

# SUOMEN ENERGIAVISIO 2030

Suomenkielinen tiivistelmä

# energy visions

# 2030

# FOR FINLAND

ENERGY VISIONS 2030  
FOR FINLAND – YHTEENVETO  
*VTT on luodannut Energy Visions 2030  
for Finland -kirjassa, millainen Suomen  
energiajärjestelmä olisi vuonna 2030 ja  
mitä vaikutuksia valituilla kolmella  
skenaariolla olisi yhteiskuntaan.*

The logo features the words "energy" and "visions" in a bold, orange, sans-serif font. "energy" is positioned above "visions". A green circular graphic with a radial pattern is behind the "visions" text. A thick yellow horizontal bar is located below "visions". To the right of this bar, the year "2030" is written in orange, followed by "FOR FINLAND" in a smaller, black, sans-serif font.

## energy visions 2030 FOR FINLAND

VTT:n asiantuntijoiden kirjoittamassa Energy Visions 2030 for Finland -kirjassa on pohdittu, miltä Suomen energiainfrastruktuuri näyttää 30 vuoden kuluttua. Kirjassa tarkastellaan erityisesti Suomelle ja Suomen viennille tärkeiden energia-tekniologioiden kehittymismahdollisuuksia sekä eri teollisuussektoreiden energiatarpeiden muutoksia. Teos on jatkoa vuonna 1999 julkaistulle Energia Suomessa – Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset -teokselle. Se on suunnattu lähinnä energia-alan asiantuntijoille ja päätöksentekijöille ja kirjoitettu englanniksi, jotta myös kansainvälisillä lukijoilla olisi mahdollisuus tutustua Suomessa käytössä ja kehitteillä oleviin teknisiin ratkaisuihin. Tähän suomenkieliseen tiivistelmään on koottu teoksen ydinviestit ja tärkeimmät kuvat yhteenvedonomaaisesti.

Energiainfrastruktuuri muuttuu erittäin hitaasti. Suurien voimalaitosten ja sähkön jakeluverkon keskimääräinen käyttöikä on yli 20 vuotta. Perusparannusten avulla käyttöikää saadaan lisättyä. Toisaalta kun uudet teknologiat on energia-alalla hyväksytty, ne valtaavat markkinoita hyvin nopeasti. Tästä syystä vuosi 2030 on sopivan kaukana tulevaisuudessa Suomen energiainfrastruktuurin muutoksia tarkasteltaessa.

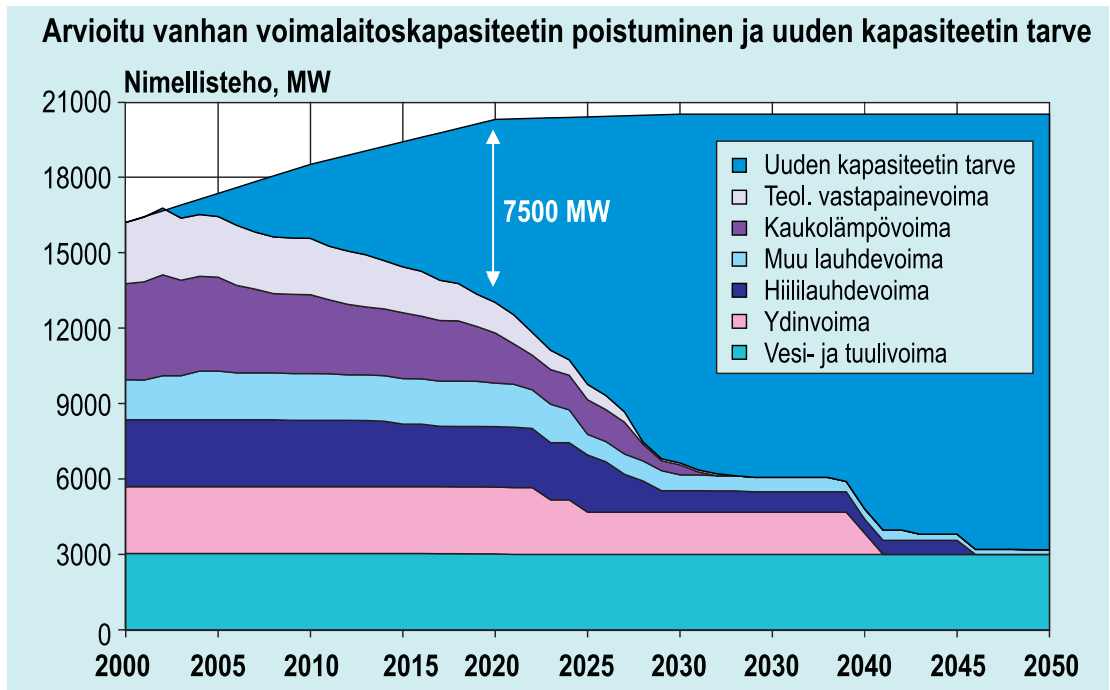
# TULEVAISUUDEN HAASTEET

Kansallisia ja kansainvälisiä energia-alan haasteita ovat mm. energiankulutuksen kasvun hillitseminen, ympäristövaikutusten vähentäminen ja energiainfrastruktuurin vapautuminen.

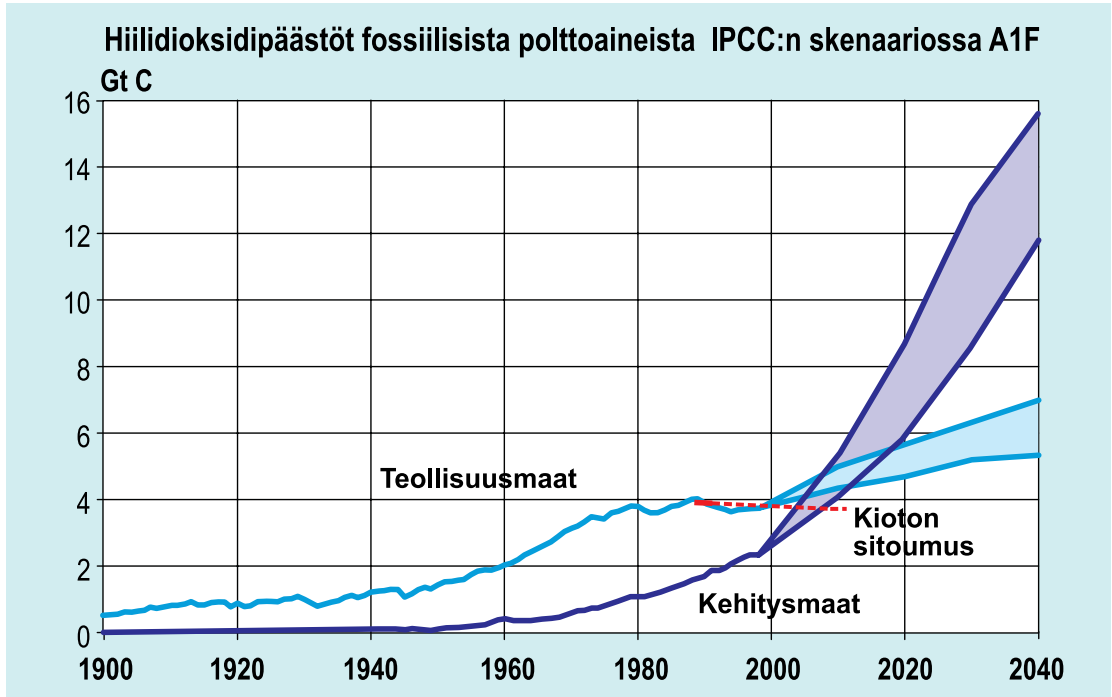
Taloudellinen kasvu ja energian käytön lisääntyminen ovat perinteisesti olleet sidoksissa toisiinsa. Globaalisti tämä trendi näyttää jatkuvan johtuen pääosin kehitysmaiden ja siirtymätalouksien talouskasvusta. IEA (International Energy Agency) ennustaa noin 60 % kasvua globaalissa primäärienergian käytössä seuraavien 20 vuoden aikana. Suomessa talouden rakennemuutoksen johdosta talouskasvu ei ole enää viime vuosina merkinnyt yhtä nopeaa energian kulutuksen kasvua. Tästä huolimatta absoluuttisesti mitattuna etenkin sähkön tarve on kasvanut tasaisesti mutta kasvu tulee todennäköisesti tasaantumaan lähivuosina. Sähkön kulutuksen kasvusta sekä vanhojen voimalaitosten käytöstä poistosta seuraa merkittävä

uuden tuotantokapasiteetin tarve Suomessa, arvioiden mukaan noin 7500 MW vuonna 2020 (kuva 1).

Kasvava energiantarve johtaa lisääntyviin ympäristöpaineisiin. Energian tuotannolla ja kulutuksella on monia haitallisia ympäristövaikutuksia. Ympäristövaikutuksista erityisesti ilmastomuutos tulee muovaamaan merkittävästi tulevaisuuden energiatarkeja. Fossiiliset polttoaineet säilyttävät asemansa vallitsevana primäärienergian lähteenä useissa maissa, erityisesti kehitysmaissa. Fossiilisten polttoaineiden osuus globaalissa energiapaletissa kasvaa edelleen ja osuuden ennustetaan olevan noin 90 % vuonna 2020. Tämän seurauksena hiilidioksidipäästöt kasvavat nopeammin kuin primäärienergian käyttö. Pitkällä aikavälillä ilmastomuutoksen hillintä epäonnistuu elleivät myös kehitysmaat sitoudu siihen (kuva 2). Tämä on suuri haaste globaalille ilmastopoliitikalle.



Kuva 1 Arvioitu vanhan voimalaitoskapasiteetin poistuminen ja uuden kapasiteetin tarve.



Kuva 2 Teollisuus- ja kehitysmaiden hiilidioksidipäästöjen kehittyminen IPCC:n skenaarion mukaan.

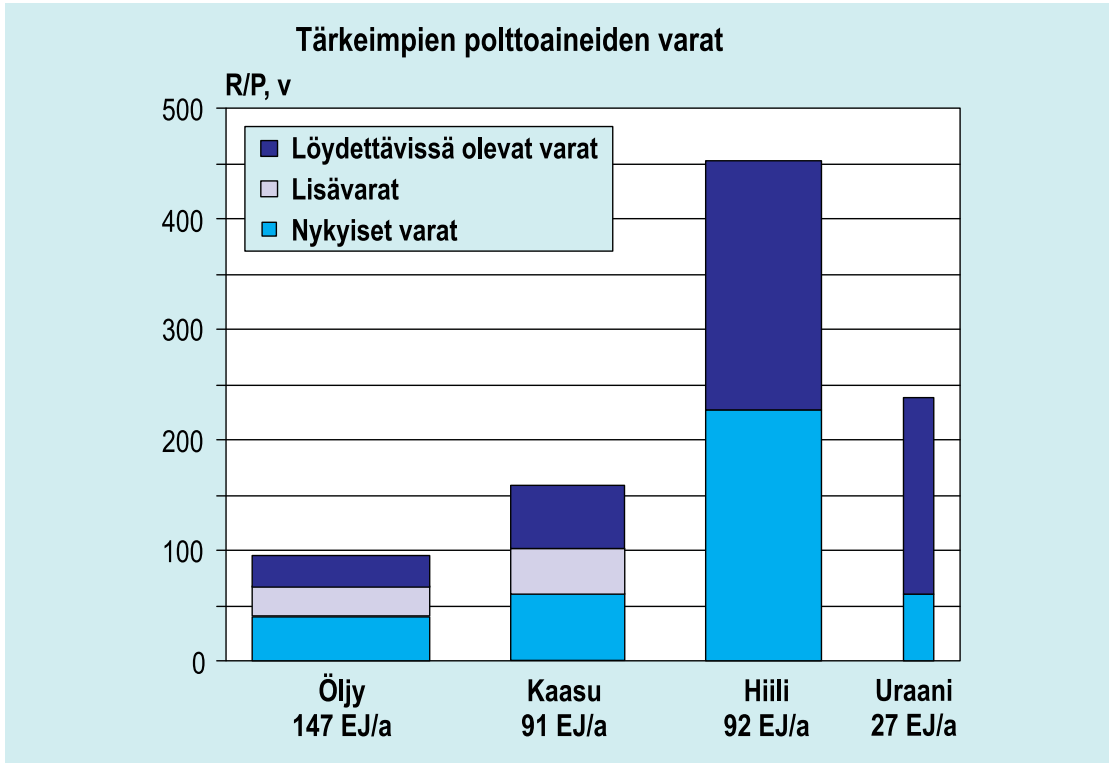
Ilmastomuutoksen hallintaan tarvitaan useita eri keinoja ja näiden yhdistelmiä, kuten energiansäästö, uusiutuvien energialähteiden käyttö, edistyskelliset ydinenergiateknologiat sekä tehokas hiilidioksidin talteenotto- ja loppusijoitusteknologia. Näiden teknologioiden laajamittainen hyödyntäminen edellyttää taloudellisten ohjauskeinojen, kuten verotuksen ja päästökaupan, käyttöönottoa. Ilmastomuutoksen hallinta avaa myös uusia liiketoimintamahdollisuuksia sekä energia- että muille teollisuussektoreille.

Tulevina vuosikymmeninä öljy- ja maakaasuvarojen väheneminen saattaa johtaa geopolitiittisiin ongelmiin. Nykyisellä kulutustasolla öljyvarojen arvioidaan riittävän noin 40 vuotta ja kaasuvarojen vastaavasti noin 60 vuotta (kuva 3). Nämä arviot todennäköisesti kasvavat tulevaisuudessa tuotantoteknologian kehittymisen ja uusien öljy- ja kaasuvarojen löytymisen

ansioista. Öljyn ja maakaasun hintavaihtelut kasvavat varantojen ehtyessä.

Globaalina haasteena on primäärienergiälähteiden keskittyminen yhä harvempiin maihin, riippuvuus Lähi-idän öljystä kasvaa edelleen. Eurooppa ja USA ovat lisääntyvässä määrin riippuvaisia muista fossiilisista polttoaineista tuottavista alueista. Tämä tulee lisäämään maailmanlaajuisia energiakauppaa. Pitkällä aikavälillä globaali energiakauppa tulee siirtymään öljystä ja maakaasusta uusiin energiahyödykkeisiin, kuten metanoliin ja vetyyn. Suomessa energiaomavaraisuuden kehittyminen riippuu pääosin käytettävien energialähteiden valinnasta uutta voimalaitoskapasiteettia rakennettaessa. Riippuvuus tuontipolttoaineista ja kasvavat polttoaineiden hintavaihtelut muodostavat riskin Suomen kansantaloudelle.

