

Jukka Hoffrén

Öljyn aikakausi pian ohi

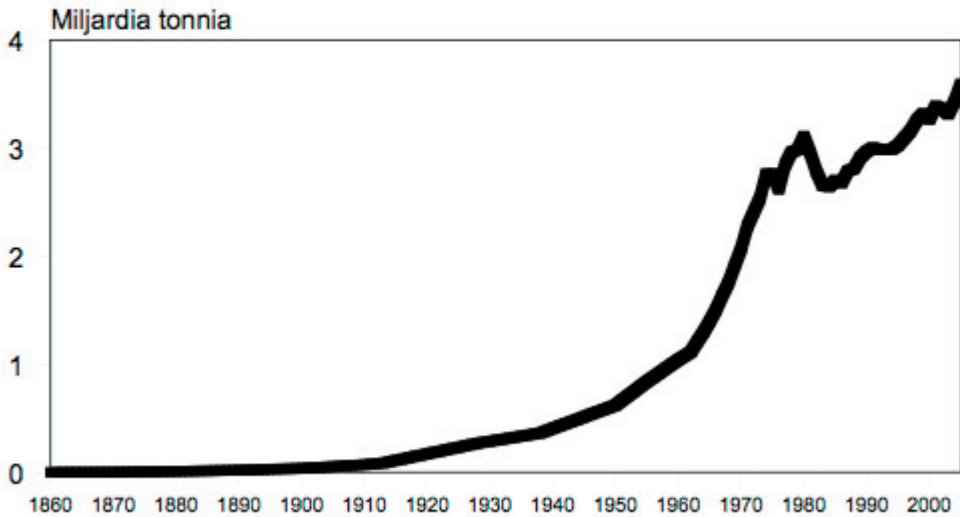
Öljyn ennätyskorkealle kivunnut hinta, öljyntuotannon tuotanto- ja jalostusvaikeudet sekä Kiinan ja Intian ennätysmäisesti kasvava öljynjano ovat nostaneet maailman öljyvarojen riittävyys- ja energiategon keskeisyyden sekä energiategon parantamisen ja biopolttoaineiden kehittämisen tärkeyden jälleen keskustelun aiheeksi. Useiden asiantuntija-arvioiden mukaan öljyn tuotantohuippu ollaan saavutettu ja edessä on ensin tasaantuvan tarjonnan aika sekä seuraavassa vaiheessa öljyntuotannon kääntyminen laskuun. Vaikka öljy ei olekaan vielä aivan heti kokonaan loppumassa, johtaa jyrkästi kasvava kysyntä ja tarjonnan lisäämisen mahdollisuus lähivuosina öljyn ja öljytuotteiden tarjonnan supistumiseen ja hintojen huomattavaan nousuun. Öljyhuipun saavuttaminen ja tuotannon kääntyminen laskuun uhkaa iskeä etenkin öljyn runsaaseen kulutukseen perustuviin länsimaisiin yhteiskuntiin. Kuinka yhteiskunnat sitten voivat sopeutua muutokseen ja välttää uhkaavat ongelmat? Yhteistä kaikille öljyn korvaajiksi ehdotetuille vaihtoehdoille energialähteille ovat niiden käyttöön liittyvät useat ratkaisemattomat ongelmat. Johtopäätös onkin, ettei öljylle ole tällä hetkellä olemassa yhtä selkeää korvaajaa. Periaatteessa tuleva siirtymä pois öljystä on sitä helpompaa, mitä energiategon kääntymisen yhteydessä yhteiskunnat ovat, joten aluksi huomio pitäisikin kiinnittää energiategon jatkuvan parantamiseen. Koska kuitenkin olemme useimpien arvioiden mukaan lähellä öljyntuotannon huippua ja tuotannon kääntymistä laskuun, olisi öljyn korvaavien uusiutuvien energialähteiden ja -teknikoiden kehittämiseen aika ryhtyä panostamaan voimallisesti viimeistään nyt, jotta siirtymä uusiutuviin tapahtuisi mahdollisimman sujuvasti.

Teollisen vallankumouksen jälkeisestä talouskasvusta suuri ansio kuuluu öljylle ja muille fossiilisille polttoaineille kivihiilelle ja maakaasulle (ks. Roberts 2006, 44-52). Öljy on muihin energialähteisiin verrattuna korkealuokkaista energiaa käyttökelpoisessa ja helposti varastoitavassa muodossa. Energialähteenä öljy on mahdollistanut ihmistyön korvaamisen koneilla, yksilöllisen ja vapaan liikkumisen autoilun ja lentomatkatamisen muodossa sekä mullistanut maatalouden ja tehdasteollisuuden. Paitsi energialähteenä öljyä käytetään lääkkeiden, maalien ja muovin raaka-aineena, kulkuväylien päällysteissä ja tuhansissa teollisuuden tuottamissa petrokemian tuotteissa kuten muoveissa. Myös maatalouden nykyinen suurituotanto on 1940-luvun lopulta lähtien perustunut lannoitteiden, torjunta-aineiden ja maatalouskoneiden käytön lisääntymiseen, joiden kaikkien valmistus tai käyttö perustuu öljyyn. Elintarviketuotannon lisääntyminen on puolestaan mahdollistanut osaltaan maailman nopean väestönkasvun, mikä on puolestaan johtanut maailmantalouden laajenemisen.

Edessä oleva öljyntuotannon hiipuminen uhkaakin iskeä länsimaisen elämänmuodon ja kulttuurin perustei-

siin, jotka ovat hyvin riippuvaisia öljystä. On esitetty, että pahimmillaan öljyn saatavuuden heikkeneminen saattaa johtaa maatalouden tuotannon romahkamiseen, elintarvikkeiden tarjonnan supistumiseen ja jopa nälänhätään. Yhdysvaltojen energiaministeriölle helmikuussa 2005 laadittu raportti ”Peaking of world oil production: impacts, mitigation, & risk management” (Hirsh ym. 2005, 64-67) katsoo, että kyseessä tulee olemaan ”ennennäkematön riskienhallintaongelma”, jonka kaltaista modernit teolliset yhteiskunnat eivät ole aikaisemmin kohdanneet.

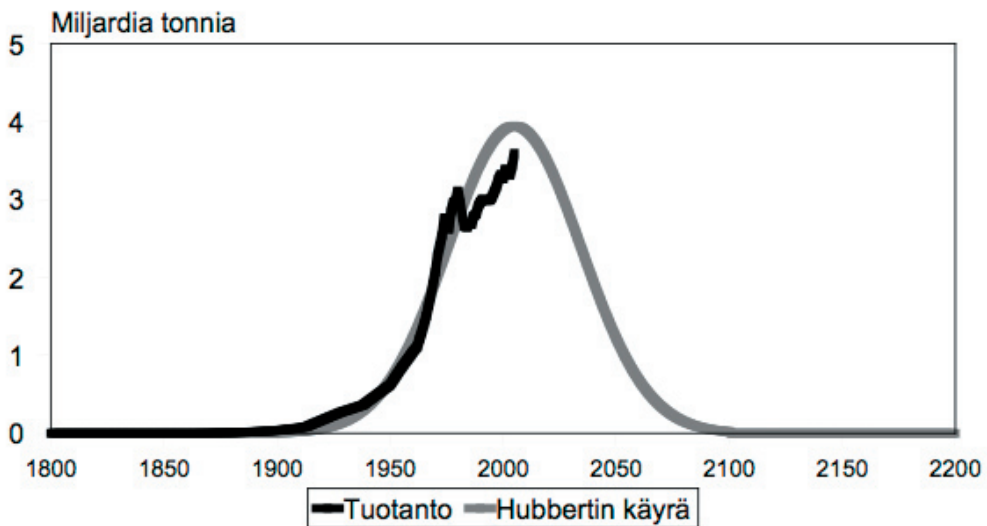
Maailma on lähes huomaamatta tullut riippuvaiseksi öljystä viimeisten 145 vuoden kuluessa. Suurin osa kysynnästä on lisäksi ilmaantunut vasta toisen maailmansodan jälkeen eli viimeisten 60 vuoden aikana. Ihmiskunnan historiassa ei yksikään muu polttoaine ole muuttanut elämäntapoja niin nopeasti kuin öljy. Muutos onkin ollut nopea ja raju. Vastaavasti öljyn tuotantohuipun saavuttaminen ja tuotannon kääntyminen laskuun tulee muuttamaan yhteiskuntia lähes yhtä rajusti ja peruuttamattomasti. Maailman öljyn kulutuksen valtava ja nopea kasvu vuosina 1860-2005 käy ilmi kuvasta 1.



Kuva 1. Maailman öljyn kulutus 1860-2005 (BP 2006; Etemad 1991)

Maailman öljyn kulutus kasvoi rajusti aina ensimmäiseen öljykriisiin vuoteen 1973 asti ja vasta toisen öljykriisin myötä 1980-luvun alussa öljyn kulutus kääntyi muutamaksi vuodeksi laskuun, kun korvaavia energialähteitä otettiin käyttöön ja energiaa ryhdyttiin säästämään. Jo 1990-luvulla maailman talouskasvu

ja väestönkasvu nostivat öljyn kulutuksen jälleen uusiin ennätyslukemiin. Kasvusuuntaus on jatkunut myös 2000-luvulla aivan viime vuosiin asti hälyttävistä, öljyn riittävyyttä koskevista varoituksista huolimatta. Onko edessä kolmas öljykriisi vai onko se mahdollista jotenkin vielä välttää?



