

Petteri Sulander

Energiansäästötoimenpiteiden taloudellisuus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

24.5.2018

Tekijä Otsikko	Petteri Sulander Energiansäästötoimenpiteiden taloudellisuus
Sivumäärä Aika	32 sivua 24.5.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka, suunnittelupainotteinen
Ohjaajat	lehtori Jarmo Tapio DI Pellervo Matilainen DI Jani Penttinen
<p>Insinööriyössä selvitettiin eri energiansäästötoimenpiteiden vaikutusta Lohjalla sijaitsevaan päiväkotij- ja koulurakennus Laurentiustaloon. Päämääränä oli määrittää kustannustehokkain tapa vaikuttaa Laurentiustalon E-lukuun. Tuloksia on tarkoitus käyttää hyödyksi myöhemmin myös tilaajayrityksen muissa kohteissa, joissa E-lukua on parannettava kustannustehokkaasti.</p> <p>E-lukuvaikutusta tutkittiin aurinkopaneelien, energiatehokkaampien ikkunoiden ja lämmöntalteenottolaitteiden osalta. Tuloksista selvisi, että kustannustehokkain keino vaikuttaa E-lukuun on suuri aurinkopaneelijärjestelmä. Toiseksi kustannustehokkain on energiatehokkaampien ikkunoiden käyttö ja kolmanneksi lämmöntalteenottolaitteiden vuosihyötysuhteen parantaminen.</p> <p>Insinööriyöhön kerättiin lisäksi yleistä tietoa aurinkopaneeleista ja luotiin laskuri, jonka perusteella tilaajayritys voi arvioida aurinkopaneelijärjestelmien taloudellista kannattavuutta</p>	
Avainsanat	energiansäästö, E-luku

Author Title	Petteri Sulander Cost Effective Energy Saving
Number of Pages Date	32 pages 24 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineer
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Jarmo Tapio, Senior Lecturer Pellervo Matilainen, M.Sc. Jani Penttinen, M.Sc.
<p>The thesis analysed the effects of various energy saving measures on Laurentiustalo, a kindergarten and school building in Lohja. The objective was to determine the most cost-effective way to influence the E-value of the building.</p> <p>The E-value effect was calculated for solar panels, more energy efficient windows and heat recovery equipment. The results showed that the most cost-effective way of influencing the E-value was a large solar panel system. The second most cost effective way of influencing the E-value was the use of energy-efficient windows. The third most cost effective way of influencing the E-value was the improvement of the annual efficiency of the heat recovery equipment.</p> <p>In addition, general information about the solar modules was gathered for the thesis, and a computational calculator was created to enable the subscriber to evaluate the financial viability of solar panel systems.</p> <p>In the future, the results can be applied to other buildings managed by the subscriber where the cost-effectiveness of the E-value has to be increased</p>	
Keywords	energy saving, E-value

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinkopaneelit	2
2.1	Aurinkopaneeleista yleisesti	2
2.1.1	Aurinko energian lähteenä	2
2.1.2	Aurinkokennojen kehitys ja tulevaisuus	3
2.1.3	Aurinkokennojen tuotto	5
2.1.4	Esteettömyys	7
2.1.5	Investoinnin kustannuksien arviointi	7
2.2	Toimitilarakennusten aurinkopaneelijärjestelmien optimikoon määrittelyyn tarkoitettu laskuri	9
2.2.1	Taustaa aurinkolaskurin tarpeellisuudelle	9
2.2.2	Laskurin toimintaperiaate	12
3	Energiansäästöratkaisujen kustannustehokkuus ja vaikutus Laurentiustalon E-lukuun	14
3.1	Laurentiustalo	14
3.2	E-lukuvaatimus Laurentiustalolle	16
3.3	Aurinkopaneelien kustannustehokkuus ja vaikutus Laurentiustalon E-lukuun	18
3.4	LTO-laitteiden kustannustehokkuus ja vaikutus Laurentiustalon E-lukuun	19
3.5	Ikkunoiden kustannustehokkuus ja vaikutus Laurentiustalon E-lukuun	21
3.6	Energiansäästöratkaisujen vertailu	22
4	Yhteenveto	29
	Lähteet	31

Lyhenteet

E-luku	E-luku ilmaisee energiamuotokertoimilla painotettua laskennallista energiatehokkuutta ja on siis vertailuluku, jolla voidaan vertailla eri rakennusten energiatehokkuutta, kun energiatehokkuuslaskenta on toteutettu lain määrittämällä tavalla. E-luvun yksikkö on kWhE/(m ² a).
kWp	kWp tarkoittaa järjestelmän huipputehoa kilowatteina.
U-arvo	U-arvo tarkoittaa lämmönläpäisykerrointa. U-arvon yksikkönä on W/(Km ²).

1 Johdanto

Sekä kansainväliset että kansalliset sopimukset, säädökset ja lait ohjaavat rakentamista kauttaaltaan yhä vähäpäästöisempään suuntaan. Kun rakennusalalla toimivien yritysten on globaalisti ollut pakko käyttää ympäristöystävällisempiä ratkaisuja, ovat myös tuotteiden hinnat muuttuneet kilpailukykyisemmiksi tuotannon kasvaessa. Myös ihmisten kasvanut kiinnostus valita vastuullisia yrityksiä, toimii yleisesti houkuttimena rakennusalalla rakentaa ekologisesti kestävästi. [4; 7; 8.]

Opinnäytetyön tilaajana toimi Skanska Talonrakennus Oy. Opinnäytetyön tärkein tavoite on löytää kustannustehokkaita tapoja vaikuttaa rakennuksen E-lukuun ja energiatehokkuuteen, päiväkotij- ja koulurakennus Laurentiustalossa tarkasteluesimerkkinä käyttäen. E-luku on siis eri energiamuotojen kertoimilla painotettu laskennallinen luku, joka kuvaa rakennuksen energiatehokkuutta. Tavoitteeseen pyritään osatavoitteiden kautta.

Opinnäytetyössä on seuraavia osatavoitteita:

- kerätään yleistä tietoa aurinkopaneeleista myöhempää käyttöä varten
- luodaan työkalu aurinkopaneelijärjestelmien taloudellisuuden arvioinnin avuksi toimitilarakennuksissa
- selvitetään aurinkopaneelien, ikkunoiden U-arvon ja LTO-laitteiden kustannustehokkuutta ja vaikutusta Laurentiustalon E-lukuun.

Skanskalla noin 10 vuotta sitten tehdyssä energiansäästöratkaisujen vertailussa LTO-laitteiden vuosihyötysuhteen parantaminen ja ikkunoiden U-arvon pienentäminen osoittautuivat kustannustehokkaimmiksi keinoiksi pienentää energiankulutusta tarkastelussa mukana olleista investoinneista. Opinnäytetyössä selvitetään nykytilanne näiden investointien osalta ja otetaan uutena mukaan myös aurinkopaneelit. Suorien energiansäästövaikutusten ohella tarkastellaan sitä, minkälaisia vaikutuksia edellä mainituilla keinoilla saadaan E-lukuun, varhaisessa suunnitteluvaiheessa olevassa päiväkotij- ja koulurakennus Laurentiustalossa. [10]

Aurinkopaneelien halpeneminen ja se, että E-luvun määrittelyyn tarvittavaa laskennallista ostoenergiantarvetta laskettaessa suurin painoarvo on annettu sähkölle, tekee aurinkopaneeleista vartenotettavan vaihtoehdon pudottaa rakennuksien E-lukua. Osana opinnäytetyötä on kehitetty laskuri, jolla voidaan arvioida aurinkopaneelijärjestelmien optimikokoa toimitilarakennuksissa.

2 Aurinkopaneelit

2.1 Aurinkopaneeleista yleisesti

2.1.1 Aurinko energian lähteenä

Kaikki ihmisen merkittävästi hyödyntämä energia on peräisin auringosta lukuun ottamatta geotermistä energiaa, vuorovesienergiaa ja ydinvoimaa. Jo satoja miljoonia vuosia sitten kasvit ovat keränneet auringon energiaa itseensä. Muut eliöt ovat puolestaan käyttäneet ravinnokseen kasveja, jolloin auringon energia on alkanut sitoutua myös muuhun biomassaan. Fossiiliset polttoaineet kuten öljy, kivihiili, maakaasu ja turve, ovatkin syntyneet kasvien ja muiden eliöiden fossilisoituessa.

Tuuli ja sen myötä tuulivoima, on niin ikään peräisin auringosta. Auringon lämmittäessä maapalloa epätasaisesti, syntyy ilmanpaine-eroja, jotka saavat ilmavirrat liikkumaan. Maalämpö on taas maaperään varastoitunutta auringon energiaa, jota hyödynnetään nykyisin enenevässä määrin erityisesti rakennusten lämmityksessä.