Hiilen merkitys polttoaineena tulee kasvaan pitkällä aikavälillä johtuen hiilivarojen



Kuva 3 Tärkeimpien polttoaineiden varat. Pylväiden leveydet vastaavat nykyisiä vuosikulutuksia, pinta-alat varojen suuruuksia ja korkeudet riittävyysä vuosissa nykykulutuksella.

suuresta määrästä ja laajasta alueellisesta jakaumasta verrattuna öljyyn ja maakaasuun.

Energiamarkkinat ovat vapautuneet useissa maissa. Vapauttamisen tavoitteena on ollut energiasektorin tehokkuuden ja kilpailukyvyn lisääminen. Vapautuneilla sähkömarkkinoilla saattaa kuitenkin syntyä ongelmia, kuten laitosinvestointien väheneminen, hintavaihtelujen lisääntyminen sekä sähkön laatutason heikkeneminen. Sähkömarkkinoiden toimivuutta voidaan parantaa yhteisten toimintasäännösten avulla sekä lisäämällä reaaliaikaisia mittauksia. Odotettavissa on, että vuonna 2030 kaikissa EU-maissa sähkömarkkinat on avattu. Yhtenäistä EU:n laajuista sähkömarkkinaa ei ole

saatu aikaan, vaan Euroopassa toimii useita alueellisia sähkömarkkinoita, joiden välillä on siirtoyhteyksiä. Alueelliset hintavaihtelut ovat kuitenkin nykyistä pienemmät.

Liikennesektorin haasteina ovat tulevaisuudessa nopea liikenteen kasvu, lisääntyvät hiilidioksidipäästöt, ilman laadun heikkeneminen erityisesti suurkaupungeissa ja pitemmällä aikavälillä öljyvarojen ehtyminen. Uusia moottoriteknologioita ja uusia energialähteitä tarvitaan näiden haasteiden voittamiseen. Suomen rooli liikenneteknologian ja -järjestelmien kehittämisessä on tulevaisuudessa vähäinen, mahdollisuutemme piilevät uusien teknologioiden nopeassa soveltamisessa Suomen olosuhteisiin.

# ENERGIAN TUOTANTOTEKNOLOGIAT

Pitkällä aikavälillä energian tuotantoteknologiaa muovaavat seuraavat haasteet:

- Maailman väestöstä suuri osa elää kehitysmaissa energiainfrastruktuurin ulottumattomissa. Kehitys näissä maissa johtaa energiankulutuksen kasvuun edellyttäen tulevaisuudessa useiden toisiaan täydentävien tuotantoteknologioiden käyttöä. Uusien edistyskellisten teknologioiden käytön kehitysmuoto tulee olla mahdollista.
- Uusien tuotantoteknologioiden tulee edesauttaa kestävästä kehityksestä ja vähentää ympäristöä ja säästää uusiutumattomia luonnonvaroja. Energian säästö on teknologiatekniikan kehityksen yksi kulmakivi.
- Energian riittävyys sekä siihen liittyvä hintavaihteluiden minimointi edellyttää öljy- ja maakaasuriippuvuuden vähentämistä ja korvaamista enenevässä määrin muilla energialähteillä, kuten uusiutuvat energialähteet ja puhtaammilla fossiilisilla tuotantoteknologioilla.

Suuret fossiilisia polttoaineita käyttävät voimalaitokset pysyvät tulevaisuudessa sähköntuotannon selkärankana maailmanlaajuisesti. Tuotantoteknologian kehitys parantaa niidenkin taloudellisuutta ja vähentää ympäristövaikutuksia: hyötysuhde paranee, rakennusaste kasvaa, savukaasupäästöt hiilidioksidia lukuun ottamatta saadaan lähes täysin poistettua ja seospolttoaineet yleistyvät. Kohtuuhintaista hiilidioksidin talteenottoteknologiaa tarvitaan mikäli ei-fossiiliset tuotantoteknologiat, kuten uusiutuvat energialähteet ja ydinenergia, eivät pysty täyttämään pitemmän aikavälin sähkön tarvetta.

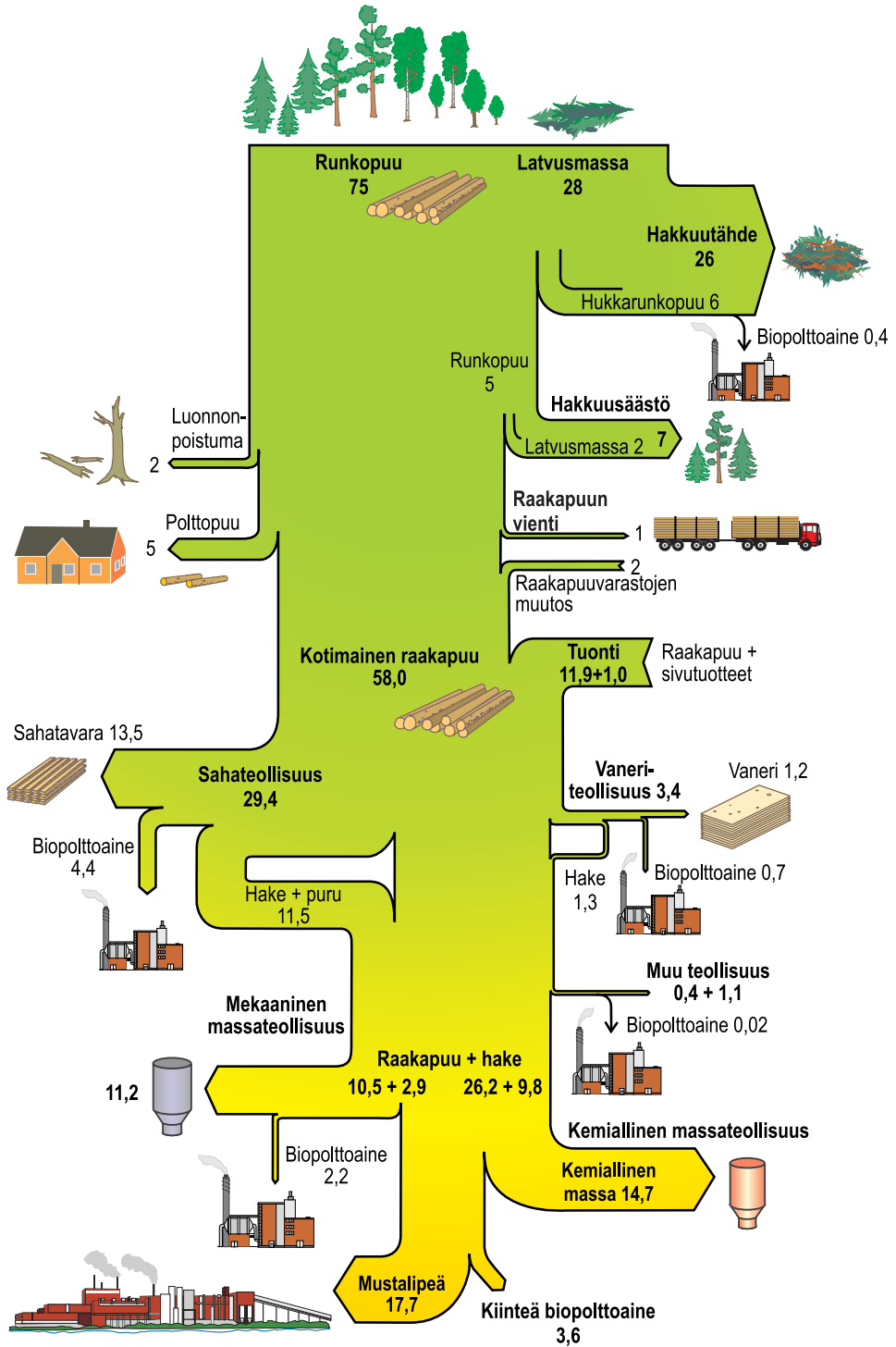
Ydinenergia voi tulevaisuudessa olla mer-

kittävä energian tuotantomuoto jos suuri yleisö ja poliitikot hyväksyvät sen. Keskipitkällä aikavälillä saatamme nähdä toisaalta ydinenergian käytön vähenemistä esimerkiksi Euroopassa, toisaalta uutta kapasiteettia otetaan käyttöön esimerkiksi Kaukoidässä. Käytössä olevien ydinvoimalaitosten modernisoinnin tavoitteena on käyttöiän pidentäminen ja tehon nosto. Tutkimus- ja kehitystyöpanokset suunnataan ydinenergian kilpailukyvyyn parantamiseen, radioaktiivisen jätteen määrän vähentämiseen sekä uusien laitoskonseptien turvallisuuden varmistamiseen. Fuusioreaktorin kaupallinen käyttöönotto siirtyy yli vuoden 2050 ja hyötyreaktorin tarvetta lykkää halpojen uraanivarantojen riittävyys, kun ydinvoiman kokonaiskasvu on hyllyä.

Kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen ja kestävä kehitys aikaansaaminen pitemmällä aikavälillä edellyttävät uusiutuvien energialähteiden kasvavaa käyttöä. Suomessa bioenergia, erityisesti puupolttoaineet ja jätteiden energiakäyttö, on tärkein uusiutuva energialähde. Kuvassa 4 on esitetty puun käyttö Suomessa vuonna 2000. Suomalaisessa tutkimus- ja kehitystyössä kannattaa tulevaisuudessa keskittyä nykyisten huipputuotteiden, kuten polttoaineiden käsittelylaitteet, leijukerrosteknologia ja dieselvoimalat, jatkokehitykseen sekä uusien teknologioiden, kuten kaasutus ja pyrolyysi, kehittämiseen.

Tuulivoimakapasiteetin lisääminen edellyttää tuotantokustannusten laskua, käyttö- ja huoltokustannusten minimointia sekä suurten merituulipuistojen rakentamista Suomen rannikolle. Lisävesivoiman rakentamismahdollisuudet Suomessa ovat rajoitetut. Vesivoimateknologiaa pidetään yleisesti kypsänä teknologiana,

Puun käyttö Suomessa 2000, Mm



Kuva 4 Puun käyttö Suomessa vuonna 2000.

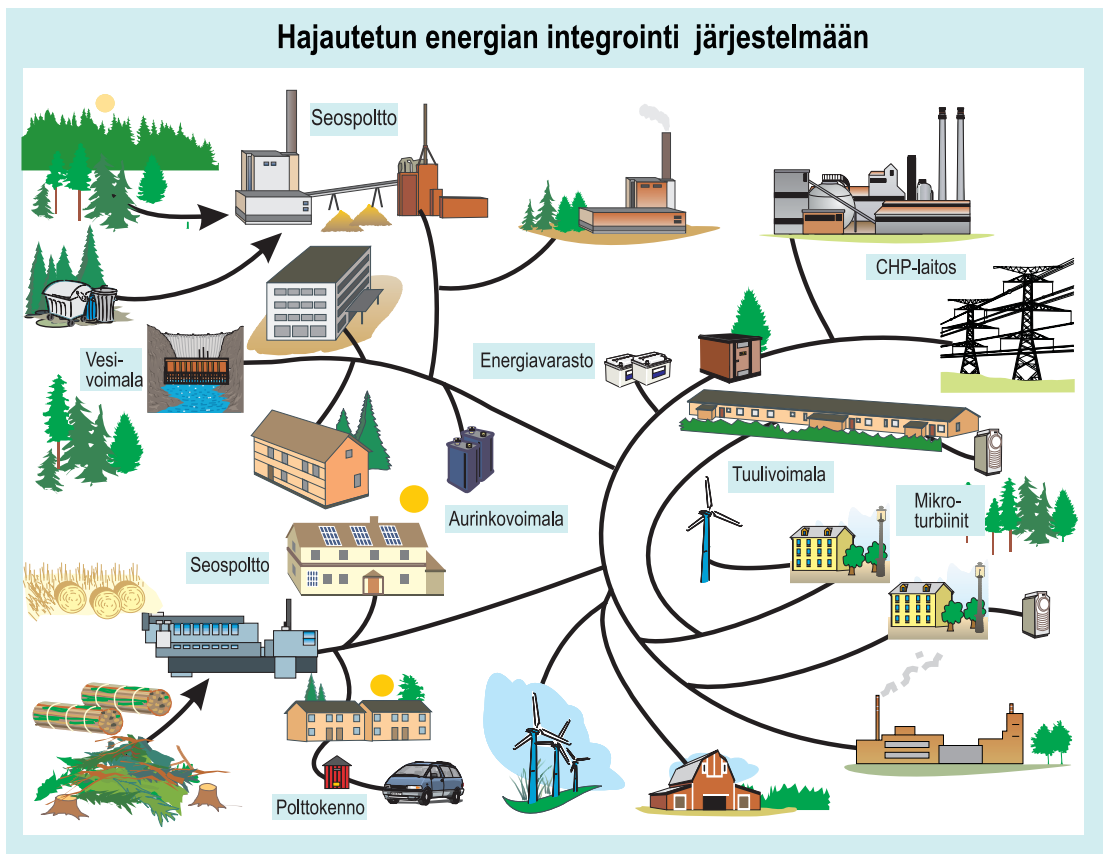


kehitystä on nähtävissä vain rakennus- ja materiaalteknologian osalta. Aurinkosähköpotentiaali Suomessa on myös rajallinen sekä lyhyellä että keskipitkällä aikavälillä. Ainoastaan rakennuksiin integroiduilla aurinkoenergiaratkaisuilla on mahdollisuuksia yleistyä Suomessa. Aurinkolämpöä voidaan käyttää tulevaisuudessa nykyistä tehokkaammin puun ja turpeen kuivatuksessa. Hybridi- eli sekajärjestelmät, jotka koostuvat uusiutuvista ja perinteisistä tuotantomuodoista tai kokonaan erilaisista uusiutuvista energiateknologioista auttavat uusien teknologioiden kaupallistamisessa ja edistävät niiden markkinoille pääsyä.

