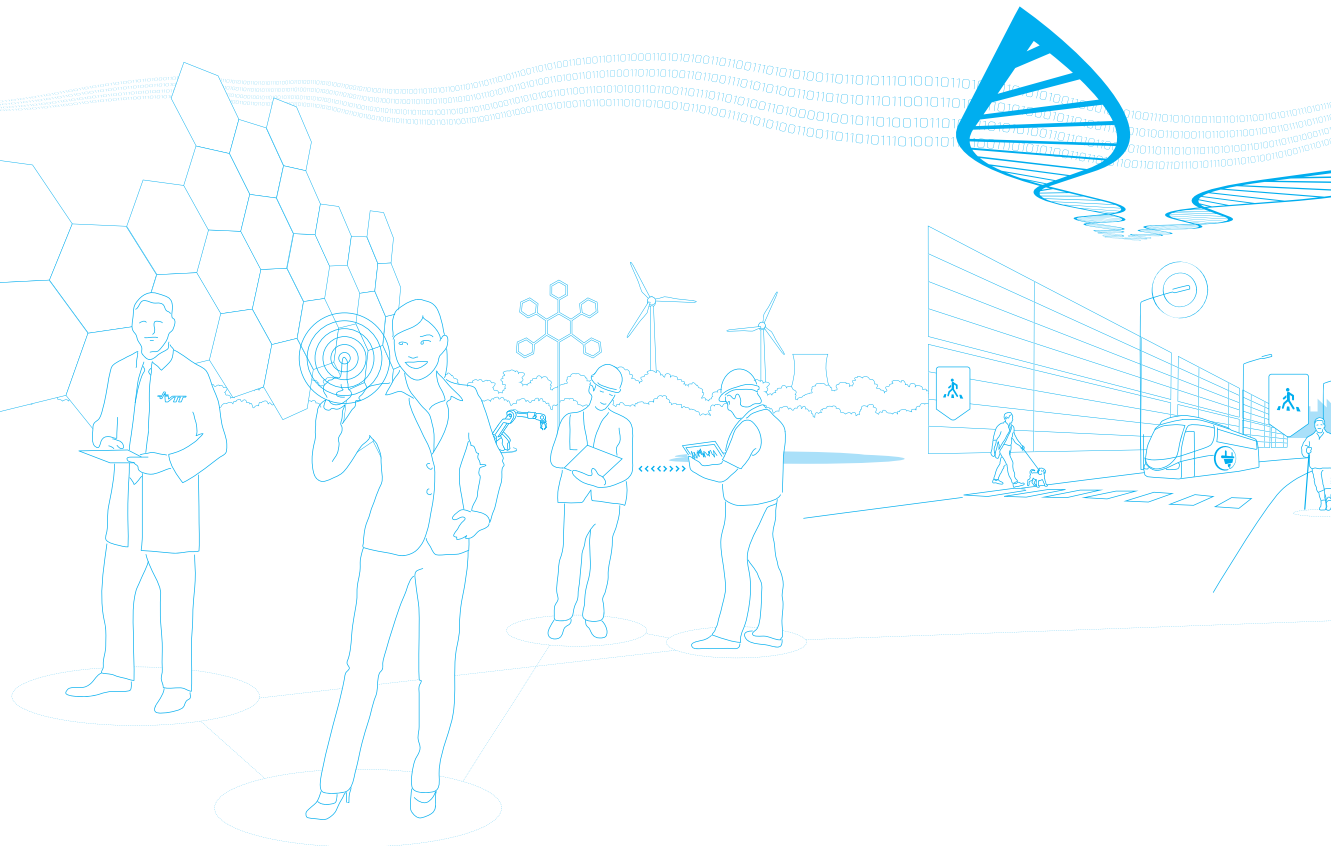




Kehityspolut tulevaisuuden rakennusvaippojen lämmöneristysratkaisuille

Tuomo Ojanen | Isabel Pinto Seppä | Heli Koukkari |
Esa Nykänen



Kehityspolut tulevaisuuden rakennusvaihtojen lämmöneristysratkaisuille

Tuomo Ojanen, Isabel Pinto Seppä, Heli Koukkari &
Esa Nykänen



ISBN 978-951-38-8254-9 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

VTT Technology 169

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Online)

Copyright © VTT 2014

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT

PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

02044 VTT

Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT

PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)

FI-02044 VTT

Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland

P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Kehityspolut tulevaisuuden rakennusvaippojen lämmöneristysratkaisuille

Roadmaps for thermal insulation solutions of future building envelopes
Tuomo Ojanen, Isabel Pinto Seppä, Heli Koukkari & Esa Nykänen.
Espoo 2014. VTT Technology 169. 120 s. + liitt. 8 s.

Tiivistelmä

Rakennusten käytönaikaisen energian kulutuksen pienentäminen on yksi tärkeimmistä keinoista, joilla pyritään alentamaan kokonaisenergian kulutusta ja kasvihuonekaasupäästöjä. Euroopan unionin lainsäädäntöä on tässä suhteessa jatkuvasti tiukennettu, ja ns. lähes nollaenergiatalot on asetettu uudisrakentamisen tavoitteeksi vuonna 2020. Rakennusvaiipan ratkaisut ovat olennainen osa rakennusten energiatehokkuutta.

Matalaenergiarakennuksen rakenteiden ja järjestelmien tulee olla kokonaisuutena toimivia, jotta lähes nollaenergiatason rakennus voidaan toteuttaa. Yksin taloteknisten järjestelmien tehostamisella ei voida päästä tälle tasolle, vaan myös rakennusvaiipan lämmöneristävyyden tulee parantua. Markkinoilla on tarve uusille materiaali- ja tuoteratkaisuille, joiden avulla tarvittava energiatehokkuus voidaan saavuttaa kasvattamatta vaipparakenteiden paksuuksia kohtuuttomasti.

Tulevaisuuden energiatehokkaat rakenneratkaisut -hankkeessa (FUTBEMS) selvitettiin, millaisia ovat materiaali-, tuote-, ja rakennusteknologian tutkimuksen ja kehityksen painopistealueet, jotka mahdollistavat uusia ulkovaipan lämmöneristämisen ratkaisuja, ja millaisia kehityspolkuja on nähtävissä tuotekehityksen ja rakentamisen kannalta. Selvitys rajattiin käsittelemään lämmöneristysmateriaaleja ja -tuotteita sekä ulkovaipan energiatehokkaita ratkaisuja Suomen ilmastossa. Lämmöneristetuotteita käsiteltiin kolmena ryhmänä: Perinteiset lämmöneristeet, uudet kehittyvät lämmöneristeet ja monitoimiset vaippajärjestelmät.

Lähes nollaenergiatason rakennuksen ulkovaippa voidaan tehdä olemassa olevia lämmöneristeitä käyttäen. Lämmöneristeen lämmönsiirto-ominaisuuksista riippuen rakennepaksuudet voivat aiheuttaa rakennuksen ulkonäköön, rakenteiden detaljeihin ja rakennuksen käyttökelpoiseen pinta-alaan liittyviä ongelmia. Uusilla, lämmönjohtavuudeltaan matalilla lämmöneristystuotteilla päästään huomattavasti tavanomaista pienempiin rakennepaksuuksiin. Tämä tuo rakennukseen lisätilaa, jonka hyötyä voidaan arvioida muun muassa rakennuksen lisäpinta-alan hinnan avulla.

Avointen, ilmatäytteisten, makrohuokoisten lämmöneristeiden lämmönjohtavuus voi teoriassa lähestyä paikallaan olevan ilman lämmönjohtavuutta. Taso $0,03 \text{ W/(m K)}$ on lähellä pienintä käytännössä saavutettavaa tasoa, ja monet ns. perinteiset eristeet lähestyvät tätä arvoa kärkituotteillaan. Kun lämmönjohtavuutta halutaan parantaa tästä, on lämmönsiirtoa eristeen kaasufaasissa pienennettävä. Lupaavimmat uudet sovellutukset löytyvät niistä tuotteista, joilla pyritään vaikuttamaan tähän ominaisuuteen. Tähän voidaan päästä alentamalla olennaisesti eristeen ilmanpainetta (tyhjiöeristeratkaisut) tai pienentämällä lämmöneristeen huokoskokoa nanotasolle (aerogeelit, nanoeristeet) niin, että kaasun sisäinen lämmönjohtuminen alkaa estyä. Kun tähän yhdistetään säteilylämmönsiirtoa rajoittavia ominaisuuksia (matalaemissiviteettipinnat tai -materiaalit), voidaan päästä hyvin pieniin lämmönjohtavuuksiin: joillain tuotteilla on mitattu tasoja $0,004 \text{ W/(m K)}$.

Suurimpia esteitä uusien tuotteiden käyttöönotossa on niiden hinta, mikä usein johtuu niiden vaativasta valmistusprosessista ja lisäksi rakennussovellutusten vaatimuksista. Esimerkiksi aerogeelieristeet on arvioitu vahvoiksi ehdokkaiksi arvioitaessa rakennusten tulevaisuuden lämmöneristysratkaisuja. Panostus uusien materiaalien tutkimukseen ja kehitykseen parantaa tuotteiden soveltuvuutta ja saatavuutta sekä pienentää käyttöönoton esteitä. Samalla olemassa olevien eristetuotteiden ominaisuuksien kehittäminen johtaa näiden osalta nykyistä kehittyneempiin ja kustannustehokkaampiin ratkaisuihin, jotka voivat olla muita tarkoituksenmukaisempia monessa rakentamisen sovelluskohteessa.

Tässä julkaisussa esitetään hankkeen tausta, toteutustapa ja aineiston perusteella koostetut kehityspolut tulevaisuuden lämmöneristysratkaisuille Suomessa. Luvussa 2 esitetään hankkeen tavoitteet, tutkimusmenetelmät ja lähestymistavat tiekarttojen kehittämiseksi.

Luvussa 3 on yhteenveto ulkovaipan lämmöneristysratkaisujen perusteista erityisesti lämmöneristetuotteiden valmistuksen ja käytön näkökulmasta. Lämmöneristeiden lämpöteknisen toimivuuden parantamismenetelmät käsitellään lyhyesti. Luvussa 4 esitetään lämmöneristetuotteiden jaottelu ja perinteiset lämmöneristeet.

Luvussa 5 esitetään teknologian kehitysnäkymät, hankkeen kirjallisuustutkimuksen tulokset koskien materiaali-, tuote- ja rakennusteknologian tutkimus- ja kehitystoimintaa ja laajan patenttianalyysin tulokset sekä katsaus kehittyviin lämmöneristeisiin ja monitoimisiin vaipparatkaisuihin.

Luvussa 6 esitetään yhteenveto asiantuntijahaastatteluista ja asiantuntijoiden työpaikasta ja luvussa 7 kehityspolut, jotka perustuvat hankkeen koko tutkimusaineistoon. Kehityspolut muodostettiin eri lämmöneristetuotteiden näkökulmista.

Perinteisten, vakiintuneiden tuotteiden kehitys on usein hidasta, suurimmat kehitysaskeleet otetaan järjestelmien kehityksessä. Kuitenkin esimerkiksi raaka-aineen muuttuessa voidaan myös näissä tuotteissa saavuttaa olennaisia teknisen toimivuuden tai kustannustehokkuuden parannuksia.

Kehityksen suuntana tulevat olemaan kestävän rakentamisen tavoitteita vastaavat järjestelmät, joiden soveltamisessa painottuvat luonnonvarojen tehokas käyttö ja kierrätettävyyden, esivalmistus, helppo asennettavuus, työmaatoiminnan nopeus ja muuntojoustavuus. Tästä seuraava kehityssaskel on rakennuksen kokonaisuuden hallinta suunnittelussa, toteutuksessa ja käytössä. Tässä rakennusvaipan järjestelmät toimivat yhdessä taloteknisten järjestelmien kanssa optimoituna kokonaisuutena.

Uusien lämmöneristemateriaalien ja tuotteiden kehitys johtaa jossain vaiheessa erilaisiin muutoksiin tai jopa läpimurtoihin markkinoilla. Panostus tuotekehitykseen ja kustannustehokkaiden valmistusprosesseihin voi nostaa jonkin uuden ja teknisesti monessa suhteessa ylivoimaisen lämmöneristeen massatuotteeksi.

Monitoimiset rakennusvaippajärjestelmät ovat eräs kehityksen suunta. Nämä järjestelmät yhdistävät lämmön- ja sähköntuoton, luonnonvalon hyödyntämisen ja erilaisten funktionaalisten toimintojen yhdistelmiä, joiden soveltaminen edellyttää koko rakennuksen ja sen muiden järjestelmien yhteensovittamista näiden julkisivujärjestelmien kanssa.

Kehityksen suuntana on kokonaisuuden hallinta osaoptimoinnin sijaan. Pelkkä lämmöneristemateriaali tai -tuote ei ole yksinään ratkaisu energiatehokkaaseen rakentamiseen. Toimivimmat kestävän rakentamisen ratkaisut voivat olla yhdistelmiä eri toimivuusominaisuuksien tuotteista. Tarvitaan koko rakennuksen toimivuuden ymmärtämistä ja tämän huomioon ottamista suunnittelusta toteutukseen ja ylläpitoon.

Roadmaps for thermal insulation solutions of future building envelopes

Roadmaps for thermal insulation solutions of future building envelopes.
Tuomo Ojanen, Isabel Pinto Seppä, Heli Koukkari & Esa Nykänen.
Espoo 2014. VTT Technology 169. 120 p. + app. 8 p.

Abstract

Reduction of the energy consumption of buildings is one of the main means to reduce the total energy consumption and the greenhouse gas emissions. In Europe the aim is that new buildings should correspond to a nearly zero energy level in 2020. For this target, building envelope solutions are of great importance.

This publication focuses on future building envelope material solutions. The target was to identify the focus areas of R&D in thermal insulation materials and solutions and present the findings in roadmaps. The scope was delimited to materials and solutions usable in cold climates and, specifically, in Finland. These were assessed in three categories: Traditional insulations, new developing insulations and multifunctional building envelope systems. The work consisted of state of the art -study, interviews of different stakeholders, workshop, patent analysis and roadmap development.

The most promising thermal insulation solutions are based on techniques to lower the heat flow through the gas filled pores. In these solutions the target is to significantly reduce the thermal conductivity below the one of an open air filled macro-porous insulation material ($0.03 \text{ W}/(\text{m K})$). The possibilities are to select a filling gas with a lower thermal conductivity than air, produce material having the prevailing pore size so low (nanosize) that the thermal conductance in the gas phase decreases, or reduce the air pressure inside the insulation (vacuum insulation systems). When both the gas phase thermal conduction and the thermal radiation over the pores is reduced by low emissivity materials and surfaces, the thermal conductivity of the material or system may be drastically reduced, some pilot products have achieved level $0.004 \text{ W}/(\text{m K})$.

The main obstacle in the implementation of these new products is the cost which is typically due to the complex manufacturing processes. Aerogels are one example of promising new materials that have a very demanding production process. It is thus natural that research is focused to more cost-effective mass production processes. Buildings products need also to fulfil other kinds of technical and functional requirements than those related to the thermal performance. Also the existing thermal insulation products and their structure systems are improved, which enables more cost-effective and practical solutions for different building applications.

Further development of traditional thermal insulations can often be quite low and the main improvements are taken in the structure systems and building envelope applications. Changes in raw material may cause notable improvements in technical performance or manufacturing costs.

One trend is the development of sustainable building systems, like prefabricated modules that combine easy and fast site operation with flexible building systems. The next step is the holistic approach of the design, construction and operation where the building

envelope and other building systems are integrated together into an optimized and adaptable entity.

Investments in research and development of new thermal insulation materials, products and their manufacturing processes will most probably in some phase result in breakthrough innovations. These new products are suitable for cost-effective mass production, are technically transcendent, when compared to existing products, and will cause drastic changes in the markets.

In addition the development and application of multifunctional building envelope systems is also one foreseen trend in the energy efficient building applications. These systems integrate heat and electricity production, use of natural light and different functional features of the structures and materials. The precondition to apply these systems is that the building envelope and all the other building systems can be compatibly integrated and controlled.

The directions of the development of future building envelop material solutions is the whole system approach instead of single component optimization. One thermal insulation product alone is not the answer to energy efficient buildings. The best practical sustainable building solutions can be combinations of products having different performance characteristics. The whole building performance approach is needed in the design, construction, operation and maintenance phases.

Keywords Energy-efficiency, building envelop, thermal insulation, roadmap

Alkusanat

Tutkimuksella ”Tulevaisuuden energiatehokkaat rakenneratkaisut”, FUTBEMS (Future Building Envelope Material Solutions) selvitettiin tulevaisuuden rakennusvaihtojen teknisten ratkaisujen kehityspolkuja, jotka perustuvat materiaali-, tuote- ja rakennusteknologian T&K:n uusiin tuloksiin. Hanke toteutettiin VTT:llä. Se käynnistyi lokakuussa 2012 ja se päättyi 31.3.2014.

Rakennusvaipan ratkaisujen tulee osaltaan vastata energiatehokkuuden parantamisen ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen tavoitteisiin. Haasteina ovat muun muassa rakenteiden paksuudet, uusien, kehittyvien tuotteiden ominaisuudet ja niiden vaatimukset sekä soveltuminen rakentamiseen.

Hankkeen rahoittivat ympäristöministeriö, Rakennustuotteiden laatusäätiö ry ja VTT, ja sen johtoryhmässä toimivat johtaja Antti Koponen Rakennustuoteteollisuus RTT ry:stä, rakennusneuvos Pekka Kalliomäki ympäristöministeriöstä ja johtava tutkija Heli Koukkari VTT:stä.

Hankkeen projektipäällikkö oli erikoistutkija Tuomo Ojanen ja projektiryhmään kuuluivat erikoistutkija Isabel Pinto Seppä, johtava tutkija Heli Koukkari, johtava tutkija Markku Leivo, erikoistutkija Esa Nykänen, tutkija Hannele Ahvenniemi ja tutkija Salla Palos. Patenttiselvityksestä vastasivat VTT:n johtava tutkija Hannes Toivanen ja erikoistutkija Arho Suominen. Antti Koponen ja Pekka Vuorinen RTT:stä avustivat rakennustuotteiden terveysvaikutuksia ja ympäristöarviointia sekä jätelainsäädäntöä koskevan aineiston keruussa.

Tekijät kiittävät johtoryhmää hankkeen ohjauksesta sekä kaikkia haastatteluihin ja työpajaan osallistuneita asiantuntijoita.

Espoo, 8.5.2014

Tekijät

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	5
Alkusanat	7
1. Johdanto	11
1.1 Energiatehokkuuden tarve.....	11
1.2 Suomen rakennusmarkkinat ja energiatehokkuus.....	13
1.2.1 Suomen rakennetun ympäristön tiekartta	13
1.2.2 Markkinaodotukset	15
2. Hankkeen tavoitteet ja toteutus	22
2.1 Tavoitteet	22
2.2 Hankkeen toteutus	23
2.2.1 Yleistä	23
2.2.2 Kirjallisuustutkimus.....	24
2.2.3 Patenttianalyysi.....	24
2.2.4 Haastattelut	24
2.2.5 Työpaja.....	24
2.2.6 Kehityspolkujen tuottaminen	24
3. Lämmöneristeiden toimivuus	26
3.1 Toimivuusominaisuudet.....	26
3.2 Tuotemarkkinoita koskeva lainsäädäntö.....	28
3.2.1 Yleistä	28
3.2.2 Rakennustuoteasetus CPR.....	29
3.2.3 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi EPBD	29
3.2.4 REACH-asetus.....	30
3.2.5 Vaarallisten aineiden päästötarkastelut	30
3.2.6 Ympäristövaikutusten arviointi	31
3.2.7 Jätelainsäädäntö.....	32
3.2.8 Ecodesign- ja energiamerkintädirektiivit	33
3.3 Lämmöneristet tuotteiden tekniset ominaisuudet	34
3.3.1 Lämmönjohtuminen ja lämmönläpäisykerroin	34
3.3.2 Muut tekniset ominaisuudet	35
3.3.2.1 Palo-ominaisuudet.....	35
3.3.2.2 Akustiikka.....	36
3.3.2.3 Mittapysyvyys ja mekaaniset ominaisuudet.....	36
3.3.3 Pitkäaikaiskestävyys ja käyttöikä	36
3.4 Lämmöneristet tuotteen soveltuvuus rakentamiseen	37
3.4.1 Lämmöneristeen asennettavuus	37
3.4.2 Kuljetus ja suojaus työmaalla.....	38
3.4.3 Vaihdettavuus	38

3.4.4	Toimivuuden tarkastukset ja ylläpito.....	38
3.5	Lämmöneristetyin rakenteen lämpötekni- sen toimivuuden parantaminen	38
3.5.1	Lämmönjohtuminen materiaalin kaasumaisen komponentin läpi	39
3.5.2	Säteilylämmönsiirto lämmöneristeessä	41
3.5.3	Kiinteän materiaalin osuus lämmönsiirrossa	42
3.5.4	Kylmäsilat	42
3.5.5	Konvektio materiaalissa ja ilmanläpäisevyys	43
3.5.6	Rakenteen kosteuden vaikutus	45
3.5.7	Yhteenveto lämmöneristyksen parannuskeinoista	45
4.	Lämmöneristetuotteiden jaottelu	46
4.1	Perinteiset lämmöneristeet	47
4.1.1	Mineraalipohjaiset eristeet	48
4.1.1.1	Lasi- ja kivivillapohjaiset kuitueristeet	48
4.1.1.2	Kevytso- ja kevytbetonituotteet	48
4.1.2	Luonnonkuituiset lämmöneristetuotteet	49
4.1.2.1	Sellu- ja puukuitueristeet	49
4.1.3	Muovipohjaiset lämmöneristeet.....	49
4.1.3.1	EPS (expanded polystyrene).....	49
4.1.3.2	Suulakepuristettu polystyreeni, XPS	50
4.1.3.3	PU-eristeet	50
4.1.3.4	Vaahdomaiset lämmöneristetuotteet.....	50
4.1.3.5	Muovikuitueristeet.....	50
4.1.4	Monikerrokselliset lämmöneristetuotteet.....	50
5.	Teknologian kehitysnäkymät	52
5.1	Kansainväliset energiatehokkuuden tiekartat.....	52
5.1.1	IEA:n tiekartta	52
5.1.2	SET-suunnitelman tiekartta.....	53
5.1.3	EeB-tiekartta	56
5.1.4	Aiemmat lämmöneristeiden nykytilan selvitykset	57
5.2	Uudet kehittyvät lämmöneristetuotteet	57
5.2.1	Tyhjiöpaneelit.....	57
5.2.2	Tyhjiömateriaalit.....	61
5.2.3	Aerogeelit	62
5.2.3.1	Aerogeelien valmistus.....	64
5.2.3.2	Markkinoilla olevia aerogeelituotteita ja sovellutuksia	65
5.2.4	Nanoeristemateriaalit	65
5.2.5	Kaasutäytteiset lämmöneristepaneelit	66
5.2.6	Kaasutäytteiset lämmöneristemateriaalit	68
5.2.7	Lämmöneristevaahdot.....	68
5.3	Monitoimiset vaippajärjestelmät	68
5.3.1	Faasimuutosmateriaalit (PCM).....	68
5.3.2	Säteilylämmönsiirtoon vaikuttavat pinnoitteet	71
5.3.3	Valoa läpäiset lämmöneristeet ja kehittyneet ikkunajärjestelmät.....	72
5.3.4	Kehittyneet ikkunat ja ikkunajärjestelmät	73
5.3.5	Dynaamiset lämmöneristeet	75

5.3.6	Monitoimiset esivalmistetut rakennejärjestelmät	75
5.4	Lisätilaa rakenteita ohentamalla	76
5.5	Kansainvälinen patenttianalyysi	79
5.5.1	Patenttianalyysi	79
5.5.2	Patentoivat organisaatiot	80
5.5.3	Aerogeelit	84
6.	Asiantuntijahaastattelut ja työpaja.....	86
7.	Kehityspolut	89
7.1	Markkinat.....	92
7.2	Määräykset.....	94
7.3	Rakentamisen palvelut.....	96
7.4	Rakentamisen tuotteet	96
7.4.1	Lämmöneristetuotteiden kehityspolut	99
7.4.2	Eri vaiheet kehityspolulla	105
7.5	Tutkimus.....	107
7.6	Suositukset.....	109
8.	Yhteenveto.....	111
8.1	Nykytilan selvitys.....	111
8.2	Kehityspolkujen muodostaminen	111
8.3	Lämmöneristetuotteiden ja järjestelmien kehitysnäkymät.....	112
	Lähdeviitteet	113

Liitteet

Liite A: Patenttianalyysin aineisto

1. Johdanto

1.1 Energiatehokkuuden tarve

Parantamalla rakennusten ja kiinteistöjen energiatehokkuutta voidaan säästää energiakulutusta, vähentää ympäristökuormitusta ja hillitä ilmastonmuutosta. Rakentamisen ja rakennusten käytön osuus energiankulutuksesta on maailmanlaajuisesti noin 40 %, ja elintason nousun ja väestömäärän kasvun erityisesti kehittyvissä maissa ennakoitaan lisäävän energian kulutusta (WBCSD 2009). Energiatehokkuuden parantaminen onkin noussut vahvasti esille, ja kestävä kehityksen periaatteet ohjaavat yhä voimakkaammin rakentamista, asumista ja kiinteistöjen käyttöä kehittyneissä maissa ja pitkällä aikajänteellä myös kehittyvissä maissa.

Hallitusten välinen ilmastopaneeli IPCC tarkasteli rakennuskannan vaikutusta energiankulutukseen ja kasvihuonekaasupäästöihin neljännessä arviointiraportissaan (Levine et al. 2007, Ürge-Vorsatz, D. 2008) ja totesi muun muassa, että ”yksinkertainen strategia vähentää lämmitys- ja jäähdytyskuormaa on eristää rakennus ympäristöstään hyvällä lämmöneristyksellä, optimoimalla lasipinta-ala ja minimoimalla ulkoilman pääsy sisätiloihin. Tämä strategia on tehokkain kylmässä ilmastossa. Useimmissa muissa ilmastoissa tehokkaampi strategia on käyttää vaippaa suodattimena, joka valikoidusti päästää läpi tai heijastaa auringonvaloa ja ulkoilmaa, riippuen lämmityksen, jäähdytyksen, valaistuksen ja ilmastoinnin tarpeesta kunakin käyttöhetkenä, ja käyttäen rakenteiden termistä massaa hyväksi.”

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD 2010) esittää visiossaan vuodelle 2050, että ”uusien rakennusten nettoenergian kulutus on nolla ja olemassa olevat rakennukset korjataan kohti samaa tavoitetta.” Visiossa todetaan myös, että ”runsaasti uusia työpaikkoja on syntynyt, ja rakennusalasta on tullut tietointensiivisempi”. Se esittää seuraavia keinoja energiatehokkuuden parantamiselle ja samalla merkittävälle kasvihuonekaasujen vähentämiselle:

- integroitu rakennussuunnittelu
- edulliset, korkeatasoiset materiaalit ja laitteet
- tiukat energiastandardit uusille ja olemassa oleville rakennuksille
- energiamerkinnät kaikille rakennuksille

1. Johdanto

- energiakulutuksen mittaaminen ja ohjaus, tiedonsiirto energialaitosten ja laitteiden välillä
- uudet taloudelliset ratkaisut.

Euroopan unionin neuvosto asetti ilmasto- ja energiapolitiikalle ns. 20–20–20-tavoitteet vuonna 2007. Niiden mukaan vuoteen 2020 mennessä EU

- vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä 20 %:lla (verrattuna vuoteen 1990)
- nostaa uusituvien energialähteiden osuuden 20 %:iin EU:n energian loppukulutuksesta
- lisää energiatehokkuutta 20 %:lla
- lisää biopolttoaineen osuuden 10 %:iin liikenteen polttoaineista.

EU-maiden käyttämästä energiasta 50 % on tuontienergiaa, ja kehityssuunnan jatkuminen tarkoittaisi, että osuus kasvaa 70 %:iin vuoteen 2020 tai 2030 mennessä. Tuontiriippuvuutta voidaan vähentää merkittävästi lisäämällä uusiutuvan energian tuotantoa ja vähentämällä energiankulutusta rakentamisessa ja rakennusten käytössä.

Euroopan unionin kasvustrategia ”Eurooppa 2020” hyväksyttiin maaliskuussa 2010. Sen seitsemän lippulaivahanketta ohjaavat eurooppalaisten ja kansallisten toimintaohjelmien ja -suunnitelmien, skenaarioiden ja tiekarttojen laadintaa. Yhteistä niille on, että talouden kasvu ja työpaikkojen synnyttäminen ovat päätavoitteita, mutta samanaikaisesti luonnonvarojen kulutuksen ja päästöjen tulisi pienentyä. Energian tuotanto ja käyttö sekä energiatehokkuus tulevatkin näkymään monenlaisissa ohjelmissa. Resurssitehokas Eurooppa -hankkeen tavoitteita ovat vähähiilinen talous ja kasvihuonekaasujen päästöjen vähentäminen 85–90 % vuoteen 2050 mennessä. Rakennusten lämmöneristystä parantavat materiaalit mainitaan siinä yhtenä tärkeänä kehittämisalueena. Uuden tutkimus- ja kehitysohjelman ”Horisontti 2020” sisällöstä puolestaan tulee yksi kivijalka Innovaatio-Eurooppa –lippulaivahankkeen käytännön toteutukseen. Siinä energiatehokkaat rakennukset tulevat olemaan keskeinen osa-alue. Resurssitehokkaan Euroopan tiekartta (EU 2011b) toteaa, että rakentamisessa käytettävien materiaalien tulee olla resurssitehokkaita ja kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiatasoa.

Euroopan unionissa on useita aiemmin vahvistettuja samansisältöisiä toimintaohjelmia ja -suunnitelmia, joita nyt päivitetään vastaamaan Eurooppa 2020 -strategiaa ja jotka ovat vaikuttaneet rakentamisesta ja rakennuksista koskeviin poliittisiin tavoitteisiin ja tutkimus- ja kehitysohjelmiin. Strateginen energiateknologiasuunnitelma, SET-suunnitelma, määrittelee energiapolitiikan tavoitteet energian tuotannolle ja käytölle vuosina 2020 ja 2050 (EU 2007). Sen tavoitteena on matalahiilisten teknologioiden saattaminen laajaan käyttöön ja maailmanmarkkinoille. Suunnitelma toteutetaan ns. teollisten aloitteiden avulla, joista rakentamisesta lähinnä on ”Smart cities”-aloite. SET-suunnitelmaan liittyvä teknologiatiekartta asettaa tavoitteeksi, että kaupunkien ja alueiden kasvihuonekaasujen päästöjen tulisi vähentyä 40 % (EU 2009).

Suomessa rakennusten osuus energiankulutuksesta on 40 % ja päästöistä noin 30 %. Suurin osa energiasta, noin 84 %, kuluu käytön aikana (lämmitys, ilmastointi, lämmin vesi ja sähkö). Kokonaisenergian tarve määräytyy väestömäärän, henkilön tilatarpeen sekä kulutuksen (kWh/m²) mukaan. Rakennusten energiankulutuksesta lämmitysenergia selittää yksinään jo yli puolet. Tästä johtuen energiatehokkuus ja energiaa säästävät ratkaisut nousevat erityisen tärkeiksi kiinteistö- ja rakennus-alalla. Vuonna 2010 voimaan tulleissa määräyksissä tavoitteena oli vähentää uudisrakennusten lämmitysenergian kulutusta 30–40 %. Vuonna 2012 määräykset kiristyivät edelleen, ja niiden tavoitteena on pienentää edelleen lämmitysenergian kulutusta 20 % vuoden 2010 tasoon verrattuna.

Rakennuksen energiankulutus riippuu rakennuksen vaipan lämmöneristävytydestä, taloteknisten järjestelmien lämpöteknisestä toimivuudesta ja käyttäjien tottumuksista. Rakennusvaipan lämpöhäviöiden ja lämpökuormien sekä rakennuksen termisen massan tulee olla yhteensopivia kokonaistavoitteiden kanssa. Tämä edellyttää riittävää lämmöneristystasoa. Lisäksi ikkunoiden ja valoaukkojen kautta tulevia, auringonsäteilyn aiheuttamia lämpökuormia tulee rajoittaa passiivisin tai aktiivisin menetelmin sisäilman ylläpitämisen estämiseksi. Taloteknisten järjestelmien mitoitus, suunnittelu ja toteutus on tehtävä kohteen vaatimus- ja tavoitetaso mukaan. Rakennusvaippa tehdään yleensä kestäväksi koko rakennuksen elinkaaren ajan, mistä aiheutuu lisävaatimuksia ratkaisujen käyttöikätaivoitteille. Taloteknisten järjestelmien uusiminen voidaan tehdä helpommin tarpeen mukaisesti.

Tavanomaisia lämmöneristysmateriaaleja käytettäessä lähes nollaenergiatason rakennuksen vaipparakenteista tulee Suomen ilmastossa tyypillisesti paksuja. Paksut seinärakenteet aiheuttavat esimerkiksi toiminnallisia ja arkkitehtonisia haasteita rajoittamalla arvokasta huonetilaa ja vaikuttamalla ikkunoiden sijoitteluun. Markkinoilla on tarve uusille ratkaisuille, joiden avulla tarvittava energiatehokkuus voidaan saavuttaa ilman, että rakennepaksuudet kasvaisivat kohtuuttomasti. Lämmöneristeiden kehitys eri teollisuudenaloilla tuottaa myös rakennusalaalle sopivia tuotteita ja ratkaisuja. Uusia ratkaisuja on eri kehitysvaiheissa perustutkimuksesta kaupallistamiseen. Samaan aikaan olemassa olevia perinteisiä lämmöneristeitä ja niiden rakennesovellutuksia parannetaan.

Tutkimuksen ja tuotekehityksen kautta syntyy uusia materiaaleja, tuotteita, ratkaisuja ja teknologioita, jotka voivat parantaa tai ratkaisevasti muuttaa tulevaisuuden rakennettua ympäristöämme. Tämä tuo haasteita ja luo mahdollisuuksia yrityksille ja niiden liiketoimintastrategioiden kehittämiseksi.

1.2 Suomen rakennusmarkkinat ja energiatehokkuus

1.2.1 Suomen rakennetun ympäristön tiekartta

Julkaisussa "Rakennetun ympäristön roadmap" (Airaksinen et al. 2011) tarkastellaan rakennetun ympäristön nykytilaa ja tulevaisuudennäkymiä korjaus-, infrastruktuuri- ja hyvinvointirakentamisen kannalta vuoteen 2050 saakka. Vaikuttaviksi yleismaailmallisiksi kehityssuunniksi siinä tunnistetaan niukentuminen ja ympäristö-

ongelmat: syntyy pulaa energiasta, raaka-aineista, ruoasta ja viljelyalasta, mikä aiheuttaa myös hintojen ja tuotantokustannusten nousua. Lisäksi ilmastonmuutos kasvattaa ympäristöriskejä. Yhteiskunnallisista muutostekijöistä väestön ikääntyminen on myös maailmanlaajuinen ilmiö, joka asettaa rakennetun ympäristön toimivuudelle uudenlaisia ehtoja. Näiden seurauksena rakennetun ympäristön kehittämisen tärkeimmiksi haasteiksi nousevat

- energiatehokkuus
- korjausrakentaminen
- asumisen palvelut.

Rakennusten lämmöneristysratkaisujen toimivuustavoitteet ja toteutustavat liittyvät suoraan kahteen ensimmäiseen rakennetun ympäristön haasteeseen. Lisäksi muista haasteista Airaksinen et al. (2011) ovat tunnistaneet muun muassa seuraavat:

- muunneltavuus
- joustavuus
- yksilöllisyys
- kiinteistöjen ja rakennusten ymmärtäminen palveluina.

Nämä ovat rakentamiskäytäntöihin ja rakennuksen tuottamaan sisäympäristöön liittyviä teemoja, joissa rakenteiden ja niiden lämmöneristykseen toteutuksella on merkitystä.

Korjausrakentamiselle Airaksinen et al. (2011) esittävät neljä kasvu-uraa:

1. energiatehokkuus
2. vanhentuvan ja vanhentuneen rakennuskannan kunnossapito
3. nykyaikaistaminen (uusille sukupolville ja käyttäjäryhmille)
4. uusi käyttö (vanhojen toimintojen loppuessa).

Kaikkien näiden vaihtoehtojen tapauksessa tarvitaan korjausrakentamiseen soveltuvia järjestelmiä ja tuotteita. Viidentenä vaihtoehtoisena linjana on vanhan rakennuksen purkaminen, jolloin sen tilalle voidaan rakentaa uuden toiminnan ja energiatehokkuuden tarpeet täyttävä rakennus.

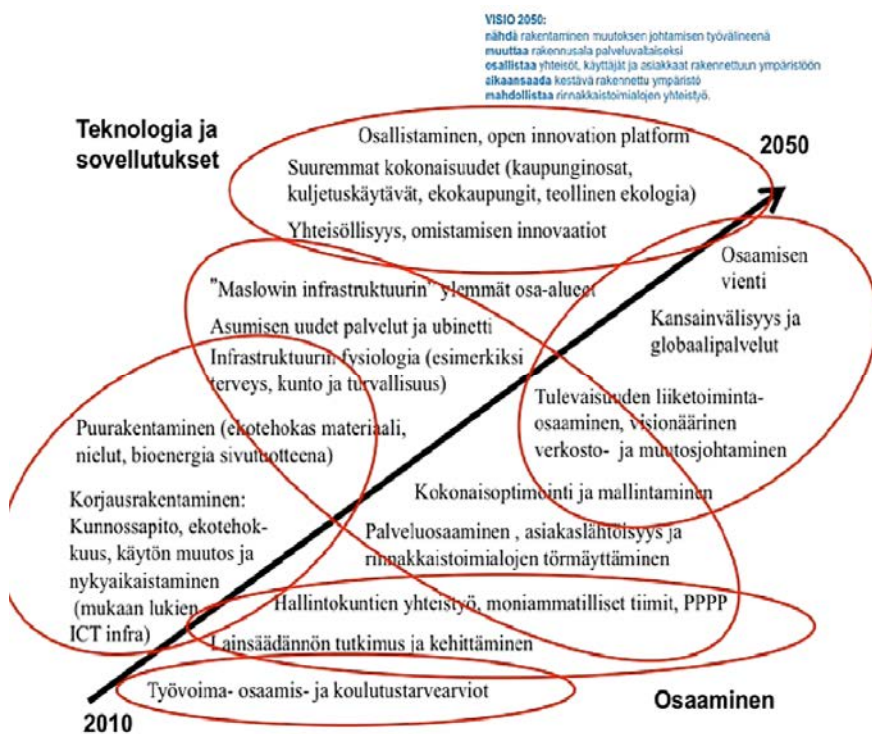
Toimenpide-ehdotuksina julkaisussa esitetään, että kiinteistö- ja rakennusala on kehitettävä Suomen energia- ja ilmastopolitiikan veturi ja että lyhyellä aikavälillä on panostettava korjausrakentamiseen ja varsinkin olemassa olevan rakennuskannan ekotehokkuuden kehittämiseen.

Julkaisun mukaan kiinteistö- ja rakennusala on perinteisesti korostunut rakentaminen, mutta tulevana vuosina painopiste siirtyy palveluihin. Työkaluja ja ajureita ovat asiakaslähtöiset tarpeet ja palvelujärjestelmät. Korjausrakentamiseen tarvitaan osaavaa ja innovatiivista palvelutarjontaa, joka syntyy korjausrakentamisen tutkimustuloksia tuotteistamalla sekä hyödyntämällä tuotekehityksessä uusia teknologioita ja kohteiden seurantatietoja. Kuva 1 esittää rakennetun ympäristön tiekartan.

Rakentamisessa on haasteena monialaisten kokonaisuuksien ymmärtäminen. Markkinoiden tarpeet ja odotukset vaikuttavat rakennusmääräysten ja -asetusten ohella lämmöneristet tuotteiden kysyntään ja ulkovaippajärjestelmien volyyymiin,

suorituskykyyn ja teknisiin ominaisuuksiin. Energiatehokkuusmääräykset yhdistetynä suomalaisen rakennuskannan peruskorjaushaasteisiin lisäävät kysyntää muokattaville ja monesti integroitaville (esivalmistetuille) tuotteille.

Monia erilaisia teknologisia esteitä täytyy ylittää, ennen kuin lupaavat lämmöneristemateriaalit ja -tuotteet saadaan massatuotantoon ja kaupallisille markkinoille. Eitekniset tekijät ovat sekä tärkeimpiä edistäjiä että esteitä näiden tuotteiden markkinaosuuksien laajentamisessa. Erityisesti rakennusten energiategokkuutta koskevat rakennusmääräykset ja -asetukset ovat samaan aikaan iso edistäjä suurimmalle osalle lämmöneristet tuotteita, koska markkinoiden tarve kasvaa, kun kiristyvät määräykset ja asetukset asettavat haasteita tekniselle toteutukselle, asiakasprosesseille ja loppukäyttäjien käsityksille.

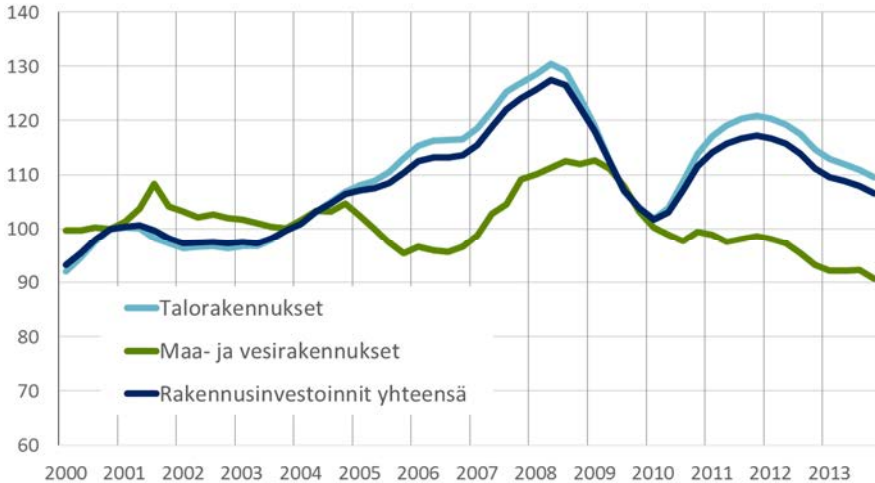


Kuva 1. Suomen rakennetun ympäristön tiekartta (Airaksinen et al. 2011).

1.2.2 Markkinaodotukset

Lämmöneristet tuotteiden kysyntä markkinoilla riippuu ensisijaisesti uudis- ja korjausrakentamisen määristä. Talonrakentamisen kasvu oli Suomessa tasaista lähes koko 2000-luvun ajan. Tuotantoindeksit kääntyivät laskuun vuoden 2008 jälkeen (Kuva 2) vuoteen 2010 saakka. Muutoksen selittää EU-alueen velkakiisi, ei ra-

kennusalan rakenteellinen muutos. Kansainväliset suhdanteet ovat edelleen heikentyneet, kun velkakriisi on laajentunut ja vaikutukset reaaliatalouteen ovat alkaneet näkyä (Rakennusalan suhdanneryhmä 2012).



Kuva 2. Tuotantoindeksit rakentamista varten, Suomen rakennusmarkkinat (Rakennusalan suhdannetyöryhmä 2014).

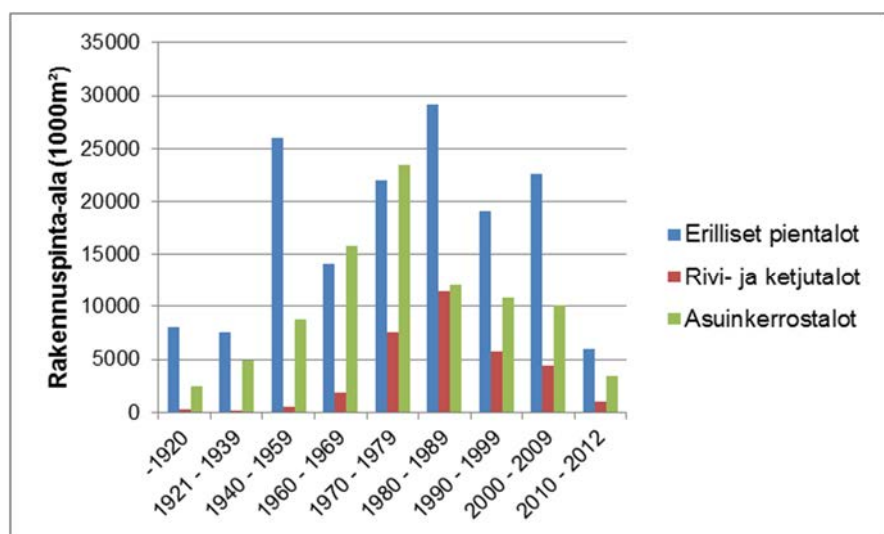
Suurin osa suomalaisista asuinrakennuksista on omakotitaloja. Suurin osa asunnoista on kuitenkin kerrostaloissa, joskin ero on kuitenkin hyvin pieni kerrostalojen ja omakotitalojen välillä. Kotien omistussuhde on kansainvälisessä vertailussa korkea. Asuinrakennukset ovat Suomessa yleisesti uusia tai melko uusia, hyvätaoisia ja sisältävät kaikki nykyaikaiset käyttömukavuudet. Henkilöä kohti laskettu keskimääräinen asuinpinta-ala on jatkuvasti kasvanut, ja se oli 39,4 m² vuonna 2011 (ROTI 2013). Sekä asuinrakennushankkeet että yksityiset omakotitalohankkeet ovat kansainväliseen tasoon verrattuna pieniä (Ympäristöministeriö 2008).

Suomessa rakennettiin yli 50 000 kerrostaloa vuosina 1880–2000 eli yhteensä yli 1 200 000 asuntoa. Helsingissä, Tampereella, Turussa, Espoossa ja Vantaalla on kussakin yli 50.000 kerrostaloa. Lahdessa, Oulussa, Jyväskylässä ja Kuopiossa oltiin lähellä tätä määrää (Rakennustieto 2006).

