



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Passiivitaloista älykkäisiin rakennuksiin: Odotukset ja teknologiatarpeet

Markus Rytönen

YMPÄRISTÖTEKNIikka

Kandidaatintyö

Elokuu 2019

TIIVISTELMÄ

Passiivitaloista älykkäisiin rakennuksiin: Odotukset ja teknologiatarpeet

Markus Rytkönen

Oulun yliopisto, Ympäristötekniikka

Kandidaatintyö 2019, 39 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: TkT Jenni Ylä-Mella

Rakennukset kuluttavat noin 40 % Euroopan Unionin energiankulutuksesta ja suurin osa näistä rakennuksista on asuinrakennuksia. Tästä syystä asuinrakennuksien energiatehokkuuden parantaminen on oleellisessa osassa energiankulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä, ja täten ilmastonmuutoksen ehkäisemisessä. Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan asuinrakennusten energiankulutusta sekä mihin energiaa kuluu niissä. Rakennuksista tarkastellaan tarkemmin matalaenergisiä ja älykkäitä rakennuksia. Työssä tarkastellaan matalaenergisten ja älykkäiden rakennuksien ominaisuuksia, ja kuinka ne parantavat kyseisten rakennusten energiatehokkuutta. Työssä tarkastellaan myös siirtymistä älyrakennuksiin, sekä mitä haasteita ja mahdollisuuksia siirtyminen tuo. Työn tavoitteena on antaa yleiskuva matalaenergia- ja älyrakennuksista, niiden ominaisuuksista ja älyrakennuksiin siirtymisestä. Tavoitteena on myös herättää ajatuksia ja ideoita, joiden perusteella aiheesta voisi jatkaa tutkimusta.

Työn tuloksena päästiin siihen johtopäätökseen, että älyrakennusten tekninen kehitys on hyvällä mallilla, mutta varsinkin Euroopassa lainsäädäntö laahaa vielä perässä. Äly- ja matalaenergiarakennukset vähentävät energiakulutusta teknisillä ratkaisulla ja ovat energiatehokkaampia verrattuna tavallisiin rakennuksiin. Älyrakennukset mahdollistavat korkeamman energiatehokkuuden ja paremman elintason, mutta niihin liittyvät myös riskinsä, esimerkiksi kyberhyökkäykset. Tulevaisuudessa haasteita saattaa myös tuoda älyrakennuksen tarkan määritelmän puuttuminen. Työn tuloksia voisi hyödyntää jatkotutkimuksissa esimerkiksi älyrakennuksen määritelmän selkeyttämisessä tai älyrakennusten edistämisessä.

Asiasanat: energiatehokkuus, matalaenergiatalot, älytalot

ABSTRACT

From passive houses to smart buildings: expectations and technological demands

Markus Rytönen

University of Oulu, Degree Programme of Environmental Engineering

Bachelor's thesis 2019, 39 pp.

Supervisor at the university: D.Sc Jenni Ylä-Mella

Buildings consume about 40 % of total energy consumption in the EU and most of these buildings are residential buildings. Therefore, improving energy efficiency in residential buildings is essential to reduce energy consumption and CO₂ emissions, and to prevent climate change. This bachelor's thesis focuses on residential buildings' energy consumption and consumption sectors. Main buildings reviewed are low-energy houses and smart buildings. This paper views features of low-energy houses and smart buildings, and how they help improving energy efficiency of these buildings. Thesis also observes the challenges and possibilities in transition from the regular buildings to smart buildings. The aim of this thesis is to give overview of energy-saving features in low-energy houses and smart buildings, and what the transition to smart buildings keeps inside. This paper also aims to inspire thoughts and ideas to any follow-up research in this field.

The results of this thesis were the technology of smart buildings are on high level but especially in Europe the legislation is dragging behind. Technical features of smart and low-energy buildings can reduce the energy consumption significantly and the buildings are more energy efficient than regular buildings. Smart buildings allow the combination of high energy efficiency and high standard of living but they include certain risks, for example cyber-attacks. Another problem which may occur in the future is the lack of clear definition of smart building. The results of this thesis could be utilized in follow-up research of about clarifying the definition of smart buildings or about promoting the smart buildings.

Keywords: energy efficiency, low-energy houses, smart houses

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	4
2 Mihin energiaa kuluu asumisessa?	5
2.1 Mieleinen lämpötila.....	6
2.2 Sisäilman laatu ja terveys	7
2.3 Valaistus ja visuaalinen miellyttävyys	7
2.4 Eläminen ja vapaa-aika.....	8
3 Lainsäädäntö.....	9
4 Passiivi- ja lähes nollaenergiarakennus.....	13
4.1 Termistö.....	13
4.2 Tekniset ratkaisut energiatehokkuuden lisäämiseen	15
4.3 Tavallisista rakennuksista siirtyminen lähes nollaenergiarakennuksiin.....	18
5 Älyrakennukset	21
5.1 Termistö.....	21
5.2 Tekniset ratkaisut energiatehokkuuden parantamiseksi	22
5.3 Rakennuksen älykkyystason nostaminen	25
6 Pohdinta.....	30
6.1 Energiakäytön vähentäminen kulutustottumusten kautta.....	30
6.2 Siirtyminen älyrakennuksiin; haasteet, tavoitteet ja tulevaisuus	31

LÄHDELUETTELO

1 JOHDANTO

Euroopan komissio esitti marraskuussa 2018 pitkän aikavälin suunnitelman vauraaseen, kilpailulliseen, moderniin ja ilmastoneutraaliin talouteen vuoteen 2050 mennessä. Komission suunnitelma kattaa melkein kaikki EU:n linjaukset ja sen tavoitteena on ehkäistä ilmaston lämpenemistä. (Euroopan Komissio 2019a) Keskeisessä roolissa tässä suunnitelmassa ovat rakennukset, jotka ovat vastuussa noin 40 prosenttisesti Euroopan Unionin energiankulutuksesta, ja 36 prosenttisesti hiilidioksidipäästöistä. Tällä hetkellä noin 35 % EU:n rakennuksista on yli 50-vuotiaita ja melkein 75 % rakennuskannasta on energiatehotonta. Maasta riippuen vain 0,4–1,2 % rakennuskannasta kunnostetaan vuosittain. Kunnostamalla nykyisiä rakennuksia, voidaan säästää energiaa rakennuksen energiatehokkuuden noustessa. (Euroopan Komissio 2019b) Rakennusten energiatehokkuuden tarkastelu ei rajoitu pelkästään rakennuksen käytön aikaiseen vaiheeseen, vaan tarkasteluissa täytyy ottaa huomioon myös tuotantovaiheen energiatehokkuus. Vanhojen rakennusten tuotantovaiheen energiakulutus on ollut tyypillisesti noin kymmenesosa 50 vuoden lämmitys- ja sähköenergian käytöstä. Siirryttäessä yhä matalaenergisempään rakentamiseen, tuotantovaiheen osuus tulee nousemaan korkeammaksi ja sen huomioiminen kokonaisuuden optimoinnissa yhä tärkeämmäksi. (RIL 248-2009, s. 10)

Tämän kandidaatin tutkielman aiheena on tarkastella tavallisia rakennuksia energiatehokkaampia passiivitaloja ja älyrakennuksia, niiden teknisiä ratkaisua ja odotuksia, sekä älyrakennuksiin siirtymistä. Koska suurin volyymi rakennuskannasta on asuinrakennuksissa (BPIE 2011, s. 8), työssä tarkastellaan pääasiallisesti asuinrakennuksia ja niiden energiakulutusta. Tutkielmassa käydään läpi mihin energiaa kuluu asumisessa, energiatehokkuuteen ajavaa lainsäädäntöä, matalaenergia- ja älyrakennusten ominaisuuksia, sekä mitä etuja ja haasteita näissä rakennustyypeissä on. Työn tavoitteena on antaa yleiskuva matalaenergisisistä ja älykkäistä rakennuksista, miten ne yltyvät korkeampaan energiatehokkuuteen, sekä herättää ajatuksia asumisen energiankulutuksesta ja älyrakennuksiin siirtymisen mahdollisuuksista ja haasteista. Kandidaatintyöni toivottavasti tarjoaa havaintoja, joita voisi käyttää uusissa aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa, tai joista voisi jatkaa tutkimusta.

2 MIHIN ENERGIAA KULUU ASUMISESSA?

Suurin osa ihmisistä viettää 90 % ajastaan sisätiloissa tukeutuen lämmitykseen ja ilmanvaihtoon, kuluttaen täten valtavia määriä energiaa. Asuinrakennukset tarvitsevat energiaa myös muihin asumisen tarpeisiin, kuten valaistukseen, ruoanlaittoon ja kodinkoneisiin. (Cao et al. 2016, s. 1) Taulukossa 1 on havainnollistettu, kuinka energiankulutus jakautui asuinrakennuksissa vuonna 2016 EU:n alueella.

Taulukko 1 Asuinrakennusten energiankulutuksen (%) jakautuminen EU:n alueella v. 2016 (Eurostat, 2016).

	Space heating	Space cooling	Water heating	Cooking	Lighting and appliances	Other end uses
EU-28	64,1	0,3	14,8	5,6	14,4	0,9
Belgium	73,8	0,1	11,4	1,7	12,7	0,4
Bulgaria	54,3	0,5	17,2	8,4	19,7	0,0
Czech Republic	69,0	0,1	16,2	6,3	7,0	1,5
Denmark	62,5	0,0	21,2	1,8	14,2	0,2
Germany	67,1	0,2	16,1	6,4	9,3	0,9
Estonia	:	:	:	:	:	:
Ireland	58,9	0,0	19,8	2,4	18,0	1,0
Greece	56,2	4,4	13,5	4,9	21,0	0,0
Spain	43,4	0,9	19,1	7,7	28,9	0,0
France	66,1	0,2	11,1	5,4	17,3	0,0
Croatia	68,7	1,8	10,0	6,5	13,0	0,0
Italy	67,5	0,7	11,9	6,3	12,3	1,4
Cyprus	:	:	:	:	:	:
Latvia	65,6	0,0	18,6	7,2	8,0	0,6
Lithuania	70,3	0,0	9,2	6,5	14,0	0,0
Luxembourg	79,3	0,2	7,1	2,3	11,0	0,0
Hungary	74,0	0,1	12,0	4,5	9,4	0,0
Malta	15,0	8,3	19,8	12,0	43,7	1,2
Netherlands	63,6	0,2	16,7	2,1	17,4	0,1
Austria	69,9	0,0	14,9	2,7	10,4	2,2
Poland	66,0	0,0	16,1	8,1	9,8	0,0
Portugal	21,2	0,7	19,1	39,5	19,6	0,0
Romania	63,4	0,3	13,4	9,5	13,4	0,0
Slovenia	63,7	0,5	16,0	4,1	15,8	0,0
Slovakia	68,3	0,1	14,3	5,6	11,7	0,0
Finland	65,8	0,1	14,9	1,0	12,2	5,9
Sweden	54,5	0,0	13,6	1,5	19,1	11,3
United Kingdom	62,1	0,0	17,2	3,0	17,7	0,0
Norway	43,8	0,0	14,2	0,0	37,1	4,9
Albania	31,7	5,5	21,4	29,8	11,7	0,0
Serbia	60,2	0,5	14,4	7,3	17,7	0,0
Kosovo*	71,3	3,5	6,5	7,1	9,3	2,2
Moldova	70,7	0,1	10,0	11,2	8,0	0,0
Georgia	58,8	0,3	11,3	17,4	12,1	0,0

(*) This designation is without prejudice to positions on status, and is in line with UNSCR 1244 and the ICJ Opinion on the Kosovo declaration of independence.

