



Vaasan yliopisto  
UNIVERSITY OF VAASA

Nigo Kallio

# **Älylamput ja perinteiset LED-lamput kotitalouksien valaistuksessa**

Takaisinmaksuajan, energiankulutuksen ja elinkaarikustannusten vertailu

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö  
Diplomityö  
Energiatekniikka

Vaasa 2022

---

**VAASAN YLIOPISTO****Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö**

<b>Tekijä:</b>	Nigo Kallio		
<b>Diplomityön nimi:</b>	Älylamput ja perinteiset LED-lamput kotitalouksien valaistuksessa: Takaisinmaksuajan, energiankulutuksen ja elinkaarikustannusten vertailu		
<b>Tutkinto:</b>	Diplomi-insinööri		
<b>Työn valvoja:</b>	Seppo Niemi		
<b>Työn ohjaaja:</b>	Anne Mäkiranta		
<b>Valmistumisvuosi:</b>	2022	<b>Sivumäärä:</b>	70

---

**TIIVISTELMÄ:**

Älylamput mahdollistavat valaistuksen langattoman ohjauksen ja valaistusominaisuuksien säädön. Niiden avulla kotitalouden valaistus voidaan säätää aina tilanteeseen sopivaksi. Valaistuksen säätö säästää energiaa, mutta tuo mukanaan myös käyttömukavuutta. Älylamppujen täytyy olla yhteydessä kodin langattomaan verkkoon, jotta niiden kaikki ominaisuudet ovat käytävissä. Tästä johtuen älylamput kuluttavat jonkin verran energiaa, vaikka eivät ole päällä.

Tutkimuksessa vertailtiin Airam Smart Home Wi-Fi-älylamppujen ja perinteisten LED-lamppujen energiankulutusta. Tutkittavat lamput jaettiin kolmeen vertailuryhmään niiden valon määrän perusteella. Älylamppujen energiankulutus selvitettiin laskemalla energiankulutusmittaria apuna käyttäen. Älylamppuille laskettuja tuloksia verrattiin perinteisille LED-lamppuille laskettuihin tuloksiin. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, voiko älyvalaistuksella saavuttaa säästöjä kotitalouden valaistuksessa suhteessa perinteisiin LED-lamppuihin. Vertailussa käytettiin mittareina lamppujen takaisinmaksuaikaa, energiankulutusta ja elinkaarikustannuksia 15 ja 45 vuoden ajanjaksoilla.

Tutkittavien älylamppujen verkkovalmiustilatehoksi oli ilmoitettu 0,5 wattia. Energiankulutusmittaukset osoittivat, että verkkovalmiustilateho oli 0,5 wattia vain ajoittain. Teho oli suurimman osan ajasta 0,0 wattia. Tästä johtuen verkkovalmiustilatehoa ei otettu lopulta huomioon älylamppujen energiankulutuslaskelmissa. Tämän ansiosta älylamppujen vähäininkin himmentäminen toi energiasäästöä suhteessa saman tehoisiin perinteisiin LED-lamppuihin.

LED-lamppujen takaisinmaksuajat laskettiin suhteessa valon määrältään vastaaviin hehku-lamppuihin. Hankintahinnalla oli suuri vaikutus takaisinmaksuajan pituuteen. Takaisinmaksu-aika oli jokaisessa vertailuryhmässä lyhyin ryhmän edullisimmalla LED-lampulla. Takaisinmaksuajat olivat lyhimmillään hieman yli 300 tuntia ja enimmillään noin 1400 tuntia. Himmentämällä voitiin lyhentää älylamppun takaisinmaksuaikaa enimmillään noin 7–12 prosenttia.

Älylamppujen elinkaarikustannukset saatiin himmentämällä matalammiksi kuin perinteisillä LED-lampuilla 15 vuoden ajanjaksolla. Niitä täytyi kuitenkin käyttää jopa alle 33 prosentin keskimääräisellä kirkkaudella. Älylamppuilla voidaan säästää energiaa perinteisiin LED-lamppuihin verrattuna tiloissa, joissa niitä voidaan himmentää merkittävästi. Mikäli valaistava tila edellyttää jatkuvaa suurta valon tuottoa, lamppu kannattaa valita energiatehokkuuden ja polttoain perusteella.

---

**AVAINSANAT:** älylamput, LED-lamput, energiankulutus, energiatehokkuus, elinkaarikustannukset, takaisinmaksuaika.

## Sisällys

1	Johdanto	8
2	Valon ominaisuudet	10
2.1	Valovirta	10
2.2	Valotehokkuus eli hyötysuhde	11
2.3	Valovoima	12
2.4	Väriämpötila	12
2.5	Valonlähteen värintoistokyky	13
3	Tutkimuksessa käytettävät lamput	15
3.1	Hehkulamput	15
3.2	Halogeenilamput	16
3.3	LED-lamput	16
4	Valonlähteiden uusi energiamerkintä	18
4.1	Energiatehokkuusluokan määrittäminen	19
5	Materiaalit ja menetelmä	22
5.1	Vertailtavat LED-lamput	22
5.2	Tutkimuksen laskennallinen osuus	25
5.3	Takaisinmaksuajan laskenta	26
5.4	Energiankulutuksen laskenta	28
5.5	Elinkaarikustannusten laskenta	28
6	Himmennyksen vaikutus älylampun energiankulutukseen	30
6.1	Älylamppuille tehdyt mittaukset	30
6.2	Matemaattinen malli kertoimelle $k$	33
7	LED-lamppujen takaisinmaksuajat	35
7.1	Ryhmän 1 LED-lamppujen takaisinmaksuajat	35
7.2	Ryhmän 2 LED-lamppujen takaisinmaksuajat	36
7.3	Ryhmän 3 LED-lamppujen takaisinmaksuajat	38
8	LED-lamppujen energiankulutus	40
9	LED-lamppujen elinkaarikustannukset	44

9.1 Ryhmän 1 LED-lamppujen elinkaarikustannukset	44
9.2 Ryhmän 2 LED-lamppujen elinkaarikustannukset	49
9.3 Ryhmän 3 LED-lamppujen elinkaarikustannukset	54
10 Pohdinta	57
11 Johtopäätökset	62
12 Yhteenveto	65
Lähteet	68

## Kuvat

Kuva 1.	Airamin älylampun uuden asetuksen mukainen energiamerkki.	18
Kuva 2.	Teholtaan 4,5 watin Airam Smart Home -älylamppu verkkovalmiustilassa.	32

## Kuviot

Kuvio 1.	Kirkkauden ja tehon suhde teholtaan 9 watin Airam Smart Home älylampulle.	31
Kuvio 2.	LED-lamppujen takaisinmaksuajat 40 watin hehkulamppua korvattaessa.	35
Kuvio 3.	Ryhmän 1 älylampun takaisinmaksuajat erilaisilla kirkkauden keskimääräisillä arvoilla.	36
Kuvio 4.	LED-lamppujen takaisinmaksuajat 60 watin hehkulamppua korvattaessa.	37
Kuvio 5.	Ryhmän 2 älylampun takaisinmaksuajat erilaisilla kirkkauden keskimääräisillä arvoilla.	38
Kuvio 6.	LED-kohdelamppujen takaisinmaksuajat 50 watin halogeenikohdelamppua korvattaessa.	39
Kuvio 7.	Ryhmän 3 älylampun takaisinmaksuajat erilaisilla kirkkauden keskimääräisillä arvoilla.	39
Kuvio 8.	Ryhmän 1 LED-lamppujen energiankulutus vuodessa.	41
Kuvio 9.	Ryhmän 2 LED-lamppujen energiankulutus vuodessa.	42
Kuvio 10.	Ryhmän 3 LED-lamppujen energiankulutus vuodessa.	43
Kuvio 11.	Ryhmän 1 LED-lamppujen vuosittaiset kustannukset 15 vuodessa.	45
Kuvio 12.	Ensimmäisen ryhmän valonlähteiden kustannukset 15 vuodessa.	46
Kuvio 13.	Ensimmäisen ryhmän LED-lamppujen kustannukset 15 vuodessa, kun älylampun himmentämisen mahdollisuus huomioidaan.	47
Kuvio 14.	Ensimmäisen ryhmän LED-lamppujen kustannukset 45 vuodessa.	48
Kuvio 15.	Ensimmäisen ryhmän LED-lamppujen kustannukset 45 vuodessa, kun älylampun himmentämisen mahdollisuus huomioidaan.	49

Kuvio 16.	Ryhmän 2 LED-lamppujen vuosittaiset kustannukset 15 vuodessa.	50
Kuvio 17.	Toisen ryhmän valonlähteiden kustannukset 15 vuodessa.	51
Kuvio 18.	Toisen ryhmän LED-lamppujen kustannukset 15 vuodessa, kun älylampun himmentämisen mahdollisuus huomioidaan.	52
Kuvio 19.	Toisen ryhmän LED-lamppujen kustannukset 45 vuodessa.	53
Kuvio 20.	Toisen ryhmän LED-lamppujen kustannukset 45 vuodessa, kun älylampun himmentämisen mahdollisuus huomioidaan.	54
Kuvio 21.	Ryhmän 3 LED-lamppujen vuosittaiset kustannukset 15 vuodessa.	55
Kuvio 22.	Kolmannen ryhmän valonlähteiden elinkaarikustannukset.	55
Kuvio 23.	Kolmannen ryhmän LED-lamppujen elinkaarikustannukset, kun älylampun himmentämisen mahdollisuus huomioidaan.	56
Kuvio 24.	Jatkuvan 0,5 watin verkkovalmiustilatehon vaikutus älylampun energiankulutukseen.	59

## Taulukot

Taulukko 1.	Ympärisäteilevien valonlähteiden valovirran hehkulamppuvastaavuudet (Komission delegeoitu asetus (EU) 2019/2015, liite 5, taulukko 7).	11
Taulukko 2.	Eri lähteistä kerättyjä valonlähteiden tyypillisiä valotehokkuuden arvoja (Philips, 2021; Stek, 2019; Sähkötieto, 2017, liite 2).	12
Taulukko 3.	Valonlähteiden värilämpötilat (Motiva, 2016b).	13
Taulukko 4.	Värintoistokyvyn vastaavuudet eri $R_a$ -arvoille (Teknologiateollisuus, 2019, s.13).	14
Taulukko 5.	Kerroin $F_{TM}$ valonlähdetyypeittäin (Komission delegeoitu asetus (EU) 2019/2015, liite 2, taul. 2).	20
Taulukko 6.	Valonlähteiden energiatehokkuusluokat (Komission delegeoitu asetus (EU) 2019/2015, liite 2, taul. 1).	21
Taulukko 7.	Vertailtavat 40 watin hehkulamppua vastaavat LED-lamput.	23
Taulukko 8.	Vertailtavat 60 watin hehkulamppua vastaavat LED-lamput.	24
Taulukko 9.	Vertailtavat 50 watin hehkulamppua vastaavat LED-kohdelamput.	25
Taulukko 10.	Teho ja kerroin $k$ eri kirkkauden arvoilla 4,5 watin älylampulle.	34

## Symbolit ja lyhenteet

### Symbolit

$F_{TM}$	Valonlähdetyypille sovellettava kerroin
$k$	Korjauskerroin älylampun teholle
$P$	Teho
$P_1$	Korvattavan lampun teho
$P_2$	Korvaavan lampun teho
$P_{on}$	Teho päälle kytkettynä täydellä valovirralla
$P_{off}$	Verkkovalmiustilateho
$R_a$	Värintoistoindeksi 8 testiväriin perusteella
$R_i$	Värintoistokyky yksittäiselle testiväriin
$t$	Aika
$t_0$	Takaisinmaksuaika
$t_{off}$	Aika verkkovalmiustilassa
$\eta$	Valotehokkuus
$\eta_{TM}$	Verkkojännitteinen kokonaistehokkuus
$\Phi$	Valovirta
$\Phi_{use}$	Hyötyvalovirta

### Lyhenteet

CIE	Kansainvälinen valaistuskomissio
CRI	Värintoistoindeksi 15 testiväriin perusteella
EPREL	Energiamerkittyjen tuotteiden tietokanta
EU	Euroopan unioni
LED	Valodiodi
RGB	Punaisen, vihreän ja sinisen yhdistelmä
RGBW	Punaisen, vihreän, sinisen ja valkoisen yhdistelmä
WLAN	Langaton lähiverkko

## 1 Johdanto

LED-lamput ovat energiatehokkuutensa ja pitkän elinikänsä vuoksi ensisijainen vaihtoehto lähes jokaiseen kotitalouden valaisimeen. Useat lamppujen valmistajat ovat tuoneet markkinoille perinteisten LED-lamppujen lisäksi omat LED-älylamppujen valikoimansa. Älylamppu voidaan laittaa päälle myös perinteistä valokatkaisinta käyttäen, mutta valaistusominaisuuksien säätö tapahtuu tavallisesti valmistajakohtaisen sovelluksen välityksellä esimerkiksi Bluetooth-, Wi-Fi- tai Zigbee-yhteydellä. (Airam, 2021; Philips, 2020)

Älylamput eivät ulkonäöltään eroa perinteisistä LED-lampuista ja niitä löytyy täysin perinteisillä lamppukannoilla. Ne ovat tavallisesti esimerkiksi kirkkaudeltaan ja värilämpötilaltaan säädettävissä. Älylamput voidaan ajastaa syttymään, sammumaan tai vaihtamaan värilämpötilaa esimerkiksi oman vuorokausirytmien mukaan. Käytetystä tekniikasta riippuen ne voidaan sytyttää ja sammuttaa myös etänä ja näin ollen luoda kutsumattomille vieraille vaikutelma, että joku on kotona. Älylamppujen säädettävyyden ansiosta kodin valaistus voidaan helposti säätää aina tunnelmaan sopivaksi. Valaistusta säättämällä säästyy myös energiaa, koska lamppujen kirkkaus voidaan asettaa tilanteeseen riittävälle tasolle. (Motiva, 2017b)

Älylamppujen varjopuolina perinteisiin LED-lamppuihin verrattuna voidaan pitää niiden suhteellisen kallista hankintahintaa ja energiankulutusta valmiustilassa. Säilyttääkseen yhteyden kodin WLAN-verkkoon älylamput kuluttavat jonkin verran energiaa, vaikka eivät ole päällä. Älylamppujen valikoimaa tutkimalla selviää, että tunnetuista lamppuvalmistajista esimerkiksi Airam ja Philips ilmoittavat älylamppujensa verkkovalmiustilan tehonkulutuksen olevan poikkeuksetta 0,5 wattia (Airam, 2021; Philips, 2020). Mikäli kodin langattomaan verkkoon kytkettyä älylamppua käytetään 1 000 tuntia vuodessa, sen vuotuinen verkkovalmiustila-aika on 7 760 tuntia. Tämän vuoksi esimerkiksi 4 watin älylamppuun vuosikulutuksen voidaan olettaa lähes kaksinkertaistuvan tavalliseen LED-lamppuun verrattuna, joka ei kuluta energiaa ollessaan pois päältä.



Tässä tutkimuksessa perehdytään Airamin Wi-Fi-yhteydellä toimivien älylamppujen energiankulutukseen ja kustannuksiin kotitalouden valaistuksessa. Tutkimuksessa selvitetään, rajoittuvatko älylamppujen hyödyt kotitalouden valaistuksessa ainoastaan langattomaan ohjaukseen ja monipuoliseen säädettävyyteen, vai voiko niiden avulla saavuttaa myös säästöä energiankulutuksessa perinteisiin LED-lamppuihin verrattuna.

Markkinoiden valikoimasta valitaan tutkimusta varten muutama Airamin Wi-Fi-älylamppu ja valovirraltaan älylamppuja vastaavat perinteiset LED-lamput. Tutkimuksessa lasketaan valikoitujen lamppujen energiankulutus ja elinkaarikustannukset valitulla ajanjaksolla sekä takaisinmaksuajat hehkulamppua korvattaessa. Lisäksi selvitetään, millainen vaikutus älylamppujen kirkkauden säädöllä ja valmiustilan energiankulutuksella on mainittuihin asioihin.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on

- selvittää, voiko älylamppuilla saavuttaa energia- ja kustannussäästöjä perinteisiin LED-lamppuihin verrattuna kotitalouden valaistuksessa.

Tässä tutkimuksessa ei käsitellä

- syvällisesti eri tietoliikennetekniikoita, joilla älylaitteet kommunikoivat keskenään.
- loistelamppujen teoriaa.

## 2 Valon ominaisuudet

Tässä luvussa perehdytään valon ominaisuuksiin, jotka lampun hankinnassa kannattaa ottaa huomioon. Valaistusominaisuuksien tuntemuksesta on hyötyä valonlähdettä hankittaessa, jotta tilan valaistustarve saadaan täytettyä mahdollisimman hyvin. Valaistusominaisuuksien lisäksi on syytä tietää lampun kanta ja fyysiset mitat, jotta se soveltuu sille tarkoitettuun valaisimeen.

### 2.1 Valovirta

Valovirran yksikkö on lumen (lm), jonka arvo kertoo, miten paljon lamppu tuottaa valoa. Aikana, jolloin hehkulamput olivat ainoa vaihtoehto kotitalouksien valaistuksessa, voitiin lamppuja vertailla wattien eli lampun tehon perusteella. Tämä oli mahdollista, koska saman tehoiset hehkulamput tuottavat myös suunnilleen saman määrän valoa.

Nykyään jopa samaa tekniikkaa hyödyntävien valonlähteiden energiatehokkuuksissa saattaa olla suuria eroja, minkä vuoksi valonlähteitä ei voida enää vertailla tehon (wattien) perusteella. Lamppujen valon tuoton vertailu onnistuu parhaiten lumen-arvoilla. Lampun wattimäärä kertoo ainoastaan lampun energiankulutuksesta. (Motiva, 2016a)

Taulukossa 1 on listattuna ympärisäteilevien valonlähteiden valovirran arvot, joilla niiden voidaan sanoa vastaavan tietyn tehoista hehkulamppua. Taulukossa olevat valovirran arvot ovat minimiarvoja. Lampun valovirran täytyy olla vähintään esimerkiksi 806 lumenia, jotta sen voidaan väittää vastaavan 60 watin hehkulamppua. Lamppujen valmistajat merkitsevät lamppupakkaukseen tavallisesti hehkulamppuvastaavuuden, jonka on tarkoitus helpottaa kuluttajia valitsemaan riittävästi valoa tuottava lamppu vanhan hehkulampan tilalle. (Komission delegeoitu asetus (EU) 2019/2015)

**Taulukko 1.** Ympärisäteilevien valonlähteiden valovirran hehkulamppuvastaavuudet (Komission delegoitu asetus (EU) 2019/2015, liite 5, taulukko 7).

Hehkulamppu, P (W)	Valovirta, $\phi$ (lm)
15	136
25	249
40	470
60	806
75	1 055
100	1 521
150	2 452
200	3 452

## 2.2 Valotehokkuus eli hyötysuhde

Valotehokkuus on valonlähteen valovirta jaettuna sähköteholla, eli sen yksikkö on lm/W. Valonlähteen voidaan sanoa olevan sitä energiatehokkaampi, mitä enemmän valoa se pystyy tuottamaan kulutettua sähkötehoa kohden. Valonlähteen valotehokkuutta voidaan siis pitää valonlähteen energiatehokkuuden mittarina. (Stek, 2019) Tämän on huomionnut myös Euroopan komissio 1. syyskuuta 2021 voimaan tullessa valonlähteiden energiamerkintää koskevassa asetuksessa (Komission delegoitu asetus (EU) 2019/2015, liite 2), jossa lamppujen energiatehokkuusluokka määräytyy lähes suoraan valotehokkuuden perusteella.

LED-lamput ovat tällä hetkellä markkinoiden energiatehokkaimpia valonlähteitä (Stek, 2019). Energiatehokkuudeltaan parhaat markkinoilla olevat LED-lamput yltyvät nykyään jopa 210 lm/W valotehokkuuteen hehkulamppun valotehokkuuden ollessa vain noin 10 lm/W (Philips, 2021; Sähkötieto, 2017, liite 2). Taulukkoon 2 on listattu eri lähteistä kerättyjä valonlähteiden tavanomaisia valotehokkuuden arvoja. Taulukosta nähdään, että tehokkaimmat LED-lamput yltyvät parhaimmillaan jopa 20-kertaiseen energiatehokkuuteen hehkulamppuihin verrattuna.

**Taulukko 2.** Eri lähteistä kerättyjä valonlähteiden tyypillisiä valotehokkuuden arvoja (Philips, 2021; Stek, 2019; Sähkötieto, 2017, liite 2).