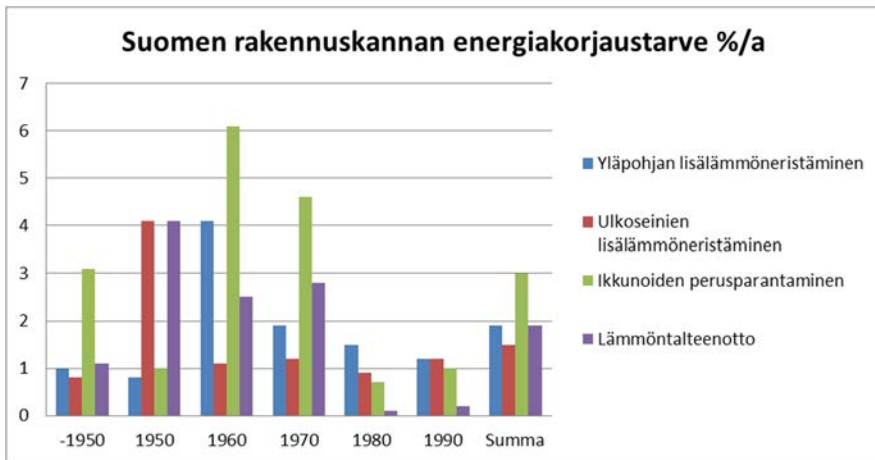
Suomen rakennuskannan jakaantuminen eri käyttötarkoitusten mukaan on esitetty taulukossa 1 ja asuinrakennuskannan jakaantuminen valmistumisvuoden mukaan kuvassa 3.

Taulukko 1. Rakennusten määrä käyttötarkoituksen mukaan 1980–2012 (Tilastokeskus 2013).

Käyttötarkoitus	1980	1990	2000	2010	2012
RAKENNUSTEN MÄÄRÄ	934 845	1 162 410	1 299 624	1 446 096	1 474 653
A Asuinrakennukset	842 662	1 012 163	1 120 714	1 234 602	1 258 095
Pientalot	775 678	914 928	1 002 747	1 101 707	1 122 315
Rivitalot	22 613	52 522	66 281	76 241	77 931
Kerrostalot	44 371	44 713	51 686	56 654	57 849
C-N Muut rakennukset	92 183	150 247	178 910	211 494	216 558
C Liikerakennukset	21 926	33 138	40 294	41 961	42 580
D Toimistorakennukset	7 551	9 913	11 037	10 835	10 907
E Liikenne rakennukset	10 640	36 784	45 225	54 716	55 915
F Laitosrakennukset	3 992	5 796	6 978	8 058	8 414
G Tehdasrakennukset	6 659	10 231	12 943	13 509	13 826
H Koulutusrakennukset	7 750	8 545	9 136	8 903	8 916
J Teollisuusrakennukset	19 507	29 106	36 437	40 629	41 799
K Varastot	8 730	5 446	6 423	27 170	28 582
L,N Muut rakennukset	5 428	6 948	10 437	5 713	5 619

**Kuva 3.** Asunnot (lkm) talotyypin ja rakennusvuoden mukaan 31.12.2012 (Tilastokeskus 2013).

Suomen rakennuskannan tilaa ja kehitystarpeita arvioidaan osana kansallista ”rakennetun omaisuuden tila” -järjestelmää. Rakennuskantamme heikoimmat lenkit ovat kuntien ikääntyneet palvelurakennukset, lähiökerrostalot ja vanhat omakoti- ja rivitalot (ROTI 2013). Kerrostalo- ja rivitaloyhtiöissä käyttökustannukset nousevat edelleen ja putkiremontteja tehdään 15 000–20 000 asuntoon vuosittain. Suurimmat peruskorjaukset odottavat 1960–1980-lukujen rakennuskannassa. Omakotitaloista on arvioitu 20 %:n vaativan välitöntä isomman tai pienemmän vaurion korjaamista. Suomen rakennuskannan energiakorjaustarve on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Energiakorjaustarve eri-ikäisissä rakennuksissa (Vainio et al. 2002).

Korjausrakentamisen markkinat ovat aiemmin olleet Suomessa pienemmät kuin uudisrakentamisen markkinat, mutta nyt korjausrakentamisen volyyymi on ohittanut uudisrakentamisen. Kiireellisimpiä perusparannusten kohteita kerrostaloissa ovat putkistot, katot, ikkunat ja ovet, kylpyhuoneet sekä julkisivut. Omakotitalojen omistajat käyttivät eniten rahaa kattojen perusparannuksiin ja keittiöremontteihin. Lämmitysjärjestelmän nykyaikaistaminen jätettiin yksittäisten korjaustoimenpiteiden ulkopuolelle. Lämmitysjärjestelmien lisäksi rakennusten energiatehokkuutta parannettiin ikkuna- ja oviremonteilla sekä julkisivuremonteilla. Taulukko 2 esittää asuntojen korjausrakentamisen arvon vuonna 2012.

Taulukko 2. Perusparannusten ja vuosikorjausten kokonaisarvo asunnoissa 2012 (RTS 2013).

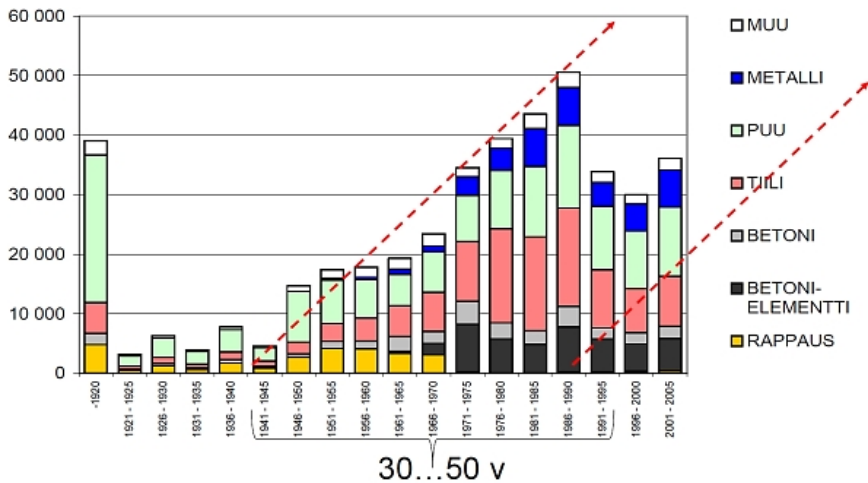
Asuntojen korjausrakentaminen 2012, M€			
	Asunto-osakeyhtiö	Yksityinen	Summa
Pientalo	0	3 800	3 800
Rivitalo	1 900	800	2 700
Kerrostalo	1 900	8 000	2 700
Vapaa-ajan asunnot	-	720	720
SUMMA	2 300	5 700	8 000

Useat tekijät vaikuttavat kotitalouksien remonttien aloittamisen päätöksentekoon. Taipumus on, että säästäväiset omistajat käyttävät alkuperäiset rakennusosat loppuun ennen osien korjausta tai vaihtoa. Taulukko 3 esittää luettelon korjaushankkeiden syistä.

Taulukko 3. Tekijöitä, jotka vaikuttavat korjaushankkeen aloittamisen päätöksentekoon: vastaajat (%), jotka pitävät esitettyjä seikkoja yhtenä pääsystä tai lisäksi vaikuttavana syynä (RTS 2013).

Korjaushankkeen aloittamisen syy	Pääsyy, %	Lisäksi vaikuttava syy, %
Energiatehokkuus	38	9
Huono kunto	32	11
Ulkonäkö	31	18
Viihtyvyyys	29	20
Asunnon toimivuuden parantaminen	26	11
Uudistus- ja vaihteluhalu	14	10
Helppohoitoisuuden parantaminen	10	9
Kotitalousvähennys	7	10
Sisäilman parantaminen	6	4
Kosteusvaurio/homevaurio	6	1
Käyttötarkoituksen muutos	4	3
Energia/korjausavustus	4	3
Muu vaurio	4	1
Muutto tai myynti	3	3
Lisätilan tarve	2	3

Kuva 5 esittää Suomen rakennuskannan julkisivutyypien jakaantumisen vuonna 2005. Julkisivujen pääasiallisia verhoumateriaaleja on tässä jaottelussa seitsemän.



Kuva 5. Julkisivukanta (ei sisällä ikkunoita) rakennusten valmistusajankohdan mukaan oli yhteensä 425 milj. m² vuonna 2005 (Pajakkala 2013).

Heljon ja Viholan (2012) tutkimuksen mukaan asiantuntijat ovat pessimistisiä ulkovaipan tiiveyskorjauksista. On arvioitu, että 70–80 %:a rakennusten ulkovaipoista ei korjata hankalien korjausmenetelmien vuoksi. Rakennuksen ulkovaipan ilmatiiveys paranee, kun rakennusosia vaihdetaan uusiin. On arvioitu, että 90 %:a ennen vuotta 1950 rakennetuista taloista ei lisälämmöneristetä arkkitehtonisista syistä johtuen.

On useita syitä, miksi rakennusten energiakorjauksia ei tehdä. Seuraavassa on lueteltu näitä tekijöitä.

Rakennuksen ominaisuudet:

- Rakennus on niin nuori ja hyväkuntoinen, että korjauksia ei tarvita.
- Rakennus on elinkaarensa päässä tai rakennuksen käyttötarkoitus on muuttunut.
- Rakennus on suunniteltu väliaikaiseen käyttöön (hallit tai parakit).
- Rakennus on suojeltu ja energiaa säästävien muutosten tekeminen on ongelmallista.

Tontti:

- Rakennus sijaitsee muuttotappioalueella eikä korjauksille ole taloudellisia edellytyksiä.

Tietotaito, asenteet ja päätöksenteko:

- 75 % asunnoista on yksityisomistuksessa, jolloin mukana on paljon päätöksentekijöitä.
- Tietotaidoissa on puutteita eikä korjausrakentamisen perinteitä vielä ole.
- Energiasäästön mahdollisuuksia ei ole arvioitu omassa talossa.
- Korjaustoimenpiteistä on epävarmuutta.
- Teknologia on tuntematonta tai sitä ei ymmärretä (esim. automaattinen ilmanvaihto).
- Vanhoja rakennusosia yliarvostetaan (esim. ikkunat).
- Vanhojen rakennusosien korjaamista pidetään ekologisempänä kuin vanhojen osien vaihtamista uusiin.
- Energiansäästöön liittyviä asioita ei ehditä pohtimaan tai syytä energiansäästöille ei perustella riittävästi.
- Taloyhtiöillä ei ole riittävästä kokemuksesta tai motivaatiota.
- Vedeneristyksen toimivuudesta ollaan epävarmoja.

Teknologia ja arkkitehtuuri:

- Energiansäästötoimenpiteet ovat teknisesti haastavia (esim. tiilijulkisivu, matala yläpohja, lämmöntalteenottokanavistojen sijoittelu).
- Toimenpiteisiin liittyvät arkkitehtoniset haasteet tai rakennussuojelu.

Taloudellinen kannattavuus ja resurssit:

- Hanketta ei pidetä kannattavana eikä sille ei saada rahoitusta
- Rakennusosien vaihto energiatehokkuuden vuoksi on usein kannattamatonta.
- Taloudellinen kannattavuus lasketaan liian lyhyelle ajalle.
- Hankeselvityksissä on ristiriitaisuuksia.
- Rahoituksen hankkiminen on haasteellista.

2. Hankkeen tavoitteet ja toteutus

2.1 Tavoitteet

Hankkeen päätavoitteena on esittää kehityspolkuja rakennusten ulkovaipparatkaisuille, jotka voivat olla teknisesti ja kaupallisesti käytettävissä vuonna 2050. Hankkeen lyhyempi tähtäin on vuodessa 2020, jolloin uusia ratkaisuja voi jo olla markkinoilla. Tavoitteena on myös esittää ainakin vuoteen 2030 yltäviä arvioita uuden teknologian soveltamismahdollisuuksista ja hahmotella vielä pidemmän ajanjakson näkymiä. Hanke keskittyy lämmöneritysmateriaaleihin ja -ratkaisuihin, jotka soveltuvat kylmään ilmastoon. Hankkeessa pyritään myös arvioimaan uusien tuotteiden käyttöä kestävässä rakentamisessa sekä riskien ja mahdollisuuksien tunnistamista.

Hanke keskittyy lämmöneristämisen materiaali- ja tuoteteknologian tutkimuksen ja kehityksen painopisteisiin, joilla tähdätään rakennusten korkeaan energiatehokkuuteen ja luonnonvarojen tehokkaaseen käyttöön. Tähän kuuluvat seuraavat osatavoitteet:

1. Tunnistetaan rakennusten lämmöneristämiseen ja sen kehittämiseen liittyvän liiketoiminnan tavoitteita ja esteitä sekä arvioidaan tämän vaikutuksia rakennettuun ympäristöön ja rakennuksen ulkovaippaan.
2. Arvioidaan palveluiden, tuotteiden, teknologioiden ja ratkaisujen nykytilaa sekä kehitystarpeita.
3. Tunnistetaan tutkimuksen ja tuotekehityksen painopisteet rakennusvaipan lämpötekni- sen toimivuuden ratkaisuis- sa.
4. Tunnistetaan nykyisiä, uusia ja lupaavia teknologioita sekä materiaaleja, jotka tukevat lämmöneristystuotteiden ja rakennusvaipan lämpötekni- sen toimivuuden ratkaisujen kehitystä.

Rakennuksen energiatehokkuus ja energiankulutus ovat ulkovaipan, talotekniikan, tilojen ja tieto- ja viestintäteknologian muodostama kokonaisuus, josta kuitenkin tässä hankkeessa tarkastellaan vain ulkovaipan lämmöneristämisen ratkaisuja. Yhteenveto hankkeen rajauksista on seuraavanlainen:

Tutkimus sisältää:

- energiatehokkaat ratkaisut, lämmöneristysmateriaalit ja ulkovaipan lämpötekniset ratkaisut
- ulkovaipan: Rakennusosia, jotka muodostavat rajapinnan, joka erottaa ulkotilan sisätiloista (ulkoseinät, katto ja perustukset)
- arvioinnin Suomen ja kylmien ilmastojen olosuhteiden perusteella.

Tutkimukseen eivät sisälly seuraavat:

- Talotekniset järjestelmät.
- Rakenteiden kosteustekninen toimivuus. Jos kosteus liittyy olennaisesti tuotteen ominaisuuksiin, sitä käsitellään tuotteen kannalta.
- Kustannusten arviointi. Erityistekijöistä johtuvia kustannusvaikutuksia (raaka-aineet, tuotantoprosessi, vaaditut rakenneratkaisut) on käsitelty soveltuvin osin.

2.2 Hankkeen toteutus

2.2.1 Yleistä

Hanke perustui olevan tiedon hankintaan ja arviointiin hankkeen tavoitteiden mukaisesti. Materiaalivalmistajilta, materiaalitutkijoilta ja lämmöneristevalmistajilta saatavissa olevaa tietoa kerättiin julkaisuista, verkkosivuilta ja esiteaineistosta. Tausta-aineistoon sisältyivät myös teollisuuden ja kansainvälisten järjestöjen strategiat ja tiekartat soveltuvin osin. Haastatteluilla ja työpajalla kartoitettiin kotimaisten toimijoiden näkemyksiä. Hanke koostui seuraavista vaiheista:

1. Lämmöneristysmateriaalien, -tuotteiden ja -järjestelmien luokittelu.
2. Uusien lämmöneristysmateriaalien ja vaipparatkaisujen tunnistus – jo kaupallistetut tai T&K:n eri vaiheissa olevat ratkaisut.
3. Ulkovaipparatkaisujen arviointi ja suorituskyvyn mittarit: suorituskyvyn mittareiden määrittely ja painopistealueiden päätuotetyyppien analyysi suhteessa suorituskykymittareihin.
4. Kooste uudis- ja korjausrakentamisen ennusteista.
5. Innovaatiotoiminnan painopisteiden tunnistaminen patenttimaisemien perusteella.
6. Sidosryhmien haastattelut ja haastattelutulosten analyysi.
7. Pääasiassa lämmöneristeteollisuudelle suunnattu työpaja.
8. Kehityspolkujen kokoaminen keskeisille painopistealueille lyhyelle (vuoteen 2020) ja keskipitkälle aikavälille (noin v. 2030).

2.2.2 Kirjallisuustutkimus

Ulkovaipan lämmöneristysratkaisujen nykytilaa koskeva tieto kerättiin tieteellisistä ja ammatillisista julkaisuista sekä patenttitietokannoista, tuotetiedoista, tilastotiedoista ja määräyskokoelmista. Tietoa nykyisistä kaupallisista tuotteista haettiin internetistä eri valmistajien tuoteportfolioista. Lähestymistavassa hyödynnettiin teknologisia ja ei-teknologisia ulottuvuuksia, kuten nykyiset rakennusmääräykset, markkinoiden kysyntä, innovaatioympäristöt ja tekniset tuotteet.

Teknologioiden ja alan tutkimus- ja kehitystoiminnan tulevaisuuden ennakointia varten selvitettiin tärkeimmät tutkimuskohteeseen liittyvät Euroopan unionin ja muut kansainväliset tiekartat ja strategiat.

2.2.3 Patenttianalyysi

Patenttiselvityksen tavoitteena oli antaa käsitys rakentamisen lämmöneristämiseen liittyvien materiaalien ja tuotteiden tutkimus- ja kehitystyön painopisteistä ja laajuudesta. Tämän tutkimuksen osana laadittiin patenttianalyysi, pohjautuen patenttien IPC-luokitukseen, joilla havainnollistetaan alan kansainvälisesti keskeiset organisaatiot. Tutkimus keskittyi rakennusten lämmöneritykseen sekä lämmöneritysmateriaaleihin ja -tuotteisiin.

2.2.4 Haastattelut

Asiantuntijoiden haastattelujen avulla koottiin tietoa rakentamiseen liittyvistä asioista yleensä sekä uusien lämmöneristemateriaalien, -tuotteiden ja -järjestelmien käytön esteistä, niiden kysynnästä, niihin liittyvistä käsityksistä ja odotuksista ja niin edelleen. Haastattelut muodostivat pohjan työpajassa käsiteltäville asioille.

2.2.5 Työpaja

Työpajatapahtuma suunnattiin erityisesti lämmöneristeitä valmistavalle teollisuudelle. Tavoitteena oli syventää näkemyksiä haastatteluissa esiin tulleista asioista. Työpajassa käytiin läpi nykytilanne, esteet ja mahdollisuudet ja asetettiin visioita eri aihealueille. Tämän jälkeen esitettiin toimenpiteitä, joilla vision mukaiseen tavoitetilaan tai sen suuntaan voidaan edetä.

2.2.6 Kehityspolkujen tuottaminen

Ulkovaipparatkaisujen teknologisten kehityspolkujen tuottamiseen ja esittämiseen sovellettiin yksinkertaista lähestymistapaa (Kuva 6, Ventä 2004).



Kuva 6. Yksinkertainen lähestymistapa tiekartan tuottamiseen ja esittämiseen (Ventä 2004).

3. Lämmöneristeiden toimivuus

3.1 Toimivuusominaisuudet

Lämmöneristeen toimivuuteen vaikuttavat useat tekijät, joiden tunnistaminen ja määrittäminen on välttämätöntä, jotta vaipparakenteiden tuotteiden ja ratkaisujen kehitystyössä päästään tavoitteisiin. Nämä koskevat yleensä sekä lämmöneristeiden teknisiä ominaisuuksia että soveltuvuutta tuotevalmistukseen ja rakentamiseen. Erilaisten tekijöiden avulla voidaan myös tunnistaa kehityslinjoja ja arvioida tulevaisuuden lämmöneristetuotteiden toimivuusominaisuuksia.

Tavoitteena oli tunnistaa tärkeimmät toimivuusominaisuudet (Key Performance Indicators, KPI), joita voidaan käyttää nykyisten ja tulevien lämmöneristystuotteiden ja niiden rakentamissovellutusten vertailuun ja arviointiin. Uusien lämmöneristystuotteiden vertailun pohjana ovat nykyisten tuotteiden ja järjestelmien ominaisuudet, jotka edustavat lähtötasoa uusille, kilpaileville tuotteille.

Seuraavassa on pyritty esittämään lämmöneristeiden toimivuuteen ja rakentamissovellutuksiin liittyviä ominaisuuksia. Osa niistä on tuotteiden yhteydessä ilmoitettavia, CE-merkinnän edellyttämiä ominaisuustietoja, osa yleisesti lisätietona annettavia ja osa kirjallisuudessa esitettyjä sekä kirjoittajien näkemykseen perustuvia ominaisuuksia, jotka liittyvät muun muassa asennettavuuteen. Toimivuusominaisuuksien lisäksi esitetään tuotteen tekniseen valmiuteen liittyvät indikaattorit. Tarkoituksena on esittää mahdollisimman kattavasti erilaisia tekijöitä, jotka on hyvä tunnistaa soveltuvuuden arvioinnissa (Kuva 7). Kehitettävillä tuotteilla kaikkia ominaisuuksia ei aina tunneta tarkasti, koska lopulliset ominaisuudet riipuvat vielä kehitystyön tuloksista.

<p><i>Tekniset toimivuusominaisuudet</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Lämmönjohtavuus – Palo-ominaisuudet – Akustiikka – Mekaaniset ominaisuudet <p><i>Soveltuminen rakentamiseen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Asennus – Kuljetus – Käsittely – Varastointi – Korvattavuus 	<p><i>Ylläpito ja toimintavarmuuden varmistus</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Vaatimukset huollolle ja seurannalle <p><i>Kestävyys</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Käyttöikä – Ikääntymisen vaikutukset toimivuuteen – Käyttöön riskit: kosteus, lämpötilaolosuhteet, puristuskuormitus, jne. <p><i>Turvallisuus</i></p> <p><i>Ympäristövaikutukset</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Relevantit ympäristönvaikutusindikaattorit (esim. Tuotteeseen sisältyvä energia, hiilijalanjälki, kierrätettävyys, jätteet)
<p><i>Tekninen valmiusaste</i></p> <p>Käyttöönoton mahdollisuudet</p> <p>Käyttöönoton esteet</p>	<p><i>Vaatimukset rakennussovelluksille</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Tekniset vaatimukset – Rakentamisprosessin vaatimukset – Huomiointi määräyksissä <p><i>Liiketoimintamahdollisuudet</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Uusien palvelutuotteiden tarve

Kuva 7. Tässä projektissa merkittäviksi valitut lämmöneristetuotteen toimivuutta, rakentamiseen soveltuvuutta ja teknistä kypsyyttä kuvaavat tekijät.

CE-merkinnässä lämmöneristeistä ilmoitetaan aina kaikki perusominaisuudet (ilmoitettavat ominaisuudet) ja jos on muita kansallisia vaatimuksia, ne pitää ilmoittaa. Muut ominaisuudet ovat vapaaehtoisesti ilmoitettavia, valmistaja voi ilmoittaa lisäksi tällaiset erityisominaisuudet (esim. tuotteen käyttötarkoituksen mukaan). Seuraavassa on esimerkkinä mineraalivillalle CE-merkinnässä lämmöneristeistä ilmoitettavat ominaisuudet (Rautiainen 2012).

- Kaikki käyttökohteet: lämmönjohtavuus/vastus, paksuus, pituus ja leveys, neliömäisyys, mittapysyvyys, vetolujuus sivujen suuntaisesti, palokäyttäytyminen,
- Erityiset käyttökohteet: Mittapysyvyys erityisolosuhteissa, puristuslujuus, vetolujuus paksuuden suuntaisesti, pistekuormankestävyys, pitkäaikaisviruma, veden imeytyminen, vesihöyrynläpäisy, dynaaminen jäykkyys, puristuvuus, äänen absorptio, ilmanläpäisy, vaaralliset aineet.

3.2 Tuotemarkkinoita koskeva lainsäädäntö

3.2.1 Yleistä

Euroopan unioni antaa direktiivejä ja asetuksia, jotka vaikuttavat kansalliseen lainsäädäntöön. Rakennustuotteisiin, rakentamiseen ja rakennusten käyttöön liittyvät merkittävimmät asiakirjat ovat:

- rakennustuoteasetus CPR, joka on saatettu voimaan kaikissa jäsenmaissa 1.7.2013
- rakennusten energiatehokkuudesta annettu direktiivi EBPD, joka edellytti jäsenvaltioiden ryhtyvän toimiin yhtenäisen laskentamenettelyn kehittämiseksi rakennusten kokonaisenergiatehokkuudelle ja asettamaan vähimmäisvaatimuksia uudisrakentamiselle ja merkittäville korjauskohteille
- rakennusten energiatehokkuudesta annetun direktiivin EPBD uudelleen laadittu versio, joka mm. esittää uudisrakentamisen tavoitteeksi 'lähes nollaenergiarakennuksen' vuonna 2020
- ekosuunnitteludirektiivi, joka koskee energiaan liittyviä tuotteita ja niille laadittavia yhdenmukaistettuja vaatimuksia ja merkintäohjeita (EU 2009)
- energiamerkintädirektiivi, joka koskee energiaan liittyvien tuotteiden energiamerkintää (EU 2010a)
- energiatehokkuusdirektiivi, jonka mukaan kunkin jäsenvaltion on varmistettava, että vuodesta 2014 alkaen 3 % sen keskushallinnon omistamien ja käyttämien lämmitettyjen ja/tai jäähdytettyjen rakennusten kokonaispinta-alasta korjataan vuosittain rakennusten energiatehokkuusdirektiivin mukaisesti (EU 2012a)
- strategia rakennusalalle, joka kiirehtii rakennusten energiatehokkuusdirektiivin toteuttamista erityisesti koskien lähes nollaenergiataloja, uusiutuvien energialähteiden käyttöönottoa ja korjausrakentamista (EU 2012b)
- strateginen energiateknologiasuunnitelma eli SET-suunnitelma (EU 2007), joka määrittelee energiapolitiikan tavoitteet energian tuotannolle ja käytölle vuosina 2020 ja 2050 tavoitteena matalahiilisten teknologioiden saattaminen laajaan käyttöön ja maailmanmarkkinoille; suunnitelmaan liittyvässä energiatehokkaiden materiaalien tiekartassa yksi luku koskee rakennusmateriaaleja.

Rakennustuotteiden kehittämiseen ja käyttöön liittyy myös muita ohjaavia säädöksiä kuten jätelainsäädäntö ja kemikaaliasetus REACH.

3.2.2 Rakennustuoteasetus CPR

Euroopan unionin rakennustuotedirektiivi (EU 1989) käynnisti toimenpiteet eurooppalaisten rakennusmarkkinoiden yhtenäistämiseksi ja kansallisten raja-aitojen madaltamiseksi. Direktiivi esitti menettelytavat rakennustuotteiden CE-merkinnän kehittämiseksi. Sen nojalla perustettiin myös ilmoitettujen laitosten ja teknisten hyväksyntälaitosten (nykyisten arviointilaitosten) verkostot ja markkinavalvonta-organisaatiot.

Rakennustuotedirektiiviin jäi puutteita ja epätarkkuuksia, joiden korjaamiseksi valmisteltiin sen korvaava rakennustuoteasetus (EU 2011). Uusi asetus tuli kaikissa jäsenmaissa voimaan 1.7.2013, ja sen myötä CE-merkinnän pakollisuus koskee Suomessa noin 80 %:a rakentamisessa käytettävistä rakennustuotteista.

Rakentamisen erityispiirteistä johtuen rakennustuotteiden CE-merkintä poikkeaa monin tavoin muiden tuotteiden CE-merkinnästä, ja siihen liittyy aina tuotetta koskevia tietoja. Ohjeistukset tuotetietojen selvittämiseen ja varmentamiseen esitetään joko eurooppalaisessa yhdenmukaistetussa tuotestandardissa tai eurooppalaisessa teknisessä arviointiasiakirjassa.

Rakennuskohteiden perusvaatimukset on esitetty rakennustuoteasetuksen liitteessä I seuraavan jaottelun mukaan:

1. mekaaninen lujuus ja vakaus
2. paloturvallisuus
3. hygienia, terveys ja ympäristö
4. käyttöturvallisuus ja esteettömyys
5. meluntorjunta
6. energiansäästö ja lämmöneristys
7. luonnonvarojen kestävä käyttö.

Kohdan 6 mukaan: ”Rakennuskohde ja sen lämmitys-, jäähdytys-, valaistus- ja ilmanvaihtolaitteistot on suunniteltava ja rakennettava siten, että niiden käytön vaatima energiankulutus on vähäinen, kun otetaan huomioon rakennuksen käyttäjät ja sijaintipaikan ilmastolliset olosuhteet. Rakennuskohteiden on myös oltava energiatehokkaita eli niiden on kulutettava rakennus- ja purkuvaiheen aikana mahdollisimman vähän energiaa.”

Tuotevalmistaja tai tuotteen markkinoille saattava taho on vastuussa CE-merkinnästä. Suomessa ympäristöministeriön verkkosivulla kerrotaan pääkohdat rakennustuoteasetuksen toimeenpanosta. Myös järjestelmään osallistuvien laitosten sivuilla on tietoja asetuksesta. Rakennustuotteiden CE-merkinnän jatkuvasti täsmennyksistä pelisäännöistä tiedotetaan hEN helpdesk -verkkosivustolla (www.henhelpdesk.fi).

3.2.3 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi EPBD

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi on EU:n tärkein lainsäädännöllinen instrumentti rakennusten energiankulutuksen vähentämiseen. Sen ensimmäinen versio määritteli neljä aluetta, joilla jäsenmaiden tulee kehittää toimintojaan (EU 2002):

3. Lämmöneristeiden toimivuus

- yleispätevä menetelmä rakennusten kokonaisenergiankulutuksen laskemiseksi
- energiakulutuksen vähimmäisvaatimukset uusille rakennuksille ja rakennuksille, joissa tehdään merkittäviä korjauksia
- energiatodistusmenettelyt
- öljy- ja kaasulämmityskattiloiden määräaikaistarkastukset tai näitä vastaava vaihtoehtoinen menettely
- ilmastointijärjestelmien määräaikaistarkastukset.

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi uusittiin 2010 (EU 2010b). Se esittää tavoitteen, että vuoteen 2020 mennessä kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiataloja. Olemassa olevaa rakennuskantaa koskien kunkin jäsenvaltion tulee myös esittää suunnitelma, miten lähes nollaenergiatalojen määrää lisätään. Suomessa muuttuvat muun muassa rakennusten energiatodistuksia koskevat säädökset.

3.2.4 REACH-asetus

Rakennustuoteasetus velvoittaa, että CE-merkinnän suoritusasoilmoituksen yhteydessä on annettava REACH-asetuksen artiklassa 31 tai 33 tarkoitetut tiedot vaarallisiksi luokitelluista aineista. REACH on EU:n asetus kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelystä ja rajoituksista. (EU 2008a.)

Tämä tarkoittaa, että aineen turvallisuustiedote on toimitettava, mikäli rakennustuotteessa käytetään vaarallisia kemikaaleja, jotka täyttävät artiklan 31 ehdot (kemikaali on REACH-kandidaatilistalla, ja kun kyse on seoksesta, kemikaalin konsentraatio on yli 0,1 paino-%). Artikla 33 vaatii seoksesta lisäksi riittävän yksityiskohtaisen reseptin tuotteen turvallisen käytön mahdollistamiseksi.

Käytännössä tämä voidaan hoitaa esimerkiksi viittaamalla rakennustuotteen suoritusasoilmoituksessa kotisivuosoitteeseen, josta käyttöturvallisuustiedote ja siihen liittyvä muu aineisto löytyy.

3.2.5 Vaarallisten aineiden päästötarkastelut

Vaarallisten aineiden päästötarkastelut ilmoitetaan rakennustuotteen suoritusasoilmoituksessa, mikäli ne on sisällytetty harmonisoiuihin tuotestandardeihin tai ETA-arviointeihin. Tähän asti lähinnä vain puupuolen harmonisoidut tuotestandardit ovat sisältäneet vaarallisten aineiden päästötarkasteluja joidenkin aineiden osalta. Jatkossa, vuoden 2015 jälkeen, vaarallisten aineiden päästötarkastelut sisäilmaan, maaperään ja säteily tulevat kattavasti mukaan rakennustuotteiden suoritusasoilmoituksiin, kun niitä koskevat validoidut horisontaaliset testimenetelmät on saatu käyttöön. Toistaiseksi jäsenvaltioilla on oikeus vaatia näitä päästötarkasteluja perustuen kansallisiin testimenetelmiin.

Turvatekniikan verkkosivuilla tarjotaan tietoa rakennustuoteasetuksesta ja kemikaaliasetuksen neuvontapalvelua (TUKES 2013a, 2013b).

3.2.6 Ympäristövaikutusten arviointi

Rakennustuotteen ympäristövaikutusten arviointia varten on kehitetty eurooppalaista standardointia CEN:n teknisessä komiteassa TC350, Sustainability of construction works. Standardien lähtökohtana on ollut, että arvioinnin tulee perustua laskettuihin lukuarvoihin, jolloin tuotteiden, ratkaisujen ja rakennusten vertailu on yksinkertaisempaa. Niissä esitetään, miten rakennustuotteiden ympäristötiedot tuotetaan ja miten niitä käytetään rakennuksen koko elinkaaren kattavan arvioinnin lähtötietoina.

Standardit kattavat indikaattorien muodossa kaikki oleelliset näkökohdat, joita EU-tason säädöshankkeet ja poliittiset linjaukset tavoittelevat, sekä EU:n eri jäsenvaltioiden määräykset ja esimerkiksi kestävän rakentamisen ja ympäristövaikutusten arvioinnin kansalliset ohjelmat. Standardisointityössä on kuitenkin pitäyditty sellaisissa indikaattoreissa, joille on voitu esittää uskottavat ja läpinäkyvät laskentäsäännöt. Standardeilla on tarkoitus vastata myös rakennustuoteasetukseen sisällytetyn uuden olennaisen perusvaatimuksen 7, "luonnonvarojen kestävä käyttö", tuleviin vaatimuksiin. Kyseisen olennaisen perusvaatimuksen merkitystä ei kuitenkaan vielä ole komission toimesta tarkemmin määritelty.

Kestävän rakentamisen eurooppalaisen standardipaketin kehittämistä ja käyttöönottoa tukevat hyvin niin komission kuin eri jäsenvaltioiden ja sidosryhmien yhteiset tavoitteet, jotka nyt on kirjattu eri sääntöjen muodossa, tavoitteena harmonisoitu lähestyminen kestävän rakentamisen näkökohtien arviointiin. Näistä tärkeimpiä ovat:

- Yhteisesti sovittujen, läpinäkyvien ja uskottavien rakennusten elinkaari pohjaisen ympäristövaikutusarvioinnin pelisääntöjen luominen pohjautuen elinkaariarvioinnin ISO 14040 -standardisarjaan (LCA = Life cycle assessment).
- Rakennustuotteiden ympäristöselosteita lähtötietona käyttävien laskentäsääntöjen kehittäminen rakennustason koko elinkaaren kattavaan ympäristövaikutusarviointiin. Tavoite on merkittävä jo siitakin syystä, että rakennuksen elinkaari on poikkeuksellisen pitkä ja huomioitavia tekijöitä on useita.
- Yhteisesti käytettävien indikaattorien määrittäminen sekä rakennustuotetasolla että rakennustasolla.
- Toiminnallisen vastaavuuden kriteerien määrittäminen; ainoastaan toiminnallisesti vastaavia rakennuksia on mahdollista vertailla keskenään. Tärkeimpiä kriteerejä ovat samat tekniset ja toiminnalliset ominaisuudet sekä sama suunniteltu käyttöikä.

CEN/TC350:n laatiman standardipaketin keskeiset ympäristösuorituskyvyn arvioinnin EN-standardit ovat (CEN 2013):

- SFS-EN 15978 "Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method"; käännöstyö käynnissä nimellä "Kestävä rakentaminen. Rakennusten ympäristösuoritus-tason arviointi. Laskentamenetelmä".
- SFS-EN 15804 "Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products"; käännetty suomeksi nimellä "Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt".

3.2.7 Jätelainsäädäntö

Rakentamisen jätteisiin ja toisaalta kierrätysmateriaalien kasvavaan käyttöön vaikuttaa Euroopan unionin 2008 antama jätedirektiivi (EU 2008b), joka velvoittaa jäsenvaltiot tehostamaan jätteen kierrätystä. Rakennusjätteen osalta Suomen tavoitteena on vuonna 2020 saavuttaa 70 %:n kierrätysaste materiaalikierrätyksenä. Jätedirektiivin täytäntöön panemiseksi maassamme astui voimaan uusi jätelaki vuonna 2012. Jätelaki ja sen pohjalta annetut asetukset sisältävät merkittäviä tiukennuksia myös rakennusjätteen lajitteluun ja kierrätykseen.

Jäteasetuksen (179/2012) olennaiset pykälät rakennusjätteen (rakennustuote käyttöiän jälkeen elinkaarensa päässä) huomioimiseksi ympäristövaikutustensa osalta ovat:

- 15. § Rakennus- ja purkujätteen määrän ja haitallisuuden vähentäminen
"Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava hankkeen suunnittelusta ja toteuttamisesta siten, että jätelain 8 §:n mukaisesti otetaan talteen ja käytetään uudelleen käyttökelpoiset esineet ja aineet ja että toiminnassa syntyy mahdollisimman vähän ja mahdollisimman haitatonta rakennus- ja purkujätettä."
- Rakentamisen ja purkamisen yhteydessä vaadittavasta rakennusjätteselvityksestä säädetään maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999) ja sen nojalla.
- 16. § Rakennus- ja purkujätteen hyödyntäminen
"Rakennushankkeeseen ryhtyvän tai muun jätteen haltijan on huolehdittava rakennus- ja purkujätteen erilliskeräyksen järjestämisestä siten, että mahdollisimman suuri osa jätteestä voidaan jätelain 8 §:n mukaisesti valmistella uudelleenkäyttöön, kierrättää tai muutoin hyödyntää. Jätelain 8, 13 ja 15 §:ssä säädettyin edellytyksin on huolehdittava siitä, että ainakin seuraavat jätelajit pidetään erillään tai lajitellaan erilleen toisistaan ja muista rakennus- ja purkujätteistä:
 - 1) betoni-, tiili-, kivennäislaatta-, ja keramiikkajätteet;
 - 2) kipsipohjaiset jätteet;
 - 3) kyllästämättömät puujätteet;
 - 4) metallijätteet;

- 5) lasijätteet;
- 6) muovijätteet;
- 7) maa-aines-, kiviaines- ja ruoppausjätteet;
- 8) eristevilla;
- 9) pakkausjätteet.”

Tavoitteena on, että 1. momentissa mainituin toimin vähintään 70 % rakennus- ja purkujätteestä, maa-aines-, kiviaines- ja ruoppausjätteitä sekä vaarallisia jätteitä lukuun ottamatta, hyödynnetään aineena vuonna 2020.

Vaarallisen jätteen erillään pitämisestä ja sekoittamiskiellosta säädetään jätelain (646/2011) 17. §:ssä.

Edellä mainitut pykälät omalta osaltaan edellyttävät rakennuksen koko elinkaaren ympäristövaikutusten arviointia, jätenäkökulmasta katsoen, ja ne edellyttävät myös rakennustuotteiden ja rakennusten käyttöikäsuunnittelua turhien ja ennen aikaisten jätevirtojen synnyn ehkäisemiseksi.

Myös uusi kaatopaikka-asetus (331/2013) vahvistaa jätedirektiivin aineena kiertämisen vaatimuksia. Tavanomaisen jätteen kaatopaikan pintarakenteen tiivistskerroksen alla olevaan jätetäyttöön tai rakenteeseen hyväksytään vain sellaista tavanomaista jätettä, jonka biohajoavan ja muun orgaanisen aineksen pitoisuus määritettynä orgaanisen hiilen kokonaismääränä tai hehikutushäviönä on enintään 10 %. Vaarallisen jätteen kaatopaikalle hyväksyttävän jätteen kelpoisuusvaatimuksista on säädetty erikseen.

3.2.8 Ecodesign- ja energiamerkintädirektiivit

Tuotteiden energiatehokkuudesta säädetään EU:ssa kahden puitedirektiivin nojalla: ecodesign-direktiivin (2009/125/EY) ja energiamerkintädirektiivin (2010/30/EU). Ecodesign-direktiivin nojalla tuotteille asetetaan ekologisen suunnittelun vaatimukset, jotka kohdistuvat tuotteiden valmistajiin. Jos tuote ei täytä sille asetettuja vaatimuksia, sitä ei saa tuoda EU:n markkinoille. Energiamerkintädirektiivin nojalla säädetään puolestaan tuotteeseen kiinnitettävästä energiamerkinnästä, joka auttaa loppukäyttäjää valitsemaan energiatehokkaan tuotteen.

Ecodesign-direktiivin ja energiamerkintädirektiivin nojalla annetaan sitovia tuoteriühmäkohtaisia vaatimuksia komission asetuksina komitologiamenettelyssä ja delegoituina säädöksinä. Euroopan komission asetukset ovat sellaisinaan voimassa Suomessa.

Uudet tuoteriühmät linjataan komission ecodesign-direktiiviä koskevassa työohjelmassa. Komissio julkaisi 7.12.2012 uuden työohjelman vuosille 2012-2014. Siinä komissio määrittelee 12 uutta tuoteriühmää, joista 7 se määrittelee ensisijaisiksi. Niiden lisäksi on viisi tuoteriühmää, joiden jatko riippuu muiden tuoteriühmien valmistelun etenemisestä. Käytännössä työsuunnitelma koskee ecodesign-direktiivin ohella myös energiamerkintää. Taustaselvityksissä selvitetään kunkin tuoteriühmän osalta tarve sekä ekologisen suunnittelun vaatimuksille että energiamerkinnälle.

Uuden työsuunnitelman (2012–2014) mukaisiin prioriteettituoteryhmiin kuuluvat rakennustuotteista ikkunat. Rakennusten lämmöneristystuotteet sisältyvät myös työsuunnitelmaan. Ajantasaista tietoa ekosuunnittelu- ja energiamerkintäsäädöksistä löytyy markkinavalvojana toimivan Tukesin (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto) ylläpitämiltä ekosuunnittelusivustolta: www.ekosuunnittelu.fi.

3.3 Lämmöneristetuotteiden tekniset ominaisuudet

3.3.1 Lämmönjohtuminen ja lämmönläpäisykerroin

Lämmöneristetuotteen tärkein ominaisuus on kyky hidastaa lämmönsiirtymistä korkeammasta lämpötilasta alhaisempaan. Tämä riippuu materiaaliominaisuudesta, jota kuvataan lämmönjohtavuudella [$W/(m\ K)$]. Lämmöneristetuotteille se annetaan ns. ilmoitettuna arvona $\lambda_{\text{Declared}}$. Ilmoitettu lämmönjohtavuusarvo johdetaan EN 13165 -standardin mukaisesti mitatuista arvoista. Ilmoitettuun arvoon tehdään käyttökohteen edellyttämät materiaalin vanhentumista sekä lämpötila- ja kosteusvaikutuksia kuvaavat korjaukset, jolloin saadaan suunnitteluarvo, jonka avulla voidaan määrittää rakenteen lämmönläpäisykerroin.

Rakenteiden lämpöteknistä toimivuutta kuvataan lämmönläpäisykertoimella (U-arvo) [$W/(m^2\ K)$]. Tämä arvo ottaa huomioon eri kerrosten paksuudet ja lämmönjohtavuudet sovellusoloissa, toistuvat kylmäsiillat ja pintojen lämmönsiirtovastukset. Joskus käytetään myös U-arvon käänteislukua, lämmönsiirtovastusta [$(m^2\ K)/W$], kuvattaessa esimerkiksi eristepaneelin tai lisäeristys-elementin eristävyyttä.

Lämmön siirtyminen eristeessä tai yleensä (huokoisessa) materiaalissa koostuu eri tekijöistä. Kuva 8 esittää lämmönjohtavuuden osatekijät mineraalivillalämmöneristeessä siten, kuin ne on usein esitetty (esimerkiksi Hagentoft 2001).

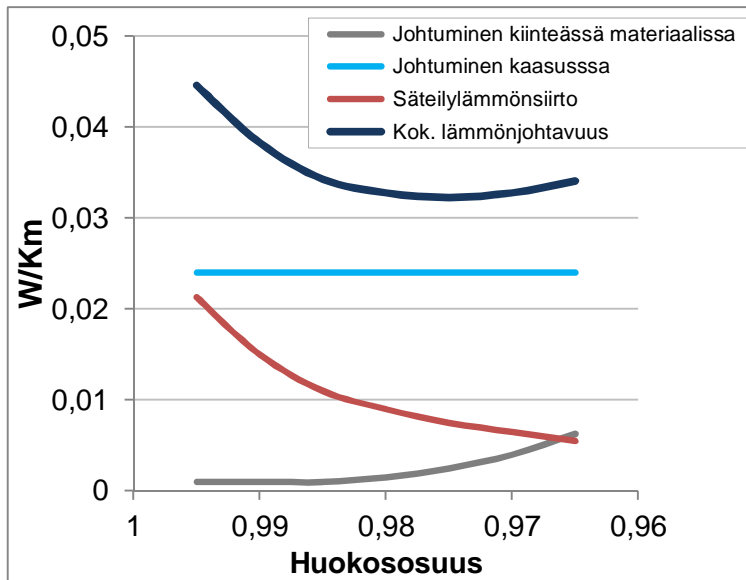
Lämmöneristeissä kiinteän aineen osuus on yleensä varsin pieni, joten lämmönjohtuminen sen kautta on suhteellisen vähäinen osa lämmönjohtavuuden kokonaisarvosta.

Säteilylämmönsiirto materiaalin läpi riippuu huokoisuudesta ja materiaalin pinnan pitkäaaltoisen (lämpö)säteilyn heijastus- ja emissio-ominaisuuksista. Hyvin huokoisessa kuitumaisessa materiaalissa lämpösäteilyn osuus on merkittävä, ja kun kiinteän materiaalin osuus kasvaa, pienenee säteilylämmönsiirto tuotteen läpi.

