

Valaistuksen vaikutus liikerakennuksen energiakustannuksiin

Max Tallberg

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Distribuerade energisystem
Tunnistenumero:	6031
Tekijä:	Max Tallberg
Työn nimi:	Valaistuksen vaikutus liikerakennuksen energiakustannuksiin
Työn ohjaaja (Arcada):	DI Kim Rancken
Toimeksiantaja:	Hepacon Oy
Erikoisohjaaja	DI Juuso Uotila
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja vertailla LED- ja loisteputkivalaistuksen vaikutusta liikerakennuksen energiakustannuksiin. Liikerakennuksesta tehtiin kolme simulointitapausta, jotka rakenteeltaan ja LVI-tekniikaltaan olivat identtisiä. Ensimmäisessä tapauksessa ei ole valaistusta, toisessa tapauksessa on LED-valaistus ja kolmannessa tapauksessa on loisteputkivalaistus. LED- ja loisteputkivalaisimille tehtiin valaistuksen optimointi DiaLUX-ohjelmalla.</p> <p>Keskeisenä tavoitteena oli selvittää valaistuksesta johtuvat kustannukset, lämmönsiirtymisen jakautuminen, sekä selvittää valaistuksen lämpökuormasta hyödynnettävä osuus. Opinnäytetyön aiheen on antanut insinööritoimisto Hepacon Oy.</p> <p>Tutkimustuloksia vertailtiin liikerakennuksen tapauskohtaisia ostoenergiatarpeita, valaistuksen lämpökuorman hyödynnettävää osuutta ja valaistuksesta syntyviä kustannuksia. Tämän opinnäytetyön tulosten perusteella voidaan todeta LED-valaistuksen olevan liikerakennukselle loisteputkivalaistusta taloudellisempi vaihtoehto. Opinnäytetyön tuloksena laaditaan Hepacon Oy:lle laskentatyökalu valonlähteen hyödynnettävyydestä.</p>	
Avainsanat:	Valaistus, LED, loisteputki, liikerakennus
Sivumäärä:	49
Kieli:	Suomi
Hyväksymispäivämäärä:	

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Distribuerade energisystem
Identifikationsnummer:	6031
Författare:	Max Tallberg
Arbetets namn:	Valaistuksen vaikutus liikerakennuksen energiakustannuksiin
Handledare (Arcada):	DI Kim Rancken
Uppdragsgivare:	Ingenjörbyrå Hepacon Oy
Specialhandledare	DI Juuso Uotila
<p>Sammandrag:</p> <p>Syftet med examensarbetet var att undersöka och jämföra resultaten av LED- och lysrörsbelysningens inverkan på köpenergibehov i en affärsbyggnad. Tre simuleringar utfördes av en affärsbyggnadsmodell som var till bygg- och VVS-teknik identisk i varje simulering. I första fallet är belysningen avkopplad, i andra fallet simuleras LED-belysning och i tredje fallet lysrörsbelysning. Simuleringarna gjordes med det dynamiska simuleringsprogrammet IDA ICE. För LED- och lysrörsarmatur optimerades belysningen med DiaLUX-programmet.</p> <p>Väsentliga målet med examensarbetet var att reda ut andelen av belysningens värmelast som kan utnyttjas, påverkan av val av belysning till affärsbyggnadens energikonsumtion samt belysningens värmeöverföringsspridning och kostnader. Ämnet för examensarbetet har givits av ingenjörbyrå Hepacon Oy.</p> <p>I examensarbetet undersöktes affärsbyggnadens köpenergibehov, andelen av belysningens värmelast som kan utnyttjas samt energikostnader. På basis av resultaten i detta examensarbete kan det konstateras att LED-belysning jämfört med lysrörsbelysning är mer ekonomisk. På basis av resultaten konstrueras för Hepacon Oy ett beräkningsverktyg som utreder den andel av belysningens värmelast som kan utnyttjas.</p>	
Nyckelord:	Belysning, LED, lysrör, affärsbyggnad
Sidantal:	49
Språk:	Finska
Datum för godkännande:	

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Distribuerade energisystem
Identification number:	6031
Author:	Max Tallberg
Title:	Valaistuksen vaikutus liikerakennuksen energiakustannuksiin
Supervisor (Arcada):	M.Sc. Kim Rancken
Commissioned by:	Hepacon Oy
Expert supervisor	M.Sc. Juuso Uotila
<p>Abstract:</p> <p>The purpose of this thesis was to investigate and compare the impact LED and fluorescent lighting have on energy costs for a business building. Three cases were simulated with IDA ICE, a dynamic multi-zone simulation software: first case with no lighting, second with LED lighting and third with fluorescent tube lighting. All cases had the same building structure and HVAC. Lighting optimization was simulated for both lighting systems with DialUX software.</p> <p>The main objectives of this thesis were to investigate costs caused by lighting, thermal heat transfer caused by lighting and the amount of heat benefitted from a light source. The subject for this thesis was given by design office Hepacon Oy.</p> <p>Results from the research work of the demanded energy, light source impact on costs and thermal heat transfer benefits caused by lighting were analyzed. The contents of the results show that LED lighting is a more economical implementation in a business building than fluorescent lighting.</p>	
Keywords:	Lighting, LED, fluorescent tube, business building
Number of pages:	49
Language:	Finnish
Date of acceptance:	

SISÄLTÖ

Tiivistelmä

Sammandrag

Abstract

Sisällysluettelo

Kuvat

Taulukot

Lyhenteet

Alkusanat

1	Johdanto	10
2	Valon perussuureet	12
3	Valaistusenergia	17
3.1	Lämpöenergian jakautuminen	17
3.1.1	<i>Konvektio ja säteily</i>	18
3.1.2	<i>Valaistuksen lämpöenergian häviöt</i>	23
3.2	Valaistuksen lämpöenergian talteenotto	24
3.3	Valaistukseen tarvittava ostoenergia	26
4	Tarkasteltava kohde	28
4.1	Liikerakennus	28
5	Vertailukohteet	29
5.1	LED- ja loisteputkivalaisin	29
6	Valaistuksen kustannukset	30
6.1	LED	30
6.2	Loisteputki	30
6.3	Energian kustannukset	31
6.4	Valaistuksen kokonaiskustannukset /23/	32
7	Tutkimusmenetelmät	32
7.1	DiaLUX laskenta	32
7.2	Valaistuksen lämpökuorman konvektio-osuuden laskenta	34

7.3	IDA ICE laskenta	36
7.3.1	Ostoenergiatarve	37
7.3.2	Valaistuksen lämpökuorman hyödynnettävä osuus	38
7.4	Energiakustannuslaskelmat	42
8	Yhteenveto	46
	Lähteet.....	48
	Liitteet	
	Liite 1	
	Liite 2	
	Liite 3	
	Liite 4	
	Liite 5	
	Liite 6	
	Liite 7	
	Liite 8	
	Liite 9	
	Liite 10	

Kuvat

Kuva 1. Perussuureiden yksiköt, symbolit ja kuvaukset.	12
Kuva 2. Valon perussuureet laskentakaavoineen.	13
Kuva 3. Valon ohjauskäyrä.	14
Kuva 4. Näkyvän valon spektri.	15
Kuva 5. Valaistusvoimakkuus pienenee etäisyyden kasvaessa.	15
Kuva 6. Heijastuspinnan sävyn vaikutus luminanssiin.	16
Kuva 7. Lämmönsiirto konvektiona ilman ja kiinteän materiaalin välillä.	18
Kuva 8. Sähkömagneettisen säteilyn jakautuminen.	21
Kuva 9. Peilimäinen ja hajautunut heijastuminen (vas-oik.).	21
Kuva 10. AMS2490 valaisimen riittävän valaistusvoimakkuuden esittäminen	33
Kuva 11. AMSL90 valaisimen riittävän valaistusvoimakkuuden esittäminen.....	33
Kuva 12. IDA ICE liikerakennusmalli.	36
Kuva 13. Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella 2. tammikuuta.	40
Kuva 14. Valaistuksen vaikutus liikerakennusmallin vaipan johtumishäviöihin.....	42

Taulukot

Taulukko 1. Rakennustyyppien käyttöasteet ja lämpökuormat.	25
Taulukko 2. Asumisen energiankulutus gigawattitunteina vuosina 2010-2015.....	27
Taulukko 3. Liikerakennusmallin rakennus- ja LVI-tekniset asetusravot.....	28
Taulukko 4. Helen Oy:n kaukolämmön hinnat kausittain vuosilta 2014-2017.....	31
Taulukko 5. Valaistuksen lämmönsiirtymisosuudet säteilynä ja konvektiona.....	35
Taulukko 6. Ostoenergiatarpeet, sähkö.	37
Taulukko 7. Valaistuksen vaikutus ostoenergian tarpeeseen.	38
Taulukko 8. Liikerakennuksen kaukoenergia- sekä yhteenlaskettu ostoenergiatarve....	38
Taulukko 9. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto kerroksittain.	39
Taulukko 10. Valaistuksen lämpökuorman hyödynnettävä osuus.	39
Taulukko 11. Vaipan johtuminen, kun valaistus ei ole käytössä.	40
Taulukko 12. Vaipan johtuminen, kun LED-valaistus käytössä.	41
Taulukko 13. Vaipan johtuminen, kun loisteputkivalaistus käytössä.	41
Taulukko 14. Ostoenergian kulutukset ja kustannukset.	42

Taulukko 15. Valaistuksen lämpökuorman hyödynnettävä osuus ja valaisimien investointilaskelma	44
Taulukko 16. Lopulliset energia- ja kululaskennat, 12,3 vuotta.	45
Taulukko 17. Valaisimien takaisinmaksuajat.....	45

LYHENTEET

IDA ICE	IDA Indoor And Climate Energy, dynaaminen monivyöhykesimulaatio-ohjelma
IV	Ilmanvaihto
KK	Kaukokylmä
KL	Kaukolämpö
LKV	Lämmin käyttövesi
LED	Light Emitting Diode
LVI	Lämpö Vesi Ilma
LTO	Lämmöntalteenotto
SFS	Suomen Standardisoimisliitto

ALKUSANAT

Rakennusmääräysten kiristyessä vaaditaan LVI-tekniikalta ja kuluttajalaitteilta entistä enemmän energiatehokkuutta. Valaistusta käytetään niin rakennusten sisällä kuin ulkopuolellakin, ja koska valaistus on monessa tilanteessa välttämättömyys, tulee valaistuksen energiantarpeesta merkittävä osa energiakustannuksia. Loisteputkivalaistus on edelleen yleinen valonlähde mutta LED-tekniologian kehittyessä on LED:stä tullut energiatehokkaampi vaihtoehto moneen valaistusta vaativaan tilanteeseen.

Liikerakennuksilla on useimmiten suuri valaistustarve ja valaistuksen käyttöaste on yli puolet vuorokaudesta. Tästä syystä on tämän opinnäytetyön tarkoitus selvittää LED- ja loisteputkivalaistuksen vaikutusta liikerakennuksen energiakustannuksiin.

Opinnäytetyö on tehty hyvän työnohjauksen avulla. Haluan välittää suuret kiitokseni ohjaajilleni Juuso Uotilalle ja Kim Ranckenille sekä Jarkko Merisalolle, Antti Heikkiselle ja Marko Tabermanille.

