

Mirka Nurminen

LAPPEENRANNAN ASUNTOPALVELU  
OY:N OMISTAMIEN KIINTEISTÖJEN  
ENERGIATEHOKKUUDEN  
LISÄÄMINEN

Opinnäytetyö

Tekniikan ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Talotekniikan koulutus

2020



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä</b>	<b>Tutkintonimike</b>	<b>Aika</b>
Mirka Nurminen	Insinööri (YAMK)	Marraskuu 2020
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		62 sivua
Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistamien kiinteistöjen energiatehokkuuden lisääminen		
<b>Toimeksiantaja</b>		
Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy		
<b>Ohjaajat</b>		
Johanna Arola (Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu) Timo Haikala (Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy)		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Lappeenranta pyrkii vähentämään ilmastopäästöjään lisäämällä uusiutuvan energian käyttöä ja lisäämällä energiatehokkuutta. Lappeenrannan kaupungin ilmasto-ohjelma 2020-2030 edellyttää kaupungin konserniyhtiöiltä, joihin Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy kuuluu, toimenpiteitä, joilla päästövähennystavoitteisiin päästään.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää energia- ja kustannustehokkaimmat ratkaisut, joilla Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistamien kiinteistöjen energiatehokkuutta voidaan lisätä ja energian hiilijalanjälkeä pienentää rakennusten E-lukua pienentämällä. Opinnäytetyössä käytettiin pohjana konstruktivistista tutkimusmenetelmää.</p> <p>Kohderakennuksiksi valittiin kaksi asuinkerrostaloa, jotka on rakennettu 1980–1990-lukujen vaihteessa. Molemmille kohderakennuksille laadittiin energiatodistukset, joiden mukaan molemmat kohderakennukset kuuluivat E-lukunsa perusteella energiatehokkuusluokkaan D<sub>2018</sub>.</p> <p>Energiatehokkuustoimenpiteet, joiden vaikutuksia kohderakennusten laskennalliseen osastoenergiaan, E-lukuun sekä hiilijalanjälkeen tutkittiin, kohdistuivat kohderakennusten ulko-seiniin, ulko-oviin, ikkunoihin, ylä- ja alapohjiin, tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmiin, ilmanvaihtoon ja valaistukseen. Kaikkien energiatehokkuustoimenpiteiden takaisinmaksuajat laskettiin vertaamalla kyseisellä energiansäästötoimenpiteellä saavutettavaa energiansäästöä, ja sen myötä rahansäästöä, kyseisestä toimenpiteestä aiheutuneisiin kustannuksiin.</p> <p>Opinnäytetyön laskelmat osoittivat, että energia- ja kustannustehokkain toimenpide oli kohderakennuksen ilmanvaihtojärjestelmään lisättävä poistoilmalämpöpumppu, jolla poistoilmasta saadaan lämpöä talteen. Muita energia- ja/tai kustannustehokkaita energiatehokkuustoimenpide-ehdotuksia olivat kaukolämmön muuttaminen maalämpöjärjestelmäksi, ulko-ovien ja ikkunoiden uusiminen sekä yläpohjan lisälämmöneristäminen.</p> <p>Opinnäytetyön toimenpide-ehdotusten pohjalta Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy pääsee toteuttamaan energiatehokkuustoimenpiteitä kiinteistöissään ja pienentämään hiilijalanjälkeään vastaamaan Lappeenrannan kaupungin päästövähennystavoitteita.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
energiatodistus, E-luku, hiilijalanjälki, energiatehokkuus, kustannustehokkuus		

Author	Degree	Time
Mirka Nurminen	Master of Engineering	November 2020
<b>Thesis title</b>		62 pages
Increasing the energy efficiency of the buildings owned by Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy		
<b>Commissioned by</b>		
Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy		
<b>Supervisors</b>		
Johanna Arola (Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu) Timo Haikala (Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy)		
<b>Abstract</b>		
<p>Lappeenranta is aiming at reducing global emissions by increasing the use of renewable energy and by increasing energy efficiency. As a conglomerate company of Lappeenranta, Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy has to take steps in order to contribute to the emission reduction targets defined in the climate program 2020-2030 of Lappeenranta.</p> <p>The objective of this thesis was to find out the most energy-efficient and cost-efficient methods for increasing the energy efficiency and for reducing the carbon footprint of the buildings owned by Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy by lowering the EPC ratings of the buildings.</p> <p>The method used as the basis of the thesis was a constructive research method. Two apartment buildings built at the turn of the 1990s were chosen as the target buildings for the thesis. First, energy performance certificates were composed. Based on the EPC rating, both target buildings were placed in the energy efficiency class D<sub>2018</sub>. Secondly, different methods for improving the EPC ratings were studied and the new EPC ratings were calculated. Thirdly, the impact that the new lowered EPC ratings had on the carbon footprint of the target buildings was estimated. Finally, the cost-efficiency of each energy efficiency method studied was estimated by calculating the payback periods of the investments.</p> <p>The results of the calculations indicated that the most energy-efficient and cost-efficient method for increasing the energy efficiency of the target buildings was to improve the ventilation with a heat recovery unit. Other efficient methods were changing the current district heating system into a geothermal heating system, replacing the old exterior doors and windows with new ones, and adding additional thermal insulation to the attic floor.</p> <p>On the basis of this thesis, Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy will be able to carry out the energy efficiency methods in reality to increase the energy efficiency of their buildings and, in this way, fulfil the emission reduction targets set by the city of Lappeenranta.</p>		
<b>Keywords</b>		
energy performance certificate, EPC rating, carbon footprint, energy efficiency, cost effectiveness		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	TAVOITTEET .....	6
3	RAKENNUSTEN HIILIJALANJÄLKI JA ENERGIATEHOKKUUS .....	7
3.1	Rakennuksen hiilijalanjälki.....	8
3.1.1	Rakennuksen vähähiilisuuden arviointi .....	8
3.1.2	Rakennuksen energian hiilijalanjälki .....	9
3.2	Rakennuksen energiatodistus .....	10
3.2.1	E-luku .....	12
3.2.2	Energiatehokkuusluokittelu .....	13
3.3	Energiatehokkuuden lisääminen.....	15
3.3.1	Energiatehokkuusinvestointien kannattavuuden laskenta .....	18
3.3.2	Tutkimustietoa rakennusten energiatehokkuuden lisäämisestä .....	18
4	TUTKIMUSMENETELMÄ JA TUTKIMUSAINEISTO .....	21
4.1	Tutkimusmenetelmän valinta .....	21
4.2	Tutkimuksen eteneminen ja eri vaiheet .....	22
4.3	Opinnäytetyön tutkimusaineisto.....	24
4.3.1	Kohderakennus A: Hovinkatu 3 .....	26
4.3.2	Kohderakennus B: Hovinkatu 6 .....	30
5	ENERGIATEHOKKUUDEN LISÄÄMINEN E-LUKUA PIENENTÄMÄLLÄ KOHDERAKENNUKSISSA A JA B.....	35
5.1	Energiatehokkuustoimenpiteitä kohderakennukseen A.....	35
5.1.1	Ulkoseinät, ulko-ovet ja ikkunat .....	36
5.1.2	Ylä- ja alapohja.....	38
5.1.3	Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmät .....	39
5.1.4	Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät .....	40
5.1.5	Valaistus, jäähdytysjärjestelmät, sähköiset erillislämmitykset ja muut järjestelmät.....	40
5.2	Energiatehokkuustoimenpiteitä kohderakennukseen B.....	41

5.2.1	Ulkoseinät, ulko-ovet ja ikkunat .....	41
5.2.2	Ylä- ja alapohja.....	42
5.2.3	Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmät .....	43
5.2.4	Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät .....	43
5.2.5	Valaistus, jäähdytysjärjestelmät, sähköiset erillislämmitykset ja muut järjestelmät.....	44
6	KOHDERAKENNUSTEN A JA B ENERGIATEHOKKUUSTOIMENPITEIDEN INVESTOINTIKUSTANNUKSET JA TAKAISINMAKSUAJAT .....	45
6.1	Laskelmat kohderakennukseen A.....	45
6.1.1	Nykyisen energiatehokkuusluokan paraneminen .....	45
6.1.2	Nykyisen energiatehokkuusluokan säilyminen ennallaan.....	47
6.1.3	Nykyisen E-luvun pieneneminen.....	48
6.2	Laskelmat kohderakennukseen B.....	49
6.2.1	Nykyisen energiatehokkuusluokan paraneminen .....	49
6.2.2	Nykyisen energiatehokkuusluokan säilyminen ennallaan.....	51
6.2.3	Nykyisen E-luvun pieneneminen.....	51
6.3	Laskelmien tarkastelu .....	52
7	YHTEENVETO TULOXSISTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	54
	LÄHTEET .....	60

## 1 JOHDANTO

Lappeenrannan kaupunki on liittynyt Suomen hiilineutraaleihin Hinku-kuntiin vuonna 2014, ja Etelä-Karjala on saanut yhtenä ensimmäisistä maakunnista Suomessa Hinku-maakunnan aseman. Hinku-kunnat ovat sitoutuneet tavoittelemaan 80 prosentin päästövähennystä vuoteen 2030 mennessä vuoden 2007 tasosta. (Etelä-Karjalan liitto 2019.) Ilmakehään päätyvien kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja sitä kautta ilmastonmuutoksen hillitseminen, johon Lappeenrannan kaupunki omalta osaltaan pyrkii, pohjautuu eduskunnan päätöksen mukaisesti laadittuun ilmastolakiin 22.5.2015/609. Lain tavoitteena on vähentää ihmisen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä ilmakehään ja kansallisin toimin hillitä ilmastonmuutosta (Ilmastolaki 1. §).

Lappeenranta pyrkii vähentämään ilmastopäästöjään lisäämällä uusiutuvan energian käyttöä ja parantamalla energiatehokkuutta (Greenreality Lappeenranta s.a.). Lappeenrannan kaupungin ilmasto-ohjelma 2020–2030 edellyttää kaupungin konserniyhtiöiltä, joihin Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy kuuluu, toimenpiteitä, joilla päästövähennystavoitteeseen päästään (Räsänen 2019). Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy omistaa monia kiinteistöjä, ja koska rakennuksissa käytetään lähes 40 prosenttia kaikesta Suomessa kulutettavasta energiasta ja ne aiheuttavat yli 30 prosenttia päästöistä, on Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n esitettävä ja toteutettava toimenpiteitä olemassa olevan rakennuskantansa energiatehokkuuden lisäämiseksi.

Tämä opinnäytetyö toteutetaan Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n toimeksi antamana. Opinnäytetyön tulosten pohjalta Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy pääsee aloittamaan toimenpide-ehdotusten konkretisoinnin ja näin vastaamaan Lappeenrannan kaupungin konserniyhtiöilleen asettamiin vaatimuksiin päästövähennystavoitteeseen pääsemisestä. Opinnäytetyön tulosten myötä Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy pääsee omalta osaltaan viemään Lappeenrantaan kohti hiilineutraaliutta.

## 2 TAVOITTEET

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää energia- ja kustannustehokkaimmat ratkaisut, joilla Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistamien kiinteistöjen

energian hiilijalanjälkeä voidaan pienentää rakennusten energiatehokkuutta lisäämällä. Hiilijalanjäljessä rakennusten energiatehokkuus otetaan huomioon E-luvun kautta, ja siksi opinnäytetyötutkimus keskittyy toimenpiteisiin, joilla rakennusten E-lukua saadaan pienennettyä. Tavoitteena on tarkastella sekä taloteknisiä että rakennusteknisiä ratkaisuja ja tehdä tämän pohjalta selvitys toimenpide-ehdotuksista kiinteistöjen energiatehokkuuden lisäämiseksi.

Opinnäytetyön tavoitteena on vastata seuraaviin kysymyksiin: Mitkä ovat energia- ja kustannustehokkaimmat ratkaisut, joilla Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistamien kiinteistöjen energian hiilijalanjälkeä voidaan pienentää rakennusten E-lukua pienentämällä? Millaisia toimenpide-ehdotuksia Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:lle voidaan esittää?

Tässä opinnäytetyössä keskitytään Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n olemassa olevaan rakennuskantaan ja niihin ratkaisuihin, joilla rakennuksista saadaan energiatehokkaampia ja E-luvun pienenemisen myötä vähäpäästöisempiä. Opinnäytetyö on osa laajempaa Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:lle tehtävää energiansäästöselvitystyötä. Opinnäytetyön sisältö on valittu niin, että se on selkeä kokonaisuus, joka keskittyy ratkaisemaan yhtä aiheena olevaa ongelmaa, eli kohderakennusten E-luvun pienentämistä. Opinnäytetyön ulkopuolelle jää selvitystyö liittyen kohderakennusten käyttöön ja ylläpitoon sekä mm. vedensäästötuotteiden asennuksien ja vesikalustekierrosten, joita energiansäästöselvitystyöhön kuuluvana Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistamiin kiinteistöihin tehdään, tulosten käsitteleminen. Energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutusta hiilijalanjälkeen arvioidaan, mutta kohderakennusten tarkka energian hiilijalanjäljen laskenta jää opinnäytetyön ulkopuolelle.

### **3 RAKENNUSTEN HIILIJALANJÄLKI JA ENERGIATEHOKKUUS**

Ensimmäiset rakentamista ja näin myös rakennusten energiatehokkuutta määrittävät Suomen rakentamismääräyskokoelman määräykset astuivat voimaan vuonna 1976 (Nieminen & Virta 2016, 7). Nykyiset voimassa olevat määräykset rakennusten energiatehokkuudesta ovat uusien rakennusten kohdalla Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 ja vanhojen rakennusten kohdalla Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13.

Lisäksi Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017 käsittelee rakennusten energiatehokkuutta. Vuonna 2017 ympäristöministeriö teetti vähähiilisen rakentamisen tiekartan, jolla pyritään vähentämään rakentamisen hiilijalanjälkeä sekä edistämään Suomen rakennus- ja kiinteistöalaa koskevia tavoitteita liittyen ilmastoon (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta s.a.).

### **3.1 Rakennuksen hiilijalanjälki**

Suomen kasvihuonepäästöistä noin kolmasosa aiheutuu rakentamisesta ja rakennuksista, ja siksi rakentamisen päästöjen vähentämisellä on merkittävä vaikutus Suomen ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Rakennusten päästöjen vähennyksissä erityisesti rakennusten käytönaikaista energiankulutusta pienentämällä saadaan hyviä tuloksia aikaan, mutta lisäksi hiilijalanjälkeä on mahdollista pienentää myös rakennuksen elinkaaren muissa vaiheissa, jotta hiilineutraalius voidaan saavuttaa. (Vähähiilinen rakentaminen s.a.)

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan ihmisten toiminnan ja tekojen aiheuttamia ilmastopäästöjä, eli rakentamisen kohdalla niitä kielteisiä ilmastovaikutuksia, jotka syntyvät rakentamishankkeen seurauksena (Kuittinen 2020b; Mikä on hiilijalanjälki? 2020). Hiilijalanjäljessä otetaan huomioon hiilidioksidipäästöjen lisäksi muutkin merkittävät kasvihuonekaasupäästöt, kuten metaani ja typpioksiduuli. Suure, jota käytetään kuvaamaan ihmisten tuottamien kasvihuonekaasujen ilmastovaikutusta, on hiilidioksidiekvivalentti, jonka lyhenne on CO<sub>2</sub>-ekv. tai CO<sub>2</sub>e. (Mikä on hiilijalanjälki? 2020.) Hiilineutraalius tarkoittaa sitä, että aina tietylle ihmisen toiminnalle lasketulle hiilijalanjäljelle saadaan tulokseksi nolla. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä -julkaisussa (2019, 3) todetaan, että vähähiilisellä rakennuksella on pieni hiilijalanjälki ja suuri hiilikädenjälki. Hiilikädenjälki tarkoittaa sellaisia myönteisiä ilmastovaikutuksia, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta, kuten esimerkiksi rakennuksesta ylijäävää uusiutuvaa energiaa (Kuittinen 2020b).

#### **3.1.1 Rakennuksen vähähiilisyyden arviointi**

Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointi huomioi rakennuksen koko elinkaaren, toisin sanoen rakennustuotteiden valmistamisen eli tuotevaiheen, kuljettami-



sen ja työmaan eli rakentamisvaiheen, rakennuksen käytön ja huollon eli käyttövaiheen sekä rakennuksen purkamisen ja kierrätyksen eli elinkaaren loppuvaiheen. Rakennuksen elinkaaren vähähiilisyden arviointi on jaettu koskemaan materiaalien hiilijalanjälkeä, kuljetusten hiilijalanjälkeä, työmaan hiilijalanjälkeä ja energian hiilijalanjälkeä. Vähähiilisyden arviointi soveltuu toteutettavaksi kaikille rakennuksille niin uudis- kuin korjausrakentamisessa, ja sitä toteutetaan samanaikaisesti rakennuksen energiatehokkuuden arvioinnin kanssa. Rakennuksen vähähiilisyden arvioinnissa otetaan huomioon koko rakennus, tontin rakenteet ja taloteknisistä järjestelmistä keskeinen osa. Sen sijaan tontin maaperää, tontilla olevaa kasvillisuutta tai rakentamisen väliaikaisia telineitä ja suojauksia ei huomioida. (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 3, 10, 12.)

Arviointityökaluna rakennuksen hiilijalanjäljen arvioinnissa on mahdollista hyödyntää ympäristöministeriön kehittämää Excel-muotoista arviointitaulukkoa, josta löytyy valmiina mm. rakennustuotteiden ja -prosessien päästötiedot, tai One Click LCA -ohjelmaa, jolla voi tehdä hiilijalanjälkilaskentaa. Suomessa käytettävä rakennustuotteiden ja -prosessien päästötietokanta on kehittämistyön alla, samoin arviointimenetelmää, joka on tällä hetkellä pilotointivaiheessa, kehitetään saatujen palautteiden pohjalta (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 13).

### **3.1.2 Rakennuksen energian hiilijalanjälki**

Energian hiilijalanjälki saadaan laskettua siten, että rakennuksen laskennallinen ostoenergian kulutus kerrotaan eri energiamuotojen päästökertoimilla (Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä 2019, 29). Nämä vakioidut päästökertoimet löytyvät Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä - julkaisusta (2019, 46), ja ne on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Energiamuotojen päästökertoimet (g CO<sub>2</sub>/kWh)

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120
Sähkö	121	57	30	18	14	7	4	2	1	1	0
Kaukolämpö	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Kaukojäähdytys	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Fossiiliset polttoaineet	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Uusiutuvat polttoaineet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Energiamuotojen päästökertoimissa on otettu huomioon, että arviointijakson 2020–2120 aikana energian päästöjen oletetaan laskevan Suomessa toteutettavien energia- ja ilmastotoimenpiteiden mukaisesti (Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä 2019, 29). Fossiilisten polttoaineiden päästökerroin pysyy yhtä korkeana läpi koko arviointijakson, ja vastaavasti uusiutuvien polttoaineiden päästökerroin on luonnollisesti nolla koko arviointijakson ajan.

Rakennuksen hiilijalanjälki käytönaikaisen energiankulutuksen osalta on mahdollista laskea esimerkiksi Ida Ice -simulointiohjelman avulla (Hienonen ym. 2017, 17).

### 3.2 Rakennuksen energiatodistus

Energiatodistuslaki ja asetukset tulivat voimaan Suomessa 1.6.2013 (Energiatodistusopas 2018, 4). Laki rakennuksen energiatodistuksesta 18.1.2013/50 säädettiin lisäämään mahdollisuuksia rakennusten energiatehokkuuden vertailuun, ja tätä kautta mahdollistamaan rakennusten energiatehokkuuden lisäämisen sekä uusiutuvan energian käytön edistämisen (Laki rakennuksen energiatodistuksesta 1. §). Energiatodistusoppaassa 2018 (2018, 4) todetaan, että energiatodistus tarvitaan uusille rakennettaville rakennuksille ja silloin, kun rakennuksen tai sen osa myydään tai vuokrataan. Energiatodistuksen avulla voidaan rakennuksen energiatehokkuutta verrata muihin samankaltaisiin rakennuksiin. Suomessa energiatodistus on ollut käytössä vuodesta 2008 lähtien, ja käyttöönotto perustui vuonna 2003 annettuun rakennusten energiatehokkuusdirektiiviin. Direktiiviä on uusittu ja päivitetty vuosina 2010 ja 2018. (Energiatodistusopas 2018, 4.)