Merkittävin tekijä lämmönsiirrossa kuitumaisen lämmöneristeiden läpi on lämmönjohtuminen kiinteän materiaalin välisessä kaasussa. Kuitueristeillä kiinteän materiaalin tehtävänä on sitoa ilma mahdollisimman virtaamattomaksi kerrokseksi ja rajoittaa säteilylämmönsiirtoa. Suuri huokososuus merkitsee täytekkaasun (ilman) merkityksen korostumista kokonaislämmönsiirrossa (Hagentoft 2001).

Kuitumaisilla eristeillä kuitujen läpimitta ja niiden säteilylämmönsiirron ominaisuudet vaikuttavat toimivuuteen. Normaali-paineessa olevan ilmatäyteen makrohuokoisen lämmöneristeiden lämmönjohtavuuden minimiarvo lähestyy teoriassa paikallaan olevan ilman arvoa. Tällaisten lämmöneristetuotteiden minimitaso on nykyään noin $0,03\ W/Km$.

Lämmöneristeissä ja niiden sovellutuksissa voi vaikuttaa edellä esitettyjen lämmönsiirron tekijöiden lisäksi ilman virtauksesta, konvektiosta, aiheutuva lämpöhäviöiden lisätermi. Lisäksi ylimääräinen kosteus rakenteessa voi myös vaikuttaa lämpötekniiseen toimintaan.



Kuva 8. Mineraalivillan lämmönjohtavuuden osatekijät tuotteen huokososuuden funktiona; lukuarvot ovat suuntaa-antavia.

3.3.2 Muut tekniset ominaisuudet

3.3.2.1 Palo-ominaisuudet

Lämmöneristeeltä edellytettävät palo-ominaisuudet riippuvat sovellutuksesta. Ulkovaipparakenteissa käytettäviltä materiaaleilta edellytettävä luokitus riippuu rakennuksen paloluokituksesta ja käyttötavasta, rakenteiden tuuleutuksesta ja kerrosten lukumäärästä (Ympäristöministeriö 2011). Esimerkiksi kerrostalojen osalta vaatimukset ovat pientalojen vastaavia korkeammat.

Tyypillisesti mineraalipohjaiset tuotteet soveltuvat palosuojausominaisuuksiltaan vaativimpiin kohteisiin kuin orgaanisia ainesosia sisältävät. Eristeen palonsuojausta voidaan parantaa lisäämällä palonsuojauskemikaaleja sen valmistusprosessissa tai suojaamalla eriste paloa pidättävien materiaalikerrosten avulla. Eristetuotteiden soveltuvuus eri kohteisiin määräytyy niiden paloluokituksen ja suojaustavan mukaan.

3.3.2.2 Akustiikka

Lämmöneristetuotteiden vaikutus rakennusakustiikkaan riippuu muun muassa tuotteiden huokosominaisuuksista ja muista ominaisuuksista sekä rakenteiden akustisesta suunnittelusta muiden rakennekerrosten kanssa sekä niiden toteutuksesta. Hyvin lämpöä eristävillä lämmöneristeillä voidaan ohentaa rakenteita verrattuna perinteisten lämmöneristerakenteiden paksuuksiin.

3.3.2.3 Mittapysyvyys ja mekaaniset ominaisuudet

CE-merkinnässä ilmoitettaviin ominaisuuksiin kuuluvat lämmöneristetuotteen paksuus, pituus ja leveys, neliömäisyys, mittapysyvyys sekä vetolujuus sivujen suuntaisesti. Esimerkiksi puristuslujuus, vetolujuus paksuuden suuntaisesti, piste-kuormankestävyys, pitkäaikaisviruma, dynaaminen jäykkyys ja puristuvuus ovat erityisiin käyttökohteisiin tarkoitettujen tuotteiden ilmoitettavia ominaisuuksia.

3.3.3 Pitkäaikaiskestävyys ja käyttöikä

Rakennustuotteiden pitkäaikaiskestävyys ja käyttöiän määrittäminen on olennainen osa rakennusten käyttöikäsuunnittelua. Ohjeita käyttöikäsuunnittelusta osana rakennusten pitkäaikaiskestävyyden ja esimerkiksi ympäristövaikutusten arviointia annetaan standardeissa SFS-EN 15978 ja SFS-EN 15804 (ks. kohta 4.7 Ympäristövaikutukset).

Lämmöneristeellä tulisi olla sama käyttöikä kuin rakenteella, johon se asennetaan. Jos käyttöikä jää tätä lyhyemmäksi, tulisi lämmöneristeen olla helposti vaihdettavissa. Uusien tuotteiden käyttöikäennuste perustuu vanhentumiskokeisiin ja arvioihin tuotteeseen käytön aikana kohdistuvista riskeistä ja niiden vaikutuksista toimivuusarvoihin.

Tuotteen toimivuuteen ja käyttöikään kohdistuvat riskit on tunnettava arvioitaessa sen soveltuvuutta rakentamiseen. Esimerkiksi jos lämmöneristeen eristysominaisuudet voivat olennaisesti heikentyä jonkin siihen kohdistuvan vaurion seurauksena tai sen mekaaniset ominaisuudet tai dimensiot muuttuvat niin, ettei eristerakenne enää toimi tarkoitustaan vastaavalla tavalla, on riskit syytä ottaa huomioon sovellutusten suunnittelussa, toteutuksessa ja tarvittavassa seurannassa.

Materiaalin ikääntyminen voi johtua muun muassa lämpötila- tai kosteustasoista tai niiden dynamiikasta, biologisesta kasvusta, korroosiosta tai lahosta. Mekaaniset rasitukset, kuten puristuskuormitus, värähtelyt ja dynaamiset kuormitukset, voivat vaikuttaa materiaalia heikentävästi. Lisäksi rakennussovellutuksissa on tärkeää varmistaa eri tuotteiden keskinäinen sopivuus.

Tavanomaisten lämmöneristeiden ikääntyminen normaalien käyttöolosuhteiden lämpötila- ja kosteusoloissa on hyvin tunnettu. Useilla nykytuotteilla vanhenemista ei sovellutuksissa tapahdu. Tarvittaessa se voidaan ottaa huomioon lämmönjohtavuuden korjauskertoimilla. Ylimääräinen kosteus vaikuttaa eri materiaaleihin eri tavoin. Ensimmäisiä liian kosteuden haitallisia seurauksia on esimerkiksi homeen

kasvun käynnistyminen rakenteessa. Liiallinen kosteus on merkki rakennusvauriosta tai rakenteen virheellisestä toiminnasta. Rakenteiden hyvällä suunnittelulla ja toteutuksella voidaan olennaisesti pienentää tällaisten riskien esiintymistä.

Lämmöneristeen painuminen koskee lähinnä puhallettuja lämmöneristeitä, ja se voidaan ottaa huomioon rakenteiden suunnittelussa ja eristesovellutusten valinnassa. Kutistuminen voi olla ongelma, jos se tapahtuu hallitsemattomasti aiheuttaen esimerkiksi yhtenäisen ilmatiiviin kerroksen vaurioitumisen. Voimakkaasti valmistuksen jälkeen kutistuvat materiaalit voidaan vanhentaa ja esikutistaa ennen niiden toimittamista käyttöön.

Jotkin lämmöneristeet saattavat edellyttää tavanomaista parempaa suojausta ympäröiviltä lämpö- ja kosteusrasituksilta tai täytekaasujen diffuusiolta eristeestä ulos. Esimerkiksi tyhjiöeristeet on eristettävä mahdollisimman täydellisesti ympäröivästä ilmasta, jotta riittävä alipaine säilyy eristepaneelissa. Tällaisessa tapauksessa vaurioitumisen aiheuttamat seuraukset lämmöneristeen ominaisuuksille voivat olla huomattavat. Suojauksen vaurioriskin seuraukset riippuvat eristemateriaalista ja ne on otettava huomioon arvioitaessa soveltuvuutta ja rakennekerrosten suojaustarvetta.

3.4 Lämmöneristetuotteen soveltuvuus rakentamiseen

Tämä osa käsittelee lämmöneristystuotteen soveltumista rakentamiseen käytännössä. Tuotteelle ja sen asentamistavoille asetettavat vaatimukset voivat poiketa toisistaan jonkin verran riippuen siitä, onko kyseessä uudiskohde vai remontoitava rakennus tai tapahtuuko asennus työmaalla vai tehtaalla rakennusosien valmistuksen yhteydessä.

Tuotteen soveltuminen rakentamiseen voi olennaisesti vaikuttaa työmäärään, detaljien toteutukseen, asennusaikaan ja lopputuloksen laadun tasaisuuteen sekä näiden kautta rakentamisen kustannuksiin.

3.4.1 Lämmöneristeen asennettavuus

Tuotteen asennettavuus rakenteeseen ja siihen kuluva aika ovat kriittisiä tekijöitä rakentamisprosessissa. Asennustyötä helpottavat ja parantavat tekijät vaikuttavat rakentamisen aikatauluun, kustannuksiin ja laatuun yleensä positiivisesti. Vastaa-vasti uusien työvaiheiden vienti työmaalla käytäntöön vaatii muutoksia totuttuihin käytäntöihin. Uudet lämmöneristystuotteet ja -järjestelmät saattavat vaatia aiemmasta poikkeavia ratkaisuja ja toteutustapoja verrattuna pitkään markkinoilla olleisiin tuotteisiin.

Jotkin uudet tuotteet, esimerkiksi tyhjiöeristepaneelit, ovat parhaiten sovellettavissa tekemällä niistä esivalmistettuja rakennusosia. Esivalmistus mahdollistaa pitkälle kehitettyjen tuotteiden yhdistämisen rakennusosiin teollisissa olosuhteissa, jolloin työmaatyöskentelyn osuus pienenee. Pelkät uudet eristetuotteet tai rakeneosat eivät yksinään riitä. Lisäksi tarvitaan uusien eristejärjestelmien detaljien,

3. Lämmöneristeiden toimivuus

liitosrakenteiden ja tarvittavien asennuskomponenttien suunnittelu, valmistus ja asennusohjeistus varmistamaan lopputuloksen laatu.

Työmaalla käytettävien lämmöneristystuotteiden asennettavuutta voidaan arvioida niiden työstettävyyden ja joustavan asennustavan perusteella.

3.4.2 Kuljetus ja suojaus työmaalla

Tuotteiden vaatimukset kuljetusolosuhteiden, käsittelyn ja rakennustyömaan aikaisen varastoinnin suojauksen osalta on otettava huomioon arvioitaessa soveltumista käytäntöön.

3.4.3 Vaihdeettavuus

Jos lämmöneristystuotteen ominaisuudet voivat ratkaisevasti heikentyä ennen kuin rakennus on käyttöikänsä päässä, tulee tällaisen tuotteen olla kohtuullisen helposti korvattavissa. Tämä edellyttää vaihdettavuuden huomiointia lämmöneristysjärjestelmän suunnittelussa.

3.4.4 Toimivuuden tarkastukset ja ylläpito

Vaurioitumisen yhteydessä olennaisesti toimivuudeltaan muuttuvat lämmöneristysjärjestelmien osat olisi suositeltavaa pystyä tunnistamaan rakennuksen huoltoon liittyvien tarkastusten yhteydessä, ja tarpeen mukaan ne tulee voida vaihtaa tai korjata vika muulla tavoin.

3.5 Lämmöneristetyn rakenteen lämpöteknisen toimivuuden parantaminen

Lämmöneristemateriaalin lämmönjohtavuuteen tai eristerakenteen lämmönläpäisykertoimeen voidaan vaikuttaa lämmönsiirtymisen eri tekijöiden avulla. Vaikutusmahdollisuudet voidaan jakaa seuraavasti:

- a. Pienennetään lämmönjohtumista materiaalin kaasumaisen komponentin kautta.
- b. Pienennetään säteilylämmönsiirtoa eristeroksen läpi.
- c. Pidetään kiinteän materiaalin kautta tapahtuva lämmönjohtuminen pienenä.

Lisäksi rakennetasolla on mahdollisten kylmäsiltojen vaikutusten minimointi eräs hyvän lämmöneristerakenteen edellytys.

Seuraavassa on käsitelty eri toimenpiteiden mahdollisia toteutustapoja lämmöneristeissä.

3.5.1 Lämmönjohtuminen materiaalin kaasumaisen komponentin läpi

Eräs ratkaisu lämmönjohtavuuden pienentämiseen on umpisoluisten lämmöneristeiden täytekaasun vaihto ilmasta lämpöä heikommin johtavaan kaasuun. Tällaisia tuotteita ovat esimerkiksi umpisoluiset PUR- ja PIR-tuotteet. Näiden pitkäaikais-toimivuuden edellytyksenä on kaasujen hidas diffuusio materiaalin ja ympäristön välillä. Tätä ominaisuutta parannetaan muun muassa lämmöneristetuotteiden pinnoituksilla (alumiinikalvot yms.).

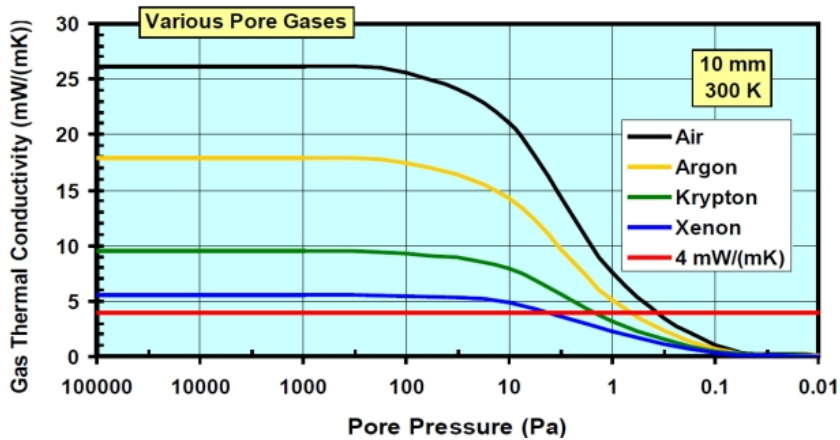
Vastaavasti esimerkiksi umpioikkunoissa käytetään usein argonia tai kryptonin täytekaasuna. Niiden etuna on ilman lämmönjohtavuutta (0,024 W/Km lämpötilassa +25 °C) pienempi lämmönjohtavuus (Ar 0,016 W/Km ja Kr 0,0088 W/Km) sekä ilmaa suuremmasta tiheydestä johtuva pienempi konvektio.

Toinen ratkaisu on pienentää ilmatäytteen lämmöneristeen ilmamolekyylien keskinäisten törmäysten ylläpitämää lämmönjohtumista ilmassa. Tähän on kaksi tapaa:

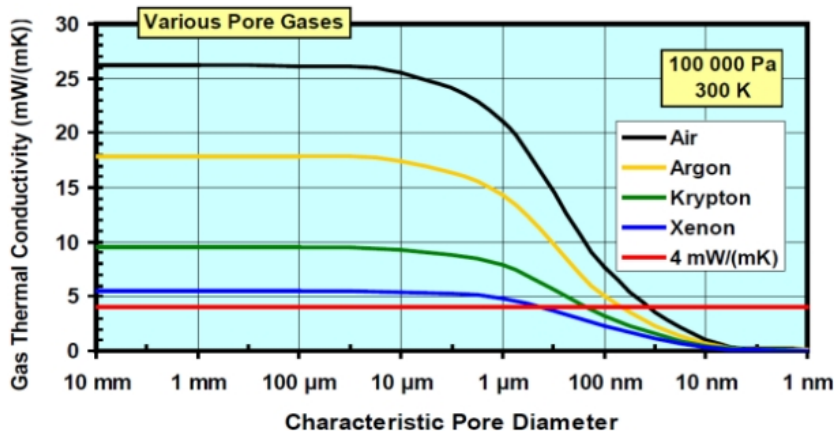
1. Ns. tyhjiöeristeet (Vacuum Insulated Panels, VIP), jossa kaasua harvennetaan tuottamalla alipaine rakenteeseen.
2. Eristemateriaali, jonka ilmahuokosten koko on pienempi kuin ilmamolekyylin vapaan matka. Huomattavassa alipaineessa tai nanohuokoisissa materiaaleissa ilmamolekyylien törmäykset tapahtuvat useammin kiinteään materiaalin seinämän kuin toisen ilmamolekyylin kanssa, jolloin lämmönsiirto johtumalla kaasufaasin läpi pienenee olennaisesti normaalipaineen tilanteeseen verrattuna.

Kuva 9 esittää eri kaasujen lämmönjohtavuuden kaasun paineen funktiona ja Kuva 10 esittää vastaavien kaasujen lämmönjohtavuudet normaalipaineessa lämpötilassa 300 K kiinteän aineen huokoskoon funktiona (Jelle et al. 2010). Esimerkiksi ilman lämmönjohtavuus alittaa tason 0,004 W/Km noin 0,3 Pa:n paineessa tai kun huokoskoko on 40 nm tai pienempi.

3. Lämmöneristeiden toimivuus



Kuva 9. Kaasujen lämmönjohtavuuksia huokospaineen funktiona (Jelle et al. 2010).



Kuva 10. Kaasujen lämmönjohtavuuksia huokoskoon funktiona (Jelle et al. 2010).

VIP-sovellutuksissa voidaan käyttää eristeenä nanohuokoista materiaalia, jolloin niiden ominaisuudet täydentävät toisiaan. Vaatimukset alipaineelle tai materiaalin huokosjakaumalle eivät ole silloin yhtä kriittisiä kuin erikseen toteutettuina. Esimerkiksi paneelin vaurioituessa (ilmavuoto paneeliin) sen lämmönläpäisykerroin pysyy vielä kohtuullisena, kun täyte-eristeen lämmönjohtavuus on pieni. Myös muita täytekaasuja voidaan käyttää alipaineessa tai parantaa nanohuokoisen materiaalin toimivuutta niiden avulla.

Vakuumeristeratkaisuissa eriste on pakattava hermeettisesti suljetun suojakuoren sisään. Suojakuoren pitkäaikaistoimivuus on ratkaiseva lämmöneristeen ominaisuuksien säilymisen kannalta. Täyteenä olevasta lämmöneristeestä riippuu, kuinka merkittävä riski suojauksen vaurioitumiseen liittyy.

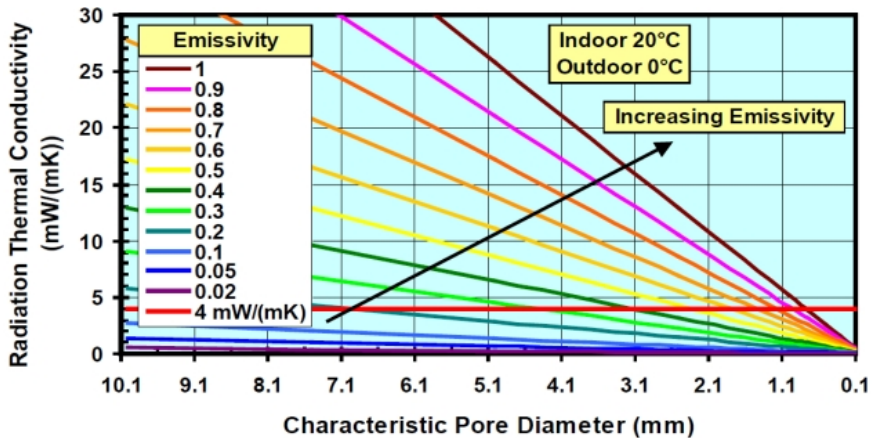
Muita kuin ilmaa täytekaasuna käytettäessä ovat lämmöneristeiden ja sen pinnoitusten diffuusioläpäisevyys merkittäviä tekijöitä lämmöneristeiden ominaisuuksien vanhentumisen kannalta.

Nanohuokoiset normaalipaineessa olevat, ilmatäytteiset lämmöneristeet eivät välttämättä edellytä materiaalin suojausta ympäristöstä. Ne voivat kuitenkin olla herkkiä liialliselle kosteudelle, mikä johtaa jonkinasteiseen suojaustarpeeseen.

3.5.2 Säteilylämmönsiirto lämmöneristeessä

Lämmöneristeissä kiinteän aineen osuus pyritään saamaan mahdollisimman pieneksi, jotta lämmönjohtuminen sen kautta pysyisi pienenä. Tällöin säteilylämmönsiirron osuus voi olla merkittävä.

Säteilylämmönsiirtoa voidaan pienentää muuttamalla kiinteän materiaalin soluseinämien tai kuitujen säteilyn emissiokerrointa. Pieni pitkäaaltoisen säteilyn emissiokerroin johtaa pieneen säteilylämmönsiirtoon materiaalin läpi. Jonkin verran voidaan vaikuttaa myös harvojen lämmöneristetuotteiden pinnoitteiden ominaisuuksilla koko lämmöneristeyksen toimintaan. Kuva 11 esittää huokoisen materiaalin säteilylämmönsiirron osuuden lämmönjohtavuudesta materiaalin huokoskoon funktiona ja materiaalin emissiviteetin ollessa parametri. Tyypillisesti materiaalien emissiokertoimet ovat tasolla 0,8–0,95. Tällöin suuri huokoskoko merkitsee suurta säteilylämmönsiirtoa eristeen läpi. Emissiokerrointa pienentämällä tätä voidaan olennaisesti alentaa. Esimerkiksi 5 mm:n huokoskolla on emissiokertoimen 0,90 materiaalin säteilylämmönsiirron osuus noin 0,021 W/Km, kun se emissiokertoimella 0,10 voidaan pienentää tasolle 0,01 W/Km.



Kuva 11. Säteilylämmönsiirron osuus huokoisen materiaalin lämmönjohtavuudesta materiaalin huokoskoon funktiona, kun materiaalin emissiviteetti on parametri (Jelle et al. 2010).

Joissain käytännön lämmöneristetuohteissa säteilylämmönsiirtoa on rajoitettu. Esimerkiksi grafiittia sisältävien EPS-tuotteiden lämmönjohtavuuden ilmoitettu arvo on tyypillisesti 0,031 W/Km, kun se muuten vastaavalla EPS-tuotteella ilman grafiittia on 0,036–0,039 W/Km (esimerkiksi Thermisol 2013).

Jotkin lämmöneristystuotteet ovat kerroksellisia rakenteita, joiden toimivuus perustuu eri kerrosten väliseen matalaan lämpösäteilyyn, mikä saavutetaan näiden pintojen matalan emissiviteetin avulla. Esimerkiksi ranskalainen valmistaja Actis on kehittänyt monikalvotuotteita, joissa alumiinikalvojen välissä on muovikuitueristettä (ACTIS 2013).

3.5.3 Kiinteän materiaalin osuus lämmönsiirrossa

Koska lämmöneristeiden kiinteiden materiaalien lämmönjohtavuus on yleensä huomattavasti korkeampi kuin ilman tai muiden täytekaasujen, pyritään kiinteän materiaalin osuus pitämään mahdollisimman pienenä.

Kiinteän materiaalin vaikutusta lämmöneristeen kokonaislämmönjohtavuuteen voidaan pienentää valitsemalla tähän lämmönjohtavuudeltaan alhainen materiaali. Sen tulee kuitenkin muodostaa riittävän vahva rakenne, jotta eristeen mekaaniset ominaisuudet ovat tarkoituksenmukaiset. Toinen tapa on lisätä materiaalin huokoisuutta tai yleensä kiinteän materiaalin lämmönsiirron reittien pituutta. Tähän pyritään esimerkiksi erilaisilla kuiturakenteilla tai pienellä huokoskoolla ja alhaisella huokosten seinämäpaksuudella. Kiinteän materiaalin optimointi lämmönsiirron parantamiseksi on nykytuotteilla varsin pitkällä, eikä sen osalta voida saavuttaa vastaavia parannuksia lämpötekniiseen toimivuuteen kuin kaasufaasin johtumisen tai säteilylämmönsiirron pienentämisellä.

3.5.4 Kylmäsilat

Rakenteen lämpötekniinen toimivuus riippuu sen eri kerrosten muodostamasta kokonaisuudesta. Lämmöneristetuohteen lämmönjohtavuus ja paksuus ei vielä yksinään kuvaa eristerakenteen lämpötekniisen toimivuuden tasoa. Ratkaisevaa voi olla, miten lämmöneristys asennetaan ja suojataan, ts. mitä rakenteita tarvitaan lämmöneristeen lisäksi. Monesti näistä aiheutuu kylmäsiltoja, joiden suhteellinen vaikutus kokonaisuuteen on sitä suurempi, mitä parempi itse lämmöneristeen lämmönjohtavuus on. Kylmäsilat voivat olla toistuvina rakenteeseen kuuluvia tai rakenteiden liitososiin liittyviä.

Esimerkiksi vakuuillämmöneriste on käytännössä eristejärjestelmä, joka muodostuu erilaisista kerroksista ja mahdollisista tuki- ja kiinnitysrakenteista. Siten niiden lämpötekniiseen toimintaan liittyvät näiden rakenneosien mahdolliset kylmäsilta-vaikutukset.

3.5.5 Konvektio materiaalissa ja ilmanläpäisevyys

Eristetuotteen ilmanläpäisevyys ei kuulu CE-merkinnässä ilmoitettaviin ominaisuuksiin. Mineraalivillan tuotestandardissa on kohdassa "special applications" ilman ominaisvirtausvastus mukana, ja se voidaan ilmoittaa CE-merkinnässä, jos valmistaja niin haluaa tai kansallisesti vaaditaan. Suomessa on omaksuttu käytäntö ilmoittaa ilmanläpäisevyys ainakin sellaisten tuotteiden yhteydessä, joilla se voi olla merkittävä tekijä konvektion kannalta. Kylmän ilmaston sovellutuksissa esiintyy rakenteen ylitse sellaisia lämpötilaeroja, että luonnollinen konvektio voi olla merkityksellinen, jos lämmöneristeen ilmanläpäisevyys on suuri.

Ilman tai kaasun virtaus lämmöneristeessä vaikuttaa lämmöneristyssovellutusten lämmönsiirtoon. Tämä tekijä pyritään minimoimaan sovellutusten edellyttämällä tavalla lämmöneristeen tarkoituksenmukaisilla ominaisuuksilla ja eristekerroksen suojauksella ilmavirtauksia vastaan.

Ympäristön painevaikutuksilta suljetun rakenteen sisäinen konvektio on mahdollinen, jos lämmöneristeen ilmanläpäisevyys, lämpötilaero rakenteen yli ja eristeontelon dimensiot yhdessä mahdollistavat konvektiovirtauksen synnyn.

Käyttösovellutuksissa on tärkeää suojata rakenne sen läpi tapahtuvilta vuotoilmavirtauksilta. Nykyrakentamisessa rakennusten ilmatiiviyden merkityksen korostaminen ja ilmatiiviyden vaatimustasot vähentävät olennaisesti vuotoilmavirtausten merkitystä rakenteen lämpöteknisen toimivuutta heikentävänä tekijänä.

Ulkopuolisen tuulenpaineen aiheuttamat konvektiovaikutukset voidaan torjua tarpeenmukaisella tuulensuojauksella (Ojanen et al. 1993). Tuulensuojauksen tarkoituksena on estää tuulenpaineen aiheuttamien ilmavirtausten tunkeutuminen lämmöneristeeseen tai yleensä rakenteeseen. Tuulensuojauksen tarve ja vaatimustaso riippuvat täysin sovelluksesta. Tuulensuojauksen tarve korostuu tuulettuvissa seinärakenteissa, joissa nurkkien yli syntyvä tuulen aiheuttama paine-ero voi olla voimakas.

Konvektion lämpöhäviöitä lisäävää vaikutusta kuvataan Nusseltin luvulla Nu:

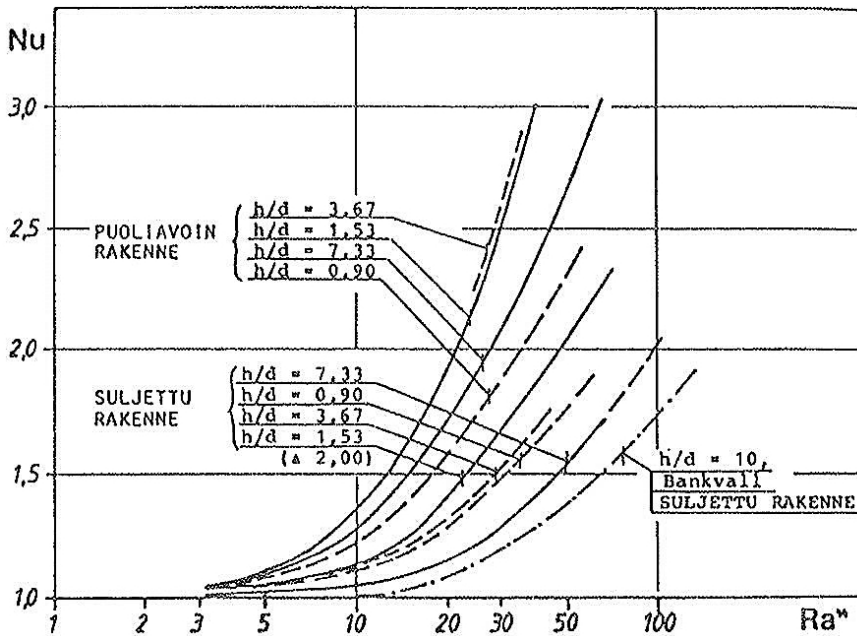
$$Nu = q \text{ (konvektio) } / q \text{ (ei konvektiota) } \quad (1)$$

Nu-luku kuvaa siis lämpöhäviöiden (lämpövirrantiheys q [$W/K m^2$]) suhteellista kasvua konvektion vaikutuksesta verrattuna lämpöhäviöihin samoissa olosuhteissa ilman konvektiota.

Kuva 12 esittää pystysuoran seinäeristeen Nusseltin luvun modifioidun Rayleighin luvun Ra_m funtiona. Rayleighin luku Ra_m on suoraan verrannollinen lämmöneristeen ilmanläpäisykertoimeen ja lämpötilaeroon eri puolten pintojen välillä. Pystysuorian eristesovellutusten tapauksessa merkitsevä tekijä on lisäksi eristeontelon korkeuden ja paksuuden suhde. Pystysuorassa eristeontelossa ei ole selkeää raja-arvoa konvektion alkamiselle. Vaakaeristeissä, jotka kuvaavat yläpohjaeristeitä, on yläpinnaltaan ilmavirtaukselta suljetun eristerakenteen konvektion alkamisen raja-arvona $Ra_m = 40$, ja yläpinnaltaan avoimessa tapauksessa raja-arvo on $Ra_m = 28$ (Hagentoft 2001).

3. Lämmöneristeiden toimivuus

Käyttösovellutusten mukaan voidaan arvioida konvektion mahdollisuutta rakenteissa. On huomattava, että korkeat lämpötilaero-olosuhteet esiintyvät vain satunnaisesti lämpötilaolosuhteiden ääritilanteissa, joten näissä esiintyvä konvektio ei kuvaa rakenteen keskimääräistä lämpöhäviöiden kasvua.



Kuva 12. Konvektiosta aiheutuvaa lämpöhäviöiden kasvua kuvaavan Nusseltin numeron riippuvuus modifioidusta Rayleighin luvusta pystyrakenteilla (seinät) eristeontelon korkeuden ja paksuuden erilaisilla suhteilla (0,9–7,3) ja tapauksissa, joissa kylmän puolen pystypinta on ilmaa läpäisemätön (suljettu rakenne) tai avoin (puoliavoim rakenne) (Ojanen & Kohonen 1989).

Lämmöneristemateriaalin ilmanläpäisevyys on harvoin ongelma konvektion kannalta. Merkittävämpi riskitekijä ovat lämmöneristyksen toteutuksen mahdolliset epäideaalisuudet ja virheet, jotka voivat vaikuttaa ilmavirtauksiin rakenteissa paljon materiaaliominaisuuksia enemmän (Kohonen et al. 1986, Ojanen & Kohonen 1989, Ojanen et al. 1993).

Uusien eristemateriaalien ja -tuotteiden osalta on syytä varmistaa, että myös niiden ilmanläpäisevyys on tasolla, jossa luonnollinen konvektio jää ajallisesti (olosuhteiden esiintyminen vuoden jakson aikana) sekä konvektion voimakkuuden ja sen vaikutusten osalta kokonaisuuden kannalta riittävän pieneksi. Ilmanläpäisevyyden ilmoittaminen on siten perusteltua.

3.5.6 Rakenteen kosteuden vaikutus

Illan konvektiovaikutusten lisäksi kosteus voi aiheuttaa muutoksia lämpövirroissa. Kosteus muuttaa lämmönjohtavuutta, mikä otetaan huomioon lisäyksenä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvossa. Jos rakenteessa on niin paljon kosteutta, että sen jatkuva höyrystyminen ja lauhtuminen muuttaa olennaisesti lämpövirtoja, on kyse vikatilanteesta. Tällöin rakenteessa on kosteuslähde tai hyvin tiiviiseen rakenteeseen on päässyt kosteutta, joka ei pääse kuivumaan rakenteesta. Liasta kosteudesta aiheutuvat merkittävimmät haitat ovat rakenteiden biologiseen vaurioitumiseen ja sisäilman laatuun vaikuttavia, lämpöhäviöiden kasvu on haitoista pienin. Hyvällä rakenteiden suunnittelulla ja toteutuksella rakenteiden kosteustasot pysyvät turvallisina, eikä sillä ole lisävaikutusta lämpötekniseen toimivuuteen.

3.5.7 Yhteenveto lämmöneristyksen parannuskeinoista

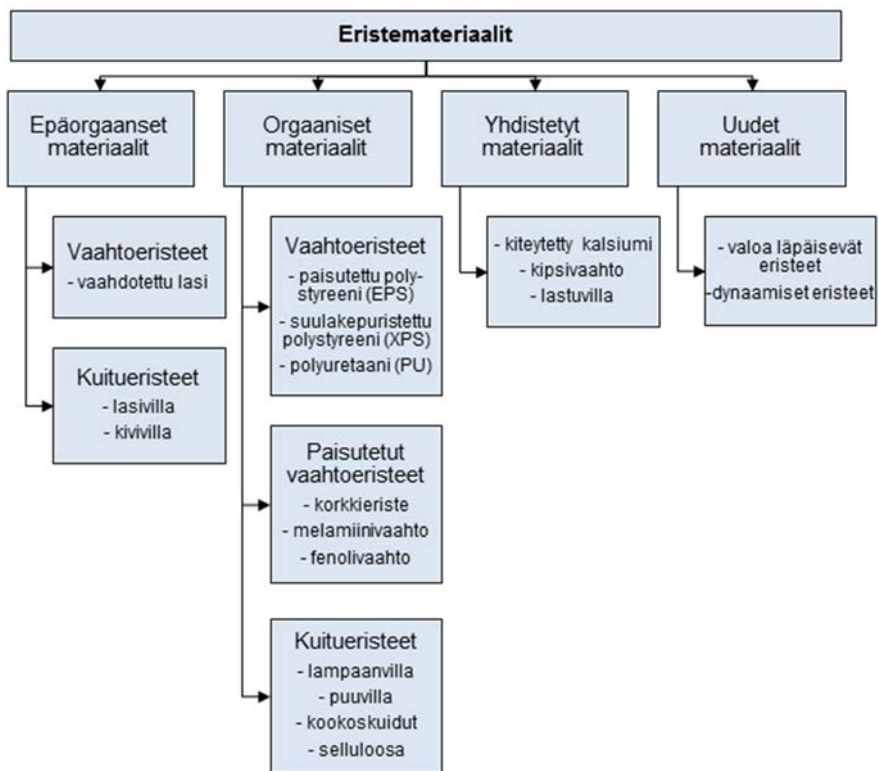
Lämmöneristeen lämmönjohtavuutta voidaan pienentää erilaisin menetelmin. Lämmöneristävyydeltään paras materiaali olisi sellainen, jossa kaasun kautta tapahtuva lämmönjohtuminen on katkaistu kokonaan joko tyhjiöllä tai tasakokoisella, riittävän pienihuokoisella nanomateriaalilla ja jossa säteilylämmönsiirto on myös jokseenkin estetty kiinteän materiaalin seinämien tai erillisten kerrosten matala-emissiviteettipinnoituksin. Tämän lisäksi materiaalin kiinteän aineen osuuden tulee olla pieni ja sen rakenne sellainen, että johtuminen tätä kautta on mahdollisimman pientä.

Kaikkia edellä esitettyjä menetelmiä on sovellettu erikseen ja yhdessä parannaessa ns. perinteisten lämmöneristeiden toimintaa ja kehitettäessä uusia supereristeitä.

Uusien lämmöneristetuotteiden soveltuminen rakentamiseen riippuu monista muistakin tekijöistä kuin vain lämmöneristysominaisuuksista. Erilaiset toimivuuteen, terveellisyteen, turvallisuuteen, asennettavuuteen ja käyttöikään liittyvät vaatimukset tulee ottaa huomioon arvioitaessa soveltuvuutta ja kehitettäessä toimivia sovellutuksia. Kustannusten ja hyödyn suhde vaikuttaa uusien sovellutusten käyttöön.

4. Lämmöneristetuotteiden jaottelu

Lämmöneristeet voidaan luokitella eri tavoin riippuen luokittelun tavoitteista. Yleisimmät luokittelut perustuvat materiaalin kemialliseen tai fysikaaliseen rakenteeseen. Esimerkiksi Papadopoulos (2005) on esittänyt lämmöneristeille materiaaleihin perustuvaa jakoa: orgaaniset, epäorgaaniset, yhdistelmäateriaalit ja uuden teknologian materiaalit (Kuva 13).



Kuva 13. Lämmöneristeiden eräs luokittelutapa (muokattu lähteestä Papadopoulos 2005).

Lämmöneristeille käytettävän luokittelun etuna on, että samaan luokkaan kuuluvien materiaalien ominaisuuksissa on paljon yhteisiä piirteitä, ja niiden toimivuutta, soveltuvuutta ja kehitysnäkymiä voidaan usein tarkastella ryhmänä.

Tässä projektissa lämmöneristeet jaettiin kolmeen luokkaan, millä pyrittiin havainnollistamaan nykytilanne ja kehityksen uudet painopisteet. Työssä käytetty lämmöneristetuotteiden jaottelu oli seuraava:

1. perinteiset lämmöneristeet
2. uudet kehittyvät lämmöneristeet
3. monitoimiset vaippajärjestelmät.

Perinteiset lämmöneristeet ovat nykyisin markkinoilla olevia, laajasti tunnettuja ja käytettyjä tuotteita.

Uudet, kehittyvät lämmöneristeet ovat ryhmä, jonka kehitystyö on voimakasta ja joista voi löytyä tulevaisuuden uusia lämmöneristystuotteita rakentamisessa laajasti käytettäväksi. Uudet, kehittyvät tuotteet eivät ole välttämättä pelkästään supereristeitä, joiden tekniset ominaisuudet ylittävät nykyisten tuotteiden vastaavat arvot. Myös esimerkiksi ekologisuus ja kustannustehokkuus voivat olla uusien eristetuotteiden kehityksen ajureita.

Kolmas ryhmä edustaa sellaisia rakennusvaipan tuotteita, jotka vaikuttavat rakennuksen lämpötekniseen toimivuuteen mutta jotka eivät ole puhtaasti lämmöneristeitä. Myös tässä ryhmässä on käynnissä paljon kehitystyötä. Tyypillistä on, että näiden rakennejärjestelmien toiminnassa pyritään yhdistämään useita erilaisia toimintoja tukemaan rakennuksen energiatehokkuutta.

Perinteiset lämmöneristeet -ryhmä esitetään tarkemmin seuraavassa luvussa 4.1, uudet kehittyvät lämmöneristeet luvussa 5.2 ja monitoimiset vaippajärjestelmät luvussa 5.3.

4.1 Perinteiset lämmöneristeet

Perinteisiin lämmöneristeisiin kuuluvat tuotteet ovat pitkään markkinoilla olleita, yleisesti tunnettuja ja laajasti rakentamisessa käytettyjä. Ne on tässä tarkastelussa jaettu neljään alaryhmään.

Mineraalipohjaiset eristeet: Tähän ryhmään kuuluvat lasi- ja kivivillatuotteet, jotka voivat olla jäykkiä levyjä, pehmeitä ja taipuisia mattoja, sekä puhallettavia tuotteita. Mineraalipohjaisiin eristeisiin kuuluvat myös kevytsoratuotteet (irtosora, harkot jne.).

Luonnonkuituiset lämmöneristetuotteet: Tähän ryhmään kuuluvat puukuitu- ja selluvillaeristeet, jotka voivat olla puhallettavia, ruiskutettavia tai levymuotoisia tuotteita. Muita ryhmän tuotteita ovat pellava, hampukkuitu lampaanvilla jne.

Muovipohjaiset lämmöneristeet: Nämä tuotteet on tehty erilaisista muovipohjaisista materiaaleista. Ryhmään kuuluvat: muovikuitueristeet, EPS (expanded polystyrene), XPS (extruded polystyrene), PUR (polyurethane) ja PIR (polyisocyanurate) -tuotteet sekä fenolivaahtoeristeet.

4. Lämmöneristetuotteiden jaottelu

Monikerrokselliset lämmöneristetuotteet: Nämä ovat rakenteeltaan monikerroksisia tai kennomaisia, ilmatäytteisiä tuotteita. Niiden lämmöneristysominaisuudet perustuvat paikallaan oleviin ilmakerroksiin ja pintojen säteilylämmönsiirto rajoittaviin ominaisuuksiin.

4.1.1 Mineraalipohjaiset eristeet

4.1.1.1 Lasi- ja kivivillapohjaiset kuitueristeet

Lasi- ja kivivillapohjaiset tuotteet valmistetaan sitomalla raaka-aineesta tuotettuja kuituja sideaineen avulla yhteen. Rakennuseristämiseen tarkoitettujen (kärki)tuotteiden lämmönjohtavuus on tyypillisesti alueella 0,031–0,040 W/(m K). Pelkästään kuiturakennetta optimoimalla arvoa on vaikea tästä olennaisesti parantaa. Tuotteita on laaja valikoima, muun muassa eri lämpötilaluokille sekä tiheyden, jäykkyuden ja painuman, ilmanläpäisevyyden ja akustisten ominaisuuksien mukaan eri tarkoituksiin. Niille on tyypillistä hyvä palonkestävyys (kuitenkin tuotteesta riippuen).

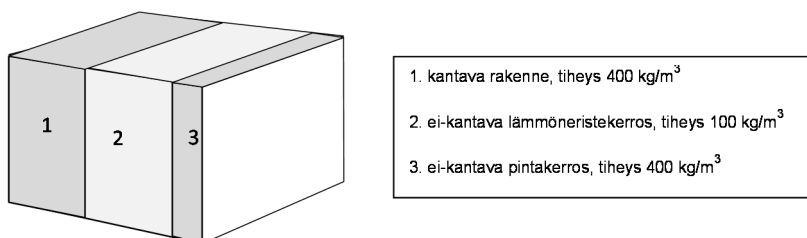
Pitkään markkinoilla olleet tuotteet on esimerkiksi asennuksen, pakkauksen ja kuljetuksen osalta pitkälle kehitettyjä. Tuotteissa voi olla valmiina ominaisuuksiltaan erilaisia suojakalvoja (esimerkiksi tuulensuojakalvo).

Kuitumaiset lämmöneristeet läpäisevät hyvin ilmaa ja vesihöyryä. Niiden tuulensuojaustarve tulee varmistaa käyttökohteen vaatimusten ja tuotteen ominaisuuksien mukaan.

4.1.1.2 Kevytsora- ja kevytbetonituotteet

Kevytsoratuotteiden lämmönjohtavuudet ovat irtosoralla alimmillaan tasolla 0,06 W/(m K) ja harkkotuotteilla $> 0,1$ W/(m K), joten niiden käyttösovellutukset riippuvat muista kuin puhtaasti lämmöneristysominaisuuksista.

Eräänä kehityssuuntana on erilaisten kerrosten yhdistäminen samaan harkkorakenteeseen. Schoch (2013) esittää selvityksessään Saksassa käytetyn kevytbetonirakenteen, jonka U-arvo on 0,15 W/(m² K) (paksuus 400 mm) (Kuva 14). Rakenteena tämä kuvaa nykymateriaalien kehityksen ja soveltamisen erästä linjaa, jossa rakennustuote on mahdollisimman pitkälle osa valmista rakennetta.



Kuva 14. Kuormaa kantava ja lämpöä eristävä harkko höyrykarkaistusta kevytbetonista (Schoch 2013).

4.1.2 Luonnonkuituiset lämmöneristetTUotteet

4.1.2.1 Sellu- ja puukuitueristeet

Sellu- ja puukuitueristetTUotteiden lämmönjohtavuus on tyypillisesti alueella 0,037–0,050 W/(m K). Orgaaninen perusmateriaali (kierrätetty paperi, puukuitumassa tai sellukuitu) on sellaisenaan paloherkkää, joten eristeisiin lisätään palonsuojakemikaaleja. Tähän tarkoituksen käytetyt booriyhdisteet vaikuttavat myös materiaalin kykyyn estää biologisen kasvun käynnistymistä itse materiaalissa ja siihen kosketuksissa olevilla muilla materiaalipinnoilla. Tuotteilla on mineraalituotteita suurempi kosteuskapasiteetti.

Eristeet voidaan puhalttaa kuivana tai ruiskuttaa märkänä rakenteisiin. Eristeillä on taipumus painua, ja sen hallitsemisen edellytyksenä on muun muassa riittävä puhalletun tuotteen tiheys.

Seinissä käytetään usein märkäruiskutettua tuotetta, jossa veden osuus ruiskutuksessa on noin 35 %. Vesi sitoo valmiin tuotteen yhtenäiseksi. Ylimääräinen vesi on syytä poistaa ja kuivata rakenteet riittävän kuiviksi ennen niiden sulkemista. Myös levymäisiä tuotteita on tarjolla.

Pellavaeristeitä käytetään esimerkiksi hirsiseinien saumoissa tai muissa vastaavissa kohteissa sekä myös eristelevyinä rakenteissa. Eräälle levytuotteelle ilmoitettu lämmönjohtavuus on 0,038 W/(m K).