Helsinki, 3.5.2017



Max Tallberg

1 JOHDANTO

Enää ei tarvitse käyttää kivikautisia menetelmiä tulen aikaansaamiseksi. Tulen säteilemä lämpö ja valo pystytään luomaan muilla konsteilla. Hehkulamppu oli pitkään kodin yleisin valonlähde, mutta poistettiin EU:n valaisinmarkkinoilta alhaisen hyötysuhteen takia. Hehkulamppu loistaa lämmintä, luonnollista ja kodikasta valoa mutta valon tuotto tehoon nähden on pieni, ja suurin osa sähköstä muuttuu lämmöksi. Tänä päivänä on energiatehokkuus ratkaisevassa osassa. Kotitalouden hehkulamppuja ei juuri enää myydä, joten energiansäästölamput ja LED:t ovat vallanneet valaisinmarkkinat. Loisteputket ovat yleisiä valonlähteitä kodin ja teollisuuden tarpeille ja tästä syystä on kehitetty kilpailevat LED-valonlähteet, joilla voi korvata myös perinteisen loisteputken. LED on monipuolinen ja käyttöalue on laaja, mutta vaikka LED:t valonlähteenä kuluttavat vähemmän sähköä kuin loisteputket, on LED-teknologia melko kallista ja investointikustannukset loisteputkeen verrattuna korkeat. LED-lamppujen alhainen sähkönkulutus on taloudellista, mutta koska LED:t ovat pienempiä lämpökuormaltaan kuin loisteputket, on näiden kahden valonlähteen valitsemisen välillä vaikutus rakennuksen energiakustannuksiin. Rakennus, jonka valaistus toteutetaan pelkästään LED:llä kuluttaa vähemmän sähköä kuin rakennus jossa on pelkästään loisteputkia, mutta samalla muuttuu lämmitys- ja jäähdytyskustannukset valaisinlämpökuorman takia. Tästä syystä tullaan tässä opinnäytetyössä vertailemaan LED- ja loisteputkivalaisimen vaikutusta liikerakennuksen energiakustannuksiin.

Opinnäytetyössä tutustutaan valaisintekniikan perusteisiin ja lämmönsiirtymisoppeihin. Vertailtavien valaisimien valovoimakkuuden riittävyys ja valaisinmäärät optimoidaan DiaLUX valaistussimuloinnilla. Valaistuksen energiankulutukset, ja niiden vaikutus energiantarpeeseen, lasketaan dynaamisella IDA ICE vyöhykesimulointiohjelmalla. Kumpaankin ohjelmaan on luotu simuloinnin edellytyksiä vaativa liikerakennus-malli.

Opinnäytetyö on tilaustyö Hepacon Oy:lle. Hepacon Oy on 1978 perustettu talotekniikan suunnittelu- ja konsultointiyritys, jonka toimipaikka on ollut vuodesta 1990 saakka Helsingin Malmilla. Hepaconin omistajuus on pysynyt työntekijöiden hallussa alusta saakka ja onkin täysin suomalainen yritys. Yritys työllistää tällä hetkellä yli 60 henki-

lää, harjoittelijasta diplomi-insinööriin. Hepacon Oy tarjoaa palveluita monelta asiantuntemusta vaativalta talotekniikan osa-alueelta, mm. LVI-, sähkö- ja automaatio suunnittelu, energia- ja elinkaarisuunnittelu, kuntokartoitukset ja talotekniikkavalvonta. Asiakaskunta muodostuu useasta sadasta asiakkaasta, joista jotkut ovat tilanneet Hepacon Oy:ltä talotekniikkasuunnittelua 80-luvulta lähtien.

Opinnäytetyön tarkoitus on toimia laskentatyökalun pohjana valaisinkohtaisen takaisinmaksuajan määrittämisessä. Laskentatyökalun avulla voidaan huomioida valaisimen vaikutus kiinteistöjen energiakustannuksiin.

Opinnäytetyö on rajattu vertailukohteen osalta liikerakennukseen ja vertailtavien valonlähteiden osalta loisteputkeen ja LED:iin.

2 VALON PERUSSUUREET

Valaistustekniikassa käytetään yleisesti neljää perussuuretta: valovoima, valovirta, luminanssi ja valaistusvoimakkuus (kuva 1). /1, ss. 13-17/

Suure	Yksikkö	Symboli	Kuvaus
Valovirta	lm (lumen)	Φ	Ilmaisee valolähteen tuottaman näkyvän valon kokonaismäärän
Valovoima	cd (kandela)	I	Kuvaa valolähteestä tiettyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuutta (intensiteettiä)
Valaistusvoimakkuus	lx (luksi)	E	Pinnalle saapuvan valovirran määrä pinta-alayksikköä kohti (valovirran tiheys)
Luminanssi	cd/m ²	L	Kohdekappaleen pinnan valotiheys (pintakirkkaus)

Kuva 1. Perussuureiden yksiköt, symbolit ja kuvaukset. /2/

Valaisinvertailun edellytys on, että tuntee valon perussuureet. Suureet laskentakaavoi-
neen esitetään kuvassa 2.

Valovirta Φ
 [Φ] = 1 lm

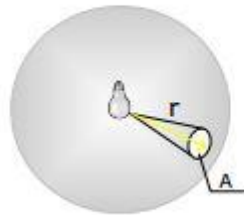
$$\Phi = \int_{380nm}^{780nm} K_m V(\lambda) \Phi_{e,\lambda} d\lambda$$

K_m 680 lm/W
 $\Phi_{e,\lambda}$ Säteilyvirran spektriherkkyys
 $V(\lambda)$ Suhteellinen silmäherkkyysluku



Valovoima I
 [I] = 1 cd

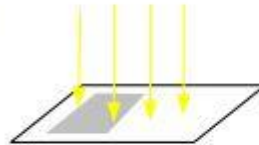
$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$$



$d\Phi$ valovirta avaruuskulmaan $d\omega$
 $d\omega = \frac{A}{r^2}$

Valaistusvoimakkuus E
 [E] = 1 lx

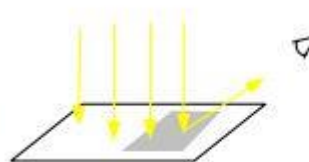
$$E = \frac{\Phi}{A}$$



Φ Pinnalle tuleva valovirta
 A pinnan pinta-ala

Luminanssi L
 [L] = 1 cd/m²

$$EL = \frac{dI}{dA \cdot \cos \alpha}$$

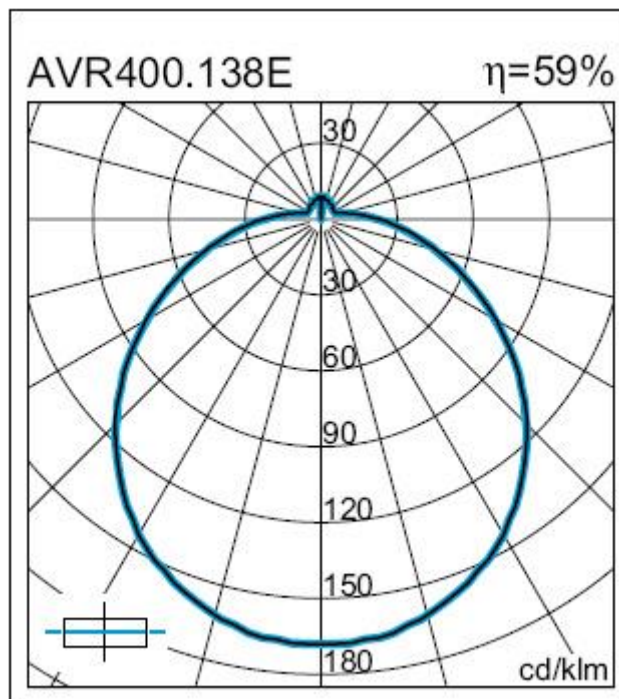


dI Valovoima katsesuunnasta
 $dA \cdot \cos \alpha$ Pinnan pinta-alan projektio katsesuuntaan

Kuva 2. Valon perussuuret laskentakaavoineen. /3/

Valovoiman [I] avulla voidaan selvittää valonlähteen eriäviä valonjako-ominaisuuksia. Valovoiman avulla voidaan myös selvittää, millä valonvoimakkuudella valonlähteestä lähtee valoa tiettyyn suuntaan ja useimmiten se ilmaistaan esittämällä valonjakokäyrää (kuva 3).

Valonjako tulee huomioida valaisimen valinnassa, sillä samaa valaisinta on todennäköisesti saatavilla myös erilaisella valon jaolla. Tyypillisesti ilmoitetaan valaisimen valonjako muodossa cd/klm. /3, ss. 15-16/



Kuva 3. Valon ohjauskäyrä. /4/

Valovirta [Φ] kertoo valaisimen säteilytehon [lm] eli sen määrän, jonka valaisin tuottaa näkyvää valoa. Valovirtaa voi myös käyttää valaisimen hyötysuhteen arvioimiseen. Näkyvän valon osuuden voi laskea kaavan [1] mukaan

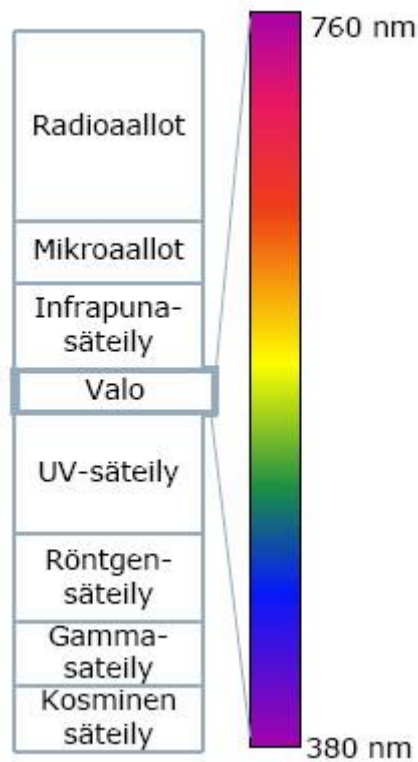
$$K_{m, \text{valon osuus}} = \frac{\text{lm/W}}{680 \text{ lm/W}} \quad [1]$$

$K_{m, \text{valon osuus}}$ näkyvän valon osuus

lm/W lampun lumen per watti

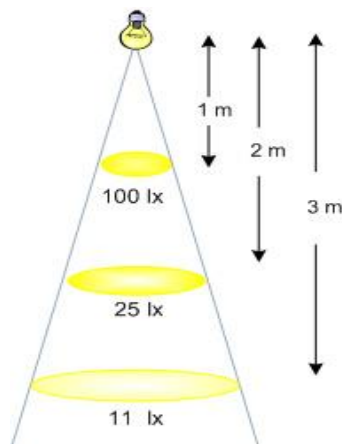
680 lm/W muunnosluku, vakio

Ihmisen aistima valo on sähkömagneettista säteilyä. Aallonpituudet jotka ihminen näkee ovat noin 380-760 nanometriä [nm], eli vain osa valon spektristä (kuva 4). /1, ss. 14-15/



Kuva 4. Näkyvän valon spektri. /5/

Valaistusvoimakkuus [E], jonka yksikkö on lx, indikoi tietylle pinta-alalle osuvan valovirran määrää. Tilakohtainen valaistusvoimakkuus on otettava huomioon valaistussuunnittelussa. Myös valonlähteen etäisyys valaistavasta pinnasta tulee olla tietoinen ratkaisu, sillä suurempi etäisyys johtaa pienentyneeseen valaistusvoimakkuuteen (kuva 5). /1, ss. 16-14/

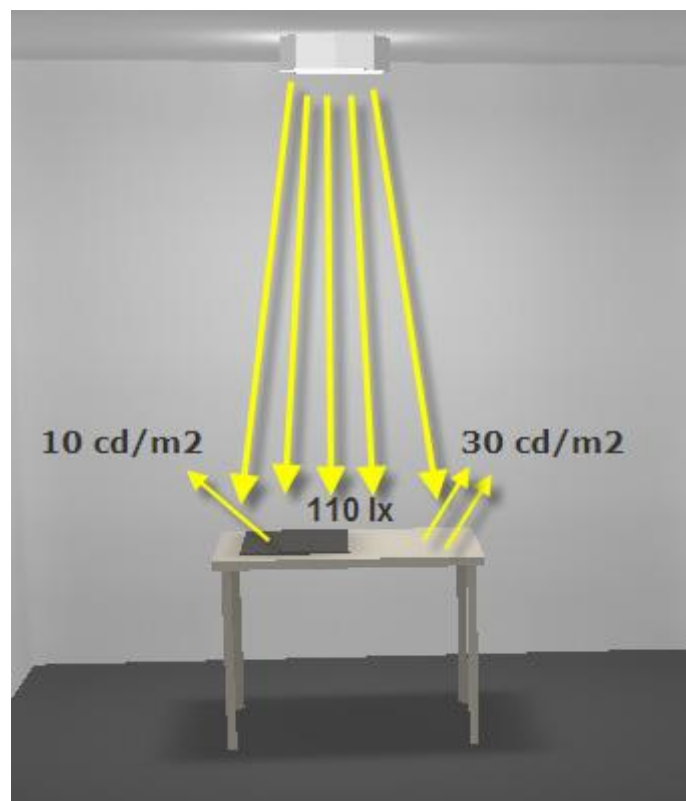


Kuva 5. Valaistusvoimakkuus pienenee etäisyyden kasvaessa. /7/

Valaistusvoimakkuuden jakautuman vaikutus tarvealueelle ja sen välittömälle lähiympäristölle on merkittävässä osassa, jotta näköä vaativista tehtävistä suoriudutaan tehokkaasti, turvallisesti ja miellyttävästi. Tästä johtuen on SFS 12464-1 standardissa määritelty jokaiselle työalueelle ja sen välittömään läheisyyteen lx-vaatimus. /6/

Luminanssi [L] on valon suureista ainoa, jonka ihminen näkee. Luminanssi kuvastaa tietyn kappaleen pintakirkkauden eli pinnan valontiheyden. Hyvin valoa heijastava vaalea pinta näyttää kirkkaammalta kuin tumma pinta, joka ei pysty heijastamaan yhtä paljon valoa. Tästä johtuen on esimerkiksi vaaleansävyisen pöydän luminanssi korkeampi kuin tummansävyisen (kuva 6). /1, ss. 17-18/

Luminanssijakauma vaikuttaa näkömukavuuteen. Suuret luminanssit voivat aiheuttaa häikäisyä ja liian pienet luminanssikontrastit muuttavat ympäristön yksitoikkoiseksi.