Olemassa olevien rakennusten energiatehokkuuden lisäämisen kannalta energiansäästösuositukset, jotka sisältyvät energiatodistukseen, ovat keskeisessä asemassa. Jotta on pystytty varmistamaan, että rakennusten energiatodistukset laaditaan laadukkaasti ja että energiatodistuksissa annetaan säädöksissä edellytetyn mukaista informaatiota rakennusten energiatehokkuudesta sekä olemassa olevien rakennusten energiansäästömahdollisuuksista, täytyy energiatodistusten laatijoiden täyttää heille asetetut pätevyysvaatimukset. (Energiatodistusopas 2018, 4.) Toisin sanoen energiatodistuksen saa laatia vain henkilö, jolla on voimassa oleva energiatodistuksen laatijan pätevyys (Fise 2020). Energiatodistuksen laatijan pätevyyden saamisen edellytyksenä on aiemmin suoritettu tutkintovaatimuksen mukainen tekniikan alan tutkinto tai tutkintovaatimuksissa määritelty työkokemuksen määrä rakennusten energiatehokkuuteen liittyvissä tehtävissä. Tutkintovaatimukset ovat erilaiset riippuen siitä, onko suoritettavana oleva energiatodistuksen laatijan pätevyys perustason vai ylemmän tason energiatodistuksen laatijan vaativuustaso. Tutkinto- / työkokemusvaatimusten lisäksi on energiatodistuksen laatijan pätevyyden edellytyksenä pätevyystentin hyväksytysti suorittaminen. (Fise 2020.) Edellä luetellut vaatimukset energiatodistuksen laatijan pätevyydestä pohjautuvat lakiin rakennuksen energiatodistuksesta (18.1.2013/50).

Energiatodistuksen laatiminen ja rakennusten luokitus energiatehokkuusluokkiin perustuu laskennalliseen energiatehokkuuden vertailulukuun. Tuota lukua kutsutaan E-luvuksi. Energiatodistuksessa ilmoitetaan E-luvun lisäksi myös laskennallinen ostoenergiankulutus. Lisäksi energiatodistuksessa tulee ilmoittaa tiedot toteutuneesta ostoenergiankulutuksesta, mikäli tietoja ostetusta energiasta on saatavilla. Olemassa oleville rakennuksille laadittava energiatodistus pohjautuu paikan päällä tehtävään havainnointiin. Ilman havainnointia ei todistusta saa tehdä. Uusilta rakennuksilta vaaditaan energiatodistus rakennuslupamenettelyn yhteydessä, ja tarvittaessa energiatodistusta täydennetään rakennuksen käyttöönoton yhteydessä. Energiatodistuksen voimassaoloaika on enintään 10 vuotta sen laatimispäivämäärästä. (Energiatodistusopas 2018, 4, 16, 23.)

### 3.2.1 E-luku

E-luku, johon energiatodistuksessa energiatehokkuuden luokittelu perustuu, saadaan laskettua määrittämällä aluksi rakennuksen vakioituun käyttöön perustuva laskennallinen ostoenergian kulutus. Seuraavaksi laskennallinen ostoenergian kulutus painotetaan energiamuodoittain kulloinkin kyseessä olevan energiamuodon vakiokertoimella. (Energiatodistusopas 2018, 13.) Kertoimien lukuarvot on annettu valtioneuvoksen asetuksessa rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista (788/2017), ja ne on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Energiamuotojen kertoimien lukuarvot

<b>Energiamuoto</b>	<b>Kerroin</b>
Sähkö	1,20
Kaukolämpö	0,50
Kaukojäähdytys	0,28
Fossiiliset polttoaineet	1,00
Uusiutuvat polttoaineet	0,50

Kuten taulukosta 2 pystytään näkemään, on sähköllä epäedullisin kerroin. Pienin, ja sitä myötä E-luvun kannalta parhain kerroin, on puolestaan kaukolämmöllä ja uusiutuvilla polttoaineilla. On kuitenkin huomattava, kuten Energiatodistusoppaassa 2018 (2018, 14) sanotaan, että energiamuotojen kertoimet eivät ole yhtä kuin päästökertoimet. Energiatodistusoppaassa 2018 (2018, 14) todetaan, että kertoimissa on pyritty huomioimaan uusiutuvan energian käyttämisen edistäminen sekä yleinen tehokkuus koskien energiantuotantoa.

Lopuksi E-luvun laskennassa ilmoitetaan edellisten, eli energiamuotojen kertoimilla painotetun rakennuksen vakioituun käyttöön perustuvan laskennallinen ostoenergian kulutuksen, yhteenlaskettu tulos rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohti vuodessa. E-luvun yksikkönä on kilowattitunti lämmitettyä nettoalaa kohden vuodessa eli kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup> vuosi). (Laki rakennuksen energiatodistuksesta 9. §.; Energiatodistusopas 2018, 13.)

### 3.2.2 Energiatohokkuusluokittelu

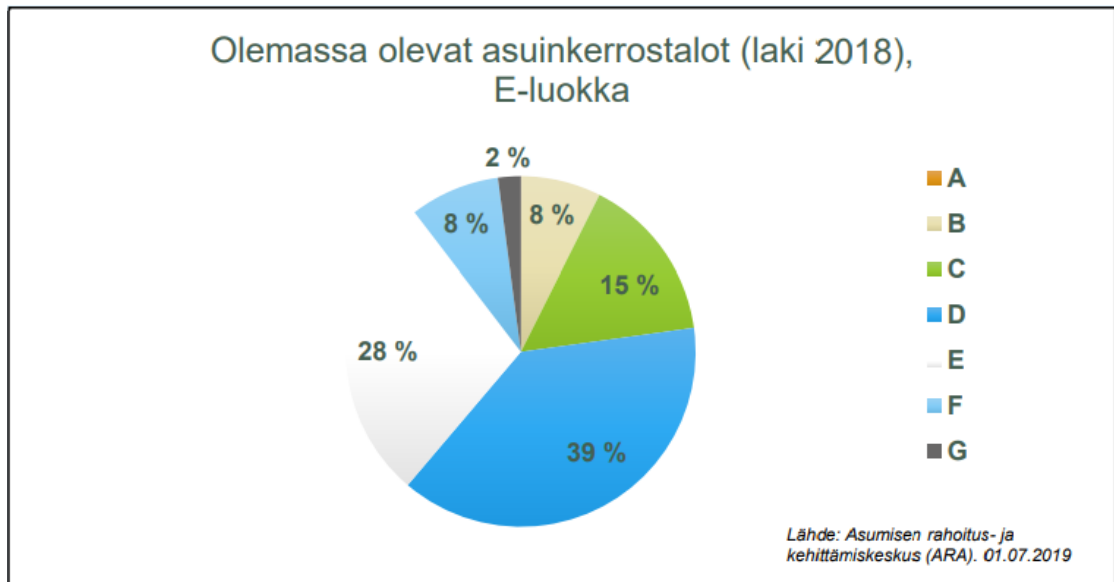
Rakennuksen energiatohokkuusluokka määräytyy laskennallisen energiatohokkuuden vertailuluvun eli E-luvun mukaan (Energiatodistusopas 2018, 10). Rakennukset jaetaan käyttötarkoituksiensa mukaan eri ryhmiin, joilla jokaisella on oma energiatohokkuusluokitteluasteikkonsa. Energiatodistuksessa energiatohokkuusluokkien tunnuksena käytetään kirjaimia A–G. Tunnusta H käytetään silloin, kun rakennukselle on laadittu energiatodistus kevennetyn menetelyn mukaan. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017 3. §.) A-energiatohokkuusluokan rakennus on energiatohokkain, G-luokan vastaavasti energiatohottomin. Taulukossa 3 on esimerkkinä energiatohokkuusluokittelusta esitetty asuinkerrostalojen (asuinkerrostalot, joissa asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa; käyttötarkoitussuokka 2) energiatohokkuusluokat sekä E-luvut, joiden pohjalta luokittelu määräytyy.

Taulukko 3. Asuinkerrostalojen energiatohokkuusluokat

<i><b>Energiatohokkuusluokka</b></i>	<i><b>E-luku (kWh<sub>e</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi))</b></i>
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

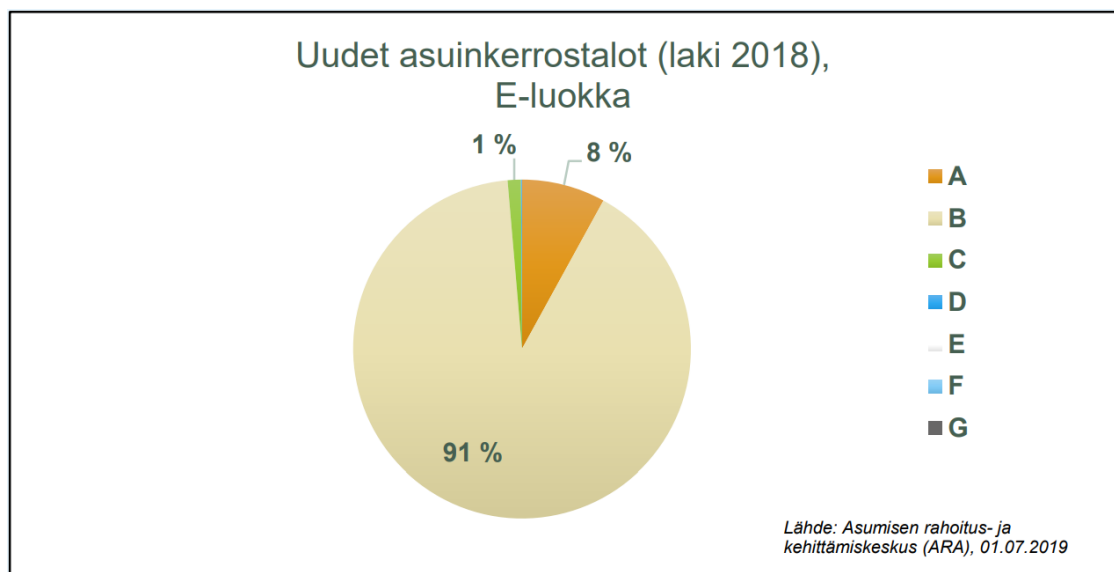
Taulukon 3 arvot löytyvät ympäristöministeriön asetuksesta rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017 liitteestä 2.

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA) on tehnyt tilastointeja olemassa olevien ja uusien rakennusten energiatohokkuusluokista pohjautuen rakennusten energiatodistuksista saatuihin tietoihin (Ara 2020). ARA on tilastoinneissaan erotellut rakennukset käyttötarkoitussuokkien mukaan, ja kuvassa 1 näkyy olemassa olevien asuinkerrostalojen sijoittuminen energiatohokkuusluokkiin A–G.



Kuva 1. Olemissa olevien asuinkerrostalojen energiatehokkuusluokkajakauma (Ara 2020)

Kuvassa 2 näkyy puolestaan uusien asuinkerrostalojen sijoittuminen energiatehokkuusluokkiin A–G.



Kuva 2. Uusien asuinkerrostalojen energiatehokkuusluokkajakauma (Ara 2020)

Kuvassa 1 näkyvän ARAn laatiman taulukon mukaan yleisin olemissa olevien asuinkerrostalojen energiatehokkuusluokka on D<sub>2018</sub>. Uusien asuinkerrostalojen yleisin energiatehokkuusluokka kuvan 2 mukaan on B<sub>2018</sub>. Toiseksi yleisin olemissa olevien asuinkerrostalojen energiatehokkuusluokka on E<sub>2018</sub>, kuten kuvassa 1 näkyy. Kuvan 2 mukaan toiseksi yleisin uusien asuinkerrostalojen energiatehokkuusluokka on A<sub>2018</sub>. Energiatodistusluokkaa E<sub>2018</sub> ei kuvan 2 mukaan uusien asuinkerrostalojen energiatodistuksissa esiinny. Olemissa

olevista asuinkerrostaloista energiatehokkuusluokkaan A<sub>2018</sub> kuuluva rakennus on harvinainen. Kuten kuvista 1 ja 2 pystytään näkemään, on asuinkerrostalojen hajonta eri energiatehokkuusluokkiin suurempaa olemassa olevien kuin uusien asuinkerrostalojen kohdalla.

### 3.3 Energiatehokkuuden lisääminen

Rakennusten energiankulutus koostuu lämmitysenergian (tilojen, käyttöveden sekä ilmanvaihdon ilman lämmittäminen) ja sähköenergian (sähkölaitteet ja valaistus) kulutuksesta (Jaakkola ym. 2010, 9). Olemassa olevien rakennusten energiankulutuksesta ja energiankäytöstä aiheutuvia päästöjä voidaan huomattavasti vähentää korjausrakentamisen avulla, joten korjausrakentamisella on iso merkitys siinä, että Suomi pystyy täyttämään ilmastonmuutoksen hillintää koskevat sitoumuksensa (Nieminen & Virta 2016, 7). Suomen rakennuskanta uudistuu hitaasti, joten on olennaista, että olemassa olevaan rakennuskantaan saadaan toteutettua energiansäästötoimenpiteitä. Suurin hyöty saadaan aikaiseksi, kun rakennusten energiatehokkuutta lisäävät korjaukset tehdään pakollisten saneerauksien ja korjausten yhteydessä. (Jaakkola ym. 2010, 7.)

Olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuutta voidaan parantaa kokonaisuutena laajassa peruskorjauksessa, joka kohdistuu sekä rakenteisiin että teknisiin järjestelmiin, tai rakennusosittain parantamalla rakenteen lämmönläpäisykerrointa eli U-arvoa. (Nieminen & Virta 2016, 7–8.) Edellä mainittujen rakennuksen energiatehokkuuden lisäämisen toimenpiteiden toteutuksen tulee täyttää ympäristöministeriön asetuksen 4/13 kyseiselle toimenpiteelle annetut vaatimukset. Vaihtoehtoiset tavat energiatehokkuuden parantamiseksi on lueteltu pykälässä 8, ja ne ovat rakennusosien U-arvovaatimukset, energiankulutusvaatimukset rakennusluokittain sekä E-luku-vaatimus rakennusluokittain. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus ja muutostöissä 4/13 8. §.) Pykälässä 6 on lueteltu energiankulutusvaatimukset rakennusluokittain, kun rakennuksen energiatehokkuutta parannetaan rakennuksen standardikäyttöön perustuvaa energiankulutusta pienentämällä. Esimerkiksi pien- ja rivitalolle energiankulutuksen vaati-

mus on  $\leq 180\text{kWh/m}^2$ , asuinkerrostalolle  $\leq 130\text{ kWh/m}^2$  ja majoitusliikerakennukselle  $\leq 180\text{kWh/m}^2$  (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus ja muutostöissä 4/13 6. §).

Energiatodistuksessa huomioitavat E-lukua parantavat toimenpiteet ovat ulko-seiniä, ulko-ovia, ikkunoita, ylä- ja alapohjaa, tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmiä, ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmiä sekä valaistusta, jäähdytysjärjestelmiä, sähköisiä erillislämmityksiä ja muita järjestelmiä koskevia. Toimenpide-ehdotukset tähtäävät E-luvun pienentämiseen, joten ne arvioidaan rakennuksen vakioidulla käytöllä. Energiatodistuksessa on mahdollista listata myös suosituksia rakennuksen käyttöön ja ylläpitoon, mutta näillä toimenpiteillä ei ole vaikutusta E-lukuun.

Yksi edullinen tapa pienentää rakennuksen lämmitystarvetta, ja siten parantaa energiatehokkuutta, on lisälämmöneristäminen (Nieminen & Virta 2016, 10). Rakennusta lisälämmöneristäessä tulee ottaa huomioon se, että lisälämmöneristäminen vaikuttaa kosteuden siirtymiseen rakenteessa, eli se tulisi pääsääntöisesti tehdä rakenteen ulkopuolelle. Jotta lisälämmöneristäminen toimisi toivotulla tavalla, tulisi rakennuksen julkisivu- ja kattorakenteet tiivistää ilmavuotojen estämiseksi. Toimivan kokonaisuuden aikaansaamiseksi myös ilmanvaihdon toimivuus tulee selvittää, ja lisäksi lämmitysverkostoon tulee tehdä perussäätö, koska lisälämmöneristäminen vaikuttaa rakennuksen lämmitystarpeeseen pienentämällä sitä. (Nieminen & Virta 2016, 36.)

Korjausrakentamisessa rakennusten ilmanvaihtojärjestelmien korjaus vastamaan nykyajan asumisvaatimusten mukaista sisäilmastoa voidaan toteuttaa asentamalla rakennukseen koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, jossa on LTO-laite (Jaakkola ym. 2010, 18, 22). LTO- eli lämmöntalteenotto-laite on laite, jonka läpi rakennuksesta poistettava lämmin ilma kulkee ja joka ottaa poistoilmasta mahdollisimman paljon lämpöenergiaa talteen (Motiva 2018). Koneellista poistoilmanvaihtoa voidaan parantaa tarkoituksenmukaisella ilmanvaihdolla, jota tehostetaan kuormituksen mukaan. Järjestämällä kunnollinen korvausilman saanti saadaan vedon tunnetta vähenemään, minkä seurauksena huonelämpötilaa voidaan laskea ja lisätä näin rakennuksen energiatehokkuutta. (Jaakkola ym. 2010, 30.) Rakennuksen energiatehokkuutta voidaan parantaa myös ilmanvaihtokanavien tiiviiden parantamisella



sekä ikkunoiden, joiden kautta suurimmat ilmavuodot yleensä tapahtuvat, uusimisella (Jaakkola ym. 2010, 32).

Rakennuksen lämmitysjärjestelmä vaikuttaa olennaisesti rakennuksen energiatehokkuuteen. Lämmitysverkoston toimintaa tehostamalla saadaan rakennuksen energiatehokkuutta lisättyä, jolloin rakennus tarvitsee vähemmän lämmitysenergiaa (Jaakkola ym. 2010, 11). Toimenpiteitä lämmitysjärjestelmän korjaamiseksi, olettaen, että rakennuksessa on käytössä kaukolämpö, ovat venttiilien uusiminen, kaukolämpölaitteiden uusiminen sekä patteriverkoston perussäätö (Jaakkola ym. 2010, 13–15). Lisäksi energiaa säästyy huonelämpötilan alentamisella, huonetilakohtaisella lämpötilan säädöllä ja lämmitysenergiankulutuksen mittauksella, lämpimän käyttöveden lämpötilan alentamisella (ei alle 55 °C), kemikaalittoman vedenkäsittelyn käyttämisellä, vedenkulutuksen vähentämisellä, vesikalusteiden uusimisella ja huoneistokohtaisilla vesimittareilla (Jaakkola ym. 2010, 15–17, 37–39).

Jaakkolan ym. (2010, 35) mukaan viemäreiden uusiminen ei yleensä paranna rakennuksen energiatehokkuutta, mutta vesijohtojen uusimisen yhteydessä siihen voidaan vaikuttaa kiinnittämällä huomiota järjestelmän vedenkulutukseen. Mitä tulee sähköenergian tehokkaaseen käyttöön, toteutuu se pääasiassa energiatietoisilla laitevalinnoilla. Kiinnittämällä huomiota kodinkoneiden ja LVI-laitteiden energialuokitukseen ja käyntiaikoihin sekä korjaamalla valaistusjärjestelmiä, voidaan sähkönkulutuksessa säästää. (Jaakkola ym. 2010, 43.)

Huomioitavaa on, että kaikki energiatehokkuuden lisäämisen menetelmät eivät pienennä rakennuksen E-lukua. Esimerkiksi lämpimän käyttöveden energiankulutus on laskennassa aina vakio, ja vain paineensäätöventtiilillä varustetussa kohteessa on mahdollista käyttää alhaisempaa lukemaa. Erilaiset vedensäästötuotteet tuovat säästöä rakennuksen todelliseen energiankulutukseen, mutta niillä ei ole vaikutusta laskennalliseen ostoenergiankulutukseen.

