykettä voidaan tuottaa tietty määrä, muilta toimialoilta j tarvitaan aina saman verran tuotosta. Panoskertoimet a_{ij} lasketaan panos-tuotostaulusta toimialojen i ja j välille seuraavasti:

$$\frac{z_{ij}}{x_j} = a_{ij} \Leftrightarrow z_{ij} = a_{ij}x_j \quad (4)$$

missä z_{ij} on toimialan j rahamääräiset välituotepanoksien ostot toimialalta i ja x_j on toimialan j tuotos. Panoskertoimia tulkitaan kiinteinä teknisinä kertoimina, koska mallin tuotantofunktio tuotannon ja välituotekäytön välillä on lineaarinen. Esimerkiksi, oletetaan, että energiantuotannossa (toimiala 24) käytetään polttoaineena turvetta (toimiala 4) arvoltaan 270 miljoonaa euroa (M€), joten $z_{4,24} = 270$ M€ ja energiantuotannon tuotos on $x_{24} = 8900$ M€. Tällöin vastaava panoskerroin on $a_{4,24} = z_{4,24}/x_{24} = 270/8900 = 0,030337$. Toisin sanoen, energiantuotannon yhden euron arvoisen tuotok-

⁷ Käänteismatriisiin (kts. yhtälö (12)) rivisummat osoittavat, miten tarkasteltavan toimialan tuotanto riippuu eri toimialojen lopputuotteiden kysynnästä, joten rivisummien oletetaan osoittavan tuotannon eteenpäin suuntautuvaa vaikutusta (Chenery & Watanabe 1958, Cella 1984, Forssell 1985: 27). Toimialan panoskysyntä kerrannaisvaikutuksineen osoittaa toimialan taaksepäin suuntautuneet kytkennät. Toimialan tuotoksen stimuloima uusi tuotantotoiminta muilla toimialoilla osoittaa eteenpäin suuntautuneet kytkennät siten, että taaksepäin suuntautuneet kytkennät ovat eteenpäin suuntautuneiden kytkentöjen olemassaolon edellytys (Hirschman 1958). Eteenpäin suuntautuvien kytkentöjen tarkastelussa ideana on, että riittävän välituotepanoskysynnän seurauksena syntyy alueellista tuotantoa kysynnän taaksepäin suuntautuvan impulssin seurauksena. Tällöin alueelle tulee uusia yrittäjiä, joita houkuttelee alkuperäisen kysyntäimpulssin seurauksena lisääntynyt välituotepanostarjonta. Alkuperäinen vaikutus stimuloi muiden toimialojen toimijoita jalostamaan syntynyttä tuotantoa edelleen omassa tuotantoprosessissaan, minkä seurauksena alkuperäinen taaksepäin suuntautuneen kytkennän seurauksena syntynyt tuotanto synnyttää edelleen muiden toimialojen tuotantoa eteenpäin suuntautuvana kytkentänä.

⁸ Kyseistä tuotantofunktion tyyppiä kutsutaan Leontiefin tuotantofunktioksi kehittäjänsä mukaisesti.

sen tuottamiseksi tarvitaan 0,030337 euron arvosta turvetta väliuotepanoksena riippumatta tuotannon tasosta⁹. Yhdistämällä panoskertoimet yhtälöstä (4) yhtälöihin (2) saadaan:

$$\begin{aligned} x_1 &= a_{11}x_1 + \dots + a_{1i}x_i + \dots + a_{1n}x_n + y_1 \\ &\vdots \\ x_i &= a_{i1}x_1 + \dots + a_{ii}x_i + \dots + a_{in}x_n + y_i \\ &\vdots \\ x_n &= a_{n1}x_1 + \dots + a_{ni}x_i + \dots + a_{nn}x_n + y_n \end{aligned} \quad (5)$$

Järjestämällä yhtälöt (5) uudelleen:

$$\begin{aligned} x_1 - a_{11}x_1 - \dots - a_{1i}x_i - \dots - a_{1n}x_n &= y_1 \\ &\vdots \\ x_i - a_{i1}x_1 - \dots - a_{ii}x_i - \dots - a_{in}x_n &= y_i \\ &\vdots \\ x_n - a_{n1}x_1 - \dots - a_{ni}x_i - \dots - a_{nn}x_n &= y_n \end{aligned} \quad (6)$$

ja ryhmittelemällä yhteisiin tekijöihin yhtälöt (6) voidaan kirjoittaa seuraavasti:

$$\begin{aligned} (1 - a_{11})x_1 - \dots - a_{1i}x_i - \dots - a_{1n}x_n &= y_1 \\ &\vdots \\ -a_{i1}x_1 - \dots + (1 - a_{ii})x_i - \dots - a_{in}x_n &= y_i \\ &\vdots \\ -a_{n1}x_1 - \dots - a_{ni}x_i - \dots + (1 - a_{nn})x_n &= y_n \end{aligned} \quad (7)$$

Yhtälön (4) panoskertoimet voidaan kirjoittaa matriisimuodossa:

$$\mathbf{A} = \mathbf{Z}\hat{\mathbf{x}}^{-1} \quad (8)$$

$$\text{missä } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \text{ ja } \hat{\mathbf{x}}^{-1} = \begin{bmatrix} 1/x_1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & 1/x_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1/x_n \end{bmatrix}.$$

Yhtälö (5) voidaan kirjoittaa matriisimuodossa hyödyntämällä yhtälöitä (3) ja (8):

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{y} \quad (9)$$

Määritellään, että \mathbf{I} on $(n \times n)$ kokoinen yksikkömatriisi, joten:

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A}) = \begin{bmatrix} (1 - a_{11}) & -a_{12} & \dots & -a_{1n} \\ -a_{21} & (1 - a_{22}) & \dots & -a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -a_{n1} & -a_{n2} & \dots & (1 - a_{nn}) \end{bmatrix} \quad (10)$$

Uudelleenjärjestelemällä yhtälö (9) ja yhdistämällä edelliseen saadaan:

⁹ Mallissa oletetaan vakioiset skaalatuotot.

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{x} = \mathbf{y} \quad (11)$$

Mikäli matriisin $(\mathbf{I} - \mathbf{A})$ determinantti $\det(\mathbf{I} - \mathbf{A}) \neq 0$, matriisi on ei-singulaarinen ja sillä on käänteismatriisi. Mikäli $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ on olemassa, niin yhtälön (11) ratkaisu on:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{y} = \mathbf{L}\mathbf{y} \quad (12)$$

missä matriisia $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{L} = [b_{ij}]$ kutsutaan Leontiefin käänteismatriisiksi. Toimialojen tuotoksien ja lopputuotekysyntöjen väliset riippuvuudet kerrannaisvaikutuksineen on kuvattu Leontiefin käänteismatriisissa.

Oletetaan, että metsätalouden (toimiala 2) lopputuotekysyntä kasvaa yhden miljoonan euron arvosta esimerkiksi jonkin uusiutuvan energian investoinnin seurauksena ja muut kysynnät eivät muutu. Muutos lopputuotevektorissa voidaan kirjoittaa seuraavasti:

$$\Delta\mathbf{y}(1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Tämän vaikutus ($\Delta\mathbf{x}(1)$) tuotosvektoriin voidaan laskea kertomalla Leontiefin käänteismatriisi vektorilla (13):

$$\mathbf{L}\Delta\mathbf{y}(1) = \Delta\mathbf{x}(1) \quad (14)$$

Leontiefin käänteismatriisin sisältävien toimialojen välisten kytkentöjen seurauksena tuotosvaikutuksia syntyy myös muilla toimialoilla kuin metsätaloudessa. Toisin sanoen, $\Delta\mathbf{x}(1)$ ei sisällä yhtä paljon nolla-alkioita kuin $\Delta\mathbf{y}(1)$.

Toimialalla i yhden tuotantoyksikön lisäyksen aikaansaamat kokonaisvaikutukset ovat tuotantoyksikön arvon ja sen tuotannossa syntyneiden kerrannaisvaikutusten arvojen summa. Useasti kerrannaisvaikutuksia kuvataan myös tuotantokertoimien avulla. Alkuperäisen kysyntäimpulssin kokonaisvaikutus voidaan laskea Leontiefin käänteismatriisista metsätalouden sarakesummana. Metsätalouteen tästä kohdistuu alkuperäisen kysyntäimpulssin arvo sekä tuotantoketjujen kautta syntyvä välitön kerrannaisvaikutus. Välillinen kerrannaisvaikutus saadaan kokonaisvaikutusten ja metsätalouteen välittömästi kohdistuvien vaikutusten erotuksena.

Tuotantotoiminnasta syntyvät välittömät ja välilliset euromääräiset tuotantovaikutukset voidaan muuntaa toimialoittaisiksi arvonlisäys- ja työllisyysvaikutuksiksi. Laskentaa varten muodostetaan toimialoittaiset arvonlisäys- ja työpanoskertoimet. Arvonlisäyskertoimet saadaan jakamalla toimialan j arvonlisäys saman toimialan tuotoksella. Tämän jälkeen arvonlisävaikutukset saadaan kertomalla lasketuja tuotantovaikutuksia arvonlisäkertoimilla. Arvonlisäykset kertovat tuotantotoiminnan vaikutuksen tarkasteltavan alueen bruttokansantuotteeseen kuvaten siten tuotantotoiminnan tehokkuutta ja hyvinvointivaikutusta paremmin kuin pelkkä tuotantovaikutus.

Tuotantovaikutukset muutetaan työllisyysvaikutuksiksi työpanoskertoimilla, jotka saadaan jakamalla toimialan j työvoiman määrä toimialan j tuotannolla. Kertoimilla ilmaistaan työvoiman tarve tietyn suuruisen tuotoksen tuotantotoiminnassa. Jokaiselle toimialalle lasketaan oma työpanoskerroin, minkä vuoksi saman suuruiset tuotantovaikutukset voivat johtaa erisuuruisiin työllisyysvaikutuksiin eri toimialoilla. Esimerkiksi palvelualoilla työpanoskertoimet ovat keskimäärin suurempia kuin pääoma- ja välituoteintensiivisillä teollisuuden toimialoilla. Toisin sanoen työpanoskertoimet vaihtelevat yritysten ja toimialojen välituotepanosten ja peruspanosten suhteiden perusteella, mutta myös alueiden ominaispiirteiden mukaan.

4.2 Alueellisten panos-tuotostaulujen muodostaminen

Edellisessä luvussa kuvattiin panos-tuotostaulun perusteet kansallisella tasolla. Pienemmän tilastoyksikön aluetarkastelussa on kuitenkin muutamia merkittäviä eroavaisuuksia verrattuna kansallisen tason laskentaan. Alueellisina panos-tuotostauluina pidetään jonkin kansantalouden osa-alueen panos-tuotostauluja. Erityisongelma alueellisessa panos-tuotostauluanalyysissä on ulkomaisen vaihdon lisäksi kotimainen tuonti ja vienti alueiden välillä (Forsell 1985: 73).

Kuten Flegg ym. (2013) osoittavat, toimiala- ja kaupankäyntirakenteet, erityisesti tuonnin ja viennin osalta, voivat poiketa huomattavan paljon pienten ja suurten talousalueiden välillä. Pienemmille alueille tuodaan suhteellisesti enemmän hyödykkeitä alueen ulkopuolelta muualta kotimaasta ja ulkomailta kuin suuremmille alueille (Round 1978). Kääntäen alueelta ulospäin suuntautuva kysyntä pienee alueen koon kasvaessa. Suuremman alueen toimialarakenteen voidaan perustellusti olettaa olevan monipuolisempi kuin pienempien alueiden. Toisaalta, mikäli suurenkin alueen tuotantotoiminta on hyvin erikoistunutta, sen välituotepanostarjonta muille toimialoille voi olla oletettua suppeampaa pelkäämään koon perusteella arvioituna. Pois lukien tällaiset erikoistapaukset, alueen koko vaikuttaa kyseisen alueen rajatuontialttiuteen alueen ulkopuolelta siten, että alueen koon kasvaessa tuotantotoiminta on integroitunut alueen sisällä, tuonti muilta alueilta on vähäistä ja panoskertoimet ovat suurempia. Vastaavasti pienempien alueiden välituotepanoksien tuonti on suurempaa ja alueelliset panoskertoimet ovat pienempiä kuin suuremmilla alueilla. (Richardson 1972: 37, Flegg & Webber 1997.)

Edellisen luvun määritelmiin perustuen kansallisella tasolla vienti kohdistuu ulkomaille ja hyödykkeitä tuodaan ulkomailta. Alueella vientiin ja tuontiin tulee lisäulottuvuuksia. Esimerkiksi maakuntatasolla maakunnan vienti voi kohdistua ulkomaiden lisäksi myös muihin maakuntiin. Lisäksi hyödykkeitä voidaan tuoda sekä ulkomailta että muista maakunnista. On myös tärkeää huomioida, että maakunnan kannalta muista maakunnista tuodut hyödykkeet ovat vuotoja oman talousalueen ulkopuolelle, mutta kansallisesta näkökulmasta tuotannon kerrannaisvaikutukset jäävät kotimaahan¹⁰. Seutukuntatason tarkastelussa viennin ja tuonnin osalta täytyy huomioida, että edellisten tarkastelutasojen lisäksi vienti kohdistuu myös muihin seutukuntiin maakunnan sisällä ja hyödykkeitä tuodaan maakunnan muista seutukunnista tarkasteltavaan seutukuntaan.

Kyselytutkimuksin tehtyjen alueellisten panos-tuotostaulujen koostaminen on hidasta ja kallista. Tämän vuoksi on kehitelty useita panos-tuotostaulun alueellistamismenetelmiä, joiden aineistovaatimukset aluetalouden toimiala- ja talousrakenteesta ovat pienemmät. Esimerkiksi Suomessa Tilastokeskus on julkaissut alueelliset maakuntatason panos-tuotostaulut vain kaksi kertaa. Vuonna 2000 julkaistiin ensimmäiset taulut, jotka kuvasivat aluetalouksien rakenteita vuonna 1995. Toiset, vuoden 2002 rakenteita kuvaavat taulut julkaistiin vuonna 2006. Toinen merkittävä puute kansallisiin tauluihin verrattuna on aluetalujen suppeampi toimialaerottelu. Esimerkiksi Tilastokeskuksen aluetaluuissa toimialoja on alle puolet kansallisen panos-tuotostaulun toimialoista. Alueellistamismenetelmiä käyttäen pyritään vähentämään näitä ongelmia muodostamalla mahdollisimman tarkka alueen toimiala- ja talousrakenteita kuvaava panos-tuotostaulu hyödyntäen aluetilinpäiden tietoja ja kansallisia panos-tuotostauluaineistoja.