4.1.3 Muovipohjaiset lämmöneristeet

4.1.3.1 EPS (expanded polystyrene)

EPS-tuotteet valmistetaan sintraamalla polystyreenihelmiä yhteen paisutuksessa, jolloin tuloksena on osittain avojuokoinen materiaali: helmet ovat umpinaisia ja niiden välitilat ovat tuotteen sintraantumisasteesta riippuen osittain avoimia.

EPS-tuotteen lämmönjohtavuus on tyypillisesti 0,036–0,039 W/(m K). Tuotteissa, joissa käytetään raaka-aineena grafiittia sisältävää polystyreeniä (BASF 2013) päästään tasolle 0,031 W/(m K).

Palonkestävyyttä voidaan parantaa palonestokemikaalein. Tyypillisellä rakennuksen seinään tarkoitettulla tuotteella on yksinään paloluokka E. Esimerkiksi ohutrappauksella päällystettynä rakenne täyttää normaalisti luokan B-s1, d0 vaatimukset. EPS-eristeitä valmistetaan sekä tavallisena että vaikeasti syttyvänä S-laatusena, joka ei ylläpidä palamista, ja niitä voidaan käyttää kaikissa paloluokkien P1, P2 ja P3 rakennuksissa Suomen rakentamismääräyskokoelman kohdan E1 mukaisesti (Ympäristöministeriö 2002).

4. Lämmöneristetuotteiden jaottelu

4.1.3.2 Suulakepuristettu polystyreeni, XPS

XPS-eristeessä (extruded polystyrene) on suljettu solurakenne ja se on ilmatäytteinen. Sen ilmoitetut lämmönjohtavuudet ovat tyypillisesti alueella 0,031–0,040 W/(m K). Tuotetta käytetään usein myös maata vasten tuleviin asennuksiin.

4.1.3.3 PU-eristeet

PU-eristeet pohjautuvat polyuretaaniin (PUR) tai polyisosyanuraattiin (PIR). Niissä suljettujen solujen määrä on yli 90 % ja eristävyttä parantaa täytekaasu (ponnekaasu), joka johtaa lämpöä ilmaa heikommin. Nykyisin yleisin ponnekaasu on pentaani, mutta myös vetyä käytetään. Valmiiden levymäisten tuotteiden lämmönjohtavuudet ovat alueella 0,022–0,030 W/(m K). Tuotetta käytetään myös työmaalla paisutettavana eristevaahtona, jota käytetään esimerkiksi ikkuna-aukkojen ja vastaavien liitosten tiivistämiseen.

Levytuotteiden pinnassa on tyypillisesti paperi-, muovi- tai alumiinikalvo, jolla parannetaan lämmöneristeen kaasujen pysyvyyttä materiaalissa.

Tuotteet ovat ilmaa läpäisemättömiä, ja kosteutta ne läpäisevät vain vähän. Alumiinipintainen tuote on käytännössä höyrytiivis ja suojaa eristeen kosteudelta. Erillistä höyryn-/ilmansulkukerrosta ei välttämättä tarvita, jos eristeiden saumat saadaan muuten tiiviiksi.

Jotkin valmistajat ovat siirtyneet PIR-tuotteisiin. Niiden lämmöneristysominaisuudet vastaavat PUR-tuotteita. Palotilanteessa eriste hiihtyy, mikä estää palon leviämisen ja se soveltuu B-s1, d0 –paloluokkaan (SPU-Eristeet 2013).

4.1.3.4 Vaahtomaiset lämmöneristetuotteet

Polyuretaanivaahtoa käytetään paljon rakennustyömailla. Tuotteet on helppo levittää spraymuodossa rakenteiden onteloihin ja rakoihin. Jellen (2011) mukaan näiden lämmönjohtavuus on tasolla 0,02–0,03 W/(m K).

Myös fenolivaahdotuotteiden rakenne on samanlainen, umpisoluinen eriste. Niiden mekaaniset ominaisuudet ovat hyvät ja niille on annettu hieman parempi lämmönjohtavuus, 0,018 W/(m K) (Jelle 2011).

4.1.3.5 Muovikuitueristeet

Nämä lämmöneristeet valmistetaan tyypillisesti kierrätetyistä muovipulloista saatavasta materiaalista. Lämmönjohtavuudet ovat tyypillisesti 0,04–0,05 W/(m K). Tuotteilla on alhainen hygroskooppisuus.

4.1.4 Monikerrokselliset lämmöneristetuotteet

Tähän ryhmään kuuluvat tuotteet, jotka eivät selvästi kuulu perusmateriaalinsa takia edellisiin. Näiden tuotteiden lämpötekniinen toimivuus on lähempänä raken-

netta tai järjestelmää kuin materiaalia. Tällaisia ovat esimerkiksi hybridi- ja monikerroseristeiksi kutsutut tuotteet, jotka koostuvat monista heijastavista (alumiini-kalvo)kerroksista, joiden välissä voi olla esimerkiksi muovikuitueristettä, tai joiden ydin voi olla kalvosta tehtyä kennomaista rakennetta, jonka onteloissa on ilmaa. Tyypillisesti nämä tuotteet on tarkoitettu ilmatilaa vastaan asennettaviksi, jolloin niiden pintojen heijastusominaisuudet saadaan parhaiten hyödynnettyä. Lisäksi tiivis kerros voi toimia ilman- ja höyrynsulkuna valmiissa rakenteessa. Tuotteiden lämmönjohtavuudet ovat samaa luokkaa kuin kuitueristeiden, mutta hajonta on suurta ja lämmönjohtavuuden taso riippuu paljon tuotteesta.

5. Teknologian kehitysnäkymät

5.1 Kansainväliset energiatehokkuuden tiekartat

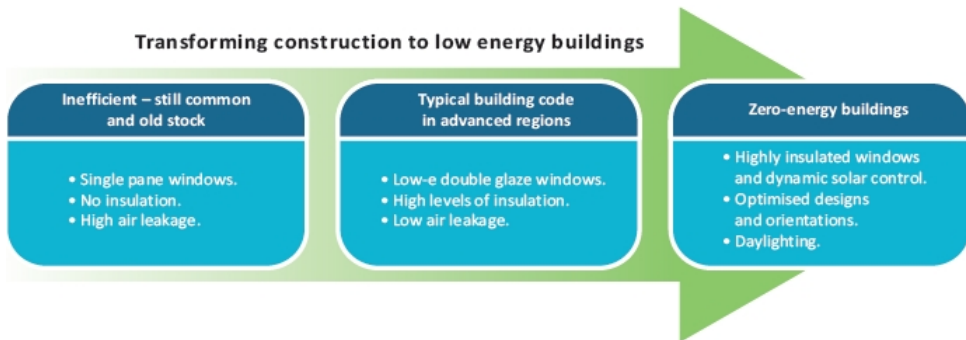
Rakennusten ja rakennusmateriaalien energiatehokkuuden parantamisesta on Euroopan unionissa valmistunut kaksi tiekarttaa, joilla tulee olemaan vaikutusta tutkimus- ja kehitysohjelmien sisältöön. Rakennusmateriaalien tiekartta liittyy SET-suunnitelmaan, ja komission henkilökunta oli vastuussa sen valmistelusta yhteistyössä asiantuntijaryhmän ja Joint Research Centerin kanssa. Rakennusten energiatehokkuuden tiekartan on valmistellut E2B-yhdistys, joka toimii läheisessä yhteistyössä komission henkilökunnan kanssa. E2B:ssä ovat Suomesta jäseninä muun muassa Uponor ja VTT (E2B 2013).

Euroopan komissio ja useat eurooppalaiset valtiot osallistuvat Kansainvälisen energijärjestön (International Energy Agency, IEA) työskentelyyn. Se julkaisi vaipparakenteiden teknologiaa koskevan laaja-alaisen tiekartan vuonna 2013 (IEA 2013).

5.1.1 IEA:n tiekartta

IEA:n vaipparakenteiden tiekartan tavoitteena oli kuvata teknologioiden kehitystarpeita ja ennen muuta tunnistaa tarvittavat toimenpiteet, joilla parempien ratkaisujen käyttöönotto nopeutuisi (IEA 2013). Sitä varten kerättiin runsaasti tietoja ympäri maapallon erilaisista teknologioista ja kehitystarpeista. Tiekartta keskittyy tärkeimpiin teknologioihin, joilla voidaan ratkaisevasti pienentää rakennusten käytön-aikaista lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutusta. Tiekartta kiinnittää huomiota toimivuuden arviointiin ja tutkimus- ja kehitystoimintaan.

Tiekartan mukaan vaipparakenteet kehittyvät kohti ratkaisuja, jotka soveltuvat nolla-energiataloihin (Kuva 15). Vaipparakenteiden teknologioiden kehitykselle tiekartta esittää taulukon Taulukko 4 mukaiset kustannus- ja toimivuustavoitteet.



Kuva 15. Vaipparakenteiden kehityspolku nolla-energiarakennuksiin (IEA 2013).

5.1.2 SET-suunnitelman tiekartta

SET-suunnitelmaan liittyvä materiaalien tiekartta valmistui vuoden 2011 alussa (EU 2011b). Sen tavoitteena oli korostaa tärkeimpien materiaalitekniikoiden tutkimusta ja innovaatiotoimintaa energiateknologioiden kehittymisen parantamiseksi seuraavan 10 vuoden aikana sekä ohjata tutkimus- ja kehitysstrategioita.

Tiekartan yksi luku käsittelee rakennusmateriaaleja ja -tuotteita. Niille se esittää tavoitteita, joiden avulla rakennuksen koko elinkaaren aikainen energiankulutus (sitoutunut ja käytönaikainen) voisi merkittävästi laskea. Luku jakaantuu viiteen pääkohtaan, joista kohdealue 2 keskittyy pintoihin ja vaipparakenteisiin ja kohdealue 4 lämmöneristeisiin (Taulukko 5). Kuva 16 esittää yhteenvedon rakentamisen energiatehokkaiden materiaalien tutkimus- ja kehitystoiminnan tämänhetkisistä kehitysvaiheista (suomennettu lähteestä JRC 2011).

5. Teknologian kehitysnäkymät

Taulukko 4. Vaipparatkaisujen kustannus- ja toimivuustavoitteet 2020–2030 (IEA 2013).

<i>Technology</i>	<i>Market perspectives</i>	<i>Performance goals</i>	<i>Cost targets</i>
Typical insulation (widely available, thermal conductivity of > 0.02 W/mK)	Highly competitive market with uniform performance metrics in all regions for existing stock and new construction.	Average U-value walls and roof, cold climate ≤ 0.15 W/m ² K; hot climate ≤ 0.35 W/m ² K.	LCC neutral or lower at moderate energy prices.
Advanced insulation (e.g. aerogel, VIPs)	Used for very high-performance buildings in cold climates and space-constrained applications.	Thermal conductivity of ≤ 0.015 W/mk.	Material cost less 50%, installed cost competitive with typical insulation.
Air sealing	Widely applied to over 95% of world structures with heating and cooling loads.	Retrofit ≤ 3.0 ACH or 50% reduction; New ≤ 0.5 ACH with mechanical ventilation.	Validation testing reduced by 30% to 60%; 50% lower ACH in existing buildings reduced from USD 24/m ² to \leq USD 10/m ² .
Reflective surfaces	Applied to new roofing materials and after-market coatings for hot climates and dense urban areas.	Long-lasting SR of ≥ 0.75 for white surfaces, and SR ≥ 0.40 for coloured surfaces.	Additional installed price premiums \leq USD 10/m ² .
Windows (double low-e glazing, low-conductive frames)	Minimum for global market.	Whole-window performance, U-value ≤ 1.8 W/m ² K.	Price premiums from single-glazed (\leq USD 40/m ²), from double clear (\leq USD 5/m ²).
Highly insulating windows (e.g. triple-glazed, low-e, and low-conductive frames)	Needed for cold climates for all buildings, and mixed climates for residential.	U-value ≤ 1.1 W/m ² K.	Price premiums from double low-e (\leq USD 40/m ²).
Energy-plus windows in cold climates (highly insulating and dynamic solar)	Dynamic solar control for most service buildings that have glass to optimise daylight; and highly insulating and dynamic solar control for mixed and cold climates residential.	Whole-window performance, highly insulating U-value ≤ 0.6 W/m ² K and variable SHGC 0.08-0.65.	Highly insulating dynamic SHGC price premium from double low-e (\leq USD 120/m ²).
Window attachments* (automatic solar control, e.g. exterior solar shades and blinds)	Priority for existing windows but also for alternative option to dynamic glass.	Ability to reduce solar heat gain almost to zero, but preferred options would have daylight features (e.g. SHGC 0.05 to 0.5) to prevent increased lighting energy.	USD 70/m ² (not including control systems that can be expensive if not used for other building systems).
Window attachments (highly insulating, e.g. cellular shades, low-e films)	Predominately retrofit market but also applicable to new zero-energy buildings.	Installed with existing windows, total performance, U-values ≤ 1.1 W/m ² K.	USD 40/m ² .

Notes: VIP = vacuum-insulated panel. This table is based on IEA analysis, with data taken predominantly from envelope roadmap workshop presentations. Targets have not been vetted by all regions and will vary considerably. These targets are provided as a reference or starting points so regions and countries can develop implementation plans tailored to local markets, climates and conditions.

Taulukko 5. Tämän projektin kannalta tärkeimmät toimivuusominaisuudet painopisteille “pinnat ja ulkovaippa” sekä “lämmöneristys” (rakennustekniikan tutkimusalueet).

Tutkimusalueet	Tavoite
<i>Biopohjaiset eristemateriaalit bio-based insulation materials (uusiutuvat, biopohjaiset polymeerit ja muovit)</i>	<ul style="list-style-type: none"> – hiilineutraali elinkaari valmistukseen (mm. hamppu, bambu) – huipputehokas valmistus (kustannus, aika, energiankulutus, resurssikulutus) – voivat teknisesti korvata jopa 90 % öljypohjaisista polymeereista pitkällä tähtäimellä – lämmönjohtavuus < 0,02–0,03 W m⁻¹K⁻¹
<i>Nanoteknologiaan perustuvat eristemateriaalit ja pinnoitteet (mukaan lukien elinkaariarviot erityisesti nanoteknologiaan liittyen) rakennuksen käytön aikaisen energian/hiilen vähentämiseksi.</i>	<ul style="list-style-type: none"> – eristysmateriaalien (aerogeelit, nanosoluvaahdot, jne.) lämpötekninen suorituskyky huomattavan korkea (> 10x korkeampi kuin perinteisillä materiaaleilla). – lämmönjohtavuuden pienentäminen < 0,003 W m⁻¹K⁻¹ – tuotantokustannusten merkittävä vähentäminen kaupallisissa tuotteissa.
<i>Uudet ratkaisut yhdistämällä rakenteellisia ominaisuuksia ja/tai lämmöneristävyyttä/inertia ja/tai keveys</i>	<ul style="list-style-type: none"> – kehittyneet materiaalit mahdollistavat kylmäsiltojen katkaisemiseksi – rakenteiden ja kevyiden materiaalien lämpötekniset ominaisuudet (lähinnä eristävyys ja inertia): +30 % verrattuna nykyisiin parhaisiin materiaaleihin. – sitoutunut energia tuotantoprosessin aikana: -20 %
<i>Uudet eristystuotteet helpoista ja edullista asennusta ja kunnostusta varten.</i>	<ul style="list-style-type: none"> – uudet lämmöneristystuotteet ja levyt ovat kustannustehokkaita ja helposti sovellettavissa olemassa olevien rakennusten korjausrakentamiseen – tyypilliset U-arvot: -20 – -30 % – kustannukset ovat laskeneet ainakin 25–30 %, mukaan lukien asennuskustannukset

5. Teknologian kehitysnäkymät

T&K-alue	Perustutkimus	Soveltava tutkimus	Tuotekehitys Demonstraatiot	Pilotointi Markkinointi
CO ₂ raaka-ainena				
CO ₂ varastointi materiaaleihin				
Biopolymeerit eristeissä				
Liimojen bioteknologia				
Faasimuutosmateriaalit				
Aerogeeeristeet				
Läpinäkyvät aerogeeelit				
Nanohuokosvaahdot				
Nanokäsitellyt kuitueristeet				
Nanokäsitellyt biokuidut				
Nanohuokoimen betoni				
Nanokäsitellyt ikkunapinnat				
Julkisivupintojen muuntuva heijastus				
Tyhjiöeristetyt elementit				
Tyhjiölasit				

Kuva 16. Yhteenveto lämmöneristysmateriaalien tutkimus- ja kehitysvaiheista (suomennettu lähteestä JRC 2011).

5.1.3 EeB-tiekartta

Energy Efficient Building Association (E2BA) on esittänyt rakennusten energiatehokkuudelle tiekartan, jonka tavoitteena on tunnistaa keskeiset tutkimuksen painopisteet teollisuuden toimijoille ja määrittellä pitkän aikavälin strategia energiatehokkaassa rakentamisessa. Uusimmassa tutkimus- ja innovaatio suunnitelmassa (E2BA 2013), "Kohti huipputeknologisen rakennusteollisuuden luomista – energiatehokkuuden muuttaminen kestäväksi liiketoiminnaksi", määrittellään painopisteitä rakennetulle ympäristölle 2014–2020. Asiakirjassa esitellään E2BA-visio, painopisteet ja tavoitteet energiatehokkaiden rakennusten ja alueiden tutkimuksessa. Tavoitteena on kehittää, integroida, demonstroida ja vahvistaa läpimurtoteknologioita kolmen poikkitieteellisen tutkimusalueen rinnalla. Etenemissuunnitelma perustuu laajaan sidosryhmien konsultaatioprosessiin. Prosessista tunnistettiin viisi pääaluetta, joihin ryhmiteltiin useita tutkimushaasteita:

- neutraalit tai energiaa tuottavat uudet rakennukset
- olemassa olevien rakennusten korjaus energiatehokkaiksi
- energiatehokkaat alueet/yhteisöt
- horisontaalit organisaationäkökulmat
- horisontaalit teknologianäkökulmat.

E2B tiivistää päämäärät taulukon 6 mukaisesti.

Taulukko 6. Rakennuksen ulkovaipparatkaisujen kehityshaasteet (E2BA 2013).

ULKOVAIPPARATKAISUJEN HAASTEET
Kaikki ulkovaipparatkaisut voidaan optimoida sekä uusiin rakennuksiin että korjauskohteisiin luotettavien menetelmien avulla.
Ulkovaipan toimivuus paranee jatkuvasti niin eristävyiden, kustannusten, energiatuotannon, järjestelmien integraation kuin rakennuksen muunneltavuuden osalta.
Innovatiiviset materiaalit ja esivalmistetut tuoteosat ovat pitkäkestoisia ja parantavat energia- ja resurssitehokkuutta merkittävästi.
Käyttäjien tarpeet otetaan huomioon ulkovaipparatkaisujen energiatehokkuuden parantamisessa.
Ulkovaippa mukautuu vaihteleviin ja moninaiisiin ympäristöihin.
TAVOITE
Nollaenergiatalot mahdollisia kustannustehokkaasti.

5.1.4 Aiemmat lämmöneristeiden nykytilan selvitykset

Aiemmissa nykytilan selvityksissä (Jelle 2011) (Flynn, C. ja Sirén, K, 2012) on esitetty käsityksiä siitä, mitkä uudentyypisistä lämmöneristeistä olisivat tulevaisuudessa merkittäviä tekijöitä rakennussovellutuksissa.

Jelle (2011) arvioi dynaamiset eristeet, nanoeristeet ja nanoeriste-betoniyhdisteet erinomaisiksi tulevaisuuden lämmöneristeiksi. Hyviä ovat vakuumeristeet (VIM), vakuumipaneelit (VIP) vielä tällä hetkellä (VIM syrjäyttäneet VIP:in) ja mahdollisesti kaasutäytteiset lämmöneristemateriaalit (GIM) sekä faasimuutosmateriaalit lämmönvarastoinnissa.

Flynn ja Sirén (2012) arvioivat todennäköisiksi tulevaisuuden lämmöneristeratkaisuksi aerogeelit ja vakuumiratkaisut (vakuumipaneeli, -sandwich), mahdollisiksi ratkaisuksi mm. dynaamiset eristeet, ja ehkä mahdollisia -arvion saivat nano-, vakuumi- ja kaasutäytteiset eristemateriaalit.

5.2 Uudet kehittyvät lämmöneristetuotteet

5.2.1 Tyhjiöpaneelit

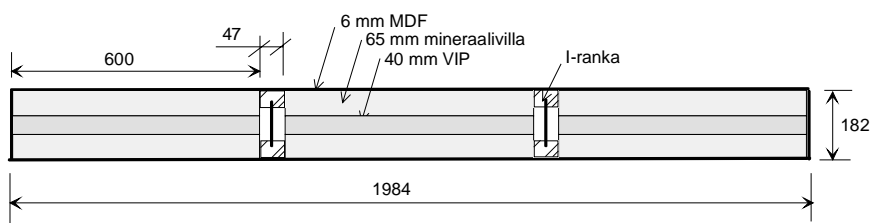
Tyhjiöeristeet perustuvat siihen, että ilmanpaineen laskiessa riittävästi lämmönjohtuminen pienenee merkityksettömäksi. Alipaineen ylläpitäminen edellyttää lämmöneristeen tiivistä sulkemista ilma- ja höyrytiivin kerroksen sisään. Tällaisen suojakuoren sisällä on lämmöneristemateriaalia, joka ottaa vastaan ilmanpaineesta aiheutuvan puristuksen.

Tyhjiöeristetuotteita on saatavilla Suomessa. Yleisin sovellutus on paneeli (Vacuum Insulated Panel, VIP), jonka suojakuori on ohutta, monikerroksista alumiini- ja muovifilmiä ja eristemateriaali on silika-aerogeeli. Koska lämpö siirtyy kerroksen läpi vain säteilynä ja johtumisena kiinteän aineen kautta, voidaan aerogeelien ja tyhjiöpaneelin yhdistelmällä saavuttaa hyvä lämmöneristävyys ja pienet (eristepaketin paksuudelle lasketut näennäiset) lämmönjohtavuudet. Myös muita, puristusta riittävästi kestäviä lämmöneristeitä voidaan käyttää paneelien täyteenä.

Tyhjiöeristepaneelien lämmönjohtavuudet voivat olla tasolla 0,003–0,004 W/(m K) uudella tuotteella. Koska eristeontelon alipaine ei pysy alkuperäisellä tasolla, muuttuu lämmönjohtavuus tuotteen ikääntyessä. Erään arvion mukaan 25 vuoden ikäisen tuotteen lämmönjohtavuus kasvaisi arvoon 0,008 W/Km. Tähän vanhentumiseen vaikuttaa alipaineen lievä tasoittuminen ja kosteuden pääsy hitaasti diffusoitumalla eristetilaan. Jos tyhjiöeristeen kuori vaurioituu ja paine tasoittuu ympäristöä vastaavaksi, arvioidaan aerogeeliä sisältävän tuotteen lämmönjohtavuuden muuttuvan tasolle 0,020 W/(m K) (Jelle et al. 2010). Jos aerogeelin rakenne vaurioituu ilmasta eristeeseen pääsevän kosteuden vaikutuksesta, voi muutoksen odottaa olevan tätäkin suurempi.

Koska tyhjiöeristeet ovat paneeleita, on niiden koko määrätty, mikä aiheuttaa lisäehtiä niiden asennukselle ja detaljien toteutukselle. Paneelit tarvitsevat tukirakenteita, jotka yhdessä paneelien reunavaikutusten kanssa kasvattavat toteutetun rakenteen läpi tapahtuvaa lämmönsiirtoa verrattuna itse paneelin arvoon. Koska paneelit eivät välttämättä ole kokonsa puolesta täysin yhteensopivia eri rakenteiden eristettävän pinta-alan kanssa, pitää paneelien ulkopuolinen osa eristää jollain tavanomaisella lämmöneristeellä, mikä osaltaan kasvattaa lämmönsiirtoa rakenteen läpi. Tyhjiöeristepaneeleista toteutetun rakenteen lämpötekniinen toimivuus riippuu paljon rakenteen tuki- ja kiinnitysjärjestelmistä sekä liitosten toteutuksesta.

Hot-Box-laitteistolla määritettiin markkinoilla olevilla VIP-paneeleilla lämmöneristetyin puurunkoisin seinärakentein U-arvot (Haavi et al. 2012). Rakenteissa 40 mm:n VIP-eristepaneelit oli verhottu molemmin puolin 65 mm:n mineraalivillakerroksella ja rakenteen pinnoissa oli 6 mm:n MDF-levyt (Kuva 17). Laboratorio-oloissa rakenteelle mitatut U-arvot olivat runkorakenteesta riippuen 0,09–0,11 W/(K m²).

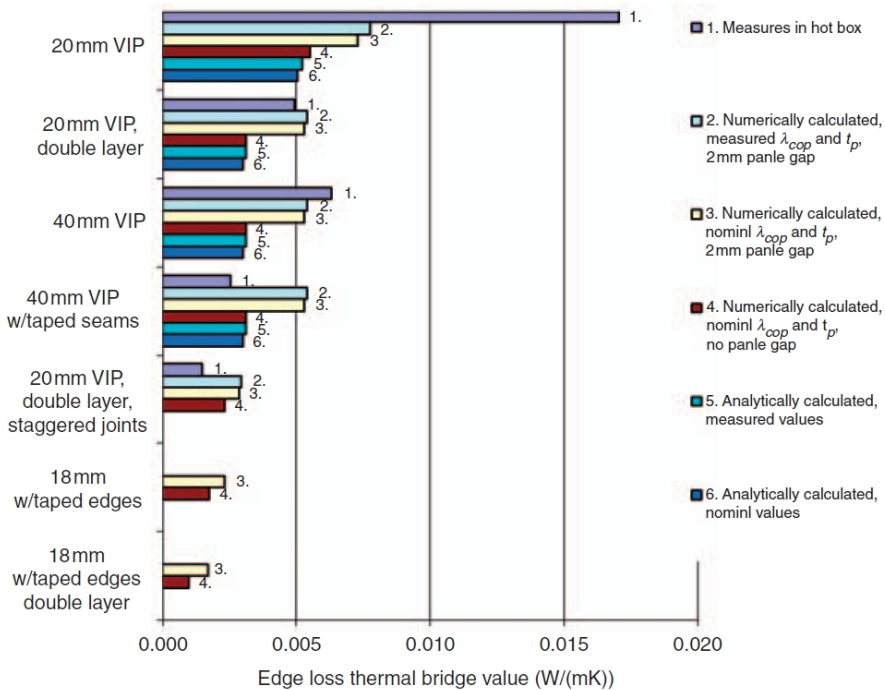


Kuva 17. Kokeissa käytetty seinärakenne (Haavi et al. 2012).

Toimivuuden eräänä riskinä on tyhjiöpaneelien vaurioituminen kuljetuksessa, asennuksessa tai rakenteessa. Tämän merkitys näkyy toisessa tutkimuksessa

(Sveipe et al. 2011), jossa selvitettiin laskennallisesti vanhan puurunkoseinän lisälämmöneristämistä 30 mm:n VIP-eristeiden avulla. Oletuksena oli, että uuden VIP-eristeen lämmönjohtavuus oli 0,005 W/Km, vanhentuneen 0,008 W/Km ja vaurioituneen 0,020 W/Km. Vanhan seinän U-arvo oli 0,41 W/(K m²), uudella eristeellä lisäeristetyin 0,14 W/(K m²), vanhentuneella tuotteella se oli 0,18 W/(K m²) ja rikkoutuneilla paneeleilla 0,26 W/(K m²) (Sveipe et al. 2011).

Liitosyksityiskohdilla ja kylmäsilloilla on suuri merkitys VIP-eristetyin rakenteen toimivuudelle kuten Kuva 18 esittää. Yksikerroksinen VIP-eristys puskusaumoin ilman saumojen teippauksia johti suhteessa huomattaviin ylimääräisiin lämpöhäviöihin, jotka on todettu Hot-Box-mittauksissa. Kaksinkertainen VIP-kerros, jossa saumat ovat eri kohdissa, tai pelkkä saumojen teippaus pienensi tätä häviötermiä olennaisesti (Grynning et al. 2011).



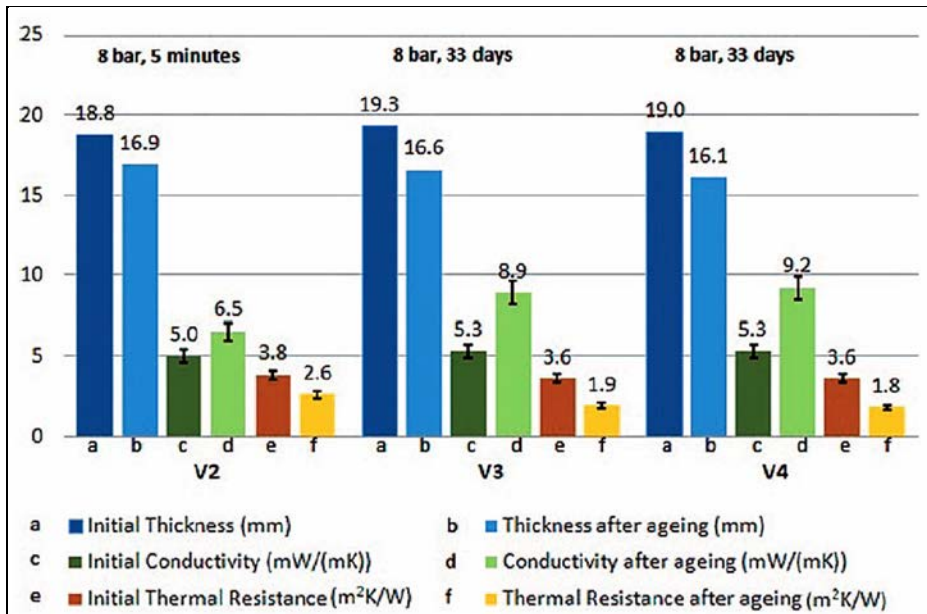
Kuva 18. Mitattujen ja numeerisesti arvioitujen reunahäviöiden arvoja (Grynning et al. 2011).

Paneelin ikääntyminen on eräs keskeinen tekijä arvioitaessa tyhjiöeristerakenteiden pitkäaikaistoimintaa. Ikääntymisen vaikutuksia on voitava selvittää kokeellisesti, jotta tuotteiden pitkäaikaistoimivuutta voitaisiin arvioida. Vakiintuneita testimenetelmiä ei vielä ole. Eräs selvitys on tehty käyttämällä nopeutettuja ikääntymiskokeita normaalia suuremmalla ulkopuolisella ilmanpaineella (Wegger et al. 2011). Kuva 19 esittää kokeiden tulokset. Lyhyt viiden minuutin painerasitus kasvatti

5. Teknologian kehitysnäkymät

lämmönjohtavuutta 0,005 W/(m K) arvosta tasolle 0,0065 W/(m K), ja pidempi, 33 vuorokauden rasitus kasvatti lämmönjohtavuutta runsaalla 70 %:lla tasolle 0,009 W/(m K). Todellista ikääntymistä vastaavien rasitusolojen määrittäminen on VIP-eristeiden testauksen eräs haaste.

Ikääntymiseen vaikuttavat olosuhteet ja pinnoitemateriaalin pitkäaikaistoimivuus. Ikääntymisen seurauksena paneelin ilmanpaine kasvaa hitaasti ja eristeeseen kertyy pieniä määriä kosteutta, mikä vaikuttaa sen lämmönsiirto-ominaisuuksiin (Schwab et al. 2005).



Kuva 19. Korkean ulkoisen paineen (8 bar) vaikutus VIP-eristeen paksuuteen ja lämmönjohtavuuteen 5 minuutin ja 33 vuorokauden rasitusajan jälkeen (Wegger et al. 2011).

Tyhjiöeristetyt sandwich-rakenteet (Vacuum insulated sandwich panels, VIS) eroavat tyhjiöeristepaneeleista siinä, että sandwich-rakenteissa suojakuori on ohuen filmin sijasta tehty ohuesta ruostumattomasta teräslevystä, mikä antaa paremman kestävyuden mekaanisia rasituksia vastaan ja säilyttää alipaineen ohuita filmikerroksia paremmin. Koska ydin voi olla samaa lämmöneristettä kuin paneeleissa, erona on vain suojakuoren reunojen lämmönsiirto kasvattava vaikutus. Sandwich-rakenteelle laskettu lämmönjohtavuus reunavaikutukset huomioiden on 0,0054 W/(m K) (Zhang et al. 2012).

Tyhjiöeristepaneelien hintatietoa ei juuri löydy valmistajien sivuilta. Hinnat ovat huomattavan korkeita verrattuna tavanomaisiin lämmöneristeisiin, erään arvion mukaan yli 10-kertaisia verrattuna saman eristyskyvyn tavanomaisiin lämmöneris-

teisiin. Tästä johtuen tyhjiöeristeiden rakennussovellutukset ovat toistaiseksi erikoistapauksia. Toisaalta näiden sovellutusten tuoma tilan ja painon säästö kuljetuksessa ja erityisesti rakennuksessa voi monissa tapauksissa antaa lisäperusteita tuotteiden käytölle, erityisesti arvioitaessa lämmöneristeen ohentamisen vaikutuksia rakennukseen saatavan lisäpinta-alan kautta.

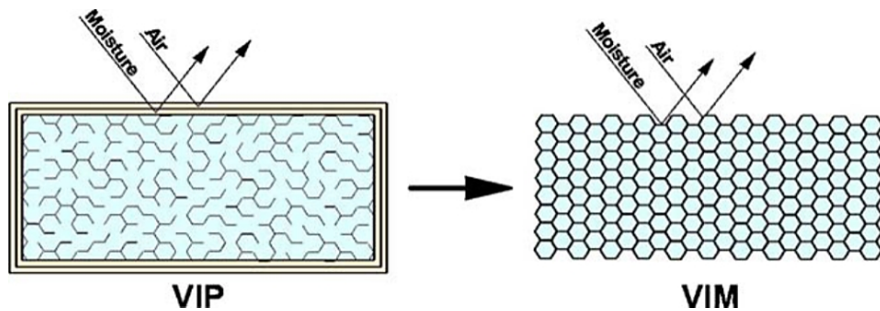
Tyhjiöeristepaneelit ovat lämmönerityskykynsä puolesta parhaita tuotteita. Niiden käyttö rakentamisessa edellyttää hyviä kiinnitys- ja asennusjärjestelmiä sekä liitosten ja muiden detaljien hyvää suunnittelua ja toteutusta. Pienillä virheillä voidaan pilata tuotteen toimivuus.

Vanhentumisen vaikutukset eristepaneelin lämpötekniseen toimivuuteen riippuu paneelin suojakerrosten materiaaleista ja rakenteesta sekä ympäristön rasitusoloista. Haasteena on tuotteiden pitkäaikaistoimivuuden varmistaminen ja tämän edellyttämien vanhennus- ja testausmenetelmien kehittäminen.

Tuotteen hinta on korkea, ja toistaiseksi sitä valmistetaan pienissä erissä. Kehitystyön avulla tuotantokustannuksia pyritään alentamaan.

5.2.2 Tyhjiömateriaalit

Tyhjiömateriaalit (Vacuum insulation material, VIM) on ajatus (Jelle et al. 2010) tuottaa umpisoluihin materiaali, jonka joka solussa olisi riittävä alipaine estämään lämmönsiirron ilman kautta. Tällöin materiaalia ei tarvitsisi erikseen suojata ja sitä voitaisiin työstää haluttuun muotoon työmaalla, ilman että sen ominaisuudet kärsisivät. Erään ongelmana on soluseinämien vahvistaminen niin, että lämmön johtuminen kiinteässä materiaalissa ei kumoaisi tyhjiöeristeen tuomia hyötyjä. Tällaiset materiaalit ovat vasta kehityksen alkuvaiheessa, eikä niiden toteutumisesta ole ennusteita. Kuva 20 esittää periaatteen tyhjiöeristemateriaalin toiminnasta.



Kuva 20. Tyhjiöeristemateriaalit (VIM) voisivat toteutuessaan tuoda ratkaisun tyhjiöeristämisen käytettävyyteen ja työstettävyyteen (Jelle et al. 2010).

5.2.3 Aerogelit

Aerogeeli on geelin kiinteä osa, joka on valmistuksessa saatu jäämään geelissä olleeseen hienojakoiseen muotoonsa. Aerogelit ovat huippukevyitä kiinteitä, avojuokoisia materiaaleja, joiden tilavuudesta 99,98 % on ilmatilaa. Niiden huokoskoko on tyypillisesti < 20 nm vaihteluvälillä ollessa < 1–100 nm.

Aerogeelejä on monia erityyppisiä ja niistä valmistettuja tuotteita käytetään moniin eri sovelluksiin. Silika-aerogeeleiden lämmönjohtavuus on pienin kaikista tunnetuista kiinteistä aineista. Hiiliaerogeeleiden suuri pinta-ala, jopa 3 200 m²/g, mahdollistaa nykyisten nopeasti lataantuvien superkondensaattorien valmistuksen. Huippuvahvat, taipuisat x-aerogelit ovat ominaistihedeltään pienimpiä koskaan kehitettyjä materiaaleja, tiheydet alkaen 1,1 kg/m³.

Aerogelit ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan eräitä lupaavimpia uusia lämmöneristystuotteita. Niiden nanohuokoinen rakenne pienentää materiaalissa olevan ilman läpi johtumalla tapahtuvaa lämmönsiirtoa rajoittamalla ilmamolekyylien keskinäisiä törmäyksiä (ks. luku 3.5.1). Aerogelituotteiden pienen ominaistihedden ja kiinteän osan huokosrakenteen takia johtumislämmönsiirto myös kiinteän materiaalin läpi on hyvin alhainen. Siten valmiin tuotteen lämmönjohtavuus voi olla alle huomattavasti paikallaan olevan ilmakerroksen vastaavaa arvoa pienempi. Nykyisten kaupallisten tuotteiden lämmönjohtavuudet ovat tyypillisesti tasolla 0,013–0,015 W/(m K).

Eräs tyypillinen tuote on pii- eli silika-aerogeeli, jossa lähtötuotteen lämmönjohtavuus on esimerkiksi metallioksidiin verrattuna pieni, se on suhteellisen edullinen raaka-aine ja se on palonkestävä. Lämmöneristesovellutukset pohjautuvat yleensä pii-aerogeeleihin. Aerogeelejä voidaan tehdä muistakin materiaaleista, esimerkiksi metallioksideista, orgaanisista polymeereistä, hiilestä, hiilikuidusta ja selluloosasta. Selluloosa on myös mahdollinen lämmöneristetuotteen materiaali muun muassa sen edullisen hinnan takia.

Aerogeeli keksittiin noin 1930 (tri Samuel Kistler), mutta vasta 2000-luvulla on alettu tuottaa kaupalliseen hyödyntämiseen tähtäviä lämmöneristesovellutuksia. Aerogeeleiden tutkimus ja kehitystyö on hyvin voimakasta ja siihen kohdistuu suuria odotuksia, myös rakennuseristeiden sovellutuksissa.

Aerogeeleistä voidaan tehdä hyvin erityyppisiä tuotteita. Lämmöneristyssovellutuksiin liittyviä ominaisuuksia ovat lämmönjohtavuuden lisäksi valonläpäisevyys tai läpinäkyvyys. Valoa läpäiseviä tuotteita voidaan käyttää luonnonvalon hyödyntämiseen ja läpinäkyviä esimerkiksi ikkunoissa tai aurinkoenergiajärjestelmien keräimissä. Valon taittoeroin aerogeeleissä on alhainen, mikä edistää sen soveltumista läpinäkyviin (ikkunatyypisiin) sovellutuksiin. Haluttaessa parantaa lämmönjohtavuutta voidaan säteilylämmönsiirtoa pienentää lisäämällä esimerkiksi hiilimustaa tuotteeseen, mikä muuttaa läpinäkyvyyttä. Toivotut ominaisuudet riippuvat loppusovelluksesta.

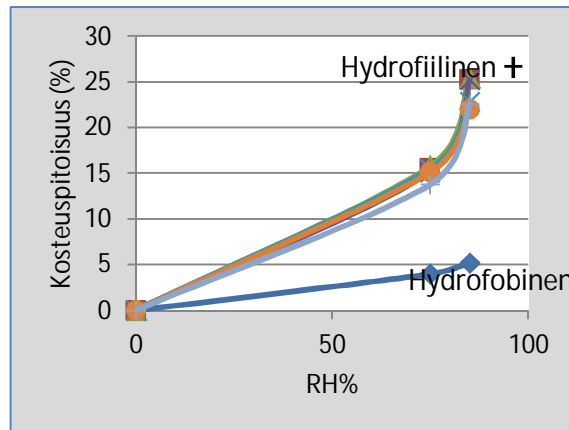
Solurakenteensa ansiosta aerogeeleillä on hyvät akustiset, ääntä vaimentavat ominaisuudet.

Useat aerogeelit soveltuvat myös korkeisiin lämpötiloihin ja niiden palonkestävyys on tyypillisesti hyvä. Lopullisen tuotteen mahdolliset side- tai lisäaineet vaikuttavat tuotteen ominaisuuksiin.

Tyypillisesti aerogeelein puristuslujuus on suuri, joten se sopii hyvin muun muassa vakuumieristeratkaisujen ydinmateriaaliksi. Riittävä alipaine yhdistettynä aerogeelein huokosrakenteen ominaisuuksiin tuottaa erittäin pieniä lämmönjohtavuustasoja. Esimerkiksi, kun aerogeeleituotteen lämmönjohtavuus normaalipaineessa on $0,013 \text{ W/(m K)}$, on lämmönjohtavuus 50 mbar:n paineessa tasolla $0,008 \text{ W/(m K)}$, ja kun lisäksi pienennetään säteilylämmönsiirtoa materiaalin läpi, voidaan edellä mainitussa alipaineessa saavuttaa lämmönjohtavuus $0,004 \text{ W/(m K)}$ (Jelle et al. 2010, Baetens et al. 2011).

Aerogeelein vetolujuus on alhainen, mikä johtaa hauraaseen rakenteeseen ja vaikuttaa lopputuotteen käytettävyyteen ja toimivuuteen eri sovellutuksissa. Mekaaniseen haurauteen liittyy osittain myös se, että aerogeeleistä irtoaa pölymäisiä partikkeleita. Materiaalin hauraus on rakenteellisten sovellutusten kannalta haitallinen tekijä, ja tämän parantaminen on eräs tavoite lopputuotteiden teknisten ominaisuuksien kehittämisessä. Toistaiseksi ratkaisuna on ollut esimerkiksi aerogeelein sitouttaminen kuitumaiseen materiaaliin, jolloin tuloksena on taipuisa ja kohtuullisen helposti käsiteltävä lämmöneristematto.

Valmiit aerogeelit ovat usein voimakkaasti hydrofobisia, mikä saadaan usein aikaiseksi valmistusprosessissa. Hydrofobisuus parantaa kosteusteknisen toimivuuden edellytyksiä, koska materiaali ei juuri sido kosteutta itseensä ympäröivästä ilmasta. Hydrofobisuuden taso voi vaihdella tuotteista ja valmistusprosessista riippuen. Jos materiaalin huokosiin pääsee nestemäistä vettä esimerkiksi vesikosketuksessa, johtaa se huokosrakenteen tuhoutumiseen ja materiaaliominaisuuksien pysyvään muutokseen. Kosteusteknisen toimivuus ja sen edellyttämä suojaus on varmistettava eri tuotteilla ja eri sovellutuksissa tapausittain. Kuva 21 esittää hydrofobisen ja hydrofiilisen tuotteen tasapainokosteuksien eron. Risti osoittaa, missä kosteudessa hydrofiilisen materiaalin solurakenne romahti ja materiaalin ominaisuudet muuttuivat pysyvästi. Kuva liittyy EU-rahoitteisessa Aerocoins-hankkeessa saatuihin tuloksiin.



Kuva 21. VTT:llä määritetyt erityyppisten aerogeelien sorptiokäyrät (Aerocoins 2013).

Aerogeelien lukuisten hyvien teknisten ominaisuuksien vastapainona on sen vaativa valmistusprosessi. Suhteellisen pienissä erissä valmistettava tuote on kallis verrattuna tavanomaisiin lämmöneristeisiin. Tällä hetkellä aerogeelituotteiden käytön perusteluna on esimerkiksi tilantarve, jolloin säästetty eristepaksuus saadaan takaisin hyötytilana. Käynnissä olevien aerogeelieristeiden kehityshankkeiden tärkeimpiä tavoitteita on lämmöneristeen valmistusprosessin yksinkertaistaminen ja kustannussäästöt tässä.

5.2.3.1 Aerogeelien valmistus

Koska aerogeelituotteiden valmistus on tuotteen hinnanmuodostuksen ja käytön merkittävimpiä esteitä, käydään seuraavassa tiivistetysti läpi nykyistä tuotantoprosessia.

Tuotantoprosessi on kolmivaiheinen: Ensin valmistetaan geeli sooli-geeli-prosessissa, sitten geeli vanhennetaan liuksena, jotta se kestää kuivausprosessin kutistumatta ja luhistumatta kasaan, ja lopuksi geeli kuivataan lopulliseksi tuotteeksi.

Sooli-geeliaerogeelien valmistuksessa sooliliuksessa nanopartikkelit yhdistyvät liuksessa muodostaen 3-dimensioisen verkoston nesteessä. Tämän muodostuminen voi edellyttää katalyyttejä. Tavoitteena on tasalaatuinen nanohuokoinen rakenne, mutta prosesseista riippuen geeli usein sisältää tätä suurempiakin huokosia, mikä heikentää tuotteen lämmöneristysominaisuuksia.

Ennen kuivausta geelin pitää vanhentua riittävästi, jotta saavutetaan riittävä lujuus kuivausta varten. Vanhentuminen edellyttää muun muassa geelin pH:n ja nestemäärän tarkkaa hallintaa. Vesi on poistettava tuotteesta ennen lopullista kuivausta, koska vesi voi vaikuttaa lopputuotteen laatuun eikä sitä saada kuivaamalla poistettua riittävän tarkasti. Vesi poistetaan tyyppillisesti syrjäyttämällä se esimerkiksi etanolilla tai heptaanilla, joka sitten poistetaan kuivauksessa. Kuivausprosessin jälkeen tuloksena on vastaava nanohuokoinen verkosto, ts. valmis aerogeeli.