### 3.3.1 Energiatehokkuusinvestointien kannattavuuden laskenta

Rakennusten energiatehokkuusinvestointien kannattavuus voidaan laskea erilaisilla menetelmillä, kuten esimerkiksi laskemalla investoinnin suora takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuaika lasketaan vertaamalla kyseisellä energiansäästötoimenpiteellä saavutettavaa energiansäästöä, ja sen myötä rahansäästöä, kyseisestä toimenpiteestä aiheutuneisiin kustannuksiin. Tulokseksi saadaan se aika vuosina, jona energiatehokkuustoimenpide maksaa itsensä takaisin energiansäästöstä aiheutuvan rahansäästön muodossa. (Nieminen & Virta 2016, 30.) Takaisinmaksuajan laskennassa tulee ottaa huomioon myös investoitavan laitteen tai järjestelmän tuleva käyttöikä, eli jos takaisinmaksuaika ylittää laitteen teknisen käyttöiän, ei investointi välttämättä tule olemaan kannattava pelkästään energiataloudellisesta näkökulmasta katsottuna (Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus 2018, 6). Jaakkola ym. (2010, 58) toteavat, että energiankulutusta pienentävät toimenpiteet kasvattavat yleensä korjausinvestointeja, mutta pienemmän energiankulutuksen myötä sijoitus maksaa itseänsä takaisin rakennuksen elinkaaren aikana.

Suunnitelmallisuus korjausrakentamisessa on tärkeää, jotta saadaan aikaiseksi järkevä, toimiva ja pitkäikäinen kokonaisuus. Jaakkola ym. (2010, 58–59) korostavat kuitenkin, että energiatehokkuuteen vaikuttavien korjaustoimenpiteiden kustannustehokkuuden arviointi on tarpeellista, mutta ei yksiselitteistä, sillä asiaan vaikuttavia tekijöitä on monia. Vaikka rakennuksen energiatehokkuuden lisääminen vaatii aina rahallisia investointeja, saadaan muutoksilla aikaan asioita, kuten esimerkiksi parempia sisäilmaolosuhteita, joiden arvoa ei aina voi mitata pelkästään rahassa. Lisäksi muutokset tuovat mukanaan välillisiä säästöjä, kun esimerkiksi rakennuksen arvo saadaan niillä ylläpidettyä, huoltotöitä helpotettua sekä luotua lisäviihtyisyyttä asumiseen (Ojanen ym. 2017, 30).

### 3.3.2 Tutkimustietoa rakennusten energiatehokkuuden lisäämisestä

EU on asettanut tavoitteeksi vähähiilisyiden saavuttamisen vuoteen 2050 mennessä. Jäsenmaiden tulee tehdä päätöksiä löytääkseen energiatehokkaimmat ja taloudellisesti toteutettavissa olevat toimenpiteet, jotta kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen saavutetaan. Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen on yksi päätoimenpiteistä tavoitteeseen pääsemiseksi.

(Blumberga ym. 2018, 259.) Vaikka rakennusten energiatehokkuuden lisääminen on monessa maassa, kuten Liettuassa, sijoitettu etusijalle, ei laajoja toimenpiteitä asian edistämiseksi käytännössä juurikaan ole tehty. Liettuan osalta esteenä rakennusten energiatehokkaaseen peruskorjaukseen on lueteltu mm. useimpien rakennusten yksityisomistus, kansallinen kaukolämpöä suosiva politiikka sekä tehoton tiedottaminen rakennusten energiansäästöön liittyen. Viron osalta ongelmakohtina on mainittu mm. peruskorjaukset, joilla ei ole juurikaan vaikutusta rakennusten energiatehokkuuteen, pula asiantuntijoista, puutteet dokumentaatioissa, huono sisäilmasto puutteellisen ilmanvaihdon takia sekä negatiiviset asenteet kiinteistönomistajien puolelta. Yleisesti ottaen yhdeksi suurimmaksi esteeksi energiatehokkaiden toimenpiteiden toteuttamiselle on hankkeiden rahoittamiseen liittyvät ongelmat. (Blumberga ym. 2018, 259.)

Olemassa olevat rakennukset, jotka kuluttavat paljon energiaa ja joiden energiatehokkuutta lisäävien teknisten ratkaisujen vaihtoehdot ovat huomattavasti rajoitetummat kuin vasta suunnitteluvaiheessa olevilla rakennuksilla, muodostavat suurimman osan Euroopan rakennuskannasta (Almeida & Ferreira 2017, 737). Suurin potentiaali olemassa olevien rakennusten energiatehokkuuden lisäämiseksi ja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi on Almeidan ja Ferreiran (2017, 737) mukaan rakennusten lämmitysmuodon muuttaminen uusiutuvaan energiaan, aurinkoenergian hyödyntäminen rakennuksen sähköntuotannossa sekä energiatehokkuuden parantamisen näkökulman huomioiminen aina, kun jotain korjaustoimenpiteitä rakennukselle täytyy tehdä. Tutkimuksessa todetaan, että kaikki kohderakennuksiin tehdyt energiatehokkuustoimenpiteet vähensivät rakennusten hiilidioksidipäästöjä. Rakennusten energiatehokkuus peruskorjauksen jälkeen näytti riippuvan siitä, kuinka moneen rakennuksen osaan peruskorjaus keskittyi, ei niinkään siitä, kuinka energiatehokas yksi yksittäinen peruskorjattu osa oli. (Almeida & Ferreira 2017, 732–733.) Almeida ja Ferreira (2017, 737) toteavat tutkimuksessaan, että olemassa olevia rakennuksia on mahdollista peruskorjausten yhteydessä saada kustannustehokkaasti energiatehokkaammiksi ja vähähiilisemmiksi.

Niemelä ym. (2016, 69) toteavat tekemässään tutkimuksessa koskien suomalaisten tiilikerrostalojen kustannustehokasta energiatehokkuuden lisäämistä,

että maalämpöpumppujärjestelmään siirtyminen on kustannustehokkain rakennuksen energiatehokkuutta lisäävä toimenpide. Maalämpöpumppujärjestelmän käyttö rakennuksen ensisijaisena lämmitysjärjestelmänä ei kuitenkaan onnistu kaikkialla, sillä varsinkin kaupunkien keskustoissa rakennusten tontit ovat niin pieniä, että energiakaivojen poraamiselle ei niissä aina ole riittävästi tilaa. Tutkimustulosten mukaan myös ilma-vesilämpöpumput lisäävät rakennusten energiatehokkuutta kustannustehokkaasti. Nykyaikaiset ilma-vesilämpöpumput toimivat hyvin kylmissä ilmastoissa, ja niiden rakennuksille tuoma energiatehokkuus on hyvä. Lisäksi ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän investointikustannukset ovat alhaisempia verrattuna maalämpöpumppujärjestelmän investointikustannuksiin. (Niemelä ym. 2016, 69–70.) Niemelä ym. (2016, 70–71) toteavat, että lämpöpumppujärjestelmillä saadaan rakennuksille parempi E-luku kustannustehokkaammin kuin mitä kaukolämpöjärjestelmillä saadaan aikaan. Tutkimustulokset osoittavat, että investoiminen lämpöpumppujärjestelmiin ja aurinkosähköjärjestelmiin lisäävät rakennusten energiatehokkuutta parhaiten. Niemelä ym. (2016, 71) mainitsevat suurimmiksi syiksi tälle sen, että nykyaikaisilla lämpöpumppujärjestelmillä on korkea energiatehokkuustaso ja sen, että aurinkosähköjärjestelmien investointikulut ovat laskeneet huomattavasti kuluneiden viime vuosien aikana. Lisäksi paikan päällä tuotettu aurinkosähkö on kannattavampaa kuin sähköenergian ostaminen ulkopuolelta (Niemelä ym. 2016, 71).

Niemelä ym. (2016, 72) nostavat tutkimuksessaan esiin lisälämmöneristämisen yhtenä rakennuksen energiatehokkuuden lisäämistöimenpiteenä. Ulkoseinien lisälämmöneristäminen ei tutkimuksen mukaan näyttäisi olevan kustannustehokas energiatehokkuutta lisäävä peruskorjaustoimenpide. Yksittäisenä toimenpiteenä sen voidaan nähdä parantavan rakennuksen energiatehokkuutta ja vähentävän ostoenergian tarvetta, mutta se näyttäisi olevan järkevä ja kustannustehokas toimenpidevaihtoehto vain silloin, kun muut kustannustehokkaammat vaihtoehdot on jo toteutettu. Rakennuksen yläpohjan lisälämmöneristämistä voidaan pitää suositeltavana toimenpiteenä silloin, kun yläpohjaan ei tarvitse tehdä rakenteellisia muutoksia. Ikkunoiden uusiminen näyttäisi olevan kohtuullisen järkevä toimenpide, jolla rakennukselle saadaan energiatehokkuuden lisäämisen lisäksi lämpöihtiyyttä. Aurinkoenergian hyödyntäminen lämmitykseen kaukolämmön ohella on kustannustehokas vaihtoehto rakennuksen energiatehokkuuden lisäämiseen, kuten Niemelä ym.

(2016, 72) mainitsevat. Niemelä ym. (2016, 72) korostavat, että aurinkoenergiajärjestelmän hyödyntämisen kannattavuus riippuu suuresti sen energian hinnasta, minkä korvaamiseen sitä käytetään. Tämä on yksi syy siihen, miksi aurinkokeräimien käyttö on suositeltava ratkaisu kaukolämmön ohella käytettäväksi, mutta vain harvoin kannattavaa silloin, kun päälämmitysmuotona on lämpöpumppujärjestelmä (Niemelä ym. 2016, 72).

Tutkimustulosten mukaan rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän täydellinen uusiminen ei ole kannattava ratkaisu kustannustehokkuuden näkökulmasta katsottuna, mikä johtuu siitä, että ilmanvaihdon peruskorjauksen investointikustannukset ovat suuria. Jos asiaa katsoo energiatehokkuuden näkökulmasta, saadaan tällä toimenpiteellä vuotuisia säästöjä rakennuksen energiankulutukseen. On myös syytä muistaa, että ilmanvaihtojärjestelmien parantamisella on aina sisäilmaston laatuun ja tätä kautta asumisviihtyvyyteen vaikuttava tekijä, mikä on syytä ottaa huomioon, kun ilmanvaihtojärjestelmien uusintaa suunnitellaan. (Niemelä ym. 2016, 72.)

## **4 TUTKIMUSMENETELMÄ JA TUTKIMUSAINEISTO**

### **4.1 Tutkimusmenetelmän valinta**

Tämän opinnäytetyön tutkimusmenetelmän valinnassa huomioidaan se, mistä näkökulmasta rakennusten energiatehokkuutta lähdetään tutkimaan. Yksi tekniikan alalla yleisesti käytetty tutkimusmenetelmä on konstruktiivinen tutkimusmenetelmä (Korpijärvi s.a., 2). Opinnäytetyössä käytetään pohjana kyseistä tutkimusmenetelmää, sillä opinnäytetyössä pyritään tuottamaan ratkaisu eli konstruktio tosielämän ongelmaan. Konstruktiivinen tutkimusmenetelmä opinnäytetyön pohjana tuottaa vertailujen ja laskelmien myötä konkreettisen tuotoksen, jossa ratkaisujen toimivuus on testattu ja konstruktion oikeellisuus osoitettu (Eskola ym. 2016). Rakennusten E-lukuun perustuva energiatehokkuuden tarkastelu konstruktiivisen tutkimusmenetelmän kautta antaa pysyviä tuloksia sattumanvaraisten tulosten sijaan, sillä E-lukulaskenta perustuu lakiin, ja laskenta tehdään aina samojen laskentaperiaatteiden mukaan riippumatta siitä, kuka laskennan tekee. Opinnäytetyö keskittyy tosielämän ongelmaan ja sen ratkaisemiseen, joten opinnäytetyöhön valittu konstruktiivisen tutkimusmenetelmän voidaan sanoa mittaavan sitä asiaa, mitä sen on tarkoitus mitata, eli

vertailla eri ratkaisuvaihtoehtoja keskenään parhaimman ratkaisun löytämiseksi.

Rakennusten energiatehokkuuden lisäämiseen tähtäävät toimenpide-ehdotukset tehdään opinnäytetyöhön valittuihin kohderakennuksiin kohdistuvan tutkimuksen perusteella, joten on aiheellista pohtia kysymystä toimenpide-ehdotusten soveltuvuusalueen laajuudesta. Toisin sanoen kysymys siitä, onko opinnäytetyön otos riittävän edustava ja tulokset miten yleistettävissä, on otettava huomioon. Tilastollisten menetelmien avulla pyritään valikoimaan riittävän edustava otos Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistamista kiinteistöistä, mutta se, mikä määrä on riittävää, voidaan pitää yhtenä opinnäytetyön kriittisenä kohtana.

#### **4.2 Tutkimuksen eteneminen ja eri vaiheet**

Taustatietoja tätä opinnäytetyötä varten kerätään Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:ltä sekä Lappeenrannan kaupungilta ja Lappeenrannan seudun ympäristötoimelta haastattelujen avulla, yhteisten palaverien kautta sekä hiilineutraaliustyöryhmissä työskentelyn kautta. Lisäksi taustatietojen keräämisessä hyödynnetään valmiita dokumentteja, kuten esimerkiksi Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n käyttämästä Tampuuri-ohjelmasta saatavia kiinteistöjen energiankulutustietoja. Laskelmien sekä vertailevan tutkimuksen avulla selvitetään eri energiatehokkaista ratkaisuvaihtoehdoista saatavaa hyötyä verrattuna kiinteistöjen nykyisiin teknisiin ratkaisuihin. Korpijärven (s.a., 12) mukaan vertailua voidaan käyttää tutkimusmenetelmänä silloin, kun tutkitaan useampia eri tekniikoita ja analysoidaan eri tekniikoiden etuja ja haittoja.

Ensin laaditaan taulukko koko Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistamasta kiinteistökannasta, jotta saadaan selvitettyä, minkä tyyppisiin kiinteistöihin on hyödyllisintä opinnäytetyössä keskittyä. Taulukoiden laatimisessa hyödynnetään tilastollisiin menetelmiin kuuluvia mitta-asteikkoja (Nuutila 2014a), joita tässä kohtaa opinnäytetyötä ovat luokittelu-, järjestys- sekä välimatka-asteikko. Taulukoissa esitellään kiinteistöjen tietoja (esim. rakentamisvuosi) frekvenssijakaumaan ja suhteelliseen frekvenssiin (Nuutila 2014b) pohjaten.

Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistamasta kiinteistökannasta valitaan mahdollisimman edustavat kohderakennukset, joihin laaditaan energiatodistukset ko. rakennusten nykyisen E-luvun selvittämiseksi. Energiatodistukset laaditaan ja energiatehokkuuslaskelmat lasketaan käyttämällä laskentatyökä-luna ohjelmaa CADMATIC Draw 18.0, johon tarvittavat tiedot saadaan kohde-rakennusten LVI-piirustuksista sekä kohdekäynneiltä. Ohjelmaan syötetään rakennusten pohjakuvat pdf-muodossa, joiden päälle rakennus on mahdollista myös mallintaa. Dynaamista laskentaa ei ohjelmalla voi tehdä. Huomioon on otettava, että ohjelman suorittamissa laskelmissa voi olla ohjelman tekemiä desimaalien pyöristämisistä johtuvia pieniä epätarkkuuksia, joilla ei kuitenkaan kokonaisuuden kannalta katsottuna ole merkitystä.

Kohderakennusten nykyistä E-lukua pienennetään erilaisilla teknisillä ratkai-suilla, jotta kohderakennusten energiatehokkuutta saadaan lisättyä. E-lukua pienentävät tekniset ratkaisut valitaan energiatodistuksessa määritettävien ra-kennuksen E-lukua pienentävien toimenpiteiden mukaan. Eri ratkaisuvaihto-ehdoja vertaillaan keskenään, ja ratkaisuvaihtoehtojen soveltuvuutta opinnäy-tetyöhön valittuihin kiinteistöihin tutkitaan. Rakennusten ikä otetaan huomioon eli huomioidaan se, mitä korjaustoimia tms. on ylipäättään järkevää lähteä esit-tämään eteenpäin ja toteuttamaan. Eri ratkaisuvaihtoehtoista lasketaan niiden vaikutukset E-lukuun, ja jokaisesta ratkaisuvaihtoehdosta tehdään kokonais-kustannusarviot. Energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutuksia kohderaken-nusten laskennalliseen ostoenergian kulutukseen tarkastellaan sekä energia-muotokertoimilla painotettuna että ilman.

Saadut säästöt sekä investointien takaisinmaksuajat lasketaan. Investoinnin takaisinmaksuaika lasketaan jokaisesta ratkaisuvaihtoehdosta erikseen. Las-kelmat lasketaan ilman energiamuotokertoimia, jotta saadaan selville inves-tointien realistisempi takaisinmaksuaika. Arvioidut investointikustannukset si-sältävät työn ja laitteet/tarvikkeet sisältäen arvonlisäveron 24 %, ja laskel-missa on erikseen huomioitu korkojen sekä energian hinnan muutosten vaiku-tukset takaisinmaksuaikoihin. Korkojen osalta on arvioitu, että ne nostavat in-vestointien kokonaiskustannuksia n. 2,7 % vuodessa. Energian hinnan nou-sun on arvioitu olevan n. 1,5 % vuodessa. Tällä hetkellä Lappeenrannan Ener-gialta ostettuna kaukolämpö maksaa n. 90,00 €/MWh, ja sähkö n. 0,13 €/kWh.

Kun energiatehokkaita ratkaisuvaihtoehtoja tullaan kohderakennuksiin toteuttamaan korjaus-/ muutostoimenpiteiden kautta, tullaan rakennuksissa tarvitsemaan vähemmän ostoenergiaa per vuosi, mikä pienentää rakennusten aiheuttamaa hiilijalanjälkeä (Kuittinen 2020a). Laskelmissa käytetään pohjana rakennusten laskennallista ostoenergian kulutusta, jonka pohjalta voidaan laskea myös rakennuksen energian hiilijalanjälki (Kuittinen 2020a; Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 29). Rakennusten hiilijalanjälkilaskennassa noin puolet CO<sub>2</sub>e-päästöistä muodostuu rakennuksen energiankulutuksesta. Koska Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistamasta kiinteistökannasta lähes kaikkien rakennusten lämmöntuottotapa on kaukolämpö, voidaan yleistäen todeta, että rakennuksen E-luvun pieneneminen pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä suorassa suhteessa siten, että jos rakennuksen E-luku pienenee 50 %, niin sen energian hiilijalanjälki pienenee 25 %. (Pesu 2020.)

### 4.3 Opinnäytetyön tutkimusaineisto

Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistuksessa on yhteensä 296 kiinteistöä. Taulukossa 4 näkyy kaikkien rakennusten lukumäärät rakentamisvuoden mukaan jaoteltuina sekä eri vuosikymmenillä rakennettujen rakennusten prosentuaaliset osuudet koko rakennuskannasta.

Taulukko 4. Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistama rakennuskanta

<i>Rakentamisvuosi</i>	<i>Rakennusten lkm</i>	<i>%</i>
1850 – 1859	3	1,0
1900 – 1909	1	0,3
1910 – 1919	1	0,3
1920 – 1929	5	1,7
1940 – 1949	3	1,0
1950 – 1959	12	4,1
1960 – 1969	19	6,4
1970 – 1979	34	11,5
1980 – 1989	54	18,2
1990 – 1999	104	35,1
2000 – 2009	44	14,9
2010 – 2019	13	4,4
2020 –	3	1,0



Taulukosta 4 näkyy, että Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:llä on eniten rakennuksia 1990-luvulta. Niiden osuus koko Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistamasta rakennuskannasta on 35,1 %. Toiseksi eniten Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy omistaa rakennuksia 1980-luvulta. Niiden osuus koko rakennuskannasta on 18,2 %. Vähiten Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy omistaa rakennuksia 1900- ja 1910-luvuilta. Näiden yhteenlaskettu prosentuaalinen osuus koko rakennuskannasta on yhteensä 0,6 %.

Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistamasta rakennuskannasta on suurin osa rakennettu 1980- ja 1990-luvuilla. Taulukossa 5 näkyy näiden vuosikymmenten rakennukset jaoteltuina sen mukaan, minkä tyyppisestä rakennuksesta on kyse. Lisäksi taulukossa 5 näkyy eri rakennusten prosentuaaliset osuudet koko kyseisen vuosikymmenen rakennuskannasta.

