

AKI SUOKKO
RAULI PARTANEN



ENERGIAN AIKA

Avain talouskasvuun,
hyvinvointiin ja
ilmastonmuutokseen

WSOY

Aki Suokko
Rauli Partanen

ENERGIAN AIKA

AVAIN TALOUSKASVUUN,
HYVINVOINTIIN JA
ILMASTONMUUTOKSEEN



WERNER SÖDERSTRÖM OSAKEYHTIÖ
HELSINKI

Tämän kirjan kirjoittamiseen on saatu tukea Suomen tietokirjailijat ry:ltä ja
Taiteen edistämiskeskukselta.

© AKI SUOKKO, RAULI PARTANEN JA WSOY 2017

ISBN 978-951-0-42346-2

PAINETTU EU:SSA

Sisällys

Esipuhe 9

Lukijalle 13

Johdanto 17

1 Teollinen vallankumous 23

Teollinen vallankumous oli
energiavallankumous 25

Teollisen vallankumouksen
palautekytkennät 28

Teollisen vallankumouksen
myöhäisemmät vaiheet 31

Teollinen vallankumous toisensa
perään 33

Hyvinvoinnin kehitys teollisen vallankumo-
uksen alkuaikoina 35

Teollisen vallankumouksen ajattelijat 38

2 Talous, kasvu ja energia 45

Mitä tapahtuu, kun talous kasvaa 49

Taloukasvu ja energia 56

Talouden eri tasot 58

Bruttokansantuote hyvinvoinnin mittarina 63

Raha, velka ja energia 68

Energiaylijäämä 77

EROEI ja takaisinmaksuaika	82
Energiatiheys ja tuotannon tehotiheys	90
EROEIn trendit – ylijäämä uhattuna?	95
Nettoenergia-ansa ja energiavelka	97
3 Onko vallitseva talousoppi sokea luonnonvarojen taloudelliselle merkitykselle	103
Uusklassisen taloustieteen talouskasvumallit	110
Energian todellinen osuus taloudessa	115
Biofysikaalinen taloustiede ja talouskasvu	119
Tuotantofunktio ja energian osuus	121
Teknologinen kehitys – mitä se on	125
Energiatehokkuus ja rebound-vaikutus talous- kasvun taustalla	128
Työn tuottavuuden kasvu taloudessa	133
4 Ihmiskunnan haasteet	139
Hidastuva talouskasvu	142
Väestörakenne ja resurssiniukkuus	148
Ovatko fossiiliset polttoaineet niukentumassa	152
Suuri taantuma – öljykriisi vai finanssikriisi	158
Tärkeimmät metallit	162
Harvinaiset maametallit	165
Harvinaiset maametallitko uusiutuvan energian käytön rajana	166
Uraani ja torium – tuleeko ydinpolttoaineesta pulaa	169

- Ulkoiskustannukset ja markkinahäiriöt 172
 - Fossiilisen energian valtavat tuet 175
 - Haittojen hinnoittelu 178
 - Ilmastonmuutos ja päästöt 180
 - Diskontattu tulevaisuus – kannattaako kaikkea hinnoitella 183
- Talousjärjestelmän ongelmat 185
 - Varallisuuden kerääntyminen harvoille ja tuloerojen kasvu 186
 - Taloukasvupakko 190
 - Pienenevän kakun ongelma 192
 - Elvyttäjät ja leikkaajat 194
 - Talousjärjestelmän vakaus 197
 - Epätaloudellinen taloukasvu 202
- Kasvava kompleksisuus 211
 - Ongelmia, ratkaisuja ja lisää ongelmia 213
- Taloukasvun ja energiankäytön irrottamisen vaikeus 220
 - Yhteiskunnallisen monimutkaisuuden ja energiankulutuksen spiraalinomainen kasvu 224
 - Biofysikaalisen taloustieteen selitys irtikytken väikeuteen 227
 - Talouden energiankäytön tehostaminen 236
 - Mitä tästä kaikesta seuraa 239
- 5 Hyvinvoinnin ja pahoinvoinnin irtikytkenä 243
 - Ympäristövaikutusten määritelmii ja mittaamista 246
 - Haittojen irrottaminen hyödyistä 248
 - Biotalous – ojustako allikkoon 251

Biotuotteita vai bioenergiaa	255
Ruoantuotannon riskit ja mahdollisuudet	258
Kiertotalous	266
Teknologia – ongelmien ratkaisu vai aiheuttaja	270
Robotisointi ja digitalisointi	274
Robotit ja yhteiskunta	278
Robotit ja luonnonvarat	281
Raha – ongelmasta ratkaisuksi	282
Rahareformi	287
Ekologinen verouudistus	290
Työn tuottavuudesta hiilen tuottavuuteen	293
Ilman kasvuako	296
Mikä degrowth	296
Talouskasvukritiikistä keinoihin	300
Talouskasvukritiikin kritiikkiä	307
Ilman kasvun haittoja	311
Energian aika – fossiilisesta kohti puhdasta energiaa	316
Energiamurrokset	317
Sähkömarkkinat murroksessa	326
Liikenteen murros	331
Teollisen tuotannon murros	333
Vähähiiliseen energiajärjestelmään siirtyminen	335
6 Loppusanat	345
Viitteet	351

Esipuhe

YLLÄTTÄVÄN SUUREN osan maailman kaikista talousajatteliijoista voi jakaa kahteen leiriin – materialisteihin ja immaterialisteihin. Näitä käsitteitä ei tietenkään käytetä, eivätkä kaikki talousajattelijat ja -kommentoijat niitä välttämättä edes tunnista. Talousajattelussa on varsin kiintoisa rajapyykki aineellisen ja aineettoman välillä ja täten myös mitattavan ja mittaamattoman, rajallisen ja rajattoman välillä.

Viime vuosikymmeninä on etenkin rajaton ja aineeton ollut talousajattelun kaikkein muodikkain ja rakasteuin osa. Suitsutamme ideoita, yrittäjyyttä, innovaatiota. Puhumme tietoyhteiskunnasta ja datasta uutena öljynä. Viit- taamme käsitteisiin, kuten teknologiaan, kehitykseen ja globalisaatioon, jotka kuulostavat aineellisilta mutta jotka ajatellaan rajattomiksi ja aineettomiksi. Niin, ja sitten tietenkin puhutaan »digitalisaatiosta», joka keskustelun perusteella mitä ilmeisimmin on ääretön, rajaton ja ihan kaiken muuttava pysäyttämätön voima.