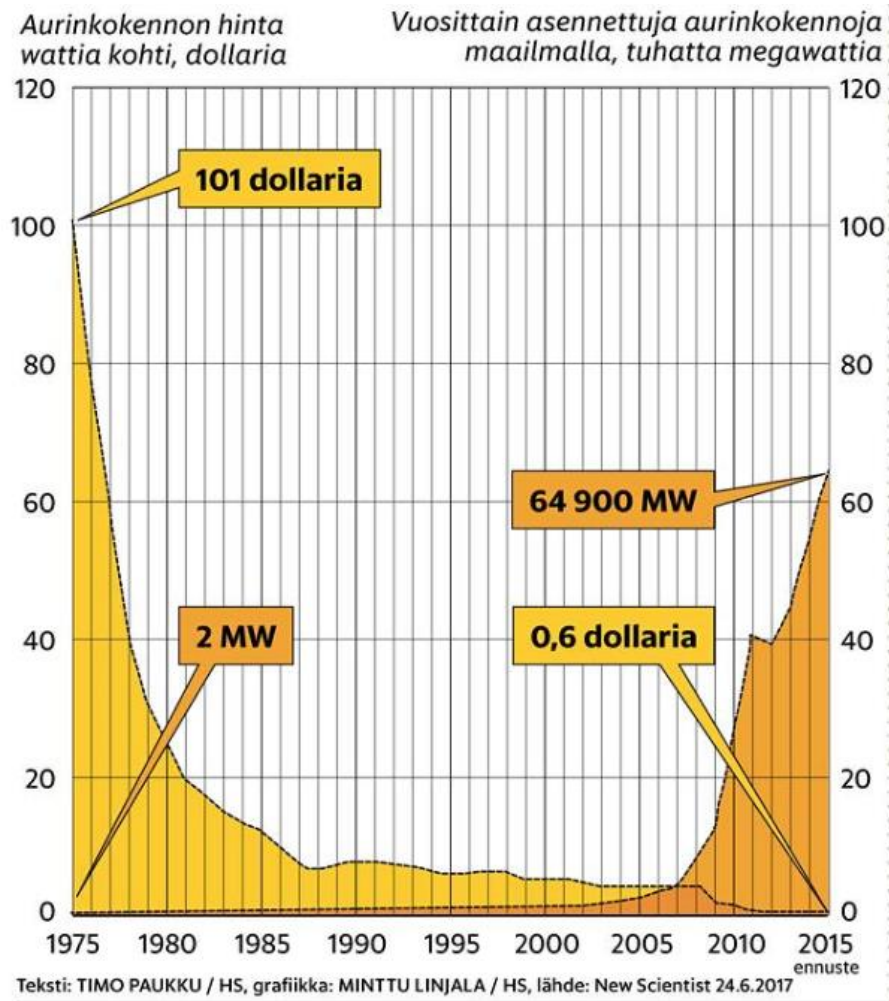
Kun aurinko lämmittää maapallon meriä ja vesistöjä, vesi haihtuu ja muodostaa pilviä. Myöhemmin osa vedestä sataa merenpinnan yläpuolelle muodostaen jokia ja koskia, jolloin auringon energia on veteen sitoutuneena potentiaalienergiana hyödynnettävissä vesivoimalaitosten avulla. [12]

Aurinkoenergia on siis auringon säteilemän energian hyödyntämistä. Usein aurinkoenergialla tarkoitetaan kuitenkin säteilyenergian hyödyntämistä suoraan aurinkokennojen tai aurinkokeräinten avulla. Aurinkokennoilla auringon säteily muunnetaan sähköenergiaksi ja aurinkokeräimillä käyttökelpoiseksi lämpöenergiaksi.

2.1.2 Aurinkokennojen kehitys ja tulevaisuus

Vuonna 2015 aurinkokennoista piikkennoja oli 85 %, ja maailman tehokkaimman mustan piikennon hyötysuhde oli 22 %. Koska piin tarkka puhdistaminen epäpuhtauksista, kuten metalleista, on kallista, jää kaupallisessa myynnissä olevien paneelien hyötysuhde alle 20 prosentin. Piikkennojen teoreettinen hyötysuhdekin on vain noin 30 %. Tämä johtuu muun muassa siitä, että aurinkokennot toimivat rajatuilla aaltopituuksilla. [6.]

Aurinkokennojen taloudellisen kannattavuuden kehitystä arvioitaessa hyötysuhdetta oleellisempaa on tuotannon lisääntyminen ja sitä kautta tuotteiden halpeneminen (kuva 1).



Kuva 1. Aurinkokennoilla tuotetun sähköenergian hinnan kehitys aikavälillä 1975–2015. [4]

Aurinkopaneelien kannalta tärkeimmät aallonpituudet ovat suurimmaksi osaksi näkyvää valoa eikä infrapunasäteilyä esimerkiksi saada sähköä. [4.]

2.1.3 Aurinkokennojen tuotto

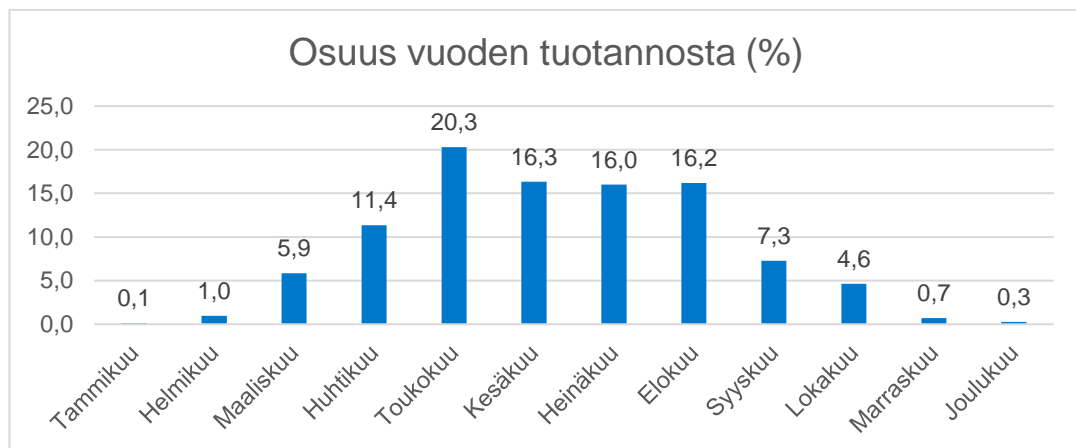
Etelä-Suomessa maanpinnalle tuleva säteily ja aurinkokennojen vuosituotto on samaa luokkaa Saksan pohjoisosien kanssa (taulukko 1).

Taulukko 1. Auringon säteily vaakatasolle [1]

	kWh/m2a		kWh/m2a
Helsinki	938	Aden	2708
Jokioinen	887	Rooma	1435
Sodankylä	807	Hampuri	938

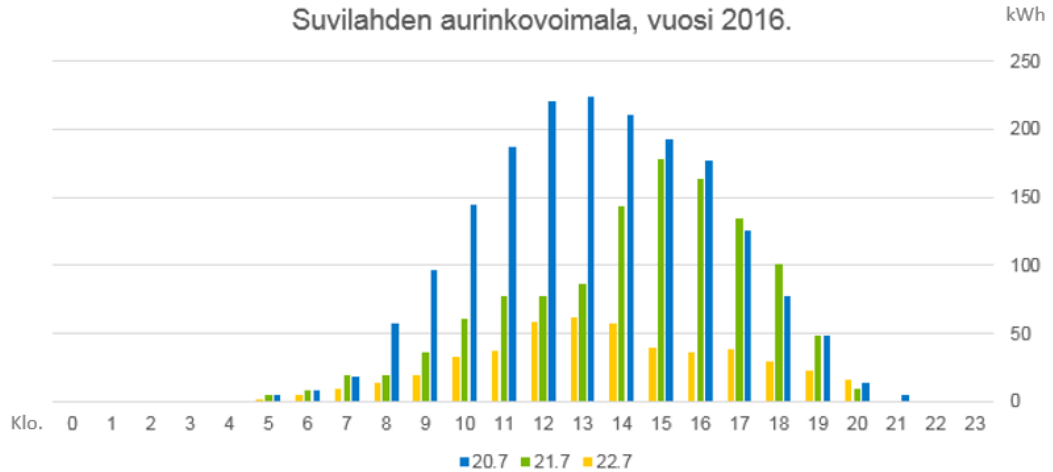
Aurinkoenergian vuosittainen saantimahdollisuus vaakatasossa neliometriä kohden

Aurinkokennojen tuotto on parhaimmillaan päivinä, jolloin on pilvetöntä, viileää (kennojen hyötysuhde on parempi viileässä) ja auringon säteily on voimakasta. Merkittävin tuotto Suomessa saadaan maaliskuun ja lokakuun välisenä aikana kuten kuvasta 2 voidaan todeta.



Kuva 2. Suvilahden aurinkovoimalan tuoton jakauma aikavälillä: heinäkuu 2015, heinäkuu 2016. Suvilahden aurinkovoimalassa paneelit ovat noin 15 asteen kulmassa lounasta kohti. [11]

Aurinkopaneelien tuotto vaihtelee myös vuosittain mutta verrattaessa perättäisiä päiviä jonain ajanjaksona, vaihtelu on usein vielä suurempaa. Suvilahden aurinkovoimala esimerkiksi tuotti sähköenergiaa 1814 kWh 20.7.2016, 1168 kWh 21.7.2016 ja 479 kWh 22.7.2016 (kuva 3).



Kuva 3. Suvilahden aurinkovoimalan tuoton jakauma tunneittain esimerkkipäivinä 20.7, 21.7 ja 22.7 [11]

Aurinkopaneelin tuotto riippuu asennuskulmasta ja ilmansuunnasta, johon se on asennettu. Paras vuosituotto saadaan asentamalla paneelit noin 40 asteen kulmaan etelän suuntaan (taulukko 2). Paneelien asentaminen muihin ilmansuuntiin voi tulla kuitenkin kyseeseen, jos halutaan energian tuoton ja kulutuksen vastaavan paremmin toisiaan. Jos esimerkiksi kohteessa sähkön tarve painottuu aamuun, voi olla perusteltua sijoittaa paneelit idän tai kaakon suuntaan.

Taulukko 2. Aurinkopaneelin tuotto riippuu asennuskulmasta ja ilmansuunnasta, johon se on asennettu [2].

Itä	0,755	10°	0,9
Kaakko	0,925	20°	0,957
Etelä	1	30°	0,991
Lounas	0,939	40°	1
Länsi	0,777	50°	0,984
		60°	0,944

*Tuotto Helsingin korkeudella, suhteessa
40 asteen kulmaan ja Etelän suuntaan asennettuun paneeliin.
Luvut ovat suuntaa-antavia.*

*Tuotto Helsingin korkeudella, suhteessa
40 asteen kulmaan ja Etelän suuntaan asennettuun paneeliin.
Luvut ovat suuntaa-antavia.*

2.1.4 Esteettömyys

Suunnittelussa on pyrittävä huomioimaan muu rakentaminen ja ympäristö siten, että aurinkon säteily pääsee mahdollisimman esteettömästi paneeleille. Puut ja muut varjostavat tekijät huonontavat paneelien tuottoa. Esimerkiksi tuuletusviemärit olisi optimaalista sijoittaa katon pohjoisosaan, jolloin ne eivät varjosta paneeleja. Ihanteellisinta on varata katolle yhtenäinen tila aurinkokennoja varten. [3.]

2.1.5 Investoinnin kustannuksien arviointi

Aurinkopaneelijärjestelmäinvestoinnin kustannus muodostuu paneeleista, inverttereistä, sähkölaitteista sekä ohjauskeskuksesta, asennustelineistä ja asennustyöstä. Aurinkopaneeli-investoinnin todelliseen kustannukseen vaikuttavat suuresti näiden lisäksi tietenkin tarjoaja, tarjousajankohta ja muut yleiset asiat, kuten minkä tahansa muunkin investoinnin kustannukseen.