4.2.1 Panos-tuotostaulujen alueellistamismenetelmät

Panos-tuotostaulun alueellistamisessa voidaan käyttää useita eri menetelmiä riippuen saatavilla olevasta informaatiosta siitä alueesta, jolle panos-tuotostaulua muodostetaan. Panos-tuotostaulun alueellistami-

¹⁰ Tuonnin kautta kerrannaisvaikutuksia valuu myös muihin Suomen maakuntiin. Toisaalta muualla tuotettujen tuotujen hyödykkeiden valmistuksessa on voitu käyttää tarkastelualueella tuotettuja välituotteita. Siten osa tuontikysynnän kerrannaisvaikutuksista voi heijastua takaisin tarkastelualueelle. Jotta nämä takaisinkytkennät voitaisiin mallintaa, tulisi tässä raportissa esitettyä mallinnuskehikkoa laajentaa useamman alueen kattavaksi malliksi. Tämänkaltaisen laajennuksen kannalta ongelmallista on se, että vaaditun informaation määrä, erityisesti liittyen alueiden välisiin hyödykevirtoihin, kasvaa huomattavasti (Susiluoto 1999).

nessä täytyy huomioda, että aluetilinpudossa tämän informaation saatavuus heikkenee ja datan aggregointi lisääntyy tarkastelualueita pienennettäessä. Alueellisia panos-tuotostauluja muodostetaan suu-remmalle alueelle laaditusta panos-tuotostaulusta pääasiassa erilaisin mekaanisin menetelmin. Tavalli-simpia tällaisista ovat erilaiset sijaintiosamääriin perustuvat menetelmät (Jiang ym. 2012). Roundin (1978) mukaan seuraavat tekijät määrittävät eri sijaintiosamäärämenetelmin laskettujen alueellistettujen panoskertoimien suuruuden:

- 1) Hyödykkeitä myyvän toimialan i koko maakunnassa verrattuna koko maahan (RE_i/NE_i),
- 2) Hyödykkeitä ostavan toimialan j koko maakunnassa verrattuna koko maahan (RE_j/NE_j),
- 3) Maakunnan koko suhteessa koko maahan mitattuna työllisten määrällä (TRE/TNE),

missä RE_i on toimialan i työllisten määrä maakunnassa, NE_i on toimialan i työllisten määrä koko maassa, RE_j on toimialan j työllisten määrä maakunnassa, NE_j on toimialan j työllisten määrä koko maassa, TRE on maakunnan kaikkien työllisten määrä ja TNE on kaikkien työllisten määrä koko maassa. Tässä luvussa kuvataan koko maan panos-tuotostaulun alueellistamismenettely maakuntatasolle, mutta menetely soveltuu suoraan myös seutukuntataulujen muodostamiseen.

Sijaintiosamäärämenetelmien käyttö ei vaadi kyselytutkimusten tekemistä. Toisin sanoen, ne ovat puhtaasti mekaanisia menetelmiä¹¹, joissa hyödynnetään yksinkertaisia valmiita tilastoaineistoja (Tohmo 2004). Sijaintiosamääriä eri tavoin hyödyntäviä alueellistamismenetelmiä on useita. Yleisimmin käytettyjä ovat yksinkertainen sijaintiosamäärämenetelmä (Simple Location Quotient, SLQ) ja modifioitu ristikkäissijaintiosamäärämenetelmä (Cross-Industry Location Quotient, CILQ). Näiden pohjalta kehitettyjen FLQ-sijaintiosamäärämenetelmän (Flegg Location Quotient, FLQ) ja sen laajennuksen AFLQ:n (Augmented Flegg Location Quotient, AFLQ) aineistovaatimukset ovat hieman edellisiä suuremmat.

Edellä mainituista alueellistamismenetelmistä yksinkertaisin on SLQ-menetelmä, jossa maakunnan (RE) toimialan i työllisten määrä suhteutetaan koko maan (NE) toimialan i työllisten määrään. Lisäksi SLQ-menetelmä huomioi koko alueen ja tarkasteltavan aluetalouden suhteellisen koon. Jokaiselle toimialalle lasketaan kerroin, joilla skaalataan kansallisen panoskerroinmatriisiin jokaista vastaavan toimialan rivialkiota. Yksinkertaisten sijaintiosamäärien avulla alueen panoskertoimet saadaan seuraavasti:

$$a_{ij}^{rr} = \begin{cases} (SLQ_i)a_{ij} & \text{jos } SLQ_i < 1 \\ a_{ij} & \text{jos } SLQ_i \geq 1 \end{cases} \quad (15)$$

missä

$$SLQ_i = \frac{RE_i/TRE}{NE_i/TNE} = \frac{RE_i}{NE_i} \times \frac{TNE}{TRE} \quad (16)$$

Jos $SLQ_i < 1$, kyseisellä alueella toimialalla i ei tuoteta tarpeeksi hyödykkeitä vastaamaan maakunnan panoskysyntään. Tässä tapauksessa kansallista panoskerrointa skaalataan alaspäin kertoen se sijaintiosamääräkertoimella. Samalla tuontiin muista maakunnista lisätään vastaava osuus. Mikäli $SLQ_i \geq 1$, maakunnassa tuotetaan hyödykkeitä toimialalla i yli oman alueen kysynnän. Tällöin kansallinen panoskerroin sisällytetään sellaisenaan maakunnan panos-tuotostauluun.

SLQ-menetelmän keskeinen oletus on, että toimialan i tuotanto tyydyttää samalla tavalla kaikkien kohdealueella toimivien toimialojen j kysynnän riippumatta toimialojen suhteellisesta koosta (Flegg & Webber 2000). Lisäksi oletetaan, että toimialan i tuotos on täysin homogeeninen. Toisin sanoen samaa toimialan i tuottamaa hyödykettä ei samaan aikaan tuoda alueelle ja viedä muille alueille ristiin (Mayer & Pleeter 1975: 344). Kyseinen oletus on useimmissa tapauksissa epärealistinen, koska toimialan i tuotanto sisältää useita eri hyödykkeitä erityisesti silloin, kun yhteen toimialaluokkaan on yhdistetty usei-

¹¹ Lisättäessä mekaanisiin menetelmiin lisäinformaatiota alueen toimialarakenteesta puhutaan hybridimenetelmistä. Lisäinformaatio voi sisältää esimerkiksi jonkin yksittäisen yrityksen tiedossa olevan välituotepanoskäytön.

den eri päätoimialaluokkien alaluokkia (Forssell 1985: 19–20). Toimialojen aggregointi alueellisissa aineistoissa on korostunut ongelma, joka liittyy tilastolain määrittelemään tietosuojaan. CILQ-, FLQ- ja AFLQ-menetelmillä pyritään huomioimaan ostavien toimialojen toisistaan poikkeavien välituotepanoksien kysynyt siten, että alueiden sallitaan tuoda ja viedä samalle toimialalle kuuluvia välituotepanoksia laskemalla alueiden toimialakohtainen nettokaupankäynti (Harrigan, McGilvray & McNicoll 1980).

Edellä kuvattu SLQ-menetelmä huomioi ainoastaan myyvän toimialan suhteellisen koon. Ristikkäissijaintiosamäärämenetelmässä (CILQ-menetelmä) sen sijaan huomioidaan lisäksi myös ostavan toimialan suhteellinen koko. Siten alueen tarjonnan ja kysynnän tasapaino huomioidaan toimiala- ja panoskerroinkohtaisesti. Toisaalta se jättää huomioimatta tarkastelualueen kaiken tuotantotoiminnan suhteellisen koon. Alueen panoskerroimet kirjoitetaan nyt:

$$a_{ij}^{rr} = \begin{cases} (CILQ_{ij})a_{ij} & \text{jos } CILQ_{ij} < 1 \\ a_{ij} & \text{jos } CILQ_{ij} \geq 1 \end{cases} \quad (17)$$

missä

$$CILQ_{ij} = \frac{RE_i/NE_i}{RE_j/NE_j} \quad (18)$$

Ristikkäissijaintiosamäärien tulkinta on sama kuin yksinkertaisten sijaintiosamäärien tapauksessa, mutta tulkinta tehdään panoskerroinkohtaisesti. Kun $i = j$, niin $CILQ_{ii} = 1$, jolloin panoskerroinmatriisin diagonaalien panoskerroimia ei skaalata lainkaan. Suuri osa lähtöalueen toimialan i sisäisestä kaupankäynnistä muuttuu alueiden väliseksi kaupankäynniksi tarkastelualueetta pienennettäessä. Smith ja Morrison (1974) sekä Flegg ym. (1995) osoittavat, että tarkastelualueen toimialojen sisäinen kaupankäynti voidaan mallintaa realistisemmin skaalaamalla panoskerroinmatriisin diagonaalien panoskerroimia toimialakohtaisilla yksinkertaisilla sijaintiosamäärillä. Modifioidun ristikkäissijaintiosamäärämenetelmän perusteella alueen panoskerroimet ovat:

$$a_{ij}^{rr} = \begin{cases} (CILQ_{ij})a_{ij} & \text{jos } CILQ_{ij} < 1 \\ a_{ij} & \text{jos } CILQ_{ij} \geq 1 \end{cases} \quad \text{kun } i \neq j \quad (19)$$

$$a_{ij}^{rr} = \begin{cases} (SLQ_{ij})a_{ij} & \text{jos } SLQ_i < 1 \\ a_{ij} & \text{jos } SLQ_i \geq 1 \end{cases} \quad \text{kun } i = j \quad (20)$$

Useissa tutkimuksissa on osoitettu, että alueelle kohdistuvan tuonnin määrä arvioidaan liian pieneksi sekä SLQ- että CILQ-menetelmiä käytettäessä. Tästä seuraa, että alueen sisäisiä hyödykevirtoja voidaan yliarvioida, mikä johtaa liian suuriin alueen panoskerroimiin. Siten on mahdollista, että alueelle kohdistuvat tuotantotoiminnan kerrannaisvaikutukset yliarvioidaan (Tohmo 2004; Flegg ym. 2013; Lehtonen & Tykkyläinen 2012; Kowalewski 2013). Tämän vuoksi alueellistamismenetelmien tutkimuksessa on kiinnitetty paljon huomiota lähtöalueen sisäisen kaupankäyntirakenteen tarkempaan arviointiin. Tutkimuksen päätavoitteena on ollut pienentää kohdealueen sisäisten tuotantoverkoston yliarviointia ja samalla muilta lähtöalueen alueilta kohdealueelle suuntautuvan tuonnin aliarviointia (Flegg ym. 2013).

Kolmas yleisesti käytetty sijaintiosamääriin perustuva alueellistamismenetelmä on Fleggin ym. (1995) sekä Fleggin ym. (2000) kehittämä FLQ-menetelmä, jonka avulla edellä mainittujen tuontierien suuruuden arviointiongelmaa on onnistuttu pienentämään (Tohmo 2004; Flegg ym. 2013; Kowalewski 2013). Flegg ym. (2000) ovat määritelleet menetelmän seuraavasti:

$$\begin{cases} FLQ_{ij} = CILQ_{ij} \times \lambda^* & \text{kun } i \neq j \\ FLQ_{ij} = SLQ_i \times \lambda^* & \text{kun } i = j \end{cases} \quad (21)$$

missä

$$\lambda^* = \left[\log_2 \left(1 + \frac{TRE}{TNE} \right) \right]^\delta \quad (22)$$

FLQ-menetelmässä ongelmana on parametrin $0 \leq \delta < 1$ arvon määrittäminen. Esimerkiksi Flegg ym. (2013) ovat estimoineet Tilastokeskuksen vuonna 1995 julkaisemien alueellisten panos-tuotostaulujen avulla seuraavan regressioyhtälön:

$$\ln \delta = 1,8379 + 0,33195 \ln R + 1,5834 \ln P - 2,8812 \ln I + \varepsilon \quad (23)$$

missä R on alueen työllisten määrän osuus koko maan työllisistä, P on alueen rajatuontialttius muilta maan alueilta (esimerkiksi, muista maakunnista tuotujen hyödykkeiden osuus alueen tuotoksesta) jaettuna muiden maakuntien keskimääräisellä rajatuontialttiudella muista maakunnista, I on alueen tuonnin sisältävän välituotekäytön osuus tuotoksesta jaettuna muiden alueiden vastaavalla keskimääräisellä välituotekäytön osuudella tuotoksesta ja ε on jäännöstermi. Estimoinnissa ja laskennassa ongelmaksi voi muodostua aineistojen heikko saatavuus ja vanhentuneet saatavilla olevat aineistot.

FLQ-menetelmän alueellisen panoskerroimen maksimi-arvo on vastaavan kansallisen panoskerroimen arvo. Tämän vuoksi FLQ-menetelmää käytettäessä alueen toimialarakenteen erikoistuminen voi jäädä huomioimatta (McCann ym. 1998). Toimialarakenteen erikoistuessa yksittäinen alueellinen panoskerroin voi kuitenkin ylittää vastaavan alkuperäisen panoskerroimen arvon. Kritiikin seurauksena Flegg ym. (2000) ovat määritelleet laajennetun FLQ-menetelmän:

$$AFLQ_{ij} = CILQ_{ij} \times \lambda^* \times [\log_2(1 + SLQ_j)] = FLQ_{ij} \times [\log_2(1 + SLQ_j)] \quad (24)$$

missä alueen erikoistuminen toimialan j tuotantotoimintaan on huomioitu termillä $\log_2(1 + SLQ_j)$. Erikoistumistermi huomioidaan vain niillä toimialoilla, joiden $SLQ_j > 1$. Tässä tapauksessa $AFLQ_{ij} > FLQ_{ij}$, joten alueen panoskerroin voi olla suurempi kuin vastaava alkuperäinen panoskerroin. Jos $SLQ_j \leq 1$, niin $AFLQ_{ij} = FLQ_{ij}$. Alkuperäistä panoskerrointa a_{ij} skaalataan ylöspäin, jos alueen toimialan j $SLQ_j > 1$ ja $CILQ_{ij} \times \lambda^* = FLQ_{ij} = 1$. On kuitenkin osoitettu, että AFLQ-menetelmän erikoistumistermin lisäys ei paranna tai parantaa vain hieman panoskerroinestimaattien tarkkuutta verrattuna FLQ-menetelmään (Flegg ym. 2000; Kowalewski 2013).

4.2.2 Pohjois-Pohjanmaan maakunnan ja sen seutukuntien panos-tuotostaulujen muodostamismenettely

Tässä projektissa uusiutuvan energian aluetaloudellisia vaikutuksia arvioitiin Pohjois-Pohjanmaan maakunnassa sekä Oulun, Oulunkaaren ja Nivala-Haapajärven seutukunnissa. Viimeisin virallinen Tilastokeskuksen laatima Pohjois-Pohjanmaan maakunnan panos-tuotostaulu on julkaistu vuonna 2006 ja se kuvaa aluetalouden rakennetta vuonna 2002. Tilastokeskus ei ole julkaissut seutukuntatasolla alueellisia panos-tuotostauluja. Tämän vuoksi rakennettiin alueelliset panos-tuotostaulut tarkasteltaville alueille koko maan panos-tuotostaulusta, joka kuvaa talouden rakennetta vuonna 2014. Vaihtoehtona olisi ollut päivittää vuoden 2002 maakuntataulu vuoteen 2014 ja muodostaa siitä seutukuntataulut alueellistamismenettelyllä. Koska maakunnan talouden rakenteessa on kuitenkin tapahtunut merkittäviä muutoksia vuosien 2002 ja 2014 välillä, muodostettiin kaikki aluetaulut viimeisimmästä koko maan panos-tuotostaulusta.

Aineistorajoitteiden puitteissa jouduimme rajaamaan alueellistamismenetelmistä FLQ-menetelmän ja sen laajennuksen pois. Sen sijaan käytimme ristikkäissijaintiosamäärämenetelmää tiedostaen sen edellä kuvatut rajoitteet. Sijaintiosamäärien laskennassa käytimme Tilastokeskuksen aluetilinpidon taloustoimitietoja vuodelta 2014 (Tilastokeskus 2017).

Alueellistaminen aloitettiin laskemalla yksinkertaisten sijaintiosamäärien mukaiset panoskertoimet kullekin toimialalle i alueella r yhtälöiden (15–16) mukaisesti. Tämän jälkeen laskettiin ristikkäissijaintiosamäärien mukaiset panoskertoimet yhtälöiden (17–18) mukaisesti. Sijaintiosamäärät laskettiin toimialoilla työskentelevien työllisten määrien perusteella. Alueen panoskertoimet määriteltiin yhtälöiden (19–20) perusteella.