Tähän kenttään kuuluvat myös heppoiset heitot, joissa vain todetaan »luovuudella Suomi nousuun» tai »digitalisaatio rikkoo vanhat mallit» ja jotka sinänsä ovat varsin rajallisia. Vaikka ideat ja digitalisaatio ovat tärkeitä ja kannatettavia asioita, nekin vaativat aineellisia asioita, rajallisia resursseja ja energiaa.

Tämä kirja ottaa kantaa juuri tähän. Se huomioi tärkeän

mutta usein unohdetun tosiasian, nimittäin sen, että vaikka kuinka ihannoimme innovaation kaltaisia asioita, talous palaa aina juurilleen. Ja nämä juuret ovat riippuvaisia esimerkiksi raaka-aineista ja kenties ennen kaikkea energiasta. Yrittäjyys ilman toimivaa energiainfrastruktuuria on mahdottomuus, ja vaikka luovuutta voi löytää keskeltä korkeakin, ideoiden luominen kehittämisestä puhumattakaan helpottuu ihmeellisesti, jos voi nauttia myös sähköstä ja lämmöstä.

Startup-yrittäjien kannettavat tarvitsevat energiaa puhumattakaan digitalisaation vaatimista jättimäisistä konesaleista. Biotalous ja *clean tech* ovat luonnollisesti osa energiataloutta mutta eivät itsessään sen valmiita ratkaisuja eivätkä siitä erillään olevia osia. Vaikka on kovin helppoa viitata epämääräisiin lupauksiin siitä, että kehitys, teknologia tai tiede ratkaisee energiatalouden ongelmat ja rikkoo sen nykyiset rajat, olisi varsin vaarallista vain luottaa siihen.

Aki Suokko ja Rauli Partanen ovat heittäytyneet tämän ongelman kimppuun, ja heidän kirjansa on tärkeä ja laaja-alainen katsaus talouden, yhteiskunnan ja energian keskinäisiin riippuvuussuhteisiin. Se ei rakenna olkinukkeja vaan analysoi niitä monia tapoja, joilla energiasta ja sen taloudesta puhutaan tai ollaan puhumatta, ja esittää vakuuttavan kuvan niistä haasteista, jotka meillä on edessämme.

Tämä ei tarkoita, etteivätkö Suokko ja Partanen myöskään ottaisi kantaa. He esittävät väkevän argumentin sokean kasvunpalvonnan kyseenalaistamisen puolesta ja pyrkivät osoittamaan energian todelliset kustannukset eivätkä vain sen hetkelistä hintaa. Nämä ovat vaikeita kysymyksiä, joita ei vielä kukaan tajuta tarpeeksi hyvin yhteiskunnassamme, ja olisikin hienoa, jos ainakin pari päättäjää kirjan luettuaan oivaltaisi hieman paremmin, mitä talous- ja energiapolitiikkaa tehtäessä tulisi ymmärtää.

Ennen kaikkea olisi toivottavaa, että kirja herättäisi laajemman keskustelun siitä, mitä uskomme tietävämme ja mitä

tiedämme uskovamme – taloudesta, energiasta ja siitä, miten siirrymme tulevaisuuteen. Kenelläkään ei ole varaa olla tietämätön energiataloutemme kustannuksista ja niistä haasteista, joiden edessä yhteiskuntamme on.

Joten puhutaan vain aineettomista asioista. Puhutaan innovaation voimasta ja innostuksen tärkeydestä. Puhutaan ideoista ja fiiliksestä, eikä usko kehitykseen ole sekään huono asia. Mutta tätä ei tulisi tehdä yksisilmäisesti vaan ymmärtäen, miten tärkeitä energia, energiatalous ja energiapolitiikka ovat rakentaessamme uutta, uljasta talouttamme.

Turussa 30.II.2016

Professori *Alf Rehn*

Lukijalle

ENERGIASTA, TALOUDESTA, ympäristöstä ja ihmisten hyvinvoinnista puhutaan yhteiskunnassa paljon. Usein keskustelut rajautuvat kokonaisuuden tiettyä osaa käsitteleviksi, ja samalla eri näkökulmia edustavat puhuvat helposti toisensa ohi. Mikäli haluamme päätyä mahdollisimman hyvään lopputulokseen – lähemmäs totuutta – ja toisaalta rakentaa edelleen parempaa maailmaa niin ihmiselle kuin maapallon muillekin eliöille, täytyy myös keskustelun heijastella tätä. Talous, yhteiskunta, maapallon ekosysteemit ja näiden hyvinvointi ovat monimutkaisia ja toisistaan riippuvaisia asioita. Tämä kirja on kirjoitettu valaisemaan näitä monimutkaisia ristikkäisvaikutuksia ja eritoten energian roolia modernin yhteiskunnan mahdollistajana.

Aiheen monimutkaisuuden vuoksi olemme joutuneet tekemään monia rajauksia ja valitsemaan eri lähestymiskulmia käsittelemiimme asioihin. Esimerkiksi talouskasvun näkymät, hyvinvoinnin lisääminen ja energiankulutus henkeä kohti näyttäytyvät aivan erilaisina asioina kehittyvien ja kehittyneiden maiden näkökulmista. Tiedostamme kehittyvien maiden valtavan tarpeen kasvattaa omaa energiankulutustaan ja pidämme sitä oikeutettuna. Kirja on kuitenkin kirjoitettu pohjoismaisen hyvinvointiyhteiskunnan näkökulmasta.

Kirjaa lukiessa on hyvä pitää mielessä faktojen, arvojen ja intressien välinen ero ja vaikutus toisiinsa. Faktat kerto-

vat, kuinka asiat ovat. Arvot määräävät, miten suhtaudumme vallitsevaan asiintilaan. Intressit paljastavat, ketkä hyötyvät ja ketkä menettävät, mikäli asiintilaa halutaan muuttaa. Tämän kirjan kirjoittajat ovat ympäristö- ja hyvinvointikysymyksestä kiinnostuneita liberaaleja, mikä ei voi olla näkyvästä kirjassa. Intressimme on parantaa julkisen keskustelun tasoa energiaan, ympäristöön ja talouteen liittyvissä asioissa. Pyrimme pitäytymään lähdeviitatuissa faktoissa, mutta ajoittain mielipiteemme tulee eittämättä ilmi. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen hillintää pidämme erittäin tärkeänä. Sen ongelmallisuutta puolestaan lisää toinen mielestämme tärkeä asia eli kehittyvien maiden oikeus nostaa kansalaistensa elintasoa ja siten lisätä materiaalista kulutusta, vaikka se todennäköisesti tarkoittaa myös päästöjen lisääntymistä näissä maissa. Olemme pyrkineet jättämään poliittisten valtasuhteiden merkityksen analysoinnin kirjan ulkopuolelle, vaikka tiedostamme, että energiakysymyksiin liittyy suuria valtapoliittisia intressejä aina geopolitiikasta lähtien. Kirjassa esiintyy usein käsitteitä, kuten hyvinvointi, joiden tarkan määrittelyn jätämme tietoisesti auki, jotta kirja ei paisuisi mahdottoihin mittoihin.

