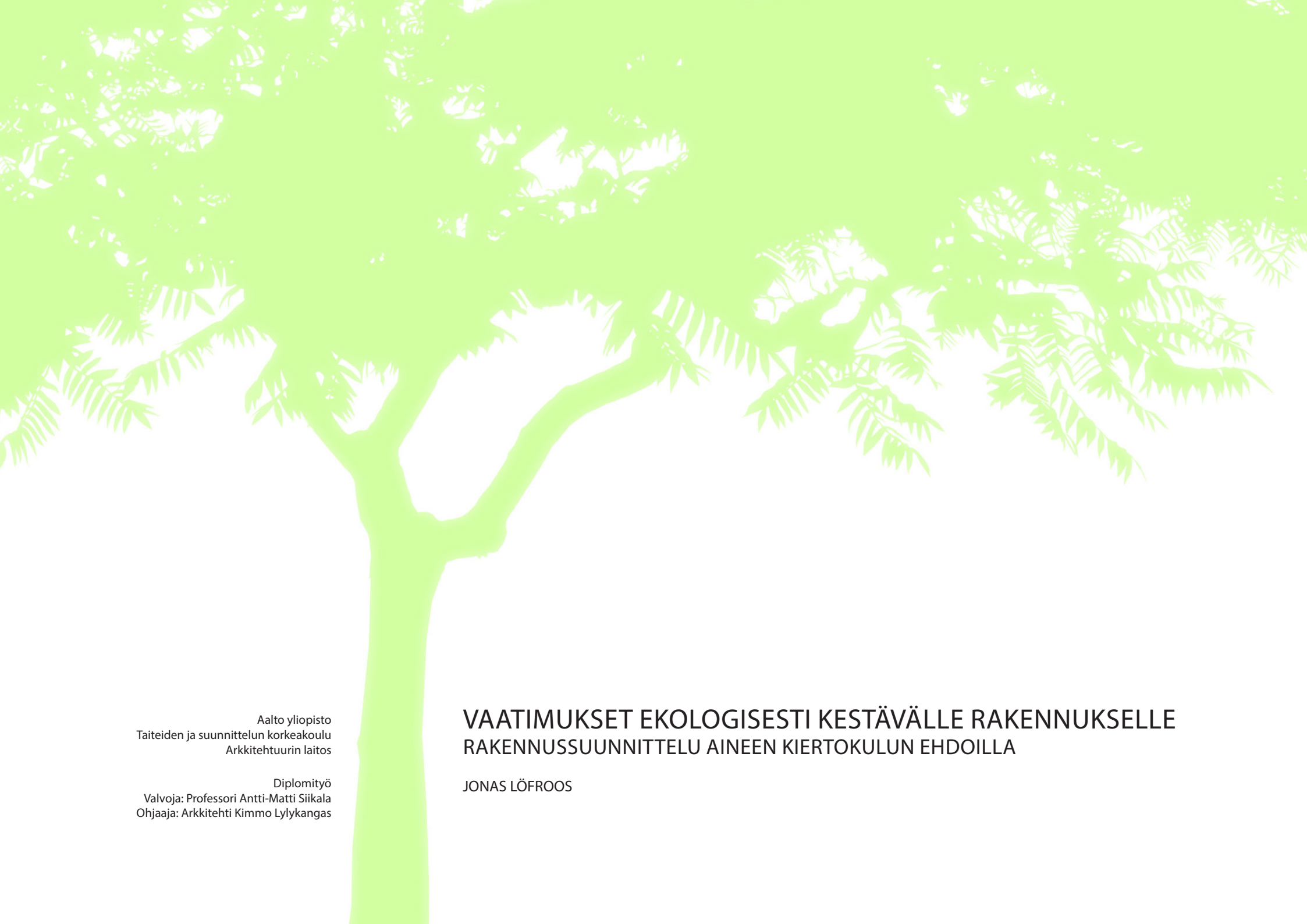




Aalto yliopisto
Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu
Arkkitehtuurin laitos

Diplomityö
Valvoja: Professori Antti-Matti Siikala
Ohjaaja: Arkkitehti Kimmo Lylykangas

VAATIMUKSET EKOLOGISESTI KESTÄVÄLLE RAKENNUKSELLE RAKENNUSSUUNNITTELU AINEEN KIERTOKULUN EHDOKSILLA

JONAS LÖFROOS

Kiitokset diplomityön ohjaajalle Kimmo Lylykankaalle sekä työn valvojalle professori Antti-Matti Siikalalle.

Tack även Per Arne Ivarsson och Joar Nilsson för era insikter.

Thank you Edwin Datschefska and Peter Graham for your clarifying replies to my questions.

Kiitokset tuesta myös perheelleni ja avusta Markus Heinosenle.

Erityiskiitos Lars Mattilalle loputtoman rakentavista keskusteluista ja Cristinalle loputtomasta rakkaudesta.

Kaikki kuvat ja kaaviot tekijän, ellei muuta mainittu.

Paino: Picaset Oy, 2013

VAATIMUKSET EKOLOGISESTI KESTÄVÄLLE RAKENNUKSELLE RAKENNUSSUUNNITTELU AINEEN KIERTOKULUN EHDOKSILLA

Diplomityö Jonas Löfroos

Valvoja: Professori Antti-Matti Siikala

Ohjaaja: Arkkitehti Kimmo Lylykangas

Aalto-yliopisto / Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu / Arkkitehtuurin laitos

*Vaatimukset ekologisesti kestävälle rakennukselle –
Rakennussuunnittelu aineen kiertokulun ehdoilla*

Tekijä: Jonas Löfroos

Päiväys: 13.5.2013

Sivumäärä: 81

Professuuri: Rakennusoppi

Professuurin koodi: A-9

Työn valvoja: Professori Antti-Matti Siikala

Työn ohjaaja: Arkkitehti Kimmo Lylykangas

Avainsanat:

*ekologisesti kestävä rakennus, ekovaikuttavuus,
ekotehokkuus, backcasting, aineen kiertokulku*

TIIVISTELMÄ

Tässä diplomityössä tutkitaan ekologisesti kestävää rakennusta, jonka toteutus, ylläpito, käyttö ja purku eivät aiheuta lainkaan haitallisia ympäristövaikutuksia. Työn lähtökohta on, että ekologisesti kestävä rakennus on saavutettavissa oleva tavoite, ei pelkästään suunta, jota kohti tulisi pyrkiä. Tarkoituksena on tutkia ekologisesti kestävästä rakentamisesta haasteita aineen kiertokulun näkökulmasta. Työ on kirjallisuus-tutkimus, ja siinä painottuvat rakentaminen materiaalien kiertokulun osana sekä rakennussuunnittelun piiriin kuuluvat suunnitteluratkaisut.

Tutkimus on jaettu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa pyritään määrittelemään ekologisesti kestävä tuotteen (mukaan lukien rakennuksen) vaatimukset aineen kiertokulun näkökulmasta. Vaatimuksilla tarkoitetaan välttämätöntä kehitystä, jonka myötä ekologinen kestävyys on saavutettavissa. Toisessa osassa tutkimus pyrkii vaatimusten perusteella kuvaamaan, millainen on ekologisesti kestävä rakennus. Tarkoituksena on esittää, mitä ekologisen kestävyuden vaatimukset rakennustasolla käytännössä tarkoittavat ja millaisiin ratkaisuihin ne johtavat. Kolmannessa osassa arvioidaan sitä, miten näihin vaatimuksiin reagoidaan rakentamismääräyksissä ja muussa rakentamisen ohjauksessa.

Tutkimuksessa hyödynnetään systeemiajattelua ja ns. backcasting-menetelmiä. Systeemiajattelu on ymmärtämisen apuväline, jolla voidaan kuvata monimutkaisen järjestelmien, kuten esimerkiksi biosfäärin tai ekosysteemien, vaikuttavia osia ja näiden toiminnan yhteistulosta. Backcasting on menetelmä, jossa onnistunut lopputulos visioidaan tulevaisuuteen, minkä jälkeen selvitetään, mitä tänään pitää tehdä kyseisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Tutkimuksessa tuodaan esille myös ekovaikuttavuuden (eco-effectiveness) strategia. Ekovaikuttavuudella tavoitellaan suljettuja aineen kiertokulkuja, joissa jatkuvasti ylläpidetään aineen laatua ja käyttökelpoisuutta.

Tutkimuksen tuloksista ilmenee, että ihmisen aiheuttamat ympäristöongelmat johtuvat ihmisen luonnonvarojen käyttötavoista, jotka eivät mahdollista aineen palauttamista biologisen tai teollisen järjestelmän suljettuun ainekiertokulkuun. Ekologisesti kestävää rakennusta ei tulosten perusteella voida ainakaan toistaiseksi saavuttaa, varsinkin kun huomioidaan rakennuksen käytön lisäksi koko rakennusteollisuuden ympäristövaikutukset. Tästä huolimatta rakennussuunnittelun piirissä on paljon parantamisen varaa. Luonnonvarojen määrällistä kulutusta tulee vähentää, mutta lisäksi suunnittelussa on syytä kehittää tapaa, jolla materiaaleja valitaan, käsitellään ja yhdistetään muihin aineisiin; näillä toimenpiteillä on ratkaiseva merkitys aineiden kiertokulkujen sulkemisessa. Tässä tutkimuksessa on esitetty materiaalin käytölle yleisiä suunnitteluperiaatteita, joita noudattamalla on mahdollista pitää aineet suljetuissa kiertokulussa. Energiankulutus ja kasvihuonepäästöt ovat rakentamisen ohjauksessa huomion keskipiste, mutta myös rakentamisessa käytettyihin materiaaleihin ollaan kiinnittämässä huomiota.

*Requirements for an ecologically sustainable building –
Building design based on cyclic material flows*

Author: Jonas Löfroos

Date: 13.5.2013

Pages: 81

Academic Chair: Building Technology

Chair Code: A-9

Supervisor: Professor Antti-Matti Siikala

Instructor: Architect Kimmo Lylykangas

Keywords:

ecologically sustainable building, eco-effectiveness, eco-efficiency, backcasting, cyclic material flows

ABSTRACT

The subject of research in this master's thesis is an ecologically sustainable building that does not cause any harmful environmental effects during building, maintenance, use and deconstruction. The starting point of this research is that an ecologically sustainable building is an achievable goal, not only a direction to strive for. The purpose is to study the challenges of ecologically sustainable building from the perspective of cyclic material flows. The thesis is a literary research and emphasizes building as a part of material cycles and design solutions within the domain of building design.

The research is divided into three parts. The first part concentrates on defining the requirements for an ecologically sustainable product (including a building) from the perspective of cyclic material flows. Requirements in this case are defined as necessary development for achieving ecological sustainability. In the second part the study strives to describe an ecologically sustainable building based on these requirements. The purpose is to present what the requirements for ecological sustainability mean in practical building terms and what kind of solutions they result in. The third part evaluates how these requirements are taken into account in building regulations and other planning guidance.

The study makes use of systems thinking and backcasting methods. Systems thinking is an aid for understanding that can be used to describe effective parts and their combined results of their actions in complicated systems, for example the biosphere or ecosystems. Backcasting is a method where a successful outcome is visualized in the future, after which what needs to be done today to achieve that end result is clarified. The research also highlights the strategy of eco-effectiveness, which strives to achieve closed material cycles, where the quality and usefulness of materials is continually maintained.

The research concludes that environmental problems caused by humans are a result of using natural resources in a way that does not allow material to return to biological or industrial closed material flows. According to the results, an ecologically sustainable building is not yet an achievable goal, especially when environmental impacts of the whole building industry are considered. Regardless, there remains room for improvement within the domain of building design. Apart from reducing use of natural resources, design needs to develop the ways materials are chosen, used and combined with other materials, because these actions are crucial when closing material flows. This study presents general design principles concerning material use. Following them makes it possible to keep material in closed cycles. Energy use and greenhouse gasses is the center of attention in planning guidance, but construction materials are also starting to gain notice.

ALKUSANAT

"I turned to the teeming small creatures that can be held between the thumb and forefinger: the little things that compose the foundation of our ecosystems, the little things, as I like to say, who run the world."

Edward O. Wilson (2007).

Osallistuin Teknillisessä korkeakoulussa ja myöhemmin Aalto-yliopistossa sekä myös Australiassa vaihtopintojeni aikana kestävän rakentamisen kursseille, projekteihin ja suunnittelukilpailuihin. Silti minulle ei koskaan selvinnyt, millainen on nykyaikainen ekologisesti kestävä rakennus, ei edes idea- tai teoriasolla. En nähnyt sellaista luennoilla, vaikka läheltä ja kaukaa saapuneet asiantuntijat esittelivät maailman edistyneimpiä kestävän kehityksen rakennuksia. En onnistunut tuottamaan sellaisia itse, en edes monialaisissa ryhmissä mitä osaavimpien kanssaopiskelijoiden ja ohjaajien yhteistyössä. Lopputulos oli aina jonkinlainen kompromissi, jossa panostettiin vain tiettyyn kestävän rakentamisen osa-alueeseen, kuten energiatehokkuuteen, joustavuuteen tai tietyn materiaalin käyttöön.

Vastaava kompromissien kyllästämä tunne tuli usein vastaan, kun tarkastelin ekologiseen rakentamiseen liittyviä tutkimuksia, kehitysohjelmia ja rakentamismääräyksiä. Vaikutelmani niistä oli, että loputtoman monista ympäristöongelmista huolimatta rakentamisessa huomioidaan lähes pelkästään ilmastomuutos ja siihen vastataan energiatehokkuuden keinoin. On ymmärrettävää, että pyritään vastaamaan tieteellisten

mittausten perusteella tehtyjen arviointien esittämiin uhkaavimpiin ongelmiin, mutta siitä huolimatta suunnittemme ja tuotamme tällä hetkellä rakennuksia, jotka tuhoavat ympäristöä. Uusien rakentamismääräysten myötä rakennukset tulisivat tuhoamaan ympäristöä vain hieman aiempaa hitaammin.

Ekologisesti kestävän rakennuksen etsinnän taustalla oli myös suurempia kysymyksiä. Onko nykyrakentaminen, joka ei tuhoa ympäristöä, edes mahdollista? Onko ihmisen yhteiskunta kenties kasvanut niin suureksi, että ekologinen kestävyys on mahdotonta ja vahingon minimointi ainoa jäljellä oleva keino? Vastaus jälkimmäiseen kysymykseen löytyi yllättävästä paikasta. Braungartin ja McDonough'n (2008) havainnon mukaan muurahaisten yhteenlaskettu biomassa on suurempi kuin ihmisten, ja silti näiden hyönteisten vaikutus ympäristöön on lähes poikkeuksetta ekologisen kestävyuden kannalta myönteinen. Rakentaessaan ympäristöään muurahaiset möyhivät maata, siirtävät mineraaleja ja kierrättävät muiden olentojen jätteitä niin, että muun luonnon kasvuolosuhteet paranevat. (Braungart & McDonough 2008, s. 79.) Ekologinen kestävyys on siis mahdollista ihmisyhteiskunnan suuruudesta huolimatta, ja todiste

löytyy takapihoiltamme. Miksei siis ekologisesti kestävä nykyaikaiset tarpeet täyttävä rakennuskin olisi mahdollinen: rakennus, jonka käyttö ei haittaa ympäristöä ja jonka kaikki materiaalit voivat lopulta palata luonnon tai ihmisen hyötykäyttöön? Mitkä ovat tällaisen rakennuksen suunnitteluvaatimukset?

Ekologisesti kestävän rakennuksen lähtökohtana pitäisi olla, että se on toteuttavissa nykypäivän menetelmillä ja teknologioilla. Sellaisen rakennuksen etsintä loppuisi kuitenkin lyhyeen, jos lähtisin ekologisesti kestävämmän nyky-yhteiskunnan ehdoilla liikkeelle. Rakentaminen aiheuttaa lukuisia haitallisia ympäristövaikutuksia jo ennen valmiin rakennuksen käyttöönottoa. Jo rakennusmateriaalien valmistuksessa ja kuljetuksessa syntyy jätettä ja käytetään energiaa, jonka tuottamisesta aiheutuu haitallisia päästöjä. Nämä eivät kuitenkaan ole valmiin rakennuksen vaan tuotannon ja kuljetuksen ominaisuuksia. Jotta tämä tutkimus ei paisuisi hallitsemattoman laajaksi, päätin tässä tutkimuksessa keskittyä rakennussuunnittelun piiriin kuuluviin ratkaisuihin ja niiden lopputuotteeseen, valmiiseen rakennukseen. Tästä huolimatta työssä esitetyt periaatteet koskevat rakennussuunnittelun ja rakennuksen lisäksi

myös rakentamiseen liittyviä kuljetus-, valmistus- ja korjausprosesseja, vaikka niihin ei erikseen tässä työssä paneuduta.

Ruotsalaisen lääketieteen tohtorin ja The Natural Step-järjestön perustajan, Karl Henrik Robèrtin mukaan (2002) meillä on paljon tietoa kestävästä kehityksestä mutta emme juurikaan ole onnistuneet jäsentämään sitä tietoa päätöksenteolle sopivaksi (Robert 2002, s. 66). Minulle on opiskeluvuosieni varrella annettu runsaasti tietoa kestävästä kehityksestä, mutta varsin vähän sellaista tietoa, josta olisi suoraa hyötyä käytännön rakennussuunnitteluun. Kaipasin nykyistä parempia perusteluja sille, mitä ekologisesti kestävässä rakennussuunnittelussa kannattaa tavoitella energiatehokkuuden lisäksi. Siinä tapauksessa, että ekologisesti kestävä rakennus osoittautuisi käytännössä mahdottomuudeksi, olisin ainakin selvittänyt jonkinlaisen ideaalin tai tavoitteen, jota kohti pyrkiä.

Tällä taustalla päätin ryhtyä ongelmanratkaisun keinoin selvittämään, mitkä ovat ekologisesti kestävästä rakennuksen vaatimukset ja mitä niiden noudattaminen merkitsisi rakennussuunnittelun ratkaisuissa. Tarkoitus

olisi palata ilmastomuutoksen, hiilidioksidilaskelmien ja elinkaarianalyysien täyttämästä keskustelusta yleisemmälle tasolle tarkastelemaan niitä ihmistoiminnan nykypiirteitä, joiden seurauksia kaikki ihmisen aiheuttamat ympäristöhaitat ovat. Lisäksi vertailisin tuloksiani myös yleispiirteisesti rakentamismääräyksiin ja -tavoitteisiin, jolloin ehkä oli pääteltävissä mihin suuntaan niitä ekologisesta näkökulmasta jatkossa kannattaisi kehittää.

Helsingissä 13.5.2013
Jonas Löfroos

”Suunnittelijan tulee tiedostaa seuraamukset, joita kaikella toiminnalla on luonnonympäristöön. Ekologinen tietoisuus auttaa suunnittelijaa ymmärtämään ne syyt ihmiskunnan kehityksessä, jotka ovat huonontaneet ympäristöä. Se auttaa suunnittelijaa kuvailemaan suunnitteluratkaisunsa ekologisten periaatteiden pohjalta.”

Markku Lappalainen (2010, s. 170).

ALKUSANAT

1. JOHDANTO

1.1 Kestävän kehityksen käsite ja nykyrakentamisen ympäristövaikutukset	6
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset	10
1.3 Tutkimusmenetelmät ja teoreettinen viitekehys	12
1.4 Tutkimuksen rajaus	14
1.5 Tutkimuksen rakenne	15

2. EKOLOGISESTI KESTÄVÄN TUOTTEEN VAATIMUKSET

2.1 Planeettamme luonnon, resurssien, luonnonlakien ja ihmisen toiminnan kokonaistarkastelua	23
2.2 Aineen- ja energiankäytön ekologiset vaatimukset ja ehdot	24
2.2.1 Haitallisten aineiden eliminointi	28
2.2.2 Luonnonsuojelu (Ainevarantojen kiertokulku)	30
2.2.3 Ainevarastojen kiertokulku	32
2.2.4 Uusiutuva energia	33
2.3 Ekologisten vaatimusten yhteenveto	34
2.4 Ekologista kestävyyttä tukevia, ei-pakollisia ehtoja	36
2.5 Ekovaikuttavuus ja ekotehokkuus	38

3. VAATIMUSTEN TÄYTTÄMINEN RAKENNUSSUUNNITELUSSA

3.1 Rakennuksen ominaisuudet tuotteena	47
3.2 Ekologisesti kestävä rakennuksen vaatimukset	48
3.2.1 Eri aineresurssien sekoittaminen keskenään	49
3.2.2 Synteettisten aineiden käyttö	50
3.2.3 Ainevarantojen käyttö	52
3.2.4 Ainevarastojen käyttö	54
3.2.5 Energian käyttö	55
3.3 Ekologisesti kestävä rakennuksen ominaisuudet	58

4. EKOLOGINEN KESTÄVYYS RAKENTAMISEN OHJAUKSESSA

4.1 Ekologinen kestävyys rakennuslaissa ja määräyksissä	63
4.2 Ekologinen kestävyys muussa rakentamisen ohjauksessa	64

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

LÄHDELUETTELO

71

76

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO

"When we in the developed world look around at the skyscrapers and motorways, ocean liners and rocketships, we cannot help but marvel at the civilization that has emerged from the industrial revolution. Labor productivity and nature's abundance have brought us a long way. The prosperity we enjoy stands in stark contrast to the deprivation of 1712. Who could possibly question the efficacy of the industrial age? Well perhaps those bearing the cost of the externalities such as the children with cancer and their parents have a question or two. Perhaps the threatened species, could they only speak, would have a question or two. Perhaps the two thirds of humanity who have been left out by the modern industrial system have some questions of us who can enjoy such abundance through sheer accidents of birth. Perhaps those of us who depend on forest and stream, aquifer and ocean for oxygen, water, and food have a question or two. But, wait. Isn't that all of us?"

Ray Anderson, Interface Inc. (2001, s. xi).

Rakentaminen ja rakennusten käyttö aiheuttaa haitallisia ympäristövaikutuksia (Graham 2003, s. 1). Euroopan komission julkaisussa (2002) todetaan, että ympäristökysymyksistä piittaamatonta rakennussuunnittelua ei nykyisin voida pitää hyvänä arkkitehtuurina (Euroopan komissio 2002, s. 1, 11). Maija Hakanen (1993) painottaa Kestävän kehityksen periaatteet asumisen ja yhdyskunnan suunnittelussa -raportissaan, että luonto on ihmisen aineellisen hyvinvoinnin perusta (Hakanen 1993, s. 17). Tämän tiedon perusteella voidaan todeta, että rakennus, joka aiheuttaa haitallisia ympäristövaikutuksia on, huippuarkkitehtuuria tai ei, lopulta myös jokaiselle ihmiselle haitaksi. Meillä on kiireellinen tarve rakentamiselle, joka ei tuhoa ekosysteemejä (Graham 2003, s. 1).

Tämän kirjallisuustutkimuksen lähtökohtana on, että ekologisesti kestävä rakennus on saavutettavissa oleva tavoite, ei pelkästään suunta, johon rakennusten kehittämisessä tulisi pyrkiä. Useat tahot ovat tiivistäneet kestävän kehityksen tavoitteeksi parantaa ihmisten elämänlaatua ylittämättä elämää ylläpitävien ekosysteemien kestävyys (Aminoff & Kontinen 2004, s. 8–9). 2000-luvun alussa Johansson ihmetteli,

kuinka ympäristön sietokyvystä aina puhutaan, vaikkei kukaan todella tiedä, mitä nämä rajat ovat (Johansson 2000, Lindin 2011, s. 15 mukaan). Tässä työssä tätä problematiikkaa pyritään lähestymään lähtökohdasta, joka perustuu ympäristön sietokykyarvioiden sijasta syy-seurausajatteluun. Ekologisesti kestävän rakennuksen osalta tämä tarkoittaa, että jos rakennus ei kuormita luontoa millään haitallisella tavalla, se ei uhkaa luonnon toiminnan jatkuvuutta. Jotta osaamme suunnitella rakennuksia, jotka eivät vaaranna luonnon toiminnan jatkuvuutta, meidän täytyy ensin ymmärtää vaatimukset luonnon toiminnan jatkuvuudelle.

Tässä työssä on olennaista ymmärtää ekologisesti kestävän kehityksen käsite sekä siihen liittyvät vaatimukset. Ekologisen kestävyys yläkäsite, kestävä kehitys (sustainable development), johon sisältyy myös sosiaalinen ja taloudellinen kestävyys, on määritelty kansainvälisessä ISO 15392 Sustainability in building construction — General principles -standardissa tilaksi, joka edellyttää että ihmiset toimivat tavalla, joka suojelee maailman ekosysteemin toimintaa kokonaisuudessaan (ISO 15392 2008, s. 4, suomennos J.L.). Ekologisesti kestävän kehityksen vaatimuksilla tarkoite-

taan tässä työssä välttämätöntä kehitystä, jonka myötä tuo tila, ainakin teoriassa, on saavutettavissa. Kestävä rakennus on kansainvälisessä ISO 21929 Sustainability in building construction — Sustainability indicators -standardissa määritelty rakennukseksi, joka täyttää sen suorituskyyvylle ja toimivuudelle asetetut vaatimukset mahdollisimman vähin haitallisina ympäristövaikutuksina (ISO 21929 2011, s. v, suomennos J.L.). Tässä työssä tavoitteena on kuvata ekologisesti kestävä rakennus, eli toisin sanoen rakennus, jonka toteutus, ylläpito ja käyttö eivät aiheuta lainkaan haitallisia ympäristövaikutuksia. Voidaankin sanoa, että ekologisesti kestävä rakennus on vähintäänkin visionäärinen, mahdollisesti jopa utopistinen tavoite.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on lisätä ekologisesti kestäväan rakentamiseen liittyvää tietoa sekä ottaa kantaa nykypäivän rakentamiseen ja siihen, miten sitä tulisi mahdollisesti kehittää. Tutkimuksessa tarkastellaan ekologisen kestävyuden kannalta välttämätöntä kehitystä ns. systeemiajattelun ja backcasting-menetelmien avulla. Välttämättömän ekologisen kehityksen valossa on mahdollista arvioida muun muassa rakentamismääräysten ja muiden yhteiskunnallisten ohjaus-

keinojen tavoitteita ja vaikuttavuutta. Toisin sanoen työ pyrkii selvittämään vaatimukset luonnon toiminnan jatkuvuudelle, kuvaamaan rakennussuunnittelua, joka perustuu näiden vaatimusten täyttämiseen, sekä arvioimaan miten näihin vaatimuksiin reagoidaan rakentamismääräyksissä ja muussa rakentamisen ohjauksessa. Työssä tarkastellaan rakentamista materiaalien kiertokulun osana sekä rakennussuunnittelun piiriin kuuluvia suunnitteluratkaisuja.

1.1 KESTÄVÄN KEHITYKSEN KÄSITE JA NYKYRAKENTAMISEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Ray Andersonin (2001) mukaan teollisen vallankumouksen alun voi jäljittää yhteen keksintöön, höyrykoneeseen. Tietävästi ensimmäistä kertaa maapallon historiassa ihminen käänsi luonnon resurssit luontoa vastaan. Tavoitteena oli työtehokkuuden parantaminen – enemmän hiiltä, rautaa ja kangasta vähemmällä ihmistyömäärällä. (Anderson 2001, s. x) Höyrykone mahdollisti ihmisyhteiskunnan huiman taloudellisen ja sosiaalisen kehityksen, mutta samalla ihminen alkoi suuressa mittakaavassa laiminlyödä tiettyjä luonnon vaatimuksia, jotka siihen asti olivat varmistaneet tasapainon luonnon ekosysteemeissä. Ympäristötuhojen lisäksi tuleville sukupolville luovutettiin pioneeritalouden (Erat 1994, s. 58) usko rajattomiin luonnon-resursseihin ja rajattomaan taloudelliseen kasvuun (Braungart & McDonough 2008, s. 24).

Pioneeritaloudesta huolimatta 1800- ja 1900-luvun kaikkein epäkritiittisimpinäkin taloudellisen kasvun aikoina moni on puhunut ekologisen kaupunki- ja rakennussuunnittelun, uusiutuvan energian, luomuviljelyn ja terveellisen rakentamisen puolesta. Näihin voidaan ainakin jollain tasolla lukea esimerkiksi Rudolf Steinlerin biodynaaminen maatalous, Ebenezer Howardin puistokaupungit, Frank Lloyd Wrightin orgaaninen arkkitehtuuri ja Buckminster Fullerin materiaalin mini-

mointikokeilut. (Van der Ryn & Cowan 2007, s. 43–47.) Silti edelleen 1900-luvun puolivälissä uskottiin yleisesti luonnonvarojen ehtymättömyyteen, eikä talouden ja ympäristön välisen yhteyden ymmärtäminen vaikuttanut merkittävältä (Hawken 2010, s. 4).

Tiedeyhteisön herääminen ihmisten aiheuttamien ympäristöongelmien haittoihin voidaan yleisesti ajoittaa vuonna 1962 julkaistuu Silent Spring -kirjaan, jossa Rachel Carson todisti maataloudessa käytettyjen myrkkujen tuhoisia vaikutuksia lintukantoihin (mm. Bokalders & Block 2009, s. 8 ja Braungart & McDonough 2008, s. 47). 1970-luvun energiakriisi paljasti resurssien rajallisuuden sekä fossiilisen tuontien energian varassa toimivan yhteiskunnan ja sen talouden haavoittuvuuden ja pakotti miettimään monet asiat uudelleen. Kriisistä huolimatta ainakin Suomessa kiinnostus pienilmastolliseen suunnitteluun, perinteisiin rakennusmateriaaleihin ja aurinkoarkkitehtuuriin väheni 1980-luvulla energian hintojen romahdettua. (Erat 1995, s. 2 ja Hakanen 1993, s. 31.)

Energiakriisi ja huoli tulevasta jätti kuitenkin jälkensä, ja 1980-luvulla ympäristötoiminnasta kasvoi laajempi kestävä kehityksen liike (Van der Ryn & Cowan 2007, s. 46). YK:n ensimmäinen ympäristökonferenssi

pidettiin 1972 Tukholmassa, ja kansainvälinen luonnonsuojeluliitto toi käsitteen kestävä kehityksen periaatteista julkisuuteen vuonna 1980. Vuonna 1987 käsite vakiinnutettiin Brundtland-komission raportissa 'tarpeitamme täyttäväksi kehitykseksi, joka ei estä tulevien sukupolvien mahdollisuuksia omien tarpeidensa täyttämiseen'. Sitten useat tahot ovat tiivistäneet kestävä kehityksen tavoitteeksi parantaa ihmisten elämänlaatua ylittämättä elämää ylläpitävien ekosysteemien kestävyttä (Aminoff & Kontinen 2004, s. 8-9).

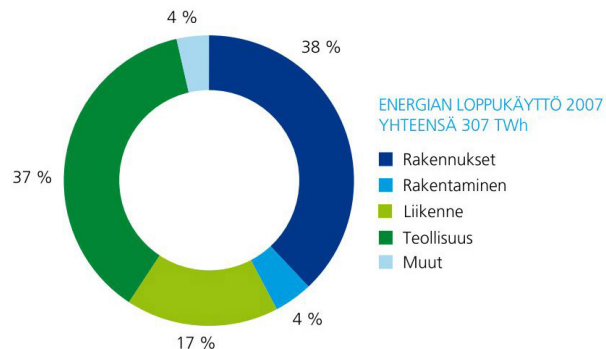
Aminoffin ja Kontisen (2004) mukaan Suomen ja 117 muun valtion vuonna 1992 Rio de Janeirossa allekirjoittama YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssin Agenda 21:tä on syytä pitää ympäristönsuojelun ja kestävä kehityksen toistaiseksi merkittävimpana aloitteena. Kaikki osallistujat olivat yksimielisiä siitä, että kestävä kehitys ja ympäristö kuuluvat olennaisesti yhteen. Rion julistus on suositus, joka sitoo valtioita poliittisesti. (Aminoff & Kontinen 2004, s. 10.)

1990-luvulta lähtien muun muassa resurssipula, ympäristöongelmat sekä näistä aiheutuvat terveydelliset, taloudelliset ja poliittiset haasteet ovat nostaneet kestävä kehityksen osaksi monen valtion keskeisiä tulevaisuudentavoitteita (vrt. Euroopan Komissio 2002,

"The elements of human design are entwined with and depend upon the natural world, with broad and diverse implications at every scale. Expand design considerations and recognize distant effects."

Michael Braungart & William McDonough (2008, s. 123).

s. 1). Myös Suomessa hallitus on linjannut kestävän kehityksen politiikkaa jo vuodesta 1990 alkaen. Kestävän kehityksen strategioita ja ohjelmia on laadittu vuoden 1992 Rion konferenssin sitoumusten ohjaamana. (Ympäristöministeriö 2012.) Rakennuslalle on asetettu resurssien kulutusta vähentäviä määräyksiä, sillä rakennusten ympäristövaikutukset yhteiskunnassamme ovat merkittäviä. Rakennusten energiankulutus vie nykyisin noin 40 % kokonaiskulutuksesta (kuva 1) ja rakentamiseen käytetään maassamme eniten luonnonvaroja suhteessa muuhun tuotantoon (kuva 2).

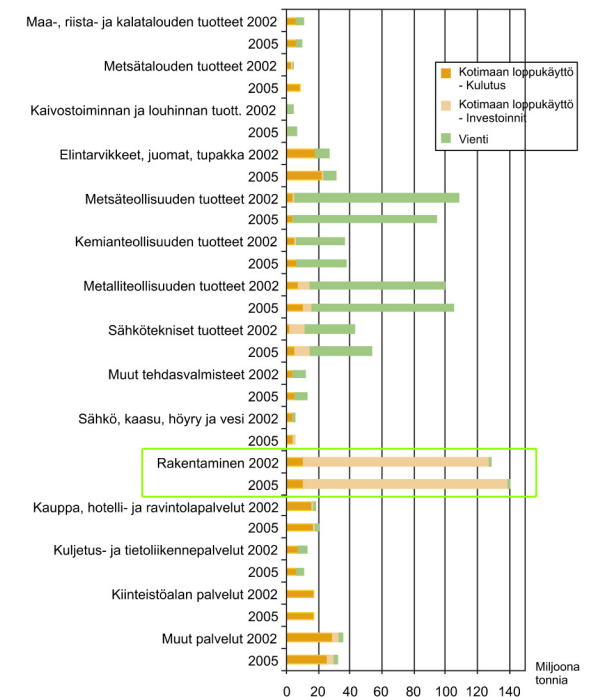


Kuva 1. Rakennusten ja rakentamisen energiankulutus muodostaa yli 40 % Suomen kokonaiskulutuksesta. Martinkauppi (toim.) (2010, s. 24).

Kestävää rakentamista koskevien tavoitteiden ja määräysten laadinnan yhteydessä tehdään merkittäviä päätöksiä, jotka ohjaavat suomalaista rakentamista tiettyyn suuntaan. Tämän valitun suunnan on syytä olla varsinkin ekologisen kestävyysnäkemyksen kannalta perusteltu, sillä teollisen vallankumouksen synnyttämä ekologisesti kestävä kehitys ja sen aiheuttamat monet nykypäivän ympäristöongelmat ovat kiireellisiä toimenpiteitä vaativia ja seurauksiltaan vakavia.

Grahamin (2003) mukaan teollisesta vallankumouksesta lähtien ihmisteollisuuden kasautuvat ympäristövaikutukset ovat horjuttaneet planetaarista ainekiertoa. Epätäydellinen ainekierto on aiheuttanut ekologisia ja ilmastollisia muutoksia. Nämä muutokset puolestaan alkavat paljastaa rajoja ihmistalouksien vakauteen ja kasvuun. (Graham 2003, s. 86.)

Minkälaisista rakentamisesta, joka noudattaa planetaarisen ainekierron vaatimuksia?



