

# Kone- ja metallituote- teollisuuden visio 2025

Timo Nikinmaa\*

\* ETLA – Elinkeinoelämän tutkimuslaitos, [timo.nikinmaa@etla.fi](mailto:timo.nikinmaa@etla.fi)

Teknoliateollisuus ry on tukenut taloudellisesti vision laatimista.

ISSN-L 2323-2447

ISSN 2323-2447 (print)

ISSN 2323-2455 (online)

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä	2
Abstract	2
<b>1 Johdanto</b>	<b>3</b>
<b>2 Nykytilanne</b>	<b>4</b>
2.1 EU-maat ovat säilyttäneet asemansa kone- ja metallituoteteollisuudessa	4
2.2 EU-mailla suurin osuus koneiden ja laitteiden maailmankaupasta	6
2.3 Vientiluvut aliarvioivat EU-maiden painoarvoa	7
2.4 Kone- ja metallituoteteollisuus EU:ssa	10
2.5 Kiina kirii, mutta Yhdysvallat on vielä merkittävin kauppakumppani	13
2.6 Saksa ylivoimaisesti suurin vientimaa	15
2.7 Saksan vientimenestys perustuu korkeaan laatuun	16
2.8 Suomelle EU:n ulkopuoliset markkinat ovat sisämarkkinoita tärkeämmät	17
2.9 Saksa on muille EU-maille epäsuora vientikanava	20
<b>3 Tulevaisuus</b>	<b>23</b>
3.1 Kasvun painopiste on idässä ja etelässä	23
3.2 Raaka-aine- ja energiatehokkuuden merkitys kasvaa	28
3.3 Valmistusta palaa teollisuusmaihin	29
3.4 Tieto- ja viestintäteknologiaa hyödynnetään entistä enemmän	32
<b>4 Johtopäätökset</b>	<b>37</b>
4.1 Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotteita tarvitaan useimmilla toimialoilla	37
4.2 Valmistus ja uusi palveluliiketoiminta tukevat toisiaan	38
4.3 Mahdollisuuksien hyödyntäminen edellyttää strategisia valintoja	40
<b>Liitteet</b>	<b>42</b>
Liite 1: Mikä on Saksan salaisuus?	42
Liite 2: Uusia materiaaleja kehitetään ja otetaan käyttöön	45
Liite 3: Ainetta lisäävä valmistus yleistyy	47
Liite 4: Uudet käyttövoimaratkaisut valtaavat alaa	48
Tilastolähteet	51
Lähteet	51

## Kone- ja metallituoteteollisuuden visio 2025

### Tiivistelmä

Euroopan kone- ja metallituoteteollisuus on säilyttänyt asemansa globaalissa kilpailussa. Saksa on nousut maailman johtavaksi koneiden ja laitteiden valmistajaksi. Alan tuotteita tarvitaan lähes kaikilla toimialoilla, ja kysyntänäkymät ovat erityisesti kehittyvien maiden kasvun vuoksi suotuisat. Uudet materiaalit, uudet tuotantotekniikat, kuten ainetta lisäävä valmistus, ja uudet käyttövoimaratkaisut parantavat tulevaisuudessa alan tuotteiden raaka-aine- ja energiatehokkuutta. Tieto- ja viestintätekniikan lisääntyvä soveltaminen lisää tuotannon ja tuotteiden tuottavuutta. Automaatio ja robotiikka vapauttaa ihmiset työskentelemästä epämukavissa ja vaarallisissa ympäristöissä. Teollinen Internet luo uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

**Asiasanat:** Kone- ja metallituoteteollisuus, metallituotteiden valmistus, muiden koneiden ja laitteiden valmistus, tulevaisuudennäkymät, tuotannon sijoittuminen, globalisaatio, automaatio

**JEL:** F01, F60, F63, L61, L64, O10, O50, O57

## Metals and engineering vision 2025

### Abstract

European metals and engineering industry has managed to keep its position in global competition. Germany has become the leading manufacturer of machines and equipment. Metals and engineering products are used in nearly all industries and businesses, and especially due to emerging economy growth the demand outlook is favourable. New materials, new production methods, like additive manufacturing, and new moving power solutions improve the products' raw material and energy efficiency. Increasing application of information and communication technology raises the effectiveness of production and products. Thanks to automation and robotics machines can be substituted for human labour in inconvenient and hazardous environments. Industrial internet creates new business opportunities.

**Key words:** Metals and engineering, manufacture of fabricated metal products, manufacture of machinery and equipment, future outlook, geography of manufacturing, globalisation, automation

**JEL:** F01, F60, F63, L61, L64, O10, O50, O57

## 1 Johdanto

Suomessa on yleisesti ajateltu, että globaalistuneessa maailmassa valmistava teollisuus siirtyy väistämättä kehittyviin maihin, joissa työvoimakustannukset ovat alhaisemmat, ja kehittyneet maat erikoistuvat korkean lisäarvon palveluihin. Tämä käsitys heijastuu teollisuus- ja rakennepolitiikkaan, olipa se totta tai ei. Jos analyysi vastaa todellisuutta, sen perusteella tehtävät johtopäätökset vievät tietenkin kehitystä oikeaan suuntaan. Jos ei, siihen perustuva politiikka johtaa väärään suuntaan ja voi pahimmillaan heikentää talouden perustaa.

Elektroniikkateollisuuden parhaina päivinä näytti olevan vähän perusteita kyseenalaistaa tuotannon uudelleenjakautumista koskevia käsityksiä. Viimeaikainen kehitys on kuitenkin osoittanut, ettei Suomen talous ollutkaan niin vahvalla pohjalla kuin ehkä kuviteltiin. Ilman elektroniikkateollisuuden tuomia tuloja maan vaihtotase valahti alijäämäiseksi, ja julkisen sektorin vahva rahoitusasema muuttui nopeaksi velkaantumiseksi.

Analyysi tuotannon uudelleenjakautumisesta ei ollut väärä elektroniikkateollisuudessa. On kuitenkin viitteitä siitä, että teollisuuden toimialat ovat erilaisia, eikä ajattelumallin yleistäminen elektroniikkateollisuudesta muille toimialoille ole välttämättä perusteltua.

Esimerkiksi McKinsey<sup>1</sup> luokittelee elektroniikkateollisuuden ainoaksi aidosti globaaliksi teollisuuden toimialaksi. Elektroniikkateollisuuden tuotteiden arvo on niiden kokoon ja painoon nähden korkea, joten niitä on mahdollista kuljettaa kannattavasti tuotantolaitoksilta joka puolelle maailmaa. Kone- ja laiteollisuuden innovaatiotoiminta voi olla globaalia, mutta tuotantolaitokset sijaitsevat lähellä asiakkaita. Metallituoteteollisuus taas on luonteeltaan alueellista; sen tuotteet menevät tyypillisesti lähialueelle.

ETLAn tutkimukset ovat myös osoittaneet, että esimerkiksi koneteollisuudessa ja elektroniikkateollisuudessa tuotettu arvo jakautuu eri tavalla; koneteollisuudessa valmistuspaikka vaikuttaa huomattavasti enemmän siihen, mihin arvo kasautuu.<sup>2</sup>

Valmistuksen sijainnin merkitystä korostaa myös se, että Isossa-Britanniassa ja Yhdysvalloissa hallitukset ovat käyttäneet merkittävästi voimavaroja uudelleenteollistumisen edellytysten selvittämiseen ja sen edistämiseen. Molemmissa maissa tehdasteollisuuden osuus talouden arvonnäyksestä on laskenut kymmenen prosentin pintaan, ja kumpikin kärsii kroonisesta vaihtotasevajeesta. Toinen ääripää on Saksa, jossa tehdasteollisuuden osuus talouden arvonnäyksestä on Isoon-Britanniaan ja Yhdysvaltoihin verrattuna lähes kaksinkertainen, ja vaihtotase vahvasti ylijäämäinen.

Jos haluaa muodostaa kuvan Suomen kone- ja metallituoteteollisuuden tulevaisuudennäkymistä, on välttämätöntä selvittää, miten näiden toimialojen tuotanto jakautuu tällä hetkellä globaalisti, ja millaisia muutoksia tuotannon jakautumassa on lähimenneisyydessä tapahtunut. Tässä selvityksessä on vertailukohtana käytetty pääasiassa vuosituhannen vaihdetta; kun tulevaisuutta pyritään arvioimaan vuoteen 2025, arvion pohjana on suurin piirtein samanpi-  
tuinen jakso menneisyyttä.

<sup>1</sup> Manyika et al., 2012.

<sup>2</sup> Ali-Yrkkö, 2013.

Selvityksessä ei ole yritetty ennustaa, mitä tuotteita Suomessa valmistetaan runsaan kymmenen vuoden kuluttua, vaan kartoitettu niitä kehityskulkuja, jotka vaikuttavat tuotteiden kysyntään, niiltä vaadittaviin ominaisuuksiin ja niiden valmistusmenetelmiin. Lisäksi on pohdittu sitä, millaisia muutoksia Suomessa tarvittaisiin, jotta avautuvia mahdollisuuksia voitaisiin hyödyntää mahdollisimman hyvin.

Tätä selvitystä varten on haastateltu Konecranes Oyj:n toimitusjohtajaa Pekka Lundmarkia, Wärtsilä Oyj:n varatoimitusjohtajaa Jaakko Eskolaa, Fastems Oy:n hallituksen puheenjohtajaa Tomas Hedenborgia, Fortaco Group Oy:n rahoitusjohtajaa Esko Harilaa, Mantsinen Group Ltd Oy:n toimitusjohtajaa Martti Toivasta, Miilukangas Oy:n toimitusjohtajaa Pekka Miilukangasta, Lappeenrannan teknillisen yliopiston professoria Heikki Handroosia ja tutkijaopettajaa Tapani Halmetta. Teknologiateollisuus ry:stä keskustelukumppaneina ovat olleet johtaja Ilkka Niemelä ja johtava asiantuntija Veli-Matti Kuisma. Haastattelut ja keskustelut ovat antaneet runsaasti arvokasta informaatiota, ja osaltaan varmistaneet, että arviot nykytilanteesta ja tulevaisuudennäkymistä ovat realistisella pohjalla. Tulkinnoista vastaa tietenkin vain raportin kirjoittaja.

## 2 Nykytilanne

### 2.1 EU-maat ovat säilyttäneet asemansa kone- ja metallituoteteollisuudessa

Metallien jalostuksella ja kone- ja metallituoteteollisuudella on suuri painoarvo maailmantaloudessa. Nämä teollisuuden toimialat tuottivat vuonna 2011 vajaan kolmanneksen – noin 3 700 miljardia dollaria – maailman tehdasteollisuuden arvonlisäyksestä. Kuten monilla muillakin teollisuuden toimialoilla, myös näillä toimialoilla arvonlisäyksen maantieteellinen jakauma on muuttunut merkittävästi Kiinan nousun myötä. Kiinan nousu näyttää kuitenkin tapahtuneen pääasiassa Yhdysvaltojen ja Japanin kustannuksella. Euroopan asema on säilynyt vahvana erityisesti koneiden ja laitteiden valmistuksessa.

Vuonna 2011 Kiinan osuus metallien jalostuksen ja kone- ja metallituoteteollisuuden globaalista arvonlisäyksestä oli 21 prosenttia, kun se vielä vuosituhaten vaihteessa oli vain 6 prosenttia. Yhdysvaltojen osuus oli samanaikaisesti laskenut 26 prosentista 12 prosenttiin ja Japanin 19 prosentista 11 prosenttiin. Euroopan unionin alueella arvonlisäyksestä syntyi noin 27 prosenttia, mikä vastaa likimain EU:n 27 jäsenmaan osuutta vuonna 2000 – se oli 28 prosenttia.

Kaava toistuu pääosin samanlaisena, kun toimialoja tarkastellaan erikseen. Kiinan osuus metallien jalostuksen ja metallituoteteollisuuden arvonlisäyksestä on noussut 7 prosentista 24 prosenttiin. Kone- ja laitteollisuudessa Kiinan osuus on noussut 8 prosentista 23 prosenttiin. Metallien jalostuksessa ja metallituoteteollisuudessa Euroopan unionin jäsenvaltioiden osuus on alentunut hieman, 27 prosentista 24 prosenttiin. Kone- ja laitteollisuudessa Euroopan unionin osuus oli 34 prosenttia vuonna 2000 ja 32 prosenttia vuonna 2011.

Vertailun vuoksi voidaan todeta, että kulkuneuvojen valmistuksessa Euroopan unionin jäsenmaat ovat jopa lisänneet hieman osuuttaan globaalista arvonlisäyksestä, vuonna 2011 se oli 26 prosenttia, vuosituhaten vaihteessa 25 prosenttia. Myös kulkuneuvojen valmistuksessa Kiinan osuus on noussut, mutta vähemmän kuin kahdella edellisellä toimialalla, 4 prosentista 15 prosenttiin. Yhdysvallat ja Japani ovat menettäneet osuuksiaan.

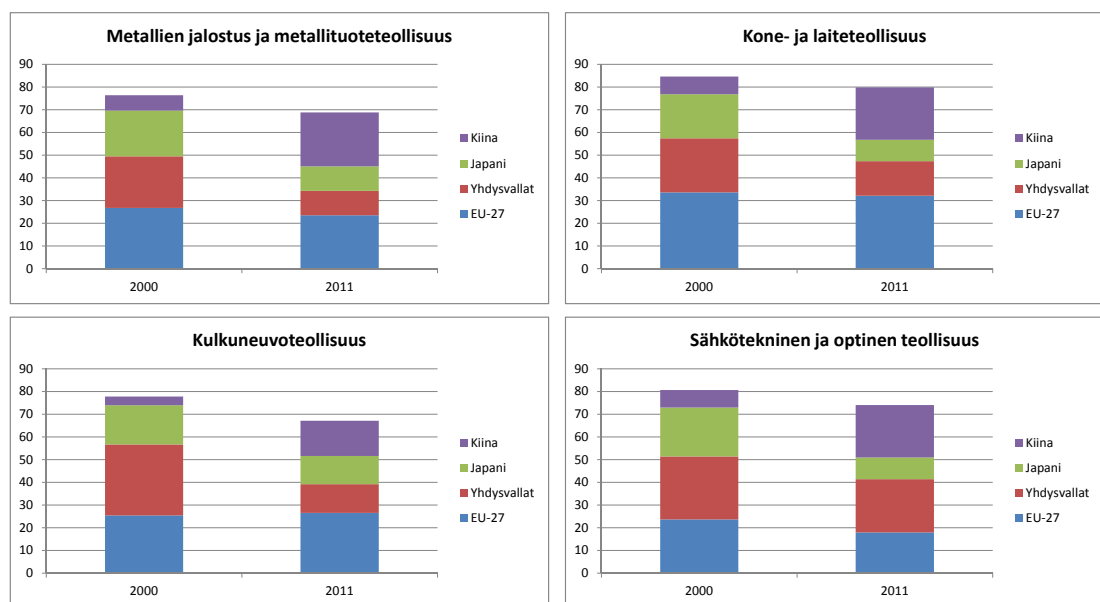
Sähkötekniisessä ja optisessa teollisuudessa Yhdysvaltojen asema on säilynyt suhteellisesti vahvempana kuin muilla tarkastelluilla toimialoilla, vaikka maa on silläkin menettänyt osuuttaan hieman vuosituhaten vaihteen jälkeen. Vuonna 2011 Yhdysvaltojen osuus sähkötekniisen teollisuuden globaalista arvonnäyksestä oli 23 prosenttia, kun vuonna 2000 se oli 28 prosenttia. Kiina jäi muutaman kymmenesosan Yhdysvalloista, mutta oli vuonna 2011 hyvä kakkonen. Myös sen osuus oli pyöristettynä 23 prosenttia. Vuonna 2000 Kiinan osuus oli 6 prosenttia.

Vuonna 2011 Euroopan unionin alueella tuotettiin 18 prosenttia sähkötekniisen teollisuuden arvonnäyksestä. Vuoteen 2000 verrattuna eurooppalaiset yritykset olivat menettäneet osuuttaan huomattavasti. Vuosituhaten vaihteessa Euroopan unionin jäsenmaiden osuus sähkötekniisen teollisuuden arvonnäyksestä oli vielä 24 prosenttia. Japanin osuus on kaventunut sitäkin enemmän. Vuonna 2000 Japanissa syntyi 22 prosenttia maailman sähkötekniisen teollisuuden arvonnäyksestä, vuonna 2011 enää 10 prosenttia. Korean asema on vahvistunut samanaikaisesti kun Japanin asema heikentynyt, vuonna 2011 sen osuus globaalista arvonnäyksestä oli 5 prosenttia.

Muutoksia arvioitaessa täytyy ottaa huomioon se, että maailman tuotannon arvo kasvoi voimakkaasti vuosina 2000–2011. Metallien jalostuksen ja kone- ja metallituoteteollisuuden yhteenlaskettu arvonnäykä oli jakson viimeisenä vuonna käyvin hinnoin yli kaksinkertainen vuoteen 2000 verrattuna. Yhdysvalloissa ja Japanissa käypähintainen arvonnäykä ei sen sijaan kasvanut juuri lainkaan, mikä selittää niiden osuuden laskun.

Oma vaikutuksensa osuuksien muutoksiin on myös valuuttakursseilla. Yhdysvaltojen dollari halventui tarkastelujakson aikana kaikkiin merkittäviin valuuttoihin verrattuna. Dollarin halventumisen kääntöpuoli on euron kallistuminen; vuonna 2011 euron keskimääräinen dollari-kurssi oli 51 prosenttia korkeampi kuin vuonna 2000. Euron kurssinousu Kiinan juania ja Ja-

**Kuvio 1 Osuudet maailman arvonnäyksestä**



Lähde: World Input-output Database.

panin jeniä vasten jäi pienemmäksi, 18 ja 12 prosenttiin. Kalliimpi euro nostaa euromääräisen arvonlisäyksen arvoa dollareina. Toisesta näkökulmasta katsottuna se tekee euromaissa valmistetuista tuotteista kalliimpia euroalueen ulkopuolella.

Jos vuoden 2000 osuudet lasketaan vuoden 2011 valuuttakursseilla, ilmenee, että myös EU27-maiden osuudet ovat tosiasiallisesti alentuneet. Esimerkiksi EU27-maiden kone- ja laitteollisuuden vuoden 2000 osuus olisi vuoden 2011 valuuttakursseilla ollut 39 prosenttia, kun vuonna 2011 toteutunut osuus oli 32 prosenttia. Lukuja on kuitenkin sellaisenaan vaikea verrata, koska valuuttakurssin tason vaikutusta viennin määrään ei ole mahdollista ottaa huomioon.

Epäedullisesta valuuttakurssista huolimatta arvonlisäyksen volyymin kehitys on ollut EU27-maissa parempi kuin Yhdysvalloissa. Metallituoteteollisuuden arvonlisäyksen volyymi oli vuonna 2011 EU27-maissa 12 prosenttia korkeampi ja Yhdysvalloissa 16 prosenttia matalampi kuin vuonna 2000, kone- ja laitteollisuudessa EU27-maissa 19 prosenttia ja Yhdysvalloissa 11 prosenttia korkeampi kuin vuonna 2000.

Euroalueen olemassaolo on yksi mahdollinen selitys kohtuulliselle volyymikehitykselle. Se muodostaa EU:n sisällä suuren markkina-alueen, jonka sisäisessä kaupassa euron kurssivaihteluilla ei ole merkitystä. Toisaalta euroalueen ulkopuoliset maat saavat tietenkin oman valuuttansa halpenemisesta kilpailuetua sekä euroalueella että sen ulkopuolisilla markkinoilla. Valuuttakurssi ei kuitenkaan näytä ratkaiseen menestystä; kokonaisuutena EU27-maat ovat säilyttäneet asemansa hyvin myös maailmankaupassa ja kuten jäljempänä ilmenee, EU27-maiden vienti unionin ulkopuolelle on pääsääntöisesti kasvanut nopeammin kuin alueen sisäinen kauppa.

## 2.2 EU-mailla suurin osuus koneiden ja laitteiden maailmankaupasta

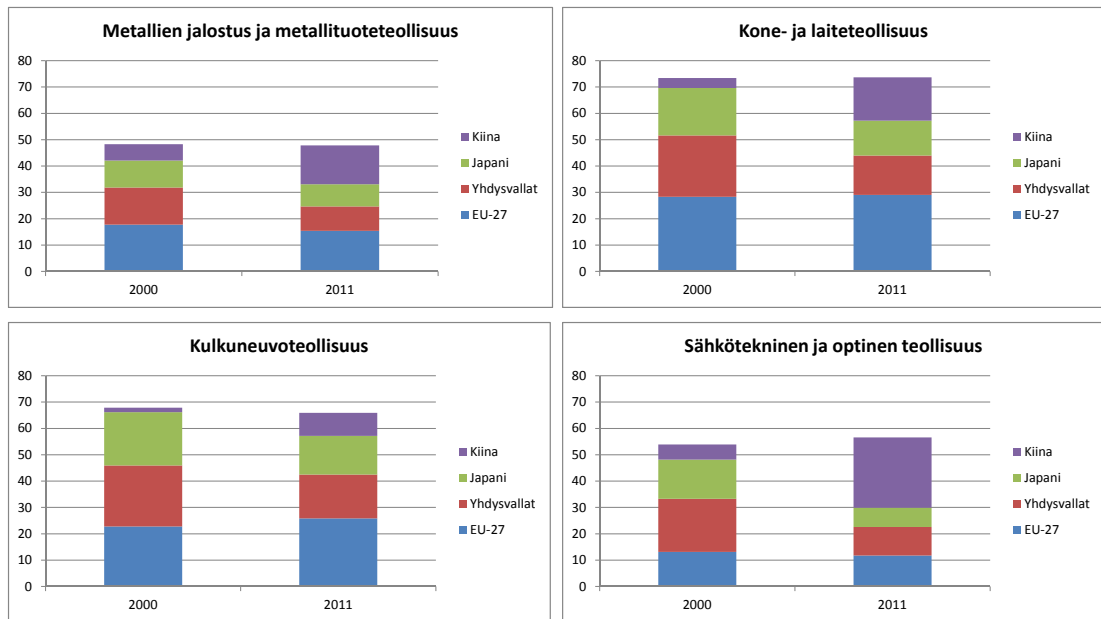
EU27-mailla oli vuonna 2011 suurin osuus sekä metallien jalostuksen ja metallituoteteollisuuden että kone- ja laitteollisuuden maailmankaupasta. Metallien jalostuksessa ja metallituoteteollisuudessa ero Kiinaan oli tosin marginaalinen. EU27-maiden osuus metallijalosteiden ja -tuotteiden viennistä on vuosina 2000–2011 hieman alentunut, 18 prosentista 15 prosenttiin. Kiina on puolestaan kasvattanut osuutensa 6 prosentista 15 prosenttiin. Yhdysvaltojen ja Japanin osuus on alentunut, edellisen 14 prosentista 9 prosenttiin, jälkimmäisen 10 prosentista 8 prosenttiin.

Kone- ja laitteollisuudessa EU27-maiden etumatka on selvä, ja niiden osuus maailman yhteenlasketusta viennistä on hieman noussut. Kun unionin sisäinen kauppa eliminoidaan, vuonna 2011 EU27-maiden osuus oli 29 prosenttia, kun se oli 28 prosenttia vuonna 2000. Kiinan osuus nousi saman jakson aikana vajaasta 4 prosentista runsaaseen 16 prosenttiin. Yhdysvaltojen ja Japanin osuus laski, edellisen 23 prosentista 15 prosenttiin, jälkimmäisen 18 prosentista 13 prosenttiin.

Metallien jalostuksen ja metallituoteteollisuuden vienti on vähemmän keskittynyttä kuin kone- ja laitteollisuuden vienti. EU27-maiden, Yhdysvaltojen, Japanin ja Kiinan osuus viennistä jää metallien jalostuksessa ja metallituoteteollisuudessa alle puoleen, kun se on kone- ja laitteollisuudessa lähes kolme neljänestä.



Kuvio 2 Osuudet maailman viennistä



Lähde: OECD.

Kulkuneuvojen viennissä EU27-maat ovat kasvattaneet osuuttaan enemmän kuin koneiden ja laitteiden viennissä. Vuonna 2011 niiden osuus oli 26 prosenttia, verrattuna 23 prosenttiin vuonna 2000. Kiina oli kasvattanut osuuttaan, mutta kulkuneuvojen valmistuksessa sen asema on suhteellisesti heikoin; vuonna 2011 Kiinan osuus viennistä oli vain vajaat 9 prosenttia, joka on toki huomattavasti suurempi luku kuin 2 prosenttia vuonna 2000. Yhdysvaltojen ja Japanin osuudet kulkuneuvojen viennistä olivat vuonna 2011 selvästi suuremmat kuin Kiinan (17 ja 15 prosenttia), vaikka kummankin osuus oli alentunut.

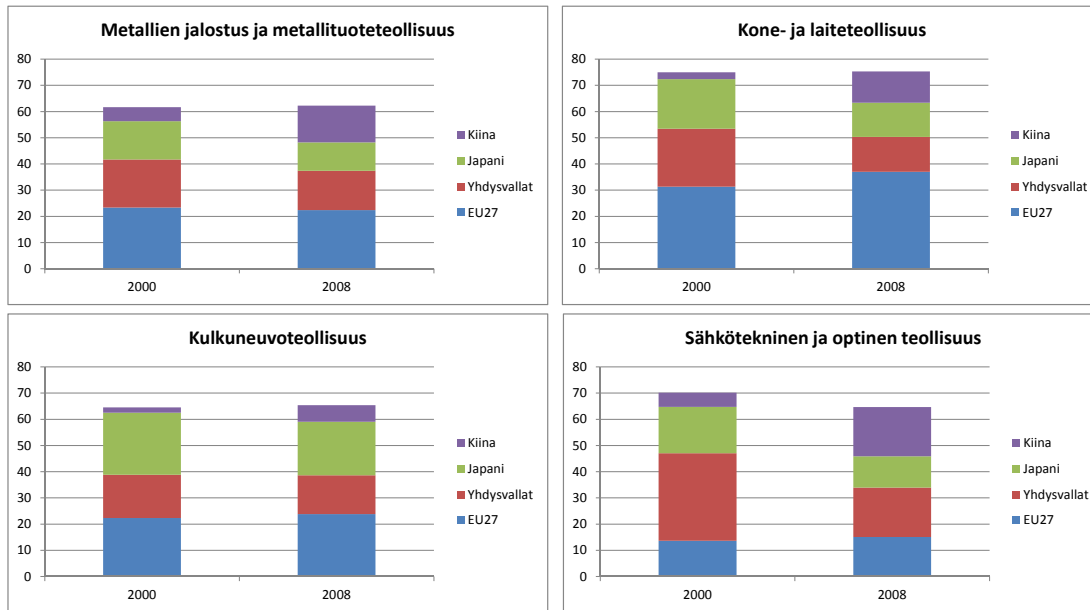
Sähköteknisessä ja optisessa teollisuudessa Kiinan osuus viennistä on noussut vuosina 2000–2011 räjähdymäisesti, 6 prosentista 27 prosenttiin. Yhdysvaltojen ja Japanin osuudet ovat jatkuvasti puolittuneet, vuonna 2011 ne olivat 11 ja 7 prosenttia. EU27-maat selvisivät pienemmällä pudotuksella, niiden osuus laski 13 prosentista 12 prosenttiin.