Asennustyön kustannus laskee aina suhteessa siihen mitä enemmän asennetaan, mutta kohdekohtaiset erot voivat olla suuriakin jos kohde edellyttää esimerkiksi erityistyötä. Tasakattoasennuksissa asennustelineiden osuus kokonaishinnasta on suurempi kuin kaltevilla katoilla. Kaltevalle katolle paneelit asennetaan katon kulman mukaisesti eikä suuria asennustelineitä tarvita. Asennustyö on taas kaltevilla katoilla hankalampaa, mikä nostaa asennustyön osuutta kokonaiskustannuksen muodostumisessa.

Naps Solars Systemsin arvioita erikokoisten inverttereiden hinnoista:

- 12kW: 2300–2800 e
- 20kW: 2800–3500 e
- 50kW: yli 4000 e

Naps Solar Systemsin ilmoittamat yleiset takuuajat järjestelmän osille:

Invertterit: 5–7 vuotta, merkistä riippuen.

Paneelit: 10 vuoden tuotetakuu, joka kattaa esimerkiksi halkeamisen. 25 vuoden tehotaakuu, jonka mukaan 80 % paneelien tehosta tulisi olla vielä 25 vuoden päästä jäljellä.

Invertterien valmistajat myöntävät tarvittaessa takuuajan pidennyksiä sopimuksen yhteydessä. Hinta pidennykselle määräytyy valmistajan, invertterimallin sekä takuuajan pituuden mukaan. [3.]

Suomessa toimivien eri aurinkopaneelitoimittajien tarjouksien kustannukset samankoisista järjestelmistä vaihtelevat huomattavasti. Siksi paneelijärjestelmän toimittajien kilpailuttaminen on erityisen tärkeää.

YLE pyysi 12.11.2015 julkaistua artikkeliaan varten hintatarjousta usealta yritykseltä noin 3 kWp:n verkkoon kytkettävästä järjestelmästä asennuksineen (taulukko 3):

”Teettekö hintatarjouksen aurinkopaneelijärjestelmästä asennuksineen. Järjestelmä: Noin 3 kWp:n verkkoon kytkettävä järjestelmä (sisältäen paneelit 12 kpl, johdot ja muut tarvikkeet, kolmivaiheinen invertteri, käyttövalmiiksi asennettuna), kokonaishinta kotitaloudelle (sisältäen arvonlisäveron). Esimerkkikohte: 1,5-kerroksinen omakotitalo Uudellamaalla, talossa konesaumattu peltikatto etelän suuntaan, harjakatto jolla voi seistä.” [4.]

Taulukko 3. YLE:n saamat vastaukset hintakyselyyn. (Järjestelmät saattavat olla keskenään erilaisia.) [4.]

Järjestelmätoimittaja	Kokonaishinta (euroa, sis. ALV.)	Työn osuus (euroa)	Mahdollinen kotitalousvähennys
Naps Solar Systems	5950	2000	900
Areva Solar	6500	1050	472,5
Finnwind	6700	1500	575
Oulun Energia	6740	1850	732,5
Green Energy Finland	7572	2250	912,5
Fortum	7650	2045	820,25
Helen	8535	2570	1056,5

2.2 Toimitilarakennusten aurinkopaneelijärjestelmien optimikoon määrittelyyn tarkoitettu laskuri

2.2.1 Taustaa aurinkolaskurin tarpeellisuudelle

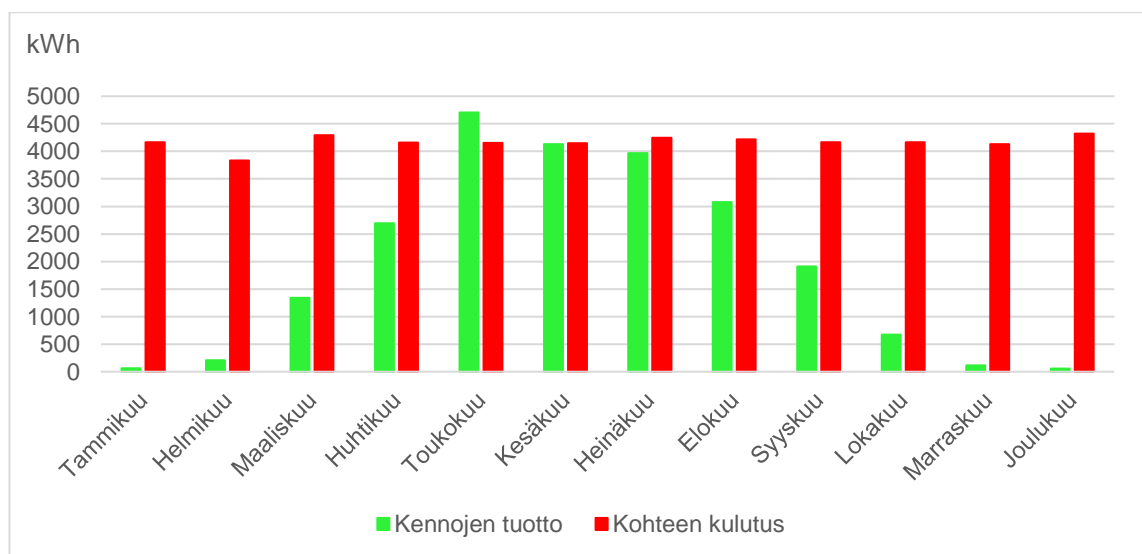
Yleisellä tasolla arvioiden yrityksen päätökseen investoida aurinkopaneelijärjestelmään johtavat aurinkokennojen tuoma imagollinen hyöty, vaikutus rakennuksen E-lukuun ja takaisinmaksuaika eli taloudellinen kannattavuus. Tätä opinnäytetyötä varten tehdyn laskurin tarkoitus on antaa Skanska Oy:lle työkalu, nimenomaan aurinkopaneelijärjestelmän taloudellisen kannattavuuden arviointiin. Laskurin nykyinen versio noudattaa toimitilarakennusten arvioitua sähkönkulutusta, mutta suhteellisen pienellä työllä siitä saataisiin muokattua versioita myös muihin rakennustyyppeihin, jos niiden tuntikohtaista sähkönkulutusdataa tulee saataville.

Lainsäädännöstä ja akkujärjestelmien kalleudesta [3] johtuen Suomessa ollaan tilanteessa, jossa takaisinmaksuaikaa ajatellen paneelijärjestelmän ylivoimaisuudesta on vältet-

tävä. Hetkinä jolloin aurinkokennojen tuotto ylittää kohteen oman tarpeen, joudutaan ylimääräinen sähköenergia myymään yleiseen sähköverkkoon. Verkkoon myytävästä sähköenergiasta on maksettava siirtomaksu ja energiavero, minkä jälkeen sähköstä saatu taloudellinen hyöty putoaa murto-osaan ja järjestelmän takaisinmaksuaika pitenee. Koska suuremmat paneelit ovat suhteessa pienempiä halvempia, taloudellisin aurinkopaneelijärjestelmä on mahdollisimman suuri niin, että (lähes) kaikki tuotettu sähkö saadaan käytettyä itse kohteessa.

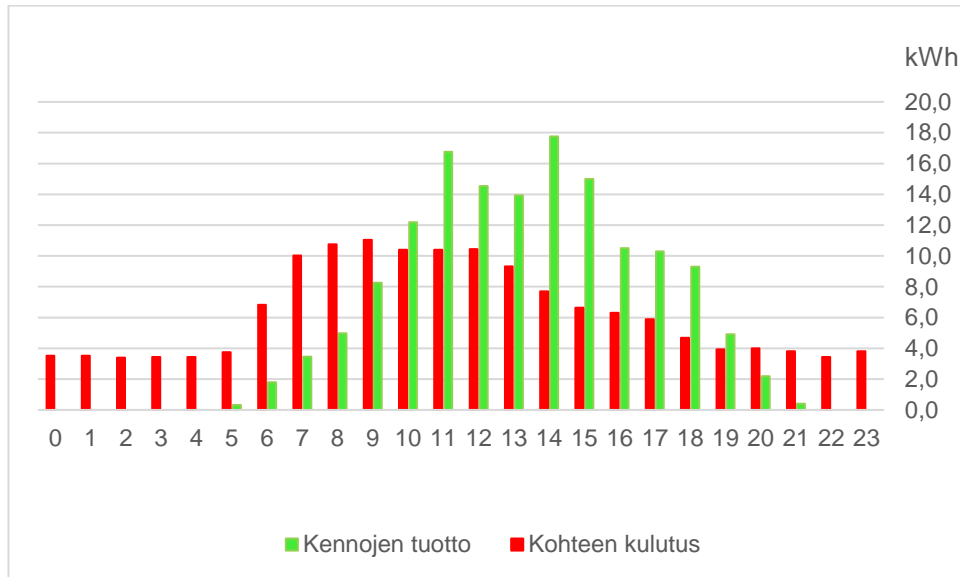
Kuvitellaan tilanne, jossa aurinkopaneelien toimittaja kertoo järjestelmän vuosituotoksi 22 950 kilowattituntia ja investoinnin hinnaksi 40 000 euroa. Urakoitsija on taas arvioinut oman kohteensa sähkönkulutukseksi 50 000 kilowattituntia vuodessa. Näiden lukujen erotuksen perusteella vaikuttaisi siltä, että ylimääräistä sähköä ei tule ja kaikki tuotettu sähkö pystytään käyttämään itse. Takaisinmaksuajaksi tulisi 14,5 vuotta (Sähkön ostohinta 12 snt/kWh).

Kuukausitason tarkastelu kuitenkin paljastaa, että toukokuun osalta aurinkopaneelijärjestelmä on hieman ylimitoitettu (kuva 4).



Kuva 4. Kuvitteellisen toimitilarakennuksen kuukausitason tarkastelu. Vuotuisesti kiinteistösähkön kulutukseksi on asetettu 50 000 kWh ja paneelien vuosituotoksi 22 950 kWh.

Kuukausitasoa paremmin todellisuutta vastaavaan tilanteeseen päästään vertaamalla kulutusta ja tuottoa tuntitasolla (kuva 5).