Kuva 2. Suomen luonnonvarojen kokonaiskäyttö loppu- tuoteryhmittäin jaettuna lopputuotteen käytön mukaan vuosina 2002 ja 2005. Rakentamiseen käytetään eniten luonnonvaroja. Seppälä, Mäenpää, Koskela, Mattila, Nissinen, Katajajuuri, Härmä, Korhonen, Saarinen & Virtanen 2009, s. 24.

1.2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mitkä ovat ekologisesti kestävänn rakennuksen vaatimukset ja minkälaisia suunnitteluratkaisuja vaatimusten täyttämisen edellyttää. Työn tavoitteena on myös pääpiirteittäin arvioida rakentamisen normiohjausta Suomessa suhteessa ekologisesti kestävänn rakennuksen vaatimuksiin.

Tutkimustehtävää lähestytään seuraavien tutkimuskysymysten avulla:

- Mitkä ovat ekologisesti kestävänn rakennuksen vaatimukset?
- Minkälaisia suunnitteluratkaisuja vaatimusten täyttämisen edellyttää?
- Miten ekologisen kestävyuden vaatimukset huomioidaan rakentamisen ohjauksessa?

“Up to now, much of the debate over the environment has had the character of monkey chatter amongst the withering leaves of a dying tree – the leaves representing specific, isolated problems. We are confronted with a series of seemingly unrelated questions: Is the greenhouse effect really a threat, or will it actually prevent another ice age? Do catalytic converters on cars filter out toxic emissions, or do they cause even more damage to the ozone layer than freon? [...] In the midst of all this chatter about the leaves, very few of us have been paying attention to the environment’s trunk and branches. They are deteriorating as a result of processes about which there is little or no controversy; and the thousands of individual problems that are the subject of so much debate are, in fact, manifestations of systemic errors that are undermining the foundations of human society. There has been a basic scientific agreement about the causes of that deterioration for nearly half a century, and it should be possible to anchor key decisions affecting society in that scientific consensus. We must learn to deal with environmental problems at the systemic level; if we heal the trunk and the branches, the benefits for the leaves will follow naturally.”

Tohtori Karl Henrik Robèrt (1991, s. 10).

Tutkimuksen keskeiset käsitteet

Ekologisesti kestävä rakennus on rakennus, jonka toteutus, ylläpito, käyttö ja purku ei aiheuta lainkaan haitallisia ympäristövaikutuksia.

Ekologisen kestävyysvaatimukset ovat välttämätöntä kehitystä, jonka myötä ekologinen kestävyys on saavutettavissa. Vaatimukset vastaavat The Natural Step-järjestön strategisen kestävä kehityksen viitekehyksen periaatteita (The Four System Conditions required for sustainability) (Robèrt 2002, s. 246).

Ainevarastot ovat uusiutumattomia aineita, ehtyviä resursseja kuten metallit ja hiili, joiden käyttö vähentää hyödyntämismahdollisuuksia tulevaisuudessa.

Ainevarannot ovat uusiutuvia aineita, jaksottaisia resursseja kuten puu ja kasvit, joiden liiallinen käyttö vähentää hyödyntämismahdollisuuksia tulevaisuudessa.

Energiavirtaukset ovat aurinko-, tuuli- ja veden virtausenergiaa. Ne ovat ehtymättömiä resursseja, joiden käyttö ei vähennä hyödyntämismahdollisuuksia tulevaisuudessa.

Ainevarastot, ainevarannot ja energiovirtaukset (arkkitehti Hans Grönlund, Bokaldersin & Blockin 2009, s. 18 mukaan).

Teoreettinen viitekehys

Tämä työ on kirjallisuustutkimus. Tutkimus pohjautuu kansainvälisen ja monialaisen The Natural Step-järjestön vertaisarvioituun ja laajasti tunnustettuun tutkimukseen ympäristökriisin perimmäisistä syistä. Järjestön perustajan, alun perin arvostettuna syöpä-tutkijana tunnetun tohtori Karl Henrik Robèrtin tutkimustoiminnalla on ollut merkittävä vaikutus Ruotsin päättäjiin, elinkeinoelämään ja kansalaisiin. (Van Der Ryn & Cowan 2007, s. 64.) Tutkimus hyödyntää aiheiden käsittelyssä The Natural Step-järjestön menetelmiä kuten systeemiajattelu ja backcasting, joita perustellaan edellä. Tutkimuksen keskeisenä viitekehyksenä on myös ekovaikuttavuuden (eco effectiveness) strategia. Käsitteen ovat kehittäneet kemisti Michael Braungart ja arkkitehti William McDonough. Ekovaikuttavuudella tavoitellaan suljettuja aineen kiertokulkuja, jossa jatkuvasti ylläpidetään aineen laatua ja käyttökelpoisuutta. (Braungart, McDonough & Bollinger 2006, s. 1–2.) Ekovaikuttavuus on tätä työtä varten tehdyn aineisto-haun perusteella toistaiseksi lähes tuntematon käsite suomalaisessa kestävä rakentamisen tutkimuksessa.

Tämän työn jokaisessa vaiheessa on pyritty noudattamaan eettisiä ratkaisuja. Tämä tarkoittaa sitä, että tutkimus pyrkii totuuteen ja puolustaa sitä (ks. Viljanen 1986, s. 98).

1.3 TUTKIMUSMENETELMÄT JA TEOREETTINEN VIITEKEHYKYS

Systeemiajattelu

Aronsonin (1996) mukaan systeemiajattelu on ymmärtämisen apuväline, jolla voidaan kuvata monimutkaisen järjestelmien, kuten esimerkiksi biosfäärin tai ekosysteemien, vaikuttavia osia ja näiden toiminnan yhteistulosta. Perinteisestä analyysistä poiketen systeemiajattelu ei pyri jakamaan tutkittavaa kohdetta osiin ja tarkastelemaan niitä yksitellen, vaan tähtää sen sijaan ymmärtämään kokonaisuutta. (Aronson 1996, s. 1.) Ilman systeemiajattelua on helppo eksyä monimutkaisen järjestelmän yksityiskohtiin ja käyttää paljon aikaa ja resursseja tietyn ongelman ratkaisemiseen, vain huomataksaan, että on onnistunut luomaan toisen ongelman. Esimerkiksi tavanomaisessa kapeakatseisessa yrityksessä torjua tuholaisia myrkyillä saatetaan vahvistaa tuholaislajin luonnollisen vihollislajin kantaa ja siten altistaa entistä pahemmille tuholaishyökkäyksille (Aronson 1996, s. 2). Samalla myös myrkyä käyttä voi luoda uusia, odottamattomia ongelmia.

Systeemiajattelussa monimutkaista järjestelmää voi ajatella puuna (kuva 3), jossa runko ja oksat vastaavat järjestelmän keskeisiä periaatteita (esimerkiksi shakkipelin säännöt) ja lehdet kaikkia yksityiskohtia, kuten yksittäisiä ongelmia ja niiden välisiä suhteita (kaikki pelin sääntöjen mahdollistamat siirrot ja strategiat) (Robert 2002, s. 18). Oikeaoppisen toimimisen tai shakin pelaamisen kannalta riittää, että tuntee säännöt, eikä kaikkia siirtoja ja niiden vaikutuksia tarvitse tai edes voi etukäteen osata. Samalla tavalla palapelin ratkaisemista ei kannata lähestyä puun lehtien tasolta (eli

Monimutkainen lehtitaso

Järjestelmän yksityiskohdat, ongelmat ja niiden väliset suhteet...

... joita ei tunneta riittävän hyvin
... joista ollaan eri mieltä
... joita muuttamalla ei voi ratkaista runkotason ongelmia.

Esimerkiksi

- shakkipelin kaikki mahdolliset siirrot
- rakennusten kaikki ympäristövaikutukset.

Yksinkertainen runkotaso

Järjestelmän keskeiset kantavat periaatteet...

... jotka perustuvat tieteellisesti todistettuun tietoon
... joista voidaan olla yksimielisiä
... joita muuttamalla voi ratkaista lehtitason ongelmia.

Esimerkiksi

- shakkipelin säännöt
- ekologisesti kestävä rakennuksen vaatimukset.

Kuva 3. Monimutkaisen järjestelmän kaksi tasoa. Systeemiajattelussa on perinteistä analyysia helpompi keskittyä järjestelmän kannalta olennaisiin asioihin ja välttää eksymistä järjestelmän yksityiskohtiin. Kuva perustuu Robèrtin (2002) systeemiajattelun kuvaukseen.

valita satunnaisesti palapelin palasia ja yrittää yksitellen päätellä, mihin ne kuuluvat), vaan ensin on syytä palata rungon tasolle kokoamalla kulma- ja reunapalat yhteen, jotta yhteinen kehys ja lähtökohta kaikelle muulle selkenee. (Robèrt 2002, s. 19.) Systeemiajattelusta on hyötyä monimutkaisten järjestelmien tarkastelun lisäksi esimerkiksi tapauksissa, joissa ratkaisut eivät ole selviä, sekä tapauksissa jossa ongelmat ovat toistuvia tai aiemmat yritykset niiden ratkaisemiseksi eivät ole toimineet (Aronson 1996, s. 1).

Ekologisen kestävyys aiheessa on helppo eksyä kiistelemään yksityiskohdista. Rakennuksista aiheutuvia ympäristövaikutuksia on enemmän kuin mitä voimme

tietää (Graham 2003, s. 82). Esimerkiksi energiantuotannossa, joka on vain osa koko ekologisen kestävyys aiheesta, on mahdollista väitellä muun muassa aurinkosähkön, tuulisähkön tai öljyn puolesta tai niitä vastaan. Aurinkosähköpaneelit sisältävät kyseenalaisia aineita ja ovat verrattain tehottomia. Tuulivoimalat haittaavat lintuja, tuottavat melua ja muuttavat maisemaa. Öljyn polttaminen ja jalostaminen aiheuttaa lukuisia ympäristöongelmia. Nämä ovat kaikki ekologisen kestävyys kannalta merkittäviä yksityiskohtia (kuva 3, yläosa), mutta ne ovat myös monimutkaisia, hämmentäviä ja poliittisesti jännittyneitä aiheita. Ilman yhteistä tietopohjaa (kuva 3, alaosa), jonka sisällöstä kaikki voivat olla samaa mieltä, ei ole mahdollista

lähestyä yksityiskohtia. (The Natural Step 2013 [1].)

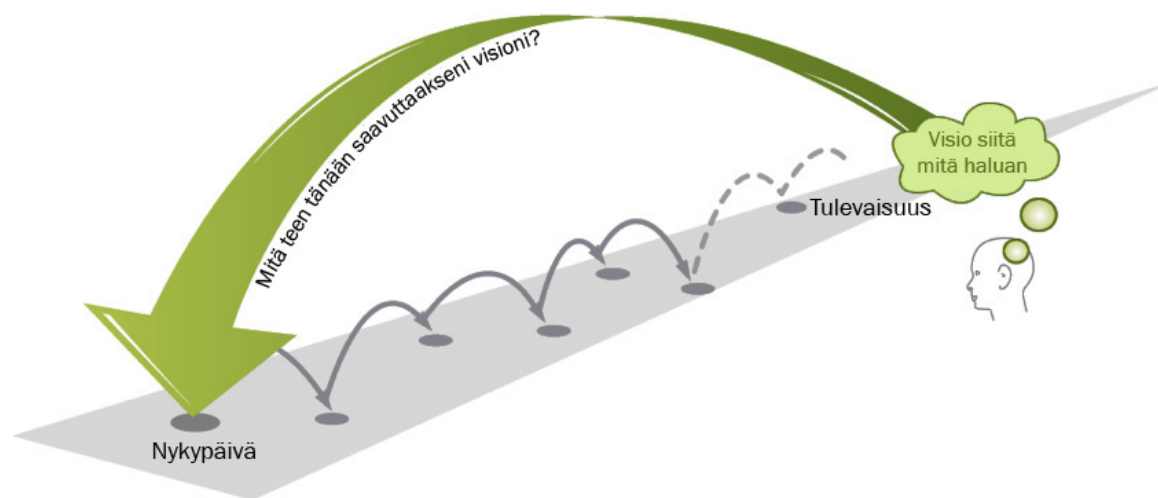
Tässä tutkimuksessa ekologisen kestävyuden vaatimukset muodostavat tietopohjan, josta on mahdollista siirtyä käsittelemään rakentamiseen liittyviä yksityiskohtaisempia aiheita. Vaatimuksia voi verrata pelin sääntöihin, joita ilman ei pääse kovinkaan pitkälle. Yhteisen tietopohjan asettaminen on myös askel, joka hyvin usein ohitetaan, kun yritetään luoda strategia kohti kestävä kehitystä. (The Natural Step 2013 [1].) Jos varmistamatta oletetaan, että kaikilla on sama ymmärrys toivotusta päämäärästä ja siihen liittyvistä periaatteista, myöhemmin saavutetusta päämäärästä on helppo olla eri mieltä.

Backcasting

Tavanomainen tapa suunnitella on analysoida menneisyyttä, tarkistaa, mitä tällä hetkellä tapahtuu, ja tämän perusteella yrittää hahmottaa tulevaisuuden ongelmia, jotta ne voidaan ratkaista (Robèrt 2002, s. 102). Luonnon järjestelmät ovat kuitenkin monimutkaisia ja epälineaarisia, ja vaikka ymmärrämme yhä enemmän, miten ne toimivat periaatteellisella tasolla, emme edelleenkään esimerkiksi pysty ennustamaan säätä. Silti yritämme kuvata näitä järjestelmiä ja ennustaa, miten ne tulevat käyttäytymään, laatimalla malleja, jotka perustuvat arvioihin ja yksinkertaistuksiin. (The Natural Step 2013 [2].) Kestävän kehityksen kannalta tällainen vallitsevista olosuhteista lähtevä ja ennusteisiin luottava suunnittelu

johtaa usein rajoittuneisiin suunnitteluvaihtoehtoihin ja saattaa heijastaa nykyongelmat tulevaisuuteen. On riskialtista perustaa suunnitteluratkaisut nykypäivän verojen, polttoaineiden, energiajärjestelmien tai uusiutuvien energiahintojen varaan, sillä monet näistä trendeistä ovat itsessään osa kestäättömyyden ongelmaa. (Robèrt 2002, s. 102.)

Robèrtin (2002, s. 102) mukaan ns. backcasting (vrt. forecast) on tarkoituksenmukainen keino lähestyä kestävä kehitystä. Backcasting on menetelmä, jossa onnistunut lopputulos visioidaan tulevaisuuteen, minkä jälkeen selvitetään, mitä tänään pitää tehdä kyseisen lopputuloksen saavuttamiseksi (kuva 4) (Holmberg 1998, s. 1). Tämän tutkimuksen visio onnistuneesta lopputuloksesta on ekologisesti kestävä rakennus, jossa ekologisen kestävyuden vaatimukset on täytetty. Ekologisesti kestävä rakennuksen aikaansaamiseksi näitä periaatteita tai vaatimuksia ei saa rikkoa. Ei ole tiedossa miltä tämänkaltaisen rakennus näyttää, mutta on mahdollista määritellä onnistuneen lopputuloksen ominaisuudet periaatteellisella tasolla. Tällainen backcasting, jonka vision pohjana ovat tietyt vaatimukset, muistuttaa shakkia – ei voida tarkalleen tietää, miltä voittoasetelma eli onnistunut lopputulos tulee näyttämään, mutta tiedetään shakkimatin vaatimukset ja pidetään ne pelin aikana jatkuvasti mielessä. (The Natural Step 2013 [2].)

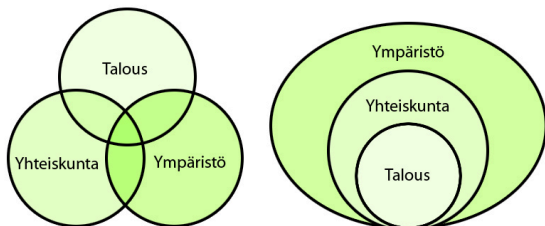


Kuva 4. Backcastingin periaate. The Natural Step 2013. Kuvan tekstit suomentanut J.L.

1.4 TUTKIMUKSEN RAJAUS

Hakasen (1993) mukaan ekologisesti kestäväälle asumiselle ei ole olemassa yhtä yksittäistä patenttiratkaisua, sillä se on usean (muun muassa teknisen, materiaallisen, sosiaalisen ja taloudellisen) tekijän muodostama kokonaisuus. Ekologisesti kestävässä asumisessa asuntoa ei voida erottaa rakennuksesta, rakennusta rakennuspai- kasta, rakennuspaikkaa yhdyskunnasta ja niin edelleen. Ongelmaa ja kokonaisuutta voidaan kuitenkin tarkas- tella jostakin näkökulmasta, joltakin tarkastelutasolta kerrallaan. (Hakaniemi 1993, s. 13)

Tämä tutkimus tarkastelee rakennusten ekologista kestävyyttä rakennussuunnittelijan vaikutuspiirin näkö- kulmasta. Työn rajauksen avainsanat ovat ekologinen kestävyys, suunnitteluprosessin alkuvaiheen päätökset ja ongelmien ratkaiseminen lähteellä sekä rakennus- suunnittelijan välitön vaikutuspiiri. Seuraavaksi perus- tellaan näitä rajoituksia.



Kuva 5. Kaksi vaihtoehtoista näkemystä kestävästä kehi- tyksestä. Kuva perustuu Grossmanin (2011) kuvaan.

Unless we halted the destruction of the environment, we were headed for a disastrous endpoint: toxic waste, poverty, and social despair. Politically this issue was usually dealt with as if the alternatives would be green leaves, happy birds, and poor people on the one hand (sustainability) and somewhat dirtier leaves and not-so-happy birds but rich people on the other (non-sustainability). But non-sustainability really meant that we would lose it all.

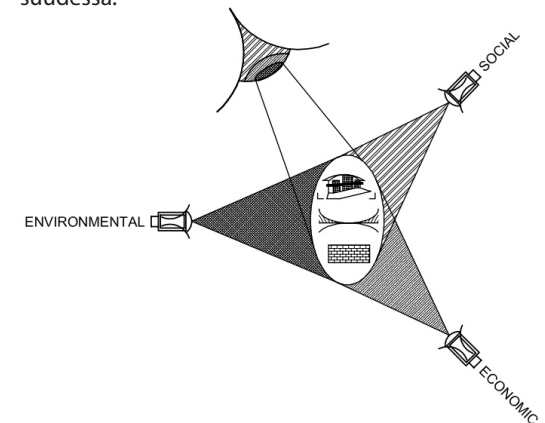
Tohtori Karl Henrik Robèrt (2002).

Rajaus 1: Ekologinen kestävyys

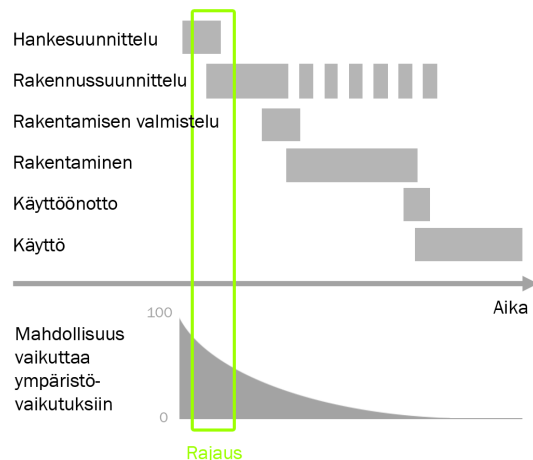
Kestävä kehitys mielletään ja esitetään usein kehi- tyksen peruspilarien kolmioasetelmana, jossa ympä- ristö, yhteiskunta ja talous eriytettyinä tasavertaisina kokonaisuuksina kohtaavat keskellä (kuva 5, vasen kuvio) (mm. ISO 15392:2008 s. 6.) Sustainable Silicon Valleyn toimitusjohtajan Grossmanin (2011) mukaan tämä asetelma on harhaanjohtava. Todellisuudessa talous on *osa* yhteiskuntaa ja yhteiskunta puolestaan on *osa* ympäristöstä (Grossman 2011, myös Bokalders & Block 2009, s. 21) (kuva 5, oikea kuvio). Sosiaalinen ja taloudellinen kestävyys on mahdotonta ilman toimivaa biosfääriä (Graham 2003, s. 177). Toisin sanoen ihmisten yhteiskunta ja talous ovat täysin riippuvaisia ympäris- töstä. Vastaavasti voidaan todeta, että toimiakseen ympäristö ei ole riippuvainen ihmisen yhteiskunnasta tai taloudesta. Ekologinen kestävyys on välttämätön sekä yhteiskunnallisen että taloudellisen kestävyys saavuttamiseksi, mutta ekologinen kestävyys itsessään ei oletusarvoisesti edellytä yhteiskunnallista tai talou- dellista kestävyyttä.

Kuvan 5 oikeanpuoleisen kuvion esittämään näkemys- seen ja ekologisen kestävyys välttämättömyyteen perustuen tämä tutkimus rajautuu rakennusten ekolo- gisen kestävyys tarkasteluun. Toisesta näkökul- masta tarkasteltuna työn johtopäätökset voisivat olla

erilaisia (kuva 6). Ekologisen, yhteiskunnallisen ja talo- udellisten kestävyys keskeisistä riippuvuussuhteista johtuen työssä tuodaan kuitenkin tarvittaessa esille myös muita kuin ekologistia näkökulmia. Esimerkiksi ajan myötä ekologisella kestävyydellä on väistämättä myönteisiä vaikutuksia sosiaaliseen ja taloudelliseen kehitykseen. Esimerkiksi kestäväällä metsänhoidolla voidaan taata puuteollisuuden toiminta myös tulevai- suudessa.



Kuva 6. Riippuen tutkijan yksilöllisestä tarkastusnäkökul- masta ja painotuksesta samasta tiedosta on mahdollista vetää erilaisia johtopäätöksiä (ISO 15392:2008, s. 12). Tässä työssä rajaudutaan ympäristönäkökulmaan.



Kuva 7. Merkittävimmät rakennusten ympäristövaikutuksiin vaikuttavat päätökset tehdään rakennuksen hanke- ja suunnitteluvaiheissa. Työn rajauksen ulkopuolelle jäävä hanksuunnittelun osa koskee lähinnä rakennuksen tarveselvitystä: jos hanketta ei toteuteta, siitä ei myöskään aiheudu ympäristövaikutuksia. Kuvan sisältöä on muokattu eri lähteiden perusteella. Alkuperäiset kuvat: Koskenvesa & Mäki (2006, s. 6) sekä Graham (2003, s. 219).



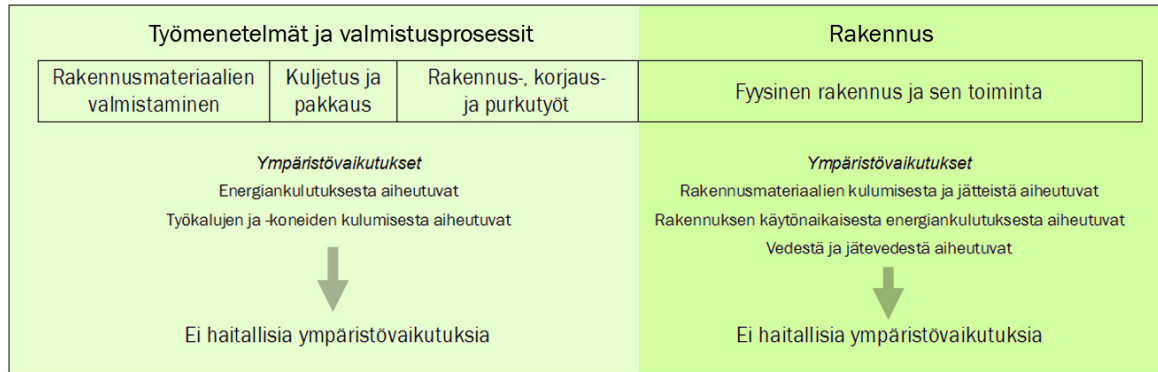
Kuva 8. Ekologisesti kestävän rakennuksen vaatimusten täyttämisen ja rikkomisen seuraukset.

Rajaus2: Rakennushankkeen alkuvaiheen päätökset ja ongelmien ratkaisu lähteellä

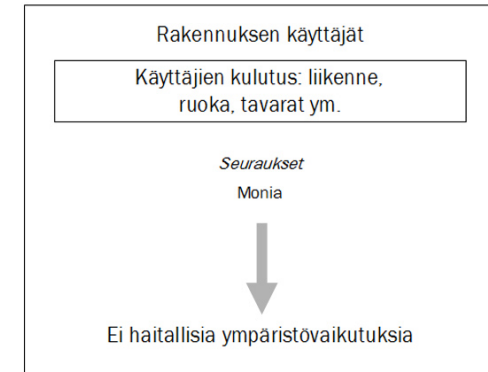
Tutkimus rajautuu käsittämään rakennushankkeen alkuvaiheet, painottaen erityisesti hankkeen suunnitteluvaiheiden asettamisvaihetta, jossa tehdään ympäristön ja rakennusprosessin kannalta suurimmat päätökset (kuva 7). Työ keskittyy strategisesti merkittäviin ekologisesti kestävän rakentamisen aiheisiin ja kokonaisuuksiin, eikä tarkoituksena ole esimerkiksi tuottaa nykyistä kestävämpiä tarkkoja rakennusdetaljeja. Hakasen (1993) mukaan yhdyskuntien kehittäminen kohti ekologisesti kestävämpää suuntaa vaatii sekä kokonaisuuden ymmärtämistä (esimerkiksi ekosysteemit) että yksityiskohtien innovaatioita (esimerkiksi asumisen

tekniset ratkaisut). Kokonaisuuden ymmärtäminen auttaa ymmärtämään osia, ja samalla se voi olla keino saada ylimääräisiä hyötyjä, kun yhdellä toimenpiteellä voidaan vaikuttaa useaan ongelmaan. (Hakanen 1993, s. 13.) Jos rakennus esimerkiksi alun perin suunnitellaan ja rakennetaan ekologisesti kestävästä ja terveellisistä materiaaleista, voidaan samalla ennaltaehkäistä lukuisia ympäristöön ja terveyteen liittyviä ongelmia, joita saattaisi esiintyä, mikäli materiaalivalinnat olisi tehty toisin. Ongelmien ratkaiseminen niiden syntylähteellä on erityisen arvokasta, kun kyseessä ovat rakennuksen ja ekosysteemin väliset monimutkaiset prosessit, joiden toimintaa ja vaikutuksia ihminen tuskin koskaan tulee täydellisesti ymmärtämään (kuva 8).

EKOLOGISESTI KESTÄVÄ RAKENNUS



EKOLOGISESTI KESTÄVÄ ELÄMÄNTAPA



Kuva 9. Tutkimus keskittyy ekologisesti kestävään rakennussuunnitteluun ja sen lopputuotteeseen (tummemmalla vihreällä esitetty), mutta esitettyjä vaatimuksia on myös noudatettava rakentamiseen kuuluvissa työmenetelmissä ja valmistusprosesseissa.

Rajaus 3: Ekologisesti kestävä rakennussuunnittelu

Rakennus on systeemi, joka voidaan "rajata tietämisen ja tarkastelun kohteeksi" (Hakanen 1993, s. 18). Tämä työ rajautuu rakennussuunnitelman fyysiseen lopputuotteeseen eli toteutuneeseen rakennukseen ja siihen liittyvään energia- ja ainehuoltoon, johon rakennussuunnittelija voi työssään suoraan vaikuttaa. Kestävä rakennus edellyttää myös kestäviä työmenetelmiä ja valmistusprosesseja, mutta tässä työssä keskitytään käsittelemään rakennuksen suunnitteluperiaatteita (kuva 9). Ekologisesti kestävät työmenetelmät ja valmistusprosessit ovat kokonaan oma haasteensa, eikä niiden kehittäminen ole rakennussuunnittelijan vallassa. Tässä työssä kuvattuja ekologisen kestävyysvaatimuksia tulisi silti myös noudattaa rakentamiseen liittyvissä työmenetelmissä.

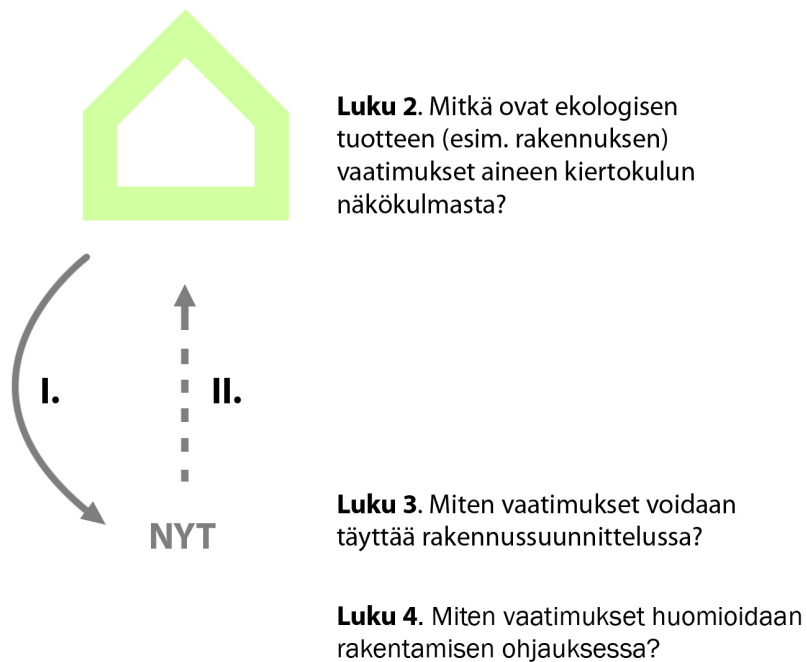
Tässä tutkimuksessa ei käsitellä rakennusten aiheuttamia epäsuoria ympäristövaikutuksia, kuten rakennusta käyttävien ihmisten kulutustottumuksia tai rakennuksen vaikutusta näihin (ks. kuva 9). Esimerkiksi ruokailuun tai liikenteeseen liittyviä ympäristövaikutuksia, jotka ovat merkittäviä ekologisen kestävyyskokonaisuuden kannalta, ei oteta tässä tutkimuksessa huomioon. Työn tuloksia tarkasteltaessa onkin pidettävä mielessä Aminofin ja Kontisen huomio (2004, s. 63), että asukas elintapoineen ja tottumuksineen määrää viime kädessä asumisen ekologisuuden tason. Tästä rajauksesta huolimatta pyrkimys kohti ekologisesti kestävästä rakennuksesta on perusteltu lähtökohta: Ekologisesti kestävä elämäntapa vaatii myös rakennukselta ekologista kestävyttä. Elintavoiltaan kestävä ympäristön ehdoilla elävän perheen toiminta ei ole milloinkaan ekologisesti täysin kestävä, jos perheen asuinrakennus kuluttaa uusiutumattomia luonnonvaroja ja

muodostaa purkuvaiheessa rakennusjätettä, jota ei voi palauttaa luonnon tai ihmisen ainekiertokulkuihin.

Tutkimuksessa keskitytään rakennustason yleisiin suunnitteluratkaisuihin. Paikkakohtaisia suunnitteluratkaisuja kuten esimerkiksi rakennuksen ilmastomukaisia sijoittamisperiaatteita on käsitelty useissa julkaisuissa (m.m. Erat 1994 ja Euroopan komissio 2002), eikä niitä ole tässä työssä syytä toistaa.

Tämän rajauksen myötä tässä tutkimuksessa on tarkoitus keskittyä rakennussuunnitteluun liittyviin keskeisiin ekologiseen kestävyysvaatimuksiin.

1.5 TUTKIMUKSEN RAKENNE



Kuva 10. Tässä tutkimuksessa kuvataan ekologisesti kestävää rakennusta käyttäen backcasting-menetelmää.

Tämä työ koostuu kolmesta pääluvusta.

Luvussa **2. Ekologisesti kestävä tuotteen vaatimukset** selvitetään, mitä ekologinen kestävyys on ja mitkä ovat ekologisesti kestävä tuotteen vaatimukset aineen kiertokulun näkökulmasta. Tuotteella viitataan tässä mihin tahansa ihmisen valmistamaan tuotteeseen, kuten kenkään, sähköön tai rakennukseen. Vaatimuksilla tarkoitetaan tässä yhteydessä välttämätöntä, luonnonlakeihin perustuvaa kehitystä, jota ilman ekologinen kestävyys on mahdotonta.

Luvussa **3. Ekologisesti kestävä rakennus** tutkimus pyrkii edellisessä luvussa määriteltyjen ekologisten vaatimusten perusteella kuvaamaan, millainen on ekologisesti kestävä rakennus. Tarkoituksena on esittää mitä ekologiset vaatimukset rakennustasolla käytännössä tarkoittavat ja millaisiin ratkaisuihin ne johtavat.

Luvussa **4. Ekologinen kestävyys rakentamisen ohjauksessa** arvioidaan sitä, miten näihin vaatimuksiin reagoidaan rakentamismääräyksissä ja muussa rakentamisen ohjauksessa.



2. EKOLOGISESTI KESTÄVÄN TUOTTEEN VAATIMUKSET

Luonto on ihmisen aineellinen perusta. Viime kädessä luonnon ekologiset rajat ja maapallon resurssien rajallisuus määrittelevät, mikä on ja mikä ei ole kestävää kehitystä (Jackson 2009, s. 166). Voidaan siis sanoa, että ekologiset rajat ja resurssien rajallisuus asettavat myös rakennuksille tiettyjä ehtoja. Jos rakennus täyttää nämä ehdot se on ekologisesti kestävä. Jos rakennus ei täytä näitä ehtoja, se ei ole ekologisesti kestävä.

Tässä luvussa tarkastellaan luonnon toimintaa, sitä minkä tyyppisiä resursseja meillä on käytettävissä sekä sitä, mitkä luonnon ja rajallisten resurssien asettamat rajat ekologisesti kestäväälle kehitykselle ovat. Tarkastelujen perusteella määritellään ne vaatimukset jotka täyttämällä mikä tahansa tuote, rakennus mukaan lukien, on ekologisesti kestävä.

2.1 PLANEETTAMME LUONNON, RESURSSIEN, LUONNONLAKIEN JA IHMISEN TOIMINNAN KOKONAISTARKASTELUA

Nykytieteen mukaan ihminen ympäristöineen koostuu aineesta ja energiasta. Kaikki aine on perua planeettamme, kaikki energia auringon säteilystä. Satunnaisia planeetalle saapuvia meteoriitteja, auringon säteilyä ja ilmakehästä avaruuteen karkaavaa lämpösäteilyä lukuun ottamatta voimme tarkastella planeetaarista järjestelmää suljettuna järjestelmänä. (Braungart & McDonough 2008, s. 103.) Ekosysteemin toimintaa kuvataan selittämällä aineen ja energian kulku järjestelmässä. Aine- ja energiavirrat elolliseen luontoon kohdistuvine vaikutuksineen ovat myös ihmisen yhdyskunnan ja luonnon välisen vuorovaikutuksen oleelliset ilmentymät. (Hakanen 1993, s. 17–18.) Toisin sanoen kaikki ihmisen aiheuttamat fyysiset ympäristövaikutukset, niin hyödylliset kuin haitallisetkin, ovat seurauksia ihmisen ja luonnon välisestä aine- ja energiatoiminnasta.