Lampputyyppi	Valotehokkuus, $\eta$ (lm/W)
LED-lamppu	80 – 210
Loistelamppu	60 – 100
Energiansäästölamppu	50 – 80
Halogeenilamppu	15 – 18
Hehkulamppu	10 – 12

### 2.3 Valovoima

Valovoiman yksikkö on kandela (cd) ja se soveltuu erityisesti kohdelamppujen valon tuoton vertailuun. Valovoima kuvaa valon intensiteettiä, kun valonlähteen säteilemä valon määrä kohdistetaan tiettyyn säteilykulmaan. Valovoiman määrä riippuu valonlähteen säteilemästä valovirrasta ja säteilykulmasta. Valonlähteen valovirran pysyessä samana sen valovoima kasvaa säteilykulman pienentyessä ja pienenee säteilykulman kasvaessa. Säteilykulman pysyessä samana, valovoima puolestaan kasvaa valovirran kasvaessa ja laskee valovirran pienentyessä. (Motiva, 2012b)

### 2.4 Väriämpötila

Valonlähteen säteilemän valon väriämpötila ilmoitetaan Kelvin-arvona, joka valonlähteestä riippuen vaihtelee lämpimän valkoisesta 2 700 Kelvinistä jopa 6 500 kelvinin kylmän valkoiseen väriämpötilaan. Esimerkiksi hehkulamppujen väriämpötila on aina lämpimän valkoinen, suunnilleen 2 700 Kelviniä, kun taas LED-lamppuja on saatavilla sekä lämpimän että kylmän valkoisilla väriämpötiloilla. LED-lampuista on saatavilla myös malleja, joiden väriämpötila on säädettävissä. Valonlähteen väriämpötila kannattaa ottaa huomioon mietittäessä, millainen tunnelma valaistavaan tilaan halutaan luoda. Taulukkoon 3 on listattu esimerkkejä eri valonlähteiden väriämpötiloista. (Motiva, 2016b)

**Taulukko 3.** Valonlähteiden väriämpötilat (Motiva, 2016b).

Valonlähde	Väriämpötila (K)
Hehkulamppu	2 700 K
Halogeenilamppu	3 000 K
Pienloistelamppu	2 700 – 4 000 K
Loistelamppu	2 700 – 6 500 K
LED-lamppu	2 700 – 6 500 K
Päivänvalo	5 500 K

## 2.5 Valonlähteen värintoistokyky

Värintoistoindeksi CRI kuvaa valonlähteen kykyä toistaa esineiden värejä suhteessa standardissa määritettyyn vertailuvalonlähteeseen asteikolla 0–100, jossa arvo 100 tarkoittaa täydellistä värintoistoa. Värintoistoindeksi CRI sisältää yhteensä 15 testiväriä, joista kahdeksan ensimmäistä otetaan huomioon valonlähteen värintoistokykyä laskettaessa. Valonlähteiden värintoistokyky lasketaan käytössä olevan standardin mukaisesti  $R_g$ -indeksin testivärien  $R_1$ – $R_8$  keskiarvona. Jokainen yksittäinen testiväri  $R_i$  saa arvon asteikolla 0–100 sen perusteella, miten paljon värintoisto poikkeaa vertailuvalonlähteeseen verrattuna samassa väriämpötilassa. (Khan, 2014, s. 100–101; Komission delegeoitu asetus (EU) 2019/2015)

Värintoistoindeksin lisäksi valonlähdevalmistajien on erikseen ilmoitettava lamppujen energiamerkintää koskevan asetuksen (Komission delegeoitu asetus (EU) 2019/2015, liite5) mukaan indeksin arvo  $R_9$ , joka kuvaa valonlähteen kykyä toistaa punaista väriä. Värintoistoindeksiä määritettäessä väriämpötilaltaan alle 5 000 Kelvinin valonlähteiden värintoistokykyä verrataan Planckin säteilijään, kun taas yli 5 000 Kelvinin valonlähteillä vertailukohtana käytetään päivänvalostandardeja. Kahdeksan testiväriin keskiarvona laskettava  $R_g$ -indeksi ei kuitenkaan toimi riittävän hyvin LED-lamppujen värintoistokyvyn mittarina, minkä vuoksi kansainvälisellä valaistuskomissio CIE:lla on suunnitteilla paremmin tähän tarkoitukseen sopiva menetelmä. Taulukossa 4

on esitetty millaista värintoistokykyä eri  $R_a$ -indeksin arvot vastaavat. (Teknologiateollisuus, 2019, s. 11–13)

**Taulukko 4.** Värintoistokyvyn vastaavuudet eri  $R_a$ -arvoille (Teknologiateollisuus, 2019, s.13).

<b><math>R_a</math>-vaihteluväli</b>	<b>Värintoisto-ominaisuudet</b>
57 – 66	Huono
67 – 76	Kohtalainen
77 – 86	Hyvä
87 – 100	Erinomainen

Suositusarvo kotitalouskäytössä olevan valolähteen värintoistokyvylle on 80 tai parempi. Esimerkiksi hehku- ja halogeenilampuilla on erinomainen värintoistokyky  $R_a$ -indeksin ollessa noin 100, kun se LED-lampuilla on suunnilleen 80. (Motiva, 2016c; Sähkötieto, 2017, liite 2)

### 3 Tutkimuksessa käytettävät lamput

Luvussa käsitellään lyhyesti tutkimuksen laskennallisessa osuudessa käytettävien lampujen teoriaa. Kotitalouksien valaistuksessa käytettävät hehku- ja halogeenilamput ovat joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta poistuneet markkinoilta huonon energiatehokkuutensa vuoksi. LED-lamput ovat energiatehokkain ja pitkäikäisin vaihtoehto lähes jokaiseen kotitalouden valaisimeen. Niiden energiatehokkuus on omaa luokkaansa ja sen odotetaan paranevan entisestään tulevaisuudessa. (Sähkötieto, 2017, s. 6–10)

#### 3.1 Hehkulamput

Hehkulampun volframista valmistettu hehkulanka alkaa säteillä valoa, kun siihen johdetaan tarvittava määrä sähkövirtaa lasikuvun alla olevassa hapettomassa tilassa. Hehkulamppu tuottaa sitä enemmän valoa, mitä kuumemmaksi hehkulangan lämpötila sähkövirralla nostetaan. Hehkulangan lämpötilan nostaminen lisää kuitenkin volframin höyrystymistä ja lyhentää näin ollen hehkulampun elinikää. Volframin sulamispiste on noin 3 655 kelviniä, mikä asettaa rajoituksia hehkulangan lämpötilalle. Hehkulamppujen hehkulangan tyypillinen käyttölämpötila on noin 2 700 kelviniä ja lampun elinikä noin 1 000 tuntia (Sähkötieto, 2017, liite 2). Hehkulangan lämpötilan nostaminen esimerkiksi 3 400 Kelvinin lämpötilaan tarkoittaisi, että lampun elinikä olisi vain muutamia tunteja. (Halonen ja Lehtovaara, 1992, s. 183–194)

Pienitehoisten alle 15 watin hehkulamppujen kuvun alla on tyhjä, kun taas suurempitehoiset hehkulamput on täytetty kaasuseoksella, josta suunnilleen 90 prosentin osuus on argonia ja noin 10 prosenttia typpeä. Kaasuseoksen tuoman vastapaineen on tarkoitus vähentää volframin höyrystymistä, joka tyhjässä on merkittävästi nopeampaa. Typen merkitys kaasuseoksessa on puolestaan estää argonin ionisoituminen ja valokaa- ren muodostuminen lampun sisällä. (Halonen ja Lehtovaara, 1992, s. 186–187)

Hehkulamppujen elinikä ja valovirta riippuvat voimakkaasti käyttöjännitteestä. Esimerkiksi viisi prosenttia nimellisjännitettä korkeampi käyttöjännite lisää hehkulampun va-

lovirtaa noin 18 prosentilla, mutta samalla lyhentää lampun elinikää lähes puolella. Viisi prosenttia nimellisjännitettä matalampi käyttöjännite puolestaan laskee hehkulampun valovirtaa 16 prosenttia, mutta lampun elinikä lähes kaksinkertaistuu. (Halonen ja Lehtovaara, 1992, s. 190)

### **3.2 Halogeenilamput**

Halogeenilamppujen toimintaperiaate on suurelta osin samanlainen kuin hehkulampuilla eli hehkulanka alkaa säteillä valoa sähkövirralla kuumennettaessa. Hehkulampuista poiketen halogeenilamppujen täytöskaasuun lisätään halogeenia, kuten jodia, bromia tai fluoria. Täytöskaasuun lisätty halogeeni saa aikaan kemiallisen reaktion, jossa hehkulangasta höyrystynyt volframi tarttuu halogeeniin ja palautuu virtauksen mukana takaisin hehkulankaan. Täytöskaasun suuremman paineen ansiosta hehkulangan oheneminen on vähäisempää kuin hehkulampuilla, mikä tarkoittaa myös pidempää elinikää. Lisäksi halogeenilampun hehkulanka on mahdollista kuumentaa noin 3 000 kelvinin lämpötilaan, mikä tarkoittaa parempaa valotehokkuutta suhteessa hehkulamppuihin. (Halonen ja Lehtovaara, 1992, s. 194–199)

### **3.3 LED-lamput**

LED eli valodiodi on puolijohde, joka alkaa säteillä valoa, kun sen p-n-liitokseen johdetaan myötäsuuntainen jännite. Suoraan 230 voltin verkkoon kytkettävät kotitalouden LED-lamput tarvitsevat toimiakseen lampun kantaan asennettavan ohjaimen, jolla verkosta tuleva vaihtovirta saadaan muutettua diodille sopivaksi tasavirraksi. LED-lamppujen valontuotto lisääntyy virran kasvaessa, mutta samalla kasvaa myös lämpötila, joka on LED-lamppujen pahin vihollinen. (Hidealite, 2019; Sähkötieto, 2017, s. 4–6)

Vaikka LED-lamput ovat energiatehokkaita, niin vain osa niihin johdetusta sähköenergiasta muuttuu valoksi ja loppu lämmöksi. Ohjausvirran lisäksi LED-lamppujen lämpötilaan vaikuttavat ympäristön lämpötila ja se miten hyvin lampun



jäähdytys on toteutettu. Lämpö ei poistu ledistä säteilemällä, joten se on johdettava pois esimerkiksi lampun kantaan asennettavan jäähdytyslevyn avulla. Ulkonäöltään hehkulamppuja muistuttavat LED-filamenttilamput on puolestaan täytetty heliumilla, jonka avulla ledissä syntynyt lämpö ohjataan ensin lampun kupuun ja sitä kautta ulos lampusta. Aluksi korkea lämpötila laskee LED-lampun valontuottoa, mutta pitkäaikainen lämpörasitus nopeuttaa valovirranalenemaa ja näin ollen lyhentää lampun elinikää. (Hidealite, 2019; Sähkötieto, 2017, s. 4–6)

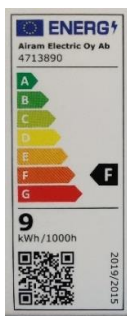
Ledeillä voidaan tuottaa valaistuksessa tarvittavaa valkoista valoa esimerkiksi päällystämällä sininen LED keltaisesta fosforijauheesta koostuvalla loisteainekerroksella. Tässä menetelmässä valon väriämpötilaan voidaan vaikuttaa loisteaineen ominaisuuksia muuttamalla. Valkoista valoa voidaan tuottaa myös punaisen, vihreän ja sinisen ledin yhdistelmällä, sekoittamalla niiden valoa sopivassa suhteessa. Tällaisella RGB-lampulla voidaan toistaa valkoisen valon eri sävyjen lisäksi lukematon määrä eri värejä. RGB-tekniikalla ei kuitenkaan päästä värintoistokyvyssä samalle tasolle, kuin sinisestä ledistä tehdyllä valkoisella ledillä. RGB-lamppuun voidaan kuitenkin värintoistokyvyn parantamiseksi lisätä valkoisia ledejä, jolloin lopputuloksena on RGBW-lamppu. (Hidealite, 2019; Sähkötieto, 2017, s. 4–6)

LED-lamppujen himmennys on toteutettu joko pulssinleveysmodulaatiolla tai amplitudimodulaatiolla. Pulssinleveysmodulaatiossa LED-lampun ohjausvirtaa katkotaan korkealla yli 300 hertsin taajuudella. Käytännössä lamppu siis syttyy ja sammuu niin nopeasti, ettei ihmissilmä pysty sitä erottamaan. Amplitudimodulaatiossa LED-lampun ohjausvirtaa vähennetään, mikä saa aikaan valon määrän vähenemisen. Molemmilla tekniikoilla LED-lamppuja voidaan himmentää portaattomasti nollan ja sadan prosentin välillä. Himmennyksellä saadaan aikaan säästöä energiankulutuksessa, mutta alhaisempi ohjausvirta helpottaa myös LED-lampun lämmönhallintaa. Alhaisempi lämpötila pidentää LED-lampun elinikää. (Hidealite, 2019)

## 4 Valonlähteiden uusi energiamerkintä

Lamppujen energiamerkintää ja ekosuunnittelua koskeva uusi asetus astui voimaan 1. syyskuuta 2021 kaikissa EU-maissa. Lamputille asetettujen uusien vaatimusten odotetaan tuovan jopa 42 TWh vuotuiset energiasäästöt EU:n alueella vuodesta 2030 alkaen. Energiatohokkuusluokka ilmoitetaan uuden asetuksen mukaan asteikolla G-A, luokan A ollessa energiatohokkain. Ennen muutosta lamppujen energiatohokkuusasteikko oli E-A++ (Komission delegoitu asetus (EU) N:o 874/2012, liite 1). Tällä hetkellä kauppojen hyllyillä saattaa vielä näkyä lamppuja sekä uudella että vanhalla energiamerkinnällä. Kaikissa myytävissä lamputissa on kuitenkin oltava uuden asetuksen mukainen energiamerkki viimeistään 1. maaliskuuta 2023. (Energiavirasto, 2021)

Kuvassa 1 on uuden lamppujen energiamerkintää koskevan asetuksen (Komission delegoitu asetus (EU) 2019/2015, liite 3) mukainen energiamerkki, joka on otettu Airamin älylampusta. Energiamerkin yläosassa ovat tavarantoimittajan tiedot ja lampun mallin tunnistenumero. Merkin keskiosasta löytyy lampun energiatohokkuusluokka, jonka alapuolelle on merkitty lampun vuosittainen energiankulutus, QR-koodi ja sen asetuksen numero, jonka mukaan energiamerkki on laadittu. QR-koodin skannaamalla pääsee EPREL-tietokannan julkiseen osaan, jonne tavarantoimittajien on syötettävä asetuksessa määrätty tiedot valonlähteen markkinoille saattamiseksi. Lamppujen vuosittainen energiankulutus ilmoitetaan kilowattitunteina 1 000 tuntia kohden pyöristettynä ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun.



**Kuva 1.** Airamin älylampun uuden asetuksen mukainen energiamerkki.

Valonlähteiden energiamerkintää koskevan asetuksen (Komission delegoitu asetus (EU) 2019/2015) tarkoitus on saattaa markkinoille entistä energiatehokkaampia ja kestävämpiä lamppeja ja vähentää energiankulutusta. Energiamerkki auttaa myös kuluttajia, koska tuotteiden jakaminen eri luokkiin niiden energiatehokkuuden perusteella auttaa valitsemaan energiatehokkaita tuotteita (Energiavirasto, 2021). Asetuksia tarkastellaan säännöllisesti uudelleen. Nykyistä valonlähteiden energiamerkintää koskevaa asetusta on tarkoitus tarkastella uudelleen viimeistään 25. joulukuuta 2024 (Komission delegoitu asetus (EU) 2019/2015, art. 8).

Siinä vaiheessa, kun suurin osa tuotteista kuuluu parhaimpaan energiatehokkuusluokkaan, yritykset eivät motivoitu kehittämään tuotteistaan energiatehokkaampia. Tämän vuoksi energiatehokkuusluokkien uudelleenskaalauksessa pyritään siihen, että energiatehokkain luokka jäisi aluksi tyhjäksi. (Motiva, 2021) Tämä ei kuitenkaan täysin toteutunut valonlähteiden energiamerkintää koskevan uuden asetuksen kohdalla. Muutama päivä ennen uuden asetuksen astumista voimaan uutisoitiin Philipsin tuovan markkinoille ensimmäiset uuden asetuksen mukaiseen energiatehokkaimpaan A-luokkaan kuuluvat lamput 1. syyskuuta 2021 eli samana päivänä, jolloin uusi asetus astuu voimaan (Signify, 2021). Näiden Philips ultra efficient -sarjan lampujen valotehokkuus on 210 lumenia per watti ja niiden luvataan kestävän käytössä jopa 50 000 tuntia (Philips, 2021).

#### 4.1 Energiatehokkuusluokan määrittäminen

Valonlähteiden energiatehokkuusluokka määräytyy uuden asetuksen mukaan lähes suoraan valotehokkuuden perusteella (Komission delegoitu asetus (EU) 2019/2015, liite 2). Lampun energiatehokkuusluokka on siis sitä parempi, mitä enemmän valoa se tuottaa kulutettua sähkötehoa kohti. Valonlähteiden verkkojännitteinen kokonaistehokkuus, jonka mukaan energiatehokkuusluokka määräytyy, lasketaan kaavalla 1

$$\eta_{TM} = \frac{\Phi_{use}}{P_{on}} \times F_{TM}, \quad (1)$$

missä

$\eta_{TM}$	verkkojännitteinen kokonaistehokkuus
$\Phi_{use}$	lampulle ilmoitettu hyötyvalovirta
$P_{on}$	lampulle ilmoitettu teho päälle kytkettynä
$F_{TM}$	sovellettava kerroin valonlähdetyypin mukaan

Verkkojännitteisen kokonaistehokkuuden yksikkö on lumenia per watti (lm/W). Hyötyvalovirralla tarkoitetaan lampulle ilmoitettua valovirtaa lumeneina, joka otetaan huomioon energiatehokkuusluokkaa määritettäessä. Teholla  $P_{on}$  puolestaan tarkoitetaan valonlähteen sähkötehoa watteina, jonka se täydellä valovirralla kuluttaa. (Komission delegoitu asetus (EU) 2019/2015, liite 1) Kertoimen  $F_{TM}$  arvot eri valonlähdetyypeille on listattu taulukkoon 5, josta nähdään sen olevan esimerkiksi ympärisäteileville verkkovirralla toimiville lampuille tasan yksi. Tämä tarkoittaa, että näiden lamppujen energiatehokkuusluokka määräytyy suoraan valotehokkuuden lm/W perusteella.

**Taulukko 5.** Kerroin  $F_{TM}$  valonlähdetyypeittäin (Komission delegoitu asetus (EU) 2019/2015, liite 2, taul. 2).

Valonlähdetyyppi	Kerroin $F_{TM}$
Ympärisäteilevä, toimii verkkovirralla	1,000
Ympärisäteilevä, ei toimi verkkovirralla	0,926
Suuntaava, toimii verkkovirralla	1,176
Suuntaava, ei toimi verkkovirralla	1,089

Valonlähteiden energiatehokkuusluokka määräytyy verkkojännitteisen kokonaistehokkuuden  $\eta_{TM}$  perusteella taulukon 6 mukaisesti. Valonlähteen valotehokkuuden on oltava vähintään 210 lumenia per watti, jotta se kuuluu energiatehokkaimpaan A-luokkaan.

**Taulukko 6.** Valonlähteiden energiatehokkuusluokat (Komission delegoitu asetus (EU) 2019/2015, liite 2, taul. 1).

<b>Energiatehokkuusluokka</b>	<b>Verkojännitteinen kokonaistehokkuus <math>\eta_{TM}</math> (lm/W)</b>
A	$210 \leq \eta_{TM}$
B	$185 \leq \eta_{TM} < 210$
C	$160 \leq \eta_{TM} < 185$
D	$135 \leq \eta_{TM} < 160$
E	$110 \leq \eta_{TM} < 135$
F	$85 \leq \eta_{TM} < 110$
G	$\eta_{TM} < 85$

## 5 Materiaalit ja menetelmä

Tutkimuksessa selvitetään laskemalla Wi-Fi-älylamppujen energiankulutus ja elinkaari-kustannukset, sekä takaisinmaksuaika hehkulamppuja korvattaessa. Tutkimuksessa käytetään apuna energiankulutusmittaria, jotta saadaan selville millainen vaikutus kirkkauden säädöllä ja verkkovalmiustilateholla on älylamppujen energiankulutukseen. Älylamppuille laskettuja tuloksia verrataan perinteisille LED-lamppuille laskettuihin tuloksiin. Tavoitteena on selvittää, voiko älylamppuilla saada aikaan säästöä energiankulutuksessa perinteisiin LED-lamppuihin verrattuna.

Tässä tutkimuksessa perinteisistä LED-lampuista puhuttaessa tarkoitetaan LED-lamppuja, joita voidaan ohjata vain perinteisen valokatkaisimen välityksellä, ja jotka eivät ole valaistusominaisuuksiltaan säädettävissä. Älylampulla puolestaan tarkoitetaan valaistusominaisuuksiltaan säädettävissä olevaa lamppua, joka on yhdistetty kodin langattomaan verkkoon, ja on ohjattavissa Wi-Fi-yhteydellä valmistajakohtaisen mobiilisovelluksen välityksellä. Tutkimuskohteeksi valittiin Wi-Fi-yhteydellä toimivat älylamput, koska ne voidaan yhdistää testausta varten suoraan kodin langattomaan verkkoon ilman erillistä tukiasemaa, jonka esimerkiksi Zigbee-yhteydellä toimivat Philips Hue -älylamput vaativat verkkoon kytkeytyäkseen (Airam, 2021; Philips, 2020).