Kuva 2. Maailman öljyn kulutus ja Hubbertin käyrä vuosina 1800-2200 (U.S. Energy Information Administration 2006a; Worldwatch Institute 1998).

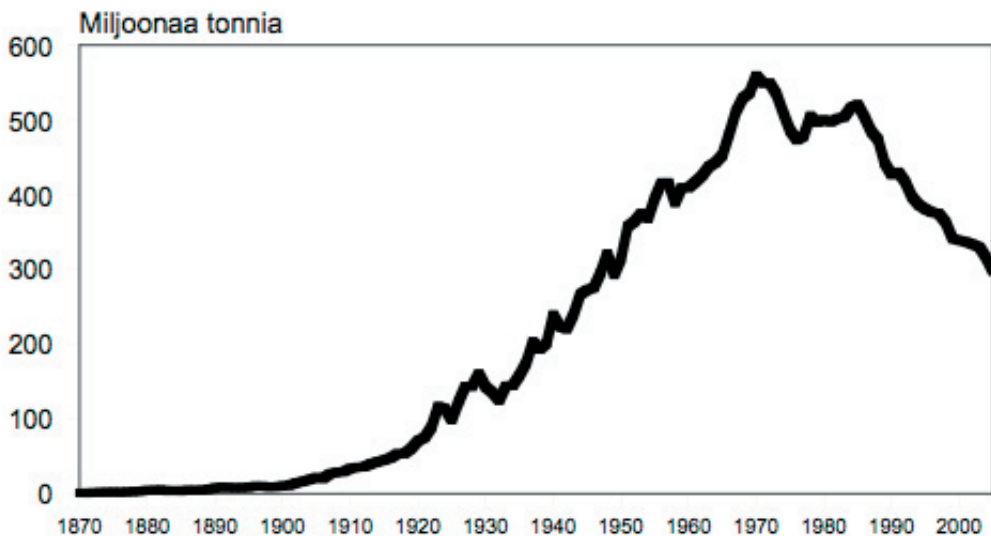
Lähivuosina edessä öljyn tuotantohuippu

Öljyhuipputeorian eli Hubbertin teorian mukaan öljyntuotantohuippu, öljypiikki (engl. peak oil), saavutetaan kun 50 prosenttia öljyvarannoista on hyödynnetty. Shellin tutkija M. King Hubbertin (1956) empiirisiin havaintoihin perustuvien ajatusten mukaan käytännössä öljykentän sisältämästä öljystä ensimmäiset 50 prosenttia on melko helppoa ja halpaa tuottaa, kun öljy nousee maanpinnalle omalla paineellaan. Viimeisten 50 prosentin pinnalle nostaminen vaikeutuu nopeasti, kun öljy pitää teknisin apuvälineiden avulla nostaa maapinnalle. Samalla tuotantomäärät ensin vakiintuvat ja kääntyvät sitten laskuun, kun alkuperäistä tuotantovauhtia ei pystytä enää pitämään yllä. Tuotantohuipun jälkeen myös tuotantokustannukset alkavat nousta jyrkästi. Kaikkea öljyä ei koskaan saada ihmisen käyttöön johtuen maankamaran geologiasta ja öljylähteiden luonteesta sekä kohoavista tuotantokustannuksista. Osa jää pysyvästi piiloon lähteiden öljytaskuihin. Vastaavasti kuin yhdelle öljylähteelle voidaan teoriaa soveltaa myös koko maailman öljytuotannon kuvaamiseen. Siten jyrkän öljyntuo-

tannon lisäyksen jälkeen maailman öljyntuotannonssa saavutetaan huipukohta, jonka jälkeen öljyntuotanto kääntyy nopeaan laskuun. Hubbert (1956) tiivistä havaintonsa öljyntuotannon lainalaisuuksista matemaattiseen malliin, jossa öljyn kokonaistuotanto noudattaa logistista käyrää. Hubbertin käyrä ja maailman toteutunut öljyn kulutus on esitetty kuvassa 2.

Hubbertin öljyntuotantoa kuvaava käyrä noudattaa kirkonkellon ääri- viivoja. Ensin hidas nousu, jyrkkä nousu, tasanne eli huippu, hidas lasku ja lopuksi romahdus. Kun öljyreservi löydetään, tuotanto on aluksi vähäistä. Sitten parempaa kalustoa ja laitteistoja otetaan käyttöön, jotta öljyntuotantoa voitaisiin lisätä. Jossain vaiheessa saavutetaan tuotantohuippu, jota ei pystytä ylittämään edes lisäkalustolla. Huipun jälkeen toinen merkittävä käännekohta tapahtuu, kun öljyn tuottamiseen kuluu enemmän energiaa kuin tuotetusta öljystä saadaan. Tällöin öljykenttä yleensä hylätään taloudellisesti kannattamattomana. Hubbertin teoriaa voidaan soveltaa myös muihin fossiilisiin polttoaineisiin, kuten maakaasuun ja kivihiiileen.

Käytännössä maailman öljyntuotanto noudatti hyvin Hubbertin käyrää



Kuva 3. Yhdysvaltojen kotimainen raakaöljyn tuotanto 1870-2005 (US Energy Information Agency 2006b).

aina 1970-luvun ensimmäiseen öljykriisiin saakka. Öljykriisejä seurannut öljyn tuotannon lasku lienee johtanut tuotantohuipun viivästyneeseen ja tasaantumiseen. Hubbertin käyrää koskevat normaalit matemaattisten mallien rajoitukset ja ennusteen tarkkuus riippuu suuresti annettujen tietojen oikeellisuudesta ja tarkkuudesta. Koska luotettavia arvioita maailman öljyvaroista ei ole käytettävissä, on öljyn tuotantohuippua vaikea ennakoita tarkasti. Varmasti huippuvuosi tiedetään vasta jälkikäteen kun öljyntuotanto alkaa jo vähetä. Hubbert ennusti vuonna 1956 että Yhdysvaltojen öljyntuotanto saavuttaa huippunsa vuonna 1973 ja että Yhdysvaltojen öljyvarat ehtyvät kokonaan ennen vuotta 2100. Ennuste Yhdysvaltojen tuotantohuipusta osui kohdalleen ja nykyisin maan öljyntuotanto on voimakkaassa laskussa. Yhdysvaltojen raakaöljyn tuotannon kehitys vuosina 1870-2005 on esitetty kuvassa 3.

Maailman öljyntuotannon Hubbert ennusti saavuttavan huippunsa vuonna 2000 ja kääntyvän sen jälkeen laskuun. Epävarmuutta laskelmiin toi kuitenkin maailman öljyvarantojen koon arviointi. Geologi Kenneth Deffeyes (2003, 146) ennusti vuonna 2001 Hubbertin mallin ja uudemman tilastotiedon perusteella maailman saavuttavan öljyntuotannon huipun todennäköisesti vuonna 2004. Hänen laskelmissaan suurin epävarmuustekijä oli Saudi Arabian jäljellä olevien öljyvarantojen määrä, joita Saudi Arabia ei halua julkistaa. Mikäli varannot ovatkin laskettua suuremmat, voi tuotantohuippu lykkääntyä aina vuoteen 2009. Lopulta Deffeyes (2003, 146-149) ajoittaa huipun välille 2004-2009 riippuen OPEC-maiden öljyvarantojen suuruudesta ja niiden tuotantokyvystä.

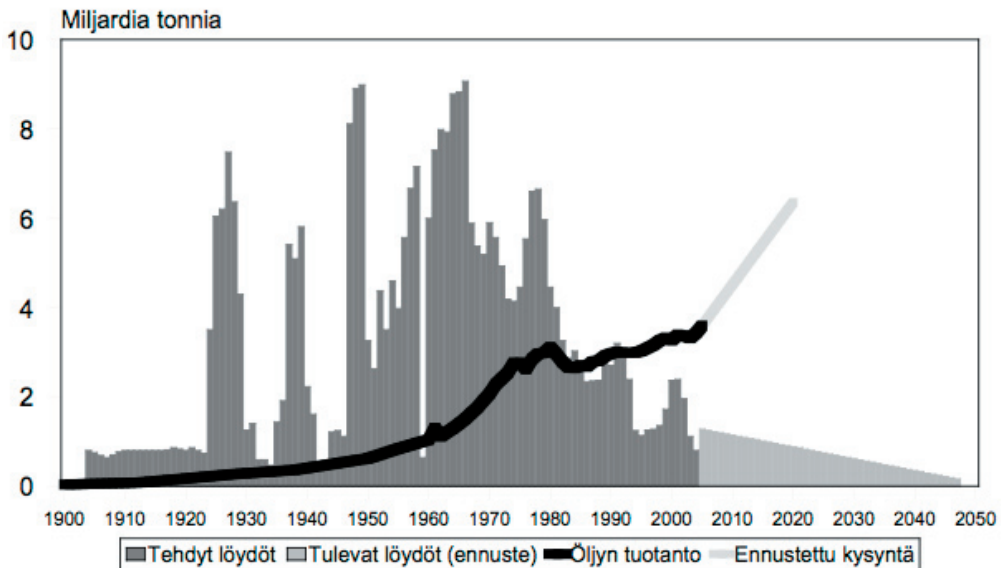
Öllyteollisuuden ja kansainvälisten järjestöjen arviot käännekohdasta ovat optimistisempia. World Energy Council ajoittaa huipun vuoden 2010 jälkeiseen aikaan, Yhdysvaltojen Energy Information Agency vuoteen 2016, British Petroleum vuosille 2015-2020 ja

Shell vuoteen 2025. Ne perustavat optimisminsa paljolti kehittyvän etsintä- ja tuotantoteknologian sekä mahdollisten uusien öljylöytöjen varaan. Kuitenkin monet alan tutkijat ja asiantuntijat ennustavat maailman öljyntuotannon huipun olevan käsillä jo ennen vuotta 2010. Öljyntuotannon huippukohdan saavuttamisen ajankohdasta ei siten ole tarkkaa ja yksimielistä näkemystä. (Hirsch ym. 2005, 8.) Tämä on pitkälti seurausta käytettävissä olevan tilastollisen tietopohjan heikkouksista ja öljyntuottajien optimismista.