Kestävää kehitystä pohtineen työryhmän raportissa Pentti Malaska (1994, s. 8) on kirjoittanut seuraavasti:

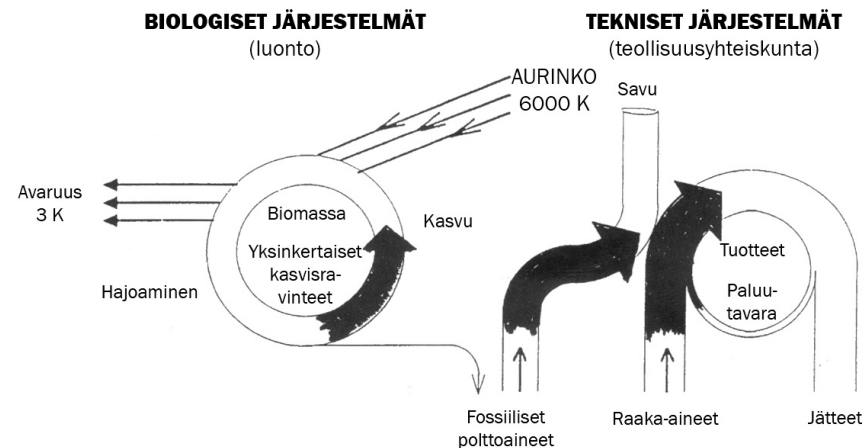
"Aineen ja energian kestävän käytön periaatteet ovat löydettävissä luonnon omasta toiminnasta, jota kestävän teknologian tulisi materiaalisesti ja toiminnallisesti jäljitellä."

Ekologisesti kestävän tuotteen vaatimusten löytämiseksi on siis syytä aloittaa tarkastelu luonnon ja ihmisen aine- ja energiatoiminnasta.

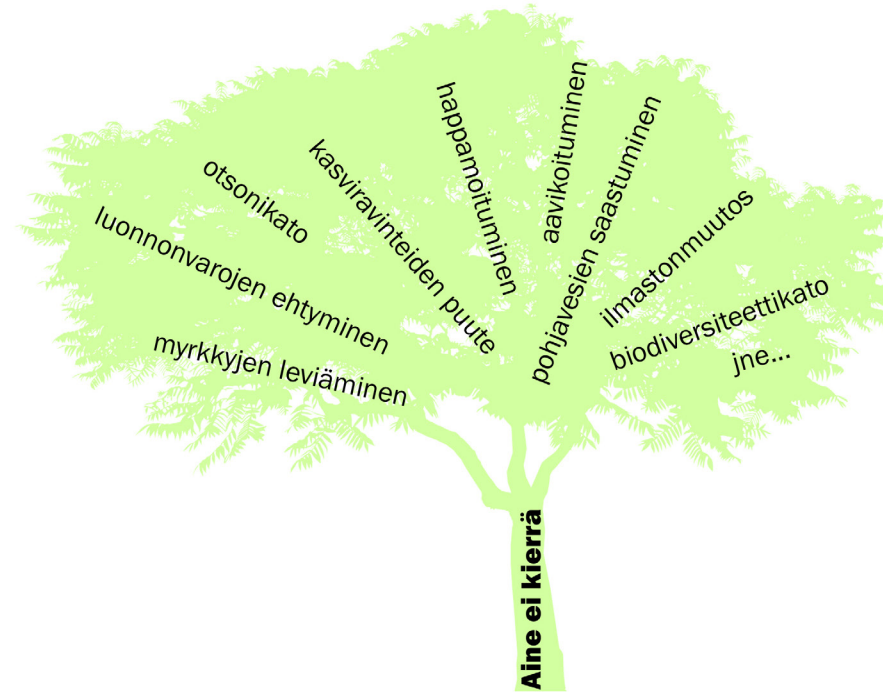
Luonnon toiminta

Planeettamme biologisen järjestelmän toiminta on ekologisesti kestävää ihmisen ajallisessa mittakaavassa katsottuna. Auringon energia on luonnon ainoa energialähde, ja sen ylijäämä poistuu lämpöenergiana avaruuteen. Planeetta koostuu elollisesta ja elottomasta aineesta. Elollisen aineen perusta ovat vihreät kasvit, jotka saavat energian auringonvalosta ja raaka-aineet, kuten hiilidioksidia, kivennäisaineita ja vettä,

elottomasta luonnosta. Elollinen aine palaa luonnon kasvinsyöjien, petojen ja hajottajien kiertokulussa takaisin elottomaksi raaka-aineeksi. (Hakanen 1993, s. 18.) Luonto saa kaiken tarvittavan energian auringosta, mutta planeetan aineelliset resurssit ovat rajalliset. Tämän perusteella voi yksinkertaisimmillaan todeta, että elämän ylläpitämisen kannalta *luonnon ainoa ehto on ylläpitää aineen täydellistä kiertokulkua* (ks. kuva 11).



Kuva 11. Luonnon biologinen järjestelmä ja ihmisen tekninen järjestelmä eroavat kestävyiden kannalta ratkaisevasti toisistaan. Luonnon ainekierto on syklinen ja suljettu, ihmisen suoraviivainen ja saastuttava. Bokalders & Block (2009, s. 17). Kuvan tekstit suomentanut J.L.



Kuva 12. Ainetta kierrättävien luonnonprosessien häiritseminen aiheuttaa lukemattomia haittoja ympäristölle, yhteiskunnalle ja taloudelle. Kuva perustuu Grahamin (2003, s. 86-87) tekstiin.

Ihmisen toiminta

Teollisesta vallankumouksesta lähtien ihmisen luonnon kiertokulun rinnalle luoma tekninen järjestelmä ei juurikaan ole käyttänyt luonnon tavoin ainetta uudestaan (kuva 11), ja siksi se ei ole ekologisesti kestävä. Nykyihmiset ottavat elotonta raaka-ainetta (metalleja ja mineraaleja) maasta ja muuttavat sen muotoon (tavaroiksi ja rakennuksiksi), jota luonnon biologiset hajottajat saati ihmisten omat prosessit eivät voi käyttää uudelleen. Tuloksena on jätettä, usein elämälle haitallista ainetta, josta mikään muu planeetan elämänmuoto ei hyödy (Pauli, Datschefskin 2001, s. 21 mukaan).

Aineellisten tuotteiden lisäksi ihmiset muuttavat elotonta raaka-ainetta (esimerkiksi öljyä ja uraania) myös energiaksi, tuottaen lisää jätettä ilmansaasteiden tai ongelmajätteiden muodossa. Myös tässä energia-tuotannon prosessissa luonnon ainoa ehto, aineen uudelleen käytön jatkuvuus, katkeaa väistämättä. Näin ollen ihmisen teknisen järjestelmän aineenkierron epätäydellisyys ei johda ajan myötä pelkästään resursien loppumiseen, vaan aineen väärinkäyttö aiheuttaa myös ekologista kestävyyttä uhkaavia ympäristörisi-tuksia kuten ilmastonmuutosta ja biodiversiteettikatoa (kuva 12) (vrt. Graham 2003, s. 86).

Luonnon ja ihmisen toiminnan tarkastelun perusteella voidaan todeta, että ihmisen aiheuttamat, ekologista kestävyyttä uhkaavat ympäristöongelmat johtuvat ihmisten vääränlaisista tavoista käsitellä luonnonva-roja. Seuraavaksi on siis syytä tarkastella, mitä resurs-seja ihmisellä on käytössään ja miten niitä ekologisesta näkökulmasta tulisi käyttää.

RESURSSIT			
RESURSSITYYPPI	AINE *		ENERGIA
	VARASTOT	VARANNOT	VIRTAUKSET
SYNONYymIT	uusiutumaton aine eloton aine tekninen aine	uusiutuva aine elollinen aine biologinen aine	uusiutuva energia
ESIMERKIT	raaka- ja fosfaatit mineraalit metallit uraani hiili öljy	viljelysmaa eläimet metsä ja muut kasvit pohjavesi jne	aurinko tuuli veden virtaus
TYYPPIKUVAUS	Ehtyviä resursseja, joiden käyttö vähentää hyödyntämismahdollisuuksia tulevaisuudessa	Jaksottaisia resursseja, joiden liiallinen käyttö vähentää hyödyntämismahdollisuuksia tulevaisuudessa	Ehtymättömiä resursseja, joiden käyttö ei vähennä hyödyntämismahdollisuuksia tulevaisuudessa
LUONNON KÄYTTÖEHDOT	Haitalliset ympäristövaikutukset väistämättömiä – tiettyjä aineita ei tule käyttää	Vuosittainen käyttö määrä ei saa ylittää vuosittaista kasvua. Aineen palauttaminen keskeistä (palautusmuoto ja -paikka tärkeä)	

* Jako aineen ja energian välillä ei ole yksiselitteinen.

Aine- ja energiaresurssien ryhmät

Maapallolla käytettävissä olevat aine- ja energiaresurssit voidaan uusiutumisenopeutensa perusteella jakaa kolmeen ryhmään: virtauksiin, varantoihin ja varastoihin (mm. Hakanen 1993 s. 18, 60). Vaikka kaikki aine planeetalla ajan myötä hajoaa ja uusiutuu, on ainevarastojen (esim. metallit ja öljy) uusiutuminen ihmiskunnan kannalta on niin hidas prosessi että puhutaan uusiutumattomista aineista. Eri uusiutumisenopeuksista johtuen näitä eri resurssityyppejä on kestävässä yhteiskunnassa käsiteltävä eri tavoin (Bokalders & Block 2009, s. 17). Resurssityypit on esitetty kuvassa 13, ja niihin pyritään tässä työssä viittaamaan jatkossa ainevarastoina, ainevarantoina ja energiavirtauksina. Ainevarannot ja -varastot sisältävät myös energiaa, jota voidaan hyödyntää energiantuotannossa.

Kuva 13. Käytettävissä olevat resurssityypit sekä luonnon niille asettamat käyttöehdot. Alkuperäistä kuvaa (arkkitehti Hans Grönlund, Bokaldersin & Blockin 2009, s. 18 mukaan) on täydennetty käyttäen Braungartin & McDonoughin 2008, Bokaldersin & Blockin 2009 ja Hakasen 1993 kuvauksia. Kuvan teksti suomentanut J.L.

Aineen ja energian luonnonlait: Häviämättömyyden laki, entropia ja eksergia

Käytettävien aine- ja energioresurssityyppien lisäksi on syytä tarkastella, mitkä luonnontieteelliset ilmiöt niihin vaikuttavat. Maan vetovoima on jokaiselle tuttu aineen ja energian käyttäytymistä ja käyttöä määräävä ominaisuus. Vastaavia yhtä itsestään selviä mutta kenties vähemmän tunnettuja luonnonlakeja on myös hyödyllistä kerrata.

"Life is the eternal tide of decay and reconstruction. We live in a continuous conversion of organized matter into waste. Indeed, we could perceive the whole system of life and industry and everything that moves as propellers taking power from a continuous stream of decay. The stream is essential to life. Of course, so is the ongoing reconstruction of waste back into resource again. To reverse the stream of decay in any given system, though, energy in a usable form must be introduced from outside the system."

Tohtori Karl-Henrik Robèrt (2002, s. 34).

Luonnossa aine hajoaa jatkuvasti perusosiin joista rakentuu aurinkoenergian voimalla uusia elämänmuotoja (Van der Ryn & Cowan 2007, s. 73). Robèrtin kuvaamaa elämän aineellista kiertokulkua, jonka puitteissa myös ihminen toimii, rajaavat tietyt luonnonlait. Termodynamiikan lait kuvaavat aineen häviämättömyyttä ja energian virtausta (Graham 2003, s. 204). Termodynamiikan ensimmäisen lain mukaan energiaa ei voi hävittää eikä luoda, ja normaaliolosuhteissa sama koskee myös ainetta. Aine ja energia muuttavat jatkuvasti muotoaan, mutta mitään ei häviä mihinkään. (Robèrt 2002, s. 36 ja Van der Ryn & Cowan 2007, s. 110.)

Entropia, jota kuvaa termodynamiikan toinen laki, on aineen ja energian laadun vähenemistä. Vaikka aineen määrä planeetallamme ei muutu, entropian lain mukaan aine sen sijaan väistämättä kuluu käytössä ja leviää kulumisen myötä ympäristöön yhä useampaan, pienempään osaan. (Malaska 1991 Hakasen 1993, s. 21 mukaan.) Vastaavasti myös energian laatu muuttuu käytössä jatkuvasti käyttökelpoisesta hyödyttömäksi. Kuvassa 13 esitetty ainevarastojen kuluttamisen väistämätön haitallinen ympäristövaikutus johtuu entropiasta.

Entropian vastakohta, eksergia, on puolestaan aineen ja energian laadun mitta, niihin sisältyvä muutosvoima, niiden käyttökelpoisuus ja puhtaus. Eksergiaa aineen laadun mittana kuvaa se ero, mikä esimerkiksi on puhtaalla metallilla (0 % entropiaa, 100 % eksergiaa) ja samalla metallilla maahan liunneena (100 % entropiaa, 0% eksergiaa). (Hakanen 1993, s. 22.) Aineellisen järjestyksen ylläpito on maapallollamme lähes pelkästään kasvien toiminnan ansiota, ja fotosynteesiä pidetäänkin maapallomme ainoana todellisena kasvuna (Robèrt 2002, s. 38).

2.2 AINEEN- JA ENERGIANKÄYTÖN EKOLOGISET VAATIMUKSET JA EHDOT

Vaikka edellisessä luvussa esitetyt tarkastelut luonnon ja ihmisen toimintatavoista sekä näiden suhde planeetan resursseihin ovat yksinkertaisia (eivät kuitenkaan yksinkertaistettuja) kuvauksia hyvin monimutkaisista ilmiöistä, niistä voi silti huomata tiettyjä ehdottomia vaatimuksia ekologisesti kestäväälle tuotteelle. Nopean katsauksen perusteella voi päätyä jopa varsin itsestään selvään lopputulokseen: tuote, jonka valmistuksessa ja käytössä kulutetaan vain energiavirtoja ja ainevarantoja luonnon ehtoja noudattaen (ks. kuva 13) on ekologisesti kestävä. Myös luonnon ja ihmiskunnan historiallinen kehitys tukee ajatusta, sillä ennen 1700-luvun teollistumista ympäristön kannalta haitallinen ainevarastojen käyttö oli nykypäivään verrattuna vähäistä (ks. Euroopan komissio 2002, s. 1). Mutta ovatko ekologisesti kestävä tuotteen vaatimukset näin yksinkertaisia? Entä minkälaisia ovat luonnon asettamat ehdot ainevarastojen käytölle ihmisen yhdyskunnassa, jonka riippuvuus uusiutumattomista luonnonvaroista on niin suuri, että niistä luopuminen lähitulevaisuudessa on vähintäänkin kyseenalainen, ellei jopa täysin epärealistinen vaihtoehto?

Eri alojen tutkijat ovat esittäneet omat näkemyksensä siitä, mitkä ovat ekologisen kestävyysperiaatteet sekä millaista on ekologinen suunnittelu. Näiden tutkijoiden periaatteet on koottu oheiseen taulukkoon (kuva 14) ja pyritty jäsentämään sisältönsä perusteella aiheryhmiin. Ehtojen tarkka ryhmittely asiasisällön mukaan on hankalaa, sillä eri tutkijat painottavat eri asioita ja jopa yksittäisen tutkijan ehdoissa on päällekkäisyyksiä. Periaatteita ei voi myöskään pitää keskenään tieteelli-

sesti tasaveroisina, sillä jotkin niistä perustuvat laajasti tutkittuun, vahvistettuun tietoon, toiset lähinnä yksittäisen tutkijan kokemuksiin ja havaintoihin. Taulukon ryhmittelyä ei täten kannata tarkastella ehdottoman paikkansapitävänä, mutta sitä voidaan käyttää tiettyjen ekologisen kestävyyskannalta keskeisten aihepiirien ja suunnittelun lähestymistapojen esille nostamiseen.

Taulukkoon on merkitty erityyppisiä vaatimuksia ja ehtoja eri väreillä:

Vihreällä on määritelty kolme keskeistä aihe ryhmää, jotka muodostavat tämän tutkimuksen ekologisen kestävyys vaatimukset. Nämä ovat haitallisten aineiden eliminointi, luonnonsuojelu sekä ainevarastojen kiertokulku. Vaatimukset ovat ekologisen kestävyyskannalta pakollisia, sillä ne keskittyvät pohjimmiltaan ylläpitämään aineen täydellistä kiertokulkua. Kun vaatimukset on täytetty, tuloksena on ekologisesti kestävä kehitys. Niin kauan kuin vaatimuksia rikotaan, on odotettavissa yhä monimutkaisempia ja suurempia ympäristöongelmia (Robèrt 2002, s. 66). Braungart, McDonough ja Bollinger (2006, s. 2) kutsuvat strategiaa joka pyrkii ylläpitämään aineen kiertokulkua nimellä eco-effectiveness. Suomen jättepolitiikan ohjauskeinot – vaikutukset, vaikuttavuus ja kehittämistarpeet -julkaisussa eco-effectiveness on suomennettu **ekovaikutavuudeksi** (Kautto, Melanen, Saarikoski, Ilomäki & Yli-Kauppila 2000, s. 16).

Taulukossa muista erillään vaaleanvihreällä esitetyn uusiutuvan energian vaatimus sisältyy ainevarastojen

kiertokulun vaatimukseen: Jos ainevarastoja poltetaan energiaksi, ainevarastojen kiertokulun vaatimus ei täyty. Tästä päällekkäisyydestä huolimatta useat tutkijat ovat esittäneet uusiutuvan energian omana periaatteenaan, ja myös tässä työssä aihe ryhmä käsitellään erikseen.

Vaaleankeltaisella on taulukossa esitetty ne ehdot, jotka tukevat ekologista kestävyttä mutta jotka eivät ole ekologisen kestävyyskannalta aivan välttämättömiä. Näistä on tässä työssä tarkasteltu eksergian hyödyntämistä, tehokkuutta, hallittavuutta ja paikallisuutta. Ei-pakolliset ehdot liittyvät muun muassa aineen ja energian tehokkaaseen ja yhteiskuntavastuulliseen käyttöön. Ekologisen kestävyys vaatimukseen verrattuna näiden ehtojen toissijainen arvo johtuu siitä, että ne keskittyvät ensisijaisesti ympäristöön päätyvän haitallisen aineen määrän vähentämiseen, ei kiertokulkujen sulkemiseen. Strategiaa joka noudattaa tämänkaltaisia ehtoja, jossa vähemmällä tuotetaan enemmän, ympäristöä säästään, kutsutaan **ekotehokkuudeksi** (Martinkauppi 2010, s. 88).

Ekovaikuttavuutta ja ekotehokkuutta ja sekä näiden välistä eroa käsitellään tarkemmin luvussa 2.5.

Ekologiset vaatimukset on valittu ensisijaisesti Karl Henrik Robèrtin tutkimusten mukaan, mutta samat aiheet toistuvat laajalti myös muiden tutkijoiden asettamissa keskeisissä periaatteissa. Robèrtin asettamat vaatimukset on valittu lähtökohdaksi, koska ne ovat luotettavia, ehdottomia ja selkeitä. Luotettavalla tarkoitetaan tässä sitä, että Robèrt on varmistanut vaati-

EKOLOGISEN KESTÄVYYDEN VAATIMUKSET				EKOLOGISTA KESTÄVYYTTÄ TUKEVAT, EI-PAKOLLISET EHDOT					EI-EKOLOGISET VAATIMUKSET
				Vaatimukseen sisältyvä ehto					
Aiheryhmä	Haitallisten aineiden eliminointi	Luonnonsuojelu (Ainevarantojen kiertokulku)	Ainevarantojen kiertokulku	Uusiutuva energia	Eksergian hyödyntäminen	Tehokkuus	Hallittavuus	Paikallisuus	Sosiaalinen kestävyys
Tutkija									
Robèrt (2002)	Lopeta toiminta, joka aiheuttaa yhteiskunnan valmistamien kemikaalien ja yhdisteiden (kuten dioksiinit, PCB, DDT) jatkuvaa kertymistä ympäristöön	Lopeta toiminta, joka aiheuttaa luonnon ja luonnonprosessien jatkuvaa fyysistä heikentymistä ja tuhoamista (esimerkiksi metsien ryöstöhakkuut, luonnonalueiden rakentaminen)	Lopeta toiminta, joka aiheuttaa ainevarantojen jatkuvaa kertymistä ympäristöön						Lopeta toiminta (esimerkiksi vaaralliset työolot ja liian pienet toimeentulot) joka aiheuttaa olosuhteita jotka heikentävät ihmisten kykyä täyttää perustarpeensa
Graham (2003)	Luo ainoastaan sellaisia sivutuotteita, jotka ovat ravinteita tai raaka-aineita resurssituotannolle	Älä kuluta resursseja nopeammin kuin mitä luonto pystyy niitä täydentämään	Luo ainoastaan sellaisia sivutuotteita, jotka ovat ravinteita tai raaka-aineita resurssituotannolle	Luo järjestelmiä, jotka kuluttavat maksimaalista energiaa			Edistä biologista ja käytännöllistä sopeutumiskykyä ja monimuotoisuutta		
Mulhall & Braungart (2010)	Jäte = Ruoka. Kaikki on ravintoa jollekin muulle			Käytä uusiutuvaa energiaa					Kulttuurillinen ja innovaatioiden monimuotoisuus
Hakanen (1994)	Lajien monimuotoisuus								
	Haittojen eli päästöjen ja jätteiden kasautuminen estetään ja niiden käsittelyssä hyödynnetään luonnonprosesseja	Ainetalous perustuu kierrätykseen ja uusiutuviin luonnonvaroihin		Energiatalous perustuu energiavarantojen sijasta energiavirtoihin, tehokkuuteen ja säästävyyteen			Järjestelmän hallittavuus on hyvä, kun se on monimuotoinen, muuntautumiskykyinen, tietoinen omasta ja ympäristönsä tilasta ja kykenee korjaamaan omaa toimintaansa		
	Puhdasta ja toimivaa luontoa tulee suojella ja ottaa mahdollisimman vähän alueita rakentamisen käyttöön								
Datschefsksi (2001)	Kaikki päästöt ilmaan, veteen, maahan tai avaruuteen ovat ruokaa muille järjestelmille	Tuote valmistetaan kompostoituvasta luonnonmukaisesta materiaalista tai mineraaleista, jotka jatkuvasti kierrätetään suljetussa kiertokulussa		Tuotteen valmistuksessa ja käytössä kulutetaan vain uusiutuvaa, turvallista energiaa		Tuote kuluttaa valmistuksessa ja käytössä 90 % vähemmän energiaa, materiaalia ja vettä verrattuna vastaaviin vuoden 1990 tuotteisiin.			Tuotteen valmistus ja käyttö tukee ihmisoikeuksia ja luonnollista oikeudenmukaisuutta
Malaska (1994)	Syntävän saasteen ja epäjärjestyksen eli entropian kertymisen estäminen	Aineen kierrätys			Luonnonvarojen eksergiapotentiaalin hyödyntäminen				
Hawken (2010)		Jätteiden poistaminen kokonaan teollisesta tuotannosta. Tämä säästää resursseja ja tekee suoraviivaisesta resurssinkäytöstä syklisen		Siirtyminen uusiutuviin energialähteisiin			Luoda vastuullisia järjestelmiä, jotka tukevat ja vahvistavat restoratiivista käytöstä (esimerkiksi resurssipalveluita, vihreitä veroja tai turvautumista paikalliseen tuotantoon ja jakeluun)		
Strategia	EKOVAIKUTTAVUUS (Eco-effectiveness)				EKOTEHOKKUUS (Eco-efficiency)				
Strategian ominaisuudet	Vaatimukset, jotka täyttämällä suljetaan aineen kiertokulku ja siten – ratkaistaan ympäristöongelmia – estetään ympäristön tuhoaminen – estetään resurssien ehtyminen				Ehdot, joita noudattamalla vähennetään käytetyn aineen tai energian määrää ja siten – hidastetaan ympäristöongelmien pahenemista – hidastetaan ympäristön tuhoa – hidastetaan resurssien ehtymistä				

musten paikkansapitävyyden vertaisarvioimalla niitä noin 50 tutkijan monialaisessa tutkimusryhmässä 21 kertaa, kunnes kaikki tutkijat olivat sisällöstä yksimielisiä (Robèrt 2002, s. 28). Ehdottomuudella viitataan tässä siihen, että vaatimukset perustuvat elämän kannalta välttämättömiin ehtoihin, termodynamiikan lakeihin, joihin ihmisten on pakko sopeutua, sillä niiden toiminta ei ole neuvoteltavissa. Elävää solua ei esimerkiksi voi

suostutella hajottamaan elohopeaa tai muoviva (Robèrt 2002, s. 26). Selkeydellä tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että vaatimuksissa ei esiinny päällekkäisyyksiä. Siten ne ovat ymmärrettäviä ja niiden perusteella on helpompi tehdä suunnittelua ohjaavia päätöksiä. (Robèrt 2002, s. 66.)

Kuva 14. Aineen ja energiakäytön ekologiset vaatimukset ja ehdot sekä niitä käyttävät strategiat. Sosiaalista kestävyyttä ei käsitellä tässä tutkimuksessa. Kuvan tekstiit suomentanut J.L.

Seuraavaksi tarkastellaan, mitä vaatimukset pitävät sisällään ja mitä ne tarkoittavat ekologisesti kestävä tuotteen suunnittelun kannalta.

2.2.1 HAITALLISTEN AINEIDEN ELIMINOINTI



Kuva 15. Kemikaalien vuosittainen käyttömäärä on kasvanut maailmassa räjähdysmäisesti viimeisen puolen vuosisadan aikana huolimatta siitä, että niiden ympäristö- ja terveysvaikutuksista tiedetään hyvin vähän. Bokalders & Block (2009, s. 38).

Ensimmäinen ekologisen kestävyysvaatimuksen koskeva vaatimus koskee ihmisten tuottamia synteettisiä (eli keinotekoisia, luonnottomia) aineita. Synteettisellä aineella tarkoitetaan alun perin luonnollista raaka-ainetta (ainevaranto tai ainevarasto), joka on läpikäynyt kontrolloidun kemiallisen käsittelyn, johon sisältyy usein korkeita lämpötiloja. (Berge 2000, s. xix) Haitallisiin synteettisiin aineisiin voidaan lukea muun muassa monet kemialliset yhdisteet, kuten dioksiinit ja kloorifluorihilivedyt (CFC-yhdisteet), mutta myös lukuisat kemikaalit, lääkkeet ja muovin lisäaineet (Robèrt 2002, s. 70). Ei pidä myöskään unohtaa, että kaikki aineet ovat joissakin pitoisuuksissa tai muodoissa myrkyllisiä (Graham 2003, s. 67).

Ihmisyhteiskunta valmistaa kymmeniä tuhansia kemiallisia yhdisteitä eri tarkoituksia varten. Näistä valtaosa on ihmisille ja ympäristölle haitallisia. Sveitsiläisen tekstiilituottajan Rohner Textilin tilaamassa analyysissä, jossa tutkittiin 8000:ta tekstiiliteollisuudessa käytettyä kemikaalia, ilmeni, että vain 38 oli täysin vaarattomia. Muissa yhdisteissä löytyi aineita jotka aiheuttavat syntymävikoja, geneettisiä mutaatioita ja syöpää. (Datschefski 2001, s. 50.) Lähes kaikki tuotteet puhelimista kenkiin, sanomalehtiin ja rakennusmateri-

aaleihin luovuttavat kemikaaleja ympäristöön. Yleensä pitoisuudet ovat niin pieniä, että käyttäjä harvoin heti sairastuu, mutta tuloksena on silti ylimääräinen kemiallinen rasitus tuntemattomalla pitkäaikaisvaikutuksella. (Braungart, McDonough & Bollinger 2006, s. 5.) Lisäksi eri kemikaaliyhdistelmien vaikutuksista ei ole juurikaan tutkimustietoa. Synteettisiä hybridiaineita tuotetaan paljon nopeammin kuin mitä niitä ehditään tutkia ja ymmärtää (Hawken 2010, s. 60). British Royal Society ja EEA:n mukaan nyt käytössä olevien yli 80 000 kemikaalin myrkyllisyyden testaaminen perin pohjin veisi tuhansia vuosia (Datschefski 2002, s. 53). Tavallinen televisio sisältää Braungart ja McDonoughin (2008) analyysien mukaan yli 4000 kemikaalia, joista osa ovat haitallisia ja osa arvokkaita, jotka menetetään kun televisio päättyy jätteeksi (Braungart & McDonough 2008, s. 110). Myös erilaisia muoveja on käytössä satoja eri lajeja, eikä käytettyjen muovituotteiden ja muun muovijätteen hyötykäyttö tai edes hävittäminen ole helppoa (Lappalainen 2010, s. 186).

Ihmisten valmistamilla haitallisilla kemikaaleilla on suuri vaikutus ympäristöön, ja jo pieni määrä voi saada aikaan paljon tuhoa (Braungart, McDonough & Bollinger

*"A thing is right when it tends to preserve the integrity, stability and beauty of the biotic community.
It is wrong when it tends otherwise."*

Aldo Leopold (Datschefski 2001, s. 46–47 mukaan).

2006, s. 6). Robèrtin (2002) mukaan tämä johtuu siitä, että vastaavia yhdisteitä esiintyy luonnossa hyvin vähän tai ei ollenkaan. Elävät kasvit ja eläimet, ihmiset mukaan lukien, reagoivat herkästi näiden aineiden pitoisuuksien muutoksiin. Jos kemikaalia ei esiinny ympäristössä luonnostaan, evoluutiolla ei ole ollut syytä luoda järjestelmää, joka voisi käsitellä kyseisiä aineita. Synteettisten valmisteiden kasvavan käytön seurauksena haitta-aineita, kuten torjunta-aineita ja dioksiineja, kertyy nykyään ympäristöön yhä enemmän. Nykykehityksen jatkuminen muuttumattomana aiheuttaa ajan myötä kasaantuvia, monimutkaisia ja vaikeasti ennustettavia ympäristövaikutuksia, jotka ilmenevät usein vasta, kun vahinko on jo tapahtunut. (Robèrt 2002, s. 70.) Myös ympäristössä luonnollisesti esiintyvät myrkylliset aineet ovat tavallisia, mutta ne ovat hyvin erikoistuneita, niitä tuotetaan pienissä erissä tarpeen mukaan ja ovat täysin biohajoavia (Van der Ryn & Cowan 2007, s. 126).

Ekologisesti kestävässä yhteiskunnassa ihmiset eivät tuota tahallaan tai tahattomasti aineita nopeammin kuin mitä ne voivat hajota ja palata luonnon kiertokulkuun tai takaisin maankuoreen. Näitä aineita ei tule

myöskään polttaa. (Robèrt 2002, s. 70.)

Kemikaalien ja yhdisteiden käyttäminen tuotteissa on ekologisen kestävyysnäkemyksen kannalta sallittua vain, jos kyseisillä aineilla on kyky hajota luontoon kasvien ravinteiksi riittävän nopeasti niin, ettei haitallisten aineiden määrä luonnossa jatkuvasti kasva. Tuotteet, jotka vaativat biohajoamattomien tai haitallisten aineiden käyttöä, on suunniteltava niin, että kyseisten aineiden kiertokulku on mahdollisimman suljettu. (Robèrt 2002, s. 70) Entropian lain mukaan on kuitenkin käytännössä mahdotonta täysin estää aineiden vuotaminen luontoon. Koska biohajoamattomien ja myrkyllisten aineiden pienikin määrä voi tehdä merkittäviä ympäristötuhoja (Braungart, McDonough & Bollinger 2006, s. 6), ainoa varmasti ekologisesti kestävä vaihtoehto on, ettei kyseisiä aineita valmisteta ja käytetä alkuunkaan. Näin ollen jo olemassa olevia tuotteita, joissa käytetään myrkyllisiä tai biohajoamattomia aineita, on ekologisen yhteiskunnan saavuttamiseksi muutettava.

2.2.2 LUONNONSUOJELU (AINEVARANTOJEN KIERTOKULKU)

Luonnonsuojelun vaatimus koskee pääasiassa ihmisten tapaa käsitellä ainevarantoja. Nyky-yhteiskunnassa esiintyy laajasti muun muassa metsien ryöstöhakkuuta, aavikoitumista, ylikalastusta, eläin- ja kasvilajien sukupuuttoa, viljelysmaan ravinteiden menettämistä ja vesistöjen rehevöitymistä, pohjavesien vähenemistä ja rakennusten tai infrastruktuurin rakentamista ravinteikkaille maille. Jos vastaava kehitys jatkuu, luonnon kyky ylläpitää elämän mahdollistavia luonnonprosesseja, kuten raittiin ilman ja veden tuottamista, heikkenee entisestään. Lisäksi biodiversiteettikato heikentää ekosysteemien vastustuskykyä ja aiheuttaa mittamatomia menetyksiä sekä yhteiskuntamme tieteellisellä että kulttuurisella tasolla. (Robèrt 2002, s. 71.)

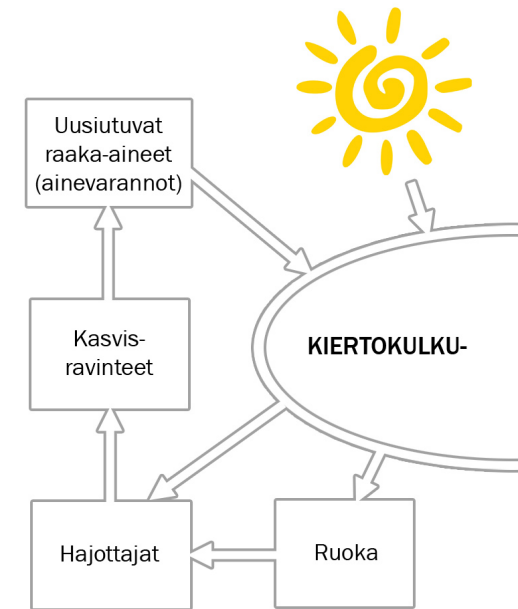
Ekologisesti kestävässä yhteiskunnassa ainevarantojen käyttöön liittyy kaksi vaatimusta. Ensinnäkin ainevarantojen täytyy kierrä (kuva 16), sillä vain siten varmistetaan luonnon tuotantokyky eli elämää ylläpitävän toiminnan jatkuminen. Toiseksi ekologisesti kestävä yhteiskunta vaatii ympärilleen riittävästi elämän edellytyksiä ylläpitävää luontoa ja luonnonprosesseja. Luonnon monimuotoisuuden säilymisen kannalta muilla eläimillä ja kasveilla on oltava riittävästi tilaa elää ja kasvaa toimivassa luonnossa vailla ihmistoiminnan vaikutuksia. (Robèrt 2002, s. 71.)

*"Our moment of 'truth' is here.
As we destroy Nature's ecologic design,
we destroy ourselves."*

Richard L. Crowther (1992, s. 270).

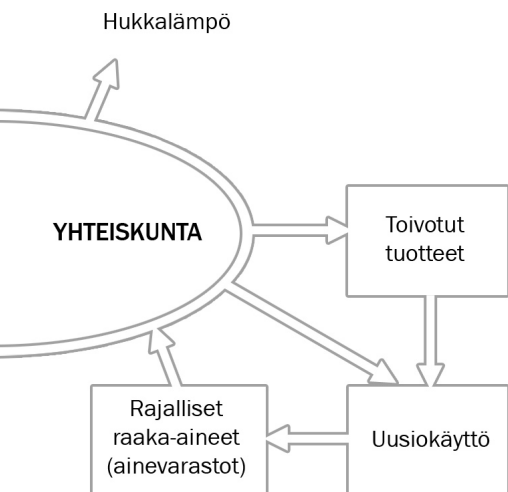
Näiden vaatimusten täyttämiseksi ihmisyyhteiskunnan ainevarantojen kulutustahti ei saa ylittää varantojen kasvutahtia luonnossa. Ainevarantojen tulee antaa kierrä luonnon automaattisessa hajottajien ja kasvien järjestelmässä. Tämä tarkoittaa esimerkiksi metsänhoidon ja ruoanviljelyn kannalta sitä, että hyödynnetty puuaines ja ruoka myös korvataan palauttamalla ravinteita kasvupaikalle. Vaatimuksen seurauksena luontoa ja luonnon prosesseja ei tule myöskään jatkuvasti syrjäyttää ja korvata rakennetulla ympäristöllä, kuten rakennuksilla tai infrastruktuurilla. (Robèrt 2002, s. 71)

Ainevarantojen käyttö tuotteissa on ekologisesti kestävä, kun kyseiset aineet on tuotettu yllä mainittujen vaatimusten mukaisesti. Ainevarantoihin voidaan lukea luonto- ja kasviperäisten aineiden lisäksi tiettyjä synteettisiä aineita, kuten biopolymeerejä, jotka ovat ihmisille ja ympäristölle turvallisia (Braungart &



Kuva 16. Kiertokulkuyhteiskunnan kaavio. Käytetyt ainevarannot uusiutuvat luonnossa, kunhan ne palautetaan luonnon hajottajille ja niiden kautta kasviravinteiksi. Kiertokulkuyhteiskunnassa ainevarantojen käyttö matkii ekosysteemejä. Ihmisen teolliset prosessit kierrättävät ainevarantoja suljetussa kiertokulussa. Kuva perustuu Bokalders & Blockin (2009, s. 17) kuvaan. Kuvan tekstiit suomentanut J.L.