### 2.3 Vientiluvut aliarvioivat EU-maiden painoarvoa

Globaalistuneessa maailmassa vientiluvut eivät kerro koko totuutta, koska tuotteiden arvoon sisältyy usein runsaasti ulkomailta hankittuja välituotteita ja palveluita. Parempi kuva tilanteesta syntyy, kun tarkastellaan, kuinka paljon tietyssä maassa tai tietyllä alueella tuotettua arvonlisäystä sisältyy muiden maiden loppukäyttöön, siis yksityiseen ja julkiseen kulutukseen ja investointeihin.

Arvonlisäysperusteiset ulkomaankauppatilastot kattavat toistaiseksi vain vuodet 1995–2009. Koska jakson viimeinen vuosi on varsin poikkeuksellinen, tässä yhteydessä on tarkasteltu vuoden 2008 tilannetta.

Kuvio 3 Osuudet arvonlisäyksestä ulkomaisessa loppukäytössä



Lähteet: OECD/WTO.

Kehittyneiden maiden osuudet loppukäyttöön sisältyvästä ulkomaisesta arvonlisäyksestä (arvonlisäyksen viennistä) ovat pääsääntöisesti suuremmat kuin niiden osuudet tavaraviennistä. Kehittyvien maiden tilanne on päinvastainen, niiden osuus tavaraviennistä on pääsääntöisesti suurempi kuin niiden osuus arvonlisäyksen viennistä. Tämä johtuu siitä, että kehittyvissä maissa kokoonpantavissa tuotteissa on usein kehittyneistä maista tuotuja komponentteja ja suunnitteluosaamista.

Suurta kuvaa arvonlisäperusteinen tarkastelu ei muuta. Metallien jalostuksessa ja metallituoteteollisuudessa EU27-maiden osuus arvonlisäyksen viennistä aleni vuoteen 2008 mennessä hieman vuosituhanen alusta, eli 23 prosentista 22 prosenttiin. Yhdysvaltojen ja Japanin osuus aleni vähän enemmän, 18 prosentista 15 prosenttiin ja 15 prosentista 11 prosenttiin. Kiinan osuus nousi selvästi vuosituhanen alun 5 prosentista 14 prosenttiin.

EU27-maiden osuus metallien jalostuksen ja metallituoteteollisuuden arvonlisäyksen viennistä oli jakson lopussa suurempi kuin niiden osuus alan yhteenlasketusta tavaraviennistä, joka oli 19 prosenttia. Tilanne oli sama Yhdysvalloissa, jonka osuus tavaraviennistä oli 10 prosenttia, ja Japanissa, jonka osuus tavaraviennistä oli 9 prosenttia. Kiina ei kuitenkaan näytä olevan maa, jossa metallien jalostuksen ja metallituoteteollisuuden tuotteita valmistutetaan; maan osuus sekä viennistä että muiden maiden loppukäyttöön sisältyvästä arvonlisäyksestä oli suurin piirtein sama, 14 prosenttia.

EU27-maiden osuus kone- ja laitteollisuuden arvonlisäyksen viennistä nousi 31 prosentista 37 prosenttiin, Yhdysvaltojen osuus laski 22 prosentista 13 prosenttiin ja Japanin 19 prosentista 13 prosenttiin. Kiinan osuus puolestaan nousi 3 prosentista 12 prosenttiin.

EU27-maiden osuus maailman kone- ja laitteollisuuden tavaraviennistä oli jakson lopussa 34 prosenttia, eli alempi kuin niiden osuus arvonlisäyksen viennistä. Sama koski Japania; sen

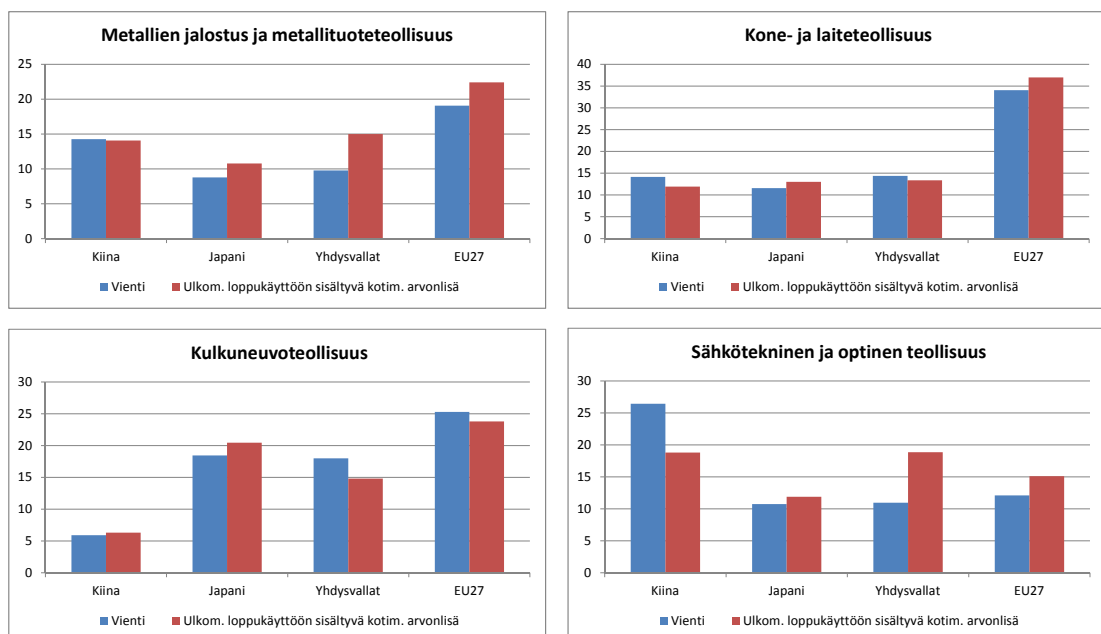
osuus kone- ja laitteollisuuden tavaraviennistä oli 12 prosenttia, eli hieman pienempi kuin maan osuus arvonlisäyksen viennistä. Yhdysvallat oli poikkeus kehittyneiden maiden kaavasta; Yhdysvaltojen osuus maailman kone- ja laitteollisuuden tavaraviennistä oli 14 prosenttia, eli hieman suurempi kuin maan osuus arvonlisäyksen viennistä. Kiinan osuus maailman kone- ja laitteollisuuden tavaraviennistä oli 14 prosenttia, eli jonkin verran korkeampi kuin maan osuus arvonlisäyksen viennistä.

Kulkuneuvoteollisuudessa Euroopan unionin jäsenmaiden osuus arvonlisäyksen viennistä nousi myös hieman, 22 prosentista 24 prosenttiin. Yhdysvaltojen osuus aleni 16 prosentista 15 prosenttiin ja Japanin 24 prosentista 20 prosenttiin. Kiinan osuus nousi 2 prosentista 6 prosenttiin, mutta jäi selvästi pienemmäksi kuin kahdella edellä tarkastellulla toimialalla.

Kulkuneuvojen valmistuksessa sekä EU27-maiden että Yhdysvaltojen osuus tavaraviennistä on suurempi kuin niiden osuus arvonlisäyksen viennistä. EU27-maiden osuus tavaraviennistä oli 25 prosenttia ja Yhdysvaltojen 18 prosenttia. Luvut heijastanevat muun muassa sitä, että japanilaisten autonvalmistajien eurooppalaisiin ja amerikkalaisiin tehtaisiin tuodaan komponentteja Japanista; maan osuus kulkuneuvojen viennistä on 18 prosenttia, eli pienempi kuin Japanin osuus muun maailman loppukäyttöön sisältyvästä arvonlisäyksestä. Kiinan osuus kulkuneuvojen viennistä on hieman pienempi kuin sen osuus arvonlisäyksen viennistä, mutta molemmat osuudet pyörivät 6 prosentiksi.

Sähköteknisessä ja optisessa teollisuudessa EU27-maiden osuus arvonlisäyksen viennistä nousi hieman, 14 prosentista 15 prosenttiin. Yhdysvaltojen ja Japanin osuudet puolestaan laskivat silmiinpistävästi, 33 prosentista 19 prosenttiin ja 18 prosentista 12 prosenttiin. Kiinan osuus taas nousi merkittävästi, 5 prosentista 19 prosenttiin.

**Kuvio 4 Osuudet viennistä ja arvonlisäyksestä ulkomaisessa loppukäytössä**



Lähteet: OECD/WTO.

Sähkötekniisessä ja optisessa teollisuudessa tilastointitavan merkitys tulee selvimmän näkymin. Kiinan 27 prosentin osuus toimialan tuotteiden viennistä on merkittävästi suurempi kuin sen osuus arvonlisäyksen viennistä. Yhdysvaltojen osuus tuotteiden viennistä oli vain 11 prosenttia, eli merkittävästi alempi kuin sen osuus arvonlisäyksen viennistä. Myös EU27-maiden ja Japanin osuudet tuotteiden viennistä, 12 ja 11 prosenttia, olivat alhaisemmat kuin niiden osuudet arvonlisäyksen viennistä.

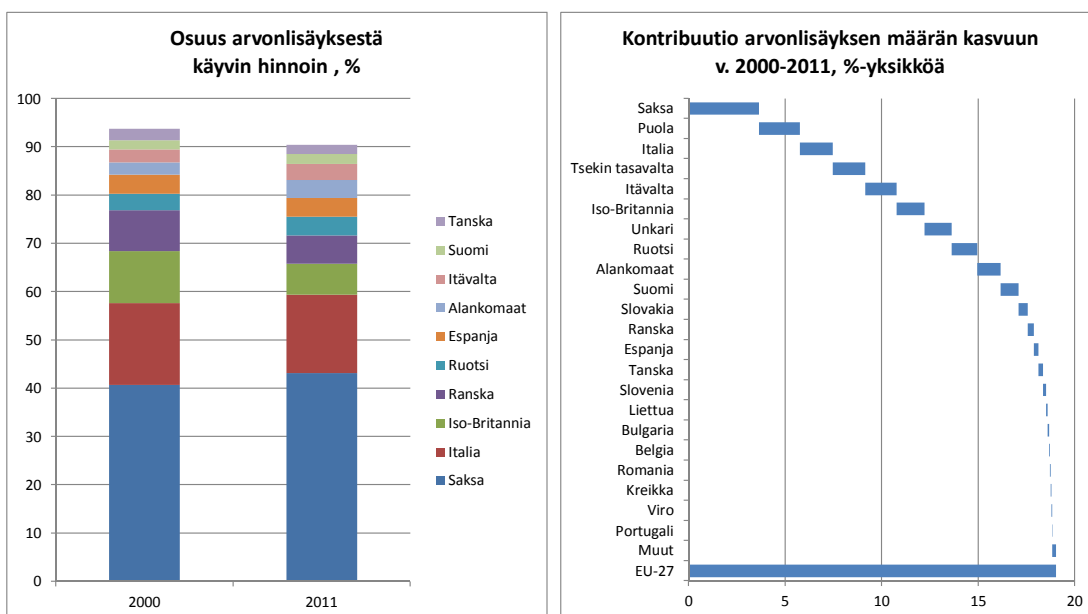
## 2.4 Kone- ja metallituoteteollisuudella suuri merkitys EU:ssa

Kone- ja laiteollisuuden suhteellinen painoarvo Euroopan unionissa on ollut 2000-luvulla kasvussa. Vuonna 2012 sen osuus EU27:n tehdasteollisuuden arvonlisäyksestä oli 11 prosenttia, eli samaa suuruusluokkaa kuin kuljetusvälineiteollisuuden osuus. Metallien jalostuksen ja metallituoteteollisuuden yhteenlaskettu jalostusarvo oli hieman suurempi. Sähkötekniikan ja optisen teollisuuden osuus oli hieman pienempi; erityisesti elektroniikkateollisuuden suhteellinen merkitys EU:ssa on vuosituhannen alkuvuosina tasaisesti vähentynyt. Eurooppalaiset tietokoneiden ja matkapuhelinten sekä kulutuselektroniikan valmistajat ovat lopettaneet niiden tuotannon tai siirtäneet valmistuksen Aasiaan.

Kone- ja laiteollisuus selviytyi vuoden 2008 finanssikriisistä suhteellisesti pienemmällä menetyksillä kuin kuljetusvälineiteollisuus tai metallien jalostus ja metallituoteteollisuus. Toisaalta kuljetusvälineiteollisuuden toipuminen oli kriisin jälkeen voimakkaampaa. Metallien jalostuksen ja metallituoteteollisuuden osuus tehdasteollisuuden arvonlisäyksestä ei ole ainakaan vielä palannut finanssikriisiä edeltäneelle tasolle.

Saksa on ylivoimaisesti merkittävin kone- ja laiteollisuusmaa Euroopassa; vuonna 2011 sen osuus toimialan arvonlisäyksestä EU27-maissa oli 43 prosenttia. Osuus on vuosituhannen

**Kuvio 5 Kone- ja laiteollisuus**



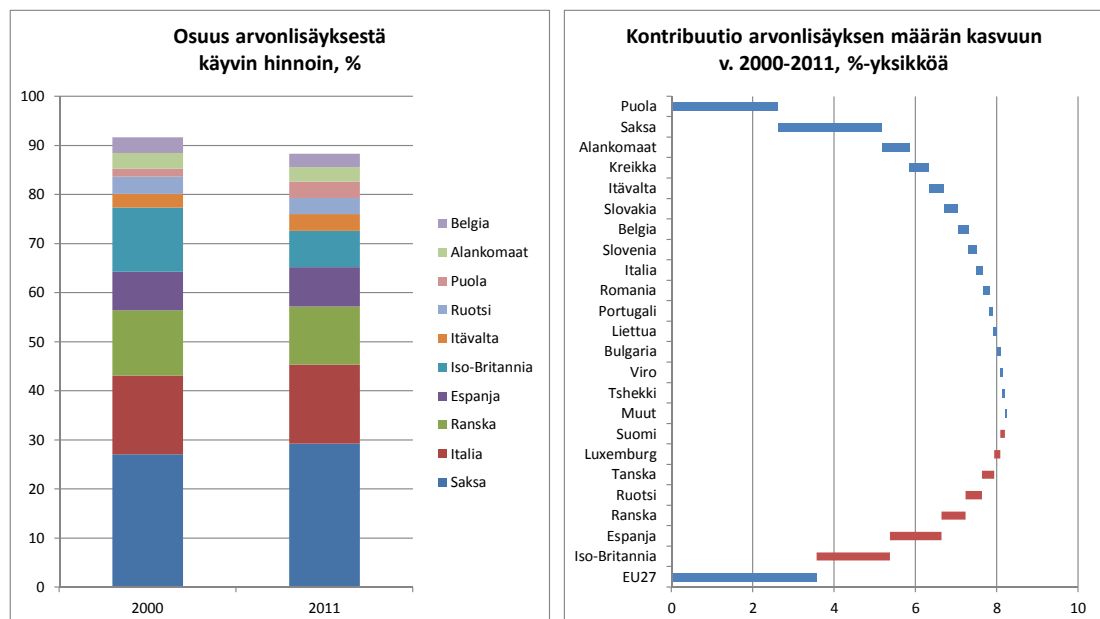
Lähde: Eurostat.

vaihteesta kasvanut runsaalla 2 prosenttiyksiköllä. Seuraavaksi suurin osuus on Italialla, 16 prosenttia, sitten Isolla-Britannialla, 6 prosenttia, Ranskalla, 4 prosenttia, ja Ruotsilla, myös 4 prosenttia. Italian osuus on pienentynyt hieman vuosituhannen vaihteesta, Ison-Britannian ja Ranskan enemmän, runsaat 4 ja 2 prosenttiyksikköä. Ison-Britannian osuuden alenemista selittää se, että punta heikkeni euroa vastaan 42 prosentilla, Ranskan osuuden alenemiselle ei vastaavaa selitystä ole. Suomi on 27 EU:n jäsenmaan joukossa sijalla 9; vuonna 2011 EU:n kone- ja laiteollisuuden arvonlisäyksestä tuotettiin hieman yli 2 prosenttia Suomessa.

Vuodesta 2000 vuoteen 2011 EU27:n kone- ja laiteollisuuden arvonlisäys kasvoi kiintein (vuoden 2005) hinnoin 19 prosenttia. Kasvu ei jakautunut tasaisesti jäsenmaiden kesken; siitä vastasi 90-prosenttisesti kymmenen maata (Saksa, Puola, Italia, Tshekin tasavalta, Itävalta, Iso-Britannia, Unkari, Ruotsi, Alankomaat ja Suomi). Niiden yhteenlaskettu kontribuutio kasvuun oli runsaat 17 prosenttiyksikköä. Keski- ja Itä-Euroopan maiden kone- ja laiteollisuuden voimakkaasta kasvusta huolimatta ne jäävät vielä kymmenen merkittävimmän maan listan ulkopuolelle, mutta todennäköisesti niiden sijoitus nousee tulevaisuudessa.

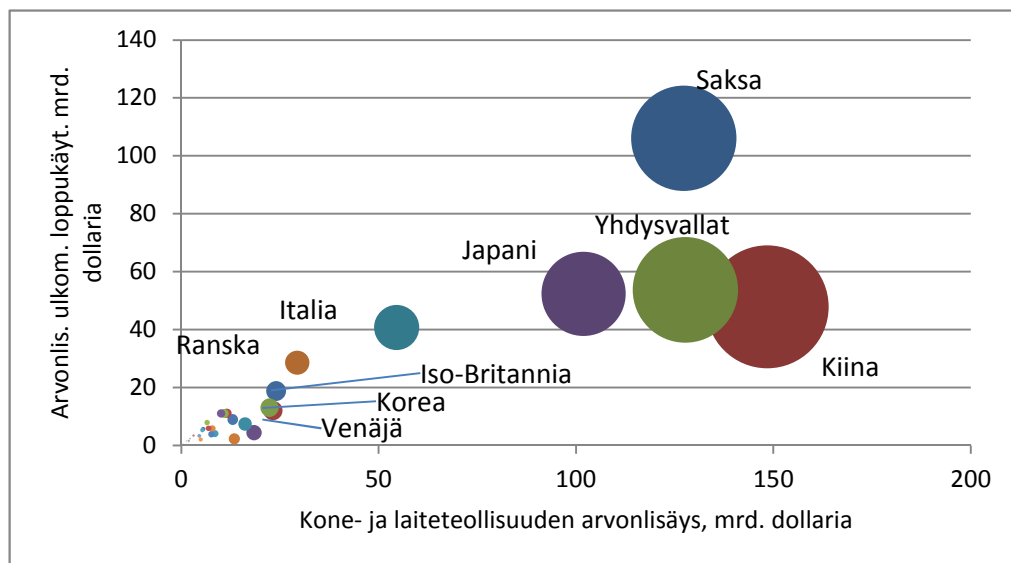
Saksa on suurin myös metallien jalostuksessa ja metallituoteteollisuudessa, joskin sen osuus näiden toimialojen arvonlisäyksestä EU27-maissa oli vuonna 2011 toistakymmentä prosenttiyksikköä pienempi kuin kone- ja laiteollisuudessa, eli 29 prosenttia. Saksan osuus oli kasvanut vuosituhannen vaihteesta saman verran kuin kone- ja laiteollisuudessa, eli runsaalla 2 prosenttiyksiköllä. Seuraavaksi suurin osuus oli Italialla, 16 prosenttia, sitten Ranskalla, 12 prosenttia, Espanjalla, 8 prosenttia, Isolla-Britannialla, 7 prosenttia, sekä Itävallalla, Ruotsilla, Puolalla, Alankomailla ja Belgiassa, joiden kaikkien osuus pyöristyy 3 prosenttiin. Suomen osuus oli 12. suurin, ylöspäin pyöristettynä 2 prosenttia.

**Kuvio 6 Metallien jalostus ja metallituoteteollisuus**



Lähde: Eurostat.

Kuvio 7 Kone- ja laitteollisuuden arvonlisäys ja sen vienti



Lähteet: WIOD, OECD/WTO.

Osuuksien muutokset ovat yleisesti ottaen pieniä. Puolan osuus on kasvanut vajaalla 2 prosenttiyksiköllä, ja Itävallan vajaalla 1 prosenttiyksiköllä. Ison-Britannian osuus on alentunut vajaalla 6 prosenttiyksiköllä, ja Ranskan runsaalla 1 prosenttiyksiköllä.

Metallien jalostuksen ja metallituoteteollisuuden arvonlisäys oli vuonna 2011 kiintein (vuoden 2005) hinnoin 3,6 prosenttia suurempi kuin vuonna 2000. Kehitys EU:n sisällä oli kuitenkin epäyhtenäistä; viidessätoista jäsenmaassa arvonlisäyksen volyymi kasvoi, voimakkaimmin Puolassa ja Saksassa. Kummankin kontribuutio EU27-maiden arvonlisäyksen kasvuun oli runsaat 2 prosenttiyksikköä. Metallien jalostuksen ja metallituoteteollisuuden volyymiä kasvattaneiden maiden kontribuutio oli yhteensä yli 8 prosenttiyksikköä; EU27-alueen volyymikasvua alensi se, että seitsemässä jäsenmaassa metallien jalostuksen ja metallituoteteollisuuden arvonlisäyksen volyymi laski. Niiden joukkoon kuului myös Suomi.

Metallien jalostuksen ja metallituoteteollisuuden arvonlisäyksen suhteellisen vähäinen kasvu EU27-maissa johtui metallien jalostuksen arvonlisäyksen laskusta. Se aleni kiintein (vuoden 2005) hinnoin runsaat 13 prosenttia vuosituhannen vaihteesta vuoteen 2011. EU27-maiden metallituoteteollisuuden arvonlisäys kehittyi huomattavasti suotuisammin, se kasvoi kiintein hinnoin runsaat 11 prosenttia. Saksan (5 prosenttiyksikköä) ja Puolan (4 prosenttiyksikköä) metallituoteteollisuuden kontribuutiot EU27-maiden yhteenlaskettuun kasvuun olivat suurimmat. Suomen metallituoteteollisuuden arvonlisäys kasvoi kiintein hinnoin vajaat 14 prosenttia vuosituhannen vaihteesta vuoteen 2011. EU27-maiden yhteenlaskettua kasvua Suomi lisäsi 0,2 prosenttiyksiköllä.

Suurten talousalueiden tuotannosta jää yleensä suuri osa talousalueen sisälle, eikä EU ole tässä suhteessa poikkeus. EU27-maiden kone- ja laitteollisuuden yhteenlasketusta arvonlisäyksestä meni vuonna 2008 alueen ulkopuoliseen loppukäyttöön 45 prosenttia. Japanissa vastaava osuus oli 51 prosenttia, Yhdysvalloissa 42 prosenttia ja Kiinassa 32 prosenttia. Ainakin kone-

ja laitteollisuuden tuotteiden suhteen EU27 on varsin omavarainen. Vuonna 2008 tuonnilla katettiin jokseenkin tarkkaan neljännes niiden ”kotimaisesta” kysynnästä (EU27-alueella syntynyt arvonlisäys – ulkomaiseen loppukäyttöön sisältyvä EU27-arvonlisäys + EU27-alueen loppukäyttöön sisältyvä ulkomainen arvonlisäys).

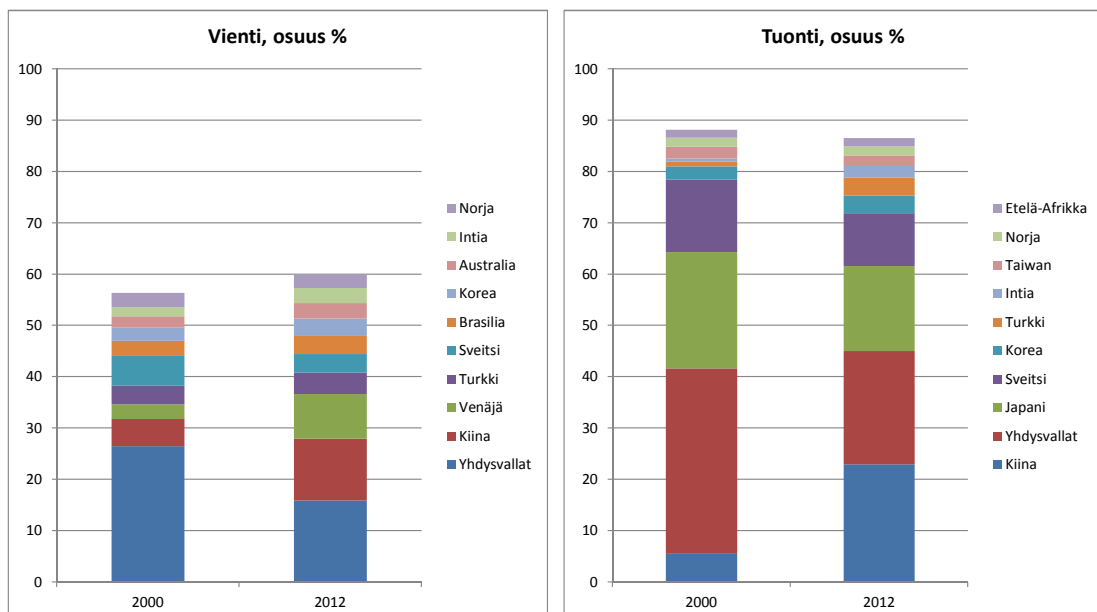
## 2.5 Kiina kirii, mutta Yhdysvallat on vielä merkittävin kauppakumppani

Yhdysvallat on edelleen EU27-maiden kone- ja laitteollisuuden merkittävin vientimaa unionin ulkopuolella, mutta Kiina ei ole enää kaukana sen takana. Vuonna 2012 Yhdysvaltojen osuus kone- ja laitteollisuuden viennistä EU:n ulkopuolelle oli 16 prosenttia ja Kiinan 12 prosenttia. Vuosituhannen vaihteessa osuudet olivat 26 ja 5 prosenttia. Yhdysvaltojen osuuden pieneneminen ei johdu siitä, että vienti Yhdysvaltoihin olisi supistunut vuosituhannen alkuvuosina; sen euromääräinen arvo nousi 37 prosenttia vuodesta 2000 vuoteen 2012. Kun otetaan huomioon euromääräisten vientihintojen nousu, viennin määrä on pysynyt suurin piirtein muuttumattomana.