(:) not available

Taulukosta 1 nähdään, että eniten asuinrakennusten käyttämästä energiasta kului tilojen ja veden lämmittämiseen. Valaistukseen ja muihin sähkölaitteisiin kului myös huomattava osa energiasta, kun taas jäähdytyksen osuus oli hyvin pieni. Osalla valtioista voidaan havaita suuriakin eroja energian loppukulutuksessa, mikä voi osittain johtua raportointien harmonisoinnin puutteesta. Jotta asuinrakennusten energiankulutusta voidaan vähentää, on oleellista tietää mihin kaikkeen energiaa kuluu asumisessa. Tässä kappaleessa tarkastellaan mihin energia jakautuu asuinrakennuksissa ja miksi sitä kuluu kuhunkin osa-alueeseen.

2.1 Mieleinen lämpötila

Lämpötila mielletään miellyttäväksi, kun ihmisen kehossa vallitsee lämpötasapaino, eli keho luovuttaa saman verran lämpöä, mitä se kehittää. Mieleinen lämpötila voidaan ennustaa suuremmalle joukolla ISO-standardin mukaisella PMV-menetelmällä (Predicted mean vote), joka jakaa lämpötuntemukset seitsemälle eri tasolle: kuuma, lämmin, hiukan lämmin, neutraali, hiukan viileä, viileä ja kylmä. PMV voidaan laskea neljän ympäristöön liittyvän muuttujan (ilman lämpötila, keskimääräinen säteilyn lämpö, suhteellinen ilman nopeus ja ilman kosteus) ja vaatteiden eristävyysarvon avulla. (ISO-7730 2015)

Rakennusten lämpötilaa pystytään säätämään lämmityksellä sekä ilmavirran nopeutta ja kosteutta ilmastoinnilla. Vuonna 2016 Euroopan Unionin valtiot kuluttivat 64,6 % asuinsektorin energiankulutuksesta rakennusten tilojen lämmitykseen. Jäähdytykseen kului vain 0,3 % osuus lopullisesta energiankulutuksesta. (Eurostat 2019) Vähentääkseen energian ja fossiilisten polttoaineiden käyttöä rakennusten lämmityksessä ja jäähdytyksessä, Komissio esitti helmikuussa 2016 EU:n lämmitys ja jäähdytys strategian COM(2016) 51. (Euroopan Komissio 2019c)

Varsinkin lämpimillä alueilla energiaa voidaan säästää jäähdytyksessä korottamalla tavoitelämpötilaa, eli lämpötilaa, johon lämmitys- ja jäähdytysratkaisuilla pyritään. Hoyt et al. (2015) tutkivat tavoitelämpötilan vaikutusta energiankulutukseen eri Yhdysvaltojen ilmastovyöhykkeillä. Tutkimuksesta käy ilmi, että jo yhden asteen lämpötilan korotuksella voidaan säästää jopa 26 % lämmitys- ja jäähdytyskustannuksissa. Vastaavasti kylmemmillä alueilla energiaa voidaan säästää laskemalla tavoitelämpötilaa.

Samassa tutkimuksessa todettiin, että laskemalla tavoitelämpötilaa asteella, voidaan säästää jopa 29 % lämmitys- ja jäähdytyskuluissa.

2.2 Sisäilman laatu ja terveys

Rakennuksen lämpötilan ja valaistuksen säätely eivät vaikuta pelkästään mukavuuteen, vaan niillä on myös terveydellisiä vaikutuksia. Väärä lämpötila, valaistuksen puutteet, sekä häikäisyt voivat aiheuttaa päänsärkyä, kuivuutta ja väsymystä. (Sisäilmayhdistys ry 2008) Sisäilman laadulla on suuri merkitys rakennusten asukkaiden hyvinvointiin. Sisäilman laatu kuvaa kuinka sisäilma vaikuttaa ihmisen terveyteen, mukavuuteen ja kykyyn työskennellä. Sisäilman laatuun vaikuttavat lämpötila, kosteus, ilmanvaihto, homevauriot tai altistuminen muille kemikaaleille. Yleisimpiä syitä sisäilmaongelmille ovat raikkaan ilman puute, heikko lämmitys- tai ilmanvaihtojärjestelmä, sekä kosteusvauriot. (Occupational Safety and Health Administration 2019)

Terveenä pysymiseen kuuluu myös oleellisesti puhtaus. Lämmin vesi on edellytys peseytymiseen ja puhtaana pysymiseen. Euroopan Unionissa veden lämmitykseen kului vuonna 2016 14,5 % lopullisesta asuinsektorin energiankulutuksesta, mikä oli enemmän kuin valaistukseen ja kodinkoneisiin kuluva energia (Eurostat 2019).

2.3 Valaistus ja visuaalinen miellyttävyys

Hyvä valaistus luo visuaalisen ympäristön, jossa on helppo liikkua sekä toimia tehokkaasti, tarkasti ja turvallisesti. Hyvä valaistus estää myös väsymystä ja visuaalista epämukavuutta. Valaistus voi olla peräisin joko päivänvalosta, sähkövalosta tai molemmista. Hyvä valaistus ei tarkoita pelkästään riittävää valon määrää, vaan valon alkuperällä ja sävyllä on myös merkitystä. Visuaaliseen miellyttävyyteen kuuluu myös oleellisesti auringon paisteen rajoittaminen, ja häikäisujen estäminen. (ISO 8995-1 2002) ISO 8995-1 -standardin mukaan visuaaliseen miellyttävyyteen voidaan vaikuttaa valaisimilla, auringon valolla, ja varjostuksella. Auringon valo ja varjostus ovat passiivisia keinoja valaistuksen säätelyyn, eivätkä kuluta käytön aikana juurikaan energiaa. Sopivalla ikkunoiden ja varjostimien sijoituksella voidaan vähentää valaistuksen ja jäähdytyksen tarvetta, mutta valaisimet ovat kuitenkin pääasiallisesti tarkastelun alla puhuttaessa energiatehokkuudesta.

Vanhat halogeenilamput kuluttavat huomattavasti enemmän energiaa mitä uudet LED-valaisimet. Vaihtamalla energiatehokkaaseen valaistukseen Euroopassa, voitaisiin säästää tarpeeksi energiaa ylläpitämään 11 miljoona kotitaloutta ja välttämään 12 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt. (Euroopan Komissio 2019d) Korkeaan energiatehokkuuteen pyrittäessä valaistuksessa olisi siis järkevä välttää halogeenivalaisimia ja suosia luonnonvaloa ja LED-valaisimia.

2.4 Eläminen ja vapaa-aika

Energiaa kuluu lämmityksen, jäädytyksen ja valaistuksen lisäksi ruoanlaittoon, kodinkoneisiin, viihde-elektroniikkaan ja esimerkiksi sähköautojen lataukseen. Tilastojen mukaan vuonna 2016 Euroopan Unionissa kului 5,5 % asuinsektorin energiankulutuksesta ruoanlaittoon ja 13,8 % valaistukseen ja muihin laitteisiin. (Eurostat 2019).

Belgialainen ei-kaupallinen energiasivusto energuibe.be on listannut eri kodinkoneiden ja sähkölaitteiden energiankulutuksia vuositasolla. Arvot on arvoitu tyypillisen Brysseliläisen perheen kulutuksen mukaan, mutta vaihtelevat tietysti todellisuudessa käytön mukaan. Tutkimuksen mukaan keittiön sähkölaitteista eniten energiaa vievät vuositasolla jääkaapit, tiskikoneet, sekä keittolevyt. Kodinkoneista eniten energiaa kuluttavat kuivaus- ja pesukone. Kylpyhuoneen ylimääräinen lattialämmitys vie myös yllättävän paljon energiaa. Käytettäessä lattialämmitystä kaksi tuntia 150 päivänä vuodessa, kulutus on enemmän mitä vanhahkolla jääkaapilla vuodessa. (Energuibe.be 2019)

Laitteiden energiankulutukseen vaikuttavat paljon laitteiden energiatehokkuusluokat. Tutkimusten mukaan esimerkiksi energiatehokas jääkaappi kuluttaa yli puolet vähemmän energiaa mitä perinteinen malli, säästäten noin 310 kWh vuodessa. Energiatehokkaimmasta päästä oleva pesukone voi säästää vuodessa 90 kWh verrattuna keskitason koneeseen. Viihde-elektroniikan energiankulutus ei ole yhtä korkea kuin kodinkoneilla, selittyen niiden vähemmällä käytöllä. Isoja määriä energiaa voivat kuitenkin kuluttaa halogeenivalaisimet sekä vanhat plasmatelevisiot. Pelikonsolit vievät myös suhteellisen paljon energiaa. Jos konsoleita käytetään kaksi tuntia päivässä, energiaa kuluu noin puolet tehokkaan jääkaapin tarpeesta vuodessa. (Energuibe.be 2019)

3 LAINSÄÄDÄNTÖ

Energiatehokkaiden rakennusten hyödyt on tiedostettu EU-tasolla, ja Unioni pyrkiikin lisäämään rakennusten energiatehokkuutta lainsäädännön avulla. Direktiivit rakennusten energiatehokkuudesta (Direktiivi 2010/31/EU) ja energiatehokkuudesta laajemminkin (Direktiivi 2012/27/EU) sekä näistä myöhemmin muokattu direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta (EU) 2018/844 ovat tällä hetkellä suurimmassa roolissa rakennusten energiatehokkuuden kehittämisessä.

Direktiiveillä ja suosituksilla Unioni pyrkii lisäämään rakennusten energiatehokkuutta ja tuomaan ekonomisia, sosiaalisia ja ekologisia hyötyjä sekä vähentämään *energiaköyhyyttä*. Energiaköyhyydellä tarkoitetaan tilannetta, jossa asukkailla ei ole varaa käyttää energiaa lämmitykseen, jäähdytykseen, tai muihin välttämättömiin sähkölaitteisiin, jolloin kohtuullinen elämisen taso jää saavuttamatta. (Euroopan Komissio 2019e). Direktiivit ja suositukset ajavat *lähes nollaenergiatalojen* ja *älytalojen* lisäämistä, joita tarkastellaan tarkemmin seuraavissa kappaleissa. Euroopan parlamentin ja neuvoston antama rakennusten energiatehokkuutta koskeva direktiivi (EU) 2018/844 (jäljempänä Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi) esittää, että rakennusten energiatehokkuus määritetään lasketun tai tosiasiallisen energiakäytön perusteella. Direktiivin mukaan energiatehokkuuden laskemisessa täytyy ottaa huomioon tilojen lämmitykseen ja jäähdytykseen, käyttöveden lämmitykseen, kiinteään valaistukseen, ilmanvaihtoon ja muihin rakennuksen teknisiin järjestelmiin käytetty energia.