Association of the Study of Peak Oil and Gas (ASPO) arvioi että maailman öljyntuotanto kääntyisi laskuun vuonna 2007, mikä johtaisi suureen kriisiin 2010-luvulla. Tämä saa tukeat arvioilta joiden mukaan yhä useammat tuotannossa olevat öljykentät ovat joko alkamassa ehtyä tai ovat jo ehtyneet (Simmons 2006, 13). Suuret, helposti hyödynnettävät öljykentät on todennäköisesti jo löydetty eikä uusia kenttiä ole viime vuosina löydetty samaan tahtiin kuin vanhoja on hyödynnetty. Viimeinen jättiläiskenttä löytyi vuonna 1970 ja vuosi 2003 oli ensimmäinen vuosi, kun suuria öljykenttiä ei löydetty yhtäkään. Lisäksi kysynnän nopean kasvun myötä OPEC-maiden öljyntuotannon aiempi 30 prosentin ylikapasiteetti on supistunut yhteen prosenttiin kysynnästä, eikä OPEC-mailla ole enää juurikaan mahdollisuuksia lisätä öljyntuotantoaan. Jatkossa maailman öljyn kysynnän ja tarjonnan epätasapaino on siten ilmeinen.

Kysyntä ylittää tarjonnan

Yhdysvaltojen Energy Information Administrationin (EIA) ennusteen mukaan maailman öljyntuotanto nousee nykyisestä 84 miljoonasta tynnyristä 118 miljoonaan tynnyriin päivässä vuoteen 2030 mennessä (EIA 2006c, 25). Suuri osa kasvusta aiheutuu Kiinan ja Intian teollistumisesta. Kiina aloitti öljyn tuonnin vuonna 1993 oltuaan sitä ennen omavarainen öljyn suhteen. Vuonna 2004 Kiina ohitti Japanin ja nousi maailman toiseksi suurimmaksi öljyn tuojaksi. Huip-



Kuva 4. Maailman öljylöydöt ja öljyn tuotanto 1904-2005 ja ennustetut trendit (Laherrère 2006, 11; Longwell 2002, 101).

puvuonna 2004 Kiinan öljyn tuonti kasvoi reilut 30 prosenttia, ja kasvun oletetaan yhä jatkuvan tulevina vuosina, kun Kiina pyrkii suunnitelmiensa mukaisesti nousemaan maailman suurimmaksi teollisuusmaaksi. Kiinan öljyn kysynnän ennustetaan jatkossa kasvavan vuosittain 5-7 prosenttia ja Intian vuosittain 4-7 prosenttia. (CBC 2005.) Ongelmana on kasvavan kysynnän tyydyttäminen olemassa olevilla keinoilla. Maailman raakaöljystä 98 prosenttia tulee 45 maasta, joista yli puolessa öljyn tuotanto on jo saavuttanut huippunsa. 11 OPEC-maasta tuotannon huippu on saavutettu seitsemässä maassa. Pohjanmeren öljyn tuotanto saavutti huippunsa vuonna 1999 ja on nyt ehtymässä kiihtyvällä vauhdilla. Tuotanto väheni seitsemän

prosenttia vuonna 2000, 8,5 prosenttia vuonna 2001, 11 prosenttia vuonna 2002, 7,5 prosenttia vuonna 2003, 10 prosenttia vuonna 2004 ja 12,8 prosenttia vuonna 2005. Vuonna 2005 Ison-Britannian öljyn tuotanto Pohjanmerellä oli vähentynyt vuoden 1999 tuotantohuipusta 38,6 prosenttia ja Norjan 15,8 prosenttia. Vuonna 2020 Pohjanmeren öljyn tuotannon ennustetaan olevan enää kolmannes vuoden 1999 tuotantohuipusta.

Vanhojen öljykenttien tuotannon laskeminen pitäisi pystyä korvaamaan uusilla öljylöydöillä, jotta nykyinen tuotantotasoa voitaisiin säilyttää. Nykyisin 80 prosenttia maailman öljyn tuotannosta tapahtuu ennen vuotta 1970 löydetyillä kentillä, jotka ovat alkaneet näyttää ehtymisen merkkejä.

Taulukko 1. Eri arviota maailman tunnetuista öljyvaroista vuonna 2005 (Miljardia tonnia öljyä) (BP 2006; EIA 2005, 304).

	BP	Oil and Gas Journal	World Oil
Lähi-itä	101	99	96
Eurooppa ja Euraasia	19	13	15
Pohjois-, Keski- ja Etelä-Amerikka	22	43 *)	16
Afrikka	16	14	15
Aasia ja Tyynen valtameren alueet	5	5	5
Yhteensä	163	174	147

*) Sisältää epäkonventionaaliset lähteet (palava kivi, öljyhiekka jne.)

Ongelmaksi onkin nousemassa uusien öljylöytöjen vähäisyyden ja kasvavan tuotannon välinen kiulu, jonka toteutunut kehitys vuosina 1904-2005 ja Laherrén sekä Longwellin Business as usual (BAU) -ennusteet on esitetty kuvassa 4.

Maailman öljylöytöjen määrällinen huippu oli 1960-luvun puolivälissä. Jo löydetty öljyvarannot eivät loputtomiin riitä nykyisen öljyn tuotantovauhdin jatkamiseen ja ennustetun kysynnän kasvun tyydyttämiseen. Arviot maailman tunnetuista öljyvaroista vaihtelevat riippuen siitä kuka tiedot kerää. Taulukossa 1 on esitetty British Petroleumin, Oil and Gas Journalin sekä World Oil -lehden arviot maailman tunnetuista öljyvarannoista alueittain.

Taulukon 1 arvioiden vaihtelu johdettu kunkin organisaation käyttämistä menetelmistä arvioida näkymättömissä olevaa varantoa, subjektiivisista näkemyksistä ja optimistisista pyrkimyksistä edistää omia tarkoituksiperiään. OPEC -maiden tunnettujen öljyvarantojen määrä perustuu maiden omiin ilmoituksiin ja niitä värittävät maiden omat poliittiset pyrkimykset varantojen suuruutta arvioitaessa. Suuret varannot lisäävät maan painoarvoa ja varantojen uudelleenarvioinnit, joissa nykyiset öljyvarannot kasvavat teoreettisiin laskelmiin perustuen, ovat yleistyneet (ks. Energy Security (2004).

Ylivoimaisesti suurin osa öljyvaroista sijaitsee Lähi-idässä ja viidessä Persianlahden rannikkovaltiossa Saudi-Arabiassa, Irakissa, Iranissa, Kuwaitissa ja Yhdistyneissä arabimiraateissa. Esimerkiksi yhdysvaltalainen tutkija Colin Campbell on arvioinut geologisiin faktoihin perustuen, että näiden Lähi-idän maiden yhteenlaskettujen öljyvarantojen suuruus olisi runsaan 700 miljoonan tynnyrin sijasta vain vajaat 390 miljoonaa tynnyriä (Bakhtiari 2006). Maailman ylivoimaisesti suurin öljytuottaja on Saudi-Arabia, jolla on 22 prosenttia maailman tunnetuista öljyvaroista.

Lisäykset öljyvarannoissa ovat myös viime vuosikymmeninä yhä enemmän

perustuneet varantojen koon uudelleenarviointeihin uusien löytöjen sijasta. Esimerkiksi Saudi-Arabia nosti vuonna 1990 arviota öljyvarannostaan 170 miljoonasta tynnyristä 258 miljoonaan tynnyriin pelkästään laskentakaavoja muuttamalla. Lisäksi maa on päättänyt kertoa jäljellä olevien öljyvarantojen sijasta vain alkupe- räisten öljyvarantojen suuruudesta. Tämä vaikeuttaa osaltaan tuotantohuipun tarkan ajankohdan määrittelyä. OPEC-maat luottavat myös uuden teknologian mahdollistavan vanhojen öljykenttien paremman hyödyntämiseen ja uusien löytöjen tekemisen tulevaisuudessa. Näyttää kuitenkin siltä, että suurimmat öljykentät on jo löydetty ja jäljellä on enää pienempiä kenttiä, joiden tuotanto ei pysty korvaamaan poistuvaa tuotantoa. Esimerkiksi uusien Länsi-Afrikan ja Kaspian meren öljykenttien tuotanto on liian pientä, jotta niillä olisi merkitystä maailman öljyn kokonaistuotantoon. Lupaavimpana öljynetsintä-alueena pidetään Irakia. Sen todennettu öljyvaranto on 110 miljardia tynnyriä, mutta potentiaaliset kokonaisvarat saattavat optimistien mukaan olla jopa 200 miljoonaa tynnyriä suuremmat. (USgovinfo 2003.)