Estimoitu toimialan i kokonaistuotos \tilde{x}_i^r voidaan kirjoittaa seuraavasti:

$$\tilde{x}_i^r = \sum_j a_{ij}^{rr} x_j^r + c_i^r y^r \quad (25)$$

missä a_{ij}^{rr} on toimialojen i ja j välinen panoskerroin, x_j^r on alueen toimialan j tuotos, y^r on alueen r kokonaislopputuotekysyntä ja c_i^r on estimoitu toimialan i tuotoksen lopputuotekysynnän osuus alueen kokonaislopputuotekysynnästä. Tässä tapauksessa toimialoittaiset kokonaistuotokset ovat tiedossa ja alueen panoskertoimet on estimoitu edellisessä vaiheessa. Sen sijaan alueen toimialoittaiset lopputuotekysynät ovat tuntemattomia. Kertoimet c_i^r lasketaan käyttäen koko maan tietoja lopputuotekysynnästä sekä toimialoittaisia yksinkertaisia sijaintiosamääräkertoimia seuraavasti:

$$c_i^r = \begin{cases} (SLQ_i)c_i^n, & \text{jos } SLQ_i < 1 \\ c_i^n, & \text{jos } SLQ_i \geq 1 \end{cases} \quad (26)$$

missä

$$c_i^n = y_i/y \quad (27)$$

missä y_i on toimialan i tuotoksen käyttö lopputuotteena koko maassa ja y on koko maan kokonaislopputuotekysyntä. Kuten aiemmin, tarkastelualueella toimialan i tuotosta käytetään loppukysyntään samassa suhteessa kuin koko maassa, mikäli $SLQ_i \geq 1$. Vastaavasti alueella käytetään toimialan i tuotosta loppukysyntään suhteessa vähemmän kuin koko maassa, jos $SLQ_i < 1$.

Lopuksi panoskerroinmatriisi tasapainotetaan siten, että toimialoittainen kokonaistuotos on yhtälön (1) mukaisesti yhtä kuin tuotoksen käyttö välituotteena ja lopputuotteena. Toisin sanoen panoskerroinmatriisia skaalataan riveittäin laskemalla toimialan i korjauskertoimet seuraavasti:

$$Z_i^r = x_i^r / \tilde{x}_i^r \quad (28)$$

missä x_i^r on todellinen alueen r toimialan i tuotos ja \tilde{x}_i^r on alueen r toimialan i estimoitu tuotos. Toimialan i panoskertoimia korjataan seuraavasti:

$$\bar{a}_{ij}^{rr} = \begin{cases} Z_i^r a_{ij}^{rr} & \text{jos } Z_i^r < 1 \\ a_{ij}^{rr} & \text{jos } Z_i^r \geq 1 \end{cases} \quad (29)$$

missä a_{ij}^{rr} ovat panoskertoimet välituotematriisin alueellistamismenettelystä.

4.3 Kasvihuonekaasupäästöjen arvioiminen

4.3.1 Alueellisen panos-tuotosmallin kasvihuonekaasupäästölaajennus

Edellä kuvattua alueellista panos-tuotosmallia laajennettiin sisältämään kasvihuonekaasupäästöjen muodostuminen tuotantotoiminnan seurauksena. Laajennuksen avulla voitiin arvioida, kuinka paljon mahdollisista investoinneista aiheutuisi kasvihuonekaasupäästöjä kokonaisuutena eli välittömät ja välilliset päästöt huomioiden.

Tilastokeskus tilastoi toimialoittaiset ilmapäästöt (Suomen virallinen tilasto 2019), jotka sisältävät tärkeimmät kasvihuonekaasut (hiilidioksidi, dityppioksidi ja metaani). Nämä muunnettiin hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO₂-ekv.) päästöiksi käyttämällä nk. GWP (global warming potential) -kertoimia (hiilidioksidi 1, metaani 25 ja dityppioksidi 298). Ilmapäästöaineiston toimialajako aggregoitiin vastaamaan alueellisen panos-tuotosmallin toimialajako. Koska toimialoittaisia kasvihuonekaasupäästöjä ei tilastoida alueittain, oletettiin, että keskimääräiset kasvihuonekaasupäästöt per tuotos ovat vakioiset koko maassa. Samalla oletettiin, että eri alueiden tuotantoteknologiat ovat päästönäkökulmasta täsmälleen samat.

Päästölaajennus tehtiin yksinkertaisesti muuttaen notaatiota aluekontekstiin ja lisäämällä tarvittavat elementit yhtälöön (7) (Miller & Blair 2009):

$$\begin{aligned}
 (1 - \bar{a}_{11}^{rr})x_1^r - \dots - \bar{a}_{i1}^{rr}x_i^r - \dots - \bar{a}_{1n}^{rr}x_n^r + 0x_p &= y_1^r \\
 \vdots & \\
 -\bar{a}_{i1}^{rr}x_1^r - \dots + (1 - \bar{a}_{ii}^{rr})x_i^r - \dots - \bar{a}_{in}^{rr}x_n^r + 0x_p &= y_i^r \\
 \vdots & \\
 -\bar{a}_{n1}^{rr}x_1^r - \dots - \bar{a}_{ni}^{rr}x_i^r - \dots + (1 - \bar{a}_{nn}^{rr})x_n^r &= y_n^r \\
 -a_{p1}^{rr}x_1^r - \dots - a_{pi}^{rr}x_i^r - \dots - a_{pn}^{rr}x_n^r + x_p &= 0
 \end{aligned} \tag{30}$$

Matriisnotaation edellä kirjoitettu voidaan esittää seuraavasti:

$$\begin{bmatrix}
 (1 - \bar{a}_{11}^{rr}) & -\bar{a}_{12}^{rr} & \dots & -\bar{a}_{1n}^{rr} & 0 \\
 -\bar{a}_{21}^{rr} & (1 - \bar{a}_{22}^{rr}) & \dots & -\bar{a}_{2n}^{rr} & 0 \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\
 -\bar{a}_{n1}^{rr} & -\bar{a}_{n2}^{rr} & \dots & (1 - \bar{a}_{nn}^{rr}) & 0 \\
 -a_{p1}^{rr} & -a_{p1}^{rr} & \dots & -a_{pn}^{rr} & 1
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 x_1^r \\
 x_2^r \\
 \vdots \\
 x_n^r \\
 x_p^r
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 y_1^r \\
 y_2^r \\
 \vdots \\
 y_n^r \\
 0
 \end{bmatrix} \tag{31}$$

missä x_p^r on alueen kasvihuonekaasupäästöt yhteensä. Parametrit a_{pn}^{rr} ovat tuotannon päästökertoimet, jotka on laskettu suhdelukuina:

$$a_{pn}^{rr} = \frac{z_{pi}}{x_i} \times x_i^r \quad \forall i \in (1, \dots, n) \tag{32}$$

missä z_{pi} on toimialan i kasvihuonekaasupäästöt (CO₂-ekv.) Suomessa, x_i on toimialan i tuotos Suomessa ja x_i^r on toimialan i tuotos alueella r . Alkuperäisen Leontiefin kääntematriisin reunoille on siis lisätty pystyvektori sisältäen nollia ja rivivektori sisältäen tuotantotoiminnan päästökertoimet yhtälöstä (32). Lisäksi päästöjen kysyntä lopputuotevektorissa asetettiin nolliin.

4.3.2 Vuotuisten kasvihuonekaasupäästövähennysten arviointi

Investointien päästövaikutusten lisäksi arvioitiin uusiutuvan energian tuotannon ja lämmityksen polttoainevaihtojen aikaansaamaa kasvihuonekaasupäästöjen vähentymistä. Tarkastelun kohteena olivat vuosittaiset eli jatkuvan toiminnan päästövähennemät kullekin uusiutuvan energian skenaariolle primäärienergian käytöstä laskettuna. Laskennassa käytettiin polttoaineluokituksen mukaisia päästökertoimia, jotka ilmoittavat hiilidioksidipäästön suhteessa energiasältöön¹².

Puupolttoaineiden käytön lisäämisskenaariossa päästövähennykset arvioitiin kertomalla turpeen ja kevyen polttoöljyn käytön vähenemisen energiamäärä polttoainekohtaisilla päästökertoimilla. Koska IPCC:n ohjeiden mukaisesti biopolttoaineiden hiilidioksidipäästöjä ei lasketa Suomen kasvihuonekaasujen kokonaispäästömäärään, metsähakkeen ja pienpuun energiakäytön päästöt asetettiin nollassa. Todellisuudessa metsäbiomassan energiakäyttö ei ole hiilineutraalia (esim. Liski ym. 2011), mikä on syytä huomioida biomassan polton lisäämisessä. Maankäyttösektorin (sis. metsien käyttö) päästölaskennan sisällyttäminen malliin ei ollut mahdollista tämän selvityksen puitteissa.

Muissa skenaarioissa päästövähennykset liittyvät sähkönkulutuksen vähenemiseen tai muiden lämmityspolttoaineiden korvaamiseen sähkön lisäkäytöllä. Motivan julkaiseman vuosittaisen keskimääräisen sähköntuotannon päästökertoimen rinnalle estimoimme tuntikohtaiset päästökertoimet. Tätä kautta pystyimme arvioimaan, minkä suuruinen virhe aiheutuu keskimääräistä päästökerrointa käyttämällä.

Sähköntuotannon tuntikohtaiset päästökertoimet arvioitiin seuraavasti. Muodostettiin kaikki Suomen voimalaitokset sisältävän voimalaitosaineiston, joka sisältää voimalaitoksien tehokkuuden sähköntuotannossa sekä tiedon pääasiallisesti käytettävästä polttoaineesta. Näiden tietojen perusteella laskettiin eri pääpolttoaineita käyttävien voimalaitosten keskimääräiset tehokkuudet. Sähköntuotannossa käytettyjen polttoaineiden primäärienergian määrät laskettiin kertomalla polttoainekohtaiset sähköntuotantotiedot (ENTSO-E 2018) keskimääräisillä tehokkuuksilla. Kotimaisen sähköntuotannon tuntikohtaiset päästöt laskettiin kertomalla primäärienergiämääriä polttoainekohtaisilla päästökertoimilla.

Laskennassa huomioitiin myös tuontisähkön päästöt. Lähtökohtana käytettiin Fingridin tilastoimia sähkön tuonti- ja vientitietoja (Fingrid 2018). Oletimme, että sähkön tuotantovalikoima oli sama yli vuoden tuonti- ja vientialueilla. Toisin sanoen esimerkiksi Venäjän tuonnista 16 % oli aina kivihieilellä tuotettua ja 49 % maakaasulla tuotettua sähköä. Ruotsin tuontisähkön päästökerroin oli 0,012 t CO₂/MWh, Venäjän 0,40 t CO₂/MWh ja Viron 0,77 t CO₂/MWh. Sähkökauppa suuntautuu pääsääntöisesti Suomesta Viroon, kun taas Venäjältä ja Ruotsista tuodaan suuret määrät sähköä (6,9 % ja 18,2 % kaikesta sähkön kulutuksesta Suomessa vuonna 2015).

Tuntikohtainen tuulivoimatuotanto arvioitiin kunnittain käyttäen realisoituneita tuulen nopeustietoja (Ilmatieteen laitos 2018). Oletustuulivoimalana oli Vestas V136-3.45, jonka nimellisteho on 3,45 MW, napakorkeus 142 metriä ja pyyhkäisykorkeus lähes 210 metriä. Tuulivoimatuotannon määrä arvioitiin siten, että alueelle asennettavien voimaloiden lukumäärät ja yhteenlasketut tuotantokapasiteetit mukailivat luvussa 2.3. määriteltyjä kunnittaisia tuulivoimapotentiaaleja. Tuntikohtaiset päästövähennemät laskettiin kertomalla tuotannot tuntikohtaisilla päästökertoimilla. Aurinkoenergian kohdalla meneteltiin pääosin samoin periaattein.

Rakennusten lämmitysskenaarioissa arvioitiin tarkasteltavan rakennuskannan lämmitysenergian tarve. Laskennassa oletettiin, että tarve on käänteisesti riippuvainen ulkolämpötilan suhteen. Esimerkiksi talvella alhaisimpien lämpötilojen aikaan lämmitystarve on korkein. Maalämmön COP:n oletettiin olevan kiinteä (COP = 3), koska maaperän lämpötila ei muutu merkittävästi ulkolämpötilan seurauksena. Sen sijaan ilmalämpöpumpun COP:n oletettiin vaihtelevan ulkolämpötilan suhteen. Perustuen Jaatinen (2016) tutkimukseen sovitimme aineistoon sovitteen kuvaamaan ulkolämpötilan ja ilmalämpöpumpun COP:n yhteyttä:

¹² Ominaispäästökerroin ei sisällä poltossa vapautuvan metaanin ja dityppioksidin ilmastoa lämmittävää vaikutusta. Tässä mielessä investointien ja jatkuvan toiminnan KHK-päästöt on laskettu eri oletuksin. Vuonna 2014 energiantuotantosektorin polttoperäisistä CO₂-ekvivalenteista päästöistä hiilidioksidi kattoi 98 % ja metaani ja dityppioksidi kumpikin yhden prosentin osuuden (Statistics Finland 2018). Näin ollen ero päästölaskentamenetelmien välillä on huomattavan pieni.

$$COP_t^k = 2,7535e^{0,0209 * \text{lämpötila}_t^k},$$

missä k on tarkasteltava kunta, $t = 1, \dots, 8760$ on tunti ja lämpötila_t^k on havaittu lämpötila alueella k tunnilla t . Esimerkiksi Iissä COP vaihteli 1,88 ja 4,21 välillä keskiarvon ollessa 3,06.

Maalämpötarkastelussa maalämmön käyttämän sähkön tuotannon päästöt korvaavat öljyn polton päästöt. Nettopäästövähennemä saatiin siis vähentämällä öljyn päästöistä maalämpöpumppujen kuluttaman sähkön tuotannosta aiheutuneet päästöt. Samoin meneteltiin tapauksissa, joissa öljylämmitteiseen rakennukseen asennettiin tukilämmitysmuodoksi ilmalämpöpumppu. Sähkölämmitteisissä rakennuksissa ilmalämpöpumppu vähentää ostettavan sähkön määrää ja siten sähkön tuotannosta aiheutuneita päästöjä.

Tuntikohtaisten päästökertoimien käyttäminen tarkoittaa vähennettyjen päästöjen määrää ottaen huomioon tunnin sähkömarkkinatilanteen. Kunkin uusiutuvan energian tuotantomuodon yhden vuoden aikana saavutettava päästövähennyspotentiaali saadaan summaamalla tuntikohtaiset päästövähennykset. Jakamalla päästösumma vuoden aikana kulutetun sähköenergian määrällä saadaan päästökerroin, jota voidaan verrata Motivan ilmoittamaan keskimääräiseen sähkön tuotannon päästökertoimeen. Taulukko 12 kokoaa lasketut päästökertoimet yhteen. Sähköntuotannon tuntikohtaisten päästökertoimien pohjalta laskettu keskimääräinen päästökerroin on alhaisempi kuin Motivan ilmoittama koko vuoden keskimääräinen päästökerroin. Tuntikohtaisen tuotannon pohjalta lasketut teknologiakohtaiset päästökertoimet vaihtelevat kunkin tarkastelukunnan sääolosuhteiden mukaisesti.

Taulukko 12. Herkkyystarkastelun päästökertoimet.

Päästökerroin	
Keskimääräinen tuntikohtainen päästökerroin	0,179
Motivan päästökerroin	0,209
Tunti- ja teknologiakohtainen päästökerroin	
<i>tuuli</i>	0,181–0,186
<i>aurinko</i>	0,158–0,159
<i>maalämpö</i>	0,196–0,203
<i>ilmalämpö (öljylämmitteiset kohteet)</i>	0,203–0,210
<i>ilmalämpö (sähkölämmitteiset kohteet)</i>	0,192–0,200

Taulukkoon 13 on koottu päästövähennyspotentiaalit teknologioittain maakuntatasolla ja vertailtu eri päästökertoimilla saatuja arvioita. Keskimääräistä tuntikohtaista kerrointa ja Motivan koko vuoden keskimääräistä kerrointa käytettäessä joko yli- tai aliarvioidaan vuosittaisia päästövähennysmääriä verrattuna tunneittain vaihteleviin kertoimiin. *Päästövähennyksien erotus* -sarakeessa verrataan kiinteällä päästökertoimella laskettua päästövähennystä tuntikohtaisella päästökertoimella laskettuun päästövähennykseen. Negatiivinen luku kertoo, että päästövähennyspotentiaalia aliarvioidaan käytettäessä kiinteää kerrointa. Positiivinen luku kertoo päinvastaisesta eli päästövähennyspotentiaalia yliarvioidaan kiinteällä kertoimella. Prosentuaaliset erot ovat suuria etenkin tuuli- ja aurinkoenergian kohdalla. Uusiutuva tuotanto osuus siis ajankohtiin, jolloin tunneittainen sähköntuotanto aiheuttaa keskimääräistä vähemmän päästöjä.