Kannustamme lukijaa olemaan avoimella mielellä mutta kriittinen ja näkemään erilaisia vaihtoehtoja sille, miten asiat ovat tai miten me kirjoittajat tulkitsemme niiden olevan. Kanssamme saa olla perustellusti eri mieltä – oikeastaan rohkaisemme siihen, sillä vain tällaisen keskustelun kautta opimme uutta ja pääsemme lähemmäs totuutta.

Aki Suokko haluaa kiittää perhettään kaikesta tuesta ja siitä ajasta, jonka tämän kirjan kirjoittaminen on vienyt. Lämpimät kiitokset Suomen tietokirjailijat ry:lle tämän kirjan kirjoittamiselle myönnetystä taloudellisesta tuesta.

Rauli Partanen haluaa kiittää perhettään kärsivällisyydestä ja siitä ajasta, jonka »taas yhden maailmaa kenties muuttavan tietokirjan» kirjoittaminen on vaatinut. Lämmin kiitos myös

Suomen tietokirjailijat ry:lle ja Taiteen edistämiskeskukselle hankkeelle myönnettyistä apurahoista. Vaikka lukijapalaute ja oma oppiminen ovatkin tietokirjailun hienoimpia puolia, myös raha – tuo arvon mitta ja säilyttäjä sekä lupaus tulevasta mahdollisuudesta kuluttaa – on kirjailijalle ensiarvoisen tärkeää.

Mikko Hietikko, Thomas Holm, Jyri Jaakkola, Timo Järvensivu, Markku Korhonen, Jani-Petri Martikainen, Teemu Meronen, Ville Nikkanen, Esko Pettay, Aila Mustamo ja Jukka Tuomela antoivat arvokasta palautetta ja kritiikkiä käsikirjoituksen eri vaiheissa. Jäljelle jääneistä virheistä vastaanamme luonnollisesti itse.

Helsingissä 6.1.2017

Aki Suokko ja Rauli Partanen

Johdanto

IHMISKUNTA ON elänyt viime vuosisadat alati kasvavan energiankulutuksen aikaa. Moderni yhteiskunta, talouskasvu ja elintason nousu, ennennäkemätön hyvinvointi ja pidentynyt eliniänodote ovat kaikki pohjimmiltaan ravinnon- ja energiantuotannosta saatavan ylijäämän ansiota. Olemme toki keksineet ja kehittäneet valtavasti teknologiaa ja hankineet tietoa siitä, miten maailma toimii. Mutta myös teknologiassa kyse on usein pohjimmiltaan energiasta. Teknologian avulla käytämme yhä enemmän energiaa, jonka voimin pidämme yhteiskunnan ja talouden pyörät pyörimässä.

Vaikka kaikki elämä on aina ollut riippuvaista energiasta, on silti perusteltua kutsua juuri teollisen vallankumouksen jälkeistä aikaa energian ajaksi. Metsästäjä-keräilijöihin tai maatalousyhteiskuntaan verrattuna käytämme nykyään ulkoista energiaa, kuten polttoaineita ja sähköä, aivan eri mittakaavassa. Yhdysvaltalaisen taloushistorioitsijan Brad DeLongin mukaan materiaalinen elintaso kasvoi vaivaiset 0,00002 prosenttia vuodessa ensimmäisten kivityökalujen keksimisestä teolliseen vallankumoukseen¹. Materiaalinen elintaso kasvoi suorastaan räjähdysmäisesti teollisen vallankumouksen myötä 1800-luvulla ja alkoi kaksinkertaistua vuosikymmenissä miljoonien vuosien sijasta. Kirjan ensimmäisessä luvussa kerromme, miten teollinen vallankumous oli oikeastaan fossiilisiin polttoaineisiin perustunut energia-

vallankumous. Teollisen vallankumouksen »moottori» saattoi olla höyrykone, mutta ilman kivihiiltä höyrykone ei olisi käynyt, kehittynyt eikä mullistanut ihmisen maailmaa.

Teollisen vallankumouksen vaikutuksesta tapahtui myös tuottavuusvallankumous. Kehittyneiden työkalujen ja koneiden avulla yhden ihmisen työpanos saatiin moninkertaistettua. Tämä nosti työntekijän työn arvoa (ja ajan myötä myös palkkaa) ja toisaalta laski tuotosten hintoja. Talous alkoi kasvaa ihmiskunnan historiassa ennennäkemättömällä tavalla, ja samalla lisääntyi myös fossiilisten polttoaineiden kulutus. Talouden varhaiset tutkijat ja havainnoijat eivät kuitenkaan nähneet energian roolia, vaan esiin nousi työntekijöiden erikoistumisen ja teknologian rooli tuottavuuden ja talouden kasvussa. Tutkijoilla ei ollut käytössä nykyaikaisia käsitteitäkään. Esimerkiksi lämmön ja mekaanisen energian välinen yhteys varmistettiin vasta 1800-luvun puolivälissä.

Luonnonlait kertovat, että siinä missä energiaa ei voi tuhota tai hävittää, sen laatu heikkenee muunnosprosesseissa. Pöydälle jätetty kuuma kahvikuppi siis jäähtyy hiljalleen, mutta kahvin sisältämä lämpöenergia ei kuitenkaan häviä mihinkään. Se siirtyy ympäröivään huoneeseen ja leviää aikanaan ikkunoiden ja seinien läpi ulkoilmaan ja lopulta tasoittuu pitkin universumia. Kun kahvikupin keittämiseen käytetty sähkö tuotetaan esimerkiksi polttamalla kivihiiltä, ei kyseistä kivihiiltä ja sen sisältämää kemiallista energiaa saada enää koskaan takaisin.