Euroopan komissio velvoittaa lähes nollaenergiarakennuksiin siirtymistä. Komission suositus suuntaviivoista lähes nollaenergiarakennusten edistämiseksi (EU) 2016/1318 (jäljempänä Suositus lähes nollaenergiarakennusten edistämisestä) velvoittaa jäsenvaltioiden noudattamaan kyseisen suosituksen suuntaviivoja. Jäsenvaltioiden on pyrittävä varmistamaan kaikkien uusien rakennuksien olevan lähes nollaenergiarakennuksia 31. päivään joulukuuta 2020 mennessä. Lisäksi olemassa olevien rakennuksien korjaamista lähes nollaenergiarakennusten standardeja vastaavaksi pitäisi edistää.

Älyrakennusten edistämiseksi rakennusten energiatehokkuusdirektiivissä vahvistetaan älyratkaisuvaihtoehtoja koskevan indikaattorin luokittelukehys. Indikaattorin laskemisessa

otetaan huomioon älyratkaisujen vaikutus energia- ja kokonaistehokkuuteen sekä rakennuksen kyky mukautua asukkaiden ja verkon tarpeiden mukaan. Uudet rakennukset täytyy varustaa itsesäätyvillä laitteilla, jotka säätelevät lämpötilaa jokaisen eri huoneen mukaan, kun se on taloudellisesti ja teknisesti toteutettavissa. Lisäksi rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (2012/27/EU) velvoittaa yli 290 kW lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmiin käytäviin, muihin kuin asuinrakennuksiin, varustettaviksi rakennusten automaatio- ja ohjausjärjestelmät vuoteen 2025 mennessä toteutettavuuden mukaan. Asuinrakennuksiin suositellaan myös sähköisiä seuraus- ja ohjaustoimintoja. Direktiivin mukaan rakennusten automaatio- ja ohjausjärjestelmien on kyettävä seuraamaan ja kirjaamaan energian käyttöä ja mukauttamaan sitä datan analysoinnin jälkeen, analysoimaan rakennuksen energiatehokkuutta ja havaitsemaan tehokkuushävikit sekä mahdollistamaan kommunikointi muiden rakennukseen liittyvien laitteiden kanssa. ((EU) 2018/844)

Rakennuksen automaattiset säätö- ja ohjaustoiminnot voidaan luokitella neljään eri luokkaan EN 15232 -standardin avulla. Standardi tarkastelee säätöä rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia automaatioita ja teknillisiä ratkaisuja minimivaatimuksia näiden funktioiden toteuttamiselle eri rakennustyypeissä, sekä yksityiskohtaista tarkastelua jokaisen ratkaisunvaikutuksesta rakennuksen energiatehokkuuteen. Automatisoituja funktioita voi olla esimerkiksi lämmön ohjaus, sisäilman laadun ohjaus, valaistus, hälytysten ja energian monitorointi, sekä vianmääritys. Taulukossa 2 on kerrottu standardin eri luokkien vaatimukset.

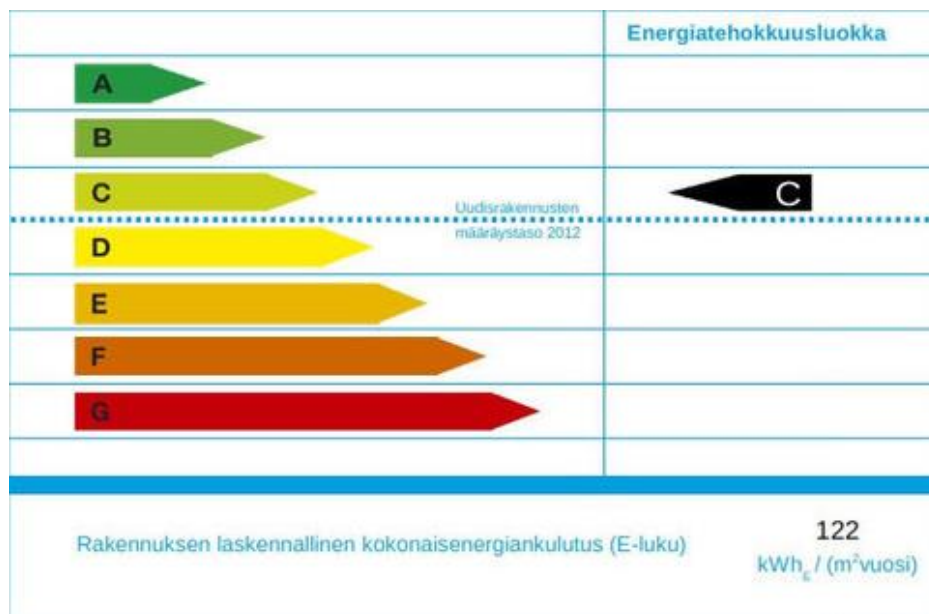
Taulukko 2. EN 15232 Standardin luokitukset (Mariottini 2016)

Luokka	Vaatimukset
A	Energiatehokkaat rakennuksen Automaatio- ja kontrollijärjestelmä (BACS) ja Tekninen rakennuksen hallinta (TBM)
B	Kehittynyt Automaatio- ja kontrollijärjestelmä ja hieman Teknistä rakennuksen hallintaa
C	Normaali Automaatio- ja kontrollijärjestelmä (referenssiluokka)
D	Ei-energiatehokas Automaatio- ja kontrollijärjestelmä

Direktiivien soveltaminen Suomessa

Direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta (2010/31/EU) velvoittaa muun muassa jäsenvaltioita antamaan energiatehokkuustodistuksen rakennettavista, myytävistä ja vuokrattavista rakennuksista tai rakennuksen osista. Suomessa tämä on saatettu voimaan energiatodistuksesta annetun lain (50/2013) ja ympäristöministeriön rakennuksen energiatodistusta koskevan asetuksen (1048/2017) nojalla.

Energiatodistus tarkastelee nimenomaan rakennuksen energiankulutusta. Laskennan perusteella rakennukselle annetaan energiatehokkuusluokka A:sta G:hen, jossa A viittaa matalimpaan energian kulutukseen. Suomen lainsäädännön mukaan energiatehokkuusluokan tunnus täytyy näkyä julkisesti esillä olevassa myynti- tai vuokrausilmoituksessa (Asetus 1048/2017). Kuvassa 1 on esimerkki energiatodistuksesta, jossa rakennukselle on annettu energiatehokkuusluokka C.



Kuva 1. Energiatodistus (Insinööritoimisto Lehtonen 2019).

Energiatodistuksen luokitteluasteikkojen raja-arvot riippuvat energiatodistuksen teon ajankohdasta, käyttötarkoituksesta sekä pienissä asuinrakennuksissa pinta-alasta. Luokittelu tapahtuu E-luvun perusteella, joka kertoo rakennuksen laskennallisen kokonaisenergiakulutuksen vuotta kohti. (Ympäristöministeriö 2018, s. 10) Kuvasta 1 nähdään, että kyseinen energiatodistus on tehty vuoden 2012 uudisrakennuksen

määräystason mukaan ja E-luvuksi on laskettu 122. Taulukossa 3 on esimerkki vuoden 2017 energiatehokkuuden luokitteluasteikosta asuinkerrostaloille.

Taulukko 3. Vuoden 2017 energiatehokkuusluokkien raja-arvot asuinkerrostaloille (Energiatodistussopas 2018, s. 15).

Energiatehokkuusluokka	E-luku (kWh _E /m ² a)
A	E-luku ≤ 75
B	76 ≤ E-luku ≤ 100
C	101 ≤ E-luku ≤ 130
D	131 ≤ E-luku ≤ 160
E	161 ≤ E-luku ≤ 190
F	191 ≤ E-luku ≤ 240
G	241 ≤ E-luku

4 PASSIIVI- JA LÄHES NOLLAENERGIARAKENNUS

Suurin osa rakennuksen elinkaaren energiankulutuksesta kuluu käytön aikana tilojen lämmitykseen ja jäähdytykseen. Rakennuksen lämmitys on myös olosuhteista riippumatta perustarve, jota ei voi välttää käyttötottumuksien muutoksilla (RIL 249-2009, s. 11). Näistä syistä on kehitelty yhä paremmin eristäviä ja lämpöä keräviä rakennuksia, joilla pystytään vähentämään vaadittavan lämpöenergian määrää. Tässä kappaleessa tutustutaan matalaenergiisiin rakennuksiin, niiden määritelmiin, sekä ratkaisuihin, joilla päästään korkeaan energiatehokkuuteen niin lämmityksen kuin muidenkin osa-alueiden kohdalta.

4.1 Termistö

Passiivitalo-termi otettiin käyttöön 70-luvun Yhdysvalloista, missä nimitystä alettiin käyttämään, vaikka termi onkin ilmeisesti käännetty saksan kielen sanasta ”Passivhaus”. Alkuperäinen saksalainen/amerikkalainen määritelmä ideaalille passiivitalolle oli, että talo pystyisi lämmittämään ja jäähdyttämään itsensä passiivisesti. (Kaan & de Boer 2005, s. 3) Passiivi on energiatehokas talo, jonka energiatehokkuus perustuu tehokkaasti eristävään ulkovaippaan ja lämmön talteenottoon. Passiivitaloa voidaan myös kutsua termillä matalaenergiatalo. Passiivitaloissa on mahdollista yksinkertaistaa lämmönjakojärjestelmään ja niissä käytetäänkin usein ilmanvaihtolämmitystä. Passiivitalojen kustannusrakenne eroaa tavallisista rakennuksista. Esimerkiksi rakenneosat, eristys, lämmön talteenotto ja auringonsuojaus ovat tärkeässä asemassa energiatehokkuuden maksimoimiseksi. Näiden kustannukset pyritään kattamaan yksinkertaisemmalla ja siten edullisemmalla lämmitysjärjestelmällä, sekä rakennuksen arvon nousulla tulevaisuudessa. (RIL 249-2009, s. 10). Nykyisin passiivitalo -termiä käytetään enää vähän ja varsinkin Euroopan toimielinten julkaisuissa käytetään rakennusta paremmin kuvaavaa termiä, *lähes nollaenergiarakennusta*. Tästä syystä tässä työssä tarkastellaan tästedes lähes nollaenergiarakennuksia passiivitalojen sijasta.

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi määrittelee lähes nollaenergiarakennuksen tarkoittavan rakennusta, jolla on erittäin korkea energiatehokkuus. Tarvittava vähäinen, lähes olematon energiamäärä, olisi tuotettava uusiutuvista energialähteistä joko paikan päällä tai rakennuksen lähistöllä. Jotta rakennusta voidaan kutsua lähes

nollaenergiarakennukseksi, täytyy sen energiankulutuksen päästä tiettyihin raja-arvoihin. Rakennusten energiatehokkuuden vertailussa ei ole suotavaa tarkastella asukkaiden käytöksestä johtuvia eroja, vaan keskittyä nettoprimäärienergiaan eli lämmitykseen, jäähdytykseen, lämpimään käyttöveteen, valaistukseen ja ilmanvaihtoon käytettyyn energiaan. Komission suositusten mukaan energiatehokkuuden laskennan lopullisena tavoittaa on määrittää vuotuinen kokonaisenergiankulutus ilmaistuna nettoprimäärienergiana. Suosituksen mukaan valtaosa jäsenvaltioista käyttääkin jo yhteistä indikaattoria (kWh/m² vuotta kohti) ilmaisemaan primaarienergian käyttöä. Tätä indikaattoria voidaan käyttää määritettäessä lähes nollaenergiatalojen kansainvälistä tavoitetasoa. ((EU) 2016/1318)

Taulukossa 4 on havainnollistettu lähes nollaenergiarakennuksien raja-arvot eri ilmastovyöhykkeillä. Komission suosituksessa (2016/1318) kerrotaan, ettei lähes nollaenergiarakennusten tavoitetaso voi olla kaikkialla EU:ssa sama koska on otettava huomioon eri ilmasto-olojen vaikutukset. Taulukon arvot kertovat sallitun maksimitarpeen primäärienergian nettomäärälle vuodessa. ((EU) 2016/1318) Primäärienergialla tarkoitetaan energiaa, johon ei kohdistu mitään muunto- tai kuljetusprosesseja (RIL 249-2009, s.14).