Taulukko 13. Päästövähennyspotentiaalien vertailu Pohjois-Pohjanmaan maakunnan tasolla.

Päästökerroin	Päästövähennys (t CO ₂)	Päästövähennyksien erotus (t CO ₂)	% ero
Tuulivoima			
Tuntikohtainen päästökerroin	358 840		
Keskimääräinen tuntikohtainen päästökerroin	347 360	-11 479	-3 %
Motivan päästökerroin	404 804	45 965	13 %
Aurinkoenergia			
Tuntikohtainen päästökerroin	2 824		
Keskimääräinen tuntikohtainen päästökerroin	3 189	365	13 %
Motivan päästökerroin	3 717	892	32 %
ILP, sähkölämmitys			
Tuntikohtainen päästökerroin	4 342		
Keskimääräinen tuntikohtainen päästökerroin	3 992	-350	-8 %
Motivan päästökerroin	4 652	310	7 %
ILP, öljylämmitys			
Tuntikohtainen päästökerroin	1 927		
Keskimääräinen tuntikohtainen päästökerroin	1 999	72	4 %
Motivan päästökerroin	1 920	-7	0 %
Maalämpö			
Tuntikohtainen päästökerroin	11 447		
Keskimääräinen tuntikohtainen päästökerroin	11 721	275	2 %
Motivan päästökerroin	11 298	-148	-1 %

5 Tulokset

5.1 Investointien vaikutukset aluetalouteen

Taulukossa 14 on kuvattu Pohjois-Pohjanmaan maakunnassa ja Oulun (Kempele, Muhos, Tyrnävä, Liminka), Oulunkaaren (Ii) ja Nivala-Haapajärven (Nivala, Pyhäjärvi, Kärsämäki) seutukunnissa tehtävät investoinnit, joiden avulla uusiutuvat energiapotentiaalit voitaisiin ottaa käyttöön. Investointisummat kuvaavat myös positiivisen kysyntähokin välittömän vaikutuksen aluetalouteen.

Maakunnan tasolla suurimmat investoinnit kohdistettiin tuulivoimaan. Tulokset osoittavat, että Oulunkaaren seutukunnassa on merkittävää tuulivoimapotentiaalia, joka kattaa noin 70 % koko maakuntaan kohdistuvista tuulivoimainvestoinneista. Oulunkaaren seutukunnan muut uusiutuvan energian investoinnit kattavat vain noin kuusi prosenttia alueen kokonaisinvestoinneista, koska tarkastelussa on vain yksi kunta (Ii), jonne suunnitellaan huomattavia tuulivoimahankkeita.

Muilla alueilla tuulivoimaan tehtävät investoinnit eivät ole suhteellisesti yhtä suuria. Esimerkiksi tarkasteltavissa Oulun seutukuntaan kuuluvissa kunnissa maalämpöpotentiaalinen realisoiminen seurauksena seutukuntaan kohdistuu välittöminä investointeina noin 13 miljoonaa euroa (40 % kaikista seutukunnan välittömistä tuotantovaikutuksista). Aurinkoenergiainvestointien määrä Oulun sekä Nivala-Haapajärven seutukunnissa on huomattava.

Taulukko 14. Investoinnit alueelle (milj. euroa).

	Pohjois-Pohjanmaa	Oulu	Oulunkaari	Nivala-Haapajärvi
Tuulivoima	147,5	7,7	103,7	36,1
Aurinkoenergia	16,6	8,3	2,9	5,4
Maalämpö	22,5	13,2	2,0	7,1
Ilmalämpö (sähkölämm.)	5,2	3,0	1,0	1,2
Ilmalämpö (öljylämm.)	0,9	0,5	0,1	0,3

Investointeihin tarvitaan välituotepanoksia myös niiltä toimialoilta, joilta investointihankintoja ei tehdä suoraan. Tämän vuoksi välillisiä tuotantovaikutuksia syntyy useammilla toimialoilla kuin välittömiä vaikutuksia. Taulukossa 15 on esitetty investointien kokonaisvaikutukset alueen tuotantoon euromääräisinä. Kokonaisvaikutukset pitävät sisällään kaiken investointien myötä syntyvän välittömän ja välillisen tuotantolisäyksen aluetaloudessa.

Suhteuttamalla kokonaisvaikutukset investointeihin voidaan laskea tuotantokertoimet, jotka kuvaavat, kuinka suuri kokonaisvaikutus syntyy investoitua euroa kohden aluetaloudessa. Maakunnan tasolla kokonaisvaikutus vaihtelee 1,54–1,59 ja seutukunnissa 1,40–1,52 välillä (tarkempi erittely liitteessä 2). Erot tuotantokertoimissa liittyvät aluetalouksien rakenteellisiin eroihin ja uusiutuvan energian investointien kohdentumiseen eri toimialoille. Tavallisesti tuotantorakenteen monipuolisuus kasvaa alueen koon mukaan, joten suhteelliset välilliset vaikutukset ovat sitä suuremmat, mitä suurempaa talousaluetta tarkastellaan.

Taulukko 15. Investointien tuotantovaikutukset yhteensä (milj. euroa).

	Pohjois-Pohjanmaa	Oulu	Oulunkaari	Nivala-Haapajärvi
Tuulivoima	228,31	11,69	146,84	51,14
Aurinkoenergia	25,63	12,53	4,13	7,61
Maalämpö	35,64	20,15	3,02	10,26
Ilmalämpö (sähkölämm.)	8,01	4,49	1,45	1,69
Ilmalämpö (öljylämm.)	1,38	0,83	0,13	0,36

Seutukunnat eivät summaudu maakuntaan, koska vaikutukset on arvioitu kullekin alueelle omalla panos-tuotosmallillaan.

Taulukossa 16 yhteenlasketut (välittömät ja välilliset) tuotantovaikutukset on muutettu arvonlisäyksiksi toimialakohtaisilla arvonlisäyskertoimilla. Kuten odotettua, tuulivoiman arvonlisäys on suurin koko maakunnassa sekä Oulunkaaren ja Nivala-Haapajärven seutukunnissa. Aurinkoenergiainvestoinnit aikaansaavat suurimman arvonlisäyksen Oulun seutukunnassa. Edellä kuvatut tuotantovaikutukset pitävät sisällään arvonlisäyksen, jonka osuus tuotantovaikutusten summasta Pohjois-Pohjanmaan tapauksessa on lähes 43 %. Toisin sanoen esimerkiksi Pohjois-Pohjanmaalle kohdistuva 228,31 miljoonan euron tuulivoimainvestointi lisää alueen bruttokansantuotetta 98 miljoonaa euroa. Taulukon lukuja voidaan arvioida suhteessa alueiden bruttokansantuotteisiin. Esimerkiksi Pohjois-Pohjanmaan bruttokansantuote vuonna 2014 oli 12 850 miljoonaa euroa. Mikäli kaikki kartoitetut uusiutuvan energian potentiaalit realisoitaisiin, niiden vaatimien investointien arvonlisäyksien summa vastaisi noin 1 % Pohjois-Pohjanmaan bruttokansantuotteesta.

Taulukko 16. Arvonlisäys yhteensä (milj. euroa).

	Pohjois-Pohjanmaa	Oulu	Oulunkaari	Nivala-Haapajärvi
Tuulivoima	98,01	4,99	71,08	23,36
Aurinkoenergia	11,07	5,31	2,01	3,53
Maalämpö	14,79	8,19	1,42	4,58
Ilmalämpö (sähkölämm.)	3,47	1,91	0,71	0,79
Ilmalämpö (öljylämm.)	0,60	0,35	0,06	0,17

Seutukunnat eivät summaudu maakuntaan, koska vaikutukset on arvioitu kullekin alueelle omalla panos-tuotosmallillaan.

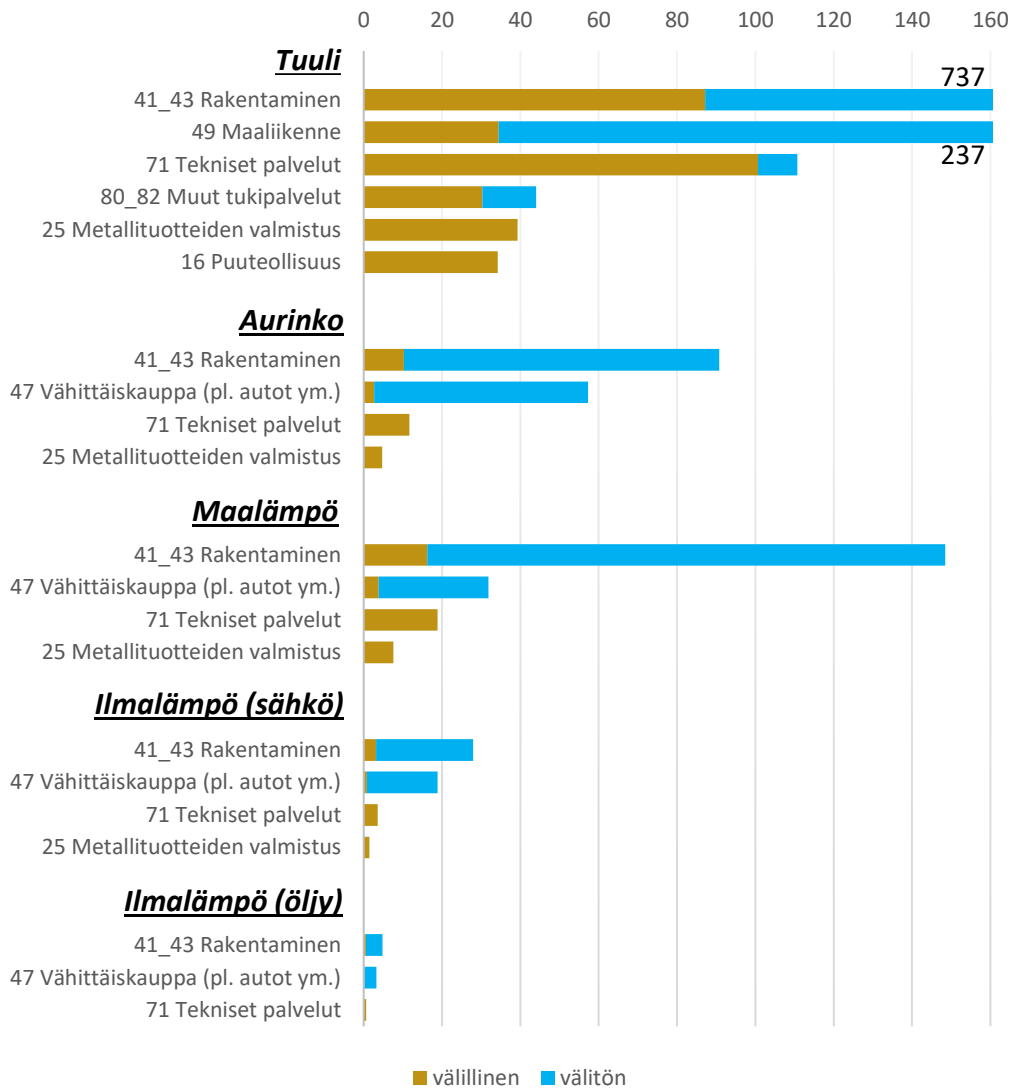
Investoinnit saavat aikaan myös työllisyysvaikutuksia, jotka lasketaan tuotantovaikutuksista työpanoskertoimien avulla. Taulukossa 17 on esitetty uusiutuvan energian investointien työllisyysvaikutukset henkilötyövuosina. Työllisyysvaikutukset kohdistuvat sekä välittömästi toimialoille, joihin investoinnit kohdistuvat, että välillisesti laajemmalle toimialajoukolle. Työvoimaintensiivisille aloille, kuten palveluihin, syntyy prosentuaalisesti enemmän työpaikkoja verrattuna tuotantovaikutuksiin kuin alemman työvoimaintensiiviteetin aloille. Työllisyyden muutoksia voidaan arvioida esimerkiksi tietyn ajan ylitse ulottuvana vakituisena työllisyytenä. Esimerkiksi mikäli oletettaisiin, että Oulunkaaren seutukunnan alueelle suunnitellut tuulivoimainvestoinnit toteutettaisiin seuraavien 10 vuoden aikana, keskimäärin vuotuinen työllistettyjen määrä Oulunkaaren seutukunnassa kasvaisi noin 117 henkilöllä. Pohjois-Pohjanmaalla tuulivoimainvestoinnit synnyttävät yhteensä 1 545 henkilötyövuotta, joka vastaa noin 7 % työttömien työnhakijoiden määrästä Pohjois-Pohjanmaalla vuoden 2017 lopussa.

Taulukko 17. Investointien työllisyysvaikutukset yhteensä (täysaikaista työllistä).

	Pohjois-Pohjanmaa	Oulu	Oulunkaari	Nivala-Haapajärvi
Tuulivoima	1544,94	76,05	1177,30	403,11
Aurinkoenergia	199,73	88,69	38,81	65,00
Maalämpö	254,96	133,94	25,70	80,69
Ilmalämpö (sähkölämm.)	62,90	31,95	13,74	14,55
Ilmalämpö (öljylämm.)	10,80	5,88	1,23	3,09

Seutukunnat eivät summaudu maakuntaan, koska vaikutukset on arvioitu kullekin alueelle omalla panos-tuotosmallillaan.

Työllisyysvaikutusten jakautuminen eri toimialoille noudattelee tuotantovaikutusten jakaamaa. Kuviissa 5–8 on esitetty kokonaistyöllisyysvaikutusten jakautuminen tärkeimmille toimialoille alueittain. Kuviissa on eroteltu välittömät ja välilliset työllisyysvaikutukset. Valitut toimialat kattavat vähintään 77 prosenttia investointien kaikista työllisyysvaikutuksista. Vaikutusten kohdentuminen vaihtelee teknologioittain sen mukaan, millaisia investointihyödykkeitä kunkin uusiutuvan energianpotentialiin hyödyntäminen edellyttää.