McDonough & Bollinger 2006, s. 7). Koska ainevarannot ovat biohajoavaa ainetta, niiden käyttöä ekologisesti kestävässä tuotesuunnittelussa voi luonnehtia varsin vapaaksi. Erilaisia ainevarantoja voi yhdistää keskenään monimutkaisiksiin komposiiteiksi, sillä ajan myötä luonnonprosessit joka tapauksessa hajottavat aineen takaisin kasviravinteiden perusosiin uutta käyttöä varten. Ainevarantojen ja ainevarantojen keskenään sekoittamista käsitellään kolmannessa vaatimuksessa.



Ainevarastojen kiertokulun vaatimus koskee uusiutumattomien aineiden käyttöä. Nyky-yhteiskunnan tapa käyttää ainevarastoja on pitkälti suoraviivainen: maankuoresta louhitut metallit ja mineraalit päätyvät lopulta kaatopaikalle sekä ilmaan, veteen ja maahan. Termodynamiikan ensimmäisen lain mukaan jokainen louhittu elohopea-, lyijy-, kupari- ja hiiliatomi päättyy jonnekin. Luonto ei kestä minkään aineen jatkuva, systemaattista kertymistä. (Robèrt 2002, s. 69.) Ihminen vaikeuttaa nykytoiminnallaan usein myös ainevarastojen luonnollista kiertokulkua esimerkiksi valmistamalla materiaaleja, joissa käytetään sekä ainevarastoja että ainevarantoja sekaisin niin, että niiden erottaminen toisistaan jälkeenpäin on liki mahdotonta.

Ekologisesti kestävässä yhteiskunnassa ainevarastojen täytyy kiertää (kuva 16), sillä vain siten varmistetaan rajallisten raaka-aineiden riittävyys ja estetään niiden

haitallinen, jatkuva kasaantuminen ympäristöön. Ainevarastojen kestävä käyttö on entropian lain mukaan kuitenkin mahdotonta, ja siksi niiden käyttöä tulisi välttää aina kun mahdollista. Esimerkiksi metallit, jotka jätetään luonnonympäristöön, tulevat aina olemaan siellä, sillä ne eivät maadu. Vaikka ympäristöön päästettyjen metallien määrää vähennettäisiin, niiden kokonaismäärä kasvaa. Äärimmilleenkään viety metallien kierrätys ei voi estää väistämätöntä saastumista. (Berge 2000, s. 72.)

Tietty varastoaineet, kuten kiviainekset, ovat luonnonvarana niin runsaita, että niiden käyttö ei ole ekologisesti kestävä (Hakanen 1993, s. 60). Tiettyinä nyrkkisääntönä siitä, mitkä aineet näihin kuuluvat, voi pitää runsaita, pitkälti sellaisenaan tai lähes sellaisenaan käytettäviä, helposti kierrätettäviä, maanpinnan tuntumasta saatavia aineita, kuten esimerkiksi luonnonkivi ja savi. Myös tavallinen lasi voidaan lukea tähän ryhmään. Syvällä maankuoren alla olevista haitallisista mineraaleista ja metalleista poiketen nämä aineet ovat luonnollinen osa biosfääriä eli elinympäristöä. Näitäkin materiaaleja tulee silti käyttää erityisen harkiten, sillä niitä ei aina ole runsaasti saatavilla paikoissa, jossa niitä eniten käytetään (Graham 2003, s. 61).

Tuotteet, joiden valmistuksessa ainevarastojen käyttöä ei voi millään keinolla välttää, tulee suunnitella niin että aineen kiertokulku on mahdollisimman suljettu. Tämä asettaa tuotteille kaksi vaatimusta. Ensinnäkin suunnittelussa pitää varmistaa että kyseiset aineet kuluvat tuotteen käytössä mahdollisimman vähän. Toiseksi suunnittelussa pitää varmistaa, että kyseiset aineet voidaan käytön jälkeen palauttaa samanlaatuisina materiaaleina takaisin tuotantoon uusien tuotteiden valmistusta varten (mm. Berge 2000, s. 6). Huonompilaatuisena uusiutuotantoon palautettu aine ei välttämättä enää kelpaa alkuperäistä vastaavan tuotteen valmistukseen, jolloin vaatimus suljetusta kiertokulusta ei enää täyty. Esimerkiksi auton tavanomaisessa kierrätysprosessissa kaikki eri teräslaaduista koostuvat osat sulatetaan yhteen, jolloin siitä muodostuvan uuden metalliseoksen heikompi laatu ei enää kelpaa uuden auton vastaavien osien valmistukseen. (Braungart & McDonough 2008, s. 110.) Alan kirjallisuudessa kierrätystä, jossa materiaalin laatu jatkuvasti heikkenee ja materiaali lopulta päättyy kaatopaikalle jätteeksi tai polttouuniin, kutsutaan termillä downcycling. Aineen käyttöikä on pidentynyt, mutta lopputulos jätteenä on sama. (Braungart, McDonough & Bollinger 2006, s. 2.) Samaa logiikkaa käyttäen ainevarastoja ei myöskään tule sekoittaa muihin ainevarastojen tai ainevarantojen aineisiin niin, ettei niitä voi enää erottaa toisistaan.

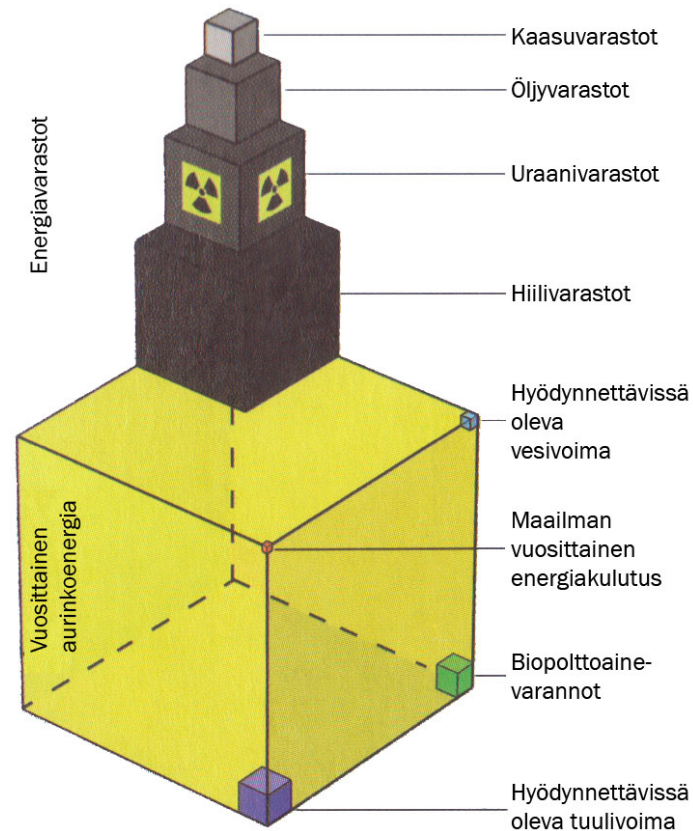
2.2.3 AINEVARASTOJEN KIERTOKULKU

Lisäksi on syytä huomata, että ainevarastojen mahdollisimman täydellisen kiertokulun vaatimus kieltää kaikkien fossiilisten polttoaineiden käytön energiantuotannossa. Tämä koskee myös sellaisten jätteiden polttoa, joiden seassa on ainevarastoja.

2.2.4 UUSIUTUVA ENERGIA

Uusiutuvan energian eli energiavirtojen hyödyntäminen on looginen jatko vaatimus aineen kiertokulun vaatimuksesta. Energian käyttö on kestävällä pohjalla, kun energialähteenä käytetään joko energiavirtoja tai ainevarantoja tavalla, joka on kuvattu luvussa 2.2.2. Jos ainevarastoja poltetaan energiaksi, rikotaan aineen kiertokulun vaatimusta.

Ainevarastojen hyödyntäminen energiantuotannossa ei nykykeinoilla ole ekologisesti kestävä. Vaikka pystyttäisiin louhimaan ainevarastoja ilman minkäänlaisia ympäristöpäästöjä, polttamaan ainetta energiaksi täydellisen puhtaasti ilman pienhiukkaspäästöjä ja ottamaan talteen sekä varastoimaan kaikki siitä koituvat hiilidioksidipäästöt, ei se Datschefskin (2001, s. 43) mukaan kuitenkaan olisi käytännöllistä. Energiavirtojen ja ainevarantojen hyödyntäminen energiantuotannossa on tähän verrattuna helpompaa.

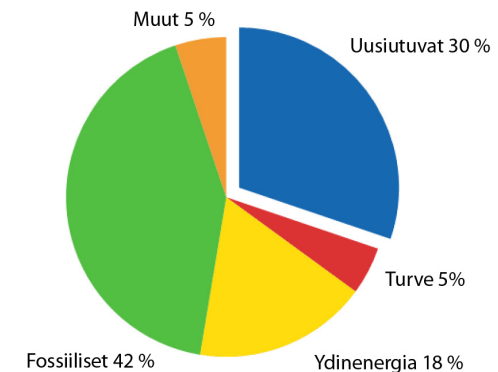


Kuva 17. Energian määrä maapallolla sekä vuosittainen energiakulutus. Bokalders & Block (2009, s. 280). Kuvan tekstit suomentanut J.L.

Kuva 17 näyttää hyödynnettävissä olevan vuosittaisen energiavirtauksen ja energiavarastojen (ainevarastot, joita on mahdollista käyttää energiatuotantoon) absoluuttisen määrän maapallolla. Kuvassa tummempina kuutioina kuvattu energiavarastojen määrä vähenee käytettäessä, eikä niitä muodostu lisää. Keltainen kuutio kuvaa vuosittaista maapallolle saapuvaa aurinkoenergian eli energiavirtojen määrää, johon sisältyvät myös hyödynnettävissä oleva tuuli- ja vesivoima sekä biopolttoaineet (ainevarannot). Pieni punainen kuutio kuvion keskellä kuvaa maailman vuosittaista energiakulutusta. Vuosittainen maapallolle saapuva energiavirtojen määrä on noin 15 000 kertaa maailman energiakulutusta suurempi. (Bokalders & Block 2009, s. 280.) Toisin ilmaistuna maapallolle yhdessä ainoassa päivässä saapuva energiavirtojen määrä täyttäisi ihmiskunnan nykyiset energiantarpeet neljäksi vuosikymmeneksi. Olemme siis hädin tuskin alkaneet hyödyntää aurinkoenergian (eli energiavirtojen ja ainevarantojen) potentiaalia (Datschefski 2001, s. 39). Niin kauan kuin auringon toiminta jatkuu nykyisellään, voidaan todeta, että energiaa riittää maan päällä myös ihmisen tarpeisiin.

Ekologisesti kestävä energiatuotanto ei siis ainakaan teoriassa ole kiinni siitä, etteikö uusiutuvaa energiaa olisi tarpeeksi saatavilla. Ongelma onkin osittain kulttuurinen. Nyky-yhteiskunnassa on totuttu käyttämään energiaa omien tarpeiden mukaan säästä tai vuorokaudenajasta riippumatta (vrt. Maryniak 2012). Energiavirtojen hyödyntämisen haaste on sääolosuhteiden vaihtelevuudessa. Aurinko ei paista ja tuuli ei puhalla tasaisesti ympäri vuorokauden. Energiavirtauksista saadun energian varastoiminen myöhempää käyttöä varten on toistaiseksi mahdollista lähinnä sähköisesti paristojen ja akkujen muodossa, tai isommassa mittakaavassa pumppaamalla vettä takaisin vesivoimalan yläjuoksulle (Maryniak 2012). Ainevarantoja, kuten esimerkiksi puupellettejä tai biokaasua, on sen sijaan mahdollista kerätä talteen ainemuodossa ja polttaa tarpeen mukaan lämmön- ja sähköntuotannon tarpeisiin.

Uusiutuvan energian osuus kokonaisenergiasta 2012 (ennakkotieto):



Kuva 18. Suomen kokonaisenergiasta vuonna 2012 (ennakkotieto) alle kolmasosa tuotettiin uusiutuvilla energialähteillä, joko hyödyntämällä energiavirtoja (lähinnä vesi, aurinko- ja tuulivoimaa) tai polttamalla ainevarantoja (lähinnä puupolttoaineita) (Tilastokeskus 2013). Koko maapallon tasolla uusiutuvan energian osuus kokonaisenergiasta oli vuonna 2010 kansainvälisen energiajärjestön IEA:n tilastojen mukaan noin 13 % (IEA 2012, s. 6).

2.3 EKOLOGISTEN VAATIMUSTEN YHTEENVETO

Edellisillä sivuilla esitettyjen ekologisen kestävyysvaatimusten perusteella voi huomata, että ne kaikki liittyvät tämän luvun alussa esitettyyn luonnon perusvaatimukseen ylläpitää aineen täydellistä kiertokulkua. Vaatimukset koskevat vain eri resurssityyppien käyttöä ekologisesti kestäväällä tavalla. Ensimmäinen vaatimus tarkoittaa synteettisten aineiden, toinen ainevarantojen ja kolmas ainevarastojen ekologista käyttöä.

Vaatimusten yhteenveto on esitetty oikealla. Tuote, joka koko elinkaarensa aikana (kaikissa vaiheissa raaka-aineen hankinnasta, kuljetuksesta, valmistuksesta ja kierrätykseen saakka) noudattaa näitä periaatteita, on ekologisesti kestävä. Yksittäisen vaatimuksen rikkominen rikkoo ekologisen kestävyysvaatimuksen.

Aine- ja energiaressurssien ekologisesti kestävä hyödyntämisen vaatimukset:

Synteettisten aineiden hyödyntäminen on ekologisesti kestävä, jos

- aineet ovat biohajoavia
- aineita ei tuoteta nopeammin kuin mitä ne voivat hajota luontoon.

Ainevarantojen hyödyntäminen on ekologisesti kestävä, jos

- vuosittainen käyttömäärä ei ylitä vuosittaista kasvumäärää
- aineen tuotanto ei tuhoa luonnon monimuotoisuutta
- käytetyn tuotteen aine palautetaan luontoon kasviraivanteeksi.

Ainevarastojen hyödyntäminen ei ole milloinkaan täysin ekologisesti kestävä, ja siksi niiden käyttö on sallittua vain, jos ainetta ei ole mahdollista korvata ainevarannon materiaalilla. Tällöin suunnittelun pitää varmistaa että

- aine kuluu tuotteen käytössä mahdollisimman vähän
- käytetty aine palautetaan samanlaatuisena takaisin tuotantoon
- poikkeus: aineet kuten luonnonkivi, savi ja lasi, jotka ovat runsaita, pitkälti sellaisenaan tai lähes sellaisenaan käytettäviä, helposti kierrätettäviä ja maanpinnan tuntumasta saatavia.

Energian käyttö on ekologisesti kestäväällä pohjalla, kun energialähteenä käytetään

- energiavirtoja
- ainevarantoja kestäväällä tavalla (kuten yllä).

“There were deep economic costs to ending slavery, but it was the right thing to do, and few today will argue that the economics did not pan out. With fossil fuels, we find ourselves in a similar situation, where our energy systems rely heavily upon resources that, directly and indirectly, cause sickness, death, and destruction. Rapidly and responsibly moving away from fossil fuels is simply the right thing to do, regardless of costs.”

Altemose & Soule (2012, s. 18).

Ensilukemalta muodostetut vaatimukset saattavat antaa ymmärtää, että ihmisten tulisi päästä eroon sekä kaikista maankuoren alta louhituista että yhteiskunnan tuottamista synsteettisistä aineista, ja ettei luonnon-alueita saisi milloinkaan häiritä. Tätä vaatimukset eivät kuitenkaan tarkoita. The Natural Step -järjestön (2013) mukaanongelma on ennemminkin se, että teollinen järjestelmämme on kehittynyt sellaiseksi, että louhitut ainevarastot ja yhteiskunnassa valmistetut aineet jatkuvasti kasautuvat luonnon järjestelmiin. Tämä tarkoittaa päästöjen ja haitallisten yhdisteiden progressiivista kasvua, joka on haitaksi niin ihmisille kuin miljoonia vuosia kehittyneille luonnon järjestelmille. (The Natural Step 2013 [3].) Jos ihmiskunta jatkuvasti myrkyttää biosfääriä omilla kemikaaleillaan, saastuttaa sitä aineva-

raston aineilla tai raivaa alleen maailman kasvillisuuden ja monimuotoisuuden, elämää ylläpitävien luonnon-prosessien toiminta heikkenee. On kuviteltavissa, että tällainen kehitys johtaa lopulta olosuhteisiin, jossa elämä ei ole mahdollista.

Ekologisen kestävyuden saavuttamiseksi kaivostointa ja fossiilisten polttoaineiden käyttö on kuitenkin lähes täysin lopetettava (Berge 2000, s. xv). On siirryttävä käyttämään jo louhituista ainevarastoja yhä uudelleen, päästävä eroon biohajoamattomista synteettisistä aineista, ylläpidettävä luonnon tuotantoa ja monimuotoisuutta sekä hyödynnettävä pelkkiä energiavirtoja ja ainevarantoja energiatuotannossa. Kaivosten sulke-

misen tulee lyhyellä aikavälillä tarkoittamaan työpaikkojen menetyksiä, mutta ainevarastojen kiertokulun ylläpitämiseen liittyvät tehtävät tulevat todennäköisesti työllistämään vähintään saman verran ihmisiä. Kestävän tulevaisuuden kannalta ei ole mahdollista loputtomiin ylläpitää tiettyä toimintaa vain työllisyyden tai taloudellisten etujen takia, jos tiedämme, että se on lähtökohtaisesti ja väistämättä elämälle haitallista. Koska taloutemme, yhteiskuntamme ja elämämme ovat täysin riippuvaisia luonnon toiminnan jatkuvuudesta (happi, vesi, resurssit), voidaan väittää, että talouden ja ympäristön intressien välisiä ristiriitoja ei ole edes olemassa (Robert 2002, s. 42).

2.4 EKOLOGISTA KESTÄVYYTTÄ TUKEVIA, EI-PAKOLLISIA EHTOJA

”Sähkön osuus omakotitalojen lämmityksessä on 60%.”

Markku Lappalainen (2010, s. 15).

Seuraavaksi esitetyt neljä ehtoa, eksergian hyödyntäminen, tehokkuus, hallittavuus ja paikallisuus, on tässä työssä ryhmitelty ekologisen kestävyuden näkökulmasta ei-pakollisiksi. Vastaavanlaisia ehtoja voi olla enemmänkin. Näitä kaikkia ehtoja tai keinoja yhdistää kuitenkin niiden ensisijainen pyrkimys vähentää järjestelmässä käytettävän energian ja aineen määrää ja tuottaa suhteellisesti enemmän hyötyä, ja ne kuuluvat siten ekotehokkuuden suunnittelustrategiaan (ks. kuva 14 luvussa 2.2) (vrt. Hoffrén, Kautto ym. 2000, s. 16 mukaan).

Eksergian hyödyntäminen

Aineen ja energian laadun hyödyntäminen on keskeinen osa ekotehokkuuden strategiaa.

Aineen eksergia

Aineen laatua on helppo ymmärtää. Joko aine on puhdasta ja hyvin käyttökelpoista (100 % eksergiaa),

kokonaan muuhun aineeseen tasaisesti sekoittunutta (0% eksergiaa) tai näiden väliltä. Kaakaojauheen sekoittaminen maitoon eri vaiheineen (puhdas jauhe ennen sekoitusta, sekoituksen hetkellä osa jauheesta maidossa ja osa pinnalla kellumassa, maitojuoma sekoituksen jälkeen) kuvaa hyvin aineen laadun muutosta. Jälkeenpäin jauhetta tai maitoa on hyvin vaikeaa tai mahdotonta palauttaa alkuperäiseen muotoon.

Tuotteen suunnittelussa ja valmistuksessa aineen eksergian hyödyntäminen tarkoittaa jätteen minimointia. Jäte edustaa hyödyntämätöntä aine- ja energialatua josta aiheutuu haitallisia ympäristövaikutuksia täysin turhaan (Graham 2003, s. 210).

Energian eksergia

Koska energiamuotoja on monia, energian laadun ymmärtäminen ei ole aivan yhtä suoraviivaista kuin aineen, joskin periaate on täysin sama. Eksergia kuvaa energian käyttökelpoisuutta (Hakanen 1993, s. 22). Mitä korkealaatuisempaa energiaa, sitä vaihtelevimpiin käyttötarkoituksiin sitä voi käyttää. Sähköllä, joka on hyvin laadukas energiamuoto, voi käyttää kodinkoneita, valaista huoneita ja lämmittää ruokaa. Kodinkoneiden hukkalämpö puolestaan kelpaa lähinnä vain huoneilman lämmittämiseen. Eri energiamuotojen laatua on esitelty kuvassa 19. Sähkö on huoneilman

Energiamuoto	% eksergiaa
potentiaalienergia (esimerkiksi korkealla sijaitseva vesivarasto)	100
liike-energia (esimerkiksi vesiputous)	100
sähköenergia	100
ydinenergia (esimerkiksi ydinpolttoaineen energia)	melkein 100
auringonsäteily	95
kemiallinen energia (esimerkiksi öljy, hiili, kaasu, turve, puu)	95
kuuma höyry (700 °C tai enemmän)	30
kaukolämpö (noin 100 °C)	30
hukkalämpö (50–80 °C)	5
lämpösäteily maasta	0

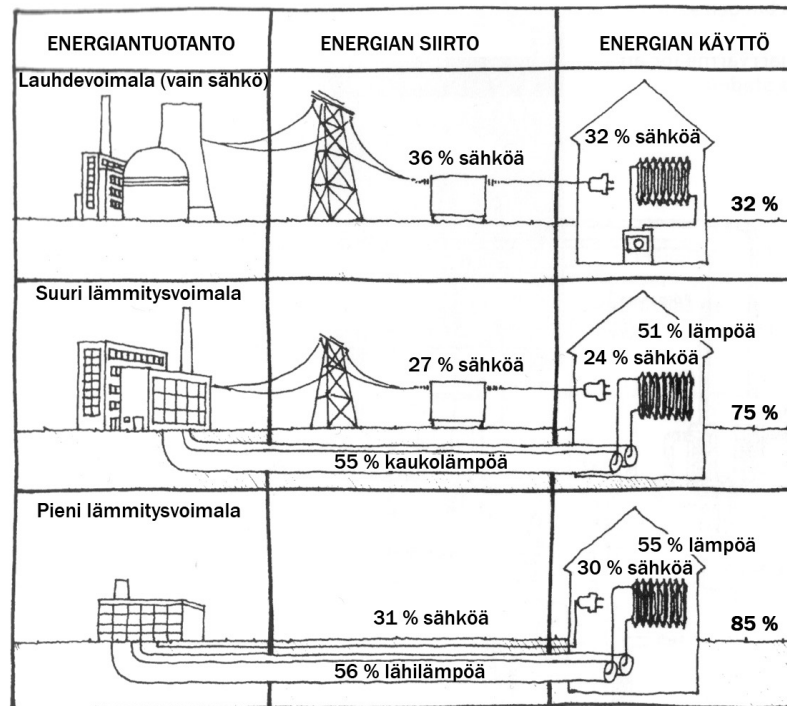
Kuva 19. Eksergian käsitettä voi havainnollistaa eri energiamuotojen laadun eksergiamitalla (Wall 1977, Hakasen 1993, s. 23 mukaan).

lämmitykseen liian korkealaatuista energiaa. (Hakanen 1993, s. 23.)

Energian laatu tulisi optimoida käyttötarkoitukseen (Van der Ryn & Cowan 2007, s. 109) Tästä voidaan todeta että energialaadun hyödyntämisen kannalta suunnittelun nyrkkisääntönä voi pitää, että korkealaatuista energiaa (esimerkiksi sähköä) käytetään vain siihen työhön, jota alempilaatuisella energialla ei pysty suorittamaan.

Tehokkuus

Tehokkuudella tarkoitetaan suhdetta aikaansaadun hyödyn ja siihen käytetyn työn välillä (Oxford Dictionary 2013). Käytännössä voidaan siten sanoa että tehokkuudella pyritään saamaan aikaan enemmän vähemmästä (Graham 2003, s. 208). Tuotesuunnittelussa tehokkuuden käsite muotoutuu siten pyrkimykseksi saada käytössä vähemmän ainetta ja energiaa kuluttava tuote valmistettua aiempaa pienemmällä aine- ja energiamäärällä. Tämä on toteuttavissa esimerkiksi vähentämällä kodinkoneen sähkönkulutusta, tai parantamalla rakennusten lämmöneristystä tai energiantuotannon hyötysuhdetta (kuva 20). Tehokkuus voi rakennussuunnittelussa tarkoittaa myös rakennusmassan ja ikkunoiden suuntaamista suotuisaan ilmansuuntaan tai kompaktia rakennusmuotoa.



Kuva 20. Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto on pelkän sähköntuotantoon verrattuna huomattavasti tehokkaampaa. Paikallinen energiantuotanto on myös keskitettyä tuotantoa tehokkaampaa ja sen toimintavarmuus on parempi. Bokalders & Block (2009, s. 313). Kuvan tekstit suomentanut J.L.

Hallittavuus

Hallittavuus tarkoittaa Hakasen (1993) mukaan sitä, että muuntautumiskykyinen järjestelmä huolehtii toimintansa jatkuvuudesta turvaamalla vaihtoehtoisen aineen ja energian virran kulun. Monimuotoinen järjestelmä kestää paremmin olosuhteiden muutoksia kuin yksipuolinen ja jäykkä järjestelmä. (Hakanen 1993, s. 27) Luonnossa monimuotoisuus ilmenee biodiversiteettinä, jolloin uhkaava olosuhteiden muutos (esimerkiksi sairaus tai sää) vaikuttaa kerralla kohtalokkaasti vain osaan eläin- ja kasvilajeista muiden selviytyessä. Esimerkiksi monokulttuuriviljelyssä järjestelmän hallittavuus on huono, sillä yksikin olosuhteen muutos voi johtaa koko sadon menetykseen. Luonnon monimuotoisuuden ylläpitäminen sisältyy luonnonsuojelun vaatimukseen, joka on esitelty luvussa 2.2.2.

Järjestelmän hallittavuus on hyvä, kun se on monimuotoinen, muuntautumiskykyinen ja tietoinen omasta ja ympäristönsä tilasta sekä kykenee korjaamaan omaa toimintaansa. Hallittavuus voidaan jakaa sosiaaliseen kestävyteen sekä rakenteelliseen ja tekniseen hallittavuuteen. (Hakanen 1993, s. 27.) Tässä työssä tarkastellaan kahta jälkimmäistä.

Rakenteellinen hallittavuus

Rakenteellinen hallittavuus merkitsee joustavuutta ajassa ja paikassa (Hakanen 1993, s. 113). Ekologisen kestävyuden kannalta joustavuus tarkoittaa tuotteen elinkaaren pidentämistä. Jos tuote on suunniteltu niin, että se soveltuu ajan kuluessa ja paikan muuttuessa edelleen käytettäväksi, sitä ei tarvitse korvata uudella tuotteella. Fyysisesti kestävä tuote on usein pitkäikäinen. Rakennus, jonka tilat ovat monikäyttöisiä tai muunneltavia, on todennäköisesti pitkäikäisempi kuin tilajäsjestelyltään joustamaton rakennus. Myös purettava tai siirrettävä rakennus, kuten esimerkiksi hirsitalo, palvelee pitempiaikaista käyttöä. (Ks. Hakanen 1993, s. 114.) Vastaavalla tavalla rakenteellinen joustavuus, jossa esimerkiksi vesiputkia ei ole kätkeyty ulottumattomiin betonilattian sisälle vaan jossa niiden kunto on helppo tarvittaessa tarkistaa, on suunnitteluratkaisu, joka johtaa pidempiaikaisempiin ja huollettavampiin rakennuksiin.

Tekninen hallittavuus

Teknisellä hallittavuudella tarkoitetaan, että järjestelmä on tietoinen omasta ja ympäristönsä tilasta. Tämä tarkoittaa tuotesuunnittelussa jonkinlaisten seuranta-järjestelmien sisällyttämistä tuotteeseen. Rakennuksissa vesi- ja sähkömittarit tai jätteiden lajittelu edistävät kulutetun aine- ja energiamäärän seurantaa. (Hakanen 1993, s. 114.) Tästä on pääteltävissä, että ekologisen kestävyuden kannalta tekninen hallittavuus tarkoittaa sitä, että käyttäjälle tiedotetaan kulutuksesta ja käyt-

täjä vähentää järjestelmän aine- ja energiamäärien kulutusta. Matkapuhelimen ilmoitus pian loppuvasta virrasta voi saada käyttäjän säästämään virtaa vain tarpeellisimpiin toimintoihin. Samaan tapaan luonnonprosessien ja kiertokulkujen esilletuominen ympäristön suunnittelussa voi muuttaa ihmisten kulutustottumuksia ja muistuttaa siitä, kuinka riippuvaisia olemme toimivasta luonnonympäristöstä (Van der Ryn & Cowan 2007, s. 185). Liian piilotetulla teknologialla, esimerkiksi maanalaisilla vesiputkilla tai jäteimujärjestelmillä, voi olla vastakkainen vaikutus. Jos ihmisten arkikulutuksesta tehdään yhä sujuvampaa ja siitä aiheutuvista ympäristövaikutuksista näkymättömpämpiä, ihmisen riippuvuutta luontoon ja teknologian vaikutuksia siihen ei arjessa enää havaita. Samalla näiden järjestelmien ymmärtäminen ja kyseenalaistaminen vaikeutuu. (Van der Ryn & Cowan 2007, s. 186.) Lisäksi varsinaisia ongelmia eli jätteitä ja päästöjä ei kuitenkaan ratkaista, vaan ne siirtyvät välittömästi ihmisen elinympäristöstä luontoon (Hakanen 1993, s. 10).

Tekninen hallittavuus merkitsee myös toimintavarmuutta. Yhdyskuntateknisten järjestelmien (esimerkiksi energiahuolto) koon kasvaminen ja niiden ominaisuus olla vain yhden ratkaisun varassa on lisännyt yhdyskuntien haavoittuvuutta (Hakanen 1993, s. 115). Oman uhkakuvansa järjestelmään tuovat rakennukset, joiden perustoimintojen kuten ilmanvaihdon ja lämmityksen, ylläpito on suunniteltu riippuvaiseksi esimerkiksi sähkönsaannista. Pienemmät yksiköt, varajärjestelmät (esimerkiksi varaavat takat) sekä päästöjen ja jätteiden paikallinen käsittely edistävät toimintavarmuutta

(Hakanen 1993, s. 115). Myös yksinkertaisuus parantaa toimintavarmuutta, mikä ilmenee kuvasta 21.

Siirtyminen pienempiin ja paikallisempiin yksiköihin tarkoittaa myös käytetyn teknologian tason suhteuttamista. Schumacherin mukaan huipputeknologia vaatii asiantuntijoita ja luo riippuvuutta. Sen sijaan keskitason teknologia, joka on älykkäästi kehitetty, tehokas ja tieteellinen mutta yksinkertaisempi, halvempi ja huollettavampi kuin länsimainen huipputeknologia, soveltuu paremmin pienten yksiköiden toimintaan. (Schumacher, Bokaldersin & Blockin 2009, s. 16 mukaan.) Sopivalla teknologiatasolla varmistetaan, että järjestelmä pystyy korjaamaan omaa toimintaansa.

Poisjätetyllä osalla on seuraavat ominaisuudet:

- Sitä ei tarvitse suunnitella.
- Sitä ei tarvitse dokumentoida osaluetteloihin.
- Siitä ei tarvitse huolehtia koko prosessissa.
- Sitä ei tarvitse tuottaa tai ostaa.
- Se vähentää organisaatiossa hankkijoiden työtä.
- Se ei vaadi tuotantolaitoksista tilaa eikä koneita.
- Se ei vaadi tilausvahvistusta eikä saapumiskontrollia.
- Sitä ei tarvitse varastoida, se ei vie varastotilaa.
- Se ei sido pääomaa.
- Sitä ei koskaan puutu varastosta.
- Sitä ei tarvitse käsitellä missään prosessin vaiheessa.
- Sitä ei tarvitse asentaa eikä tarkistaa asennusta.
- Sitä ei tarvitse jakaa prosessiin.
- Sitä ei tarvitse olla varaosavarastossa.
- Se ei vaadi koskaan ylläpitoa.
- Sitä ei tarvitse koskaan uusia.
- Se ei aiheuta muutostarpeita.
- Se ei mene koskaan rikki.

Paikallisuus

Ekotehokkuuden näkökulmasta paikallisuus tarkoittaa paikallisen energian ja aineen hyödyntämistä tuotteen suunnittelussa ja valmistuksessa niin, että minimoidaan valmistuksen yhteydessä muodostuvat ympäristöhaitat, kuten esimerkiksi kuljetuksista aiheutuvat päästöt. Kevytbetonielementtien tuottaminen kuluttaa 3500 MJ/m^3 ja niiden kuljettaminen Norjasta Koreaan 10000 MJ/m^3 . Varsinkin painavia materiaaleja tulisi näin ollen käyttää paikallisesti. (Berge 2000, s. 17.)

Paikallisuuteen liittyy myös omavaraisuus eli toiminnan jatkuvuus riippumatta alueen ulkopuolisista tekijöistä. Esimerkiksi energiantuotanto paikallisella energialähteellä on riippumatonta maailman polttoainehinnoista ja järjestelmän toimintavarmuus on tuontienergiaa parempi. Se voi myös olla keskitettyyn tuotantoon verrattuna huomattavasti tehokkaampaa (Braungart & McDonough 2008, s. 132, ks. myös kuva 20). Ekotehokkuuden paikallisuuden, hallittavuuden ja tehokkuuden ehdot liittyvät siis usein toisiinsa.

Kuva 21. *Poisjätetyn osan vaikutukset tuotannossa. Mitä yksinkertaisempi järjestelmä on, sitä parempi on sen toimintavarmuus* (Ahtiainen, Hynynen, Leppänen & Nousiainen 1995, s. 19).

Yhteenveto tuotteen ekotehokkuutta parantavista suunnittelukeinoista:

Eksergian hyödyntäminen

- Minimoi tuotteesta aiheutuvan jätteen määrä.
- Käytä korkealaatuista energiaa (esimerkiksi sähköä) vain siihen työhön, jota alempilaatuisella energialla (esimerkiksi lämmöllä) ei pysty suorittamaan.

Tehokkuus

- Minimoi tuotteen valmistuksen ja käytön aine- ja energiakulutus.

Hallittavuus

- Pidennä tuotteen elinkaarta parantamalla kestävyyttä ja joustavuutta ajassa ja paikassa.
- Tee tuotteen kulutus ja ympäristön toiminta näkyväksi käyttäjän säästäväisyyden maksimoimiseksi.
- Maksimoi tuotteen toimintavarmuus
 - minimoimalla sen riippuvuus muihin järjestelmiin
 - parantamalla huollettavuutta
 - yksinkertaisuudella.