Signaaleja öljyhuipusta

Parhaiten tunnettu esimerkki jo ta- pahtuneesta öljyn tuotantohuipusta on Omanin öljytuotanto, joka saavutti huippunsa, 960 tuhatta tynnyriä päivässä, vuonna 2001, ja kääntyi sitten yllättäen laskuun huolimatta uusim- masta teknologiasta. Nyt Oman tuottaa enää 785 tuhatta tynnyriä päivässä. Myös Kuwait ilmoitti marraskuussa 2005 maailman toiseksi suurimman öljykentän, Burganin ohittaneen tuotantohuippunsa. Kahden miljoonan tynnyrin päivätuotannon sijasta sen tuotanto on laskenut 1,7 miljoonaan tynnyriin. Burganissa on puolet Kuwaitin tunnetuista öljyvaroista ja se on tuottanut öljyä 60 vuoden ajan. (Energy Bulletin 2005.)

Maailman suurin öljytuottajamaa Saudi-Arabia kertoi kesäkuussa 2006,

että sen vanhojen öljykenttien tuotanto laskee noin kahdeksan prosentin vuosivauhtia. Laskua yritetään kääntää takaisin nousuun tehostamalla tuotantoa eli käytännössä mm. poraamalla uusia reikiä vanhoihin kenttiin. Näin tuotantoa pystytään kuitenkin lisäämään vain väliaikaisesti. 90 prosenttia Saudi-Arabian öljystä tulee viideltä suurimmalta öljykentältä. Näistä kaksi, Abqaiq ja Berri, kokivat tuotantohuipun jo 1970-luvulla. Saudi-Arabian ja koko maailman suurin öljykenttä Gharwar saavutti todennäköisesti tuotantohuippunsa vuonna 2005, koska tänä vuonna sen tuotanto on kääntynyt laskuun. Gharwarin osuus Saudi-Arabian öljyvarannoista on 12 prosenttia, öljyntuotannosta 55-60 prosenttia ja koko maailman öljytuotannosta 6,25 prosenttia. Tällä hetkellä Gharwarin tuotantoa pidetään ennallaan pumpaamalla öljylähteeseen vettä, joka pitää paineen korkeana. Veden lopulta saavuttaessa porausaukon korkeuden öljylähde kuitenkin ehtyy. (Aljazeera 2006.)

Kysynnän kasvaessa öljyntuottajat ovat tehneet parhaansa lisätäksään tuotantoaan kysyntää vastaavaksi. Ongelmana on, että mikäli öljyntuotantoa lisätään liian nopeasti, saattaa se vahingoittaa öljykentän geologista rakennetta, jolloin huomattava osa öljyvarannosta saattaa jäädä hyödyntämättä. Kun öljyn hinta nousi 1980-luvun alussa toisen öljykriisin myötä, yleisesti arveltiin tuotannon laskuun syynä olevan tuottajien halu nostaa hintoja. Todellinen syy oli kuitenkin rajata silloisesta ylituotantovauhdista öljyvarannoille syntyvät vahingot supistamalla tuotanto kestäväälle tasolle, jotta pysyviä vaurioita ei syntyisi enempää. Ensimmäisen Irakin sodan myötä tuottajien oli pakko lisätä tuotantoaan, mikä johti jälleen ylituotannosta johtuviin vaurioihin öljykentille. Ylituotannon aiheuttamat vauriot näkyvät myöhemmin hyödynnettävissä olevien öljyvarantojen pienenemisenä ja tuotantomahdollisuuksien supistumisena. Esimerkiksi vuonna 2004 El Paso öljy-yhtiö kertoi menettäneensä

41 prosenttia kaikista öljyvarannoistaan liian nopean tuotannon takia (New York Times, 2004). Samaan aikaan Shell kertoi öljyvarantojensa vähentyneen 21 prosentilla, kun Yhdysvaltojen arvopaperimarkkinoita valvova Securities and Exchange Commission (SEC) kielsi sitä enää sisällyttämästä varantolaskelmiinsa ”todennäköisiä” öljyvarantoja. Säilyttääkseen öljyn ansiosta hankkimansa valta-asemansa Saudi-Arabia on ilmoittanut lisäävänsä öljyntuotantaan 10,5 miljoonasta 12,5 miljoonaan tynnyriin päivässä vuoteen 2009 mennessä. Tavoite saattaa kuitenkin olla mahdoton saavuttaa. (EIA 2005.)

Öljyn korvaajaksi ei tunkua

Raakaöljyn hinta on luonteeltaan hyvin epävakaa, ja sille ovat tyypillisiä voimakkaat heilahtelut. Vuoden 2006 aikana saavutettiin useita hintapiikkejä. Hintojen heilahteluista huolimatta katsovat myös alan toimijat hinnan nousseen pysyvästi aiempaa korkeammalle tasolle. Huhtikuussa 2006 öljyn hinta nousi kaikkien aikojen ennätykseen - yli 75:n dollariin tynnyriltä. Heinäkuun alussa 2006 hinta nousi yli 76 dollariin tynnyriltä ja elokuussa hinta oli lähes 78 dollaria tynnyriltä. Reaalinen hinta ylitti siten 1980-luvun alun toisen öljykriisin aikaiset lueumat ja nosti esiin kysymyksen halvan öljyn loppumisesta. Öljyn kysyntää ovat kasvattaneet etenkin Kiinan ja Intian nopea talouskasvu. Vuonna 2004 maailman öljyn kulutus kasvoi 3,6 prosenttia ja vuonna 2005 1,3 prosenttia. Kiinan osuus kulutuksen kasvusta oli vuonna 2004 34 prosenttia ja vuonna 2005 20 prosenttia. Maailman öljyn kokonaiskulutus oli vajaat 4,8 miljardia tonnia vuonna 2005. Maailman öljyntuotannon lisäyksestä 90 prosenttia oli peräisin kolmesta OPEC-maasta, Saudi-Arabiasta, Kuwaitista ja Qatarista. (BP 2006.)

EIA:n ennustemallin mukaan vuosien 2002-2030 aikana maailman primaarienergian kysyntä kasvaisi 60 prosentilla (Kobayashi 2005, 2). Perusennusteessa kysyntä tyydytetään

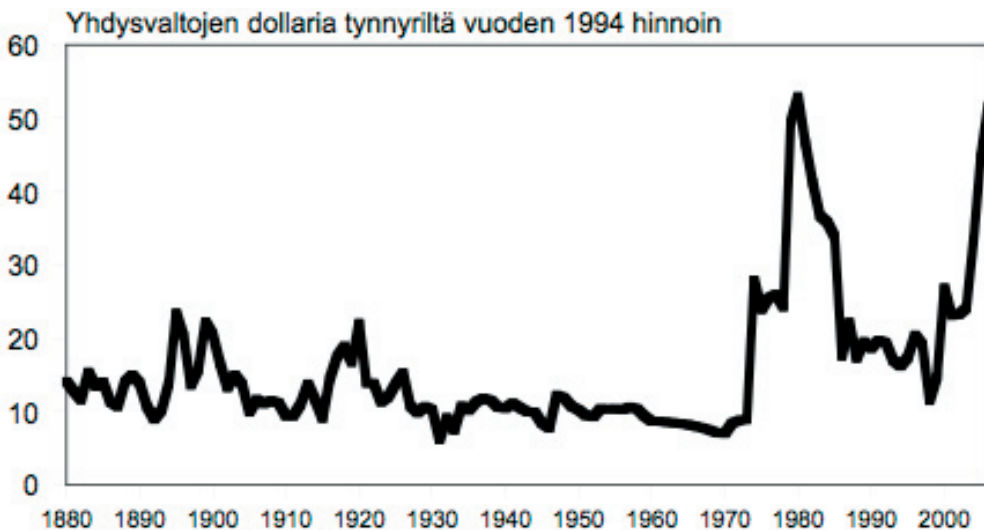
lähes 90-prosenttisesti fossiilisilla polttoaineilla, joten öljyn kysyntä uhkaa nousta lähes 48 prosentilla. Kuitenkin jo nyt maailma kuluttaa yli kolme kertaa enemmän öljyä kuin uusia löytöjä tehdään, maailman 48 suurimmasta öljyntuottajamaasta 33:ssa tuotanto on jo kääntynyt laskuun ja arvioiden mukaan öljyntuotannon huippu alkaisi olla jo käsillä. EIA laskikin vuonna 2005 että OPEC-maiden öljyntuotannon lisäys vuosina 2002-2025 olisi 24 miljoonaa tynnyriä päivässä, mutta jo vuoden 2006 ennusteessa todettiin että OPEC-maat pystyvätkin lisäämään tuotantoaan tuolla ajanjaksolla vain 11,8 miljoonalla tynnyrillä päivässä. EIA:n mukaan tarjonnan kasvun pienentyminen nostaisikin öljyn hintaa niin paljon, että öljynetsintä tulisi tehostumaan ja käyttöön saataisiin nyt varoja, joiden hyödyntäminen on tällä hetkellä taloudellisesti kannattamatonta sekä aivan uusia varantoja. (EIA 2006c, 25-26.) Mikäli öljyn hinta nousee yli 100 dollariin tynnyriltä, olisi maailmantaloudella edessään samantapainen öljykriisi kuin 1970- ja 1980-luvuilla. Raakaöljyn maailmanmarkkinahinnan kehitys on esitetty kuvassa 5.