Taulukko 5. Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n vuosien 1980-1999 rakennukset

<b>Vuosi</b>	<b>Kerrostalojen lkm</b>	<b>%</b>	<b>Rivitalojen lkm</b>	<b>%</b>	<b>Palvelutalo- jen lkm</b>	<b>%</b>	<b>Pientalojen lkm</b>	<b>%</b>
1980- 1989	36	66,7	18	33,3	0	0	0	0
1990- 1999	68	65,4	32	30,8	2	1,9	2	1,9

Kuten taulukosta 5 pystytään näkemään, on sekä 1980-luvun että 1990-luvun rakennuksista kerrostalojen lukumäärä suurin. 1980-luvun kaikista rakennuksista on kerrostalojen osuus 66,7 %, ja vastaavasti 1990-luvun kaikista rakennuksista on kerrostalojen osuus 65,4 %. Rivitalojen määrä on molemmilla vuosikymmenillä noin puolet kerrostalojen lukumäärästä.

Perustuen edellä esitettyihin taulukoihin 4 ja 5 voidaan todeta, että kaikista Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistamista rakennuksista parhaiten koko rakennuskantaa edustavat 1980- ja 1990-luvuilla rakennetut kerrostalot. Tähän opinnäytetyöhön on valittu kohderakennukset kyseisiltä vuosikymmeniltä niin, että toinen kohderakennus on asuinkerrostalo vuodelta 1989, ja toinen kohderakennus on asuinkerrostalo, jonka rakentamisvuosi on 1990. Kohderakennusten rakentamisvuodet ovat lähellä toisiaan, mikä ei sinänsä muodosta ongelmaa, sillä kyseisillä vuosikymmenillä rakennettujen rakennusten energiankulutus on yhteneväinen, kuten esimerkiksi Rakenteellinen energiatehokkuus korjausrakentamisessa -oppaassa (Ojanen ym. 2017, 17) tuodaan

esiin. Kyseessä olevista kohderakennuksista on saatavilla kattavasti tietoa, mikä helpottaa energiatehokkuuslaskelmien tekemistä. Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy tekee kyseisiin kohderakennuksiin myös muuta energian säästämiseen liittyvää selvitystyötä, joten näiden samojen rakennusten valitseminen tähän opinnäytetyöhön tuo lisähyötyä koko kokonaisuuteen.

#### **4.3.1 Kohderakennus A: Hovinkatu 3**

Kohderakennus A on Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistama kerrostalo, joka sijaitsee Lappeenrannan Hakalissa osoitteessa Hovinkatu 3. Kyseessä on vuonna 1989 rakennettu 3-kerroksinen asuinkerrostalo, johon ei ole tehty peruskorjausta tai perusparannusta. Asuinhuoneistoja kohderakennuksessa A on yhteensä 29 kappaletta. Kuvassa 3 on valokuva kohderakennuksesta A.



Kuva 3. Kohderakennus A Hovinkatu 3

Kohderakennukselle A on laadittu energiatodistus, ja seuraavassa kohderakennuksesta A esitellään energiatodistuksen laatimisessa käytettyjä tietoja. Kuvassa 4 näkyy kohderakennuksen A alat ja tilavuudet.

Alat ja tilavuudet					
Lämmitetty nettoala:	1885	m <sup>2</sup>	Rakennustilavuus:	6050	m <sup>3</sup>
Rakennusvaipan ala:	2315	m <sup>2</sup>	Ilmatilavuus:	5599	m <sup>3</sup>
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä:	1725	m <sup>2</sup>	Keskisälämpötila:	21	°C

Tuo ilmatilavuus, vaipan ala ja sisälämpötila projektitiedoista

Kuva 4. Kohderakennuksen A alat ja tilavuudet

Kuten kuvassa 4 näkyy, on kohderakennuksen A lämmitetty nettoala 1885 m<sup>2</sup> ja rakennustilavuus 6050 m<sup>3</sup>. Rakennustilavuuteen on laskettuna mukaan rakennuksen kaikki, myös lämmittämättömät, tilat. Kohderakennuksen ilmatilavuus on 5599 m<sup>3</sup>. Ilmatilavuus kertoo rakennuksen lämmitettyjen tilojen tilavuuden.

Lämmöntuottotapa kohderakennuksessa A on kaukolämpö, ja lämmönjakelu tapahtuu radiaattoriverkoston kautta. Kuvassa 5 on nähtävillä tiedot lämmöntuotosta.

Lämmöntuotto					
Lämmöntuottotapa	Vuosihyötysuhde	SPFtilat/SPFlkv	Sähkö	%	Energiamuotokerroin
Kaukolämpö	0.97	-/-	0.07	100	0.5

Kuva 5. Kohderakennuksen A lämmöntuotto

Kuvassa 5 näkyy, että kaukolämmön vuosihyötysuhde on 97 % ja energiamuotokerroin 0,5. Sähkönkulutus on 0,07 kWh/m<sup>2</sup>. Kaikki kyseiset arvot ovat taulukkoarvoja, jotka pohjautuvat ympäristöministeriön asetukseen rakennuksen energiatodistuksesta (1048/2017, liite 1).

E-luvun laskentaan on kohderakennukselle A määritetty kaikki tarvittavat johtumistiedot. Nämä näkyvät kuvassa 6.

Määritetyt johtumistiedot				
Tyyppi	Ala	U-arvo	Ts/Tupoik	Maalaji
APm	504.8	0.36	21	1
IKka	3	2.1	21	
IKko	95.9	2.1	21	
IKlo	115.56	2.1	21	
IKlu	3	2.1	21	
OVI	41.7	1.4	21	
US	1134.5	0.28	21	
USm	85	0.42	21	1
YP	589.8	0.22	21	

Kuva 6. Kohderakennuksen A johtumistiedot

Kuvassa 6 näkyy maanvaraisen alapohjan (APm), eri ilmansuuntiin sijaitsevien ikkunoiden (IKka, IKko, IKlo, IKlu), ovien (OVI), ulkoseinien (US), maanvaraisien ulkoseinien (USm) ja yläpohjan (YP) pinta-alat sekä niiden U-arvot. U-arvot ovat taulukkoarvoja, sillä kohderakennuksesta A ei ole saatavilla tarkempia U-arvotietoja. Taulukkoarvot pohjautuvat ympäristöministeriön asetukseen rakennuksen energiatodistuksesta (1048/2017, liite 1). Maalaji 1 tarkoittaa maata, joka koostuu savesta, salaojitetusta hiekasta ja sorasta.

Kohderakennukselle A on määritetty vuotoilmatieidot. Nämä tiedot näkyvät kuvassa 7.

Määritetyt vuotoilmatieidot					
Nimi	Tilavuus	Vaipan ala	Kerroin x	Lämpötila	q50
Koko_rakennus	5599	2315	20	21	4

Kuva 7. Kohderakennuksen A vuotoilmatieidot

Vuotoilmatieidoissa ilmoitetaan rakennuksen ilmatilavuus, rakennusvaipan ala, kerroin x, mikä määräytyy rakennuksen kerrosten mukaan, sisälämpötila sekä q50 arvo. Kohderakennuksen A q50 arvona on 4, sillä tarkempaa arvoa ei ole saatavilla. Kyseistä arvoa voidaan käyttää laskennassa, kun rakennus ja ikkunat ovat hyväkuntoiset.

E-luvun laskennassa huomioidaan rakennuksen käyttöveden liittyvät tiedot. Kuvassa 8 näkyy kohderakennuksen A lämpimän käyttöveden kulutuksen ja häviöiden tiedot.

LKV kulutus	LKV häviöt
<input type="checkbox"/> Huoneistokohtaiset vesimittarit <input type="radio"/> Henkilömäärän mukaan $\text{dm}^3/\text{henk}/\text{vrk}$ Vlkv,omin,henk: <input type="text" value="50"/> Henkilömäärä: 63 hlö	Kierto nlkv,siirto: <input type="text" value="0.97"/> Kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho <input type="text" value="6"/>
<input checked="" type="radio"/> Pinta-alan mukaan Qlkv,netto,omin ( $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ) <input type="text" value="35"/> Laskenta-arvo, Qlkv,netto,omin ( $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ): <input type="text" value="35"/> Nettoala: 1885 $\text{m}^2$ Kulutus: 1256.7 $\text{m}^3$	Kiertojohdon pituus: <input type="text" value="377"/> m <input type="button" value="Laske"/> Kiertojohdon pituus, lämmittämätön: <input type="text" value="0"/> m Asennus: Kiertoputket maassa, eristetty Putken lämmönläpäisykerroin: <input type="text" value="0"/> $\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$ Qlkv, ulos (0 m): 0 $\text{kWh}/\text{a}$ Kiertojohdon virtaama: <input type="text" value="0.3"/> $\text{dm}^3/\text{s}$ Kiertojohdon kytkettyjen lämmityslaitteiden määrä: <input type="text" value="31"/> Lämmityslaitteen ominaisteho: <input type="text" value="170"/> W Qlkv, kierto (377 m): 65980 $\text{kWh}/\text{a}$ Qlkv,varastointi ( $\text{kWh}/\text{a}$ ) <input type="text" value="0"/>
T, lämmin käyttövesi: <input type="text" value="50"/> $^\circ\text{C}$ T, kylmävesi: <input type="text" value="5"/> $^\circ\text{C}$ (Tkv) Lämmin käyttövesi, mitoitusvirtaama: <input type="text" value="1.2"/> $\text{dm}^3/\text{s}$ Qlkv, lto: <input type="text" value="0"/> $\text{kWh}/\text{a}$ Qlkv, netto: 65975 $\text{kWh}/\text{a}$	

Kuva 8. Kohderakennuksen A LKV kulutus ja LKV häviöt

Lämpimän käyttöveden kulutus lasketaan pinta-alan mukaan sillä laskenta-arvolla, minkä rakennus käyttötarkoituksensa mukaan saa. Kohderakennuksen A laskenta-arvo 35 (2 Asuinkerrostalot) on nähtävissä kuvassa 8. Kohderakennuksen A lämmönjakokeskuksen kytkentäkaaviosta on saatu kuvassa 8 ilmoitetut arvot lämpimälle käyttövedelle, kylmälle vedelle, mitoitusvirtaamalle sekä kiertojohdon virtaamalle. Kohderakennuksesta A ei ole saatavilla tarkempaa tietoa lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituudesta, minkä takia kiertojohdon pituus on saatu laskemalla rakennustyyppikohtaista asetuksenmukaista taulukkoarvoa käyttämällä. Taulukkoarvo löytyy ympäristöministeriön asetuksesta rakennuksen energiatodistuksesta (1048/2017, liite 1). Kiertojohdon kytkettyjä lämmityslaitteita löytyy 31 kappaletta.

Kohderakennuksessa A on koneellinen poistoilmanvaihto. Ilmanvaihto on toteutettu niin, että raikas ilma rakennukseen tulee ikkunoissa sijaitsevien korvausilmaventtiilien kautta, ja epäpuhdas ilma puhalletaan ulos katolta huippuimureiden avulla, joita on kolme kappaletta. Ilmanvaihdon tiedot on esitetty kuvassa 9.

IV-koneen tiedot			
IV-kone:	<input type="text" value="PK1"/>	Samanaisten IV-koneiden lukumäärä:	<input type="text" value="1"/>
Vaikutusala:	<input type="text" value="1885"/> m <sup>2</sup>	(100 % nettoalasta)	
qv, poisto:	<input type="text" value="0.943"/> m <sup>3</sup> /s	dTpuhallin:	<input type="text" value="0.5"/>
qv, tulo:	<input type="text" value="0.943"/> m <sup>3</sup> /s	LTO vuosihyötysuhde (0...1), na:	<input type="text"/> <input checked="" type="checkbox"/> Ei LTO-vaatimusta
td:	<input type="text" value="13"/> h/24h (todellinen käyttöaika)	nt:	<input type="text" value="0"/>
tv:	<input type="text" value="7"/> vrk/7vrk	Tsp:	<input type="text" value="18"/> °C
		Tsisä:	<input type="text" value="21"/> °C
Puhaltimen tai IV-koneen sähköteho tehonsäätölaitteineen, Ppuh:			<input type="text" value="0.9"/> kW
Jäätymisen esto:	<input type="text"/> °C	SFP:	0.95 kW/(m <sup>3</sup> /s)
Lämmitysmuoto:	<input type="text" value="Lämmitysjärjestelmä"/>		

Kuva 9. Kohderakennuksen A IV-koneen tiedot

Laskennassa kohderakennuksen A ilmanvaihdon kolmea huippuimuria on käsitelty yhtenä koneena, kuten kuvassa 9 näkyy. Lämmön talteenottoa ei kohderakennuksessa A ole, joten LTO:n vuosihyötysuhdetta ei ole ilmoitettu. Ominais sähköteho eli SFP-luku on 0,9 kW/(m<sup>3</sup>/s), eli se jää alle 1 kW/(m<sup>3</sup>/s), kuten koneellisessa poistoilmanvaihdossa tuleekin jäädä. Vaikka kuvassa 9 näkyy ilmanvaihtokoneen todellinen käyttöaika, käytetään laskentaohjelmassa standardoidun käytön käyttöaika pohjana laskelmille.

Kohderakennuksen A laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku on 136 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi), minkä perusteella rakennuksen energiatehokkuusluokka on D<sub>2018</sub>.

#### 4.3.2 Kohderakennus B: Hovinkatu 6

Kohderakennus B on Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistama kerrostalo, joka sijaitsee Lappeenrannan Hakalissa osoitteessa Hovinkatu 6. Kyseessä on vuonna 1990 rakennettu 3-kerroksinen asuinkerrostalo, johon ei ole tehty peruskorjausta tai perusparannusta. Asuinhuoneistojen lukumäärä kohderakennuksessa B on 30. Kuvassa 10 on valokuva kohderakennuksesta B.



Kuva 10. Kohderakennus B Hovinkatu 6

Kohderakennukselle B on laadittu energiatodistus, ja seuraavassa kohderakennuksesta B esitellään energiatodistuksen laatimisessa käytettyjä tietoja. Kuvassa 11 on esitetty kohderakennuksen B alat ja tilavuudet.

Alat ja tilavuudet						
Lämmitetty nettoala:	<input type="text" value="1979"/>	m <sup>2</sup>	Rakennustilavuus:	<input type="text" value="6021"/>	m <sup>3</sup>	<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; text-align: center;">           Tuo ilmatilavuus,            vaipan ala ja            sisälämpötila            projektitiedoista         </div>
Rakennusvaipan ala:	<input type="text" value="2543"/>	m <sup>2</sup>	Ilmatilavuus:	<input type="text" value="5474"/>	m <sup>3</sup>	
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä:	<input type="text" value="1869"/>	m <sup>2</sup>	Keskisälämpötila:	<input type="text" value="21"/>	°C	

Kuva 11. Kohderakennuksen B alat ja tilavuudet

Kuten kuvassa 11 näkyy, on kohderakennuksen B lämmitetty nettoala 1979 m<sup>2</sup>. Kohderakennuksen B rakennustilavuus 6021 m<sup>3</sup> ja ilmatilavuus on 5474 m<sup>3</sup>.

Lämmöntuottotapa kohderakennuksessa B on kaukolämpö, ja lämmönjakelu tapahtuu radiaattoriverkoston kautta. Kuvassa 12 on nähtävillä kohderakennuksen B lämmöntuottotiedot.

Lämmöntuotto					
Lämmöntuottotapa	Vuosihyötysuhde	SPFtilat/SPFikv	Sähkö	%	Energiamuutokerroin
Kaukolämpö	0.97	-/-	0.07	100	0.5

Kuva 12. Kohderakennuksen B lämmöntuotto

Kuvassa 12 näkyvät arvot ovat kaikki taulukkoarvoja, jotka pohjautuvat ympäristöministeriön asetukseen rakennuksen energiatodistuksesta (1048/2017, liite 1).

E-luvun laskentaan on kohderakennukselle B määritetty kaikki tarvittavat johtumistiedot. Nämä näkyvät kuvassa 13.

Määritetyt johtumistiedot				
Tyyppi	Ala	U-arvo	Ts/Tupoik	Maalaji
APm	587.3	0.36	21	1
IKka	84.9	2.1	21	
IKko	37.6	2.1	21	
IKlo	10.4	2.1	21	
IKlu	77.6	2.1	21	
OVI	46.74	1.4	21	
US	1001.3	0.28	21	
USm	110	0.42	21	1
YP	587.3	0.22	21	

Kuva 13. Kohderakennuksen B johtumistiedot

Kuvassa 13 näkyy maanvaraisen alapohjan (APm), eri ilmansuuntiin sijaitsevien ikkunoiden (IKka, IKko, IKlo, IKlu), ovien (OVI), ulkoseinien (US), maanvaraisien ulkoseinien (USm) ja yläpohjan (YP) pinta-alat sekä niiden U-arvot. U-arvot ovat taulukkoarvoja, sillä kohderakennuksesta B ei ole saatavilla tarkempia U-arvotietoja. Taulukkoarvot pohjautuvat ympäristöministeriön asetukseen rakennuksen energiatodistuksesta (1048/2017, liite 1).

Kohderakennukselle B on määritetty vuotoilmastiedot. Nämä tiedot näkyvät kuvassa 14.



Määritetyt vuotoilmatieidot					
Nimi	Tilavuus	Vaipan ala	Kerros x	Lämpötila	q50
Koko_rakennus	5474	2543	20	21	4

Kuva 14. Kohderakennuksen B vuotoilmatieidot

Vuotoilmatieidoissa ilmoitetaan rakennuksen ilmatilavuus, rakennusvaipan ala, kerros x, mikä määräytyy rakennuksen kerroksien mukaan, sisälämpötila sekä q50 arvo. Kohderakennuksen B q50 arvona on 4, sillä tarkempaa arvoa ei ole saatavilla. Kyseistä arvoa voidaan käyttää laskennassa, kun rakennus ja ikkunat ovat hyväkuntoiset.

E-luvun laskennassa otetaan huomioon rakennuksen käyttövedeen liittyvät tiedot. Kuvassa 15 on nähtävissä kohderakennuksen B lämpimän käyttöveden kulutuksen ja häviöiden tiedot.

LKV kulutus		LKV häviöt	
<input type="checkbox"/> Huoneistokohtaiset vesimittarit <input type="radio"/> Henkilömäärän mukaan $\text{dm}^3/\text{henk}/\text{vrk}$ Vlkv, omin, henk: <input type="text" value="50"/> Henkilömäärä: 66 hlö		Kierto <input type="text" value="0.97"/> Kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho <input type="text" value="6"/>	
<input checked="" type="radio"/> Pinta-alan mukaan Qlqv, netto, omin ( $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ) <input type="text" value="35"/> Laskenta-arvo, Qlqv, netto, omin ( $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ): <input type="text" value="35"/> Nettoala: 1979 $\text{m}^2$ Kulutus: 1319.3 $\text{m}^3$		Kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho <input type="text" value="396"/> m <input type="button" value="Laske"/> Kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho <input type="text" value="0"/> m Asennus: Kiertoputket maassa, eristetty Putken lämmönläpäisykerroin: <input type="text" value="0"/> $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	
T, lämmin käyttövesi: <input type="text" value="50"/> $^{\circ}\text{C}$ T, kylmävesi: <input type="text" value="5"/> $^{\circ}\text{C}$ (Tkv) Lämmin käyttövesi, mitoitusvirtaama: <input type="text" value="1.33"/> $\text{dm}^3/\text{s}$ Qlqv, lto: <input type="text" value="0"/> $\text{kWh}/\text{a}$ Qlqv, netto: 69265 $\text{kWh}/\text{a}$		Qlqv, ulos (0 m): 0 $\text{kWh}/\text{a}$ Kiertojohtoon virtaama: <input type="text" value="0.47"/> $\text{dm}^3/\text{s}$ Kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden määrä: <input type="text" value="30"/> Lämmityslaitteen ominaisteho: <input type="text" value="140"/> $\text{W}$ Qlqv, kierto (396 m): 57606 $\text{kWh}/\text{a}$ Qlqv, varastointi ( $\text{kWh}/\text{a}$ ) <input type="text" value="0"/>	

Kuva 15. Kohderakennuksen B LKV kulutus ja LKV häviöt

Lämpimän käyttöveden kulutus lasketaan pinta-alan mukaan sillä laskenta-arvolla, minkä rakennus käyttötarkoituksensa mukaan saa. Kohderakennuksen B laskenta-arvo 35 (2 Asuinkerrostalot) on nähtävissä kuvassa 15. Kohderakennuksen B lämmönjakokeskuksen kytkentäkaaviosta on saatu kuvassa 15 ilmoitetut arvot lämpimälle käyttövedelle, kylmälle vedelle, mitoitusvirtaamalle sekä kiertojohtoon virtaamalle. Kohderakennuksesta B ei ole saatavilla tarkempaa tietoa lämpimän käyttöveden kiertojohtoon pituudesta, minkä takia kiertojohtoon pituus on saatu laskemalla rakennustyyppikohtaista asetuksenmukaista taulukkoarvoa käyttämällä. Taulukkoarvo löytyy ympäristöministeriön

asetuksesta rakennuksen energiatodistuksesta (1048/2017, liite 1). Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjä lämmityslaitteita on yhteensä 30 kappaletta.