Lämmön ja sähkön yhteistuotantoa, CHP-tuotantoa, käytetään laajalti Suomessa sekä alueellisessa lämmöntuotannossa että prosessiteollisuudessa. Uudet laitoskonseptit lisäävät

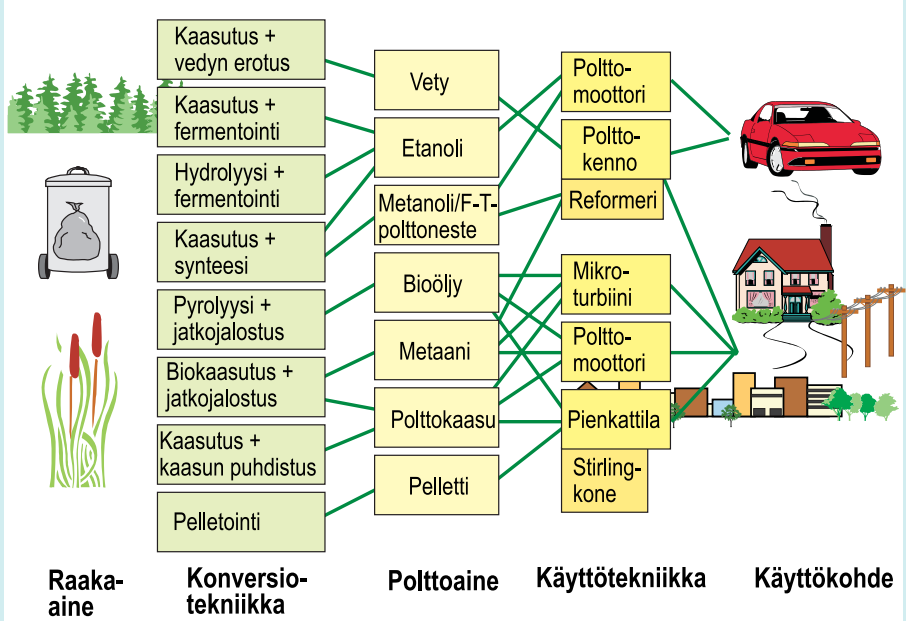
merkittävästi CHP-laitosten rakennussuhdetta. Tulevaisuudessa pienen mittakaavan hajautettu tuotanto, kuten mikroturbiinit ja polttokennot, tarjoavat pienellekin lämmön ja sähkön kuluttajalle uusia teknologisia mahdollisuuksia, alussa pääosin lähellä maakaasun jakeluverkkoa. Polttokennojen ennustetaan olevan lupaus näistä tulevaisuuden hajautetun tuotannon teknologioista. Hajautetun tuotannon kustannustehokkuus saavutetaan modularisoinnin ja standardoinnin avulla. Laitteiden täytyy myös olla luotettavia ja helppokäyttöisiä.

Maailmanlaajuisesti hajautettu tuotanto muodostaa merkittävän vaihtoehdon sekä kehitysmaille, joissa on heikko sähkönjakelujärjestelmä, että kehittyneille maille, joissa on laaja maakaasun jakeluverkko. Hajautettu sähkön- tuotanto voi myös parantaa sähkön laatua sekä



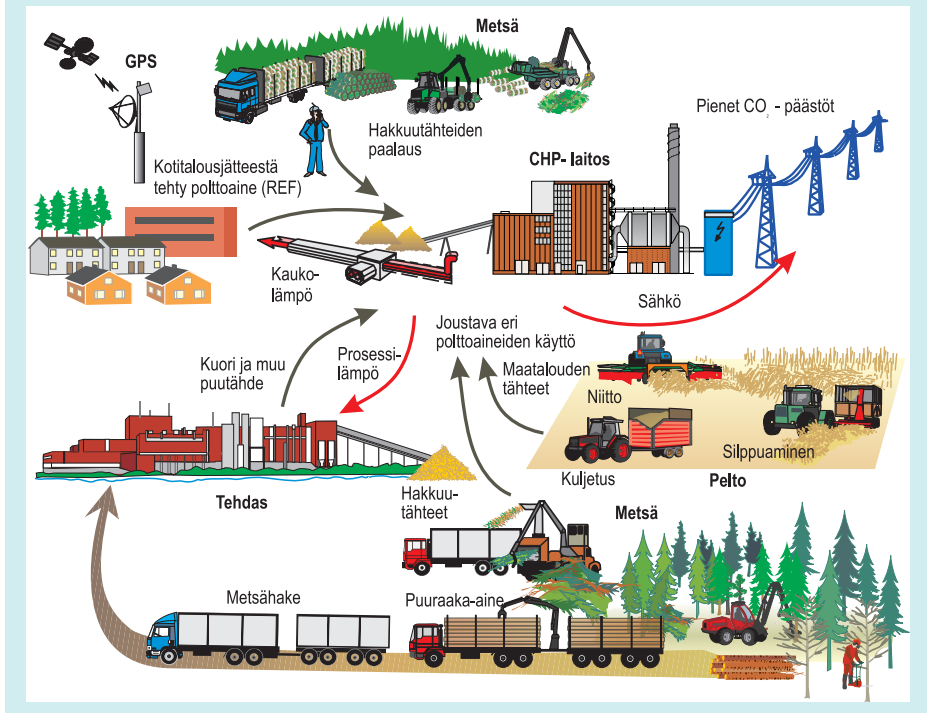
Kuva 5 Hajautetun energian (tuotanto, käyttö ja varastointi) integrointi osaksi energiajärjestelmää.

## Biopolttoaineisiin perustuva hajautettu energian tuotanto ja käyttö

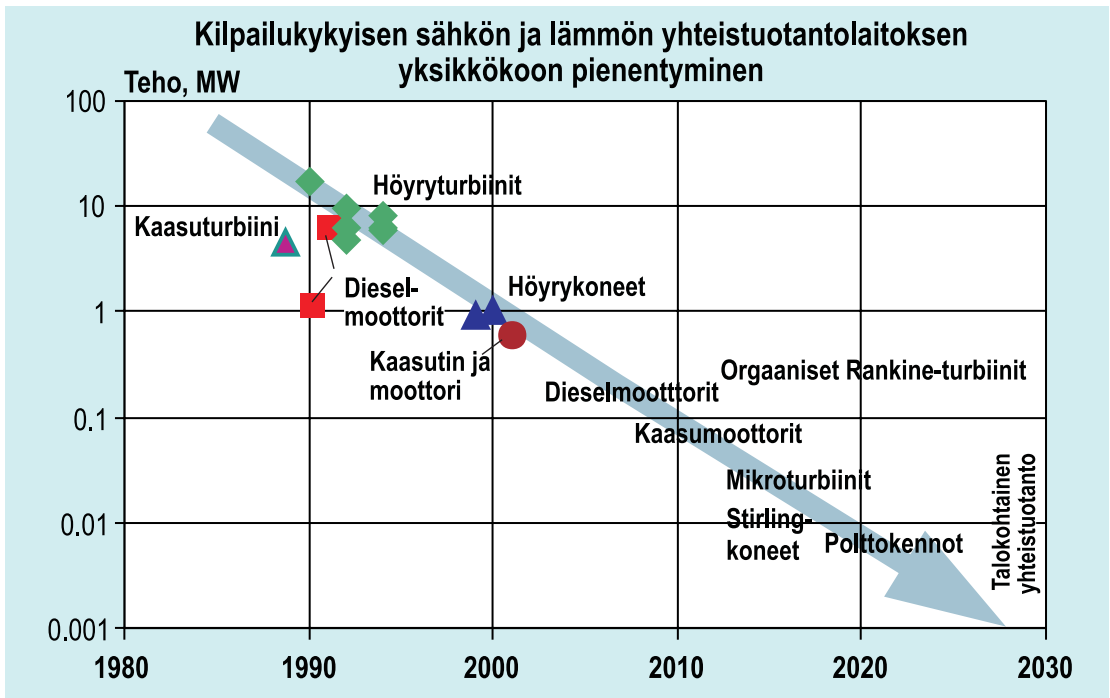


Kuva 6 Biomassaan perustuvia hajautetun tuotannon vaihtoehtoja Suomessa.

## Polttoaineiden käyttö modernissa CHP-laitoksessa



Kuva 7 Esimerkki paikallisten polttoaineiden käytöstä modernissa CHP-laitoksessa.



Kuva 8 Pienten CHP-laitosten kilpailukykyisen kokoluokan kehittyminen Suomessa.

vähentää sähkönjakeluverkon vahvistustarvetta. Yhdistämällä useita hajautetun tuotannon laitoksia kehittyneen tietoliikenteen, ohjauksen ja diagnostiikan avulla saadaan aikaan energiajärjestelmän kannalta yksi tuotantolaitos eli 'virtuaalilaitos'. Kuvassa 5 on esitetty hajautetun tuotannon integrointi osaksi energiajärjestelmää ja kuvassa 6 on esitetty biomassaan perustuvia hajautetun tuotannon vaihtoehtoja.

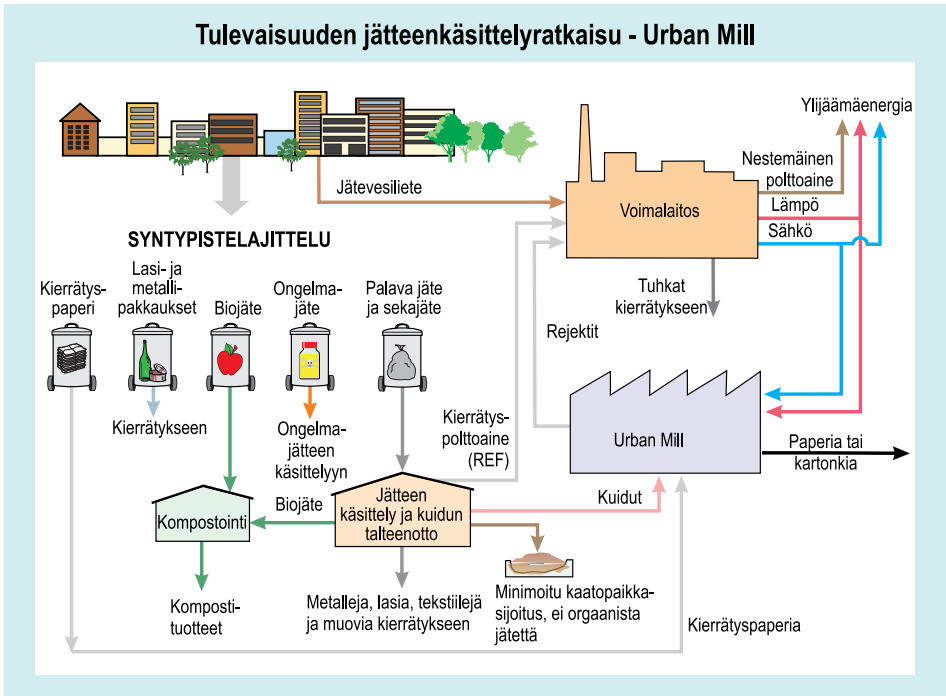
Lämmön ja sähkön yhteistuotanto on hyvä esimerkki primäärienergian tehokkaasta käytöstä, sillä siinä integroituvat erilaiset tuotantoprosessit ja energian loppukäyttö. Nykyinen CHP-tuotantokonsepti on helposti laajennettavissa kaukojäähdytykseen. Pitkällä aikavälillä kehitetään laajasti integroituvia järjestelmiä, joissa käytetään useita materiaali- ja energialähteitä (kuva 7), ja jotka yhdistävät useita teknologioita erilaisiksi lopputuotteeksi, kuten sähkö, lämpö, jäähdytys, suolan poisto merivedestä, puhdas vesi, bioöljy, biokaasu, sekä vety.

Energiasektorin liiketoimintojen integroin-

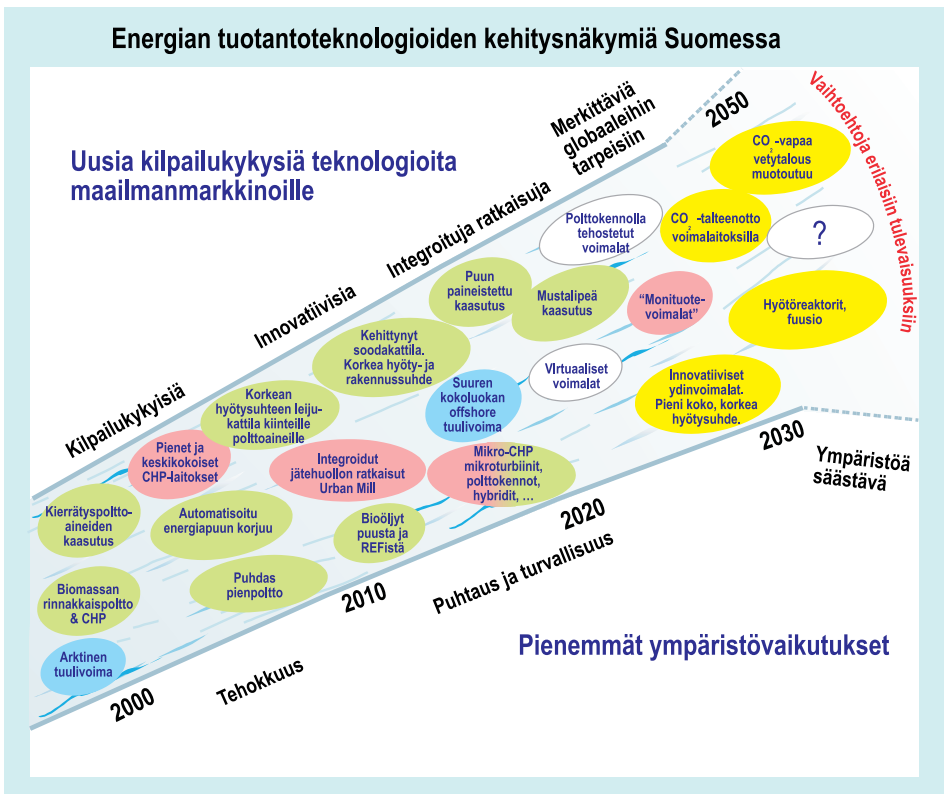
ti esimerkiksi jäte- tai vedenjakeluliiketoiminnan kanssa käyttäen uusien teknologioiden tarjoamia mahdollisuuksia tarjoaa synergiahyötyjen kautta tavan lisätä kannattavuutta. Tutkimus- ja kehitystyöpanoksilla tähdätään Suomessa myös jätteiden kierrätyksen integrointiin, niin että materiaalien kierrätys maksimoidaan ja kaikki ei-kierrätettävät palavat komponentit käytetään tehokkaasti energian tuotannossa. Tämä on tehokas tapa selvittää tulevista kaatopaikkamääräyksistä.

Tärkeimmät energian tuotannon teknologiat, joihin tutkimus- ja kehityspanokset tulisi Suomessa suunnata ovat:

- Leijukerrosteknologia (poltto ja kaasutus) biomassoille sekä seospolttoaineille (ml. jättepolttoaineet)
- Kaasutusteknologia mustalipeälle ja biomassoille
- Biopolttonesteiden valmistus ja käyttö



Kuva 9 Esimerkki pienen kokoluokan paperitehtaan integrointi paikalliseen energian tuotantoon ja jätehuoltoon – Urban Mill- konsepti (Metso).