### 5.1 Vertailtavat LED-lamput

Tutkimusta varten valittiin Airamin tuotevalikoimasta kolme erityyppistä Wi-Fi-älylamppua. Vertailua varten markkinoilla olevasta valikoimasta valittiin yksi tai useampi kutakin älylamppua vastaava perinteinen LED-lamppu. Valikoidut LED-lamput jaettiin kolmeen ryhmään niiden hehkulamppuvastaavuuksien perusteella. Tutkimuksessa suoritettavia mittauksia varten hankittiin ryhmän 1 ja 2 E27-kantaiset älylamput.

Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat lamput ovat E27-kantaisia LED-filamenttilamppuja. Ryhmän lamput löytyvät taulukosta 7 ja vastaavat maksimivalovirraltaan 40 watin hehkulamppua. Tutkittava Airam Smart Home älylamppu eroaa ryhmän muista lamppuista

edukseen älylampulle tyypillisillä ominaisuuksilla, kuten älykkäällä ohjattavuudella ja valaistusominaisuuksien säädettävyydellä. Airam Smart Home -älylampun kirkkaus on säädettävissä välillä 1–100 prosenttia ja värilämpötila vaihdettavissa lämpimän valkoisen ja kylmän valkoisen väliltä. Älylampulle ilmoitetun puolen watin verkkovalmiustilatehon voidaan olettaa tasoittavan kirkkauden säädöllä saatua hyötyä energiankulutuksessa.

Älylampun vertailukohdiksi valittiin kaksi perinteistä LED-lamppua. Airam perinteinen LED-lamppu on energiatehokkuudeltaan samaa luokkaa Airam älylampun kanssa ja suurin eroavaisuus näiden kahden lampun välillä älyominaisuuksien lisäksi on lampun hankintahinta. Philipsin LED-lamppu puolestaan valittiin älylampun vertailukohdaksi sen perusteella, että sen Ultra Efficient -sarjan lamput kuuluvat uuden lamppujen energiamerkintää koskevan asetuksen (Komission delegoitu asetus (EU) 2019/2015, liite 2, taul. 1) mukaiseen energiatehokkaimpaan A-luokkaan. Philipsin LED-lamppu erottuu ryhmän muista lamputa edukseen myös pitkän polttoikänsä ansiosta.

**Taulukko 7.** Vertailtavat 40 watin hehkulamppua vastaavat LED-lamput.

<b>Ryhmä 1</b>	<b>Airam Smart Home</b>	<b>Airam LED</b>	<b>Philips Ultra Efficient</b>
Kanta	E27	E27	E27
Energiatehokkuusluokka	F	F	A
Teho päällä (W)	4,5	4,5	2,3
Verkkovalmiustilateho (W)	0,5	0,0	0,0
Valovirta (lm)	470	470	485
Himmennettävä	Kyllä	Ei	Ei
Värilämpötila (K)	2 700 – 6 500	2 700	3 000
Polttoikä (h)	15 000	15 000	50 000
Hinta (€)	9,95	2,60	9,90

Ensimmäisen ryhmän tapaan myös toiseen vertailuryhmään valittiin Airam älylampun lisäksi Airam perinteinen ja Philipsin energiatehokas LED-lamppu. Ryhmän 2 LED-

lamput ominaisuuksineen löytyvät taulukosta 8 ja vastaavat valovirraltaan 60 watin hehkulamppua. Ryhmän perinteiset lamput ovat LED-filamenttilamppuja, kun taas älylamppuna toimii Airam RGBW LED-lamppu. Tämä johtuu siitä, että Airam Smart Home -valikoimasta ei löydy 60 watin hehkulamppua vastaavaa LED-filamenttilamppua. Myös tässä ryhmässä Airam älylamppun puolesta puhuvat älykäs ohjaus ja säädettävyys. Airam perinteisen LED-lampun etuna on puolestaan edullinen hankintahinta Philipsin lampun ollessa ryhmän selkeästi energiatehokkain ja pitkäikäisin vaihtoehto.

**Taulukko 8.** Vertailtavat 60 watin hehkulamppua vastaavat LED-lamput.

<b>Ryhmä 2</b>	<b>Airam Smart Home</b>	<b>Airam LED</b>	<b>Philips Ultra Efficient</b>
Kanta	E27	E27	E27
Energiatehokkuusluokka	F	E	A
Teho päällä (W)	9	7	4
Verkkoalmiustilateho (W)	0,5	0,0	0,0
Valovirta (lm)	806	806	840
Himmennettävä	Kyllä	Ei	Ei
Väriämpötila (K)	2 700 – 6 500	2 700	3 000
Polttoikä (h)	15 000	15 000	50 000
Hinta (€)	9,95	4,25	11,90

Philipsin Ultra Efficient -sarjan lamppuja löytyy tällä hetkellä ainoastaan E27-kannalla. Philipsin lamppuvalikoimasta ei siis löytynyt energiatehokasta ja pitkäikäistä haastajaa ryhmään 3, jossa vertailun kohteena ovat GU10-kantaiset LED-kohdelamput. Tämän ryhmän lamput ovat Airam Smart Home RGBW LED-kohdelamppu ja samaan energiatehokkuusluokkaan kuuluva Airam perinteinen väriämpötilaltaan lämpimän valkoinen LED-kohdelamppu. Ryhmän 3 lamppujen tarkemmat tiedot ovat nähtävissä taulukossa 9. Suurin ero vertailtavien lamppujen välillä on niiden hankintahinnassa, joka älylamppulla on yli kolminkertainen perinteiseen LED-kohdelamppuun verrattuna. Ryhmän LED-lamppujen hehkulamppuvastaavuus on 50 wattia.



**Taulukko 9.** Vertailtavat 50 watin hehkulamppua vastaavat LED-kohdelamput.

<b>Ryhmä 3</b>	<b>Airam Smart Home</b>	<b>Airam Oiva LED</b>
Kanta	GU10	GU10
Energiatehokkuusluokka	F	F
Teho päällä (W)	4,7	4,2
Verkkovalmiustilateho (W)	0,5	0,0
Säteilykulma	90°	90°
Valovirta (lm)	345	370
Himmennettävä	Kyllä	Ei
Väriämpötila (K)	2 700 – 6 500	3 000
Polttoikä (h)	15 000	15 000
Hinta (€)	9,95	2,95

## 5.2 Tutkimuksen laskennallinen osuus

Tutkimuksessa lasketaan aiemmin tässä luvussa esiteltyjen lamppujen energiankulutus, elinkaarikustannukset ja takaisinmaksuaika hehkulamppua korvattaessa. Laskelmissa hyödynnetään pienin muutoksin LED-lamppujen takaisinmaksuaikoja käsittelevää kandidaatintutkielmaa (Kallio, 2021) varten luotua Excel-pohjaista laskentatyökalua.

Takaisinmaksuaikaa ja elinkaarikustannuksia laskettaessa käytetään sähkönkäytön kustannuksista esimerkkihintaa 20 snt/kWh. Hinta sisältää sähköenergian ja sähkönsiirron osat, joihin energiankulutuksella on vaikutusta. Laskelmissa oletetaan sähkön hinnan pysyvän samana eli tutkimuksessa ei oteta huomioon sähkön hinnassa mahdollisesti tapahtuvia muutoksia.

Wi-Fi-älylamput täytyy kytkeä kodin WLAN-verkkoon, jotta niiden älyominaisuudet ovat käytettävissä. Tutkimuksen laskelmissa ei kuitenkaan oteta huomioon kodin langattoman verkon käyttökustannuksia. Oletuksena on, että langatonta verkkoa ei hankita älylamppuja varten, vaan älylamput hankitaan kotitalouteen, jossa WLAN-verkko on jo valmiina, ja jota hyödyntävät myös kodin muut älylaitteet.

### 5.3 Takaisinmaksuajan laskenta

Takaisinmaksuajan laskentaa varten tarvittavat tiedot ovat sähkön hinta, vertailtavien lamppujen sähkötehot ja korvaavan lampun hankintahinta. Lampun takaisinmaksuajan määrittämisessä perusajatus on, että lamppu on maksanut itsensä takaisin, kun energiankulutuksella saavutetut säästöt kattavat lampun hankintahinnan. Tämä voidaan kuva-  
ta kaavalla 2 (Kallio, 2021, s. 13)

$$\text{Sähkön hinta} \times t_0 \times (P_1 - P_2) = \text{Investointi}, \quad (2)$$

missä sähkön hinnalla tarkoitetaan sähkön energia- ja siirtohintaa,  $t_0$  on lampun takaisinmaksuaika,  $P_1$  on korvattavan ja  $P_2$  korvaavan lampun sähköteho ja investointi on korvaavan lampun hankintahinta. Takaisinmaksuajan yhtälö voidaan johtaa kaavasta 2. Se lasketaan jakamalla korvaavan lampun hankintahinta sähkön hinnan ja lamppujen tehoeron tulolla. Kun sähkön hinta annetaan yksikössä €/Wh, voidaan lampun hankintahinta antaa euroina ja lamppujen tehot watteina. Näin ollen lampun takaisinmaksuaika tunteina saadaan selville kaavalla 3. (Kallio, 2021, s. 13)

$$t_0 = \frac{\text{Investointi}}{\text{Sähkön hinta} \times (P_1 - P_2)} \quad (3)$$

Kaava 3 soveltuu käytettäväksi perinteisten lamppujen takaisinmaksuajan laskemiseen. Älylampun takaisinmaksuajan laskeminen on kuitenkin hieman monimutkaisempaa johtuen energiankulutuksesta verkkovalmiustilassa. Lisäksi on otettava huomioon lampun himmentämisen vaikutus energiankulutukseen. Nämä asiat huomioiden perusajatus on sama. Älylamppu on maksanut itsensä takaisin, kun energiankulutuksesta syntyvät säästöt ovat lampun hankintahinnan suuruiset. Tämä on esitetty kaavassa 4

$$\text{Sähkön hinta} \times t_0 \times [P_1 - (k \times P_{on} + t_{off} \times P_{off})] = \text{Investointi}, \quad (4)$$

missä  $k$  on himmennuksen vaikutuksen huomioon ottava korjauskerroin älylampun teholle,  $P_{on}$  on älylampun täysi sähköteho,  $t_{off}$  on älylampun aika verkkovalmiustilassa ja  $P_{off}$  on älylampun verkkovalmiustilassa kuluttama sähköteho. Tutkittavista lamputiedetään valmistajan ilmoittamien tietojen perusteella niiden täysi sähköteho ja verkkovalmiustilateho. Kertoimen  $k$  määrittämiseksi täytyy tietää, millainen vaikutus lampun kirkkauden säädöllä on sen sähkötehoon. Himmennyksen ja tehon suhteen selvittämiseen käytetään apuna energiankulutusmittaria ja tehdään sen perusteella matemaattinen malli kertoimelle  $k$ .

Aika  $t_{off}$ , jonka älylamppu on verkkovalmiustilassa, riippuu ajasta, jonka lamppu on päällä. Tästä johtuen ajan  $t_{off}$  selvittämiseksi tarvitaan tietoa siitä, miten paljon lamppu on pois päältä suhteessa aikaan, jonka se on päällä. Asia on helpointa ajatella vuositasolla. Kotitalouden sisävalaistuksessa lampun keskimääräinen polttoaika on 1 000 tuntia vuodessa (Motiva, 2012a). Koska vuodessa on 8 760 tuntia, on kodin verkkoon yhdistetty älylamppu verkkovalmiustilassa keskimäärin 7 760 tuntia vuodessa. Aika verkkovalmiustilassa on täten 7,76 kertainen päälläoloaikaan verrattuna, joten  $t_{off} = 7,76t_0$ . Mikäli lampun pois päältä ja päälläoloajan suhde poikkeavat keskimääräisestä, voidaan verkkovalmiustila-aika laskea kaavalla 5, jossa päällä vuodessa tarkoittaa lampun arvioitua vuosittaista polttoaikaa tunteina.

$$t_{off} = \frac{8760 - \text{Päällä vuodessa}}{\text{Päällä vuodessa}} \times t_0 \quad (5)$$

Määritettyä keskimääräistä verkkovalmiustila-aikaa on tarkoitus käyttää tämän tutkimuksen laskelmissa. Keskimääräinen verkkovalmiustila-aika voidaan sijoittaa kaavaan 4, josta saadaan johdettua kaavan 6 yhtälö keskimääräisellä 1 000 tunnin vuosittaisella käytöllä olevan älylampun takaisinmaksuajalle.

$$t_0 = \frac{\text{Investointi}}{\text{Sähkön hinta} \times [P_1 - (k \times P_{on} + 7,76 \times P_{off})]} \quad (6)$$

## 5.4 Energiankulutuksen laskenta

Perinteisen lampun energiankulutus tarkasteltavalla ajanjaksolla saadaan selville, kun kerrotaan lampun sähköteho tarkasteltavan ajanjakson pituudella. Älylampun energiankulutuksen laskemisessa pitää takaisinmaksuajan laskemisen tapaan ottaa huomioon himmennysten vaikutus ja verkkovalmiustilan tehonkulutus. Keskimääräisellä 1 000 tunnin vuosittaisella käytöllä olevan älylampun energiankulutus tarkasteltavalla ajanjaksolla voidaan laskea kaavalla 7

$$t \times (k \times P_{on} + 7,76 \times P_{off}) = \text{Energiankulutus}, \quad (7)$$

missä  $t$  on tarkasteltavan ajanjakson kesto tunteina. Lampun energiankulutus saadaan joko wattitunteina, tai kilowattitunteina riippuen siitä annetaanko lampun tehot watteina vai kilowatteina.

## 5.5 Elinkaarikustannusten laskenta

Kotitalouskäytössä olevan lampun elinkaarikustannukset koostuvat pääasiassa hankintahinnasta ja käyttökustannuksista lampun elinkaaren ajalta. Muita mahdollisia kustannuksia voisi koitua lampun ennenaikaisesta hajoamisesta tai huoltokustannuksista. Lampun huoltokustannukset voisivat aiheutua esimerkiksi lampun likaantumisesta. (Motiva, 2017a) Kotitalouskäytössä lamppujen puhdistus voidaan kuitenkin suorittaa useimmiten itse. Kotitalouskäytössä olevan lampun ensimmäisen vuoden kustannukset muodostuvat hankintahinnasta ja käyttökustannuksista. Tämän jälkeen lampun kustannukset koostuvat ainoastaan vuosittaisista käyttökustannuksista, jotka voidaan laskea kaavalla 8

$$\text{Sähkön hinta} \times t \times \left( k \times P_{on} + \frac{8760-t}{t} \times P_{off} \right) = \text{Kustannukset vuodessa}, \quad (8)$$

missä  $t$  on lampun polttoaika vuodessa. Tämän tutkimuksen elinkaarikustannusten laskelmissa lampun vuosittaisena polttoaikana käytetään 1 000 tuntia. Laskelmissa ei ote-

ta huomioon mahdollisia huoltokustannuksia tai ennenaikaisen vikaantumisen mahdollisuutta. Kaikkia älylampuille tarkoitettuja kaavoja voidaan käyttää myös perinteisille lampuille sijoittamalla verkkovalmiustilatehon  $P_{off}$  olevan 0 wattia.

## 6 Himmennyksen vaikutus älylampun energiankulutukseen

Tutkimuksessa selvitettiin energiankulutusmittaria apuna käyttäen, miten kirkkauden säätö vaikuttaa älylamppujen energiankulutukseen. Ennen mittausta lähtötietoina olivat valmistajan ilmoittamat lukemat lampun teholle täydellä valovirralla ja verkkovalmiustilassa. Näiden arvojen välillä tehon ja kirkkauden suhteesta ei ollut tietoa. Mittausten tarkoituksena oli luoda matemaattinen malli kaavoissa esiintyneelle himmennuksen vaikutuksen huomioivalle kertoimelle  $k$ .

Tutkimuksen mittauksissa käytettiin mittalaitteena suoraan pistorasiaan asetettavaa AXEL-merkkistä energiankulutusmittaria, jonka tehon mittausalue on 0,1–3 680 wattia ja tehon mittaustarkkuudeksi on ilmoitettu  $\pm 2$  prosenttia. Mittauksissa energiankulutusmittari kytkettiin lampun ja pistorasian väliin mittaamaan tehoa, jonka jälkeen kodin langattomaan verkkoon kytketyn älylampun kirkkautta säädettiin Airam Smart Home -sovelluksen välityksellä. Älylampun tiettyä kirkkausprosenttia vastaavat teholutumat kirjattiin Exceliin, jonka jälkeen tiedoista piirrettiin kuvaaja.

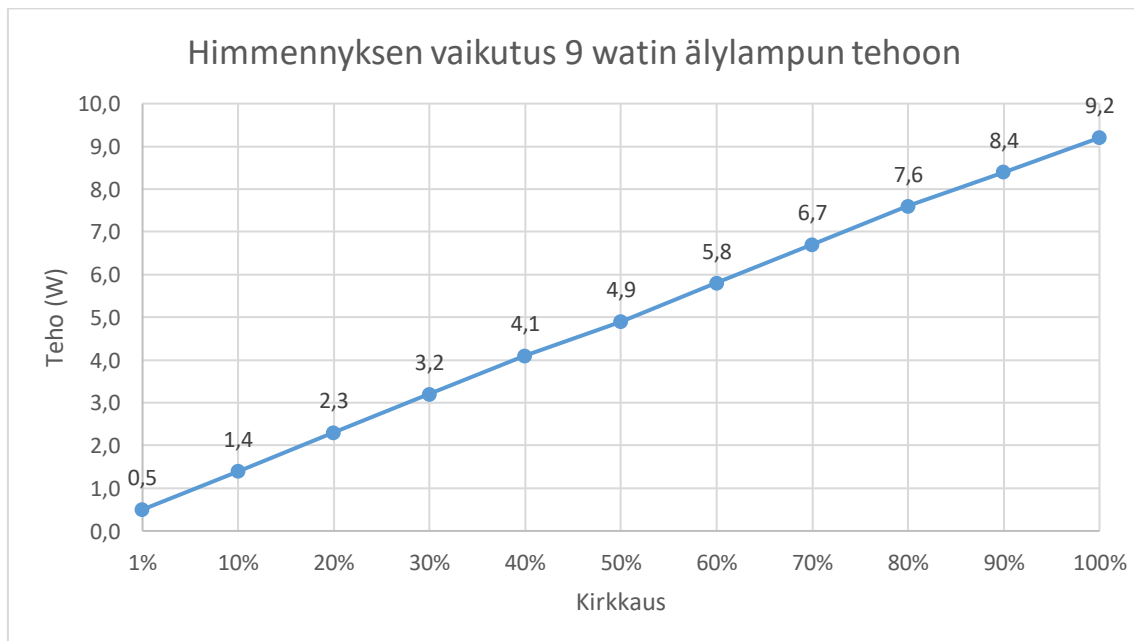
### 6.1 Älylamppuille tehdyt mittaukset

Mittaukset suoritettiin ensin ryhmän 2 Airam Smart Home -älylampulle, jonka teho on valmistajan toimesta ilmoitettu olevan 9 wattia täydellä valovirralla. Lampun himmennuksen ja tehon suhde on esitetty kuviossa 1, josta nähdään sen olevan lineaarinen. Lampun teho on 9,2 wattia kirkkauden ollessa 100 prosenttia, kun taas kirkkauden ollessa yhden prosentin, on lampun kuluttama teho noin 0,5 wattia. Lampun kirkkauden ollessa yhden prosentin, mittarin näyttämä teholutema vaihteli 0,3 ja 0,7 watin välillä.

Pieni ero lampulle ilmoitetussa ja mitatussa maksimitehossa saattaa johtua esimerkiksi valaisimen häviöistä tai mittarin mittaustarkkuudesta. Mitattu 0,2 watin poikkeama kyseiselle lampulle mitatussa ja ilmoitetussa tehossa on kuitenkin lamppujen energiamerkintää koskevan asetuksen sallimissa rajoissa. Asetuksen mukaan (Komission

delegoitu asetus (EU) 2019/2015) teholtaan 9 watin lampulle määritetty teho saa tarkastuksessa olla korkeintaan 5 prosenttia ilmoitettua arvoa suurempi eli 9,45 wattia.

Ennakkokäsityksistä poiketen energiankulutusmittari näytti älylampun tehoksi enimmäkseen 0,0 wattia lampun ollessa pois päältä. Kun lamppu kytkettiin mobiilisovelluksen kautta pois päältä, mittarilukema jäi hetkeksi näyttämään 0,3 watin tehoa ennen vaihtumista nolnaan. Pitkään mittaria tarkkailemalla voitiin todeta, että älylampun verkkovalmiustilateho oli suurimman osan ajasta 0,0 wattia. Mittarin teholutema vaihtui välillä hetkellisesti näyttämään joko 0,3 tai 0,5 wattia, jonka jälkeen se palautui jälleen nolnaan ja pysyi siellä pitkään.



**Kuvio 1.** Kirkkauden ja tehon suhde teholtaan 9 watin Airam Smart Home älylampulle.

Mittaustulokset olivat samansuuntaisia myös ryhmän 1, teholtaan 4,5 watin Airam Smart Home -älylampulle. Tämän lampun mitattu teho 100 prosentin kirkkaudella oli 4,4 wattia. Yhden prosentin kirkkaudella teholutema puolestaan vaihteli 0,3 ja 0,5 watin välillä. Lampun kirkkautta säädettäessä teho laski lineaarisesti kirkkauden laskiessa. Verkkovalmiustilateho käyttäytyi samalla tavalla kuin ryhmän 2 älylampun kohdalla ollen suurimman osan ajasta 0,0 wattia. Tämä on nähtävissä kuvasta 2, joka on otettu

mittauksien aikana 4,5 watin älylampusta sen ollessa verkkovalmiustilassa. Ryhmän 3 GU10 -kantiselle Airam Smart Home -älylampulle ei suoritettu vastaavia mittauksia kuin tutkimuksen muille älylamppuille. Kyseisen lampun energiankulutuksen oletetaan kuitenkin käyttäytyvän samalla tavalla kuin ryhmien 1 ja 2 älylamppuilla.