Kuva 6. Heijastuspinnan sävyn vaikutus luminanssiin. /8/

3 VALAISTUSENERGIA

Valon lähde siirtää verkosta ottamansa sähkötehon valaisemaansa ympäristöön energian säilymislain mukaisesti. Näin ollen lamput saadaan valaisun lisäksi myös lämpöä tilan hyödynnettäväksi. Lamput vapautunut energia lämmittää rakennusta, joka pienentää muiden lämmitysenergiamuotojen tarvetta. Lämmön siirtyminen tapahtuu konvektiolla ja johtumisella aina lämpimämmästä kylmempään. Lämmön siirtymiselle on kolme ilmenemismuotoa: johtuminen, säteily ja konvektio. Lamppujen lämpö siirtyy ympäröivään ilmatilaan konvektiona. Huoneen pinnat absorboivat lampun tuottaman säteilyn, jolloin myös lämmenteet pinnat lämmittävät ilmatilaa konvektiolla. /9, s.19/

3.1 Lämpöenergian jakautuminen

Lämmönsiirtyminen on tiede, joka pyrkii ennustamaan energian siirtymistä materiaalien välillä, joka johtuu lämpötilaeroista. Termodynamiikka opettaa, että kyseinen energiasiirtyminen määritellään lämpönä. Tiede ei pyri ainoastaan opettamaan, miten lämpö siirtyy, vaan myös millä nopeudella se tapahtuu tietyissä olosuhteissa. Jokaisella aineella on lämmönjohtumisominaisuus, joka kuvastaa sen kykyä johtaa lämpöä. Kun tiedetään materiaalin tai väliaineen lämmönjohtuvuusominaisuus $[k]$, voidaan lämmönsiirtyminen $[q_x]$ laskea. /9, ss. 1-2, 19/

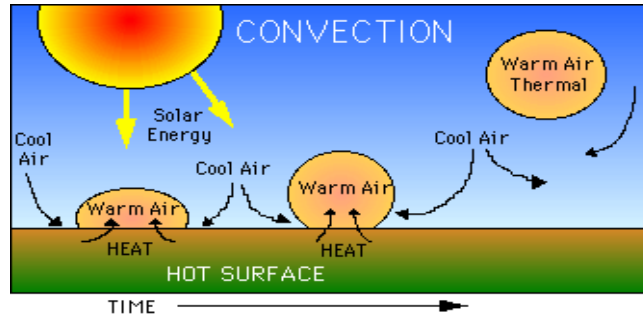
Lämmönsiirto-ominaisuus konvektiossa ja johtumisessa lasketaan kaavan [2] mukaan.

$$q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad [2]$$

q_x	lämmön siirtyminen, W/K
k	lämmönjohtavuusominaisuus, (W/mK)
A	pinta-ala, m ²
$\frac{\partial T}{\partial x}$	lämmön suunnan gradientti

3.1.1 Konvektio ja säteily

Konvektio on prosessi, jossa lämpö siirtyy ilman ja materiaalin tai virtaavan aineen välillä (kuva 7).



Kuva 7. Lämmönsiirto konvektiona ilman ja kiinteän materiaalin välillä. /10/

Prosessia kuvailee Newtonin lämmönsiirtolaki, koska lämpötilaerot vaikuttavat lämmön siirtymisen nopeuteen. Lämpö, joka siirtyy esimerkiksi loisteputkesta ympäröivään tilaan, kutsutaan konvektioksi. Konvektiota on kahta muotoa eli pakotettu ja luonnollinen konvektio. Pakotettu konvektio on sitä, kun esimerkiksi tuulinen sää tuntuu kylmemmältä kuin tyyni sää, vaikka lämpötila olisi sama kummassakin tapauksessa. Tyynellä säällä tapahtuu luonnollista konvektiota, jolloin lämmönsiirtyminen on pienempää ja ilma tuntuu lämpimämmältä kuin tuulisella säällä. /9, ss. 10-11/

Useissa lämpöteholaskennoissa tarvitaan Grashof-, Rayleigh-, Prandtl- ja Nusselt-lukua. Grashof-luku $[Gr_D]$ kuvastaa virtaavien aineiden nostovoimien suhteita sekä niihin vaikuttavia kitkavoimia. Prandtl-luku $[Pr]$ approksimoi termisen diffuusion ja liikemäärän suhdetta. Rayleigh-luku $[Ra_D]$ kuvastaa lämmönsiirtymistä aineen sisällä ja Nusselt-luku kappaleen pinnan lämpötilagradienttia. Lämmönsiirtymislaskuissa käytetään yleisesti Kelvin-lämpötila-asteikkoa $[T_f]$. /9, s. 331-343/

Konvektio lasketaan kaavan [3] mukaan

$$q = hA(T_w - T_\infty) \quad [3]$$

q	lämpöteho, j/s [W]
h	lämmönsiirtymiskerroin, $W/m^2\text{°C}$
T_w	lämpötila kiinteälle aineelle, °C
T_∞	lämpötila nesteelle tai kaasulle, °C

Kun tiedetään esimerkiksi loisteputken ja ympäröivän tilan lämpötila, voidaan lampputehon $[P]$ ja huoneilman ominaisuuksien avulla laskea loisteputken lämmönsiirtymiskerroin. Huoneilman ja loisteputken keskilämpötila $[T_f]$ lasketaan kaavan [4] mukaan.

$$T_f = \frac{T_w - T_\infty}{2} \quad [4]$$

T_f Kelvin-asteikolla määrittää ilman ominaisuudet

β	K^{-1}
ν	m^2/s
k_f	$W/m\cdot K$
Pr	Prandtl numero

Näiden avulla voidaan laskea Grashof $[Gr_D]$ -luku kaavan [5] mukaan

$$Gr_D = \frac{g\beta\Delta TD^3}{\nu^2} \quad [5]$$

g 9,81 m/s²

D halkaisija, m

jonka avulla ratkaistaan Rayleigh [Ra_D]-luku kaavan [6] mukaan

$$Ra_D = Gr_D Pr \quad [6]$$

Tämä laskenta vaatii Nusselt [Nu_D]-luvun, joka lasketaan kaavan [7] mukaan

$$Nu_D = C(Ra_D)^m \quad [7]$$

C vakio, taulukkoarvo

m vakio, taulukkoarvo

Tällöin voidaan selvittää loisteputken lämmönsiirtymiskerroin [h] kaavan [8] mukaan

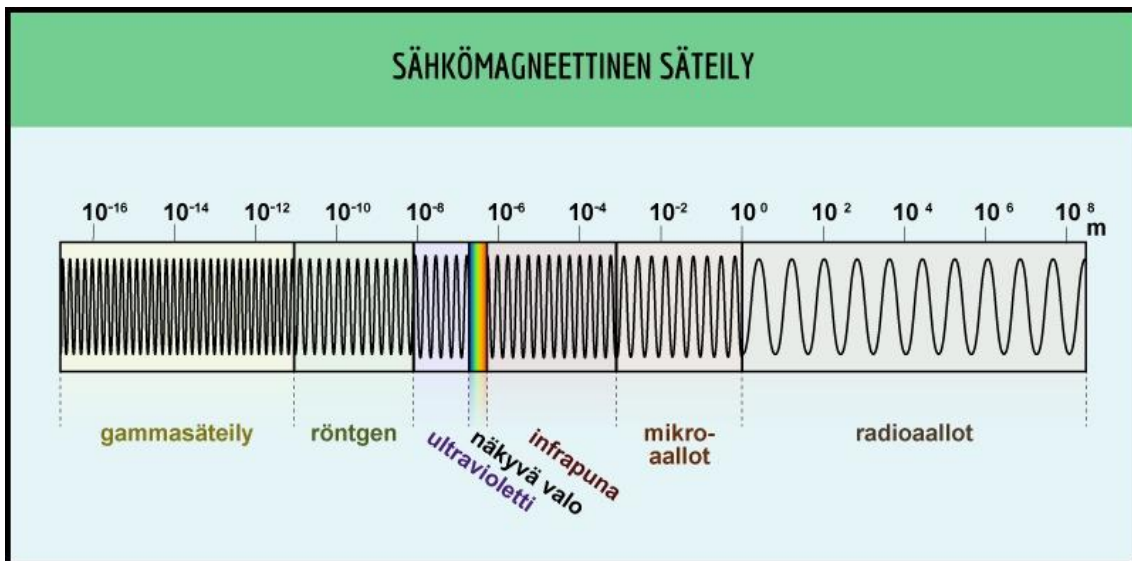
$$h = Nu_D \frac{k_f}{D} \quad [8]$$

Kun tiedossa on [h], [A], [ΔT], voidaan laskea konvektion osuus [$q_{\text{konvektio-osuus}} \%$] kaavan [9] mukaan

$$q_{\text{konvektio-osuus}} \% = \frac{q_{\text{konvektio}}}{P_{\text{lamppu}}} \times 100 \quad [9]$$

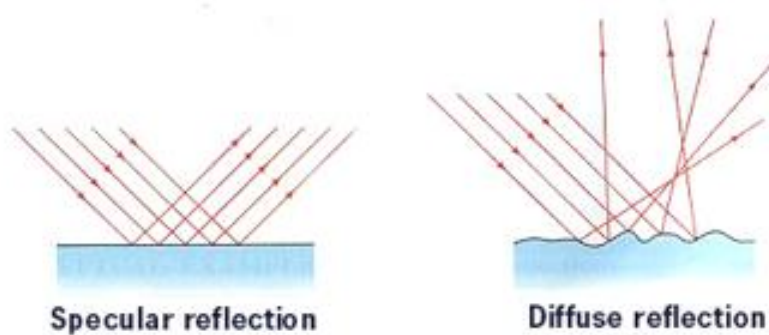
Kun konvektion osuus vähennetään lampputehosta, on jäljelle jäävä lämmönsiirtyminen ympäröivään ilmatilaan säteilyä. /9, ss. 332-342, s. 658/

Säteilyn voi kokea esimerkiksi laittamalla käden loisteputken tai takkatulen lähelle. Aisittu lämpösäteily on infrapunasäteilyä, joka on sähkömagneettista säteilyä. Näkyvä valo on myös sähkömagneettista säteilyä, mutta pienemmällä aallonpituudella (kuva 8). /11/



Kuva 8. Sähkömagneettisen säteilyn jakautuminen. /12/

Säteily liikkuu valon nopeudella, imeytyy kohteeseensa, välittyy eteenpäin ja osa heijastuu. Säteilyn heijastumisen voi jakaa kahteen kategoriaan: peilimäinen ja hajautunut (kuva 9). /9, ss. 379-381/