Kuva 10 Energian tuotantoteknologioiden kehitysnäkymiä Suomessa.

- Hajautettu energiantuotanto: pienet CHP-laitokset, tuulivoima, järjestelmäintegrointi
- Uudet CHP-ratkaisut: korkea rakennusaste, pieni kokoluokka, kaukojäähdytys
- Integroidut ratkaisut: Urban Mill-konsepti, monituotelaitokset

Bioenergia on keskeinen osa Suomen tulevaisuuden energiaratkaisua, joten monet kehitettävistä teknologioista liittyvät bioenergian entistä tehokkaampaan hyödyntämiseen. Bioenergia-osaaminen tarjoaa suomalaisille yrityksille myös hyviä mahdollisuuksia vientimarkkinoilla. Suomen vahva informaatio- ja tietoliikenne-

tekniikan osaaminen auttaa puolestaan kehittämään laitosten käyttöön ja verkkoon liitynnälle ratkaisuja, jotka mahdollistavat hajautetun sähkön ja lämmön yhteistuotannon entistä pienemmässä kokoluokassa (kuva 8). Esimerkkinä integroiduista ratkaisuista on Urban Mill -konsepti, jossa voidaan edullisesti yhdistää yhdyskunnan ja kierrätyspaperitehtaan sähkön ja lämmön tuotanto sekä kiinteiden jätteiden materiaali- ja energiahyötykäyttö (kuva 9).

Kuvassa 10 on esitetty yhteenveto energian tuotantoon liittyvistä teknologisista haasteista sekä kehittyvien teknologioiden kaupallistumisesta.

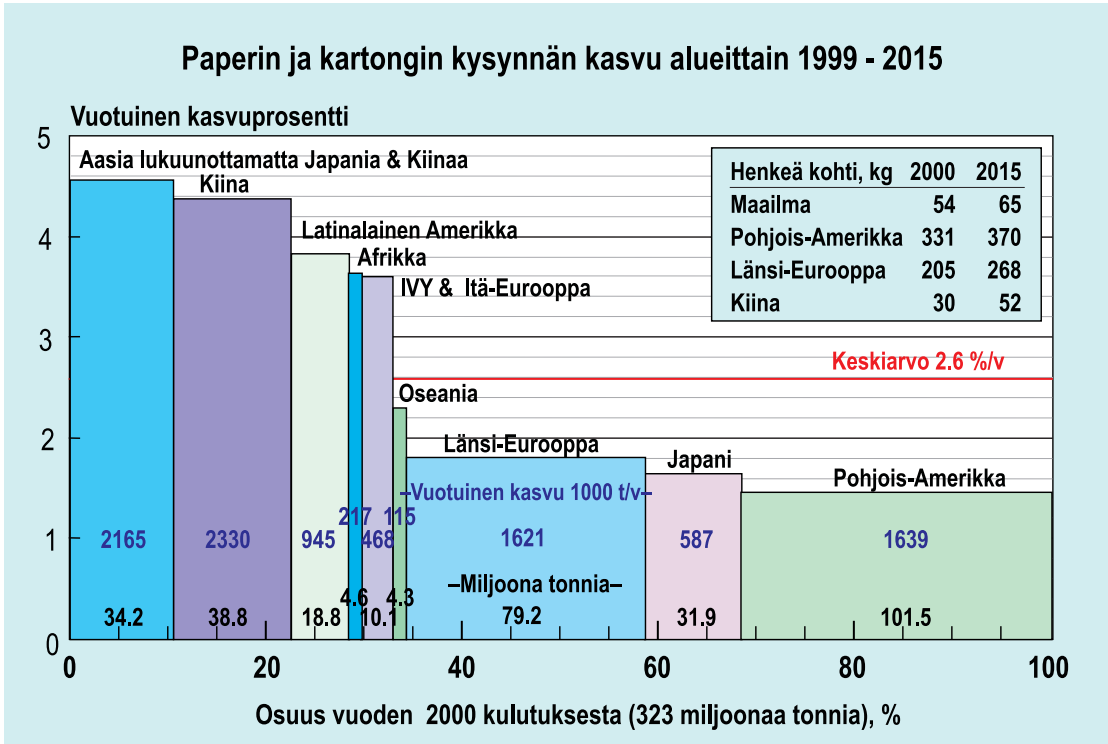
# ENERGIAN KÄYTTÖ JA JAKELU

## Massa- ja paperiteollisuus

Massa- ja paperiteollisuus on ollut merkittävä tekijä Suomessa energian käytön, teknologian kehityksen ja kansantalouden kannalta. Suomalaiset yritykset ovat kansainvälistyneet yritystostojen ja yhdistymisien kautta maailman suurimpien massa- ja paperiyritysten joukkoon. Myös suomalaiset laitevalmistajat, ohjauksjärjestelmien toimittajat sekä konsultointiyritykset toimivat globaalisti. Suurimmat teknologiset muutokset ovat tapahtuneet pääprosessikomponenttien sekä koko tuotantolinjojen yksikkökoon kasvussa. Ympäristövaikutukset ovat vähentyneet merkittävästi viimeisten 30 vuoden aikana.

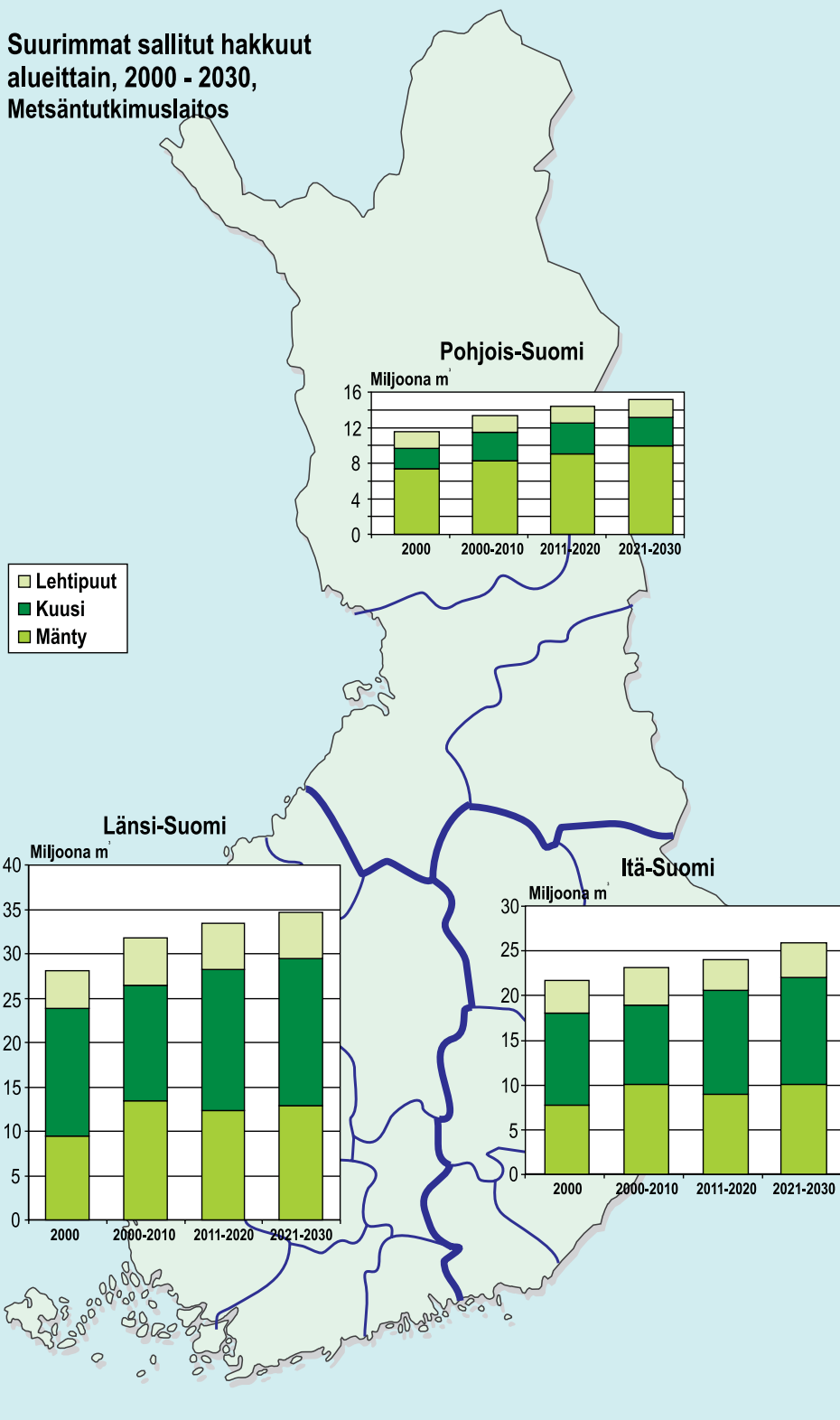
Massa- ja paperiteollisuuden kilpailukyky tulevaisuudessa riippuu raaka-aineen saatavuudesta,

käytettävissä olevasta energiasta ja sen hinnasta, ympäristölainsäädännöstä sekä tiedon siirtoon ja tallennukseen käytettävän informaatioteknologian kehittymisestä. Paperituotteiden kysynnän kasvu on ollut sidoksissa talouskehitykseen. Keskimääräinen vuosittainen kasvu on ollut 2 – 3 %. Tuotteiden reaalihinta on ollut laskussa. Ensimmäiset merkit tietoyhteiskunnan vaikutuksista ovat näkyneet vähentyneenä sanomalehtipaperin kysyntänä USA:ssa. Toisaalta kopiointiin ja tulostukseen käytettävän toimistopaperin kysyntä on ollut kasvussa. Paperituotteiden kysynnän globaalin kasvun odotetaan hidastuvan, mutta ei ole nähtävissä, että tietoyhteiskunta paperittomine konttoreineen ja elektronisine kirjoinen ja lehtineen pysäyttäisi sitä kokonaan (kuva 11).



Kuva 11 Ennuste paperin tuotannosta alueittain vuonna 2015, Jaakko Pöyry Consulting.

**Suurimmat sallitut hakkuut  
alueittain, 2000 - 2030,  
Metsäntutkimuslaitos**



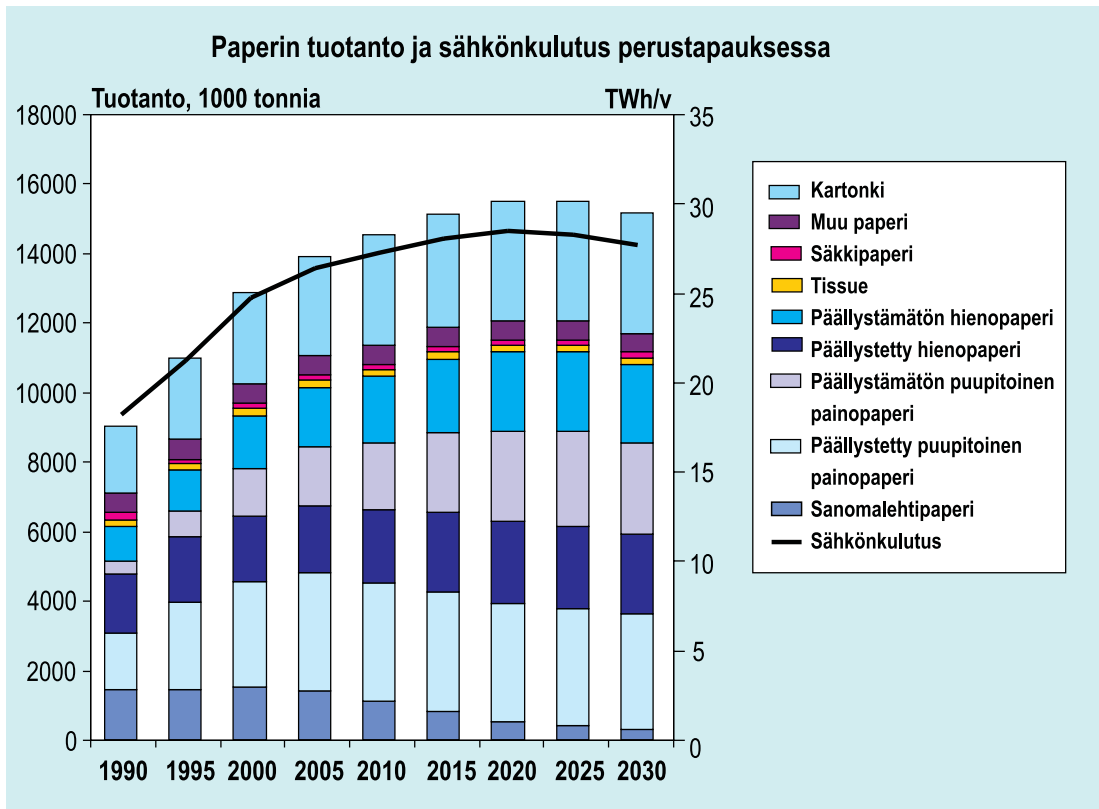
Kuva 12 Suurimmat sallitut hakkuut Suomessa, Metla.

Metsän kasvu Suomessa ylittää tällä hetkellä vuosittaiset hakkuut. Tulevaisuudessa kuitenkin vain 5 – 10 % kasvu hakkuumäärissä on mahdollista kun otetaan huomioon muutokset metsien omistussuhteissa, verotusperusteissa sekä metsien suojelussa. Kuvassa 12 on ennuste hakkuista alueittain vuosina 2000 - 2030. Tuontipuun määrän odotetaan kasvavan nykyisestä. Tulevaisuudessa kuituja hyödynnetään paremmin halutun lopputuotteen valmistusvaatimuksista lähtien. Energiatohokkaiden ja ympäristöystävällisten teknologioiden kehittäminen ja käyttöönotto ei saisi kasvattaa uuden tuotantolinjan investointikustannuksia nykyisestä noin 400 miljoonasta eurosta.