Taulukko 4. Lähes nollaenergiatalojen vaatimukset eri EU:n ilmastovyöhykkeillä ((EU) 2016/1318).

	Toimistorakennukset	Uudet omakotitalot
Välimeren vyöhyke	20–30 kWh/m ²	0–15 kWh/m ²
Atlantin vyöhyke	40–55 kWh/m ²	15–30 kWh/m ²
Mannervyöhyke	40–55 kWh/m ²	20–40 kWh/m ²
Pohjoinen vyöhyke	55–70 kWh/m ²	40–65 kWh/m ²

Tavallisesti primäärienergian käyttö jokaisessa vyöhykkeissä on paljon suurempi kuin nettomäärän arvo, mutta paikan päällä tuotettavalla uusiutuvista energialähteistä peräisin olevalla energialla saadaan katettua osa energiatarpeesta ((EU) 2016/1318). Taulukosta 4 voidaan huomata, että lämpimimmillä ja valoisemmilla alueilla kuten Välimeren

vyöhykkeellä energiantarpeen rajoitukset ovat tiukemmat kuin esimerkiksi pohjoisella vyöhykkeellä, jossa on kylmempää ja vähemmän valoisempaa.

4.2 Tekniset ratkaisut energiatehokkuuden lisäämiseen

Rakennuksen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa monella eri tavoilla muun muassa arkkitehtuurilla, rakenteella, energiatehokkailla laitteilla sekä tehokkaalla ilmanvaihtojärjestelmällä, joka tuottaa myös terveellisen sisäilman. Lähes nollaenergiarakennuksen määritelmän mukaan rakennuksen on oltava hyvin energiatehokas. Tässä osiossa tarkastellaan, millä menetelmillä ja ratkaisuilla päästään tähän korkeaan energiatehokkuuteen.

Arkkitehtuuri

Arkkitehtisuunnittelun keskeisiä valintoja lämpöolojen hallinnan ja energiatehokkuuden kannalta ovat rakennuksen sijainti, suuntaus, muoto, ikkunoiden koko, sekä auringonsuojaus (RIL 249-2009 s. 51). Rakennuksen muoto vaikuttaa julkisivujen ja katon pinta-alaan, jotka vaikuttavat siihen, kuinka paljon lämpöä absorboituu auringon säteilystä. Liiallinen lämmön absorptio johtaa asunnon kuumenemiseen ja täten ylimääräiseen energiankulutukseen ilmastointia tehostettaessa. Vastaavasti rakennuksen muoto vaikuttaa myös lämpöä luovuttavan ulkopinnan alaan ja lämpöhäviöiden määrään. Rakennuksen suuntaus määrittää rakennuksen muodon kanssa kuinka suuri osa julkisivusta on esillä auringolle eri kardinaalipisteissä. Rakennuksen muodon ja suuntauksen optimoinnilla on mahdollista saavuttaa jopa 36 % energiasäästöt. (Pacheco et al. 2012)

Tutkimusten mukaan (Pacheco et al. 2012) rakennusta suunniteltaessa rakennuksen ulkopinta-alan ja rakennetun tilavuuden suhde täytyisi olla mahdollisimman pieni, mutta muotoilullisista ja rakenteellisista syistä tämä ei ole usein realistista. Lisäksi, jos rakennuksessa on käytössä aurinkopaneeleita, voi suurempi auringolle esillä oleva julkisivun pinta-ala olla kannattavaa energiatehokkuuden näkökulmasta (Sartori et al. 2015). Auringonsuojauksen rakenteellisina ratkaisuina voidaan käyttää parvekkeita, lippoja, ritiloita, tai ulkoisia sälekaihtimia. Varjostuksena voi myös hyödyntää puita sekä naapurirakennuksia. (RIL 249-2009, s. 53-54)

Ulkovaipan materiaali ja rakenne

Rakennuksen ulkovaipalla tarkoitetaan yleensä rakennuksen ulointa kerrosta, eli kattoa ja julkisivua. Sen tehtävänä on eristää ympäristön fysikaaliset tekijät kuten lämpö, valo ja ääni, jotta asunnossa olisi miellyttävä olla. (Oral et al. 2004) Rakennuksen ulkovaipan osat vaikuttavat lähes yksinomaan rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystarpeisiin. Tasaiset ja loivat katot vastaanottavat yleensä enemmän auringonsäteilyä kuin julkisivut. Vähentämällä kattojen absorboimaa lämpösäteilyä voidaan laskea jäähdytykseen kuluvan energian määrää. Erilaisilla kattomateriaaleilla voidaan vaikuttaa tämän lämmön keräytymiseen. Perinteisten pelti- ja laattakattojen ohelle on kehitetty niin sanottuja *viileitä kattoja*, jotka voivat koostua esimerkiksi synteettisistä kuidusta tai metamateriaaleista. Fang et al. (2019) esittelevät artikkelissaan uuden viileäkattomateriaalin, joka on valmistettu metamateriaalifilmistä nimeltään RadiCold. RadiColdin tehokkuus piilee siinä, että katto pystyy siirtämään rakennuksen sisältä lämpöä ulkoilmaan. RadiColdista valmistettu katto säästää vuodessa 113,0–143,9 kWh/m² jäähdytyskustannuksissa verrattuna tavalliseen laattakattoon. (Fang et al. 2019)

Ulkovaipan julkisivuille on olemassa myös ratkaisuja, joilla voidaan säästää energiantarvetta entisestään. Luo et al. (2019) ovat tutkineet *aktiivisen ulkokuoren* määritelmää ja havaitsivat sen huomattavasti energiatehokkaammaksi kuin passiiviset ulkokuoret. He määrittelevät ulkokuoren aktiiviseksi, kun se: 1) aktiivisesti hyödyntää energian syöttöä ulkokuoren lämmittämiseksi ja jäähdyttämiseksi, tai valaistuksen säätelemiseksi vähentäen suoraan lämmitys- ja jäähdytyslaitteiden tarvetta, usein syrjäyttäen ne kokonaan mekaanisilla, elektronisilla tai kemikaalisilla toimenpiteillä; tai 2) toimiessaan energian muuntimena muuttaen uusiutuvaa energiaa rakennukselle soveltuvaksi energiaksi, parantaen näin rakennuksen suorituskykyä energiatehokkuuden näkökulmasta.

Energiatehokkaat laitteet

Oleellisena osana lähes nollaenergiarakennusta ovat energiatehokkaat laitteet. Laitteiden energiatehokkuutta voidaan vertailla erilaisilla energialeimoilla, jotka kertovat laitteiden energiankulutuksen vuositasolla. EU:n energialeimat antavat selkeän viittauksen tuotteen energiatehokkuudesta jo ostohetkellä. Energiroleimat helpottavat kuluttajien valintaa tuotteiden välillä energian säästämiseksi sekä kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi.

Näillä leimoilla ja standardeilla EU:ssa uskotaan säästettävän noin 175 miljoonaa öljytonnia vastaava energiamäärä vuosittain vuoteen 2020 mennessä. Kuluttajille tämä tarkoittaisi keskimäärin 500 euron säästöä vuodessa energialaskuissa.

Nykyinen leimojen arviointiasteikko A+++sta D:hen ollaan muuttamassa yksinkertaisemmaksi A:sta G:hen asteikoksi johtuen laitteiden kasvavasta energiatehokkuudesta. Esimerkiksi vuonna 2017 90 % myydyistä jääkaapeista ja pesukoneita olivat joko A+, A++ tai A+++ luokkaa. Valitsemalla vain A-tehokkuusluokan laitteita, saadaan minimoitua laitteisiin tarvittavan energian määrä. (Euroopan Komissio 2019f)

Ilmanvaihto ja ilmastointi

Lähes nollaenergiarakennuksien lämmitys- ja jäähdytystarpeet on hyvin pienet johtuen hyvästä ulkovaipan eristyksestä sekä lämmön talteenottokyvystä. Tällöin rakennusta voidaan lämmittää ja jäähdyttää taloudellisesti yksinään ilmanvaihdolla. Kivi- ja keramiikkapintaisten lattioiden kohdalla, varsinkin märkätiloissa voidaan käyttää lisäksi lattialämmitystä. (RIL 249-2009, s. 121) Ilmanvaihtolaitteiden energiatehokkuus korostuu, kun lämmitykseen ja jäähdytykseen käytetään pääasiallisesti ilmanvaihtoa.

Ilmanvaihdosta aiheutuu lämpöhäviöitä rakennuksesta poistuvan ilman mukana. Tämän takia on kehitetty lämmöntalteenottolaitteita, jotka ottavat talosta poistuvan lämpimän ilman lämpöenergian talteen. Talteen otetulla energialla voidaan lämmittää rakennukseen tulevaa ilmaa. Rakennuksen lämmitys voidaan toteuttaa ilmanvaihtokoneen avulla, johon on liitetty lämpöpumppu. Lähes kaikissa uusissa pientaloissa on asennettuna koneellinen ilmanvaihto, joka on varustettu lämmöntalteenotolla. Sisäilman laadun kannalta koneellinen ilmanvaihto on myös parempi, sillä se suodattaa samalla rakennukseen tuotavan ilman. (Energiatehokas koti 2018)

Uusiutuvan energian tuottaminen

Tarvittavan energian määrää pystytään myös vähentämään tuottamalla energiaa itse rakennuksessa. Uusiutuvaa energiaa pystytään tuottamaan esimerkiksi rakennukseen asennettavilla aurinkopaneeleilla, joilla voidaan tuottaa lämpöä tai sähköä, sekä tuuliturbiineilla, joilla saadaan tuotettua sähköä. (Chel & Kaushik 2018) Hiilidioksidipäästöjä ja fossiilisten raaka-aineiden kulutusta pystytään myös vähentämään käyttämällä maakaasua tai biomassaa rakennuksen lämmitystarpeisiin, vaikka ne eivät varsinaisesti energian tuottamista olekaan.