Kuivaus on prosessin kriittisin vaihe. Periaatteessa on olemassa kaksi kuivaustapaa: ympäristön paineessa ja superkriittisessä tilassa tapahtuva kuivaus. Ympäristön paineessa tapahtuvassa kuivauksessa pienten huokosten kapillaaripaine voi aiheuttaa kutistumista ja johtaa materiaalin vaurioitumiseen. Tämä on suurin este aergeelien kustannustehokkaassa valmistuksessa. Superkriittisessä tilassa (korkea paine ja lämpötila) vältetään kapillaaripaineen tuomat ongelmat, mutta se on vaativa ja kallis menetelmä, jolla tuotetaan materiaalia pienissä erissä. Pyrkimyksenä on saada lopputuote laadultaan riittäväksi ympäristön paineessa tapahtuvassa kuivauksessa, ja tähän monet hankkeet keskittyvät aergeelien valmistuksen kehityksessä.

5.2.3.2 Markkinoilla olevia aergeelituotteita ja sovellutuksia

Eräs tyypillinen markkinoilla oleva tuote on kuitumaiseen pohjamateriaaliin yhdistetty aergeelituote. Pehmeä kuitupohja parantaa käsiteltävyyttä, sen avulla vältetään aergeelin mekaanisen haurauden aiheuttamia ongelmia ja parannetaan asennettavuutta ja tuotteen käytön joustavuutta. Tällaisia tuotemerkejä löytyy esimerkiksi Yhdysvalloista. Maksimilämpötilat sovellutuksissa ovat tuotteesta riippuen 125–650 °C ja lämmönjohtavuudet 0,0145–0,021 W/(m K). Nämä tuotteet valmistetaan valamalla piiaergeelipinnoite esimerkiksi lasikuitumaton päälle.

Aergeelimatto valmistetaan yhdistämällä polymeerikuidut ja aergeelipartikkelit ("bird's nest" -rakenne). Tällainen tuote mainitaan pölyttömäksi, kun yleensä aergeeleistä irtoaa hienojakoisia partikkeleita käsiteltäessä (Cabot 2013). Tämä tuote kuitenkin hajoaa 180 °C:n lämpötilassa.

5.2.4 Nanoeristemateriaalit

Nanoeristemateriaalien toimintaperiaate on jokseenkin sama kuin aergeelien. Nanomateriaalit valmistetaan nanokokoisista (0,1–100 nm) partikkeleista, jotka muodostavat ilmamolekyylin vapaata matkaa pienempiä huokosia. Tavoitteena on korkeintaan 40 nm:n huokoskoko Knudsen-efektin saavuttamiseksi. Haasteena on tälläkin materiaalilla minimoida lämmönsiirto kiinteään aineeseen ja säteilyn kautta. Nanoeristemateriaaleille on raportoitu lämmönjohtavuuksia tasolla 0,004 W/(m K) (Jelle et al. 2010). Nanoeristeiden etuna tyhjiö- ja kaasutäytteisiin sovellutuksiin verrattuna on se, että ne ovat normaalissa ilmanpaineessa, eivätkä tarvitse suojausta ilmanpaine-eron tasoittumista tai täytekaasujen diffuusiota vastaan. Materiaalin jonkinasteinen suojaus on kuitenkin ilmeisen välttämätön, koska ilmankosteus voi olennaisesti heikentää materiaalin toimintaa. Tässäkin suhteessa materiaalia voidaan verrata aergeeleihin. Nanomateriaalitekniikan kehittyessä myös niiden lämmöneristesovellutuksia kehitetään, mutta niiden tuottaminen on edelleen haasteellista. Eräänä vaikeutena on löytää sopiva raaka-aineita, joiden oma lämmönjohtavuus olisi riittävän pieni.

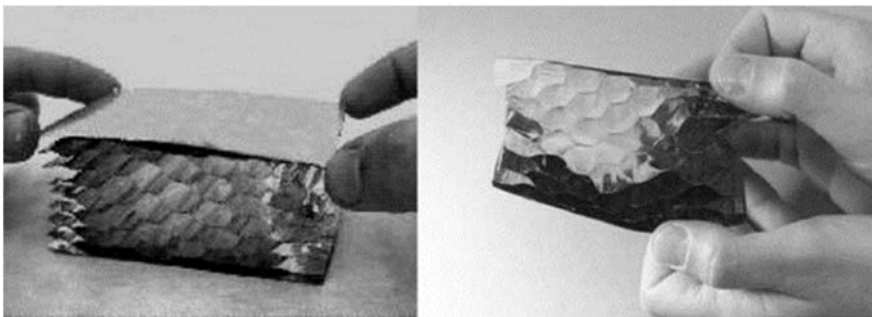
Eräänä mahdollisena tulevaisuuden sovellutuksena Jelle et al. (2010) esittävät nanomateriaalien ja tavanomaisten rakennusmateriaalien komposiitit, esimerkiksi

nanomateriaalin ja betonin sekoituksen. Tällöin on varmistettava rakenteellisten vaatimusten mukaisesta toimivuudesta ja säilyvyydestä rakenteessa sen käyttöoloissa ja suunnitellun käyttöajan.

Pidemmälle viety näkemys tulevaisuuden materiaalista on NanoCon (Jelle et al. 2010). NanoCon on homogeenista materiaalia, jossa yhdistyvät lämmöneristeen ja kantavan (betonin) rakenteen ominaisuudet. Tällainen materiaali voisi yhtenä kerroksena vastata rakennuksen ulkovaipan tarvitsemista ominaisuuksista. Hiilinaonputkien avulla voidaan aikaansaada erittäin vahvoja ja keveitä rakenteita, joihin voidaan sisällyttää myös hyvät lämmöneristysominaisuudet. Tämäntyyppinen materiaali voisi mullistaa rakentamista keventämällä ja yksinkertaistamalla rakenteita ja rakentamista.

5.2.5 Kaasutäytteiset lämmöneristepaneelit

Kaasutäytteiset lämmöneristepaneelit (Gas filled insulation panels, GFP) vastaavat rakenteeltaan pitkälti tyhjiöeristepaneeleita. Molemmissa tapauksissa eriste on suljettu ilma- ja kaasutiiviisti ympäristöstä. Kaasutäytteisissä paneeleissa niiden sisäinen paine on ympäristön paineen kanssa samaa tasoa. Toisin kuin tyhjiöeristepaneeleissa, joissa kaasufaasin lämmönjohtumista rajoitetaan, perustuu lämmönsiirron parantuminen näissä täytekaasun ilmaa pienempään lämmönjohtavuuteen. Lopullinen lämmöneristävyys riippuu valitusta täytekaasusta sekä eristepaneelin täytemateriaalista ja kerrosrakenteesta, jotka vaikuttavat lämmönjohtumiseen kiinteässä aineessa ja säteilylämmönsiirtoon.



Kuva 22. Kaasutäyteinen lämmöneristepaneeli, jossa on lämpöä heijastavia rakennekerroksellisia (Baetens et al. 2010).

Paneelien lämmönjohtavuudet voivat rakenteiden ja täytekaasujen eroista johtuen olla suuret. Parhaimmat teoreettiset arvot krypton-täytteiselle paneelille ovat luokkaa $0,010 \text{ W/(m K)}$, kun ilma ja argontäytteisten paneelien prototyypeille on mitattain saatu arvot $0,046$ ja $0,040 \text{ W/(m K)}$ (Baetens et al. 2010). Lisäksi tuloksiin vaikuttaa paneelin reuna-alueiden kylmäsiltojen merkitys ja tämän huomiointi tarkasteluissa.

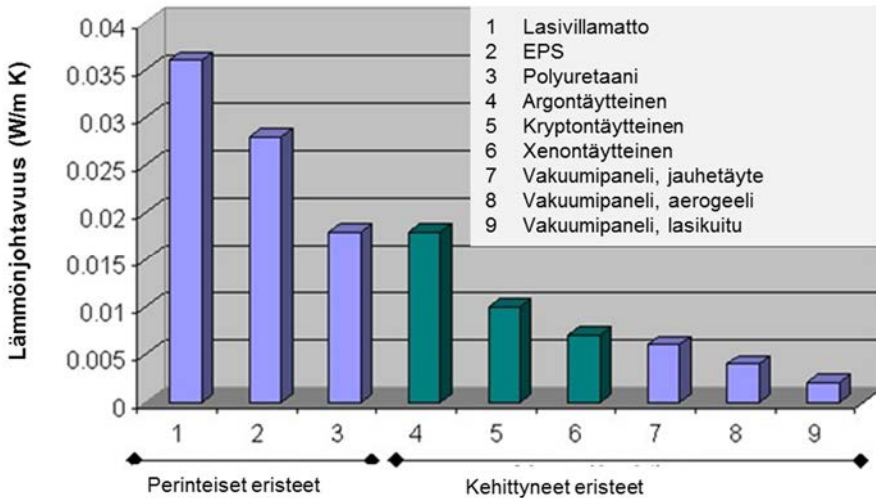
Griffith et al. (1993) ovat raportoineet seuraavat lämmönjohtavuudet samalle paneelirakenteelle eri kaasutäytöillä:

- ilma 0,0333 W/(m K)
- argon 0,0206 W/(m K)
- xenon 0,0116 W/(m K).

Vastaavasti Kohler (2012) esittää kaasutäytteisille eristepaneeleille seuraavat mitatut lämmönjohtavuudet paneelien keskellä:

- ilma 0,0281 W/(m K)
- argon 0,0199 W/(m K)
- krypton 0,0116 W/(m K) ja
- xenon 0,0074 W/(m K).

Kuva 23 esittää kootusti eräiden lämmöneristystuotteiden lämmönjohtavuuksien vertailua (Kohler 2012).



Kuva 23. Eräiden lämmöneristystuotteiden lämmönjohtavuuksien vertailua (Kohler 2012, suomennettu).

Eri kaasutäytöillä voidaan olennaisesti vaikuttaa lopputuotteen lämmönläpäisevyyteen, mutta riittävään toimivuuteen (riittävän pieni näennäinen lämmönjohtavuus) pääseminen edellyttää lisäksi eristepaneelin rakenteen optimointia säteilylämmönsiirron, kiinteän materiaalin lämmönjohtumisen ja reunahäviöiden osalta. Kaasujen pysyvyys paneeleissa ja paneelien rikkoutuminen ovat tyhjiöeristepaneelien sovelluksia vastaavia riskitekijöitä.

5.2.6 Kaasutäytteiset lämmöneristemateriaalit

Kaasutäytteiset lämmöneristemateriaalit (gas filled insulation material, GIM) ovat periaatteessa samanlaisia kuin tyhjiöeristemateriaalit (Kappale 5.2.2). Niiden umpisoluisessa rakenteessa on ilman sijasta muuta kaasua, esimerkiksi argonia, kryptonaa tai xenonia. Etuna on, että soluseinämien ei tarvitse olla yhtä vahvoja kuin tyhjiömateriaaleissa, koska paine eristeessä on samaa tasoa ympäröivän ilmanpaineen kanssa. Joka tapauksessa vaatimukset soluseinämien kaasujen diffuusiolle ovat hyvin tiukat, jotta kaasutäytön tuoma hyöty pysyy yllä tarvittavan käyttöajan ajan. Tällaisen materiaalin etuina ovat yostettävyyden ja se, että erillistä suojausta ei välttämättä tarvita.

Eräinä toimivina sovelluksina voidaan pitää nykyään käytössä olevia PUR- ja PIR-eristeitä, joissa on muuta kuin ilmaa täyteaineena. Kaasueristemateriaalien kehitystyöstä on vain vähän raportoitua tietoa viime vuosilta.

5.2.7 Lämmöneristevaahdot

PUR-eristevaahdot on tyypillinen sovellutus, jolla voidaan täyttää rakennusonteloita. Tämyntyyppiset lämmöneristetuotteet ovat tärkeitä haluttaessa varmistaa lämmöneristyskerroksen yhtenäisyys ja ilmatiivisyys esimerkiksi liitosten kohdalla ja minimoida kylmäsiltojen vaikutuksia. Vaahdomaisia, rakenteeseen suoraan asennettavia ja sen ontelot täyttäviä lämmöneristeitä voidaan tehdä muistakin materiaaleista, ja tässä aerogeelien ja nanoeristeiden sovellutukset voivat olla erittäin tulevaisuuden tuotteita.

5.3 Monitoimiset vaippajärjestelmät

Funktionaalisten ja älykkäiden materiaalien ja näihin liittyvän teknologian tutkimus tuo markkinoille uusia, monitoimisia järjestelmiä. Nämä ovat materiaaleja, rakennusosia tai rakennejärjestelmiä, joissa on yhdistetty monia toiminnallisuuksia usein tavoin. Perinteisten kantavuuden, lämmöneristämisen ja rakenteiden suojausten lisäksi toimintoja voivat olla energian tuotanto ja varastointi, pinnoitusten erilaiset toiminnot tai valonläpäisy. Nämä vaihtelevat faasimuutosmateriaaleista, jotka voidaan yhdistää eri rakennekerroksiin tai elementteihin, heijastaviin tai absorboiviin pinnoitteisiin ja maaleihin, julkisivupaneeleihin, läpinäkyviin tai valoa läpäiseviin eristeisiin, kehittyneisiin ikkunoihin tai julkisivujärjestelmiin. Järjestelmien rakennussovellutusten haasteina ovat muun muassa tuotantoprosessien kehittäminen ja tuotannon kannattava laajuus.

5.3.1 Faasimuutosmateriaalit (PCM)

Faasimuutosmateriaali (PCM) on ainetta, joka sulaa ja kiinteytyy tietyssä lämpötilassa sekä kykenee sitomaan ja luovuttamaan suuria määriä energiaa faasimu-

toksen yhteydessä. Faasimuutosmateriaalit ovat lämpöenergian latentteja varastoja ja niitä voidaan käyttää rakennuksissa, lämpöenergian varastointijärjestelmissä sekä passiivijärjestelmissä tilojen jäähdytys- tai lämmitysjärjestelmien tukena parantamaan termistä viihtyisyyttä. Faasimuutostapahtuman lämpötilataso ja -alue riippuvat käytetyistä materiaaleista, jotka valitsemalla nämä toimivuusarvot voidaan saada kohtuullisesti halutulle tasolle.

Faasimuutoslämpötiloilla on laaja vaihteluväli. Rakennustekniikan sovelluksien kannalta kiinnostava yleisimmin raportoitu faasimuutoslämpötila on välillä 25–30 °C. Komposiittisia faasimuutosmateriaaleja on tarjolla myös jauheena, rakeina ja yhdisteinä.

Faasimuutosmateriaalit voidaan yhdistää muihin rakennusmateriaaleihin tai niitä voidaan käyttää lämpövarastojärjestelmissä. Materiaalit ovat käytännössä suolatai parafiinipohjaisia hiukkasia, jotka voidaan sekoittaa rakennusmateriaaliin (esimerkiksi kipsiin tai laastiin) tuotteen valmistamiseksi. Faasimuutosmateriaali voidaan myös säilöä kennoihin, jotka liitetään rakenteisiin. Faasimuutosmateriaaleja ja esimerkiksi niistä tehtyjä paneeleita on saatavilla markkinoilla. On huomattava, että toimiakseen kunnolla säätöjärjestelmän tulee ottaa huomioon faasimuutosmateriaalien toimivuuden lämpötila-alue.

Faasimuutosmateriaalien käyttö seinissä ja yläpohjassa on osoittanut tehokkuutensa vakaiden sisätilälämpötilojen ylläpidossa ja sen seurauksena sähkönkulutuksen vähenemisenä (Ismail & Castro 1997). Joitain yleisimpiä kaupallisia sovelluksia ovat faasimuutosmateriaalit mikrokapseloituna rakenneosissa tai materiaaleissa, esimerkiksi kipsilevyissä. Ne voidaan asentaa jälkikäteenkin alaslaskettuihin kattoihin paneeleina. Faasimuutosmateriaalit on houkutteleva tapa kompensoida nykyaikaisten hyvin lämmöneristettyjen ja kevyiden rakennusten termisen massan puutetta. Tämä teknologia on vielä kypsymässä ja tulossa markkinoille.

Faasimuutosmateriaaleja on monia erityyppisiä, kuten epäorgaaniset suolahydraatit, orgaaniset rasvahapot ja eutektiset seokset, rasva-alkoholit, neopentyyli glykoli ja parafiiniset hiilivedyt. Puhtaat faasimuutosmateriaalit kuuluvat suolahydraattien, parafiinien ja lisäaineita sisältävien eutektisien vesi-suolaseosten luokkaan, niiden lämpövarastointikyky on 160–250 kJ/kg ja lämmönjohtavuus 0,2–0,7 W/(m K).

Seuraavassa esitetään tarkempi kuvaus faasimuutosmateriaalien mahdollisista sovelluksista kestäväen rakentamisen energiateknologiaan.

Kun puhdasta faasimuutosmateriaalia yhdistetään rakennusmateriaaleihin, ongelmia voi ilmetä materiaalin siirtymisenä ja uudelleenjakautumisena nestefaasissa, jolloin materiaalikerroksen toimivuus heikkenee. Nämä ongelmat voidaan ratkaista käyttämällä pieniä säiliöitä sisältäviä mikrokapsleita, joissa varsinainen faasimuutosmateriaali on pakattu suojaavan kuoren sisään. Mikrokapselit voidaan sekoittaa sementtiin, kalkkiin, betoniin, laastiin, eristemateriaaleihin, keinotekoiseen marmoriin, tiivisteisiin, maaleihin ja muihin pinnoitteisiin kasvattamaan rakenteiden termistä massaa. Mikrokapseloituilla faasimuutosmateriaaleilla on latenttinen lämmön varastointikyky 37–110 kJ/kg.

Yleisimmät rakentamiseen tarkoitetut kaupalliset ratkaisut ovat faasimuutosmateriaalien käyttö kipsilevyissä ja -paneeleissa tai mikrokapseloituna eristeisiin (Tyagi V.V. et al. 2011). Seuraava lista tiivistää muun muassa tuotevalmistajien

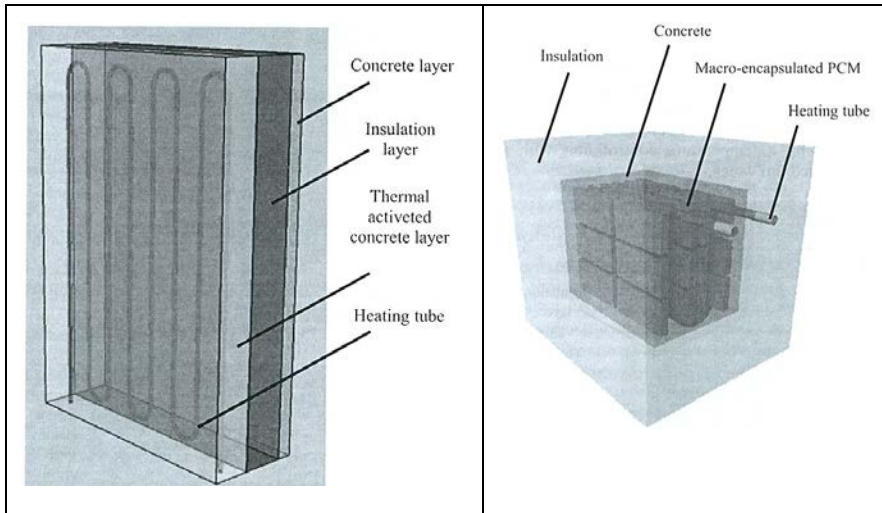
antamia esimerkkejä ja informaatiota rakentamiseen saatavilla olevien kaupallisten sovellutusten toimivuudesta:

- Faasimuutosmateriaalein parannetuilla avosoluisilla polyuretaanivaahdoilla oli mahdollista vähentää jäähdytystarpeen huippuarvoa 40 %.
- Faasimuutosmateriaalit mikrokapseloituna kipsiin tai betoniin.
- Faasimuutosmateriaalit mikrokapseloituna kaihtimiin. ZAE Bayern on kehittänyt yhteistyössä Warema Rebkhoff GmbH:n ja Merck KGaA:n kanssa faasimuutosmateriaaleja sisältävän aurinkosuojajärjestelmän. Mehlingin faasimuutosmateriaaleja hyödyntävä aurinkosuojajärjestelmä hyödyntää hydratoitua suolaa $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Tämä faasimuutosmateriaaleja hyödyntävä auringonsuojajärjestelmä soveltuu hyvin kuumien kesien ilmastoon, erityisesti alueille, joilla on merkittävät päivän ja yön väliset lämpötilavaihtelut.
- Faasimuutosmateriaalit mikrokapseloituna aurinkoseinään. Rakennuksen eteläpuolella, faasimuutosmateriaaleja hyödyntävä aurinkoseinä lämpenee auringon säteilystä päivällä ja sulattaa faasimuutosmateriaalin. Yöllä lämpö johtuu seiniin ja lämmittelee rakennusta. Faasimuutosmateriaaleja hyödyntävä aurinkoseinä tarvitsee vähemmän tilaa ja on paljon kevyempi kuin vesiseinät tai massiiviset aurinkoseinät. Aurinkoseinä koostuu kaksinkertaisesta lasituksesta, sopivasta kerääjästä ja varastointilevystä, joka sisältää faasimuutosmateriaalia.
- Valoa läpäisevä varastointiseinä faasimuutosmateriaaleilla. Ideaa ovat tutkineet Glaswerke Arnold ja ZAE Bayern sekä Inglas2, jonka valmistamaa Glassx AG -järjestelmää on käyttänyt sveitsiläinen arkkitehti Dietrich Schwarz.
- Faasimuutoslevy, useita sisäpaneelituotteita uudis- ja korjausrakentamiseen. Datum Phase Change F.E.S-Board®. Tuotteiden lämpökapasiteetti $60\text{--}140 \text{ Wh/m}^2$ (25 mm paksut paneelit) $+20\text{...}+24 \text{ }^\circ\text{C}$ alueella, mikä on suurimmillaan kaksinkertainen verrattuna $2\,000 \text{ kg/m}^3$:n betoniharkkoseiniin.
- RACUS-sisäkattolevy, faasimuutosmateriaalia sisältävä paneeli (Thermacool 2013). Faasimuutoslevy, jonka toimintalämpötila on $+20\text{...}+24 \text{ }^\circ\text{C}$. Tälle luvataan pitkää käyttöikää, 45 000 faasimuutosjaksoa.

Makrokapselointi on eräs tapa kapseloida faasimuutosmateriaalia rakenteisiin. Makrokapseloinnissa faasimuutosmateriaali on säiliöissä, jotka on sijoitettu rakenteisiin. Tätä tapaa hyödynnetään passiivisesti tai aktiivisesti ilmaa tai nestettä kierrättämällä. Kuva 24 esittää mikro- ja makrokapseloinnin periaatekuvauksen nestekiertoisessa järjestelmässä.

Cusnikin et al. (2013) mukaan makrokapseloinnissa faasimuutosmateriaalin osuutta rakenteen massasta voidaan kasvattaa 10–15 %:iin, kun se mikrokapseloinnissa on pienempi, noin 6 %. Siten myös makrokapseloitujen järjestelmien lämmönvarauskyky on parempi kuin tuotteiden, joissa PCM on materiaaliin impregnoituna. Samassa julkaisussa on arvioitu lämpövaraston kustannuksia. Mikrokapseloidun järjestelmän (betoni + PCM) kustannukset arvioitiin samoiksi kuin

vastaavankokoisella vesivaraajalla, noin 1 200 euroa (1 m³:n varaaja) kun vastaavan makrokapseloidun järjestelmän kustannuksiksi arvioitiin 1 700 euroa.



Kuva 24. Faasimuutosvaraajajärjestelmiä. Betoniin mikrokapseloitu (vasen) ja makrokapseloitu (oikea) (Cusnik et al. 2013).

5.3.2 Säteilylämmönsiirtoon vaikuttavat pinnoitteet

Nykyään on saatavilla erilaisia pinnoitteita, joilla pyritään vaikuttamaan rakenteen (ulko)pinnan säteilylämmönsiirtoon. Tyypillisesti näiden passiivisten pinnoitteiden toimivuus perustuu maalin lisäaineisiin (mineraalit, metallit, IR-heijastavat pigmentit, eristävät keraamiset mikrorakeet jne.), joilla pyritään pienentämään auringon säteilyn absorptiota (cool painting), alentamaan pinnan pitkäaaltoisen säteilyn emissiviteettiä ja pienentämään kerroksen lämmönjohtavuutta.

Ohuen kerroksen (tyypillisesti 1–2 mm) lämmönjohtavuudella ei ole olennaista merkitystä lämmönsiirtoon johtumalla. Pinnoitteiden vaikutus perustuu säteilylämmönsiirron muutokseen tavanomaisiin materiaalipintoihin verrattuna. Tuotteiden avulla on esitetty saatavan suuria suhteellisia säästöjä jäähtymisen ja lämmitystarpeen vähentämisessä. Suurin vaikutus on luultavasti kattojen suojaus auringonsäteilyä vastaan. Olennaisesti tavanomaista pienempi säteilyn absorptio alentaa pintalämpötiloja ja tilojen lämpökuormia ja siten niiden jäähtytystarvetta. Vastaavasti myös lämpösäteily rakenteesta pois (taivaan vastasäteily) pienenee.

Pinnoitteen kokonaisvaikutus riippuu täysin ilmastosta sekä rakenteen lämmöneristystasosta ja osittain myös sen lämpökapasiteetista. Kaikissa tapauksissa auringon säteilyn absorptio pienentäminen ei ole pelkästään hyödyllistä, koska auringon lämmittävä vaikutus lämmityskaudella pienenee ja alemmat lämpötilat aset vaikuttavat muun muassa kattorakenteiden tuuletukseen ja kosteustekniseen

toimivuuteen. Pintojen likaantuminen ja lumipeite vähentävät pinnoitteen vuotuista vaikutusta. Merkittävin hyöty saavutetaan kuumissa ilmastoissa, joissa on pitkäaikainen jäähdytystarve.

Sisäpuolinen pinnoitus voi vaikuttaa lähinnä lämpösäteilyn heijastumisen tuoman termisen viihtyisyyden kautta, kokonaislämpövirtoihin pinnoitteen lämmönsiirtokertoimen muutos ei tuo olennaista parannusta.

Mueller et al. (2013) raportoivat kuuman ja kostean ilmaston kokeissa cool roof -pinnoitteen aiheuttavan tuuletetuilla katoilla jopa lisääntynyttä jäähdytystarvetta, koska yöaikainen ilmanvaihto ja jäähdytys katossa oli vähentynyt. Pinnoitteiden käyttö ei tämän tutkimuksen mukaan sovellu tuuletetuille katoille. Tutkimuksen mukaan tuulettamattomissa katoissa voi pinnoitteesta olla hyötyjä, mutta ne on arvioitava tapauksittain.

Cekon et al. (2013) raportoivat keraamipinnoitteen ja tavanomaisen pinnoitteen toimivuuden eroista kesäajan tilanteessa. Tulosten mukaan heijastavat keraamiset pinnoitteet pienensivät seinäpinnan läpäiseviä lämpövirtoja kesäkaudella noin 5 % verrattuna tavanomaiseen pinnoitteeseen.

Pohjoisen ilmaston vaihtelevat olosuhteet lämmitystarpeen ja yllämpenemisen torjumisen välillä edellyttäisivät pinnoitteiden ominaisuuksien muuttumista tarpeen mukaan.

5.3.3 Valoa läpäiset lämmöneristeet ja kehittyneet ikkunajärjestelmät

Ikkunoiden ja valoaukkojen merkitys rakennuksen lämpöhäviöiden ja -kuormien kannalta korostuu hyvin lämmöneristetyissä rakennuksissa. Tähän liittyy lisäksi luonnonvalon käyttö ja valaistuksen hallinta. Valoa läpäisevien tai läpinäkyvien lämmöneristeiden sovellutukset sekä matalaenergiarakennuksiin soveltuvien ikkunajärjestelmien kehitys tuovat uusia mahdollisuuksia hyödyntää auringon säteilyä ja luonnonvaloa. Tavanomaisten ikkunoiden käyttö ilman kohteeseen sopivaa aurinkokuormien rajoittamista (passiivinen tai aktiivinen) voi johtaa huomattavaan yllämpenemisriskiin matalaenergiarakennuksissa.

Valoa läpäiseviä lämmöneristeiden käyttökohteita ovat:

- hyvin eristetyt ikkunat
- aurinkoikkunajärjestelmät
- lasijulkisivujärjestelmät
- massiivisten seinärakenteiden sovellutuksissa, mm. valoa läpäisevät rappaukset.

Kun valoa läpäisevä lämmöneriste yhdistetään massiiviseen seinään, on tavoitteena parantaa seinän eristävyttä ja tuottaa lämpöä auringon säteilyllä. Järjestelmän lämpövirtojen hallittavuus yllämpenemisen estämiseksi ja toisaalta riittävä lämmöneristävyys ovat sovellutuksen haasteita myös pohjoisessa ilmastossa.

5.3.4 Kehittyneet ikkunat ja ikkunajärjestelmät

Markkinoilla on laaja valikoima ikkunalaseja ja -lasielementtejä, joilla on erilaisia ominaisuuksia riippuen niiden käyttökohteesta ja sen asettamista vaatimuksista lämmöneristävyydelle, ääneneristykselle, auringonvalon hallinnalle, läpinäkyvyydelle, itsepuhdistuvuudelle, ulkonäölle ja niin edelleen. Lasituksen ja koko ikkunaelementin ominaisuuksien sekä niihin liittyvien varjostusjärjestelmien valinta tulee sovittaa yhteen kohteen sisäilman viihtyisyys- ja energiatehokkuusvaatimusten kanssa.

Tässä raportissa esitetään joitain esimerkkejä siitä, mitkä tekijät ovat rakennuksen ulkovaipan energiatehokkuuden kannalta oleellisia ajatellen lähitulevaisuuden rakenneratkaisuja ja uusiutuvan energiatekniikan hyödyntämistä.

Erilaisia läpinäkyviä lämmöneristemateriaaleja, kuten aerogeelejä, akryylivaah-toja, polykarbonaattikennoja tai epäorgaanista lasikuitua, voidaan käyttää lasikerrosten välissä parantamaan tämän osan lämmöneristävyyttä. Aerogeeeli on yksi lupaavimmista eristemateriaaleista lasitusjärjestelmissä, koska se on valoa läpäisevää tai läpinäkyvää ja sillä on matala lämmönjohtavuus. Markkinoilla on erilaisia lasijulkisivujärjestelmiä, joissa sovelletaan aerogeelejä.

SOLERA® tarjoaa lasituskomponentteja, joissa on läpikuultava aerogeeilydin. Elementit voidaan asentaa normaaliin verhoseinään, kaupan julkisivuun, ikkunaan tai kattoikkunajärjestelmään, ja sille luvataan U-arvoksi 1,13 W/(m² K) (0,2 Btu/hr.ft².°F) ja 97 %:n näkyvän valon läpäisy. SOLERA® + Lumira® aerogel R18 -sovellutukselle luvataan U-arvoksi 0,31 W/(m² K).

Valon- ja auringonsäteilyn läpäisevyyden säätömahdollisuus on eräs tärkeitä ikkunatekniikan ominaisuuksia, joilla voidaan vastata matalaenergiarakennusten vaatimuksiin lämpövirtojen hallittavuudesta. Jotkin kaupalliset tuotteet sisältävät sulautettuja antureita lasin läpäisevyysominaisuuksien muuttamista (lasin tummentamista) varten. Tässä eristyslasin uloin lasikerros on vaihdettu elektrokromiseksi lasiksi, joka on yhdistetty elektroniseen ohjausyksikköön. Econtrol triple glazing -ikkunan (U-arvo 0,5 W/(m² K)) näkyvän valon läpäisevyys voidaan muuttaa arvosta 46 % tummentamalla tasolle 13 % ja auringonsäteilyn läpäisevyys (solar heat gain) tasolta 32 % tasolle 9 %.

Eräänä ikkunoiden korjausvaihtoehtona Evins ja Dowson (2013) tarkastelevat liikuteltavaa aerogeeilitäytteistä ikkunaluukkuja, jota käytettäisiin silloin, kun halutaan estää lämmönsiirtoa ulos tai myös rajoittamaan auringonvalon pääsyä rakennukseen. Selvityksen mukaan 2-lasisen ikkunan U-arvo paranee aerogeeeliluukkujen avulla tasolta 2,8 W/(m² K) (Kirkas ikkunalasi) tasolle 1,17 W/(m² K). Samalla auringonsäteilyn läpäisy (G-arvo) muuttuu tasolta 0,77 tasolle 0,51 ja valon läpäisevyys 68 %:sta 51 %:iin.

Aurinkoenergiailasi on yhdistelmä aurinko- ja lasitekniikoita. Passiiviset aurinkoenergiailasit hyödyntävät pinnoitteita, jotka vähentävät lämmön johtumista ikkunan läpi. Aurinkoenergiaa tuottavat ikkunat käyttävät läpikuultavia aurinkosähkökennoja hyödyntämään auringon valoa rakennuksen sähköntuotannossa.

Esimerkiksi EC FP7 Cost Effective -projektissa kehitettiin läpinäkyviä PV-kennoja integroitaviksi ikkunaratkaisuihin (Kuva 25). Tavoitteena oli kehittää uusi edullinen ikkunateknologiaan perustuva läpinäkyvä aurinkokeräin. Tämän tyyppiset julkisivukomponentit mahdollistavat visuaalisen yhteyden ulkotilaan ja mahdollisuuden säätää sisään tulevan auringonvalon määrää sekä tuottaa sähköä.



Kuva 25. Sähköntuotanto ikkunaan integroidun, osittain läpinäkyvän PV-kennoston avulla.

Aurinkopaneelijulkisivuissa PV-kennot on yhdistetty seinärakenteisiin, joissa voi olla läpinäkyviä ja läpinäkymättömiä, tuuletettuja tai tuulettamattomia rakenteita. Eräänä ajatuksena on käyttää tuuletusvälistä lämmennyttä ilmaa rakennuksen lämmitykseen. Joissain järjestelmissä ilma tulee suoraan sisätilaan elementissä esilämmenneenä, joissain se kulkee lämpövaraston kautta tai lämmönsiirtona käytetään nestekiertoa.

Quesada et al. (2012) on kirjoittanut laajan katsauksen aurinkopaneelijulkisivuista ja tuuletetuista aurinkopaneelijulkisivuista. Tavoitteena on, että julkisivut suojaavat rakennusta säältä ja melulta ja samalla niillä voitaisiin pienentää rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystarvetta.

Järjestelmiä on nimetty seuraavasti:

- Semi-transparent building-integrated photovoltaic system (STBIPV). Tässä järjestelmässä rakenteisiin on integroitu PV-kennosto ja rakenteet ovat osittain valoa läpäiseviä, mikä mahdollistaa päivänvalon hyödyntämisen.
- Semi-transparent building-integrated photovoltaic thermal system (STBIPV/T). Edellisen ominaisuuksien lisäksi tässä järjestelmässä hyödynnetään auringonsäteilyä lämmitykseen.
- Mechanically ventilated facade (MVF) ja naturally ventilated facade (NVF). Näissä toiseen edellä mainituista järjestelmistä on lisätty mekaaninen tai painovoimainen tuuletus, jolla aurinkoenergian lämpöä hyödynnetään.

Lasikatteisia julkisivuja suositetaan nykyään erityisesti toimistorakennuksissa. Tavoiteltujen lämpöteknisten toimintojen integrointi eri kuormitustilanteissa toimivaksi kokonaisuudeksi voi usein olla haasteellista. Erityinen huomio on kiinnitettävä varjostusjärjestelmien kehittämiseen sekä rakenteiden termisen massan hyödyntämiseen lämmönvarastoinnissa ja lämpötilojen tasoittamisessa. Samoin tuuletettujen järjestelmien lämmöntuoton hyödyntäminen rakennuksen iv- ja lämmitysjärjestelmien yhteydessä vaatii tutkimus- ja kehitystyötä. Järjestelmien hyötyjen takaisinmaksuaikojia ei kirjallisuudessa ole esitetty.

5.3.5 Dynaamiset lämmöneristeet

Dynaamiset lämmöneristeet ovat materiaaleja tai tuotteita, joiden lämmönsiirtoominaisuuksia voidaan aktiivisesti muuttaa tai jotka muuttuvat tarkoituksenmukaisesti ympäristön olosuhteiden ohjaamana. Valon ja auringonsäteilyn läpäisevyydeltään muuttuvat ikkunalasitukset ovat tämäntyyppisiä sovellutuksia. Ideaalitilanteessa rakenne päästää tai estää lämmönsiirron haluttuun suuntaan, jolloin ilmaisenergioiden hyödyntäminen ja ylikämmenemisen estäminen voitaisiin toteuttaa rakenteiden avulla. Dynaamiset eristerakenteet ovat vielä kehityksen alkuvaiheessa, mutta tämäntyyppisiä ominaisuuksia tarvitaan myös rakennuseristämiseen.

5.3.6 Monitoimiset esivalmistetut rakennejärjestelmät

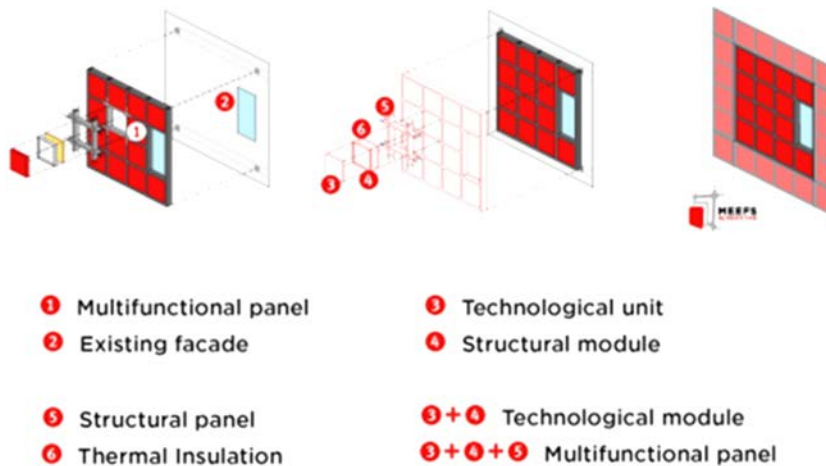
Kehittyneet monitoimiset paneelit ja ulkovaippajärjestelmät ovat esivalmistettuja moduleja. Ne on tarkoitettu uudis- tai korjausrakentamiseen ja ne yhdistävät useita toimintoja. Raja esimerkiksi kehittyneiden ikkunajärjestelmien kanssa ei ole kaikissa tapauksissa selkeä. Monitoimisuus voi sisältää passiivisia rakennekerroksia lämmön- ja ääneneristämiseen, niissä voi olla valoaukkoja, ne voivat tuottaa sähköä PV-kennoilla, hyödyntää auringon lämpöä, niissä voi olla lämmönvarastointia (faasimuutoselementit), niiden pinnoitteet voivat olla reaktiivisia ja ne pyritään integroimaan osaksi rakennuksen LVI-järjestelmää.

Markkinoilla on tarjolla ulkovaippajärjestelmiä, esimerkiksi Schüco E² -julkisivu mahdollistaa neljän eri toiminnon integroimisen moduuliin: tuuletuksen avausyksiköt, hajautettu tuuletus, aurinkosuojaus ja aurinkoenergiateknologia (Schüco 2014).

Toinen esimerkki on TROX Tecnikin kehittämä FSL Fassaden system Lüftung, josta on useampi eri malli yksinkertaisille julkisivuille ja tuplajulkisivuille. Näissä on lasitus, läpinäkymätön verhous, rakennukseen integroidut aurinkosähköpaneelit ja aurinkosuojaus.

Eurooppalainen yhteistyöprojekti MeeFS (Multifunctional Energy Efficient Façade System for Building Retrofitting across Europe) kehittää monitoimista ulkovaippajärjestelmää kerrostalojulkisivujen korjaukseen. Konsepti perustuu monitoimiseen integroituun järjestelmään, joka yhdistää monitoimiset energiatehokkaat paneelit ja teknologiset moduulit sekä innovatiiviset komposiittirakenteiset julkisivumateriaalit helposti asennettavaan julkisivukorjaukseen (Kuva 26). Tämä uusi ja innovatiivinen julkisivujärjestelmä muuntuu helposti erilaisiin ilmasto-

olosuhteisiin ja kaikenlaisiin asuinrakennusten julkisivuihin tehden siitä erittäin joustavan käytön ja toteutuksen kannalta. Julkisivuun asennetut energiatehokkaat paneelit ja moduulit sisältävät erityistä teknologiaa rakennuksen energiatarpeen vähentämiseksi tai energian tuottamiseksi RES:n avulla. Kaksi uutta energiatehokasta moduulia kehitetään tässä projektissa: Advanced Passive Solar Protector and Energy Absorption auto mobile unit sekä Advanced Passive Solar Collector and Ventilation Module.



Kuva 26. Meefs-järjestelmäkonsepti (MeeFS 2013).

5.4 Lisätilaa rakenteita ohentamalla

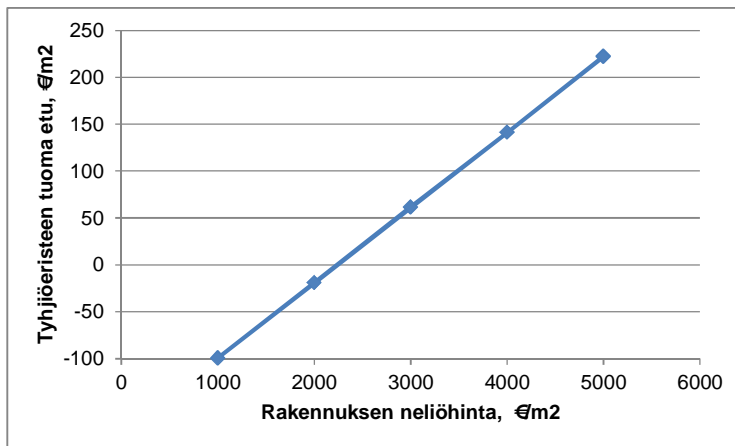
Energiatehokkaat rakenteet tuovat muitakin hyötyjä kuin rakennuksen energiatehokkuus. Tavanomaisia lämmöneristystuotteita käytettäessä rakenteiden paksuudet ovat suuret. Paksuista rakenteista voi aiheutua teknisiä ongelmia, jotka voivat liittyä esimerkiksi liitosdetaljien toteutukseen, ikkunoiden sijoitteluun tai kylmäsiltojen hallintaan. Lisäksi paksut seinärakenteet vaikuttavat rakennuksen ulkopinta-alaan, millä voi olla merkitystä erityisesti taajamissa. Jos tavanomaiset lämmöneristeet korvataan nykyistä paremmin lämpöä eristävillä tuotteilla, voidaan rakenteita ohentaa ja näin saadaan lisätilaa rakennukseen.

Eräs tehokkaiden lämmöneristeiden hyötyjen arviointitapa on verrata lämmöneristystavan aiheuttamia lisäkustannuksia ohuemmillä lämmöneristeillä saatavan lisäpinta-alan hintaan. Myytävän tai vuokrattavan pinta-alan kasvaessa voidaan ohuiden rakenteiden hyöty osoittaa myös tästä saatavan lisätuoton avulla.

Jelle (2011) on esittänyt oletuksiin perustuvan laskelman tyhjiöeristepaneelin käytön kannattavuudesta. Oletuksena on, että ohuemman lämmöneristeen käyttö tuo vastaavan lisäpinta-alan rakennukseen ja tälle voidaan laskea markkinoiden mukaisen neliöhinnan perusteella lisätilasta saatava hyöty. Tarkastelun lähtökohdiana oli sisämitoiltaan 10 m x 10 m oleva rakennus, jonka seinäkorkeus on 2,5 m.

Tavanomaisella mineraalivillalla eristettynä eristekerroksen paksuus olisi 35 cm. Kun käytetään tyhjiöeristepaneelia suojaeristeineen, voidaan seinäpaksuutta pienentää 20 cm, jolloin molempien seinien U-arvot ovat samat. Mineraalieristeen hinnaksi oli asetettu 20 €/m² (seinäpinta-alaa kohden) ja tyhjiöeristerakenteen tuoma lisähinta oli tässä 180 €/m². Tässä tapauksessa ohuempi lämmöneriste tuo noin 8 m² lisätilaa rakennukseen.

Kuva 27 esittää näillä oletuksilla tyhjiöeristeen käytön tuoman kustannushyödyn (€/m²) rakennuksen neliöhinnan funktiona. Oletuksena oli, että lämmöneristeen vaihto ei aiheuttanut mitään muita muutoksia kustannuksiin ja rakenteen elinikä-odote oli molemmilla vaihtoehdoilla sama. Tämän tarkastelun perusteella noin 2 300 €/m²:n ylittävä hintataso rakennuksessa olisi riittävä, jotta lämmöneristeen ohentaminen tyhjiöeristepaneelilla olisi kannattavaa.



Kuva 27. Tyhjiöeristeen tuoma etu rakennuksen neliöhinnan funktiona Jellen (2011) tarkastelun mukaan.

Samalla periaatteella tehtiin yleinen tarkastelu siitä, kuinka paljon lisäkustannuksia seinään asennettava tavanomaista ohuempi mutta eristävydeltään samanlainen lämmöneristys saa tuoda verrattuna lisätilana saatuun, markkinahintaan arvostettuun tilaan, jotta lisäkustannus olisi kannattava.