**Kuva 2.** Teholtaan 4,5 watin Airam Smart Home -älylamppu verkkovalmiustilassa.

Tutkittavien älylamppujen energiankulutus verkkovalmiustilassa osoittautui mittausten perusteella oletettua pienemmäksi. Sen sijaan, että lamppujen verkkovalmiustilateho olisi ollut jatkuvasti ilmoitettu 0,5 wattia, se oli sen verran vain ajoittain ja hetkellisesti. Verkkovalmiustilan energiankulutuksesta ei käytössä olevalla mittalaitteella saatu tarkempaa tietoa. Tehtyjen mittausten perusteella todettiin tutkittavien älylamppujen verkkovalmiustilan energiankulutuksen olevan niin vähäistä, ettei sitä ollut syytä ottaa huomioon älylamppuille suoritettavissa laskelmissa.



## 6.2 Matemaattinen malli kertoimelle $k$

Tehtyjen mittausten perusteella todettiin tutkittavien älylamppujen tehon ja himmenyksen suhteen olevan lineaarinen säädettäessä lamppujen kirkkautta välillä 1–100 prosenttia. Älylamppujen teho oli yhden prosentin kirkkaudella noin 0,5 wattia ja täydellä teholla suunnilleen sen verran, mitä valmistaja oli ilmoittanut lampun maksimitehon olevan. Nämä asiat huomioiden tehtiin matemaattinen malli kertoimelle  $k$  suoran yhtälön avulla.

Kun tiedettiin lampun teho yhden ja sadan prosentin kirkkauksilla, voitiin suoran yhtälön avulla laskea teho millä tahansa muulla kirkkaudella tältä väliltä. Kerroin  $k$  tietyllä kirkkaudella saatiin selville jakamalla halutun kirkkauden teholumena lampun täydellä teholla. Taulukkoon 10 on listattu ryhmän 1 älylampulle matemaattisen mallin avulla lasketut tehon ja kertoimen  $k$  arvot eri kirkkausprosentteilla. Esimerkiksi 80 prosentin kirkkaudella kerroin  $k$  saadaan selville jakamalla 80 prosentin kirkkauden teho 100 prosentin kirkkauden teholla. Toisaalta lampun teho 80 prosentin kirkkaudella saadaan selville kertomalla lampun maksimiteho 80 prosentin kirkkauden  $k$  kertoimella. Tehon ja kertoimen  $k$  arvot on taulukossa 10 pyöristetty kahteen desimaaliin. Tutkimuksen laskelmissa käytettiin kuitenkin tarkkoja arvoja.

**Taulukko 10.** Teho ja kerroin  $k$  eri kirkkauden arvoilla 4,5 watin älylampulle.

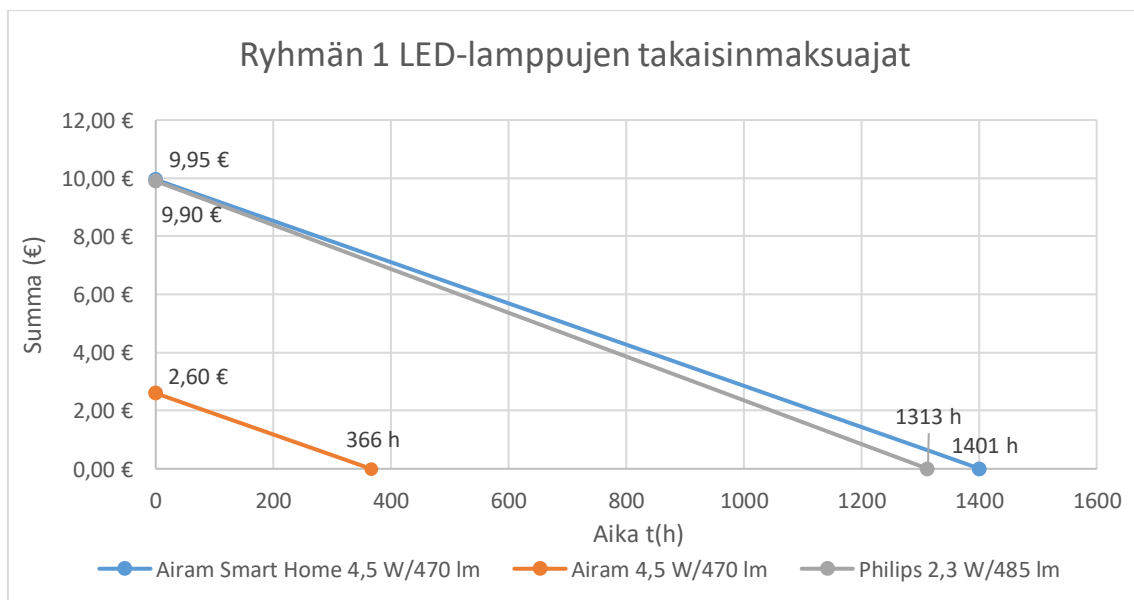
<b>Kirkkaus</b>	<b>Teho (W)</b>	<b>Kerroin <math>k</math></b>
1 %	0,50	0,11
10 %	0,86	0,19
20 %	1,27	0,28
30 %	1,67	0,37
40 %	2,08	0,46
50 %	2,48	0,55
60 %	2,88	0,64
70 %	3,29	0,73
80 %	3,69	0,82
90 %	4,10	0,91
100 %	4,50	1,00

## 7 LED-lamppujen takaisinmaksuajat

Tutkimukseen valikoiduille LED-lampuille laskettiin takaisinmaksuajat valon määrältään vastaavia hehkulamppuja korvattaessa. Lisäksi selvitettiin, miten paljon himmentämällä voidaan vaikuttaa älylampun takaisinmaksu-aikaan.

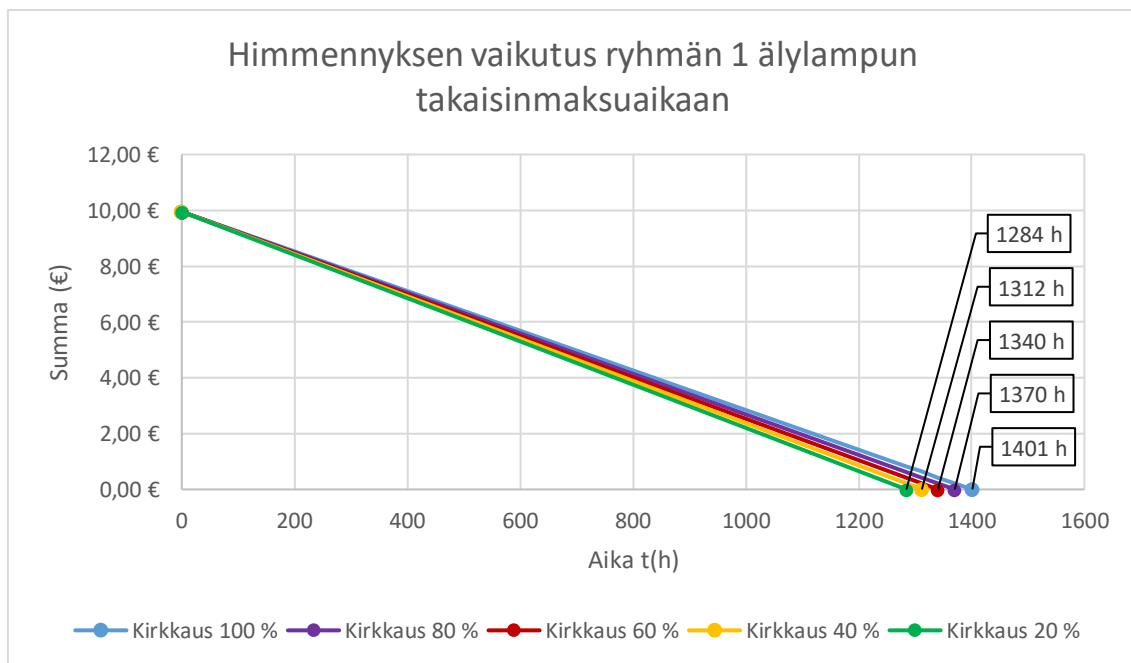
### 7.1 Ryhmän 1 LED-lamppujen takaisinmaksuajat

Ensimmäiseen ryhmään valittujen LED-lamppujen oli ilmoitettu vastaavan valon määrältään 40 watin hehkulamppua. Näiden LED-lamppujen takaisinmaksuajat täydellä valovirralla näkyvät kuviossa 2, jossa sininen viiva kuvaa Airam-älylampun, oranssi viiva Airam-perinteisen LED-lampun ja harmaa Philipsin energiatehokkaan LED-lampun takaisinmaksu-aikaa. Airam-perinteinen LED-lamppu on hankintahinnaltaan selvästi ryhmän edullisin valonlähde ja sen takaisinmaksu-aika 366 tuntia on myös ryhmän ylivoimaisesti lyhyin. Toiseksi nopein takaisinmaksu-aika, 1 313 tuntia, on Philipsin LED-lampulla, kun se Airam-älylampulla on 1 401 tuntia.



**Kuvio 2.** LED-lamppujen takaisinmaksuajat 40 watin hehkulamppua korvattaessa.

Keskimääräisellä 1 000 tunnin vuosittaisella käytöllä Airamien perinteinen LED-lamppu maksaa itsensä takaisin reilussa neljässä kuukaudessa, kun taas ryhmän muiden lampujen takaisinmaksuajat painuvat selvästi yli vuoteen. Himmentämällä voidaan kuitenkin vaikuttaa jonkin verran älylamppun takaisinmaksuaikaan, mikä on nähtävissä kuvios-  
ta 3. Älylamppu maksaa itsensä takaisin esimerkiksi 1 284 tunnissa, kun sitä käytetään keskimäärin 20 prosentin kirkkaudella. Älylamppun takaisinmaksuaikaa voidaan siis lyhentää himmentämällä enintään noin 8 prosenttia eli hieman yli sata tuntia. Älylamppun keskimääräisen kirkkauden ollessa korkeintaan 40 prosenttia, se maksaa itsensä takaisin nopeammin kuin saman hintaluokan Philipsin energiatehokas LED-lamppu. Älylamppua himmentämällä ei kuitenkaan päästä lähellekään Airamien perinteisen LED-lampun takaisinmaksuaikaa.

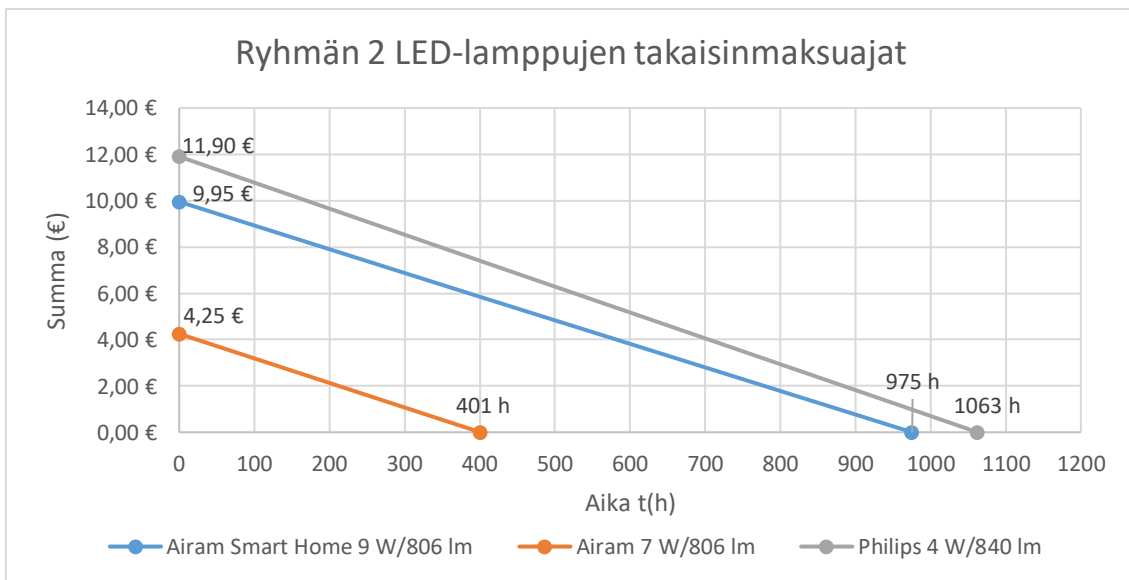


**Kuvio 3.** Ryhmän 1 älylamppun takaisinmaksuajat erilaisilla kirkkauden keskimääräisillä arvoilla.

## 7.2 Ryhmän 2 LED-lamppujen takaisinmaksuajat

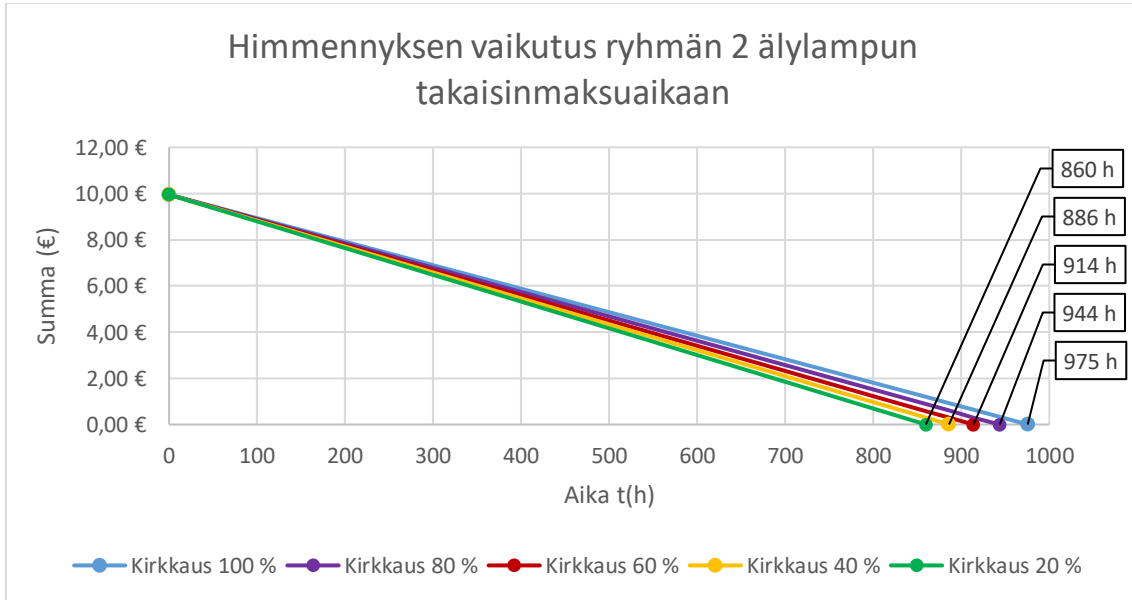
Toisen ryhmän LED-lamppujen takaisinmaksuajat laskettiin suhteessa 60 watin hehku-  
lamppuun. Ryhmän lampujen takaisinmaksuajat täydellä valovirralla on esitetty kuvi-

ossa 4. Myös tässä ryhmässä hankintahinnaltaan edullisin, Airam perinteinen LED-lamppu, maksaa itsensä takaisin nopeammin kuin ryhmän muut lamput. Kyseinen lamppu maksaa itsensä takaisin 401 tunnissa ja tämä on esitetty kuviossa oranssilla viivalla. Sininen viiva kuvaa puolestaan Airam älylamppun takaisinmaksuaikaa, joka on 975 tuntia. Hankintahinnaltaan ryhmän kalleimmalla Philipsin LED-lampulla on pisin takaisinmaksuaika, 1 063 tuntia. Tämä on esitetty harmaalla viivalla.



**Kuvio 4.** LED-lamppujen takaisinmaksuajat 60 watin hehkulamppua korvattaessa.

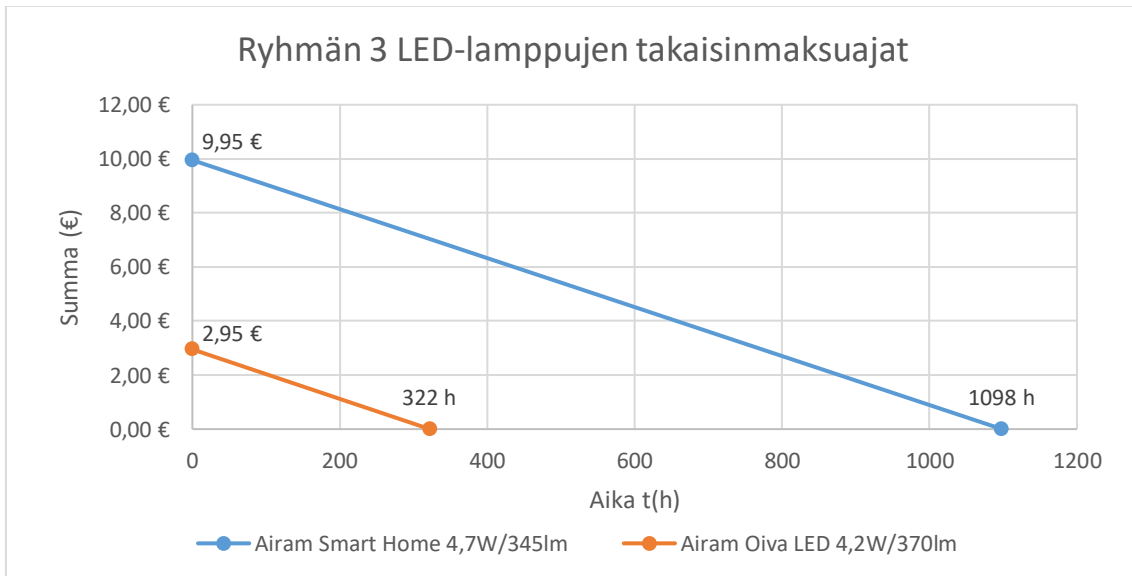
Älylamppun takaisinmaksuaikaa voidaan kuitenkin lyhentää esimerkiksi 860 tuntiin, mikäli lamppua käytetään keskimäärin 20 prosentin kirkkaudella. Kirkkauden säädön vaikutus ryhmän 2 älylamppun takaisinmaksu-aikaan on nähtävissä kuviosta 5. Himmentämällä voidaan lyhentää älylamppun takaisinmaksuaikaa lähes 12 prosenttia. Tästä huolimatta takaisinmaksuaika on yli kaksinkertainen Airam perinteisen LED-lampun 401 tuntiin verrattuna.



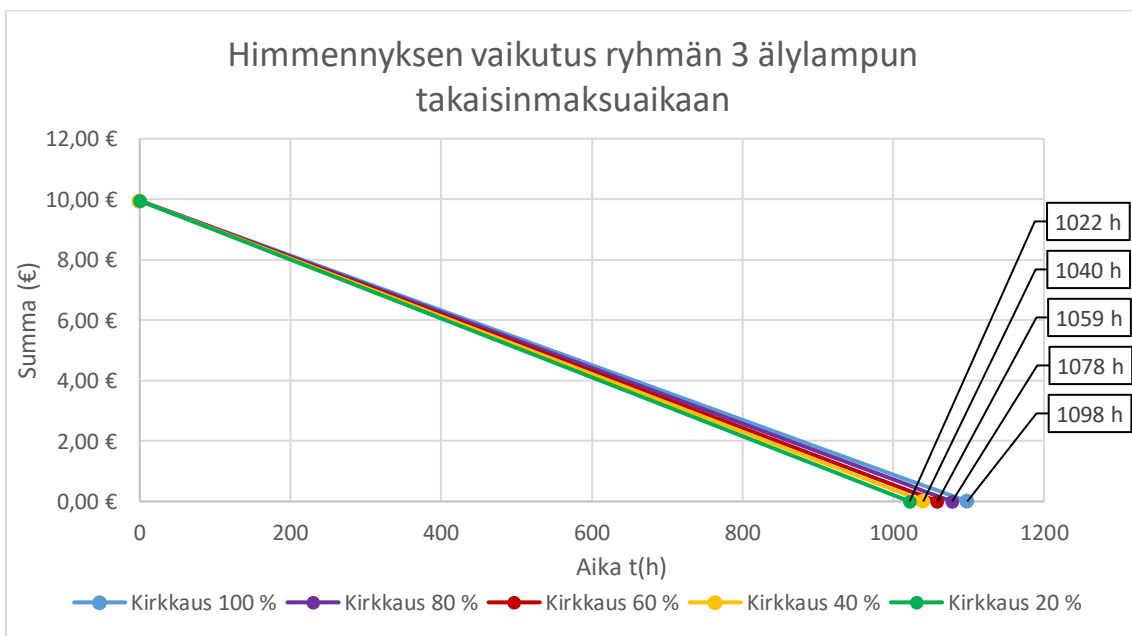
**Kuvio 5.** Ryhmän 2 älylampun takaisinmaksuajat erilaisilla kirkkauden keskimääräisillä arvoilla.