Niukkojen uusiutuvien ja uusiutumattomien luonnonvarojen järkevän

hyödyntämisen edistämiseksi ryhdyttiin muotoilemaan erilaisia luonnonvarojen käyttösääntöjä jo Yhdysvaltojen luonnonsuojeluliikkeen kukoistusajana 1880-1920 -luvulla. Taloustieteellisinä aksioomina tunnetuimpia näistä ovat mm. Hotelling-Hartwick säännöt, jotka pyrkivät optimoimaan luonnonvarojen pitkäaikaiset tuotomahdollisuudet sekä kestävää kehitystä tavoittelevat Herman Dalyn (1991) luonnon ja yhteiskunnan välistä materiaalikiertoa koskevat säännöt. Näitä sääntöjä on mahdollista soveltaa myös öljyvarantoihin ja niiden hyödyntämiseen. Yhdysvaltalainen öljyalan tutkijan Ron Swensonin (2006) mukaan tilanteessa, jossa öljyn kysyntä kasvaa, mutta tarjonta vähenee, on neljä erilaista perusvaihtoehtoa:

1. Säästäminen, jolloin nykyistä elämäntapaa yritetään jatkaa energiatehokkaammilla autoilla, koneilla ja laitteilla.
2. Elämäntavan muuttaminen, jolloin liikkumista vähennetään.
3. Substituutio, jolloin muilla energialähteillä korvataan öljyä.
4. Taantuma ja katastrofi, jossa yksinkertaisesti ei tehdä asialle mitään.

Öljyä nykyisin käytössä olevien henkilö- ja kuorma-autojen energialähte-



Kuva 5. Raakaöljyn maailmanmarkkinahinnan kehitys 1880-2006 (BP 2006).

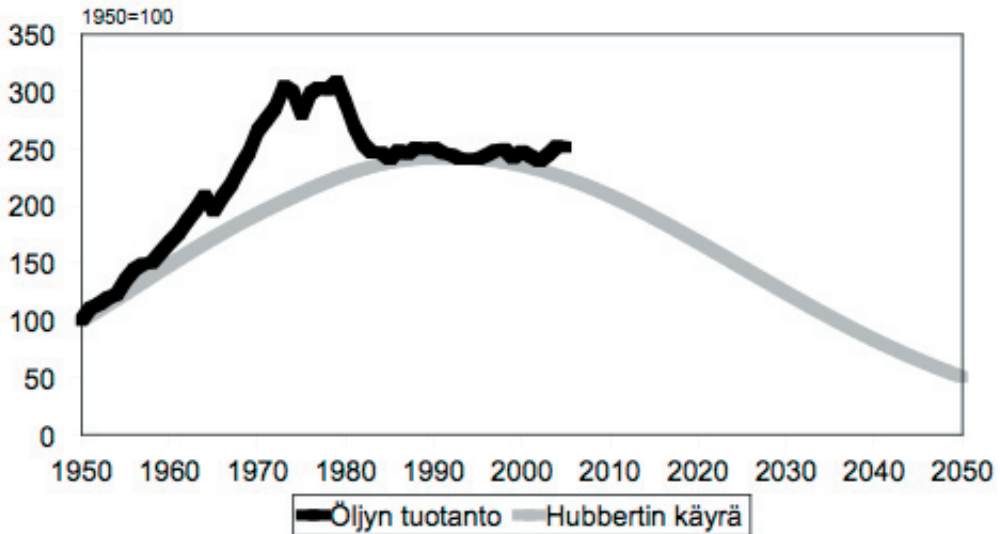
nä on vaikea korvata millään muulla energialähteellä. Muihin energialähteisiin siirtymistä tapahtuneekin lähinnä öljylämmityksessä, jossa kohoavat hinnat ohjaavat kuluttajia muiden energialähteiden hyödyntämiseen. Kohoavista hinnoista huolimatta öljyn kysyntä pysyneekin myös jatkossa korkealla tasolla.

Talouden siirtymisen hyödykkeestä toiseen eli ns. substituution pitäisi talousteorian mukaan tapahtua hintamekanismin avulla. Teorian mukaan jonkin hyödykkeen hinnan noustessa riittävästi kehitetään sille hintasignaalin ansiosta nopeasti uusi korvaava teknologia. Kallis öljy on jo saanut hallitukset ja autonvalmistajat kehittämään autojen polttoainetehokkuutta ja uusiutuvia polttoaineita, kuten etanolia ja biodieseliä, mutta öljyn kohtuullinen hinta on vielä estänyt laajamittaisen siirtymän vaihtoehtojen käyttöön. Öljyn kohdalla ongelmana on kuitenkin se, ettei muuta yhtä helposti tuotettavaa ja mukana kulkevaa energianlähdetä vielä tunneta. Mikäli öljyn hintaa vielä pidetään kaikin keinoin kohtuullisella tasolla, tulee hinnan nousu ja öljyntarjonnan

supistuminen lopulta tapahtumaan äkillisesti ja yllättäen. Tällöin uhkakuva on malthusilainen katastrofi, kun yhteiskunta äkisti törmää luonnon asettamiin rajoihin.

Vaikutukset yhteiskunnille

Hubbertin malli ennustaa, että kun huippu on ohitettu, raakaöljyvarat hupenevat sellaista vauhtia, että 30 vuodessa tuotanto supistuisi neljäsosaan nykyisestä. Samaan aikaan maailman väestön määrä, energian tarve ja kysyntä kasvaisivat jyrkästi. Öljyntuotannon supistuminen muuttaisi yhteiskuntia nopeasti. Vaikka öljyä olisi saatavilla kansainvälisillä markkinoilla, olisi sen tarjonta nykyistä pienempää ja hinta ylittäisi monien maksukyvyyn. Öljyn hinnan nousu vähentäisi nykyistä laajamittaista yksityisautoilua, lentomatkailua, ja nostaisi monien tuotteiden hintoja. Elintarvikkeet kallistuisivat, koska nykyaikainen maatalous perustuu öljyn saatavuuteen, kuten myös maalit, muovit, voiteluöljyt, lääkkeet, kosmetiikka jne., koska nekin perustuvat öljyyn. Etenkin tavarantoiminnan ja ihmisten kuljetuksen kallistuminen vaikuttaisi



Kuva 6. Maailman öljyn tuotanto henkeä kohden vuosina 1950-2005 ja Hubbertin käyrän mukainen ennuste vuosille 1950-2050 (U.S. Energy Information Administration 2006a; Worldwatch Institute 1998; United Nations 2003; BP 2006).

koko maailmantalouteen ja luultavimmin johtaisi globaaliin taantumiaan. Kuvassa 6 on esitetty öljyn tuotanto henkeä kohden vuosina 1950-2005 sekä Hubbertin käyrään perustuva eräs mahdollinen ja todennäköinen trendi vuosille 2006-2050.

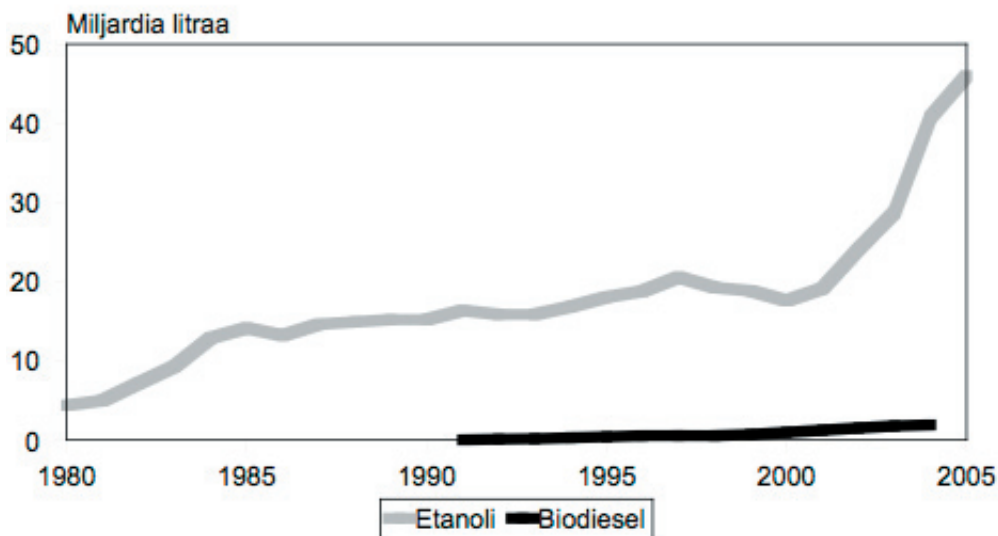
Kuvassa 6 verrataan henkeä kohden laskettua Hubbertin käyrää maailman öljyn tuotantoon henkeä kohden. Sen mukaan henkeä kohden laskettuna siirtymä kohden öljyn ehtymistä on jo alkanut. Henkeä kohden laskettuna maailman öljyntuotanto saavutti huippunsa jo vuosina 1977-79 ja on sen jälkeen laskenut. Hubbertin käyrä ennustaa trendikehityksen todennäköistä suuntaa. Nykyinen teollinen yhteiskuntamuoto on ohittanut huippupisteen, jonka jälkeen nykymuotoisen yhteiskunnan tarpeisiin ei ole käytettävissä öljyä entiseen malliin. Niukemmaksi muuttuvan öljyn säästäminen ja korvaavien energialähteiden käyttöönotto tulevat vaatimaan muutoksia yhteiskuntien rakenteissa.