Energian muuttaminen muodosta toiseen – vaikkapa polttoaineesta ensin lämmöksi, siitä liikkeeksi ja edelleen sähköksi generaattorissa tai sähköstä liikkeeksi akkuperakoneessa – hukkaa myös aina osan energiasisällöstä. Energia ei tietenkään katoa mihinkään (sitä ei voi tuhota) vaan leviää hukkalämpönä ympäristöön. Mitä suurempi osa hukkaenergiasta saadaan ohjattua tekemään edes jotain hyödyllistä, sitä korkeampi on toiminnan hyötysuhde. Se ei kuitenkaan kos-

kaan voi olla sata prosenttia. Fysiikan lakien mukaan kyseessä olisi mahdottomuus: ikiliikkuja. Energiankäytön hyötysuhteen parantamiseen on edelleen mahdollisuuksia. Kuvaamme kirjassa esimerkkejä 1900-luvulla toteutuneesta energiankäytön hyötysuhteen kasvusta ja pohdimme, kuinka paljon siinä on vielä parantamisen varaa ja millä kustannuksilla. Toisessa luvussa käsittelemme energiaa ja sen roolia taloudellisen toiminnan mahdollistajana sekä esittelemme energian ja talouden oleellisia käsitteitä.

Nykyisissä talousopeissa energiaan ja sen muunnoksiin liittyvät lainalaisuudet ovat varsin pienessä osassa, eikä käytetyissä talousmalleissa² yleensä huomioida energian oleellista osuutta maailmantalouden korvaamattomana polttoaineena. Valtavirrasta hieman ulkopuolella oleva biofysiikallinen taloustiede pyrkii ottamaan energian ja sen käyttöön liittyvien termodynamiikan lakien roolit paremmin huomioon talouden mallintamisessa. Kirjan kolmannessa osassa perehdymme muun muassa siihen, miten ja miksi energia on jäänyt niin pieneen osaan valtavirran talousopissa ja mitä keskeisiä käsitteitä julkisesta talous-, energia- ja ilmastokeskustelusta uupuu.

Ilmastonmuutoksen ja viimeaikaisten talouskriisien myötä julkiseen keskusteluun ovat nousseet energiantuotanto ja resurssiniukkuus. Pariisin ilmastopöytäkirjassa sovittiin erittäin kunnianhimoisista tavoitteista; ilmastonmuutos pitäisi onnistua rajoittamaan niin, että maapallon keskilämpötila ei kohoaisi kahta astetta³ esiteollista keskiarvoa korkeammaksi. Samalla ihmiskunta painii rajujen rakennemuutosten kimpussa. Länsimaissa työpaikat vähenevät ja työn tuottavuuskehitys sakkaa savupiipputeollisuuden siirryttyä kehittyviin maihin, eläköityvän väestön talousvaikeudet kärjistyvät, vähävaraisten ja eliitin välinen elintasokuilu syvenee ja talouden moottorina toiminut keskiluokka kuihtuu. Kun mukaan otetaan edelleen kehittyvä teknologia, robotiikka ja kaiken mah-

dollisen digitaalustuminen, on edessä monitahoisia ongelmia, joista kerromme seikkaperäisemmin neljännessä luvussa.

Näihin ongelmiin on tarjolla monenlaisia ratkaisuja, joita esittelemme kirjan viimeisessä luvussa. Suomessa on viime vuodet puhuttu biotaloudesta uuden talouskasvun ja työllisyyden lähteenä, mutta mitä biotaloudella oikeastaan tarkoitetaan? Joidenkin mielestä meidän tulisi rakentaa yhteiskuntaa jollain muulla kuin talouskasvun oletuksella, jotta ihmisen toiminnasta koituvat haitat saataisiin kuriin. Maailmalla ei voi olla kuulematta lupauksia uusiutuvista energialähteistä tai ydinvoimasta – niitä pidetään tuottavuuden lisääjänä, työpaikkojen luoja, ilmastonmuutoksen hillitsijänä tai talouskasvun seuraavana moottorina.

Yksittäisten ratkaisujen tarjoajilla kokonaiskuva jää kuitenkin usein hämäräksi ja sivuvaikutukset vähälle huomiolle ja mittakaavat sekä erilaiset kehityksen pullonkaulat unohtuvat. Siksi ratkaisujakin tulee tarkastella terveen kriittisesti ja kokonaiskuva koko ajan mielessä pitäen. Kaikista hienoista uutisista ja kehityksestä huolimatta fossiilisten polttoaineiden absoluuttinen käyttö jatkaa kasvuaan⁴. Maailma on edelleen matkalla kohti katastrofaalista ilmastonmuutosta ja sen mukanaan tuomia moninaisia ongelmia sekä yhä pirstaloituneempia ja haavoittuvampia ekosysteemejä. Vaikka absoluuttista köyhyyttä on kitketty vauhdilla, vauraus on keskittynyt yhä harvempien käsiin. Vaikka ruokaa on tuotettu yhä enemmän käytettyä pinta-alaa kohden, yhä enemmän maata raivataan ruoan ja biopolttoaineiden tuotantoon. Käsillä olevat ratkaisut eivät ainakaan nykyisellään riitä lähimainkaan estämään näitä ongelmia kasvamasta myös ihmiskunnan ja siviilisaation kannalta kenties kohtalokkaisiin seurauksiin.

Onko peli sitten menetetty? Tuskin olisimme kirjaa kirjoittaneet, jos pitäisimme peliä pelattuna. Yksi avaintekijä ihmiskunnan ympäristövaikutusten kannalta on energiantuotannon puhdistaminen, ja vaikka se on vaikeaa, se ei ole

teknisessä eikä taloudellisessakaan mielessä mahdotonta. Monimutkaisessa maailmassa se on myös suhteellisen rajattu kohde, jolla kuitenkin on valtavat vaikutukset kokonaisuuteen. Esittelemme kirjan lopussa erilaisia keinoja tehostaa edessä olevaa energiakäännettä. Sanonnan mukaan sitä saadaan, mitä mitataan, joten onkin ensiarvoisen tärkeää mitata energiantuotannon erilaisia ympäristövaikutuksia. Tuomme esiin julkisessa keskustelussa turhan vähän käytettyjä tärkeitä mittareita, joilla energiantuotantoa voidaan ohjata kestävämmäksi. Esittelemme myös mahdollisia reformeja, joista olisi syytä käydä nykyistä monipuolisempaa keskustelua päätöksenteon pohjaksi. Valmiiksi pureskeltuja vastauksia tarjoamme vähän. Usein hyvä kysymys on kuitenkin arvokkaampi kuin kymmenen hätäistä vastausta. Toivomme, että tämä kirja tarjoaa hyviä lähtökohtia ja työkaluja tähän keskusteluun ja vastausten etsimiseen.