Yhdysvaltojen osuuden alenemisen selittääkin se, että EU27-maiden kone- ja laitteollisuuden vienti EU:n ulkopuolelle kasvoi kokonaisuutena voimakkaasti; sen euromääräinen arvo oli vuonna 2012 yli kaksinkertainen vuoteen 2000 verrattuna. Vienti Kiinaan nousi yli viisinkertaiseksi ja vienti Venäjälle lähes seitsemänkertaiseksi. Venäjä nousi kahdeksannelta sijalta EU27:n kone- ja laitteollisuuden kolmanneksi tärkeimmäksi vientimaaksi.

Kiinan-viennin lisäksi kasvoi myös EU27-maiden kone- ja laitteollisuuden vienti muihin kehittyviin maihin. Niin sanottujen BRICS-maiden (Brasilia, Venäjä, Intia, Kiina ja Etelä-Afrikka) osuus EU-maiden kone- ja laiteviennistä kaksinkertaistui runsaasta 14 prosentista 29 prosenttiin.

**Kuvio 8 EU27:n kone- ja laitteollisuus, tärkeimmät kauppakumppanit**



Lähde: Eurostat.

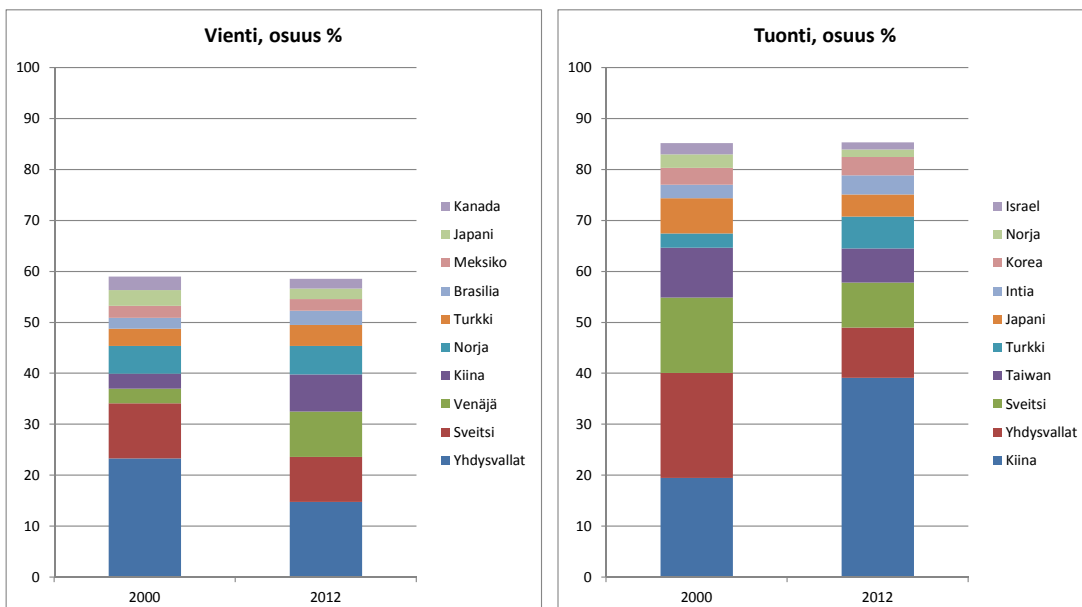
Koneiden ja laitteiden vienti EU27-maista EU:n ulkopuolelle oli vuonna 2012 arvoltaan 2,7 kertaa suurempi kuin niiden tuonti EU:n ulkopuolelta EU27-maihin. Vienti kasvoi vuosittain alkuvuosina selvästi tuontia nopeammin; vuonna 2000 vastaava suhde oli 1,8. Koneiden ja laitteiden tuonti Kiinasta on kasvanut jonkin verran nopeammin kuin niiden vienti sinne, mutta vuonna 2012 vienti kuitenkin ylitti tuonnin yli 40 prosentilla.

Kiina nousi vuoden 2000 neljänneltä sijalta Sveitsin, Japanin ja Yhdysvaltojen ohi suurimmaksi koneiden ja laitteiden tuontimaaksi vuonna 2012. Näiden keskinäinen järjestys säilyi; Yhdysvallat oli toiseksi suurin tuontimaa (osuus 22 prosenttia), Japani kolmanneksi suurin (17 prosenttia) ja Sveitsi neljänneksi suurin (10 prosenttia). Venäjän osuus koneiden ja laitteiden tuonnista EU27-maihin oli mitätön.

Myös EU27-maiden metallituoteteollisuuden suurin vientimaa unionin ulkopuolella oli Yhdysvallat, joskin vuodesta 2000 vuoteen 2012 sen osuus viennistä EU:n ulkopuolelle väheni 23 prosentista 15 prosenttiin. Sveitsin osuus oli toiseksi suurin, 9 prosenttia. Sveitsin osuus aleni vajaalla 2 prosenttiyksiköllä. Venäjä ja Kiina nousivat Norjan ja Turkin ohi kolmanneksi ja neljänneksi suurimmaksi vientimaaksi; vuonna 2012 niiden osuudet olivat 9 ja 7 prosenttiyksikköä. Vuodesta 2000 Venäjän ja Kiinan osuudet kasvoivat vajaat 6 ja runsaat 4 prosenttiyksikköä. Myös Norjan ja Turkin osuudet kasvoivat hieman, 6 ja 4 prosenttiin. Vuonna 2012 ne olivat viidenneksi ja kuudenneksi suurin vientimaa. Brasilia ja Meksiko nousivat ulkopuolelta kärkekkymmenikköön ja ohittivat saman tien Japanin. Brasilian ja Meksikon tieltä väistyivät kärkekkymmeniköstä Yhdistyneet arabiemiirikunnat ja Saudi-Arabia.

Myös metallituoteteollisuudessa vientiosuuksien muutokset heijastivat ennen muuta Venäjän- ja Kiinan-viennin voimakasta kasvua. Edellisen arvo kasvoi lähes seitsemänkertaiseksi, jälkimmäisen yli viisinkertaiseksi. Vienti Norjaan, Turkkiin, Brasiliaan ja Meksikoon kaksinkolminkertaistui.

**Kuvio 9 EU27:n metallituoteteollisuus, tärkeimmät kauppakumpanit**



Lähde: Eurostat.



Vuonna 2012 metallituoteteollisuuden vienti EU27-maiden ulkopuolelle oli arvoltaan 1,4 kertaa tuonnin arvoa suurempi. Viennin arvo kasvoi vuodesta 2000 aavistuksen tuonnin arvoa nopeammin.

Kiina oli vuonna 2012 EU27-alueen merkittävin tuontimaa, sen osuus unionin ulkopuolisesta tuonnista oli 39 prosenttia. Kiinan osuus kaksinkertaistui vuodesta 2000, jolloin se oli 19 prosenttia. Vuonna 2000 merkittävin tuontimaa oli vielä Yhdysvallat, jonka osuus oli 21 prosenttia. Vuonna 2012 Yhdysvallat oli pudonnut toiseksi 10 prosentin osuudella. Sveitsi ja Taiwan olivat pitäneet paikkansa kolmanneksi ja neljänneksi suurimpana tuontimaana, mutta molempien osuudet olivat alentuneet, Sveitsin 15 prosentista 9 prosenttiin ja Taiwanin 10 prosentista 7 prosenttiin.

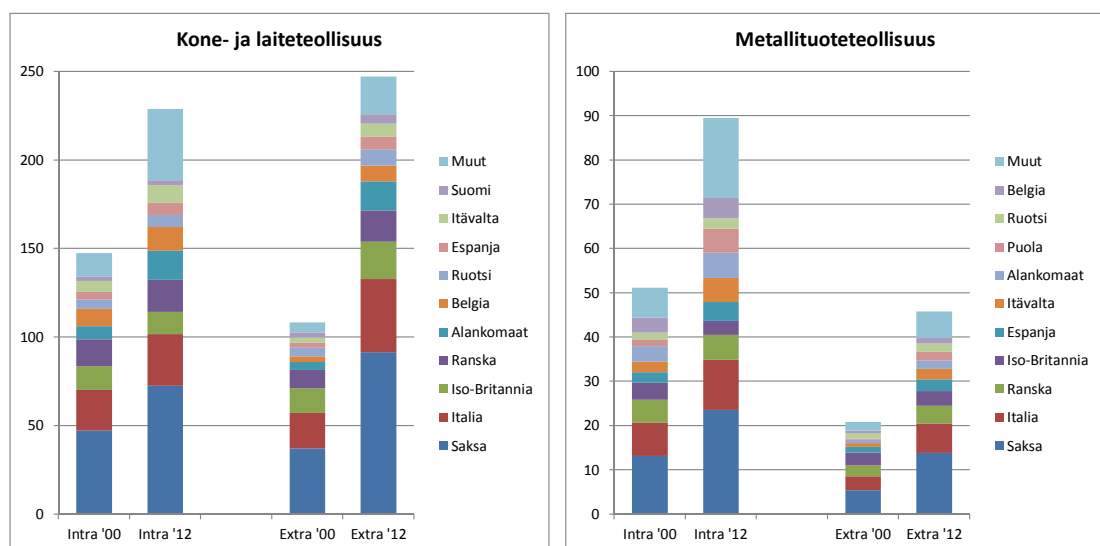
Tuonti Yhdysvalloista, Sveitsistä, Taiwanista, Japanista, Norjasta ja Israelista kasvoi vain vähän, jos ollenkaan. Tuonti Kiinasta nelinkertaistui arvoltaan, mutta muutos ei ollut suhteellisesti suurin. Tuonti Vietnamista kasvoi 14-kertaiseksi ja tuonti Turkista viisinkertaiseksi. Tuonti Intiasta kolminkertaistui ja tuonti Koreasta kaksinkertaistui.

Tuonti EU:n ulkopuolelta kasvoi hieman nopeammin kuin unionin sisäinen kauppa. Vuonna 2012 sen osuus EU:n sisäisen kaupan ja ulkopuolisen tuonnin arvon summasta oli 29 prosenttia. Vuonna 2000 vastaava osuus oli 25 prosenttia. Kiinan-tuonnin osuus sisäisen kaupan ja ulkopuolisen tuonnin summasta oli 11 prosenttia vuonna 2012.

## 2.6 Saksa ylivoimaisesti suurin vientimaa

Saksa on EU27-maista ylivoimaisesti suurin vientimaa. Vuonna 2012 sen osuus kone- ja laitteollisuuden viennistä EU:n ulkopuolelle oli 37 prosenttia, eli yli kaksi kertaa niin suuri kuin toisena olleen Italian. Vuodesta 2000 Saksan osuus kasvoi vajaalla 3 prosenttiyksiköllä. EU27-

Kuvio 10 EU27-maiden vienti muihin jäsenmaihin ja unionin ulkopuolelle



Lähde: Eurostat.

maiden kone- ja laitevienti EU:n ulkopuolelle kasvoi samanaikaisesti merkittävästi voimakkaammin kuin alueen sisäinen kauppa; vuonna 2012 sen arvo oli 108 prosenttia sisäisen kaupan arvosta, vuonna 2000 vastaava suhdeluku oli 73 prosenttia.

Italian osuus EU27-maiden kone- ja laiteviennistä EU:n ulkopuolelle oli 17 prosenttia, seuraavina tulivat Iso-Britannia (9 prosenttia), Ranska (7 prosenttia), Alankomaat (7 prosenttia), Belgia (4 prosenttia), Ruotsi (4 prosenttia), Espanja (3 prosenttia), Itävalta (3 prosenttia) ja Suomi (2 prosenttia).

Vuonna 2012 Saksan osuus EU:n sisäisestä kone- ja laitekaupasta oli 32 prosenttia. Osuus oli laskenut hieman vuodesta 2000. Kärkikymmenikkö oli muuten sama kuin viennissä EU:n ulkopuolelle, mutta Suomi oli pudonnut 15:nneksi. Suomen sijasta kärkikymmenikköön nousi Tshekki, jonka osuus EU:n sisäisestä kaupasta oli kolminkertainen verrattuna sen osuuteen viennistä EU:n ulkopuolelle. Suomen tavoin Ison-Britannian osuus EU:n sisäisestä kaupasta oli pienempi kuin sen osuus viennistä EU:n ulkopuolelle, mutta Iso-Britannia pysyi kuitenkin kymmenen suurimman joukossa.

Vuonna 2012 Saksan osuus metallituotteiden viennistä EU27-maiden ulkopuolelle oli 30 prosenttia, eli kaksinkertainen toiseksi suurimpaan vientimaahan, Italiaan verrattuna. Saksan osuus metallituotteiden viennistä EU:n ulkopuolelle oli kasvanut enemmän kuin sen osuus kone- ja laiteviennistä, runsaalla 4 prosenttiyksiköllä. Myös EU27-maiden metallituoteteollisuuden vienti EU:n ulkopuolelle kasvoi nopeammin kuin alueen sisäinen kauppa, mutta metallituotteiden valmistus oli kuitenkin leimallisemmin sisämarkkinateollisuutta. Vuonna 2012 metallituotteiden vienti EU:n ulkopuolelle oli arvoltaan 51 prosenttia alueen sisäisestä kaupasta.

Metallituotteiden viennissä EU:n ulkopuolelle kärkikymmenikkö oli muuten sama kuin koneiden ja laitteiden viennissä, mutta Suomen sijasta siihen kuului Puola. Italian osuus oli 15 prosenttia, sen jälkeen seurasivat Ranska (9 prosenttia), Iso-Britannia (7 prosenttia), Espanja (6 prosenttia), Itävalta (5 prosenttia), Alankomaat (4 prosenttia), Puola (4 prosenttia), Ruotsi (4 prosenttia) ja Belgia (3 prosenttia). Suomen runsaan 1 prosentin osuus viennistä EU:n ulkopuolelle oli vasta 14. suurin.

Vuonna 2012 Saksan osuus EU:n sisäisessä kaupassa oli 26 prosenttia, eli aavistuksen suurempi kuin vuonna 2000. Kärkikymmenikkö oli jälleen hieman eri järjestyksessä sama kuin viennissä EU:n ulkopuolelle, mutta Tshekki nousi kymmenikön ulkopuolelta neljänneksi. Maan osuus EU:n sisäisestä kaupasta oli taas merkittävästi isompi kuin sen osuus viennistä EU:n ulkopuolelle. Tshekin tieltä kärkikymmeniköstä väistyi Ruotsi. Ison-Britannian osuus EU:n sisäisestä kaupasta oli merkittävästi pienempi kuin sen osuus viennistä EU:n ulkopuolelle. Suomen sijoitus aleni edelleen. Suomen osuus metallituotteiden kaupasta EU:n sisällä, vajaa 1 prosentti, oli 18. suurin.

## 2.7 Saksan vientimenestys perustuu korkeaan laatuun

Saksan hyvä vientimenestys myös kehittyvissä maissa on jossakin määrin yllättävää. Vaikka Saksan työvoimakustannukset ovatkin kehittyneet maltillisesti 2000-luvun ensimmäisen vuosikymmenen aikana, kyse ei ole halvasta maasta. Suuri enemmistö saksalaisista yrityksistä pyrkiikin erottautumaan kilpailijoista tuotteiden korkealla laadulla. Laadun merkitys vaihte-

lee vähän sen mukaan, kuinka tutkimus- ja kehitysintensiivisestä yrityksestä on kysymys, mutta kaikille yrityksille laatu on tärkein kilpailukeino.

Fraunhofer-Institut ISI -tutkimuslaitoksen vuonna 2009 tekemän kyselyn mukaan (Som et al., 2011) tuotteiden laatu on tärkein kilpailukeino 48 prosentille yrityksistä, jotka käyttävät vähiten rahaa tutkimus- ja kehitystoimintaan. Laatua pitää tärkeimpänä kilpailukeinonaan myös 40 prosenttia yrityksistä, jotka käyttävät eniten rahaa tutkimus- ja kehitystoimintaan. Ne painottavat laatua selvästi innovatiivisia tuotteita enemmän. Innovatiiviset tuotteet ovat tärkein keino erottua kilpailijoista 28 prosentille tutkimus- ja kehitysintensiivisistä yrityksistä.

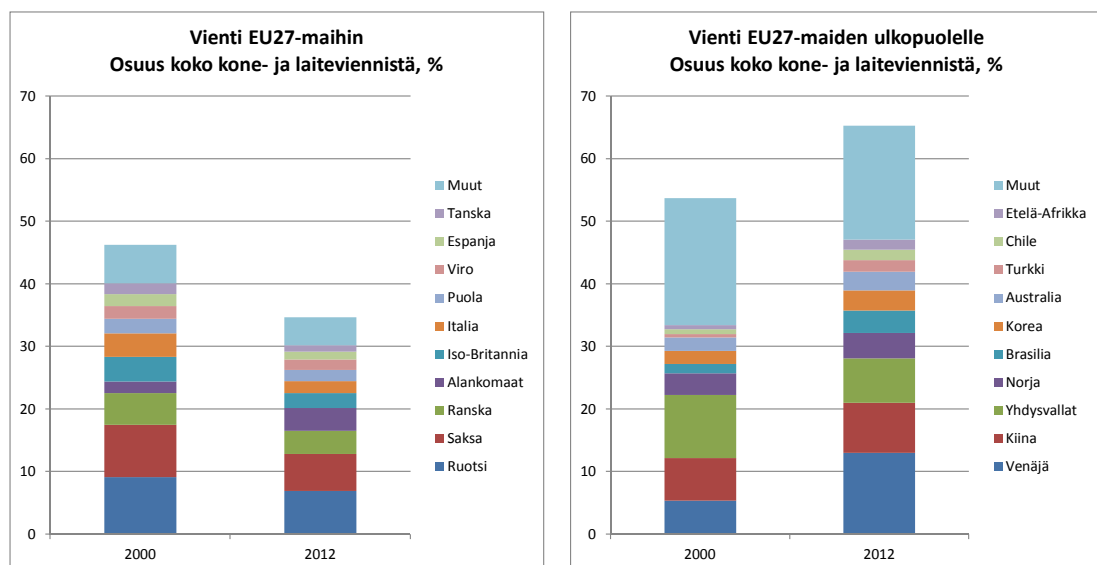
Tuotteiden mukauttaminen asiakkaiden tarpeisiin on yrityksille suurin piirtein yhtä tärkeää riippumatta siitä, miten paljon rahaa ne käyttävät tutkimus- ja kehitystoimintaan. Vähiten rahaa käyttävistä yrityksistä 16 prosenttia, ja eniten käyttävistä 18 prosenttia pitää sitä tärkeimpänä kilpailukeinonaan. Tuotteiden hinta on tärkein keino erottautua kilpailijoista 21 prosentille yrityksistä, jotka käyttävät vähiten rahaa tutkimus- ja kehitystoimintaan.

Kolme vuotta aikaisemmin tehty kysely (Kinkel ja Som, 2007) tuotti hieman toisenlaisia tuloksia. Sen mukaan kone- ja laiteollisuudessa 26 prosenttia yrityksistä piti tärkeimpänä kilpailukeinonaan innovaatioita ja teknologiaa, 26 prosenttia laatua ja 21 prosenttia tuotteiden mukauttamista asiakkaiden tarpeisiin. Hinta oli tärkein kilpailukeino 18 prosentille kone- ja laiteollisuuden yrityksistä. (Laajempi analyysi Saksan menestyksen syistä on liitteessä 1.)

## 2.8 Suomelle EU:n ulkopuoliset markkinat ovat sisämarkkinoita tärkeämmät

Suomen kone- ja laiteviennissä EU:n ulkopuolisten markkinoiden merkitys on selvästi kasvanut sisämarkkinoiden kustannuksella. Vuonna 2000 yli puolet kone- ja laiteviennistä meni unionin ulkopuolisille markkinoille; vuonna 2012 niiden osuus oli noussut kahteen kolmas-

**Kuvio 11 Suomen kone- ja laitevienti**



Lähde: Eurostat.

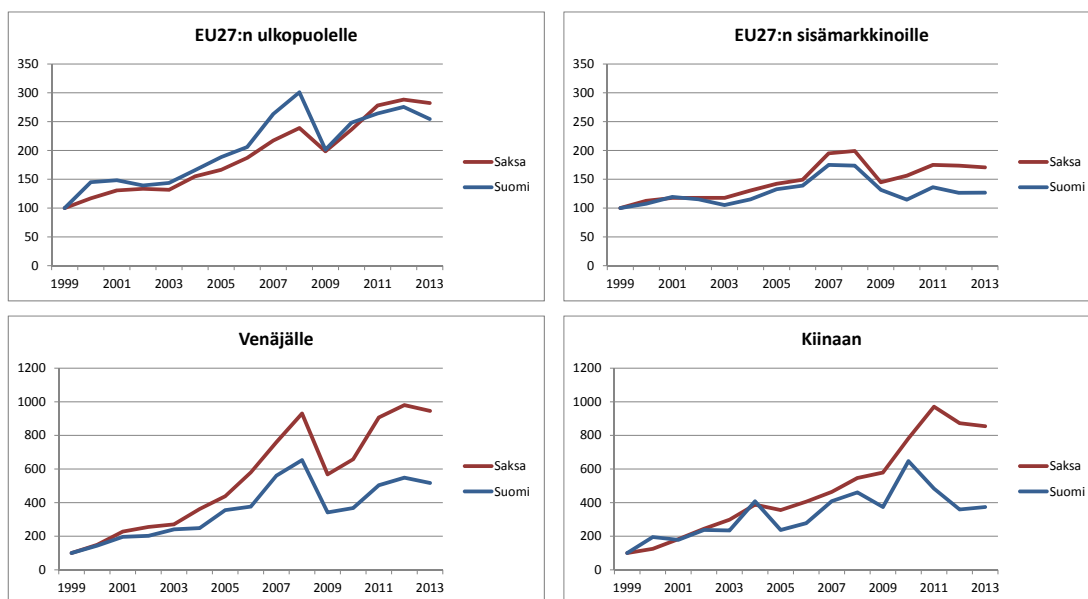
osaan. Venäjä, Kiina ja Yhdysvallat olivat suurimmat EU27-maiden ulkopuoliset vientimarkkinat vuonna 2012, ja niiden kaikkien osuus Suomen kone- ja laiteviennistä oli suurempi kuin Ruotsin ja Saksan, jotka olivat suurimmat vientimaat EU:n sisällä.

Suurimpien EU:n ulkopuolisten vientimaiden joukossa oli vuonna 2012 useita maita, kuten Venäjä, Norja, Brasilia, Australia, Chile ja Etelä-Afrikka, joissa raaka-aine- ja energiavarojen hyödyntämisellä on suuri merkitys. Samaan joukkoon voidaan varauksin lukea myös Kiina ja Yhdysvallat, jälkimmäinen meneillään olevan liuskeöljy ja -kaasuboomin vuoksi.

Suomen kone- ja laitevienti Kiinaan on vuosituhannen vaihteesta kasvanut hitaammin kuin EU27-maiden yhteensä. Erityisesti Saksan kone- ja laitevienti Kiinaan on kasvanut nopeasti, ja se on pysynyt korkealla tasolla myös kolmen viime vuoden aikana, jolloin Suomen kone- ja laitevienti Kiinaan on arvoltaan alentunut. Saksa on menestynyt Suomea paremmin myös Venäjän markkinoilla. Saksa on tietenkin Suomen kone- ja metallituoteteollisuudelle ankarin vertailukohta, mutta se voi olla myös kannustavin esimerkki siitä, mikä on mahdollista. Itse asiassa vuosituhannen alussa vuoteen 2008 asti Suomen kone- ja laitevienti EU:n ulkopuolelle kehittyi suotuisammin kuin Saksan.