Kohti öljytöntä yhteiskuntaa

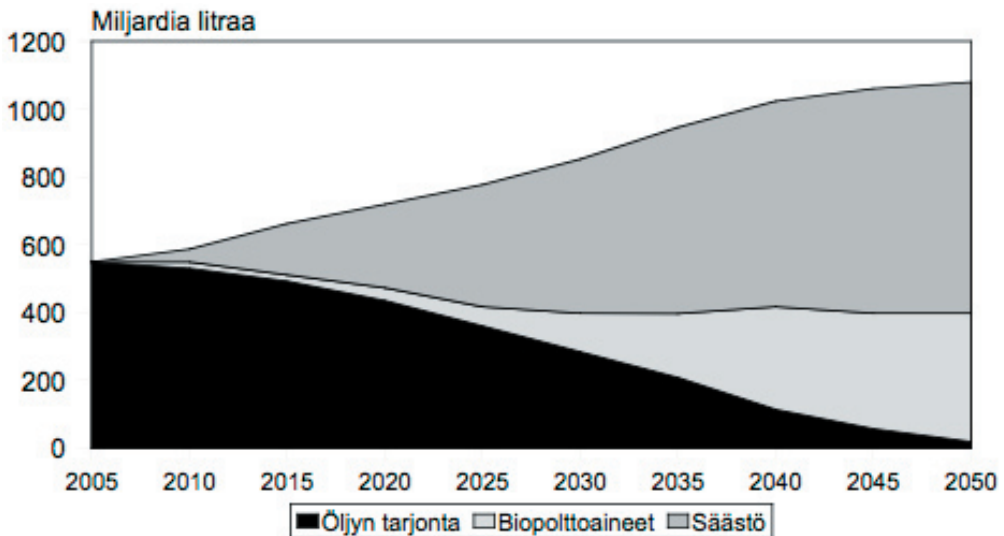
Biopolttoaineet, kuten etanoli ja biodiesel, voivat osaltaan merkittävästi vähentää maailman riippuvuutta öljystä (biokaasun mahdollisuuksista ks. Aino

Palmrothin kirjoitus tässä lehdessä). Vuonna 2005 maailman biopolttoaineiden osuus oli yhden prosentin verran maailman liikennepolttoaineiden kysynnästä. Uusien polttoaineiden ja -tekniikoiden kehittäminen sekä niiden kaupallistaminen tarvitsevat ainakin alkuvaiheessa yhteiskunnan tukea. Ainoa maa, joka on tuonut markkinoille kustannustehokkaan vaihtoehdon öljylle on Brasilia. 1970-luvulta lähtien maa on panostanut etanolikäyttöisten autojen käyttöön subventoimalla polttoaineen hintaa. Syynä tähän on ollut Brasilian epäluottamus maailman öljymarkkinoita kohtaan, ulkomaan valuutan säästäminen ja kotimaisen huoltovarmuuden parantaminen. Maa onkin käytännössä saavuttanut jo öljyriippumattomuuden. (Luhnnow ym. 2006.) Maailman etanolin ja biodieselin tuotanto vuosina 1980-2005 on esitetty kuvassa 7.

Biopolttoaineiden tuotanto on alkuvaikeuksien jälkeen pääsemässä vihdoinkin käyntiin. Ongelmana kuitenkin on, että nykyisellään tuotantomäärät ovat riittämättömiä, jotta siirtymä kohden öljyttömiä yhteiskuntia olisi mahdollista. Yhdysvalloissa kolme prosenttia liikennepolttoaineista on biopohjaisia ja osuus on määrä nostaa



Kuva 7. Biopolttoaineiden tuotanto maailmassa 1980-2005 (IEA 2005).



Kuva 8. Ennakoitu öljyn ja biopolttoaineiden kulutuksen kehitys sekä energiatehokkuuden parantumisen aikaansaamat säästöt Yhdysvalloissa 2005-2050 (Greene ym. 2005, viii).

kaksikertaiseksi vuoteen 2010 mennessä. Etanolin käytön pulma on toistaiseksi ollut tuotantoinfrastruktuurin ja kattavan jakeluverkoston puute. Arvioiden mukaan esimerkiksi Yhdysvallat voisi lopulta korvata noin neljänneksen bensiininkulutuksestaan viljapohjaisella etanolilla. Näin suuriin määriin ei ole mahdollista päästä sekoittamalla etanolia bensiiniin, vaan siirtymä edellyttää uusien etanoli- tai Flex Fuel -autojen laajamittaista käyttöönottoa. Kuluttajat kuitenkin odottavat kattavaa jakelujärjestelmää ennen kuin tekevät ostopäätöksiä. National Resources Defence Council (NRDC) onkin ehdottanut, että Yhdysvaltojen investoisi sata miljoonaa dollaria vuodessa seuraavien kymmenen vuoden aikana etanolin kaupallistamiseksi todelliseksi vaihtoehdoksi. Maassa on tällä hetkellä 88 polttoaine-etanolia valmistavaa laitosta ja 15 on rakenteilla. NDRC:n mukaan Yhdysvaltojen maantieliikenne olisi mahdollista muuttaa biopolttoainepohjaiseksi vuoteen 2050 mennessä, mikäli samaan aikaan hyödynnetään olemassa olevat tekniset säästämahdollisuudet. (Greene ym. 2005.) Tarvittavaa siirtymää on havainnollistettu kuvassa 8.

Teollistuneista maista pisimmällä suunnittelemissa siirtymää kohden öljytöntä yhteiskuntaa on Ruotsi, jonka hallitus asetti vuonna 2005 tavoitteekseen tehdä Ruotsin ensimmäisenä maailman maana riippumattomaksi fossiilisista polttoaineista vuoteen 2020 mennessä. Osana tavoitetta esitettiin Ruotsin muuttamista täysin öljyttömäksi vuoteen 2020 mennessä. Ruotsi on 30 viime vuoden aikana vähentänyt öljyn osuutta asuntojen lämmityksessä 70 prosentilla ja laskelmien mukaan myös loput 30 prosenttia on realistista korvata muilla lämmityskeinoilla. Ruotsin hallituksen asettama ”Kommissionen mot oljeberoendet”, jonka tehtävänä oli miettiä käytännön keinoja öljyriippuvuuden lopettamiseksi, esitti loppuraportissaan 28.6.2006 tavoitteiksi että (Kommissionen mot oljeberoendet 2006, 11):

- öljypohjaisten liikennepolttoaineiden kulutusta lasketaan 40-50 prosenttia,
- öljyn käyttöä alennetaan teollisuudessa 25-40 prosenttia,
- lämmityksessä öljyn käytöstä luovutaan kokonaan, ja
- energian käyttöä tehostetaan 20 prosentilla.

Näin Ruotsi ei luopuisi öljystä kokonaan vuoteen 2020 mennessä, mutta vapautuisi kuitenkin öljyriippuvuudesta. Liikennepolttoaineissa komitea haluaa edistää biopolttoaineiden käyttöä, mikä edellyttää metsä- ja maatalouden laajentamista. Ruotsissa on tehty poliittinen päätös siitä, että biopolttonesteitä ryhdytään valmistamaan ja käyttämään liikenteen polttoaineena. Julkisista varoista huomattavia tukia on annettu polttoaineverotuksen ja erilaisten investointien kautta. Tällä hetkellä kuitenkin noin 80 prosenttia Ruotsissa liikennepolttoaineena käytettävästä etanolista tuodaan Brasiliasta. Ruotsissa ryhdyttiin mm. myymään E85-biopolttoainetta, jossa on 85 prosenttia etanolia ja 15 prosenttia bensiiniä. E85:n käyttäminen liikennepolttoaineena edellyttää kokonaan uudenlaisen moottoritekniikan ottamista käyttöön, sillä nykyinen autokanta voi käyttää biopolttoainetta, jossa bensiinin seassa on etanolia vain 5-10 prosenttia. Yli 15 prosentin etanolipitoisuus edellyttää muutoksia auton tekniikalle.