1

TEOLLINEN
VALLANKUMOUS

Teollinen vallankumous oli energiavallankumous

TEOLLINEN VALLANKUMOUS alkoi Britanniassa 1700-luvun toisella puoliskolla. Sen synnyttivät useat rinnakkaiset ja keskenään vuorovaikutteiset seikat, jotka olivat tuolloin kohdallaan juuri Britanniassa. Niitä olivat esimerkiksi väestön riittävä määrä ja tiheys, maaseudun vuokratilallisten vakaat oikeudet tuotantonsa ja maatalouden tuottavuuden paraneminen, yleinen korkeahko palkkataso sekä suhteellisen vakaa ja suotuisa poliittinen ilmapiiri. Teknologinen valmius ei siis ollut lähimainkaan ainoa tai edes tärkein tekijä.

Teollisessa vallankumouksessa monet perinteiset käsityöammatit kohtasivat loppunsa koneiden, sarjavalmistuksen ja tuotantolinjojen takia. Jos jokin asia voitiin tehdä halvemmalla ja tehokkaammin koneella, se ennen pitkää myös tehtiin niin. Varsinkin alussa koneellisen työn laatu oli kuitenkin huonompaa kuin käsityöläisammattilaisen. Toisaalta tuotteet saattoivat olla huomattavasti edullisempia valmistaa, sillä käsityöläisten työ oli kallista ja hidasta ja edullisemmilla tuotteilla oli paljon enemmän potentiaalisia ostajia. Ennen pitkää koneet, metallit ja menetelmät kehittyivät niin, että yhä useammista tuotteista saatiin myös laadukkaampia ja tasalaa-tuisempia kuin käsityönä. Syntyi myös kokonaisia tuoteperheitä, joiden valmistaminen oli ylipäätään mahdollista vain teollisten valmistusprosessien ansiosta.

Teollisen vallankumouksen syntyjuuret olivat oikeastaan

maatalouden vallankumouksessa. 1700-luvulla Britanniassa yleistyivät neljän kasvin vuoroviljely, jossa kiersivät vehnä, nauris, ohra ja apila. Vuoroviljely vähensi tarvetta jättää peltoja kesannolle, mikä puolestaan lisäsi tuotantoa maa-alaa kohden. Samalla rehu- ja laidunkasvit (lähinnä nauris ja apila) mahdollistivat karjan kasvattamisen ympärivuotisesti. Kun tuotanto maa-alaa kohden lisääntyi ja tuotantoeläimet yleistyivät, tarvittiin vähemmän työvoimaa. Maataloudesta vapautuneet ihmiset päätyivät usein kaupunkeihin tehdastyöläisiksi. Tätä maatalousvallankumousta ei pidä sekoittaa 1900-luvulla tapahtuneeseen vihreään vallankumoukseen. Vihreä vallankumous toi käyttöön torjunta-aineet ja keinotekoiset lannoitteet, joista tärkeimpiä olivat typpilannoite, fosfori ja kalkki, jotka vähensivät kesannoinnin ja vuoroviljelyn tarvetta. Osana vihreää vallankumousta olivat myös koneistumisen (traktorit ja puimurit) yleistyminen ja kasvien järjestelmällinen jalostus.

Alkusysäyksiä teolliselle vallankumoukselle antoi se, että Britannian suuria kaupunkeja, kuten Lontoota, ympäröivät metsät oli hakattu paljaiksi. Näin lämmityksessä ja ruoanvalmistuksessa käytettyjen polttopuiden kuljetus ja hinta alkoivat käydä yhä sietämättömämmäksi. Korvaavana polttoaineena alettiin käyttää yhä enemmän sieltä täältä löytynyttä kivihiiiltä. Lähellä maanpintaa olleet esiintymät hyödynnettiin ensin, joten kivihiiiltä jouduttiin ajan myötä louhimaan yhä syvemmältä. Työ oli äärimmäisen vaarallista ja raskasta. Kun kaivokset syvenivät, ongelmaksi tuli kaivosten pohjalle kertynyt vesi. Vuonna 1712 Thomas Newcomen rakensi veden pumppaamiseen tarkoitetun höyrykoneen⁵, joka toimi tietysti kivihiiiltä polttamalla. Newcomenin höyrykoneita rakennettiin Euroopassa lopulta satoja 1700-luvulla ja niitä käytettiin pääosin veden pumppaamiseen pois kivihiiликаivoksista.

Kivihiihille löydettiin muitakin käyttökohteita esimerkiksi raudan valmistuksessa ja myöhemmin kuljetus-

ten energialähteenä. Ympäristön laimeiden energiavirtojen, kuten auringonsäteilyn ja tuulen, sijasta alettiin ammentaa yhä enemmän ympäristöön kerääntyneitä tiiviimpiä ja laadukkaampia energiavaroja. Samalla ihmiskunta alkoi useimpien sitä tajuamatta siirtyä fotosynteesiin perustuneesta orgaanisesta taloudesta mineraalitalouteen. Mineraalitalous näkyi ennen kaikkea fossiilisten polttoaineiden kulutuksen kasvuna, mutta myöhemmin kuvaan tuli mukaan myös ydinenergia. Tällä matkalla ihmiskunta on edelleen.

Fotosynteesi eli yhteyttäminen, jolla kasvit hyödyntävät auringon energiaa ja sitovat sitä kemialliseksi energiaksi (hiilihydraateiksi), on suhteellisen tehoton prosessi. Paikan ja kasvin mukaan auringon energiasta saadaan hyödynnettyä yleensä vähemmän kuin yksi prosentti. Lähes kaikki nykyinen elämä maapallolla on kuitenkin syntynyt fotosynteesistä ja on siitä riippuvaista.

Fossiiliset polttoaineet ovat nekin riippuvaisia fotosynteesistä. Ne ovat yhteyttävien eliöiden vuosimiljoonien aikana varastoimaa kemiallista energiaa. Nämä kasvit ja eliöt ovat aikojen saatossa päätyneet geologisiin olosuhteisiin, joissa bakteerit ja muut organismit eivät päässeet hajottamaan niitä ravinnokseen. Vuosimiljoonien aikana ne tiivistyivät fossiiliseksi polttoaineiksi. Itse asiassa kivihiilen kohdalla kyse oli enemmän siitä, että puuta (esimerkiksi ligniiniä ja sellulosa) hajottavia pieneliöitä ei vielä 300 miljoonaa vuotta sitten ollut ylipäättään olemassa⁶. Tämä on evoluution näkökannalta hieman omituinen sattuma; ravintoa oli yllin kyllin, mutta syöjiä ei ilmaantunut miljooniin vuosiin. Puut kasvoivat ja kaatuivat eivätkä sitten hajonneet vaan kasaantuivat, hautautuivat ja jalostuivat suuressa paineessa ja kuumuudessa pitkän ajan kuluessa kivihiileksi. Ihmiskunnan kehityksen kannalta tämä omituinen sattuma oli avainasemassa⁷. Kivihiihi oli teollisen vallankumouksen alkusysäyksen tärkein avaintekijä. Ilman kivihiihiä ja sen mahdollistamaa kehitystä tekno-

logiassa ja metallurgiassa olisi tuskin otettu laajempaan käyttöön myöskään öljyä tai maakaasua. Teollinen vallankumous olisi todennäköisesti jäänyt tapahtumatta.