Kuva 9. Peilimäinen ja hajautunut heijastuminen (vas-oik.). /13/

Johtuminen ja konvektio tarvitsee väliaineen, mutta säteily pystyy liikkumaan myös sellaisten alueiden läpi, joissa vallitsee tyhjiö. Esimerkiksi auringon sähkömagneettinen säteily saavuttaa maapallon avaruuden tyhjiön halki. Ideaalisen säteilylähteen, mustan kappaleen, kokonaisteho riippuu säteilylähteen lämpötilasta ja on verrannollinen lämpötilan neljänteen potenssiin pinta-alaan suhteutettuna. /9, ss. 12-13/

Lämpösäteily lasketaan kaavan [10] mukaan

$$q, emitted = \sigma AT^4 \quad [10]$$

$q, emitted$ W/m²

σ Stefan-Boltzmann vakio, 5.669×10^{-8} W/m²·K⁴

A pinta-ala, m²

T^4 Lämpötilaero Kelvin-asteikolla potenssiin neljä

Energian säilymislain mukaan voidaan lampun lämmönsiirtymän säteilyn osuus laskea kaavan [11] mukaan

$$\sigma AT^4 = W - hA(T_w - T_\infty) \quad [11]$$

Johtuminen on lämmönsiirtymistä kiinteään aineen sisällä. Mikäli aineet ovat kosketuksessa toisiinsa, voi lämpö siirtyä johtumisena aineesta toiseen. Esimerkiksi rakennuksen vaipan lämpövuoto tapahtuu konvektiolla sisäseinään, johtumisella rakenteen sisällä, jonka jälkeen lämpö siirtyy konvektiolla ulkoilmaan. [Rakennusten lämmitys s.57-59]

Johtuminen lasketaan kaavan [12] mukaan

$$q = \frac{kA\Delta T}{L} \quad [12]$$

q lämpöteho, j/s (W)

k lämmön johtumisominaisuus

A pinta-ala, m²

ΔT lämpötilaero, °C

L pinta-alan syvyys, m

3.1.2 Valaistuksen lämpöenergian häviöt

Valaistuksen lämpöenergian häviöt ovat vain osa rakennuksen lämpöhäviöitä. Valaistuksen lämpöhäviöt, niin kuin muidenkin lämpökuormien häviöt, kulkeutuu konvektion, säteilyn ja johtumisen avulla osittain rakennuksen vaipan ulkopuolelle. Rakennuksen vaipan sisäpuolisten huoneiden välillä voi myös tapahtua lämmönsiirtymistä, kun huoneiden välillä on lämpötilaeroja. Ilmanvaihdon lämmön talteenotolla saadaan poistoilmasta lämpöenergiaa talteen, mutta ei kaikkea. Osa lämmöstä saattaa myös kerrostua välipohjien alapuolelle ja sieltä siirtyä ylempään kerrokseen.

Rakennuksen vaipan lämpöhäviö lasketaan ynnäämällä ilmanvaihdon, vuotoilman ja vaipan lämpövuoto. Rakennuksen vaipan suurin lämpöhäviö pinta-alaan nähden tapahtuu ikkunoiden kautta. Lämpöhäviöt vaipalle lasketaan kaavioiden [13], [14], [15], mukaan. /14, ss. 12-14/

Rakennuksen vaipalle lasketaan lämpöhäviö kaavan [13] mukaan

$$\Sigma H_{joht} = \Sigma(U_{ulkoseinä}A_{ulkoseinä}) + \Sigma(U_{yläpohja}A_{yläpohja}) + \Sigma(U_{alapohja}A_{alapohja}) + \Sigma(U_{ikkuna}A_{ikkuna}) + \Sigma(U_{ovi}A_{ovi}) \quad [13]$$

ΣH_{joht} rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, W/K

U lämmönläpäisykerroin rakennusosalle, W/(m²K)

A rakennusosan pinta-ala, m²

Ilmanvaihdolle lasketaan lämpöhäviö kaavan [14] mukaan

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v, poisto} t_d t_v (1 - \eta_a) \quad [14]$$

H_{iv}	Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K
ρ_i	tiheys ilmalle, 1,2kg/m ³
c_{pi}	ominaislämpökapasiteetti ilmalle, 1000Ws/(kgK)
$q_{v, poisto}$	laskennallinen poistoilmavirta, m ³ /s
t_d	vuorokautinen käyntiaikasuhde ilmanvaihtojärjestelmälle, h/24h
t_v	viikoittainen käyntiaikasuhde ilmanvaihtojärjestelmälle, vrk/7 vrk
η_a	lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ilmanvaihdon poistoilmalle

Rakennuksen vuotoilmalle lasketaan lämpöhäviö kaavan [15] mukaan

$$H_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v, vuotoilma} \quad [15]$$

$H_{vuotoilma}$	ominaislämpöhäviö vuotoilmalle, W/K
ρ_i	tiheys ilmalle, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ominaislämpötilakapasiteetti ilmalle, 1000 Ws/(kgK)
$q_{v, vuotoilma}$	vuotoilmavirta, m ³ /s

3.2 Valaistuksen lämpöenergian talteenotto

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton avulla voidaan uusiokäyttää poistoilman lämpöenergiaa ja näin ollen vähentää rakennuksen ostoenergiatarvetta. Suurempi lämpötilaero vastaanottavan ja luovuttavan virran välillä tekee lämmönsiirrosta tehokkaampaa. Huoneilma yleensä lämmitetään haluttuun lämpötilaan patterilämmityksen, mutta myös lämmitetyn tuloilman avulla. Huonelaitteet, ihmiset ja valonlähteet ovat lämpökuormia, joten ne ovat myös osa tilojen lämmitystä, mutta niitä ei lasketa jatkuvakäyttöisiksi lämpökuormiksi /14. s.19/.

Taulukko 1. Rakennustyyppien käyttöasteet ja lämpökuormat. /14/

Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika ^d	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Ihmiset ^a W/m ²
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	0,6	8 ^{b,c}	3	2
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	0,6	11 ^{b,c}	4	3
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	12 ^c	12	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19 ^c	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14 ^c	4	4
Opetusrakennus ja päiväkot	08:00-16:00	8	5	0,6	18 ^c	8	14
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	12 ^c	0	5
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	9 ^c	9	8

a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6

b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1

c ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erilliselvytyksien 3.3.3 ja 3.3.4 mukaisesti.

d ilmanvaihdon käyntiaika kohdan 3.3.7 mukaisesti

Talviaikaan on lampun lämpökuorma tervetullutta, mutta kesällä on useimmiten lämmitystarpeen sijaan jäädytystarve, jolloin lampun lämpökuorma lisää jäädytystarvetta /15, s. 285/. Rakennuksen lämmitysenergian nettotarpeen avulla lasketaan ilmanvaihtojärjestelmän lämmön talteenottomäärä. Lämmitysenergian nettotarve muodostuu johutumislämpöhäviöistä, vuotoilman lämpöhäviöistä, tuloilman ja korvausilman lämpenemisestä tilassa huonelämpötilaan, josta on vähennetty sisäisten lämpökuormien ja aurinгон vaikutus. /14, s. 22, s.25/

Iltanvaihdon talteenotettu energia lasketaan kaavan [16] mukaan

$$Q_{lto} = \sum t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v, tulo} (T_{lto} - T_u) \Delta t / 1000 \quad [16]$$

Q_{lto} ilmanvaihdosta talteen otettu energia, kWh

t_d ilmanvaihtojärjestelmän vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h

t_v viikoittainen käyntiaikasuhde ilmanvaihtojärjestelmälle, vrk/7 vrk

ρ_i tiheys ilmalle, 1,2 kg/m³

c_{pi} ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000J/(kgK)

$q_{v, tulo}$ tuloilmavirta, m³/s

T_{lto} lämpötila lämmön talteenoton jälkeen, °C

T_u ulkolämpötila, °C

Δt ajanjakson pituus, h

1000 laatumuunnoskerroin kilowattitunneiksi

Esimerkkilaskenta

td	24/24h
tv	7/7vrk
pi	1,2 kg/m ³
cpi	1000J/(kgK)
qvtulo	1 m ³
Tlto	-5°C, esim. pyörivä lämmönsiirrin
Tu	-26°C, esim. talvella
Δt	1000h

jolloin kaavan [16] mukaan saadaan 25,2 kWh energiaa talteen. / 16, s.24/

3.3 Valaistukseen tarvittava ostoenergia

Rakennuksen ostoenergia koostuu ilmanvaihto-, lämmitys-, jäähdytysjärjestelmien sekä valaistuksen ja kuluttajalaitteiden energiankulutuksesta energiamuodoittain eriteltynä. Uusiutuva omavaraisenergia otetaan huomioon rakennuksen ostoenergiatarvetta laskettaessa. Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen vuotuinen energiankäyttö lasketaan kaavan [17] mukaan

$$W = kP \frac{td}{24} \frac{tw}{7} \frac{8760}{1000} \quad [17]$$

k	käyttöaste
P	lämpökuorma W/m ²
td	rakennuksen käyttötuntien määrä vuorokaudessa h
tw	rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa d

Sähkön avulla siirretään energiaa ja se ostetaan alueella olevan rakennuksen verkonhaltijalta /17/. Kun laitteen käyttöaika ja teho tiedetään, voidaan sen energiankulutus laskea. Tällöin muutetaan käyttöaika tunneiksi ja teho kilowateiksi. Valaistuksen osuus

asumisen sähkönkulutuksesta on merkittävä, mutta laskemaan päin. Syy valaistuksen pienentyneeseen sähkönkulutukseen on energiatehokkaiden lamppujen yleistynyt käyttö. Vuonna 2010 kului asumisen valaistukseen 2702 GWh, joka on noin 3,8 prosenttia asumisen yhteenlasketusta energiankulutuksesta (taulukko 2). Vastaavasti vuonna 2015 kului 1876 GWh, joka on noin 3,1 prosenttia. /18/

Taulukko 2. Asumisen energiankulutus gigawattitunteina vuosina 2010-2015. /18/

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Tilojen lämmitys	48 765	41 419	45 928	42 739	42 831	40 804
Varsinaiset asuinrakennukset yhteensä	46 365	39 339	43 663	40 643	40 690	38 760
- Erilliset pientalot	29 101	25 091	27 641	25 595	25 967	24 507
- Rivi- ja ketjutalot	4 462	3 767	4 215	3 972	3 925	3 816
- Asuinkerrostalot	12 802	10 481	11 807	11 076	10 798	10 437
Vapaa-ajan asuinrakennukset	2 399	2 080	2 265	2 097	2 140	2 044
Kotitalouslaitteet ¹⁾	9 092	8 320	8 856	8 395	8 099	7 886
- Valaistus	2 702	2 482	2 349	2 115	1 919	1 876
- Ruoan valmistus	826	799	714	697	689	680
- Muut sähkölaitteet	5 564	5 039	5 793	5 583	5 491	5 330
Saunojen lämmitys	2 880	2 871	2 894	2 902	2 924	2 920
Käyttöveden lämmitys	9 522	9 584	9 658	9 727	9 789	9 850
Asuminen yhteensä	70 259	62 194	67 336	63 763	63 643	61 460

1) Kotitalouslaitteiden kulutukseen sisältyy sähkön kulutuksen lisäksi myös maakaasun ja nestekaasun käyttö ruoan valmistuksessa. Sähkön kulutus kattaa myös kotitalouksien tuottaman aurinkosähkön.