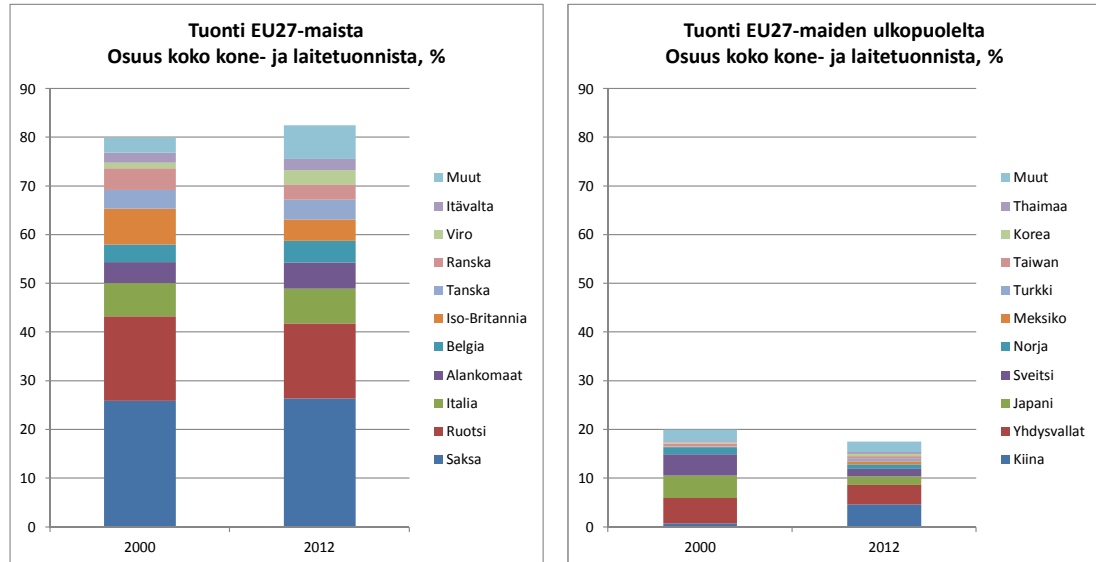
Koneiden ja laitteiden tuonnista Suomeen on EU27-mailla hallitseva osuus, joka on vuosituhannen vaihteesta vain vahvistunut. Vuonna 2012 EU27-maiden osuus Suomen kone- ja laitetuonnista oli yli 80 prosenttia. Saksa, Ruotsi, Italia ja Alankomaat olivat suurimmat tuontimaat, niiden yhteenlaskettu osuus Suomen kone- ja laitetuonnista ylitti reilusti 50 prosenttia. Kiina oli viidenneksi suurin tuontimaa, ja sen osuus oli kasvanut eniten vuosituhannen vaihteesta. Merkille pantavaa on se, että Japanin osuus oli samanaikaisesti pienentynyt voimakkaasti. Yhdysvaltojen osuus Suomen kone- ja laitetuonnista oli alentunut vähän; Euroopan maista Iso-Britannia ja Sveitsi olivat menettäneet osuuksiaan Suomen kone- ja laitetuonnista.

Kuvio 12 Saksan ja Suomen kone- ja laitevienti (1999 = 100)



Lähde: Eurostat.

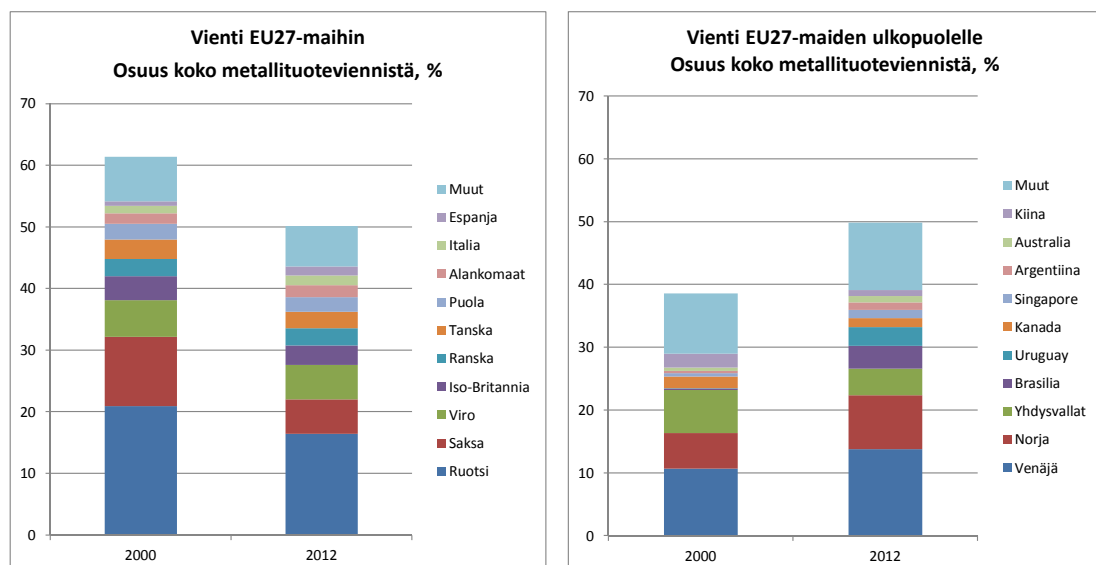
Kuvio 13 Suomen kone- ja laitetuonti



Lähde: Eurostat.

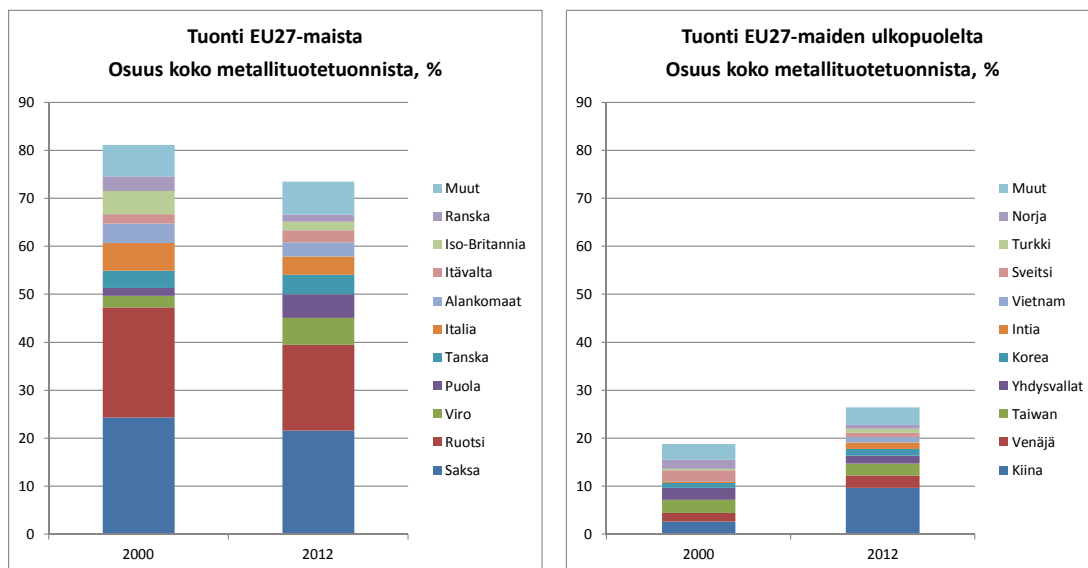
Kuten EU27-maissa kokonaisuutena, myös Suomessa metallituotteiden vienti unionin ulkopuolelle on vuosituhannen vaihteesta kasvanut nopeammin kuin niiden vienti EU27-maihin. EU:n ulkopuolisilla markkinoilla oli jo alkujaankin suhteellisesti suurempi merkitys Suomelle kuin koko unionille; vuonna 2012 Suomen vienti unionin sisä- ja ulkopuolelle oli arvoltaan jokseenkin yhtä suuri, kun EU27-maiden vienti unionin ulkopuolelle vastasi noin puolta unionin sisäisestä kaupasta.

Kuvio 14 Suomen metallituotevienti



Lähde: Eurostat.

Kuvio 15 Suomen metallituotetuonti



Lähde: Eurostat.

Tärkeimmät EU:n ulkopuoliset vientimaat olivat osaksi samat sekä Suomessa että EU27-maissa kokonaisuutena, mutta eri järjestyksessä. Suomen metallituoteviennistä EU:n ulkopuolelle oli Venäjän osuus suurin ja Yhdysvaltojen kolmanneksi suurin, kun EU27-maiden viennissä järjestyksesi oli päinvastainen. Lisäksi Norja oli Sveitsin sijasta toiseksi tärkein EU:n ulkopuolinen vientimaa.

Metallituotteiden vienti Ruotsiin ylitti Venäjän-viennin, ja vienti Saksaan ja Viroon oli arvoltaan suurempi kuin Yhdysvaltojen-vienti. Lähimarkkinoille, Ruotsiin, Venäjälle, Norjaan, Saksaan, Viroon, Puolaan, Latviaan ja Liettuaan meni vuonna 2012 noin 57 prosenttia Suomen metallituoteviennistä.

Myös metallituotteiden tuonti EU27-maiden ulkopuolelta kasvoi nopeammin kuin tuonti EU27-maista. Silti tuontituotteista oli vuonna 2012 yli 70 prosenttia peräisin EU27-maista. EU:n ulkopuolisen tuonnin osuutta kasvatti Kiinan-tuonnin kasvu; Kiina oli vuonna 2012 kolmanneksi suurin metallituotteiden tuontimaa Saksan ja Ruotsin jälkeen.

## 2.9 Saksa on muille EU-maille epäsuora vientikanava

Suurena vientimaana Saksa tarjoaa muille EU-maille epäsuoran vientikanavan. Saksalaiset yritykset hankkivat välituotteita itäisestä Keski-Euroopasta EU:n uusista jäsenmaista. Sitä on pidetty yhtenä selityksenä saksalaisten yritysten kilpailukyvyille, mutta yllättävän paljon välituotteita tulee myös läntisestä Euroopasta.

Esimerkiksi Itävallan metallituoteteollisuuden viennistä Saksaan vuonna 2011 oli 87 prosenttia välituotteita. Kone- ja laitteollisuuden viennistä Saksaan välituotteiden osuus oli samana

vuonna 44 prosenttia. Osuudet ovat pysyneet melko vakaasti samoina ainakin vuodesta 1995. Itävallan osuus metallituotteiden välituotetuonnista Saksaan oli 8 prosenttia, eli neljänneksi suurin, ja maan osuus koneiden ja laitteiden välituotetuonnista Saksaan 6 prosenttia, eli kuudenneksi suurin.

Suurin osuus metallituotteiden välituotetuonnista Saksaan oli Italiassa (10 prosenttia), sitten Kiinalla (10 prosenttia), Tshekillä (10 prosenttia), Itävallalla (8 prosenttia), Sveitsillä (7 prosenttia), Puolalla (7 prosenttia), Alankomailla (5 prosenttia), Ranskalla (5 prosenttia), Belgiassa (3 prosenttia) ja Espanjalla (3 prosenttia). Suomen osuus metallituotteiden välituotetuonnista Saksaan oli 36. suurin, ja jäi huomattavasti alle prosentin.

Italiassa oli suurin osuus myös kone- ja laitteellisuuden välituotetuonnista Saksaan, 11 prosenttia. Seuraavina tulivat Yhdysvallat (9 prosenttia), Sveitsi (8 prosenttia), Tšekki (7 prosenttia), Ranska (7 prosenttia), Itävalta (6 prosenttia), Kiina (6 prosenttia), Japani (5 prosenttia), Puola (4 prosenttia) ja Alankomaat (3 prosenttia). Suomen hieman vajaan 1 prosentin osuus riitti 26. sijalle.

Vuonna 2011 tuonnin osuus Saksan metallien jalostuksen ja metallituoteteollisuuden välituotekäytöstä oli 42 prosenttia ja kone- ja laitteellisuuden välituotekäytöstä 32 prosenttia. Kotimaisen välituotekäytön osuutta nostavat esimerkiksi monet palvelut, joita ei ole teoriassakaan mahdollista tuoda. Siksi saman toimialan tuotteiden välituotekäyttö antaa ehkä paremman kuvan tilanteesta ja sen muutoksista vuosina 2000–2011.

**Taulukko 1 Välituotetuonti Saksaan v. 2011**

Koneiteollisuus			Metallituoteteollisuus		
	1 000 dollaria	%		1 000 dollaria	%
1 Italia	4 549 081	10.5	1 Italia	2 555 856	9.8
2 Yhdysvallat	3 817 249	8.8	2 Kiina	2 486 977	9.6
3 Sveitsi	3 523 901	8.2	3 Tšekki	2 480 188	9.6
4 Tšekki	3 237 585	7.5	4 Itävalta	2 204 963	8.5
5 Ranska	2 910 218	6.7	5 Sveitsi	1 839 200	7.1
6 Itävalta	2 617 299	6.1	6 Puola	1 800 682	6.9
7 Kiina	2 590 619	6.0	7 Alankomaat	1 367 748	5.3
8 Japani	2 248 720	5.2	8 Ranska	1 265 608	4.9
9 Puola	1 850 487	4.3	9 Belgia, Luxemburg	851 959	3.3
10 Alankomaat	1 510 314	3.5	10 Espanja	802 994	3.1
11 Iso-Britannia	1 460 387	3.4	11 Yhdysvallat	763 864	2.9
12 Slovakia	1 425 192	3.3	12 Taiwan	743 487	2.9
13 Unkari	1 403 116	3.2	13 Unkari	715 658	2.8
14 Belgia, Luxemburg	1 073 274	2.5	14 Turkki	586 220	2.3
15 Ruotsi	1 022 182	2.4	15 Slovakia	582 944	2.2
16 Espanja	825 420	1.9	16 Iso-Britannia	533 454	2.1
17 Romania	621 868	1.4	17 Ruotsi	513 623	2.0
18 Turkki	606 598	1.4	18 Japani	417 105	1.6
19 Tanska	587 828	1.4	19 Tanska	388 062	1.5
20 Intia	508 315	1.2	20 Intia	384 148	1.5
21 Slovenia	423 990	1.0	21 Slovenia	319 228	1.2
22 Korea	415 514	1.0	22 Korea	288 470	1.1
23 Kanada	382 156	0.9	23 Romania	264 349	1.0
24 Portugali	356 866	0.8	24 Portugali	219 369	0.8
25 Singapore	353 298	0.8	25 Irlanti	147 184	0.6
<b>26 Suomi</b>	<b>349 756</b>	<b>0.8</b>	<b>34 Suomi</b>	<b>68 310</b>	<b>0.3</b>
EU yhteensä	26 728 809	61.9	EU yhteensä	17 351 325	66.8

Lähde: OECD.

Vuonna 2000 kotimaisten toimittajien osuus metallien jalostuksen ja metallituoteteollisuuden tuotteiden välituotekäytöstä samalla toimialalla oli Saksassa 54 prosenttia. Vuoteen 2011 mennessä osuus laski 48 prosenttiin, eli vajaat 6 prosenttiyksikköä. Samaan aikaan muut EU27-maat kasvattivat osuuttaan vajaalla 5 prosenttiyksiköllä 36 prosenttiin. Kokonaisuutena EU27-maiden osuus säilyi siten lähes ennallaan 84 prosentissa. Eniten osuuksiaan kasvattivat Italia, Itävalta, Belgia, Espanja ja vasta sitten ensimmäinen ”uusi” jäsenmaa, Puola. EU:n ulkopuolisista maista eniten lisäsi osuuttaan Venäjä, ja sen jälkeen Kiina, mutta Kiinan osuus metallien jalostuksen ja metallituoteteollisuuden välituotetoimituksista samalle toimialalle Saksaan oli vuonna 2011 vain runsas prosentti.

Samana vuonna kotimaisten toimittajien osuus kone- ja laiteollisuuden välituotekäytöstä samalla toimialalla Saksassa oli 68 prosenttia. Vuoteen 2011 mennessä saksalaisten yritysten osuus oli laskenut hieman, vajaat 3 prosenttiyksikköä, mutta oli silti varsin korkea, 66 prosenttia. Muiden EU27-maiden osuus oli sekä vuonna 2000 että vuonna 2011 hieman yli viidennes. EU27-maiden yhteenlaskettu osuus nousi vuonna 2011 yli 86 prosentin. Kiina oli kasvattanut osuuttaan vajaat 3 prosenttiyksikköä. Se oli myös Kiinan osuus kone- ja laiteollisuuden tuotteiden saman toimialan välituotekäytöstä Saksassa vuonna 2011; vuonna 2000 Kiinan osuus oli olematon.

Kulkuneuvojen valmistuksessa saksalaisten yritysten osuus saman toimialan välituotekäytöstä kotimaassaan oli 65 prosenttia vuonna 2000. Vuoteen 2011 mennessä osuus aleni runsaat 5 prosenttiyksikköä 59 prosenttiin. Toimitukset muista EU27-maista kasvoivat samaan aikaan 3 prosenttiyksiköllä. EU27-maiden yhteenlaskettu osuus aleni 93 prosentista 91 prosenttiin. Tshekki ja Puola vastasivat lähes kahdestaan muiden EU27-maiden osuuden kasvusta. EU:n ulkopuolisista maista Kiinan ja Korean osuudet nousivat, mutta ne jäivät 2 prosenttiin vuonna 2011.

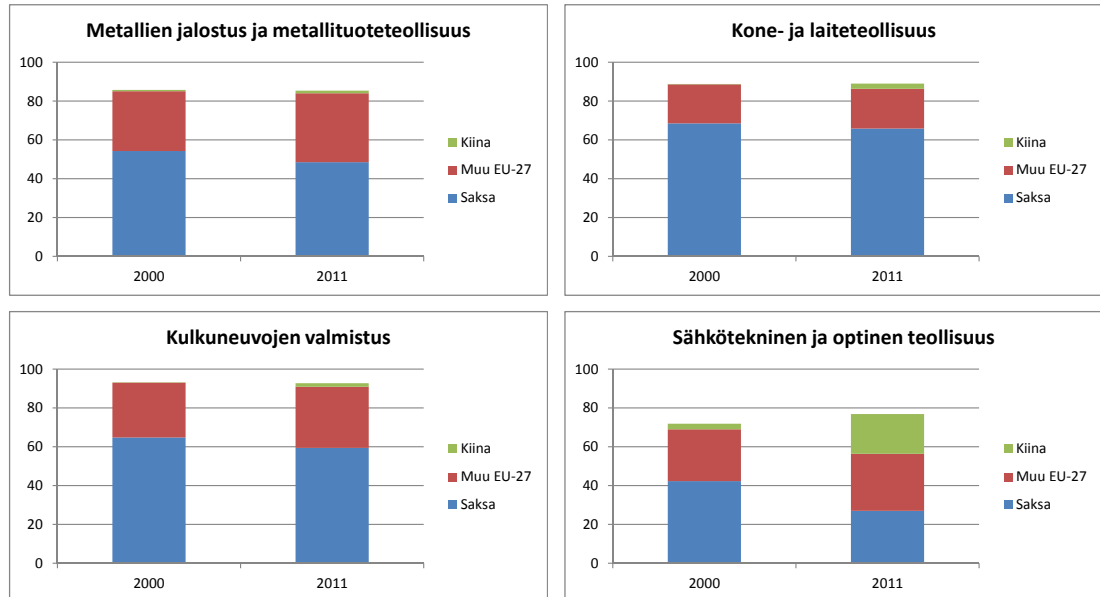
Metallien jalostuksessa ja metallituoteteollisuudessa, kone- ja laiteollisuudessa sekä kulkuneuvojen valmistuksessa eurooppalaisten toimittajien asema on ollut vahva eikä näytä juurikaan heikentyneen. Sähköteknisessä ja optisessa teollisuudessa tilanne on toisenlainen.

Kiinan osuus sähkötekniikan ja optisen teollisuuden välituotetoimituksista samalle toimialalle Saksaan oli 3 prosenttia vuonna 2011 ja 20 prosenttia vuonna 2011, eli osuus kasvoi peräti 17 prosenttiyksikköä. Saksalaisten toimittajien osuus on samanaikaisesti romahtanut 15 prosenttiyksikköä; se oli vain 27 prosenttia vuonna 2011. Muiden EU-maiden osuus nousi vähän. ”Uusista” jäsenmaista Tshekki, Slovakia, Puola ja Unkari kasvattivat osuuksiaan, mutta Iso-Britannia menetti omaansa. Kokonaisuutena EU-maiden osuus aleni 13 prosenttiyksikköä 56 prosenttiin vuonna 2011.

Sähkötekniikan ja optisen teollisuuden välituotetoimituksissa kone- ja laiteollisuudelle sekä kulkuneuvoteollisuudelle saksalaisten ja yleensäkin eurooppalaisten toimittajien asema on vahvempi. Vuonna 2011 EU27-maista peräisin olevien välituotetoimitusten osuudet olivat 67 ja 77 prosenttia, mutta nekin olivat alentuneet hieman toistakymmentä prosenttiyksikköä vuosituhannen alusta.



Kuvio 16 Saman toimialan välituotteiden alkuperä Saksassa



Lähde: WIOD.

### 3 Tulevaisuus

#### 3.1 Kasvun painopiste on idässä ja etelässä

Yksi viime vuosikymmenen lopun ja kuluvan alun merkittävimpiä ilmiöitä on ollut kehittyvien talouksien nousu. Erityisesti Kiinassa ja Intiassa sekä monissa Itä- ja Etelä-Aasian pienemmissä maissa talous on kasvanut nopeasti. Aasia on ottamassa takaisin paikkansa maailmantaloudessa.

Maineikkaan taloushistorian tutkijan Angus Maddisonin kokoamien historiallisten tilastojen mukaan Aasian osuus maailman yhteenlasketusta bkt:sta oli vuonna 1820 noin 57 prosenttia. Vuoteen 1950 mennessä osuus oli laskenut 18 prosenttiin. Osuus alkoi kasvaa voimakkaammin 1970-luvun lopussa, ja uuden vuosikymmenen alkuvuosina se nousi 40 prosenttiin. Euroopan osuus kasvoi 1800-luvulla, ja oli vuosikymmenen vaihteessa noin 39 prosenttia (Venäjä, Valko-Venäjä, Ukraina ja Baltian maat puuttuvat luvusta). Sen jälkeen osuus on laskenut ja oli vajaat 20 prosenttia uuden vuosikymmenen alussa. Pohjois-Amerikan osuus nousi vähäisestä alusta noin 30 prosenttiin 1950-luvun alkuun mennessä. Sen jälkeen osuus on alentunut, ja oli uuden vuosikymmenen alkuvuosina suurin piirtein sama kuin Euroopan eli noin 20 prosenttia.

Osuuksien kehityksen tarkastelu on havainnollista, mutta hieman vaarallista. Se johtaa helposti ajattelemaan, että kehitys on nollasummapeleä, jossa yhden voittoon vastaa toisen samansuuruisen tappio. Kasvavassa taloudessa näin ei yleensä ole, vaan kaikki voivat voittaa. Yhden maan tai maanosan nopeampi kasvu ei ole pois muilta, vaan tarjoaa päinvastoin niillekin uusia mahdollisuuksia.

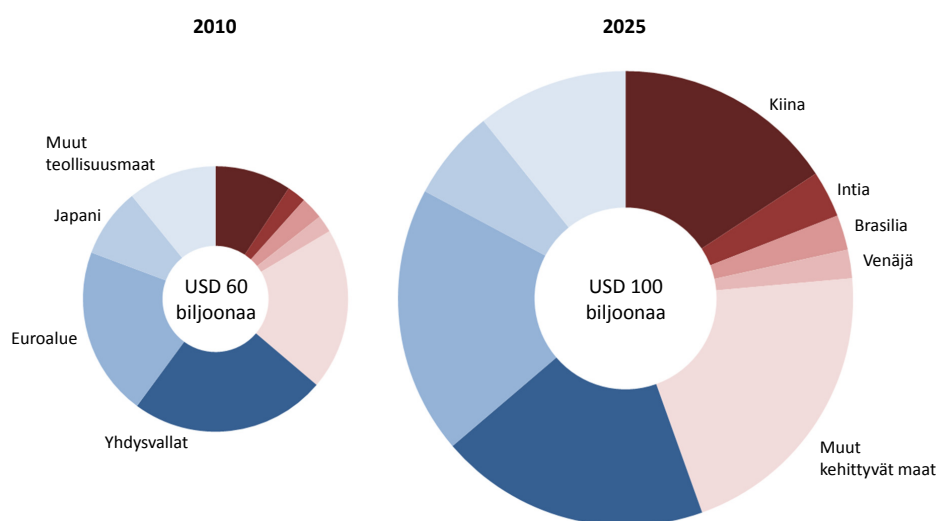
Vuonna 2008 kärjestyneen finanssikriisin jälkeen taloudellinen kasvu on ollut useimmissa teollisuusmaissa parhaimmillaankin hidasta. Tänä ja ensi vuonna kasvu nopeutuu jossakin määrin teollisuusmaissa, erityisesti Yhdysvalloissa. Se vauhdittaa myös kehittyvien maiden kasvua. Vaikka kasvusysäys tulee teollisuusmaista, Kansainvälisen valuuttarahaston IMF:n tuoreen World Economic Outlookin (IMF, 2014) mukaan näyttää siltä, että kasvun painopiste on siirtynyt itään ja etelään ainakin lähivuosien ajaksi.

Pelkästään kasvunopeuksia vertailemalla voi kehityksestä saada hieman väärän käsityksen, koska isoissa talouksissa alhainenkin kasvunopeus tuottaa suuren rahamääräisen lisäyksen bruttokansantuotteeseen. IMF:n vuosille 2014–2019 ennakoimasta maailmantalouden kasvusta runsaan kolmanneksen (35 %) arvioidaan syntyvän kehittyneissä maissa. Se ei jää kovin kauaksi kehittyvän Aasian osuudesta. Aasian kehittyvien maiden ennakoidaan tuottavan hie-man yli kaksi viidennestä (42 %) maailmantalouden kasvusta seuraavan viiden vuoden aikana.

Eurooppalaisille metallituoteteollisuuden yrityksille kotimanner on selkeästi tärkein markkina-alue. Kone- ja laitteollisuuden yrityksille se on ainakin yhtä tärkeä markkina-alue kuin muu maailma. Vienti EU:n ulkopuolelle on tosin kasvanut suuremmaksi kuin unionin sisäinen kauppa, mutta jälkimmäiseen ei sisälly se tuotannon osa, joka jää kunkin maan kotimarkkinoille. Toisaalta sisäiseen kauppaan sisältyy tietenkin välituotteita, joiden lopullinen määränpää on EU:n ulkopuolella.

Odotukset Euroopan tulevaisuudesta eivät ole yleisesti ottaen kovin optimistisia. Todennäköisesti ne kuitenkin heijastavat enemmän maanosan talouden heikkoa nykytilannetta. Se taas johtuu pitkälti toimenpiteistä, joilla Euroopan ongelmamaiden (ja muidenkin EU-maiden) julkisen talouden alijäämiä on pyritty supistamaan, ja Euroopan pankkien vakavaraisuutta vahvistamaan. Kun julkiset taloudet on satu parempaan tasapainoon, ja pankkien pääomat ovat vahvistuneet riittävästi, taloudellinen kasvu voi nopeutua Euroopassa merkittävästi.

**Kuvio 17 Kehittyvien maiden osuus maailman kokonaistuotannosta nousee**



Lähde: The World Bank (2011).