Kuva 5. Kuvitteellisen toimitilarakennuksen tuntitason tarkastelu. Vuotuiseksi kiinteistösähkön kulutukseksi on asetettu 50 000 kWh ja paneelin vuosituotoksi 22 950 kWh. Esimerkkipäiväksi on valittu 25.5

Kun verrataan esimerkkikohteen tuottoa ja kulutusta tuntitasolla koko vuoden osalta, huomataan, että tuotetusta sähköstä saadaan käytettyä itse vain n. 67 % ja takaisinmaksujaksi tulee 20,1 vuotta, alkuperäisen arvion 14,5 vuoden sijaan (Sähkön ostohinta 12 snt/kWh ja sähkön myyntihinta 2 snt/kWh).

2.2.2 Laskurin toimintaperiaate

Opinnäytetyön osana tehty laskuri vertaa tunti tunnilta paneelien tuottamaa sähköenergiaa toimitilakohteen sähkönkulutukseen ja laskee sen perusteella

- suoraan käyttöön saatavan sähköenergian ja sen rahallisen arvon
- sähköverkkoon myytävän sähköenergian ja sen rahallisen arvon
- investoinnin takaisinmaksuajan
- paljonko kohteen sähköntarpeesta saadaan katettua

Laskuriin asetetaan haluttu paneelijärjestelmän pinta-ala (m^2) sekä huipputeho paneelipinta-alaa kohti (kWp/m^2) kohden ja näiden lisäksi ilmansuuntakerroin, asennuskulmakerroin ja sijaintikerroin, jotka ovat kerättyinä laskuriin valmiiksi esille. Laskuri laskee tästä arvion vuosituotolle. Vuosituotto jakautuu excelin piilotettuihin soluihin vuoden jokaiselle tunnille realistisessa suhteessa, Helenin Suvilahden aurinkovoimalassa mitatun vuosien 2016 ja 2017 keskiarvoisen tuntikohtaisen datan perusteella.

Laskuriin asetetaan toimitilan arvioitu vuotuinen kiinteistösähkön kulutus, joka jakautuu excelin piilotettuihin soluihin vuoden jokaiselle tunnille realistisessa suhteessa. Laskurin sähkönkulutuksen tuntikohtainen jakauma perustuu Kathy-talon sähkönkulutuksen jakaumaan. (Skanska Oy:n pääkonttori sijaitsee Kathy-talossa.) Verrattaessa eri arkipäiviä tai viikonloppuja keskenään tunti tunnilta, kiinteistösähkön kulutusjakauma pysyy Kathy-talossa hyvin samanlaisena ympäri vuoden. Laskuri määrittää Kathy-talon ja annetun kiinteistösähkön kulutuksen perusteella tuntikohtaisen yhden viikon kulutuksen, joka kopioituu vuoden muille viikoille.

Laskuriin käyttäjä määrittelee vielä yllämainittujen lisäksi investoinnin kustannukset (€), ostosähkön hinnan (€/kWh) ja myytävän sähkön arvon (€/kWh). Sähkön hinta asettuu samaksi vuoden jokaiselle tunnille (kuva 6).

SKANSKA

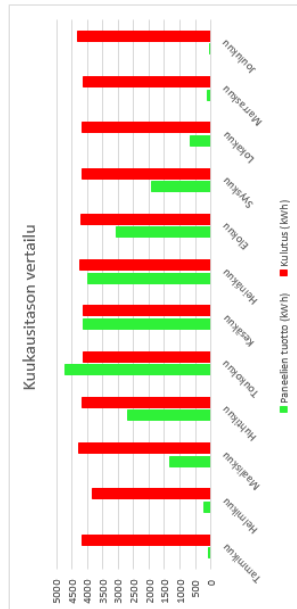
Aurinkosähkölaskuri, toimitilakennus

Vaihda vain keltaisten solujen arvoja.
Tarkemmat ohjeet alempana.

Paneelin tuotto	0,255	kWh/m ²
Paneeliala	100	m ²
Ilmansuuntakertoin	1	
Asemuskulmakertoin	1	
Kerroin	900	
Vuoden tuotto	22950	kWh

Sähkönhinta	0,12	€/kWh
Sähkönhinta myyntihinta	0,02	€/kWh
Kohteen kiinteistösiähkön tarve vuodessa	50 000	kWh

Investoinnin kustannus **40 000** €



Oman paneelin tuottama energia vuodessa	22950 kWh
Suoraan käyttöön menevä energia vuodessa	15325 kWh
Verkkoon myytävää energia vuodessa	7625 kWh
Säästö vuodessa	1839 €
Tuotto vuodessa	152 €
Säästö ja tuotto vuodessa yhteensä	1992 €
Takaisinmaksuaika	20,1 v
Suoraan käyttöön menevä energia	66,78 %
Sähkintarpeesta saatuaan katettua vuodessa	30,65 %

Kerroin	900
Itä	0,755
Kaakko	0,925
Etelä	1
Lounas	0,939
Länsi	0,777
10°	0,9
20°	0,957
30°	0,991
40°	1
50°	0,984
60°	0,944
Heitsinki	900
Sodankylä	795

Kuukausi	Paneelein tuotto (kWh)	Paneelein tuoton osuus vuoden tuotosta (%)	Kulutus (kWh)
Tammikuu	61	0,3	4166,968167
Helmi	209	0,9	3833,786976
Maaliskuu	1342	5,8	4394,340512
Huhtikuu	2696	11,7	4159,268309
Toukokuu	4708	20,5	4152,403376
Kesäkuu	4131	18,0	4148,135985
Heinäkuu	3969	17,3	4246,193209
Elokuu	3078	13,4	4215,94041
Syyskuu	1908	8,3	4162,42468
Lokakuu	674	2,9	4166,968167
Marraskuu	116	0,5	4130,417035
Joulukuu	58	0,3	4323,191786

Kuva 6. Laskurin näkymä käyttäjälle

Laskuri kykenee antamaan vain arvion kohteen aurinkopaneelien tuotosta, sähkön kulu-
tuksesta ja näiden keskinäisten suhteiden vaikutuksista takaisinmaksuaikaan.

Laskurin epätarkkuus johtuu seuraavista syistä:

- a) Paneelien tuotto ja tuotonjakauma vaihtelevat sääolojen mukaan vuosittain.
- b) Laskurin jakauma noudattaa Suvilahden aurinkovoimalan tuoton jakaumaa, jossa pa-
neelit ovat asennettu lounasta kohti 15 asteen kulmassa. Tuoton jakauma vaihtelee
asennusilmansuunnasta, ilmansuunnasta ja molempien yhteisvaikutuksen mukaan.
- c) Eri kohteiden kiinteistösähkönkulutusjakaumat poikkeavat toisistaan.
- d) Kiinteistöjen sähkönkulutus vaihtelee vuosittain.

3 Energiansäästöratkaisujen kustannustehokkuus ja vaikutus Lauren- tiustalon E-lukuun

3.1 Laurentiustalo

Laurentiustalo-hanke toteutetaan projektiallianssina, johon Lohjan kaupunki valitsi
18.12.2017 allianssikumppaneiksi Skanska Talonrakennus Oy:n ja P&R Arkkitehdit
Oy:n. Laurentiustalosta tulee lisärakennus Lohjan ydinkeskustassa sijaitsevaan Anttilan
kouluun (kuva 7).



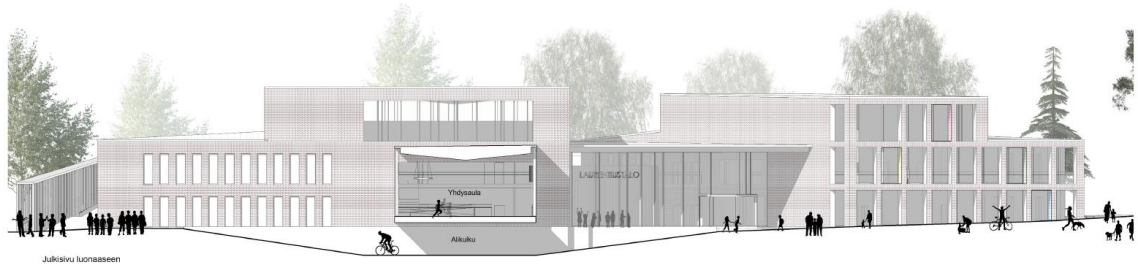
Kuva 7. P&R Arkkitehdit Oy:n visio Laurentiusaukiolta

Laurentiustalo yhdistetään Anttilan kouluun yhdyskäytävällä, jonka tarkoituksena on toimia sekä oleskelutilana että kulkureittinä rakennuksien välillä (kuva 8).



Kuva 8. P&R Arkkitehdit Oy:n visio Laurentiustaloa ja Anttilan koulua yhdistävästä yhdyskäytävästä

Laurentiustalon ulkoasun suunnitelmissa korostuvat suuri ikkunapinta-ala ja Anttilan koulua hieman modernimpi olemus (kuva 9).



Kuva 9. P&R Arkkitehdit Oy:n julkisivu ja leikkauskuva Laurentiustalosta lounaasta katsottuna

Tätä opinnäytetyötä tehdessä kohteesta oli saatavilla vain luonnostasoisia arkkitehtipiirustuksia, ehdotussuunnitelma ja alkuvaiheen tietoja.

3.2 E-lukuvaatimus Laurentiustalolle

Laurentiustalo koulu- ja päiväkotirakennuksena kuuluu käyttötarkoituseräluokkaan 6, jolle ympäristöministeriö on asettanut vuodesta 2018 alkaen suurimmaksi sallituksi E-luvuksi 100 kWhE/(m²a). Opinnäytetyössä energiansäästötoimenpiteiden vaikutusta Laurentiustalon E-lukuun on arvioitu laskentapalvelut.fi energiantodistuksen laskentaohjelmalla, joka on kuukausitason laskentaa noudattava ohjelma. Laskentapalvelut.fi -ohjelmalla luotiin Laurentiustalosta mahdollisimman tarkka malli sen hetkisten suunnitelmien perusteella, jolloin E-luvuksi saatiin 110 kWhE/(m²a).