Sähkön avulla siirretään energiaa ja se ostetaan alueella olevan rakennuksen verkonhaltijalta /18/. Kun laitteen käyttöaika ja teho tiedetään, voidaan sen energiankulutus laskea. Kulutusta laskettaessa muutetaan käyttöaika tunneiksi ja teho kilowateiksi. Kilotwattitunti on energiayksikkö, jossa kilowatin tehoa pidetään päällä tunnin ajan. Mitä suurempi teho ja käyttöaika, sitä suurempi kulutus

4 TARKASTELTAVA KOHDE

Valaisinvalinnan vaikutus liikerakennuksen energiankulutukseen lasketaan IDA ICE simulointiohjelman avulla ohjelmaan luodusta liikerakennusmallista. IDA ICE on lyhenne englanninkielisestä lauseesta IDA Indoor Climate and Energy. IDA:lla pystytään dynaamisesti simuloimaan monivyöhykemalleja ja näin ollen tutkia rakennuksen varsinaista energiankulutusta. Ohjelmasta löytyy Suomelle tehty lokalisaatiopaketti, josta löytyy alueellista sää- ja sijaintidataa. Ohjelmalla voi laatia energiatodistuksen. /19/

Kun uudisrakennukselle haetaan rakennuslupaa, tulee energiaselvityksen olla tehty. Yksi energiaselvityksen sisältövaatimuksista on kesäaikainen huonelämpötilatarkastelu. Huonelämpötilatarkastelun laskentatyökäluun vaatimustaso on, että laskenta tehdään dynaamisella laskentaohjelmalla /20, s.6/.

4.1 Liikerakennus

IDA:lla luotu 3-kerroksinen liikerakennusmalli on pinta-alaltaan 3000 m². Jokaiseen 3 m korkuiseen 1000 m² kerrokseen on luotu kuusi 0,5 m korkea vyöhykettä. Ikkunapinta-ala liikerakennukselle on rakennusmääräyskokoelman vaatimusten mukainen 15% lattiapinta-alasta eli 150 m² kerrosta kohden. Ikkunoissa ei ole sälekaihtimia. Mallin simuloinnin rakennus- ja LVI-tekniset asetusarvot esitetään taulukossa 3.

Taulukko 3. Liikerakennusmallin rakennus- ja LVI-tekniset asetusarvot.

Ulkoseinä	0,17	U-arvo, W/m ² K	Hyötysuhde	0,45	%
Alapohja	0,17	U-arvo, W/m ² K	Ilmanvaihto	2	dm ³ /(s m ²)
Välipohja	2,4	U-arvo, W/m ² K	Ilmanvaihto käyttöajan		
Yläpohja	0,09	U-arvo, W/m ² K	ulkopuolella	0,15	dm ³ /(s m ²)
Ikkuna	1,0	U-arvo, W/m ² K	lämmitysraja	18	°C
Ikkunan g-arvo	0,55		jäähdytysraja	25	°C
ilmanvuotoluku	0,03	dm ³ /(s.m ²)/ ulkovaippa	Henkilökuorma	2	W/m ²
Käyttöaste			Laitekuorma	1	W/m ²
liikerakennukselle	13	h/24h, 6d/7d			

5 VERTAILUKOHTTEET

Valaisimeksi on valittu Monix slim muovikupuvalaisin, joka soveltuu vertailtaviin LED- ja T5-valonlähteille. Monix slim soveltuu asuin-, teollisuus ja liiketilojen valaistukseen. Valonlähteiden tarkemmat tuotetiedot löytyvät liitteistä 1 ja 2 sekä DiaLUX-laskennat liitteistä 3 ja 4.

5.1 LED- ja loisteputkivalaisin

LED-tekniikan kehitys on kiihtynyt viime vuosina. Suosio on nousussa lukuisten hyvien ominaisuuksien takia. LED:t ovat pieniä ja kompakteja, pitkäikäisiä, tuottavat valoa välittömästi syttyessä ja käyttökohteet ovat monipuolisia. LED:t ovat myös energiatehokkaita ja ympäristöystävällisempiä kuin perinteiset loisteputket, joten taloudellinen hyöty LED:n suosimisesta on suuri. LED:n eliniän yhteydessä esitetään valovirran alenema [L] joka kertoo, paljonko LED-moduulin alkuperäisestä valovirrasta on jäljellä, kun valaisin on ilmoitetun elinkaarensa lopussa. Yleensä esitetään myös vikaantumiskerroin. Esimerkiksi vikaantumiskerroin [B] B10 osoittaa, että 90% samanlaisista LED-moduuleista omaa riittävän valovirran vielä valaisimen elinkaaren lopussa.

LED:t ovat puolijohdekiteitä. Virran kulkiessa niiden läpi säteilevät ne sinistä, vihreää tai punaista valoa. LED-valonlähteet eivät säteile infrapuna- tai ultraviolettisäteilyä, joten säteilyn lämpökuorman osuus on pienempi kuin esimerkiksi vastaavan valotehokkuuden omaavalla loisteputkella /21, ss. 563-565/. LED muodostuu monista puolijohtavista materiaalikerroksista. Käytettävä puolijohdemateriaali määrittää valon värin, mutta muuntelemalla sininen-vihreä-punainen väriyhdistelmiä voidaan tuottaa mikä tahansa värisävy. /22/

Loisteputken toimintaperiaate on erilainen kuin LED-lampun. Loisteputken lampun päiden välille aikaansaadaan sähköpurkaus. Tämä sähköpurkaus johtaa purkaustilassa olevan elohopeahöyryn ultraviolettisäteilemään, jonka lampun kuvun sisäpuolella oleva loisteaine muuntaa näkyväksi valoksi. Loisteputken kuvun pituus tulisi läpimitaan verrattuna olla noin 20-40-kertainen, jotta saavutetaan riittävä lamppujännite alhaisella

(0,5-1 V/cm) jännitegradientilla ja pieni energiahäviö valoa tuottamattomassa katodin osassa. Loisteputkelle ominainen 1-2 sekunnin syttymisviive, vilkkuminen, johtuu katodien esihehkutuksesta. Esihehkutusvirta kuumentaa katodit oikeaan lämpötilaan. Katodeista lähtee elektroneja, läheiset kaasuatomit ionisoituvat ja katodien välillä syntyy pääpurkaus, jolloin valo syttyy. /1, ss. 63-64/

6 VALAISTUKSEN KUSTANNUKSET

Valaisimen käyttöikä on suhteellisen pitkä, n. 10-20 vuotta. Valaistuksen kustannuksia vertailtaessa kannattaa huomioida elinkaarikustannukset eikä ainoastaan hankintahintaa. Pitkän elinkaareen myötä syntyy jatkuvia kuluja kuten esimerkiksi energia- ja ylläpito-kustannuksia. /23/

6.1 LED

Ledit ovat pitkäikäisiä. Tyypillinen elinikä esimerkiksi AMSL90-LED-valaisimelle on 50 000 tuntia. AMSL90:n hankintahinta on 198 €, joka on verrattavaan AMS2490-loisteputkivalaisimeen korkea. LED-valaisimen teho on 47,1 W, jolloin energiankulutus on yli puolet pienempi kuin loisteputkivalaisimen. Koska AMSL90-valaisin myydään LED-moduulin kanssa, eikä LED-moduulia pysty vaihtamaan, tulee koko valaisin uusia viimeistään elinkaarensa lopussa. /24/

6.2 Loisteputki

Valitun loisteputken käyttöikä on 24 000 tuntia. AMS2490 loisteputkivalaisimen teho on 105 W ja se tarvitsee 2 kappaletta 49 W loisteputkea. Lopputeho kuluu liitäntälaitteessa, joka on sijoitettu valaisimen sisään. AMS2490:n energia- ja ylläpitokustannukset ovat suuremmat kuin AMSL90:n, mutta AMS2490:n hankintahinta on n. 93 €, joka on noin puolet vähemmän kuin AMSL90:n. Uusi loisteputki maksaa 5,59€ (2017). /25/

6.3 Energian kustannukset

Energian kustannukset määräytyvät liikerakennuksen energiankulutuksen ja energiamuotojen hinnoittelun mukaan. Helen Sähköverkko Oy vastaa sähkön siirrosta helsinkiläisille, riippumatta energiayhtiön asiakkuudesta. Kokonaiskustannus sähkölle muodostuu sähköveron, sähkön siirron ja sähköenergian osuudesta. Hinta muodostuu myös markkinahintoja seuraten, mutta viiveellä. Markkinahintojen muuttuessa voi hinta nousta tai laskea.

Kaukolämpö on yleinen kiinteistön tilojen ja käyttöveden lämmitysmuoto, jonka hinta muodostuu kausittain vaihtuvasta energiamaksusta ja kiinteästä vesivirtamaksusta. Energiamaksu päivitetään neljä kertaa vuodessa perustuen asiakkaiden energiankäyttöön. Vesivirtamaksun suuruus määräytyy rakennustyyppin ja kiinteistön tarvitseman lämpötehon mukaan. Kaukolämpö on halvimmillaan kesällä ja kalleinta talvella (taulukko 4). Kaukojäähdytyskohteiden vuosimaksu on aina sopimuskohtainen, mutta kaukojäähdytyksen energian hinta on sama kuin kaukolämmön kesähinta /26/. /27/

Taulukko 4. Helen Oy:n kaukolämmön hinnat kausittain vuosilta 2014-2017. /28/



Kaukolämmön energia- ja vesivirtamaksut, 1.3.2017 alkaen

Energiamaksut				
Kausi		Alv %	€/MWh, alviton	€/MWh, alvillinen
Kevätkausi	01.03.2017 - 30.04.2017	24	46,84	58,08
Talvikausi	01.01.2017 - 28.02.2017	24	49,89	61,86
Syyskausi	01.10.2016 - 31.12.2016	24	43,18	53,54
Kesäkausi	01.05.2016 - 30.09.2016	24	25,96	32,19
Kevätkausi	01.03.2016 - 30.04.2016	24	40,16	49,80
Talvikausi	01.01.2016 - 29.02.2016	24	44,77	55,51
Syyskausi	01.11.2015 - 31.12.2015	24	42,39	52,56
Kesäkausi	01.05.2015 - 31.10.2015	24	27,11	33,62
Kevätkausi	01.03.2015 - 30.04.2015	24	43,37	53,78
Talvikausi	01.01.2015 - 28.02.2015	24	46,58	57,76
Syyskausi	01.11.2014 - 31.12.2014	24	41,17	51,05
Kesäkausi	01.05.2014 - 31.10.2014	24	25,09	31,11

6.4 Valaistuksen kokonaiskustannukset /23/

Valaistuksen kokonaiskustannuksia laskettaessa on otettava muutakin huomioon kuin valaisimen hankinta ja energiankulutus. Valaisimen elinkaarikustannukset muodostuvat seuraavista seikoista:

- valaisimen hinta ja käyttöikä
- lamppujen hinta, vaihtokustannus ja käyttöikä
- valaisinten hoitokustannukset
- erilaisten ohjausjärjestelmien hankinta ylläpitokustannuksineen
- sähköenergian hinta

7 TUTKIMUSMENETELMÄT

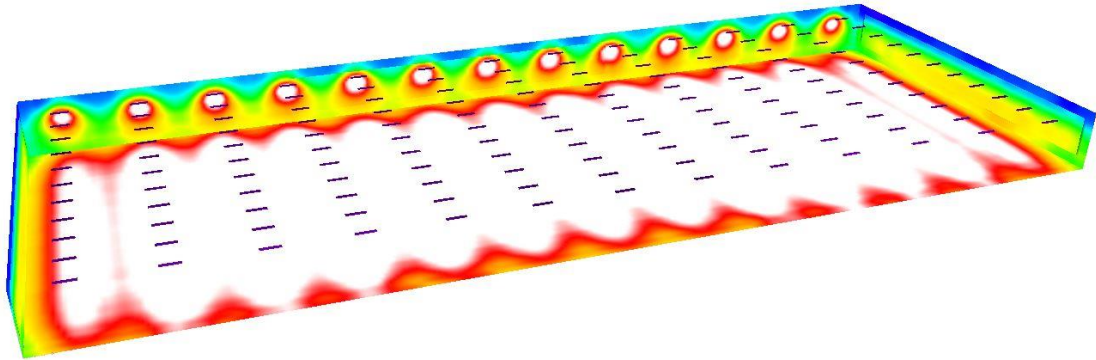
Valaisimen vaikutus liikerakennuksen energiakustannuksiin on laskettu optimoimalla vertailtavien valaisimien tarve, jolloin tulosten avulla on laskettu valaisimien kappalemäärät sekä valonlähteiden lämpökuormien säteily- ja konvektio-osuudet. Nämä osuudet on lisätty IDA ICE simulointiohjelmaan, joka on puolestaan laskenut liikerakennusmallille tapauskohtaisen ostoenergiatarpeen yhdelle vuodelle, jonka jälkeen on voitu laskea energiakustannukset ja valaisimien takaisinmaksuajat.