EU lähialueineen on yhdistelmä kehittyneitä teollisuusmaita ja kehittyviä talouksia, joilla on vahva teollinen pohja. Maiden väliset kehitys- ja elintasoerot tekevät maanosasta kokonaisuutena kilpailukykyisemmän muun maailman markkinoilla, mutta ne ovat myös maanosan sisäisen kasvudynamiikan perusta. Kasvun näkökulmasta Euroopan suurin pulma on ikääntyvä väestö. Toisaalta eurooppalaisilla yrityksillä on erinomaiset edellytykset kehittää työtä säästäviä ratkaisuja. Lähialueella on myös Turkki, väkirikas maa, jonka ikärakenne on Eurooppaa nuorempi.

Kehittyneistä maista Yhdysvallat, Sveitsi ja Norja ovat EU-maiden kone-, laite- ja metallituoteviennin tärkeitä kohdemaita unionin ulkopuolella.

Yhdysvaltojen talous on kääntynyt kasvuun liuskekaasun ja -öljyn lisääntyvän tuotannon siivittämänä. Kohtuullisen suotuisan ikärakenteensa ansiosta maan näkymät ovat keskipitkällä aikavälillä hyvät. Yhdysvaltojen työvoima on myös liikkuvampaa kuin esimerkiksi Euroopassa. Lisäksi joustava palkanmuodostus ja dollarin heikkeneminen ovat myötävaikuttaneet siihen, että Yhdysvaltojen kustannustaso on tällä hetkellä kansainvälisesti varsin kilpailukykyinen. Tosin dollarin voi odottaa vahvistuvan ainakin jossakin määrin, kun talouden kasvu vahvistuu.

Norja tarjoaa kaasu- ja öljyvaroineen markkinat, joiden varaan voi lähitulevaisuudessa rakentaa suhteellisen turvallisin mielin.

Euroopan lähialueella Venäjä ja Turkki lukeutuvat EU:n kone- ja metallituoteteollisuuden suurimpiin vientimaihin.

Venäjän markkinoilla on suuri potentiaali, jos yritystoiminnan juridinen suoja paranee ja toimintaympäristö muuttuu ennustettavammaksi. Nähtäväksi jää myös se, kuinka syvä on maaliskuussa 2014 kärjistyneen Ukrainan kriisin vaikutus ja kuinka pitkään se kestää. Venäjä pyrkii vahvistamaan asemaansa keinoilla, jotka jarruttavat maan talouden kehitystä. Jossakin vaiheessa tosiasiat on tunnustettava; keskeinen kysymys on, kuinka paljon taloudellisen tilanteen pitää heikentyä ennen kuin kehitys kääntyy.

Turkillla on hyvä maantieteellinen asema lähellä Eurooppaa, ja sen 70 miljoonainen väestö on ikärakenteeltaan suhteellisen nuorta. Maan poliittisen vakauden säilyminen on kuitenkin kysymysmerkki.

Suurin vientipotentiaali on kuitenkin lähitulevaisuudessa Kiinassa ja muissa Aasian maissa. Kehittyvän Aasian kasvuvauhti on noin kaksinkertainen kehittyneisiin maihin verrattuna. Asian kehittyvien maiden BKT lisääntyy viisivuotisjaksolla runsaalla puolella, kehittyneiden maiden vajaan viidenneksellä.

Aasian maissakin kasvu jää jonkin verran hitaammaksi kuin vuosituhanen alkuvuosina. Kiina toimii kuitenkin edelleen tärkeänä kasvun moottorina, vaikka sen talouden kasvuvauhti hidastuu. Maailmanpankin vuonna 2011 julkistamassa skenaariossa (The World Bank, 2011) arvioidaan Kiinan osuuden maailman bruttokansantuotteesta nousevan vuoteen 2025 mennessä vajaan viidennekseen.

Kiina on muutoksen edessä, kun työikäisen väestön kasvu taittuu näinä vuosina. Kiinan talouden kasvu nojautuu tulevaisuudessa tuottavuuden nousuun, ei työpanoksen kasvattamiseen. Muutos lähimenneisyyteen ei tosin ole kovin suuri. Maan nopea kasvu on tähänkin asti perus-

tunut enemmän pääomakannan lisääntymiseen ja kokonaistuottavuuden nousuun kuin työvoiman lisääntymiseen<sup>3</sup>. Kiinan voimavarojen arvioidaan riittävän kasvumallin muuttamiseen.

Intian kasvu on perustunut Kiinaa merkittävästi enemmän työpanoksen lisääntymiseen. Intiassa työikäisen väestön määrä kasvaa edelleen, mutta taloudellisen kasvun tieltä pitää raivata muita, institutionaalisia ja infrastruktuurin puutteista johtuvia esteitä.

Kiinan talouden kasvu vetää mukanaan myös vähemmän kehittyneitä maita. Esimerkiksi Saharan eteläpuolisessa Afrikassa keskimääräinen BKT per capita nousi 75 prosenttia vuosina 2000–2013.

Kiinan veto välittyy muun muassa raaka-aineiden kysynnän kautta. Vuonna 2012 maa oli maailman suurin rauta-, nikkeli-, kupari- ja alumiinimalmin ja -rikasteen tuoja. Sen osuudet näiden malmien ja rikasteiden maailmankaupasta olivat 60, 46, 33 ja 22 prosenttia. Itä-Aasian kauppataase on metallimalmien ja -rikasteiden osalta voimakkaasti alijäämäinen. Malmeja ja rikasteita viedään runsaasti Australiasta ja Etelä-Amerikasta, jonkin verran myös Saharan eteläpuolisesta Afrikasta. Australian ohella suuria metallimalmien ja -rikasteiden viejämaita ovat esimerkiksi Brasilia, Chile, Peru, Etelä-Afrikka, Zimbabwe, Botswana sekä Indonesia ja Filippiinit (United Nations, 2013).

Kehittyvien talouksien kasvu on energia- ja raaka-aineintensiivistä. Energian ja raaka-aineiden kulutus asukasta tai tuotettua BKT-yksikköä kohti lisääntyy aluksi kokonaistuotannon kasvaessa. Tietyn rajan ylittyään kulutuksen kasvu tasaantuu ja kääntyy hienoiseen laskuun.

IMF:n Economic Outlookin mukaan energian kulutus henkeä kohti kasvaa ainakin siihen asti, kun ostovoimakorjattu BKT per capita saavuttaa 30 000 dollarin tason. Kasvu on luonnollisesti sitä hitaampaa, mitä lähempänä 30 000 dollarin rajaa ollaan. Tuoreen saksalaisarvion mukaan (Döhrn & Krättschell, 2013) myös teräksen kulutus asukasta kohti lisääntyy, kunnes ostovoimakorjattu BKT asukasta kohti ylittää 30 000 dollarin rajan. Vertailukohtana voidaan käyttää esimerkiksi Kiinan ostovoimakorjattua BKT per capitaa vuonna 2011; se oli International Comparison Programin (The World Bank, 2014b) arvion mukaan 10 057 dollaria.

IMF:n World Economic Outlookissa on esitetty ennusteita myös metallien ja erikseen alumiinin kulutuksen kehityksestä Kiinassa. Niissä ennakoidaan, että kulutuksen kasvu asukasta kohti taittuu, kun ostovoimakorjattu BKT per capita saavuttaa 20 000 dollarin rajan. Tämän voi arvioida tapahtuvan vuoden 2025 tienoilla. Maailmanpankki on ennakooinut, että Kiinan BKT per capita olisi vuonna 2025 käyvin hinnoin vajaat 13 200 dollaria, mikä vastaa International Comparison Programin BKT-lukujen perusteella ostovoimakorjattuna noin 20 000 dollaria.

Vaikka metallien kulutus asukasta kohti saavuttaisikin Kiinassa maksiminsa vuonna 2025, useimpien kehittyvien ja kehitysmaiden ostovoimakorjattu BKT per capita on vielä silloin kaukana 20 000–30 000 dollarin tasosta. Pelkästään Etelä- ja Kaakkois-Aasiassa sekä Afrikassa asuu vuonna 2025 noin 3,5 miljardia ihmistä maissa, joissa energian ja raaka-aineiden kulutus on voimakkaan kasvun vaiheessa. Eikä Kiinassakaan metallien kulutuksen kasvun taittuminen tarkoita kysynnän romahtamista. IMF:n arvion mukaan metallien kulutus per capita alenee noin 5 prosentilla, kun ostovoimakorjattu BKT per capita kasvaa 20 000 dollarista 30 000 dollariin.

<sup>3</sup> Aiyar et al., 2013.

Metallien, ja erityisesti teräksen kysyntää ylläpitää muun muassa rakentaminen. Maailman väestö kasvaa ja muuttaa kaupunkeihin. Vuoteen 2025 mennessä maailman väestöluku nousee vuosituhaten vaihteen 6,1 miljardista 8,0 miljardiin. Heistä asuu kaupungeissa noin 58 prosenttia, kun vuonna 2000 kaupunkiväestön osuus oli 47 prosenttia. Nopeimmin kaupunkiväestö kasvaa vähiten kehittyneissä maissa, joissa väkilukukin kasvaa vauhdikkaimmin, mutta kaupungistuminen jatkuu myös kehittyneissä maissa. Myös kaupunkien koko kasvaa. Vuonna 2000 yli 10 miljoonan asukkaan kaupunkeja oli 17, vuonna 2025 niitä ennustetaan olevan 37 (United Nations, 2012).

Kaupunkien laajeneminen merkitsee jatkuvaa uudisrakentamista, mutta myös olemassa olevaa liikenne-, sähkö-, lämpö-, vesi- ja jätehuoltoinfrastruktuuria pitää jatkuvasti laajentaa ja parantaa.

Raaka-aineiden ja energian kysynnän kasvu edellyttää uusien kaivoksien avaamista sekä uusien öljy- ja kaasulähteiden ottamista tuotantoon. Raaka-aineiden ja energian hinta riippuu monista tekijöistä, joista kehittyvien maiden kysyntä on vain yksi. Sillä uskotaan kuitenkin olevan merkittävä vaikutus erityisesti metallien hintoihin. Esimerkiksi Maailmanpankki (2011) pitää mahdollisena, että ne ovat nousseet pysyvästi aiempaa korkeammalle tasolle. Hinnat voivat tietenkin vaihdella voimakkaastikin, koska tuotantokapasiteetti ei kasva tasaisesti kysynnän kasvua vastaavasti. Välillä hinnat nousevat, kun olemassa olevan tuotantokapasiteetin rajat alkavat tulla vastaan, välillä laskevat, kun uutta kapasiteettia tulee markkinoille.

Mitä tulee fossiiliseen energiaan, maailmassa on vielä runsaasti varantoja, joita voidaan hyödyntää suhteellisen alhaisin kustannuksin. Niiden omistajat kuitenkin säännöstelevät tuotantoa nostaakseen omia tulojaan. Kun vaihtoehtoisten öljy- ja kaasulähteiden hyödyntäminen on kalliimpaa, fossiilisen energian hintojen odotetaan yleisesti ottaen pysyvän suhteellisen korkeina.

Aiempaa korkeammat hinnat mahdollistavat uusien aiempaa kalliimpien tuotantomenetelmien käyttöönoton, sekä raaka-aine- ja energiavarojen hyödyntämisen alueilla, jotka ovat olosuhteiltaan aiempaa vaativampia tai sijaitsevat heikkojen liikenneyhteyksien takana. Jossain määrin aiempaa varovaisemmin suhtaudutaan öljy- ja kaasuvarojen hyödyntämiseen arktisilla alueilla, jotka ovat suuren osan vuodesta jään peitossa, mutta esimerkiksi Norjan pohjoiset öljy- ja kaasuarat ovat pääosin alueilla, jotka ovat vapaat jäädä.

Kehittyvissä maissa voimakkaasti kasvava energiankulutus lisää fossiilisten lähteiden aiheuttamaa ilmastokuormitusta. Ilmastonmuutoksen jarruttamiseksi tarvitaan lisää päästötöntä energiantuotantoa. Ydinvoimaa rakennetaan lisää, samoin aurinko-, tuuli- ja aaltovoimaa. Jälkimmäiset tarvitsevat tuekseen säätövoimaa, jota tarjoavat esimerkiksi dieselvoimalat. Viime vuosina on edistytty uusiutuvien biopolttoaineiden kehittämisessä. Polttoaineeksi soveltuvia alkoholeja ja hiilivetyjä on onnistuttu tuottamaan myös hiilidioksidista. Toistaiseksi uusiutuvien polttoaineiden tuotantokustannukset ovat niin korkeat, ettei niillä ole olennaista vaikutusta fossiilisten polttoaineiden tuotantoon. International Energy Agencyn tuoreimman skenaarion (IEA, 2013) perusteella voi arvioida, että vuonna 2025 uusiutuvien polttoaineiden osuus nestemäisten polttoaineiden kokonaiskulutuksesta voisi enimmillään olla 5 prosentin luokkaa. Sen toteutuminen edellyttäisi voimakkaita politiikkatoimia kasvihuonekaasupäästöjen hillitsemiseksi.

Afrikassa luonnonvarojen tehokkaampi hyödyntäminen edellyttää infrastruktuurin kohentamista; teiden, rautateiden ja satamien rakentamista ja parantamista. Maailmanpankin koosta-

man logistiikan kehittyneisyyttä mittaavan indeksin (The World Bank, 2014a) mukaan valtaosa Saharan eteläpuolisen Afrikan maista sijoittuu mukana olevien maiden heikompaan puoliskoon. Kongon demokraattinen tasavalta, joka oli vuonna 2014 maailman 11. suurin kuparimalmin ja -rikasteen viejä, oli logistiikkaindeksillä mitattuna 160 maasta toiseksi viimeinen. Infrastruktuurin rakentamis- ja uudistamistarpeita on myös kehittyvissä maissa, muun muassa Intiassa.

Elintason noustessa kehittyvissä maissa elintarvikkeiden kysyntä lisääntyy ja monipuolistuu. Elintarvikkeiden kysynnän kasvun vuoksi maataloustuotantoa tehostetaan, ja sitä laajennetaan uusille alueille. Esimerkiksi Afrikassa maatalouden tuottavuuden nousu luo kehitykselle tukevamman pohjan kuin pelkästään maa- ja kallioperän raaka-aine- ja energiavarojen hyödyntäminen.

### 3.2 Raaka-aine- ja energiatehokkuuden merkitys kasvaa

Amerikkalaisen liikkeenjohdon konsulttitoimiston McKinseyn (Nguyen et al., 2014) mukaan raaka-aineiden hintojen pitkäaikainen laskutrendi on taittunut. Raaka-aineiden reaali hinnat kääntyivät vuosituhannen vaihteessa nousuun laskettuaan sitä ennen satakunta vuotta. Kuluneen vuosikymmenen lopun syvä taantuma pysäytti kehityksen hetkeksi, mutta vuoden 2009 jälkeen raaka-aineiden hintojen nousuvauhti on taas ollut maailmantalouden kasvua nopeampaa. Myös energian hinnat ovat taas nousseet, ja niiden odotetaan säilyvän suhteellisen korkeina näköpiirissä olevassa tulevaisuudessa.

Vaikka uusia raaka-aine- ja energiavaroja otetaan käyttöön, myös kone- ja metallituoteteollisuuden tuotteilta vaaditaan parempaa raaka-aine- ja energiatehokkuutta. Energian tehokkaampi käyttö on tarpeen myös ilmastonmuutoksen hidastamiseksi. Kasvihuonekaasupäästöihin on mahdollista vaikuttaa myös käyttövoimavalinnoin.

#### *Aiempaa lujempia ja kevyempiä materiaaleja otetaan käyttöön*

Energiatehokkuutta voidaan parantaa käyttämällä rakenteissa aiempaa lujempia tai kevyempiä materiaaleja. Esimerkiksi uudet lujat erikoisteräkset antavat mahdollisuuden tehdä rakenteista ohuempia ja kevyempiä, jolloin myös raaka-aineita tarvitaan vähemmän. Vaihtoehtoisesti rakenteissa voidaan käyttää kevyempiä materiaaleja, esimerkiksi alumiinia. Alumiini on kuitenkin terästä kalliimpaa, eikä raaka-aineen määrässä välttämättä säästetä. Alumiini ei ole yhtä lujaa kuin teräs, joten rakenteista täytyy tehdä paksumpia.

Jotkut alumiinin ja muiden metallien seokset ovat yhtä lujia kuin teräs. Metalleja seostamalla on mahdollista tuottaa tiettyihin käyttötarkoituksiin parhaiten sopivia materiaaleja. Uusien ominaisuuksien tuottaminen metalliseoksiin on kokeellisesti hidasta, mutta tietokoneiden kasvava laskentateho antaa mahdollisuuden mallintaa metallien kemiallisia ominaisuuksia ja simuloida termodynaamisia prosesseja. Se nopeuttaa seosten räätälöintiä käyttötarkoituksen mukaan.

Metalliseosten lisäksi rakenteissa on mahdollista käyttää muita materiaaleja, kuten komposiitteja, biokomposiitteja ja keraameja. Käyttötarkoituksesta, materiaalin hinnasta sekä loppu-tuotteen arvosta riippuu, mitä materiaalia milloinkin käytetään. Materiaalien ominaisuuksia ja hintasuhteita tarkastellaan yksityiskohtaisemmin liitteessä 2.

Kevyitä komponentteja saadaan aikaan myös ainetta lisäävän valmistuksen (tai 3D-tulostuksen) avulla. 3D-tulostuksella kyetään tuottamaan lujista materiaaleista huokoisia rakenteita,

jotka ovat hyvin keveitä lujuuteensa nähden. Komponenttien materiaalina voidaan käyttää esimerkiksi titaania. Titaani on ollut varsin kallista sen monimutkaisen valmistusmenetelmän vuoksi. Englannissa on kuitenkin kehitetty uusi menetelmä, jolla titaanijauhetta kyetään tuottamaan aiempaa edullisemmin. Ainetta lisäävän valmistuksen mahdollisuuksista on lisää tietoa liitteessä 3.

#### *Materiaalien kierrätys ja osien uusiokäyttö lisääntyy*

Rauta-, alumiini- ja metalliromua yleensäkin käytetään jo laajasti raaka-aineena, mutta romua sulatettaessa menetetään työ ja energia, joka on sitoutunut osiin ja rakenteisiin niitä valmistettaessa. Siksi jotkut valmistajat ovat ryhtyneet valmistamaan kunnostetuista osista ja komponenteista lähes uuden veroisia tuotteita. Toimintaan viittaava englanninkielinen termi ”remanufacturing” voitaneen kääntää vaikka ”uusiovalmistukseksi”. McKinsey puhuu kiertotaloudesta nykyisen lineaarisen ”hanki, valmista ja hävitä” -tuotantomallin korvaajana.

Yksi kiertotalouden haaste on varmistaa osien ja materiaalien palautuminen takaisin alkuperäiselle valmistajalle. Siirtyminen koneiden ja laitteiden myynnin sijasta niiden liisaukseen varmistaisi palautumisen, mutta sillä voisi olla muitakin vaikutuksia. Jos asiakkaiden huomio suuntautuisi hankintahinnan sijasta elinkaarikustannuksiin, koneista ja laitteista olisi todennäköisesti mahdollista tehdä nykyistä kestävämpiä. Kiertotalous vähentäisi uusien raaka-ainneiden tarvetta sitäkin kautta; koneet ja laitteet olisivat käytössä pitempään.

McKinseyn mukaan kiertotalouteen siirtyminen voisi vähentää materiaalikuluja maailmanlaajuisesti noin biljoonalla dollarilla vuodessa vuoteen 2025 mennessä. Yksin Euroopan unionissa säästöt voisivat nousta 680 miljardiin dollariin. Hyöty olisi suurin autoteollisuudessa, ja seuraavaksi suurin kone- ja laitteollisuudessa.

#### *Uudet käyttövoimaratkaisut vähentävät päästöjä*

Koneiden aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä on mahdollista vähentää uusilla käyttövoimaratkaisuilla. Sähkö on yleisin käyttövoima teollisuudessa, ja sitä hyödynnetään nykyisin kasvavassa määrin myös suurissa ja pienissä työkoneissa, jotka ovat joko kiinteästi asennettuja tai liikkuvat vain rajoitetulla alueella. Liikkuvissa työkoneissa ovat yleisimpiä dieselhydrauliset käyttövoimaratkaisut, mutta myös dieselsähköisiä käyttövoimaratkaisuja käytetään.

Sekä dieselhydraulisisissa että dieselsähköisissä käyttövoimaratkaisuisissa on mahdollista ottaa talteen liike-energiaa esimerkiksi kuormaa laskettaessa, ja hyödyntää sitä taas uutta kuormaa nostettaessa. Liike-energian talteenoton ja hyödyntämisen ansiosta koneen hyötysuhde paranee ja hiilijalanjälki pienenee. Ilmastolle aiheutuvaa rasitusta on mahdollista edelleen vähentää käyttämällä dieselmoottorin polttoaineena biopolttoainetta.

Eri käyttövoimaratkaisujen hyviä ja huonoja puolia sekä mahdollisia kehityssuuntia on eritelty yksityiskohtaisemmin liitteessä 4.

### 3.3 Valmistusta palaa teollisuusmaihin

Kun Kiina alkoi avautua ulkomaisille sijoituksille, maalla oli oma kustannus- ja hintatasonsa, jolla ei ollut paljonkaan tekemistä kansainvälisen kustannus- ja hintatason kanssa. Työvoimakustannukset olivat ulkomaisina valuuttoina niin alhaiset, että teollistuneet maat eivät kyen-

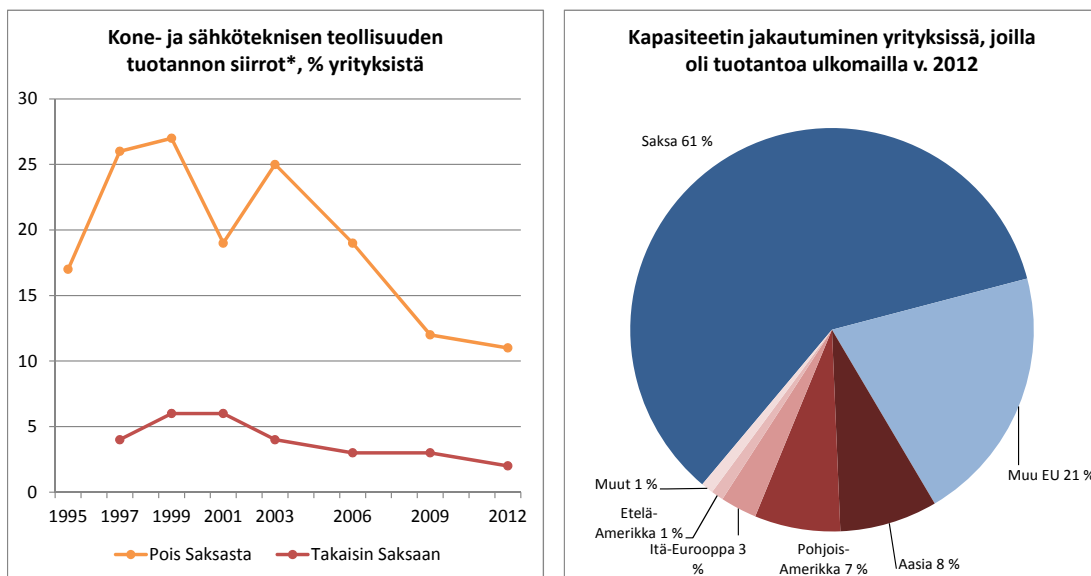
neet kilpailemaan Kiinan kanssa edes automaatiota lisäämällä; kiinalaiset kykenivät tekemään tavaroita käsityönä halvemmalla kuin teollistuneet maat automaation avulla. Tuottavuutta ei ollut mahdollista nostaa niin paljon, että kustannukset olisivat olleet kilpailukykyiset.

Työvoimakustannukset pysyivät Kiinassa pitkään alhaisina muun muassa sen vuoksi, että työvoiman tarjonta lisääntyi. Kiinan työikäinen väestö kasvoi vuosien 1980 ja 2010 välillä runsaalla 400 miljoonalla. Tämä kehitys on nyt pysähtynyt. Samanaikaisesti työvoiman kysynnän kasvu on alkanut nostaa palkkatasoa; palkankorotukset ovat olleet kaksinumeroisia useana vuonna peräkkäin. Toki työn tuottavuus on myös kohonnut, mutta OECD:n (OECD, 2013) tietojen mukaan esim. Kiinan sisäisten vierastyöntekijöiden palkat ovat nousseet tuottavuutta nopeammin.

Maatalousväestön osuus on Kiinassa edelleen korkea, joten siellä on työvoimareservejä. Niiden mobilisoiminen ei kuitenkaan ole helppoa. Maatalous on työvoimavaltaista, ja maan omistusoikeudet huonosti määriteltyjä. Maataloudesta luopuva ei ole voinut saada korvausta viljelemästään maasta. Se on vähentänyt maatalousväestön halua ja mahdollisuuksia muuttaa kaupunkeihin ja samalla hidastanut tilakoon kasvua. Viime vuonna hyväksyttiin viisivuotissuunnitelmaan on kirjattu toimia, joilla maatalouden rakennemuutosta ja maaltamuuttoa pyritään nopeuttamaan, mutta jää nähtäväksi, kuinka pian ne alkavat vaikuttaa. Työvoiman kysynnän ja tarjonnan tasapainoa arvioitaessa pitää myös muistaa, että Kiinan palvelusektori on vielä varsin kehittymätön, ja työllistää huomattavasti pienemmän osan työvoimasta kuin kehittyneissä maissa.

Kiinan poliittinen johto on asettanut tavoitteeksi aiempaa enemmän kulutusta painottavan kasvustrategian. Siksi on syytä odottaa, että palkat nousevat Kiinassa lähivuosina nopeammin kuin kehittyneissä maissa. Vaikka tuottavuuskin nousee, tavaroiden valmistaminen Kiinassa ei ole enää itsestään selvästi edullisempää, jos kaikki relevantit kustannuserät otetaan huomioon.