Kohderakennuksessa B on koneellinen poistoilmanvaihto. Ilmanvaihto on toteutettu niin, että tuloilma rakennukseen saadaan ikkunoissa sijaitsevien korvausilmaventtiilien kautta, ja poistoilma puhalletaan ulos katolla sijaitsevien poistoilmapuhaltimien kautta, joita on kolme kappaletta. Ilmanvaihdon tiedot on esitetty kuvassa 16.

IV-koneen tiedot			
IV-kone:	<input type="text" value="PK1"/>	Samanlaisten IV-koneiden lukumäärä:	<input type="text" value="1"/>
Vaikutusala:	<input type="text" value="1979"/> m <sup>2</sup>	(100 % nettoalasta)	
qv, poisto:	<input type="text" value="0.99"/> m <sup>3</sup> /s	dTpuhallin:	<input type="text" value="0.5"/>
qv, tulo:	<input type="text" value="0.99"/> m <sup>3</sup> /s	LTO vuosihyötysuhde (0...1), na:	<input type="text"/> <input checked="" type="checkbox"/> Ei LTO-vaatimusta
td:	<input type="text" value="13"/> h/24h (todellinen käyttöaika)	nt:	<input type="text" value="0"/>
tv:	<input type="text" value="7"/> vrk/7vrk	Tsp:	<input type="text" value="18"/> °C
		Tsisä:	<input type="text" value="21"/> °C
Puhaltimen tai IV-koneen sähköteho tehonsäätölaitteineen, Ppuh:		<input type="text" value="0.9"/>	kW
Jäätymisen esto:	<input type="text"/> °C	SFP:	0.9 kW/(m <sup>3</sup> /s)
Lämmitysmuoto:	<input type="text" value="Lämmitysjärjestelmä"/>		

Kuva 16. Kohderakennuksen B IV-koneen tiedot

Laskennassa kohderakennuksen B ilmanvaihdon kolmea poistoilmapuhallinta on käsitelty yhtenä koneena, kuten kuvassa 16 on nähtävissä. Kohderakennuksessa B ei ole lämmön talteenottoa, joten LTO:n vuosihyötysuhdetta ei ole ilmoitettu. Ominais sähköteho eli SFP-luku on 0,9 kW/(m<sup>3</sup>/s), eli se jää alle 1 kW/(m<sup>3</sup>/s), kuten koneellisessa poistoilmanvaihdossa tuleekin jäädä. Vaikka kuvassa 16 näkyy ilmanvaihtokoneen todellinen käyttöaika, käytetään laskentaohjelmassa standardoidun käytön käyttöaikaa pohjana laskelmille.

Kohderakennuksen B laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku on 133 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi), minkä perusteella rakennuksen energiatehokkuusluokaksi tulee D<sub>2018</sub>.

## 5 ENERGIATEHOKKUUDEN LISÄÄMINEN E-LUKUA PIENENTÄMÄLLÄ KOHDERAKENNUKSISSA A JA B

Molemmille kohderakennuksille A ja B on laadittu energiatodistukset, ja molemmat kohderakennukset kuuluvat energiatehokkuusluokkaan D<sub>2018</sub>. Kohderakennuksen A E-luku on 136 kWh/m<sup>2</sup>, ja kohderakennuksen B E-luku on 133 kWh/m<sup>2</sup>. Molempien kohderakennusten ostoenergian kulutuksen energiamuotokertoimilla painotettuna tulisi energiatehokkuutta lisäävien toimenpiteiden jälkeen täyttää YMa 4/13:n asuinkerrostalolle asettama vaatimus ≤ 130 kWh/m<sup>2</sup>.

Energiatodistuksessa määritettävät rakennuksen E-lukua parantavat toimenpiteet koskevat ulkoseiniä, ulko-ovia, ikkunoita, ylä- ja alapohjaa, tilojen ja käytöveden lämmitysjärjestelmiä, ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmiä sekä valaistusta, jäähdytysjärjestelmiä, sähköisiä erillislämmityksiä ja muita järjestelmiä. Seuraavissa kappaleissa molempien kohderakennusten E-luvun pienentämistä tarkastellaan edellä mainituista näkökulmista siten, että kohderakennusten tämänhetkisestä laskennallisesta ostoenergian kulutuksesta vähennetään laskennallinen ostoenergian kulutus energiatehokkuustoimenpiteen jälkeen. Energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutuksia kohderakennusten laskennalliseen ostoenergian kulutukseen tarkastellaan sekä energiamuotokertoimilla painotettuna (sähkö 1,2; kaukolämpö 0,5) että ilman. Energiatehokkuustoimenpide-ehtotuksiksi valitaan sellaisia toimenpiteitä, jotka ovat kohderakennuksissa toteutettavissa.

### 5.1 Energiatehokkuustoimenpiteitä kohderakennukseen A

Lähtötilanteena energiatehokkuustoimenpiteille on kohderakennuksen A nykyinen E-luku. Kuvassa 17 näkyy ote kohderakennuksen A energiatodistuksen yhteenvedosta, jossa esitetään E-luvun erittely.

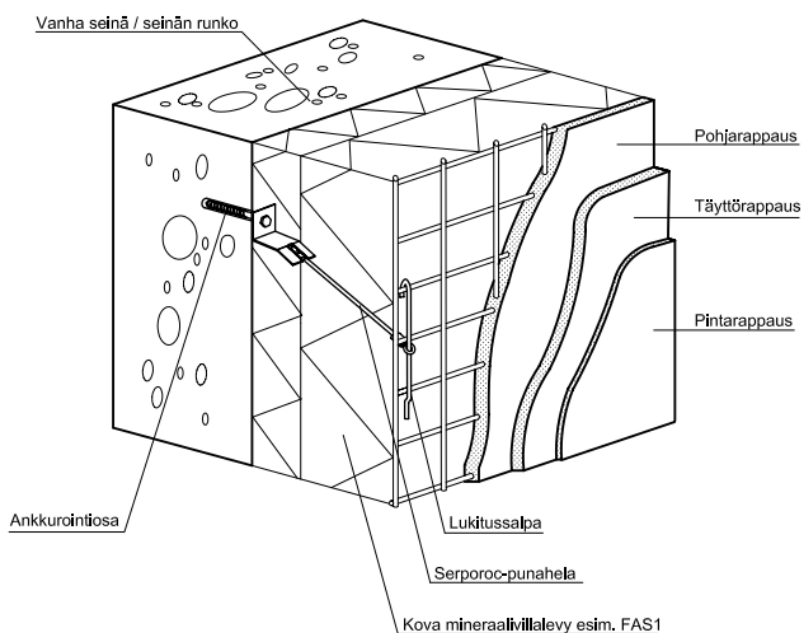
E-luvun erittely	Eosto	Energiam.kerroin	E kWh/a	E kWh/(m <sup>2</sup> a)
Sähkö	66799	1.2	80159	42.5
Kaukolämpö	352147	0.5	176074	93.4
Yhteensä	418946		256232	136

Kuva 17. Kohderakennuksen A E-luvun erittely

Kuten kuvassa 16 näkyy, kuluttaa kohderakennus A tällä hetkellä ostoenergiaa laskennallisesti 256 232,0 kWh vuodessa (sähkö 80 159,0 kWh + kaukolämpö 176 074,0 kWh). Ilman energiamuotokertoimia laskennallinen ostoenergian kulutus on tällä hetkellä 418 946,0 kWh vuodessa (sähkö 66 799,0 kWh + kaukolämpö 352 147,0 kWh).

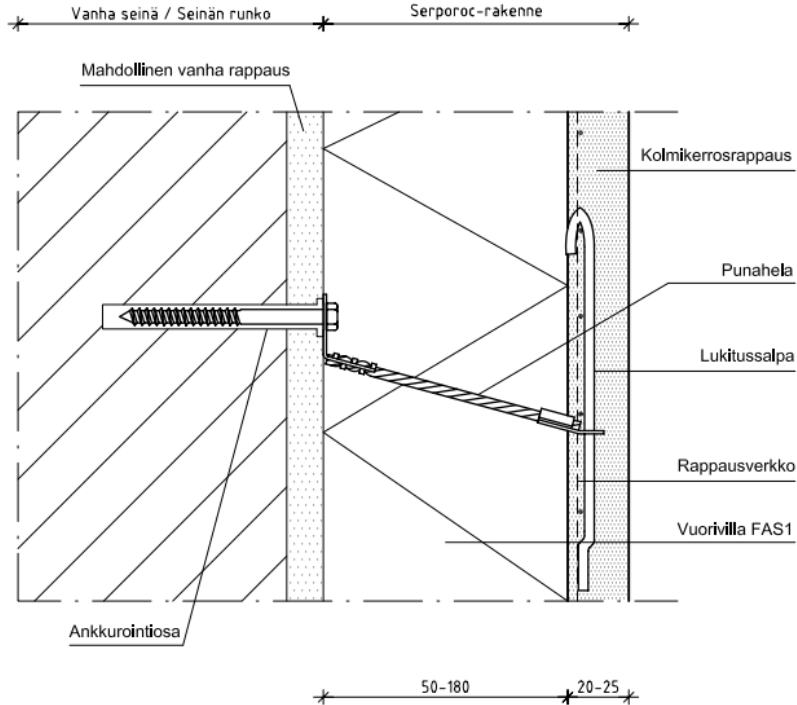
### 5.1.1 Ulkoseinät, ulko-ovet ja ikkunat

Kohderakennuksen A ulkoseinät lisäeristetään eristerappauksella. Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy on käyttänyt SerpoRoc-eristerappauksia kerrostalokiinteistöjensä julkisivujen korjausrakentamisessa, ja siksi kohderakennuksen A ulkoseinien uusi U-arvo lasketaan kyseiseen ratkaisuun pohjaten. SerpoRoc-eristerappaus on menetelmän toimittajan mukaan paksurappauseristejärjestelmä, jossa eristeenä käytetään mineraalivillaa. Rappaus on kolmikerrusrappaus, joka on lujitettu kuumasinkityllä teräsverkolla. Eristekerroksen ankkuroinnissa käytetään ruostumattomia teräskiinnikkeitä. Kyseinen eristerappausmenetelmä on kehitetty nimenomaan Suomen oloihin. Kuva 18 on peräisin Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:ltä saadusta materiaalista, ja siinä näkyy SerpoRoc-eristerappauksen rakenne.



Kuva 18. SerpoRoc-eristerappauksen rakenne

Kuvassa 18 on nähtävissä menetelmän kolmikerrosrappaus, mineraalivilla-eriste, teräsverkko sekä ankkurointi. Vanha seinä kohderakennuksessa A on 350 mm paksu. Kuvassa 19 on esitetty menetelmän rakenneleikkaus.



Kuva 19. SerpoRoc-eristerappauksen rakenneleikkaus

Kuva 19 SerpoRoc-eristerappausmenetelmän rakenneleikkauksesta havainnollistaa selkeästi eristerappauksen rakenteen suhteessa kohderakennuksen A vanhaan seinään. Kuva 19 on peräisin Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:ltä saadusta materiaalista.

Kohderakennuksen A ulkoseinien U-arvo tulee edellä mainitulla menetelmällä toteutettuna olemaan 0,12. Ostoenergian muutos tulee olemaan -13 886 kWh/vuosi (sähkö 0 kWh; lämpö -13 886 kWh), jolloin E-luvun muutos on -7 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi). Tämä tarkoittaa sitä, että tällä toimenpiteellä kohderakennuksen A energian hiilijalanjälki pienenee n. 1,3 %. Kohderakennuksen A uusi E-luku edellä mainitun julkisivukorjauksen jälkeen on 129 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi), eli energiatehokkuutta lisäävä toimenpide saa E-luvun täyttämään YMa 4/13:n asuinkerrostalolle asettaman vaatimuksen ≤ 130 kWh/m<sup>2</sup>. Kohderakennuksen A uudeksi energiatehokkuusluokaksi tulee C<sub>2018</sub>. Ilman energiamuotokertoimia laskettuna ostoenergian muutos on -27 772 kWh vuodessa (sähkö 0 kWh; lämpö -27 772 kWh).

Kohderakennuksen A kaikki ulko-ovet uusitaan. Ulko-ovet ovat Vasmetin teräslasipari- / -palo-ovia. Kyseiselle ovelle tuotetoimittaja on määrittänyt U-arvon 1,0. Parvekeovet ovat Pihla Patio -ovia Varma-rakenteella, joille tuotetoimittaja on määrittänyt U-arvon 1,0. Kohderakennuksen A kaikki ikkunat uusitaan Pihla Varma -ikkunoilla. Kyseiselle ikkunalle tuotetoimittaja on määrittänyt U-arvon 1,0. Kun ulko-ovet ja ikkunat uusitaan edellä mainituilla tuotteilla, tulee ostoenergian muutos olemaan -19 504 kWh/vuosi (sähkö 0 kWh; lämpö -19 504 kWh), jolloin E-luvun muutos on -10 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi). Tämä tarkoittaa sitä, että tällä toimenpiteellä kohderakennuksen A energian hiilijalanjälki pienenee n. 1,8 %. Kohderakennuksen A uusi E-luku ulko-ovien ja ikkunoiden uusimisen jälkeen on 126 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi), eli energiatehokkuutta lisäävä toimenpide saa E-luvun täyttämään YMa 4/13:n asuinkerrostalolle asettaman vaatimuksen ≤ 130 kWh/m<sup>2</sup>. Kohderakennuksen A uudeksi energiatehokkuusluokaksi tulee C<sub>2018</sub>. Ilman energiamuotokertoimia laskettuna ostoenergian muutos on -39 008 kWh vuodessa (sähkö 0 kWh; lämpö -39 008 kWh).

### 5.1.2 Ylä- ja alapohja

Kohderakennuksen A yläpohjaan lisätään selluvillaa 250 mm. Nykyisen yläpohjan rakenne on tuulensuojavilla 30 mm, mineraalivilla 200 mm ja betoni-laatta 200 mm. Selluvillan lisäämisen jälkeen yläpohjan uudeksi U-arvoksi saadaan 0,088. Ostoenergian muutos tulee olemaan -5 981 kWh/vuosi (sähkö 0 kWh; lämpö -5 981 kWh), jolloin E-luvun muutos on -3 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi). Tämä tarkoittaa sitä, että tällä toimenpiteellä kohderakennuksen A energian hiilijalanjälki pienenee n. 0,6 %. Kohderakennuksen A uusi E-luku yläpohjan lisälämmöneristämisen jälkeen on 133 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi), eli sen energiatehokkuusluokka on edelleen D<sub>2018</sub>. Toisin sanoen tämä energiatehokkuutta lisäävä toimenpide ei saa E-lukua täyttämään YMa 4/13:n asuinkerrostalolle asettamaa vaatimusta ≤ 130 kWh/m<sup>2</sup>. Ilman energiamuotokertoimia laskettuna ostoenergian muutos on -11 962 kWh vuodessa (sähkö 0 kWh; lämpö -11 962 kWh).

Kohderakennuksen A alapohjaan lisätään Finnfoam XPS -lämmöneristettä 260 mm. Nykyisen alapohjan rakenne on teräsbetonilaatta 100 mm ja polystyreenilevy 50 mm. Lämmöneristeen lisäämisen jälkeen alapohjan uudeksi U-arvoksi saadaan 0,16. Ostoenergian muutos tulee olemaan -2 017 kWh/vuosi

(sähkö 0 kWh; lämpö -2 017 kWh), jolloin E-luvun muutos on -1 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi). Tämä tarkoittaa sitä, että tällä toimenpiteellä kohderakennuksen A energian hiilijalanjälki pienenee n. 0,2 %. Kohderakennuksen A uusi E-luku alapohjan lisälämmöneristämisen jälkeen on 135 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi), eli sen energiatehokkuusluokka on edelleen D<sub>2018</sub>. Toisin sanoen tämä energiatehokkuutta lisäävä toimenpide ei saa E-lukua täyttämään YMa 4/13:n asuinkerrostalolle asettamaa vaatimusta ≤ 130 kWh/m<sup>2</sup>. Ilman energiamuotokertoimia laskettuna ostoenergian muutos on -4 035 kWh vuodessa (sähkö 0 kWh; lämpö -4 035 kWh).

### 5.1.3 Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmät

Kohderakennuksen A nykyinen lämmitysjärjestelmä kaukolämpö vaihdetaan maalämpöjärjestelmään. Maalämpöpumpuksi valitaan NIBE F1345-60, joka koostuu kahdesta lämpöpumppuyksiköstä ja näytöllä varustetusta keskusyksiköstä, jolla lämpöpumppuja ohjataan. Kompressoreja on kaksi kappaletta, jotka käynnistyvät tarpeen mukaan yksi kerrallaan. Puskurisäiliö on NIBE UKV 500. Maalämpöjärjestelmässä on mahdollisuus pörssisähkön sekä aurinkosähkön hyödyntämiseen. Käyttövesivaraajia on kaksi kappaletta tyyppiä NIBE UKV 750. Energiakaivoja porataan yhteensä 5 kappaletta. Energiakaivot ovat 300 m syviä, eli yhteensä kaivojen aktiivisyvyyttä on 1 500 m.

Kun kohderakennuksen A lämmitysjärjestelmä muutetaan kaukolämmöstä maalämpöjärjestelmään, tulee ostoenergian muutos olemaan -6 181 kWh/vuosi (sähkö +169 892; lämpö -176 074 kWh), jolloin E-luvun muutos on -3 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi). Tämä tarkoittaa sitä, että tällä toimenpiteellä kohderakennuksen A energian hiilijalanjälki pienenee n. 0,6 %. Kohderakennuksen A uusi E-luku lämmitysjärjestelmämuutoksen jälkeen on 133 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi), eli sen energiatehokkuusluokka ei muutu, vaan on edelleen D<sub>2018</sub>. Tämä energiatehokkuutta lisäävä toimenpide ei saa E-lukua täyttämään YMa 4/13:n asuinkerrostalolle asettamaa vaatimusta ≤ 130 kWh/m<sup>2</sup>. Ilman energiamuotokertoimia laskettuna ostoenergian muutos on -210 570 kWh vuodessa (sähkö +141 577 kWh; lämpö -352 147 kWh).

#### 5.1.4 Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät

Kohderakennuksessa A ei ole ilmastointijärjestelmää, joten energiatehokkuustoimenpiteissä keskitytään ilmanvaihdon energiatehokkuuden lisäämiseen. Ilmanvaihto muutetaan koneellisesta poistoilmavaihdosta koneelliseen tulo- ja poistoilmavaihtoon. Tilanpuutteen ja kohderakennuksen A rakenneteknisten syiden vuoksi ilmanvaihtokoneita tarvitaan kolme kappaletta. Ilmanvaihtokoneeksi valitaan Koja Oy:n Future S500.

Ilmanvaihdon uusimisen jälkeen ostoenergian muutos tulee olemaan -55 476 kWh/vuosi (sähkö +6 303; lämpö -61 779 kWh), jolloin E-luvun muutos on -29 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi). Tämä tarkoittaa sitä, että tällä toimenpiteellä kohderakennuksen A energian hiilijalanjälki pienenee n. 5,3 %. Kohderakennuksen A uusi E-luku edellä mainitun energiatehokkuutta lisäävän toimenpiteen jälkeen on 107 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi), eli uusi E-luku täyttää YMa 4/13:n asuinkerrostalolle asettaman vaatimuksen ≤ 130 kWh/m<sup>2</sup>. Kohderakennuksen A uudeksi energiatehokkuusluokaksi tulee C<sub>2018</sub>. Ilman energiamuotokertoimia laskettuna ostoenergian muutos on -118 304 kWh vuodessa (sähkö +5 253 kWh; lämpö -123 557 kWh).