Ympäristöministeriön asetukset hyväksyvät laskentatavaksi kuukausitason laskennan, edellyttäen ettei jäähdytyksellä ole rakennuksessa suurta vaikutuspiiriä:

Laskenta on tehtävä laskentamenetelmällä, joka ottaa huomioon vähintään seuraavat tekijät:

- a) rakennusosien ja niiden liitosten lämpöominaisuudet, rakennuksen ilmanpitävyys, ilmanvaihdon ilmavirta;*
- b) sisäilman lämpötila;*
- c) lämpimän käyttöveden tarve;*
- d) ilmanvaihdon lämmöntalteenotto;*

e) lämpökuormat henkilöistä, valaistuksesta, sähkölaitteista, lämpimästä käyttövedestä ja auringosta;

f) tilojen ja ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmän lämpö- ja sähköenergian tarve;

g) käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpö- ja sähköenergian tarve;

h) ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiatarve;

i) kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähköenergiatarve.

Ja silloin, kun rakennukseen suunnitellaan aurinkokeräin, aurinkopaneeli tai jäteveden lämmöntalteenotto:

j) aurinkokeräimen lämmöntuotto ja sen hyödyntäminen rakennuksessa;

k) aurinkopaneelin sähköntuotto ja sen hyödyntäminen rakennuksessa;

l) jäteveden lämmöntalteenotto ja sen hyödyntäminen rakennuksessa.

Rakennuksen laskennallinen ostoenergiakulutus voidaan laskea kuukausitason laskentamenetelmällä rakennukselle, jonka sisäilman lämpötilan hallinta ei edellytä jäähdytystä tai jäähdytystä edellytetään vain tiloissa, joiden lämmitetty nettoala on alle 10 prosenttia rakennuksen lämmitetystä nettoalasta tai joiden lämmitetty nettoala on alle 50 neliometriä.

Jos rakennuksen sisäilman lämpötilan hallinta edellyttää jäähdytystä, rakennuksen laskennallinen ostoenergiakulutus on laskettava laskentamenetelmällä, joka 1 momentissa mainittujen tekijöiden lisäksi ottaa huomioon jäähdytysjärjestelmän lämpö- ja sähköenergiatarpeen ja jonka lämmönsiirron laskenta ottaa huomioon rakenteiden lämmönvarausominaisuuden ajasta riippuvaisena enintään tunnin aika-askeleella (dynaaminen laskentamenetelmä). [7]

3.3 Aurinkopaneelien kustannustehokkuus ja vaikutus Laurentiustalon E-lukuun

Aurinkopaneelien hyödyntäminen E-lukutarkastelussa edellyttää kuukausitason tarkastelua. Laskenta voitiin siis toteuttaa laskentapalvelut.fi-ohjelmalla.

Vakioituun käyttöön perustuva rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus koostuu lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmien sekä järjestelmien apulaitteiden, kuluttajalaitteiden ja valaistuksenenergiamuodoittain eritellystä energiankulutuksesta, josta on vähennetty rakennukseen kuuluvallalaitteistolla ympäristöstä olevasta energiasta otettu energia siltä osin, kuin se on käytetty rakennuksessa siinä tapahtuvan vakioituun käyttöön perustuvan energiankulutuksen kattamiseen. Rakennukseen kuuluvalla laitteistolla ympäristössä olevasta energiasta otetun energian hyödyntäminen on laskettava kuukausittain tai sitä lyhyempinä ajanjaksoina. [7]

Laurentiustalon E-luvun pienentäminen 110:stä sallittuun 100:aan vaatisi pelkästään aurinkopaneeleilla toteutettuna 88 kWp:n aurinkopaneelijärjestelmän. Tämä on esitetty taulukossa 4. 1,6 m² kokoisia ja teholtaan 270–300 W paneeleja tarvittaisiin 293–326 kappaletta, tuottamaan vaadittu 75 000 kWh/a. Paneelialana tämä tarkoittaisi 470–520 m², jolloin tasakattoisesta kohteesta tulisi löytyä varjostamatonta kattoalaa 710–790 m².

Taulukko 4. Erikokoisten aurinkopaneelijärjestelmien vaikutus Laurentiustalon E-lukuun

Huipputeho (kWp)	Vuosituotto (kWh/a)	Kustannus (€/Wp, alv. 0%)	Kustannus (€, alv. 0%)	Laurentiustalon E-luku (kWh/m ² a)
0	0	0	0	110
12	10 000	1,3	15600	109
23	20 000	1,2	27600	107
35	30 000	1,2	42000	106
47	40 000	1,1	51700	105
60	50 000	1	60000	104
88	75 000	0,95	83600	100
120	100 000	0,95	114000	97

Aurinkopaneelien takaisinmaksuaikaa arvioitaessa on syytä verrata kohteen kulutusta ja aurinkopaneelien tuottoa tuntitasolla, sillä yli kohteen oman tarpeen tuotetusta sähköstä saadaan ostetun sähkön hintaan nähden pieni korvaus. Aurinkopaneelijärjestelmien takaisinmaksuaikaa on arvioitu opinnäytetyön osana tehdyllä laskurilla, josta on kerrottu tarkemmin luvussa 3.2. Laurentiustalon sähkönkulutus on suurta, mutta taulukon 5 sarakkeesta ”Takaisinmaksuaika Laurentiustalossa” voidaan kuitenkin nähdä, että takaisinmaksuaika pitenee ylisuurilla paneelijärjestelmillä vaikka investoinnin kustannukset suhteessa tuottoon laskevat. Oikeimmanpuoleisessa sarakkeessa oletuksena on, että kaikki tuotettu sähkö pystytään käyttämään kohteessa.

Taulukko 5. Aurinkopaneelijärjestelmien takaisinmaksuajat

Huipputeho (kWp)	Vuosituotto (kVWh/a)	Kustannus (€/Wp, alv. 0%)	Kustannus (€, alv. 0%)	Takaisinmaksuaika Laurentiustalossa (v)	Takaisinmaksuaika suuressa kohteessa (v)
0	0	0	0	0	0
12	10 000	1,3	15600	13	13
23	20 000	1,2	27600	11,5	11,5
35	30 000	1,2	42000	11,5	11,5
47	40 000	1,1	51700	11	10,8
60	50 000	1	60000	10,5	10
88	75 000	0,95	83600	10,5	9,5
120	100 000	0,95	114000	11,7	9,5

3.4 LTO-laitteiden kustannustehokkuus ja vaikutus Laurentiustalon E-lukuun

Tehokkaampien LTO-laitteiden valinta ilmanvaihtokoneisiin osoittautui Skanska Talonrakennus Oy:n aikaisemmassa tarkastelussa kustannustehokkaaksi tavaksi säästää energiaa. 2018 voimaan tulleet määräykset ovat aikaisempaa vaativammat ja alin sallittu vuosihyötysuhde LTO-laitteille on 55 % (taulukko 6). [8] Tämä asettaa LTO-laitteille teknisiä haasteita, eikä vuosihyötysuhteen 55 % lähtötilanteesta ole siksi välttämättä enää

yhtä kustannustehokasta parantaa kuin aiemmista alimmista sallituista vuosihyötysuh-teista.

Taulukko 6. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteita. [9]

Rakennuslu- van vireilletu- lovuosi	- 1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-	2018-
Vuosihyöty- suhde	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	30 %	30 %	45 %	45 %	55 %

Taulukkoon 7 on kerätty tietoja, joiden avulla voidaan arvioida, onko parempiin LTO-laitteisiin investoiminen kannattavaa. Taulukossa vertaillaan siis juuri määräykset täyttävän LTO-laitteen hyötyjä ja kustannusta energiatehokkaampiin vaihtoehtoihin. Energiansäästöä arvioitiin laskentapalvelut.fi -ohjelmalla ja ilmanvaihtokoneiden kustannusarviot kysyttiin ilmanvaihtokoneiden toimittajalta.

Taulukko 7. LTO-laitteen vuosihyötysuhteen parantamisen vaikutukset tarkasteltaviin asioihin

	Vuosihyötysuhde %	Laurentiustalo E-luku	Säästö Laurentiustalon lämmityksessä (%)	Vuodessa säästetyn kWh:n investointikustannus (€)	Takaisinmaksuaika (v)
Lähtötilanne	55	110	0	0	0
Vaihtoehtoinen	58	105	5,4	1,1	15,2
Vaihtoehtoinen	59	103	7,1	1,5	22,1

Laurentiustalon E-luku putoaisi 110:stä 105:een, tilojen lämmitykseen kuluva energia pienenisi 5,4 % ja energiatehokkuus paransi laskennallisesti 1 kWh/a:n jokaista ikkunaan sijoitettua 1,1 euroa kohden, verrattaessa 58 % vuosihyötysuhdetta lähtötilanteen 55 %:iin. Takaisinmaksuajaksi tulisi noin 15 vuotta.

Laurentiustalon E-luku putoaisi 110:stä 103:een, tilojen lämmitykseen kuluva energia pienenisi 7,1 % ja energiatehokkuus paransi laskennallisesti 1 kWh/a:n verran jokaista ikkunaan sijoitettua 1,5 euroa kohden, verrattaessa 59 % vuosihyötysuhdetta lähtötilanteen 55 %:iin. Takaisinmaksuajaksi tulisi noin 22 vuotta.

3.5 Ikkunoiden kustannustehokkuus ja vaikutus Laurentiustalon E-lukuun

Energiantehokkaampien ikkunoiden valinta osoittautui Skanska Talonrakennus Oy:n aikaisemmassa tarkastelussa kohtuullisen kustannustehokkaaksi tavaksi säästää energiaa. Tässä opinnäytetyössä selvitettiin asian nykytilanne. Energiansäästöä arvioitiin Laskentapalvelut.fi -ohjelmalla ja ikkunoiden hintoina käytettiin Skanskan tyypillisesti käyttämien ikkunoiden hintoja.

Taulukossa 8 on vertailtu U-arvoltaan suurinta sallittua ikkunaa energiatehokkaampaan, mutta muuten samanlaiseen ikkunaan. Käyttämällä U-arvon 0,8 ikkunoita U-arvon 1 ikkunoiden sijasta E-luku saataisiin pudotettua Laurentiustalossa 110:stä 108:aan ja tilojen lämmitykseen kuluva energia pienenesi 4,2 %. Rakennuksen energiatehokkuus paransi laskennallisesti 1 kWh/a: jokaista ikkunaan sijoitettua 0,58 e:a kohden.