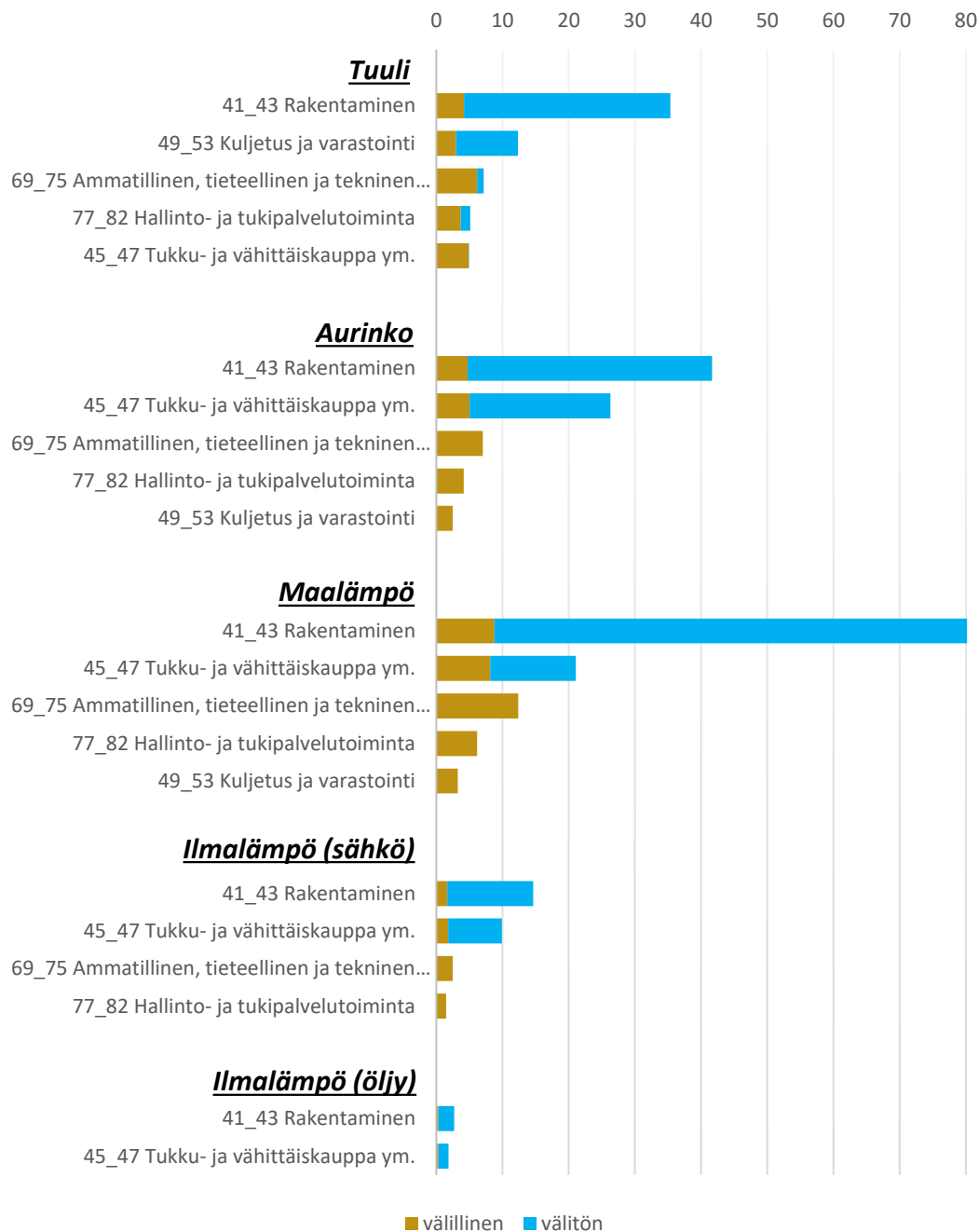
Kuva 5. Uusiutuvan energian investointien välittömät ja välilliset työllisyysvaikutukset Pohjois-Pohjanmaan maakunnassa (työllistä).

5.2 Investointien aiheuttamat tulovaikutukset

Uusiutuvan energian investointien aiheuttamien välittömien ja välillisten talousvaikutusten lisäksi arviointiin maakuntatasolla myös tulovaikutuksia. Edellä kuvatun mukaisesti investointien aiheuttama lisäksyntä aikaansaa työllisyysvaikutuksia. Työntekijöille maksetaan palkkaa, jonka työlliset käyttävät kuluutukseen. Tämä lisää toimialojen tuotosten kysyntää lopputuotteena. Lisääntyvän kysynnän tyydyttämiseen tarvitaan välituotepanoksia muilta toimialoilta aivan kuten investointihyödykkeiden osalta. Seutukuntatasolla tulovaikutusten tarkastelu on jätetty tekemättä, koska käytettävissä ei ole tietoa

loppukulutuksen jakautumisesta seutukunnassa, maakunnassa ja muualla maassa tuotettujen tuotteiden kesken.

Taulukkoon 18 on koottu palkkojen myötä lisääntyneen loppukulutuksen aikaansaama tuotannon, arvonlisän ja työllisyyden lisäys maakunnassa¹³. Esimerkiksi tuulivoimainvestointien välittömästi ja välillisesti aikaansaamien työpaikkojen lisäksi tulovaikutuksien myötä syntyy yli 260 työllisen työllisyysvaikutus.

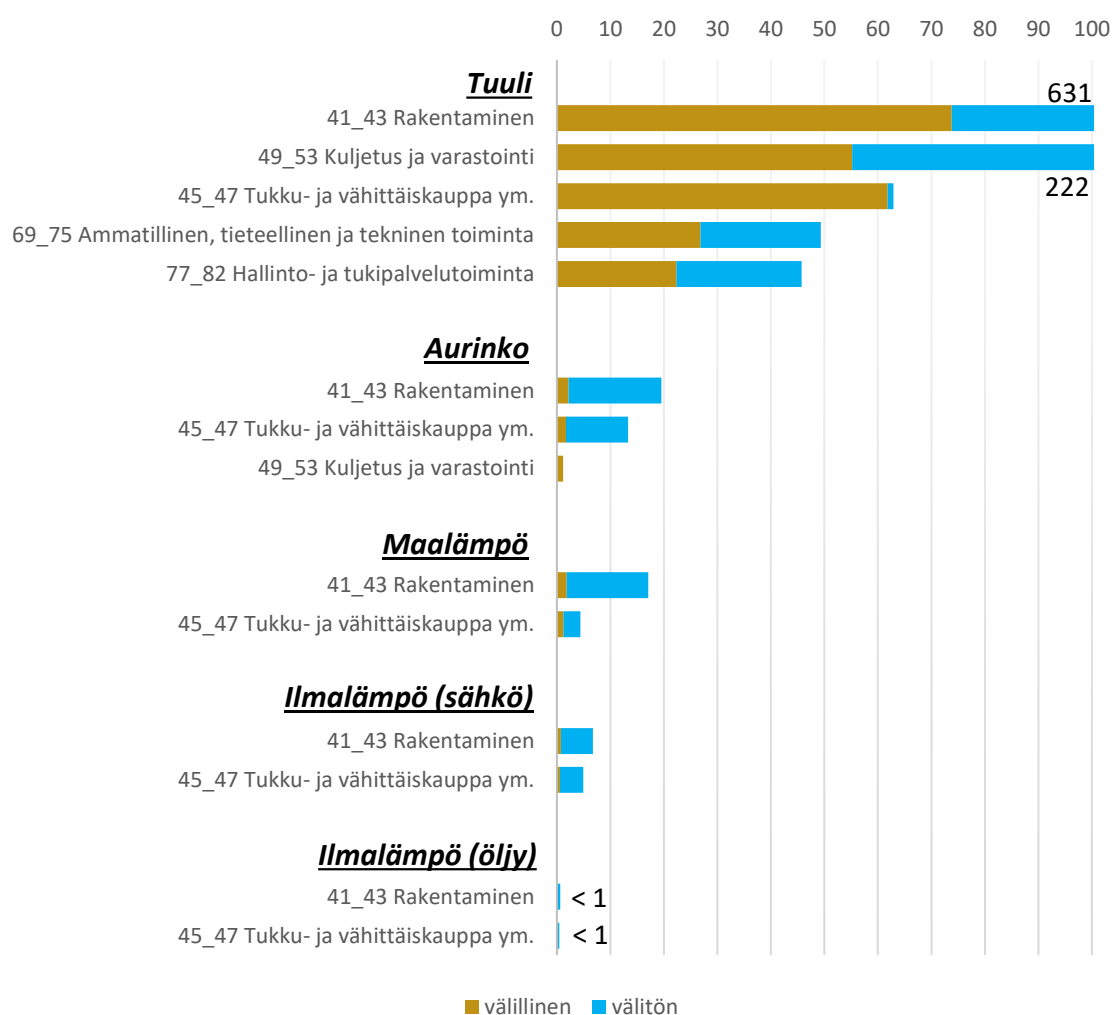


Kuva 6. Uusiutuvan energian investointien välittömät ja välilliset työllisyysvaikutukset Oulun seutukunnassa (työllistä).

¹³ Osa lisäkulutuksesta kohdistuu kysyntänä maakunnan ulkopuolella tuotettuihin tuotteisiin ja palveluihin. Tässä on tarkasteltu vain maakunnan aluetalouteen kohdistuvia vaikutuksia.

Taulukko 18. Investointien tulovaikutukset Pohjois-Pohjanmaalla (milj. euroa, työllistä).

	Tuotanto milj. euroa	Arvonlisä milj. euroa	Työllisyys työllistä
Tuulivoima	38,12	19,62	261,16
Aurinkoenergia	4,66	2,40	31,93
Maalämpö	6,26	3,22	42,89
Ilmalämpö (sähkölämm.)	1,46	0,75	10,01
Ilmalämpö (öljylämm.)	0,25	0,13	1,72



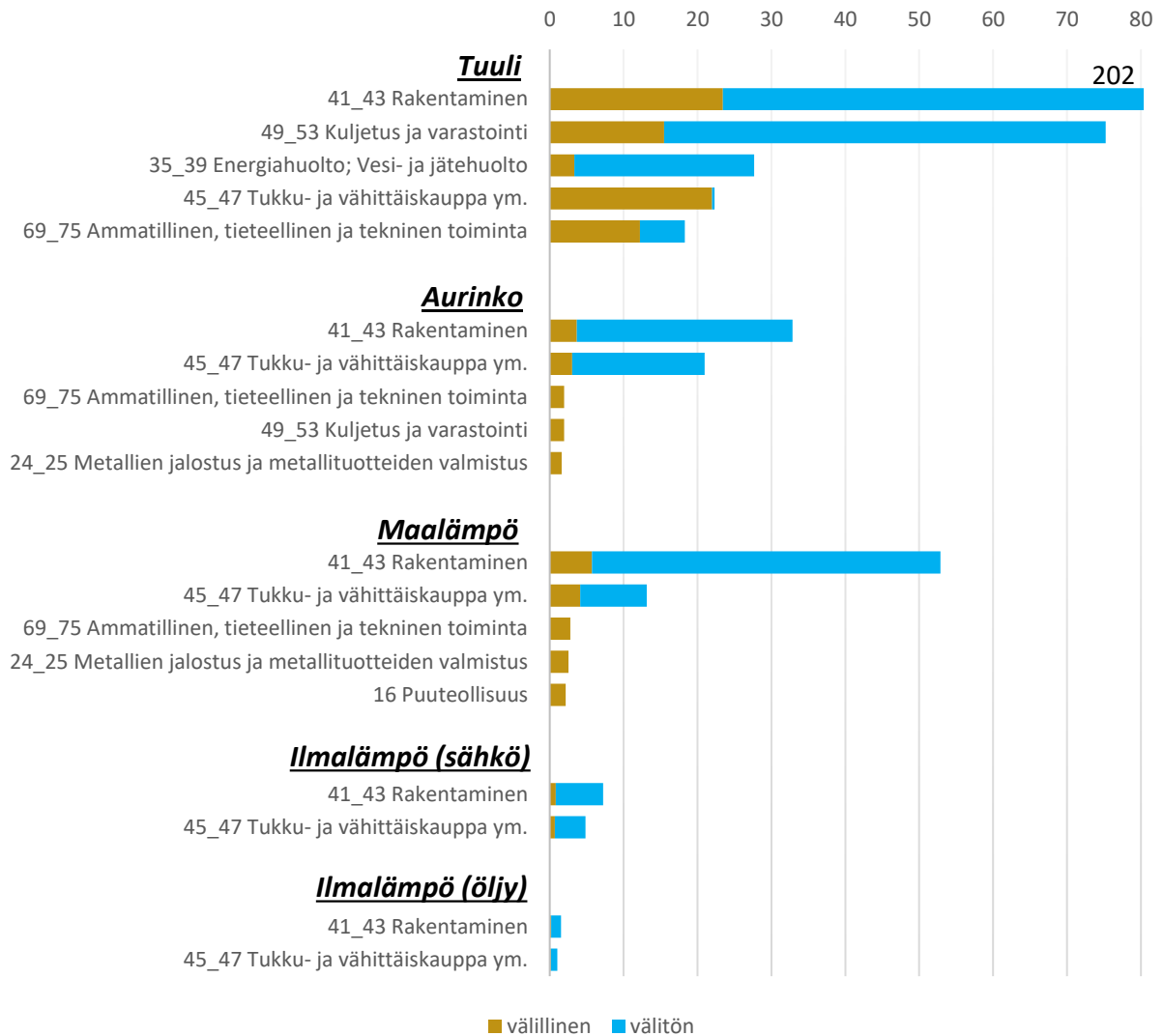
Kuva 7. Uusiutuvan energian investointien välittömät ja välilliset työllisyysvaikutukset Oulunkaaren seutukunnassa (työllistä).

5.3 Jatkuvan toiminnan vaikutukset aluetalouteen

Uusiutuvan energiapotentiaalin hyödyntäminen saa aikaan myös jatkuvia taloudellisia vaikutuksia kerta-
luontoisten investointivaikutusten lisäksi. Jatkuvan toiminnan vaikutukset on arvioitu vuositason
investointien pitoajan mukaisesti. Vaikutukset sisältävät mm. huolto- ja korjaustoimenpiteitä sekä poltto-
aineiden ja sähkön loppu- ja välituotekäytön muutoksia. Investointien ja jatkuvan toiminnan
talousvaikutusten vertailu vuositason on mahdollista kertomalla jatkuvan toiminnan vaikutukset kun-
kin teknologian pitoajalla¹⁴. Tarkastelu on tehty maakuntatasolla. Seutukuntatasolla vastaava tarkastelu

¹⁴ Tällöin oletuksena on, että investoinnit toteutettaisiin kerralla eikä jaksottaisesti tietyn vuosimäärän kuluessa.

jätettiin tekemättä, koska seutukunnissa ei välttämättä ole yrityksiä, jotka voisivat tarjota kaikkia jatkuvan toiminnan edellyttämiä hyödykkeitä. Seutukunta on siis liian pieni talousalue jatkuvan toiminnan arviointiin.



Kuva 8. Uusiutuvan energian investointien välittömät ja välilliset työllisyysvaikutukset Nivala-Haapajärven seutukunnassa (työllistä).

Taulukossa 19 esitetään jatkuvan toiminnan kokonaistalousvaikutukset Pohjois-Pohjanmaalla. Suuren tuulivoimapotentiaalin hyödyntäminen merkitsee lukuisia tuulivoimapuistoja, joiden huolto työllistää vuosittain miltei 90 henkilöä. Myös tuotanto- ja arvonlisävaikutukset ovat positiivisia. Aurinkoenergian kohdalla sähkön omatuotanto merkitsee pienempiä ostoja energiahuollon toimialalta, mistä seuraa negatiivisia talous- ja työllisyysvaikutuksia. Huolto- ja ylläpito-hankinnat eivät riitä kattamaan negatiivisia vaikutuksia. Maalämmön ja öljylämmitteisiin rakennuksiin asennettavien ilmalämpöpumppujen kohdalla tuotantovaikutukset ovat hieman positiivisia, mutta työllisyysvaikutukset ovat negatiivisia. Keskeisenä syynä on öljyostojen pieneneminen tukkukaupan toimialalta, joita lisääntyvä sähkönhankinta ja huoltotoimet eivät riitä kattamaan. Sähkölämmitteisiin rakennuksiin asennettavat ilmalämpöpumput vähentävät lämmitykseen käytettävää sähköä. Ostot energiahuollon toimialalta pienenevät, mistä seuraa negatiivisia talousvaikutuksia, joita huoltotoimenpiteiden aikaansaamat vaikutukset eivät riitä kattamaan. Eri teknologioiden negatiiviset työllisyysvaikutukset ovat kuitenkin varsin pieniä verrattuna investointien kokonaistyöllisyysvaikutuksiin (vrt. taulukko 17).

Taulukko 19. Jatkuvan toiminnan kokonaisvaikutukset Pohjois-Pohjanmaalla (milj. euroa, työllistä).