Euroopan komission teettämässä tutkimuksessa lähes nollaenergiarakennuksiin siirtymisestä on tarkasteltu uusiutuvien energiamuotojen käyttöä ja tehokkuutta eri Euroopan alueilla. Auringon lämpöenergian keräämiseen suunnitellut laitteet ja aurinkopaneelit toimivat tutkimuksen mukaan parhaiten Länsi- ja Etelä-Euroopassa korkean auringon valon säteilyn ja hyvän markkinatilanteen vuoksi. Itä-Euroopassa järjestelmiä on vielä vähän ja Pohjois-Euroopassa järjestelmien täytyisi toimia hyvin tehokkaasti vähäisen valon määrän takia. (Hermelink et al. 2013, s. 22)

4.3 Tavallisista rakennuksista siirtyminen lähes nollaenergiarakennuksiin

Euroopan lämmitys-, ilmanvaihto- ja ilmastointiyhdistysten liiton (The Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning associations, REHVA) artikkelissa tarkastellaan lähes nollaenergiarakennuksien ja energiaa enemmän tuottavien kuin käyttävien rakennusten (ns. plus-energiarakennuksien) rakentamisen kustannuksia sekä niihin siirtymisen haasteita. Suurin osa lähes nollaenergiarakennus-projekteista Euroopassa ovat joko pieniä omakotitaloja, paritaloja tai rivitaloja. Taloudellisesta näkökulmasta nämä eivät ole kuitenkaan parhaiten sopivia lähes nollaenergiaprojekteille. Pienien talojen pinta-alan ja tilavuuden suhde on yleensä suuri, jolloin lämpöhäviötä tapahtuu enemmän, ja joudutaan investoimaan parempaan eristyskerrokseen. Myöskin tekniset ratkaisut lämmitykseen ja ilmanvaihtoon ovat yleensä kalliimpia pienemmässä mittakaavassa, tai tarvittava teknologia ei ole vielä tarpeeksi kehittynyttä. Lähes nollaenergiarakennuksen saavuttaminen teknisesti on suhteellisen helppoa, mutta sen toteuttaminen taloudellisesti kannattavasti on paljon vaikeampaa. Suurin osa projekteista

on rakennettu tutkimus- ja näytetarkoituksiin, joiden kustannukset ovat korkeammat kuin suurella mittakaavalla rakennettaviin kaupallisiin rakennuksiin. (Sartori et al. 2015)

Kustannukset eivät eroa suuresti verrattuna tavallisiin rakennuksiin

REHVA:n artikkelin data kerättiin Unionin johtamalta tutkimukselta yhteensä 33 asunnosta eri ilmastollisista ja ekonomisista taustoista, sekä seitsemästä kansallisesta tutkimuksesta Saksasta, Italiasta ja Norjasta. Kansallisissa tapauksissa kirjoittajat pääsivät suoraan käsiksi kustannusdataan ja kustannuskategorioiden jakaumaan (ulkovaippa, lämmitys ja ilmastointi, aurinkovoima ja muut uusiutuvan energian systeemit). Tutkimuksen kohteet olivat omakotitaloista useista taloista koostuviin naapuristoihin asti. Tutkimuksen mukaan lähes nollaenergia- ja plus-energiarakennuksien kustannukset vaihtelivat paljon, 0–25 % yli tavanomaisen rakennuksen kustannuksen. Energiatehokkaiden rakennusten kustannukset olivat keskiarvoltaan 11 % normaalia rakennusta korkeammat, kun otetaan huomioon rakennus- ja ylläpitokustannukset, sekä mahdollisen tuotetun energian tuotot verkkoon myydyistä sähköstä. (Sartori 2015)

Kansallisissa tapauksissa energiaterhokkaiden rakennusten ulkovaipan kustannukset olivat keskimäärin 104 % (vaihteluväli 101–111 %), tavanomaisen rakennuksen kustannuksista. Lämmitys-, ilmanvaihto- ja ilmastointikustannukset olivat keskimäärin 102 % tavanomaisen rakennuksen kustannuksista. Muotoiluun kului keskimäärin 101 %, verrattuna tavanomaisiin rakennuksiin, ja aurinkokennoihin tai muihin uusiutuvan energian järjestelmiin kului keskimäärin 107 % (vaihteluväli 102–122 %) verrattuna normaaleihin rakennuksiin. (Sartori 2015) Taulukossa 5 on havainnollistettu kustannuksien poikkeamat eri kategorioissa verratessa kansallisten tapausten energiaterhokkaita taloja normaaleihin.

Taulukko 5. Energiatehokkaan rakennuksen eri kategorioiden kustannusanalyysi (Sartori 2015)

Kategoria	Kustannuspoikkeama normaaliin rakennukseen	Kustannuspoikkeaman keskiarvo
Ulkovaippa	101–111 %	104 %
Lämmitys, ilmanvaihto ja ilmastointi	97–107 %	102 %
Uusiutuvan energian järjestelmät	102–122 %	107 %
Muotoilu	96–105 %	101 %

Kuten arvoista huomataan, lähes nollaenergia- tai plus-energiatalojen kustannukset eivät nouse vain yhdestä kategoriasta, vaan muutos on kaikista kategorioista johtuva. Suurimmat kustannuserot havaitaan uusiutuvan energian järjestelmissä, mutta tämänkin oletetaan tulevan alas aurinkokennojen hinnan laskiessa.

Sartori et al. (2015, s. 5-6) ovat myös vertailleet eri standardeilla rakennettujen rakennusten kustannuseroja, joiden energiaterhoisuus on kuitenkin sama. Korkean standardin rakennuksessa voi olla esimerkiksi käytetty laadukkaampia tai hienompia materiaaleja, viimeistelyä tai arkkitehtuurisia ominaisuuksia, jotka nostavat rakennuskustannuksia. Keskitason standardin rakennukseen verrattuna korkean standardin rakennuksen kustannukset olivat keskimäärin 21 % korkeammat, kun taas lähes nollaenergia- ja plus-energiarakennusten kustannukset kansallisissa tapauksissa olivat keskimäärin 15 % keskitason standardin rakennusta korkeammat.

5 ÄLYRAKENNUKSET

Teknologian ja tietotekniikan kehittyessä ja yleistyessä yhä useammassa arkielämän asiassa tai laitteessa on käytössä jotain ”älykästä”. Rakennuksiin on myös kotiutunut tämä älykkyys. Älykäs rakennus pystyy helpottamaan asukkaiden elämää, lisäämään turvallisuutta, mutta ennen kaikkea vähentämään energiankulutusta. Tässä kappaleessa tarkastellaan älyrakennuksen määritelmää sekä siihen liittyvää termistöä, mitkä tekniset ratkaisut tekevät älykkäästä rakennuksesta entistä energiatehokkaamman, sekä kuinka tavallisesta rakennuksesta saadaan älyrakennus.

5.1 Termistö

Suhteellisen tuore termi, älyrakennus, hakee vielä paikkaansa ja älyrakennukselle onkin annettu monia eri määritelmiä eri tahojen puolesta. Eurooppalainen voittoa tavoittelematon järjestö Buildings Performance Institute Europe (BPIE) on koonnut näistä olemassa olevista määritelmistä yhteen avainasiat, ja rakentanut niistä määritelmän älyrakennukselle (De Groot et al. 2017):

Älyrakennus on hyvin energiatehokas rakennus ja kattaa käyttämänsä vähäisen energiatarpeen paikallisella tai alueellisella uusiutuvalla energialla.

Lisäksi se 1) stabiloii ja vähentää hiilidioksidipäästöjä varastoimalla energiaa ja luomalla juostavuutta energian kysynnälle, 2) antaa käyttäjille ja asukkaille kontrollin energiavirroista sekä 3) tunnistaa, ja reagoi käyttäjien ja asukkaiden tarpeisiin kuten hyvinvointiin, terveyteen, sisäilman laatuun, turvallisuuteen, sekä toimintakunnon vaatimuksiin.

Älyrakennusten kehittyessä on ilmaantunut myös uusi energiaverkoston muoto, *älykäs sähköverkko*. Älykäs sähköverkko sisällyttää vuorovaikutteisen ja reaaliaikaisen infrastruktuurin dynaamiseen ympäristöön, joka tekee verkosta joustavan ja tehokkaan. Ohjaus, automaatio ja tietotekniikka kommunikoivat kaksisuuntaisesti asiakkaiden ja verkon operaattorin välillä. Älykkään verkon etuina on helppo integroitavuus uusiutuvien energialähteiden, energian varastointilaitteiden ja rakennusten kanssa, jolloin voidaan

edistää tehokasta ja luotettavaa sähkön jakelua ympäri verkkoa. Älyrakennukset ovat keskeisessä asemassa perustettaessa älykästä verkkoa. (Georgakarakos et al. 2018)

5.2 Tekniset ratkaisut energiatehokkuuden parantamiseksi

Älykkäitä taloteknisiä osajärjestelmiä voidaan integroida yhteen rakennusautomaatiolla, jolloin saadaan vähennettyä energiankulutusta, CO₂-päästöjä, sekä niiden avulla pystytään keräämään tietoa tai toteuttamaan huoneistojen mittausta ja säätöä. Toisiinsa integroitavia teknisiä osajärjestelmiä ovat esimerkiksi lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät, käyttövesijärjestelmät, ilmanvaihtojärjestelmät ja valaisinratkaisut. (Rantala 2015, s. 37) Kuten älyrakennuksen määritelmästä käy ilmi, älyrakennus vaatii teknisiltä ominaisuuksiltaan hyvin paljon samoja asioita, kuin matalaenergiarakennukset. Korkeaan energiatehokkuuteen tähdätessä on lähdettävä liikkeelle samoista asioista mistä matalaenergiarakennuksetkin koostuvat. Seuraavaksi käydään läpi, mitä teknisiä ominaisuuksia älyrakennukset pitävät sisällään, ja kuinka ne auttavat vähentämään energiankulutusta entisestään.

Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät

Älykkäitä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien ominaisuuksia on olemassa esimerkiksi tarpeenmukainen tilanneohjaus, säätötilan ennakointi ja kysynnän ja kulutuksen joustaminen sähköverkossa. Älykkäässä rakennuksessa on paikallisten tietojärjestelmien pystyttävä lukemaan tietoa ympäristön olosuhteista ja käyttämään sitä omassa tietokannassaan. Älykkään rakennuksen ohjausjärjestelmä pystyy käyttämään tällöin esimerkiksi Ilmatieteen laitoksen dataa sääennusteesta, jolloin se pystyy aloittamaan ennakoitua säädöksiä lämmityksessä tai jäähdytyksessä. Älykkäässä rakennuksessa voi olla myös oma sääasema, jonka perusteella rakennus reagoi automaattisesti ympäristön olosuhteiden muutoksiin lämmitys- tai jäähdytys säädöillä. Automaattisesti reagoiva rakennus vähentää lämmitys- ja jäähdytysenergian tarvetta. (Rantala 2015, s. 42-43)

Käyttövesijärjestelmät

Veden säästöön on useita eri teknisiä keinoja, mutta tehokkaimmin ja helpoimmin säästöjä saadaan muuttamalla kulutustottumuksia hygieniasta ja mukavuudesta

tinkimättä. Älykkääseen rakennukseen voidaan asettaa lämpimän käyttöveden kulutusta mittaava käyttöliittymä, joka kertoo merkkivalolla tavoitetason lähestymisen, ja mahdollisesti myös katkaisee lämpimän käyttöveden syötön. Havainnollistamalla ja tuomalla paremmin esille lämpimän veden kulutusta, on asukkaiden helpompi tarkkailla omia tottumuksia ja pohtia miten niitä voisi parantaa. (Rantala 2015, s. 45)

Markkinoilla on jo olemassa järjestelmiä, jotka näyttävät veden kulutuksen reaaliajassa esimerkiksi puhelimelta tai tietokoneelta. Järjestelmät seuraavat veden kulutusta kokoaikaisesti ja vesivuodon sattuessa ne hälyttävät viasta käyttäjälle, jotta suurempia vuotoja ei ehdi syntyä. Uudet järjestelmät pystyvät myös mittaamaan maaperän kosteutta ja säätämään kastelua sen mukaan. (HydroPoint 2018)