Taulukko 8. Vuodessa voidaan säästää tilojen lämmityksessä laskennallisesti 1 kWh energiaa energiatehokkaampiin ikkunoihin investoitua 0,58:aa euroa kohden.

	U-arvo	Laurentiustalo E-luku	Säästö Laurentiustalon lämmityksessä (%)	Vuodessa säästetyn kWh:n investointikustannus (€)	Takaisinmaksuaika (v)
Lähtötilanne	1	110	0	0	0
Vaihtoehtoinen	0,8	108	4,2	0,58	8,4

Taulukossa 9. on vertailtu toisentyyppistä ikkunaa, jonka perusominaisuuksiin kuuluu hieman alempi 0,85 U-arvo, vielä energiatehokkaampaan ikkunaan. Käyttämällä U-arvon 0,65 ikkunoita U-arvon 0,85 ikkunoiden sijasta E-luku saataisiin pudotettua Laurentiustalossa 109:stä 107:ään ja tilojen lämmitykseen kuluva energia pienenesi 4,4 %. Rakennuksen energiatehokkuus paransi laskennallisesti 1 kWh/a:n verran jokaista ikkunaan sijoitettua 0,59 euroa kohden.

Taulukko 9. Vuodessa voidaan säästää tilojen lämmityksessä laskennallisesti 1 kWh energiaa energiatehokkaampiin ikkunoihin investoitua 0,59:ää euroa kohden.

	U-arvo	Laurentiustalo E-luku	Säästö Laurentiustalon lämmityksessä (%)	Vuodessa säästetyn kWh:n investointikustannus (€)	Takaisinmaksuaika (v)
Lähtötilanne	0,85	109	0	0	0
Vaihtoehtoinen	0,65	107	4,4	0,59	8,4

Käyttämällä Laurentiustalossa energiatehokkaampia ikkunoita saadaan E-lukua pudotettua, mutta ei päästä sallittuun E-lukuun 100. U-arvoltaan pienempien ikkunoiden käyttö voi tulla kuitenkin kyseeseen, jos lopullinen ratkaisu toteutetaan kahden tai useamman energiansäästötavan yhteisvaikutuksella. Parempien ikkunoiden käyttö voi tulla kyseeseen myös pelkästään sen suhteellisen lyhyen, noin 8 vuoden takaisinmaksuajan takia.

3.6 Energiansäästöratkaisujen vertailu

Aurinkopaneelijärjestelmä oli ainut tarkastelussa mukana ollut yksittäinen energiansäästöratkaisu, jolla Laurentiustalon E-luku saataisiin laskettua hyväksytyyn 100:aan. Tämä vaatisi järjestelmältä huipputehon 88 kWp ja vuosituoton 75 000 kWh. Järjestelmä tarvitsi yli 700 m² varjostamatonta kattoalaa ja paneelit tulisi lisäksi asentaa kaakon, etelän tai lounaan suuntaisesti, jotta päästäisiin riittävän suuriin vuosituottoihin kasvattamatta investointikustannuksia. Ratkaisu on luonnostasoisista arkkitehtipiirustuksista ja dwg-kuvista päätellen toteutuskelpoinen, ainakin silloin jos Laurentiustalon yhteydessä olevaa Anttilan koulua ja sen kattoa voidaan käyttää lisäasennusalueena. Mahdollisesti suurimmaksi ongelmaksi muodostuu esteettinen haitta, joka muuten visuaalisesti miellyttäväksi suunnitellussa Laurentiustalossa syntyisi suurista paneelijärjestelmistä katolla.

Laskelmissa vertailtiin ilmanvaihtokoneiden LTO-laitteiden vaadittua vuosihyötysuhdetta 55 prosenttia, ratkaisuihin joissa vuosihyötysuhde olisi 58 % ja 59 %. Käyttämällä vuosihyötysuhteeltaan 58 prosentin LTO-laitetta, E-luku laskisi 105:een. Hieman tätä paremmalla 59 prosentin vuosihyötysuhteella toimivaa LTO-laitetta käyttämällä E-luku putoaisi 103:een. Paremmallakaan vuosihyötysuhteella ei siis saada toivottua tulosta energiatodistuksen osalta.

Tarkastelussa verrattiin kahta eri tyyppin ikkunaa, joille Skanska Oy:llä oli hinnasto. Ensimmäisen ikkunatyyppin perusominaisuuksiin kuului U-arvo 1 ja vaihtoehtoisena lisäkustannusta vastaan U-arvo 0,8. Toisen ikkunatyyppin perusominaisuuksiin kuului U-arvo 0,85 ja vaihtoehtoisena lisäkustannusta vastaan U-arvo 0,65. Vertailu tehtiin U-arvojen 1 ja 0,8 välillä ja erikseen U-arvojen 0,85 ja 0,65 välillä. Energiansäästö ja siitä seuraavat

lisäkustannukset kummassakin vaihtoehdossa olisivat lähes yhtä suuria. U-arvon muuttaminen luvusta 1 lukuun 0,8 tiputtaisi E-luvun 110:stä 108:aan. Taas U-arvon muuttaminen luvusta 0,85 lukuun 0,65 tiputtaisi E-luvun 109:stä 107:ään. Paremmilla ikkunoilla saatu vaikutus E-lukuun on aurinkopaneeleita ja LTO-laitteita paljon pienempi, eikä se ainoana keinona riitä tavoiteltuun E-lukuun 100 (taulukko 10). On hyvä myös huomioida, ettei monessa muussa kohteessa saataisi näinkään suurta vaikutusta, sillä Laurentiustalossa on tavanomaista enemmän ikkunapinta-alaa.

Taulukko 10. Eri energiansäästöratkaisujen vaikutus Laurentiustalon E-lukuun.

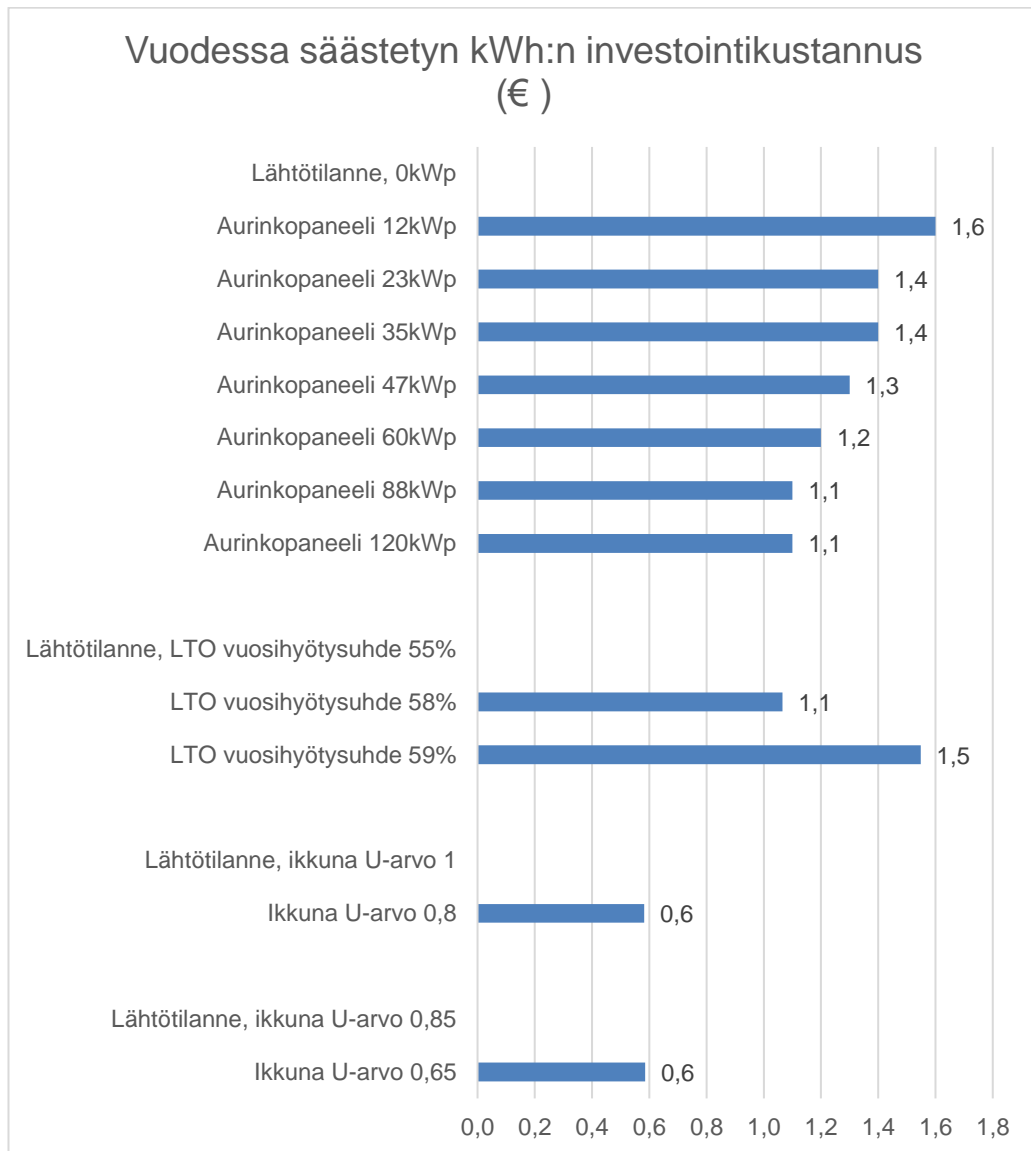
Aurinkopaneeli		
Huipputeho (kWp)	Vuosituotto, Helsinki (kWh/a)	Laurentiustalo E-luku
0	0	110
12	10000	109
23	20000	107
35	30000	106
47	40000	105
60	50000	104
88	75000	100
120	100000	97

LTO-laite		
	Vuosihyötysuhde (%)	Laurentiustalo E-luku
Lähtötilanne	55	110
Vaihtoehtoinen	58	105
Vaihtoehtoinen	59	103

Ikkuna		
	U-arvo W/(Km²)	Laurentiustalo E-luku
Lähtötilanne	1	110
Vaihtoehtoinen	0,8	108
Lähtötilanne	0,85	109
Vaihtoehtoinen	0,65	107