EU-direktiivin viitearvon mukaan biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden vähimmäisosuus liikennepolttoaineissa tuli olla vuoteen 2005 mennessä kaksi prosenttia energiasisällöstä. Vähimmäisosuutta on tarkoitus kasvattaa vuosittain niin, että vuoden 2010 lopussa saavutetaan 5,75 prosentin osuus. Suomi on jäljessä aikataulusta, joskin hallitus ilmoitti kesäkuussa 2006 EU-komissiolle tavoittelevansa biopolttoainedirektiivin tavoitetta.

Liikenteen biopolttoaineiden käytön ja tuotannon edistämistä keväällä 2006 arvioineen työryhmän mukaan Suomessa käyttövelvoite biopolttoaineen sekoittamiseksi bensiiniin ja dieseliin on ensisijainen biopolttoaineiden käytön edistämiskeino. Työryhmä suositteli vaiheittaista etenemistä, siten että biopolttoaineen osuus olisi prosentin verran vuonna 2008, kaksi prosenttia vuonna 2009 ja kolme prosenttia vuonna 2010. Siten käyttövelvoitteella voidaan toteuttaa vain osa tavoitteesta,

johon Suomi on sitoutunut. (Luonnonvarat ja ympäristö 2006, 34.)

Suomessa etanolin käytön voimakas lisääminen autojen polttoaineena on pitkälti kiinni toimivan polttoaineen jakelujärjestelmän luomisesta ja etanoliautojen ostamisen tekemisestä taloudellisesti houkuttelevaksi. Markkinamekanismi ei kuitenkaan nykyisillä hinnoilla johda siihen, että biopolttoaineet tulisivat vielä yleisesti käyttöön. Siirtymä vaatisikin poliittisia toimenpiteistä. Teknisesti biopolttoaineen valmistuksen aloittaminen olisi täysin mahdollista, mutta arvioiden mukaan Suomessa ei ole riittävästi viljelysmaata nykyistä kovin paljon laajempaan etanolin tuotantoon. Lisäksi Suomessa peltokasvien tuotantokustannukset ovat sen verran korkeat, että tällä hetkellä Brasilian hintakilpailukyky etanolin tuottajana on ylivoimainen. Siksi polttoaineen jalostajat luultavasti suosivat kotimaisen sijasta brasilialaista raaka-ainetta, kuten Ruotsissa on jo tapahtunut.

Kuinka muuttaa liikenne öljyttömäksi?

Maailman autoistuminen ja sitä myötä liikenteen päästöjen kasvaminen pakottavat autonvalmistajat kehittämään pienemmällä polttoainemäärällä kulkevia ja entistä vähemmän pakokaasua tuottavia autoja. Ennen kuin autokanta muuttuu kokonaan päästöttömiksi vetyautoiksi, autoilevan kansan täytyy todennäköisesti elää yksi välivaihe. Se on fossiilista polttoainetta käyttävä auto, joka on kuitenkin pienikulutuksinen ja vähäpäästöinen. Hybridiauto käyttää liikkuaakseen kahta erillistä energialähdettä, bensiiniä ja sähköä. Sähkö- ja polttomoottorin yhdistelmä pudottaa polttoaineen kulutusta ja samalla hiilidioksidipäästöjä.

Johtoaseman autojen hybriditekniikan kehittämisessä on ottanut Toyota, jonka tavoitteena on pudottaa autojen bensiinin ja dieselin kulutus kolmannekseen nykyisestä hybriditekniikan avulla. Toyota aloitti hybridihenkilöauton kehitystyön vuonna 1993 ja myyn-

tiin sarjavalmisteen Toyota Prius tuli vuonna 1997. Vuoden 2005 loppuun mennessä Toyota oli myynyt yli puoli miljoonaa hybridautoa. Myynti on jakautunut melko tasan Japanin ja muun maailman välillä. Maailmalajuisesti Toyotalla on hybridautoissa 80 prosentin markkinaosuus. Suomen markkinoille Prius tuli vuonna 2004, jolloin sitä myytiin tavoitteena olleen 300 auton sijasta vain 63 kappaletta. Syynä tähän oli autoverotus, joka nosti Priuksen ostohinnaltaan useimpien autonostajien ulottumattomiin. Vuonna 2005 Priuksen myynti Suomessa oli 39 autoa. Toinen maailman johtavista hybridautojen valmistajista on Honda, jonka ensimmäisen hybridin myynti alkoi vuonna 1998. Lähitulevaisuudessa hybridautojen bensiinimoottori korvattaneen dieselmoottorilla, koska dieselmoottorien hyötysuhde on parempi kuin vastaavien bensiinimoottorin, joten polttoaineen kulutuskin on viidenneksen alhaisempi.

Vasta hybridautovaiheen jälkeen on odotettavissa vetyautojen tuleminen markkinoille. Arvioiden mukaan tarvitaan vielä kymmenen vuotta, ennen kuin polttokennoautojen käyttö alkaa yleistyä. Hondan ”tulevaisuuden auto” FCX aloitti vuonna 2002 liikennöinnin Los Angelesissa, kun kaupunki päätti vuokrata viisi autoa kaupungin päivittäisiin työtehtäviin. Ensimmäinen FCX liisattiin Kaliforniassa yksityiskäyttöön toukokuussa 2006, ja vetyautoa tarjotaan nyt yleisesti kaikkien kiinnostuneiden liisattavaksi (Honda 2006). FCX on maailman ensimmäinen polttokennoauto, joka sertifioitiin niin kutsutuksi nollapäästöajoneuvoksi. Vetyauton ideana on, että teoriassa on tehokkaampaa polttaa fossiilisia polttoaineita vedyn tuottamiseksi kuin polttaa bensiiniä auton moottorissa. Vaikka vetyauto onkin nollapäästöinen, aiheuttaa vedyn valmistus ja jakeluverkoston rakentaminen ympäristökuormitusta. Polttokennoautojen laajemmän käytön tiellä on paljon esteitä. Autojen valmistaminen onkin toistaiseksi hyvin kallista, ja toistaiseksi vetyasemia on

vain muutamassa harvassa paikassa ympäri maailmaa.

Valtaosa maailman vetytekniikkaa tutkivista ja kehittävästä yhtiöistä toimii Kanadassa, jossa vety työllistää tuhansia ihmisiä. Kanadalaiset ovat mukana yli 80 prosentissa maailman vetykoehankkeista. Kanadalaisten energia-asiantuntijoiden ja -tutkijoiden mielestä vety on vielä tällä hetkellä epäkäytännöllinen vaihtoehto fossiilisten polttoaineiden korvaajaksi. Sen tuottaminen on tehotonta, eikä sen energiatiheys ole hyvä, joten autojen toimintamatkat jäävät vaatimattomiksi. (Ks. VTT 2004.) Tästä johtuu, että vetytankkien tulisi olla kolme kertaa suurempia kuin bensatankkien. Vedyn kompressointi aiheuttaa myös harmaita hiuksia tutkijoille. Lisäksi vedyn kuljettaminen on kallista, eikä myöskään sen muuttaminen takaisin sähköksi ole halpaa. Toyota on myös aktiivisesti mukana tulevaisuuden vetyauton kehittämisessä. Toyota aloitti polttokennoauton kehittämisen vuonna 1992 ja esitteli oman versionsa vedyllä toimivasta polttokennoautosta vuonna 2002. (Green Car Congress 2005.)

Lopuksi

Nykyinen teollinen yhteiskunta on saavuttamassa pistettä, jossa yhteiskunnan rakenteiden ja toimintojen ylläpitoon ei ole käytettävissä öljyä totuttuun tapaan. Öljyn tarjonnan supistuminen ja hinnan nousu vaikuttavat myös öljypohjaisten tuotteiden kuten muovien sekä kuljetusten saatavuuteen ja sitä kautta globaaliin maailmantalouteen. Öljyntuotannon supistuminen nousee lähivuosina maailman ykkösongelmaksi ohi ilmastonmuutoksen, sillä energia ja etenkin öljy ovat nykyisen yhteiskuntamuotomme toiminnan perusedellytys, joille ei useinkaan ole selkeitä substituutteja. Ongelmana ensivaiheessa on, että öljyntuottajat eivät pysty vastaamaan kasvavaan kysyntään, vaan öljyn hinta nousee rajusti. Maailman väestönkasvun jatkuminen aiheuttaa sen, että vaikka Hubbertin malli ennustaa öljyntarjon-

nan asettumista määrällisesti vuonna 2020 samalle tasolle kuin vuonna 1980, ei öljyä enää henkeä kohden laskettuna ole käytössä silloista määrää. Pahiten öljyn hinnan nousu tulee kohdistumaan niihin ihmisiin, joilla muutenkin on vähiten taloudellisia resursseja käytettävissään.