Ilmanvaihto ja ilmastointi

Älykäs rakennus osaa ottaa ilmastoinnin korvausilman aina rakennuksen varjoisemmalta puolelta, jotta ilma olisi viileä, ja lämmittää sitä tarvittaessa poistuvan ilman sisältämällä lämmöllä. Älykäs ilmanvaihto voi myös säätää tuuletusventtiilien asentoa riippuen ympäristön lämpötilasta. Esimerkiksi lämpiminä kesäpäivinä älyrakennus voi tehostaa rakenteiden jäähtymistä avaamalla ilmanvaihtoventtiilit yöksi, kun ulkoilma on viileämpää. (Rantala 2015 s. 47-49)

Ilmastointikustannuksissa voidaan säästää lämmittämällä tai jäähdyttämällä tilaa ennakkoidusti riippuen sähkön hinnan muutoksista. Hu et al. (2019) ovat kehittäneet kysyntään reagoivan järjestelmän ilmastointilaitteiden hallintaan perustuen reaaliaikaiseen sähkön hintaan. Ilmastointijärjestelmä reagoi sääolosuhteisiin, asukkaiden läsnäoloon, sekä reaaliaikaisesta sähkönhintaan viiden minuutin erotuksella. Tutkimuksessa käy ilmi, että järjestelmä pystyy esijäähdyttämään tilan automaattisesti ja optimaalisesti ennen asukkaiden saapumista, lisäten näin asukkaiden mukavuutta. Tutkimus osoittaa kysyntään reagoivan järjestelmän pystyvän vähentämään sähkön kulutusta sähkön tarpeen huippuajankohdissa 17,3–38,9 % verrattuna vanhempaan PID-säätimeen, sekä vähentämään päivittäisiä sähkökuluja 0,4–22,2 %. (Hu et al. 2019)

Valaistus

Älykkään rakennuksen valaistus on interaktiivinen eli valaisimien ja valaistuksen kontrolloiyksikön välillä tapahtuu kaksisuuntaista kommunikaatiota. Älykäs valaistus säästää energiaa niin energiatehokkailla valaisinratkaisuilla kuin myös valon oikeanlaisella suuntauksella. Valon suuntausta voidaan ohjata linseillä, peileillä, heijastimilla ja varjostimilla. LED-valaisimilla päästään jo hyvin energiatehokkaaseen valaistukseen, mutta liittämällä älykkyyttä järjestelmään päästään vieläkin matalampaan energiankulutukseen. LED-järjestelmää voidaan ohjalla sensoreilla, jotka tunnistavat esimerkiksi liikkeen, läsnäolon tai valonmäärän. (Rantala 2015, s. 50)

Älykkäässä rakennuksessa valaistus voidaan kytkeä rakennusautomaatiojärjestelmiin, jolloin käyttäjä voi hallita valaistusta alueellisen yksikön tai internet-yhteyden kautta. Valaistuksen ohjaus voi tapahtua myös automaatiolla. Automaattinen ohjaus voi tapahtua rakennuksessa olevien valoisuusantureiden perusteella tai järjestelmä voi hakea verkosta rakennuksen sijainnin perusteella auringon lasku- ja nousuajat. Valaistus voidaan ohjata vähenemään tai kasvamaan portaittain auringon valon kasvaessa tai vähentyessä. Mikäli anturit eivät havaitse rakennuksessa käyttäjiä, voidaan valaistus asettaa sammumaan tai pysymään hyvin himmeällä. Automaatiota lisäämällä pystytään välttämään turhaa valaistusta ja säästämään täten energiaa. (Rantala 2015, s. 51)

Energian varastointi – Energiapiikkien tasoittaminen

Älyrakennus pystyy arvioimaan vuorokauden halvimmat tunnit sähkön hinnan osalta ja täten varastoimaan tätä edullisempaa sähköä akkuun. Varastoitua energiaa voidaan käyttää sähkön hinnan ollessa korkeampi tai sähkön tarpeen kasvaessa. Energian varastoinnilla akkuihin pystytään leikkaamaan energiapiikkejä ja luomaan joustavuutta energian kysynnälle. Akun vaikutus energiatehokkuuteen on pitkälti riippuvainen sähkön hinnan vuorokausivaihtelusta rakennuksen energiantarpeesta ja sen käyttöajoista. Älykkääseen sähköverkkoon yhdistettynä akku pystyy myös palauttamaan ylimääräisen sähköenergian takaisin verkkoon, mikäli sen varaus on suurempi kuin rakennuksen energiatarve. (Georgakarakos et al. 2018)

Älykäs rakennus pystyy käyttämään myös rakennemassaa lämpöenergian varastointiin. Lämpöenergian kulutushuippuja voidaan pienentää esimerkiksi varastoimalla passiivista

aurion lämpöä massiivisiin rakenteisiin ja katkaisemalla lämmitys huippujen ajaksi, jolloin rakennemassaan varastoitunut lämpö tasaa lämpötilaa. Vastaavasti lisätyllä yönajan ilmanvaihdolla pystytään jäähdyttämällä rakenteita kuumina hellekausina. (Rantala 2015, s. 62)

5.3 Rakennuksen älykkyystason nostaminen

Rakennusten älykkyuden indikaattoreista on olemassa vielä useita eri määritelmiä. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (EU) 2018/844 mukaan rakennuksen älykkyyttä indikoi sen kyky mukautua asukkaiden ja verkon tarpeisiin, sekä energia- ja kokonaistehokkuuden parantaminen. Eurooppalainen rakennusten energiatehokkuuden instituutin BPIE:n suosittamia rakennuksen älykkyuden mittareita puolestaan ovat 1) rakennuksen korkea suorituskyky energiatarpeen vähennyksellä ja suurella paikallisesti tuotetun uusiutuvan energian käytöllä, 2) dynaaminen toimivuus, jotta asukkaat pystyisivät vaikuttamaan energiavirtoihin ja kykyyn optimoida mukavuutta, ilmanlaatua ja hyvinvointia ja 3) energiajärjestelmien reagoivuus, jotta rakennus voi olla osallisena optimaaliseen, sujuvaan ja turvalliseen energiajärjestelmien toimintaan, ja alueen infrastruktuuriin johon rakennus on yhteydessä. (Bean et al. 2017)

Myös Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL on määrittänyt omat luokituksensa uusille ja olemassa oleville älyrakennuksille. Uudet älyrakennukset voidaan luokitella neljään eri luokkaan käyttäen apuna standardin EN 15232 luokkia. Luokitus on EN 15232 standardin tapaan D:stä A:han, missä A vastaa korkeinta älykkyuden tasoa. Älyrakennusten luokka noudattaa EN 15232 luokitusta. Korkeampi luokka sisältää aina alemman luokan vaatimukset, ja D-luokka vastaa normaalia tämän hetkistä toteutuksen tasoa. Uudisrakennusten luokassa D järjestelmät voivat toimia automaattisesti, mutta eivät kommunikoi toisten osajärjestelmien kanssa, mikä aiheuttaa kokonaisoptimoinnin älykkyuden puuttumisen. D-luokkaisten uusien älyrakennusten automaattiset säätö- ja ohjaustoiminnot ovat standardin EN 15232 luokituksen D-luokkaa. (Rantala 2015, s. 22-23)

Seuraavassa älyrakennusten luokassa (Luokka C) osajärjestelmät pystyvät optimoimaan ominaisuuksia ja toimivat jollain tasolla yhdessä. Esimerkiksi kytkemällä lämmityksen pois päältä, kun jäähdytys käynnistyy. C-luokassa rakennuksen fyysiset ominaisuudet

valitaan edistämään elinkaariedullisuutta ja rakennus on tietomallinnettu. C-luokassa rakennuksen automaattiset säätö- ja ohjaustoiminnot ovat standardin EN 15232 luokituksen C-luokkaa. (Rantala 2015, s. 22-23)

Uudisrakennettavien älyrakennusten toiseksi korkeimmassa luokassa (B-luokka) kaikille osajärjestelmille on suunniteltu yhteinen käyttöliittymä. Kaikki järjestelmät ovat hallittavissa ja raportoitavissa yhden käyttöliittymän avulla ja se mahdollistaa rakennuksen kokonaisoptimoinnin. RIL:n käyttäjälähtöisen älyrakennuksen vaatimukset toteutuvat. B-luokassa rakennuksen energiatehokkuusluokan on oltava A. Rakennuksen automaattiset säätö- ja ohjaustoiminnot ovat standardin EN 15232 luokituksen B-luokkaa. (Rantala 2015, s. 22-23)

Uusien älyrakennusten korkeimmassa luokassa (A-luokka) älyrakennus kattaa kaikki alemman luokan vaatimukset. Älyrakennus pystyy lisäksi kommunikoimaan ympäristön kanssa yhteisen käyttöliittymän avulla. Yhteistyö ympäristön kanssa lisää alueellista energiatehokkuutta. Rakennuksen automaattiset säätö- ja ohjaustoiminnot ovat standardin EN 15232 luokituksen A-luokkaa. (Rantala 2015, s. 22-23) Taulukossa 6 on vielä koottu yhteen uusien älyrakennusten luokituksen kriteerit. Ylempään luokkaan sisältyy aina alemman luokan kriteerit.

Taulukko 6. RIL:n älyrakennusten luokitus uusille rakennuksille (Rantala 2015, s. 22-23)

Luokka	Vaatimukset	Minimi energiatehokkuusluokka
D	Vastaa nykypäivän normaalia toteutuksen tasoa. Ei älykästä kokonaisoptimointia.	C
C	Osajärjestelmät pystyvät kommunikoimaan jollain tasolla yhdessä. Fyysiset ominaisuudet elinkaariedullisia.	B
B	Osajärjestelmillä yhteinen käyttöliittymä. Täyttää käyttäjälähtöisen älyrakennuksen kriteerit.	A
A	Pystyy kommunikoimaan ympäristön kanssa lisäten alueellista energiatehokkuutta.	A

Olemassa olevien rakennusten luokittelu on puolestaan viisiportainen, E:stä A:han, missä A vastaa korkeinta älykkyyden tasoa. Tätä luokitusta voidaan käyttää, kun suunnitellaan peruskorjauksen tasoa ja kun halutaan nostaa rakennuksen älykkyyttä. Myös tässä luokittelussa perustaso D vastaa tämän päivän normaalia tasoa ja ylempi luokka sisältää aina alemman luokan vaatimukset.