Massa- ja paperiteollisuudessa kokonais-

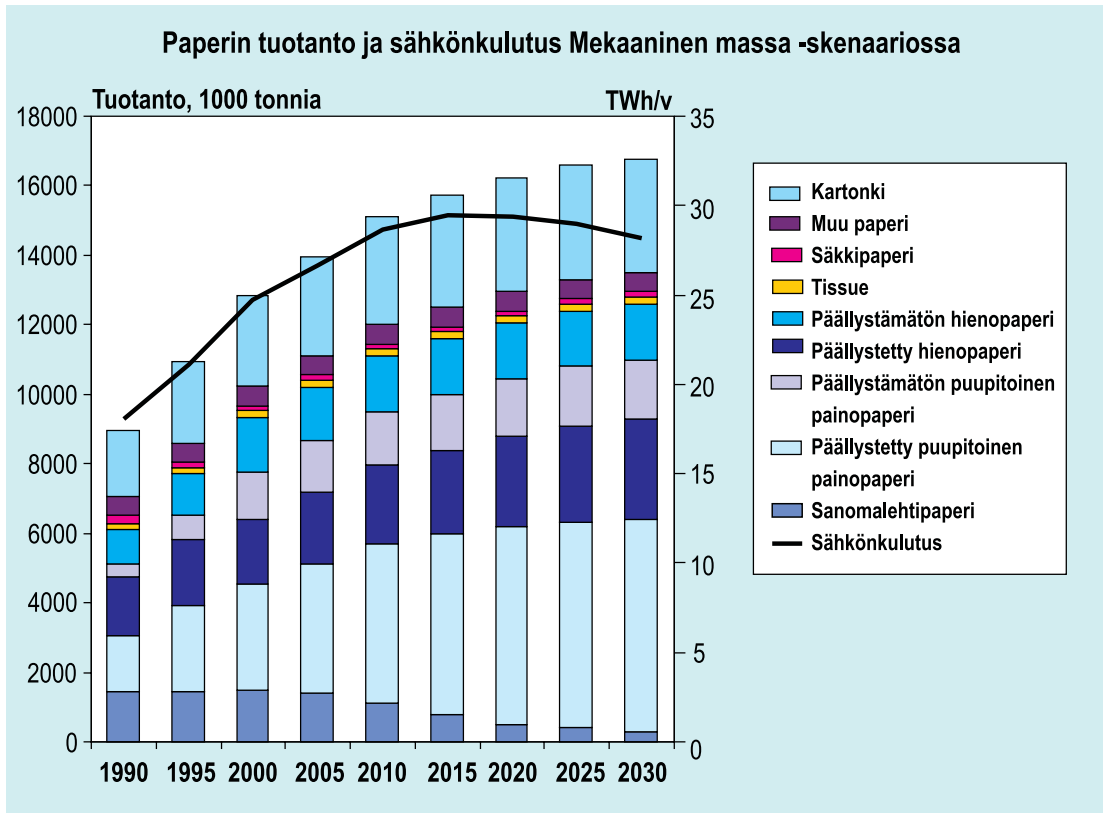
energiatohokkuuden parantuessa on sähkön ominaiskulutus kuitenkin kasvanut. Sähkön ominaiskulutusta voidaan vähentää kehittämällä mekaanista massanvalmistusta ja prosessi-integraatiota, mitoittamalla ja säätämällä prosessipumppuja optimaalisesti sekä käyttämällä kehittyneitä energianhallintajärjestelmiä. Raakaveden käytön rajoittaminen sekä uudet prosessien sivuvirtojen käsittelytekniikat parantavat ympäristötehokkuutta.

Suomen massa- ja paperiteollisuuden kehitystä on tarkasteltu kahden eri tuotteisiin painottuvan skenaarion avulla (kuvat 13 ja 14). Ensimmäisessä vaihtoehdossa (Perusskenaario) sähkön hinta ja saatavuus rajoittavat tuotannon kasvua, jolloin paperin ja kartongin tuo-



Kuva 13 Eri paperilaatujen valmistus ja sähkön kulutus Perusskenaariossa.





Kuva 14 Eri paperilaatujen valmistus ja sähkön kulutus Mekaaninen massa-skenaariossa, kuumahierteen tuotannossa on saavutettu 30% säästö sähkön ominaiskulutuksessa.

tanto stabiloituu tasolle noin 15 Mt vuodessa. Sähkön ominaiskulutus pysyy tässä skenaariossa nykytasolla, jolloin massa- ja paperiteollisuuden sähkönkulutus on vuositasolla noin 28 TWh vuonna 2030. Toisessa enemmän mekaaniseen massaan painottuvassa skenaariossa (Mekaaninen massa-skenaario) oletetaan voimakkaampia panostuksia tuotantoteknologian kehittämiseen, mikä näkyy pienempinä ominaiskulutuksina (pienennys noin 4 prosenttia nykytasolta vuonna 2030). Lisäksi kuumahierteen tuotannossa oletetaan saavutettavan teknologinen läpimurto, jonka avulla ominaiskulutus laskee 30 prosenttia nykytasolta vuoteen 2030 mennessä. Keskeisenä keinoina ovat raaka-aineen laatuvaihteluiden vähentäminen sekä kuitujen selektiivinen käsittely paperin valmistuksen vaatimuksista lähtien. Tällöin

massa- ja paperiteollisuuden sähkönkulutus on nykyistä tasoa myös vuonna 2030, vaikka tuotanto kasvaakin 17 Mt:iin vuodessa. Ilman tätä läpimurtoa kulutus nousee tasolle 30 TWh/vuosi.

### Metalliteollisuus, kemian teollisuus ja muu teollisuus

Metalliteollisuuden globaaleina haasteina ovat tarve pääomakustannusten pienentämiseen, ehtyvät raaka-ainevarat ja kasvavat ympäristövaatimukset. Muihin teollisuudenaloihin verrattuna tuotettu lisäarvo pääomainvestointia kohden on alhainen. Kilpailukykyä voidaan parantaa ainoastaan kehittämällä pääomakustannuksiltaan halvempia prosesseja. Energia on erittäin tärkeä kustannustekijä metallien valmistuksessa. Esimerkiksi kuumavalssattujen teräs-

levyjen valmistuksessa energia muodostaa 20 % tuotantokustannuksista, sinkillä ja ferrokromilla vastaavat luvut ovat noin 30 % ja noin 65 %.

Metalliteollisuuden osuus koko Suomen teollisuuden energian loppukulutuksesta on 1990-luvulla ollut 17 – 18 %. Tärkeimmät Suomessa valmistettavat metalliteollisuuden tuotteet ovat teräs, ferrokromi, kupari, sinkki ja nikkeli. Suomalaiset metalliteollisuuden yritykset ovat melko pieniä globaaleilla markkinoilla, ja ne ovat menestyneet erikoistumalla räätälöityihin tuotesegmentteihin. Metalliteollisuuden suurimmat sähkönkuluttajat ovat sähkölämmitteiset sulatus- ja kuumennusuunit sekä sinkin elektrolyyttinen valmistus.

Metalliteollisuus ja siihen liittyvien tuotteiden valmistus kasvaa Suomessa myös tulevaisuudessa aiheuttaen samalla sähkön kulutuksen kasvua. Metalliteollisuuden energian käyttö on nykyisin tehokasta ja vain pieniä tehokkuusparannuksia on odotettavissa vuoteen 2030 mennessä. Teräksen valmistuksessa energiansäästöpotentiaalin tarjoaa jatkuvaväliteknikan kehittäminen siten, että valettavan aihion mitat ovat mahdollisimman lähellä lopputuotteen mittoja. Lisäetuna menetelmässä on valssauslinjan oleellinen lyheneminen. Jatkokehityskohteenä on nauhavalu, jonka jälkeinen aihio soveltuisi suoraan kylmävalssaukseen. Nämä uudet teknologiat vähentävät sekä ympäristö- että kustannusvaikutuksia pitemmällä aikavälillä.

Kemikaalien valmistus ja raakaöljyn jalostus kuluttavat kemian teollisuuden sähköstä noin 90 % ja lämmöstä 95 %. Sähköä käytetään kemian teollisuudessa mm. elektrolyysiin, pumpuihin ja puhaltimiin. Lämmön käyttökohteita ovat prosessivirtojen lämmitys sekä tislauksen ja haihdutusprosessit. Kemian teollisuuden oletetaan pysyvän nykyisellä tasolla tulevaisuudessa, suuria laajennusinvestointeja ei ole suunnitteilla. Muutoksia energiankulutukseen ei ole nähtävissä ja sähkön ominaiskulutuksen pienenty-

misen takia kokonaissähkönkulutus pysyy aika stabiilina tai voi jopa hieman laskea tulevaisuudessa. Kemian teollisuuden sivutuotteita, kuten vetyä ja lämpöä, voidaan käyttää tehokkaammin esimerkiksi omassa sähkön tuotannossa ja läheisten yhdyskuntien lämmöntuotannossa. Öljynjalostuksessa tuleva kehitys kohdistuu sivuvirtojen parempaan hyödyntämiseen sekä oman energian tuotannon lisäämiseen.

Muu teollisuus koostuu useista pienistä energiaa käyttävistä aloista ja niiden yhteenlaskettu primäärienergian ja sähkön kulutus on alle 10 prosenttia koko teollisuuden kulutuksesta. Suurimmat energian käyttäjät tässä ryhmässä ovat elintarviketeollisuus ja puutavaran valmistus. Muun teollisuuden energian käytön odotetaan kasvavan vain hieman vuoteen 2030 mennessä.

### **Kotitaloudet ja palvelut**

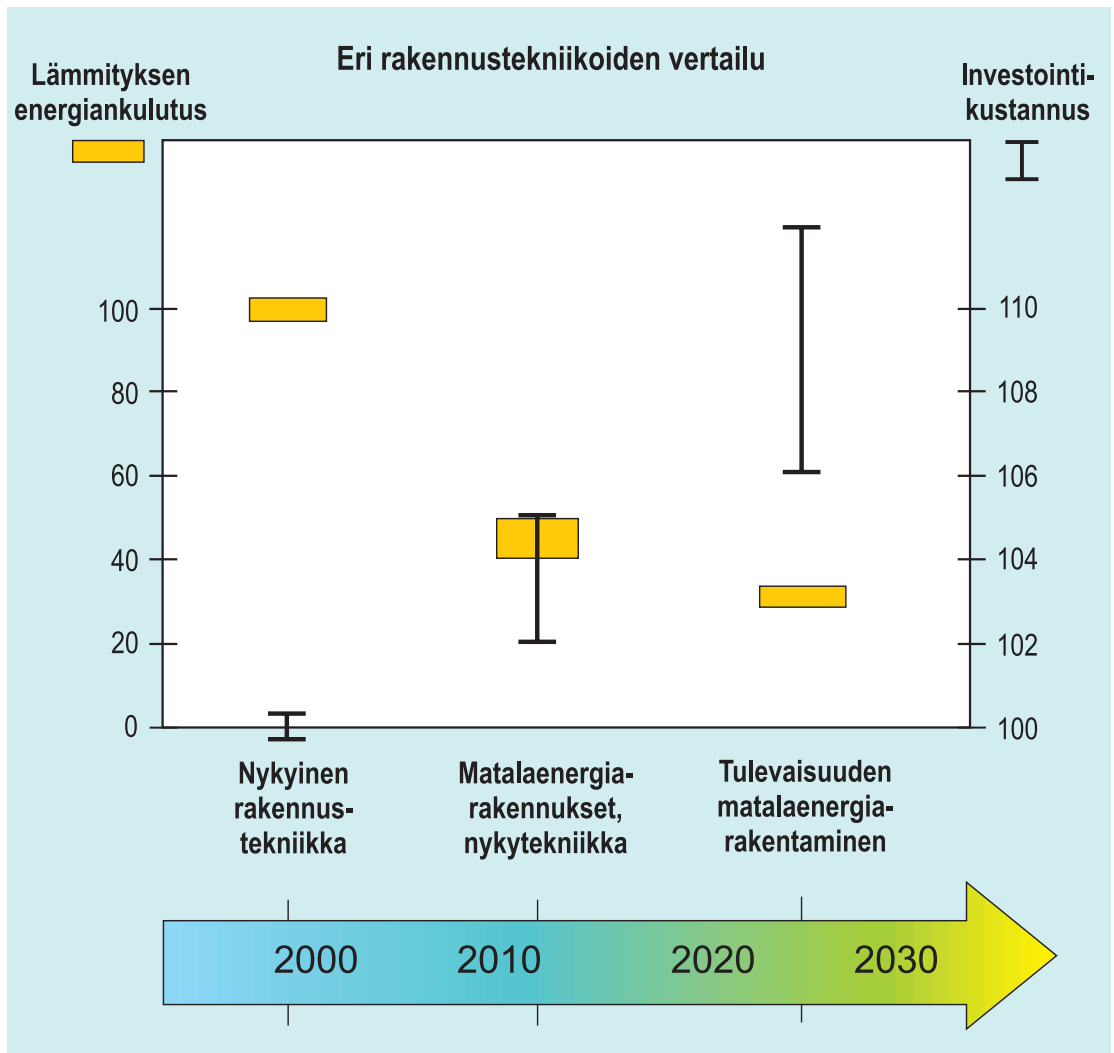
Kotitaloudet ja palvelusektori kuluttavat energiaa mm. lämmitykseen, valaistukseen, lämpimään veteen, ruuanvalmistukseen sekä sähkölaitteisiin. Rakennusten lämmitys kattaa Suomessa primäärienergian kokonaiskulutuksesta noin 22 %. Lämmitysenergian käyttö lämmitettyä huonetilaa kohden on laskenut noin puoleen viimeisten 30 vuoden aikana johtuen paremmasta rakennusten eristystasosta sekä kerrostalo- ja rivitaloasumisen yleistymisestä. Sähkön käyttö kotitalouksissa ja palvelusektorilla on kasvanut likimain viisinkertaiseksi viimeisten 30 vuoden aikana aiheuttaen energian kokonaiskulutuksen kasvua. Kasvun oletetaan jatkuvan myös seuraavien 30 vuoden aikana. Energian säästöpotentiaalia löytyy kuitenkin sekä energiatehokkuuden että ihmisten asennemuutosten kautta.

Kotitalouksissa ja palvelusektorilla energian säästö saadaan aikaan käyttämällä energiatehokkaita lämmitysjärjestelmiä ja sähkölaitteita, parantamalla rakennusten lämpöeristystä sekä edistyksellisillä energianhallintajär-

jestelmillä. Rakennusteknologiaa hallitsevat tulevaisuudessa matalaenergiarakennukset (kuva 15). Nykyisten rakennusten energiatehokkuutta voidaan parantamalla ulkoseinien ja kattojen lämpöeristystä, uusimalla ikkunarakenteet sekä paremmalla lämmön talteenotolla. Tärkeimmät lämmitystavat ovat kaukolämpö sekä sähkö- ja öljylämmitys. Uusista omakotitaloista noin 60 % varustetaan tulevaisuudessakin sähkölämmityksellä, ja uusissa rivi- ja kerrostaloissa kaukolämpö tulee olemaan vallitseva lämmitysmuoto.