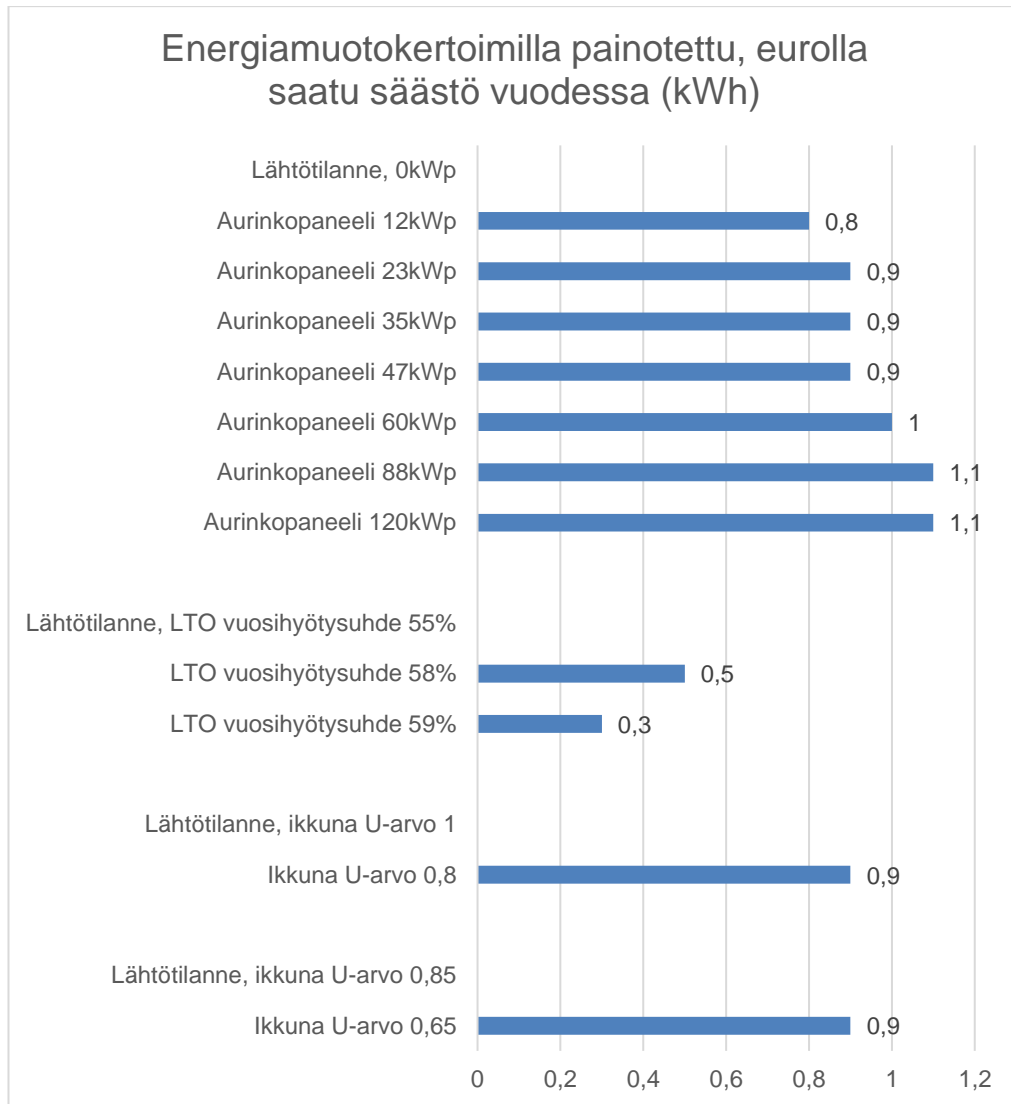
Tarkastelussa mukana olleilla energiansäästöratkaisuilla oli erisuuruiset vaikutukset E-lukuun. Suurin ja ainoa riittävä vaikutus saatiin suurella aurinkopaneelijärjestelmällä. Seuraavaksi paras vaikutus saatiin ilmanvaihtokoneella, jonka LTO-laitteen vuosihyötysuhde on 59 %. Pienin vaikutus saatiin energiatehokkaammilla ikkunoilla. Investointien

kustannuksilla on kuitenkin eroja suhteessa niiden tuottamaan energiansäästöön. Lopullisen ratkaisun kannalta onkin oleellista löytää kustannustehokkain yksittäinen investointi tai investointien yhdistelmä, jolla päästään haluttuun energiatehokkuuteen. Kuvassa 10 esitetään, kuinka paljon energiansäästöratkaisuihin tulisi alussa investoida, jotta saadaan aikaan yhden kilowattitunnin vuotuinen energiansäästö.



Kuva 10. Kuvaajan pylvää esittävät euromäärää, joka energiansäästöratkaisuun on investoitava, että vuodessa säästyy yhden kWh:n verran energiaa. Kuvaajaa tulkitessa on kuitenkin hyvä huomata, että yhden kWh:n säästö kaukolämpöenergiassa vaikuttaa E-lukuun vähemmän kuin yhden kWh:n säästö sähköenergiassa.

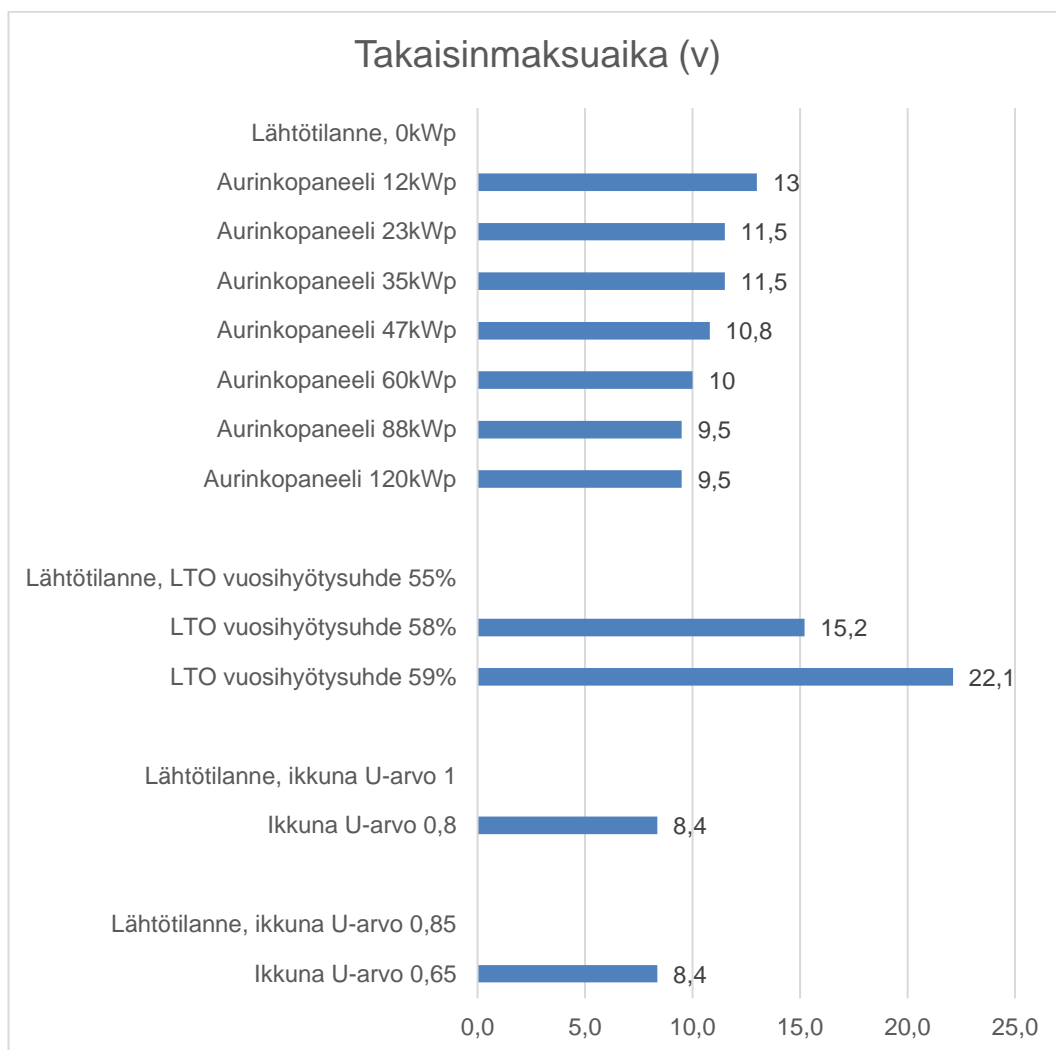
E-lukua laskettaessa eri energiamuodoilla on erisuuriset energiamuotokertoimet. Sähkön energiamuotokerroin on 1,2 ja kaukolämmön 0,5. Siksi saman kilowattitunnin säästöllä eri energiansäästöratkaisuissa on erisuuruinen vaikutus E-lukuun. Kilowattitunnin sähkön säästöllä saadaan siis suurempi vaikutus E-lukuun kuin kilowattitunnin säästöllä kaukolämmössä. Kuva 11 havainnollistaa sitä, mihin ratkaisuun investoimalla saadaan kustannustehokkaimmin E-lukua alemmas.



Kuva 11. Diagrammi kuvaa sitä energiamuotokertoimilla painotettua vuodessa saatavaa energiainsäästöä joka saadaan aikaa investoimalla energiansäästöratkaisuun yksi euro. Mitä suurempi pylväs, sen suurempi vaikutus E-lukuun samalla kustannuksella saadaan.

Kustannustehokkaimmaksi tavaksi pienentää E-lukua osoittautui investoiminen suureen aurinkopaneelijärjestelmään ja lähes yhtä hyväksi investoiminen energiatehokkaampiin ikkunoihin.

Jos arvioidaan puhtaasti taloudelliselta kannalta energiasäästöratkaisujen järkevyyttä, paras vaihtoehto on investoiminen parempiin ikkunoihin, kuten kuva 12 osoittaa.



Kuva 12. Eri energiansäästöratkaisujen laskennalliset takaisinmaksuajat. Sähkön hinnaksi on arvioitu 12 snt/kWh ja kaukolämmön 7 snt/kWh.

Taulukossa 11 on esitetty kaikki energiansäästötoimenpiteistä selvitettyt asiat yhteen kerättynä.