Paikallisuus

- Maksimoi paikallisen aineen ja energian käyttö.

2.5 EKOVAIKUTTAVUUS JA EKOTEHOKKUUS

Effective = "successful in producing a desired or intended result" (Oxford Dictionaries 2013)
Tehokas, vaikuttava (MOT Englanti -sanakirja 2013)

Efficient = "achieving maximum productivity with minimum wasted effort or expense" (Oxford Dictionaries 2013)
Tehokas, suorituskykyinen (MOT Englanti -sanakirja 2013)

Kuten luvussa 2.2 todettiin, ekovaikuttavuus ja ekotehokkuus ovat toisistaan eroavia strategioita. Molempia voidaan käyttää kehittämään tuotteita kuten autoja ja rakennuksia ekologisesti kestävimiksi. Strategiat painottavat kuitenkin eri asioita.

1. **Ekovaikuttavuus** pyrkii ylläpitämään aineen täydellistä kiertokulkua. Se on vaikuttava strategia, joka pyrkii toivottuun lopputulokseen.
2. **Ekotehokkuus** pyrkii aikaansaamaan enemmän vähemmällä, ympäristöä säästäen. Se on suorituskykyinen strategia.

"Eco-efficiency is an outwardly admirable and certainly well-intended concept, but, unfortunately, it is not a strategy for success over the long term, because it does not reach deep enough. It works within the same system that caused the problem in the first place, slowing it down with moral proscriptions and punitive demands. It presents little more than an illusion of change."

Michael Braungart & William McDonough (1998).

Ekotehokkuus on teollisuudessa laajasti levinnyt strategia, joka yleistyi vuoden 1992 Rion ympäristö- ja kehityskonferenssin jälkeen (Braungart & McDonough 1998). Datschefskin (2001) mukaan ekotehokkuus on suosittu strategia mahdollisesti siksi, että työn tekeminen vähemmällä energiankulutuksella tarkoittaa vähempien ympäristöhaittojen lisäksi myös taloudellista säästöä. Materiaalitehokkuus on myös taloudelle kannattavaa heitystä, sillä se mahdollistaa suuremman myynnin samalla materiaalimäärällä. (Datschefski 2001, s. 56).

Tämän työn aiempien lukujen perusteella voidaan tehdä ainakin yksi huomio ekotehokkuuden ja ekovaikuttavuuden keskeisistä suhteista. Ekotehokkuudella tavoitellaan muun muassa jätteen minimointia. Jos jäte minimoidaan äärimmilleen eli saavutetaan tilanne, jossa jätettä ei synny, tuloksena on suljettu aineen

kiertokulku. Ekotehokkuudella on tällöin saavutettu ekovaikuttavuuden tavoite. Ekovaikuttavuutta voidaankin pitää ekotehokkuutena, joka on viety äärimmilleen. Strategioiden lähestymistavoissa on kuitenkin eroja. Vaikuttavuuden ja tehokkuuden ominaisuuksia on esitetty kuvassa 22.

Ekotehokkuus riittämättömänä kestävästä kehityksen muutosvoimana

Muun muassa Braungart, McDonough ja Bollinger (2006) ovat kritisoineet ekotehokkuuden strategiaa riittämättömäksi muutosvoimaksi viedä yhteiskuntaa kohti kestävä kehitystä. Ekotehokkuuden keinot vähentää jätevirtojen määriä, nopeuksia ja myrkyllisyyttä eivät heidän mukaan ole riittäviä ratkaisuja. Ekotehokkuus keskittyy ensisijaisesti jätteen vähentämiseen, eikä ekovaikuttavuuden tapaan resurssien laadun ja

Effectiveness <i>Vaikutavuus</i>	Efficiency <i>Tehokkuus</i>
Focuses on the desired result	Focuses on doing one's work in the correct manner
Seeks successes	Seeks to avoid failure
End of task most important	Means or resource to do a task most important
Oriented toward strategy and setting and keeping priorities	Oriented toward keeping the present system going
Uses a job description to define the work to be done and to set goals based on priorities	Performs each of the stated duties of a job description in the correct manner.
Attempts to find new ways to perform the task better	Concerned with keeping the status quo (things the way they are)
Anticipates change	Reacts to change
Flexible when change requires it.	Inflexible – determined to carry out plans regardless of change.
Motivated toward growth	Comfortable with keeping things as they are.
Constantly giving critical evaluation of a task	Prone to keeping record of what is going on.

Kuva 22. Vaikutavuuden ja tehokkuuden ominaisuuksia. (<http://www.kubik.org/lighter/effective.htm>.) Kuvan tekstit suomennanut J.L.

käyttökelpoisuuden ylläpitämiseen. Vaikka kierrätysstrategiat alkavat lähestymään ekovaikutavuutta, suurin osa kierrättämisestä on downcyclingia (katso luku 2.2.3), jossa tuote kierrättämisestä huolimatta päättyy lopulta kaatopaikalle tai jätteenpolttolaitokselle. (Braungart, McDonough ja Bollinger 2006, s. 2.) Myös Graham (2003) on todennut, että materiaalitehokkuudella on mahdollista vain hidastaa resurssien ehtymistä, ei estää sitä, ja siksi pelkällä resurssitehokkuudella ei ole mahdollista saavuttaa ekologisesti kestäviä tuloksia (Graham 2003, s. 208).

Braungart, McDonough ja Bollingerin (2006) mukaan tehokkuudella ei ole itseisarvoa; se voi olla joko hyvää tai huonoa. Tehokas puhdistusaine on liian poistamiseen toimiva tuote, mutta se voi samalla olla myös erittäin tehokas myrkky. Jos teollisuuden järjestelmät ovat luonnostaan ympäristöä tuhoavia, niiden tehottaminen ei ratkaise ongelmaa. Ekotehokkuus on pitkällä tähtäimellä edullista vasta, kun ekovaikutavuus eli ainevirtojen suljetut kiertokulut on saavutettu. (Braungart, McDonough & Bollinger 2006, s. 6.) Myös Crowther (1992) on maininnut että vasta kun aine- ja energiaressurssien lähteet ovat uusiutuvia ja puhtaita sekä noudattavat luonnon vaatimuksia on mahdollista saada aikaan merkityksellistä muutosta (Crowther 1992, s. 279). Jacksonin (2009) mukaan yhteiskunnan hiilidioksidipäästöjen lisääntyminen kuvaa tehokkuusparannusten kyvyttömyyttä saada aikaan absoluuttista muutosta. Yhä tehokkaammista prosesseista huolimatta fossiilisten polttoaineiden hiilidioksidipäästöt ovat

maailmanlaajuisesti nousseet 80 % vuodesta 1970, 40 % vuodesta 1990 ja jatkavat 2000-luvulla nousua 3 %:n vuositahtia. Vastaavanlainen kehitys kuvaa resurssien käyttöä myös yleisellä tasolla. (Jackson 2009, s. 84.)

Ekotehokkuus on kritikoiden mukaan riittämätön strategia myös myrkyllisten kemikaalien käsittelyyn, sillä jo pienet ainemäärät muodostavat merkittäviä ympäristö- ja terveysriskejä (ks. luku 2.2.1) (Braungart, McDonough & Bollinger 2006, s. 6). On olemassa yksinkertaisesti liian vähän tietoa teollisuuden saasteista ja niiden ympäristövaikutuksista, jotta vähentäminen olisi pitkällä aikavälillä terveellinen strategia (Braungart & McDonough 2008, s. 55).

Ekotehokkuuden ja ekovaikutavuuden esimerkkejä

Ekotehokkuuden ja ekovaikutavuuden strategioiden eroavuuksien ymmärtäminen on tämän tutkimuksen kannalta keskeistä ja siksi niitä on syytä selvittää muutamalla esimerkillä.

Autot aiheuttavat bensiinin ja dieselin poltosta ympäristöön lukuisia päästöjä, jotka johtavat monenlaisiin haittavaikutuksiin. Ekotehokas strategia on kehittää autoja vähemmän saastuttaviksi muun muassa kehittämällä polttoainetta, moottoreita ja autojen muotoilua. Näillä toimenpiteillä ei kuitenkaan ole mahdollista ratkaista itse ongelmaa, sillä haitallisten päästöjen vähentämisellä voidaan vain hidastaa ongelman

kasvua. Ekovaikuttava strategia voi sen sijaan tarkoittaa autoilun korvaamista kevyellä liikenteellä tai autojen energialähteen vaihtamista puhtaaseen vaihtoehtoon, esimerkiksi tuulisähköön. Tämä ratkaisee ongelman, sillä tällöin vältetään polttoaineiden ympäristöhaitoilta.

Strategioiden eroja voidaan kuvata myös rakentamiseen liittyvällä esimerkillä. Ekotehokas strategia voi olla minimoida aineen käyttömäärä ja samalla siitä koituvat haitalliset ympäristövaikutukset kehittämällä esimerkiksi komposiittirakenteita, joilla on lyömättömät fysikaaliset ominaisuudet. Kuvitellaan, että kyseisellä rakenteella voidaan toteuttaa ohut mutta jäykkä, kuormitusta kestävä kantava rakenne, jolla on lisäksi hyvät lämmöneristysominaisuudet. Jos äärimmäisestä tehokkuudesta huolimatta rakenteen monikerroksellisuus tekee kierrätyksessä aineen laadun ylläpitämisestä mahdotonta, materiaali muuttuu väistämättä jossain vaiheessa rakennusjätteeksi. Ekovaikuttava vaihtoehto voi sen sijaan olla yksiaineinen puoli metriä paksu massiivipuuseinä, joka astetta heikoimmista suorituskykyominaisuuksistaan huolimatta sellaisenaan voidaan käytön jälkeen palauttaa luonnon kiertokulkuun tai turvallisesti polttaa energiaksi.

Kuten esimerkeistä on huomattavissa, ekovaikuttava ja ekotehokas suunnittelustrategia voivat päätyä keske-

nään hyvin erilaisiin lopputuloksiin. Braungart, McDonough & Bollingerin (2006) mukaan ekovaikuttavuus voi johtaa ekotehokkuuden näkökannalta jopa hyvin tehottomaan ratkaisuun. Kirsikkapuun kasvattamista ja ympäristöön levittämistä tuhansista kukista vain muutamasta saattaa kasvaa uusia puita. Kun puuta tarkastellaan osana luonnonympäristöä ja ymmärtää, että turhat kukat ovat uutta ravintoa luonnon kiertokulussa, ekovaikuttavan järjestelmän kokonaistehokkuus on selvä. (Braungart, McDonough & Bollinger 2006, s. 6.) Tehoton järjestelmä tai tuote voi olla siis ekologisesti kestävä, kunhan kaikki jätteet voivat palata käyttökelpoisina takaisin aineen kiertokulkuun. Jos kirsikkapuun pudottamat kukat eivät jostain syystä kelpaa kokonaisuudessaan luonnon hajottajien ravinnoksi, järjestelmä ei voi olla ekologisesti kestävä.

Ekotehokkuus ja ekovaikuttavuus voivat olla toisiaan täydentäviä strategioita. Kun ekovaikuttavuus on saavutettu, edistysaskeleet tehokkuudessa eivät ole ekologinen välttämättömyys, mutta niitä tarvitaan oikeudenmukaisista syistä, tavaroiden ja palveluiden riittoisuuden varmistamiseksi yhteiskunnassa. (Braungart & McDonough & Bollinger 2006, s. 6) Jos aiemman esimerkin tehokas komposiittirakenne on tehokkuusominaisuuksien lisäksi kokonaisuudessaan palautettavissa aineen kiertokulkuun, se voi kokonaisuutena olla parempi tuote kuin massiivipuurakenne. Sekä

ekotehokkuutta että ekovaikuttavuutta siis tarvitaan kestävä kehityksen aikaansaamiseksi, mutta ekologisen kestävyys näkökulmasta ekovaikuttavuus tulisi asettaa etusijalle.

Ekotehokkuuden ja ekovaikuttavuuden mittaminen

Koska ekotehokkuus on keino muuttaa järjestelmässä virtaavan aineen ja energian määrää, voidaan sen tuloksia mitata elinkaariarvioinnin avulla. Elinkaariarviointi (Life Cycle assessment, LCA) on menetelmä, jonka avulla pyritään selvittämään tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset raaka-aineen hankinnasta tuotteen hylkäämiseen tai loppukäyttöön asti (Martinkauppi 2010, s. 88). Erilaisia elinkaariarviointiin perustuvia pisteytysjärjestelmiä on monia. Niiden ongelmat piilevät yrityksissä antaa täysin mitattavissa oleville sekä pohjimmiltaan subjektiivisille vaikutuksille samat painoarvot (Liddell 1999, Bergen 2000 s. x mukaan). Myös Aho (2000) on todennut, että on todennäköisesti mahdotonta arvottaa yhteisellä asteikolla esimerkiksi energiankäytön globaaleja ympäristövaikutuksia ja sisäilman epäpuhtauksien aiheuttamia terveyshaittoja puhumattakaan rakentamisen vaikutuksista kulttuuriympäristöön (Aho 2000, s. 41). Bokalders ja Block (2009) mainitsevat elinkaariarvioiden ongelmiksi niiden työläs laatiminen sekä se että itse tuotantotek-

niikka voi vaikuttaa tulokseen paljon enemmän kuin materiaalin omat ominaisuudet. (Bokalders & Block 2009, s. 41). On syytä pitää mielessä, että kaikkia ympäristövaikutuksia tuskin milloinkaan pystytään ymmärtämään riittävän hyvin saati sisällyttämään samaan arviointimenetelmään ja että yksittäisenkin muuttujan puuttuminen voi vaikuttaa ratkaisevasti lopputulokseen. Puutteistaan huolimatta elinkaariarviointimenetelmät ovat tuotteen ekotehokkuuden mittaamiseen ja kehittämistarpeen osoittamiseen toimiva työkalu (Bokalders 2009, s. 41).

Braungart, McDonough ja Bollinger (2006, s. 7) toteavat, että tavallinen elinkaariarviointi ei sovellu ekovaikuttavien tuotteiden tai prosessien optimaaliseen kehittämiseen, koska arviointi on luonteeltaan lineaarinen. Ekovaikuttavuuden mittaamiseen ei toistaiseksi ole varsinaisia menetelmiä (Van de Westerlo, Halman & Durmisevic 2012, s. 6). Kun tarkastellaan absoluuttista ekologista kestävyyttä, ekovaikuttavuuden mittaaminen ei ehkä kuitenkaan ole tarpeen. Tuote joko on tai ei ole ekovaikuttava (se joko on tai ei ole palautettavissa luonnon tai teollisen järjestelmän kiertokulkuun), ja tästä riippuen tuote joko on tai ei ole ekologisesti kestävä.

Ekotehokas vai ekovaikuttava tulevaisuus?

Luvun päätökseksi voidaan todeta, että monimutkaisista elinkaarianalyseista huolimatta ekologisesti kestävämpää tuotekehittelyä on mahdollista lähestyä vain kahden strategian avulla. Ekotehokkuuden ja ekovaikuttavuuden strategioiden valitsemisen välillä on lopulta ehkä kyse siitä, kuinka nopeasti ekologisesti kestäväntöntä yhteiskuntaa ollaan valmiita muuttamaan. Kannattaako ensisijaisesti keskittyä haitallisen järjestelmän tehostamiseen ja haittojen minimointiin ja vasta myöhemmin tehdä suurempia rakenteellisia muutoksia? Vai onko syytä mahdollisimman pian siirtyä haitallisesta järjestelmästä haitattomaan, ja vasta sen jälkeen tehostaa sitä?

Strategian valinnassa on myös kyse siitä, ymmärtääkö ekologisten kestävyiden suuntana vai saavutettavissa olevana tavoitteena. Ekotehokkuutta on kritisoitu ympäristöongelmien ratkaisemisen kannalta liian tehottomaksi muutosstrategiaksi. Ekovaikuttavuus on puolestaan ehkä helppo leimata epärealistiseksi strategiaksi, joka vaatii liian radikaaleja muutoksia nykyisiin teollisiin järjestelmiin. Tämä ei kuitenkaan muuta sitä, että ekovaikuttavuus on kestävä järjestelmän kokonaistarkastelun perusteella parempi strategia, ja siten parempi tavoite. Järjestelmä ilman jätettä on parempi kuin järjestelmä joka tuottaa jätettä. On parempi tavoite

tella suljettua järjestelmää kuin tyytyä tavoittelemaan mahdollisimman vähän ainetta käyttävää ja siten myös vain vähän jätettä tuottavaa järjestelmää. Hieman kärjistettynä voidaan sanoa, että jos vaihtoehtoina on pieniä materiaalivirtauksia ja vähän jätettä tuottava järjestelmä, tai suuria materiaalivirtoja kierrättävä syklinen järjestelmä, ainoastaan suljettu järjestelmä on todellisuudessa tehokas.

Tässä luvussa esille tuotujen näkökulmien kannalta voidaan ainakin päätellä, että ekologisten kestävyiden kannalta suljettua resurssikiertokulkua kannattaa edistää kaikkialla, missä se on mahdollista. Niiltä osin kun nykyään on mahdollista suunnitella tuotteita tai prosesseja niin, että niissä käytetyt materiaalit voivat palata takaisin luonnon tai teollisuuden ainekiertokuluihin, se myös kannattaa tehdä. Se ei ole pois ekotehokkuudelta, vaan se on sanan laajimmassa mittakaavassa nimenomaan tehokkuutta.

Tämän päivän rakennussuunnittelussa tehokkuusajattelu on viety pitkälle, mutta mitä ekovaikuttavuus tarkoittaa rakennussuunnittelussa? Mihin tässä luvussa esitetyt ekologisten kestävyiden vaatimukset ohjaavat rakennussuunnittelussa?

3. VAATIMUSTEN TÄYTTÄMINEN RAKENNUSSUUNNITTELUSSA

"Even award-winning products have a 'hidden ugliness' to them in the form of waste, from products and pollution."

Edwin Datschefski (2001).

Tämän luvun tavoitteena on ekologisesti kestävä tuotteen vaatimusten perusteella luoda kuva siitä, millainen on ekologisesti kestävä rakennus. Tarkoituksena on esittää, mitä edellisessä luvussa aineen kiertokulun pohjalta laaditut ekologiset vaatimukset käytännössä tarkoittavat rakennussuunnittelussa ja millaisiin suunnittelun ratkaisuihin ne johtavat. Tarkastelussa keskitytään rakennuksen ekovaikuttavuuteen ja siitä sovellettaviin yleisratkaisuihin. Ekotehokkuutta, esimerkiksi rakennuksen energiatehokkuutta ja pitkäikäisyyttä parantavia ratkaisuja ei tässä luvussa tuoda tarkemmin esille, sillä niitä käsitteleviä oppaita on julkaistu jo monia.

Täyttämällä ekologiset vaatimukset suunnittelussa voidaan varmistua siitä, ettei valmis rakennus ole ihmiselle tai muille eliöille haitallinen. Päinvastoin rakennus on ekologisesti oikein suunniteltuna elämälle

hyödyllinen, kun sen raaka-aineet pystyvät palaamaan ravintona luontoon tai materiaalina ihmisten teollisiin prosesseihin. Samalla rakennussuunnittelijoille avautuu mahdollisuus luoda Datschefskin (2001) sanoja lainaten "täysin kauniita" rakennuksia vailla "piilorumuutta" haitallisten ympäristövaikutusten muodossa.

Edellisessä luvussa selvitettiin, mitkä ovat ekologisesti kestävä tuotteen, samalla myös rakennuksen, vaatimukset. Nämä vaatimukset toimivat tämän tarkastelun tietopohjana, lähtökohtana, josta voidaan olla samaa mieltä (katso myös systeemiajattelu, luku 1.3). Hyödyntämällä backcasting-menetelmää eli kuvittelemalla talo, joka täyttää kyseiset vaatimukset, on mahdollista lähestyä tämän luvun tavoitetta, ekologisesti kestävä rakennus. Rakennus on täynnä yksityiskohtia rakennusratkaisusta ilmanvaihtojärjestelmiin, ja oikeasta ratkaisusta on ekologisen kestävyys kontekstissa

helppo väitellä. Vaatimusten avulla on nyt kuitenkin mahdollisuus keskustella näistä yksityiskohdista ja alustavasti hahmotella ekologisesti kestävä rakennus, sillä heti kun huomataan, että jokin yksityiskohta rikkoo vaatimuksia, tiedämme rakennuksen olevan ekologisesti kestävä. Ilman vaatimuksia keskustelu tällaisesta rakennuksesta olisi hankalaa ja kestävämmien ratkaisujen tekeminen suunnittelussa olisi helpompaa, sillä kestävyys päämäärä olisi epäselvä.

Tässä luvussa tutkimuksessa painottuu rakentaminen materiaalien kiertokulun osana sekä rakennussuunnittelun piiriin kuuluvat suunnitteluratkaisut.

3.1 RAKENNUKSEN OMINAISUUDET TUOTTEENA

Ekologisesti kestävä tuotteen vaatimukset koskevat myös ekologisesti kestäviä rakennuksia, mutta rakennukset poikkeavat kuitenkin monella tapaa muista tuotteista. Esimerkiksi useimpiin kodinkoneisiin tai huonekaluihin verrattuna rakennus on pitkäikäisempi, usein jatkuvassa käytössä ja suorassa kosketuksessa ulkoilman olosuhteisiin. Rakennukset ovat myös fyysisesti huomattavan suuria tuotteita ja siten talous- ja ympäristövaikutuksiltaan merkittäviä. Suuret vaikutukset kasvattavat rakennussuunnittelijoiden vastuuta, eikä mittaviin suunnitteluvirheisiin juurikaan ole varaa. Puutteellisten rakennussuunnitelmien aikaansaamat tarkoitukseensa huonosti soveltuvat rakennukset eivät ole kenenkään etu vaan jokaisen haitta, usein pysyvästi, sillä rakennuksia ei voi muiden tuotteiden tapaan helposti vetää pois markkinoilta.

Rakennuksilla on moniin muihin tuotteisiin verrattuna myös pitkä kehityshistoria. Siinä missä nykytietokoneita on ollut kymmeniä vuosia, rakennukset ovat kehittyneet vuosituhsien ajan. Ekologisesti kestävää elektronista tietokonetta ei mitään todennäköisimmin ole koskaan ollut, ja sellaisen kehittämisen voisi ajatella olevan todellinen haaste. Rakennuspuolella ekologisesti kestäviä historiallisia esimerkkejä on sen sijaan runsaasti, esimerkiksi paikallisista materiaaleista pystytetyt entisajan hirsitalot. Ennen teollistumista ekologisesti kestävämmien rakennusten pystyttäminen oli todennäköisesti varsin hankalaa ja harvinaista, sillä rakentamisessa käytettiin pitkälti pelkästään paikallisia luonnonmateriaaleja. Luonnonmateriaalien

käytön lisäksi kansanrakentaminen oli myös muilta ominaisuuksiltaan ekologisesti edistyksestä. Muun muassa paikan ehtojen ja luonnonolosuhteiden hyvä tunteminen ja hyödyntäminen, rakennusosien uudelleenkäyttö, muunneltavuus, selkeät rakenteet, toteutukseen osallistuminen ja omakohtainen vastuu ympäristömuutoksista ovat kaikki kansanrakentamisen ominaisuuksia. (Kukkonen & Lievonon 1989, Hakasen 1993, s. 15 mukaan.)

"Romanticizing the past" is a familiar accusation, made mostly by people who think it is more grown-up to romanticize the future."

Paul Kingsnorth (2013).

Vertaukset vanhoihin rakennustapoihin, tai jo pelkkä "ekologinen asuminen", saattavat herättää monessa mielikuvan paluusta vanhaan, epä mukavaan asumiseen. Vaikka perinteinen asumistapa oli monessa mielessä ekologisempaa, paluuta vanhaan ei ole. (Hakanen 1993, s. 15.) Kiinnostavampaa sen sijaan on miksi monet hyväksi ja ekologisesti kestäviksi todetut, toimintansa todistaneet rakentamiskäytännöt on nykyään korvattu kestävämmillä vaihtoehdoilla. Berge (2000) on todennut, että silmiinpistävän nykyaikaisen teknologian historiallinen ominaisuus on että uudet ja innovatiiviset ideat muodostuvat osaksi arkielämää niin nopeasti, täysin kaikkien hyväksymänä (Berge 2000, s. 49). Brandin (1995) mukaan kansanomaiset rakentajat tyytyvät hyväksymään todistetusti toimivia

ratkaisuja vanhoihin ongelmiin. He voivat keskittää suunnitteluenergian pelkästään uusiin ongelmiin, jos niitä ilmenee. Kun perinteinen kattorakenne toimii hyvin ja sen ylläpitoon tarvittavia materiaaleja ja taitoa on saatavilla, miksi muuttaa sitä? (Brand 1995, s. 132.)

Ekologisesti kestävä rakennus on nykyyhteiskunnalla mahdollinen toteuttaa, sillä käytettävissämme on vähintäänkin kaikki samat keinot, joilla vaatimukset on ennenkin onnistuttu täyttämään. Uusia ratkaisuja kestävämmien ongelmien ratkaisemiseen voidaan löytää sekä perinteisistä suunnitteluratkaisuista että nykyaikaisista kehittyneistä teknologioista (Van der Ryn & Cowan 2007, s. 89). Nykyrakentamista koettelee kuitenkin moni modernin aikakauden haaste. Ennen vanhaan paikallisista luonnonmateriaaleista pystytetty hirsitalo tuotettiin pitkälti itse paikan päällä, mutta nykyrakennuksen osat, kuten runkomateriaalit, ikkunat, vesiputket ja katemateriaalit on lähes poikkeuksetta esivalmistettu muualla. Ekologisesta näkökulmasta tämä monimutkaistaa rakentamista, sillä suunnittelija tai rakentaja eivät välttämättä tiedä tai ymmärrä, mistä aineet tulevat ja minkälaisia aineita rakennukseen lopulta päätyy (Braungart & McDonough & Bollinger 2006, s. 5). Eri rakennusmateriaalien mainonta, jossa keskitytään vain esittämään materiaalien hyviä ominaisuuksia, ei helpota asiaa. Rakentamisen ja siinä käytettyjen aineiden monimutkaistumisen lisäksi nykyrakennuksilta odotetaan aiempaa enemmän mukavuuksia. Voidaanko ekologisesti kestäväällä tavalla täyttää myös kaikki nykyajan rakennuksen vaatimukset suihkuineen ja sähköineen?

3.2 EKOLOGISESTI KESTÄVÄN RAKENNUKSEN VAATIMUKSET

Ekologisesti kestävässä rakennuksessa kaikki käytetyt rakennusaineet ja tuotteet täyttävät ekologisen kestävyden vaatimukset. Rakennus kuluttaa vain uusiutuvaa energiaa. Ekologisesti kestävä tuotteen vaatimusten yhteenvedo on esitetty luvussa 2.3, ja sen perusteella on seuraavaksi syytä yrittää hahmotella rakennuksen pääpiirteitä.

Vaatimusten yhteenvedo on esitetty oikealla. Rakennus, joka noudattaa näitä periaatteita, on ekologisesti kestävä. Yksittäisen vaatimuksen rikkominen rikkoo ekologisen kestävyys. Myös rakennukseen liittyvät työmenetelmät koko rakennuksen elinkaaren aikana (kaikissa vaiheissa raaka-aineen hankinnasta, kuljettuksesta, valmistuksesta ja kierrätykseen saakka) tulee noudattaa luvussa 2.3 esiteltyjä periaatteita. Tämä asettaa koko rakentamisprosessille ja yhteiskunnalle suuria haasteita, joiden ratkaiseminen ei ole rakennussuunnittelijan vallassa. Tässä luvussa keskitytään esittämään rakennussuunnittelun piiriin kuuluvat suunnitteluratkaisut.

Ekologisesti kestävä rakennus

voi sisältää ihmisen tuottamia synteettisiä aineita (1. vaatimus, katso luku 2.2.1),

- jotka ovat biohajoavia (joskin aineen määrä tulee minimoida)
- jotka ovat myrkyttömiä*

voi sisältää ainevarantoja (2. vaatimus, katso luku 2.2.2),

- jotka tulevat ekologisesti kestävästä lähteestä (esimerkiksi kestäväällä tavalla hoidetusta metsästä)
- jotka voi palauttaa luonnon kiertokulkuun

voi sisältää ainevaraston aineita (3. vaatimus, katso luku 2.2.3)

- vain välttämättömissä osissa, joita ei ole mahdollista korvata muilla aineilla**
- vain osissa, jotka eivät altistu fyysiselle kulutukselle**
- vain jos aine on käytön jälkeen mahdollista palauttaa samanlaatuisena takaisin teolliseen tuotantoon
- vain jos yksittäistä ainevaraston ainetta ei sekoita peruuttamattomasti mihinkään muuhun aineeseen

toimii energialla, joka on tuotettu käyttämällä lähteenä energiavirtoja tai ainevarantoja (4. vaatimus, katso luku 2.2.4),

Ekologisesti kestävä rakennus ei sisällä tai käytä mitään luettelossa mainitsematonta ainetta tai energiaa.

(* = Myrkyllinen aine ei varsinaisesti ole ekologisesti kestävä, jos se on biohajoava. Luonnossa myrkyllä on kuitenkin aina jokin tarkoitus, rakennuksessa myrkystä on vain haittaa.)

(** = Ei koske runsaita, pitkälti sellaisenaan tai lähes sellaisenaan käytettäviä, helposti kierrätettäviä ja maanpinnan tuntumasta saatavia aineita, kuten esimerkiksi luonnonkivi, savi ja tavallinen lasi.)

3.2.1 ERI AINERESURSSIEN SEKOITTAMINEN KESKENÄÄN

Vaatimukset täyttävälle rakennussuunnittelulle on ominaista, että tiettyjä rakennusaineita ei tule sekoittaa tai yhdistää toisiinsa niin, että niiden myöhempi irrottaminen ja palautus luonnon tai teollisuuden kiertokulkuun muuttuu mahdottomaksi. Lappalainen (2010) toteaa, että uutta rakentaessa kannattaa käyttää yksinkertaisia perusratkaisuja, jotka mahdollistavat osien käytön uudelleen. Yhdistelmärakenteet, joissa useita materiaaleja on liitetty yhteen, ovat kaikkein hankalimpia uudelleenkäytön kannalta. (Lappalainen 2010, s. 186.) Eri aineityyppien sallittuja yhdistelmiä

on pyritty havainnollistamaan kuvassa 23. Braungart & McDonough (2008) kutsuvat tuotteita, joissa kiertokulkujen kannalta sopimattomia aineita on sekoitettu peruuttamattomasti keskenään, Frankenstein-tuotteiksi tai hirviöhybrideiksi (monstrous hybrids) (Braungart & McDonough 2008, s. 99). Ekologista kestävyyttä tavoittelevan rakennussuunnittelijan harmiksi hyvin monet jalostetut rakennusmateriaalit ja -osat ovat tällaisia hybridejä. Jo niinkin tavallinen materiaali kuin vanerilevy koostuu puusta ja liimasta. Vanerissa käytetään nykyään lähinnä fenolihartsiliimaa (PF-liimaa),

joka sisältää fenolia, formaldehydiä ja eloperäisiä aineita. Näistä fenoli ja formaldehydi ovat myrkyllisiä, epäiltyjä karsinogeeneja ja aiheuttavat haitallisia ympäristövaikutuksia. (Bokalders & Block 2009, s. 74, 98 sekä Graham 2003, s. 67.) Vanerissa siis sekoittuvat keskenään peruuttamattomasti ainevaranto sekä biohajoamaton, haitallinen synteettinen aine, eikä se siten hajoa täydellisesti luontoon. Ellei liimaa korvata vaarattomalla ja biohajoavalla vaihtoehdolla, vaneri ei ole ekologisesti kestävä materiaali. Vastaavanlaisia hybridiesimerkkejä on rakennustuotteissa hyvin paljon, ja vanerilevyt ovat

Resurssityyppi	Ainevarannot	Ainevarastot	Synteettiset aineet <i>Biohajoavat ja vaarattomat</i>
Ainevarannot	x	-	x
Ainevarastot	-	-	-
Synteettiset aineet <i>Biohajoavat ja vaarattomat</i>	x	-	x

x = Aineita voi tarvittaessa sekoittaa keskenään.
 - = Aineita ei tule sekoittaa keskenään niin, ettei niitä voi myöhemmin erottaa toisistaan.

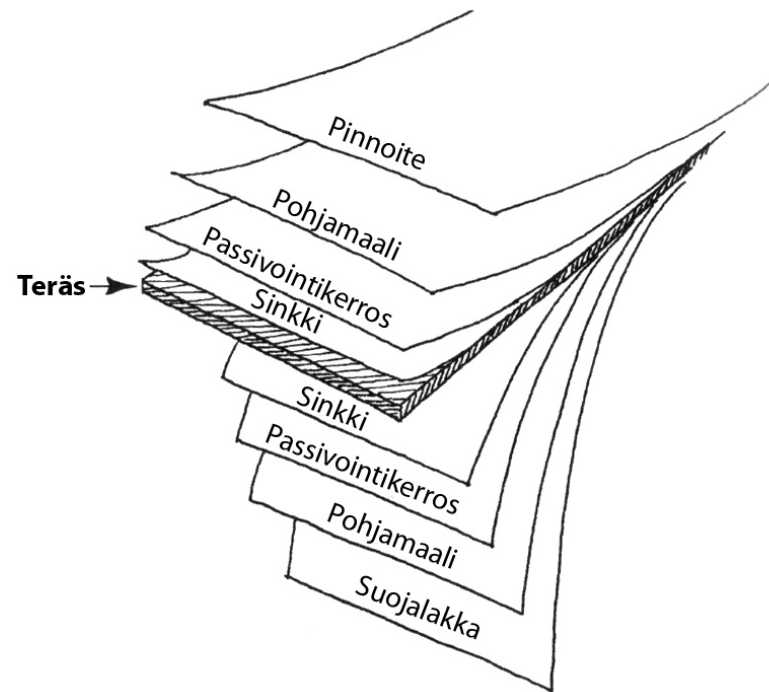
Kuva 23. Eri resurssityyppien sallittu sekoittaminen ekologisen kestävyuden vaatimusten mukaan. Ainevaraston resurssityyppejä, kuten metalleja, ei tule peruuttamattomasti sekoittaa, edes keskenään.

"The best way to discover alternatives is to look for them."

Paul Hawken (2010, s. 84).

näistä lievemmästä päästä. Rakennusteollisuudessa on runsaasti materiaaleja joilla on sekä heikko kestävyys että heikko kierrätettävyyspotentiaali (Berge 2000, s. 10).

Materiaalien vaikutukset tulisi ymmärtää, ennen kuin niitä käytetään (Berge 2000, xviii). On rakennussuunnittelijan tehtävä tietää, mitä aineita rakennuksiin päätyy, ja vastaavasti myös tuotevalmistajilla on vastuu kehittää tuotteitaan ekovaikuttaviksi. Rakennusosa, joka on suunniteltu niin, ettei se voi palata raaka-aineena takaisin kiertoon, tulee väistämättä niin ekologisesti kuin taloudellisestikin yhteiskunnalle kalliiksi jätteen, sairauksien ja muiden varjo-ongelmien muodossa. Rakennusmateriaalien- ja tuotteiden sisältämiä aineita ja ympäristövaikutuksia ovat käsitelleet esimerkiksi Bokalders & Block (2010).



Kuva 24. Tavanomainen ruostesuojattu peltikatto koostuu usean metallin ja muovin yhdistelmästä. Bokalders & Block (2009, s. 66). Kuvan tekstit suomentanut J.L.