### Kuvio 18 Saksalaisten yritysten tuotannon siirrot ja tuotantokapasiteetin jakautuminen



\* Kyselyä edeltäneen kaksivuotiskauden aikana.  
Lähde: Fraunhofer ISI.





kotimaahan ja 25 prosenttia vastaajista oli lisäämässä hankintoja kotimaisilta toimittajilta. Ne, jotka eivät olleet siirtäneet tuotantoa ulkomaille, pitivät epätodennäköisenä, että koskaan siirtäisivätkään.

Boston Consulting Groupin vuonna 2013 tekemässä kyselyssä 21 prosenttia suurten teollisuusyritysten johtajista oli palauttamassa tuotantoa Yhdysvaltoihin tai suunnitteli tekevänsä niin seuraavan kahden vuoden kuluessa (Boston Consulting Group, 2013). Heidän lisäksi 33 prosenttia vastaajista sanoi harkitsevansa sitä lähitulevaisuudessa. Osuudet olivat nousseet merkittävästi edellisellä vuonna tehdystä vastaavasta kyselystä. Silloin noin 10 prosenttia vastaajista oli palauttamassa tuotantoa ulkomailta Yhdysvaltoihin.

Syiksi tuotannon palauttamiseen kotimaahan mainitaan esimerkiksi lyhyemmät toimitusajat, joustavammat toimitukset ja paremmat tuotteiden räätälöintimahdollisuudet. Myös tuotannon laatuongelmat kehittyvissä maissa sekä kehittyvien maiden työvoimakustannusten ja kuljetuskustannusten nousu ovat johtaneet tuotannon sijainnin uudelleenharkintaan. Tuotantoa ovat vetäneet kotimaahan myös hyödyt, joita sen ja tutkimus- ja kehitystoiminnan läheisyydestä on saatavissa.

Keskustelu tuotannon sijoittumisesta fokusoituu useimmiten työvoimakustannuksiin, vaikka toiminnan kannattavuuteen vaikuttavat lukuisat muutkin tekijät. Kun erot työvoimakustannuksissa kaventuvat, muiden tekijöiden paino tuotannon sijoittumisessa kasvaa. Korkeampia työvoimakustannuksia on myös aina mahdollista kompensoida automaatiota hyödyntämällä.

### 3.4 Tieto- ja viestintäteknologiaa hyödynnetään entistä enemmän

Tieto- ja viestintäteknologia on nykyisin olennainen ja kaikkialla läsnä oleva osa jokaisen arkipäivää. Myös koneissa ja laitteissa hyödynnetään tietotekniikkaa laajasti. Kehitys on kuitenkin vasta alussa. Sensorien halpeneminen, mikroprosessorien laskentatehon kasvu ja niiden hintojen aleneminen, sekä internetin ja matkaviestinverkkojen tietojenvälityskapasiteetin ja -nopeuden huima nousu luovat edellytyksiä myös aivan uudellelaiselle liiketoiminnalle. Tulevaisuudessa tietoverkkoihin kytketyt koneet ja laitteet voivat kommunikoida keskenään ja optimoida itse järjestelmien toimintaa, lähettää tietoja omasta tilastaan, sekä välittää tietoa prosesseista, joissa ne ovat mukana.

Tieto- ja viestintäteknologian avulla on mahdollista tehostaa koneiden ja laitteiden valmistusta sekä niiden käyttöä ja ylläpitoa. Prosesseista välittyvä tiedon varaan voidaan rakentaa uutta palveluliiketoimintaa, kun asiakkaille voidaan kertoa, miten nämä voivat tehostaa omaa toimintaansa.

*Koneista tulee vielä nykyistä ”älykkäämpiä”*

Koneiden tuottavuutta ja energiatehokkuutta on mahdollista parantaa myös lisäämällä niihin ”älyä”. Mekaanisten ohjaus- ja hallintalaitteiden sähköistämisen ja sähköisten järjestelmien digitalisoimisen ansiosta koneiden ja laitteiden toimintaa voidaan tehostaa tavalla, joka ei ollut aiemmin mahdollista. Kun koneisiin ja laitteisiin lisätään mikroprosessoreita ja antureita, jotka tarkkailevat niiden tilaa ja niihin vaikuttavia voimia, ne voivat automaattisesti säätää esimerkiksi polttoaine- ja jarrujärjestelmän toimintaa niin, että polttoaine palaa mahdollisimman täydellisesti ja puhtaasti, ja jarrut hidastavat liikettä mahdollisimman tehokkaasti.

Koneisiin ja laitteisiin lisätty äly auttaa niitä suoriutumaan tehtävistään aiempaa paremmin. Hallinosturin sensorit tunnistavat vajereiden varassa riippuvan kuorman alkavan heilunnan, ja nosturia ohjaava järjestelmä vakauttaa liikkeen ennen kuin heilunta ehtii voimistua. Met-säkone mittaa kaatamansa rungot ja katkoo ne niin, että leimikosta hakatun puutavaran arvo maksimoituu, sekä tulostaa lopuksi raportin eri puutavaralautujen kokonaismäärästä. Älykäs pata kypsentää ruoan sen muistiin tallennetun reseptin mukaan; padan anturit säätelevät kuumennustehoa ja kypsennysaikaa automaattisesti niin, ettei keitos kiehu yli eikä pala pohjaan.

Ohjaus- ja hallintajärjestelmien digitalisointi antaa mahdollisuuden koota kaikki toiminnot, esimerkiksi työvälaineiden, ajovoimansiirron ja dieselmoottorin hallinnan sekä mahdolliset lisätoiminnot yhdeksi helposti hallittavaksi kokonaisuudeksi. Toimintoja voidaan ohjata ergonomisesti oikein sijoitetuilla ohjauksauvoilla, ja käyttäjä näkee kaikki tarvittavat mittausarvot, asetukset ja säädöt sopivasti näkökenttään sijoitetuilta näytöiltä.

Työn aiheuttamaa räsitusta on mahdollista vähentää suunnittelemalla koneet ja laitteet muutenkin mahdollisimman helppokäyttöisiksi ja mukaviksi. Hyvä näkyvyys ohjaamosta joka suuntaan ja äärimittojen helppo hahmotettavuus tekevät koneen hallinnasta vaivatonta. Ohjaamo voidaan konstruoida niin, että se pysyy vaikeassakin maastossa vaakatasossa, ja siihen voidaan rakentaa aktiivinen vaimennusjärjestelmä, joka vaimentaa heiluntoja ja tärinöitä.

Kun ohjaamo ja hallintalaitteet on suunniteltu ja rakennettu mahdollisimman ergonomisiksi, kuljettaja voi työskennellä rasittumatta pitkiäkin aikoja ja hänen työtehonsa nousee. Lisäksi työperäisten vaivojen riski pienenee, ja työntekijät pysyvät pitkään työkuutoisina.

Ohjaus- ja hallintajärjestelmien digitalisointi antaa mahdollisuuden tehdä koneista ja laitteista kauko-ohjattavia tai täysin itsenäiseen toimintaan kykeneviä. Kauko-ohjattavista ja itsenäisesti toimivista koneista ja laitteista on suuri hyöty esimerkiksi kaivostoiminnassa. Pienin ei ole se, että työntekijät välttävät vaaralliseen työympäristöön liittyvät riskit. Kauko-ohjattavia porauslaitteita, kuormaajia ja kuljetusvälineitä on jo käytössä Suomessa ja Suomen ulkopuolella; osan tehtävistä ne voivat hoitaa täysin automaattisesti, osa on tehokkaampi hoitaa kauko-ohjattuna.

Yksi digitaalisiin ohjausjärjestelmiin liittyvä haitta on se, että tuntuma fyysiseen tapahtumaan katoaa. Erityisesti kauko-ohjauksessa värinöiden, tärinöiden, vääntöjen ja kallistuksien tunteen puuttuminen saattaa vaikeuttaa koneen tai laitteen hallintaa. Niitä on mahdollista simuloida ohjelmallisesti; seuraavan sukupolven digitaaliset ohjausjärjestelmät kykenevät ehkä jo välittämään myös tuntuman koneiden ja laitteiden toimintaan.<sup>4</sup>

Yksi digitaalisesti ohjattujen koneiden ja laitteiden etu on se, että ne kykenevät keräämään ja tallentamaan omaan toimintaansa ja hoidettavaan tehtävään liittyvää tietoa sekä tarvittaessa lähettämään sitä verkon välityksellä vaikka toiselle puolelle maapalloa.

#### *Teollinen Internet on koneiden oma verkko*

Älykkäät koneet ovat esimerkki siitä, miten kone-, tieto- ja viestintäteknologian yhdistäminen auttaa lisäämään tehokkuutta ja parantamaan toiminnan tuottavuutta. Meneillään olevan teknologioiden konvergenssikehityksen ennakoidaan vihdoinkin tekevän totta niistä odotuksista, joihin tietotekniikan tuottavuusvaikutuksiin on kohdistettu. Aiempaa paremmat ja edullisemmat

<sup>4</sup> Haptisia ohjausjärjestelmiä kehitetään esimerkiksi Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa.

sensorit, alati lisääntyvä laskentateho sekä nopeammat ja kattavammat tietoliikenneyhteydet muovaavat tuotantoa ja liiketoimintaa tavalla, joka on merkitykseltään verrattavissa sähkön käyttöönoton vaikutuksiin. Yksi tämän muutoksen keskeinen ulottuvuus on teollinen internet.

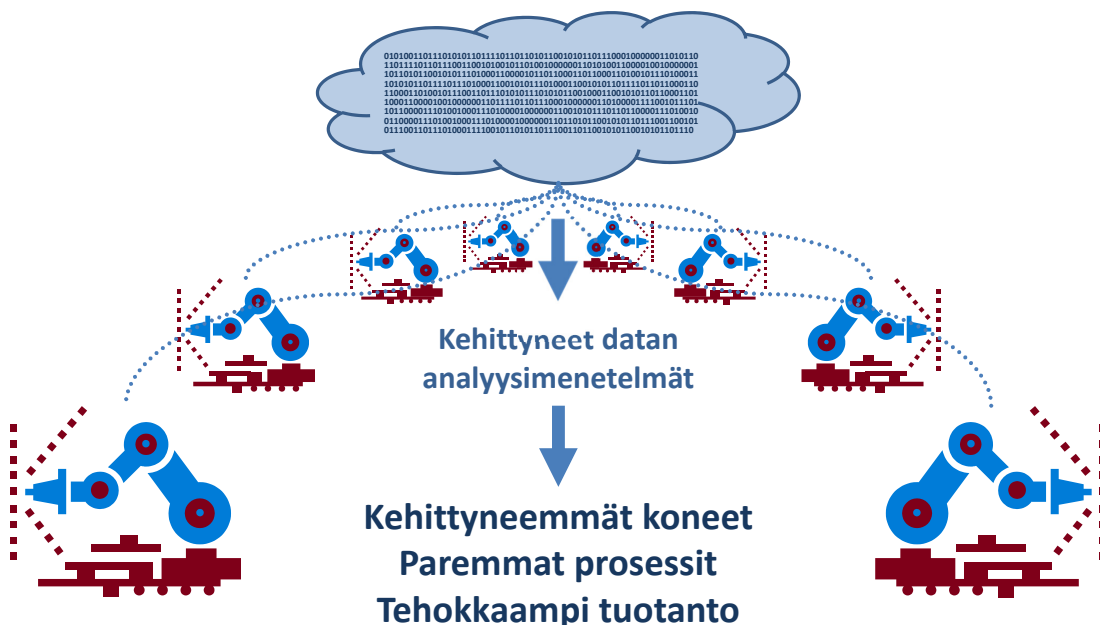
Kun sensoreilla, mikroprosessoreilla ja aktuaattoreilla (ne ovat sähkömoottoreita tai muita laitteita, jotka säätävät koneen toimintaa saamansa syötteen perusteella) varustetut laitteet kytketään verkkoon, niiden tuottamaa tietoa on mahdollista hyödyntää moneen tarkoitukseen. Reaaliaikaisen tiedon perusteella koneita ja laitteita sekä niiden muodostamia järjestelmiä on mahdollista ohjata ja säätää. Se voi tapahtua täysin automaattisesti. Koneiden, laitteiden ja järjestelmien toimintaa voi seurata joko lähellä niitä tai kauempana; verkon välityksellä se onnistuu vaikka toiselta puolelta maailmaa.

Koneet ja laitteet voivat tuottaa tietoa niihin kohdistuvista rasituksista, omasta toiminnastaan, komponenttien kulumisesta ja muista seikoista, joiden perusteella huolto- tai korjaustoimien tarpeellisuutta on mahdollista arvioida. Kun huoltojen ja korjauksien tarve on mahdollista ennakoida, osia ei tarvitse vaihtaa varmuuden vuoksi, ja välttämättömät toimet voidaan ajoittaa ajankohtaan, jolloin ne haittaavat mahdollisimman vähän normaalia toimintaa.

Lukemattomat sensorit tuottavat runsaasti havaintoja, joita voidaan tallentaa ja analysoida. Analyysien perusteella voidaan suunnitella ja valmistaa parempia koneita ja laitteita sekä rakentaa tehokkaampia järjestelmiä. Kerättyä dataa analysoimalla voidaan parantaa ja selostaa myös asiakkaiden tuotanto- ja muita prosesseja. Sen ansiosta talouksien tuottavuus kohoaa, energiaa ja raaka-aineita voidaan käyttää tehokkaammin, ja kasvihuonekaasupäästöjä vähentää.

Tuottavuuden nousun kautta toteutuvat teollisen internetin taloudelliset vaikutukset voivat olla mittavia. General Electricin projektioiden mukaan (Evans & Annunciata, 2012) maailman BKT voi vuoden 2005 hintatasossa olla vuonna 2030 teollisen internetin ansiosta yli 15 biljoon-

Kuvio 20 Teollinen internet luo uutta liiketoimintapotentialiaa



naa dollaria korkeampi kuin se olisi muuten. Pohjois-Amerikka hyötyisi näiden projektien mukaan eniten, 6,5 biljoonaa dollaria. Aasian ja Tyynenmeren alueen hyöty olisi 4,2 biljoonaa ja Euroopan 2,8 biljoonaa. Projektio on tehty olettaen, että Yhdysvalloissa tuottavuuden kasvu nousee samalle tasolle kuin internet-buumien aikana eli 3,1 prosenttiin ja muualla maailmassa puoleen siitä.

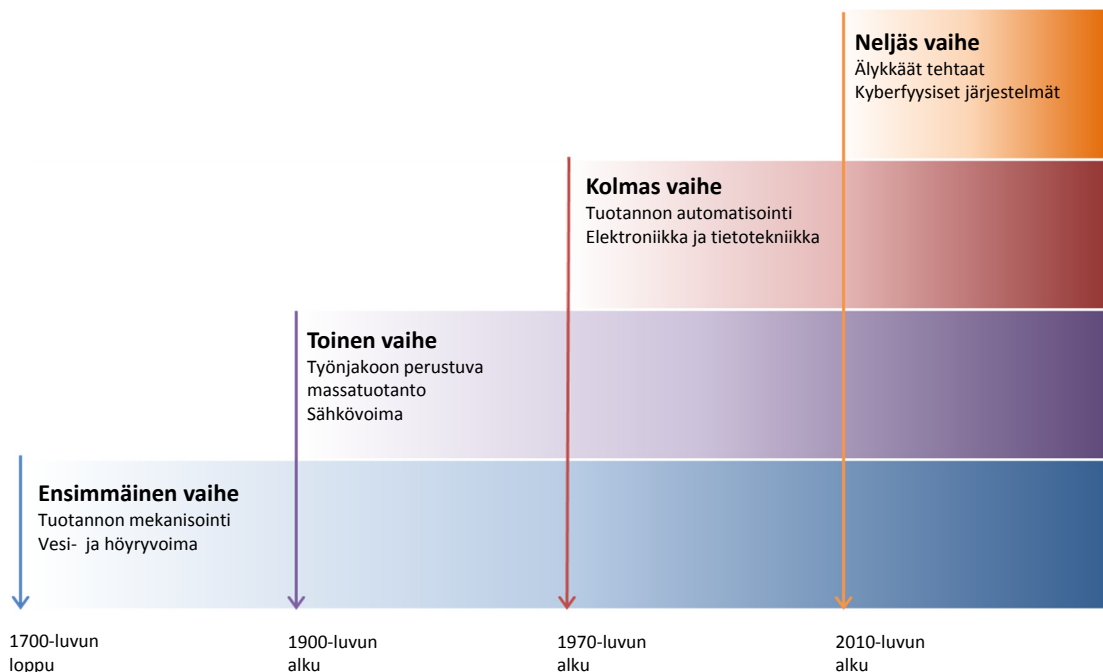
#### *Tietotekniikan hyödyntäminen lisääntyy valmistuksessa*

Teollisuusautomaation historian voi johtaa varsin kaukaa, jos haluaa. Yksi merkittävä virstanpylväs on liukuhihna, jonka 100-vuotisjuhla vietettiin viime vuonna. Se sisälsi jo runsaasti automaattisen kokoonpanolinjan elementtejä. Mekaaninen laite, liukuhihna, siirsi kokoonpantavaa kohdetta työasemalta toiselle, ja jokaisella työasemalla suoritettiin tiettyjä työvaiheita ja/tai lisättiin kohteeseen tiettyjä osia. Ero nykyaikaiseen automatisoituun kokoonpanolinjaan on lähinnä se, että liukuhihnalla työn tekivät ja koneita käyttivät ihmiset, automatisoidulla kokoonpanolinjalla sen tekevät robotit.

Tuotantoautomaatio voi olla kiinteää, ohjelmoitavaa tai joustavaa. Kiinteät automaattiset tuotantolinjat on suunniteltu tiettyyn tarkoitukseen. Ne ovat kalliita rakentaa, joten tuotettavien sarjojen pitää olla suuria, ja tuotantolinjojen käytössä pitkän aikaa, jotta niiden operoiminen on kannattavaa.

Ohjelmoitava tuotantoautomaatio mahdollistaa pienempien erien tuottamisen. Koneet on kuitenkin ohjelmoitava aina uudelleen erien välillä, ja tauot tuotannossa heikentävät toiminnan kannattavuutta. Ohjelmoitava tuotantolinja on myös yleensä hitaampi kuin kiinteä, koska se on suunniteltu enemmän tuotannon muunnettavuutta kuin sen tehokkuutta silmälläpitäen.

**Kuvio 21 Teollisen vallankumouksen neljä vaihetta**



Lähde: DFKI:n alkuperäisidean mukaan ETLA.

Joustava tuotantoautomaatio mahdollistaa hyvinkin lyhyiden sarjojen, jopa yksittäiskappaleiden valmistamisen. Edellytyksenä on se, että valmistettavat osat ovat riittävän samankaltaisia keskenään. Yksittäiskappaleita on mahdollista sijoittaa milloin tahansa järjestelmän työjonoon, jos niiden määritykset ovat valmiiksi tuotantoa ohjaavalla tietokoneella. Yksittäiskappaleen valmistuttua järjestelmä jatkaa osien valmistamista siitä, mihin työjonon toteuttaminen jäi.

Automatisoitu tuotantosolu voidaan liittää osaksi joustavaa tuotantojärjestelmää, jossa automatiikka hakee osien aihiot varastosta, siirtää ne automaattiselle työstökoneelle, noutaa valmiit osat koneelta, ja vie ne varastoon.

Autotehtaan kokoonpanolinja on tyypillinen esimerkki kiinteästä automaatiosta. Valmistettavat sarjat ovat hyvin pitkiä, suuruusluokaltaan 200 000 autoa vuodessa. Tämä tarkoittaa sitä, että jos linja toimii 24 tuntia vuorokaudessa 365 päivänä vuodessa, siltä valmistuu uusi auto noin joka kolmas minuutti.

Nykyiset tuotannonohjausmenetelmät mahdollistavat sen, että valmistuvat autot ovat jossakin määrin räätälöityjä. Järjestelmä huolehtii siitä, että tiettyyn yksilöön kuuluvat osat ovat oikeaan aikaan oikeassa työasemassa. Autot kulkevat kuitenkin tiukassa järjestyksessä perä perää työasemasta toiseen. Saksassa suunnitellaan jo tulevaisuuden tehdasta, jossa valmistettavat tuotteet voisivat kulkea jossain määrin eri reittejä sen läpi. Nykyistä paljon joustavampi mas-savalmistus antaisi mahdollisuuden lisätä räätälöinnin osuutta tuotannossa.

Tavoitteena olevassa fiksussa tehtaassa (smart factory) tuotteet ja niiden kuljetusalustat sekä työkalut ja muut tuotantoon tarvittavat laitteet ovat ”älykkäitä”, tietävät tilansa ja sijaintinsa sekä kykenevät kommunikoimaan keskenään ja tuotantoa ohjaavan järjestelmän kanssa.<sup>5</sup>

Voisi ajatella, että tulevaisuudessa fiksu tehdas kykenee mukauttamaan toimintaansa sen mukaan, millaisia versioita tuotteista pitää kulloinkin valmistaa, ja optimoimaan tuotteiden reitit eri työasemien kautta. Tuotannonohjausjärjestelmä on yhteydessä tilausjärjestelmään ja toimittajien järjestelmiin; kun tilausjärjestelmään tulee tieto tilauksesta, tuotannonohjausjärjestelmä on automaattisesti yhteydessä toimittajien järjestelmiin, jotka laskevat tarvittavien komponenttien toimitusajan. Saamiensa tietojen perusteella toiminnanohjausjärjestelmä sijoittaa tilauksen tehtaan työjonoon. Reaaliaikainen yhteys tehtaan ja toimittajien järjestelmien välillä mahdollistaa sen, että paikka työjonossa muuttuu, jos komponenttien toimitusajoissa tapahtuu muutoksia. Tehtaan toiminta ohjautuu joka hetki niin, että kapasiteetti on optimaalisessa käytössä, ja läpimenoajat ovat mahdollisimman lyhyitä.

Hanke kuulostaa jossain määrin utopistiselta, mutta sen ei ole tarkoituskaan toteutua kerralla lyhyen ajan kuluessa vaan vähitellen kymmenien vuosien aikana. Suomalaisten yritysten kannattaa joka tapauksessa seurata hankkeen kehitystä ja omaksua määriteltäviä järjestelmien rajapintoja ja kommunikaatio- ja tuotestandardeja (ja mahdollisesti pyrkiä vaikuttamaan niihin), koska niiden varhainen omaksuminen voi olla tulevaisuudessa etu saksalaisista tilauksista kilpailtaessa.

Automaatiossa on vielä yksi ulottuvuus, johon kannattaa kiinnittää huomiota. Monet suomalaisen kone- ja laitteollisuuden tuotteet ovat suuria yksittäiskappaleita, tai ainakin niiden sarjat ovat hyvin lyhyitä. Niiden rakentamista on hankala automatisoida perinteisin menetelmin.

<sup>5</sup> Lähteenä on käytetty mm. Otso Väätäisen (2013) esitystä.

Tulevaisuudessa avuksi saattavat tulla teollisuusrobotit, jotka voivat työskennellä yhdessä ihmisten kanssa. Nykyisten teollisuusrobottien ympärillä on tiukka varoalue, koska robotit ovat vaarallisia; ne toistavat liikeratojaan, vaikka edessä olisi ihminen tai muu este.

Amerikkalaisen Carnegie Mellon -yliopiston robotiikan laitoksella tehtiin koe, jossa kaksi kilpailevaa joukkuetta valmisti Humvee-merkkisen sotilasajoneuvon korin rungon. Toisen muodostivat kokeneet ammattilaiset, jotka leikkasivat nelikulmaisesta teräsputkesta tarvittavat palat, valmistelivat ne hitsausta varten ja lopuksi hitsasivat korin kokoon. Tehtävä vei heiltä 89 tuntia, ja hinnaksi tuli 7 075 dollaria. Toisen joukkueen muodostivat modifioitu ABB:n hitsausrobotti ja robotiikan laitoksen tutkija. Robotin ja ihmisen joukkue suoriutui tehtävästä 10 tunnissa, ja rungon hinnaksi tuli 1 150 dollaria.

Kokeesta kertovasta artikkelista ei selviä tarkkaan, mistä säästöt työajassa täsmälleen ottaen tulivat, mutta artikkelin kirjoittaja, Carnegie Mellon -yliopiston vanhempi tutkija David Bourne (2013) arvioi, että taloudellinen hyöty nousee merkittäväksi, jos ja kun ihmiset ja robotit voivat toimia yhdessä ja jakavat tehtävät dynaamisesti sen mukaan, kummat suoriutuvat niistä paremmin.

## 4 Johtopäätökset

### 4.1 Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotteita tarvitaan useimmilla toimialoilla

Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotteita tarvitaan lähes kaikilla toimialoilla alkutuotannosta yksityisiin ja julkisiin palveluihin. Siksi kone- ja metallituoteteollisuuden yritykset voivat hyötyä monista meneillään olevista kehityskuluista niin kehittyneissä, kehittyvissä kuin vähiten kehittyneissä talouksissa.

Kehittyvien maiden raaka-aine- ja energiaintensiivinen kasvu lisää metallien, öljyn ja kaasun kysyntää. Uusien kaivosten sekä öljy- ja kaasulähteiden avaaminen ja olemassa olevien laajentaminen ja tehokkaampi hyödyntäminen luovat puolestaan kysyntää koneille, laitteille ja metallituotteille. Kehittyvien maiden elintason nousu lisää ja monipuolistaa elintarvikkeiden kysyntää. Se taas johtaa maataloustuotannon laajentamiseen ja tehostamiseen, ja edelleen koneiden, laitteiden ja metallituotteiden kasvavaan kysyntään.

Raaka-aineiden, energian ja elintarvikkeiden kaupan kautta kehittyvien maiden kasvu leviää myös vähiten kehittyneisiin maihin. Monissa niistä luonnonvarojen tehokas hyödyntäminen edellyttää perusrakennelainvestointeja, maanteiden, rautateiden, satamien, lentokenttien ja voimalaitosten rakentamista. Kestävä kasvu vaatii vähiten kehittyneissä maissa perustakseen myös maatalouden tuottavuuden nousua.

Kehittyvissä maissa kasvu perustuu työvoiman lisääntymisen sijasta yhä enemmän tuottavuuden nousuun. Se saavutetaan osaksi lisäämällä koneiden ja laitteiden käyttöä tuotannossa. Automaatiota hyödynnetään kasvavassa määrin myös laadun parantamiseksi ja vakioimiseksi.