Vuonna 2020 kaukolämmön ennustetaan kattavan noin 50 % kaikesta rakennusten lämmityksestä. Uusista lämmitysteknologioista lämpöpumput ja aurinkolämmitys tulevat yleistyään. Niitä käytetään pääasiassa tukilämmityksenä nykyisten lämmitysmuotojen rinnalla.

Sähkönkulutus kotitalouksissa tulee kasvamaan sähkölaitteiden lukumäärän lisääntymisenä. Uusia energiaa säästäviä teknologioita otetaan käyttöön kylmälaitteissa, valaistuksessa ja viihde-elektronikassa. Uusien teknologioiden



Kuva 15 Arvio tulevaisuuden rakennustekniikan energiatehokkuudesta ja investointikustannuksista verrattuna nykyiseen tekniikkaan.

mahdollistama energiansäästöpotentiaali näissä kolmessa sähkölaiteryhmässä on vuositasolla noin 1 TWh, joka on noin prosentti Suomen nykyisestä sähkön kokonaiskulutuksesta. Näiden säästöjen saavuttaminen edellyttää kuitenkin useita erilaisia toimenpiteitä ja niiden toteuttamiseksi tarvitaan suuri määrä yksittäisiä päätöksiä.

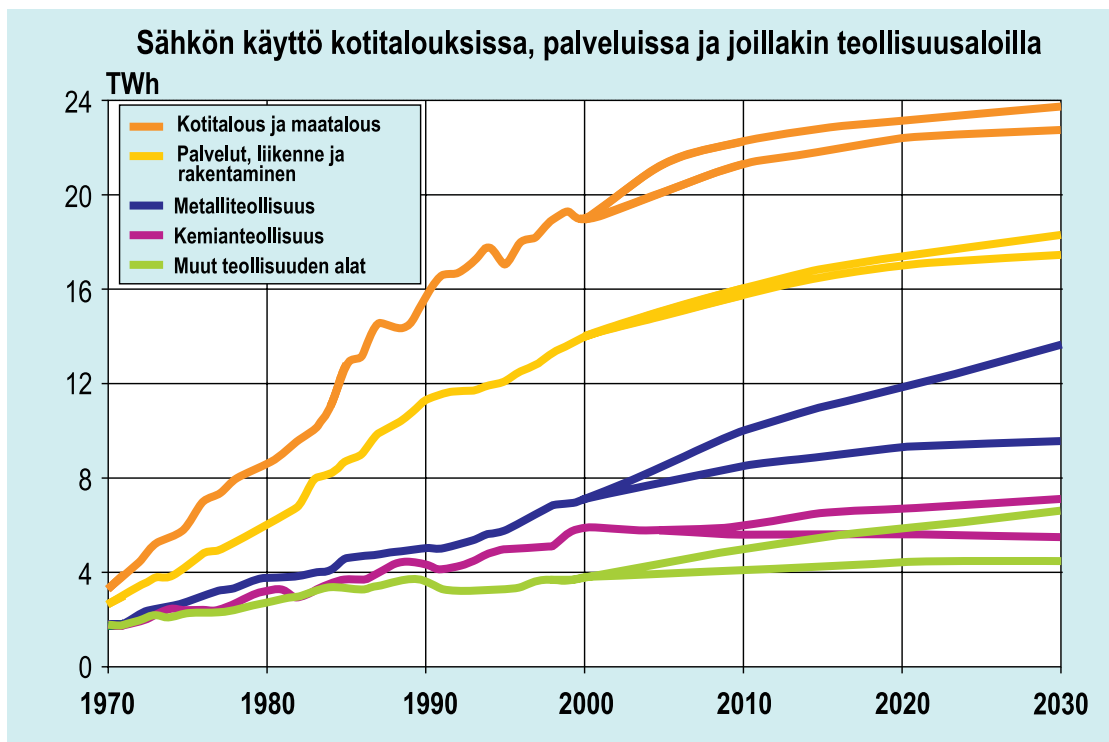
Kuvan 16 ylempi skenaario perustuu Finergyn tekemään arvioon ja alempi skenaario keväällä 2002 laadittuun Suomen ilmastostrategiaan. Kulutusarviot on ulotettu vuoteen 2030 saakka olettaen 50 % pienemmät kasvulut vuoden 2020 jälkeen.

### Liikenne

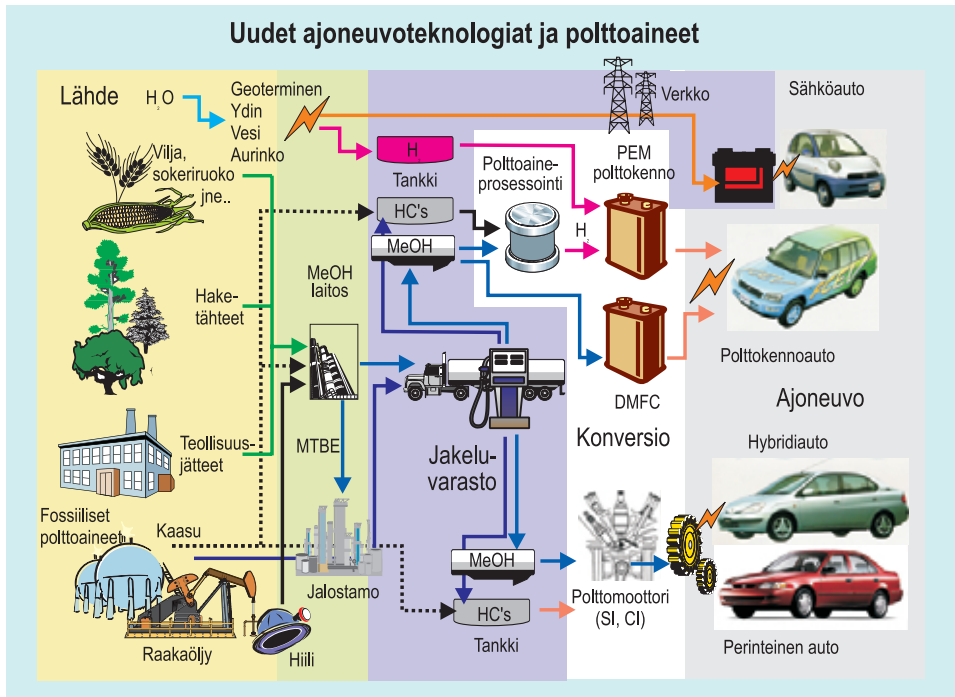
Liikennesektorin tulevaisuuden haasteita ovat liikenteen sujuvuus, energian ominaiskulutuksen vähentäminen, päästöjen vähentäminen sekä yleisesti kestävä kehityksen huomioon

ottaminen. Nykyisin useimmissa ajoneuvoissa on voimanlähteenä polttomoottori, jonka polttoaineena käytetään raakaöljyperäistä polttoainetta. Polttomoottorin käyttö on ollut mahdollista, koska ilmaa saastuttavia haitallisia päästöjä on saatu vähennettyä mm. katalysaattoreiden avulla. Liikenne saastuttaa kuitenkin edelleen paikallisesti ilmaa, ja noin 30 % globaaleista hiilidioksidipäästöistä on sen aiheuttamia. Hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi kasvavat paineet polttomoottorin energiatehokkuuden parantamiseen tai korvaamiseen uudella teknologialla, joka on saasteeton ja jossa polttoaine saadaan uusiutuvista energialähteistä.

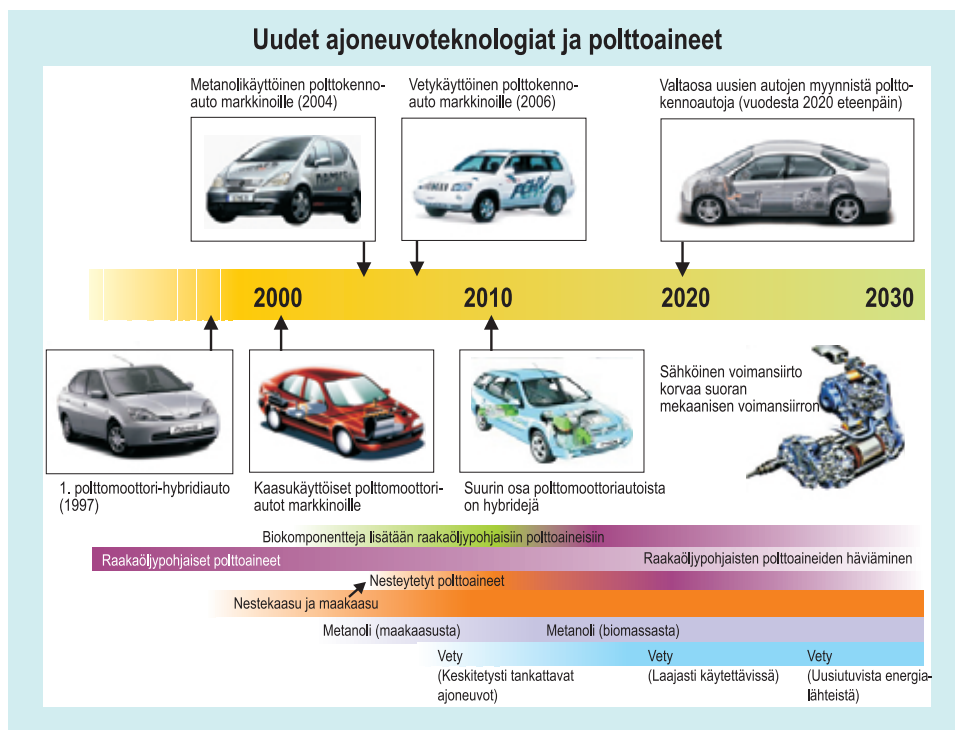
Globaaleille ajoneuvovalmistajille Suomi on pieni markkina-alue, ja suomalaisiin tarpeisiin räätälöityjen ajoneuvojen tuotanto on hyvin epätodennäköistä. Joudumme sopeutumaan päämarkkinoille tehtyihin ajoneuvoihin. Polttoaineiden ja energialähteiden osalta valin-



Kuva 16 Skenaariot sähkön kulutuksesta eri loppukäyttösektoreilla, metsäteollisuus poisluettuna.

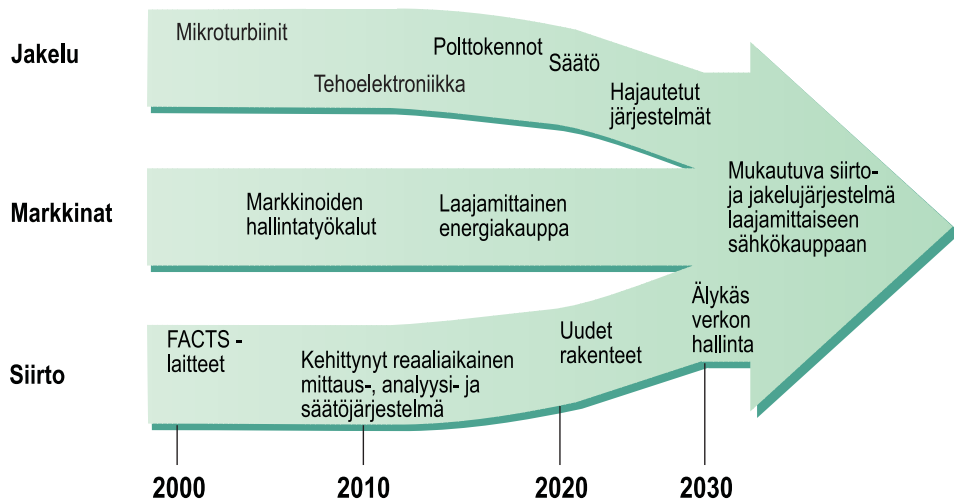


Kuva 17 Energialähteitä ja niiden jalostusteitä liikenteen polttoaineeksi. MeOH on metanoli, MTBE on metyyli-tertääributyylieetteri, DMFC on suorametanolikkenno, HC's ovat nestemäisiä hiilivetyjakeita (kuten bensiiniä tai dieselöljyä).



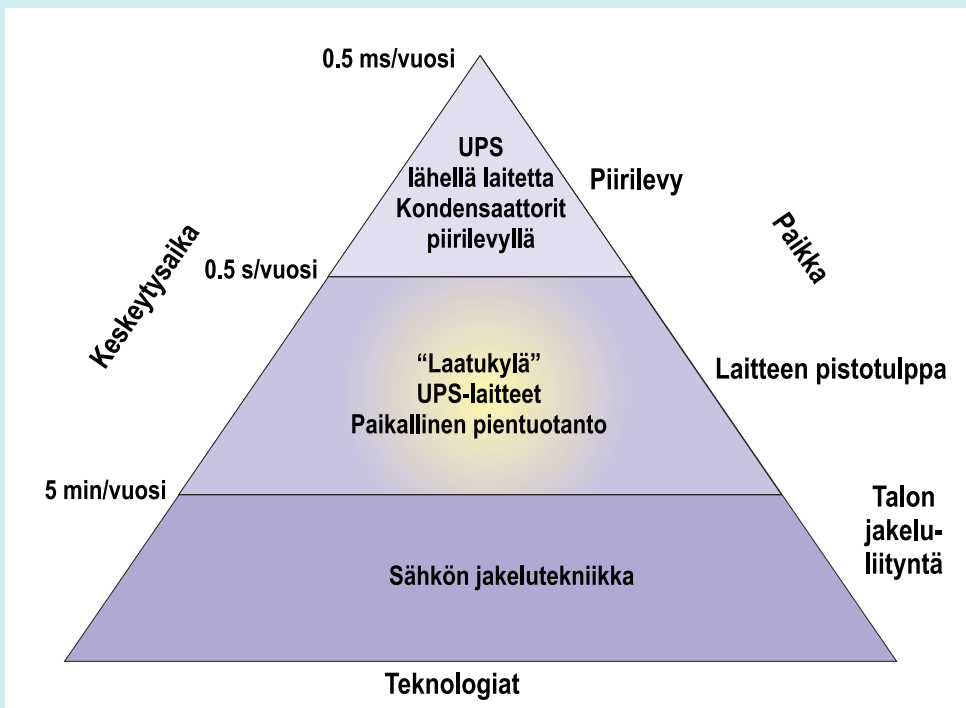
Kuva 18 Uusien ajoneuvoteknologioiden käyttöönotto.

## Tulevaisuuden teknologiat sähkön siirto- ja jakelujärjestelmässä



Kuva 19 Sähkön siirto- ja jakeluteknologian kehittyminen.