7.1 DiaLUX laskenta

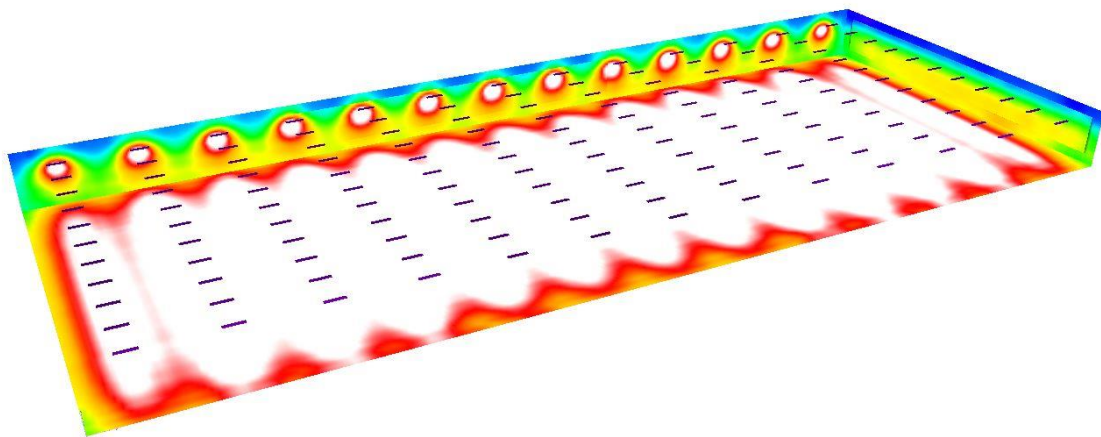
Liikerakennusmallin vaatima valaistusmäärä lasketaan DIAL GmbH:n kehittämällä DiaLUX valaistuslaskentaohjelmalla. Liikerakennuksia koskevat valaistusvaatimukset määräytyvät SFS-EN 12364-1 sisätilojen työkohteiden standardin mukaan. Valaistusvoimakkuusvaatimus riippuu liikerakennuksen tyypistä. Valaistusvoimakkuusasetus liikerakennuksen kassa-alueelle on 500 lx, jonka mukaan tämän opinnäytetyön liikerakennusmallin valaistuksen optimointi suoritetaan. /6/

DiaLUX-laskentaa varten on luotu 1000 m² liikerakennusmalli DiaLUX-ohjelmaan (kuvat 10 ja 11).

Malli on yksikerroksinen. Laskentatulokset kerrotaan kolmella, jotta tulos vastaisi IDA ICE-liikerakennusmallia. LED- ja loisteputkivalaisimet ovat asennettuina 2,5 m korkeuteen. Kuvien 10 ja 11 valkoisella merkattu alue kertoo riittävästä, 500 lx:n asetusarvon mukaisesta valaistuksesta. Valaisinkohtaiset laskentatulokset liikerakennusmallin alimmalle kerrokselle löytyvät liitteistä 3 ja 4.



Kuva 10. AMS2490 valaisimen riittävän valaistusvoimakkuuden esittäminen.



Kuva 11. AMSL90 valaisimen riittävän valaistusvoimakkuuden esittäminen.

7.2 Valaistuksen lämpökuorman konvektio-osuuden laskenta

Koska LED-valaistus ei infrapuna- ja ultraviolettisäteile, on säteilyn lämmönsiirtymis-
osuus hyvin pieni. Tästä johtuen on LED-valaistuksen valon osuus säteilyä, jolloin loput
ledin tehosta on lämpöä, joka siirtyy huoneilmaan konvektiona. AMSL90-LED-
valaisinlaskentaa ja kaavaa [1] käyttämällä saadaan näkyvän valon säteilyosuudeksi n.
20 %.

Loisteputki säteilee infrapuna- ja ultraviolettisäteilyä, joten simuloinnin kannalta on tär-
keää eritellä loisteputken säteilyn ja konvektion osuudet. Loisteputkelle tyypillinen toi-
mintalämpötila on 40°C, ja koska loisteputken pinta-ala ja huonelämpötila on määritel-
ty, jolloin ilman ominaisuudet ovat tiedossa, voidaan loistelampun lämmönsiirtymisen
konvektio-osuus laskea kaavan [9] mukaan. /1, s. 63/

Vertailtavan loisteputken halkaisija on 0,016 m ja pituus on 1,449 m. Loisteputken teho
[P] on 49W. Huonelämpötila on 18°C, jolloin loisteputken ja huoneilman keskilämpöti-
la [T_f] on 29°C ja ilman ominaisuudet ovat

- $\beta = 3,2 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$
- $\nu = 16,109 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- $Pr = 0,7085$
- $k_f = 0,0263352 \text{ W/m}^\circ\text{K}$

jolloin kaavoja [8] ja [9] käyttäen voidaan loisteputken lämmönsiirtymisen konvektion
osuudeksi laskea n. 27%. Valaistulämpökuorman jakautuminen vyöhykeosuuksille esi-
tetään taulukossa 5.

Taulukko 5. Valaistuksen lämmönsiirtymisosuudet säteilynä ja konvektiona.

LED-valaisin

teho P (W)/kerros	1387,9	W_ Säteily
teho P (W)/kerros	5347,4	W_ konvektio

Loisteputkivalaisin kahdella loisteputkella

teho P (W)/kerros	10234,1	W_ säteily	
teho P (W)/kerros	3779,9	W_ konvektio putket	
	1001	W_ konvektio liitäntälaite	
4,23	Loistep.	W/m ²	Säteily
0,57	LED	W/m ²	Säteily
2419,64		m ²	Kerroksen pinnat IDA ICE mallista

	Säteily	Konvektio	Säteily+konvektio
Kaikki osat	Loisteputki	Loisteputki	W
	W/osa	W/osa	
osa 1/6	4525,7		
osa 2/6	208,7		
osa 3/6	208,7		
osa 4/6	208,7		
osa5/6	208,7		
osa6/6	4525,7	4780,9	9306,6
Kerros Yhteensä	9886,1	4780,9	14667,0

Ikkunan säteilyhäviöt

348,0 W/kerros

	Säteily	Konvektio	Säteily+konvektio
Kaikki osat	LED	LED	W
	W/osa	W/osa	
osa 1/6	613,8		LED
osa 2/6	28,3		
osa 3/6	28,3		
osa 4/6	28,3		
osa5/6	28,3		
osa6/6	613,8	5347,4	5961,1
Kerros Yhteensä	1340,7	5347,4	6688,1

Ikkunan säteilyhäviöt

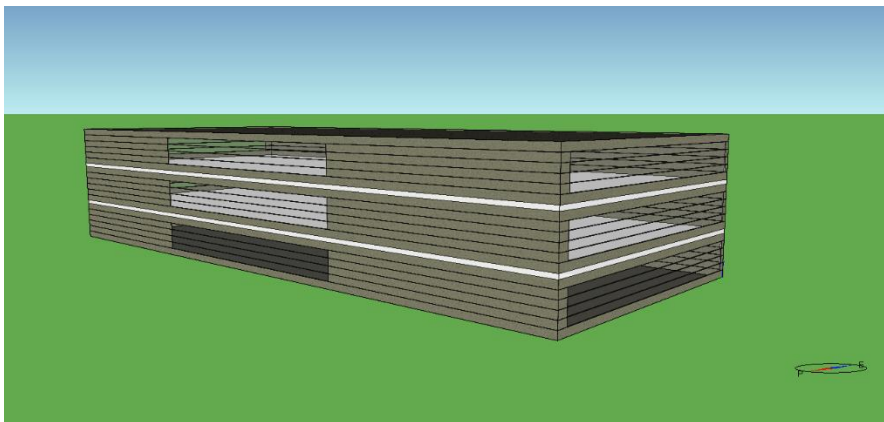
47,2 W/kerros

7.3 IDA ICE laskenta

Liikerakennusmallin ostoenergian kulutus on simuloitu kolmena eri tapauksena. Mallit ovat rakenteeltaan identtisiä jokaisessa simuloinnissa. Mallissa on 3 kerrosta ja jokaisessa kerroksessa on kuusi 0,5 m korkuista vyöhykettä (kuva 10). Kerrokset on jaettu vyöhykkeiksi, jotta ilman kerrostumisen voisi simuloida. Toinen syy on valaistuslämpökuorman konvektio- ja säteilyosuuksien tarkempi asettaminen halutuille korkeuksille ja pinta-aloille. Jokaisen kerroksen alimpaan vyöhykkeeseen on lisätty kerroskohtaiset henkilö- ja laitekuormat, lämmityslaite ja tuloilmanvaihto. Kerroskohtainen jäähdytyslaitteisto ja poistoilmanvaihto on asetettu kerrosten ylimpiin vyöhykkeisiin. Loisteputki- ja LED-valaistuksen lämpökuorman lämmönsiirtyminen on simuloitu konvektiona ja säteilynä. Konvektion osuus on asetettu kerroksien ylimpiin vyöhykkeisiin ja säteilyn osuus on jaettu jokaiselle vyöhykkeelle pinta-alan mukaan. Ikkunoiden kautta ulos säteilevä osuus on vähennetty vyöhykekohtaisesta valaistuslämpökuormasta ikkunoiden g-arvon verran. IDA ICE laskee ostoenergiatarpeen yhdelle vuodelle. IDA ICE simulointiraportit löytyvät liitteistä 5-10.

Simulointitapaukset ovat:

1. Liikerakennuksen asetusarvot ovat rakennusmääräyskokoelman mukaiset, mutta valaistus on ei ole päällä.
2. Liikerakennuksessa on LED-valaistus ja asetusarvot ovat rakennusmääräyskokoelman mukaiset.
3. Liikerakennuksessa on loisteputkivalaistus ja asetusarvot ovat rakennusmääräyskokoelman mukaiset.



Kuva 12. IDA ICE liikerakennusmalli.

7.3.1 Ostoenergiatarve

Vertailemalla simulointitapauksia 1 ja 2 sekä 1 ja 3 saadaan selville valaistuksen lämpökuorman vaikutus muiden energiamuotojen tarpeelle. Taulukossa 6 esitetään simulointitulokset sähkön ostoenergiatarpeelle.

Taulukko 6. Ostoenergiatarpeet, sähkö.

	Simulaatio 1 Valot pois kWh	Simulaatio 2 LED kWh	Simulaatio 3 Loisteputki kWh
LVI sähkö	55728	55689	55643
Kerros 1 tilan valaistus	0	27026	59356
Kerros 2 tilan valaistus	0	27026	59356
Kerros 3 tilan valaistus	0	27026	59356
Kerros 1 tilan kuluttajalaitteet	4047	4041	4047
Kerros 2 tilan kuluttajalaitteet	4047	4041	4047
Kerros 3 tilan kuluttajalaitteet	4047	4041	4047
Yhteensä, Kiinteistösähkö	67869	148890	245852

Valaistustlämpökuorman vuorovaikutus liikerakennusmallin lämmitys- ja jäähdytysenergiatarpeeseen sekä kiinteistön ostoenergiatarpeet esitetään taulukoissa 7 ja 8.

Taulukko 7. Valaistuksen vaikutus ostoenergian tarpeeseen.