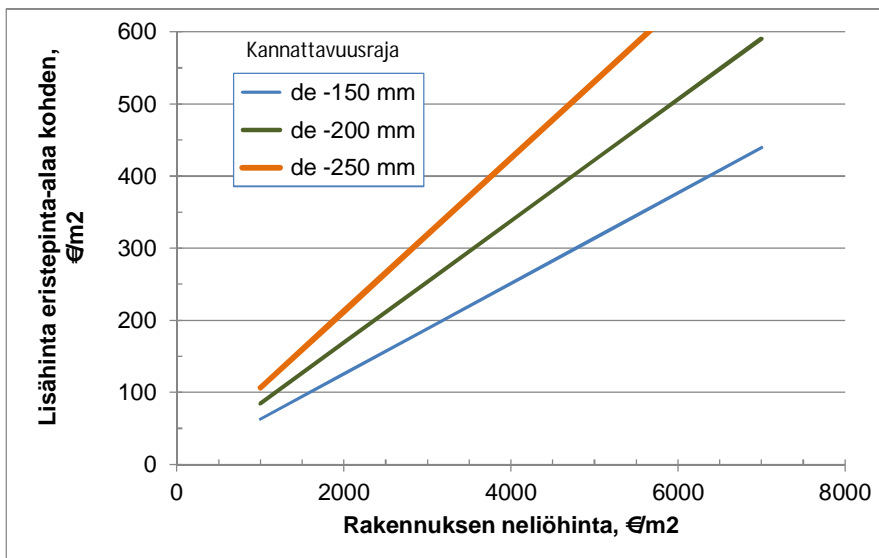
Tähän otettiin paremmin pientaloa vastaava, sisämitoiltaan 10 m x 15 m oleva rakennus, jonka seinän eristekerroksen korkeudeksi asetettiin 2,8 m. Seinäpinta-alasta 15 % oletettiin ikkunoiksi. Tilansäästöä ja sen tuomaa hyötyä tarkasteltiin olettamalla alun perin 350 mm:n lämmöneristepaksuus ja kolme ohuemmän lämmöneristyskerroksen tapausta, joissa seinän paksuus ohenee 150 mm, 200 mm tai 250 mm. Seinien ohentuminen oletetaan saatavan lisätilana rakennukseen.

Oletuksena on, että ohuempi seinä toimii lämpötekniisesti kuten paksumpi ja että ohuemmän lämmöneristysrakenteen kaikki lisäkustannukset sisältyvät seinän lämmöneristeen pinta-alaa kohden laskettuun lisähintaan.

Kuva 28 esittää edellä kuvatuilla oletuksilla lasketut kannattavuusrajat vertailutapausta ohuempien lämmöneristerakenteiden lisäkustannuksille rakennuksen neliöhinnan funktiona kolmessa eri tapauksessa. Esimerkiksi jos seinäpaksuutta ohennetaan alkuperäisestä 200 mm (tapaus de – 200 mm) ja rakennuksen neliöhinta on 3 000 €/m², voi ohuempi lämmöneristys maksaa noin 250 €/m² (eristepinta-alaa kohden) enemmän kuin vertailutapauksessa, jotta lisäpinta-ala kattaa aiheutuneet lisäkustannukset.

Tehty tarkastelu on suuntaa-antava, mutta se antaa käsityksen ohuempien eristerakenteiden eduista myös tilansäästön kannalta. Tässä yhteydessä ei tarkasteltu rakenteiden muuta toimivuutta esimerkiksi akustiikan osalta, vaan ne oletettiin vertailutapausta vastaaviksi. Toisaalta tehokkaiden lämmöneristeiden avulla voidaan edelleen parantaa rakenteiden energiatehokkuutta ja silti saada etuja lisätilasta. Lisäksi kevyet ja ohuet rakenteet voivat tuoda muitakin kustannussäästöjä esimerkiksi kuljetuksessa.

Kun rakennuksen ulkovaipan osuus lattiapinta-alaan verrattuna on tarkasteltua pientalotapausta pienempi (esim. kerrostalot), saadaan paremmin lämpöä eristävien ja ohuempien lämmöneristeiden käyttö esimerkkitapausta kannattavammaksi.



Kuva 28. Vertailutapausta (de = 350 mm eristyspaksuus) ohuempien (150, 200 tai 250 mm) ja lämmönläpäisykertoimeltaan vastaavien lämmöneristerakenteiden lisäkustannusten kannattavuusraja (seinän lämmöneristeen pinta-alaa kohden laskettuna) rakennuksen neliöhinnan funktiona kolmessa eri tapauksessa. Kun lisäkustannus jää raja-arvokäyrän alapuolelle, on lisäpinta-alasta saatava hyöty suurempi kuin eristämisen lisäkustannus.

Ohuiden lämmöneristerakenteiden edut eivät rajoitu seinärakenteisiin. Esimerkiksi korjausrakentamisessa voidaan edellyttää hyvää lämmöneristyskykyä, vaikka käytettävissä oleva tila on rajoitettu. Samoin ullakkorakentaminen ja rajoitetut kattokorkeudet voivat asettaa rajoituksia lämmöneristeiden paksuudelle. Hyvin lämpöä eristävät ohuet eristerakenteet voivat tällaisissa tapauksissa tuoda merkittävästi asuintilojen korkeuskriteerit täyttävää lisätilaa rakennukseen.

5.5 Kansainvälinen patenttianalyysi

5.5.1 Patenttianalyysi

Tarkasteltaessa rakennusten lämmöneristysmateriaalien immateriaalioikeuksia voidaan aineistosta löytää noin 250 organisaatiota, jotka ovat toimineet patenttien hakijoina. Näistä yhdeksän organisaatiota vastasi yhteensä 55 prosentista patenttihakemuksia vuonna 2003. Tämän tutkimuksen osana laadittiin patenttianalyysi pohjautuen patenttien IPC-luokitukseen, jolla havainnollistetaan alan kansainvälisesti keskeiset organisaatiot. Tutkimus keskittyi rakennusten lämmöneritykseen sekä lämmöneritysmateriaaleihin ja -tuotteisiin.

Analysin keskeisenä havaintona on alan matala patentointiaste sekä useiden veturiyritysten puute. Keskeisenä organisaationa aineistossa on Saint-Gobain ja sen tytäryhtiö CertainTeed. Huomattavaa on kuitenkin se, että erityisesti lämmöneritykseen keskittyvien organisaatioiden lukumäärä on alhainen. Seuraavassa kuvataan patenttianalyysin menetelmä ja tulokset laajemmin.

Patenttianalyysi on laadittu hyödyntämällä aineistona SQL-muotoista PATSTAT-tietokantaa, joka on VTT:n käytettävissä. Aineistosta tehtyyn tietokantahaakuun hyväksyttiin patentit, jotka on haettu Yhdysvaltojen patenttiviranomaiselta (United States Patent and Trademark Office) ajalla 2005–2010. Haun tuloksena analyysissä tarkastelun alla oli yhteensä 5 566 patenttia. Patenttianalyysin eri vaiheissa hyödynnettiin asiantuntija-arvioita, jotta haun patenttimäärää voitiin edelleen rajata kohti tutkimukselle keskeistä aineistoa. Tämän prosessin tuloksena alkuperäisen aineiston sisältämät 368 eri patenttiluokkaa rajattiin 105 patenttiluokkaan. Haun kokonaisaineisto rajautui näin 2 862 patenttiin, joista jokainen on merkitty kuuluvaksi yhteen tai useampaan asiantuntija-arviolla valitusta 105 patenttiluokasta.

Valittuja 2 862 patenttia analysoitiin verkostoanalyysin avulla. Verkostoanalyysin avulla on tarkoituksena hahmottaa ja selittää patenttien välisiä rakenteita sekä mahdollisia riippuvuussuhteita. Verkostokuvissa patenttiluokat on kuvattu siten, että luokan koko on suhteessa aineistossa esiintyvään luokan patenttien kappalemäärään. Luokkia yhdistävä viiva kuvaa kahden patenttiluokan esiintymistä samassa patentissa. Lisäksi, hyödyntämällä modulaarisuusalgoritmia, toisistaan voimakkaasti riippuvat patenttiluokat ryhmiteltiin samalla värillä. Edellä mainitulla lähestymistavalla aineistosta voitiin tunnistaa viisi keskeistä alaverkostoa, jotka on esitetty liitteessä (liite A, patenttikuva 1). Alaverkostoille on patenttiluokitusten tarkastelun jälkeen annettu seuraavat, sisältöä tarkemmin kuvaavat nimet:

5. Teknologian kehitysnäkymät

- Katot, seinät ja lattiat
- Lämmöneristysmateriaalien rakenne ja muoto; kuitukankaat
- Rakennusmateriaalit yleensä
- Ääni- ja lämmöneristys; rakennuselementit
- Ilmanvaihto ja tiivistäminen materiaaleissa.

Ennakkoon tuloksista olisi voinut odottaa voimakasta riippuvuutta materiaalien kehityksen, lämmöneristykseen ja rakennusmateriaalien, kuten rakennuselementtien, välillä. Tuloksia ja erityisesti liitteen 1 kuvaa 1 tarkasteltaessa käy kuitenkin ilmi, että aineisto jakaantuu lähes toisistaan riippumattomiin alaverkostoihin. Kuvaa tarkasteltaessa on huomattava, että alaverkosto ”Rakennusmateriaalit yleensä” on yleisluokka, jonka lähempi tarkastelu ei ole mielekäästä. Jäljelle jäävät alaverkostot muodostavat kuitenkin mielenkiintoisen verkoston patenttiluokkia, joka osoittaa aineiston painopisteet ylätasolla. Tarkasteltaessa lämmöneristykseen keskittyvää patenttiluokkaa E04B 1/76 koko verkoston kontekstissa sen voidaan todeta olevan pieni ja eristyksissä muusta verkostosta. Tämä havainto on mielenkiintoinen, koska se antaa ymmärtää lämmöneristykseen olevan rakennusteollisuuteen liittyvien patenttien osalta marginaalinen patentoinnin alue. Yleisten patenttiluokkien lisäksi verkostossa lämmöneristykseen liittyvien patenttiluokkien merkittävin yhteys löytyy ohutlevyrakennuselementeistä.

Aineistoa analysoitaessa keskeiseksi vaikutelmaksi jää siis patentoinnin puuttuminen. Patenttien määrä on alhainen erityisesti niiden patenttien osalta, jotka yhdistävät lämmöneristykseen ja rakennusmateriaalit. Tarkasteltaessa lähemmin yksittäisiä patenteja, erityisesti lämmöneristystä ja ohutlevyrakennuselementtejä yhdistävältä osalta, voidaan tunnistaa muutama merkittävä patentteja hakeva organisaatio. Näitä ovat Johns Manville, Huber Engineering Woods ja Owens Corning Intellectual Capital. Johns Manville on keskittynyt nimenomaisesti rakennusten lämmöneristysmateriaaleihin. Yritys toimii myös avaruus-, auto- sekä laivusteollisuuden materiaali toimittajana. Huber Engineering Woods valmistaa sekä kehittää lattia- ja pintamateriaaleja. Owens Corning Intellectual Capital on Owens Corningin tytäryhtiö, joka vastaa yhtiöiden immateriaalioikeuksien hallinnasta. Owens Corning on erityisesti lasikuitua hyödyntävä Fortune 500 -teknologia-yritys. Yrityksiä analysoidaan tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

5.5.2 Patentoivat organisaatiot

Tarkasteltaessa tuloksia laajemmin koko patenttianalyysin verkoston osalta 2 862 patentilla on yhteensä 2 072 uniikkia hakijaa. Tätä alustavaa tulosta tarkennettiin yhdistämällä hakijoiden nimistä, esimerkiksi aineistossa olevan kirjoitusvirheen johdosta, virheellisesti uniikkeina esiintyneitä hakijoita. Tähän hyödynnettiin kirjoittoa, joka automaattisesti yhdistää esimerkiksi aineistosta löytyneet ”Ancho Wall Systems, Inc.” ja ”Anchor Wall Systems, Inc.” yhdeksi hakijaksi. Yhdistämisprosessin jälkeen aineistoon jäi 1 939 uniikkia hakijaorganisaatiota. Määrää voidaan pitää huomattavana, koska aineistossa yhdellä hakijalla on keskimäärin noin 1,5 patenttia.

Hakijaorganisaatioita, joilla on enemmän kuin 10 patenttia koko tarkastelujaksolla, on yhteensä 28. Ne vastaavat yhteensä 515 patentista, eli lähes 18 prosentista koko aineistosta. Taulukko 7 esittää edellä mainitut hakijat, ja se sisältää myös aiemmin esitellyt lämmöneristykseen ja rakennuselementteihin keskittyneet kolme yritystä. Merkittävää on huomioida, että kaikki listatut yritykset tuottavat uusia hakemuksia lähes vuosittain, mikä kertoo osaltaan systemaattisesta ja aktiivisesta tuotekehitystoiminnasta aihealueella ja myös tulosten aktiivisesta suojaamisesta. Poikkeuksena edellä mainitusta voidaan mainita Hunter Douglas, jonka nosti listaukseen yhtenä vuonna haettu merkittävä patenttijoukko.

Kuten taulukosta Taulukko 7 voidaan havaita, aineistosta esiin nousseet patenttimäärällisesti suurimmat organisaatiot ovat laajasti eri toimialoilta. Joukossa on useita selkeästi rakennusteollisuuden toimialan yrityksiä, kuten CertainTeed Corporation (Saint-Gobain tytäryhtiö), Saint-Gobain, Johns Manville, Owens Corning sekä lattiamateriaalivalmistajat Valigne (Välinge) ja Pergo. Joukkoon kuuluvat kuitenkin myös ilmailuteollisuuden yritykset Airbus ja Boeing. Edellä mainittujen lisäksi taulukossa on mainittuna myös kaksi tutkimusintensiivistä materiaalikehitysyhtiötä: DuPont sekä 3M. Kokonaisuutta tarkasteltaessa on myös hyvä huomata, että yhdistettäessä Saint-Gobain ja sen tytäryhtiö CertainTeed muodostuu tästä selkeästi aineiston suurin immateriaalioikeuksien hakija.

DuPontin ja 3M:n lisäksi tutkimusintensiivisistä materiaalikehitysyhtiöistä on syytä mainita BASF, joka on hakenut tarkastelujaksolla yhdeksää patenttia. Taulukon ulkopuolelta löytyy myös ensimmäinen tutkimusorganisaatio, University of Southern California, jolla on seitsemän patenttihakemusta. Tutkimukseen pohjautuvaa liiketoimintaa tekee myös Aspen Aerogels, Inc., jolla on yhteensä kahdeksan patenttia. Edellä mainitut patenttimäärät koko tarkastelujaksolla ovat kuitenkin huomattavan pieniä.

Kokonaisuudessaan tarkasteltaessa patenttihakijat voidaan karkeasti jakaa materiaalikehittäjiin, lento- ja ajoneuvoteollisuuteen sekä rakennusteollisuuden elementti- ja materiaalivalmistajiin. Rakennusteollisuudella on selkeästi nähtävissä yhteinen intressi lämmöneristysmateriaalien kehittämiseen erityisesti lento- ja ajoneuvoteollisuuden kanssa. Tästä voimakkaimmin aineistossa ovat näkyvissä lentokonevalmistajat, tosin taulukon ulkopuolelta on löydettävissä niin autovalmistajia kuin myös avaruusteollisuuden edustajia (NASA). Materiaalikehitykseen panostavat myös 3M, DuPont, ja BASF, joita voi pitää materiaalikehityksen monialayrityksinä, koska tuotteiden lopullinen hyödyntämisalue on hyvin laaja. Tuloksissa yllättää tutkimusorganisaatioiden puuttuminen aineistosta. University of California tekee tässä poikkeuksen, mutta kokonaisuudessaankin hakijoiden joukosta on löydettävissä alle 20 tutkimusorganisaatiota tai tutkimuslaitosta. Mikäli tätä verrataan esimerkiksi uusiutuvan energian tutkimukseen, jossa merkittävä osa patenttihakemuksista tulee tutkimusorganisaatiolta, voidaan spekuloida erityisesti

5. Teknologian kehitysnäkymät

soveltavan tutkimuksen olevan aihealueella pientä¹. Kokonaisuudessaan aineisto on homogeeninen ja vain Saint-Gobain nousee esille merkittävänä toimijana. Laajaa veturiyritysten rintamaa ei voida tunnistaa. Jatkokäsittely keskittyykin asi-
antuntija-arvion pohjalta valittuihin kohdeyrityksiin: 1) CertainTeed Corporation, Saint-Gobain, 2) Airbus, Boeing, 3) 3M, BASF ja DuPont.

Taulukko 7. Patenttien hakijaorganisaatiot, joilla oli tarkastelujaksolla vähintään kymmenen hakemusta.

Count	Assignee	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Count	Assignee	2005	2006	2007	2008	2009	2010
51	Valinge	5	10	3	25	3	5	13	Hunter Douglas		10	1		1	1
51	CertainTeed Corp.	18	5	3	5	6	14	12	DuPont	2		2	4	2	2
38	Saint-Gobain	2	8	7	5	3	13	12	General Electric Company		3	3	1	1	4
37	Uniliin Beheer	2	22	5	8			12	Huber Engineered Woods	4			3	1	4
27	USG Interiors		4	7	6	3	7	12	NICHIHA Corp		4	2	4	2	
22	Airbus	3		3	4	4	8	12	Tapco International Corp.		2		2	4	4
21	The Boeing Company	4	2	4	4	3	4	11	Building Materials Investment Corp.	3	1	3	1	1	2
20	Johns Manville	6	5	6	1	2		11	Hitachi	1	4	1	3	1	1
18	Simpson Strong-Tie Co	5	5	1	4	1	2	11	Honeywell International	1	1	1	2	2	4
16	Flooring Industries	2	6	1	3	3	1	10	3M		1	1	5	2	1
16	Owens Corning	6	2	4	2	2		10	Keystone Retaining Wall Systems	1			3	4	2
16	Worthington Armstrong Venture	2	4	5	2	3		10	Mitek Holdings	1	1	1	1	1	5
15	Pergo (Europe) AB	3	6	5			1	10	Nippon Steel Corporation	2	1	4	1	2	
14	United States Gypsum Company		4	3	4	2	1	10	Panasonic Corporation	1	5	2	1	1	
								Total count	591	478	388	457	455	493	

¹ Vertailukohtana voidaan esimerkiksi pitää patentointia suorametanolipolttokennojen osalta: Suominen, A. & Tuominen, A. (2010). Analyzing the direct methanol fuel cell technology in portable applications by a historical and bibliometric analysis. Journal of Business Chemistry, 7(3), 117–130.

Saint-Gobain ja sen tytäryhtiö **CertainTeed Corporation** ovat aineiston suurimmat patenttihakijat, erityisesti lämmöneristyksen osalta. Yrityksen kattavat eri patenttiluokkia laajasti ja ovat aineiston mittakaavassa sekä laajuudeltaan että kooltaan merkittäviä. Kuten liitteen A patenttikuvasta 2 voidaan havaita, vihreä alaverkosto kattaa sekä Saint-Gobain että sen tytäryhtiön osoittaen selkeitä yhteneväisyyksiä yritysten välillä. Molempien yritysten osalta patenttiluokat lämmöneristys (E04B 1/76), lämpöä eristävät elementit (E04B 1/78), muut kuitukaat (D04H 13/00) ja kerrokset huokoiset tuotteet (B04B 5/32) ovat keskeisessä osassa yhtiöiden patenttisalkkua. Aineiston valossa edellä mainitut yritykset ovat aineiston keskeisimmät yritykset.

Tarkasteltaessa lähemmin lentokonevalmistajia **Airbus ja Boeing** voidaan havaita valmistajien selkeä painotus eristysmateriaalien kehittämiseen ja voitaisiin spekuloida tämän johtavan myös rakennusteollisuudelle hyödyllisiin kehitysaskeleisiin. On kuitenkin huomattava, että patenttikuvassa 2 CertainTeedin kohdalla esiin noussut lämmöneristykseen keskittynyt klusteri ei ole näkyvässä liitteen toisessa kuvassa (liite A, patenttikuva 3), joka kuvaa lentokonevalmistajien immateriaalioikeuksien jakautumista patenttiluokkiin. Rakennusteollisuuteen liittyvien yleisten patenttiluokkien lisäksi lentokonevalmistajien patentit keskittyvät luokkiin E04B 1/82, E04B 1/84, E04B 1/82 ja E04B 1/74, jotka liittyvät äänieristykseen. Tulosten pohjalta näyttää siltä, että lentokonevalmistajien painopiste ei ole lämmöneristyksessä, vaan yhtiöiden oma tuotekehitys keskittyy äänieristykseen. Tämä ei sulje pois mahdollisuutta, että yhtiöt tekevät lämmöneristysmateriaalien kanssa kiinteää yhteistyötä muiden yritysten ja tutkimuslaitosten kanssa saaden näin käyttöönsä uusimpia lämmöneristysmateriaaleja. Voidaan jopa spekuloida, että lentokonevalmistajien tavoitteet pienentää koneiden polttoaineenkulutusta² pakottavat etsimään myös uusia, kevyempiä eristemateriaaleja, mutta näyttää siltä, että yritykset eivät kehitä näitä omana tutkimustoimintanaan.

Tarkasteltaessa materiaalikehitystä tekeviä yrityksiä 3M, DuPont ja BASF voidaan havaita yritysten eri tutkimusfokukset tämän aineiston osalta (liite A, patenttikuvat 4, 5 ja 6). Osittain jopa yllättävästi, aineiston kontekstissa, yritykset ovat kukin keskittyneet eri alaverkostoon, joita tarkastellaan lähemmin alla. Kuvaa tarkasteltaessa on otettava huomioon, että edellä mainittujen yritysten patenttimäärä aineiston valossa on marginaalinen: DuPont 12 kpl, 3M 10 kpl ja BASF 9 kpl, erityisesti suhteutettaessa määrät näiden tutkimusintensiivisten yritysten patenttien kokonaisvolyymiin.

Analysoitaessa BASF:n patenttihakemusten sijoittumista Saint-Gobainin ja CertainTeedin hakemusten rinnalla (liite A, patenttikuva 2) voidaan arvioida yritysten toimivan samalla alueella. BASF:n patenttihakemukset painottuvat samaan alaverkostoon kuin mihin merkittävä osa Saint-Gobainin ja CertainTeedin patenttihakemuksista. Painotuksellisesti on kuitenkin huomattava, että BASF:n osalta kyse on nimenomaisesti materiaalikehityksestä ja näin sen verkostosta puuttuvat pa-

² Esimerkkinä yritysten laajat Airbus A380 ja Boeing Dreamliner -hankkeet, joissa polttoaineenkulutuksen pienentäminen on ollut keskeistä.

tenttikuvassa 2 näkyvät rakennusteollisuuden spesifiset luokat. BASF:n osalta keskeisiksi muodostuvatkin luokat kuitukankaat (D03D) ja kerroksiset tuotteet (B32B).

3M, liitteen A patenttikuvassa 4, painottaa aineiston valossa tutkimustoiminnassaan pääasiallisesti äänieristystä, samoin kuin lentokonevalmistajat. Kun aineistoa tarkastellaan lähemmin, voidaan kuitenkin huomata, että 3M:n patenttihakemuksilla on liityntä lämmöneristysmateriaalien muotoa ja rakennetta käsittelevään luokkaan (F16L59/02) sekä luokkaan kerroksiset tuotteet synteettisestä hartsista (B32B 15/08). Vaikka 3M:n patentointi keskittyy tämän aineiston valossa suurelta osalta äänieristykseen, on patenteilla liityntäkohtia myös lämmöneristykseen.

DuPontin osalta ei voitu löytää merkittävää patenttihakemusten joukkoa, joka liittyisi suoraan lämmöneristykseen rakennusteollisuudessa. Aineiston valossa yhtiön painopisteenä on muiden muassa C08L, joka käsittelee makromolekulaaristen seosten rakennetta, sekä D03D, joka rajoittuu kuitukankaisiin.

5.5.3 Aerogeelit

Tutkimuksen osana analysoitiin aerogeealien hyödyntämistä lämmöneristyksessä koskevat patenttihakemukset. Aineistoksi kerättiin kaikki ajanjaksolla 1.1.1980–1.1.2012 Yhdysvaltojen patenttiviranomaiselle kirjatut patentit, joiden abstraktissa mainitaan sanat “aerogel”, “aerogels”, “aero gel” tai “aero gels”. Aineiston kokonaislaajuudeksi muodostui yhteensä 807 dokumenttia. Aineisto sisältää patenttihakemukset, myönnetty patentit sekä patenttien uusinnat.

Ensi tarkastelussa kerätyssä aineistossa on merkittävä joukko eristykseen mutta myös aerogeealien valmistukseen liittyviä patenteja. Patenttiluokkia analysoitaessa modulaarisuusalgoritmilla, joka korostaa aineistossa olevia klustereita, voidaan havaita, että lämmöneristystä koskevia patenteja on aineistossa vain pieni osuus. Klusterit osoittavat selkeästi, että merkittävä osa patenteista on joko itse aerogeealien tai niiden valmistusprosessiin keskittyviä. Liitteen A patenttikuvassa 7 erityisesti lämmöneristykseen liittyvät patentit ovat nähtävissä sinisenä klusterina, joka on suurennuttu kuvasta erikseen.

Toisin kuin lämmöneristyksessä aiemmin, aerogeealien kohdalla neljä kymmenestä suurimmasta organisaatiosta on julkisia organisaatioita. University of California on patentoijista suurin kymmenellä aerogeeleihin liittyvällä patentilla. Patentoivat organisaatiot jakaantuvat kuitenkin myös aerogeealien osalta laajalle. Mukana on esimerkiksi lääkeyrityksiä (Hoechst AG), ICT- ja mikroelektroniikkayrityksiä (Texas Instruments) sekä yrityksiä kuten Cabot Corporation, BASF, Gore Enterprise Holdings ja Aspen Aerogels, jotka ovat lähempänä tarkastelussa olevaa rakennusteollisuuden hyödyntämisenäkökulmaa. Cabot Corporation³ ja Aspen Aerogels⁴ pyrkivät hyödyntämään nimenomaisesti aerogeelejä laajalti, BASF ke-

³ <http://www.cabot-corp.com>

⁴ <http://www.aerogel.com>

hittää materiaaleja laajalla rintamalla sekä toimii myös sijoittajana kehitysyhtiöihin, kuten Aspen Aerogelsiin, riskisijoitusyhtiönsä kautta⁵. Gore Enterprise Holdings on taas W.L. Gore and Associatesin tytäryhtiö, jonka emo on elektroniikkaan, kankaisiin ja teollisiin materiaaleihin keskittyvä teknologiayhtiö⁶.

Kokonaisuudessa voidaan arvioida, että julkisten organisaatioiden sekä tutkimusintensiivisten yritysten korostunut rooli antaa hyvän käsityksen teknologian nykytilasta. Edellä mainittujen organisaatioiden tavoitteena on kehittää teknologiaa, jota voisi kannattavasti lisensoida tulevaisuudessa. Toiminnan aikajänne on todennäköisesti pitkä, eikä tuottajia odoteta lyhyellä aikavälillä. Patenttien määrän kasvun voidaan kuitenkin sanoa olevan osoitus teknologian keskipitkän aikavälin mahdollisuuksista.

Tarkasteltaessa tuloksia tarkemmin, erityisesti lämmöneristyksen osalta, voidaan yrityksistä erityisesti huomioida BASF. Yritys patentoi aerogeeliteknologiaa itse, mutta investoi teknologian kehitykseen myös suurin sijoituksin kehitysyhtiöksiin. Tarkempaa analyysiä varten olisi mielekästä perehtyä sekä BASF:n että Aspen Aerogelsin patenttisalkkuun erityisesti huomioiden se, että BASF ei ole patentoinut itse aerogeeliin liittyen sitten vuoden 2000, jolloin Aspen Aerogels alkoi patentoida omaa immateriaaliomaisuuttaan.

Aineistosta on myös syytä nostaa esille myös NASA:n ja Gore Enterprise Holdingsin patenteja. NASA on patentoinut aerogeeli-/polymeerimateriaalin, jolla on suuri lämmön eristyskyky. Huomioiden organisaation sovellusalue voidaan patenttia pitää sovellusalueeltaan laaja-alaisena. Gore Enterprise Holdings taas patentoi aerogeelin, joka sisältää polytetrafluoroethylene (PTFE) -sideaineen, jolla on matala lämmönjohtokyky. Edellä mainittujen esimerkkien tavoin aineistossa on useita yksittäisiä lämmön eritykseen liittyviä mielenkiintoisia patenteja, mutta nämä eivät edusta aineiston merkittävintä osaa.

Aineiston pääosa on vihreä alaverkosto liitteen A patenttikuvassa 7, jota voidaan kuvata nimellä materiaalityöntö. Kuten on mainittu aiemmin, merkittävä osa aineistosta aerogeeliin liittyen voidaan kategorisoida ns. yleiseen aerogeelien kehityksen luokkaan. Tämän voidaan väittää olevan tyypillistä kehittyvälle teknologialle – patenteista merkittävä osa on itse teknologiaa kehittäviä ja tämän lisäksi yksittäisiä patenteja syntyy eri sovellusalueille.

Yhteenvedon: aerogeelien patentit erityisesti lämmön eristyksen osalta on nähtävissä liitteen patenttikuvassa 7 sinisenä alaverkostona. Tämän alaverkoston, joka on pieni kooltaan, patentit keskittyvät luokkiin "working-up of macromolecular substances to porous or cellular articles or materials" (C08J 9/00), "shape or form of insulating materials" (F16L 59/02) ja "general constructional features specifically walls" (F25D 23/06). Tämän alaverkoston osalta merkittävimpiä yrityksiä ovat Aspen Aerogels, Inc. (8 patenttia), Imperial Chemical Industries PLC (5 patenttia), Cabot Corporation (4 patenttia) ja NASA (4 patenttia).

⁵ Tiedote: <http://press.aerogel.com/index.php?s=25881&item=66360>

⁶ http://www.gore.com/en_xx/aboutus/index.html

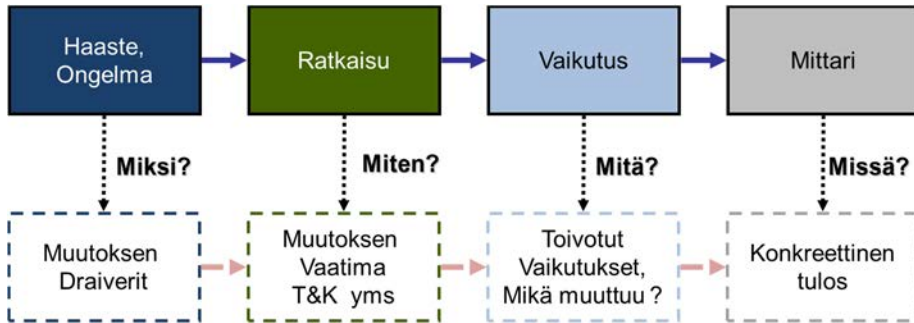
6. Asiantuntijahaastattelut ja työpaja

Haastattelujen ja työpajan tarkoituksena oli saada mahdollisimman kattava kuva rakennusten lämmöneristämiseen ja sen tulevaisuuden näkymiin liittyvistä tekijöistä. Hankkeessa haastateltiin yhteen 23 asiantuntijaa. Taulukko 8 esittää haastateltujen taustojen jakautumisen.

Taulukko 8. Haastateltujen taustat.

Haastateltujen työnkuva	Lukumäärä
Tutkimus	9
Lämmöneristeitä ja -materiaaleja valmistava teollisuus	6
Rakennusteollisuus	3
Arkkitehdit	3
Viranomaiset	1
Teollisuutta edustavat järjestöt	1

Haastattelujen lisäksi järjestettiin 1.10.2013 teollisuudelle suunnattu työpaja, jossa alustusten jälkeen aktivoitiin osallistujat kehityspolkujen hahmottamiseen. Työpajaan osallistui 28 henkeä, joista 20 oli teollisuudesta (lämmöneristetuotteiden ja -materiaalin valmistus, rakentaminen) tai sitä edustavista järjestöistä, muut ympäristöministeriöstä ja VTT:stä. Kuva 29 esittää työpajan sisällön. Aluksi käytiin läpi nykytilanne, sen esteet, mahdollisuudet ja visiot eri aihealueille sekä muutoksen vaikutusten mittarit. Toisessa vaiheessa esitettiin toimenpiteitä, joilla voidaan edetä vision mukaisen tavoitetilan suuntaan, ja keskusteltiin ehdotuksista.



Kuva 29. Työpajan aktiivisen osan sisältö.

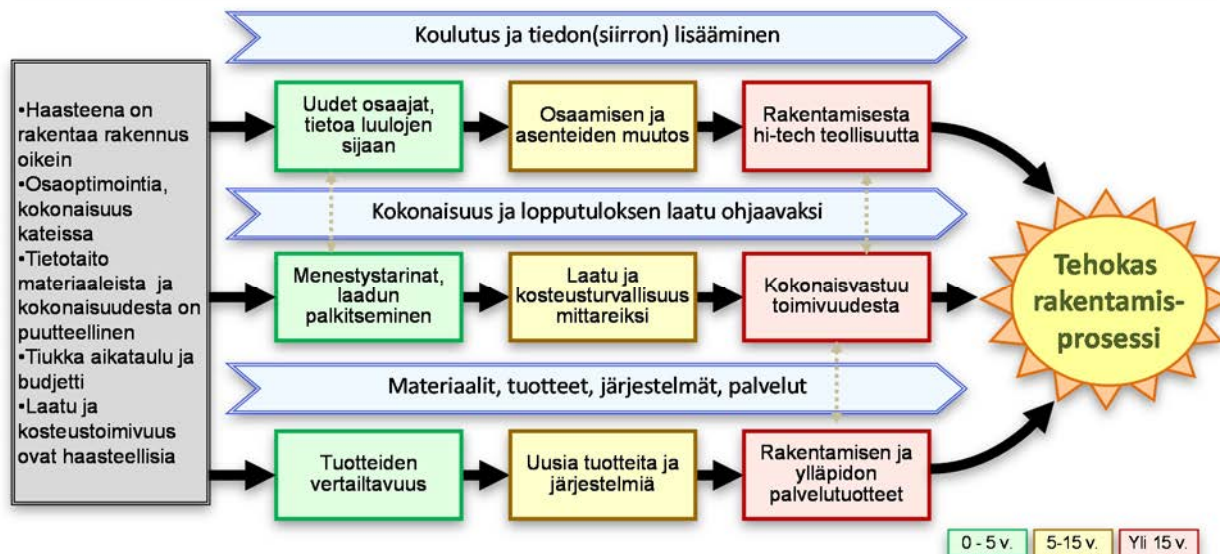
Saatu aineisto analysoitiin ryhmittelemällä se eri asiakokonaisuuksien mukaan. Haastattelujen tai työpajan tuloksia ei esitetä sellaisenaan, ja aineisto jää työn tilaajien ja tekijöiden käyttöön. Haastatteluaineiston avulla on koostettu kehityspotut, jotka esittävät tulevan kehityksen arvioita ja sen välivaiheita eri näkökulmista.

Rakentamisprosessi oli varsinaisen selvityksen painopisteen ulkopuolella, mutta sen merkitys nousi haastatteluissa ja työpajan tuloksissa eri osa-alueilla erääksi tärkeimmistä kehitettävistä asioista. Rakentamisprosessi nähtiin nykymuodossaan kehitystä hidastavana tekijänä. Nykykäytännön mukainen rakentamisprosessi ei tue uusia sovellutuksia, eikä se ohjaa kokonaisuuden laadun varmistamiseen. Totuttujen ratkaisujen toistaminen ja osaoptimointi ei johda laadukkaaseen toteutukseen, ja uuden teknologian soveltaminen tässä ympäristössä tuo lisää muuttujia toteutuksen hallintaan.

Tavoitetilana olisi prosessin parantaminen siten, että laatu nousee tärkeimmäksi tekijäksi. Tämä olisi yleisesti tarpeen rakentamisen laadun nostamiseksi ja erityisesti uusien tuotteiden ja rakennusratkaisujen soveltamisen mahdollistamiseksi. Esimerkkinä esitetään rakentamisprosessille tehty pelkistetty kehityspotku (Kuva 30).

Kehityspolku: Rakentamisen prosessi

Tavoitteet	Rakennusprosessi voidaan toteuttaa laadukkaasti ja kustannustehokkaasti alusta loppuun
Mahdollistajat	Koulutus, huipputaajia suunnitteluun ja toteutukseen, rakennetaan kokonaistoimivuus ja laatu tavoitteena, 0-energiatalo nähdään mahdollisuutena, optimaaliset materiaali- ja rakennevalinnat, menestystarinat, hyvät (uudet) tuotteet
Esteet	Alan asenteet ja hitaus muutoksille, katteiden pelätään heikkenevän, suunnittelun vähäiset resurssit, halutaan myydä/ostaa m2 laadun sijaan, työmailla liian monta peluria, materiaalien vaihto hankalaa, prosessi loppuu kun rakennus on valmis



Kuva 30. Rakentamisprosessin kehityspolun pelkistetty esitys.

7. Kehityspolut

Rakenteiden lämmöneristämisen ja yleensä rakennusvaipan lämpöteknisen toimivuuden kehityspolut muodostettiin eri näkökulmista, jotka kuvaavat kehityksen tavoitetasoja ja toimenpiteitä eri tekijöiden kannalta. Työssä käytetty kehityspolkujen jaottelu oli seuraava:

1. Markkinat
2. Määräykset
3. Teollisuus – rakentamisen palvelut
4. Teollisuus – rakentamisen tuotteet
5. Tutkimus.

Markkinat-osio pitää sisällään muun muassa suuren yleisön ja loppuasiakkaiden sekä rakennusten käyttäjien toiveet, käsitykset ja asenteet, jotka ovat muodostuneet pääosin julkisuudessa esillä olevasta informaatiosta. Tämä vaikuttaa osaltaan kysynnän muodostumiseen.

Määräykset-osiossa käsitellään kehitystä viranomaisten kannalta, miten määräysten avulla voidaan vaikuttaa uusien tuotteiden ja rakennejärjestelmien käyttöön, kun tavoitteena on varmistaa toimivat eko- ja energiatehokkaat ratkaisut.

Teollisuus-osio on jaettu kahteen erikseen tarkasteltavaan alueeseen, palveluihin ja tuotteisiin. Uusien tuotteiden soveltaminen ja visioissa asetettujen tavoitetasojen saavuttaminen edellyttää uusia palvelutuotteita.

Tutkimus liittyy kaikkien muiden osa-alueiden tavoitteisiin ja tehtäviin.

Tämän jaottelun lisäksi esitetään erikseen lämmöneristeiden kehityspolut käyttäen tässä julkaisussa esitettyä jaottelua:

- a. perinteiset lämmöneristeet
- b. kehittyvät lämmöneristeet
- c. monitoimiset vaippajärjestelmät.

Kehityspolut esitetään graafeina, jotka havainnollistavat nykytilan, ympäristövaikutukset, tavoitetasot ja toimenpiteet tavoitteisiin pääsemiseksi. Kuva 31 esittää yhteenvedon tulevaisuuden lämmöneristeratkaisujen kehityspolusta.

Kunkin eri osatekijän (Markkinat, Määräykset, Rakentamisen palvelut, Rakentamisen tuotteet ja Tutkimus) kehityspolut esitetään seuraavassa erillisinä graafeina. Kehityspoluissa esitetään:

7. Kehityspolut

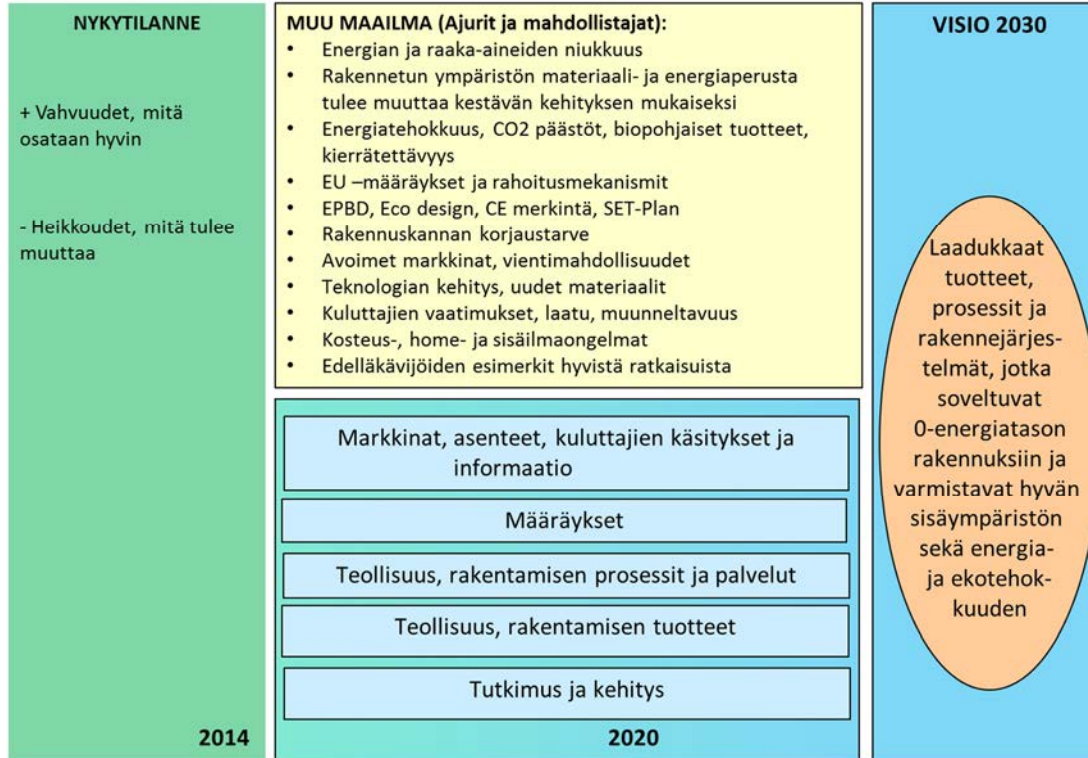
Ympäristön ajurit ja mahdollistajat, jotka vaikuttavat kehityksen tarpeisiin ja suuntaan. Keskellä kuvan yläosassa.

Nykytilanteen heikkoudet ja vahvuudet, joita muuttamalla ja hyödyntämällä päästään etenemään tavoitetilaa kohden. Kuvan vasen laita.

Visiot esittävät toivottuja ja mahdollisia tavoitetiloja, joita kohden pyritään. Kuvan oikea laita.

Vaiheet ja toimenpiteet, joiden avulla voidaan edetä tavoitetilaa kohden. Keskellä kuviota.

Kokonaiskuva



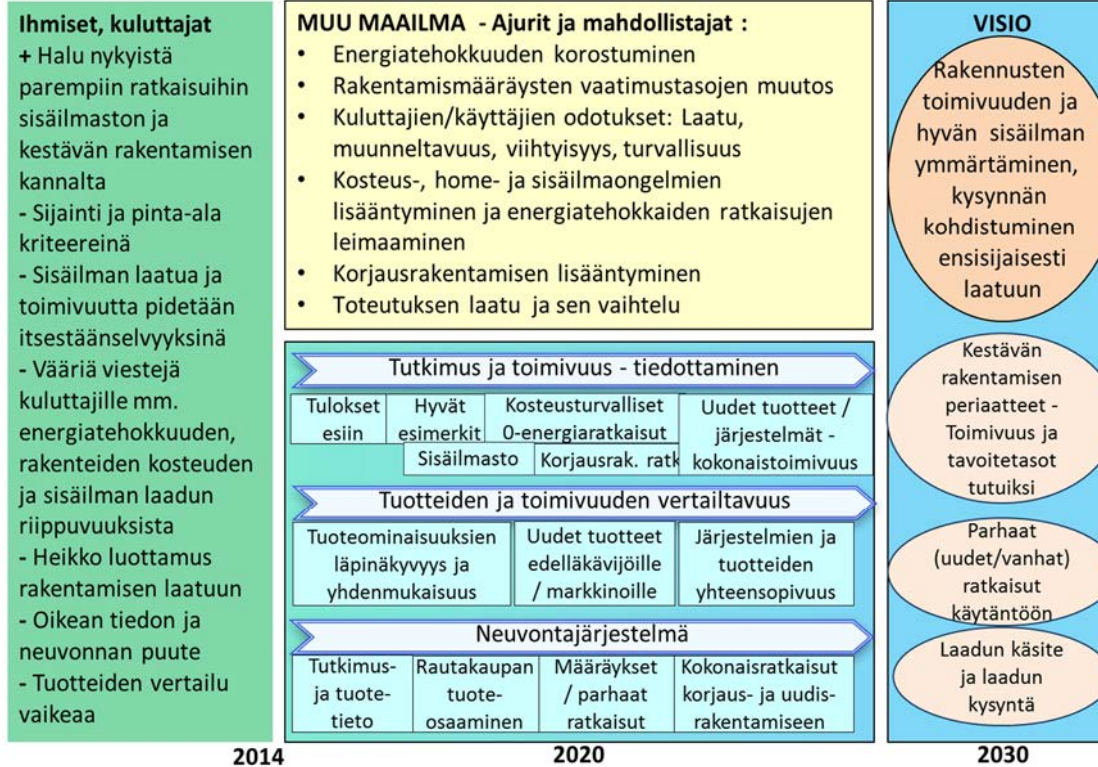
Kuva 31. Tulevaisuuden lämmöneristeratkaisujen kehityspolun eri tekijät.

7.1 Markkinat

Tulevaisuuden lämmöneristeratkaisussa markkinoiden kehityspolku korostaa laadun kysynnän merkitystä. Rakennuksen kokonaistoimivuuden, hyvän sisäilman ja kestäväen rakentamisen periaatteiden ymmärtäminen on keskeistä, kun halutaan suunnata kysyntää rakentamisen laatuun. Kysynnän lisääntyminen edistää laadukkaiden kokonaisjärjestelmien tarjontaa (Kuva 32).

Yhtenä toimenpidelinjana on oikean tiedon jakaminen rakenteiden toimivuuden ymmärtämiseksi. Toisena on tuotteiden ja järjestelmien toimivuustietojen esittäminen vertailukelpoisesti niiden valinnan helpottamiseksi ja parhaiden kestäväen rakentamisen mukaisten ratkaisujen löytämiseksi. Kolmantena on informaation tueksi tarjottava neuvonta käytännön uudis- ja korjausrakentamisen tuotteiden, järjestelmien ja kokonaisratkaisujen valintaan.