## Sähkön laatu ja asiakkaat



Kuva 20 Sähkön laatu ja asiakkaat (EPRI).

nanvapaus näyttäisi olevan suurempi, erityisesti mikäli uusiutuvia energialähteitä, kuten biomassaa, hyödynnetään kasvavassa määrin (kuva 17). Globaalisti vähemmän hiiltä sisältävien polttoaineiden, kuten maakaasun, käyttö kasvaa ajoneuvoissa hitaasti mutta varmasti.

Tällä hetkellä näyttää siltä, että ajoneuvojen teknologiassa ja voimanlähteissä on odotettavissa suuria muutoksia. Kehitteillä on useita polttomoottorin korvaajia. On kuitenkin liian aikaista päätellä, mitkä niistä tulevat korvaamaan nykyisen teknologian. Ajoneuvojen polttoaineiden ja voimanlähteiden valikoima kasvaa kuitenkin tulevaisuudessa, ja ylimenokautena hybridit auttavat siirtymistä uuteen teknologiaan. Hybridiautojen sekä metanoli- ja vetykäyttöisten polttokennoautojen osuus voi olla merkittävä jo vuonna 2020, jolloin liikenteen energiankulutus Suomessa kääntyy laskuun (kuva 18).

## Sähkön siirto ja jakelu

Sähkön siirto- ja jakeluverkkoa on Suomessa noin 380 000 km. Jännitetasot ovat 400 voltista 400 kilovolttiin. Verkon käyttöikä on 40 – 50 vuotta ja siirto- ja jakelujärjestelmissä tapahtuu ainoastaan pieniä teknologiamuutoksia seuraavien vuosikymmenten aikana.

Tietoyhteiskunta edellyttää tulevaisuuden sähkön siirto- ja jakeluverkolta suurempaa joustavuutta ja luotettavuutta. Näihin haasteisiin voidaan vastata uusien teknologioiden, kuten tehoelektroniikkaan perustuvien laitteiden, ja paremman reaaliaikaisen valvonnan ja säädön avulla (kuva 19). Hajautetun energiantuotannon yleistymisen verkossa edellyttää nykyistä kehittyneempien säätö- ja tietoliikennelaitteiden käyttöönottoa.

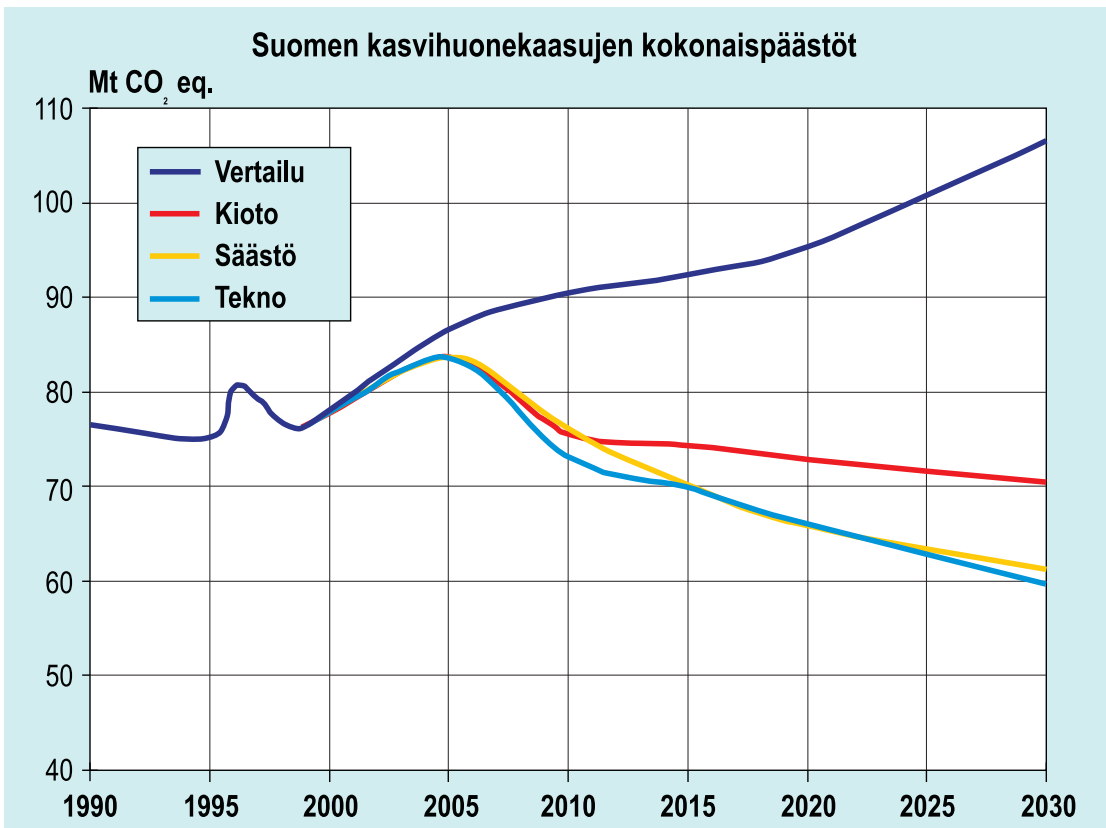
Sähkön laadun ylläpito edellyttää uusien teknologioiden, kuten tehoelektroniikkaan perustuvien Custom Power -laitteiden tai energiavarastojen, käyttöönottoa (kuva 20). Lisäksi uudet sähkölaitteet tulisi suunnitella kestävämmän paremmin sähkönsyötössä esiintyviä häiriöitä.

# KOLME ENERGIATULEVAISUUTTA

Suomen energiataloutta koskeva tarkastelu on tiivistetty kolmeen skenaarioon: Kioton perusskenaarioon (Kioto), voimakkaan energiansäästön skenaarioon (Säästö) ja vahvaan teknologiseen kehitykseen perustuvaan skenaarioon (Tekno). Kioto-skenaariossa tyydytään vain Kioton sopimuksen mukaisiin kasvihuonekaasujen päästötavoitteisiin, kun taas kahdessa muussa pidemmän aikavälin strategiassa kasvihuonekaasupäästöjä vähennetään 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä (kuva 21). Säästöskenaarioissa ohjataan voimakkain veruksellisin toimenpitein energian säästämiseen.

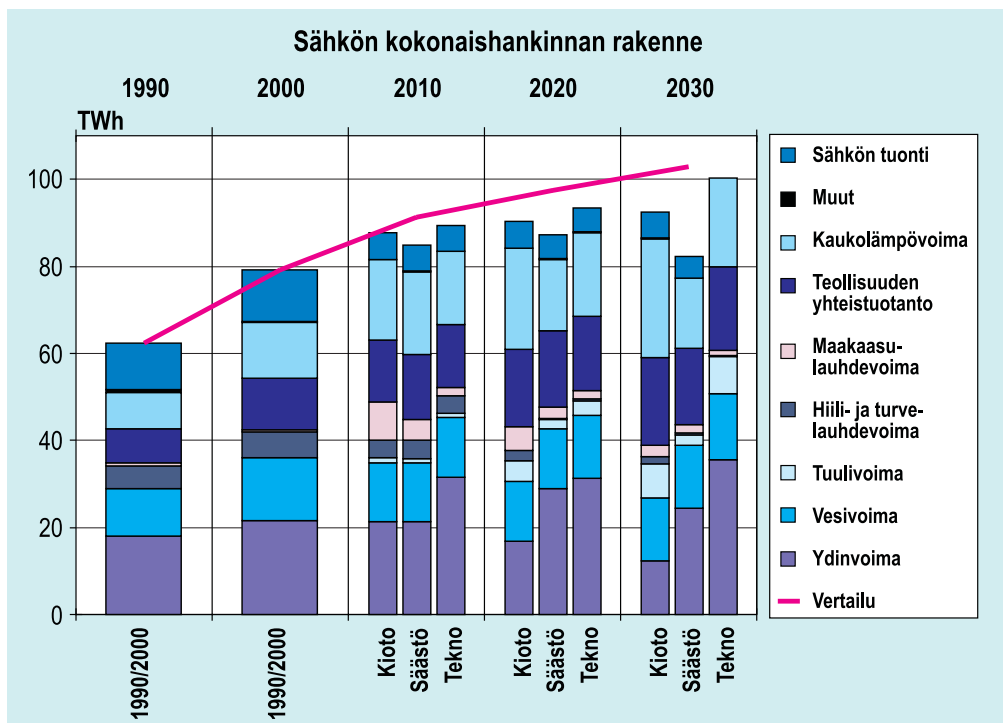
Teknologiaskenaariossa panostetaan voimakkaasti kasvihuonekaasupäästöjä rajoittavaan tutkimus- ja kehitystyöhön, mikä alentaa merkittävästi uusien teknikoiden kustannuksia. Tämä mahdollistaa uusiutuvien energiamuotojen ja energiaa tehokkaasti käyttävien teknologioiden tulon sekä kotimaisille että vientimarkkinoille. Kuvissa 22 ja 23 on esitetty sähkön tuotanto ja kulutus tarkastelluissa skenaarioissa.

Kioto-skenaariossa Suomeen ei rakenneta lisää ydinvoimaa. Energiansäästön skenaariossa yksi uusi ydinvoimala aloittaa toimintansa

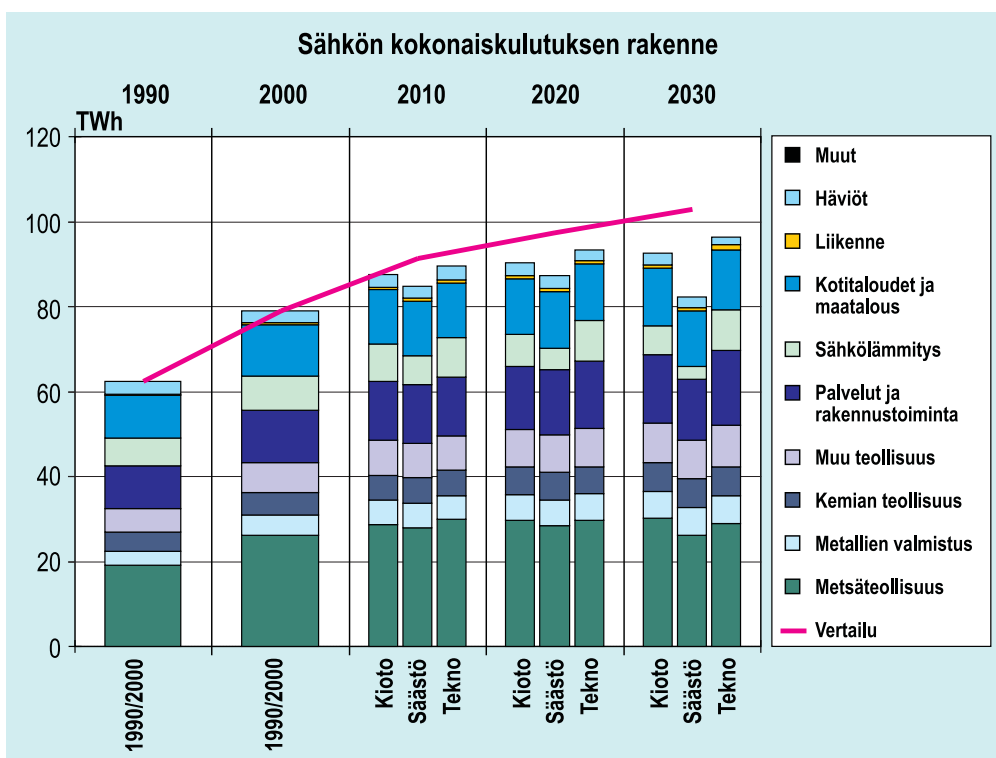


Kuva 21 Kasvihuonekaasupäästöt eri skenaarioissa.

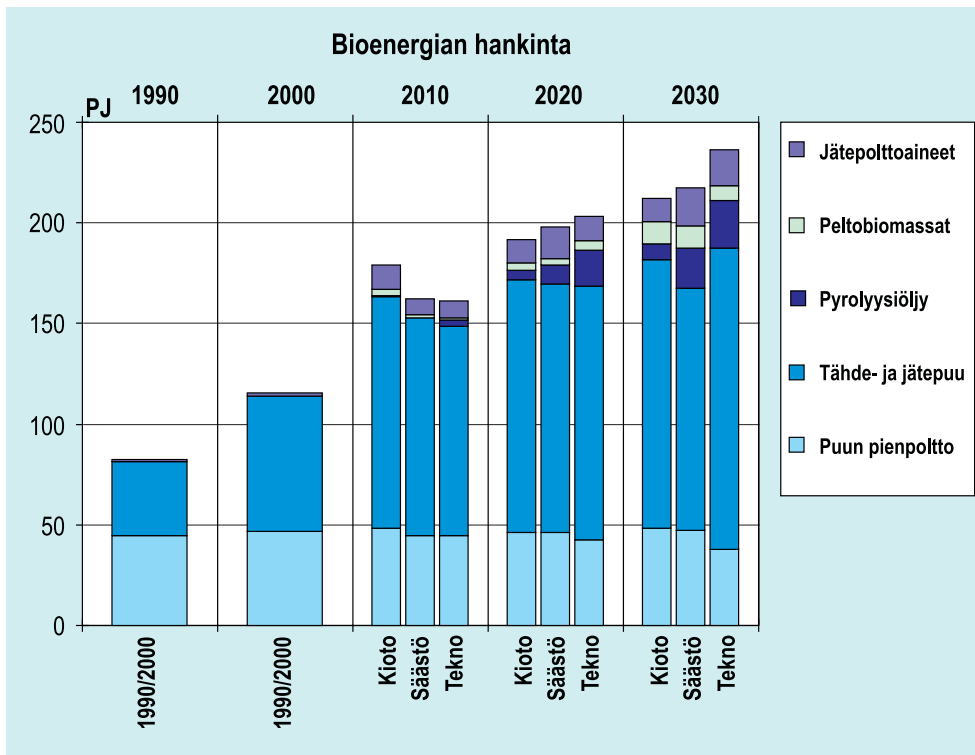




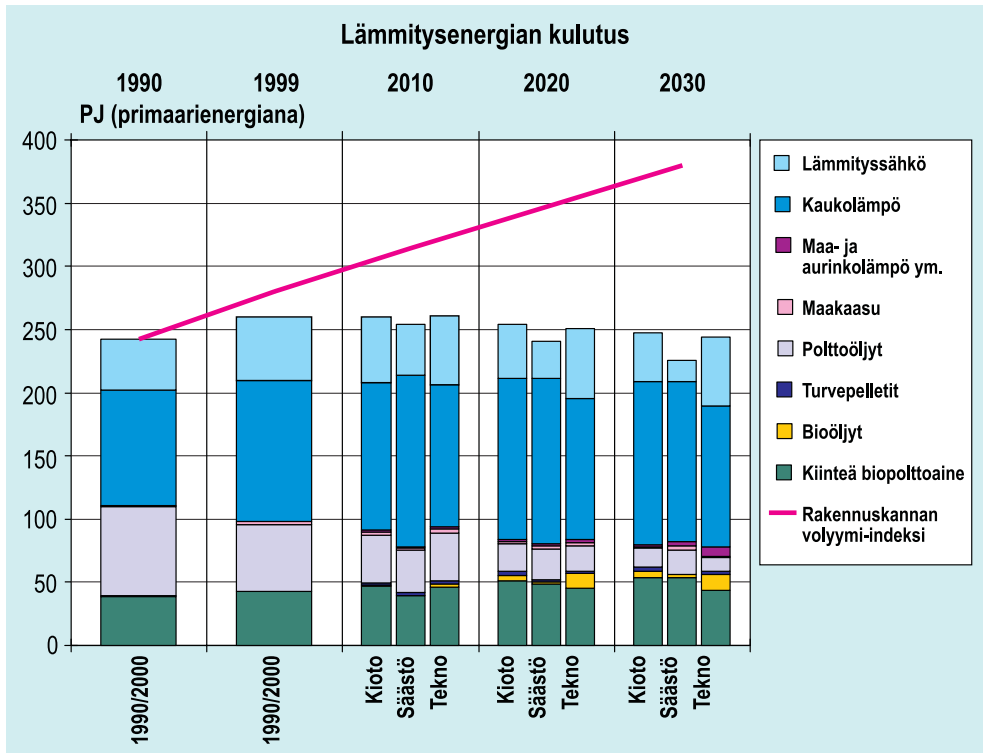
Kuva 22 Sähkön tuotanto eri skenaarioissa.