#### 5.1.5 Valaistus, jäähdytysjärjestelmät, sähköiset erillislämmitykset ja muut järjestelmät

Kohderakennuksessa A ei ole jäähdytysjärjestelmiä, sähköisiä erillislämmityksiä eikä mainittavia muita järjestelmiä, joten energiatehokkuustoimenpiteissä keskitytään valaistuksen energiatehokkuuden lisäämiseen. Toimenpide-ehdotuksena on tilojen valaistuksen toteuttaminen led-valaisimilla. Kun tämä toimenpide toteutetaan, tulee ostoenergian muutos olemaan -9 134 kWh/vuosi (sähkö -13 911 kWh; lämpö +4 777 kWh). E-luvun muutos on -4 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi). Tämä tarkoittaa sitä, että tällä toimenpiteellä kohderakennuksen A energian hiilijalanjälki pienenee n. 0,7 %. Kohderakennuksen A uusi E-luku edellä mainitun energiatehokkuutta lisäävän toimenpiteen jälkeen on 132 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi), eli uusi E-luku ei täytä YMa 4/13:n asuinkerrostalolle asettamaa vaatimusta ≤ 130 kWh/m<sup>2</sup>. Kohderakennus A säilyy energiatehokkuusluokassa D<sub>2018</sub>. Ilman energiamuotokertoimia laskettuna ostoenergian muutos on -2 038 kWh vuodessa (sähkö -11 592 kWh; lämpö +9 554 kWh).



## 5.2 Energiatohokkuustoimenpiteitä kohderakennukseen B

Lähtötilanteena energiatohokkuustoimenpiteille on kohderakennuksen B nykyinen E-luku. Kuvassa 20 näkyy ote kohderakennuksen B energiatodistuksen yhteenvedosta, jossa esitetään E-luvun erittely.

E-luvun erittely	Eosto	Energiam.kerroin	E kWh/a	E kWh/(m <sup>2</sup> a)
Sähkö	70008	1.2	84010	42.5
Kaukolämpö	354561	0.5	177281	89.6
Yhteensä	424569		261290	133

Kuva 20. Kohderakennuksen B E-luvun erittely

Kuten kuvasta 20 näkyy, kuluttaa kohderakennus B tällä hetkellä ostoenergiaa laskennallisesti 261 290 kWh vuodessa (sähkö 84 010 kWh + kaukolämpö 177 281 kWh). Ilman energiamuotokertoimia laskennallinen ostoenergian kulutus on tällä hetkellä 424 569 kWh vuodessa (sähkö 70 008 kWh + kaukolämpö 354 561 kWh).

### 5.2.1 Ulkoseinät, ulko-ovet ja ikkunat

Kohderakennuksen B ulkoseinät lisäeristetään eristerappauksella. Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy on käyttänyt SerpoRoc-eristerappausta kerrostalokiinteistöjensä julkisivujen korjausrakentamisessa, ja siksi kohderakennuksen B ulkoseinien uusi U-arvo lasketaan kyseiseen ratkaisuun pohjaten. Vanha seinä kohderakennuksessa B on 375 mm paksu. Eristerappausmenetelmää on kuvailtu kappaleessa 5.1.1.

Kohderakennuksen B ulkoseinien U-arvo tulee edellä mainitulla menetelmällä toteutettuna olemaan 0,12. Ostoenergian muutos tulee olemaan -12 386 kWh/vuosi (sähkö 0 kWh; lämpö -12 386 kWh), jolloin E-luvun muutos on -7 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi). Tämä tarkoittaa sitä, että tällä toimenpiteellä kohderakennuksen B energian hiilijalanjälki pienenee n. 1,3 %. Kohderakennuksen B uusi E-luku edellä mainitun julkisivukorjauksen jälkeen on 126 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi), eli energiatohokkuutta lisäävä toimenpide saa E-luvun täyttämään YMa 4/13:n asuinkerrostalolle asettaman vaatimuksen ≤ 130 kWh/m<sup>2</sup>. Kohderakennuksen B uudeksi energiatohokkuusluokaksi tulee C<sub>2018</sub>. Ilman energiamuotokertoimia

laskettuna ostoenergian muutos on -24 771 kWh vuodessa (sähkö 0 kWh; lämpö -24 771 kWh).

Kohderakennuksen B kaikki ulko-ovet uusitaan. Ulko-ovet ovat Vasmetin teräslasipari- / -palo-ovia. Kyseiselle ovelle tuotetoimittaja on määrittänyt U-arvon 1,0. Parvekeovet ovat Pihla Patio -ovia Varma-rakenteella, joille tuotetoimittaja on määrittänyt U-arvon 1,0. Kohderakennuksen B kaikki ikkunat uusitaan Pihla Varma -ikkunoilla. Kyseiselle ikkunalle tuotetoimittaja on määrittänyt U-arvon 1,0. Kun ulko-ovet ja ikkunat uusitaan edellä mainituilla tuotteilla, tulee ostoenergian muutos olemaan -19 276 kWh/vuosi (sähkö 0 kWh; lämpö -19 276 kWh), jolloin E-luvun muutos on  $-10 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{vuosi})$ . Tämä tarkoittaa sitä, että tällä toimenpiteellä kohderakennuksen B energian hiilijalanjälki pienenee n. 1,9 %. Kohderakennuksen B uusi E-luku ulko-ovien ja ikkunoiden uusimisen jälkeen on  $123 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{vuosi})$ , eli energiatehokkuutta lisäävä toimenpide saa E-luvun täyttämään YMa 4/13:n asuinkerrostalolle asettaman vaatimuksen  $\leq 130 \text{ kWh}/\text{m}^2$ . Kohderakennuksen B uudeksi energiatehokkuusluokaksi tulee  $C_{2018}$ . Ilman energiamuotokertoimia laskettuna ostoenergian muutos on -38 552 kWh vuodessa (sähkö 0 kWh; lämpö -38 552 kWh).

### 5.2.2 Ylä- ja alapohja

Kohderakennuksen B yläpohjaan lisätään selluvillaa 200 mm. Nykyisen yläpohjan rakenne on mineraalivilla 300 mm ja betonilaatta 200 mm. Selluvillan lisäämisen jälkeen yläpohjan uudeksi U-arvoksi saadaan 0,08. Ostoenergian muutos tulee olemaan -6 377 kWh/vuosi (sähkö 0 kWh; lämpö -6 377 kWh), jolloin E-luvun muutos on  $-4 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{vuosi})$ . Tämä tarkoittaa sitä, että tällä toimenpiteellä kohderakennuksen B energian hiilijalanjälki pienenee n. 0,8 %. Kohderakennuksen B uusi E-luku yläpohjan lisälämmöneristämisen jälkeen on  $129 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{vuosi})$ , eli sen energiatehokkuusluokaksi tulee  $C_{2018}$ . Uusi E-luku täyttää YMa 4/13:n asuinkerrostalolle asettaman vaatimuksen  $\leq 130 \text{ kWh}/\text{m}^2$ . Ilman energiamuotokertoimia laskettuna ostoenergian muutos on -12 754 kWh vuodessa (sähkö 0 kWh; lämpö -12 754 kWh).

Kohderakennuksen B alapohjaan lisätään Finnfoam XPS -lämmöneristettä 260 mm. Nykyisen alapohjan rakenne on teräsbetonilaatta 100 mm ja polysty-

reenilevy 50 mm. Solulasieristeen lisäämisen jälkeen alapohjan uudeksi U-arvoksi saadaan 0,16. Ostoenergian muutos tulee olemaan -2 404 kWh/vuosi (sähkö 0 kWh; lämpö -2 404 kWh), jolloin E-luvun muutos on -2 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi). Tämä tarkoittaa sitä, että tällä toimenpiteellä kohderakennuksen B energian hiilijalanjälki pienenee n. 0,4 %. Kohderakennuksen B uusi E-luku alapohjan lisälämmöneristämisen jälkeen on 131 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi), eli sen energiatehokkuusluokka on edelleen D<sub>2018</sub>. Toisin sanoen tämä energiatehokkuutta lisäävä toimenpide ei saa E-lukua täyttämään YMa 4/13:n asuinkerrostalolle asettamaa vaatimusta ≤ 130 kWh/m<sup>2</sup>. Ilman energiamuotokertoimia laskettuna ostoenergian muutos on -4 808 kWh vuodessa (sähkö 0 kWh; lämpö -4 808 kWh).

### 5.2.3 Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmät

Kohderakennuksen B nykyinen lämmitysjärjestelmä kaukolämpö vaihdetaan maalämpöjärjestelmään. Maalämpöjärjestelmän tarkempi kuvaus löytyy kappaleesta 5.1.3.

Kun kohderakennuksen B lämmitysjärjestelmä muutetaan kaukolämmöstä maalämpöjärjestelmään, tulee ostoenergian muutos olemaan -6 487 kWh/vuosi (sähkö +170 794 kWh; lämpö -177 281 kWh), jolloin E-luvun muutos on -4 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi). Tämä tarkoittaa sitä, että tällä toimenpiteellä kohderakennuksen B energian hiilijalanjälki pienenee n. 0,8 %. Kohderakennuksen B uusi E-luku lämmitysjärjestelmämuutoksen jälkeen on 129 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi), eli sen energiatehokkuusluokaksi tulee C<sub>2018</sub>. Uusi E-luku täyttää YMa 4/13:n asuinkerrostalolle asettaman vaatimuksen ≤ 130 kWh/m<sup>2</sup>. Ilman energiamuotokertoimia laskettuna ostoenergian muutos on -212 232 kWh vuodessa (sähkö +142 329 kWh; lämpö -354 561 kWh).

### 5.2.4 Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät

Kohderakennuksessa B ei ole ilmastointijärjestelmää, joten energiatehokkuustoimenpiteissä keskitytään ilmanvaihdon energiatehokkuuden lisäämiseen. Ilmanvaihto säilyy koneellisena poistoilmanvaihtona, mutta ilmanvaihtojärjestelmään lisätään NIBE ReHeat- poistoilman lämmön talteenotto. Kyseiseen järjestelmään sisältyy LTO-yksikkö integroidulla lämpöpumpulla, puskurivaraaja,

kaukolämmön alajakokeskus, huoneanturit sekä älykäs ohjauspalvelu etäkäytöllä.

Ilmanvaihdon uusimisen jälkeen ostoenergian muutos tulee olemaan -40 831 kWh/vuosi (sähkö -2 212 kWh; lämpö -38 619 kWh), jolloin E-luvun muutos on -21 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi). Tämä tarkoittaa sitä, että tällä toimenpiteellä kohderakennuksen B energian hiilijalanjälki pienenee n. 3,9 %. Kohderakennuksen B uusi E-luku edellä mainitun energiatehokkuutta lisäävän toimenpiteen jälkeen on 112 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi), eli uusi E-luku täyttää YMa 4/13:n asuinkerrostalolle asettaman vaatimuksen ≤ 130 kWh/m<sup>2</sup>. Kohderakennuksen B uudeksi energiatehokkuusluokaksi tulee C<sub>2018</sub>. Ilman energiamuotokertoimia laskettuna ostoenergian muutos on -79 080 kWh vuodessa (sähkö -1 843 kWh; lämpö -77 237 kWh).

### **5.2.5 Valaistus, jäähdytysjärjestelmät, sähköiset erillislämmitykset ja muut järjestelmät**

Kohderakennuksessa B ei ole jäähdytysjärjestelmiä, sähköisiä erillislämmityksiä eikä mainittavia muita järjestelmiä, joten energiatehokkuustoimenpiteissä keskitytään valaistuksen energiatehokkuuden lisäämiseen. Toimenpide-ehtoituksena on tilojen valaistuksen toteuttaminen led-valaisimilla. Kun tämä toimenpide toteutetaan, tulee ostoenergian muutos olemaan -9 474 kWh/vuosi (sähkö -14 604 kWh; lämpö +5 130 kWh). E-luvun muutos on -5 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi). Tämä tarkoittaa sitä, että tällä toimenpiteellä kohderakennuksen B energian hiilijalanjälki pienenee n. 0,9 %.

Kohderakennuksen B uusi E-luku edellä mainitun energiatehokkuutta lisäävän toimenpiteen jälkeen on 128 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>vuosi), eli uusi E-luku täyttää YMa 4/13:n asuinkerrostalolle asettaman vaatimuksen ≤ 130 kWh/m<sup>2</sup>. Kohderakennuksen B uudeksi energiatehokkuusluokaksi tulee C<sub>2018</sub>. Ilman energiamuotokertoimia laskettuna ostoenergian muutos on -1 910 kWh vuodessa (sähkö -12 170 kWh; lämpö +10 260 kWh).

## **6 KOHDERAKENNUSTEN A JA B ENERGIATEHOKKUUSTOIMENPITEIDEN INVESTOINTIKUSTANNUKSET JA TAKAISINMAKSUAJAT**

Tässä kappaleessa esitellään laskelmia edellisissä kappaleissa esitettyjen energiatehokkuutta lisäävien toimenpiteiden investointikustannuksista ja takaisinmaksuajoista. Laskelmissa ei käytetä pohjana energiatodistuksen laskennallista ostoenergian kulutusta energiamuotokertoimet huomioiden, vaan laskelmat lasketaan siten, että energiamuotokertoimia ei laskelmissa oteta huomioon. Tämä tehdään siksi, että saadaan selville investointien realistisempi takaisinmaksuaika. Arvioidut investointikustannukset sisältävät työn ja laitteet/tarvikkeet sisältäen arvonlisäveron 24 %, ja laskelmissa on erikseen huomioitu korkojen sekä energian hinnan muutosten vaikutukset takaisinmaksuajoihin. Korkojen osalta on arvioitu, että ne nostavat investointien kokonaiskustannuksia n. 2,7 % vuodessa. Energian hintojen nousun on arvioitu olevan n. 1,5 % vuodessa.

Investointikustannukset ja takaisinmaksuajat lasketaan kaikkien energiatehokkuustoimenpiteiden osalta, myös niiden, joilla ei ollut vaikutusta kohderakennusten energiatehokkuusluokan paranemiseen. Laskelmat tehdään kattavasti, jotta tietoa kustannuksista voidaan tarvittaessa hyödyntää myöhemmin, jos esimerkiksi eri energiatehokkuustoimenpiteitä on aiheellista yhdistää ja toteuttaa samanaikaisesti.

### **6.1 Laskelmat kohderakennukseen A**

#### **6.1.1 Nykyisen energiatehokkuusluokan paraneminen**

Kohderakennuksen A energiatehokkuus saatiin luokasta D<sub>2018</sub> luokkaan C<sub>2018</sub>, kun sen ulkoseinien, ulko-ovien ja ikkunoiden sekä ilmanvaihdon energiatehokkuutta lisättiin. Taulukossa 6 näkyy näiden toimenpiteiden investointikustannukset, ostoenergian säästö sekä kilowattitunneissa per vuosi että euroina ja investointikustannusten takaisinmaksuaika.

Taulukko 6. Kohderakennuksen A laskelmat 1

<i>Toimenpide- kohde</i>	<i>Investointikustan- nukset (€)</i>	<i>Ostoenergian säästö (kWh/a)</i>	<i>Ostoenergian säästö (€/a)</i>	<i>Takaisinmak- suaika (a)</i>
Ulkoseinät	170 175	27 772	2 394,50	71
Ulko-ovet ja ikkunat	149 000	39 008	3 363,27	44
Ilmanvaihto	480 000	118 304	10 200,17	47

Ulkoseinien eli julkisivuremontin investointikustannukset koostuvat materiaaleista ja työstä. Telinetyön osuutta ei ole huomioitu. Tuotetoimittajalta saadun budjettihinnan perusteella laskettuna ulkoseinien lisälämmöneristämisen investointikustannukset tulevat olemaan n. 170 175,00 €. Tämä on saatu kertomalla kohderakennuksen A ulkoseinien pinta-ala 1 134,5 m<sup>2</sup> tuotetoimittajan energiansäästötoimenpiteelle antamalla neliöhinnalla 150,00 €/m<sup>2</sup>. Lappeenrannan Energialta ostettuna kaukolämpö maksaa n. 90,00 €/MWh, jolloin se kerrottuna ostoenergian säästöllä 27,772 MWh saadaan tuloksi 2 499,48 €. Kun tästä ostoenergian säästöstä vähennetään energian hintojen muutos sekä korkojen vaikutus, saadaan ostoenergian säästökseen 2 394,50 € vuodessa. Investointikustannusten takaisinmaksuaika, joka saadaan jakamalla investointikustannukset ostoenergian säästön rahasummalla, on n. 71 vuotta.

Ovien (sis. ulko-ovet ja parvekeovet) ja ikkunoiden uusimisesta aiheutuvat investointikustannukset ovat tuotetoimittajalta saatujen tietojen mukaan n. 3 000,00 € per ulko-ovi, n. 1 000,00 € per parvekeovi ja n. 1 000,00 € per ikkuna. Hinnat sisältävät materiaalit ja työn. Ulko-ovia kohderakennuksessa A on 3 kappaletta, parvekeovia 29 kappaletta ja ikkunoita 111 kappaletta. Yhteensä näiden investointikustannukset tekevät n. 149 000,00 €. Ostoenergian säästökseen saadaan 3 363,27 € vuodessa. Investointikustannusten takaisinmaksuaika on n. 44 vuotta.

Ilmanvaihdon energiatehokkuuden lisäämisen kustannukset koostuvat ilmanvaihtokoneista, materiaaleista, LVI-asennustöistä sekä rakennusteknisistä töistä, kuten esimerkiksi uusien tekniikkakuilujen rakentamisesta. Sähkötöitä ei ole laskennassa huomioitu. Ilmanvaihtokoneet maksavat n. 15 000,00 € kappaleelta paikoilleen asennettuna, eli kolme ilmanvaihtokonetta maksavat yhteensä n. 45 000,00 €. Ilmanvaihtokoneiden liittäminen lämmitysverkostoon

maksaa yhteensä n. 85 000,00 € sisältäen materiaalit ja työt. Ilmanvaihtokanavisto materiaaleineen ja töineen maksaa n. 120 000,00 €. Rakennustekniset työt maksavat n. 230 000,00 €. Yhteensä investointikulut ovat n. 480 000,00 €. Ostoenergian säästökseen saadaan 10 200,17 € vuodessa, eli investoinnin takaisinmaksuaika on n. 47 vuotta.

### 6.1.2 Nykyisen energiatehokkuusluokan säilyminen ennallaan

Kohderakennuksen A energiatehokkuus pysyi luokassa D<sub>2018</sub>, kun sen tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmien, ylä- ja alapohjan sekä valaistuksen energiatehokkuutta lisättiin. Taulukossa 7 näkyy näiden toimenpiteiden investointikustannukset, ostoenergian säästö sekä kilowattitunneissa per vuosi että euroina ja toimenpiteiden takaisinmaksuaika.

Taulukko 7. Kohderakennuksen A laskelmat 2

<i>Toimenpidekohde</i>	<i>Investointikustannukset (€)</i>	<i>Ostoenergian säästö (kWh/a)</i>	<i>Ostoenergian säästö (€/a)</i>	<i>Takaisinmaksuaika (a)</i>
Yläpohja	15 000	11 962	1 031,36	14
Alapohja	188 500	4 035	347,90	541
Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmät	125 000	210 570	18 155,35	6
Valaistus	7 350	2 038	253,81	28

Kuten taulukosta 7 näkyy, on yläpohjan energiatehokkuustoimenpiteen investointikustannus n. 15 000,00 € sisältäen materiaalit ja työt. Kyseinen kustannusarvio on saatu tuotetoimittaja. Ostoenergian säästökseen saadaan 1 031,36 € vuodessa, eli takaisinmaksuajaksi tulee n. 14 vuotta.

Alapohjan energiatehokkuusinvestoinnin hinta on n. 188 500,00 €. Hintaan on laskettu mukaan materiaalit ja työt. Kyseinen kustannusarvio on tuotetoimittajan ilmoittama. Ostoenergian säästökseen saadaan 347,90 € vuodessa, jolloin investoinnin takaisinmaksuajaksi tulee n. 541 vuotta.

Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmien energiatehokkuuden lisäämisen investointikustannukset tulevat olemaan n. 125 000,00 € sisältäen materiaalit

ja työt. Pihatöitä ei ole huomioitu. Kustannusarvio perustuu maalämpöurakoitsijalta saatuun tietoon. Ostoenergian säästökseen saadaan 18 155,35 € vuodessa. Investoinnin takaisinmaksuajaksi tulee n. 6 vuotta.