Kehittyneissä maissa automaatio on keskeinen keino parantaa kilpailukykyä kehittyviin maihin verrattuna. Entistä ”älykkäämmät” koneet ja laitteet auttavat nostamaan tuottavuutta useimmilla toimialoilla, myös yksityisissä ja julkisissa palveluissa.

Kaupungistuminen etenee kaikkialla maailmassa. Se merkitsee jatkuvaa asuntojen, toimistojen ja liiketilojen, liikenneväylien, sekä sähkö-, vesi-, lämpö-, ilmastointi- ja jätehuoltojärjestelmien uudisrakentamista ja parantamista.

Kehittyvien maiden raaka-aineintensiivinen kasvu muuttaa myös tapaa, jolla raaka-aineita hyödynnetään. Vaikka raaka-aineista ei todennäköisesti tule laajamittaista pulaa, kehittyvien maiden kysynnän lisääntyminen tekee niiden kierrätyksestä entistä tärkeämpää. Astetta kierätystä pitemmälle menee koneiden uusiovalmistus (remanufacturing), joka tarkoittaa koneiden kokoamista osaksi kunnostetuista komponenteista.

Fossiilisen energian käytön kasvu erityisesti kehittyvissä maissa vaikeuttaa ilmaston lämpenemisen saamista hallintaan. Kone- ja metallituoteteollisuus voi myötävaikuttaa ongelman ratkaisuun toimittamalla komponentteja ydinvoimaloihin sekä komponentteja ja laitteita uusiutuvan energian tuotantoon. Koneiden ja laitteiden energiatehokkuutta on myös mahdollista parantaa esimerkiksi materiaalivalinnoin. Uudet lujemmat ja kevyemmät materiaalit ja rakenteet parantavat koneiden ja laitteiden energiatehokkuutta. Monissa tapauksissa voidaan myös ottaa talteen ja hyödyntää kineettistä ja gravitaatioenergiaa, ja käyttövoimavalinnoilla on luonnollisesti mahdollista vaikuttaa koneiden ja laitteiden hiilijalanjälkeen. Koneet ja laitteet eivät ole tässä suhteessa ongelma, vaan osa ratkaisua.

## 4.2 Valmistus ja uusi palveluliiketoiminta tukevat toisiaan

Euroopan – ja erityisesti Saksan – menestys osoittaa, että korkean kustannustason kehittyneissä maissa on mahdollista harjoittaa valmistusta, kun panostetaan tutkimus- ja kehitystoimintaan, tuotteiden laatuun ja asiakaslähtöisyyteen. Saksan menestystä on selitetty omistajien kärsivällisyydellä, joka luo edellytykset toiminnan ja tuotteiden johdonmukaiselle ja pitkäkestoiselle kehittämiselle, ja työsuhteiden pitkäaikaisuudella, joka kannustaa työntekijöitä kehittämään ammattitaitoaan saman työnantajan palveluksessa ja antamaan panoksensa yrityksen toiminnan kehittämiseen. Maan työmarkkinat ovat myös osoittaneet joustavuutensa, kun työllisyys ja työpaikkojen säilyminen Saksassa on ollut uhattuna.

Kone- ja laiteollisuuden tuotannossa lopputuotteiden osuus on merkittävästi välituotteiden osuutta suurempi. Lopputuotteita voidaan viedä pitkienkin matkojen taakse, kun markkinat ovat globaalit, mutta valmistettavat määrät niin pieniä, ettei tuotantoa kannatta hajauttaa useisiin paikkoihin. Sellaisia tuotteita voi valmistaa myös Suomessa. Jos tuotetut määrät ovat suuria, ja valmistusta on mielekästä jakaa kahteen tai useampaan paikkaan, Eurooppa, Lähi-itä ja Afrikka ovat luontevia markkinoita Suomessa valmistettaville tuotteille.

Metallituoteteollisuuden toiminta on paikallisempaa kuin kone- ja laiteollisuuden. Omien lopputuotteiden osuus toimialan tuotannosta on pienempi kuin välituotteiden. Rakennustoiminta ja kone- ja laiteollisuus ovat näiden välituotteiden tärkeimmät käyttäjät. Metallituoteteollisuuden näkökulmasta on siten tärkeää, että Suomessa on tulevaisuudessa riittävästi lopputuotteita valmistavia kone- ja laiteollisuuden yrityksiä. Välituotteiden vienti Eurooppaan tarjoaa mahdollisuuden kasvattaa tuotantoa ja vähentää riippuvuutta kotimaisista päähankkijoista.

Tutkimus- ja kehitystoiminta kytkeytyy luontaisesti valmistukseen. Läheinen vuorovaikutus valmistuksen kanssa nopeuttaa usein tutkimus- ja kehitystoimintaa, ja parantaa sen laatua. Tuotteiden ominaisuuksien ohella niiden valmistettavuudella on suuri merkitys toiminnan



kannattavuudelle. Valmistettavuus varmistuu parhaiten, kun tutkimuksen ja kehityksen yhteys valmistukseen on kiinteä.

Yksittäisen yrityksen tutkimus- ja kehitystoiminta hyötyy yhteistyöstä yliopistojen ja korkeakoulujen, yksityisten ja julkisten tutkimuslaitosten sekä toisten yritysten kanssa. Pienessä maassa on vaikea kattaa kaikkia relevantteja tutkimusalueita. Korkeatasoinen tutkimus joillakin alueilla on tärkeää siksi, että se avaa ovia kansainväliseen tutkimusyhteistyöhön.

Kansainvälisessä tutkimusyhteistyössä Suomen luontevia kumppaneita ovat Ruotsi ja Saksa. Jälkimmäinen on Euroopan kone- ja metallituoteteollisuuden viennin napa; tutkimusyhteistyö, johon osallistuu myös saksalaisia yrityksiä, voi avata epäsuoria vientikanavia Saksan kautta.

Tutkimus- ja kehitystoimintaa hyödyttää tieto, jota asennetut koneet ja laitteet lähettävät kasvavassa määrin tietoverkkojen välityksellä. Karttuvan tiedon analysointi ja seuranta on järkevää sijoittaa lähelle tutkimus- ja kehitystoimintaa, mutta se palvelee myös muuta, osin kokonaan uutta toimintaa. Koneiden ja laitteiden lähettämä tieto mahdollistaa toimitetun tuotekannan tilan, kunnan ja huoltotarpeen seurannan sekä tarvittavien huolto- ja ylläpitotoimien koordinoinnin ja ohjauksen. Suuresta kone- ja laitekannasta kumuloituva tieto antaa mahdollisuuden ennakoita huolto- ja korjaustoimien tarpeen, joten toimet voidaan ajoittaa asiakkaan toiminnan kannalta mahdollisimman sopivasti.

Asennetusta tuotekannasta saadaan haluttaessa runsaasti tietoa myös asiakasyritysten prosesseista. Tämän tiedon pohjalle rakentuvaa uutta palveluliiketoimintaa voidaan niin ikään hoitaa Suomesta käsin. Karttuvan tiedon pohjalta asiakkaille pystytään kertomaan, miten nämä voivat kehittää omaa toimintaansa tehokkaammaksi ja tuottavammaksi.

## Kuvio 22 Suomessa onnistuu monenlainen liiketoiminta



Kun kilpailukeinona on hinnan sijasta laatu ja luotettavuus, kannattaa pyrkiä kiinnittämään asiakkaan huomio myyntihinnan sijasta koneen tai laitteen elinkaarikustannuksiin. Tuotteiden liisuus tai operointi asiakkaan puolesta voi olla järkevä vaihtoehto myynnille. Huolto- ja ylläpitoliiketoiminnan yhteydessä kertyvä tieto parantaa mahdollisuuksia arvioida tuotteiden (keskimääräisiä) elinkaarikustannuksia, ja mahdollistaa palvelujen kilpailukykyisen hinnoittelun. Liisatun ja operoitavan konekannan ”fleet management” voidaan hyvin hoitaa Suomessa.

Koneiden liisuus ja operointi on hyvä vaihtoehto myös silloin, jos halutaan varmistaa niiden palautuminen uusiovalmistukseen. Jos edestakaiset kuljetusmatkat kasvavat kovin pitkiksi, itse uusiovalmistus voi olla mielekäs hoito jossakin muualla. Uusiovalmistus ja huolto- ja ylläpitoliiketoiminta voivat mahdollisesti hyötyä toisistaan; käytännön huolto- ja ylläpitotoiminta edellyttää joka tapauksessa toimipisteitä lähempänä tuotteiden käyttöpaikkaa.

### 4.3 Mahdollisuuksien hyödyntäminen edellyttää strategisia valintoja

Kone- ja metallituoteteollisuuden kysyntänäkymät ovat pitkällä aikavälillä hyvät useimmissa tuoteryhmissä, joissa Suomen teollisuuden vahvuudet ovat, ja markkinoilla, jotka Suomessa tapahtuvan valmistuksen näkökulmasta ovat relevantteja. Avautuvien mahdollisuuksien hyödyntäminen edellyttää, että yritykset analysoivat vahvuuksiaan, ja valitsevat, missä kohdassa arvoketjua ne haluavat toimia. Kaikista ei tarvitse eikä voi tulla järjestelmätoimittajia, mutta useimmille yrityksille on todennäköisesti hyödyllistä fokusoida toimintaansa ja erikoistua mittakaavaetujen saavuttamiseksi.

Kuvio 23 Menestys edellyttää strategisia valintoja



Lähde: Kuvio pohjautuu julkaisuun Suuri kuva kone- ja metallituoteteollisuuden alihankintasektorista (Management Design Intelligence, 2011).

Kun markkinat ovat aiempaa kauempana, ja toimitettavat volyymit kasvavat, myös omistus- ja yhteistoimintastrategian merkitys kasvaa. Vaihtoehdot ulottuvat löyhistä markkinointialliansseista ristiinomistuksen kautta yrityskauppoihin ja täysimittaisiin fuusioihin. Harkitut strategiset valinnat luovat paremman pohjan myös operatiivisen toiminnan kehittämiseksi.

Kun suomalainen koneenrakennustaito ja innovaatiokyky yhdistetään maassa olevaan viestintä- ja tietotekniseen osaamiseen, myös edellytykset hyödyntää mahdollisuuksia uudessa palveluliiketoiminnassa ovat hyvät. Se edellyttää kuitenkin ennakkoluulottomuutta liiketoimintamallien valinnassa. Raja valmistuksen ja palvelujen ja eri toimialojen välillä hälventyy tulevaisuudessa vielä nykyistä enemmän.

## Liite 1: Mikä on Saksan salaisuus?

Saksaa voi sanoa Euroopan ja koko maailmankin johtavaksi koneteollisuusmaaksi. Millä avuilla maan kone- ja laiteollisuus on noussut nykyiseen asemaansa? Sattumasta voi tuskin olla kyse.

Kone- ja laiteollisuus on toimiala, jolla tuotteiden ja tuotantomenetelmien kehitys tapahtuu asteittain pitkän ajan kuluessa. Saksan taloudessa ja saksalaisessa yhteiskunnassa on useita toisiaan vahvistavia piirteitä, jotka tarjoavat erinomaisen perustan kone- ja laiteollisuuden kaltaisen toimialan menestykselle. Maalla on jotakin, jota Hancké ja Coulter (2013) kutsuvat suhteelliseksi institutionaaliseksi eduksi. Saksan kone- ja laiteollisuuden menestys perustuu työntekijöiden korkeaan ammattitaitoon, omistajien kärsivällisyyteen ja yritysten tiiviiseen yhteistyöhön, ja niiden perusta on puolestaan maan talouden ja yhteiskunnan institutionaalisissa rakenteissa.

Saksan rahoitusmarkkinat ovat olleet varsin pankkikeskeiset, ja ovat sellaiset edelleenkin, erityisesti mitä tulee pienien ja keskisuurten yritysten rahoitukseen. Yrityksillä on kiinteä suhde pääasialliseen pankkiinsa; sen lisäksi, että pankki lainaa rahaa yritykselle, se voi olla myös yrityksen osakkeenomistaja, ja pankin edustajat voivat olla mukana yrityksen hallinnossa. Omistus avaa mahdollisuuden vaikuttaa yrityksen johtamiseen ja strategiaan, mutta se mahdollistaa myös avoimen ja luottamuksellisen tiedon vaihdon yrityksen ja pankin välillä, mikä tekee rahoituksen riskien arvioinnista helpompaa.

Vaikka osakemarkkinoiden merkitys on Saksassakin kasvanut, määräysvallan hankkiminen markkinoiden kautta on pääsääntöisesti vaikeaa. Saksalaisten yritysten omistus on varsin keskittynyttä; perheyriyten osuus on iso, ja muillakin yrityksillä on yleensä yksi suuri omistaja, jonka omistusosuus riittää estämään määräysvallan siirtymisen. Usein yritykset myös omistavat toisiaan ristiin.

Saksalaisille yrityksille tyypilliset omistusrakenteet vähentävät yritysvaltauksien uhkaa, mikä vuoksi yritykset voivat suunnitella ja toteuttaa investointeja pitkäjänteisesti. Toisaalta ne voivat johtaa tilanteeseen, jossa omaa etuaan ajavat piirit estävät tarpeelliset muutokset. Näin ei kuitenkaan näytä Saksassa käyneen; olemassa olevien omistusrakenteiden puitteissa toteutetut liiketoimintojen uudelleenjärjestelyt ovat johtaneet vientikilpailukyvyyn voimakkaaseen paranemiseen.

Yritysrakenteiden suhteellisen muuttumattomuuden ja työpaikkojen pysyvyyden on arvioitu kannustavan työntekijöitä hankkimaan ja kehittämään työssä tarvittavia yrityskohtaisia taitoja. Työntekijöiden vaihtuvuus on vähäistä; se ja suhteellisen pieni palkkahajonta kertonevat taas siitä, etteivät yritykset pyri aktiivisesti houkuttelemaan toistensa työntekijöitä tarjoamalla korkeampaa palkkaa.

Saksan oppisopimuskoulutusjärjestelmä tuottaa yritysten palvelukseen korkean teknisen ja käytännöllisen pätevyyden omaavia työntekijöitä. Koulutus tapahtuu osin yrityksessä, osin ammattioppilaitoksessa. Järjestelmä on kysynnän ohjaama, ja työnantajien mukanaolo sen hallinnossa auttaa turvaamaan sen, että koulutus vastaa yritysten kulloisiakin tarpeita.

Saman toimialan yritykset tekevät Saksassa tiivistä yhteistyötä, joka kattaa palkkojen koordinoinnin, teknologian siirron ja leviämisen, teknisten standardien asettamisen, koulutuksen standardien laatimisen ja koulutuksen järjestämisen. Yritysten kyky tehdä toimittajien, asiakkaiden ja kilpailijoiden kanssa yhteistyötä koneiden ja prosessien kehittämisessä, muokkaamisessa ja räätälöinnissä on merkittävä kilpailuetu, koska sen tyyppinen teknologian vaihto tuottaa arvokkaita ulkoisvaikutuksia. Vastaavan informaation hankkiminen olisi yksittäiselle yritykselle hyvin kallista.

Periaatteessa on mahdollista, että yksittäinen yritys yrittäisi päästä järjestelmän vapaamatkustajaksi, esimerkiksi niin, että pyrkisi houkuttelemaan muissa yrityksissä koulutettuja työntekijöitä omaan palvelukseensa. Sellaisesta kiinni jääminen veisi kuitenkin yrityksen yhteistyöverkostojen ulkopuolelle. Kustannukset siitä nousisivat todennäköisesti niin korkeaksi, ettei riskin ottaminen kannata.

Saksalaiselle corporate governance -järjestelmälle on tyypillistä se, että yrityksen hallinnossa on mukana laajalti eri sidosryhmien edustajia. Yrityksen hallintoneuvostossa voi olla omistajien ja pankin edustajien lisäksi myös muiden yritysten ja alue- ja paikallishallinnon edustajia. Yrityksen työntekijöillä on lakiin perustuva edustus hallintoneuvostoissa; sen lisäksi he voivat vaikuttaa yrityksen toimintaan toimipaikkatasolla toimivissa yritysneuvostoissa (Betriebsrat).

Vaikka työntekijöiden myötämääräämis-oikeudesta on säädetty laissa, työehtosopimusten yleissitovuudesta ei ole samanlaisia säännöksiä kuin Suomessa, vaan työmarkkinaosapuolet voivat keskenään sopia sopimusten kattavuudesta.

Saksan viimeaikainen hintakilpailukyky on usein luettu vuosina 2002–2005 toteutettujen Hartz-reformien ansioksi, mutta Dustmann, Fitzenberger, Schönberg ja Spitz-Oener (2014) arvioivat, ettei niillä ollut olennaista merkitystä. Saksan talouden kilpailukyvyn taustalla on 1990-luvun puolivälissä alkanut prosessi, jonka seurauksena palkkaneuvottelut desentralisoitiin. Tämä johti yksikkötyökustannusten dramaattiseen laskuun ja maan kilpailukyvyn kohelemiseen.

Palkkaneuvottelujen hajauttamisen taustalla olivat itäisen Euroopan avautumisen myötä syntyneet uudet mahdollisuudet siirtää tuotantoa edullisempiin maihin Saksan lähialueella. Se muutti voimatasapainoa ammattiliittojen ja työnantajajärjestöjen välillä. Ammattiliitot ja yritysneuvostot joutuivat hyväksymään poikkeuksia toimialakohtaisiin sopimuksiin. Ne merkitsivät usein palkkojen alenemista, mutta myönnytykset olivat tarpeen, jotta ammattiliitot ja yritysneuvostot eivät marginalisoituisi.

Palkkaneuvottelujen hajauttaminen tapahtui kahta kautta. Ammattiliittojen tekemien sopimusten piirissä olevien työntekijöiden osuus laski merkittävästi, ja avauslausekkeiden lisääntyminen vahvisti yrityksissä toimivien yritysneuvostojen roolia palkkojen määräytymisessä ammattiliittojen kustannuksella.

Palkkaneuvottelujen hajauttamista Saksassa helpotti varmasti se, että työntekijöillä on edustus sekä yritysten hallintoneuvostoissa että toimipaikkatasolla yritysneuvostoissa. Työntekijöiden edustajien mukanaolo yritysten hallinnossa varmistaa sen, että työntekijät hyötyvät, kun taloudelliset olot paranevat.

Monia asioita, jotka on edellä luettu Saksan vahvuuksiksi, voi toisesta näkökulmasta pitää maan heikkouksina. Työsuhteiden pysyvyyden ja pitkäaikaisuuden voi tulkita merkitsevän sitä, ettei tieto ja osaaminen leviä yrityksestä toiseen. Tätä voi toisaalta kompensoida se, että yritykset vaihtavat informaatiota avoimesti keskenään.

Pääoman kärsivällisyyden voidaan ajatella hidastavan voimavarojen siirtymistä paremmin tuottaviin kohteisiin. Saksaa onkin moitittu liiallisesta konservatiivisuudesta. Esimerkiksi OECD on arvostellut sitä, että Saksassa innovointi on keskittynyt aloille, joilla maan vahvuudet vientimarkkinoilla ovat perinteisesti olleet. Korkean teknologian aloille voimavaroja on suunnattu kilpailijamaita vähemmän. Toisaalta voi olla niinkin, että Saksan kone- ja laitteollisuus on hyötynyt siitä, että kilpailijamaissa on keskitytty Saksaa enemmän hakemaan nopeaa menestystä radikaalien innovaatioiden kautta.

Pitkän ajan kuluessa karttunut taito ja osaaminen on joka tapauksessa kilpailuetu, jota on vaikea kopioida. Ne ovat tehneet saksalaisesta laadusta brändin, jonka ansiosta asiakkaat ovat valmiita maksamaan saksalaisista tuotteista korkeampaa hintaa.

Saksalainen laatu menestyy myös kehittyvien maiden markkinoilla. Kuten Hancké ja Coulter (2013) asian tiivistävät: Kiina voi olla maailman johtava vientimaa, mutta saksalaiset rakentavat Kiinan tehtaat.

## Liite 2: Uusia materiaaleja kehitetään ja otetaan käyttöön

Kehittyvien maiden kasvu lisää raaka-aineiden ja energian kysyntää. Tämän vuoksi niiden hinta pysynee keskimäärin niin korkeana, että uusien raaka-aine- ja energiavarojen käyttöönotto on kannattavaa myös vaikeapääsyisemmillä seuduilla.

Kun energian hinnan odotetaan pysyvän korkeana, energiatehokkuudesta tulee entistäkin tärkeämpää. Energiatehokkuutta voi parantaa tekemällä koneiden ja laitteiden rakenteista keveämpiä. Tähän voidaan päästä sekä kehittämällä aiempaa lujempia materiaaleja, jolloin rakenteet voivat olla ohuempia, tai lisäämällä kevyempien materiaalien käyttöä rakenteissa. Materiaalit eroavat toisistaan sekä ominaisuuksiltaan että hinnaltaan, joten käyttötarkoituksesta pitkälti riippuu, mitä materiaalia milloinkin käytetään.

Teräs on edelleen edullisin vaihtoehto. Se on periaatteessa raudan ja hiilen seos, jonka ominaisuuksia voidaan säädellä hiilen määrää muuttamalla (hiiltä voi olla raudan seassa 0,002 prosentista 2,1 prosenttiin seoksen painosta). Lisäämällä muita alkuaineita, esimerkiksi mangaania, nikkeliä, kromia, molybdeeniä, booria, titaania tai vanadiumia, sen ominaisuuksia voidaan muovata kulloiseenkin käyttötarkoitukseen sopivammaksi. Suomessakin on kehitetty lujia erikoisteräksiä, joita käyttämällä rakenteista on mahdollista tehdä aiempaa keveämpiä. Terästen ominaisuuksia on edelleen mahdollista parantaa; yhdistämällä lujuus, sitkeys ja keveys vaikkapa parempaan kulumisen, korroosion, korkeiden tai matalien lämpötilojen tai suurien lämpötilavaihteluiden kestoon saadaan aikaan materiaaleja, joiden käytöstä koituu hyötyä monien teollisuuden alojen sovelluksissa.

Alumiinia käytetään aiempaa enemmän muun muassa autoteollisuudessa. Alumiini on terästä kevyempi, mutta lujuudeltaan sitä heikompi materiaali. Seostamalla alumiiniin pieniä määriä muita alkuaineita kuten mangaania, piitä, kuparia, magnesiumia tai sinkkiä saadaan aikaan seoksia, jotka ovat yhtä lujia kuin teräs. Alumiini on kuitenkin terästä kalliimpaa; viime vuosina alumiinin hinta on ollut karkeasti kolminkertainen teräkseen verrattuna.

Titaani on yhtä lujaa kuin tavallinen teräs, mutta tiheydeltään vain 45 prosenttia teräksen tiheydestä, eli se on merkittävästi terästä kevyempää. Alumiiniin verrattuna titaani on 60 prosenttia tiheämpää, eli alumiinia raskaampaa, mutta kaksi kertaa sitä lujempaa. Titaani kestää hyvin kuumuutta ja kulutusta, ja myös sen korroosionkestävyys on hyvä. Titaani on toisaalta hyvin kallista; sen hinta on karkeasti kahdeksankertainen alumiiniin verrattuna. Kalleutensa vuoksi titaania käytetään määrällisesti eniten koneissa, joissa painonsäästön merkitys on erityisen suuri, esimerkiksi lentokoneissa.

Titaanin korkea hinta johtuu pääosin sen kalliista valmistusmenetelmästä. Englantilainen MetalYSIS-yhtiö on patentoinut uuden menetelmän, jonka käyttöönotto saattaa alentaa titaanin hintaa jopa 75 prosenttia. Yhtiö on parhaillaan kaupallistamassa menetelmäänsä. Se tuottaa suoraan titaanijauhetta, joka soveltuu ainetta lisäävän valmistuksen raaka-aineeksi.

Kuten edellä jo ilmeni, metalleja ei yleensä käytetä sellaisenaan, vaan metalliseoksina, joille on saatu aikaan haluttuja ominaisuuksia seostamalla kaksi tai useampia metalleja sopivassa suhteessa keskenään. Toivottujen ominaisuuksien tuottaminen kokeellisesti on kuitenkin suhteellisen hidasta. Uusien metalliseosten kehittämistä on mahdollista nopeuttaa mallintamalla materiaalien ominaisuuksia ja simuloimalla kemiallisia termodynaamisia prosesseja.

Komposiitit ovat kahden tai useamman erilaisen materiaalin yhdistelmiä, joiden ominaisuudet poikkeavat merkittävästi ainesosien ominaisuuksista niiden esiintyessä erillään. Yleisimmin komposiiteissa käytetään sideaineena muovia, ja vahvikkeena lasi-, hiili-, boori-, aramidit- tai keraamikuitua. Aramidit (aromaattiset polyamidit) kuuluvat teknisiin muoveihin; tunnetuimman aramidin kaupp nimi on Kevlar. Komposiitteja käytetään pääasiassa niistä tehtyjen rakenteiden keveyden takia. Toisin kuin metallirakenteet, komposiittirakenteet voidaan tehdä lujiksi juuri siihen suuntaan, mihin rasitus kohdistuu. Ne voivat olla 50 prosenttia kevyempiä kuin yhtä lujat teräsrakenteet, ja 30 prosenttia kevyempiä kuin yhtä lujat alumiinirakenteet. Komposiittirakenteet sitovat myös hyvin törmäysenergiaa, mikä on yksi syy niiden käyttöön nopeissa kilpa-autoissa. Komposiittien yleistymistä on jarruttanut se, että niistä tehtyjen rakenteiden valmistus on ollut kallista, kun vahvistavat kuidut on aseteltu ja sideaineena toimiva hartsi on levitetty pitkälti käsityönä. Viime vuosina komposiittirakenteiden tuotantoa on kuitenkin automatisoitu voimakkaasti, kun niiden käyttö on yleistynyt lentokone- ja autoteollisuudessa.

Biokomposiitit ovat uusiutuvien kuitujen ja muovin yhdistelmiä. Suomessa kehitettyä selluloosakuidun ja muovin yhdistelmää on mahdollista ruiskuvalaa, ja siitä voi tehdä esimerkiksi auton osia.