Teollisen vallankumouksen palautekytkennät

Teollisessa vallankumouksessa monet asiat vaikuttivat toisiaan vahvistavina palautekytkentöinä. Siirtyminen puupolttoaineesta kivihiileen mahdollisti laadukkaamman raudan valmistamisen esimerkiksi kivihiilikoksin korkeamman palamislämpötilan ansiosta⁸. Laadukkaampi rauta puolestaan tehosti kivihiilen käyttöä. Tehokkaampi kivihiilen käyttö oli edullisempaa, mikä taas loi yhä enemmän uusia käyttökohteita. Tämä lisäsi kivihiilestä riippuvaisen raudantuotannon tarvetta ja epäsuorasti kannusti kehittämään yhä parempia rautalaatuja ja teknologiaa, kuten höyrykoneita ja niiden erilaisia sovelluksia. Teollisessa vallankumouksessa ratkaisevaa olikin, että kivihiili vaikutti moniin asioihin, jotka puolestaan taas suoraan tai epäsuorasti kasvattivat kivihiilen kulu- tusta. Yksi näistä oli kuljetusinfrastruktuuri.

Kivihiilen kuljettaminen oli kallista, sillä jo noin 16 kilometrin matka saattoi kaksinkertaistaa kivihiilen hinnan. Koska hyvälaatuiset esiintymät olivat pistemäisiä, niistä kannatti rakentaa teitä ja muita kuljetusväyliä kulutuskeskukseen. Puunkuljetukseen teitä ei kannattanut rakentaa, sillä puuta korjattiin laajalta alalta. Aluksi kivihiiltä kuljetettiin surkeassa kunnossa olevia teitä pitkin hevosilla tai rattailta, jos tien kunto suinkin sen salli. Teiden tekemiseen ja ylläpitoon perustettiin tullevia kerääviä tieosuuskuntia (*turnpike trust*). Ensimmäinen tieosuuskunta perustettiin vuonna 1663⁹. Tieosuuskuntia oli Englannissa ja Walesissa 1830-luvulla noin 1100¹⁰. Kivihiilen kuljettamiseen alun perin tehdyt tiet palvelivat vähitellen myös yhteiskunnan muita tarpeita. Vuosina 1750–1830 matka-ajat tärkeimpien kaupunkien välillä Englannissa supistuivat noin viidennekseen. Englannissa matkus-

taminen oli siis paljon nopeampaa kuin mannermaissa, kuten Ranskassa. Vaikka tämä voi nykyisin tuntua vähäpätöiseltä tai itsestään selvältä, se oli tuohon aikaan erittäin merkittävä etu koko yhteiskunnalle.

1760-luvulla alettiin Britanniassa rakentaa myös kanava-järjestelmää jokiverkoston täydentämään. Vuonna 1761 avattu Bridgewaterin kanava oli valtava investointi, jonka tarkoitus oli kuljettaa kivihiiltä Manchesteriin. Kanava on 66 kilometriä pitkä ja maksoi yli 22 miljardia puntaa (vuoden 2013 valuutassa). Silti se oli valtava kaupallinen menestys, jonka ansiosta kivihiilen hinta Manchesterissa laski vuodessa puoleen. Tästä menestyksestä alkoi Britannian »kanavamania», jota kesti muutaman vuosikymmenen¹¹. Kanavien rakentaminen oli vuosien, jopa vuosikymmenien valtava investointi, joten projekteja varten kehitettiin myös uusia yhtiö- ja sijoitusmuotoja. Kanavahankkeet olivat luvanvaraisia, ja siksi poliittinen lobbaus rehoitti eri hankkeiden kilpaillessa päättäjien suosiosta.

1800-luvulla alettiin rakentaa myös rautateitä. Rautateiden laajamittainen yleistyminen vaati korkeapainehöyrykoneiden kehittymistä, jotta höyrykoneen tehon ja fyysisen koon suhde saatiin riittävän hyväksi. Rautateiden rakentamisessa tarvittiin kanavien tapaan valtavasti pääomia. Kasvavan talouden ansiosta lainojen takaisinmaksu ei ollut ongelma. Yksi rautateiden talouskasvua tuottavista palautekytkennöistä juontui siitä, että rautatiet synnyttivät taotun raudan ja myöhemmin teräksen tarpeen. Takoraudan valmistaminen edellytti korkeampia lämpötiloja kuin valuraudan valmistaminen. Ilman kivihiiltä ja toisaalta rautateiden luomaa suurta tarvetta ei takorautaa olisi kannattanut valmistaa. Riittävän korkeat lämpötilat puolestaan saavutettiin vain riittävän suurissa tuotantolaitoksissa, joita ei olisi rakennettu puupolttoaineen varaan. Yksi tonni rautaa vaati 30 tonnia puuta rautamalmin pelkistämiseen ja raudan valmistamiseen.

1840-luvulta lähtien rautatiet alkoivat syrjäyttää kanava-verkosta edullisempänä ja nopeampana vaihtoehtona. Tavarankuljetus nopeutui, tehostui ja halpeni 80–95 prosenttia höyrykoneen ja siitä syntyneiden muiden innovaatioiden, kuten rautateiden, ansiosta. Esimerkiksi Lontooseen muuten kuin laivalla kuljetetun tavarankuljetuksen määrä kasvoi keskimäärin lähes kolme prosenttia vuodessa vuosina 1715–1840, eli se yli 35-kertaistui tuona aikana¹². Yhdysvalloissa ja Manner-Euroopassa rautatieverkoston kehittyminen seurasi muutamaa vuosikymmentä myöhemmin.