	Tuotanto	Arvonlisä	Työllisyys
	milj. euroa	milj. euroa	työllistä
Tuulivoima	27,15	13,88	87,50
Aurinkoenergia	-0,67	-0,36	-1,17
Maalämpö	0,03	0,00	-3,51
Ilmalämpö (sähkölämm.)	0,02	0,00	-0,60
Ilmalämpö (öljylämm.)	-1,37	-0,73	-3,42
Puupolttoaineet	0,22	0,26	-1,24

Puupolttoaineiden skenaariossa tarkasteltavien kuntien alueella energiantuotannossa käytettävä turve ja polttoöljy korvattiin alueelta osittain saatavalla metsähakkeella. Öljylämmitteisten erillistalojen osalta oletettiin, että pienpuun lisäkäytöllä korvattaisiin 10 % nykyisestä kevyen polttoöljyn tarpeesta polttamalla puuta joko erillisessä tulisijassa tai kaksoiskattilassa. Kaukolämmön polttoainevaihdossa oletettiin, että investointeja uusiin kattiloihin ei tarvita. Skenaariossa ei myöskään otettu kantaa turvetuotannon laitekannan uusiokäyttöön tai mahdollisiin laiteinvestointeihin metsähakkeen tuotannossa¹⁵. Toisin sanoen, energianhuoltotoimialan ostoja mineraalien kaivun toimialalta (sis. turpeen nosto) vähennettiin, tukkukaupasta poistettiin käytetyn öljyn ostot ja metsätaloudesta tehtäviä ostoja lisättiin. Siten välittömät vaikutukset olivat yhteensä 0,22 M€. Metsätalouden välitön arvonlisä kasvoi 0,87 M€, mineraalien kaivun laski 0,27 M€ ja tukkukaupan arvonlisä pieneni 0,16 M€. Kokonaisuudessaan arvonlisä kasvoi 0,44 M€. Välittömien tuotantovaikutusten seurauksena Pohjois-Pohjanmaalle syntyy 3,4 henkilötyövuotta.

Toimialoitaiset välilliset tuotantovaikutukset olivat pääosin negatiivisia. Tämä tarkoittaa, että erityisesti turpeen noston kytkennät alueen muihin toimialoihin ovat voimakkaampia kuin metsätalouden. Välillinen tuotantovaikutus oli yhteensä -0,39 M€, ja vaikutus arvonlisään oli yhteensä -0,48 M€. Välillisesti henkilötyövuosia hävisi 4,64, joista suurimmat tappiot kohdistuvat metsätalouteen. Toisaalta, suurimmat positiiviset välilliset työllisyysvaikutukset kohdistuvat mineraalien kaivuun, mikä osoittaa metsätalouden ja mineraalien kaivun yritysten keskinäisten kytkentöjen voimakkuuden. Kokonaisuudessaan vaikutukset työllisyyteen ovat -1,24 henkilötyövuotta, mikä osoittaa, että polttoainevaihto on alueen työllisyyden näkökulmasta varsin neutraali toimenpide.

5.4 Vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin

Tuotantovaikutusten, arvonlisäyksen ja työllisyyden lisäksi toimenpiteillä on merkittäviä vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin. Taulukossa 20 on listattu toimenpiteiden seurauksena saavutettavat vuotuiset päästövähennykset alueittain. Tulokset osoittavat, että kaikki tarkastellut skenaariot vähentävät päästöjä. Erityisen suuret päästövähennykset saavutetaan tuulivoimainvestoinneilla, jotka tosin vaativat huomattavasti suuremman mittakaavan investointeja kuin muut tarkastellut toimenpiteet. Laskettuja päästövähennyksiä tulee tarkastella suhteessa investointikustannuksiin sekä tuotanto-, arvonlisä- ja työllisyysvaikutuksiin.

¹⁵ Olemassa oleva laitekanta voitaneen ainakin osittain uusiokäyttää muussa tuotantotoiminnassa. Toisaalta mahdolliset lisäinvestoinnit metsähaketuotannossa muodostaisivat myönteisiä aluetalousvaikutuksia. Yksittäisen turvetuottajan näkökulmasta polttoainevaihdos voi kuitenkin olla huomattavan haitallinen toimenpide.

Taulukko 20. Vuotuiset päästömuutokset (t CO₂).

	Pohjois-Pohjanmaa	Oulu	Oulunkaari	Nivala-Haapajärvi
Tuulivoima	-358 840	-18 458	-256 041	-84 340
Aurinkoenergia	-2 824	-1 401	-520	-904
Maalämpö	-11 447	-6 749	-1 078	-3 619
Ilmalämpö (sähkölämm.)	-1 927	-1 181	-193	-554
Ilmalämpö (öljylämm.)	-4 342	-2 634	-825	-904
Puupolttoaineet	-19 851	-11 038	-2 153	-6 660

Kaikki investoinnit kuitenkin aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöjä (Taulukko 21). Kun esimerkiksi tuulivoimaan investoidaan, rakentamistoimialan tuotoksen kysyntä kasvaa, ja tämän kysynnän tyydyttämiseksi tarvitaan hiilidioksidipäästöjä aiheuttavaa välituotepanostarjontaa. Kun taulukon 20 päästöväheneisiin lisätään taulukon 21 päästöt, havaitaan, että nettopäästöt ovat merkittävästi negatiivisia. Vuosittaiset päästövähennykset kattavat investointien aiheuttamat päästöt jo alle vuoden kuluessa kaikkien teknologioiden tapauksessa. Päästöjen vähentämisen näkökulmasta kaikki tarkastellut uusiutuvan energian potentiaalit ovat kannattavia, vaikka investoinnin seurauksena välituotepanoksien kysyntä kasvatetaan hieman päästöjä.

Taulukko 21. Investoinneista aiheutuvat välittömät ja välilliset kasvihuonekaasupäästöt, yhteensä (CO₂-ekvivalenttitonnia).

	Pohjois-Pohjanmaa	Oulu	Oulunkaari	Nivala-Haapajärvi
Tuulivoima	56 716	2 682	37 394	12 629
Aurinkoenergia	1 697	770	300	519
Maalämpö	2 407	1 253	217	708
Ilmalämpö (sähkölämm.)	91	51	9	24
Ilmalämpö (öljylämm.)	529	275	105	115

5.5 Uusiutuvan energian teknologioiden vertailu

Uusiutuvan energian potentiaalien aluetaloudellisia vaikutuksia voidaan vertailla keskenään suhteuttamalla talousvaikutukset tuotettuun energiamäärään tai asennettuun tehomäärään. Uusiutuvien energioiden potentiaalit vaihtelevat suuresti, ja eri teknologioiden investointeihin tarvitaan erilaisia tuotantopanoja. Teknologioiden vaikutusten yhteismitallistaminen helpottaa hajautettuihin uusiutuviin energiamuotoihin kohdistuvien politiikkatoimenpiteiden suunnittelua. Seuraavasta tarkastelusta on jätetty pois puupolttoaineiden käyttö, koska tehtyjen oletusten mukaan polttoainevaihdot eivät edellytä erilisiä investointeja, vaan kuvaavat muutosta jatkuvassa toiminnassa.

Taulukossa 22 on suhteutettu alueelliset kokonaistalouseläimet (tuotos, arvonlisäys ja työllisyys) asennetun kapasiteetin arvioituihin vuosittaisiin tuotantomääriin (MWh). Aurinkoenergian talousvaikutus (tuotos ja arvonlisäys) suhteessa tuotettuun energiamäärään on suurin kaikilla alueilla. Toiseksi merkittävin on maalämpö. Aurinkoenergian tapauksessa kokonaistalouseläimet ovat pienemmät kuin maalämmöllä, mutta alhaisempi vuosittainen energiantuotanto nostaa suhdeluvun maalämpöä paremmaksi. Työllisyysvaikutukset kaikissa teknologioissa ja kaikilla alueilla jäävät niin pieniksi suhteessa tuotettuun megawattituntiin, että lukuja ei ole esitetty taulukossa (pyöristyvät nolnaan).

Taulukko 22. Alueelliset kokonaistalousvaikutukset suhteessa vuosittaisiin energiantuotantomääriin (€/MWh).

	Tuulivoima	Aurinkoenergia	Maalämpö	Ilmalämpö (sähkö)	Ilmalämpö (öljy)
Pohjois-Pohjanmaa					
Tuotos (€/MWh)	119	1723	1243	346	278
Arvonlisäys (€/MWh)	51	744	516	150	121
Oulun seutukunta					
Tuotos (€/MWh)	117	1702	1192	318	272
Arvonlisäys (€/MWh)	50	721	485	135	116
Oulunkaaren seutukunta					
Tuotos (€/MWh)	109	1552	1113	336	261
Arvonlisäys (€/MWh)	53	756	521	164	127
Nivala-Haapajärven seutukunta					
Tuotos (€/MWh)	109	1 567	1 135	357	254
Arvonlisäys (€/MWh)	50	728	506	166	118

Seutukunnat eivät summaudu maakuntaan, koska vaikutukset on arvioitu kullekin alueelle omalla panos-tuotosmallillaan.

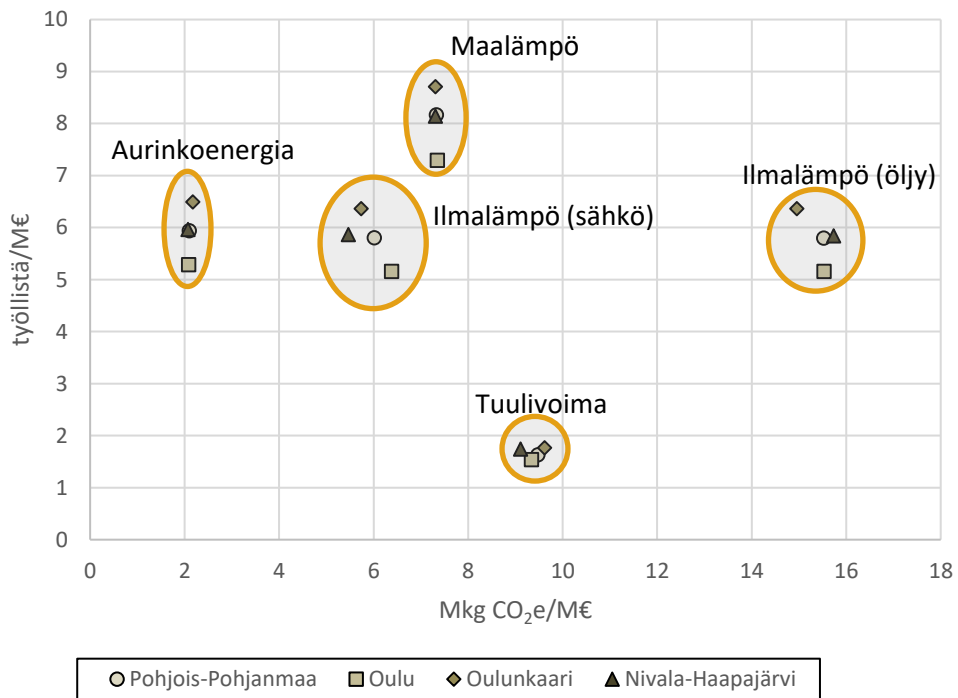
Taulukossa 23 on vastaava vertailu tehty suhteuttamalla talousvaikutukset asennettuun tehoon (MW). Tämä tarkastelu tuo lisävalaistusta uusiutuvien energiamuotojen vertailuun, sillä eri energiamuodoilla on erilainen tuotantokyky ja hyötysuhde. Maalämmön ja aurinkoenergian talousvaikutukset ovat suurimmat suhteessa asennettuun tehomäärään. Ilmalämpöpumppujen merkitys näyttyy varsin maltillisena, koska kokonaisuutena kyseinen investointi (laite- ja asennuskustannukset) on huomattavasti edullisempi muihin vaihtoehtoihin nähden ja siten synnyttää pienemmän kysyntävaikutuksen aluetalouteen. Työllisyysvaikutuksissa maalämpö erottuu muista vaihtoehdoista selkeästi.

Taulukko 23. Alueelliset kokonaistalousvaikutukset suhteessa asennettuihin tehomääriin.

	Tuulivoima	Aurinkoenergia	Maalämpö	Ilmalämpö (sähkö)	Ilmalämpö (öljy)
Pohjois-Pohjanmaa					
Tuotos (€/MW)	313 614	1 206 032	2 825 089	220 487	219 623
Arvonlisäys (€/MW)	134 630	520 937	1 172 302	95 576	95 217
Työllisyys (työllistä/MW)	2	9	20	2	2
Oulun seutukunta					
Tuotos (€/MW)	307 639	1 191 328	2 715 143	216 312	215 179
Arvonlisäys (€/MW)	131 425	504 639	1 104 159	91 987	91 506
Työllisyys (työllistä/MW)	2	8	18	2	2
Oulunkaaren seutukunta					
Tuotos (€/MW)	286 804	1 060 968	2 511 449	169 713	190 159
Arvonlisäys (€/MW)	138 836	513 094	1 176 235	78 229	93 187
Työllisyys (työllistä/MW)	2	10	20	2	2
Nivala-Haapajärven seutukunta					
Tuotos (€/MW)	287 275	1 059 241	2 558 029	158 660	205 125
Arvonlisäys (€/MW)	131 239	490 001	1 136 989	71 615	94 349
Työllisyys (työllistä/MW)	2	9	20	2	2

Seutukunnat eivät summaudu maakuntaan, koska vaikutukset on arvioitu kullekin alueelle omalla panos-tuotosmallillaan.

Uusiutuvan energian vaihtoehtoja voidaan vertailla keskenään tarkastelemalla samanaikaisesti sekä tehtyjen investointien aikaansaamia työllisyysvaikutuksia että kasvihuonekaasupäästövähennyksiä. Kuvassa 9 eri teknologioita on tarkasteltu alueittain suhteuttamalla työllisyysvaikutukset ja kasvihuonekaasupäästövähennykset investointikustannuksiin¹⁶. Vaaka-akselilla on kuvattu päästövähennys (Mkg CO₂e) suhteessa investointikustannukseen (M€). Tarkastelussa on lisäksi huomioitu investoinnin pitoaika, joten suhdeluku lasketaan vuosittaisista päästövähennyksistä ja jaksotetuista investointimenoista. Pystyakselilla taas on kuvattu tarkastelualueelle kohdistuvat kokonaistyöllisyysvaikutukset (työllistä) jaettuna investoinnin kokonaismäärällä (M€). Näin jokaista teknologiainvestointia voidaan tarkastella sekä työllisyysvaikutuksen että päästövähennyksen näkökulmasta samanaikaisesti.



Kuva 9. Uusiutuvan energian vaihtoehtojen työllisyysvaikutukset ja päästövähennyskapasiteetit suhteessa investointikustannuksiin.

Päästövähennyskapasiteetin näkökulmasta ilmalämpöpumppujen asentaminen tukilämmitysjärjestelmäksi öljylämmitteisiin rakennuksiin on paras vaihtoehto. Tällöin vähäpäästöisellä sähköllä korvataan lämmityksessä öljyä ja vieläpä varsin hyvällä hyötysuhteella. Samankaltainen substituoitio tapahtuu maalämpöratkaisussa, mutta kyseinen investointi on selvästi kalliimpi kuin ilmalämpöpumpun asentaminen. Aurinko- ja tuulivoimakapasiteetin rakentamisen seurauksena fossiilisiin polttoaineisiin perustuva sähköntuotanto korvataan päästöttömällä tuotannolla. Ilmalämpöpumppujen asentaminen sähkölämmitteisiin taloihin johtaa lämmityssähkön kulutuksen vähenemiseen. Aurinkoenergialla on heikoin päästövähennyskerroin suhteessa investointiin korkeiden kustannusten ja tuulivoimaa alhaisemman tuotannon vuoksi. Lisäksi syynä on aurinkosähkön tuotannon osuminen sellaisiin ajankohtiin, jolloin sähköntuotannon tunneittainen päästökerroin on varsin alhainen.