Arviot öljyntuotantohuipun ajankohdasta vaihtelevat, mutta suuri osa ennusteista povaa huippua ennen vuotta 2010. Energiayhtiöiden ja -järjestöjen suosima ajatus öljyn hinnan nousun ja uuden tekniikan uusia öljylöytöjä ja tuotantotekniikan kehitystä kiihdyttävästä vaikutuksesta on sinällään taloustieteen oppien mukainen - mutta vain, jos öljyvarantoja on vielä löydettävissä. Hubbertin teorian ja nykyisen kokemuksen mukaan uusia varantoja ei kuitenkaan enää välttämättä löydetä entiseen tahtiin. Vaikka uusia löytöjä tehtäisiin, löydöstä uusien öljykenttien saamiseen tuotantoon menee arviolta 10 vuotta. Näin tänä päivänä tehdyt löydökset olisivat käytössä vasta, kun öljyhuippu on jo ohitettu. Öljynetsinnän lisääminen ja tuotantoteknologian kehittäminen ei siis enää pystyne estämään tapahtuvaa öljyntarjonnan supistumista. Öljyn kohoava hinta tulee enemmän tai myöhemmin pakottamaan yhteiskuntia parantamaan eri tavoin energiatehokkuuttaan ja kehittämään uusiutuvia energialähteitä. Ratkaisujen on löydettävä nimenomaan uusiutuvista energialähteistä kestävä kehityksen politiikan (WCED 1987) periaatteiden

mukaisesti, sillä väliaikaisratkaisuuksi esitettyjen kivihiilen ongelmana ovat sen polttamisen aiheuttamat suuret kasvihuonekaasupäästöt, ydinvoiman polttoaineen rajallinen riittävyys ja jäteongelmat sekä maakaasun kohdalla sen ennustetun tuotantohuipun sijoittuminen vain muutamia kymmeniä vuosia öljyhuipun jälkeistä aikaa myöhäisemmäksi (ks. Roberts 2006, 194-195, 199).

Siirtymä pois öljystä on sitä helpompaa mitä energiatehokkaampi yhteiskunta on, joten päättäjien pitäisi aktiivisesti tukea energiatehokkuuden jatkuvaa parantamista. EU-maiden talouksien ja Japanin öljykulutus on reilusti yli 90-prosenttisesti riippuvainen tuontiöljystä, kun taas Pohjois-Amerikan riippuvuus on vain 55 prosentin luokkaa. Näin Euroopan Unionin maat ja Japani saattavat olla suurempien haasteiden edessä kuin esimerkiksi Yhdysvallat. Öljyn hinnan noustessa ja tarjonnan lähtiesä jyrkkään alamäkeen yhteiskunnat ovat merkittävien ratkaisujen edessä. Kuinka turvata nykyisen kaltaisen sivilisaation jatkuminen ja väestön elintarviketuotanto? Näihin kysymyksiin vastaaminen edellyttäisi aktiivista tutkimus- ja kehittämistoimintaa siihen haluttomilta hallituksilta. Päätökset panostamisesta öljyä korvaavien uusiutuvien energialähteiden kehittämiseen syytä tehdä viimeistään nyt, mikäli yhteiskunnat haluavat välttää öljyn loppumisesta syntyvät vakavat ongelmat.

Lähteet

Aljazeera (2006): Bank says Saudi's top field in decline. 12 April 2005. <http://english.aljazeera.net/NR/exeres/08B97BCF-7BE6-4F1D-A846-7ACB9B0F8894.htm>

Bakhtiari, Samsam (2006): On Middle Eastern Oil Reserves. 19 February. Energy-Bulletin. ASPO-USA's Peak Oil Review. <http://www.energybulletin.net/13009.html>

BP (British Petroleum) (2006): BP Statistical Review of World Energy 2006. http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/publications/energy_reviews_2006/STAGING/local_assets/downloads/spreadsheets/statistical_review_full_report_workbook_2006.xls

CBC (2005): Supply and demand: World oil markets under pressure. 28 April. http://www.cbc.ca/news/background/oil/supply_demand.html

- Deffeyes Kenneth S. (2003): *Hubbert's Peak: The Impending World Oil Shortage*. 6th printing. Princeton University Press.
- Deffeyes Kenneth S. (2005): *Beyond Oil - The View from Hubbert's Peak*. Hill and Wang.
- Etemad, Bouda and Jean-Claude Toutain (1991): *World Energy Production, 1800-1985*. Librairie Droz. Switzerland.
- Energy Bulletin (2005): *Kuwait Oil Field, World's Second Largest, 'Exhausted'*. Nov. 9, 2005. <http://www.energybulletin.net/10878.html>
- Energy Security (2004): *New study raises doubts about Saudi oil reserves*. March 31, 2004. <http://www.iags.org/n0331043.htm>
- Green Car Congress (2005): *New Toyota Hydrogen Tanks Offer More Capacity, Longer Life*. 16 May 2005. http://www.greencarcongress.com/2005/05/new_toyota_hydr.html
- Greene, Nathanael and Yerina Mugica (2005): *Bringing Biofuels to the pump. An Aggressive Plan for Ending America's Oil Dependence*. Natural Resource Defence Council. Issue Paper. July. <http://www.nrdc.org/air/energy/pump/pump.pdf>
- Hirsch Robert L., Roger Bezdek and Robert Wendling (2005): *Peaking of World Oil Production: Impacts, Mitigation and Risk Management*. February. <http://www.hilltoplancers.org/stories/hirsch0502.pdf>
- Honda (2006): *Honda toimittaa FCX-poltto-kennoauton maailman ensimmäiselle yksityisasiakkaalle*. 07.06.2005. <http://www.honda.fi/sw6039.asp>
- Hubbert M. King (1949): *Energy from Fossil Fuels*, Science. Volume 109. February 4.
- Hubbert M. King (1956): *Nuclear Energy and Fossil Fuels*, Shell Development Company, Publication Number 95, Houston, June.
- International Energy Agency (IEA) (2005): in Molly Aeck: *"Biofuel Use Growing Rapidly," Vital Signs 2005*. Worldwatch Institute. Washington, DC. pp. 38-39.
- Kobayashi, Kenji (2005): *Forecasting Supply and Demand up till 2030*. IEA. Office of Oil Markets and Emergency Preparedness. 8th Annual Victoria Power 2005. 22-24 February. Crown, Melbourne. Australia. http://www.iea.org/textbase/speech/2005/kk_melbourne_notes.pdf#search=%22iea%20oil%20demand%20forecast%202030%22
- Kommissionen mot oljeberoendet (2006): *På väg mot ett oljefritt Sverige*. Juni. <http://www.sweden.gov.se/content/1/c6/06/62/80/bf5c673c.pdf>
- Laherrré, Jean (2006): *Peak Oil and related peaks! Presentation to Evora University*. 8 May 2006. ASPO. <http://www.oilcrisis.com/laherrere/Evora-part1.pdf>
- Longwell H. J. (2002): *The Future of the Oil and Gas Industry, Past Approaches, New Challenges*. World Energy. Vol 5., No. 3.
- Luhnow David and Geraldo Samor (2006): *As Brazil Fills Up on Ethanol, It Weans Off Energy Imports*. The Wall Street Journal, 16 January. <http://yaleglobal.yale.edu/display.article?id=6817>
- Luonnonvarat ja ympäristö (2006): *Tilastokeskus ja ympäristöministeriö. Ympäristö 2006:3*. Helsinki.
- New York Times (2004): *COMPANY NEWS; S.E.C. INVESTIGATES EL PASO'S RESERVE ESTIMATES*. <http://query.nytimes.com/gst/fullpage.html?Pres=9900E5DF1130F934A15750C0A9629C8B63>
- New York Times (2004b): *Oman's Oil Yield Long in Decline, Shell Data Show*. April 8, 2004. <http://www.peacereading.org/Oman's%20Oil%20Yield%20Long%20in%20Decline,%20Shell%20Data%20Show.htm>
- Oman update (2002): *Decline in oil production in 2002*. http://www.rsmoman.com/update_7.htm
- Roberts Paul (2006): *Kun öljy loppuu - uuden energiatalouden vaihtoehdot*. Edita Prima. Helsinki.
- Simmons Matthew R. (2005): *Twilight in the Desert: The Coming Saudi Oil Shock and the World Economy*. John Wiley & Sons. New Jersey.
- Swenson Ron (2006): *Swenson's Law*. <http://www.hubbertpeak.com/Swenson/>
- U.S. Energy Information Administration (EIA) (2005): *Saudi Arabia. Country Analysis Brief*. August 2005. <http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/saudi.html>
- U.S. Energy Information Administration (EIA) (2006a): *International Energy Annual 2004. Official Energy Statistics from U.S. Government*. <http://www.eia.doe.gov/iea/overview.html>
- U.S. Energy Information Administration (EIA) (2006b): *Petroleum Navigator. Official Energy Statistics from U.S. Government. U.S. Crude Oil Field Production*. Updated 7/28/2006. <http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/hist/mcrfpus1A.htm>
- U.S. Energy Information Administration (EIA) (2006c): *International Energy Outlook 2006. Official Energy Statistics from U.S. Government*. <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/oil.pdf#search=%22iea%20oil%20demand%20forecast%202030%22>
- USgovinfo (2003): *Iraq: Oil and Economy. Sands of Iraq hold world's 2nd largest oil reserve*. <http://usgovinfo.about.com/library/weekly/aaIraqoil.htm>
- VTT (2004): *Vety. 12.4.2004*. <http://www.motiva.fi/fi/yjay/kuljetusala/polttoainevaihtoehdot/vety.html>
- WCED (World Commission on Environment and Development) (1987): *Our Common Future. [The Brundtland Report]*. Oxford University Press. Oxford.
- United Nations (2003): *World Population Prospects 2002*. New York.
- Worldwatch Institute (1998): *Vital Signs 1998*. Database.