Valaisimia kohderakennuksessa A on yhteensä 117 kappaletta. Kun valaistuksen energiatehokkuutta lisätään, on sen investointikustannus sähköurakoitsijalta saadun tiedon mukaan n. 7 350,00 € sisältäen materiaalit ja työt. Tämä tekee yhden led-valaisimen hinnaksi n. 63,00 € paikoilleen asennettuna. Sähkön hinta on Lappeenrannan Energialla n. 0,13 €/kWh, eli ostoenergian säästökseen korot ja energian hintojen muutokset huomioiden saadaan 253,81 € vuodessa. Investoinnin takaisinmaksuaika on n. 28 vuotta.

### 6.1.3 Nykyisen E-luvun pieneneminen

Aiemmin kappaleessa 5 on laskettu eri energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutuksia kohderakennuksen A E-lukuun. Tässä kappaleessa lasketaan kunkin energiatehokkuustoimenpiteen kustannus suhteessa kohderakennuksen A nykyisen E-luvun muutokseen, eli kuinka paljon nykyisen E-luvun pieneneminen yhdellä luvulla tulee maksamaan. Laskelmat on laskettu niin, että toimenpiteen investointikustannus on jaettu E-luvun muutoksella. Tulokset on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Kohderakennuksen A E-luvun muutoksen kustannukset per yksi yksikkö

<i>Toimenpidekohde</i>	<i>Investointikustannukset (€)</i>	<i>E-luvun muutos</i>	<i>E-luvun muutos/yksikkö (€)</i>
Ulkoseinät	170 175	-7	24 310,71
Ulko-ovet ja ikkunat	149 000	-10	14 900
Yläpohja	15 000	-3	5 000
Alapohja	188 500	-1	188 500
Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmät	125 000	-3	41 666,67
Ilmanvaihto	480 000	-29	16 551,72
Valaistus	7 350	-4	1 837,50

Taulukosta 8 näkyy, että energiatehokkain toimenpide on ilmanvaihtoon kohdistuva energiatehokkuustoimenpide, jolla saadaan pienennettyä E-lukua 29 yksikön verran. Vaikka kyseessä on kallein investointi, jää yhden E-luvun yksikön kustannukseksi vain 16 551,72 €, joka on neljänneksi edullisin kustannus per yhden yksikön muutos E-luvussa. Toiseksi energiatehokkain toimenpide



on ulko-oviin ja ikkunoihin kohdistuva energiatehokkuustoimenpide, jolla E-luku pienenee 10 yksikön verran. Yhden yksikön hinnaksi muodostuu 14 900 €. Kolmanneksi energiatehokkain toimenpide on ulkoseiniin kohdistuva energiatehokkuustoimenpide E-luvun muutoksella -7. Yhden yksikön hinta on kuitenkin viidenneksi kallein, melkein 25 000 €. Valaistukseen kohdistuva energiatehokkuustoimenpide on neljänneksi energiatehokkain, ja siinä yhden yksikön muutos on kaikista halvin. Vähiten muutoksia kohderakennuksen A nykyiseen E-lukuun saadaan alapohjaan kohdistuvalla energiatehokkuustoimenpiteellä, jolloin E-luvun yhden yksikön muutos jää myös kaikista kalleimmaksi.

## 6.2 Laskelmat kohderakennukseen B

### 6.2.1 Nykyisen energiatehokkuusluokan paraneminen

Kohderakennuksen B energiatehokkuus saatiin luokasta D<sub>2018</sub> luokkaan C<sub>2018</sub>, kun sen ulkoseinien, ulko-ovien ja ikkunoiden, yläpohjan, tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmien, ilmanvaihdon ja valaistuksen energiatehokkuutta lisättiin. Taulukossa 9 näkyy näiden toimenpiteiden investointikustannukset, ostotoenergian säästö sekä kilowattitunneissa per vuosi että euroina ja toimenpiteiden takaisinmaksuaika.

Taulukko 9. Kohderakennuksen B laskelmat 1

<i>Toimenpidekohde</i>	<i>Investointikustannukset (€)</i>	<i>Ostoenergian säästö (kWh/a)</i>	<i>Ostoenergian säästö (€/a)</i>	<i>Takaisinmaksuaika (a)</i>
Ulkoseinät	150 195	24 771	2 135,76	70
Ulko-ovet ja ikkunat	148 000	38 552	3 323,95	44
Yläpohja	15 000	12 754	1 099,65	13
Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmät	125 000	212 232	18 298,64	6
Ilmanvaihto	115 000	79 080	6 818,28	16
Valaistus	8 540	1 910	237,87	35

Ulkoseinien eli julkisivuremontin investointikustannukset koostuvat materiaaleista ja työstä. Telinetyön osuutta ei ole huomioitu. Tuotetoimittajalta saadun budjettihinnan perusteella laskettuna ulkoseinien lisälämmöneristämisen investointikustannukset tulevat olemaan n. 150 195,00 €. Tämä on saatu kertomalla kohderakennuksen B ulkoseinien pinta-ala 1001,3 m<sup>2</sup> tuotetoimittajan

energiansäästötoimenpiteelle antamalla neliöhinnalla 150,00 €/m<sup>2</sup>. Lappeenrannan Energialta ostettuna kaukolämpö maksaa n. 90,00 €/MWh, jolloin se kerrottuna ostoenergian säästöllä 24 771 MWh saadaan tuloksi 2 229,39 €. Kun tästä ostoenergian säästöstä vähennetään energian hintojen muutos sekä korkojen vaikutus, saadaan ostoenergian säästökseen 2 135,76 € vuodessa. Investointikustannusten takaisinmaksuaika, joka saadaan jakamalla investointikustannukset ostoenergian säästön rahasummalla, on n. 70 vuotta.

Ovien (sis. ulko-ovet ja parvekeovet) ja ikkunoiden uusimisesta aiheutuvat investointikustannukset ovat tuotetoimittajalta saatujen tietojen mukaan n. 3 000,00 € per ulko-ovi, n. 1 000,00 € per parvekeovi ja n. 1 000,00 € per ikkuna. Hinnat sisältävät materiaalit ja työn. Ulko-ovia kohderakennuksessa B on 3 kappaletta, parvekeovia 31 kappaletta ja ikkunoita 108 kappaletta. Yhteensä näiden investointikustannukset tekevät n. 148 000,00 €. Ostoenergian säästökseen saadaan 3 323,95 € vuodessa, eli takaisinmaksuajaksi tulee n. 44 vuotta.

Yläpohjan energiatehokkuustoimenpiteen investointikustannus on n. 15 000,00 € sisältäen materiaalit ja työt. Kyseisen kustannusarvion on antanut tuotetoimittaja. Ostoenergian säästökseen saadaan 1 099,65 € vuodessa, eli takaisinmaksuajaksi tulee n. 13 vuotta.

Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmien energiatehokkuuden lisäämisen investointikustannukset tulevat olemaan n. 125 000,00 € sisältäen materiaalit ja työt. Pihatöitä ei ole huomioitu. Kustannusarvio perustuu maalämpöurakoitsijalta saatuun tietoon. Ostoenergian säästökseen saadaan 18 298,64 € vuodessa. Investoinnin takaisinmaksuajaksi tulee n. 6 vuotta.

Ilmanvaihdon energiatehokkuuden lisäämisen kustannukset koostuvat laitehankinnoista asennuksineen sisältäen rakennus- ja sähkötekniset työt. Kustannusarvio koko kokonaisuudelle on laitetoimittajalta saadun tiedon mukaan n. 115 000 €. Ostoenergian säästökseen saadaan 6 818,28 € vuodessa, eli investoinnin takaisinmaksuaika on n. 16 vuotta.

Valaisimia kohderakennuksessa B on yhteensä 136 kappaletta. Kun valaistuksen energiatehokkuutta lisätään, on sen investointikustannus sähkörajoitukselta saadun tiedon mukaan n. 8 540,00 € sisältäen materiaalit ja työt. Tämä tekee yhden led-valaisimen hinnaksi n. 63,00 € paikoilleen asennettuna. Sähkön hinta on Lappeenrannan Energialla n. 0,13 €/kWh, eli ostoenergian säästöksi korot ja energian hintojen muutokset huomioiden saadaan 237,87 € vuodessa. Investoinnin takaisinmaksuaika on n. 35 vuotta.

### 6.2.2 Nykyisen energiatehokkuusluokan säilyminen ennallaan

Kohderakennuksen B energiatehokkuus pysyi luokassa D<sub>2018</sub>, kun sen alapohjan energiatehokkuutta lisättiin. Taulukossa 10 näkyy tämän toimenpiteen investointikustannukset, ostoenergian säästö sekä kilowattitunneissa per vuosi että euroina ja toimenpiteiden takaisinmaksuaika.

Taulukko 10. Kohderakennuksen B laskelmat 2

<i>Toimenpidekohde</i>	<i>Investointikustannukset (€)</i>	<i>Ostoenergian säästö (kWh/a)</i>	<i>Ostoenergian säästö (€/a)</i>	<i>Takaisinmaksuaika (a)</i>
Alapohja	188 500	4 808	414,55	454

Kuten taulukosta 10 näkyy, on alapohjan lisälämmöneristysenergiatehokkuustoimenpiteen investointikustannus n. 188 500,00 € sisältäen materiaalit ja työt. Kyseinen kustannusarvio on tuotetoimittajan ilmoittama. Ostoenergian säästöksi saadaan 414,55 € vuodessa, jolloin investoinnin takaisinmaksuajaksi tulee n. 454 vuotta.

### 6.2.3 Nykyisen E-luvun pieneneminen

Aiemmin kappaleessa 5 on laskettu eri energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutuksia kohderakennuksen B E-lukuun. Tässä kappaleessa lasketaan kunkin energiatehokkuustoimenpiteen kustannus suhteessa kohderakennuksen B nykyisen E-luvun muutokseen, eli kuinka paljon nykyisen E-luvun pieneneminen yhdellä luvulla tulee maksamaan. Laskelmat on laskettu niin, että toimenpiteen investointikustannus on jaettu E-luvun muutoksella. Tulokset on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Kohderakennuksen B E-luvun muutoksen kustannukset per yksikkö

<i>Toimenpidekohde</i>	<i>Investointikustannukset (€)</i>	<i>E-luvun muutos</i>	<i>E-luvun muutos/yksikkö (€)</i>
Ulkoseinät	150 195	-7	21 456,43
Ulko-ovet ja ikkunat	148 000	-10	14 800
Yläpohja	15 000	-4	3750
Alapohja	188 500	-2	94 250
Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmät	125 000	-4	31 250
Ilmanvaihto	115 000	-21	5 476,19
Valaistus	8 550	-5	1 750

Taulukosta 11 näkyy, että energiatehokkain toimenpide on ilmanvaihtoon kohdistuva energiatehokkuustoimenpide, jolla saadaan pienennettyä E-lukua 21 yksikön verran. Yhden E-luvun yksikön kustannukseksi muodostuu 5 476,19 €, joka on kolmanneksi edullisin kustannus per yhden yksikön muutos E-luvussa. Toiseksi energiatehokkain toimenpide on ulko-oviin ja ikkunoihin kohdistuva energiatehokkuustoimenpide, jolla E-luku pienenee 10 yksikön verran. Yhden yksikön hinnaksi muodostuu 14 800 €, mikä on neljänneksi edullisin kustannus per yhden yksikön muutos E-luvussa. Kolmanneksi energiatehokkain toimenpide on ulkoseiniin kohdistuva energiatehokkuustoimenpide E-luvun muutoksella -7. Yhden yksikön hinta on kuitenkin viidenneksi kallein, lähes 22 000 €. Valaistukseen kohdistuva energiatehokkuustoimenpide on neljänneksi energiatehokkain, ja siinä yhden yksikön muutos on kaikista halvin. Vähiten muutoksia kohderakennuksen A nykyiseen E-lukuun saadaan alapohjaan kohdistuvalla energiatehokkuustoimenpiteellä, jolloin E-luvun yhden yksikön muutos jää myös kaikista kalleimmaksi.

### 6.3 Laskelmien tarkastelu

Energiatehokkuusinvestointien takaisinmaksuajat on laskettu energiamuotokertoimet huomioimatta, vaikka E-lukua laskettaessa energiamuotokertoimet huomioidaan aina, jotta rakennukset saadaan keskenään vertailukelpoisiksi. Energiamuotokertoimia ei ole huomioitu, jotta takaisinmaksuaikalaskenta saadaan mahdollisimman realistiseksi. Taulukossa 12 näkyy kohderakennuksen A energiatehokkuustoimenpiteiden takaisinmaksuajat kustannustehokkuuden mukaan lajiteltuna.

Taulukko 12. Kohderakennuksen A energiatehokkuustoimenpiteiden kustannustehokkuus

<i>Toimenpidekohde</i>	<i>Takaisinmaksuaika (a)</i>
Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmät	6
Yläpohja	14
Valaistus	28
Ulko-ovet ja ikkunat	44
Ilmanvaihto	47
Ulkoseinät	71
Alapohja	542

Kuten taulukossa 12 näkyy, on tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmiin kohdistuva toimenpide kustannustehokkain tapa vähentää laskennallista os-toenergian kulutusta kohderakennuksessa A 6 vuoden takaisinmaksuajalla. Yläpohjan lisälämmöneristämällä on 14 vuoden takaisinmaksuaika, kun taas alapohjan vastaavan toimenpiteen takaisinmaksuaika on lähes 39-kertainen eli 542 vuotta. Alapohjan lisälämmöneristäminen on siis kustannustehottomin tapa energiatehokkuuden lisäämiselle kohderakennuksessa A. Toiseksi energiatehottomin toimenpide on ulkoseinien energiatehokkuustoimenpide 71 vuoden takaisinmaksuajalla. Ulko-ovien ja ikkunoiden sekä ilmanvaihdon takaisinmaksuaika on suhteellisen sama eli n. 45 vuotta. Seuraavassa taulukossa esitetään kohderakennuksen B energiatehokkuusinvestointien takaisinmaksuajat.

Taulukko 13. Kohderakennuksen B energiatehokkuustoimenpiteiden kustannustehokkuus

<i>Toimenpidekohde</i>	<i>Takaisinmaksuaika (a)</i>
Tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmät	6
Yläpohja	13
Ilmanvaihto	16
Valaistus	35
Ulko-ovet ja ikkunat	44
Ulkoseinät	70
Alapohja	454

Kuten taulukossa 13 näkyy, on kohderakennuksen B kustannustehokkain tapa energiatehokkuuden lisäämiseen sama kuin kohderakennuksessa A, eli tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmien uusiminen 6 vuoden takaisinmaksuajalla. Yläpohjan lisälämmöneristäminen 13 vuoden takaisinmaksuajalla on toiseksi kustannustehokkain tapa samoin kuten oli kohderakennuksessa A. Alapohjan

lisälämmöneristäminen on molemmissa kohderakennuksissa kustannustehotomin tapa kohderakennuksessa B takaisinmaksuajan ollessa 454 vuotta. Ulkoseinien energiatehokkuuden lisäämisen takaisinmaksuaika on molemmissa kohderakennuksissa melkein yhtä pitkä. Kohderakennuksessa B kyseinen takaisinmaksuaika on 70 vuotta ja kohderakennuksessa A 71 vuotta. Kuten taulukoista 10 ja 11 on nähtävissä, on energiatehokkuustoimenpiteiden kustannustehokkuusjärjestys muutoin sama molemmilla kohderakennuksilla sillä erolla, että ilmanvaihto nousee kohderakennuksessa B kustannustehokkaammaksi toimenpiteeksi kuin kohderakennuksessa A. Ero johtuu siitä, että ilmanvaihdon energiatehokkuuden lisääminen toteutettiin kohderakennuksissa eri tavoin, jotta saataisiin laskentatuloksia eri ratkaisuvaihtoehdoista.

Valaistuksen toteuttaminen led-valaistuksella ei vaadi suuria rahallisia investointipanostuksia, kuten laskelmat osoittavat, joten kyseinen energiansäästötoimenpide on helpohko toteuttaa. Toimenpiteellä aikaansaadut ostoenergian säästöt eivät kuitenkaan ole merkittäviä, sillä led-valaisimilla toteutettu valaistus vähentää sähkön kulutusta, mutta vastaavasti kasvattaa tilojen lämmityksen tarvetta. Vaikka muissa energiatehokkuustoimenpiteissä sähkön kulutus kasvaa, saadaan sähkön kulutuksen kasvua kompensoitua energiatehokkuustoimenpiteellä aikaansaadulla ilmaisella lämpöenergialla.

Yhteenvedona laskelmista voidaan todeta, että laskelmien pohjalta saadaan suuntaa antava kuva energiatehokkuustoimenpiteiden kustannustehokkuudesta tarkastelemalla energiatehokkuusinvestointien takaisinmaksuaikoja. Jos energiatehokkuusinvestointeja tarkastellaan pelkästään energiatehokkuuden näkökulmasta ja huomioidaan ainoastaan E-luvun muutoksen yksittäisen yksikön kustannukset, niin tulokset eivät täysin korreloi kustannustehokkuuden laskelmien kanssa. Energiatehokkuuslaskelmissa on hyvä tiedostaa molemmat näkökulmat, jotta laskelmista saadaan aina tapauskohtaisesti mahdollisimman tarkoituksenmukaiset.

## **7 YHTEENVETO TULOXSISTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET**

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää energia- ja kustannustehokkaimmat ratkaisut, joilla Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistamien kiin-

teistöjen energian hiilijalanjälkeä voitaisiin pienentää rakennusten E-lukua pienentämällä. Tavoitteena oli tarkastella sekä taloteknisiä että rakennusteknisiä ratkaisuja ja tehdä tämän pohjalta selvitys toimenpide-ehdotuksista kiinteistöjen energiatehokkuuden lisäämiseksi.

Opinnäytetyötutkimus jakaantui kahteen osaan. Ensin kohderakennuksille A ja B laadittiin energiatodistukset, joiden pohjalta kohderakennusten energiatehokkuutta lisättiin eri ratkaisuvaihtoehdoilla. Molemmissa kohderakennuksissa saatiin E-lukua pienennettyä kaikilla testatuilla toimenpidemenetelmillä – osa toimenpiteistä pienensi E-lukua vain vähän, osa sai kohderakennusten energiatehokkuusluokan paranemaan nykyisestä luokasta D<sub>2018</sub> luokkaan C<sub>2018</sub>. Se, mitkä energiatehokkuustoimenpiteet vaikuttivat energiatehokkuusluokkaa parantavasti, riippui kohderakennuksen alkuperäisestä E-luvusta. Koska kohderakennuksella B oli alun perin pienempi E-luku kuin kohderakennuksella A, saavutettiin kohderakennuksessa B useammalla energiatehokkuustoimenpiteellä energiatehokkuusluokka C<sub>2018</sub>. Mitä lähempänä rakennuksen alkuperäinen E-luku on parempaa energiatehokkuusluokkaraja-arvoa, sitä vähemmän tarvitaan säästöä laskennallisen ostoenergian määrässä, jotta energiatehokkuusluokka saadaan paremmaksi. Opinnäytetyötutkimuksen molemmissa kohderakennuksissa saatiin energiatehokkuusluokaksi C<sub>2018</sub> kohdentamalla energiatehokkuustoimenpiteet ulkoseiniin, ulko-oviin, ikkunoihin ja ilmanvaihtoon. Alapohjaan kohdistuva energiatehokkuustoimenpide ei pienentänyt kummankaan kohderakennuksen E-lukua merkittävästi, vaan energiatehokkuusluokka säilyi molempien kohderakennusten kohdalla luokassa D<sub>2018</sub>. Opinnäytetyötutkimuksessa ei keskitytty eri energiatehokkuustoimenpiteiden yhdistämiseen, vaan painopisteenä oli yksittäisten toimenpiteiden vaikutukset kohderakennusten E-lukuun.

Opinnäytetyön toisessa osassa keskityttiin energiatehokkuusinvestointien kustannuksiin ja kustannusten takaisinmaksuaikoihin. Takaisinmaksuajat saatiin laskemalla se, kuinka kauan yksittäisen investoinnin takaisinmaksuun kuluu aikaa ostoenergian säästöistä säästöön jäävällä rahalla, eli kuinka kauan aikaa menee siihen, että energiatehokkuusinvestointi maksaa itse itsensä takaisin. Laskelmissa otettiin huomioon korot ja energian hinnan muutokset.