### 7.3 Ryhmän 3 LED-lamppujen takaisinmaksuajat

Kolmannessa ryhmässä takaisinmaksuajat laskettiin Airamien älylampulle ja saman valmistajan perinteiselle LED-lampulle korvattaessa 50 watin halogeenikohdelamppua. Takaisinmaksuajat on esitetty kuviossa 6, jossa sininen viiva kuvaa älylampun ja oranssi viiva perinteisen LED-lampun takaisinmaksuaikaa. Älylampun takaisinmaksuaika on 1 098 tuntia, kun se Airamien perinteisellä LED-lampulla on ainoastaan 322 tuntia. Sekä älylampun hankintahinta, että sen takaisinmaksuaika ovat tässä tapauksessa yli kolminkertaiset perinteiseen LED-lamppuun verrattuna. Himmentämisen vaikutus älylampun takaisinmaksuaikaan on esitetty kuviossa 7. Älylampun takaisinmaksuaika on esimerkiksi 1022 tuntia, jos sitä käytetään keskimäärin 20 prosentin kirkkaudella. Älylampun takaisinmaksuaikaa voidaan lyhentää himmentämällä 76 tuntia eli noin 7 prosenttia.



**Kuvio 6.** LED-kohdelamppujen takaisinmaksuajat 50 watin halogeenikohdelamppua korvattaessa.



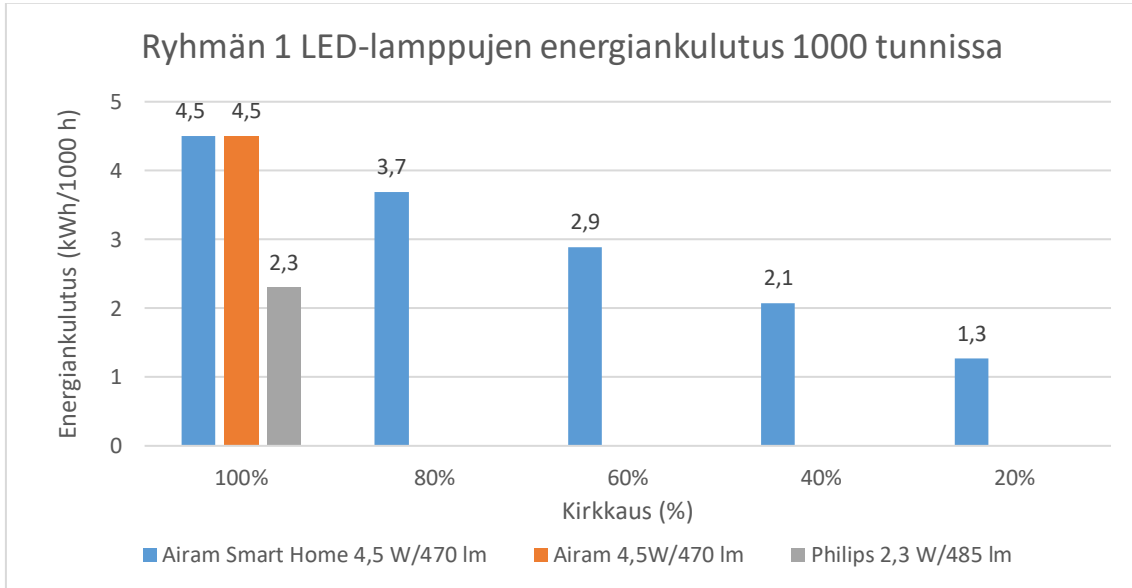
**Kuvio 7.** Ryhmän 3 älylampun takaisinmaksuajat erilaisilla kirkkauden keskimääräisillä arvoilla.

## 8 LED-lamppujen energiankulutus

Seuraavaksi tutkimuksessa selvitettiin älylamppujen himmentämisen vaikutus niiden energiankulutukseen. Tutkittavien LED-lamppujen energiankulutus tiedettiin valmistajan ilmoittamien tietojen perusteella täydellä valovirralla 1 000 tunnissa. Tämän tiedon ja suoritettujen mittausten pohjalta voitiin laskea himmentämisen vaikutus älylamppujen energiankulutukseen.

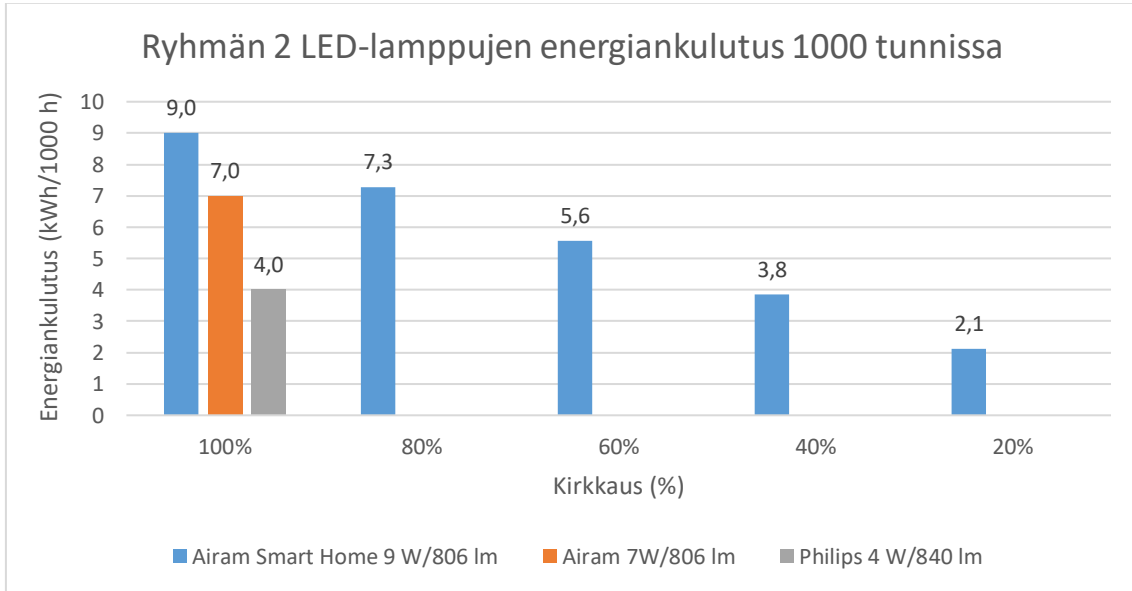
Ryhmän 1 LED-lamppujen energiankulutus 1 000 tunnissa on esitetty kuviossa 8, jossa siniset pylväät kuvaavat Airamien älylamppujen energiankulutusta kirkkauden eri arvoilla, oranssi pylväs Airamien perinteisen LED-lampun energiankulutusta ja harmaa pylväs Philipsin LED-lampun energiankulutusta. Perinteisten LED-lamppujen energiankulutus on ilmoitettu ainoastaan täydellä kirkkaudella, koska lamput eivät ole himmennettäviä. Airamien älylamppu ja perinteinen LED-lamppu kuluttavat täydellä kirkkaudella saman verran energiaa. Näiden lamppujen energiankulutusta vertailtaessa älylamppun vähäisenkin himmentäminen saa aikaan energiasäästöä. Kun älylamppua käytetään keskimäärin 40 prosentin kirkkaudella, on sen energiankulutus vähemmän kuin Philipsin energiatehokkaalla LED-lampulla.





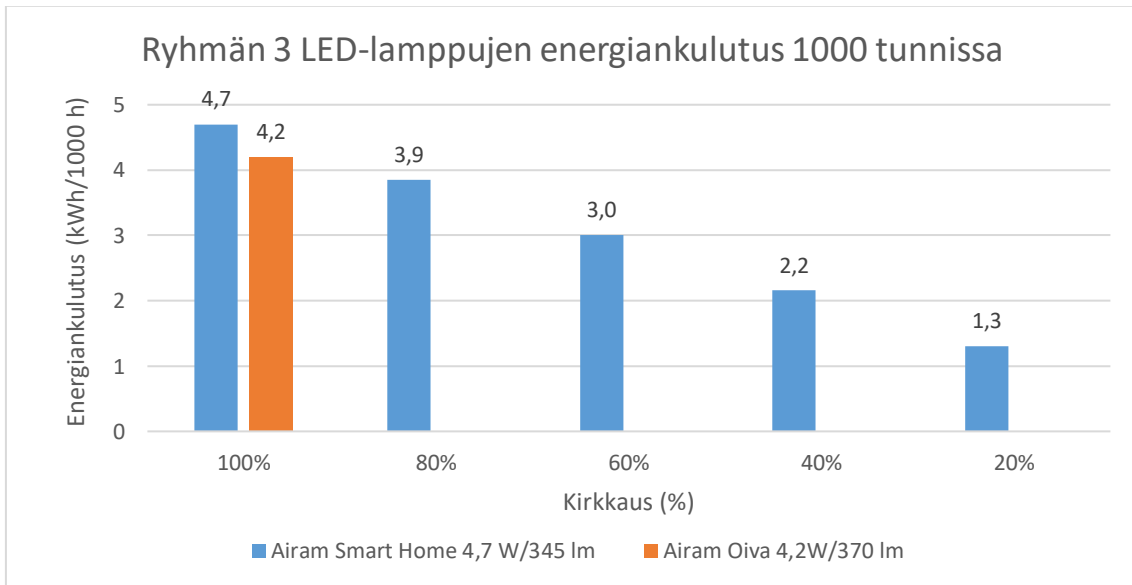
**Kuvio 8.** Ryhmän 1 LED-lamppujen energiankulutus vuodessa.

Ryhmän 2 LED-lamppujen energiankulutus voidaan havaita kuviosta 9, jossa siniset palkit kuvaavat Airam-älylamppua, oranssi Airam-älylamppua ja harmaa Philipsin LED-lampun energiankulutusta. Kuviosta nähdään, että älylamppua käytetään 80 prosentilla kirkkaudella samaa luokkaa kuin Airam-älylamppua käytetään täydellä kirkkaudella. Älylamppu kuluttaa aavistuksen vähemmän energiaa Philipsin LED-lamppuun verrattuna, kun sitä käytetään keskimäärin 40 prosentilla kirkkaudella.



**Kuvio 9.** Ryhmän 2 LED-lamppujen energiankulutus vuodessa.

Kolmannen ryhmän LED-lamppujen energiankulutus 1 000 tunnissa on puolestaan esitetty kuviossa 10. Siniset pylväät kuvaavat Airam-älylamppujen energiankulutusta täydellä kirkkaudella ja himmennettäessä, kun taas oranssi pylväs kertoo Airam-perinteisen LED-lampun energiankulutuksen 100 prosentin kirkkaudella. Käytettäessä älylamppua 80 prosentin kirkkaudella, on sen energiankulutus hieman vähemmän kuin Airam-perinteisellä LED-lampulla. Älylamppujen kirkkauden ollessa esimerkiksi keskimäärin 20 prosenttia, on sen energiankulutus 1 000 tunnissa yli kolme kertaa vähemmän kuin Airam-perinteisellä LED-lampulla.



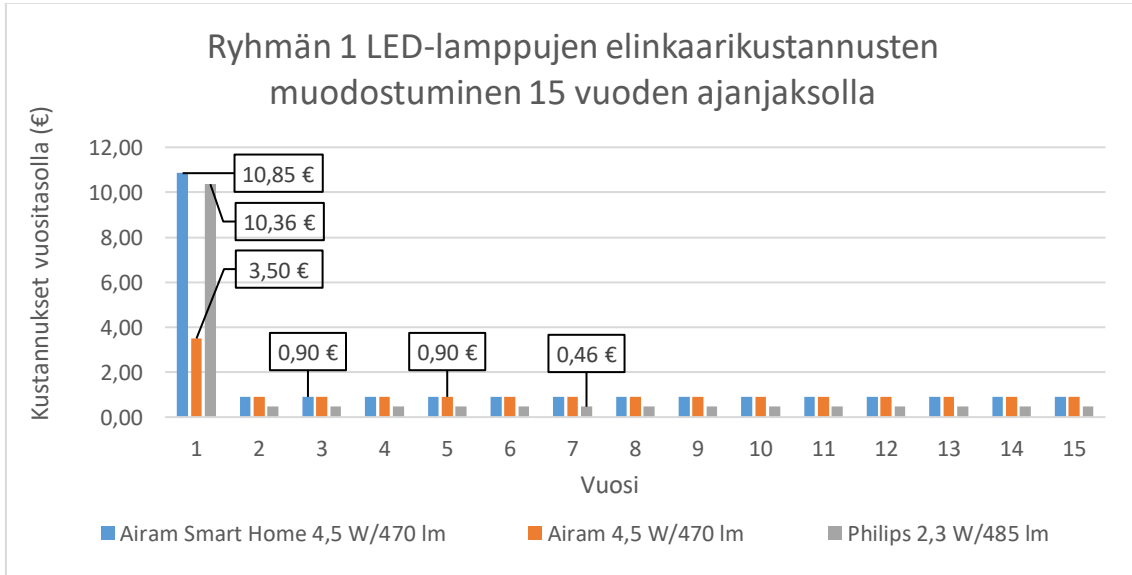
**Kuvio 10.** Ryhmän 3 LED-lamppujen energiankulutus vuodessa.

## 9 LED-lamppujen elinkaarikustannukset

Elinkaarikustannuslaskelmissa lamppuja oletettiin käytettävän 1 000 tuntia vuodessa. Tutkittavien LED-lamppujen elinkaarikustannuksia tarkasteltiin aluksi 15 vuoden ajanjaksolla, koska Airamien LED-lamppujen eliniäksi oli ilmoitettu 15 000 tuntia. Tämä ajanjakso ei kuitenkaan tuonut esiin Philipsin LED-lamppujen elinkaarikustannuksia, koska lamppujen eliniän oli ilmoitettu olevan peräti 50 000 tuntia. Tämän vuoksi ryhmien 1 ja 2 kohdalla elinkaarikustannusten tarkastelua jatkettiin 45 vuoteen saakka. Tällä ajanjaksolla 15 000 tunnin eliniän omaava lamppu oli korvattava uudella kahdesti, kun taas 50 000 tunnin eliniän omaavalla lampulla oli vielä 5 000 tuntia polttoaikaa jäljellä.

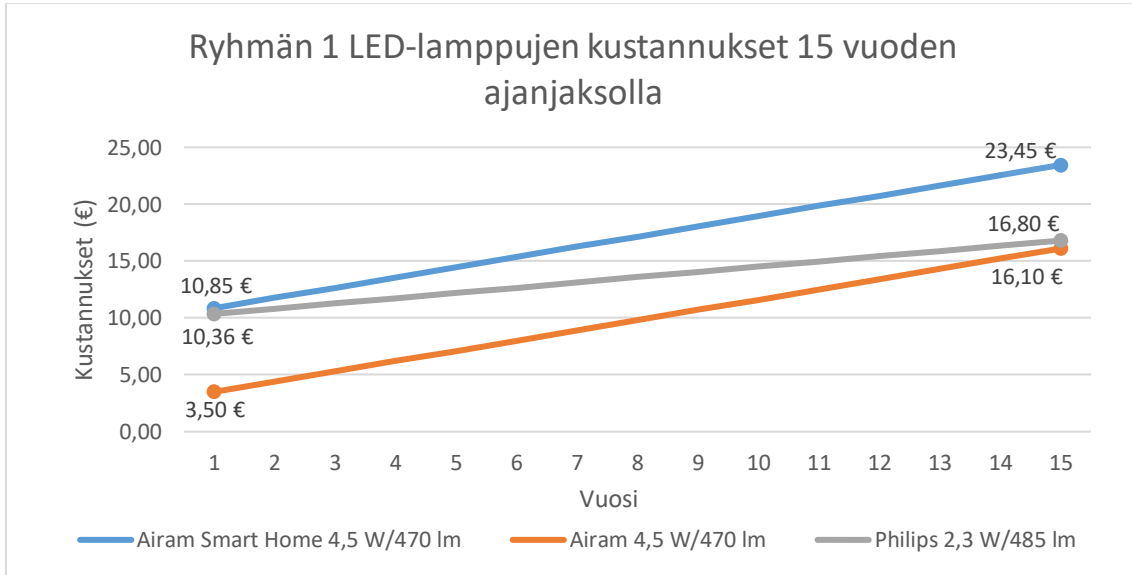
### 9.1 Ryhmän 1 LED-lamppujen elinkaarikustannukset

Ensimmäisen ryhmän LED-lamppujen vuosittaiset kustannukset 15 vuoden ajanjaksolla ovat nähtävissä kuviossa 11. Siniset pylväät kuvaavat älylampun, oranssit Airamien perinteisen LED-lampun ja harmaat Philipsin LED-lampun vuosittaisia kustannuksia. Ensimmäisen vuoden kustannukset muodostuvat hankintahinnasta ja käyttökustannuksista. Ensimmäisen vuoden jälkeen lamppujen kustannukset tulevat vain vuosittaisista käyttökustannuksista, jotka Airamien lampuilla ovat 0,90 euroa vuodessa. Philipsin lampun vuosittaiset käyttökustannukset ovat puolestaan 0,46 euroa eli lähes puolet pienemmät ryhmän muihin lamppuihin verrattuna. Vertailun vuoksi voidaan todeta ryhmän LED-lamppuja vastaavan 40 watin hehkulampun käyttökustannusten olevan 8,00 euroa vuodessa.



**Kuvio 11.** Ryhmän 1 LED-lamppujen vuosittaiset kustannukset 15 vuodessa.

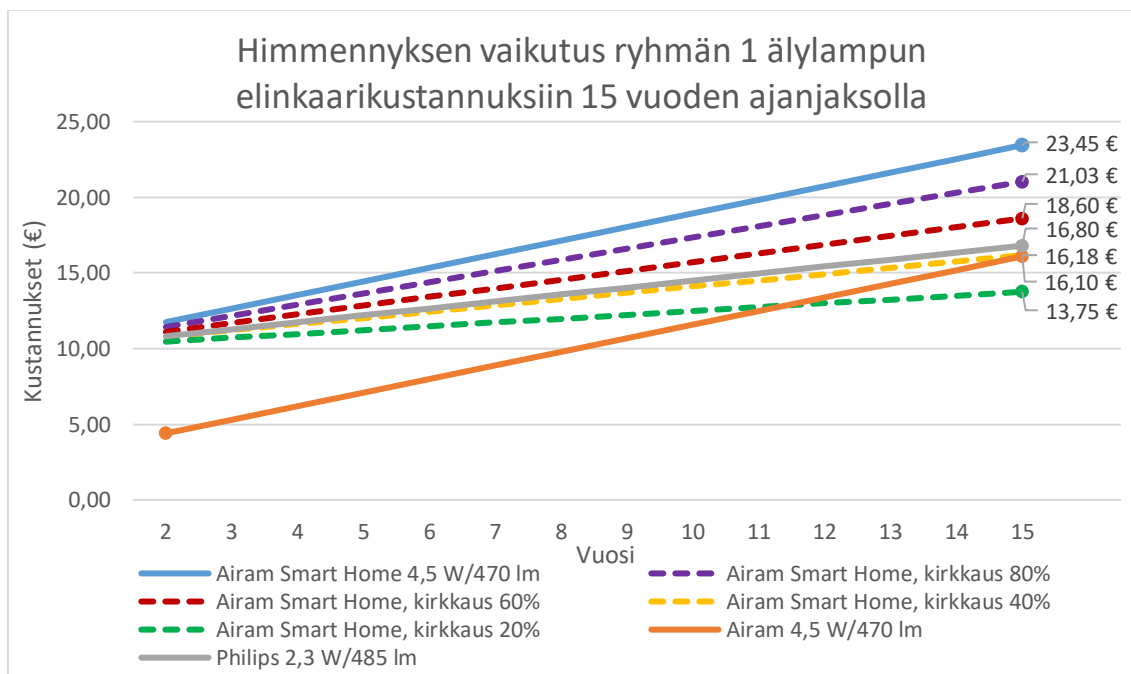
LED-lamppujen kokonaiskustannukset 15 vuoden ajalta saadaan selville, kun vuosittaiset kustannukset tältä ajalta lasketaan yhteen. Ryhmän 1 lamppujen kokonaiskustannukset näkyvät kuviossa 12. Älylamppujen kustannukset 15 vuodessa täydellä valovirralla ovat 23,45 euroa, kun ne Airamien perinteisellä LED-lampulla ovat 16,10 euroa. Kyseisille lamppuille nämä kustannukset ovat yhtä kuin elinkaarikustannukset. Philipsin LED-lampun kustannukset 15 vuodessa ovat puolestaan yhteensä 16,80 euroa. Philipsin lampulla on tässä vaiheessa polttoaikaa jäljellä vielä peräti 35 000 tuntia, kun taas ryhmän muut lamput ovat elinkaarensa lopussa.