Olemassa olevien älyrakennuksien luokittelun E-luokka tarkoittaa, että rakennuksiin ei investoida mitään, jolloin kiinteistön arvo laskee ja korjausvelka kohoaa. Seuraavassa luokassa (D-luokka) kiinteistöä peruskorjataan ja sen teknillinen ja älyllinen taso säilyy ajan tasalla. D-luokassa myös uudet tekniset järjestelmät ja rakennusautomaatio otetaan käyttöön itsenäisesti toimivana järjestelmänä. Tässä luokassa vaatimuksena on myös energiatehokkuuteen panostaminen. Sitä seuraavassa luokassa (C-luokka) rakennusta kehitetään ja osajärjestelmät pystyvät jo optimoimaan älyrakennuksen ominaisuuksia, jolloin järjestelmät toimivat tehokkaammin. C-luokan vaatimuksena on myös kiinteistön tietomallinnus. Rakennuksen energiatehokkuutta nostetaan luokan D tasosta. Olemassa olevien älyrakennusten toiseksi korkeimmassa luokassa (B-luokka) rakennusta parannetaan, ja kehitetään yhteinen käyttöliittymä kaikille osajärjestelmille. B-luokan kiinteistön älyllistä ja teknistä tasoa parannetaan, ja älyrakennuksen kaikki järjestelmät ja tuotteet toimivat saman käyttöliittymän alla. B-luokassa rakennuksen energiatehokkuus on luokkaa C korkeampi ja kiinteistön arvo kohoaa. Korkeimmassa luokassa (A-luokka) älyrakennus liitetään ympäröivään yhteiskuntaan, jolloin rakennus pystyy vuorovaikuttamaan ympäristön kanssa esimerkiksi jakamalla ylijäänyttä energiaa takaisin verkkoon. (Rantala 2015, s. 24-25) Taulukossa 7 on koottu älyrakennuksien luokitukset olemassa oleville rakennuksille. Ylempi luokka kattaa aina alempien luokkien vaatimukset.

Taulukko 7. RIL:n älyrakennusten luokitus olemassa olevilla rakennuksille (Rantala 2015, s. 24-25)

Luokka	Vaatimukset	Vaikutus kiinteistön arvoon
E	Rakennukseen ei investoida.	Arvo laskee
D	Rakennusta peruskorjataan ja teknillinen ja älyllinen taso säilyy ajan tasalla.	Arvo pysyy ennallaan
C	Rakennusta kehitetään ja osajärjestelmät pystyvät optimointiin. Rakennus tietomallinnetaan. Energiatohokkuutta nostetaan.	Arvo kohoaa
B	Rakennuksessa on yhteinen käyttöliittymä kaikille osajärjestelmille.	Arvo kohoaa
A	Älyrakennus liitetään älykkäästi ympäröivään yhteiskuntaan.	Arvo kohoaa

Tavallisten rakennusten älykkyystasoa voidaan siis nostaa lisäämällä mainittuja ominaisuuksia rakennukseen peruskorjauksen yhteydessä tai erikseen. Älykkään rakennuksen indikaattorit vaihtelevat eri määrittäjien välillä, jolloin esimerkiksi BPIE:n luokittelu korkean älyluokituksen rakennus voi vastata matalamman älyluokan rakennusta RIL:n vaatimuksilla. Kaikissa älyrakennuksien vaatimuksissa tulee kuitenkin energiatehokkuus hyvin vahvasti esille, jolloin siirtyminen älyrakennukseen on helpompaa valmiiksi matalaenergisestä rakennuksesta.

Älyrakennuksien investointi ja rajoittavat tekijät

Kehittyvän teknologian myötä rakennuksen kunnostaminen älykkääksi ei vaadi välttämättä enää suurta investointia. Käyttämällä esineiden internettiin (Internet of Things, IoT) perustuvaa verkkoa ja erilaisia sensoreita, pystytään säästämään huomattavasti verrattuna rakennusautomaatiojärjestelmän rakentamiseen. Pohjois-Amerikka on edelläkävijä älyrakennusten osalta ja älyrakennukset kattavatkin jo 40 % Pohjois-Amerikan rakennusmarkkinoilta. Eurooppa on vielä huomattavasti jäljessä verrattuna älyrakennuksien määrässä johtavaan Pohjois-Amerikkaan. Suurimmat innovaatiot tulevat myös Pohjois-Amerikasta Eurooppaan. Euroopassa suurin este älyrakennuksien lisääntymiselle onkin lainsäädäntö, eikä niinkään kustannuksien suuruus tai rahoituksen puute. (Bonneau et al. 2017) Useissa EU:n maissa rakennuksen eivät saa

osallistua älykkään verkoston energiajakelun toimiin, sekä standardit laahaavat vielä perässä. (Bean et al. 2017)

Kyberturvallisuus älyrakennuksissa

Älyrakennuksiin kohdistuu entistä suurempi riski joutua kyberuhan kohteeksi, sillä rakennuksessa on paljon tietojärjestelmien ja IoT-laitteiden integraatioita, jotka tuottavat tietoa jatkuvasti lisää. Kyberuhkalla tarkoitetaan kybertoimintaympäristön tekoon tai tapahtumaan kohdistuvaa uhkaa, joka voi vaarantaa jonkin kyberympäristöön liitetyn toiminnon. Uhkat ovat tietoturvaaukia, jotka voivat vaarantaa tietojärjestelmän tarkoitetun toiminnan. (Rantala 2015, s. 192) Älyrakennuksissa käytetään useita eri verkkoon yhdistettäviä sensoreita ja laitteita. Nämä kyberympäristöön liitettävät ulkopuoliset Web-, mobiili- tai pilvirajapinnat, ja tarpeettomat suoraan internettiin alttiit palvelut, tarjoavat mahdollisuuden tietojärjestelmiin murtautumiseen. (Laakso & Savolainen 2019, s. 23-25)

6 POHDINTA

Rakennusten pitkä elinikä aiheuttaa vääjäämättä rakennuskannan vanhenemista. Vaikka EU:n direktiivien myötä kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia vuoteen 2020 mennessä, muutoksen näkyminen rakennuskannassa tulee kestämään hyvin pitkään. Jotta energiankulutusta saataisiin merkittävästi laskettua, tulisi myös olemassa olevia rakennuksia päivittää lähes nollaenergiarakennusten tasolle. Rakentamisen trendi on kuitenkin selvästi matalaenergiisiin ja älykkäisiin rakennuksiin päin ja yhä useammat asukkaat ovat tietoisia energiatehokkuuden merkityksestä. Tässä kappaleessa pohditaan rakennusten energiakäytön vähentämisestä, asukkaiden kulutustottumuksista, sekä älyrakennuksien tilannetta ja niihin siirtymistä.

6.1 Energiakäytön vähentäminen kulutustottumusten kautta

Nykypäivänä ilmastonmuutos on todella keskusteltu puheenaihe. Hiilidioksidipäästöistä, luonnonvaroista ja energiankulutuksesta puhutaan paljon, mutta harva on todellisuudessa valmis vähentämään energiankulutusta oman elintason tai mukavuuden kustannuksella. Kuten Hoyt et al. (2015) tutkimuksessaan totesi, jo yhden asteen muutoks mukavuuslämpötilasta säästää jopa neljänneksen lämmitys- ja jäähdytyskustannuksista. Sartori et al. (2015) totesivat taas tutkimuksessaan, että lähes nollaenergia- ja plusenergiarakennusten kustannukset ovat keskimäärin pienempiä verrattuna korkean standardin mukaan rakennettuihin rakennuksiin, joissa on käytetty lähinnä kosmeettisista syistä korkeampilaatuisia ominaisuuksia. Pienillä muutoksilla käyttö- ja kulutustottumuksissa voitaisiin säästää suuria määriä energiaa isossa mittakaavassa.

Rakennusten ominaisuudet kehittyvät ja samalla energiatehokkuus paranee, mutta loppujen lopuksi asukkaat ovat ne, jotka kuluttavat energiaa rakennuksissa. Yksinkertaisin tapa säästää energiaa rakennuksissa on vähentää energian käyttöä. Sammuttamalla sähkölaitteet, kun niitä ei käytetä, käyttämällä lämmintä vettä järkevästi, sekä säätämällä ilmastointia ja lämmitystä pienemmälle asunnon ollessa tyhjillään, voidaan säästää jo huomattavasti energiaa. Näiden asioiden energiankulutusta usein vähätellään, varsinkin jos ei tiedetä, paljon ne todellisuudessa kuluttavat energiaa. Energiakulutuksen tuominen näkyväksi esimerkiksi älypuhelimien applikaatiolla tai

asunnossa selkeästi esillä olevalla datalla, helpottaa energiakulutuksen havaitsemista ja visualisointia ja täten auttaa laskemaan energiankulutusta.

6.2 Siirtyminen älyrakennuksiin; haasteet, tavoitteet ja tulevaisuus

Lähes nollaenergiarakennuksien ja varsinkin älyrakennuksien rakentaminen ja ylläpito vaativat paljon enemmän teknistä osaamista, kuin normaalit rakennukset. Suurin osa teknisistä ominaisuuksista ja järjestelmistä ovat kuitenkin jo sillä tasolla, että niitä on kannattava käyttää myös taloudellisesta näkökulmasta. Energiatehokkaat ja älykkäät ominaisuudet lisäävät rakennusten arvoa ja vähentävät energiakuluja. Aurinkopaneelit ovat yksi kehityksen kohteista, joiden tehokkuutta sekä visuaalista ilmettä pyritään koko ajan parantamaan. Aurinkoisimmilla alueilla aurinkopaneelit maksavat itsensä jo takaisin, mutta vähemmän aurinkoisilla alueilla tuotto ei vielä kata kustannuksia realistisella aikavälillä. Yleisesti ottaen tekninen kehitys on hyvällä mallilla.

Lähes nollaenergiarakennuksien ja älyrakennuksien määritelmien perusteella lähes nollaenergiarakennuksista on suhteellisen helppo lähteä uudistamaan älyrakennusta, koska molemmat ovat hyvin energiaterhokkaita. IoT-perustuvia laitteita ja sensoreita voidaan lisätä helposti energiaterhokkaaseen rakennukseen myös jälkeinpäin, mikäli rakennuksessa ei ole valmiiksi kehitettyä rakennusautomaatiojärjestelmää. Pohjois-Amerikassa älyrakennuksia on jo paljon ja Euroopassakin älyrakennuksien voidaan odottaa lisääntyvän tulevaisuudessa, kunhan lainsäädäntö ja eri standardit saadaan ajan tasalle. Tällä hetkellä ainakin Euroopassa älyrakennusten lisääntymisen pullonkaulana ovat lainsäädäntö ja standardit. Nämä asiat pitäisi saada ensiksi kuntoon, jotta myös Euroopassa älyrakennusten määrät nousisivat.

Älyrakennuksien mahdollisuudet piilevät nopeasti ympäristön vaihteluihin mukautuvissa ominaisuuksissa sekä kyvyssä liittyä älykkääseen sähköverkkoon ja kommunikoida alueen muiden rakennusten kanssa. Älyrakennuksia on myös helppo markkinoida kuluttajille mieleisiksi niiden helpottaessa arkipäiväistä elämää ja parantaessa elämänlaatua. Älyrakennuksissa on kuitenkin riskinsä, koska ulkopuolelta lisättävät verkkoon kytkettävät laitteet tekevät älyrakennuksesta potentiaalisen kyberhyökkäyksen kohteen. Tämän takia kehitystä pitäisi rakentaa turvallisuus edellä.