Rakennuksen E-luku perustuu rakennuksen laskennalliseen ostoenergian kulutukseen, joka lasketaan energiamuotokertoimilla painotettuna. Tämän opin- näytetyön tavoitteena oli laskea Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:lle energia- tehokkuusinvestointien mahdollisimman realistinen suuntaa antava takaisin- maksuaika, ja siksi laskelmat on laskettu ilman energiamuotokertoimia. Kun tarkastellaan opinnäytetyötutkimuksen tuloksia kyseisten laskelmien osalta, voidaan todeta, että tilojen ja käyttöveden lämmitysjärjestelmien vaihtaminen kaukolämmöstä maalämpöön on kustannustehokkain tapa parantaa kohdera- kennusten A ja B energiatehokkuutta. Tämä tutkimustulos on linjassa muiden jo aiemmin samasta aiheesta tehtyjen tutkimusten kanssa (mm. Niemelä ym. 2016). Opinnäytetyön kohderakennuksissa siirtyminen kaukolämmöstä maa- lämpöön ei ole ongelma, sillä kyseiset kohderakennukset eivät sijaitse pohja- vesialueella, ja niiden tontit ovat riittävän suuria energiakaivojen poraamiselle. Koska laaja alue Lappeenrannasta kuuluu pohjavesialueeseen, on ennen maalämpöhankkeeseen ryhtymistä asia aina rakennuskohtaisesti selvitettävä ja tarkastettava ja tarvittaessa anottava erillistä toimenpidelupaa Elinkeino-, lii- kenne- ja ympäristökeskukselta.

Toinen kustannustehokas ja samalla erittäin energiatehokas energiatehok- kuutta lisäävä toimenpide opinnäytetyötutkimuksessa oli kohderakennuksen B ilmanvaihdon energiatehokkuustoimenpide, missä kohderakennukseen lisät- tiin poistoilmalämpöpumppu, jolla poistoilmasta saadaan lämpöä talteen. Koh- derakennuksen A ilmanvaihdon energiatehokkuuden lisääminen oli energiate- hokasta sekin, mutta suurista investointikustannuksista johtuen investoinnin takaisinmaksuajasta muodostui melko pitkä. Kyseinen tutkimustulos on yhte- neväinen muiden aiemmin samasta aiheesta tehtyjen tutkimusten kanssa (mm. Niemelä ym. 2016), eli rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän täydellinen uusiminen ei ole kannattava ratkaisu kustannustehokkuuden näkökulmasta katsottuna juuri siksi, koska ilmanvaihdon peruskorjauksen investointikustan- nukset ovat suuria. Kohderakennuksessa B sen sijaan ei lähdetty uusimaan koko ilmanvaihtojärjestelmää, joten investointikustannukset pysyivät maltilli- sina, ja kustannusten takaisinmaksuaika järkevänä.

Energiatehokkuuden näkökulmasta katsottuna kohderakennusten A ja B ulko- ovien ja ikkunoiden uusimisella saavutetaan kohtuullisen hyvin laskennallisen ostoenergian säästöä. Myös kustannustehokkuuden näkökulmasta katsottuna



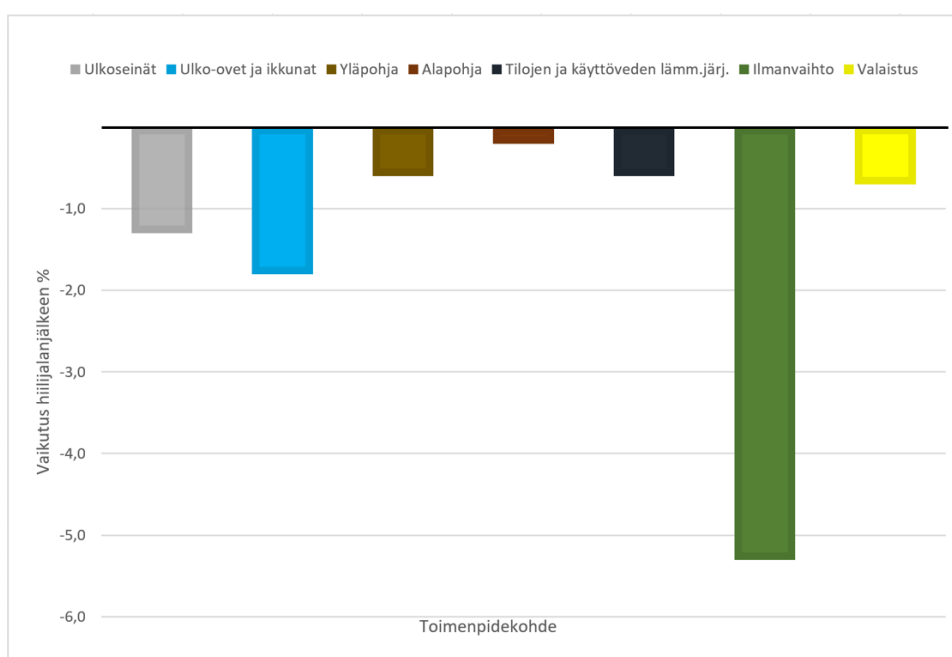
kyseinen energiatehokkuustoimenpide on suhteellisen järkevä, vaikka investoinnin takaisinmaksuaika ei kaikkein lyhyin olekaan. On hyvä ottaa huomioon myös se, että ulko-ovien ja ikkunoiden uusiminen lisää asumisviihtyvyyttä, kun esimerkiksi vedon tunne asunnoissa jää pois. Muut aiemmin samasta aiheesta tehdyt tutkimukset ja niiden tulokset ovat samansuuntaisia tämän tuloksen kanssa (mm. Niemelä ym. 2016). Mahdollisimman energia- ja kustannustehokkaan kokonaisuuden aikaansaamiseksi energiatehokkuustoimenpiteitä kannattaa yhdistää samanaikaisesti tehtäväksi, jotta esimerkiksi rakennusteknisissä töissä voidaan säästää. Tätä päätelmää tukee aiemmin samasta aiheesta tehdyt tutkimukset ja niiden tulokset (mm. Almeida & Ferreira 2017).

Aiemmin tehtyjen tutkimusten mukaan (mm. Niemelä ym. 2016) ilma-vesilämpöpumput lisäävät rakennusten energiatehokkuutta kustannustehokkaasti. Tässä opinnäytetyössä ilma-vesilämpöpumppua ei kuitenkaan valittu kohderakennusten energiatehokkuuden lisäämisen toimenpiteeksi, sillä lauhdutinyksikön sulamis- ja kondenssivesien johtaminen piha-alueelta pois olisi ollut hankala toteuttaa käytännössä. Lisäksi alustavat energiatehokkuuslaskelmat osoittivat, että ainakaan opinnäytetyöhön valituissa kohderakennuksissa kyseisellä energiatehokkuustoimenpiteellä ei olisi saavutettu mainittavaa osastoenergian säästöä aikaiseksi. Myöskään aurinkokeräimiä ei valittu kohderakennusten energiatehokkuuden lisäämisen toimenpiteeksi, sillä kohderakennukset sijaitsevat aurinkoon nähden epäedulliseen ilmansuuntaan ja ympärillä on muita rakennuksia ja puustoa varjostamassa. Lisäksi kohderakennuksissa ei ole tarpeeksi kattopinta-alaa aurinkokeräimille hyödynnettäväksi. Jatkossa voisi olla hyödyllistä tehdä tarkat laskelmat näiden kahden energiatehokkuustoimenpiteen vaikutuksista joihinkin muihin Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n rakennuksiin, jotta toimenpiteiden vaikutukset E-lukuun ja toimenpiteiden kustannustehokkuus saataisiin selvitettyä.

Opinnäytetyötutkimuksen pohjalta voidaan Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:lle esittää neljä toimenpide-ehdotusta kiinteistöjen energiatehokkuuden lisäämiseksi. Energia- ja kustannustehokkain toimenpide on poistoilmalämpöpumpun lisääminen rakennuksen nykyiseen ilmanvaihtojärjestelmään. Toinen toimenpide-ehdotus on lämmitysjärjestelmän vaihtaminen kaukolämmöstä maalämpöön ja kolmas rakennusten ulko-ovien ja ikkunoiden uusiminen.

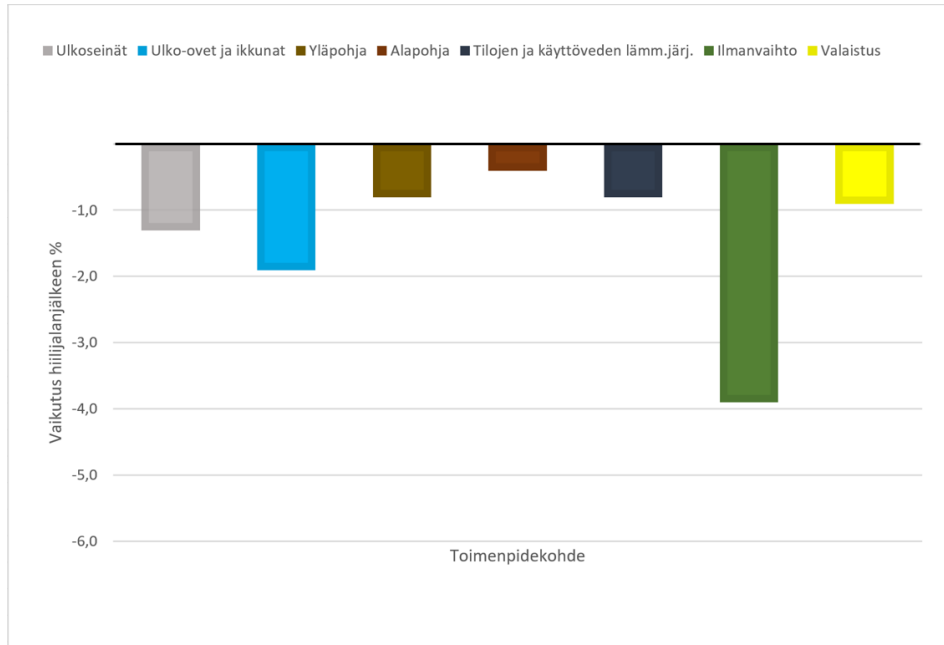
Myös yläpohjan lisälämmöneristäminen on kustannustehokas tapa lisätä rakennusten energiatehokkuutta. Huomioitavaa on, että toimenpide-ehdotukset on räätälöity nimenomaan opinnäytetyön kohderakennuksia varten, mutta on erittäin todennäköistä, että ehdotetut toimenpiteet ovat toteutuskelpoisia ja niillä saadaan aikaan energiatehokkaita tuloksia myös muissa Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistamissa 1980- ja 1990-lukujen asuinkerrostaloissa. Yleistettävyyden mahdollisuudesta huolimatta on olennaista, että jokainen rakennus tarkastellaan aina erikseen parhaimman mahdollisen lopputuloksen aikaan saamiseksi.

Rakennuksen E-luku pienenee sitä enemmän, mitä useampia energiatehokkuustoimenpiteitä rakennuksessa toteutetaan, ja yleisesti ottaen voidaan todeta, että kun laskennallisen ostoenergian tarve vähenee, rakennuksen E-luku pienenee ja rakennuksesta tulee tätä kautta vähähiilisempi. Yleistäen sanottuna rakennuksen E-luvun pieneneminen pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä suorassa suhteessa siten, että jos rakennuksen E-luku pienenee 50 % niin sen energian hiilijalanjälki pienenee 25 %. Opinnäytetyössä on tarkasteltu jokaisen energiatehokkuustoimenpiteen vaikutusta toimenpiteellä aikaan saatuun hiilijalanjäljen pienenemiseen edellä mainittuun tietoon pohjaten. Kuvassa 21 on esitetty kaikkien energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutukset kohderakennuksen A hiilijalanjälkeen.



Kuva 21. Kohderakennuksen A energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutukset hiilijalanjälkeen

Kuvassa 21 näkyy prosentteina eri energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutukset kohderakennuksen A hiilijalanjäljen pienenemiseen. Kuvassa 22 on esitetty kaikkien energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutukset kohderakennuksen B hiilijalanjälkeen.



Kuva 22. Kohderakennuksen B energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutukset hiilijalanjälkeen

Kuten kuvissa 21 ja 22 näkyy, on ilmanvaihdon uusiminen myös hiilijalanjäljen pienenemisen kannalta katsottuna suositeltava toimenpide-ehdotus kohderakennusten energiatehokkuuden lisäämiseksi. Samoin ulko-oviin ja ikkunoihin kohdistuvat energiatehokkuustoimenpiteet saavat kohderakennusten hiilijalanjälkeä pienenemään huomattavasti. Kuvissa 21 ja 22 näkyy selkeästi, että kaikki energiatehokkuustoimenpiteet vähentävät kohderakennusten hiilidioksidipäästöjä ainakin joissain määrin. Tämä tutkimustulos on yhteneväinen muiden aiemmin samasta aiheesta tehtyjen tutkimusten kanssa (mm. Almeida & Ferreira 2017).

Yhteenvetona voidaan todeta, että yhden rakennuksen E-luvun pienentäminen ei vielä yksinään pienennä Lappeenrannan kaupungin hiilijalanjälkeä merkittävästi, mutta jos kaikissa Lappeenrannan Asuntopalvelu Oy:n omistamissa kiinteistöissä toteutetaan energiatehokkuustoimenpiteitä, auttaa se Lappeenrannan kaupunkia päästövähennystavoitteisiin ja hiilineutraaliuuteen pääsemisessä.

## LÄHTEET

- Almeida, M. & Ferreira, M. 2017. Cost effective energy and carbon emissions optimization in building renovation (Annex 56). Julkaisussa Energy and Buildings 152. 2019. Elsevier: 718–238. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 15.11.2019].
- Ara. 2020. Rakennusten energiatodistukset käyttötarkoituksen mukaan. WWW-dokumentti. Päivitetty 17.8.2020. Saatavissa: [https://www.ara.fi/fi-FI/Tietopankki/Tilastot\\_ja\\_selvitykset/Energiatodistukset](https://www.ara.fi/fi-FI/Tietopankki/Tilastot_ja_selvitykset/Energiatodistukset) [viitattu 24.10.2020].
- Blumberga, A., Cilinskis, E., Gravelins, A., Svarckopfa, A. & Blumberga, D. 2018. Analysis of regulatory instruments promoting building energy efficiency. Julkaisussa Energy Procedia 147. Elsevier: 258–267. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 25.10.2019].
- Energiatodistusopas 2018. 2018. Ympäristöministeriö. Rakennuksen energiatodistus ja E-luvun määrittäminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/rakennuksen\\_energia\\_ja\\_ekotehokkuus/rakennuksen\\_energiatodistus/energiatodistuslomakkeet](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/rakennuksen_energiatodistus/energiatodistuslomakkeet) [viitattu 30.8.2020].
- Eskola, M., Hakala, S., Heiskanen, R., Hokkanen, E., Hurme, J., Id, E., Järvinen, M., Kantonen, A., Leisalo, T., Lerch, B., Lindell-Mäkelä, S., Moilanen, V., Parviainen, R., Piirla, A. & Tainio, A. 2016. Oppariapu. Apua opinnäytetyön kirjoittamiseen. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://oppariapu.wordpress.com/konstruktivinen-tutkimus/> [viitattu 26.2.2020].
- Etelä-Karjalan liitto. 2019. Etelä-Karjala ja Pirkanmaa ensimmäiset Hinkumaakunnat. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ekarjala.fi/liitto/blog/etela-karjala-ja-pirkanmaa-ensimmaiset-hinku-maakunnat/> [viitattu 12.1.2020].
- Fise. 2020. Energiatodistuksen laatija. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://fise.fi/patevyyspalvelu/hae-patevyytta/energia-ja-kuntoasiantuntijat/energiatodistuksen-laatija/> [viitattu 30.8.2020].
- Greenreality Lappeenranta s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lappeenranta.fi/fi/Palvelut/Ymparisto/Greenreality-Lappeenranta> [viitattu 12.1.2020].
- Hienonen, M., Huttunen, E., Jääskeläinen, L., Salmelainen, L. & Virkamäki, P. 2017. Viranomaisnäkökulma rakennuksen elinkaaren hiilijalanjalkiohjaukseen. PDF-dokumentti. 29.6.2017. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/13008/Viranomaisnakokulma\\_rakennuksen\\_elinkaaren\\_hiilijalanjalkiohjaukseen\\_Rakennustarkastusyhdistyksen\\_raportti\\_29.6.2017.pdf](https://www.motiva.fi/files/13008/Viranomaisnakokulma_rakennuksen_elinkaaren_hiilijalanjalkiohjaukseen_Rakennustarkastusyhdistyksen_raportti_29.6.2017.pdf) [viitattu 3.12.2019].
- Ilmastolaki 22.5.2015/609.
- Jaakkola, T., Lindstedt T. & Junnonen, J. 2010. Energiatehokas asuinkerrostalojen talotekniikkakorjaus. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Korpijärvi, J. s.a. Tekniikan tutkimusmenetelmät. Työelämän tutkiminen ja kehittäminen -opintojakso. Xamk. PowerPoint-dokumentti. Saatavissa: <https://learn.xamk.fi> [viitattu 26.2.2020].

Kuittinen, M. 2020a. Erityisasiantuntija. Puhelinkeskustelu 14.1.2020. Ympäristöministeriö.

Kuittinen, M. 2020b. Erityisasiantuntija. Vähähiilinen rakentaminen ja talotekniikka. SuLVI:n suunnittelijapäivä Helsingissä 12.2.2020.

Laki rakennuksen energiatodistuksesta 18.1.2013/50.

Mikä on hiilijalanjälki? 2020. Loiste Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.loiste.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/ilmastoystavallinen-yritys/hiilijalanjaljen-hyvittaminen/mika> [viitattu 13.9.2020].

Motiva. 2018. Ilmanvaihto. WWW-dokumentti. Päivitetty 2.3.2018. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/rakentajan\\_ohjeet/hyva\\_talo/ilmanvaihto](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/rakentajan_ohjeet/hyva_talo/ilmanvaihto) [viitattu 19.10.2020].

Niemelä, T., Kosonen, R. & Jokisalo, J. 2016. Cost-effectiveness of energy performance renovation measures in Finnish brick apartment buildings. Julkaisussa Energy and Buildings 137. 2017. Elsevier: 60–75. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 21.9.2020].

Nieminen, J. & Virta, J. 2016. Rakennusten lisälämmöneristäminen. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.

Nuutila, J. 2014a. Johdanto mitta-asteikkoihin ja otantamenetelmiin. Video. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=XkCNMaRn284> [viitattu 14.2.2020].

Nuutila, J. 2014b. Tilastojen esittäminen ja taulukointi. Video. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=5Zi4csvQZ-g> [viitattu 14.2.2020].

Ojanen, T., Nykänen, E. & Hemmilä, K. 2017. Rakenteellinen energiatehokkuus korjausrakentamisessa. Opas. RTT eristeteollisuus, Puutuoteteollisuus ja Ympäristöministeriö.

Pesu, J. 2020. Erityisasiantuntija. Puhelinkeskustelu 19.10.2020. Suomen ympäristökeskus.

Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä. 2019. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM\\_2019\\_22\\_Rakennuksen\\_vahahii-lisyyden\\_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161761/YM_2019_22_Rakennuksen_vahahii-lisyyden_arviointimenetelma.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 1.9.2020].

Räsänen, I. 2019. Ympäristöjohtaja. Palaveri 12.11.2019. Lappeenrannan kaupunki, Lappeenrannan seudun ympäristötoimi.

Toimenpiteen taloudellinen kannattavuus. 2018. Motiva Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/14771/Toimenpiteen\\_taloudellinen\\_kannattavuus\\_laskurin\\_ohje\\_2018.pdf](https://www.motiva.fi/files/14771/Toimenpiteen_taloudellinen_kannattavuus_laskurin_ohje_2018.pdf) [viitattu 15.11.2020].

Valtioneuvoston asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertomien lukuarvoista 788/2017.

Vähähiilinen rakentaminen s.a. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen> [viitattu 19.10.2020].

Vähähiilisen rakentamisen tiekartta s.a. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta> [viitattu 19.10.2020].

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus ja muutostöissä 4/13.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017.