**Kuvio 12.** Ensimmäisen ryhmän valonlähteiden kustannukset 15 vuodessa.

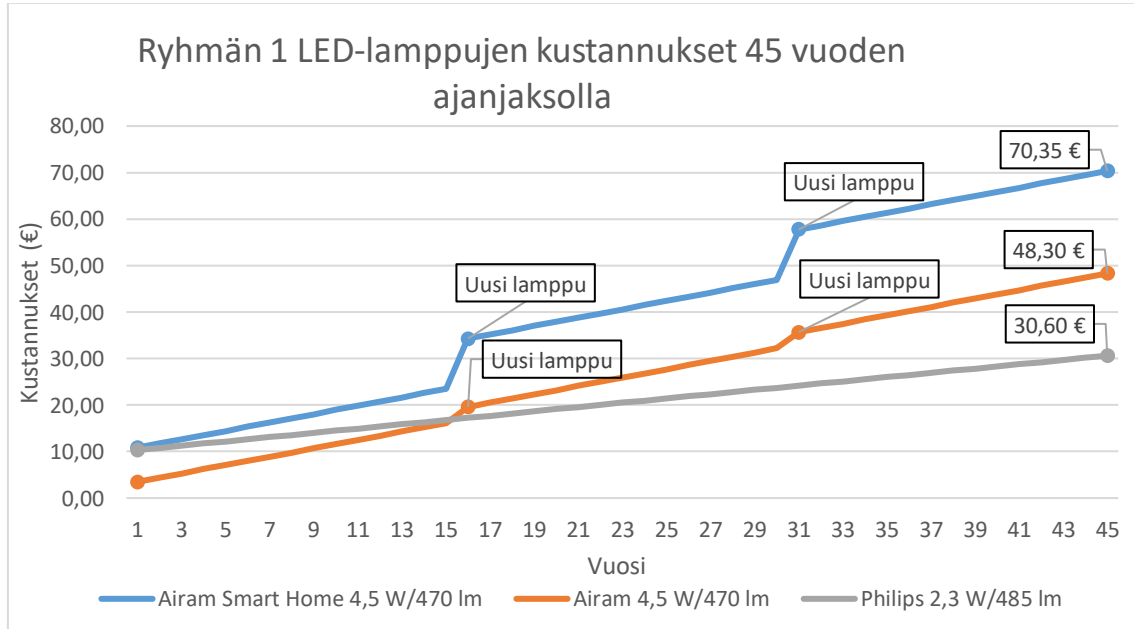
Älylamppujen elinkaarikustannuksiin voidaan vaikuttaa himmentämällä kuvion 13 osoittamalla tavalla. Älylamppujen keskimääräiset kirkkaustasot on esitetty kuviossa erivärisin katkoviivoin. Violetti katkoviiva kuvaa älylamppujen kustannuksia 80 prosentilla, punainen 60 prosentilla, keltainen 40 prosentilla ja vihreä 20 prosentilla keskimääräisellä kirkkaudella. Käytettäessä älylamppua keskimäärin 40 prosentilla kirkkaudella, ovat sen kustannukset 15 vuodessa 16,18 euroa, eli samaa luokkaa ryhmän muiden lamppujen kanssa. Mikäli älylamppua himmennetään keskimäärin vielä tätäkin enemmän, on se 15 vuoden ajanjaksolla tarkasteltuna kustannuksiltaan ryhmän edullisin vaihtoehto.

Elinkaarikustannuksia esittämissä kuvioissa kuvaajien mahdolliset leikkauskohdat ovat yhtä kuin takaisinmaksuaika. Jos esimerkiksi ensimmäisen ryhmän Airamien perinteinen LED-lamppu korvattaisiin älylamppulla, jota käytettäisiin keskimäärin 20 prosentilla kirkkaudella, olisi älylamppujen takaisinmaksuaika 11 370 tuntia. Tämä voidaan havaita kuviossa 13 vihreän katkoviivan ja oranssin viivan leikkauskohtana, jolloin kyseisten lamppujen kustannukset ovat yhtä suuret.



**Kuvio 13.** Ensimmäisen ryhmän LED-lamppujen kustannukset 15 vuodessa, kun älylamppun himmentämisen mahdollisuus huomioidaan.

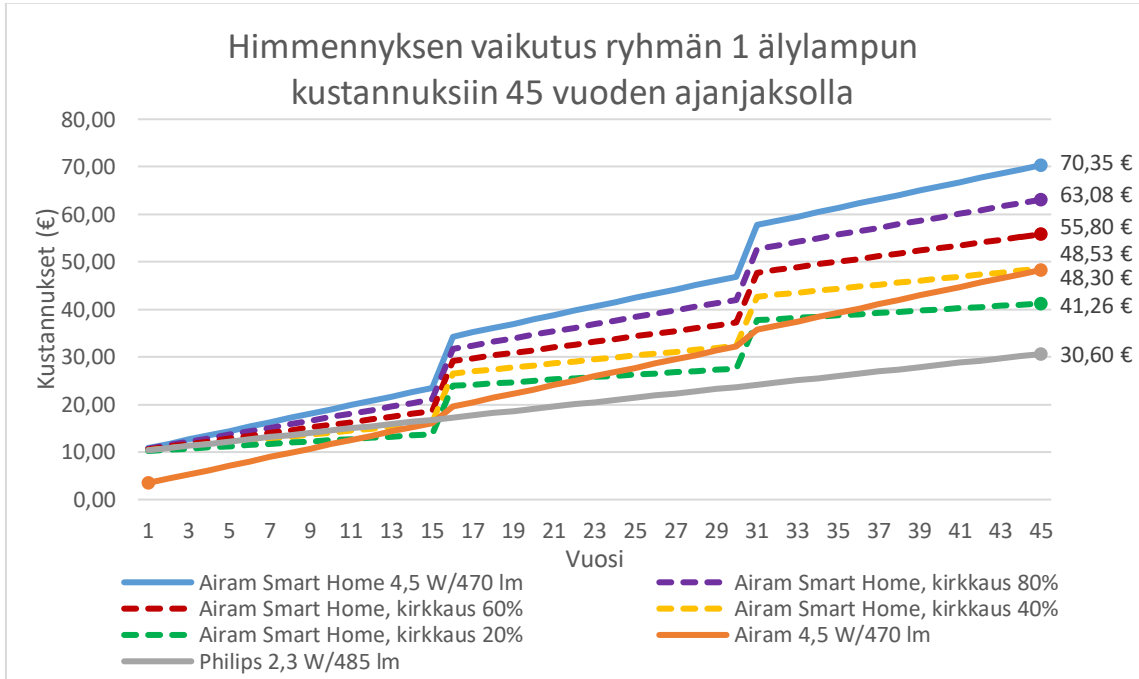
Jatkettaessa lamppujen elinkaarikustannusten tarkastelua 15 vuodesta 45 vuoteen, täytyy Airamien älylamppu ja perinteinen LED-lamppu korvata uudella kahdesti. Tämä näkyy kyseisten lamppujen kustannuksissa piikkinä vuosien 16 ja 31 kohdalla kuviossa 14, jossa ensimmäisen ryhmän LED-lamppujen elinkaarikustannuksia tarkastellaan 45 vuoden ajanjaksolla. Sininen käyrä kuvaa älylamppun, oranssi Airamien perinteisen LED-lampun ja harmaa Philipsin LED-lampun kustannuksia. Korkeammasta hankintahinnasta johtuen älylamppun uusimisella on suurempi vaikutus sen elinkaarikustannuksiin kuin Airamien perinteisellä LED-lampulla. Älylamppun kustannukset ovat 70,35 euroa 45 vuodessa täydellä valovirralla. Airamien perinteisen LED-lampun kustannukset ovat puolestaan samassa ajassa 48,30 euroa. Ryhmän edullisin vaihtoehto 45 vuoden tarkasteluajaksolla on Philipsin LED-lamppu 30,60 euron kustannuksilla.



**Kuvio 14.** Ensimmäisen ryhmän LED-lamppujen kustannukset 45 vuodessa.

Käyttämällä älylamppua keskimäärin 40 prosentin kirkkaudella, ovat sen kustannukset 45 vuoden tarkastelujaksolla 48,53 euroa eli samalla tasolla Airamien perinteisen LED-lampun kanssa. Tämä on esitetty keltaisella katkoviivalla kuviossa 15, josta nähdään himennyksen vaikutus älylamppuun kustannuksiin 45 vuodessa. Tämän lisäksi kuvioista nähdään, että esimerkiksi 20 prosentin keskimääräisellä kirkkaudella älylamppuun kustannukset ovat 41,26 euroa. Voidaan siis todeta, että 45 vuoden ajanjaksolla älylamppuun kustannuksia ei saada himmentämällä pienemmäksi tai edes samalle tasolle Philipsin LED-lampun kanssa. Philipsin LED-lamppu nousee ryhmän edullisimmaksi vaihtoehdoksi 15 vuoden jälkeen, samalla kun ryhmän muut lamput täytyy korvata uudella.

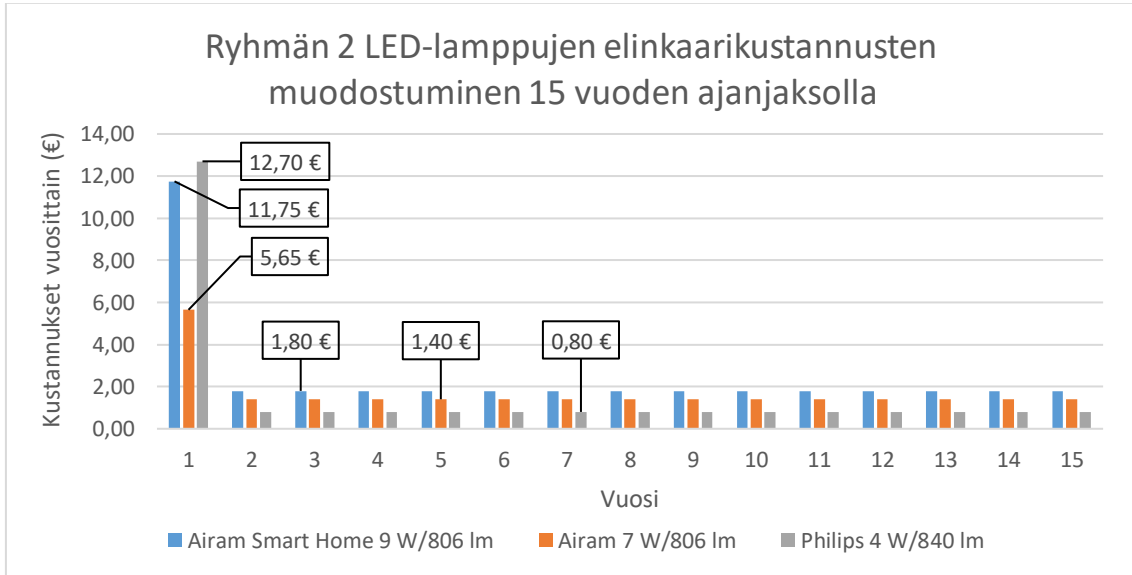




**Kuvio 15.** Ensimmäisen ryhmän LED-lamppujen kustannukset 45 vuodessa, kun älylampun himmentämisen mahdollisuus huomioidaan.

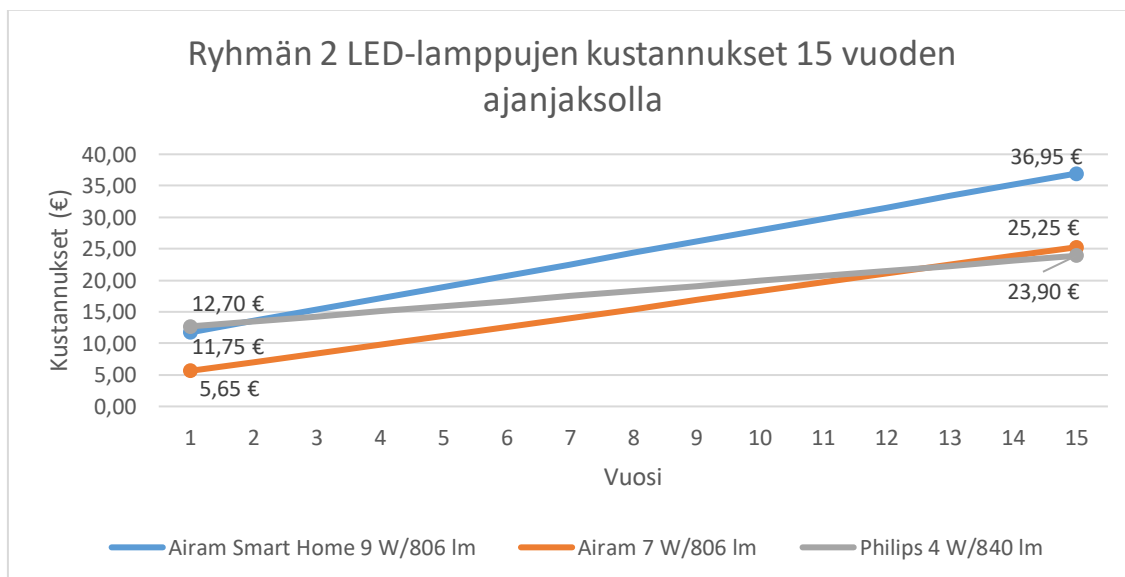
## 9.2 Ryhmän 2 LED-lamppujen elinkaarikustannukset

Toisen ryhmän LED-lamppujen vuosittaiset kustannukset voidaan nähdä kuviosta 16, jossa siniset pylväät kuvaavat Airamien älylampun, oranssit Airamien perinteisen LED-lampun ja harmaat Philipsin LED-lampun kustannuksia. Lampun hankintahinnasta ja käyttökustannuksista koostuvat ensimmäisen vuoden kustannukset ovat korkeimmat Philipsin LED-lampulla, yhteensä 12,70 euroa, kun ne älylampulla ovat 11,75 euroa ja Airamien perinteisellä LED-lampulla 5,65 euroa. Ensimmäisen vuoden jälkeen, kun lamppujen vuosittaiset kustannukset tulevat ainoastaan käyttökustannuksista, on Philipsin LED-lamppu 0,80 euron käyttökustannuksillaan ryhmän edullisin. Älylampun vuosittaiset käyttökustannukset täydellä valovirralla ovat puolestaan 1,80 euroa, kun ne Airamien perinteisellä LED-lampulla ovat 1,40 euroa. Ryhmän LED-lamppuja vastaavan 60 watin hehkulampun vuosittaiset käyttökustannukset olisivat 12,00 euroa.



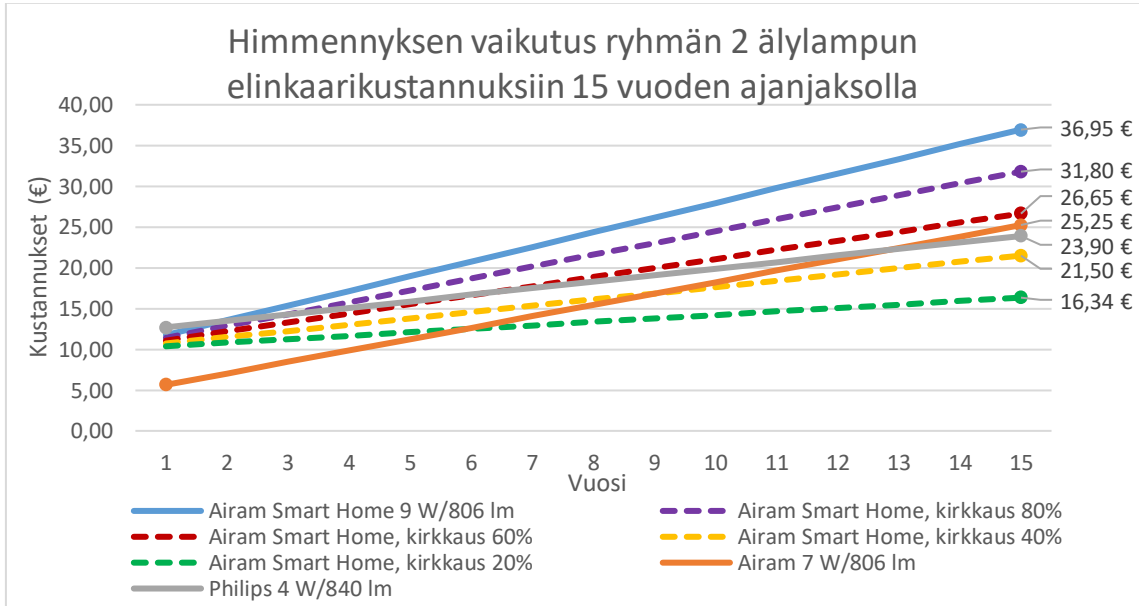
**Kuvio 16.** Ryhmän 2 LED-lamppujen vuosittaiset kustannukset 15 vuodessa.

Philipsin LED-lamppu on ensimmäisen vuoden kustannuksissa ryhmän kallein vaihtoehto, mutta kuvioista 17 nähdään, että kyseinen lamppu nousee ryhmän edullisimmaksi vaihtoehdoksi jo 15 vuoden tarkastelujakson aikana. Energiatohokkuutensa ansiosta Philipsin LED-lamppu alittaa Airamien älylampun kustannukset noin kahdessa vuodessa ja Airamien perinteisen LED-lampun kustannukset suunnilleen 13 vuodessa. Jos Airamien perinteinen LED-lamppu korvattaisiin Philipsin LED-lampulla, niin takaisinmaksuaika olisi 12 750 tuntia. Kuviossa tämä näkyy harmaan ja oranssin viivan leikkauskohtana. Philipsin LED-lampulla on 15 vuoden tarkastelujakson jälkeen polttoaikaa jäljellä vielä 35 000 tuntia, kun taas Airamien lamppujen 15 000 tunnin elinikä on tullut täyteen. Airamien älylampun elinkaarikustannukset ovat siis 36,95 euroa täydellä valovirralla ja Airamien perinteisellä LED-lampulla ne ovat 25,25 euroa.



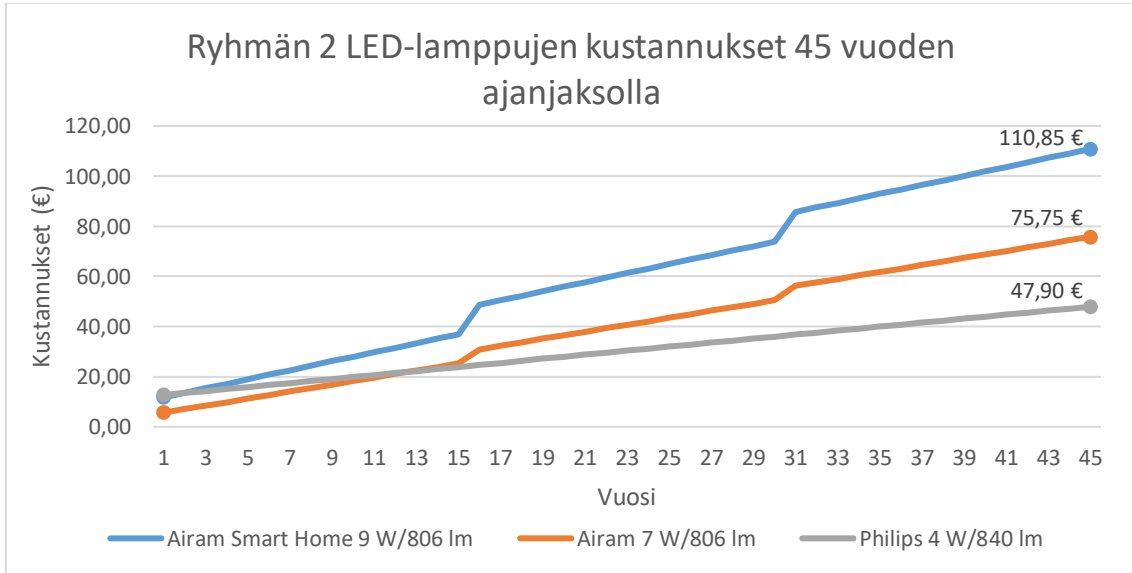
**Kuvio 17.** Toisen ryhmän valonlähteiden kustannukset 15 vuodessa.

Himentämällä voidaan vaikuttaa älylamppujen elinkaarikustannuksiin kuvion 18 osoittamalla tavalla. Älylamppujen elinkaarikustannukset ovat esimerkiksi 60 prosentin keskimääräisellä kirkkaudella 26,65 euroa, joka on jo lähellä ryhmän muiden lamppujen kustannusten tasoa. Älylamppua täytyy kuitenkin käyttää keskimäärin alle 49 prosentin kirkkaudella, jotta se on 15 vuoden ajanjaksolla ryhmän edullisin vaihtoehto. Älylamppujen takaisinmaksuajat Airamien perinteistä LED-lamppua korvattaessa näkyvät kuviossa oranssin viivan leikatessa keltaisen ja vihreän katkoviivan. Takaisinmaksuaika 40 prosentin keskimääräisellä kirkkaudella on 9 043 tuntia ja 20 prosentin keskimääräisellä kirkkaudella 5 854 tuntia.