Markkinat, informaatio, käsitykset ja asenteet



Kuva 32. Markkinoinhin ja kysyntään vaikuttavat tekijät kehityspolulla.

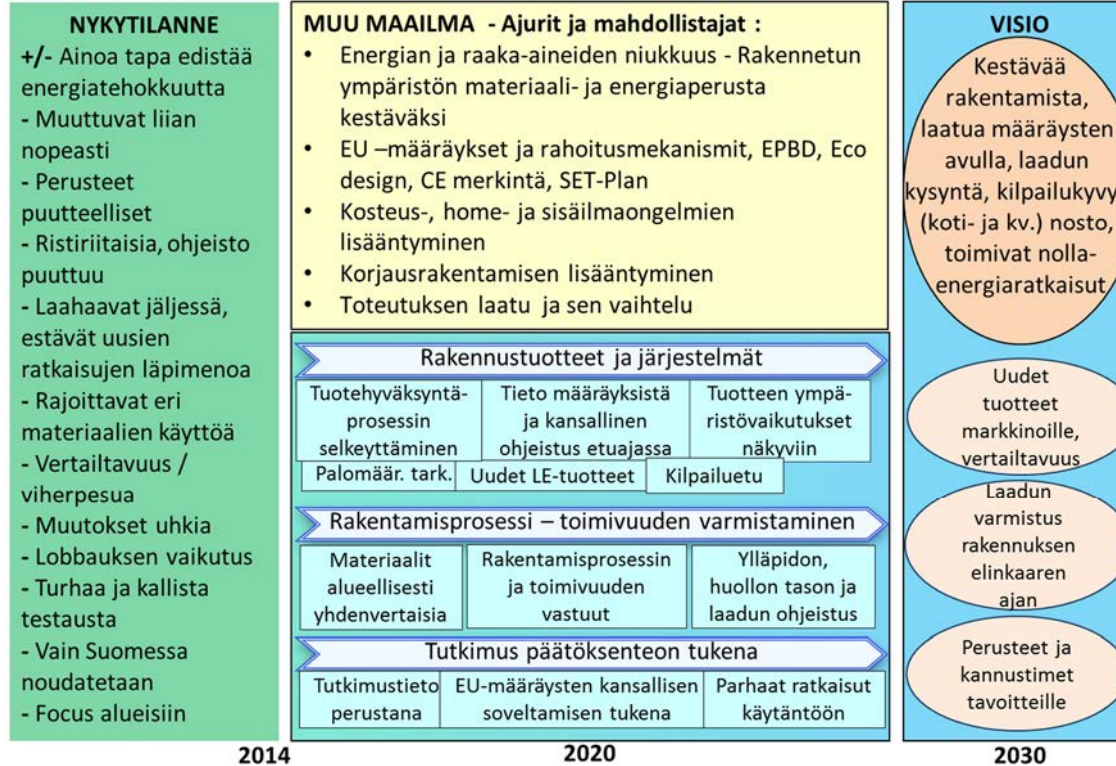
7.2 Määräykset

Määräykset ovat välttämättömiä ohjaamaan rakentamista oikeaan suuntaan, ja esimerkiksi energiatehokkuuden osalta ne nähdään ainoana keinona viedä asiaa käytäntöön. Määräykset koetaan usein hankalina ja niiden aiheuttamat muutokset nähdään uhkina, ei mahdollisuuksina. Niiden ei myöskään koeta edistävän uusien materiaalien tai ratkaisujen käyttöä.

Kestävä rakentaminen nähdään tavoitetilana, johon myös määräysten tulisi ohjata kehitystä. Kestävä rakentaminen tarkoittaa eko- ja energiatehokasta rakentamista, rakennuksen toimintaa ja sen ylläpitoa. Lisäksi tähän voi sisältyä muuntojoustavuus uusien toimintojen tai järjestelmien integroimiseksi kokonaisuuteen rakennuksen ylläpidon tai korjausten yhteydessä. Tavoitetila pitää sisällään rakentamisen laadun noston sekä tuotteiden vertailtavuuden varmistamisen.

Toimenpiteet on jaoteltu tuotteiden ja järjestelmien hyväksynnän ja ominaisuuksien vertailtavuuden kehittämiseen, rakentamisprosessin laadun varmistukseen sekä tutkimuksen hyödyntämiseen päätöksenteon tukena. Kuva 33 esittää kehityspolun määräysten kannalta.

Määräykset



Kuva 33. Määräysten kehityspolku, visiona on rakentamisen laadun parantaminen.

7.3 Rakentamisen palvelut

Rakentamisen prosessien ja tuotteiden osalta nykytilanteessa on hyvää osaamista tuotetasolla ja niiden soveltamisessa (Kuva 34 ja Kuva 35). Toteutus on kuitenkin liian usein kunkin tekijän oman alueen osaoptimointia, jossa rakennuksen kokonaisuutta ei ole otettu huomioon. Markkinadynamiikka koetaan hitaaksi, jolloin päädytään tuttuihin ratkaisuihin, mikä ei edistä alan kehittymistä kokonaisuutena. Tämä kokonaisuus nähdään eräänä syynä heikoksi koetun laadun takana.

Tavoitteena rakentamisen palveluiden osalta on kehittää rakentamista toisiaan tukevien palvelukonseptien ja niitä täydentävien tuotteiden avulla. Toimivuuksajattelu tulee siirtää kokonaisuuden pitkäaikaiseen hallintaan ja tämän takaamiseen. Toimintatapa tulee muuttaa vastaamaan hi-tech-teollisuutta, esimerkiksi autoteollisuutta, jossa pitkälle jalostetut, esivalmistetut komponentit voidaan liittää työmaalla mahdollisimman nopealla ja varmalla tavalla halutut ominaisuudet sisältäväksi kokonaisuudeksi. Sisäympäristö tulee rakennusten tärkeimmäksi toimivuukskriteeriksi.

Uusien järjestelmien ja prosessien kehitys tuo rakentamiseen uusia tekijöitä, jotka hallitsevat rakennuksen kokonaistoimivuuden suunnittelussa, toteutuksessa ja ylläpidossa. Integroitujen ratkaisujen tutkimus- ja kehitystyö johtaa uusien toimintavarmojen, monitoroitavien ja muuntojoustavien järjestelmien kehitykseen. Pilottihankkeiden avulla voidaan osoittaa uusien ratkaisujen toimivuuks käytännössä.

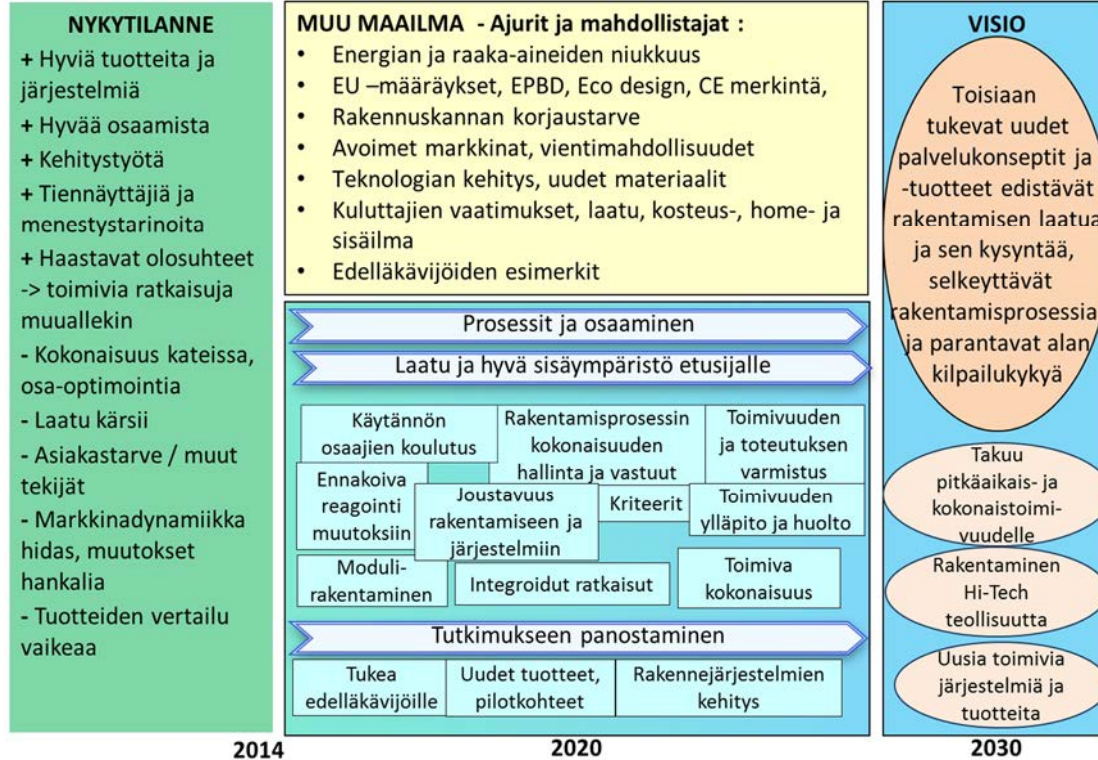
7.4 Rakentamisen tuotteet

Rakentamisen tuotteiden lähtökohdat ovat pitkälti samat kuin rakentamisen palvelutuotteiden. Myös tavoitteet ovat leikkaavia. Kestävän rakentamisen tuotteita ja järjestelmiä voidaan soveltaa tarkoituksenmukaisella tavalla tuottamaan nolla-energiatalon rakennusvaippa, joka yhdessä muiden järjestelmien kanssa varmistaa laadukkaan sisäympäristön. Perustana on integroitavista moduuleista koottava kokonaisuus, jota voidaan joustavasti täydentää muuttuvien tarpeiden mukaan.

Toimenpiteitä ovat uusien materiaalien ja tuotteiden sekä niitä tukevien järjestelmien kehitys. Esivalmistetuissa komponenteissa voidaan hyödyntää erilaisia materiaaleja, kuten erilaisia lämmöneristeitä, tarpeenmukaisella tavalla, jossa otetaan huomioon lämpö- ja kosteustekniset toimivuuksvaatimukset (Kuva 35).

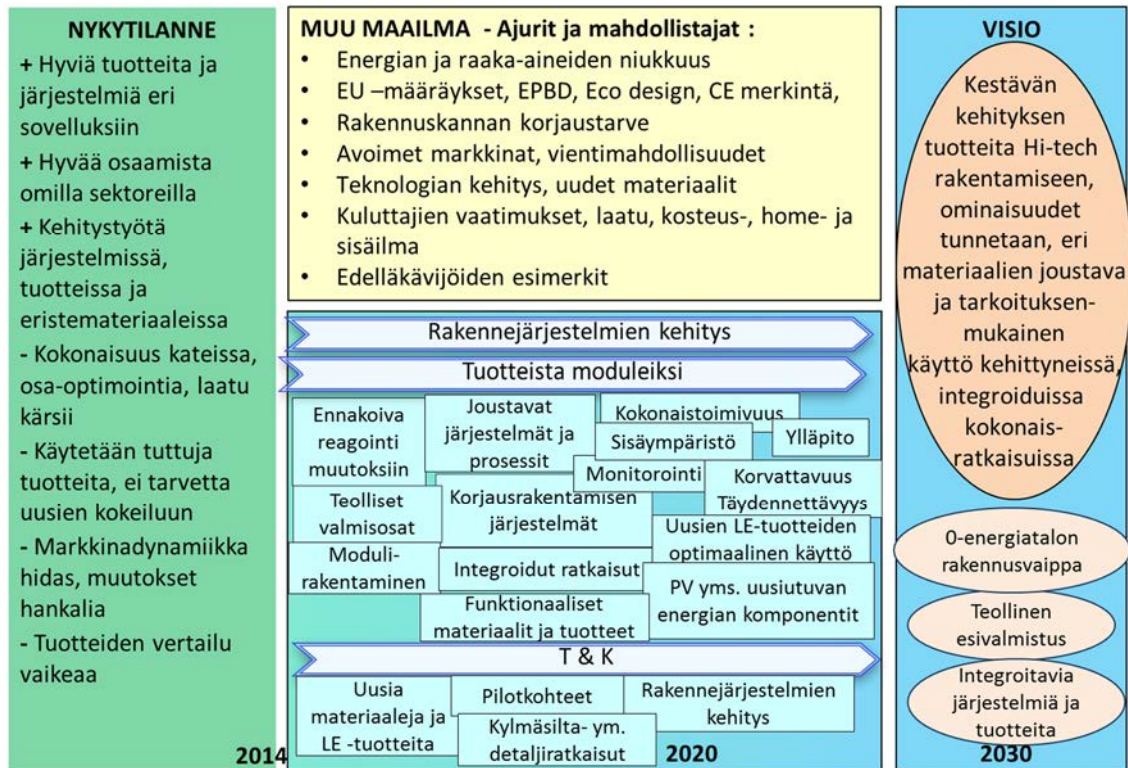
Yleiseltä rakennustuotetasolta voidaan kehityspolkuja tarkentaa rakennusvaiipan lämmöneristeisiin ja muihin sen lämpötekniseen toimintaan vaikuttaviin tuotteisiin.

Teollisuus - Rakentamisen palvelut



Kuva 34. Rakentamisen palveluiden kehityspolku.

Teollisuus – Rakentamisen tuotteet



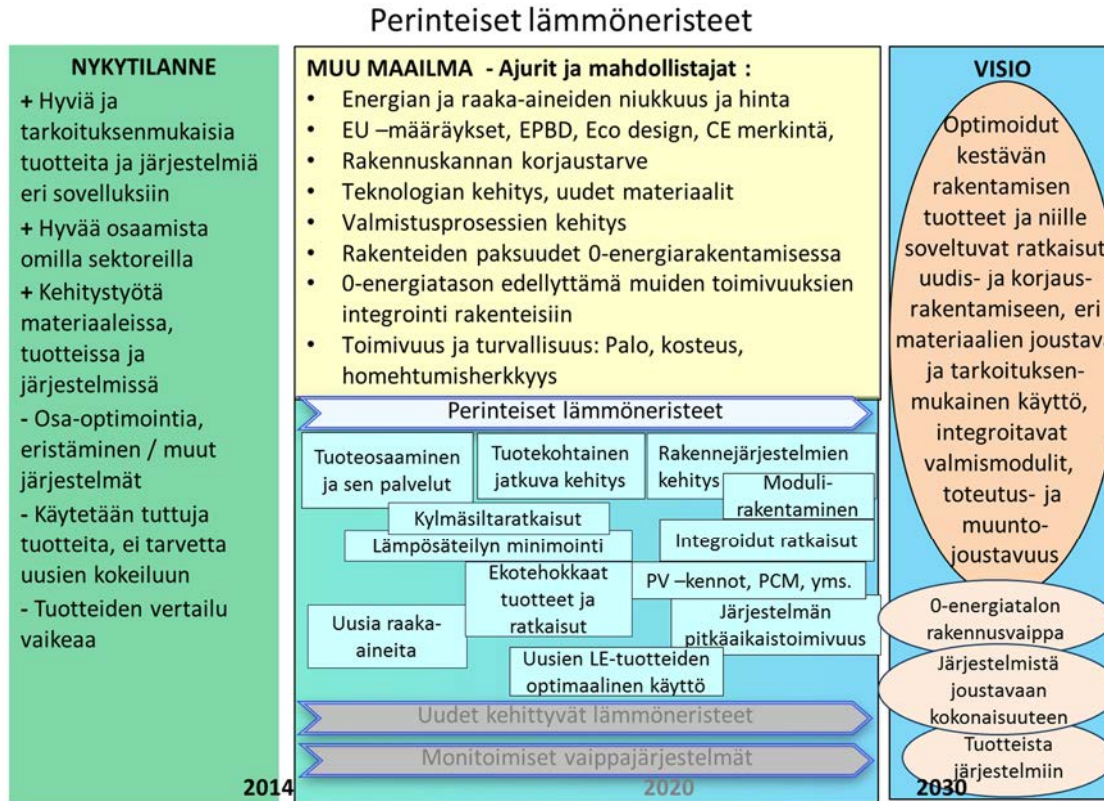
Kuva 35. Rakentamisen tuotteiden kehityspolku.

7.4.1 Lämmöneristet tuotteiden kehityspolut

Lämmöneristeiden tarkastelu on jaettu aiemmin esitetyn mukaisiin kolmeen ryhmään: perinteiset lämmöneristeet, uudet, kehittyvät lämmöneristeet ja monitoimiset vaippajärjestelmät. Näiden kehityspolut esitetään seuraavassa (Kuva 37, Kuva 38 ja Kuva 38).

Perinteisiin lämmöneristeisiin kuuluvat tuotteet ovat pitkään markkinoilla olleita, yleisesti tunnettuja ja laajasti rakentamisessa käytettyjä. Niitä on kehitetty pitkään, niistä on eri käyttösovellutuksiin soveltuvia tuoteversioita ja ne ovat tyypillisesti tuotekehityksen loppupäässä. Merkittävää toimivuuden parantumista voidaan tyypillisesti saavuttaa raaka-ainetta muuttamalla, jolloin voidaan vaikuttaa esimerkiksi säteilylämmönsiirtymiseen, valmistuskustannuksiin tai ekotehokkuuteen.

Perinteisten lämmöneristeiden kehityspolun (Kuva 36) tavoitetilaksi on asetettu rakentamisen tuotteiden ja palveluiden yhteydessä esiin nostettu moduulirakentaminen, jossa teollisesti esivalmistetut moduulit voivat koostua tarkoituksenmukaisesti eri lämmöneristekerroksista. Uudis- ja korjausrakentamiseen kehitetyt järjestelmät niihin sopivine tuotteineen mahdollistavat nollaenergiatalon rakennusvaipan toteutuksen tarkoituksenmukaisista lämmöneristet tuotteista. Sovellutusten kehittäminen on eräs ratkaisu pitkälle hiottujen tuotteiden kehityspolulla. Esimerkiksi kylmäsiirtokohtien ratkaisut voidaan optimoida käyttämällä sekä perinteisiä että ns. supereristeitä samoissa rakenteissa.



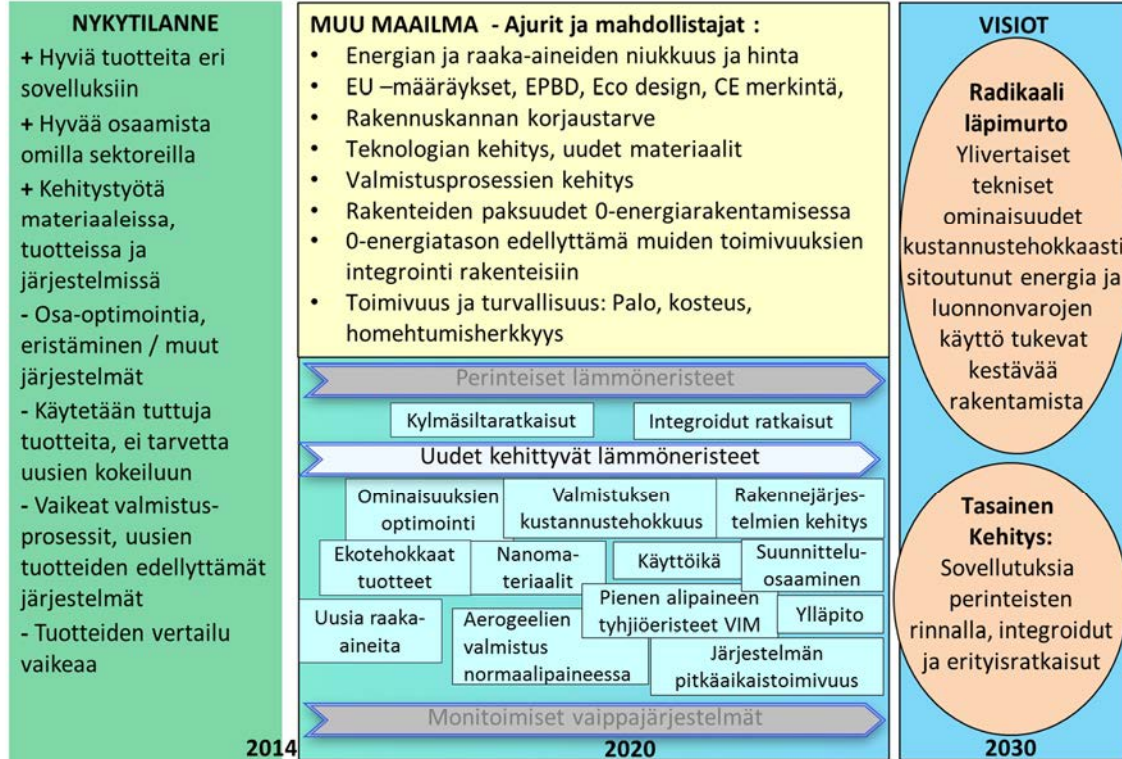
Kuva 36. Perinteisten lämmöneristeiden kehityspolku.

Uusien, kehittyvien lämmöneristeiden (Kuva 37) eräänä keskeisenä haasteena on valmistusprosessin kehittäminen niin, että lopputuloksena on valmistuskustannusten, luonnonvarojen käytön ja tuotteen teknisten ominaisuuksien perusteella nykyisiä parempi tuote rakentamiseen. Monien uusien tuotteiden lämmönjohtavuus voidaan saada hyvin alhaiseksi, ns. supereristetasolle. Kun tuotteen muut ominaisuudet saadaan samalle tasolle tai varmemmiksi kuin perinteisillä lämmöneristeillä, jäävät valmistuksen kustannukset kynnystekijäksi.

Kehityspolulla on kaksi eritasoista visiota. Toisessa panostus tuotekehitykseen tuo markkinoille uusia tuotteita tasaisesti ja ne valtaavat uusia sovellutusalueita. Ne ovat kuitenkin tuotteita muiden joukossa, ja niiden käyttö perustuu edelleen pääosin erityiskohteisiin rakennuksessa tai rakenteissa. Ne eivät suoraan vie perinteisten tuotteiden päämarkkinoita, mutta tuovat lisää valintamahdollisuuksia eri ratkaisuihin.

Toisessa visiossa panostus uusien materiaalien ja tuotteiden kehitykseen johtaa ennen pitkää radikaaliin läpimurtoon, jossa teknisesti yliveraisia uusia tuotteita voidaan tuottaa perinteisten tuotteiden kanssa kilpailukyiseen hintaan massatuotantona. Tämä kehitys johtaa murrokseen lämmöneristystuotteiden markkinoissa. Uusia tuotteita voidaan ehkä soveltaa nykyjärjestelmissä, mutta niiden kilpailukyinen soveltaminen edellyttää niille soveltuvien rakennejärjestelmien kehittämistä. Kilpailu ei välttämättä tapahdu pelkästään tuotteiden välillä, vaan entistä enemmän järjestelmien välillä.

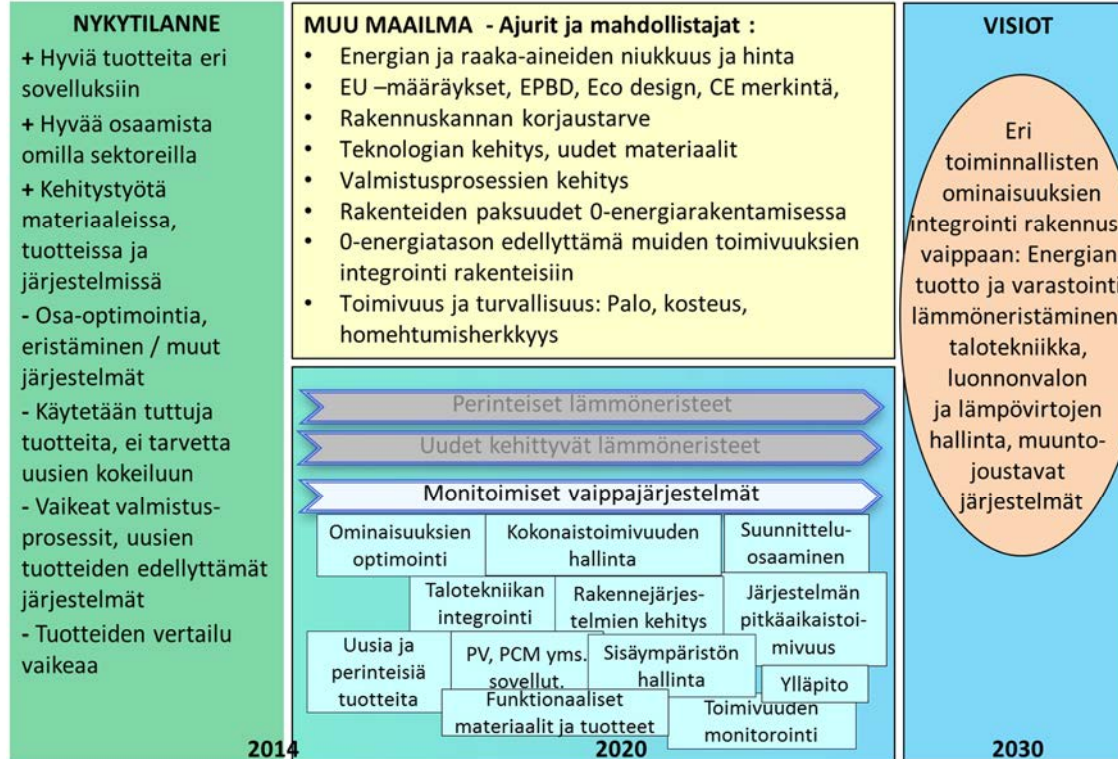
Uudet kehittyvät lämmöneristeet



Kuva 37. Kehityspolku uusille, kehittyville lämmöneristetuotteille.

Kolmantena rakennusvaipan lämpötekni­sen toimivuuden tuotteiden kehityspolun linjana ovat monitoimiset vaippajärjestelmät (Kuva 38). Näissä integroidaan rakennusvaipan eri toimintoja yhteen siten, että lämmöneristäminen, lämmön ja energian tuotto, luonnonvalon hyödyntäminen ja lämmön varastointi sekä mahdolliset talotekniset järjestelmät ja näiden monitorointi liittyvät ulkovaipan moduuleihin. Rakenteet voidaan koota muuntojoustavista moduuleista, joita voidaan vaihtaa tarpeiden muuttuessa ja moduulien ominaisuuksien kehittyessä.

Monitoimiset vaippajärjestelmät



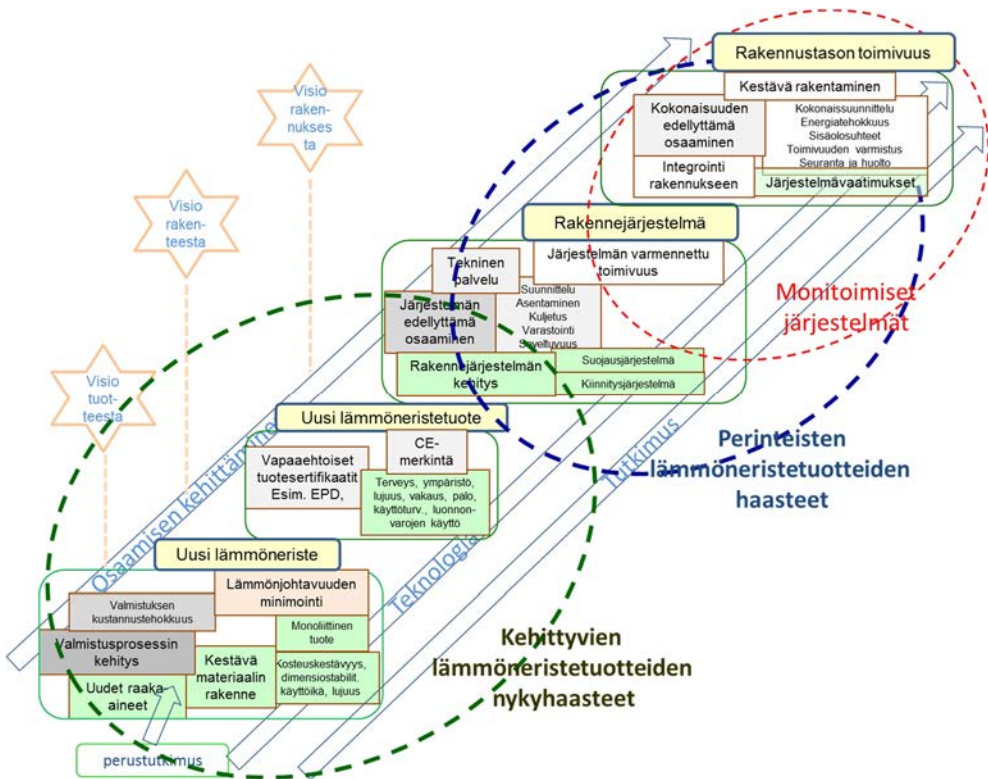
Kuva 38. Monitoimisten vaippajärjestelmien kehityspolku.

7.4.2 Eri vaiheet kehityspolulla

Kuva 39 esittää kehityspolun lämmöneristemateriaalista tuotteeksi ja edelleen järjestelmäksi osana rakennuksen kokonaistoimintaa. Hyvin lämpöä eristävä materiaali muuttuu lämmöneristetuotteeksi vasta, kun tuote täyttää sille asetetut toimivuusvaatimukset. Tuotetta voidaan käyttää rakentamiseen tuoteominaisuuksien mahdollistamissa sovellutuksissa. Uusia tuotteita voidaan mahdollisesti käyttää olemassa olevissa rakennejärjestelmissä, kunhan niiden toimivuus näissä on varmistettu. Usein uudet tuotteet voivat toimia parhaiten, jos niiden sovellutukset räätälöidään tuotteen ominaisuuksien mukaisesti olemassa olevia järjestelmiä hyödyntäen tai mahdollisesti kehittäen kokonaan uudet sovellutusjärjestelmät.

Rakennejärjestelmät vaikuttavat rakennuksen toimivuuteen yhdessä taloteknisten järjestelmien kanssa. Eri järjestelmien keskinäinen yhteensopivuus sekä sisä- ja ulkoilmaston kuormat vaikuttavat koko rakennuksen toimivuuteen. Ensisijaisena tavoitteena on varmistaa turvallisten, terveellisten, viihtyisien ja tuottavien sisäympäristön olosuhteiden ylläpito. Kun järjestelmät ovat hyvin yhteensopivia, voidaan päästä energiatehokkaaseen lopputulokseen. Näiden lisäksi ekotehokkuus tulee merkittäväksi tekijäksi soveltuvien tuotteiden ja järjestelmäratkaisujen arvioinnissa ja vertailussa.

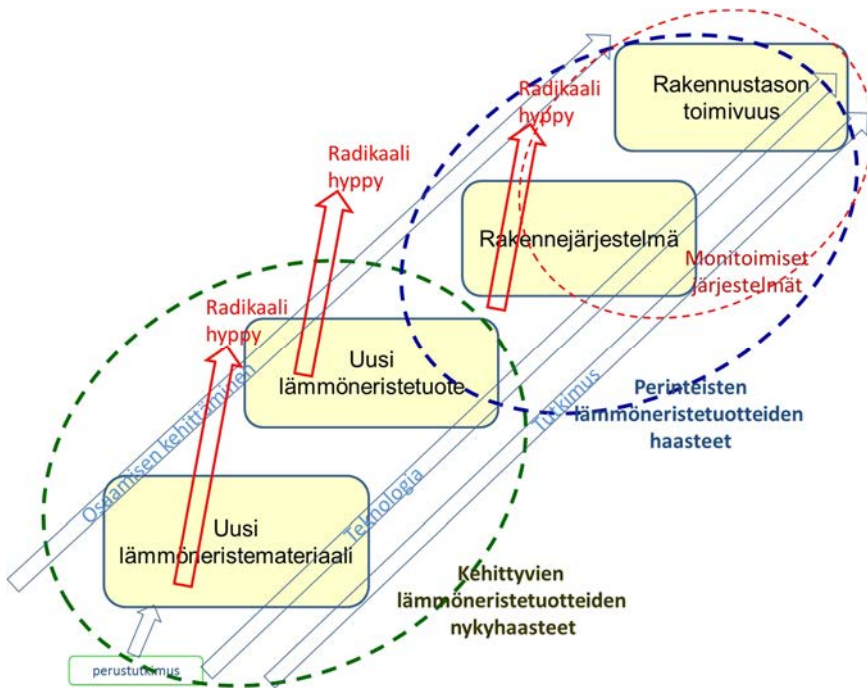
Uuden lämmöneristeen vaikutus loppupäässä rakennuksen toimivuuteen riippuu olennaisesti sille soveltuvien järjestelmien pitkäaikaistoimivuudesta ja yhteensopivuudesta muiden järjestelmien kanssa.



Kuva 39. Lämmöneristeen kehityspolku materiaalista tuotteeksi ja sen rakennejärjestelmäsovellutusten kautta osaksi rakennustason kokonaisuutta.

Kehitettäessä uusia lämmöneristetuotteiden voidaan kehitystyön jossain vaiheessa saavuttaa huomattava parannus tuotteen tai järjestelmän teknisissä ominaisuuksissa tai kustannustehokkuudessa, mikä aiheuttaa radikaalin hypyn kehityslinjassa (Kuva 40). Tällaisten uusien tuotteiden syntyminen voi todennäköisesti johtaa merkittäviin muutoksiin markkinoilla. Jos uuden tuotteen tekniset ominaisuudet ovat monilta osin perinteisiä paremmat ja valmistuskustannukset ovat ominaisuuksiin verrattuna kohtuulliset eikä tuotteen soveltamiseen liity olennaisia uusia riskitekijöitä, on ilmeistä, että uusi tuote syrjäyttää olemassa olevia markkinoilta.

Kun tuotekehitykseen panostetaan voimakkaasti, on luultavaa, että tällaisia hyppyjä tapahtuu myös lämmöneristeiden ja niiden sovellutusten kehityksessä.

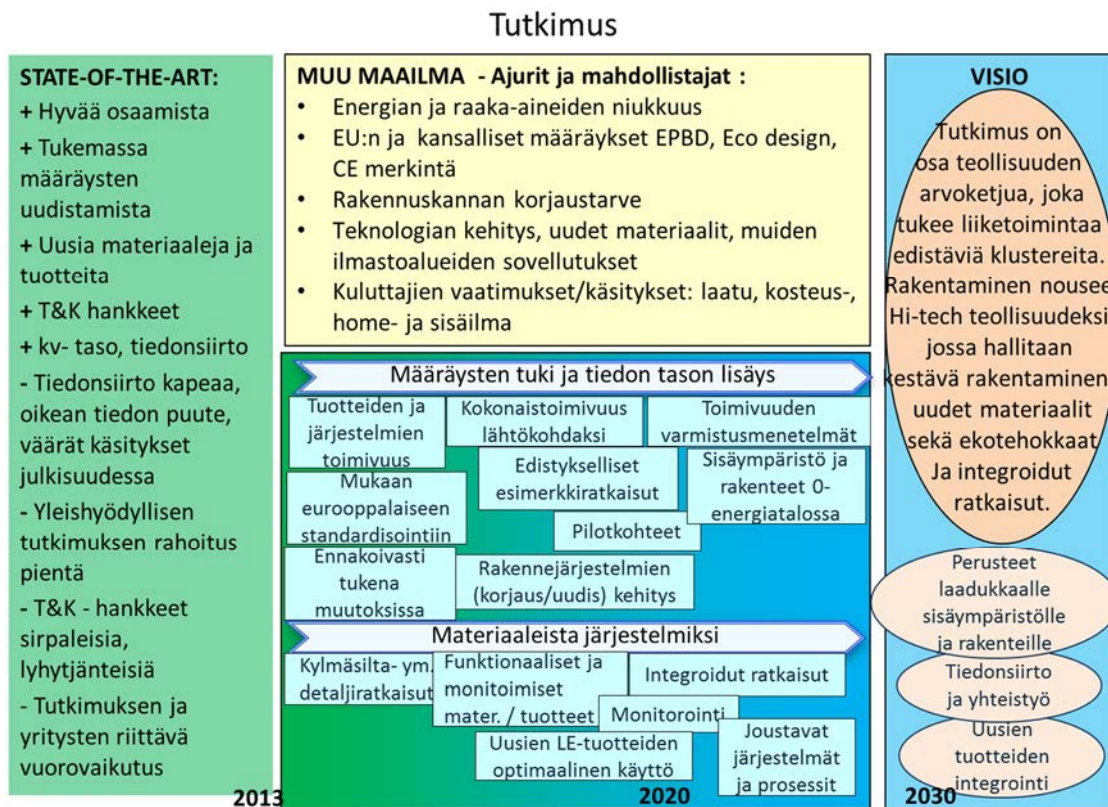


Kuva 40. Uusien lämmöneristetuotteiden kehityksessä voidaan jossain kehitysvaiheessa saavuttaa radikaali hyppy uudelle toimivuuden (ja kannattavuuden) tasolle. Tällöin kehitys ohittaa tavanomaisen kehityslinjan, mikä voi johtaa merkittäviin muutoksiin markkinoilla.

7.5 Tutkimus

Tutkimuksen tehtävänä on tukea eri kehityspolun linjoja ja niiden toimijoita kehityksen edellyttämällä tavalla. Kuva 41 esittää tutkimuksen kehityspolun.

Tavoitetilassa tutkimus on osa teollisuuden arvoketjua, jossa kehitetään tuotteita ja palveluita sekä muodostetaan osaamiskokonaisuuksia rakentamisen prosessin hallintaan. Tavoitteena on kestävä rakentaminen, joka on hi-tech-teollisuutta ja jossa hallitaan uudet materiaalit, tuotteet ja niiden järjestelmät. Hyvä, viihtyisä ja terveellinen sisäympäristö on rakennuksen tärkein ominaisuus. Sen toteutuksen varmistaminen eko- ja energiatehokkaasti edellyttää uusien järjestelmien tutkimusta ja kehitystä sekä näiden toimivuuden varmistamismenetelmien kehitystä.



Kuva 41. Tutkimuksen kehityspolku, joka leikkaa muita kehityspolkuja (Markkinat, määräykset, palvelut ja tuotteet).

7.6 Suositukset

Kehityspoluista on koostettu taulukkomuotoinen suositus toimenpiteistä, joiden avulla voidaan edetä kohti tavoitetilaa (Taulukko 9). Nämä toimenpidesuosituksat kohdistuvat yhdelle tai useammalle tekijälle ja niiden vaikutukset näkyvät vastavasti joidenkin muiden tekijöiden kohdalla.

Taulukko 9. Yhteenveto eri osien kehityspolkujen toteutukseen liittyvistä suosituksista.

<u>Kenelle</u>	<u>Tehtävät: Kuka ja mitä - ACTOR - Who needs (to do) something</u>					
	<u>Loppu-käyttäjät</u>	<u>Tutkimus</u>	<u>Viranomaiset</u>	<u>Teollisuus</u>		
				<u>Rakentaminen</u>	<u>Palvelut</u>	<u>Tuotteet</u>
Markkinat, kuluttajat	Laadun kysyntä: toimivuus ja kestävä rakentaminen	Puolueetonta tietoa toimivuudesta ja ratkaisuista	Tukijärjestelmät tiedon saantiin, sopivien materiaalien ja tuotteiden käyttö mahdollista, läpinäkyvät perusteet määräyksille	Käytännön esimerkkiratkaisut eri tarpeisiin	Joustavat, tarkoituksenmukaiset ja muuntokelpoiset ratkaisut, kokonaistoimivuuden takuu	Uudet tuotteet, vertailukelpoisuus, yhteensopivuus, jälleenmyyjien koulutus
Määräykset / viranomaiset		Vaikutusanalyysit				(uudet) tuote- ja toimivuusominaisuudet ja niiden hyväksyntä
Teknologia		Tiedon ja teknologian siirto, uusien materiaalien, tuotteiden ja sovellutusten kehitys	Määräysten ohjeistus hyvissä ajoin, valmistautumisaikaa, palomääräysten tarkistus, Alue-/rakennustason energia- tehokkuus	Esivalmistukseen perustuvat, integroidut rakentamisprosessit ja -järjestelmät, Hi-tech teollisuutta	Integroitujen, <u>jous-tavien</u> ratkaisujen järjestelmät ja niitä tukevat palvelu- tuotteet	
Palvelut	Kysyntä	Konseptien ja järjestelmien kehitys, kosteus-tekniisesti turvalliset ratkaisut ja prosessit	Laatusertifikaattivaatimukset rakennuksille ja rakentamiselle, toimivuuden vastuut uudelle ja korjatulle, <u>ylläpidon</u> tason määrittäminen ja vaatimukset	Esivalmistuskonseptit, korjausratkaisut, rakennusten toimivuustakuu, rakentamisprosessin ja ylläpidon koordinointi,	Palvelutuoteketju tukemaan toimivuusvaatimuksia ja ylläpitoa, osaamiseen sijoittaminen, tuki edelläkävijöille	Yhteensopivat <u>modulituotteet</u> eri järjestelmäratkaisuihin
Tuotteet	Kysyntä	Toimivuusselvitykset, materiaali- ja tuotekehitys	<u>Informaatio, käytännön ohjeet mm. sitoutunut energia, ekotehokkuus, tuotemerkintä</u>	Kysyntä: Toimivuustasojen edellyttämät tuoteominaisuudet, ominaisuusmatriisi	Vaatimustasot rakennuskomponenteille, järjestelmille, monitorointiin	Ekotehokkaat uudet raaka-aineet
Tutkimus			<u>Tutkimustulokset tukemaan päätöksentekoa</u>			

8. Yhteenveto

Työn tavoitteena oli esittää rakennusten ulkovaipan lämmöneristetuotteiden ja -järjestelmien kehityspolut Suomessa. Kehityspolun näkökulma oli rakentamisessa keskipitkää aikaväliä kuvaava, vuoteen 2030 ulottuva.

8.1 Nykytilan selvitys

Työssä on käyty läpi lämmöneristysmateriaalien, -tuotteiden ja -järjestelmien nykytilaa ja kehitystä, kehityksen esteitä, haasteita ja mahdollistajia. Työssä tehtiin nykytilan selvitys (state-of-the-art) olemassa oleville tuotteille. Tähän sisältyi patenttiselvitys, joka havainnollisti lämmöneristeiden ja niiden materiaalien tuotekehityksen painopistealueet ja sen, miten rakentaminen sijoittuu tässä tuotekehityksessä.

Uusien lämmöneristysmateriaalien kehitys tapahtuu ensisijaisesti muuhun kuin rakentamisen tarpeeseen. Patenttiaineistosta jäi keskeiseksi vaikutelmaksi patentoinnin vähäisyys erityisesti niiden patenttien osalta, jotka yhdistävät lämmöneristyksen ja rakennusmateriaalit. Tuloksissa yllätti tutkimusorganisaatioiden puuttuminen. Laajaa veturiyritysten rintamaa ei tunnistettu.

Vain muutama merkittävästi patenteja hakeva organisaatio voitiin tunnistaa. Merkittävät patenttoijat olivat enimmäkseen rakentamisalan ulkopuolella toimivia materiaalikehityksen monialayrityksinä, joiden tuotteiden lopullinen hyödyntämisalue on hyvin laaja.

Patenttianalyysin tuloksissa selvästi muista erottui aerogeeleihin liittyvä runsas patentointi. Aerogeeleiden sovellutusalue on laaja, vain osa liittyy lämmöneristämiseen. Patenttien sisältö on painottunut materiaalin valmistukseen, mikä on eräs pullonkaula kustannustehokkaiden tuotteiden saamisessa markkinoille. Aerogeeleiden osalta korostuu julkisten organisaatioiden sekä tutkimusintensiivisten yritysten rooli, joiden tavoitteena on kehittää teknologiaa, jota voisi lisensoida tulevaisuudessa.

8.2 Kehityspolkujen muodostaminen

Nykytilaselvityksen tiedot antoivat pohjan kehityspolkujen muodostamiselle. Tämä työ tehtiin asiantuntijahaastattelujen ja näiden tuloksia täydentävän työpajan avulla.

Näistä muodostettiin synteesi rakennusten lämmöneristämisen kehityspoluiksi. Eri tekijöitä, joiden kannalta kehityspolut muodostettiin, olivat: markkinat (kuluttajat), määräykset (viranomaiset), rakentamisen palvelut ja rakentamisen tuotteet (teollisuus) sekä tutkimus.

8.3 Lämmöneristetuotteiden ja järjestelmien kehitysnäkymät

Perinteisten lämmöneristeiden kehityksessä voi tapahtua merkittäviä muutoksia esimerkiksi raaka-aineen muuttuessa, jolloin voidaan saavuttaa olennaisia teknisen toimivuuden tai kustannustehokkuuden parannuksia. Tyypillisesti perinteisten, vakiintuneiden tuotteiden kehitys on kuitenkin vähäistä ja suurimmat kehitysaskeleet otetaan järjestelmien kehityksessä. Kehityksen suunta tulee olemaan kohti järjestelmiä, joiden soveltamisessa painottuvat esivalmistus, helppo asennettavuus, työmaatoiminnan nopeus ja muuntojoustavuus. Kun tähän yhdistetään luonnonvarojen käyttö ja kierrätettävyyys, on tuloksena kestävän rakentamisen tavoitteita vastaava järjestelmä.

Tästä seuraava kehitysskel on rakennuksen kokonaisuuden hallinta suunnittelussa, toteutuksessa ja käytössä. Tässä rakennusvaihan järjestelmät toimivat yhdessä taloteknisten järjestelmien kanssa optimoituna kokonaisuutena.

Tutkimukseen panostaminen tuo vääjäämättä muutoksia myös rakennusten lämmöneristämiseen. Uusien lämmöneristemateriaalien ja tuotteiden kehitys johtaa jossain vaiheessa erilaisiin muutoksiin tai jopa läpimurtoihin markkinoilla. Esimerkiksi aergeelien hankala ja kallis valmistusprosessi on merkittävä este näiden materiaalien laajalle hyödyntämiselle, ja patenttianalyysin perusteella juuri tähän osaan tutkimuksessa panostetaan merkittävästi.