Rautateiden kehittyminen ja matkustusnopeuden kasvu synnyttivät esimerkiksi aikavyöhykkeiden tarpeen, sillä oli saatava luotua yhtenäinen ja yksikäsitteinen tapa ilmoittaa junan saapumisaika¹³. Ensi kertaa matkustaminen oli niin nopeaa, että aikaeroilla oli käytännön merkitystä. Lisäksi alettiin tarvita rataverkoston ja junien aikataulujen synkronointia. Ratahankkeet, joita Euroopassa 1900-luvulla suunniteltiin myös sotilaallisin perustein, olivat valtavia, joten erilaisten rahoitusjärjestelmien ja yhtiömuotojen tarve kasvoi entisestään. Rataverkostoihin liittyi myös monenlaista maakeinottelua, kun sijoittajat ostivat halvalla maata tulevan radan varrelta ja kehittivät radan varteeseen myöhemmin kaupunkia ja saivat moninkertaisen tuoton alkuperäiselle sijoitukselleen. Professori Gabor Zovanyin mukaan¹⁴ tällöin myös poliittikkoihin alettiin istuttaa »kasvupakkoa». Rataverkkojen ja kaupunkien kehittäjät myötävaikuttivat siihen, että paikallishallintoon valikoitui kasvuun myötämielisesti suhtautuvia poliitikkoja.

Tuotekehityksen ansiosta parantuneet metallit mahdollistivat yhä paremmat koneet ja työkalut, joiden avulla saatiin valmistettua parempilaatuisia tuotteita aina metallirunkoisista höyrylaivoista ja höyryvetureista nauloihin ja neuloihin. Samalla tuotteiden hinnat alenivat, ja kuljetuskustannusten pienentyessä ja kuljetusten nopeutuessa markkinat kasvoi-

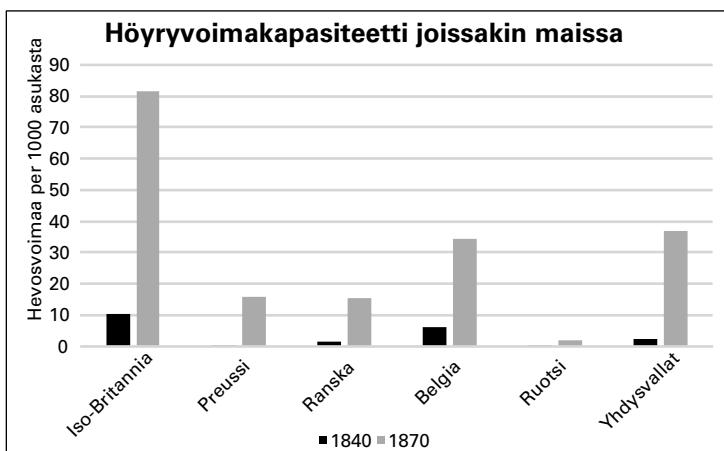
vat. Syntyi kivihiihellä toimiva ja raudasta valmistettua höyrykonetta voimanlähteenään käyttävä teollinen vallankumous. Se katkaisi siteet ihmisen toimintaa ja väestön kokoa vuosituhansia voimakkaasti rajoittaneeseen perinteiseen orgaaniseen talouteen. Fotosynteesiin, maanviljelyyn ja karjatalouteen perustunut orgaanista taloutta rajoittivat näet tiukasti maaperän tuottavuus ja määrä. Mineraalitalous puolestaan hyödynsi paljon tiiviimpiä energiavirtoja, ja sen myötä kehittyneet teknologia ja tiede paransivat myös orgaanisen talouden tuottavuutta valtavasti. Tämä siirsi talouden ja väestön koon rajat kauas tulevaisuuteen.

Euroopan taloushistoriaa tutkineet taloushistorioitsijat ovat päätelleet, että tuuli- ja vesivoiman varassa ei olisi koskaan muodostunut nykyisenkaltaista metalliteollisuutta ja sen mahdollistamaa modernia yhteiskuntaa polttomootori- ja sähkökäyttöisine koneineen ja laitteineen¹⁵. Kivihiihi oli tässä välttämätön välivaihe, eikä siitä ole päästy eroon vieläkään. Päinvastoin, sitä käytetään maailmanlaajuisesti nykyisin enemmän kuin koskaan.

Teollisen vallankumouksen myöhäisemmät vaiheet

Teollinen vallankumous oli voimakkaassa kasvuvaiheessa 1800-luvun puolivälissä ja oli leviämässä Isosta-Britanniasta muualle Eurooppaan sekä Yhdysvaltoihin. Britannia oli kuitenkin ratkaisevasti edellä, ja esimerkiksi Yhdysvalloissa ja Ruotsissa oli runsaasti metsiä polttoaineeksi, joten samanlaista kannustetta kivihiihen käyttöön ei aluksi ollut.

Samalla kun höyrykoneet yleistyvät, myös niiden ominaisuudet kehittyivät. Vuosina 1765–1835 höyrykoneen hyötysuhde eli polttoaineen käytön tehokkuus parani noin kymmenkertaisesti. 1800-luvun puolivälistä alkaen höyrykoneen hyötysuhde ei enää juurikaan kehittynyt, mutta sen jälkeen kehityksen painopiste siirtyi höyrykoneen keventämiseen. 1800-luvun puolivälissä höyrykoneen painon ja tehon



Vuosina 1840–70 höyryvoimakapasiteetti moninkertaistui useassa Euroopan maassa. Myös Yhdysvalloissa kehitys oli voimakasta. Luvuissa ei ole mukana laivojen ja junien höyryvoimaa vaan vain kiinteät höyrykoneet, joita käytettiin lähinnä teollisuudessa ja kaivoksissa. LÄHDE: TAULUKKO 6.3 KIRJASSA KANDER, A. ET AL., (2014), POWER TO THE PEOPLE: ENERGY IN EUROPE OVER THE LAST FIVE CENTURIES (THE PRINCETON ECONOMIC HISTORY OF THE WESTERN WORLD). PRINCETON UNIVERSITY PRESS.

suhde oli noin 0,5 kg per watti. 1800-luvun lopussa parhaiden höyrykoneiden tehon ja massan suhde oli pudonnut viidesosaan, noin 0,1 kg:aan per watti. Höyrykoneen teho painoyksikköä kohden oli 1800-luvun puolivälissä noin kaksinkertainen ihmiseen ja hevoseen nähden, mutta vuosisadan lopussa jo kymmenkertainen. Höyrykoneet eivät koskaan kuitenkaan kehittyneet niin keveiksi, että ne olisivat olleet käytännöllisiä tieliikenteen voimanlähteenä, mutta junien ja laivojen voimanlähteeksi ne olivat riittävän keveitä tehoonsa nähden¹⁶.