Keraamit ovat metallien ja muiden alkuaineiden yhdistelmiä, jotka kestävät hyvin kuumuutta, kulutusta ja korroosiota, ja ovat lisäksi kevyitä. Esimerkkejä keraameista ovat piikarbidi ja volframikarbidi; ne kestävät hyvin hankausta, joten niitä käytetään muun muassa kaivoksien murskainten kulutuslevyissä. Keraameja löytyy myös muun muassa autojen katalysaattoreista ja polttoainejärjestelmien happisensoreista.

Hybridimateriaaleja tuotetaan yhdistelemällä erillisiä materiaaleja (esimerkiksi metalleja, keraameja ja polymeerejä) joko yhdeksi uudeksi materiaaliksi tai uusiksi toimiviksi rakenteiksi. Kyse voi olla esimerkiksi teräksen pinnoittamisesta materiaalilla, joka parantaa korroosionkestoa tai vähentää kitkaa ja lisää kulutuksenkestoa.



### **Liite 3: Ainetta lisäävä valmistus yleistyy**

Ainetta lisäävästä valmistuksesta tai 3D-tulostuksesta on tullut yleinen puheenaihe, kun muovia raaka-aineena käytävien tulostimien hinnat ovat alentuneet voimakkaasti, ja niiden hankkiminen myös kotikäyttöön on tullut mahdolliseksi. 3D-tulostukseen kohdistuvat odotukset ovat osaksi ylimitoitettuja; ainetta lisäävä valmistus ei korvaa perinteisiä työstömenetelmiä eikä hajauta teollista tuotantoa sillä tavalla kuin jotkut uskovat. Ajan mittaan siitä kuitenkin tulee tärkeä täydentävä menetelmä, koska 3D-tulostuksella saadaan aikaan kappaleita ja rakenteita, joita perinteisillä menetelmillä ei pystytä tuottamaan.

Harrastekäyttöön tarkoitettuihin 3D-tulostimiin verrattuna metallikomponentteja tuottavat ammattikäyttöön tarkoitetut laitteet ovat edelleen kalliita. Ne ovat myös hitaita; yhden kappaleen tulostaminen vie tunteja pikemminkin kuin minuutteja. Siksi 3D-tulostus sopii lähinnä yksittäiskappaleiden valmistukseen; sarjavalmistuksessa perinteiset menetelmät ovat edullisempia. 3D-tulostuksella on mahdollista tehdä kilpailukykyisesti esimerkiksi varaosia, joiden toimitusajat ovat pitkiä. Saksalainen Siemens on ryhtynyt käyttämään 3D-tulostusta kaasuturbiinien varaosien valmistuksessa; tulostamalla on mahdollista tehdä yli 100 erilaista varaosaa, muun muassa kaasuturbiinin polttimia. Lehtitietojen mukaan 3D-tulostus lyhentää korjausajoja joissakin tapauksissa kymmenesosaan aiemmasta (Powley, 2013).

Siemens ei ole ainoa suuri teollisuusyritys, joka selvittää ainetta lisäävän valmistuksen käyttömahdollisuuksia; amerikkalainen General Electric on kehittänyt 3D-tulostettavan suihkumoottorin polttoainesuuttimen, joka on 25 prosenttia kevyempi ja viisi kertaa kestävämpi kuin aiemmat. Ainetta lisäävällä menetelmällä suutin voidaan valmistaa yhtenä kappaleena, kun se aiemmin koostui useasta yhteen liitetystä osasta. Yhtiö arvioi, että vuoteen 2020 mennessä 100 000 tällaista suutinta on asennettu yhtiön valmistamiin suihkumoottoreihin.

3D-tulostuksen suurin merkitys on ehkä siinä, että komponenteista voidaan tehdä lujia, mutta paljon aiempaa kevyempiä. Kennostomaisia tai ristikkomaisia rakenteita hyödyntämällä lujat osat syntyvät aiempaa vähäisemmästä materiaalmäärästä. 3D-tulostuksessa kappaleiden muoto on käytännössä mahdollista valita vapaasti, joten niiden rakenne voi jäljitellä esimerkiksi luonnonmateriaalien rakenteita. Luu ei ole oikeasti umpiluuta, eikä puu umpipuuta, vaikka usein niin sanotaan; rakenteen huokoisuuden vuoksi niiden lujuus on suuri suhteessa niiden tiheyteen.

## Liite 4: Uudet käyttövoimaratkaisut valtaavat alaa

Millä voimalla koneet liikkuvat vuonna 2025? Se riippuu sekä koneiden käyttötarkoituksesta että siitä, millä tavoin energiaa on edullisinta tuottaa, varastoida ja siirtää. Eri vaihtoehtojen edullisuuteen vaikuttavat sekä teknologinen kehitys että toimet, joilla hiilidioksidipäästöjä pyritään rajoittamaan.

Sähkön merkitys kuluneen vuosisadan aikana tapahtuneelle kehitykselle on ollut ratkaisevan tärkeä, ja sen käyttö tulee edelleen lisääntymään riippumatta siitä, millä tavalla sähköä tuotetaan. Sähkön kysyntää nostaa muun muassa teollisuuden kasvava automaatio, mutta se ei suinkaan ole ainoa tekijä; amerikkalaisen GE:n asiantuntijat Evans ja Annunciata (2012) ovat arvioineet, että maailman datakeskukset käyttävät vuonna 2025 sähköä yhtä paljon kuin 9–14 New Yorkin kokoista megakaupunkia – tällä hetkellä ne kuluttavat sähköä 2,6 kertaa niin paljon kuin New York City.

Sähkö on ilmastonmuutoksen rajoittamisen kannalta hyvä vaihtoehto, jos sitä tuotetaan menetelmillä, jotka vähentävät kasvihuonekaasupäästöjä. Sen käyttöä liikkuvissa koneissa rajoittaa kuitenkin se, että ainakin toistaiseksi sähkön varastointiin käytettävät akut ovat liian suuria ja painavia. Toimintasäde ja -aika jäävät sen vuoksi turhan lyhyeksi. Lisäksi akkujen lataus on suhteellisen hidasta, ja koneita käytetään usein paikoissa, joissa latausmahdollisuutta ei edes ole. Akut ovat myös suhteellisen kalliita, vaikka sähkö itsessään on edullista.

Sähkömoottorilla on sinänsä merkittäviä etuja: moottori on hiljainen ja vääntää tasaisesti alusta lähtien. Tasaisen vääntömomentin ansiosta voimansiirto on mahdollista toteuttaa yksinkertaisemmin kuin polttomoottoreita käytettäessä. Polttomoottorit saavuttavat suurimman vääntömomenttinsa vasta, kun kierrosluku nousee tarpeeksi korkeaksi, joten niiden tuottama voima on välitettävä vaihteiston kautta. Polttomoottorit ovat myös äänekkäitä. Toisaalta niiden toimintasäde- ja -aika on pitkä, polttoaineen tankkaus sujuu nopeasti, ja polttoaineen varastointi on halpaa, vaikka polttoaine itsessään onkin sähköä kalliimpaa.

Dieselsähköisissä järjestelmissä pystytään yhdistämään sähkö- ja polttomoottorien parhaita ominaisuuksia. Niissä dieselmoottori pyörittää generaattoria, jonka tuottama sähkö pyörittää sähkömoottoria tai -moottoreita. Dieselsähköiset järjestelmät ovat jo sellaisenaan energiatehokkaampia ja aiheuttavat vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin pelkästään dieselmoottorilla toimivat, koska dieselmoottoria on niissä mahdollista käyttää koko ajan optimaalisella kierrosnopeudella. Biopolttoaineita käyttämällä ilmastovaikutusta on edelleen mahdollista vähentää. Dieselsähköisissä järjestelmissä voidaan myös voimansiirto järjestää yksinkertaisemmin, ja dieselmoottorin sijoittamisessa vapausasteet ovat suuremmat, kun sitä ei tarvitse kytkeä mekaanisen voimansiirtojärjestelmän välityksellä vetäviin pyöriin tai potkureihin.

Vaikka dieselsähköisissä järjestelmissä voimansiirto voidaan järjestää teknisesti yksinkertaisemmin, dieselmoottorin, akkujen ja sähkömoottorin tai -moottorien yhdistelmä ei välttämättä ole halvempi kuin perinteinen dieselmoottorin ja mekaanisen voimansiirron yhdistelmä. Jos ottaa esimerkin autoteollisuuden puolelta, General Motorsin Chevrolet Voltin / Opel Amperan (veroton) hankintahinta on selvästi korkeampi kuin vastaavan kokoisen polttomoottorikäyttöisen auton. Volt / Ampera on tosin enemmänkin ladattava sähköauto, jossa dieselmoottorin roolina on vain laajentaa toimintasädettä tarvittaessa, joten akkujen osuus hinnasta saattaa olla suhteellisesti korkea.

Mekaaninen voimansiirtojärjestelmä saattaa olla voimanlähteestä riippumatta edullisin vaihtoehto esimerkiksi silloin, kun voimanlähde jouduttaisiin muuten sijoittamaan paikkaan, jossa sen huolto on hankalaa, vaikkapa veden alle. Suurissa konttilaivoissa, jotka kulkevat pitkiä matkoja tasaisella nopeudella, dieselmoottori voidaan kytkeä suoraan alusta liikuttaviin potkureihin. Dieselsähköisestä järjestelmästä saatava hyöty jäisi pieneksi, koska moottori voi pyöriä valtaosan ajasta optimaalisella kierrosnopeudella.

Työkoneissa on useimmiten käytännöllisin hydraulinen voimansiirto, jossa dieselmoottori tuottaa painetta konetta ja työvälineitä liikuttavaan järjestelmään. Hydraulinen voimansiirto lisää koneiden suunnittelun vapausasteita samalla lailla kuin dieselsähköiset järjestelmät, joskin hydraulisen voimansiirron tehohäviöt ovat suuremmat. Joissakin tapauksissaärkevin vaihtoehto saattaa olla pneumaattinen voimansiirto, jossa järjestelmää käyttää painesäiliöihin pumpattu ilma.

Sekä kokosähköisissä että hybridijärjestelmissä voidaan ottaa talteen energiaa, jota syntyy, kun vauhtia hidastetaan esimerkiksi kuorman liikkuaessa painovoimalla alaspäin. Tällaisia järjestelmiä on sekä hisseissä että nostureissa. Sama periaate toimii myös hydraulisella voimansiirrolla varustetuissa laitteissa; energiaa on mahdollista varastoida akkumulaattoreihin, joihin pumpataan nestettä kuormaa laskettaessa. Jarruenergian talteenoton ja hyödyntämisen ansiosta saavutetaan merkittäviä säästöjä muun muassa polttoainekustannuksissa.

Jos akkuteknologiassa ei tapahdu mitään vallankumouksellista, biopolttoaineilla, etanolilla, uusiutuvalla dieselillä ja uusiutuvalla lentopolttoaineella tulee olemaan iso rooli koneiden voimanlähteenä. Ne aiheuttavat huomattavasti vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin fossiiliset polttoaineet. Niiden etu on myös valmiiksi olemassa oleva jakeluverkko. Nestemäisiä liikenne-polttoaineita pitää joka tapauksessa olla vielä pitkään tarjolla. Ne ovat käytännössä ainoa järkevä energianlähde liikkuville työkoneille ja raskaille autoille. Polttomoottorikäyttöiset henkilöautotkaan eivät katoa teiltä vielä vuosiin, vaikka sähköautot alkaisivatkin yleistyä nykyistä nopeammin.

Biopolttoaineita valmistetaan osaksi samoista raaka-aineista kuin elintarvikkeita, ja niiden käytön lisääntymistä on siksi vastustettu. Biopolttoaineiden raaka-aineiden kysynnän kasvu nostaa myös ruoan hintaa, mikä heikentää erityisesti maailman köyhimpien maiden asukkaiden asemaa. Uusia raaka-ainelähteitä kaavailaan muun muassa levästä. Varsin mielenkiintoinen on amerikkalaisen Joule Unlimitedin<sup>1</sup> hanke. Yhtiön tavoitteena on tuottaa etanolia ja dieseliä auringonvalon avulla hiilidioksidista; lisäksi prosessissa tarvitaan vettä (jonka ei tarvitse olla juomakelpoista) ja yhtiön kehittämiä katalyyttejä. Hanke on sen verran uskottava, että Audi on ryhtynyt Joulen kumppaniksi; yhtiön tavoitteena on nostaa dieselin vuosituotannon taso noin 140 000 litraan/hehtaari tuotantokustannusten ollessa 50–60 dollaria/barreli.

Sähkön käyttöä lisäämällä on mahdollista vähentää hiilidioksidipäästöjä, jos sähkö tuotetaan päästöttömällä menetelmällä. Ydinvoimalla tulee olemaan oma roolinsa perusvoiman tuotannossa huolimatta siitä, että Saksa on sen käytöstä luopumassa, Japani on tuoreimpien tietojen mukaan muuttamassa suhtautumistaan ydinvoimaan myönteisemmäksi. Tuulivoimaloiden rakentaminen on vähentynyt voimakkaasti, kun velkaantuneet valtiot joutuvat tinkimään tuulivoiman subventoinnista. Sen renessanssi edellyttäisi teknologisia edistysaskelia, jotka laskisivat tuulivoiman tuotantokustannuksia.

<sup>1</sup> <http://www.jouleunlimited.com/about-joule>

Edistysaskeleita voidaan saavuttaa esimerkiksi käyttämällä hybridimateriaaleja, joihin on upotettu sensoreita ja aktuaattoreita; jälkimmäiset säättävät edellisten antaman informaation perusteella roottorin nousukulmaa automaattisesti tuulen mukaan. Se auttaa roottoreita pyörimään nopeammin heikossa ja hitaammin kovassa tuulessa, jolloin tuulivoimalan käyttöaste paranee ja hyötysuhde nousee. Myös tuulivoimaloiden perusrakenne saattaa muuttua. Roottorit tullaan ehkä sijoittamaan tuulen virtausta vahvistavaan kehykseen tai tuulilinssiin; sellaista tekniikkaa on kehitetty japanilaisessa Kyushun yliopistossa<sup>2</sup>. Mahdollista on myös, että suurista horisontaaliakselisista tuuliturbiineista siirrytään pienempiin, joissa generaattoreita pyörittävät vertikaaliakseliset roottorit. Sellaiseen tekniikkaan perustuvien generaattorien ryhmä saattaa Kalifornian teknillisessä korkeakoulussa tehtyjen tutkimusten mukaan tuottaa tulevaisuudessa energiaa tehokkaammin kuin suuret perinteiset tuulivoimalat<sup>3</sup>.

Potentiaalisia tulevaisuuden voimanlähteitä ovat myös polttokennot, joissa hapen kanssa reagoiva vety tuottaa sähköenergiaa. Palamisreaktion tuloksena syntyy vettä, joten energia on päästötöntä. Polttokennoilla on periaatteessa mahdollista korvata dieselsähköisten järjestelmien dieselmoottorit. Vedyn jakeluverkostoa voi tosin toistaiseksi kuvata harvaksi (ja sekin on liioittelua), mutta valmiuksia verkoston tihentämiseksi alkaa olla olemassa. Sekä polttokennoja että vedyn jakelussa tarvittavia laitteita kehitetään myös Suomessa.

Fossiilista energiaakaan ei ehkä kannatta jättää kokonaan laskuista, jos hiilidioksidin talteenottoon ja hyödyntämiseen liittyvät hankkeet, kuten edellä mainittu Joule Unlimitedin projekti, osoittautuvat menestykselliseksi. Vastaavan tyyppinen hanke on saksalaisen Bayerin pyrkimys ryhtyä valmistamaan hiilidioksidista polyuretaanin raaka-ainetta<sup>4</sup>. Laboratoriossa menetelmä on todettu toimivaksi, parhaillaan on meneillään sen skaalaaminen ylöspäin teolliseen mittakaavaan.

---

<sup>2</sup> [https://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/en\\_index.php](https://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/en_index.php)

<sup>3</sup> <http://dabiri.caltech.edu/research/wind-energy.html>

<sup>4</sup> <https://www.materialscience.bayer.com/Media/Special/Features/CO2-Projects.aspx>

## Tilastolähteet

Angus Maddison Historical Statistics. <http://www.ggdc.net/maddison/oriindex.htm>

Eurostat, Annual detailed enterprise statistics for industry (NACE Rev. 2, B-E).  
[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search\\_database](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database)

Eurostat, EU Trade Since 1988 By CPA\_2008. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/newxtweb/>

OECD, STAN Bilateral trade database by industry and end-use category.  
[http://stats.oecd.org/BrandedView.aspx?oecd\\_bv\\_id=stan-data-en&doi=data-00599-en](http://stats.oecd.org/BrandedView.aspx?oecd_bv_id=stan-data-en&doi=data-00599-en)

OECD-WTO: Statistics on Trade in Value Added.  
[http://stats.oecd.org/BrandedView.aspx?oecd\\_bv\\_id=data-00648-en&doi=data-00648-en](http://stats.oecd.org/BrandedView.aspx?oecd_bv_id=data-00648-en&doi=data-00648-en)

World Input-Output Database. [http://www.wiod.org/new\\_site/database/wiots.htm](http://www.wiod.org/new_site/database/wiots.htm)

## Lähteet

Aiyar, Shekhar – Duval, Romain – Puy, Damien – Wu, Yiqun – Zhang, Longmei (2013). Growth Slowdowns and the Middle-Income Trap, IMF Working Paper, WP/13/71.

Ali-Yrkkö, Jyrki (2013). Mysteeri avautuu. Suomi globaaleissa arvoverkostoissa, ETLA B257, Helsinki, Taloustieto Oy.

Boston Consulting Group (2013). Majority of Large Manufacturers Are Now Planning or Considering "Reshoring" from China to the U.S., Press Release, September 24.

Bourne, David (2013). My Boss the Robot, Scientific American, Volume 308, Number 5, May 2013.

Dustmann, Christian – Fitzenberger, Berndt – Schönberg, Uta – Spitz-Oener, Alexandra (2014). From Sick Man of Europe to Economic Superstar: Germany's Resurgent Economy, Journal of Economic Perspectives 28(1), pp. 167–188. Also available as CReAM Discussion Paper No. 06/14.

Döhrn, Roland – Krättschell, Karoline (2013). Long Term Trends in Steel Consumption, Ruhr Economic Papers 415, Ruhr-Universität Bochum (RUB), Department of Economics/Technische Universität Dortmund, Department of Economic and Social Sciences/Universität Duisburg-Essen, Department of Economics/Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI).  
<http://dx.doi.org/10.4419/86788470>

EEF (2014). Backing Britain, A Manufacturing Base for the Future,  
<http://www.eef.org.uk/publications/reports/Backing-Britain-a-manufacturing-base-for-the-future.htm>

Evans, Peter C. – Annunziata, Marco (2012). Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines, General Electric, November 26. [http://www.ge.com/docs/chapters/Industrial\\_Internet.pdf](http://www.ge.com/docs/chapters/Industrial_Internet.pdf)

Hancke, Bob – Coulter, Steve (2013). The German manufacturing sector unpacked: institutions, policies and future trajectories, Future of Manufacturing Project: Evidence Paper 13, Foresight, Government Office for Science, October 2013.

IEA (2013). World Energy Outlook, International Energy Agency, OECD/IEA, 2013.

IMF (2014). World Economic Outlook, International Monetary Fund, April 2014.

Kinkel, Steffen – Som, Oliver (2007). Strukturen und Treiber des Innovationserfolgs im deutschen Maschinenbau. Verbreitung und Effekte von innovationsunterstützenden Technik-, Organisations- und Kooperationskonzepten, Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung Nr. 41, Fraunhofer ISI.

Management Design Intelligence (2011). Suuri kuva kone- ja metallituoteteollisuuden alihankinta-sektorista, selvitystyön loppuraportti.

Manyika, James – Sinclair, Jeff – Dobbs, Richard – Strube, Gernot – Rasse, Louis – Mischke, Jan – Remes, Jaana – Roxburgh, Charles – George, Katy – O'Halloran, David – Ramaswamy, Sreenivas (2012). Manufacturing the future: The next era of global growth and innovation, McKinsey Global Institute/McKinsey Operations Practise, November, 2012.

Nguyen, Hanh – Stuchtey, Martin – Zils, Markus (2014). Remaking the industrial economy, McKinsey Quarterly, McKinsey & Company, February, 2014.

OECD (2013). OECD Economic Surveys: China. <http://dx.doi.org/10.1787/888932787239>

Powley, Tanya (2013). 3D printing reshapes factory floor, Financial Times, December 26, 2013.

Som, Oliver – Kinkel, Steffen – Jäger, Angela (2011). Innovationsstrategien jenseits von Forschung und Entwicklung, Modernisierung der Produktion, Ausgabe 55, Fraunhofer ISI, Mai 2011.

United Nations (2012). World Urbanization Prospects, the 2011 Revision, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.  
[http://esa.un.org/unup/CD-ROM/WUP2011-F12-Cities\\_Over\\_750K.xls](http://esa.un.org/unup/CD-ROM/WUP2011-F12-Cities_Over_750K.xls)

United Nations (2013). 2012 International Trade Statistics Yearbook, Volume II – Trade by Commodity, United Nations Statistics Division/Department of Economic and Social Affairs.  
<http://comtrade.un.org/pb/CommodityPagesNew.aspx?y=2012>

Väättäinen, Otso (2013). Industrie 4.0 – Mistä on kysymys?, esitys 25.10.2013.

The World Bank (2011). Multipolarity: The New Global Economy, Global Development Horizons.  
<http://www.worldbank.org/gdh2011>

The World Bank (2014a). Connecting to Compete, Trade Logistics in the Global Economy, The Logistics Performance Index and its Indicators, The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank.

The World Bank (2014b). Purchasing Power Parities and Real Expenditures of World Economies, Summary of Results and Findings of the 2011 International Comparison Program, International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank.  
<http://siteresources.worldbank.org/ICPINT/Resources/270056-1183395201801/Summary-of-Results-and-Findings-of-the-2011-International-Comparison-Program.pdf>

Zanker, Christoph – Kinkel, Steffen – Maloča, Spomenka (2013). Globale Produktion von einer starken Heimatbasis aus, Modernisierung der Produktion, Ausgabe 63, Fraunhofer ISI, März 2013.



Aikaisemmin ilmestynyt ETLA Raportit-sarjassa (ennen ETLA Keskusteluaiheita)  
*Previously published in the ETLA Reports series (formerly ETLA Discussion Papers)*

- No 12 *Antti Kauhanen – Martti Kulvik – Sirpa Maijanen – Olli Martikainen – Paula Ranta – Silja Kulvik, Selviytymistä vai suorituskykyä? Terveydenhuolto organisoinnin, tiedonhallinnan ja henkilökunnan kannalta. 23.5.2013. 150 s.*
- No 13 *Tarmo Valkonen – Jukka Lassila, Työeläkejärjestelmän sopeuttaminen pysyvään kasvun hidastumiseen. 17.6.2013. 37 s.*
- No 14 *Esa Viitamo, Servitization as a Productive Strategy of a Firm. Evidence from the Forest-Based Industries. 7.8.2013. 30 p.*
- No 15 *Olavi Rantala, Kilpailukyvyn mittaamisen teoriaa ja käytäntöä. 14.8.2013. 29 s.*
- No 16 *Jyrki Ali-Yrkkö – Petri Rouvinen, Implications of Value Creation and Capture in Global Value Chains. Lessons from 39 Grassroots Cases. 19.8.2013. 20 p.*
- No 17 *Martti Kulvik – Marja Tähtinen – Pekka Ylä-Anttila, Business and Intellectual Capital Development in Financial Riptide. Case Studies of Finnish Biotechnology and Pharmaceutical Companies Dispersing into Global Value Chains. 15.10.2013. 82 p.*
- No 18 *Olavi Rantala, Postitoiminnan kehitys vuoteen 2020. 18.11.2013. 22 s.*
- No 19 *Heli Koski, Yleispalveluvelvoitteen merkitys postin kannattavuudelle. 18.11.2013. 15 s.*
- No 20 *Tuomo Virkola, Exchange Rate Regime, Fiscal Foresight and the Effectiveness of Fiscal Policy in a Small Open Economy. 3.3.2014. 62 p.*
- No 21 *Ville Kaitila – Tuomo Virkola, Openness, Specialisation and Vulnerability of the Nordic Countries. 27.3.2014. 25 p.*
- No 22 *Mika Maliranta – Niku Määttä, Innovation, Firm Risk and Industry Productivity. 1.4.2014. 14 p.*
- No 23 *Olavi Rantala, Saksan ja muun euroalueen kilpailukyvyn ero eurokriisin taustalla. 1.4.2014. 23 s.*
- No 25 *Cinzia Alcidi – Daniel Gros, Implications of EU Governance Reforms: Rationale and Practical Application. 6.5.2014. 26 p.*
- No 26 *Antti Suvanto – Kimmo Virolainen, Mihin pankkiunionia tarvitaan? 7.5.2014. 21 s.*
- No 27 *Topias Leino – Jyrki Ali-Yrkkö, How Does Foreign Direct Investment Measure Real Investment by Foreign-owned Companies? Firm-level Analysis. 15.5.2014. 25 p.*

Sarjan julkaisut ovat raportteja tutkimustuloksista ja väliraportteja tekeillä olevista tutkimuksista.

Julkaisut ovat ladattavissa pdf-muodossa osoitteessa: [www.etla.fi](http://www.etla.fi) » julkaisut » raportit

*Papers in this series are reports on research results and on studies in progress.*

*Publications in pdf can be downloaded at [www.etla.fi](http://www.etla.fi) » publications » reports*

**ETLA**

Elinkeinoelämän tutkimuslaitos  
The Research Institute of the Finnish Economy  
Lönnrotinkatu 4 B  
00120 Helsinki

Puh. 09-609 900  
Fax 09-601 753  
[www.etla.fi](http://www.etla.fi)  
[etunimi.sukunimi@etla.fi](mailto:etunimi.sukunimi@etla.fi)

ISSN-L 2323-2447, ISSN 2323-2447, ISSN 2323-2455 (Pdf)