Taulukko 11. Kokoava taulukko aurinkopaneeleista, LTO-laitteista ja ikkunoista.

Aurinkopaneeli	Vuosituotto Helsinki (kWh/a)	Laurentiustalo E-luku	Energiamuotokertoimilla painotettu eurolla saatu säästö vuodessa (painotettu kWh)	Vuodessa säästetyn kWh:n investointikustannus (€)	Takaisinmaksuaika suuressa kohteessa (v)	Kustannus (€, alv. 0%)	Kustannus (€/Wp, alv. 0%)
0	0	110	0	0	0	0	0
12	10000	109	0,8	1,6	13	15600	1,3
23	20000	107	0,9	1,4	11,5	27600	1,2
35	30000	106	0,9	1,4	11,5	42000	1,2
47	40000	105	0,9	1,3	10,8	51700	1,1
60	50000	104	1	1,2	10	60000	1
88	75000	100	1,1	1,1	9,5	83600	0,95
120	100000	97	1,1	1,1	9,5	114000	0,95

*Sähkö

*Sähkö 12sent/kWh

LTO-laitte	Vuosityösuhte (%)	Laurentiustalo E-luku	Energiamuotokertoimilla painotettu eurolla saatu säästö vuodessa (painotettu kWh)	Vuodessa säästetyn kWh:n investointikustannus (€)	Takaisinmaksuaika (v)	Kustannus (€, alv. 0%)	Säästö Laurentiustalon lämmityksessä (%)
Lähtötilanne	55	110	0	0	0	0	0
Vaihtoehtoinen	58	105	0,5	1,1	15,2	43891	5,4
Vaihtoehtoinen	59	103	0,3	1,5	22,1	85060	7,1

*Kaukolämpö

*Kaukolämpö 7sent/kWh

*3x5m3+4x3m3+2x1m3

Ikkuna	U-arvo W/(K ^m ²)	Laurentiustalo E-luku	Energiamuotokertoimilla painotettu eurolla saatu säästö vuodessa (painotettu kWh)	Vuodessa säästetyn kWh:n investointikustannus (€)	Takaisinmaksuaika (v)	Kustannus (€, alv. 0%)	Säästö Laurentiustalon lämmityksessä (%)
Lähtötilanne	1	110	0	0	0	0	0
Vaihtoehtoinen	0,8	108	0,9	0,6	8,4		4,2
Lähtötilanne	0,85	109	0	0	0	0	0
Vaihtoehtoinen	0,65	107	0,9	0,6	8,4		4,4

*Kaukolämpö

*Kaukolämpö 7sent/kWh

Kokoavasta taulukosta voidaan helposti tarkastella eri energiansäästöratkaisujen vaikutuksia ja kustannustehokkuuksia. Lopullisiin investointipäätöksiin vaikuttavat kuitenkin merkittävästi todelliset tarjoukset, tekninen toteutettavuus, imagolliset seikat yms. Taulukko toimiikin vain suuntaa-antavana aputyökaluna energiansäästötoimenpiteiden järjestyttä mietittäessä.

4 Yhteenveto

Opinnäytetyössä Skanska Talonrakennus Oy:lle kerättiin yleistä tietoa aurinkopaneeleista, luotiin laskuri toimitilakohteiden aurinkopaneelien mitoitusta varten ja keskeisimpänä asiana selvitettiin eri energiansäästöratkaisujen kustannustehokkuutta eri näkökulmista.

Toimitilakohteiden aurinkopaneelijärjestelmien mitoitusta varten luotu laskuri on kohtuullisen pienellä vaivalla mahdollista muokata käyttökelpoiseksi laskuriksi myös muiden rakennustyyppien osalta. Laskurin muokkaaminen muiden kohteiden aurinkopaneelijärjestelmien mitoitusta varten, edellyttää kuitenkin tuntitason dataa kyseisten rakennustyyppien sähkönkulutuksesta.

Energiansäästöratkaisujen takaisinmaksuaikojen osalta, kaikista tarkastelussa mukana olleista investoinneista parhaimmaksi vaihtoehdoksi osoittautuivat energiatehokkaammat ikkunat, jotka maksoivat itsensä takaisin noin 8 vuodessa. Aurinkopaneelijärjestelmien takaisinmaksuajat vaihtelivat 13 vuodesta 9,5 vuoteen järjestelmän koosta riippuen. LTO-laitteiden parannukset osoittautuivat toimittajan säädätään perustuvalla vuosihyötysuhteella laskettuna vähiten kannattavaksi parannuskohteeksi, 15–22 vuoden takaisinmaksuajoillaan.

Energiansäästöratkaisujen vaikutusta ja kustannustehokkuutta arvioitaessa tulokset olivat samansuuntaisia kuin takaisinmaksuaikojenkin osalta. E-luku laskennassa käytettävistä eri energiamuotokertoimista johtuen, eroja kuitenkin takaisinmaksuaikoihin nähden oli. Energiansäästöratkaisujen vertailua varten johdettiin siis arvo, joka kuvaa energiamuotokertoimilla painotettua, eurolla saatua energian säästöä vuodessa. Tässä tarkastelussa suuret aurinkopaneelijärjestelmät olivat parhaat, antaen euron investoinnilla 1,1 kWh:n suuruisen energiamuotokertoimella painotetun vuosittaisen säästön. Seuraavaksi paras investointikohde olivat energiatehokkaammat ikkunat, jotka antoivat vastavan arvon 0,9. Huonoimmaksi investointikohteeksi osoittautui LTO-laitteiden vuosihyötysuhteen parantaminen. LTO-laitteilla euron investoinnilla saisi energiamuotokertoimilla painotetun 0,5–0,3 kWh:n vuosittaisen säästön.

Kirjoittaja haluaa tässä yhteenvedossa korostaa tilaajalle, että LTO-laitteiden vuosihyötysuhteena on käytetty toimittajan antamaa säädätään perustuvaa vuosihyötysuhdetta.

Tämä on hyvin oleellinen tieto, sillä ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteilla on mahdollista saada huomattavasti suurempia E-lukuvaikutuksia kustannustehokkaasti, mikäli vuosihyötysuhde lasketaan käyttäen lähtöarvoina LTO:n tuloilman vuosihyötysuhdetta, sisälämpötilaa ja jäätymissuojarajaa Rakentamismääräyskokoelma D3:n laskusääntöjen mukaan.

Kirjoittaja arvioi opinnäytetyön onnistuneen kohtalaisesti tavoitteiden täyttämässä. Työhön onnistuttiin keräämään aurinkopaneeleista oleellisia ja asiaan perehdyttäviä tietoja. Toimitilarakennuksien aurinkopaneelijärjestelmiä varten luotu laskuri toimii ja on jatkojalostettavissa muihinkin rakennustyyppeihin kelpaavaksi.

Aurinkopaneelien ja energiatehokkaampien ikkunoiden E-lukuvaikutuksia ja takaisinmaksuaikoja kirjoittajan mielestä onnistuttiin tutkimaan hyvin. Ilmanvaihtokoneiden osalta tarkastelua on mahdollisesti myöhemmin jatkettava, sillä toisella laskentatavalla E-lukuvaikutuksista olisi mahdollista saada suurempia. Toisaalta kirjoittaja arvioi säädataan perustuvan vuosihyötysuhteen käytön antavan realistisempia tuloksia takaisinmaksuajoista.

Lähteet

- 1 Erat, Bruno; Erkkilä, Vesa; Nyman, Christer; Peippo, Kimmo; Peltola, Seppo & Suokivi, Hannu. 2008. Aurinko-opas aurinkoenergiaa rakennuksiin. Helsinki. Sarmala Oy.
- 2 Aurinkosähkö. 2017. Verkkoaineisto. Finnwind Oy. <<http://www.finnwind.fi/aurinkosahko>>. Luettu 1.2. 2018.
- 3 Jokinen, Jesse. Naps Solarsystems. Haastattelut 2017 ja 2018.
- 4 Junttila, Janne. 2015. Mitä kodin aurinkopaneelit maksavat? Verkkoaineisto. <<https://yle.fi/aihe/artikkeli/2015/11/12/mita-kodin-aurinkopaneelit-maksavat>>. Päivitetty 12.11.2018. Luettu 13.3.2018.
- 5 Paukku, Timo. 2017. Energiatuotannon vallankumous jo käynnissä – aurinko ja tuuli kohoavat vauhdilla hiilen rinnalle. Verkkoaineisto. Helsingin Sanomat. <<http://www.hs.fi/paivanlehti/25072017/art-2000005301422.html>>. Päivitetty 25.7.2017. Luettu 1.4.2018.
- 6 Mielonen, Matti. 2015. Tehokkaimmankin aurinkopaneelin hyötysuhde vain 22 prosenttia- Miksei paneeleista irtoa enempää? Verkkoaineisto. Helsingin Sanomat. <<http://www.hs.fi/tiede/art-2000002839587.html>>. Päivitetty 21.7.2015. Luettu 1.3.2018.
- 7 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, 1010/2017. Verkkoaineisto. <<http://www.ym.fi/download/noname/%7B4C0E513E-7596-473A-BE75-04DA10181A23%7D/125734>>. Luonnos 15.2.2017. Luettu 20.1. 2018.
- 8 Pariisin sopimus. 2016. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<http://www.ym.fi/download/noname/%7B3AF3015B-6900-4059-B58B-65C28DE6F459%7D/118492>>. Suomennusluonnos 11.4.2016. Luettu 25.11.2017.
- 9 Suomen säädöskokoelma. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. 2017. Verkkoaineisto. Motiva. <http://energiatodistus.motiva.fi/midcom-serveattachmentguid-1e805b9885aaaa605b911e8b01aa1811e2b87de87de/yma_rakennuksen_energiatodistuksesta_sk1048-2017.pdf>. Julkaistu 28.12.2017. Luettu 6.4.2018.
- 10 Suullinen lähde. Skanska Talonrakennus Oy. 2018.
- 11 Aurinkosähkö. Verkkoaineisto. Helen. <<https://www.helen.fi/aurinko/kodit/aurinkosahko/suvilahti/>> Luettu syyskuu 2017.

- 12 Sähköntuotanto. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <https://energia.fi/perustieto_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto > Luettu maaliskuu 2018.