Myös merikuljetukset tehostuivat huomattavasti purjelaivojen vaihtuessa höyrykoneella toimiviin aluksiin. Kun vielä 1600-luvun puolivälissä laivoilla kuljetettiin noin kahdeksan tonnia kivihiiltä per merimies, oli määrä noussut 18 ton-

niin 1700-luvun lopulla. 1900-luvulle tultaessa kuljetettiin jo 25–50 tonnia kivihiiltä per merimies¹⁷. Lontoo, josta tuli maailman ensimmäinen ei-aasialainen miljoonakaupunki, oli riippuvainen tästä kehityksestä. Se sijaitsi varsin kaukana kivihiiliesiintymistä, eikä puuta yksinkertaisesti saatu toimitettua riittävästi kaupungin tarpeisiin. Monet Britannian kivihiiliesiintymistä olivat kuitenkin lähellä merenrantaa esimerkiksi Northumberlandissa, Durhamissa ja Tynessä, joten kivihiiltä voitiin kuljettaa Lontooseen vesiteitse. 1800-luvun alussa Lontooseen tuotiin arviolta 1,2 miljoonaa tonnia kivihiiltä vuosittain ja siellä oli noin 950 000 asukasta¹⁸. Näin massiivista kaupunkia ei olisi voinut kehittyä puupolttoaineiden varaan. Lontoon Thamesjoen varrelle syntyneen teollisuuden räjähdysmäinen kasvu oli riippuvaista kivihiilen kulutuksen vastaavasta kasvusta. Jo 1800-luvun puoliväliin mennessä oli Englannin teollisuuden lämmön ja mekaanisen energian tarve niin suuri, että vaikka koko Ison-Britannian maapinta-ala olisi valjastettu polttoainepuun tuotantoon, se ei olisi riittänyt.

Teollinen vallankumous toisensa perään

Höyrykoneen ja kivihiilen hallitseman ensimmäisen teollisen vallankumouksen lisäksi olemme nähneet myös toisen ja kolmannen teollisen vallankumouksen, joiden käsittelyyn emme kirjassa käytä merkittävästi sivuja. Toinen, lähinnä sähköön ja polttomoottoriin nojannut vallankumous tapahtui karkeasti vuosina 1870–1900, mutta sen työn tuottavuutta parantavat vaikutukset jatkuivat 1900-luvun jälkipuoliskolle asti¹⁹. Polttomoottorin teho suhteessa massaan oli yli kymmenkertainen parhaisiinkin höyrykoneisiin verrattuna. Fordin vuonna 1908 markkinoille tulleen Model-T:n moottorin tehon ja massan suhde oli noin 15 grammaa per watti²⁰, ja viimeisen, vuoden 1927 Model-T:n moottori oli vielä tätäkin kolme kertaa tehokkaampi. 2000-luvun autojen

moottorit ovat karkeasti tuhat kertaa ihmistä tehokkaampia suhteessa massaan, sillä niiden teho vaihtelee yhden gramman per watti molemmin puolin. Polttomoottorit syrjäyttivät hevosen sekä maaseudulla että kaupungeissa. Traktorit ja puimurit tehostivat ruoantuotantoa dramaattisesti maaseudulla, ja autot pelastivat kaupungit todella pahaksi äityneeltä hevosenlantaongelmalta, mikä vähensi myös kulku- tauteja merkittävästi.

Huomattavasti tehokkaampi ja luotettavampi sähkömoottori korvasi höyrykoneen monissa kohteissa. Yhdeltä isolta höyrykoneelta eri tuotantopisteille johdettujen tulenarkojen nahkaremmien verkostoon perustunut epäluotettava voimansiirto voitiin korvata useilla pienillä, turvallisemmilla sähkömoottoreilla. Vesi-, viemäri-, maakaasu- ja sähköverkostot levisivät toisen teollisen vallankumouksen aikana vauhdilla etenkin kaupunkeihin ja 1900-luvun puolivälin tienoilla myös maaseudulle. Kynttilät ja öljylamput korvattiin sähkövaloilla, puu- tai hiilikäyttöiset liedet sähkö- tai kaasuliesillä. Tulipalot vähenivät rajusti samalla kun monet raskaat ja aikaa vievät tehtävät, kuten veden, jäteveden ja polttoaineen kantaminen, siirtyivät historiaan. Sähkökäyttöiset vesipumput, pesukoneet ja monet muut kodinkoneet vapauttivat naisia työelämään samoin kuin 1960-luvulla saataville tullut ehkäisytabletti ja sen mahdollistama perhesuunnittelu.

Kolmas teollinen vallankumous perustui elektroniikan ja tietotekniikan työn tuottavuutta kohottavaan vaikutukseen. Automaation merkitys työn tuottavuuden kohottamisessa oli suurimmillaan 1960-luvulla. Internetin ja sähköisen kaupankäynnin vaikutus tuottavuuskehitykseen oli suuri varsinkin vuosina 1996–2003. Kolmannen teollisen vallankumouksen vaikutukset rajoittuivat kuitenkin pienemmille yhteiskunnan sektoreille, ja sen vaikutus esimerkiksi tuottavuuskehitykseen keskimäärin on ollut kahta aiempaa vallankumousta vaatimattomampi.

Uusi, äärimmäisen tärkeä näkökulma länsimaisen yhteiskuntajärjestyksen ja elämäntavan perustuksiin.

MODERNIN YHTEISKUNNAN ja jatkuvan talous-
kasvun takana on huima työn tuottavuuden kehitys,
joka sai alkunsa 1700-luvun puolivälissä
käynnistyneestä teollisesta vallankumouksesta.

Nykyään yksi työntekijä voi hoitaa työt, joihin ennen vaadittiin
satoja ihmisiä. Tarvitaan vain teknologiaa ja sille käyttö-
voimaksi energiaa. Yhä enemmän ja enemmän energiaa.

Ilmastonmuutoksen myötä vanhat keinot eivät
kuitenkaan enää päde. Mikä neuvoksi, kun panoksena ovat
talouden kasvu ja yhteiskunnan vakaus?

Energian aika sukeltaa syvälle yhteiskunnan,
energian ja talouden riippuvuussuhteiden vyyhtiin ja
tarjoaa kiihkottomalla ja monitahoisella pohdinnallaan
avaimet tähän kiperään aiheeseen. Riittääkö
energiantuotannon muutos vai pitääkö muuttaa yhteis-
kunnan peruseräpäätökset?