	Simulaatio 1 Valot pois	Simulaatio 2 LED	Simulaatio 3 Loisteputki
	kWh	kWh	kWh
Kerros 1 tilan lämmitysenergia	9658	4378	589
Kerros 2 tilan lämmitysenergia	4896	735	157
Kerros 3 tilan lämmitysenergia	11763	2313	294
Kerros 1 tilan jäähdytysenergia	822	5849	18527
Kerros 2 tilan jäähdytysenergia	3448	11911	27257
Kerros 3 tilan jäähdytysenergia	3391	11514	24196
Kerros 1 tilan henkilökuorma	8095	8082	8093
Kerros 2 tilan henkilökuorma	8095	8082	8093
Kerros 3 tilan henkilökuorma	8095	8082	8093
Yhteensä, Kiinteistö polttoaine*	33978	36700	71020
<i>*Energiankulutusmittari, josta henkilökuorman osuus vähennetty</i>			

Taulukko 8. Liikerakennuksen kaukoenergia- sekä yhteenlaskettu ostoenergiatarve.

	Simulaatio 1 Valot pois	Simulaatio 2 LED	Simulaatio 3 Loisteputki
	kWh	kWh	kWh
Ilmanvaihdon lämmitysenergia	213298	198997	182164
Lämpimän käyttöveden lämmitysenergia	16706	16706	16706
Ilmavaihdon jäähdytysenergia	14398	14408	14388
Muu lämmitysenergia yhteensä	230004	215703	198870
Kaikki energiankulutus yhteensä	331851	401293	515742

7.3.2 Valaistuksen lämpökuorman hyödynnettävä osuus

Simulointikohteessa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmön talteenotolla. Jotta valaistuksen lämpökuormasta hyödynnettävä osuus saadaan selville, lasketaan energiantarpeiden erotus simulointien 1 ja 2 välillä. Summaan lisätään vastaavalla tavalla laskettu lämmön talteenotosta saatu energia. Tämä yhteenlaskettu summa jaetaan valaistukseen kuluvan energian kanssa, jolloin saadaan valaistuksen lämpökuormasta hyö-

dynnettävä osuus. Vastaava laskenta on tehty myös simuloinneille 1 ja 3. Positiivinen luku kertoo hyödynnettävän osuuden ja negatiivinen luku kertoo kulutusta lisäävän osuuden. Lämmön talteenotolla saatu energia esitetään taulukossa 9 ja valaistuksen vaikutus lämmitys- ja jäähdytysenergian tarpeeseen sekä valaistuksen lämpökuorman hyödynnettävä osuus taulukossa 10.

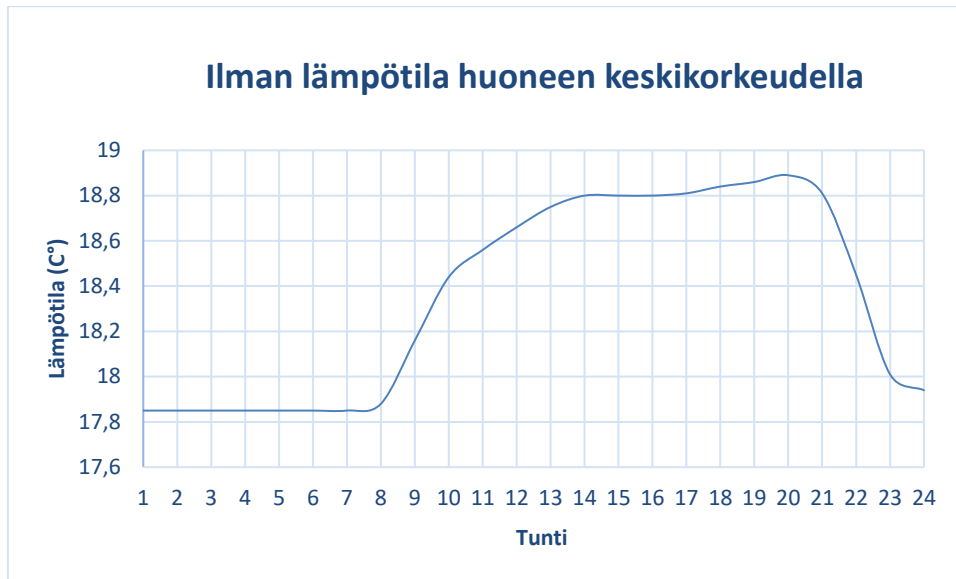
Taulukko 9. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto kerroksittain.

	Simulaatio 1		Simulaatio 2		Simulaatio 3	
	Valot pois		LED		Loisteputki	
	LTO 45%		LTO 45%		LTO 45%	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
IV1	73531,5	49,3	77904,4	47,3	83209,0	47,7
IV2	74275,1	47,7	79158,5	47,3	84811,2	47,7
IV3	73193,4	47,7	78198,7	47,3	84083,2	47,7
yhhteensä	221000	144,7	235261,6	141,9	252103,4	143,1

Taulukko 10. Valaistuksen lämpökuorman hyödynnettävä osuus.

Simulaatio 1 ja 2		kWh	kWh		lto 45%
Kaikki kerrokset				Valaistuksesta	
LED vs valot pois			LTO	hyödyksi	
Kerrosten lämmitysenergia		18891	14261,6	41 %	
Kerrosten jäähdytysenergia		-21613	2,8	-27 %	
Simulaatio 1 ja 3		kWh	kWh		lto 45%
Kaikki kerrokset				Valaistuksesta	
Loisteputki vs valot pois			LTO	hyödyksi	
Kerrosten lämmitysenergia		25277	31103,4	32 %	
Kerrosten jäähdytysenergia		-62319	1,6	-35 %	

Simulointitapauksissa, joissa valaistus on päällä, esiintyy huoneilman ylikäynnemistä (kuva 13).



Kuva 13. Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella 2. tammikuuta.

Taulukoissa 11, 12 ja 13 esitetään liikerakennusmallin rakennusvaipan johtuminen. Taulukoista voi todeta johtumisen kasvavan valaistuskormin myötä.

Taulukko 11. Vaipan johtuminen, kun valaistus ei ole käytössä.

Vaipan johtuminen


kWh

Kuukausi	Seinät	Katto	Lattia	Ikkunat
1	-2312.0	-1563.0	-983.8	-8012.0
2	-2094.0	-1423.0	-1049.0	-7374.0
3	-2165.7	-1571.0	-1408.0	-7548.1
4	-1627.7	-1376.0	-1854.0	-5620.9
5	-947.0	-476.3	-1666.0	-4535.2
6	-604.0	-267.2	-1629.0	-3391.4
7	-450.7	-186.0	-1743.0	-2620.5
8	-321.4	49.0	-934.8	-2776.3
9	-889.4	-518.7	-1048.0	-3940.7
10	-1132.3	-495.7	-525.0	-4772.3
11	-1777.9	-1159.0	-811.3	-6231.2
12	-2114.0	-1444.0	-946.8	-7389.6
Yhteensä	-16436.0	-10431.0	-14598.7	-64212.2
Lämmityksen aikainen	-9699.5	-6741.7	-4252.8	-37097.2
Jäähdytyksen aikainen	-2291.1	-1177.5	-1740.3	-6173.7
Muuna aikana	-4445.4	-2511.8	-8605.6	-20941.3

Taulukko 12. Vaipan johtuminen, kun LED-valaistus käytössä.

Vaipan johtuminen

kWh

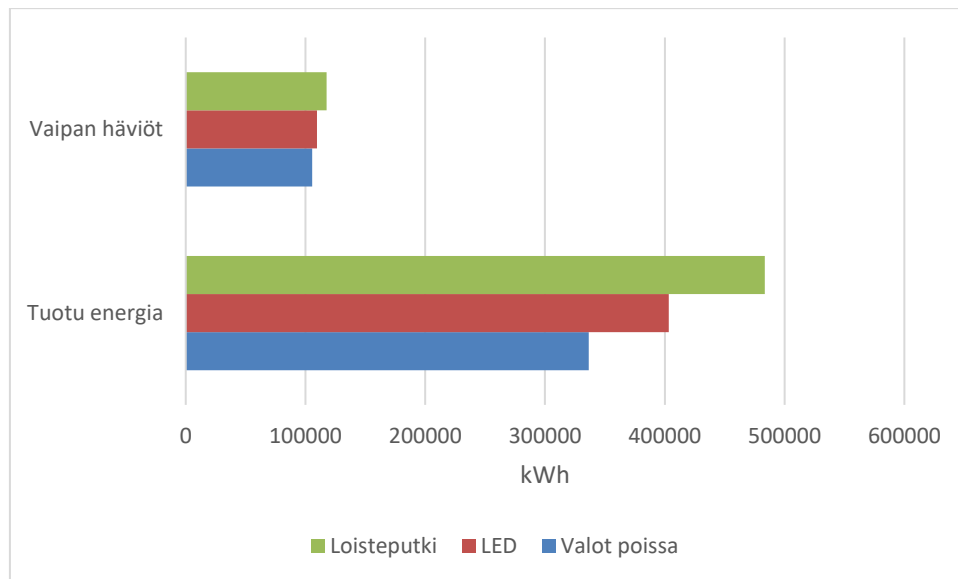
Kuukausi	Seinät	Katto	Lattia	Ikkunat
				
1	-2363.6	-1655.0	-1021.0	-7978.5
2	-2159.9	-1536.9	-1030.7	-7435.1
3	-2297.1	-1760.0	-1477.0	-7822.9
4	-1720.7	-1342.3	-1817.7	-6088.6
5	-1013.9	-575.6	-1646.6	-4740.4
6	-634.7	-272.0	-1584.0	-3544.5
7	-447.1	-145.4	-1707.9	-2675.8
8	-445.8	-215.8	-1029.6	-2951.6
9	-1029.1	-683.4	-1131.0	-4392.4
10	-1258.1	-591.2	-519.2	-5143.2
11	-1801.4	-1093.1	-707.1	-6327.5
12	-2129.9	-1463.0	-907.2	-7370.8
Yhteensä	-17301.3	-11333.8	-14579.0	-66471.3
Lämmityksen aikainen	-6003.5	-3820.7	-2745.8	-26455.9
Jäähdytyksen aikainen	-4099.7	-2723.3	-2656.5	-11059.4
Muuna aikana	-7198.1	-4789.8	-9176.7	-28956.0

Taulukko 13. Vaipan johtuminen, kun loisteputkivalaistus käytössä.

Vaipan johtuminen

kWh

Kuukausi	Seinät	Katto	Lattia	Ikkunat
				
1	-2576.9	-1970.0	-1186.0	-8216.7
2	-2327.7	-1709.0	-1230.0	-7795.9
3	-2518.3	-1957.0	-1698.0	-8417.7
4	-1766.0	-1220.0	-1955.0	-6490.1
5	-1066.0	-578.4	-1746.0	-4839.1
6	-669.5	-273.0	-1627.0	-3598.1
7	-467.0	-138.8	-1760.0	-2690.5
8	-533.1	-268.0	-1184.0	-3052.2
9	-1135.3	-782.4	-1261.0	-4665.6
10	-1502.2	-891.6	-718.5	-5695.2
11	-1991.9	-1262.0	-849.1	-6826.9
12	-2277.4	-1586.0	-977.8	-7721.3
Yhteensä	-18831.4	-12636.2	-16192.4	-70009.3
Lämmityksen aikainen	-302.2	-10.8	746.4	-5306.0
Jäähdytyksen aikainen	-6825.7	-4597.2	-7022.2	-17862.7
Muuna aikana	-11703.5	-8028.2	-9916.6	-46840.6



Kuva 14. Valaistuksen vaikutus liikerakennusmallin vaipan johtumishäviöihin.

7.4 Energiakustannuslaskelmat

Energiakustannuslaskuissa ei ole kaukolämmön tai kaukokylmän virtausmaksuja eikä sähkön kuukausittaisia perusmaksuja, koska kyseiset hinnat ovat sopimuskohtaisia. Kaukolämpöhinta on Helen Oy:n tarjoama ja vuoden 2016 keskihinnan mukainen 0,05 €/kWh, sisältäen verot /29/. Kaukojäähdytyksen hinta on myös Helen Oy:n tarjoama ja vuoden 2016 keskihinnan mukainen 0,032 €/kWh, sisältäen verot /29/. Sähkön kokonaishinta on vuoden 2016 keskiarvon mukainen, 0,079 €/kWh, sisältäen verot /30/. Kiinteistön ostoenergian tarve ja kustannukset esitetään taulukossa 14.