3.2.2 SYNTEETTISTEN AINEIDEN KÄYTTÖ

Biohajoavien, myrkyttömien synteettisten aineiden käyttö rakentamisessa on ekologisesti kestävä. Tällaisiin aineisiin voidaan laskea kasviperäisistä aineista valmistetut kokonaan biohajoavat ja haitattomat muovit, maalit ja muut pintakäsittelyaineet sekä kemikaalit. Näitä aineita tulee silti käyttää säästeliäästi, sillä ekologisen kestävyys edellytyksenä on, että aineiden tuotantotahti ei ylitä luonnon kykyä palauttaa niitä kasvuviranteiksi. Synteettisiä aineita, jotka ovat myrkyllisiä tai biohajoamattomia (kuten useimmat nykymuovit), ei vaatimusten perusteella ekologisesti kestävässä rakennuksessa voi käyttää ollenkaan.

Sisäilmaan vaikuttavat tekijät:

1. rakennusmateriaalien kaasumaiset ja hiukkasmaiset päästöt
2. kosteusvauriot ja niiden aiheuttama rakenteiden mikrobikasvu, home- ja laho-ongelmat
3. ilmanvaihtolaitoksen huonon hygienian tuomat epäpuhtaudet ulkoilmasta ja ilmanvaihtokanavista
4. ihminen ja ihmisen oma toiminta
5. maaperän radon.

Kuva 25. Sisäilmaan vaikuttavat tekijät. Puhakka (1996, s. 17).

Synteettisillä aineilla on nykyrakentamisessa merkittävä vaikutus rakennuksen sisäilmanlaatuun (kuva 25). Ihmiset viettävät lähes 90 % vuorokaudesta sisätiloissa ja ovat siksi riippuvaisia hyvästä ilmanlaadusta (Mattson 2013, s. 24). Sisäilman saastuneisuus vaikuttaa käyttäjien terveyteen ja tuottavuuteen enemmän kuin useimmat muut ympäristötekijät (Euroopan komissio 2002, s. 38). Epäpuhtaudet aiheuttavat ihmisille monenlaisia terveyshaittoja ärsytys- ja epäviihtyvyysoireista aina vakaviin sairauksiin (astma, allergiat, syöpä, geneettiset vauriot) asti (Puhakka 1996, s. 17 ja EU:n Komissio 2002, s. 38). Rakennusmateriaalit sisältävät paljon haitallisia aineita (Graham 2003, s. 67). Monet nykypäivän rakennustuotteet, kuten tasoitteet, vedeneristeet, laminaatit, liimat ja maalit, sisältävät haitallisia synteettisiä aineita ja ovat silti päivittäin kosketuksissa sisäilmaan ja ihmisiin. Näiden keinoaineiden vaikutusta ihmiskehoon ei juurikaan ymmärretä, sillä vaikutukset näyttäytyvät hitaasti ja aineet ovat verrattain uusia. Monet haitoista saattavat näkyä vasta jälkeläisissä. (Hawken 2010, s. 51–53.) Rakennusmateriaaleissa käytettyjä yleisiä myrkyjä ja niiden vaikutuksia on käsitelty muun muassa Berge (2000). Datschefskin mukaan jokaiselle haitalliselle tuotteelle on aina olemassa turvallisempi materiaali- tai kemikaalivaihtoehto, mutta alkuperäisen haitallisen aineen suorituskyvyn saavuttaminen on haasteellista. (Datschefski 2001, s. 50.)

Euroopan komission (2002) julkaisussa todetaan, että rakennusten tekeminen ilmatiiviiksi energian säästön nimissä on huonontanut ilmanlaatua. Eräs näkemys on,

että tämä johtuu vähäisemmästä ilmanvaihdosta. Toisen näkemyksen mukaan todellinen ongelma on sisäilman saastelähteiden lisääntyminen. (Euroopan komissio 2002, s. 38.) Sairas rakennus -oireita (muun muassa silmien ärsytystä, yskää ja päänsärkyä) on havaittu enemmän koneellisesti ilmastoiduissa rakennuksissa. (Puhakka 1996, s. 20 ja Euroopan Komissio 2002, s. 38.) Ärsytysoireita aiheuttavat esimerkiksi formaldehydi, styreeni, liuotinaineet ja mineraalivillakuidut (Puhakka 1996, s. 18).

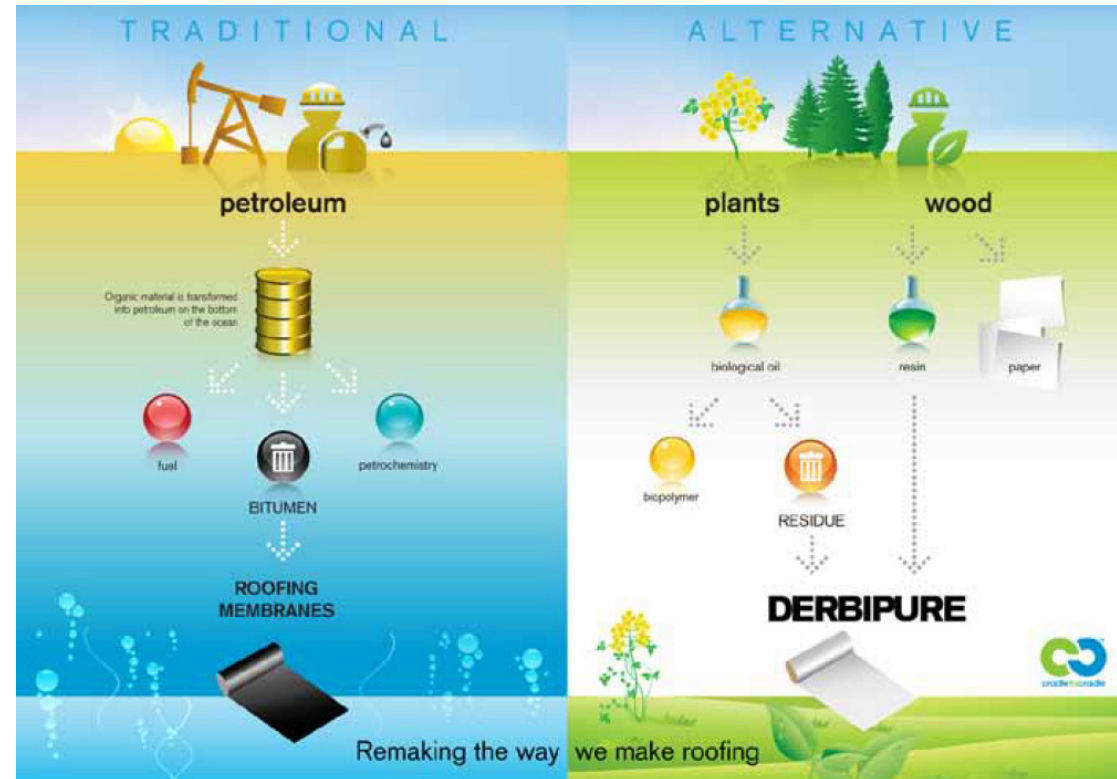
Rakennusaineiden ominaisuuksia ei ole aina helppoa selvittää. Mattsonin (2013) mukaan analyysit näyttävät joskus, että materiaaleilla on täysin eri ominaisuudet kuin mitä aiemmin on luultu. Yksi syy tähän on, että vakiintuneidenkin rakennustuotteiden materiaali koostumukset jatkuvasti muuttuvat. Markkinoille tulee monia uusia materiaaleja, joiden tiedot pitkäikäisyydestä täysin puuttuvat. Lisäksi osa materiaaleista on kehitetty ja testattu todellisuudesta eroavissa olosuhteissa. (Mattson 2013, s. 21)

”Vanhojen rakennustapojen muuttaminen on luvallista vain silloin, kun se on parannukseksi, muutoin pidä kiinni vanhasta. Sillä totuus, olkoonkin satoja vuosia vanha, on sisintämme lähempänä kuin rinnalla kulkeva valhe”

*Adolf Loos 1913
(Aminoff & Kontinen 2004, s. 27 mukaan).*

Ilmeisin keino välttää suhteellisen tuntemattomien tai monimutkaisten materiaalien sivuvaikutuksia on käyttää niiden sijasta perinteisempiä, toimivuutensa ajan myötä todistaneita rakennusaineita ja -menetelmiä. Tämä ei tarkoita, etteikö uusia materiaaleja ja tuotteita tulisi kehittää, mutta niiden kehitys tulisi tapahtua terveistä, todistetuista lähtökohdista, jotka eivät jätä tilaa arvailuille tai haitallisille piilovaikutuksille. Lähes kaikilla prosesseilla (ja materiaaleilla) on sivuvaikutuksia, mutta ne voivat olla harkittuja ja kestäviä tahattomien ja haitallisten sijaan (Braungart & McDonough 2008, s. 81). Kun ongelma (esimerkiksi rakennusmateriaalien päästöistä aiheutuva huono sisäilmanlaatu) ratkaistaan syntylähteellä (käytetään vain terveellisiä materiaaleja), ei myöskään ole tarpeen vastata ongelmaan myöhemmin esimerkiksi ylimääräisen teknologian avulla (sisäilmanpuhdistaja tai tehostettu ilmanvaihto) ja luoda sen myötä uusia ongelmia (koneiden korjaaminen, lisääntynyt sähkönkulutus jne.). (Ks. myös luku 1.3.)

Rakennus jossa on vältetty haitallisten biohajoamattomien synteettisten aineiden käyttöä ei automaattisesti ole terveellinen, sillä myös tällaisessa rakennuksessa voi ilmetä toimimattomia ilmanvaihtojärjestelmiä tai kosteusvaurioita ja sen kautta homeongelmia. Ekologisesti kestävä rakennuksen vaatimus olla sisältämättä biohajoamattomia ja myrkyllisiä synteettisiä aineita luo kuitenkin väistämättä ihmisen toiminnalle terveellisemmän sisäympäristön verrattuna rakennukseen, jossa kyseisiä materiaaleja on käytetty.



Kuva 26. Rakentamisessa paljon käytetyille öljypohjaisille, uusiutumattomille bitumituotteille on olemassa kasvipohjaisia vaihtoehtoja jotka ovat täysin kierrätettäviä. (http://www.derbigum.us/ContentDir/PRODUCTS_derbi-pure_file_8.pdf)



Kuva 27. Rakennusmateriaalien päästöluokkamerkki (M1). Rakennusmateriaalien päästöluokitus edistää vähäpäästöisten tuotteiden kehittämistä ja käyttöä. Luokan M1 tuotteisiin voidaan lukea pinnoittamattomina tiili, luonnonkivi, keraaminen laatta, lasi, metalli sekä kotimaisista puulajeista valmistetut laudat ja hirret. (RT 20-11008.)

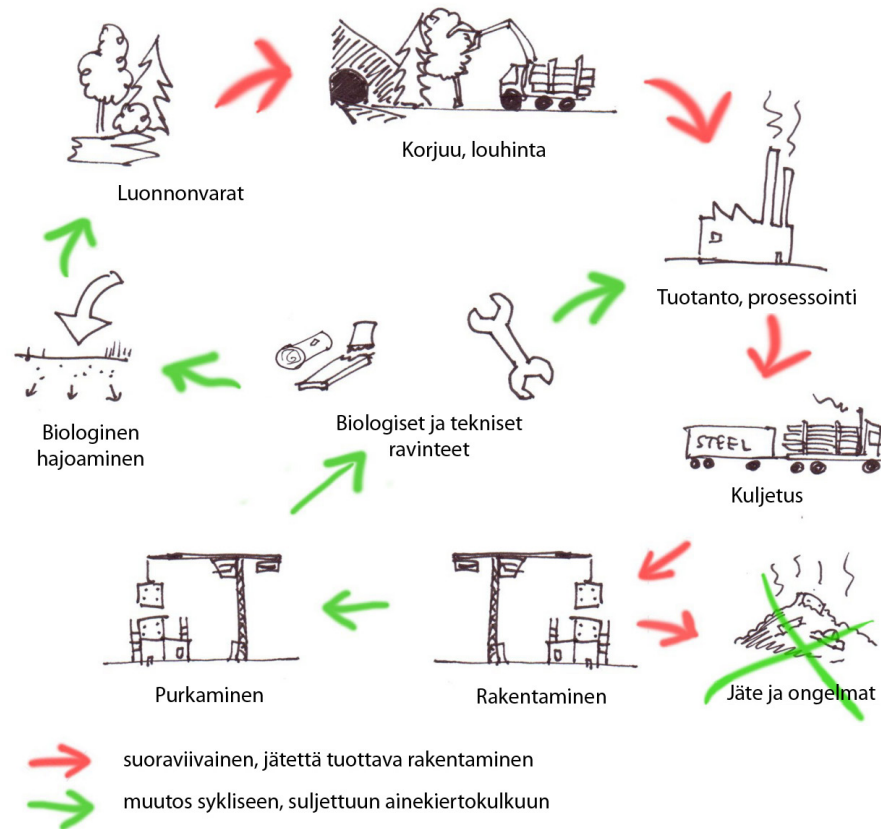
3.2.3 AINEVARANTOJEN KÄYTTÖ

Ainevarantojen, kuten puu-, olki-, ruoko- ja vastaavien kasvipohjaisten materiaalien, käyttö on ekologisesti kestävässä rakennuksessa vapaampaa kuin muiden resurssityyppien hyödyntäminen. Tämä johtuu siitä, että luonto hoitaa ainevarantojen täydellisen kierrätyksen itse. Ainevarantoja voi ekologisesti kestävässä rakennuksessa käyttää kaikissa osissa, kunhan ne eivät peruuttamattomasti sekoitu ainevarastoihin (ks. kuva 23). Ainevarantoja valittaessa rakennussuunnittelijan tehtäväksi jää materiaalin alkuperän selvittäminen. Vain ekologisesti kestävällä tavalla tuotettuja ainevarantoja voi hyödyntää ekovaikuttavassa rakennuksessa (ks. luku 2.2.2).

Ainevarantojen rakennusmateriaaleja valittaessa suunnittelijan on syytä pitää mielessä, että vaikka tietyt materiaalit ovatkin esimerkiksi puupohjaisia, niiden koostumus ja ominaisuudet ovat usein hyvinkin kaukana massiivipuusta. Esimerkiksi monissa levytuotteissa puuaines on jauhettu pieniin osiin ja luonnollinen sideaine, ligniini, on valmistuksen yhteydessä pitkälti poistettu, jolloin jäljellä oleva selluloosa on erityisen altis homesienille (Mattson 2013, s. 22). Levyissä voi olla myös lisäaineita, joiden vaikutukset on syytä tuntea.

Ainevarantoihin voidaan laskea myös ihmisten eloperäiset jätteet, jotka myös tulee palauttaa ravinteina takaisin luonnon kiertokulkuun. Eloperäisten jätteiden ja veden paikallista käsittelyä esimerkiksi juurakko- puhdistamoissa ja kompostoreissa on käsitellyt muun muassa Erat (1994). Myös kaupunkiolosuhteisiin tarkoitettuja talokohtaisia jätteen ja veden biologisia käsitte- lyjärjestelmiä on kehitetty. (Erat 1994, s. 194.)

Kuva 28. Muutos suoraviivaisesta, saastuttavasta rakentamisesta sykliseen ainekiertoon. Biologiset ravinteet kuvaavat ainevarantoja, tekniset ravinteet ainevaraston materiaaleja. Kuva perustuu Braungart & McDonoughin (2006) kuvaukseen.



Kuva 29. FSC- ja PEFC-merkit varmistavat, että tuotteessa on käytetty sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävällä tavalla hoidetuista, sertifioituista metsistä peräisin olevaa puuta (RT 20-11008).



3.2.4 AINEVARASTOJEN KÄYTTÖ

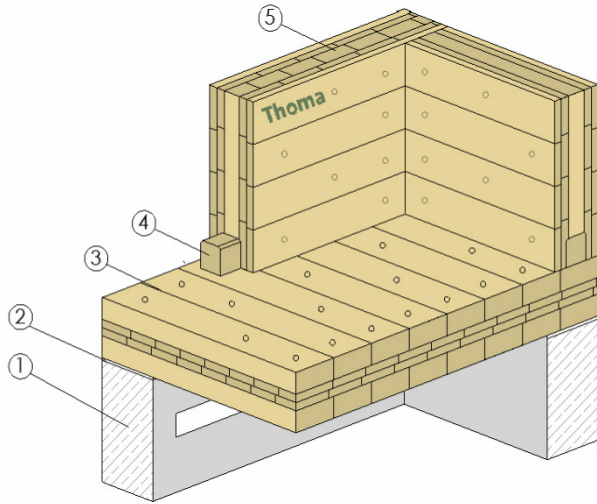


Kuva 30. Helsingin Etu-Töölössä sijaitsevan Olaus Petrin kirkon kuparipellityksen valumajälkiä jalkakäytävällä. Kuvattu 26.4.2013.

Ekologisesti kestävässä rakennuksessa ainevarastojen eli esimerkiksi metallien käyttöä pitää mahdollisimman pitkälle välttää, sillä niiden käytöstä aiheutuu väistämättä jonkinasteinen haitallinen ympäristövaikutus (ks. luku 2.2.3). Jos rakennuksen jokainen osa suunnitellaan pelkistä ekologisesti kestävällä tavalla tuotetuista ainevarannoista tai biohajoavista ja vaarattomista synteettisistä aineista, sen rakenne on automaattisesti ekologisesti kestävä. Vaikka rakennus hylättäisiin, se ajan myötä pikkuhiljaa maatuu ja palautuu luonnon kiertokulkuun. Rakennussuunnittelussa ainevarastojen, kuten metallien, kokonaan käyttämättä jättäminen on kuitenkin varsin epärealistinen ajatus kun on kyse nykyaikaisesta talosta. Sähköjohdot, ovi- ja ikkunasaranat, lukot, putket, useat koneet sekä vastaavanlaiset osat on vaikea toteuttaa ilman metallien erityisominaisuuksia. Toisaalta ainevarastojen materiaaleista riippuvaisia osia voi rakennuksessa loppujen lopuksi olla vähemmän kuin mitä ensiajattelemalla luulisi.

Koska ainevarastot ovat uusiutumattomia materiaaleja, niitä ei tulisi käyttää kulutukselle alttiissa rakennusosissa, jos ne mitenkään ovat muulla tavoin korvattavissa. Näihin osiin voidaan lukea ainakin kaikki rakennuksen julkisivu- ja kattopinnat sekä erityisen kuluvat sisäpinnat

kuten lattiat. Bergen (2000) tietojen mukaan Ruotsin ympäristöministeriö arvioi vuonna 1995 muun muassa katoilta ja putkista kuluneen kuparin menetyksen olevan Ruotsissa yli 1000 tonnia vuodessa. Tämä tarkoittaa sekä arvokkaan ja hyvin kierrätettävissä olevan materiaalin lopullista menettämistä että ympäristön saastumista, sillä kupari on myrkyllinen metalli. (Berge 2000, s. 8, 79.) Katemateriaaleina tulisi pellin ja bitumin sijaan käyttää esimerkiksi savitiiliä tai tuoda perinteinen lauta- tai paanukatto jyrkällä kattokulmalla ja kylmällä ullakolla takaisin nykyrakentamiseen. Monen kattopellin ja bitumituotteen ekologinen haaste ei ole pelkästään niiden uusiutumattomuus luonnonresursseina, vaan myös nykytuotteiden rakenteen monikerroksellisuus ja sen kautta heikko kierrätettävyys. Ekologiselta näkökannalta myös esimerkiksi puualumiini-ikkunat ovat kyseenalaisia, sillä uusiutuvan puun tulisi suojata alumiinia eikä toisinpäin. Ekologisesti järkevin vaihtoehto on käyttää laadukkaita puuikkunoita. Tätä ajattelua kannattaa suunnittelussa viedä myös hyvin pienten rakennusosien tasolle. Esimerkiksi puujulkisivussa ruuvit ovat ekologisesti nauvoja parempi vaihtoehto uudelleenkäyttömahdollisuuksien takia (Berge 2000, s. 389). Jos julkisivun lautaverhoilu tai julkisivuelementti on ruuvattu kiinni sisäpuolelta, ruuvit eivät altistu



Kuva 31. Holz 100 on Itävallassa kehitetty yksiaineinen, massiivipuinen rakennejärjestelmä lattia-, seinä- ja katkatoelementteineen. Käsittelemättömästä mäntytaavaraista valmistetut elementit eivät sisällä lainkaan liimoja tai metalleja. Elementtien osat on kiinnitetty toisiinsa pyökkitapeilla. Holtz 100 -tuotekatalogi (2012). elementtien rakennekerrosten väliin on jyrstetty kapeita ilmataskuja parantamaan elementtien lämmöneristävyysskyä, joilla päästään jopa 0,2 W/(m K) lämmönläpäisykertoimiin. Thoma tuoteseloste (2013).

Kuva 32. Polttamattomia savilaattoja lattiassa, jotka ovat kestäneet toistakymmentä vuotta ilman ongelmia (http://www.luomura.com/@Bin/177871/a%20IMG_4267.jpeg).



suoraan sään kulutukselle, puupinta pysyy ulkopuolelta ehjänä ja lopputulos on esteettisestikin siistimpi (Heinonen 2013, s. 79). Tästä ekologisen kestävyuden kannalta vielä kehittyneempi vaihtoehto on suunnitella kokonaan yksiaineinen julkisivurakenne, jossa ruuvit korvataan esimerkiksi liimattomilla puutappiliitoksilla. Esimerkki tällaisesta rakenneratkaisusta on itävaltalainen Holtz 100 -rakennejärjestelmä (kuva 31).

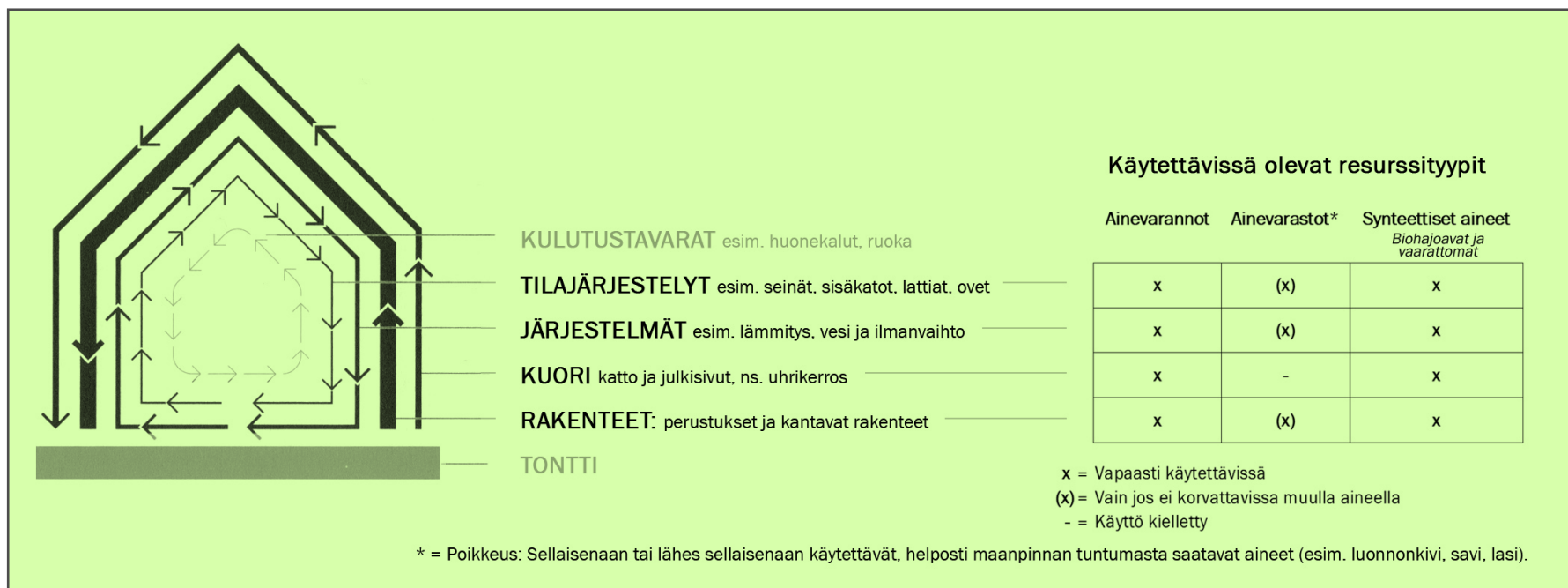
Rakennuksen ulko- ja sisäpintojen lisäksi talotekniset järjestelmät, kuten lämpö-, vesi- ja jätevesihuolto- sekä koneelliset ilmanvaihtojärjestelmät, ovat fyysisesti erityisen kuluja rakennusosia. Ne valmistetaan pitkälti metalleja sekä öljypohjaisia muoveja käyttäen, eikä niiden korvaaminen biohajoavilla materiaaleilla

ole ainakaan tämän tutkimuksen aineiston tietojen pohjalta toistaiseksi realistista. Bokalders ja Block (2009) toteavat esimerkiksi sisätilojen vesiputkissa käytetyistä materiaaleista muovien, kuten polyeteenin tai polypropeenin, ekologiselta kannalta hyväksyttävämmäksi kuin kupariset tai ruostumattomat teräsputket (Bokalders & Block 2009, s. 91). Myös sähkön- ja lämmöntuotantojärjestelmien valmistuksessa käytetään pitkälti ainevarastojen materiaaleja.

Niin kauan kun näihin taloteknisiin järjestelmiin ei ole olemassa ratkaisuja, jotka eivät kuluta ainevarastoja tai biohajoamattomia synteettisiä aineita, täysin ekologisesti kestävä nykyrakennuksen suunnittelu ei ole mahdollista. Siihen asti rakennuksen suunnittelussa on

ekotehokkuuden keinoilla tavoiteltava näiden järjestelmien määrän ja koon pitämistä mahdollisimman pienenä. Tämä tarkoittaa esimerkiksi vain välttämättömyimpien koneiden sisällyttämistä rakennussuunnitelmiin ja pohjaratkaisussa vesipisteiden sijoittamista niin, että aikaansaadaan lyhyitä putkivetoja. Painovoimainen ilmanvaihto ja maakellari ovat puolestaan esimerkkejä ratkaisuista, joilla koneiden ja sitä kautta metallien (sekä sähkön) käyttöä on mahdollista vähentää.

Ainevarastoista valmistetut osat (kuten välttämättömät koneet ja putket) tulisi suunnitella niin, että ne on mahdollista käytön jälkeen palauttaa laadukkaina materiaaleina mahdollisimman suljettuun teollisen järjestelmän kiertokulkuun. Rakennuksen eri osat



kuluvat eri tahtiin. Tästä syystä osat kannattaa suunnitella toisistaan erilleen eri rakennekerroksiin (kuva 33) niin, että jokaiseen on mahdollista päästä käsiksi ilman muiden rakenteiden hajottamista. Nykyaajan rakennuksissa nämä eri rakennekerrokset integroidaan yleensä tehokkuuden nimessä peruuttamattomasti yhteen (Berge 2000, s. 13). Esimerkiksi betonin sisään valetut vesiputket ovat kuitenkin sekä ekologisesti, toiminnallisesti että taloudellisesti ongelmallinen suunnitteluratkaisu (kuva 34). Integroinnilla vaikeutetaan ratkaisevasti materiaalien kierrätettävyyttä sekä huollettavuutta, mikä usein johtaa lyhyempään rakennuksen toimintaikään ja taloudellisesti kalliimpiin remontteihin (ks. myös hallittavuus, luku 2.4).

Kuva 33. Rakennus jaettuna eri rakennusosien käyttöön mukaan. Kapeampi nuoli kuvaa useammin vaihdettavia osia, paksumpi nuoli harvemmin tai ei milloinkaan vaihdettavia osia. Kuvan taulukossa on esitetty missä rakennusosissa voi ekologisen kestävyuden kannalta käyttää mitäänkin resurssityyppiä. Kuvan vasemmanpuoleista kuviota on muokattu alkuperäisen (Brand 1995, s. 13) pohjalta. Kuvan teksti suomentanut J.L.

Kuva 34. Nykyaikaisessa rakentamistavassa yhdistetään monia erityyppisiä materiaaleja eri kestävyysominaisuuksilla tavalla joka vaikeuttaa ratkaisevasti sekä korjaamista että materiaalien kierrätystä. (http://wikikko.info/wiki/Kuva:IMG_1256.jpg)

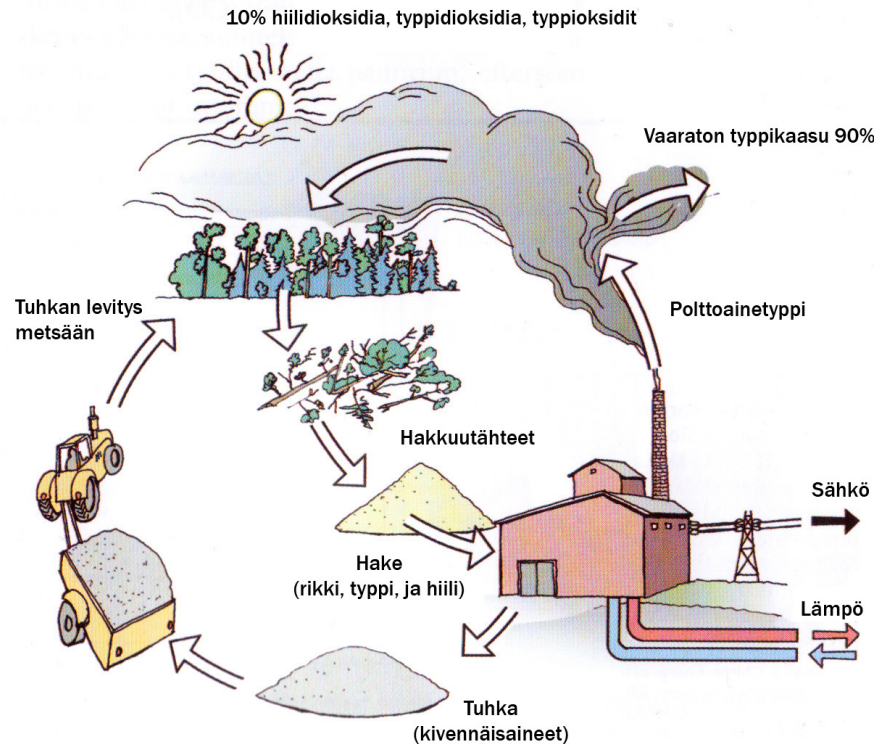


3.2.5 ENERGIAN KÄYTTÖ

Rakennukset kuluttavat lämpöä ja sähköä. Lämpöä tarvitaan Suomessa eniten talvella ja kesällä tuskin ollenkaan, sähkön tarve taas on vuodenajasta riippumatta varsin tasaista. Ekologisesti kestävä rakennus käyttää näiden molempien energiamuotojen lähteenä pelkästään energiavirtoja eli aurinko-, tuuli- tai vesivoimaa tai ainevarannoista valmistettua biopolttoainetta. Biopolttoaineisiin lukeutuvat esimerkiksi erilaiset puupolttoaineet kuten polttopuu, puupelletit ja purut, sekä myös biokaasu. Maalämmöllä on myös mahdollista lämmittää rakennus, mutta lämmitysmuoto vaatii toimiakseen aina sähköä, joka pitää ekologiset vaatimukset täyttääkseen olla uusiutuvaa.

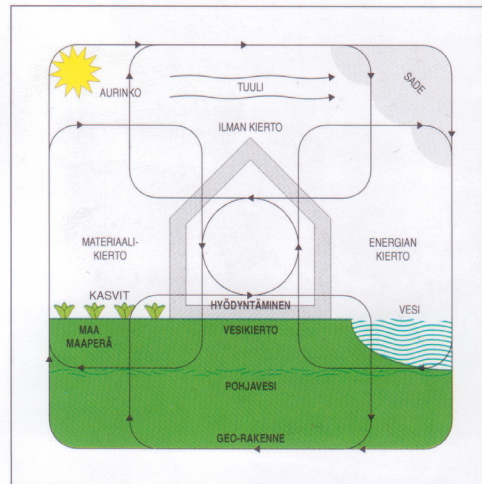
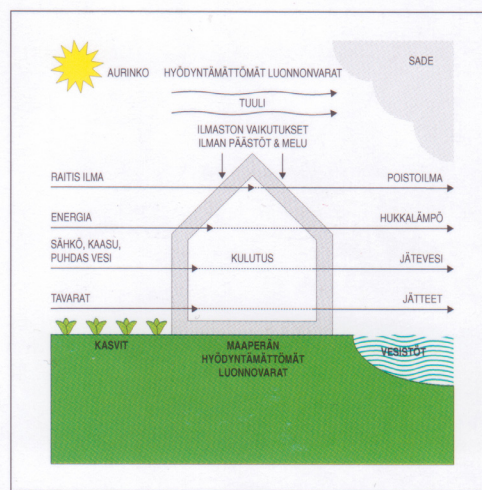
Uusiutuvaan energian tuottamiseen on monia vaihtoehtoja, joiden soveltuvuus riippuu paikasta. Varsinkin Suomessa energiavirtauksia suoraan hyödyntävien aurinkosähkö- tai lämpökeräinten sekä tuulivoimaloiden eräänä ongelmana on, kuten luvussa 2.2.4 on todettu, energiansaannin epäsäännöllisyys. Tätä ongelmaa ei esiinny biopolttoaineissa, johon energia on jo valmiiksi varastoitunut käytettäväksi tarpeen mukaan. Suomessa uusiutuvan energian painopiste onkin puussa ja puuperäisissä jättepolttoaineissa (Lappalainen 2010, s. 15). Ekologisesti kestäväan rakennukseen voidaan valita energialähteeksi esimerkiksi yhdistetty sähkön ja lämmöntuotannon (CHP, combined heat and power) pellettipoltin, joka tuottaa samaan aikaan sekä sähköä että lämpöä. Polttimen käyttö kannattaa rajoittaa sähköntarpeen mukaan, ja lisälämpöä talvipakkasille voi tuottaa varaavalla takalla. Talokohtaisia pieniä pellettijärjestelmiä

(micro-CHP) on saatavilla yksittäisille pientaloille, mutta yleisempiä ovat isommat järjestelmät jotka toimivat esimerkiksi taloryhmän, kerrostalon tai lähialueen yhteiskäyttöön.



Kuva 35. Esimerkiksi puupohjaisella polttoaineella toimiva yhdistetty lämmön ja sähkön-tuotanto ylläpitää ainevarantojen kiertokulkua. Kuva: Bokalders & Block (2009, s. 289). Kuvan teksti suomennettu. Kuvan teksti suomentanut J.L.

3.3 EKOLOGISESTI KESTÄVÄN RAKENNUKSEN OMINAISUUDET



Kuva 36. Luonnonvarojen tuhlaus tavanomaisessa rakennuksessa (yllä) ja niiden kiertokäyttö kestävässä rakennuksessa (alla) (Euroopan komissio, s. 41).

Kun edellisessä luvussa kuvattuja ekologisen kestävyiden vaatimukset täytetään rakennussuunnittelussa, tuloksena on ekologisesti kestävä rakennus. Vaatimukset koskevat pelkästään käytettyjen luonnonresurssien lähteitä sekä niiden käyttötapaa, mutta eivät sitä, kuinka paljon niitä käytetään (kunhan ainevarantoja ei käytetä niiden kasvutahtia nopeammin). Vaatimukset eivät myöskään vaikuta esimerkiksi rakennuksen muotoon, lämmöneristysten määrään tai pienilmastolliseen suuntaamiseen. Nämä ovat ekotehokkuuden yksityiskohtia, joilla vaikutetaan rakennuksen resurssinkulutuksen määrään. Tämä tarkoittaa, että ekologisesti kestävä rakennus voi olla epätehokas, joskin siihen ei ole syytä pyrkiä. Tässä on kyse luvussa 2.5 käsitellystä ekovaikuttavuuden ja ekotehokkuuden strategioiden erosta. Tätä eroa on syytä selvittää myös esimerkillä, jossa verrataan kahta rakennusta toisiinsa.