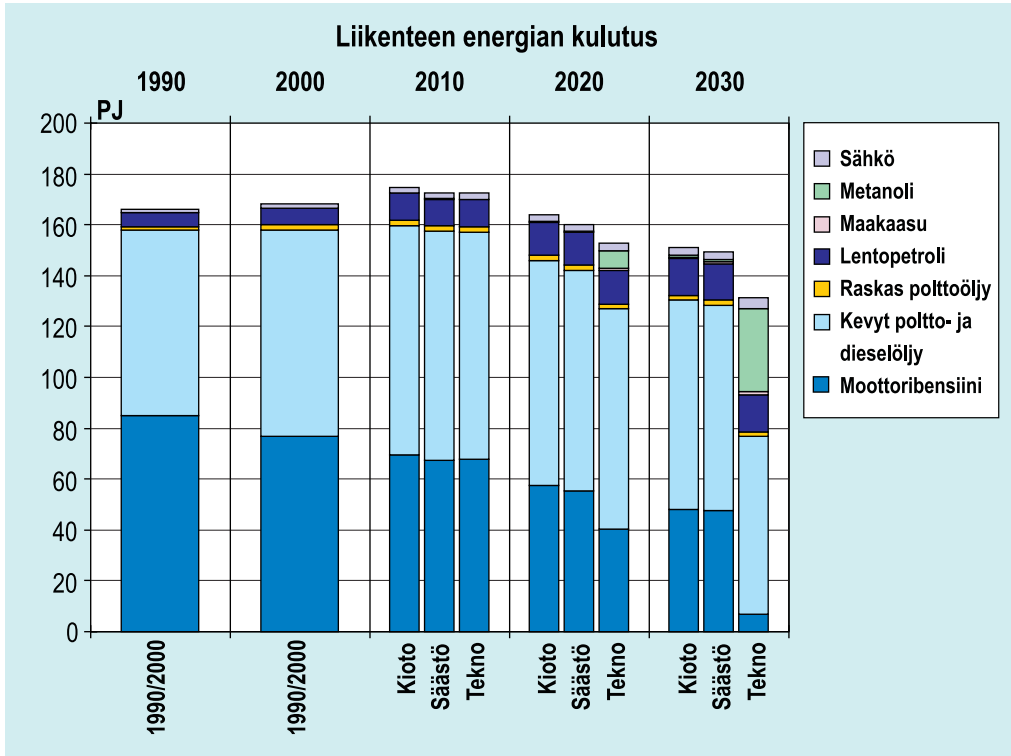
Kuva 23 Sähkön kulutus eri skenaarioissa.



Kuva 24 Bioenergian käyttö (pl. mustalipeä) eri skenaarioissa.



Kuva 25 Lämmitykseen käytettävän primäärienergian käyttö eri skenaarioissa.



Kuva 26 Energian käyttö liikenteessä.

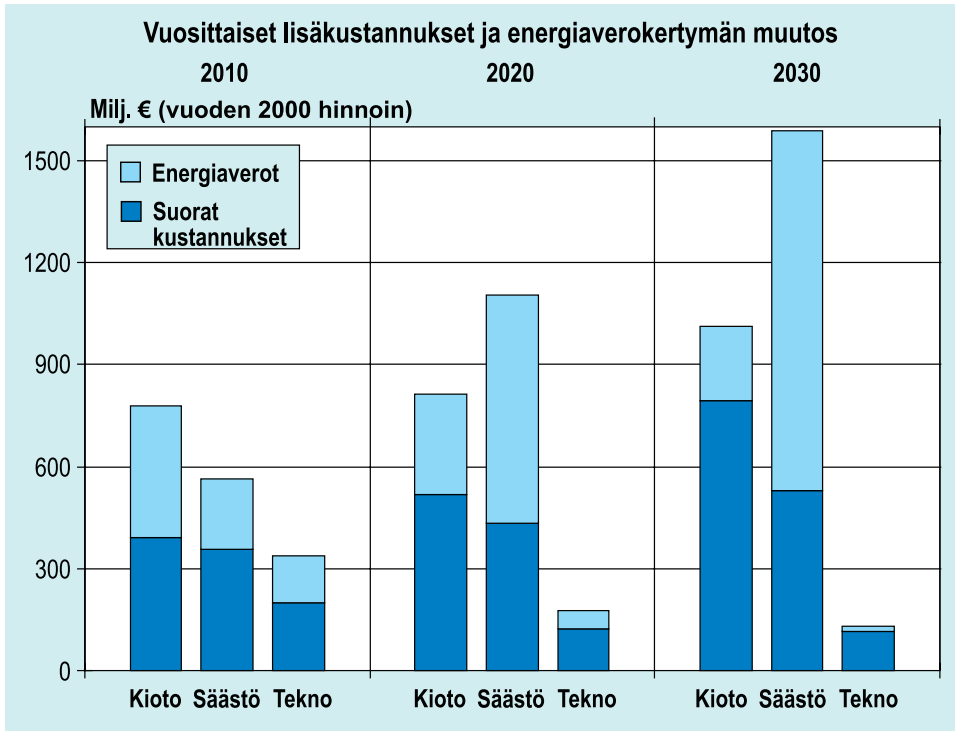
vuonna 2015, teknologiaskenaariossa jo 2010. Lisäksi teknologiaskenaariossa pienempiä ydinvoimayksiköitä voidaan rakentaa modulaarisesti vuodesta 2020 lähtien.

Skenaarioissa maakaasun käyttö ei pidemmällä aikavälillä kasva nousevien hintojen vuoksi ja myös osittain siksi, että uusiutuviin energialähteisiin perustuvien teknologioiden kilpailukyky kehitty nopeasti. Suuret fossiilisia polttoaineita käyttävät voimalaitokset pysyvät kuitenkin sähköntuotannon selkärankana maailmanlaajuisesti. Teknologinen kehitys, jossa suomalainen teollisuuskin on mukana, auttaa parantamaan näidenkin taloudellisuutta ja vähentämään ympäristövaikutuksia.

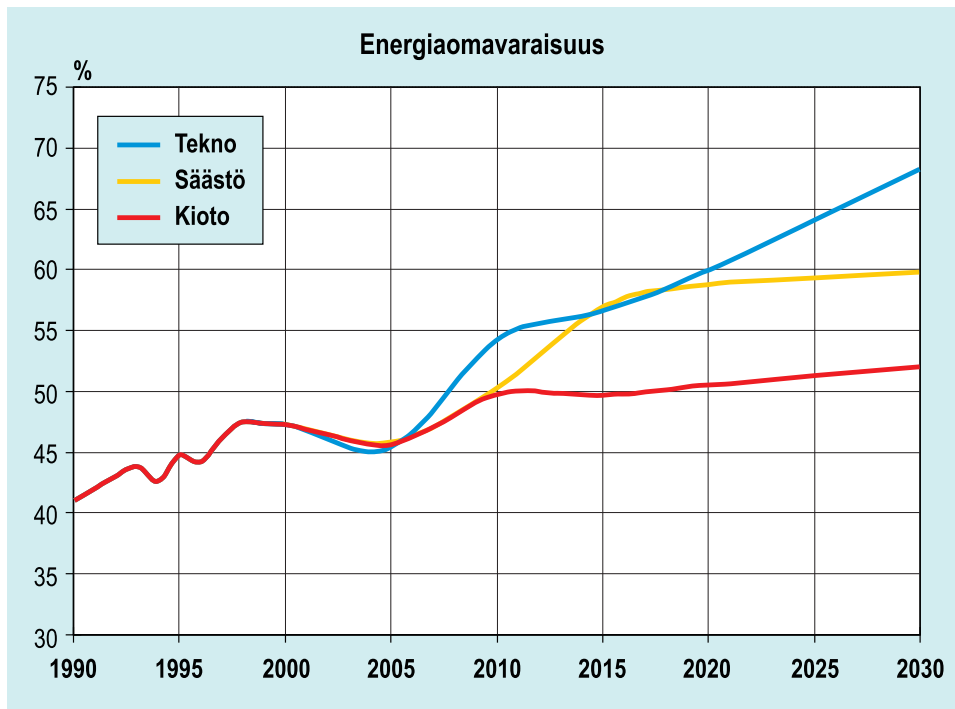
Bioenergian käyttö kasvaa voimakkaasti kaikissa skenaarioissa. Näiden polttoaineiden käyttö voisi nousta jopa yli 100 % nykytasolta (kuva 24). Bioenergian kustannustehokkuuden saavuttaminen edellyttää uusien teknologioiden käyttöönottoa sekä polttoaineen että energian

tuotannossa. Merituulipuistoja rakentamalla tuulivoiman osuus voi nousta lähes 10 %:iin Suomen sähköntuotannosta vuoteen 2030 mennessä. Kotimaisten energialähteiden käytön lisääntymisen seurauksena energiahuollon omavaraisuus kasvaa skenaarioissa merkittävästi. Uusien teknologioiden käyttöönotto lisää merkittävästi kotimaisten uusiutuvaan energiaan perustuvien markkinoiden kehittymistä vähentäen samalla tuontienergiariippuvuutta.

Energian käyttö tehostuu merkittävästi tarkastellulla aikavälillä kaikissa skenaarioissa ja voimakkaimmin teknologiaskenaariossa. Tähän vaikuttavat edellä mainittu teknologiapanostuksilla saavutettava mekaanisen massan valmistuksen ominaisenergiankulutuksen merkittävä aleneminen, energiatehokkaiden talotekniikoiden laaja soveltaminen kiristyvien rakennusnormien ansiosta (kuva 25) sekä monet muut teollisuuden, palvelujen ja kotitalouksien uudet energiatehokkaat tekniikat. Liikenteessä uusien



Kuva 27 Suorien kustannusten ja tarvittavien energiaverojen kasvu eri skenaarioissa verrattuna referenssitapaukseen, jossa ei aseteta päästörajoja eikä muita vastaavanlaisia energiapolitiikan tavoitteita.



Kuva 28 Suomen energiomavaraisuusaste eri skenaarioissa.

teknologioiden, kuten hybridautojen sekä metanoli- ja vetykäyttöisten polttokennoautojen, osuus voi tulla merkittäväksi jo vuonna 2020, jolloin liikenteen hiilidioksidipäästöt ja energiankulutus vähenevät (kuva 26). Myös ilmanlaatu paranee kaupungeissa. Sähkön siirrossa ja jakelussa pystytään uusien teknologioiden avulla parantamaan ikääntyvän sähköverkon luotettavuutta ja sähkön laatua.

Ympäristötavoitteiden saavuttamisesta ja muista energiapolitiikan tavoitteista yhteiskunnalle aiheutuvat kustannukset ovat selvästi alhaisimmat teknologiaskenaariossa (kuva 27). Kuvassa esitetty lisäkustannusten ja verojen summa edustaa karkeasti kuluttajien energiaskun muutosta, joka jää teknologiaskenaariossa hyvin pieneksi muihin verrattuna. Suurin lasku kuluttajille kertyy säästöskenaarion mukaisista toimenpiteistä, summa on yli kymmenkertainen verrattuna teknologiaskenaarioon. Merkittävä kasvihuonekaasupäästöjen rajoittaminen ja muiden energiapolitiikan tavoitteiden saavuttaminen, kuten energiaoma-

varaisuuden nostaminen (kuva 28), ei siis välttämättä aiheuta merkittävää taakkaa kansantaloudelle.

Teknologiaskenaarion mukaisen kehityksen saavuttaminen vaatii tietenkin laajaa ja pitkäjänteistä panostusta teknologian kehitykseen ja kaupallistamiseen. Näistä aiheutuvia kustannuksia ei ole laskelmassa huomioitu, mutta niille voidaan arvioida järkevä yläraja kuvan 27 avulla. Teknologiaskenaarion suorien kustannusten säästö Kioto-skenaarioon verrattuna aikavälillä 2005 – 2030 on noin 9 miljardia euroa. Kun tätä summaa verrataan 90-luvun lopun energiateknologian T&K-panostukseen, noin 80 miljoonaa euroa vuodessa, voidaan olettaa, että suurestikin kasvava T&K-panostus tulisi erittäin kannattavaksi koko yhteiskunnalle. Lisäksi teknologiaskenaario tuo mahdollisuudet energiateknologian viennin merkittävään kasvuun, jolloin sen kokonaistaloudellisuus ja vaikutukset ympäristöön näyttäivät yhä paremmilta.







**VTT PROSESSIT**

Puh. (014) 672 611, faksi (014) 672 597  
[www.vtt.fi](http://www.vtt.fi)