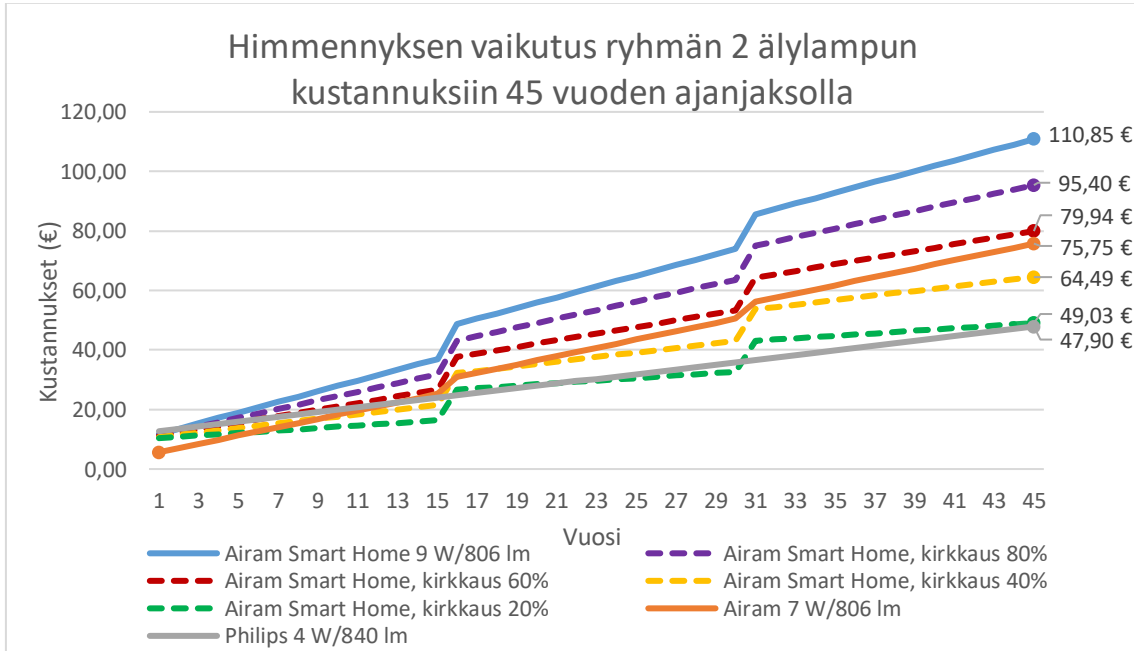
**Kuvio 18.** Toisen ryhmän LED-lamppujen kustannukset 15 vuodessa, kun älylamppujen himmentämisen mahdollisuus huomioidaan.

Ryhmän 2 LED-lamppujen elinkaarikustannusten tarkastelua on jatkettu 15 vuodesta 45 vuoteen kuviossa 19. Eliniältään 15 000 tuntia olevat Airam-lamput pitää uusia tässä ajassa kahdesti, mikä kasvattaa entisestään kustannuseroa Philipsin lampun hyväksi. Airam-älylamppujen kustannukset 45 vuodessa täydellä valovirralla ovat 110,85 euroa, kun ne Airam-perinteisellä LED-lampulla ovat 75,75 euroa. Philipsin LED-lamppu on myös 45 vuoden tarkastelujaksolla ryhmän edullisin 47,90 euron kustannuksillaan.



**Kuvio 19.** Toisen ryhmän LED-lamppujen kustannukset 45 vuodessa.

Älylampun kustannuksia saadaan kuitenkin pienennettyä sen kirkkautta säätämällä. Tämä on esitetty kuviossa 20, josta nähdään kirkkaudensäädön vaikutus ryhmän 2 älylampun kustannuksiin 45 vuoden aikana. Kuvion perusteella voidaan todeta, että älylampun kustannuksissa syntyy 45 vuoden aikana yli 60 euron säästö, mikäli lampua käytetään täyden valovirran sijaan keskimäärin 20 prosenttia kirkkaudella. Älylampun kustannukset 60 prosenttia keskimääräisellä kirkkaudella ovat hieman suuremmat kuin Airamien perinteisellä LED-lampulla, mutta 40 prosenttia keskimääräisellä kirkkaudella ne ovat jo jonkin verran matalammat. Käytettäessä älylampua suunnilleen 55 prosenttia keskimääräisellä kirkkaudella ovat sen kustannukset 45 vuodessa samaa luokkaa Airamien perinteisen LED-lampun kanssa. Älylampun kustannukset 20 prosenttia keskimääräisellä kirkkaudella 45 vuodessa ovat 49,03 euroa eli ainoastaan 1,13 euroa enemmän kuin Philipsin LED-lampulla.

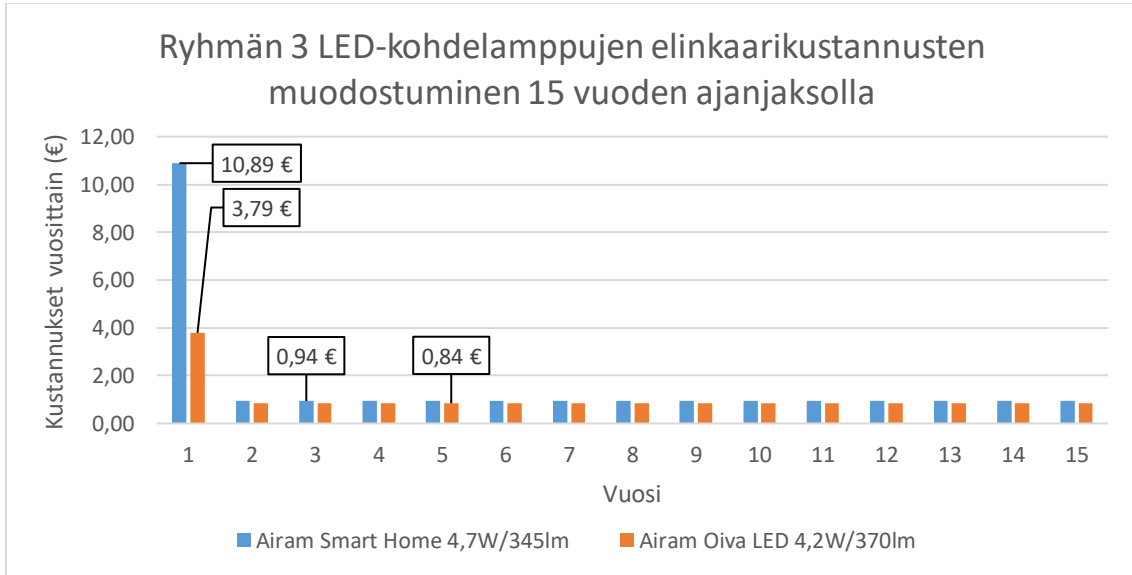


**Kuvio 20.** Toisen ryhmän LED-lamppujen kustannukset 45 vuodessa, kun älylampun himmentämisen mahdollisuus huomioidaan.

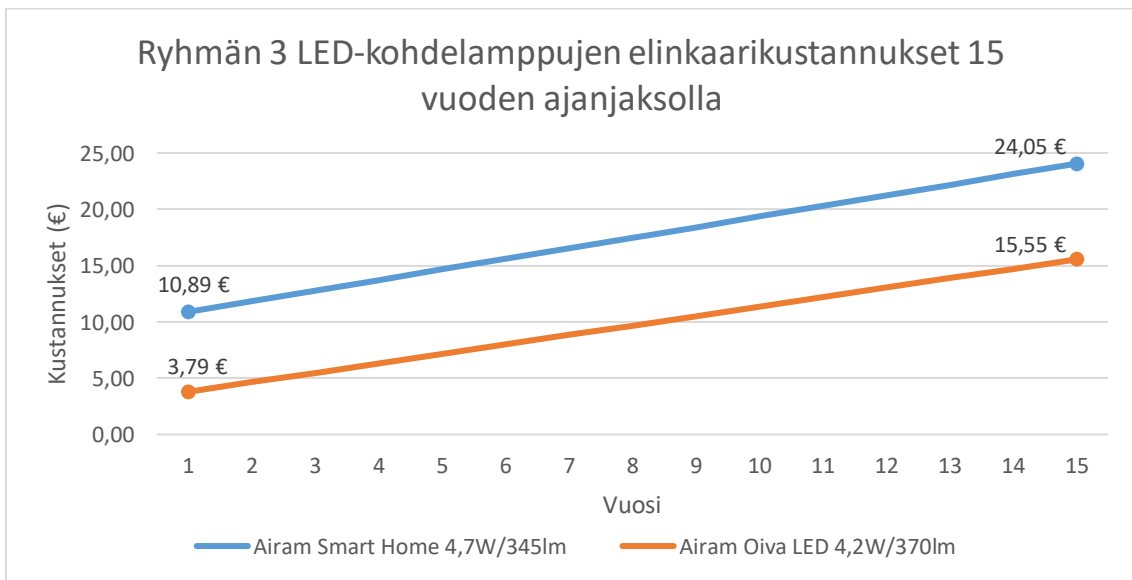
### 9.3 Ryhmän 3 LED-lamppujen elinkaarikustannukset

Kolmannen ryhmän LED-kohdelamppujen vuosittaiset kustannukset 15 vuoden tarkastelujaksolla näkyvät kuviossa 21, jossa siniset pylväät esittävät Airamien älylampun ja oranssit Airamien perinteisen LED-kohdelampun kustannuksia. Ensimmäisen vuoden kustannukset, jotka sisältävät lampun hankintahinnan ja käyttökustannukset, ovat älylampulla 10,89 euroa, kun ne Airamien perinteisellä LED-kohdelampulla ovat 3,79 euroa. Tämän jälkeen vuosittaiset käyttökustannukset ovat älylampun tapauksessa 0,94 euroa ja Airamien perinteisellä LED-kohdelampulla 0,84 euroa. Mainittakoon, että vastaavan 50 watin halogeenikohdelampun käyttökustannukset olisivat 10,00 euroa vuodessa.

Kun hankintahinta ja käyttökustannukset 15 vuodelta lasketaan yhteen, saadaan selville näiden lamppujen elinkaarikustannukset, jotka on esitetty kuviossa 22. Airamien älylampun elinkaarikustannukset ovat 24,05 euroa täydellä valovirralla, kun taas Airamien perinteisellä LED-kohdelampulla ne ovat 15,55 euroa.



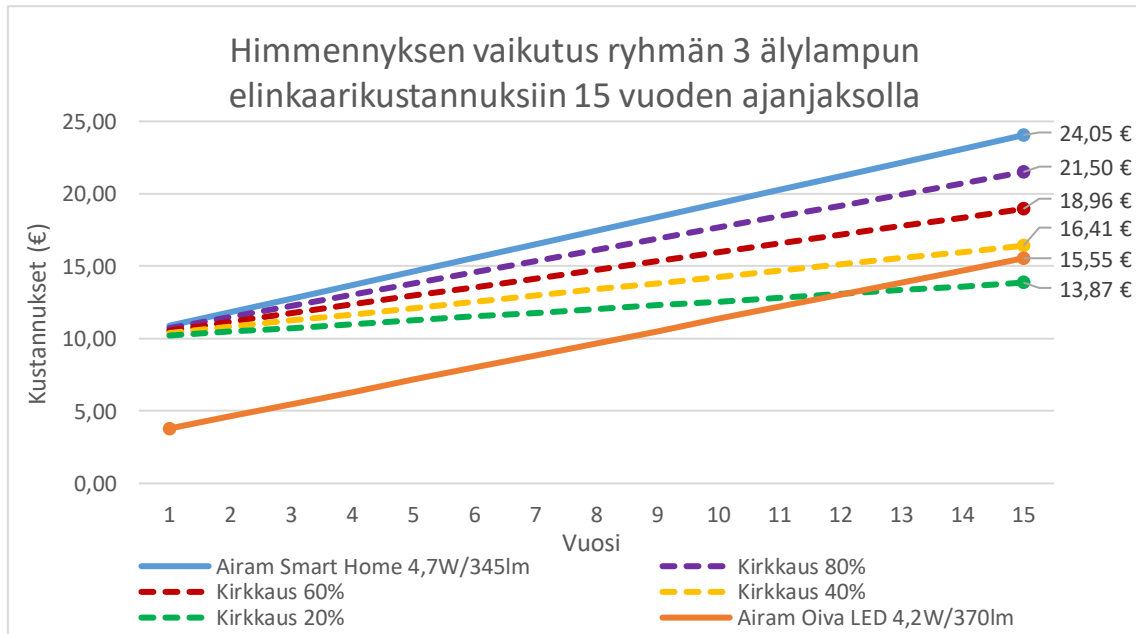
**Kuvio 21.** Ryhmän 3 LED-lamppujen vuosittaiset kustannukset 15 vuodessa.



**Kuvio 22.** Kolmannen ryhmän valonlähteiden elinkaarikustannukset.

Himmennyksen vaikutus ryhmän 3 älylamppun elinkaarikustannuksiin on nähtävissä kuviossa 23. Airamien älylamppu on elinkaarikustannuksiltaan ryhmän edullisin, kun sitä käytetään keskimäärin 33 prosenttia, tai tätä pienemmällä kirkkaudella. Älylamppun elinkaarikustannuksia saadaan pudotettua yli 10 eurolla, kun sitä käytetään täyden valovirran sijaan keskimäärin 20 prosenttia kirkkaudella. Jos Airamien perinteinen LED-lamppu

korvattaisiin älylampulla, niin takaisinmaksuaika 20 prosentin keskimääräisellä kirkkauksella olisi 12 094 tuntia. Tämä voidaan havaita oranssin viivan ja vihreän katkoviivan leikkauskohdasta.



**Kuvio 23.** Kolmannen ryhmän LED-lamppujen elinkaarikustannukset, kun älylampun himmentämisen mahdollisuus huomioidaan.



## 10 Pohdinta

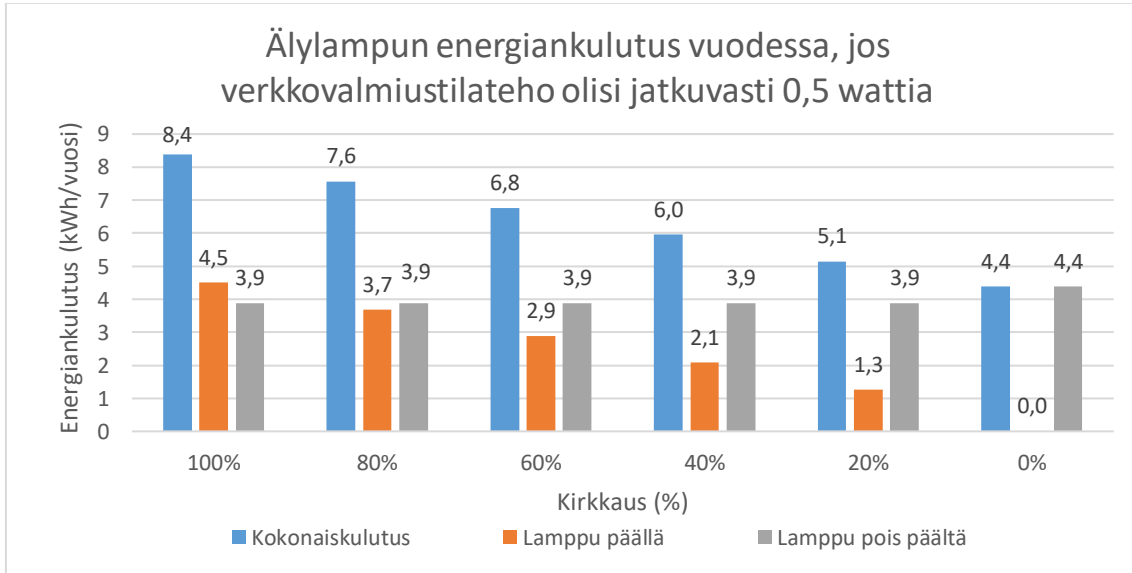
Kiinnostus älylamppujen energiankulutusta kohtaan heräsi siitä syystä, että niiden verkkovalmiustilan tehontarpeen ilmoitetaan olevan 0,5 wattia, mutta energiamerkin­näissä niiden vuosittainen energiankulutus ilmoitetaan, kuten mille tahansa muulle lampulle, kilowattitunteina tuhatta tuntia kohden. Vaikutti siis siltä, että lamppujen energiamerkin­näissä ja energiatehokkuusluokan määrittämisessä huomioidaan ainoas­taan lampun palaessa kuluttama teho, vaikka kulutus on merkittävää myös lampun ollessa pois päältä.

Oletus tutkittavien älylamppujen jatkuvasta 0,5 watin verkkovalmiustilan energiankulu­ tuksesta osoittautui kuitenkin mittausten perusteella vääräksi. Energiankulutusmittari näytti älylamppujen verkkovalmiustilatehon olevan suurimman osan ajasta 0,0 wattia, mutta vaihtui hetkellisesti näyttämään joko 0,3, tai 0,5 watin tehoa. Tutkimuksen pe­ rusteella ei kuitenkaan voida tehdä johtopäätöstä, että asia olisi näin kaikkien älylamp­ pujen kohdalla, vaan verkkovalmiustilan energiankulutuksessa saattaa esiintyä valmis­ tajakohdaisia eroja käytetystä tekniikasta riippuen. Tutkimuksessa käytetyn energianku­ lutusmittarin tehonmittauksen alaraja oli 0,1 wattia. Tämän vuoksi ei voida varmuudel­ la sanoa, että tutkittujen älylamppujen verkkovalmiustilateho oli suurimman osan ajas­ ta tasan 0,0 wattia. Teholukema saattoi yhtä hyvin olla jotain 0,0 ja 0,1 watin väliltä.

Tutkimuksessa ei ollut käytettävissä muiden valmistajien älylamppuja, mutta sen sijaan verkkovalmiustilateho mitattiin kokeilumielessä kahdelta eri valmistajan Wi-Fi- älypistorasialta. Testattavat älypistorasiat olivat Energy+ Smart-PFW02-G ja Denver PLO-109. Energy+ -merkkisen älypistorasian teho oli päällä ollessa 1,2 wattia. Pois pääl­ tä ollessaan teholukema vaihteli 0,3 ja 0,6 watin välillä, eikä käynyt edes hetkellisesti nollassa tarkastelujakson aikana. Denverin älypistorasian teho puolestaan vaihteli pääl­ lä ollessaan 0,3 ja 0,7 watin välillä. Kun Denverin älypistorasia kytkettiin pois päältä, mittarin teholukema näytti muutaman sekunnin ajan 0,3 wattia, jonka jälkeen se vaih­ tui näyttämään nollassa. Tämän jälkeen teho vaihteli ajoittain 0,3 ja 0,6 watin välillä ja palautui taas nollassa.

Mikäli verkkovalmiustilan energiankulutus olisi kaikilla älylamppuilla samaa luokkaa kuin tässä työssä tutkituilla Airamien älylamppuilla, niin asialla ei olisi suurta merkitystä. Jos hajonta älylamppujen kohdalla on kuitenkin yhtä suurta kuin esimerkiksi testatuilla älypistorasioilla, niin asiaan olisi syytä kiinnittää nykyistä enemmän huomiota. Kaikesta huolimatta lamppujen energiamerkintää koskevan asetuksen mukainen yksi teholuokka verkkovalmiustilateholle ei kerro riittävästi älylamppujen verkkovalmiustilan energiankulutuksesta. Jos lamppua oletetaan käytettävän 1 000 tuntia vuodessa ja päälläoloajan energiankulutus ilmoitetaan sen perusteella, niin verkkovalmiustilan energiankulutus olisi järkevää ilmoittaa tunteina, jotka vuodesta on tämän ajan jälkeen jäljellä, eli kilowattitunteina 7 760 tuntia kohden. Lisäksi verkkovalmiustilan energiankulutus pitäisi huomioida lampun energiatehokkuusluokkaa määritettäessä.

Kuviossa 24 on annettu esimerkki teholtaan 4,5 watin älylampun vuotuisesta energiankulutuksesta siinä tapauksessa, että sen verkkovalmiustilateho olisi jatkuvasti 0,5 wattia. Oranssit pylväät kuvaavat älylampun päälläoloajan energiankulutuksen 1 000 tunnissa kirkkauden eri arvoilla, kun taas harmaat pylväät kuvaavat lampun verkkovalmiustilan energiankulutuksen 7 760 tunnissa. Siniset pylväät puolestaan kertovat lampun kokonaisenergiankulutuksen. Puolen watin jatkuva verkkovalmiusteho tarkoittaisi 4,5 watin älylampun tapauksessa sitä, että käytettäessä lamppua 1 000 tuntia vuodessa täydellä valovirralla, lampun vuosittainen energiankulutus lähes kaksinkertaistuisi. Tällöin lamppu kuluttaisi vuoden aikana päällä ollessaan 4,5 kilowattituntia ja verkkovalmiustilassa 3,88 kilowattituntia. Lampun kustannukset verkkovalmiustilassa olisivat vuodessa noin 0,78 euroa sähkön käytön esimerkkihinnalla 20 senttiä per kilowattitunti.



**Kuvio 24.** Jatkuvan 0,5 watin verkkovalmiustilatehon vaikutus älylampun energiankulutukseen.

Tutkituilla Airamin älylamppuilla jo vähäiselläkin himmentämisellä saatiin aikaan energiasäästöä suhteessa Airamin perinteisiin LED-lamppuihin ja himmentämällä 40 prosentin kirkkauteen päästiin energiankulutuksessa Philipsin energiatehokkaiden LED-lamppujen tasolle. Mikäli verkkovalmiustilateho olisi jatkuvasti puolen watin luokkaa, niin himmentämisellä ei olisi mahdollista saavuttaa energiasäästöä perinteisiin LED-lamppuihin verrattuna. Tällöin älylamppu kuluttaisi energiaa 4,38 kilowattituntia vuodessa, vaikka ei olisi lainkaan päällä. Käyttämällä älylamppua 1 000 tuntia keskimäärin 80 prosentin kirkkaudella tarkoittaisi sekin, että lamppu kuluttaisi vuodessa enemmän energiaa verkkovalmiustilassa kuin päällä ollessaan.