Kuten aikaisemmin mainittiin, älyrakennukselle ei ole vielä tarkkaa yksiselitteistä määritelmää ja rakennusten älykkyyteen viittaavat indikaattorit vaihtelevat jonkin verran niiden määrittäjän mukaan. Tämän seurauksena älyrakennuksiksi voidaan nimittää monia toisistaan poikkeavia rakennuksia. Tämän lisäksi itse älyrakennus-termi herättää erilaisia mielikuvia rakennuksen ominaisuuksista. Termin aiheuttamat erilaiset mielikuvat voivat vaikuttaa älyrakennuksiin verrattavien rakennusten kirjon lisääntymiseen. Englannin kielen termi *smart house/building* voidaan kääntää joko älytaloksi tai ”fiksiksi” rakennukseksi. Älytalo-termistä tulee mieleen rakennus tulevaisuudesta, joka osaa ajatella käyttäjän, eli asukkaan puolesta, ohjata älykkäitä osajärjestelmiä, sekä tarjota miellyttävää mutta energiatehokasta asumista. ”Fiksusta” rakennuksesta tulee taas mieleen rakennus, joka on rakennettu käytännölliseksi, energiatehokkaaksi, eikä käytä energiaa mihinkään turhaan, eli toimii fiksusti. Molemmista termeistä löytyy esimerkkitapauksia, kun lähdetään tutkimaan älyrakennuksia koskevaa kirjallisuutta. Tulevaisuudessa älyrakennus-termin epäselkeys voi tuoda ongelmia, jos esimerkiksi kehitetään tukirahoituksia nimenomaan älykkäitä rakennuksia varten.

Asuinrakennukset ovat pysyneet tietyssä kaavassa jo aikojen alusta asti. Jo savimajoissa oli neljä seinää ja katto pään päällä, mutta silti nykypäivänäkin useat asunnot ovat tämän muotoisia. Asunnon ostaminen on ihmiselle yleensä suurin investointi koko elämän aikana, ja asunovelkaa maksetaan monia kymmeniä vuosia. Asunnon ostamiseen liittyy siis riskinsä. Harva haluaa ostaa pallon muotoisen asunnon, vaikka se olisikin energiatehokas ja innovaation edelläkävijä, jos kymmenen vuoden päästä asuntoa ei enää pidettäisikään arvokkaana. Tämän takia asuinrakennusten kehitys on toteutunut tiettyjen rajojen sisäpuolella, jotta uusi sijoitus tuntuisi kuluttajasta turvalliselta. Uudet älyrakennukset herättävät varmasti myös epäilyjä kuluttajien suunnalta kaikkineen sensoreineen ja valvontatoimintoineen, mutta ne muistuttavat silti tavallista rakennusta ja ovat kuitenkin helposti muokattavissa. Tulevaisuudessakin on odotettavaa, että rakennusten kehitys pysyy tietyn mallin sisällä, vaikka nykyinen malli ei välttämättä olisikaan energiatehokkain tai käytännöllisin tulevaisuudessa.

LÄHDELUETTELO

Bean F., De Groot M., Volt J., 2017. Opening the doors to smart buildings [verkkodokumentti]. Buildings Performance Institute Europe. Saatavissa: http://bpie.eu/wp-content/uploads/2017/06/PAPER-Policy-recommendations_Final.pdf [viitattu 5.7.2019]. 16 s.

Bonneau V., Ramahandry T., Probst L., Pedersen B. & Dakkak-Arnoux L., 2017. Smart Building: Energy efficiency application [verkkodokumentti]. Euroopan Komissio. Saatavissa: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Smart%20building%20-%20energy%20efficiency%20v1.pdf [viitattu 4.8.2019].

BPIE, 2011. Europe's buildings under the microscope. Buildings Performance Institute Europe, 132 s. ISBN-978-949-114-301-4

Cao X., Dai X., & Liu J., 2016. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. Energy and Buildings, 128, S. 198-213.

Chel A. & Kaushik G., 2018. Renewable energy technologies for sustainable development of energy efficient building. Alexandria Engineering Journal, 57, 2, S. 655-669.

De Groot M., Volt J., Bean F., 2017. Smart buildings decoded [verkkodokumentti]. Buildings Performance Institute Europe. Saatavissa: http://bpie.eu/wp-content/uploads/2017/06/PAPER-Smart-buildings-decoded_05.pdf [viitattu 13.4.2019]. 12 s.

Direktiivi 2010/31/EU. Rakennusten energiatehokkuudesta (uudelleenlaadittu). Euroopan unionin virallinen lehti 19.5.2010. Luettu 15.4.2019. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32010L0031>

Direktiivi (EU) 2018/844. Rakennusten energiatehokkuudesta annetun direktiivin 2010/31/EU ja energiatehokkuudesta annetun direktiivin 2012/27/EU muuttamisesta.

Euroopan unionin virallinen lehti 19.6.2018. Luettu 14.4.2019. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=FI>

Energiatehokas koti, 2018. Talotekniikan suunnittelu, Ilmanvaihto [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/ilmanvaihto [viitattu 2.7.2019].

Energuibe.be, 2019. How much energy do my household appliances use [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.energuide.be/en/questions-answers/how-much-energy-do-my-household-appliances-use/71/> [viitattu 26.5.2019].

Euroopan Komissio, 2019a. Climate Action, 2050 long-term strategy [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en [viitattu 14.8.2019].

Euroopan Komissio, 2019b. Energy, Energy performance of buildings [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings> [viitattu 14.8.2019].

Euroopan Komissio, 2019c. Energy, Heating and cooling [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling> [viitattu 24.5.2019].

Euroopan Komissio, 2019d. Energy efficient products, Lighting [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products/lighting_en#documents [viitattu 26.5.2019].

Euroopan Komissio, 2019e. EU ENERGY POVERTY Observatory, What is energy poverty [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.energypoverty.eu/about/what-energy-poverty> [viitattu 23.8.2019].

Euroopan Komissio, 2019f. Products – labelling rules and requirements, About the energy label and ecodesign [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://ec.europa.eu/info/energy->

climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/about_fi [viitattu 2.7.2019].

Eurostat, 2016. Share of final energy consumption in the residential sector by type of end-use [verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Share_of_final_energy_consumption_in_the_residential_sector_by_type_of_end-use,_2016_\(%25\).png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Share_of_final_energy_consumption_in_the_residential_sector_by_type_of_end-use,_2016_(%25).png) [viitattu 7.6.2019].

Eurostat, 2019. Energy consumption in households [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/58200.pdf> [viitattu 24.5.2019]. 10 s.

Fang H., Zhao D., Yuan J., Aili A., Yin X., Yang R. & Tan G., 2019. Performance evaluation of a metamaterial-based new cool roof using improved Roof Thermal Transfer Value model. *Applied Energy*, 248, S. 589-599

Georgakarakos A. D., Mayfield M., Hathway E. A., 2018. Battery Storage Systems in Smart Grid Optimised Buildings. *Energy Procedia*, 151, S. 23-30.

Hermelink A., Schimschar S., Boermans T., Pagliano L., Zangheri P., Armani R., Voss K. & Musall E., 2013. Definition of common principles under the EPBD - Final report – Executive Summary [verkkodokumentti]. Köln: ECOFYS Germany GmbH. Saatavissa https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/nzeb_executive_summary.pdf [viitattu 4.8.2019]. 28 s.

Hoyt T., Arens E. & Zhang H., 2015. Extending air temperature setpoints: Simulated energy saving and design considerations for new and retrofit buildings. *Building and Environment*, 88, S. 89-96.

Hu M., Xiao F., Jørgensen J. B., Wang S., 2019. Frequency control of air conditioners in response to real-time dynamic electricity prices in smart grids. *Applied Energy*, 242, S. 92-106.

HydroPoint, 2018. HydroPoint blog, Smart Water Management Takes Smart Buildings to the Next Level [verkkodokumentti]. Petaluma: HydroPoint. Saatavissa https://www.hydropoint.com/blog/smart_building_management/ [viitattu 23.7.2019].

Insinööritoimisto Lehtonen, 2019. Nettimarkkina, Myydään Energiatodistus [verkkodokumentti]. Lempäälä: Risto Lehtonen. Saatavissa <https://www.nettimarkkina.com/energiatodistus/1433779> [viitattu 10.7.2019].

ISO 7730, 2005. Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Sveitsi: ISO, 11+ 38 s.

ISO 8995-1, 2002. Lighting of work places – Part 1: Indoor. Sveitsi: ISO, 18 s.

Kaan H.F. & De Boer B.J., 2005. Passive houses: achievable concepts for low CO2 housing ISES Conference, Orlando, USA, September 2005 [verkkodokumentti]. Saatavissa https://www.researchgate.net/publication/228337895_Passive_houses_achievable_concepts_for_low_CO2_housing [viitattu 27.3.2019].

Komission suositus (EU) 2016/1318. Suuntaviivoista lähes nollaenergiarakennusten ja parhaiden käytäntöjen edistämiseksi ja sen varmistamiseksi, että vuoteen 2020 mennessä kaikki uudet rakennukset ovat lähes nollaenergiarakennuksia. Euroopan unionin virallinen lehti 29.7.2016. Luettu 11.4.2019. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32016H1318>

Laakso T. & Savolainen P., 2019. Kyberturvallisuuden huomioiminen äly-rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Insinööritoimisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki.

Laki rakennuksen energiatodistuksesta 18.1.2013/50

Luo Y., Zhang L., Bozlar M., Liu Z., Guo H. & Meggers F., 2019. Active building envelope systems toward renewable and sustainable energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 104, S. 470-491.

Mariottini F., 2016. Build up, Overview of EN 15232 standard on impact of Building Automation, Controls, and Building Management [verkkodokumentti]. Loughborough: Francesco Mariottini. Saatavissa: <https://www.buildup.eu/en/explore/links/overview-en-15232-standard-impact-building-automation-controls-and-building-manageme-0> [viitattu 26.7.2019].

Occupational Safety and Health Administration, 2019. Safety and Health Topics, Indoor Air Quality [verkkodokumentti]. United States Department of Labor. Saatavissa: <https://www.osha.gov/SLTC/indoorairquality/faqs.html> [viitattu 26.5.2019].

Oral G.K., Yener A.K. & Bayazit N.T., 2004. Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions. *Building and Environment*, 39, 3, S. 281-287.

Pacheco R., Ordonez J., & Martinez G., 2012. Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 6, S. 3559-3573.

Rantala E. (toim.), 2015. RIL 267-2015 Käyttäjälähtöinen älyrakennus. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, 248 s. ISBN-978-951-758-598-9

RIL 249-2009 Matalaenergiarakentaminen – asuinrakennukset, 2009. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, 291 s. ISBN-978-951-758-507-1

Sartori I., Noris F. & Herkel S., 2015. Cost analysis of nZEB/Plus energy buildings. *REHVA Journal*, 03/2015, S. 40-45.

Sisäilmayhdistys ry, 2008. Terveelliset tilat, sisäilmaoireet [verkkodokumentti]. Helsingin, Espoon ja Vantaan Terveelliset tilat, Sisäilmayhdistys ry. Saatavissa <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Terveysvaikutukset/Sisailmaoireet> [viitattu 26.5.2019].

Ympäristöministeriö, 2018. Energiatodistusopas [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=2ahUK EwjmhJfj7vHjAhUc7KYKHTrSC5sQFjAFegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.ymparisto.fi%2Fdownload%2Fnoname%2F%257B5DA79466-F15E-4FC9-9C76->

[46AE002B7FF6%257D%2F141249&usg=AOvVaw1xj3CItXGVIEkpE-slZacE](#) [viitattu 15.6.2019]. 45 s.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 20.12.2017/1048