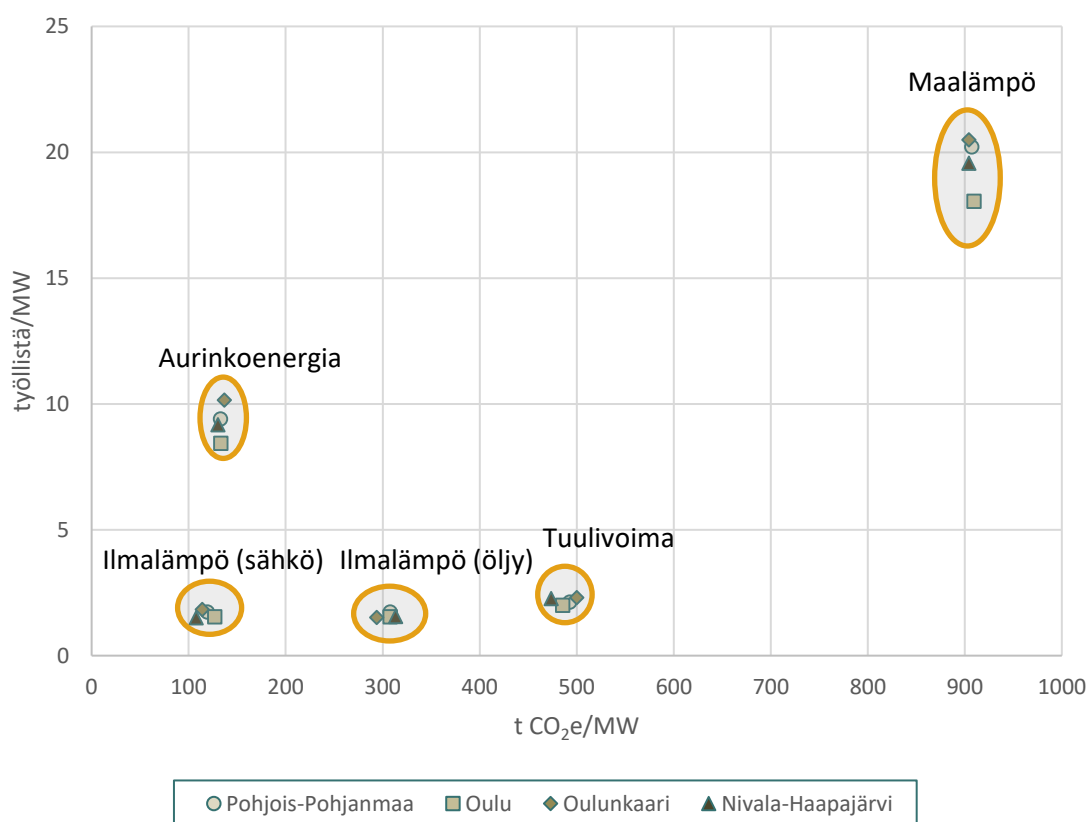
Alueelle kohdistuvien työllisyysvaikutusten osalta maalämpö on paras vaihtoehto, kun huomioidaan investointikustannukset. Taustalla on maarakennus- ja asennuskustannusten suurehko osuus kokonaisinvestoinnista. Tuulivoiman työllistävä vaikutus jää alhaisimmaksi, koska investoinnin kokonais-

¹⁶ Tässä tarkastelussa on käytetty kokonaisinvestointikustannuksia eli myös niitä kustannuksia, jotka kohdistuvat aluetalouden ulkopuolelle. Talousvaikutuksia arvioitaessa on käytetty vain aluetalouteen kohdistuvia investointikysyntäshokkeja, jotka ovat kokonaisinvestointeja pienempiä.

summasta vain noin 16 % kohdistuu aluetalouteen. Eri teknologiainvestointien tämänhetkiselällä kustannustasolla voidaan havaita vaihtokauppaa työllisyysvaikutusten ja päästövähennyksen välillä.

Kuvassa 10 uusiutuvan energian teknologioiden työllisyysvaikutuksia ja päästövähennyksiä on tarkasteltu suhteessa asennettuun tehoon (MW). Asennetun tehon päästövähennyskapasiteetti riippuu sekä korvattavasta polttoaineesta että käytetyn teknologian hyötysuhteesta. Maalämmön päästövähennyskapasiteetti on suurin, koska sen hyötysuhde on hyvä ja se korvaa lämmityksessä öljyä. Tuulivoiman hyötysuhde on parempi kuin esimerkiksi aurinkoenergialla molempien tuottaessa nollapäästöistä sähköä. Ilmalämpöpumppujen asentaminen öljylämmitteisiin rakennuksiin vähentää päästöjä enemmän kuin sähkölämmitteisiin taloihin asennettaessa.

Maalämpö on paras vaihtoehto myös suhteutettaessa alueellisia työllisyysvaikutuksia asennettuun kapasiteettiin. Toiseksi paras vaihtoehto on aurinkoenergia muiden tuotantoteknologioiden ollessa varsin tasaväkisiä vähäisellä työllistämiskapasiteetilla suhteessa asennettuun tehoon.



Kuva 10. Uusiutuvan energian vaihtoehtojen työllisyysvaikutukset ja päästövähennyskapasiteetit suhteessa asennettuun tehokapasiteettiin.

Uusiutuvan energian investointien kannattavuutta on tarpeen arvioida myös yksittäisten kotitalouksien näkökulmasta. Hajautetun uusiutuvan energiapotentiaalin käyttöönotto kotitalouksissa edellyttää toimenpiteiden taloudellista kannattavuutta tai taloudellisten kannustimien puuttuessa muita syitä (uuden teknologian käyttömukavuus, halu kokeilla uutta teknologiaa, pienentää omaa hiilijalanjälkeä tai toimia muutoksen etulinjassa, ks. esim. Ruokamo 2016). Kotitalouskohtainen tarkastelu on toteutettu keskittymällä erillisiin pientaloihin (omakotitalot) ja niihin soveltuviin teknologioihin. Siksi tuulivoima on jätetty tarkastelun ulkopuolelle.

Taulukossa 24 on esitetty uusiutuvan energian teknologioiden kotitalouskohtaiset tunnusluvut. Investointikustannukset sisältävät arvonlisäveron eikä niistä ole poistettu mahdollisia kotitalousvähennyksiä. Maalämpöratkaisu on kustannuksiltaan kallein, mutta vastaavasti vuosittaiset säästöt ja päästövähennykset ovat suurimmat.

hennykset ovat suurimmat. Takaisinmaksuaika on noin 10 vuotta ja investoinnin sisäinen korkokanta on 7,5 %. Investointi aurinkoenergiaan on toiseksi kallein, mutta vuosittaiset säästöt ja päästövähennykset jäävät vertailun pienimmiksi. Hankinnan takaisinmaksuaika venyy yli 30 vuoteen eli investoinnin pitoaikaa pidemmäksi. Tästä syystä sisäinen korkokanta on negatiivinen. Kotitalouden investointi aurinkoenergiaan on siis taloudellisessa mielessä kannattamaton nykyisellä hintatasolla. Ilmalämpöpumppujen hankinta on halvin vaihtoehto. Etenkin öljylämmitteisessä talossa takaisinmaksuaika on lyhyt ja sisäinen korkokanta nousee huomattavan korkeaksi, yli 26 %:n. Taloudellisesti arvioiden tällainen investointi on erittäin kannattava.

Taulukko 24. Uusiutuvan energian vaihtoehtojen kotitalouskohtaiset tunnusluvut.

	Maalämpö	Ilmalämpö (öljy)	Ilmalämpö (sähkö)	Aurinkoenergia
Investointikustannukset	18 414 €	2 480 €	2 480 €	8 221 €
Säästöt/v	1 800 €	672 €	495 €	236 €
investointikustannus/v	921 €	165 €	165 €	329 €
päästövähennys t CO2/v	5,62	2,15	0,75	0,50
Pitoaika, v	20	15	15	25
Takaisinmaksuaika, v	10,2	3,7	5,0	34,9
Sisäinen korkokanta	7,5 %	26,3 %	18,4 %	-1,7 %

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä raportissa tarkasteltiin hajautetun uusiutuvan energian potentiaalien hyödyntämisen aluetaloudellisia ja päästövaikutuksia ENVIREGIO-mallilla. Mallinnus toteutettiin uusiutuvan energian potentiaaleihin perustuvana skenaariotarkasteluna. Potentiaalit määriteltiin kahdeksassa Pohjois-Pohjanmaan maakunnan alueella sijaitsevassa kunnassa. Kartoitettavat potentiaalit käsittelivät tuulivoimaa, aurinkoenergiaa, maalämpöä, ilmalämpöä sekä puupolttoaineita.

ENVIREGIO-malli on alueellinen päästölaajennettu panos-tuotosmalli. Alueelliset panos-tuotosmallit tuotettiin alueellistamalla koko maan panos-tuotosmalli maakunta- ja seutukuntatasoille. Malliin kytkettiin toimialoittaiset ekvivalentit kasvihuonekaasupäästöt. Tyypillisesti energiatehokkuustoimenpiteiden päästövaikutuksia arvioidaan käyttäen yhtä kiinteää päästökerrointa. Tässä raportissa kehitämme vaihtoehdoisen tavan arvioida uusiutuvan energian syrjäyttämien vuosittaisten päästöjen määrää laskemalla tuntikohtaiset päästökertoimet ja tuntikohtaiset uusiutuvan energian tuotantomäärät. Aluetaloudellisten vaikutusten lisäksi arvioitiin uusiutuvan energian investointien kannattavuutta yksittäisen omakotitalouden osalta.

Mallinnuksen tulokset osoittavat, että energiapotentiaalien aktivoinnista seuraa huomattavia aluetaloudellisia vaikutuksia tuotokseen, arvonlisään sekä työllisyyteen. Uusiutuvan energian potentiaalien hyödyntämisen kannattavuus taloudellisesta näkökulmasta vaihtelee kuitenkin selkeästi. Öljylämmityksen korvaaminen joko maa- tai ilmalämmöllä on erityisen tehokas tapa vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Sen sijaan aurinkoenergiainvestoinnit eivät ole yhtä päästötaloudellisia. Suuren mittakaavan tuulivoimainvestoinnit työllistävät ja vähentävät päästöjä merkittävästi.

Mallilla tarkasteltiin myös lämmityksen polttoainevaihtoa turpeesta ja kevyestä polttoöljystä metsähakkeeseen. Tässä skenaariossa ei oletettu investointeja, joten tarkastelu keskittyi jatkuvan toiminnan vaikutuksiin. Lämmityksen polttoainevaihto merkitsee alueellisten energiavarojen hyödyntämisessä siirtymistä turpeen nostosta metsähakkeen tuotantoon. Kokonaisuutena polttoainevaihdoksen vaikutukset tuotokseen ja arvonlisäykseen olivat lievästi positiivisia, mutta työllisyysvaikutus jäi lievästi negatiiviseksi. Tulosten pohjalta voidaan kuitenkin todeta, että siirtymä on käytännössä työllisyysneutraali.

Mallinnuksen pohjalta voidaan ottaa kantaa vähähiilisyttä edistävien energiainvestointien tärkeysjärjestykseen. Kun suhteutetaan eri teknologioiden työllisyysvaikutuksia ja päästövähennyksiä tarvittaviin investointeihin, ilmalämpöpumput ja maalämpöpumput öljylämmitteisiin taloihin ovat parhaimmat vaihtoehdot. Kun vastaava suhteutus tehdään asennettua tehoa kohti, maalämpöpumput ovat selkeästi paras vaihtoehto. Omakotitalokohtaiset tulokset ovat samansuuntaisia: ilmalämpöpumppujen hankkiminen niin öljy- kuin sähkölämmitteisiin taloihin maksavat itsensä nopeimmin takaisin. Myös maalämpöinvestoinnit ovat taloudellisesti kannattavia. Investoinnit aurinkoenergiaan eivät nykyisellä hintatasolla ja mallinnuksessa käytetyillä oletuksilla näyttäyty taloudellisesti kannattavina. Julkisen vallan toimenpiteet (taloudelliset kannustimet, informaatio-ohjaus) olisivatkin syytä kohdentaa lämpöpumppujen asentamiseen öljylämmitteisissä kohteissa, mikäli halutaan nopeita päästövähennyksiä kohtuullisin investointikustannuksin. Toimenpiteet tuottavat myös myönteisiä aluetaloudellisia vaikutuksia.

Mallissa on useita kehitysmahdollisuuksia tulevaisuudessa. Kasvihuonekaasupäästöjen osalta data-pohjaa voisi laajentaa alueellisten päästötietojen suuntaan. Tällöin mallissa voitaisiin huomioida paremmin alueelliset erot toimialojen päästöintensiteetissä. Kasvihuonekaasupäästöjen rinnalle malliin voidaan tuoda myös muita ympäristövaikutuksia ENVIMAT-mallin (Seppälä ym. 2009) tapaan. Lisäksi malli on muokattavissa tuote x toimiala -muotoon nykyisen toimiala x toimiala -tarkastelun sijaan. Tällöin mallin tarkkuustaso lisääntyisi.

Liite 1: Skenaarioiden laskentaoletukset

Aurinkoenergiaskenaario

Taulukko 1. Sähkön siirtohinnot.

Siirtohinnot	€/MWh
Muhos	41,94
Ii	45,69
Kempele	41,94
Tyrnävä	41,94
Liminka	55,35
Kärsämäki	68,76
Nivala	68,76
Pyhäjärvi	68,76

Lähde: Energiavirasto (vuoden 2014 keskihinta)

Taulukko 2. Invertterien hinnat.

	5kVA SMA Sunny Tripower 5000TL-20, kolmivaiheinen	5kVA SMA Sunny Tripower 5000TL-20, kolmivaiheinen	15kVA SMA Sunny Tripower 15000TL-30	50kVA SMA Sunny Tripower CORE1
kpl	3992	128	14	89
hinta (alv 0%) €	1229	1229	2137	4333
kate 20% €	245,8	245,8	427,4	866,6
kate yht. €	981233,6	31462,4	5983,6	77127,4
asennus €	545	545	545	545
asennus yht. €	2175640	69760	7630	48505

Lähde: <http://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkoenergiala/invertteri/>. Asennushinta arvioitu invertterien hintojen ja Oulun Energian kirjallisen tiedonannon pohjalta (5.10.2018).

Lämmitysskenaario

Kevyt polttoöljy

- 65,85 snt/litra (veroton hinta), Öljy- ja biopolttoaineala ry - Öljytuotteiden kuluttajahintaseuranta, ka. hinta vuodelta 2014
- katteeksi on arvioitu 25 % (Tilastokeskus, http://tilastokeskus.fi/artikkelit/2011/art_2011-05-25_001.html?s=1).

Turve

- 13,5 €/MWh (ilman valmisteveroa), Tilastokeskus 2014.

Metsähake

- 21,26 €/MWh (veroton hinta), Tilastokeskus 2014.

Pilkepuu

- 38,49 €/MWh (veroton), Oulun alueen myyjien ka. irtomottihinta (joulukuu 2017).

Maalämpöpumppujen referenssihinnat (laite ja asennus, kate, Oulun alueen myyjien hintatietoja)

- laite 6 kW, 5200 € (alv. 0%), myyntikate 20 %
- lämpökaivon poraus, 5650 € (alv. 0%), 170 metrin poraus ja 10 m maaporausta
- asennus 4000 € (alv. 0%)
- mitoitettu yhteen pientaloon
- rivi- ja kerrostaloihin kustannukset on skaalattu kasvattamalla niitä lineaarisesti keskimääräisen, tarkastelutapa-alueen pinta-alaan mukaisesti.

Ilmalämpöpumppujen referenssihinnat (laite ja asennus, kate, Oulun alueen myyjien hintatietoja)

- laite 6,7 kW, 1300 € (alv. 0%), myyntikate 20%
- asennus 700 € (alv. 0%)
- mitoitettu yhteen pientaloon
- rivitaloihin kustannukset on skaalattu käyttämällä kaksinkertaisia kustannuksia (arvioitu keskiarvopinta-alojen perusteella).