Ekotehokas ja ekovaikuttava rakennus

Rakennus A on äärimmäisen ekotehokas. Sen energiatehokkuus on maailmanluokkaa, sen hiilidioksidipäästöt ovat erittäin pienet, lähes nolla. Poikkeuksellisesti myös rakennuksen huollettavuus ja sitä kautta pitkäaikaiskestävyys on hyvä. Nämä paperilla erinomaisilla vaikuttavat luvut on onnistuttu saavuttamaan käyttämällä kehittyneimpiä rakennustuotteita, ja rakennus tuottaa lisäksi myös suurimman osan käytetystä energiasta

itse, kesällä jopa kulutustaan enemmän. Rakennus A ei kuitenkaan ole ekovaikuttava, sillä lähes kaikki sen rakennusosat ovat epämääräisten liimojen, kemikaalien, muovien, ainevarantojen ja ainevarastojen sekoituksia. Lisäksi rakennuksen kuluvissa osissa on käytetty uusitumattomia materiaaleja: talossa on peltikatto, ja seinät on maalattu muovipohjaisella maalilla. Useimpia rakennus A:n materiaaleja ei voi palauttaa takaisin luontoon tai teollisuuden prosesseihin, sillä ne eivät ole suunniteltu kierrätettäviksi. Rakennuksen talvipakkasilla käyttämä pieni määrä ulkopuolista energiaa tuotetaan hiilellä. Rakennus A:llä on haitallisia ympäristövaikutuksia, ja niistä eroon pääseminen on hankalaa. Fossiilinen energialähde on mahdollista vaihtaa uusiutuvaan, mutta talon materiaalit joudutaan korvaamaan kokonaisuudessaan ekovaikuttavilla aineilla. Vanhat komposiittimateriaalit kelpaavat korkeintaan täytömaaksi. Ne menetetään lopullisesti ja aiheuttavat haitallisia ympäristövaikutuksia tulevaisuudessa.

Ekologisesti kestävä rakennus voi olla eksergiaa tuhaava, hyvin epätehokas, vaikeasti hallittava ja rakennettu materiaaleista, jotka eivät ole ollenkaan paikallisia. On mahdollista kuvitella esimerkiksi sähkölämmiteinen, huonosti lämmöneristetty, ei-paikallisista materiaaleista pystytetty rakennus B jonka kuluttama sähkö tuotetaan toisella puolella maapalloa. Niin kauan kun talon kaikki materiaalit ovat ekovaikuttavia



Kuva 37. Nelikerroksinen hotelli Itävallan Leogangissa. Hotelli on rakennettu Holz 100 -massiivipuulementtijärjestelmällä (Thoma tuoteseloste 2013).

"If nature adhered to the human model of efficiency, there would be fewer cherry blossoms, and fewer nutrients. Fewer trees, less oxygen, and less clean water. Fewer songbirds. Less diversity, less creativity, less delight. The idea of nature being more efficient, dematerializing, or even not "littering" (imagine zero waste or zero emissions for nature!) is preposterous. The marvelous thing about effective systems is that one wants more of them, not less."

Michael Braungart & William McDonough (2008, s. 76).

eli palautettavissa kiertokulkuun ja sähkö on tuotettu uusiutuvalla energialla, rakennus B on itsessään ekologisesti kestävä. Ekotehokkuuden kannalta talo on järjetön. Sitä onkin syytä parantaa monella tapaa, esimerkiksi parantamalla lämmöneristystä ja siirtymällä paikallisempaan sähkön- ja lämmöntuotantoon. Näin energiaa ei käytetä turhaan jolloin sitä riittää muillekin, eikä kaukaisen energiatuottajan ongelmat katkaise sähköjä. Haitallisia ympäristövaikutuksia rakennuksella itsessään ei kuitenkaan ole. Kaikki rakennuksen käyttämä energia on uusiutuvaa, ja rakennuksessa käytetyt materiaalit on mahdollista kokonaisuudessaan kierrättää. Lisäksi rakennuksen kaikki kuluvat pinnat on valmistettu ainevarantojen aineista, jotka kuluessa sään tai käytön vaikutuksesta palauttavat materiaalien ravinteet ympäristöön.

Yllä olevat kuvaukset ovat radikaaleja ja yksipuolisia esimerkkejä ekotehokkaasta ja ekovaikuttavasta rakennuksesta, eikä niissä oteta huomioon työmenetelmiin kuten esimerkiksi kuljetukseen liittyviä ympäristövaikutuksia. Esimerkkien perusteella voidaan silti todeta että riippumatta siitä, onko rakentamisen elinkaaren ajan työmenetelmät ekologisesti kestäviä vai ei, on mahdollista suunnitella rakennus, joka käytön aikana ja sen jälkeen ei itsessään aiheuta haitallisia ympäristövaikutuksia. Jos rakennussuunnittelija onnistuu suunnittelemaan rakennuksen niin, että jokainen osa voi palata takaisin ainekiertokulkuun ja että talo käyttää vain uusiutuvaa energiaa, voidaan väittää, että hän on omalla vaikutusalueellaan toiminut ekologisesti kestävällä tavalla. Jos lopputuloksena sen sijaan on rakennus, joka (myös työmenetelmistä riippumatta) itsessään aiheuttaa energian- ja materiaalinkäytön

kautta haitallisia ympäristövaikutuksia, suunnittelijalla on omassa työssään parantamisen varaa.

Kuten edellisessä luvussa todettiin, nykyaikainen ekovaikuttava rakennus, jossa kaikki osat ovat kierrätettävissä ilman materiaalien laadun heikkenemistä, ei todennäköisesti ole toistaiseksi kaikilta osin mahdollinen toteuttaa. Ainevarastojen käyttöä tietyissä kuluissa osissa on toistaiseksi lähes mahdotonta välttää. Erityisesti talotekniset laitteet sekä vesiputket vaativat metallien ja muovien ominaisuuksien hyödyntämistä. Suurin osa rakennuksesta koostuu kuitenkin muista rakennusosista, ja näissä tulisi käyttää ekovaikuttavia materiaaleja aina kun mahdollista. Koska tavoitteena on materiaalien täydellinen kierrätys, tulee rakennusosien, tuotteiden ja materiaalien purkaminen ottaa huomioon jo rakennusta suunniteltaessa (Van de Westerlo, Halman & Durmisevic 2012, s. 4). Varsinkin ainevarastojen materiaaleista valmistetut osat pitää olla purettavissa ja irroitettavissa toisistaan niin, että yksittäiset metallit ja aineet voidaan palauttaa kiertokulkuun sekoittamatta niitä keskenään. Tulevaisuudessa voi olla että myös ainevarastojen materiaalit ovat korvattavissa samantyyppisiä ominaisuuksia omaavilla ainevarantojen materiaaleilla.

Siihen asti esimerkiksi taloteknisille laitteille voidaan keksiä muitakin kierrätettävyyttä edistäviä vaihtoehtoja. Braungart, McDonough ja Bollinger (2006) toteavat, että ainevarastojen materiaalit pitäisi olla kulutustavaroiden sijasta palveluita, jotka valmistaja myymisen sijaan vuokraa käyttäjille. Ihmiset eivät osta esimerkiksi televisiota tai uunia kuluttaakseen tuotteen materiaaleja samalla tavalla kun he kuluttavat ruokaa,

vaan he ostavat laitteen sen mahdollistavan palvelun takia. Tällä palveluiden tuotemallilla molemmat osapuolet hyötyvät. Valmistaja säilyttää omistuksensa arvokkaat materiaalit ja pyrkii valmistamaan tuotteet mahdollisimman hyvin hyödynnettäväksi uudelleen käytön jälkeen, suljetussa kiertokulussa. Palvelun käyttäjä ei puolestaan joudu vastaamaan käytetyn tuotteen hävittämisestä tai jätemaksuista. (Braungart, McDonough & Bolinger 2006, s. 7).

Ekovaikuttavan rakennuksen hyödyt

Braungartin ja McDonoughin (2008) mukaan sveitsiläisessä Röhnerin kangastehtaassa kehitettiin 1990-luvulla ekovaikuttava verhoilukangas. Vanhan, käytön jälkeen ongelmajätteeksi luokitellun tuotteen parantamisen (haitallisten kemikaalien ja materiaalien vähentämisen) sijasta kehitettiin alusta alkaen uusi kangas käyttäen vain ekotehokkaita materiaaleja ja kemikaaleja. Koska uudessa kankaassa ei käytetty haitallisia ainesosia kuten esimerkiksi väriaineita, tarvetta haitallisille lisäaineille kuten värin kestävyyttä parantaville UV-suojille ei enää ollut. Näin saavutettiin kangas, joka ratkaisi useita valmistukseen, käyttöön ja jätteisiin liittyvää ongelmaa. Uusi tuote oli huomattavista kehityskuluista huolimatta, myös taloudellisesti aiempaa kannattavampi. Uudessa valmistusprosessissa käytetty vesi ei likaantunut, jolloin sitä pystyi käyttämään uudestaan samassa prosessissa. Koska jätevesi oli puhdasta, sen käytölle ei tarvinnut asettaa säädöksiä eikä sitä tarvinnut jälkikäsitellä. Lisäksi tehtaan työntekijät pystyivät työskentelemään ilman suojarusteita, ja aiemmin ongelmajätteelle varattuja tehdastiloja voitiin ottaa muuhun käyttöön. (Braungart & McDonough 2008, s. 108.)

C2C Principle	Criteria
Waste = Food, Everything is a Nutrient for Something Else	Define Materials and Their Intended use Pathways
	Integrate Biological Nutrients
	Enhance Air and Climate Quality
	Enhance Water Quality
Use the Sun, Energy that can be Renewed as it is Used	Integrate Renewable Energy
Celebrate Diversity, Species, Cultural, and Innovation Diversity	Actively Support Biodiversity
	Celebrate Conceptual Diversity with Innovation

Kuva 38. Cradle to cradle rakennuksen kriteerit. Van de Westerlo, Halman & Durmisevic (2012, s. 3).

Edellisen ekotehokkuusesimerkin perusteella voidaan todeta, että aineen kiertokulkujen sulkemisella on materiaalin uudelleenkäytön sekä ympäristöhaittojen estämisen lisäksi myös monia muita ekologisia, sosiaalisia ja taloudellisia hyötyjä. Vaikka tässä tutkimuksessa on lähinnä tuotu esiin yleisiä keinoja rakennuksessa käytetyn materiaalin ja energian kiertokulkujen sulkemiseksi, voidaan lisäksi parantaa myös muita rakennuksen ominaisuuksia. Van de Westerlo, Halman & Durmisevic (2012) ovat artikkelissaan Translate the Cradle to Cradle Principles for a Building muodostaneet suunnittelukriteerejä, jotka pyrkivät muun muassa monipuolistamaan rakennusympäristön biodiversiteettiä kasveilla, viherseinillä ja puilla, jotka samalla sitovat hiilidioksidia sekä puhdistavat ilmaa ja vettä (periaatteet kuvassa 38). (Van de Westerlo, Halman & Durmisevic (2012, s. 5.)

Olisikin ehkä aika ottaa rakennussuunnittelussa haitallisten ympäristövaikutusten minimoinnin ohella tavoitteeksi maksimoida rakennuksen mahdollistamat hyödyt ihmisten lisäksi myös ympäristölle. Tulevaisuudessa ehkä rakennuksia osataan suunnitella saumattomasti osaksi toimivaa luonnonympäristöä niin, ettei niiden suunnittelulle edes tarvitse asettaa määräyksiä ja asetuksia.

What would it mean to be 100 percent good?

Michael Braungart & William McDonough (2008, s. 67).



4. EKOLOGINEN KESTÄVYYS RAKENTAMISEN OHJAUKSESSA

Tässä luvussa tarkastellaan lyhyesti ekologisesti kestävyys näkökulmasta sitä, mihin rakentamisen ohjauksessa Suomessa keskitytään nyt ja lähivuosina sekä miten ohjauksen keinot käsittelevät tässä työssä esiteltyjä ekologisen kestävyys vaatimuksia. Luvussa esitellään ne osat rakennuslaista ja rakentamismääräyksistä, jotka koskevat ekologisesti kestävästä rakentamisesta, sekä tehdään katsaus keskeisimpiin ohjelmiin ja strategioihin.

4.1 EKOLOGINEN KESTÄVYYS RAKENNUSLAISSA JA MÄÄRÄYKSISSÄ

Viranomaiset säätelevät, valvovat ja ohjaavat rakentamista Suomessa. Rakentamisen yleinen ohjaus perustuu lain ja asetuksen tasoihin säännöksiin. Maankäytön ja rakentamisen tärkein ohjauskeino on vuonna 2000 voimaan tullut maankäyttö- ja rakennuslaki. Lakia sovelletaan alueiden suunnittelussa ja käytössä sekä rakentamisessa. Tarkemmat säännökset ja määräykset sisältyvät maankäyttö- ja rakennusasetukseen. Rakentamista koskevat, maankäyttö- ja rakennuslakia täydentävät määräykset ja ohjeet sisältyvät Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. (Ympäristöministeriö 2013.)

Säädösten ja hallinnollisten päätösten ohella maankäyttöä ja rakentamista ohjataan ohjelmilla ja strategioilla.

Ekologinen kestävyys rakennuslaissa

Suomen maankäyttö- ja rakennuslaissa ekologisesti kestävää rakentamista on säädetty kohdissa 1 § ja 12 §. Lain yleisenä tavoitteena on *”järjestää alueiden käyttö ja rakentaminen niin, että siinä luodaan edellytykset hyvälle elinympäristölle sekä edistetään ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestävää kehitystä.”* Rakentamisen ohjauksen tavoitteena on edistää *”rakentamista, joka perustuu elinkaariominaisuuksiltaan kestäviin ja taloudellisiin, sosiaalisesti ja ekologisesti toimiviin sekä kulttuuriarvoja luoviin ja säilyttäviin ratkaisuihin”*. (Laki 5.2.1999/132.)

Lisäksi maankäyttö- ja rakentamisasetuksessa 10.9.1999/895 kohdassa 55 § on rakentamisen ekologisia näkökohtia tarkennettu seuraavasti:

”Rakennukselle asetettuja vaatimuksia sovellettaessa tulee ottaa huomioon rakennuksen käytön aikaiset ympäristövaikutukset niin, että rakennus on sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla ekologisilta ominaisuuksiltaan kestävä. Rakennusta suunniteltaessa tulee tarpeen mukaan selvittää rakennusmateriaalien ja -tarvikkeiden aiheuttama rakennuksen elinkaaren aikainen ympäristörasitus. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakennusosien ja teknisten järjestelmien korjattavuuteen ja vaihdettavuuteen.

Rakentamista sekä rakennuksen tai sen osan purkamista koskevassa lupahakemuksessa tai ilmoituksessa on esitettävä selvitys rakennusjätteen määrästä ja laadusta sekä sen lajittelusta, jollei jätteen määrä ole vähäinen. Hakemuksessa tai ilmoituksessa on erikseen ilmoitettava terveydelle tai ympäristölle vaarallisesta rakennus- tai purkujätteestä ja sen käsittelystä.

Rakennuksen ja rakennusosien suunniteltu käyttöikä otetaan huomioon rakennusta varten laadittavassa käyttö- ja huolto-ohjeessa.” (Laki 10.9.1999/895.)

Rakentamisen ohjauksen ja sääntelyn tavoitteena on ympäristöministeriön (2013) mukaan varmistaa, että rakentaminen täyttää olennaiset tekniset vaatimukset ja että

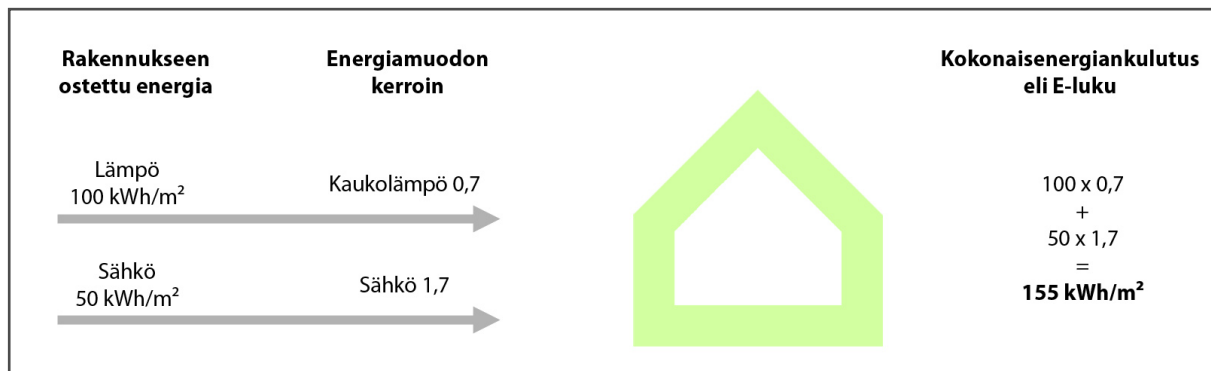
- rakentamisen laatu on korkeatasoista
- rakentaminen on turvallista, terveellistä ja esteettisesti korkeatasoista
- rakennus soveltuu käyttäjien tarpeisiin koko sen elinkaaren ajan
- rakennus soveltuu rakennettuun ympäristöön ja maisemaan
- suunnittelussa ja rakentamisessa korostuvat vastuu ja hyvä ammattitaito
- rakennuksen korjaus- ja muutostyössä rakennuksen ominaisuudet ja erityispiirteet otetaan huomioon
- rakentaminen edistää kestävää kehitystä.

Olennaiset tekniset vaatimukset koskevat

- rakenteiden lujuutta ja vakautta
- paloturvallisuutta
- terveellisyyttä
- käyttöturvallisuutta
- esteettömyyttä
- meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita
- energiatehokkuutta.

(Ympäristöministeriö 2013.)

Kuten rakennuslaista on huomattavissa, se ei määrittele eikä aseta suoria velvoitteita rakennusten ekologiselle kestävyydelle. Rakennuksen olennaisiin teknisiin vaatimuksiin on sisällytetty vain osa ekologisesti kestävästä rakentamisesta, energiatehokkuus.



Kuva 39. Rakennuksen E-luku muodostetaan rakennuksen ostoenergiasta ja energiamuotokertoimista. Esimerkki perustuu TM Rakennusmaailmassa (2012, s. 27) julkaisuun kuvaan.

Ekologinen kestävyys rakentamismääräyksissä

Suomen rakentamismääräyksissä ekologisesti kestävä rakentaminen painottuu energiatehokkuuteen. Rakennuskannan energiankulutusta ja ilmastopäästöjä on pyritty vähentämään ensisijaisesti rakennusten lämpöhäviöitä pienentämällä (Lylykangas, Sainio & Vuolle 2010). Rakennusten energiatehokkuutta koskevien säädösten tiekartan mukaan tavoitteena on lähes nollaenergiarakentaminen vuoteen 2020 mennessä (Martinkauppi 2010, s. 62).

Rakennusten energiatehokkuutta koskevaa osaa D3 on päivitetty vuonna 2012. Ennen päivitystä rakennusten energiankäytön ohjaus perustui pitkälti rakenteiden U-arvoihin eli rakenteen läpi tapahtuviin lämpöhäviöihin (TM Rakennusmaailma 2012, s. 27). Vuoden 2012 määräyksissä on siirrytty kokonaisenergiatarkasteluun, jossa rakennuksen kokonaisenergiakulutus esitetään E-luvulla. E-luku lasketaan rakennukseen ostettavien energiamuotojen kertoimien tuloina ja ilmaistaan kWh/m² vuodessa -yksiköllä (kuva 39). E-luku koostuu

lämmitysenergian kulutuksen lisäksi veden lämmittämisen energiasta ja sähkönkulutuksesta (valaistus ja kotitaloussähkö). (RT Muistilista-21522 2011) Energiamuotojen kertoimet ovat RT RakMK-21504 (2011) mukaan seuraavat:

- sähkö 1,7
- kaukolämpö 0,7
- kaukojäähdytys 0,4
- fossiiliset polttoaineet 1,0
- rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet 0,5

Energiamuotojen kertoimet kuvaavat kunkin energian tuotannossa syntyviä päästöjä, uusiutuvan energian osuutta ja primäärienergian (alkuperäinen energialähde, esimerkiksi öljy, hiili, puu) kulutusta. Suoraa sähkölämmitystä ei suositeta, sen sijaan uusiutuvia energiamuotoja on nostettu pienellä kertoimella esille. (TM Rakennusmaailma 2012, s. 27). Määräyksissä on asetettu eri rakennusluokille (pientalo, asuinkerrostalo jne.) omat maksimiarvot, jota uudisrakennus ei saa

ylittää (RT RakMK-21504, s. 4).

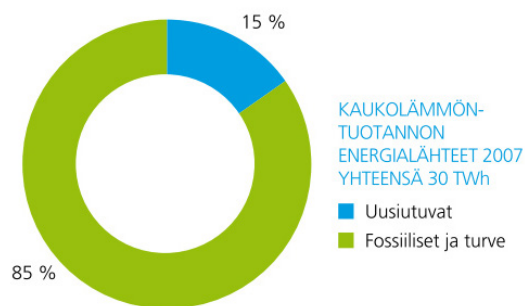
Painovoimaisella ilmanvaihdolla toimiva pientalo 2012 määräyksissä -tarkastelussa on arvioitu painovoimaisella ilmanvaihdolla, diffuusioavoimilla rakenteilla ja luonnonmukaisista materiaaleista valmistettujen pientalojen toteutusmahdollisuuksia uusissa määräyksissä. Tarkastelun johtopäätöksissä todetaan että energiatehokkuuden ohjaaminen lämpöhäviöitten sijasta E-luvulla on askel kohti kokonaisvaltaisempaa tarkastelua, ja että lukuun voitaisi jatkossa sisällyttää myös materiaalivalmistuksen ja rakentamisen päästövaikutukset. (Lylykangas, Sainio & Vuolle 2010.)

Myös tässä työssä esiteltyjen vaatimusten perusteella voidaan todeta, että päästöjen varsinaisen aiheuttajan eli energialähteen huomioiminen määräyksissä on kehitystä oikeaan suuntaan. Toisaalta esimerkiksi määräysten suosima kaukolämmön kerroin 0,7 ei tarkoita, että energialähde välttämättä on ekologisesti kestävä, sillä jopa 85 % kaukolämmöstä tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla (kuva 40). Ekologisesta näkökulmasta

”Suomen Kulttuurirahasto jakaa ympäristöministeriön näkemyksen siitä, että energiatehokas ja vähäpäästöinen rakentaminen on tavoiteltava päämäärä. Haluamme edelleen korostaa, että mahdollisuutta parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen ei tule poistaa normistolla, joka sallii ainoastaan yhden paradigman mukaisen ratkaisun. Lähihistoria on meille muistutuksena siitä, että liian vahva usko yhden aikakauden tekniisiin ratkaisuihin voi johtaa ekologian, terveyden ja kustannustehokkuuden kannalta virheellisiin valintoihin. Voimakkaan muutoksen keskellä on tärkeää nojautua uusimman tutkimuksen lisäksi vuosisataiseen suomalaiseen rakennusperintöön ja siihen sisältyvään kokemukseen ilmastollisista erityisolosuhteistamme.”

Antti Arjava, Suomen Kulttuurirahasto (2010).

kaukolämpö on siis lähes yhtä saastuttavaa kuin pelkkiä fossiilisia polttoaineita hyödyntävä lämmöntuotanto. Vaikka kaukolämpöä voi jossain määrin ajatella esimerkiksi sähköntuotannon yhteydessä syntyväksi ilmaiseksi lämpöenergiaksi, se ei kuitenkaan suurimmilta osin ole ekologisesti kestävällä tavalla tuotettua energiaa. Tulevaisuudessa tiettyjä energiamuodon kertoimia olisi ehkä syytä painottaa niin, että energiamuotojen sijaan huomioitaisiin vielä nykyistä enemmän energialähteiden ominaisuudet.



Kuva 40. Kaukolämmöntuotannon energialähteet 2007 Martinkauppi (toim. 2010, s. 30).

Energiamuotokertoimien osaoptimoinnin sijaan merkittävämpi rakentamismääräysten kehittäminen olisi kuitenkin ohjauksen kohdistaminen energiatehokkuuden lisäksi myös muihin rakennusalan ympäristövaikutuksiin. ISO 21929-1 Sustainability in building construction — sustainability indicators -standardissa painotetaan ilmastomuutoksen lisäksi useita muitakin ympäristötekijöitä, jotka tulisi ottaa rakennussuunnitelusa huomioon. (kuva 41).

Kuva 41. ISO 21929-1 Sustainability in building construction — Sustainability indicators -standardin mukaiset osatekijät, jotka tulisi ottaa huomioon kestävässä rakentamisessa.

1	Emissions to air	Global warming potential
		Ozone depletion potential
2	Use of non-renewable resources	Amount of non-renewable resources consumption by type
3	Fresh water consumption	Amount of fresh water consumption
4	Waste generation	Amount of waste generation by type
5	Change of land use	Indicator measures the changes in land use caused by the development of the built environment with help of a list of criteria
6	Access to services	Indicator measures the access to services by type with help of a list of criteria
7	Accessibility	Indicator measures the accessibility of building and its curtilage with help of a list of criteria
8	Indoor conditions and air quality	A set of indicators that measure the air quality and sub-aspects of indoor conditions with help of a list of measurable parameters
9	Adaptability	Indicator measures the flexibility, convertibility and adaptability to climate change with help of a list of criteria
10	Costs	Life cycle costs
11	Maintainability	Indicator measures the maintainability against the results of service life assessment and with help of a list of criteria or with help of expert judgement
12	Safety	Indicator measures the sub-aspects of safety against the results of simulations or fulfilment of the safety-related building regulations
13	Serviceability	Indicator measures serviceability with help of a list of criteria or with help of post-occupancy evaluation
14	Aesthetic quality	Indicator measures the aesthetic quality against the fulfilment of local requirements or with help of stakeholder judgement

4.2 EKOLOGINEN KESTÄVYYS MUUSSA RAKENTAMISEN OHJAUKSESSA

Säädösten ja hallinnollisten päätösten ohella maankäyttöä ja rakentamista ohjataan ohjelmilla ja strategioilla (Ympäristöministeriö 2013). Eri ohjelmia ja strategioita on monia EU:n ja kansainvälisellä, kansallisella sekä yksittäisten kaupunkien ja kuntien tasolla. Suomi on muun muassa osapuolena yli sadassa kansainvälisessä ympäristösopimuksessa (Ulkoasianministeriö 2012). Myös strategioiden ja ohjelmien tavoitteet vaihtelevat ja ne käsittelevät usein rakentamista laajempaa kokonaisuutta. Ohjelmia ja strategioita ei voida tässä työssä käydä yksityiskohtaisesti eikä tasavertaisesti läpi, mutta seuraavaksi esitellään muutama esimerkki siitä mihin suuntaan niissä ollaan menossa kansallisella tasolla.

Suurin osa Suomen ympäristölainsäädännöstä on peräisin EU:sta. EU:n kuudennen ympäristöohjelman mukaan kiireellisiä toimia tarvitaan ainakin seuraavilla aloilla: (Klobut 2010, s. 2, 11)

- ilmastonmuutos
- luonnonsuojelu ja luonnon monimuotoisuuden häviämisen pysäyttäminen
- ympäristön laatu ja terveys sekä elämän laatu
- luonnonvarojen kestävä käyttö ja jätehuolto.

Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia keskittyy rakennuksiin ja asumiseen kohdistuvilla toimenpiteillä parantamaan energiatehokkuutta, vähentämään päästöjä ja lisäämään uusiutuvan energian käyttöä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2013, s. 15–16).

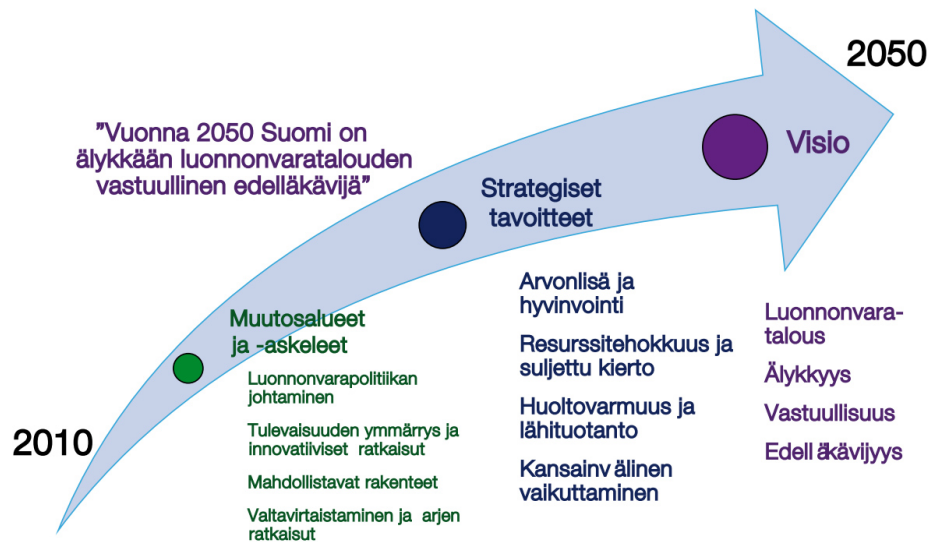
Ulkoasianministeriön (2012) Kansainväliset ympäristösopimukset ja Suomen kehityspolitiikka 2012 -julkaisun johtopäätöksissä todetaan, että ympäristörahoituksesta lähes kolme neljäsosaa on ohjattu kolmen Rion ilmastokeskustelun toimeenpanoa tukeviin toimiin. Kemikaali- ja jättesopimusten tuen todetaan olevan varsin pientä. Osasyysksi mainitaan että muut sopimukset eivät ole ilmastokeskustelun tavoin joutuneet samanlaisen poliittisen mielenkiinnon valokeilaan, koska ympäristöongelmien laajuus ja pitkäaikaiset vaikutukset taloudelliseen ja yhteiskunnalliseen kehitykseen ovat huomattavasti ymmärrettävämpiä. Silti vaarallisille kemikaaleille altistumisen arvioidaan aiheuttavan maailmanlaajuisesti jopa 2,3 miljoonaa kuolemaa vuosittain. (Ulkoasianministeriö 2012, s. 142–143.)

Ilmastomuutokseen keskittyminen näkyy myös Suomen rajojen sisällä. Lind (2011) on diplomityössään tutkinut ekologisen kestävyyspolitiikan huomioimista Suomen innovaatiojärjestelmässä ja toteaa johtopäätöksissään, että ekologisesta kestävästä kehityksestä puhuttaessa nostetaan ehkä liian usein vain yksi tietty ympäristöongelma (nykyään ilmastonmuutos) keskipisteeksi. Hänen mukaansa olisi varottava ettei korostaminen tapahdu muiden ongelmien ratkaisun kustannuksella, ja viittaa tutkimukseen, jonka mukaan biodiversiteetin pienentäminen ja ravinteiden kiertoa voidaan pitää ilmastomuutoksen rinnalla yhtä huolestuttavina ongelmina. (Lind 2011, s. 66.)

Pääministeri Jyrki Kataisen hallituksen ohjelmassa (2011) käsitellään EU:n ympäristöohjelman kiireellisiksi luokiteltuja toimia monipuolisemmin. Energiatieteiden ja maankäytön lisäksi hallitusohjelmassa mainitaan kansallisen ohjelman laatiminen materiaalihokkuuden ja luonnonvarojen kestäväksi käytöksi sekä niiden mittaaminen ja arviointi. (Pääministeri Jyrki Kataisen hallituksen ohjelma 2011, s. 70–71) Kansallisen materiaalihokkuusohjelman sisältö on vielä auki (Motiva 2013). Valtioneuvoston luonnonvaraselonteossa, johon hallitusohjelman sisältö perustuu, on kuitenkin esitetty nykyiset luonnonvarojen käyttöä koskevat sitoumukset (kuva 42) sekä strategian päälinjaukset, joihin sisältyvät resurssitehokkuus ja suljettu kierto (kuva 43). VTT ja Syke ovat selvittäneet ympäristöministeriön tilauksesta rakennusmateriaalien ympäristövaikutusten merkittävyyttä. Selvityksessä suositellaan, että kestävä rakentamisen ohjauksessa tulisi kiinnittää huomiota myös rakennusmateriaaleihin. (Ruuska, A., Häkkinen, T., Vares, S., Korhonen, M.-R. & Myllymaa, T. 2013.)

Sitä, kuinka hyvin tässä työssä esille tuotu ekovaikutavuus tulee toteutumaan materiaalihokkuuden ohjelmassa, ei voida tässä vaiheessa ennustaa. Ohjelman tavoitteet tukevat kuitenkin lähtökohtaisesti tässä työssä esiteltyjä vaatimuksia. Luonnonvarojen ja materiaalien käyttö näyttää olevan nousemassa osaksi rakentamisen ohjausta, mitä voidaan pitää ekologisen kestävyyspolitiikan myönteisenä kehityksenä.

Kuva 42. Luonnonvarojen käyttöä koskevat sitoumukset. Työ- ja elinkeinoministeriö (2010, s. 63).



Kuva 43. Valtioneuvoston luonnonvaraselonteon linjausten strategisissa tavoitteissa pyritään muun muassa resurssitehokkuuteen ja suljettuun kiertoon. Työ- ja elinkeinoministeriö (2010, s. 47).

Luonnonvarojen käyttöä koskevat sitoumukset.

Alue	Sitoumus	Tavoite
Luonnon monimuotoisuuden turvaaminen	Eurooppa-neuvoston päätös (2001 ja 2010)	Pysäyttää luonnon monimuotoisuuden ja ekosysteemipalveluiden häviämisen EU:ssa vuoteen 2020 mennessä
Kasvihuonekaasupäästöt	Eurooppa-neuvoston päätös ilmasto- ja energiapaketista (joulukuu 2008)	Kasvihuonekaasupäästöjä vähennetään vähintään 20 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä.
Energiatehokkuus	Eurooppa-neuvoston päätös ilmasto- ja energiapaketista (joulukuu 2008)	Energiatehokkuutta lisätään keskimäärin 20 prosentilla peruskehitykseen verrattuna vuoteen 2020 mennessä.
Uusiutuvan energian osuus	RES-direktiivi (2009/28/EY)	Uusiutuvan energian osuus loppukukluluksesta tulee olla 20 % vuonna 2020
	VNP Kestävästä valinnoista julkisissa hankinnoissa (8.4.2009)	Valtion keskushallinnossa siirrytään uusiutuvilla energialähteillä tuotettuun sähköön.
Uusiutuvan energian osuus liikenteessä	RES-direktiivi (2009/28/EY)	Uusiutuvan energian (biopolttoaineet + sähkö) osuus liikenteessä tulee olla 10 % vuonna 2020
Polttoaineen laatu	Polttoaineen laatudirektiivi (2009/30/EY)	Liikennepolttoaineiden elinkaarenaikaisten kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoite, enimmäisraajat FAME-yhdisteiden ja etanolin pitoisuuksille, kestävyyskriteerit biopolttoaineille
	Laki biopolttoaineiden edistämisestä liikenteessä annetun lain 5§:n muuttamisesta 1056/2009	Biopolttoaineita on toimitettava kulutukseen vuonna 2009 ja sen jälkeen vuosittain vähintään neljä prosenttia.
Jättemateriaalit	Jätedirektiivi (2008/98/EY)	Jättemateriaalien (esim. paperi), valmistelua uudelleenkäytettäväksi ja kierrätystä on lisättävä vähintään 50 painoprosenttiin niiden kokonaismäärästä vuoteen 2020 mennessä. Vaarattoman rakennus- ja purkujätteen osalta on lisättävä valmistelua uudelleenkäytettäväksi yms. vähintään 70 painoprosenttiin vuoteen 2020 mennessä. valmistelua
	Valtakunnallinen jättesuunnitelma vuoteen 2016 (VN hyväksymä 10.4.2008)	Yhdyskuntajätteistä kierrätetään 50 %, hyödynnetään energiana 30 % enintään 20 % loppusijoitetaan kaatopaikalle. Maaseudun elinkeinotoiminnassa syntyvä lanta hyödynnetään 100 %:sesti. Rakentamisen jätteistä 70 % hyödynnetään.
Biohajoava jäte	Kaatopaikkadirektiivi (1999/31/EY)	Kaatopaikoille vietävän biohajoavan jätteen vähentämisvelvoite. Kaatopaikalle sijoitettavan biohajoavan yhdyskuntajätteen määrää on vähennettävä 35 prosenttiin tuotetun biohajoavan yhdyskuntajätteen kokonaismäärästä (massan mukaan) vuoteen 2016 mennessä.
Sivutuotteet	Asetus muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveys- säännöistä (2009/1069/EY) sekä asetuksen (EY) N:o 1774/2002 kumoamisesta (sivutuoteasetus)	Eläinperäisten elintarvikkeiden tuotannossa syntyy runsaasti sivutuotteita, joiden hävittäminen on kallista ja työlästä ja joiden hyödyntäminen tulisi pohtia kuitenkin vaarantamatta ihmisen terveyttä tai ympäristöturvallisuutta.
Vesi	Euroopan unionin vesipolitiikan puitedirektiivi (2000/60/EY)	Valtioneuvosto on hyväksynyt joulukuussa 2009 direktiivin perusteella laaditut vesienhoitosuunnitelmat vuoteen 2015 seitsemälle vesienhoitoalueelle. Niissä on määritelty eri sektoreilla tarvittavat toimet vesien hyvän tilan saavuttamiseksi.