LED-lamppujen takaisinmaksuaikojen laskennassa lampun hankintahinnalla oli erittäin suuri merkitys. Kaikissa kolmessa ryhmässä hankintahinnaltaan selvästi edullisimmalla LED-lampulla oli myös ylivoimaisesti lyhyin takaisinmaksuaika. Hankintahinnan lisäksi takaisinmaksuaikaan vaikuttaa LED-lampun tehoero suhteessa korvattavaan hehkulamppuun. Mikäli hehkulamppuvastaavuudeltaan toisiaan vastaavien LED-lamppujen hankintahinnat olisivat samat, niin lyhyin takaisinmaksuaika olisi energiatehokkaimmalla lampulla.

Tutkimuksen jokaisessa ryhmässä yksi lamppu oli hankintahinnaltaan selvästi muita edullisempi. Takaisinmaksuajat olivat enimmillään, noin 1 400 tuntia. Kun LED-lamppujen takaisinmaksuaikoja vertailtiin keskenään, niin näin lyhyessä ajassa ei ollut mahdollista kuroa hankintahinnasta johtuvia suuria eroja umpeen. Tämä johtuu siitä, että kaikki LED-lamput ovat paljon hehkulamppuja energiatehokkaampia. Vaikka jokin LED-lamppu kuluttaisi esimerkiksi puolet vähemmän energiaa kuin jokin toinen, niin tehoero suhteessa korvattavaan hehkulamppuun ei kuitenkaan ole merkittävästi suurempi. Himmentämällä voidaanakin lyhentää älylamppun takaisinmaksuaikaa enimmillään noin 7–12 prosenttia hehkulamppua korvattaessa.

Takaisinmaksuajan laskennassa LED-lamppujen kulutusta verrattiin suhteessa korvattavaan hehkulamppuun, eikä se tästä johtuen ollut paras mahdollinen mittari LED-lamppujen väliseen vertailuun. Energiankulutusta vertailtaessa lyhyimmän takaisinmaksuajan omaavat Airamien perinteiset LED-lamput eivät pärjänneet enää ryhmän muille lamppuille. Elinkaarikustannuksissa 15 vuoden ajanjaksolla ne olivat kuitenkin pienemmästä hankintahinnasta johtuen varteenotettava vaihtoehto jokaisessa vertailuryhmässä. Elinkaarikustannukset ovat paras tapa vertailla LED-lamppujen keskinäistä paremmuutta, koska silloin huomioidaan parhaassa tapauksessa lamppujen kaikki kustannukset niiden hankinnasta aina elinkaaren loppuun saakka. Elinkaarikustannusten laskeminen ei ole kuitenkaan täysin mutkatonta.

Sähkön hinnan kehitystä on mahdotonta ennustaa pitkälle tulevaisuuteen, minkä vuoksi tässä tutkimuksessa sen oletetaan pysyvän samana lamppujen koko elinkaaren ajan. Sähkön hinnan vaihtelu toki vaikuttaa lamppujen elinkaarikustannuksiin, mutta tässä tutkimuksessa asialla ei ole lopputuloksen kannalta suurta merkitystä. Tutkimuksen laskelmissa sähkön hinta on kaikille lamppuille sama ja muutokset sähkön hinnassa muuttaisivat lamppujen kustannuksia samassa suhteessa. Siinä tapauksessa, että älylamppujen verkkovalmiustilan energiankulutus olisi ollut merkittävää, ja se olisi otettu laskelmissa huomioon, niin sähkön hinnan muuttuminen olisi joko kasvattanut, tai kaventanut kustannuseroja älylamppujen ja perinteisten LED-lamppujen välillä.

Tutkimuksessa lamppujen elinkaarikustannuksia tarkasteltiin 15 ja 45 vuoden ajanjaksoilla. Laskelmissa oletettiin lamppujen hankintahintojen pysyvän uusittaessa samana kuin mitä ne olivat ensimmäistä lamppua hankittaessa. Lamppujen energiatehokkuus kuitenkin kehittyy todella nopeasti, eikä tällä hetkellä markkinoilla olevia lamppeja ole todennäköisesti saatavilla enää 15 vuoden kuluttua. Vaikka vastaavia lamppeja löytyisi vielä silloin markkinoilta, niin oletettavasti ne olisivat paljon nykyistä edullisempia. Näitä asioita ei huomioida tämän tutkimuksen elinkaarikustannuksissa, mikä vääristää jonkin verran tutkimustuloksia 45 vuoden ajanjaksolla.

Tutkimuksen laskelmissa ei oteta huomioon myöskään himmennuksen vaikutusta älylamppujen elinikään. Himmentäminen laskee LED-lampun lämpötilaa, mikä puolestaan hidastaa ledin valovirran alenemaa ja vaikuttaa täten pidentävästi sen elinikään (Hi-dealite, 2019). Mikäli älylamppua käytetään tilassa, jossa sitä voidaan merkittävästi himmentää, ei älylamppua todennäköisesti tarvitse uusia vielä 15 vuoden jälkeen. Himmentämisen mahdollisuus riippuu kuitenkin paljon lampun käyttötarkoituksesta ja valaistavasta tilasta, eikä se ole välttämättä kaikissa tapauksissa mahdollista.

## 11 Johtopäätökset

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voiko älylamppuilla saavuttaa energia- ja kustannussäästöjä perinteisiin LED-lamppuihin verrattuna. Älylamppujen takaisinmaksuaika, energiankulutus ja elinkaarikustannukset laskettiin energiankulutusmittaria apuna käyttäen, jonka jälkeen tuloksia vertailtiin perinteisille LED-lampuille laskettuihin vastaaviin tuloksiin.

Tutkimuksen perusteella voitiin tehdä seuraavat johtopäätökset:

- Tutkittujen älylamppujen verkkovalmiustilateho osoittautui oletettua pienemmäksi.
- Älylamppujen takaisinmaksuaikaa voidaan lyhentää himmentämällä korkeintaan noin 7–12 prosenttia hehkulamppua korvattaessa.
- Älylamppu oli jokaisessa vertailuryhmässä vähiten energiaa kuluttava vaihtoehto kirkkauden ollessa enintään 40 prosenttia.
- Älylamppua täytyy himmentää keskimäärin jopa alle 33 prosentin kirkkauteen, jotta se on elinkaarikustannuksiltaan perinteisiä LED-lamppuja edullisempi vaihtoehto 15 vuoden ajanjaksolla.
- Energiatavokkaimpaan A-luokkaan kuuluvat pitkäikäiset Philipsin LED-lamput olivat edullisin vaihtoehto tarkasteltaessa elinkaarikustannuksia 45 vuoden ajanjaksolla.

Mittausten perusteella älylamppujen verkkovalmiustilatehon todettiin olevan niin vähäistä, ettei sitä tarvinnut ottaa huomioon. Tämä päätös vääristää kuitenkin jonkin verran tutkimustuloksia. Vaikka tutkittavien älylamppujen verkkovalmiustilan energiankulutus olikin vähäistä, niin kaikesta huolimatta ne kuluttavat jonkin verran energiaa ollessaan pois päältä. Jotta verkkovalmiustilan energiankulutus olisi voitu ottaa laskelmissa huomioon, olisi tarvittu pitkäaikaisia mittauksia, sekä tarkempi mittalaite kuin mitä

tässä tutkimuksessa käytettiin. Älylamppujen verkkovalmiustilan energiankulutuksessa olisi aihetta jatkotutkimuksille.

Tutkimuksen perusteella älylamppuilla on mahdollista säästää energiaa perinteisiin LED-lamppuihin verrattuna, jos valaistava tila ja käyttötarkoitus sallii himmentämisen. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi oleskelutilat, joihin himmentäminen ja valaistusominaisuuksien säätäminen tuovat säästöjen lisäksi oleskelumukavuutta. Tällaisiin tiloihin älylamppu on hyvä vaihtoehto, koska valonlähde voidaan säätää aina jokaiseen tilanteeseen sopivaksi. Toisaalta himmentäminen ei ole välttämättä mahdollista esimerkiksi työskentelytiloissa, joissa valonlähteeltä vaaditaan jatkuvasti pitkiä aikoja mahdollisimman paljon valoa. Tällaisiin tiloihin lamppu kannattaa valita energiatehokkuuden ja pitkän polttoajan perusteella.

Älylamput olivat elinkaarikustannuksiltaan jokaisen vertailuryhmän kallein vaihtoehto, kun niitä käytettiin täydellä valovirralla. Himmentämällä älylamppuista saatiin kuitenkin jokaisessa vertailuryhmässä edullisin vaihtoehto tarkasteltaessa elinkaarikustannuksia 15 vuoden ajanjaksolla. Philipsin LED-lamput olivat edullisin vaihtoehto 45 vuoden elinkaarikustannuksissa, mikä johtui suurelta osin muita lamppuja pidemmästä eliniästä. Elinkaarikustannuslaskelmiin 45 vuoden ajanjaksolla mahtuu kuitenkin paljon epävarmuustekijöitä, joten tuloksiin on syytä suhtautua kriittisesti.

Älylamppu oli ensimmäisessä ryhmässä 15 vuoden ajanjaksolla elinkaarikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto, kun sitä käytettiin keskimäärin korkeintaan 39 prosentin kirkkaudella. Toisessa ryhmässä älylamppun keskimääräinen kirkkaus sai olla enintään 49 prosenttia ja kolmannessa ryhmässä ainoastaan 33 prosenttia, jotta elinkaarikustannukset pysyivät ryhmän muita lamppuja matalampina. Kaikki vertailtavat LED-lamput olivat kuitenkin kilpailukykyisiä, eikä lamppujen elinkaarikustannuksissa ollut suuria eroja 15 vuoden ajanjaksolla. Kun älylamppua käytettiin keskimäärin 20 prosentin kirkkaudella, oli säästö ryhmän toiseksi edullisempaan lamppuun verrattuna tarkasteluryhmästä riippuen 1,68–7,56 euroa 15 vuodessa. Älylampulla on siis mahdollista sääs-

tää parhaassa tapauksessa noin 0,50 euroa vuodessa perinteisiin LED-lamppuihin verrattuna.



## 12 Yhteenveto

Tutkimuksessa selvitettiin voiko älylamppuilla saavuttaa energia- ja kustannussäästöä perinteisiin LED-lamppuihin verrattuna. Tutkimusta varten valittiin kolme erilaista Airamien Wi-Fi-älylamppua. Lisäksi vertailua varten valittiin yksi tai useampi kutakin älylamppua valovirraltaan vastaava perinteinen LED-lamppu. Lamput jaettiin kolmeen ryhmään niiden hehkulamppuvastaavuuksien perusteella. Energia- ja kustannussäästöjen selvittämiseksi mittareina käytettiin lamppujen energiankulutusta, elinkaarikustannuksia ja takaisinmaksuaikaa.

Älylamppujen energiankulutus selvitettiin laskemalla energiankulutusmittaria apuna käyttäen. Mittausten tarkoituksena oli selvittää älylamppujen energiankulutus verkkovalmiustilassa sekä himmennuksen vaikutus lamppujen tehoon. Energiankulutusmittaukset osoittivat älylamppujen kirkkauden ja tehon suhteen olevan lineaarinen välillä 1–100 prosenttia. Mittaukset paljastivat tutkittavien älylamppujen verkkovalmiustilatehon olevan kuitenkin merkittävästi ilmoitettua 0,5 wattia pienempi. Mittari näytti verkkovalmiustilatehon olevan suurimman osan ajasta 0,0 wattia, mistä johtuen sitä ei loppulta otettu huomioon älylamppuille tehdyissä laskelmissa. Älylamppuille määritettyjä tuloksia verrattiin perinteisille LED-lamppuille laskettuihin tuloksiin.

Älylamppujen verkkovalmiustilatehon osoittauduttua merkityksettömäksi, jo vähäininkin himmentäminen sai aikaan energiansäästöä energiatehokkuudeltaan vastaaviin perinteisiin LED-lamppuihin verrattuna. Älylamppujen kirkkauden ollessa alle 40 prosenttia niiden energiankulutus oli pienempää kuin Philipsin energiatehokkailla LED-lampuilla. Tutkimuksen perusteella älylamppuilla on mahdollista vähentää energiankulutusta ja säästää kustannuksissa perinteisiin LED-lamppuihin verrattuna, jos niitä on käyttötarkoitus huomioiden mahdollista himmentää merkittävästi.

Älylamppujen takaisinmaksuajat vaihtelivat hehkulamppuja korvattaessa lampusta riipuen vähän alle tuhannesta tunnista noin 1 400 tuntiin. Himmentämällä voitiin lyhentää älylamppujen takaisinmaksuaikoja enintään hieman yli sadalla tunnilla eli noin 7–12

prosentilla. Takaisinmaksuajat olivat kaikissa tutkimusryhmissä selvästi lyhyimmät hankintahinnaltaan ryhmän muita lamppeja edullisemmilla Airamien perinteisillä LED-lampuilla, enimmillään noin 400 tuntia. Älylamppeujen takaisinmaksuajoissa ei siis edes himmentämällä päästy lähellekään Airamien perinteisten LED-lamppeujen tasoa, kun takaisinmaksuajat laskettiin suhteessa hehkulamppuihin.

Elinkaarikustannuksia esittävästä kuvioista voitiin kuitenkin havaita, että älylamput maksavat itsensä takaisin suhteessa Airamien perinteisiin LED-lamppeuihin elinkaarensa aikana. Ensimmäisessä ryhmässä älylamput takaisinmaksuaika suhteessa Airamien perinteiseen LED-lamppuun oli 11 370 tuntia, kun älylamppua käytettiin keskimäärin 20 prosentin kirkkaudella. Toisessa ryhmässä älylamput takaisinmaksuajat olivat 5 854 tuntia 20 prosentin ja 9 043 tuntia 40 prosentin keskimääräisellä kirkkaudella. Kolmannen ryhmän älylamput takaisinmaksuaika oli puolestaan 12 094 tuntia 20 prosentin keskimääräisellä kirkkaudella.

Tarkasteltaessa LED-lamppeujen elinkaarikustannuksia 15 vuoden ajanjaksolla olivat Airamien perinteisten LED-lamppeujen ja Philipsin energiatehokkaiden LED-lamppeujen kustannukset hankintahinnassa olevista eroista huolimatta samaa luokkaa jokaisessa tutkimusryhmässä. Älylamppeujen elinkaarikustannukset 15 vuodessa olivat täydellä valovirralla korkeimmat jokaisessa ryhmässä. Älylamppeujen kirkkauden ollessa keskimäärin 40 prosenttia ne pääsivät elinkaarikustannuksissa samalle tasolle ryhmän muiden lamppeujen kanssa. Keskimääräisellä 20 prosentin kirkkaudella älylamput olivat jokaisessa ryhmässä elinkaarikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto 15 vuoden ajanjaksolla.

Philipsin LED-lamput olivat energiatehokkuutensa ja pitkän 50 000 tunnin polttoaikansa ansiosta jokaisen ryhmän edullisin vaihtoehto tarkasteltaessa elinkaarikustannuksia 45 vuoden ajanjaksolla. Koska Airamien LED-lamppeujen polttoajaksi oli ilmoitettu 15 000 tuntia, nämä lamput oli uusittava kahdesti tarkasteltavan 45 vuoden ajanjakson aikana. Täydellä valovirralla älylamppu oli elinkaarikustannuksiltaan jokaisen ryhmän kallein

vaihtoehto. Älylamppujen kustannukset saatiin samalle tasolle Airamien perinteisten LED-lamppujen kanssa, kun älylamppuja käytettiin keskimäärin 40 prosentin kirkkaudella. Älylamppujen keskimääräisen kirkkauden ollessa 20 prosenttia elinkaarikustannukset 45 vuodessa saatiin pienemmiksi kuin Airamien perinteisillä LED-lampuilla. Tällä 20 prosentin keskimääräisellä kirkkaudella älylamput pääsivät kuitenkin parhaimmillaan vain lähelle Philipsin LED-lamppujen elinkaarikustannusten tasoa.

## Lähteet

- Airam. (2021, 6. toukokuuta). *Airam Smart Home -tuotteet*. Noudettu 2022-3-17 osoitteesta <https://www.airam.fi/product/family/17604>
- Energiavirasto. (2021, 1. syyskuuta). *Lamput*. Noudettu 2022-3-29 osoitteesta <https://energiamerkinta.fi/lamput/>
- Euroopan komissio. (2012, 26. syyskuuta). KOMISSION DELEGOITU ASETUS (EU) N:o 874/2012, annettu 12 päivänä heinäkuuta 2012, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2010/30/EU täydentämisestä sähkölamppujen ja valaisimien energiamerkinnän osalta. Noudettu 2022-3-29 osoitteesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0874&from=FI>
- Euroopan komissio. (2019, 5. joulukuuta). KOMISSION DELEGOITU ASETUS (EU) 2019/2015, annettu 11 päivänä maaliskuuta 2019, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2017/1369 täydentämisestä valonlähteiden energiamerkinnän osalta ja komission delegoidun asetuksen (EU) N:o 874/2012 kumoamisesta. Noudettu 2022-3-16 osoitteesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R2015&from=EN#d1e32-89-1>
- Halonen, L. & Lehtovaara, J. (1992). *Valaistustekniikka*. Otatieto Oy.
- Hidealite. (2019, 25. kesäkuuta). *LED-koulu*. Noudettu 2022-4-27 osoitteesta <https://www.hidealite.com/fi-fi/tuki/led-koulu>
- Kallio, N. (2021). *LED-lamppujen takaisinmaksuaika ja säästöt kotitalouksien kannalta* [Kandidaatintutkielma, Vaasan yliopisto]. Osuva. [Rajattu pääsy]
- Khan, M. N. (2014). *Understanding LED Illumination*. CRC Press.
- Motiva Oy. (2012a, 26. lokakuuta). *Pakkausmerkinnät*. Noudettu 2022-3-30 osoitteesta <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-pakkausmerkinnat/>
- Motiva Oy. (2012b, 26. lokakuuta). *Valovoima – Kandela*. Noudettu 2022-4-4 osoitteesta <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/kandela-valovoima/>
- Motiva Oy. (2016a, 11. syyskuuta). *Valon määrä – lumen-arvo*. Noudettu 2022-3-16 osoitteesta <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/lumen-valon-maara/>

- Motiva Oy. (2016b, 11. syyskuuta). *Väriämpötila – Kelvin-arvo*. Noudettu 2022-4-4 osoitteesta <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/kelvin-varilampotila/>
- Motiva Oy. (2016c, 11. syyskuuta). *Värintoistokyky – Ra-indeksi*. Noudettu 2022-4-4 osoitteesta <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/varintoistokyky/>
- Motiva Oy. (2017a, 3. huhtikuuta). *Huolto*. Noudettu 2022-4-5 osoitteesta <https://valaistustieto.fi/huolto/>
- Motiva Oy. (2017b, 12. syyskuuta). *Led-älylamput*. Noudettu 2022-3-30 osoitteesta <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/alasivu/led-alylamput/>
- Motiva Oy. (2021, 1. syyskuuta). *Lamppujen energiamerkintä uudistuu 1.9.2021*. Noudettu 2022-3-30 osoitteesta <https://lampputieto.fi/media/ajankohtaista/lamppujen-energiamerkinta-uudistuu-1-9-2021/>
- Philips. (2020, 2. heinäkuuta). *Älylamput*. Noudettu 2022-3-17 osoitteesta <https://www.philips-hue.com/fi-fi/products/smart-light-bulbs>
- Philips. (2021, 30. elokuuta). *Ultra efficient*. Noudettu 2022-3-16 osoitteesta <https://www.lighting.philips.co.uk/consumer/ultra-efficient>
- Signify. (2021, 30. elokuuta). *Good for planet and purse: Signify introduces Philips LED's first most energy-efficient A-class bulbs*. Noudettu 2022-3-30 osoitteesta <https://www.signify.com/en-gb/our-company/news/press-releases/2021/20210830-signify-introduces-philips-leds-first-most-energy-efficient-a-class-bulbs>
- STEK ry. (2019, 9. elokuuta). *Valaise energiatehokkaasti*. Noudettu 2022-3-16 osoitteesta <https://stek.fi/energiatehokkuutta-sahkolla/valaistus/valaise-energiatehokkaasti-uusi>
- Sähkötieto ry. (2017, 4. joulukuuta). *Valonlähteet*. Noudettu 2022-3-16 osoitteesta <https://peda.net/jao-ammattillinen/pilotoinnit/sjap/smjt1a/sjap/s%C3%A4hk%C3%B6asennukset-1/s%C3%A4hk%C3%B6asennukset2/valaistuskytken%C3%A4t/valonl%C3%A4hteet>

teet:file/download/eb0c984aa8208da06fea9e4eb28c78b961dc21be/ST%2058.  
08%20Valonl%C3%A4hteet.pdf

Teknoliateollisuus. (2019, 13. joulukuuta). *Näin vertaillet ledivalaisimia 3.0*. Noudettu  
2022-4-4 osoitteesta [https://teknoliateollisuus.fi/sites/default/files/2019-12/N%C3%A4in%20vertaillet%20ledivalaisimia%203.0\\_2019.pdf](https://teknoliateollisuus.fi/sites/default/files/2019-12/N%C3%A4in%20vertaillet%20ledivalaisimia%203.0_2019.pdf)