Monitoimiset rakennusvaippajärjestelmät ovat eräs kehityksen suunta. Se on pelkkää lämmöneristysjärjestelmää pidemmälle viety lämmön- ja sähköntuoton, luonnonvalon hyödyntämisen ja erilaisten funktionaalisten toimintojen yhdistelmä, jonka soveltaminen edellyttää koko rakennuksen ja sen muiden järjestelmien yhteensovittamista näiden julkisivujärjestelmien kanssa. Modulaaristen järjestelmien etuna on moduulien esivalmistus, nopea asennus ja muuntojoustavuus järjestelmän tarpeiden muuttuessa tai teknologian kehittyessä.

Kehityksen suunta on osaoptimoineista kokonaisuuden hallintaan. Pelkkä lämmöneristemateriaali tai -tuote ei ole yksinään ratkaisu energiatehokkaaseen rakentamiseen. Toimivimmat kestävän rakentamisen ratkaisut voivat olla yhdistelmiä eri toimivuusominaisuuksien tuotteista. Tarvitaan koko rakennuksen toimivuuden ymmärtämistä ja tämän huomioon ottamista suunnittelusta toteutukseen ja ylläpitoon. Vain näin voidaan taata rakennuksen olennaisin toimivuustavoite: hyvän, viihtyisän, terveellisen ja tuottavan sisäympäristön ylläpito energiatehokkaasti.

Lähdeviitteet

- ACTIS. 2013. What is Thin Multifoil Insulation?. [Online] Saatavilla: <http://www.insulation-actis.com/produits-actis.php?p=3&l=3&rub=52> [Haettu 30.8.2013].
- Airaksinen, M., Hietanen, O., Manninen, A.-P., Reijula, K. & Vainio, T. 2011. Rakennetun ympäristön roadmap. Tekesin loppuraportti 5/2011. Toimittanut Suvi Nenonen, Helsinki 2011. 84 s.
- Baetens, R., Jelle, B.P. & Gustavsen, A. 2011. Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review. Energy and Buildings 43, 2, 761–769. Saatavilla: www.elsevier.com/locate/enbuild.
- Baetens, R., Jelle, B.P., Gustavsen, A. & Grynning, S. 2010. Gas-filled panels for building applications: A state-of-the-art review. Energy and Buildings 42, 11, 1969–1975.
- BASF Neopor® – The Power of the Original Grey 2013. http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU/portal/show/content/products/foams/neopor_start.
- Cekon, A.M., Kalousek, M. & Ingeli, B.R. 2013. Thermal performance effect of hollow ceramic microspheres coating assessed by dynamic outdoor testing in the summer season. Teoksessa: Proceedings of the 2nd Central European Symposium on Building Physics. A. Mahdavi & B. Martens (toim.). Wien 9.–11.9.2013, 149–156.
- CEN. 2013. Technical Committee TC 350. Sustainability of construction works. General, structure, work programme, published standards. European Committee for Standardization. Saatavilla: http://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:7:0:::FSP_ORG_ID:481830&cs=181BD0E0E925FA84EC4B8BCCC284577F8.
- Cucnick, L., Nasrollahi, K. & Pahn, M. 2013. Structural building components as energy storage systems – experimental investigations. Teoksessa: Proceedings of the 2nd Central European Symposium on Building Physics. A. Mahdavi & B. Martens (toim.). Wien 9.–11.9.2013, 841–846
- E2BA. 2013. PPP Energy-efficient Buildings: “Towards the creation of a high-tech building industry. Turning energy efficiency into sustainable business”. Research & Innovation Roadmap 2014–20. Luonnos, maaliskuu 2013. Saatavilla: http://www.ectp.org/cws/params/ectp/download_files/36D2534v2_E2B_Roadmap_draft.pdf.

- EU. 1989. Neuvoston direktiivi, annettu 21 päivänä joulukuuta 1988, rakennusalan tuotteita koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä (89/106/ETY).
- EU. 2002. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/91/EY , annettu 16 päivänä joulukuuta 2002 , rakennusten energiatehokkuudesta.
- EU. 2007. Komission tiedonanto neuvostolle, Euroopan parlamentille, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle - Euroopan strateginen energiateknologiasuunnitelma (SET-suunnitelma) – ”Kohti vähähiilistä tulevaisuutta”.
- EU. 2008a. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1272/2008, annettu 16 päivänä joulukuuta 2008, aineiden ja seosten luokituksesta, merkinnöistä ja pakkaamisesta sekä direktiivien 67/548/ETY ja 1999/45/EY muuttamisesta ja kumoamisesta ja asetuksen (EY) N:o 1907/2006 muuttamisesta.
- EU. 2008b. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY, annettu 19 päivänä marraskuuta 2008, jätteistä ja tiettyjen direktiivien kumoamisesta.
- EU. 2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/125/EY, annettu 21 päivänä lokakuuta 2009, energiaan liittyvien tuotteiden ekologiselle suunnittelulle asetettavien vaatimusten puitteista (uudelleenlaadittu).
- EU. 2010a. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/30/EU, annettu 19 päivänä toukokuuta 2010, energiaan liittyvien tuotteiden energian ja muiden voimavarojen kulutuksen osoittamisesta merkinnöin ja yhdenmukaisin tuotetiedoin (uudelleenlaadittu).
- EU. 2010b. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU, annettu 19 päivänä toukokuuta 2010, rakennusten energiatehokkuudesta (uudelleenlaadittu).
- EU. 2011a. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 305/2011, annettu 9 päivänä maaliskuuta 2011, rakennustuotteiden kaupan pitämistä koskevien ehtojen yhdenmukaistamisesta ja neuvoston direktiivin 89/106/ETY kumoamisesta.
- EU. 2011b. Materials roadmap enabling low carbon energy technologies. Commission staff working paper. SEC(2011) 1609 final. Bryssel 13.12.2011. Saatavilla: http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/materials-roadmap-elcet-13122011_en.pdf.

- EU. 2012a. Energiatehokkuusdirektiivi. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi annettu 25 päivänä lokakuuta 2012. Saatavilla: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:FI:PDF>
- EU. 2012b. Strategy for the sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises. COM(2012) 433 final, Bryssel 31.7.2012.
- Evins, R. & Dowson, M. 2013. Simulation of movable translucent aerogel shutters. Proceedings of the 2nd Central European Symposium on Building Physics. A. Mahdavi & B. Martens (toim.). Wien 9.–11.9.2013, 579–586.
- Flynn, C. & Sirén, K. 2012. Innovative thermal insulation materials and technologies. RYM-SY Indoor Environment WP2 EECl. Aalto University, Espoo 2012.
- Griffith, B., Türler, D. & Arasteh, D. 1993. Optimizing the effective conductivity and cost of gas-filled panel thermal insulations. Teoksessa: Proceedings of the 22nd International Thermal Conductivity Conference, Arizona State University, 7.–10.11.1993.
- Grynning, S., Jelle, B.P., Uvsløkk, S., Gustavsen, A., Baetens, R., Caps, R. & Meløysund, V. 2011. Hot box investigations and theoretical assessments of miscellaneous vacuum insulation panel configurations in building envelopes. Journal of Building Physics 34. 29 s.
- Haavi, T., Jelle, B.P. & Gustavsen, A. 2012. Vacuum insulated panels in wood frame wall constructions with different stud profiles. Journal of Building Physics 36, 212–226.
- Hagentoft, C. E. 2001. Introduction to Building Physics. Lund, Ruotsi: Studentlitteratur AB.
- Heljo, J. & Vihola, J. 2012. Energiansäästömahdollisuudet rakennuskannan korjaustoiminnassa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tampere 2012.
- IEA. 2013. Technology roadmap, energy efficient building envelopes. International Energy Agency. Saatavilla: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergyEfficientBuildingEnvelopes.pdf>.
- Ismail, K. & Castro, J. 1997. PCM thermal insulation in buildings. International Journal of Energy Research, 21, 14, 1281–1296. ISSN 0363-907X.

- Jelle, B. P., Gustavsen, A. & Baetens, R. 2010. The path to the high performance thermal building insulation materials and solutions of tomorrow. *Journal of Building Physics*, XXXIV(2), 99–123.
- Jelle, B. P. 2011. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities. *Energy and Buildings* 43, 2549–2563.
- JRC. 2011. Scientific assessment in support of the materials roadmap enabling low-carbon energy technologies. JRC Scientific and technical reports JRC 68158. Euroopan komissio, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport. Saatavilla: http://setis.ec.europa.eu/activities/materials-roadmap/Scientific_Assessment-EEMBuildings.pdf/view.
- Kohler, C. 2012. Gas-filled panels high performance insulation. How effectively do GFPs insulate. Saatavilla: <http://gfp.lbl.gov/performance/default.htm>.
- Kohonen, R., Kokko, E., Mähönen, T. & Ojanen, T. 1986. Mineraalivillaeristyksen ilmapirtaukset ja tuulensuojaukset, Espoo: VTT Tutkimuksia 431.
- Levine, M., Ürge-Vorsatz, D., Blok, K., Geng, L., Harvey, D., Lang, S., Levermore, G., Mongameli Mehlwana, A., Mirasgedis, S., Novikova, A., Rilling, J., Yoshino, H. 2007. Residential and commercial buildings. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of working group III to the IPCC fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave & L.A. Meyer (toim.). Cambridge University Press, Cambridge, Iso-Britannia ja New York,. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch6.html.
- MEEFS 2013. 1st year progress report. publishable summary on progress. 16 s.
- Mueller, V., Pont, U., Tan, P.H. & Mahdavi, A. 2013. Thermal implications of radiant roof barriers: a Field study in a hot and humid climate. Teoksessa: *Proceedings of the 2nd Central European Symposium on Building Physics*. A. Mahdavi & B. Martens (toim.). Wien 9.–11.9.2013.
- Ojanen, T. & Kohonen, R. 1989. Ilmapirtausten vaikutus rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. Espoo: VTT Tutkimuksia 590.
- Ojanen, T., Kokko, E. & Pallari, M. L., 1993. Tuulensuojan toimintaperusteet. Espoo: VTT Tiedotteita 1478.

- Pajakkala, P. 2013. Mitä korjausrakentajilla on edessä lähivuosina – tarve, mahdollisuudet, lähivuosien kehitysnäkymät. Esitelmä. Wanha Satama, Helsinki.
- Papadopoulos, A.M. 2005. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy & Buildings*, Vol. 37, No. 1, 77–86. ISSN 0378-7788. doi: 10.1016/j.enbuild.2004.05.006.
- Rakennusalan suhdannetyöryhmä. 2012. Rakentaminen 2012–2013: määrä supistuu – alueelliset erot korostuvat – kustannusten nousu laantuu. Saatavilla: [http://www.vm.fi/vm/fi/04_julkaisut_ja_asiakirjat/01_julkaisut/02_taloudelliset_katsaukset/20120828RAKENT/RAKSURaportti_elokuu_\(2\).pdf](http://www.vm.fi/vm/fi/04_julkaisut_ja_asiakirjat/01_julkaisut/02_taloudelliset_katsaukset/20120828RAKENT/RAKSURaportti_elokuu_(2).pdf).
- Rakennustieto. 2006. Kerrostalot 1880–2000 – arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen. 1. painos. Toimittanut P. Neuvonen. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Rautiainen, L., 2012. Lämmöneristeiden CE-merkintä. Saatavilla: http://www.vtexpertservices.fi/files/news/Finnbuild2012_CE_lammoneristeet.pdf.
- ROTI. 2013. Korjausvelasta ennakoivaan kiinteistönhoitoon. Rakennetun omaisuuden tila – ROTI -järjestelmän arviointiraportti osassa ”rakennukset”. <http://www.roti.fi/fin/rakennukset>.
- RTS. 2013. Pienrakentamisen markkinakatsaus 1/2013. Rakennustutkimus RTS Oy. Saatavilla: http://www.suomirakentaa.fi/images/stories/raportit/Pienrakentamisen_markkinakatsaus_1_2013.pdf.
- Schwab, H., Heinemann, U., Wachtel, J. Ebert, H.-P. & Fricke, J. 2005. Predictions for the increase in pressure and water content of vacuum insulation panels (VIPs) integrated into building constructions using model calculations. *Journal of Thermal Envelope and Building Science* 28, 327.
- Schüco 2014. Schüco E² Fassade. Saatavilla: http://www.schueco.com/web/de/partner/fassaden/produkte/fassaden/e_2_fassade/schueco_e_2_fassade.
- SPU-Eristeet 2013. <http://www.spu.fi/tuotteet/tuote/spu-fr/>.
- Sveipe, E., Jelle, B.P., Wegger, E., Uvsløkk, S., Grynning, S., Jan Vincent Thue, J.V., Time, B. & Gustavsen, A. 2011. Improving thermal insulation of timber frame walls by retrofitting with vacuum insulation panels – experimental and theoretical investigations. *Journal of Building Physics* 35.
- Schoch, T. 2013. Design and construction of a plus energy house. Teoksessa: *Proceedings of the 2nd Central European Symposium on Building Physics*. A. Mahdavi & B. Martens (toim.). Wien 9.–11.9.2013, 237–244.

- Thermacool – Datum Phase Change. 2013. <http://www.datumphasechange.com/index.php?home>.
- Thermisol www-sivut 2013. <http://www.thermisol.fi/eristeet.html>.
- Tilastokeskus. 2013. Buildings and free-time residences 2012. Saatavilla: https://www.tilastokeskus.fi/til/rakke/2012/rakke_2012_2013-05-24_en.pdf.
- TUKES. 2013a. Mitä rakennustuoteasetus tarkoittaa tuotteen valmistajan kannalta? Saatavilla: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Rakennustuotteet/Mita-rakennustuoteasetus-tarκοittaa-tuotteen-valmistajan-kannalta>.
- TUKES. 2013b. REACH- ja CLP-asetusta koskeva neuvontapalvelu yrityksille. Saatavilla: <http://www.reachneuvonta.fi/reach/reach.nsf>.
- Tyagi V.V., Kaushik S.C., Tyagi S.K. & Akiyama T. 2011. Development of phase change materials based microencapsulated technology for buildings: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 1373–1391.
- WBCSD. 2009. Energy efficiency in buildings. Transforming the market. World Business Council for sustainable development. 67 s. ISBN 978-3-940388-44-5. Saatavilla: <http://www.wbcsd.org/Pages/EDocument/EDocumentDetails.aspx?ID=11006&NoSearchContextKey=true>.
- WBCSD. 2010. Vision 2050. The new agenda for business. World Business Council for sustainable development. 73 p. ISBN 978-3-940388-56-8. Saatavilla: <http://www.wbcsd.org/pages/edocument/edocumentdetails.aspx?id=219&nosearchcontextkey=true>.
- Wegger, E., Jelle, B. P., Sveipe, E., Grynning, G., Gustavsen, A., Baetens, R. & Jan Vincent Thue, J. V. 2011. Aging effects on thermal properties and service life of vacuum insulation panels. Journal of Building Physics 2011, 35. 41 s.
- Ympäristöministeriö. 2002. E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet 2002. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/data/normit/10530-37-3762-4.pdf>.
- Ürge-Vorsatz, D. 2008. Climate change mitigation in the buildings sector: the findings of the 4th Assessment Report of the IPCC. IPCC side event at the UNFCCC, COP-14, "The IPCC scientific perspective", Poznań, Puola, 2.12.2008. Saatavilla: <http://www.ipcc.ch/pdf/presentations/poznan-COP-14/diane-urge-vorsatz.pdf>.

Zhang, Z.C., Zhou, J., Li, B. & Chen, Z. 2012. A novel rigid vacuum insulation panel: vacuum insulation sandwich. *Juan Advanced Materials Research* 430–432, 741–745.

Liite A: Patenttianalyysin aineisto

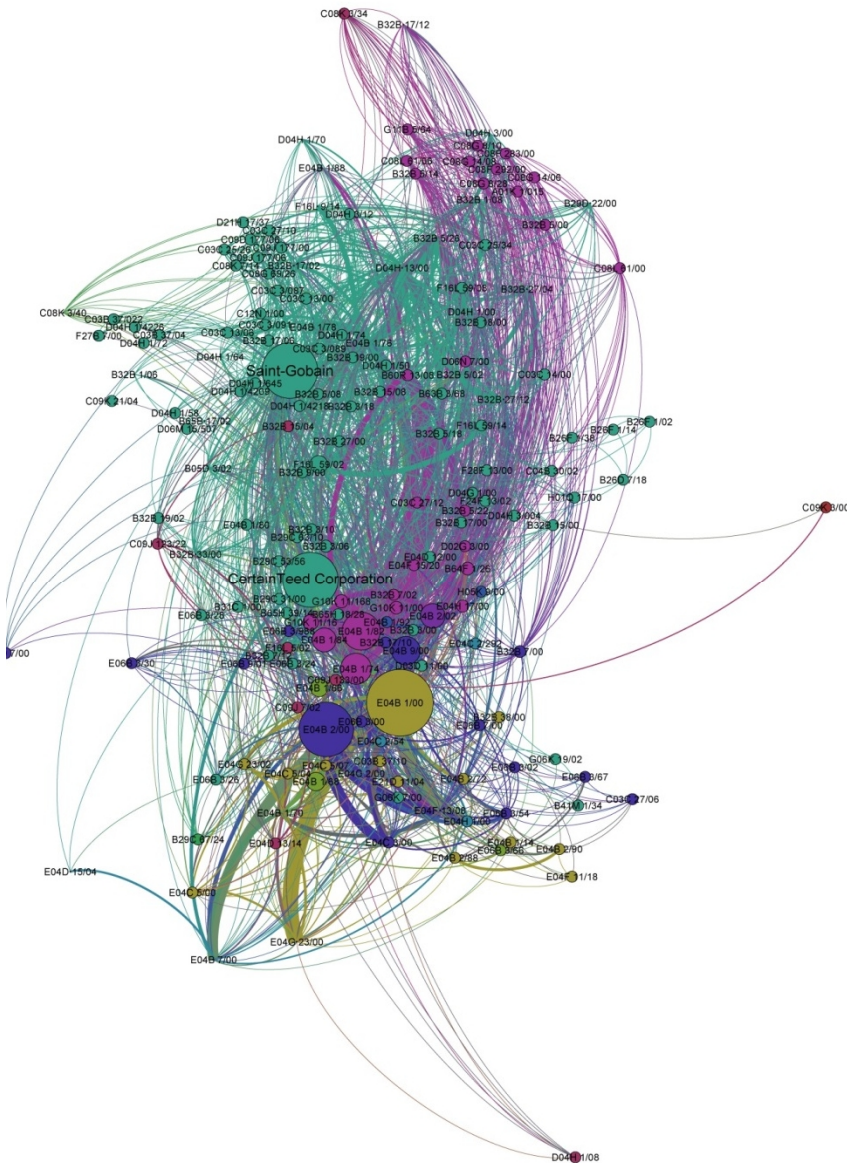
Patenttiselvityksestä vastasivat VTT:n johtava tutkija Hannes Toivanen ja erikois-tutkija Arho Suominen.

Tässä liitteessä on esitetty raportin patenttiosioon liittyvät kuvat. Kuvissa värilliset ympyrät ovat sitä suurempia, mitä enemmän kyseisessä patenttiluokassa on pa-tentteja. Ympyrät on yhdistetty viivalla mikäli sama patentti on merkitty kuuluvaksi useampaan eri luokkaan. Patenttien jako eri luokkiin perustuu kansainväliseen IPC-patenttiluokitukseen. Siinä patenteilla on kahdeksan pääluokkaa:

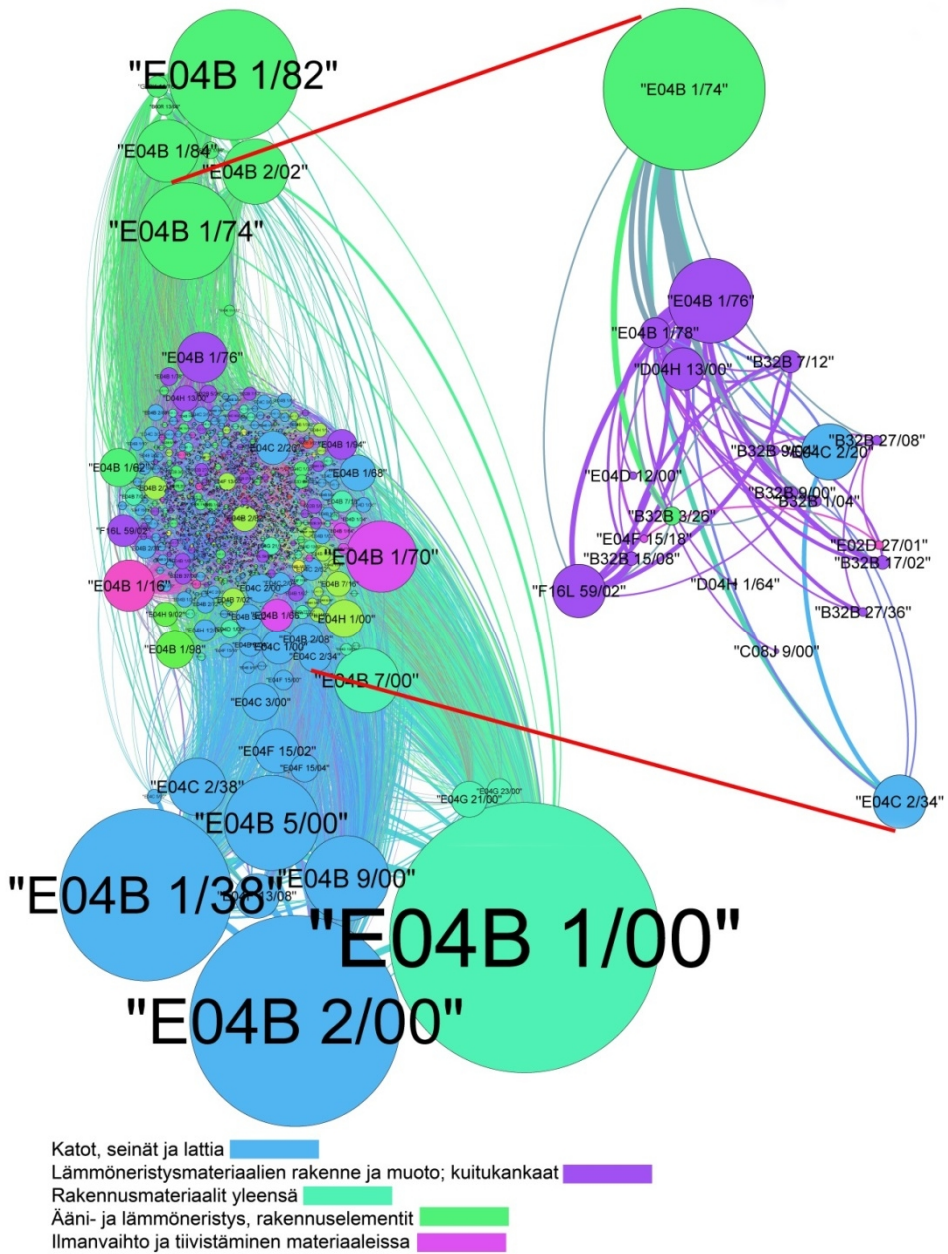
- A. Ihmisen perushyödykkeet
- B. Työmenetelmät ja kuljetus
- C. Kemia ja metallurgia
- D. Tekstiilit ja paperi
- E. Rakennustekniikka
- F. Koneenrakennus, valaistus, lämmitys, aseet, räjäyttämisen
- G. Fysiikka
- H. Sähkö.

Nyt käsiteltävät patentit kuuluvat luokkaan pääosin luokkaan E ja sen alaluokkaan E04B: ”Talonrakenteet yleensä. Seinät (esim. väliseinät) vesi- ja sisäkatot, väli-pohjat. Rakennusten eristys ja muu suojaaminen”.

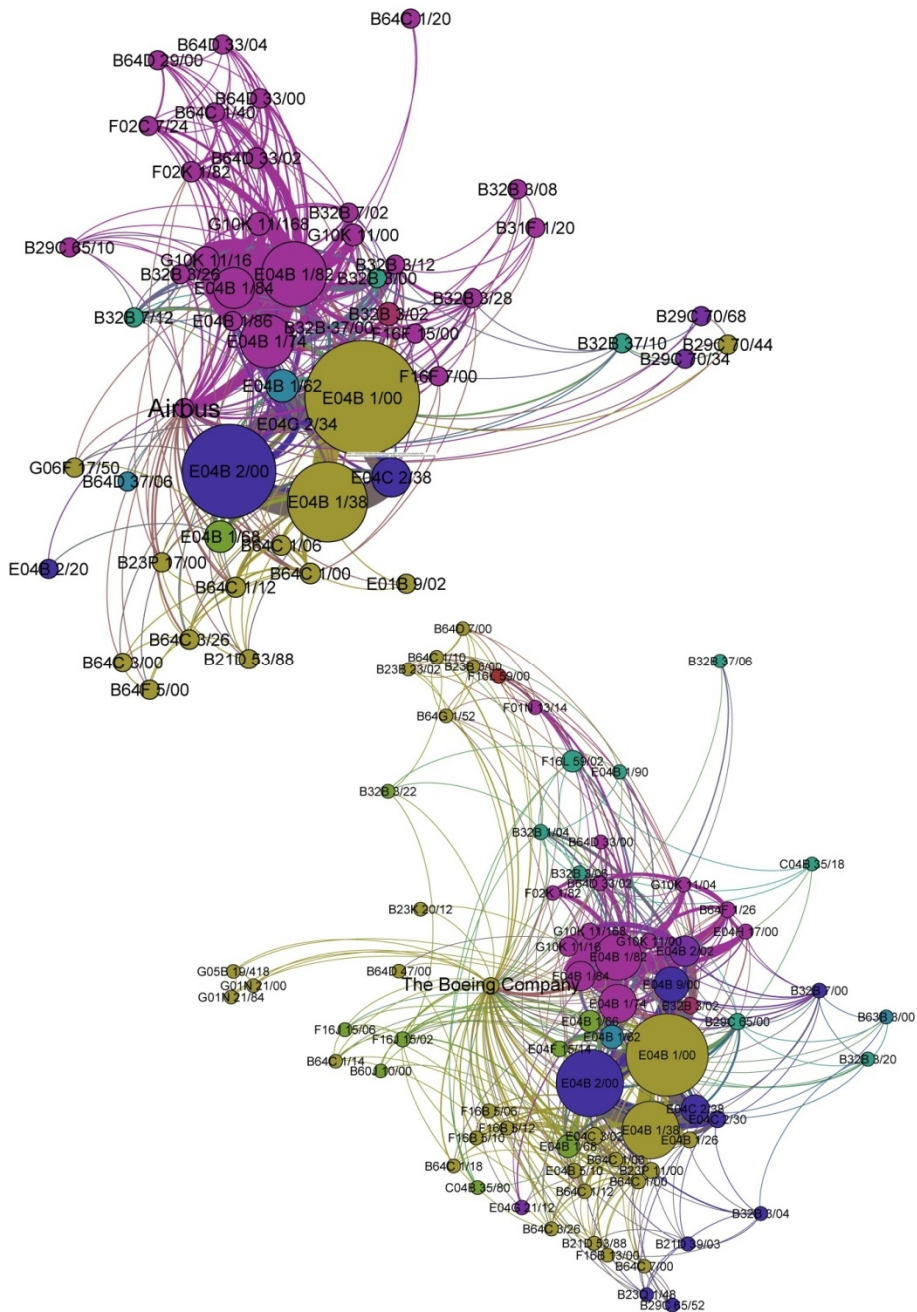
Pääluokkien lisäksi IPC-patenttiluokituksessa on runsaasti alaluokkia. Niiden selitykset löytyvät esimerkiksi Patentti- ja rekisterihallituksen sivuilta osoitteesta <http://www.prh.fi/fi/patentit/julkaisut/luokitus.html>



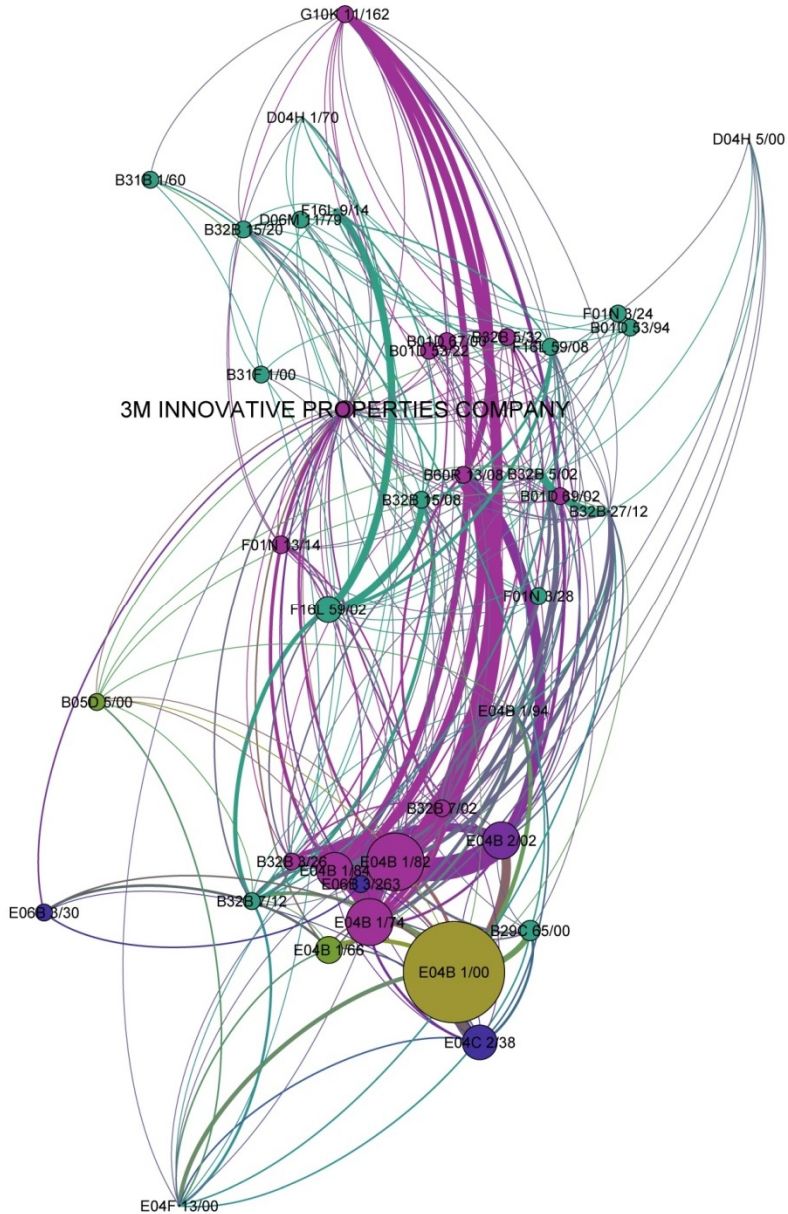
Patenttikuva A1. Suuri kuva: IPC-patenttiluokituksiin perustuvan patenttiansalysin tulokset. Verkosto on klusteroitu 15 alaverkoston hyödyntämällä modulaarisuusalgoritmia. Patenttilokat, joissa on alle 30 patenttia, on rajattu pois kuvan selventämiseksi. Pieni kuva oikealla: Erityisesti lämmöneritykseen keskittyvän patenttiluokkaan E04B 1/76 liittyvä verkosto (kuvassa rajauksena se, että patenttilokat yhdistää enemmän kuin yksi patentti).



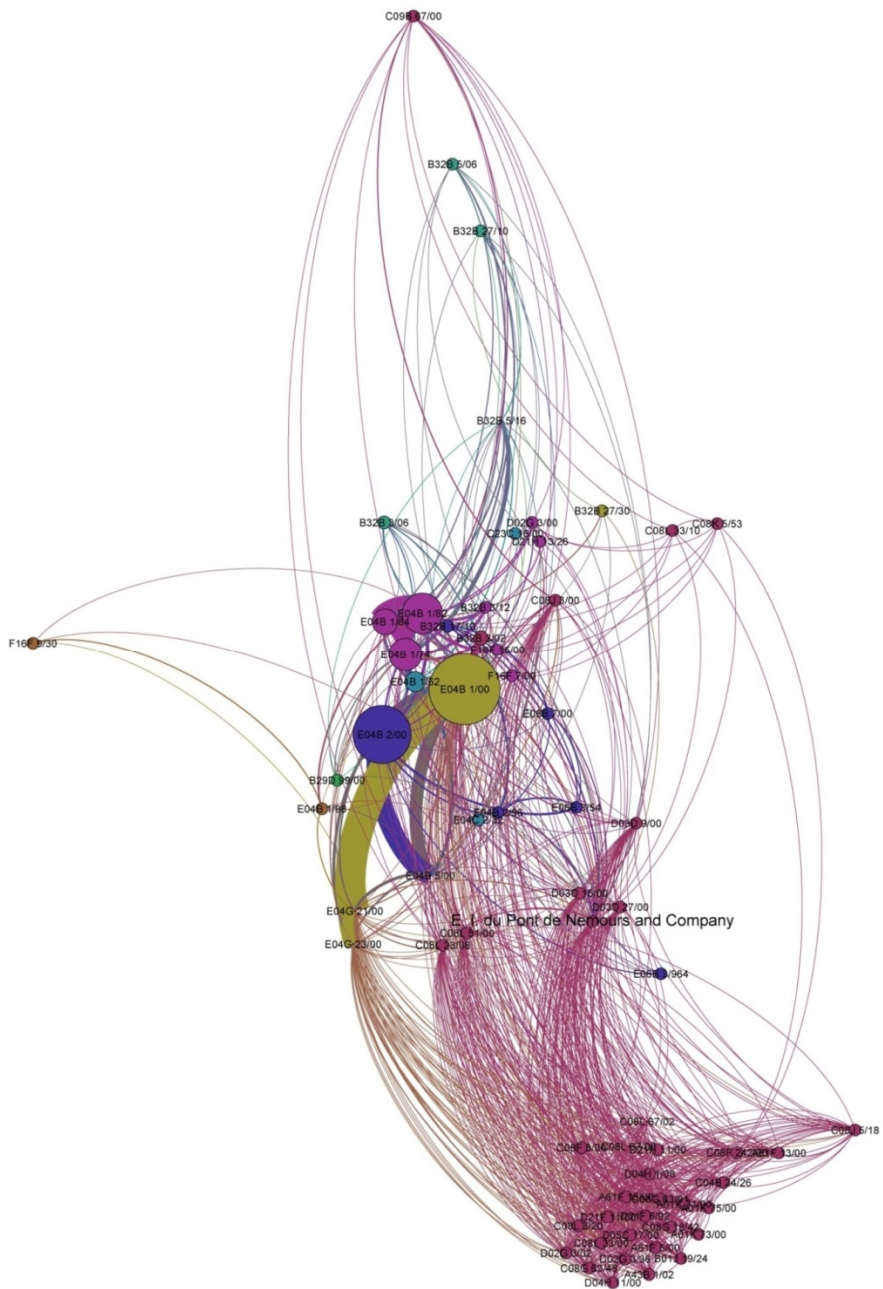
Patenttikuva A2. Verkostokuva: Saint-Gobain ja CertainTeed Corporation. Verkoston väri perustuu koko organisaatioverkoston modulaarisuusalgorithmianalyysille ja kuvaa aineistossa olevia klustereita.



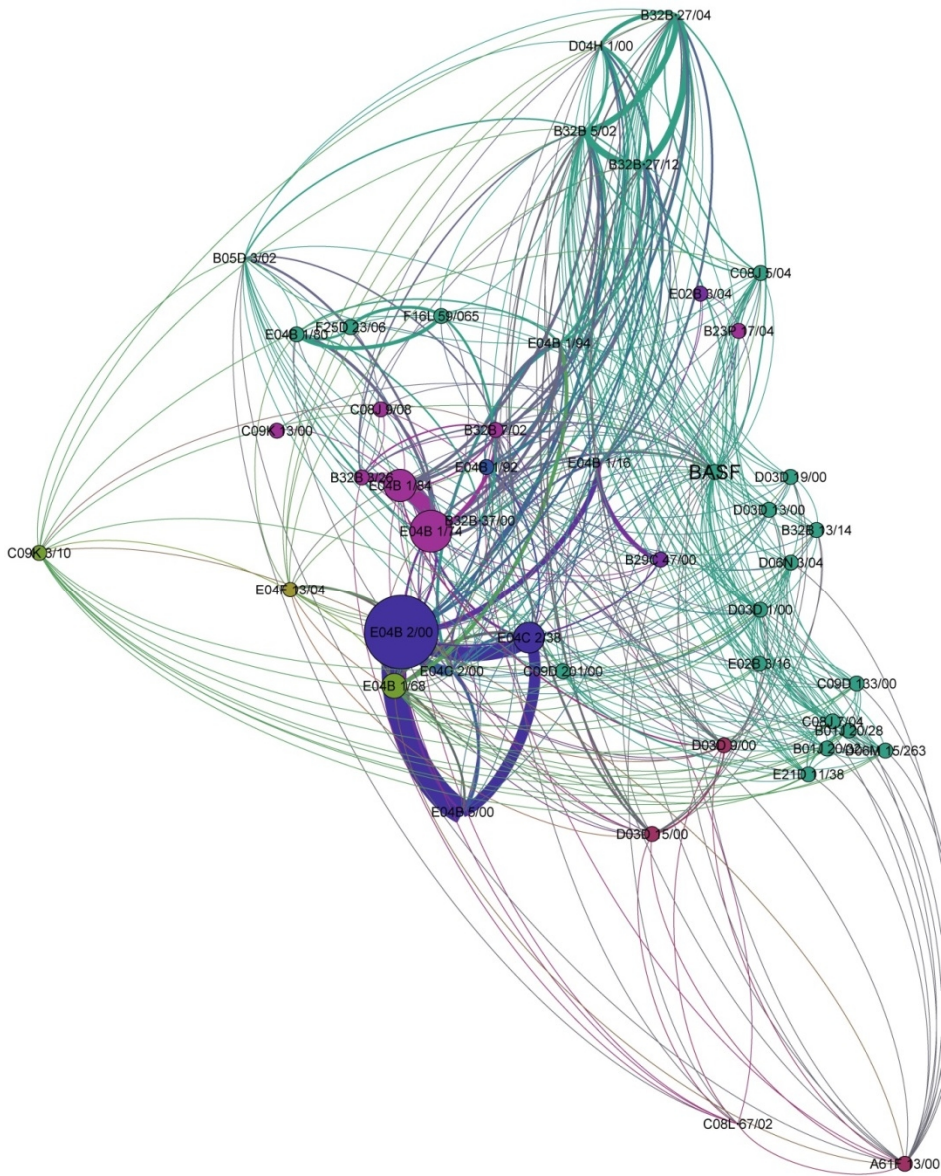
Patenttikuva A3. Verkostokuva: Airbus (ylempi) ja Boeing (alempi). Verkoston väri perustuu koko organisaatioverkoston modulaarisuusalgoritmianalysille ja kuvaa aineistossa olevia klustereita.



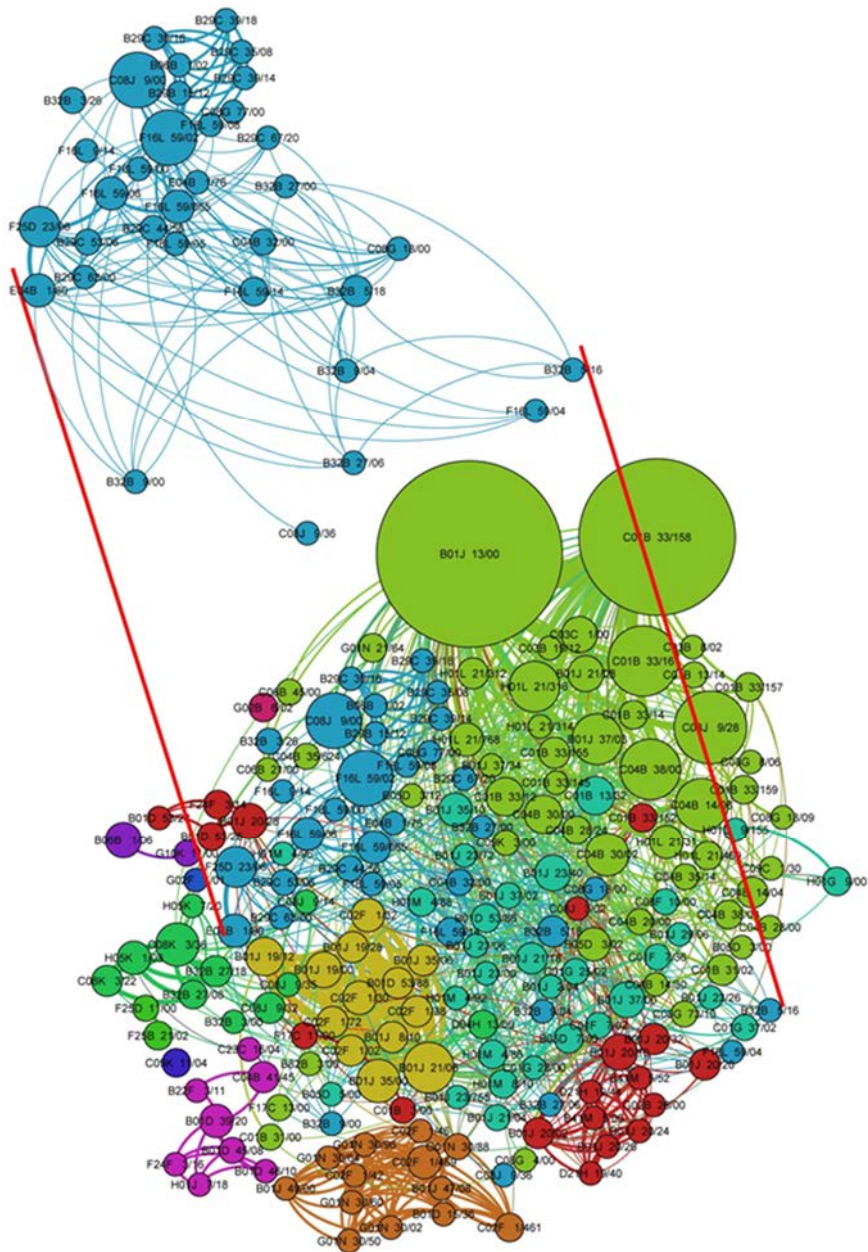
Patenttikuva A4. Verkostokuva: 3M Verkoston väri perustuu koko organisaatioverkoston modulaarisuusalgoritmianalysille ja kuvaa aineistossa olevia klustereita.



Patenttikuva A5. Verkostokuva: DuPont. Verkoston väri perustuu koko organisaatioverkoston modulaarisuusalgoritmitianalysille ja kuvaa aineistossa olevia klustereita.



Patenttikuva A6. Verkostokuva: BASF. Verkoston väri perustuu koko organisaatioverkoston modulaarisuusalgoritmitianalysille ja kuvaa aineistossa olevia klustereita.



Patenttikuva A7. Patenttiluokitusten pohjalta tehty verkostokuva, jossa alaverkostot ovat korostettu värerein. Värikoodaukset: materiaalikehitys vihreä; keltaruskea, punaruskea ja punainen klusteri kuvaavat aerogelien hyödyntämisalueita katalyyssissä, veden puhdistuksessa tai suodatuksessa.

Nimeke	Kehityspolut tulevaisuuden rakennusvaihtojen lämmöneristysratkaisuille
Tekijä(t)	Tuomo Ojanen, Isabel Pinto Seppä, Heli Koukkari & Esa Nykänen
Tiivistelmä	Tulevaisuuden energiatehokkaat rakenneratkaisut -hankkeessa (FUTBEMS) selvitetiin, millaisia ovat materiaali-, tuote- ja rakennusteknologian tutkimuksen ja kehityksen painopistealueet, jotka mahdollistavat uusia ulkovaipan lämmöneristämisen ratkaisuja, ja millaisia kehityspolkuja on nähtävissä tuotekehityksen ja rakentamisen kannalta. Selvitys rajattiin käsittelemään lämmöneristysmateriaaleja ja -tuotteita sekä ulkovaipan energiatehokkaita ratkaisuja Suomen ilmastossa. Lämmöneristetuotteita käsiteltiin kolmena ryhmänä: perinteiset lämmöneristeet, uudet kehittyvät lämmöneristeet ja monitoimiset vaippajärjestelmät. Hankkeessa tehtiin state of the art -selvitys, asiantuntijoiden haastatteluja sekä työpaja ja patenttiantalyysi. Tässä julkaisussa esitetään hankkeen tausta, toteutustapa ja aineiston perusteella koostetut kehityspolut tulevaisuuden lämmöneristysratkaisuille Suomessa.
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8254-9 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (verkkojulkaisu)
Julkaisu-aika	Toukokuu 2014
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	120 s. + liitt. 8 s.
Projektin nimi	Tulevaisuuden energiatehokkaat rakenneratkaisut
Toimeksiantajat	Ympäristöministeriö, Rakennustuotteiden Laatu Säätiö ry ja VTT
Avainsanat	Energy-efficiency, building envelop, thermal insulation, roadmap
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111

Title	Roadmaps for thermal insulation solutions of future building envelopes
Author(s)	Tuomo Ojanen, Isabel Pinto Seppä, Heli Koukkari & Esa Nykänen
Abstract	The objectives of the Future building envelope material solutions -project (FUTBEMS) was to find out what are the focus areas in building material and product research and development. The roadmapping study was delimited to thermal insulation materials and solutions suitable in Finland. The thermal insulations were analysed using three categories: Traditional insulations, new developing insulations and multifunctional building envelope systems. The background, implementation and the road maps derived for the future thermal insulation solutions are presented in this publication. The work consisted of state of the art -study, interviews of different stakeholders, workshop and patent analysis. The road maps are presented from the aspects of different thermal insulation groups.
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8254-9 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Online)
Date	May 2014
Language	Finnish, English abstract
Pages	120 p. + app. 8 p.
Name of the project	Future building envelope material solutions
Commissioned by	Ministry of environment, Building product quality foundation, VTT
Keywords	Energy-efficiency, building envelop, thermal insulation, roadmap
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. +358 20 722 111

Kehityspolut tulevaisuuden rakennusvaippojen lämmöneristysratkaisuille

ISBN 978-951-38-8254-9 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-1211 (painettu)

ISSN 2242-122X (verkkojulkaisu)