Liite 2: Panos-tuotosmallin toimialatiedot

Taulukko 1. Alueellisten panos-tuotosmallien toimialajako.

Pohjois-Pohjanmaa	Seutukunnat
01 Maatalous ja metsästys	01 Maatalous ja metsästys
02_03 Metsätalous ja kalatalous	02_03 Metsätalous ja kalatalous
05_09 Kaivostoiminta ja louhinta	05_09 Kaivostoiminta ja louhinta
10_12 Elintarviketeollisuus ym.	10_12 Elintarviketeollisuus ym.
13_15 Tekstiili-, vaatetus- ja nahkateollisuus	13_15 Tekstiili-, vaatetus- ja nahkateollisuus
16 Puuteollisuus	16 Puuteollisuus
17 Paperiteollisuus	17_23 Paperiteollisuus ja painaminen; Kemianteollisuus; Rakennusaineteollisuus
18 Painaminen	24_25 Metallien jalostus ja metallituotteiden valmistus (pl. koneet ja laitteet)
19_21 Kemianteollisuus (pl. kumi- ja muovituotteet)	26_30 Sähkö- ja elektroniikkateollisuus; Muiden koneiden ja laitteiden valmistus; Kulkuneuvojen valmistus
22 Kumi- ja muovituotteiden valmistus	31_33 Huonekalujen valmistus; Muu teollinen valmistus; Koneiden ja laitteiden korjaus, huolto ja asennus
23 Rakennusaineteollisuus	35_39 Energiahuolto; Vesi- ja jätehuolto
24 Metallien jalostus	41_43 Rakentaminen
25 Metallituotteiden valmistus	45_47 Tukku- ja vähittäiskauppa, moottoriajoneuvojen ja moottoripyörien korjaus
26 Elektroniikkateollisuus	49_53 Kuljetus ja varastointi
27 Sähkölaitteiden valmistus	55_56 Majoitus- ja ravitsemistoiminta
28 Muiden koneiden ja laitteiden valmistus	58_63 Kustannustoiminta; Audiovisuaalinen toiminta; Televiestintä; Tietojenkäsittelypalvelu
29_30 Kulkuneuvojen valmistus	64_66 Rahoitus- ja vakuutustoiminta
31_32 Muu valmistus ml. huonekalut	68 Kiinteistöalan toiminta
33 Koneiden ja laitteiden korjaus, huolto ja asennus	69_75 Ammatillinen, tieteellinen ja tekninen toiminta
35 Energiahuolto	77_82 Hallinto- ja tukipalvelutoiminta
36_39 Veden otto, puhdistus ja jakelu; Jäte- ja jätevesihuolto	84 Julkinen hallinto ja sosiaalivakuutus
41_43 Rakentaminen	85 Koulutus
45 Autojen ym. kauppa, korjaus ja huolto	86_88 Terveys- ja sosiaalipalvelut
46 Tukku- ja vähittäiskauppa (pl. autot ym.)	90_98 Taiteet, viihde ja virkistys; Muu palvelutoiminta; Kotitalouspalvelut
47 Vähittäiskauppa (pl. autot ym.)	
49 Maaliikenne	
50_51 Vesiliikenne; Ilmaliikenne	
52_53 Varastointi ja liikennettä palveleva toiminta; Posti- ja kuriiritoiminta	
55_56 Majoitus- ja ravitsemistoiminta	
58 Kustannustoiminta	
59_60 Audiovisuaalinen toiminta	
61 Televiestintä	
62_63 Tietojenkäsittelypalvelu	
64 Rahoitustoiminta	

65_66 Vakuustointoiminta ym.; Rahoitusta ja vakuutusta palveleva toiminta	
68 Kiinteistöalan toiminta	
69_70 Liikkeenjohdon palvelut	
71 Tekniset palvelut	
72 Tieteellinen tutkimus ja kehittäminen	
73 Mainostoiminta ja markkinatutkimus	
74_75 Muut liike-elämän palvelut ja eläinlääkintä	
77 Vuokraus- ja leasingtoiminta	
78 Työllistämistoiminta	
79 Matkatoimistot	
80_82 Muut tukipalvelut	
84 Julkinen hallinto ja sosiaalivakuutus	
85 Koulutus	
86 Terveyspalvelut	
87_88 Sosiaalipalvelut	
90_92 Kulttuuritoiminta ja rahapelit	
93 Urheilu-, huvi- ja virkistyspalvelut	
94 Järjestöjen toiminta	
95 Kotitaloustavaroiden korjaus	
96 Muut henkilökohtaiset palvelut	
97_98 Kotitalouspalvelut	

Taulukko 2. Tuotantokertoimet.

	Pohjois-Pohjanmaa	Oulu	Oulunkaari	Nivala-Haapajärvi
Tuulivoima	1,548	1,519	1,416	1,418
Aurinkoenergia	1,543	1,510	1,402	1,417
Maalämpö	1,586	1,524	1,423	1,439
Ilmalämpö, öljy	1,539	1,509	1,400	1,415
Ilmalämpö, sähkö	1,540	1,509	1,400	1,415

SANASTO

COP coefficient of performance, lämpökerroin

GWh gigawattitunti

kWh kilowattitunti

kWp aurinkopaneelista saatava huipputeho (kilowatt peak)

MWh megawattitunti

arvonlisäyskerroin arvonlisäyskerroin kuvaa toimialan arvonlisäyksen osuutta toimialan tuotoksesta

kapasiteettikerroin tuotantoteknologioiden todellinen vuosituotanto jaettuna teoreettisella maksimituotannolla

päästökerroin myös ominaispäästökerroin; tuotannon aiheuttamat päästöt tuotettua energiayksikköä kohti (esim. kgCO₂/MWh)

tuotantokerroin tuotantokerroin kuvaa investoinnin synnyttämien taloudellisten kokonaisvaikutusten suhdetta investointiin

työpanoskerroin työpanoskerroin kuvaa toimialan työllisten suhdetta toimialan tuotokseen

LÄHTEET

- Ainali, S. 2011. Alueiden työllisyyden rakenne ja kehitys tavarantuotannon ja palvelujen vuorovaikutuksessa. Väitöskirjatutkimus. Acta Universitatis Ouluensis, Oeconomica 52. Oulun yliopisto, Oulu.
- Cella, G. 1984. The input-output measurement of interindustry linkages. Oxford Bulletin of Economics and Statistics 46(1), 73–84.
- Chenery, H. B. & Watanabe, T. 1958. International comparisons of the structure of production. Econometrica 26(4), 487–521.
- Energiateollisuus ry. 2018. Energiavuosi 2017. Sähkö. https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/sahkon_hankinta_energialahteittain_2007-2017.html#material-view [Päivitetty 9.11.2018.]
- Energiavirasto. 2018. Sähkön siirron verkonhaltijakohtaiset keskihinnat 2002 lähtien. <https://www.energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>
- ENTSO-E. 2018. Transparency platform. <https://transparency.entsoe.eu/dashboard/show>
- European Commission. 2017. Joint Research Centre. Photovoltaic Geographical Information System. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- Fingrid. 2018. Avoin data. <https://data.fingrid.fi/>
- Flegg A. T. & Webber C. D. 1997. On the appropriate use of location quotients in generating regional input–output tables: reply. Regional Studies 31(8), 795–805.
- Flegg, A. T. & Webber, C. D. 2000. Regional size, regional specialization and the FLQ formula. Regional Studies 34(6), 563–569.
- Flegg A. T., Webber C. D. & Elliott M. V. 1995. On the appropriate use of location quotients in generating regional input–output tables. Regional Studies 29(6), 547–561.
- Flegg, A. T. & Tohmo, T. 2013. Regional input-output models and the FLQ formula: A case study of Finland. Regional Studies 47(5), 703–721.
- Forssell, O. 1985. Panos-tuotomallit. ETLA elinkeinoelämän tutkimuslaitos Sarja B 46. Helsinki.
- Gaia Consulting Oy. 2014. Lämpöpumppuinvestointien alue- ja kansantaloudellinen tarkastelu.
- Harrigan, F. J., McGilvray, J. W. & McNicoll, I. H. 1980. Simulating the structure of a regional economy. Environment and Planning 12(8), 927–936.
- Hirschman, A. 1958. The Strategy of Economic Development. New Haven: Yale University.
- Holtinen, H. & Peltola, E. 2009. Nord Vind. Windpower technology: history, status and vision. VTT. Research Report.
- Ilmatieteen laitos. 2018. Avoin data. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>
- Jaatinen, K. 2016. Aurinkovoimaloiden rakentamisen tehostaminen. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. 92 sivua. <http://URN.fi/URN:NBN:fi:tyy-201606224305>
- Jiang, X., Dietzenbacher, E. & Los, B. 2012. Improved estimation of regional input-output tables using cross-regional methods. Regional Studies 46(5), 621–637.
- Karhinen, S. 2013. Rovaniemen Energia -konsernin toiminnan aluetaloudelliset vaikutukset. Pro gradu -tutkielma, Oulun yliopisto.
- Koistinen, A. & Äijälä, O. 2005. Energiapuun korjuu. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.
- Kowalewski, J. 2013. Regionalization of national input-output tables: Empirical evidence on the use of the FLQ formula. Regional Studies 49(2), 240–250.
- Kärhä, K., Elo, J., Lahtinen, P., Räsänen, T., Keskinen, S., Saijonmaa, P., Heiskanen, H., Strandström, M. & Pajuoja, H. 2010. Kiinteiden puupolttoainesten saatavuus ja käyttö Suomessa vuonna 2020. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 66/2010.
- Laitinen, A. 2016. Ilma-ilmalämpöpumppujen energiankulutusvaikutukset pientaloissa. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.
- Lehtonen, O. & Tykkyläinen, M. 2012. Estimating regional input coefficients and multipliers: is the choice of a non-survey technique a gamble? Regional Studies, 1–18.

- Liski, J., Repo, A., Känkänen, R., Vanhala, P., Seppälä, J., Antikainen, R., Grönroos, J., Karvosenoja, N., Lähtinen, K., Leskinen, P., Paunu, V.-V. & Tuovinen, J.P. 2011. Metsäbiomassan energiakäytön ilmastovaikutukset Suomessa. Suomen ympäristö 5/2011.
- McCann, P. & Dewhurst, J. H. 1998. Regional size, industrial location and input-output expenditure coefficients. *Regional Studies* 32(5), 435–444.
- Mayer, W. & Pleeter, S. 1975. A theoretical justification for the use of location quotients. *Regional Science and Urban Economics* 5(3), 343–355.
- Miller, R. E. & Blair, P. D. 2009. *Input–Output Analysis: Foundations and Extensions*. 2. painos. New Jersey: Prentice-Hall.
- Motiva. 2018a. Aurinkosähkö-nettisivusto. <https://www.motiva.fi/aurinkosahko>
- Motiva. 2018b. Aurinkolämpö-nettisivusto. <https://www.motiva.fi/aurinkolampo>
- Motiva. 2018c. Lämpöpumput-sivusto. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput
- Oulun Energia. 2018. Aurinkopaneeli kotiin. <https://www.ouluenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkoa-kotiin/aurinkopaneeli-kotiin>
- Pesola, A., Vanhanen, J., Hagström, M., Karttunen, V., Larvus, L., Hakala, L. & Vehviläinen, I. 2014. Sähkön pientuotannon kilpailukyvyyn ja kokonaistaloudellisten hyötyjen analyysi. Loppuraportti 3.10.2014. Gaia Consulting Oy.
- Pohjois-Pohjanmaan liitto. 2011. Pohjois-Pohjanmaan ja Keski-Pohjanmaan manneralueen tuulivoimaselvitys. Julkaisu B66.
- Pöyry Management Consulting Oy. 2017. Hajautetun uusiutuvan energiantuotannon potentiaali, kannattavuus ja tulevaisuuden näkymät Suomessa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 5/2017.
- Richardson, H. W. 1972. *Input-output and regional economics*. Lontoo: Weidenfeld & Nicolson.
- Round J. I. 1978. An interregional input–output approach to the evaluation nonsurvey methods. *Journal of Regional Science* 18(2), 179–194.
- Ruokamo, E. 2016. Household preferences of hybrid home heating systems – A choice experiment application. *Energy Policy* 95: 224–237.
- Seppälä, J., Mäenpää, I., Koskela, S., Mattila, T., Nissinen, A., Katajajuuri, J.–M., Härmä, T., Korhonen, M.–R., Saarinen, M. & Virtanen, Y. 2009. Suomen kansantalouden materiaalivirtojen ympäristövaikutusten arviointi ENVIMAT-mallilla. Suomen ympäristö 20/2009, Suomen ympäristökeskus (SYKE).
- Smith, P. & Morrison, W. I. 1974. *Simulating the Urban Economy: Experiments with Input-Output Techniques*. Lontoo: Pion.
- Suomen lämpöpumppuyhdistys SULPU ry. 2016. Lämpöpumppujen merkitys ja tulevaisuus.
- Suomen lämpöpumppuyhdistys SULPU ry. 2017. Lämpöpumppujen asennustilastoja.
- Suomen metsäkeskus. 2015. Yksityismetsien metsävaratieto. Alueellinen metsävaratieto yksityismetsistä taulukkotietona (Excel-tiedosto 22.9.2015). <http://www.metsakeskus.fi/yksityismetsien-metsavaratieto#.VymYJmxf270>
- Suomen Tuulivoimayhdistys ry. 2017a. Tuulivoima Suomessa 2016. Vuositilastot. <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tilastot>
- Suomen Tuulivoimayhdistys ry. 2017b Teollinen tuulivoima Suomessa. <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/hankelista>. [Viitattu 23.7.2018.]
- Statistics Finland. 2018. Greenhouse Gas Emissions in Finland 1990 to 2016. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol.
- Suomen virallinen tilasto (SVT). 2017. Aluutilinpito 2014 [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-3393. Helsinki: Tilastokeskus. <http://www.stat.fi/til/altp/tjulk.html> [Viitattu 18.2.2019.]
- Suomen virallinen tilasto (SVT). 2018. Energian hankinta ja kulutus [verkkojulkaisu]. 4. vuosineljännes 2017. Helsinki: Tilastokeskus. http://www.stat.fi/til/ehk/2017/04/ehk_2017_04_2018-03-28_tie_001_fi.html. [Viitattu 29.5.2018.]
- Suomen virallinen tilasto (SVT). 2019. Ilmapäästöt toimialoittain [verkkojulkaisu]. ISSN=2323–7589. Helsinki: Tilastokeskus. <http://www.stat.fi/til/tilma/index.html> [Viitattu 18.2.2019.]
- Susiluoto, I. 1999. Aluetalouden kokonaismallit: pääsuuntia ja kehityslinjoja. Tutkimuksia 1999:12. Helsingin kaupungin tietokeskus, Helsinki.
- Tilastokeskus. 2018. Energia 2017-taulukkopalvelu. Eräiden polttoaineiden ja energialähteiden kulutuksen jakautuminen. 2.12. Aurinkoenergia. [Viitattu 29.5.2018.] http://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2017/html/suom0001.htm

- Tohmo, T. 2004. New developments in the use of location quotients to estimate regional input-output coefficients and multipliers. *Regional Studies* 38(1), 43–54.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2017. Taustaraportti kansalliselle energia- ja ilmastostrategialle vuoteen 2030.
- Vakkilainen, E. & Kivistö, A. 2017. Sähkön tuotantokustannusvertailu. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Tutkimusraportti 66.
- Vekara, E. 2016. Kopsa II -tuulipuiston rakentamisen aluetaloudelliset vaikutukset Pohjois-Pohjanmaan maakuntaan. Pro gradu -tutkielma, Oulun yliopisto.



ISBN 978-952-11-5057-9 (nid.)

ISBN 978-952-11-5058-6 (PDF)

ISSN 1796-1718 (pain.)

ISSN 1796-1726 (verkkoj.)