5. JOHTOPÄÄTÖKSET

"But what seems radical today will be mainstream tomorrow."

Datschefski (2001, s. 9).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on ollut selvittää, mitkä ovat ekologisesti kestävä tuotteen, ja samalla rakennuksen, vaatimukset. Vaatimusten selvittämistä on lähestytty aineen kiertokulun näkökulmasta. Lisäksi tutkimuksessa on vaatimusten perusteella kuvattu ekologisesti kestävä rakennuksen ominaisuuksia sekä selvitetty vaatimusten täyttämisen edellyttämiä yleisiä suunnitteluratkaisuja. Lopuksi rakentamisen ohjausta on yleispiirteisesti tarkasteltu ekologisesti kestävä rakennuksen vaatimusten näkökulmasta.

Nykyajan ympäristöongelmien ratkaisemiseksi on pakko katsoa ongelmien lähtökohtia. Ongelman ydin ei ole kasvihuoneilmiö, happamoituminen, vesien saastuminen, otsonikato, metsien ja eläinlajien häviäminen tai ilmastonmuutos. Ne ovat yksinkertaisten perusongelmien monimutkaisia seurauksia. Meidän ei tarvitse täsmälleen tietää, mitä kaikkia haittoja ja menetyksiä seurauksista aiheutuu. Kun tiedämme, mitkä niitä aiheuttavat perusongelmat ovat, voimme keskittyä niiden ratkaisemiseen.

Perusongelmia on tämän tutkimuksen tutkimusten perusteella kolme tai yksi, riippuen hieman, miten asiaa katsoo. Ne kaikki johtuvat siitä, että käsittelemme maapallon eri aineresursseja tavoilla, jotka ovat ristiriidassa luonnon toiminnan kanssa. Kasvatamme nykyisillä rakentamis- ja kulutustavoillamme systemaattisesti ja jatkuvasti luontoon kuulumattomien biohajoamattomien ainevarastojen, (kuten metallien) ja synteettisten aineiden, (kuten muovin ja kemikaalien) pitoisuuksia luonnossa, ja jossain vaiheessa näiden aineiden kasvavat pitoisuudet muodostuvat elämälle haitalliseksi. Lisäksi tuhoamme fyysisesti elämää ylläpitävää luontoa nopeammin kuin mitä se pystyy palautumaan. Ongelmat voidaan tiivistää yhteen sanomalla, että häiritsemme luonnonprosessien aineen kiertokulkua.

Ekovaikuttavuus on strategia, jossa sulkemalla aineen kiertokulkua pyritään ratkaisemaan ympäristöongelmat niiden syntylähteellä. Ekovaikuttavuus ei ekotehokkuudesta poiketen juurikaan keskity aineen tai energian määrän minimointiin (kunhan elävää luontoa

ei fyysisesti tuhota nopeammin kuin mitä se kasvaa), vaan sen sijaan aineen ylläpitämiseen käyttökelpoisena, korkealaatuisena resurssina. Jos käytämme tuotteissa ja rakennuksissa oikeantyyppisiä materiaaleja oikealla tavalla niin, että ne voivat palata takaisin luonnon kiertokulkuun tai, jos muuta vaihtoehtoa ei ole, tiukasti suljettuun teolliseen kiertokulkuun, käytetyn aineen ja energian määrällä ei lähtökohtaisesti ole ekologisen kestävyuden kannalta juurikaan merkitystä. Kun rakennuksen suunnittelee ekovaikuttavista materiaaleista hyödyntämään pelkkiä uusiutuvia energialähteitä, ja rakennuksen elinkaaren aikaiset työmenetelmät seuraavat samoja periaatteita, tuloksena on ekologisesti kestävä rakennus. Kun tämän lisäksi muun muassa muotoilulla, lämmöneristyksellä, ja muuntojoustavuudella parannetaan rakennuksen ekotehokkuutta, rakennus on myös energiankäytöltään järkevä ja voi palvella käyttäjiään pitkän ajan.

Ekotehokkuuden parantamisen rajana on kuitenkin olla rikkomatta ekovaikuttavuuden vaatimuksia. Jos ener-

giatehokkuuden tai ilmapitävyyden nimissä laitetaan esimerkiksi haitallista ja biohajoamatonta PVC-muovia seiniin höyrynsulaksi tai polyuretaania lattiaan eristeeksi, se tulee väistämättä ajan myötä kostautumaan pysyvästi vähintäänkin menetettynä materiaalina ja haitallisten jätteiden ympäristövaikutuksina mutta mahdollisesti myös muina piilovaikutuksina, kuten terveyshaittoina. Pelkällä järjestelmien tehostamisella on vaikea kuvitella saavutettavan ekologista kestävyyttä. Jos tuotantojärjestelmä on ympäristölle haitallinen, sen ainevirtojen vähentäminen ekotehokkuuden keinoin ei ratkaise varsinaista ongelmaa, vaan järjestelmän ainevirrat täytyy muuttaa syklisiksi.

Ekologisesti kestävässä rakennussuunnittelussa materiaalivalintojen merkitys korostuu. Elinkaariarvioinneissa materiaalin kierrätettävyydelle (kyvylle palata luontoon ravinteeksi tai ylläpitää aineen laatua) on syytä antaa suuri painoarvo. Materiaalivalinnassa puulla ja muilla biohajoavilla materiaaleilla sekä yksinkertaisilla, luonnollisilla rakennusaineilla, kuten savella ja paikalli-

sella luonnonkivellä, on matalan energiasisällön lisäksi myös aineen kiertokulun kannalta merkittävä etulyöntiasema. Niiden käyttöä tulisikin suosia sekä kehittää. Muita materiaaleja, kuten metalleja ja muoveja, tulisi käyttää harkiten: vain ehdottoman tarpeen mukaan ja paikoissa jossa ne eivät altistu turhalle kulutukselle. Sellaisten rakennusmateriaalien käyttöä, joiden sisälöstä ja ominaisuuksista ei ole varmuutta, tulisi välttää. Samoin tulisi karttaa liimattuja rakenteita, komposiitteja, muovimaaleja ja tuotteita, joissa materiaaleja ei voi käytön jälkeen erottaa toisistaan.

Kaikissa nykyrakennuksen osissa (esimerkiksi putkive-doissa ja taloteknisissä laitteissa) pelkkien ekovaikutavien materiaalien käyttö ei ainakaan vielä todennäköisesti onnistu, ja niissä tapauksissa on toistaiseksi tyydyttävä materiaalimäärien minimointiin. Kun itse rakennuksen lisäksi tarkastellaan sen elinkaaren ajan saastuttavia työmenetelmiä, on selvää, että rakennussuunnittelija voi ratkaista vain osan ekologisesti kestävästä rakennuksesta ja siihen liittyvän teollisuuden

haasteista. Tästä huolimatta rakennussuunnittelijalla on ratkaiseva merkitys aineiden kiertokulkujen sulkemisessa. Niiltä osin kun on mahdollista tehdä suunnitteluratkaisuja, jotka eivät estä materiaalien palauttamista kiertokulkuun, se myös kannattaa tehdä. Uusia ekovaikuttavia rakennustuotteita ja -materiaaleja saapuneen myös markkinoille sitä mukaa kun tuottajat ryhtyvät valmistamaan tuotteita, joissa yhdistyy tehokkuus ja suljetun ainekierron hyödyt. Monimutkaisten tuotteiden valmistusprosessien yksinkertaistaminen tuonee myös tuottajille hyötyjä tuotannon läpinäkyvyyden ja paremman hallittavuuden myötä.

Rakentamismääräyksissä ja tulevaisuuden strategioissa on tähän asti keskitytty energiakysymyksiin, ja rakentamisen ohjausta onkin energian kannalta monelta osin kehitetty viime vuosina tämän tutkimuksen näkökulmasta myönteiseen suuntaan. Energian lähteellä, ei vain määrällä, on merkitystä, ja uusiutuvien energialähteiden nopea lisääminen on ekologisten kestävyiden kannalta keskeistä. Myös materiaali tehokkuus on tulossa osaksi

"To make these changes in the building process, a change in the mindset of designers is the most important requirement."

Van de Westerlo, Halman & Durmisevic (2012, s. 3).

rakentamisen ohjausta, ja osassa luonnonvarojen käyttöä käsittelevistä tulevaisuuden strategioista on nähtävissä visioita suljetuista luonnonvarojen kiertokuluista. On hyvin tärkeää, että rakennuksissa käytettävien aineiden kiertokulkuja suljetaan, koska samalla on mahdollista vaikuttaa useaan ympäristöongelmaan. Ilmastonmuutos on vain osa ekologisen kestämyksen kokonaishaastetta. Jos määräyksiä ja tavoitteita kehitetään liian kapeakatseisesti vain energian ja hiilidioksidipäästöjen ehdoilla, vaarana on, että tuetaan ekologisesti kestäättömiä suunnitteluratkaisuja, jotka voivat aiheuttaa merkittäviä lisäongelmia tulevaisuudessa. Samalla on kuitenkin pidettävä mielessä, että rakentamisen ohjausta paljon merkittävämpi muutosvoima lähtee suunnittelijasta itsestään.

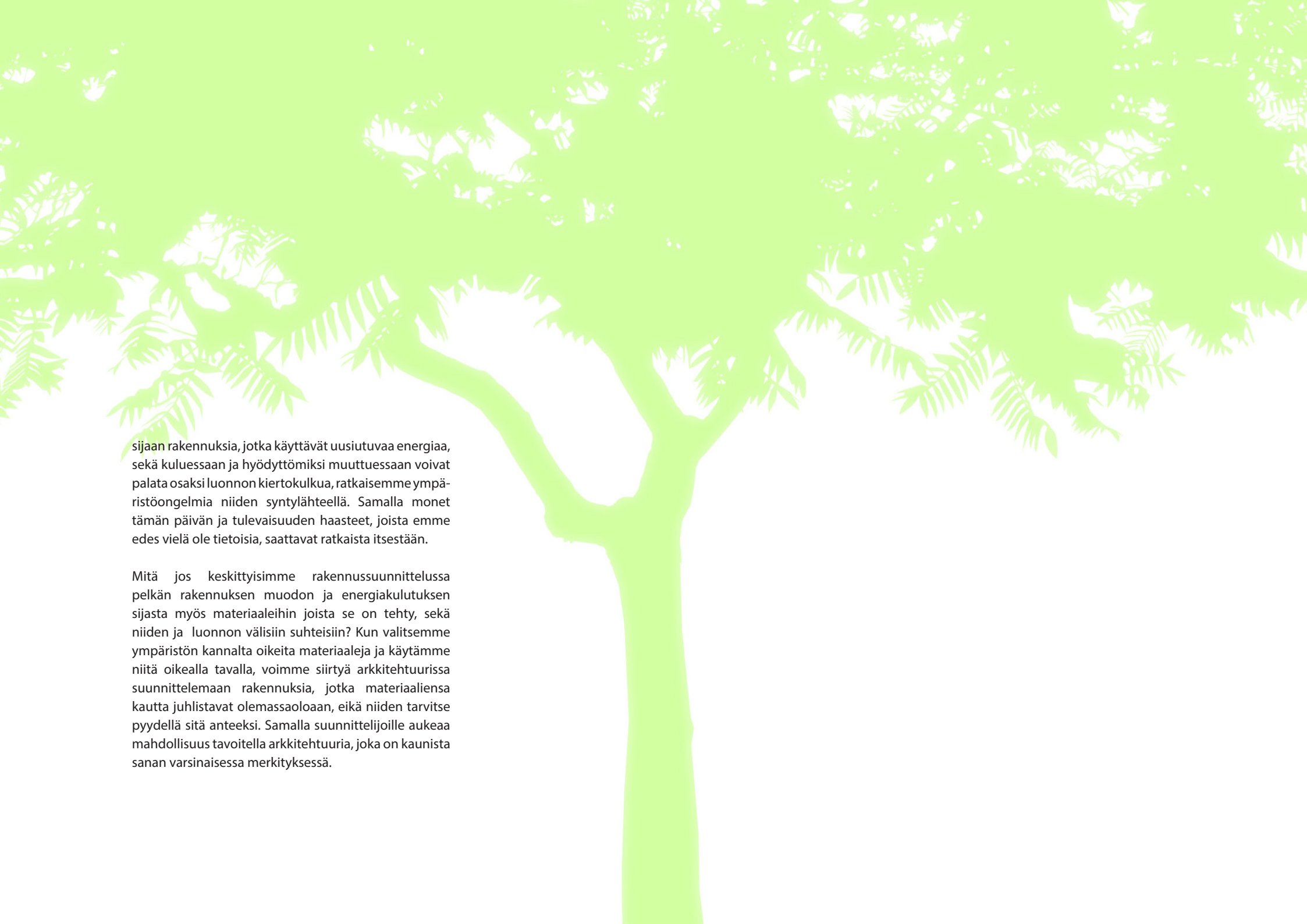
Tämän tutkimuksen lähtökohtana oli, että ekologisesti kestävä rakennus on saavutettavissa oleva tavoite, ei pelkästään suunta, jota kohti pyrkii. Nämä kaksi lähtö-

kohtaa voivat johtaa keskenään hyvin erilaisiin johtopäätöksiin. Ekovaikuttavuuden ja ekotehokkuuden strategioissa on kyse samasta asetelmasta: toinen pyrkii lopulliseen ratkaisuun, toinen keskittyy nykytilanteen edistämiseen. Ekotehokkaassa rakentamisessa on käytännössä suhteellisen helppo edetä, sillä riittää, että lopputuloksesta tulee hieman aiempaa suorituskyysempi.

YK:n kestävän kehityksen korkean tason paneelin raportissa (2012) on todettu ongelmaksi, että kestävä kehitys on, 25 vuotta brundtlandin komission jälkeen, yleisesti hyväksytty käsite päivittäisen käytännön todellisuuden sijaan. (United Nations secretary - General's high-level panel on Global sustainability 2012, s. 11) Kysymys, johon on vaikea vastata kuuluu: ottaen huomioon ympäristöongelmien vakavuus ja kiireellisyys, onko ekotehokas yhteiskunta tarpeeksi nopea muuttumaan?

Ekovaikuttavuuden strategian soveltaminen käytännön rakentamiseen on hankalaa, eikä sitä voi teoreettisessa tutkimuksessa lähestyä kuin periaatetasolla. Tämän tutkimuksen perusteella jatkotutkimusta voisi tehdä käytännön rakennussuunnittelun parissa. Kuinka lähelle ekovaikuttavaa rakennusta on mahdollista päästä?

Planeettamme elämän sisältävä ohut biosfääri luonnonlakeineen on monimutkainen järjestelmä. Perusasiat ovat kuitenkin yksinkertaisia. Niin kauan kuin rikomme luonnonlakeja ja käytämme planeetan tarjoamia resursseja suunnitelmissamme ja rakennuksissamme väärällä tavalla, ympäristöongelmat tulevat rakentamisen seurauksena pahenemaan, lisääntymään ja muuttumaan entistä monimutkaisimmiksi. Saman voisi kuitenkin ajatella monelta osin pitävän paikkansa myös toiseen suuntaan. Kun alamme sulkea rakennusteollisuuden ainekiertokulkuja ja tavoitella pelkästään ympäristöä vähemmän kuormittavien rakennusten

A large, leafy tree with a thick trunk, set against a bright, hazy sky. The tree's branches spread out across the upper half of the frame, with dense green foliage. The trunk is a solid, dark brown color, extending from the bottom center towards the middle of the frame. The sky is a pale, hazy blue with some wispy white clouds. The overall mood is serene and natural.

sijaan rakennuksia, jotka käyttävät uusiutuvaa energiaa, sekä kuluessaan ja hyödyttömiksi muuttuessaan voivat palata osaksi luonnon kiertokulkua, ratkaisemme ympäristöongelmia niiden syntylähteellä. Samalla monet tämän päivän ja tulevaisuuden haasteet, joista emme edes vielä ole tietoisia, saattavat ratkaista itsestään.

Mitä jos keskittyisimme rakennussuunnittelussa pelkän rakennuksen muodon ja energiakulutuksen sijasta myös materiaaleihin joista se on tehty, sekä niiden ja luonnon välisiin suhteisiin? Kun valitsemme ympäristön kannalta oikeita materiaaleja ja käytämme niitä oikealla tavalla, voimme siirtyä arkkitehtuurissa suunnittelemaan rakennuksia, jotka materiaaliensa kautta juhlistavat olemassaoloaan, eikä niiden tarvitse pyydellä sitä anteeksi. Samalla suunnittelijoille aukeaa mahdollisuus tavoitella arkkitehtuuria, joka on kaunista sanan varsinaisessa merkityksessä.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet ja verkkojulkaisut

Aho, I. (2000). Esimerkkejä rakennusten ympäristökriteereistä. Teoksessa Neuvonen, P. (toim.) *Rakentajan ekotieto – uudisrakentaminen*. Helsinki: Rakennustieto Oy, s. 41–49.

Altemose C. S. & Soule R. A. (2012). Energy casualties: How People are Dying for our Energy And why America Needs to Convert to Safe, Healthy, and Renewable Sources. Cambridge: Better Future Project. Viitattu 2.5.2013.
<http://www.betterfutureproject.org/wp-content/uploads/2012/02/Energy-Casualties.pdf>

Anderson, R. C. (2002). Foreword. In Robèrt, K. H. *The Natural Step story: Seeding a quiet revolution*. Canada: New Society Publishers, s. x–xii)

Aminoff, J. & Kontinen, L. (2004). *Terve koti ja asuinympäristö*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Arjava, A. (2010) Suomen Kulttuurirahaston lausunto rakentamismääräyskokoelman uusimisesta. Viitattu 6.5.2013.
<http://www.k3-talot.fi/lataukset/70/lausunto.pdf>

Aronson, D. (1996). Overview of Systems Thinking. Viitattu 27.4.2013.
http://www.thinking.net/Systems_Thinking/OverviewSTarticle.pdf

Berge, B. (2000). *The Ecology of Building Materials*. Oxford: Architectural Press.

Bokalders, V. & Block, M. (2009). *Byggekologi – Kunskaper för ett hållbart byggande*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.

Brand, S. (1995). *How buildings learn: What happens after they're built*. London: Penguin Books Ltd.

Braungart, M. & McDonough, W. (1998). The NEXT Industrial Revolution. *The Atlantic Monthly*, vol. 282:4, s. 82–92. Viitattu 9.4.2013.
<http://ratical.com/co-globalize/nextIndusRev.pdf>

Braungart, M. & McDonough, W. (2008). *Cradle to cradle – remaking the way we make things*. Great Britain: Jonathan Cape.

Braungart, M., McDonough, W. & Bollinger, A. (2006). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, vol 15:13–14, s. 1337–1348. Viitattu 4.10.2012.
<http://www.sciencedirect.com.libproxy.aalto.fi/science/article/pii/S0959652606002587>

Crowther, R. L. (1992). *Ecologic architecture*. Stoneham, MA, USA: Butterworth-Heinemann.

Datschefschi, E. (2001). *The Total Beauty of Sustainable Products*. Switzerland: RotoVision SA.

Erat, B. (1994). *Ekologia, ihminen ja ympäristö*. Jyväskylä: Rakennusalan kustantajat RAK.

Erat, B. (1995). *Ilmastonmukainen rakennus- ja yhdyskuntasuunnittelu*. Licensiaatintyö. Helsinki: TKK Arkkitehtiosasto.

Euroopan komissio. (2002). *Vihreä Vitruvius – Ekologisen arkkitehtuurin periaatteet ja käytäntö*. Helsinki: Edita Prima Oy.

Graham, P. (2003). *Building Ecology: First principles for a sustainable built environment*. Oxford: Blackwell Publishing.

Grossman, M. (2011). Redefining the Relationship between the Environment, Society and the Economy. *Environmental Leader* 14.11.2011. Viitattu 12.2.2013.
<http://www.environmentalleader.com/2011/11/14/redoefining-the-relationship-between-the-environment-society-and-the-economy/>

Hakanen, M. (1993). *Kestävän kehityksen periaatteet asumisen ja yhdyskunnan suunnittelussa*. Otaniemi: TKK Arkkitehtiosasto.

Hawken, P. (2010). *The Ecology of Commerce – A Declaration of Sustainability (Revised Edition)*. New York: Harper Business.

Heinonen, M. (2013). *Puukerrostalokortteli Tampereen Isokuuseen. Puujulkisivuverhoukset asuinkerrostalojen arkkitehtuurissa*. Diplomityö. Otaniemi: Aalto Yliopisto.

Holmberg, J. (1998). Backcasting: A Natural Step in Operationalising Sustainable Development. *Greener Management International – The Journal of Corporate Environmental Strategy and Practise*. Issue 23, Autumn 1998, s. 30–51.
Viitattu 9.5.2013.
https://www.upc.edu/sostenible2015/menu2/Seminaris/Post_Seminari_STD/docs/holmberg_1998.pdf

International Energy Agency, IEA. (2012). *Key World Energy Statistics*. France: OECD/IEA
Viitattu: 27.4.2013.
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/kwes.pdf>

ISO 15392:2008(E) Sustainability in building construction - General principles.

ISO 21929-1:2011(E) Sustainability in building construction - Sustainability indicators

Jackson, T. (2009). *Välfärd utan tillväxt – så skapar vi ett hållbart samhälle*. Stockholm: Ordfront förlag.

Kautto, P., Melanen, M., Saarikoski, H., Ilomäki, M. & Yli-Kauppi, H. (2000). Suomen jätepolitiikan ohjauskeinot — vaikutukset, vaikuttavuus ja kehittämistarpeet. Suomen Ympäristökeskus. Helsinki: Oy Edita Ab.
Viitattu 27.4.2013.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=22033>

Kingsnorth, P. (2013) Dark Ecology: Searching for truth in a post green world. *Orion Magazine*, January/February 2013.
Viitattu 9.4.2013.
<http://www.orionmagazine.org/index.php/articles/article/7277>

Klobut, L (2010) EU:n ja Suomen ympäristöpolitiikka. Kansainvälisten ja EU-asiain yksikkö 23.9.2010.
Viitattu 2.5.2013.
http://maakunta.kainuu.fi/general/Uploads_files/Aluekehitys/Ilmastostrategia/EU_ymppol160910.pdf

Laki 5.2.1999/132. Maankäyttö- ja rakennuslaki.
Viitattu: 27.4.2013.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

Laki 10.9.1999/895. Maankäyttö- ja rakennusasetus.
Viitattu: 27.4.2013.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990895>

Lappalainen, M. (2010). *Energia- ja ekologiakäsikirja – suunnittelu ja rakentaminen*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Lind, R. (2011). *Ekologinen kestävyys suomen innovaatiojärjestelmässä*. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Lylykangas, K., Saino, J. & Vuolle, M. (2010). Painovoimaisella ilmanvaihdolla toimiva pientalo 2012 määräyksissä. Helsinki.
Viitattu 30.4.2013.
http://www.k3-talot.fi/lataukset/79/Painovoimainen%20ilmanvaihto_raportti.pdf

Malaska, P. (1994) Kestävä kehitys. Raportti määritelmää pohtineen työryhmän keskusteluista.
Viitattu 27.1.2013.
<http://www.ymparistokeskus.fi/download.asp?contentid=85409&lan=sv>

Martinkauppi, K. (toim.) (2010). ERA17: Energiaviisaan rakennetun ympäristö aika 2017. Helsinki: Ympäristöministeriö, Sitra ja Tekes.
Viitattu 13.3.2013.
<http://www.era17.fi>

Maryniak, G. (2012). Storage, Not Generation, Is the Challenge to Renewable Energy. X Prize Foundation. 25.7.2012.

Viitattu 18.4.2013.

http://www.huffingtonpost.com/x-prize-foundation/storage-not-generation-is_b_1703087.html

Mattson, Johan. (2013). *Tilläggsisolering och fuktproblem*. Byggnadskultur 1/2013 s. 20-24.

MOT Englanti englant-suomi -sanakirja.

Viitattu 5.5.2013.

<http://mot.kielikone.fi.libproxy.aalto.fi/>

Motiva (2013). Poliittiset puitteet materiaalitehokkuuden edistämiseksi Suomessa.

Viitattu 2.5.2013.

http://www.motiva.fi/toimialueet/materiaalitehokkuus/poliittiset_puitteet_materiaalitehokkuuden_edistamiseksi/materiaalitehokkuuden_edistaminen_suomessa

Mulhall, D. & Braungart, M. (2010). Cradle to Cradle Criteria for the built environment. Nunspeet: Duurzaam Gebouwd / CEO Media BV.

Viitattu 7.5.2013.

<https://emf-packs.s3-eu-west-1.amazonaws.com/Act%201%20Additional%20Resources/C2C%20Criteria%20eBook.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAITAQSO URJ2COPP2A&Signature=gbGuE55L6FJZUID2D8VzN1nyYQ%3D&Expires=1419850972>

Oxford Dictionaries. (2013). Oxford University Press. Viitattu: 27.4.2013.

<http://oxforddictionaries.com/definition/english/local?q=local>

Puhakka, Eija. (1996). Sisäilma ja terveys. Teoksessa *Terveellinen sisäilma*. Sisäilmatietokeskus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 13-28.

Pääministeri Jyrki Kataisen hallituksen ohjelma. (2011). Valtioneuvoston kanslia.

Viitattu 2.5.2013.

<http://valtioneuvosto.fi/hallitus/hallitusohjelma/pdf/fi.pdf>

Robèrt, K. H. (1991). Educating A Nation: The Natural Step. A remarkable nation-wide program unites Sweden in moving from linear to cyclic processes — the hallmark of sustainability. In Context — A Quarterly Of Humane Sustainable Culture, Spring 1991 vol 28/55, s. 10.

Viitattu 28.4.2013.

<http://www.context.org/iclib/ic28/robert/>

Robèrt, K. H. (2002). *The Natural Step story: Seeding a quiet revolution*. Canada: New Society Publishers.

RT 20-11008. (2010). Rakennustuotteiden vapaaehtoiset sertifiointimenettelyt.

RT Muistilista-21522. (2011). Rakentamismääräysten muistilista energiamääräysten aiheuttamista muutoksista pääsuunnittelijoille ja rakennuttajille.

RT RakMK-21504. (2011) D3 Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma.

Ruuska, A., Häkkinen, T., Vares, S., Korhonen, M-R. & Myllymaa, T. (2013). Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset. Selvitys rakennusmateriaalien vaikutuksesta rakentamisen kasvihuonekaasupäästöihin, tiivistelmäraportti. Ympäristöministeriön raportteja 8/2013.

Viitattu 9.5.2013.

[http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/YMr_82013_Rakennusmateriaalien_ymparist\(9056\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/YMr_82013_Rakennusmateriaalien_ymparist(9056))

Sitran Selvityksiä 39. (2010) Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja kasvihuonekaasupäästöt. Helsinki: Sitra

Viitattu 2.5.2013.

http://era17.fi/wp-content/uploads/2010/10/sitran_selvityksia_39.pdf

The Natural Step-järjestö.

Viitattu 6.2.2013.

[1] <http://www.naturalstep.org/en/systems-thinking>

[2] <http://www.naturalstep.org/en/backcasting>

[3] <http://www.naturalstep.ca/four-system-conditions>

TM Rakennusmaailma 6/2012. Uudet rakennusten energiatehokkuusmääräykset voimaan. Suuri muutos koko rakennusallalle.

Työ- ja elinkeinoministeriö (2010). Valtioneuvoston luonnonvaraselonteko eduskunnalle – Älykäs ja vastuullinen luonnonvaratalous. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto. 69/2010. Viitattu 2.5.2013.
http://www.motiva.fi/toimialueet/materiaalitehokkuus/poliittiset_puitteet_materiaalitehokkuuden_edistamiselle/materiaalitehokkuuden_edistaminen_suomessa

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2013), s. 15-16). Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 20. päivänä maaliskuuta 2013. VNS 2/2013 VP Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto. 8/2013. Viitattu 2.5.2013.
http://www.tem.fi/files/36266/Energia_ja_ilmastostrategia_nettijulkaisu_SUOMENKIELINEN.pdf

United Nations secretary-General's high-level panel on Global sustainability (2012). Resilient People, Resilient Planet: A future worth choosing. New york: United Nations.

Van der Ryn, S. & Cowan, S. (2007). *Ecological Design (10th Anniversary Edition)*. Washington DC: Island Press.
Viljanen, E. (1986). *Tutkielman tekeminen*. Keuruu: Otava.

Van de Westerlo, B., Halman J. I. M. & Durmisevic, E. (2012). Translate the Cradle to Cradle Principles for a Building. Faculty of Construction Management and

Engineering. Enschede, The Netherlands: University of Twente.

Viitattu 4.5.2013.

<http://www.c2c-centre.com/library-item/translate-cradle-cradle-principles-building>

Wilson, E.O. (1999). *Concilience: The Unity of Knowledge*. Westminster, MD, USA: Knopf Publishing Group.

Ympäristöministeriö 2012.

Viitattu 9.5.2013.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=50538>

Ympäristöministeriö 2013.

Viitattu 25.4.2013.

http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen

Videolähteet

Wilson, E. O. (2007). TED 2007.

http://www.ted.com/talks/e_o_wilson_on_saving_life_on_earth.html?quote=117

Kuvalähteet

- Kuvat 1 ja 40. Martinkauppi, K. (toim.) (2010). ERA17: Energiaviisaan rakennetun ympäristö aika 2017. Helsinki: Ympäristöministeriö, Sitra ja Tekes. (Ladattu 13.3.2013) s. 29, 30
- Kuva 2. Seppälä, J., Mäenpää, I., Koskela, S., Mattila, T., Nissinen, A., Katajajuuri, J., Härmä, T., Korhonen, M., Saarinen M. & Virtanen Y. (2009) Suomen kansantalouden materiaalivirtojen ympäristövaikutusten arviointi ENVIMAT-mallilla. Suomen Ympäristö 20/2009. Suomen Ympäristökeskus. Helsinki: Edita Prima Oy. s. 24.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=334235&lan=fi> (Ladattu 20.4.2013)
- Kuvat 3, 8, 9, 10, 12, 14, 23, 28 ja 30. Tekijän omat.
- Kuva 4. <http://www.naturalstep.org/en/backcasting> (Ladattu 13.3.2013)
- Kuva 5. <http://www.environmentalleader.com/2011/11/14/redefining-the-relationship-between-the-environment-society-and-the-economy/> (Ladattu 12.2.2013)
- Kuva 6. ISO 15392:2008(E) [http://www.rpd-mohesr.com/uploads/custompages/ISO_15392_2008\(E\)-Character_PDF_documentm.pdf](http://www.rpd-mohesr.com/uploads/custompages/ISO_15392_2008(E)-Character_PDF_documentm.pdf) (Ladattu 27.4.2013)
- Kuva 7. Koskenvesa, A. & Mäki, T. (2006). Pientalon rakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy, Helsinki. sekä
Graham, P. (2003). *Building Ecology: First principles for a sustainable built environment*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Kuvat 13 ja 16. Alkuperäinen kuva: Bokalders, V. & Block, M. (2009). *Byggekologi – Kunskaper för ett hållbart byggande*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst. s. 17 ja 18.
- Kuvat 11, 15, 17, 20 ja 24, 35. Bokalders, V. & Block, M. (2009). *Byggekologi – Kunskaper för ett hållbart byggande*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst. s. 17, 38, 280, 313, 66, 289.
- Kuva 18. Tilastokeskus. (2013). Energian hankinta ja kulutus. Liitekuvio 13. http://www.stat.fi/til/ehk/2012/04/ehk_2012_04_2013-03-22_fi.pdf (Ladattu: 27.4.2013)
- Kuva 19. Hakanen, M. (1993). *Kestävän kehityksen periaatteet asumisen ja yhdyskunnan suunnittelussa*. Otaniemi: TKK Arkkitehtiosasto. s. 23.
- Kuva 21. Ahtiainen, A., Hynynen, A., Leppänen, P. & Nousiainen, K. (1995). *Rakennan ekotalon puusta*. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakentajain Kustannus. s. 19.
- Kuva 22. <http://www.kubik.org/lighter/effective.htm> (Ladattu 13.4.2013)
- Kuva 25. Puhakka, Eija. (1996). Sisäilma ja terveys. Teoksessa *Terveellinen sisäilma*. Sisäilmatietokeskus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, s.17.
- Kuva 26. http://www.derbigum.us/ContentDir/PRODUCTS_derbipure_file_8.pdf (Ladattu 5.5.2013)
- Kuvat 27 ja 29. RT 20-11008. Rakennustuotteiden vapaaehtoiset sertifiointimenettelyt. 2010.
- Kuvat 31 ja 37. Thoma tuoteseloste 2013. <http://www.thoma.at/html/deutsch/sprachenpdf/deutsch.pdf> (Ladattu 4.5.2013)
- Kuva 32. http://www.luomura.com/@Bin/177871/a%20IMG_4267.jpeg (Ladattu 9.5.2013)
- Kuva 33. Alkuperäinen kuva: Brand, S. (1995). *How buildings learn: What happens after they're built*. London: Penguin Books Ltd. s. 13.
- Kuva 34. http://wikikko.info/wiki/Kuva:IMG_1256.jpg (Ladattu 1.5.2013)
- Kuva 36. Euroopan komissio. (2002). *Vihreä Vitruvius – Ekologisen arkkitehtuurin periaatteet ja käytäntö*. Helsinki: Edita Prima Oy. s. 41.
- Kuva 38. Van de Westerlo, B., Halman J. I. M. & Durmisevic, E. (2012). Translate the Cradle to Cradle Principles for a Building. Faculty of Construction Management and Engineering. Enschede, The Netherlands: University of Twente. s. 3. <http://www.c2c-centre.com/library-item/translate-cradle-cradle-principles-building> (Viitattu 4.5.2013).
- Kuva 39. Perustuu kuvaan: TM Rakennusmaailma 6/2012. Uudet rakennusten energiatehokkuusmääräykset voimaan. Suuri muutos koko rakennusallalle. s. 27.
- Kuva 41. ISO 21929-1:2011(E) Sustainability in building construction - Sustainability indicators. s. 12.
- Kuvat 42 ja 43. Työ- ja elinkeinoministeriö (2010). Valtioneuvoston luonnonvaraselonteko eduskunnalle – Älykäs ja vastuullinen luonnonvaratalous. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto. 69/2010. http://www.motiva.fi/toimialueet/materiaalitehokkuus/poliittiset_puitteet_materiaalitehokkuuden_edistamiselle/materiaalitehokkuuden_edistaminen_suomessa. s. 63, 47. (Ladattu 2.5.2013)