Taulukko 14. Ostoenergian kulutukset ja kustannukset.

kWh/vuosi	Valot pois	LED	Loisteputki
Kaukolämpö	256321	223129	199910
Kaukojäähdytys	22059	43682	84368
Valaistus sähkö	0	81078	178068
Kaikki sähkö	67869	148890	245852

€/vuosi	Valot pois	LED	Loisteputki
Kaukolämpö	12816,05	11156,45	9995,5
Kaukojäähdytys	705,888	1397,824	2699,776
Sähkö	5361,651	11762,31	19422,308
Yhteensä	18883,589	24316,584	32117,584

Valaisininvestoinnin takaisinmaksuaika voidaan laskea, kun tiedetään vertailtavien valaisimen hankinta- ja asennuskustannus, valonlähteen elinikä ja uusimiskustannus sekä lämpökuormaosuuden hyödynnettävyys. AMSL90:n elinikä on 50 000 tuntia, joka tarkoittaa liikerakennuksen käyttöasteella n. 12,3 vuotta. AMSL90:n vikaantumiskerroin [B] on 10%, joten investointilaskentaan lisätään vastaava määrä uusia valaisimia. AMS249:n loisteputkien elinikä on 24 000 tuntia, jonka vastaavasti laskettu elinikä on n. 5,9 vuotta. Koska loisteputken eliniän lopussa on saman loisteputkierän lamput palanut n. 50%, suurennetaan loisteputkien investointikustannuksia vastaavalla määrällä. Laskennassa ei huomioida laskenta-ajanjakson valaisimien vaihto- tai huoltokustannuksia. Kummallekin valaisimelle tehdään investointi- ja energiankululasku 12,3:lle vuodelle.

Valonlähteiden lämpökuormien hyödynnettävä osuus lyhentää investoinnin takaisinmaksuaikaa. Säästynyt energia lasketaan hyödyksi kaukolämmön kulutuksessa, jolloin säästyneelle kaukolämmölle voidaan laskea summa. Valaisimien lämpökuormien hyödynnettävä osuus ja investointilaskelma esitetään taulukossa 15.

Taulukko 15. Valaistuksen lämpökuorman hyödynnettävä osuus ja valaisimien investointilaskelma

Loisteputki, valaistuslämpökuorman energiasäästöt				
			56380,4	kWh/vuosi
Säästöt lämmityksessä				
			2819,02	€/vuosi
	kpl	Valaisin €		
Hankintakustannus	429	98,85	42406,65	€
Asennus	429	40	17160	€
Hankintakustannus, loisteputki	858	5,59	4796,22	€
Loisteputkien uusiminen				
5 vuoden välein			4796,22	€
Uusimisajanjaksojen välissä 50%			2398,11	€
Yhteensä			71557,2	€
Led, valaistuslämpökuorman energiasäästöt				
			33152,6	kWh/vuosi
Säästöt lämmityksessä				
			1657,63	€/vuosi
Led energiakustannussäästöt loisteputkeeseen verrattuna				
			7801,0	€/vuosi
	kpl	Valaisin €		
Hankintakustannus	429	198	84942	€
Asennus	429	40	17160	€
10% valaisimista				
uusitaan elinkaaren aikana	43		8514	€
Yhteensä			110616	€

Taulukossa 16 esitetään lopulliset energia- ja kululaskelmat AMSL90:n elinkaarelle ja taulukossa 17 valaisimien takaisinmaksuajat.

Taulukko 16. Lopulliset energia- ja kululaskennat, 12,3 vuotta.

LED			
Kulutusajanjakso	12,3 vuotta		
Valaistus	997259,4 kWh		78783,5 €
Muu sähkö	834087,6 kWh		65892,9 €
Kaukolämpö	2744486,7 kWh		137224,3 €
Kaukokylmä	537288,6 kWh		17193,2 €
Investointi			110616 €
Yhteensä	5113,1 MWh		409710,0 €
Loisteputki			
Kulutusajanjakso	12,3 vuotta		
Valaistus	2190236,4 kWh		173028,7 €
Muu sähkö	833743,2 kWh		65865,7 €
Kaukolämpö	2458893,0 kWh		122944,7 €
Kaukokylmä	1037726,4 kWh		33207,2 €
Investointi			71557,2 €
Yhteensä	6520,6 MWh		466603,5 €

Taulukko 17. Valaisimien takaisinmaksuajat.

	LED-valaisin	Loisteputki-valaisin	
Investointikustannukset	110616	71557,2	€
Takaisinmaksu	14,2	25,4	vuotta

8 YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää LED- ja loisteputkivalaistuksen vuorovaikutus liikerakennuksen energiakulutuksen kanssa ja tutkia vertailtavien valaisimien aiheuttamia kustannuksia. Tutkimuksessa selvitettiin myös valaisimien investointikulut ja takaisinmaksuajat.

Tapauksissa, joissa valot ovat käytössä, on valaistuksella vaikutus huoneilman lämpötilaan, joka näkyy huoneilman yllämpenemisenä. Valaistuksen ollessa päällä nousee huonelämpötila n. 1 °C. Huoneilman yllämmittäminen ei ole energiatehokasta, etenkin koska vaipan johtumishäviöt kasvavat 3,7% LED-valaistuksen ollessa päällä ja loisteputkivalaistuksessa on vastaava osuus jo 10,2%. Valaistuksen lisäämästä lämpökuormasta ja lämpökuorman hyödynnettävyydestä voitiin todeta, että lisätty lämpökuorma suurentaa johtumishäviöitä ja pienentää valaistuslämpökuorman hyödynnettävyyttä simulointien asetusarvoilla. Tulee kuitenkin huomioida, että virhemarginaalia syntyy valaistuksen säteily- ja konvektio-osuuksilla, koska huoneilman lämpötilat vaihtelevat valaistuksen takia eivätkä pysy 18 °C lämmitysrajassa.

AMS2490 kulutti vuositasolla 96,9 MWh enemmän sähköä kuin AMSL90, ja vaikka AMS2490:n lämpökuorma oli suuri, vähensi se kaukolämmön tarvetta ainoastaan 23,2 MWh. AMS2490 lisäsi jäähdytyksen tarvetta ja kulutti loisteputkitapaukseen verrattuna 40,7 MWh enemmän kaukokylmää. AMSL90:n lämpökuorma vähensi kaukolämmön tarvetta 33,2 MWh, joka on yli puolet AMS2490:n kaukolämpösäästöistä.

Valaistuksen investointikulut ovat merkittävä tekijä valaisintyyppin suosimisen kannalta. AMSL90:n ja AMS2490:n energiankulutuksia ja niiden vaikutusta muihin ostoenergiatarpeisiin tutkittiin, ja tultiin siihen tulokseen, että liikerakennuksen valaistuksessa kannattaa suosia LED-valaistusta. Investointikustannukset AMSL90:lle olivat selkeästi suuremmat kuin AMS2490:n, mutta koska laskemissa ei otettu huomioon valaisimien huollosta syntyviä kuluja, on takaisinmaksu kummankin valaisimen osalta liian suotuisa. Huollon kustannuksista päätettiin luopua, koska huoltosopimukset voivat olla hyvin erilaisia, eikä ole tietoa, vaihdettaisiinko rikkoutuneita loisteputki- tai LED-valaisimia heti rikon syntyessä vai massavaihtoina kun suurempi määrä valaisimista tai valonlähteistä

rikkoutuisi. Kummallekin valaisimelle tehtiin investointi- ja energiakulutuskalkyylit 12,3 vuodelle. Ilman energiahintojen nousun ennakkointia tultiin siihen tulokseen, että AMSL90:n on taloudellisempi valaisinvaihtoehto 14,2 vuoden takaisinmaksuajalla. Vaikka AMS2490:n valaistuksen lämpökuorman hyöty oli 2819 € per vuosi, jäi valaisimen takaisinmaksuajaksi yli 25 vuotta. Loisteputkivalaistukselle esitettiin myös takaisinmaksuaika, koska valaistuksen lämpökuorman hyödynnettävä osuus on otettu huomioon. AMSL90:stä suosimalla säästyivät vuosittain AMS2490:een verrattuna 7801 € enemmän sähkö- ja energiakustannuksissa. 12,3 vuoden aikana kului AMSL90:llä varustetulla liikerakennuksella n. 5,1 GWh, jolloin energiakustannuksia syntyi 409710 €. AMS2490:n vastaavat luvut 12,3 vuoden aikana olivat n. 6520,6 GWh ja 466603,5 €.

LÄHTEET

- /1/ Aalto, Mauri & Co. 1977, *Valaistustekniikan käsikirja 1*, Helsinki: Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry. 298 s.
- /2/ Ensto Oy. Perussuureiden yksiköt, 2009. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398103877.html> Viitattu 23.3.2017
- /3/ Ensto Oy. Valon perussuureet, 2009. Saatavissa: http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/etuotanto/0705016/5hZOS6mDZ/Suureet_kaavat.pdf Viitattu 23.3.2017
- /4/ Ensto Oy, valonjako, 2009. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/material/images/vanhaamk/etuotanto/5ipHo6VnV/valonjako.jpg> Viitattu 23.3.2017
- /5/ Ensto Oy, Valo, 2009. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398651726/1228398666895.html> Viitattu 23.3.2017
- /6/ Ensto Oy, Valaistusopas. SFS 12464-1 standardi, 2009. Saatavissa: <https://www.ensto.com/fi/tuki/tyokalut/valaistusopas/sisavalistusstandardi-sfs-en-12464-1-2011/> Viitattu 24.3.2017
- /7/ Ensto Oy, Valaistusvoimakkuus, 2009. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/material/images/vanhaamk/etuotanto/5ipp37nnU/valaistusvoimakkuus.jpg> Viitattu 24.3.2017
- /8/ Ensto Oy, Luminanssi, 2009. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/material/images/vanhaamk/etuotanto/5ipp3BpHY/luminanssi.jpg>
- /9/ Holman J.P. 2010, *Heat Transfer Tenth Edition*, New York: McGraw-Hill 725 s.
- /10/ APTI, Air Pollution Training Institute. 2000. Saatavissa: <https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRFNZPSNnSM5VEyuGtKJo4sPfNO34ixL-pYYtfHSHiGVPBDrzcY6> Viitattu 23.4.2017
- /11/ Aaltomuoto, Perusteet, valo ja värit, 2016 Saatavissa: <https://aaltomuoto.wordpress.com/valo/nayttamovalaisun-perusteet/valo-ja-varit/> Viitattu 23.3.2017
- /12/ Sylvania koulu, E-oppikirjat, Sähkömagneettinen säteily. Saatavissa: <https://peda.net/sastamala/sylvaan-koulu/e-opin-oppikirjat/e9k2/3ssjv/kuvat/luvun-37-ku-vat/sss:file/photo/dbaf1b1dcc0964ff34c5f2878839121709dd9644/sahkomagneettinen-sateily-800.png> Viitattu 15.3.2017
- /13/ Science Vault, nature of reflection, *Heffernan, D., Parker, A., Pinniger, G. & Harding, J. (2002) Physics Contexts 1, Pearson Education, Melbourne* 2010. Saatavissa: <http://sciencevault.net/11hscphys/82worldcommunicates/pics/824%20Specular%20or%20diffuse.png>
- /14/ Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, 2012 Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma Viitattu 23.3.2017

- /15/ Seppänen Olli. 1995, *Rakennusten lämmitys*, Jyväskylä: Suomen LVI-yhdistysten liitto ry. 467 s.
- /16/ Suomen rakentamismääräyskokoelma D5, 2012 Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ohjeet/Rakentamismaarayskok oelma Viitattu 23.3.2017
- /17/ Helen Oy, palvelut, hinnat, 2017. Saatavissa: <https://www.helensahkoverkko.fi/palvelut/hinnastot/> Viitattu 1.4.2017
- /18/ Tilastokeskus, Asumisen energiankulutus, 2016. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/asen/2015/asen_2015_2016-11-18_tau_001_fi.html
- /19/ Equa Oy, 2017. Saatavissa: <http://www.equa.se/fi/ida-ice> Viitattu 22.3.2017
- /20/ Suomen rakentamismääräyskokoelma D3, kesäaikainen huonelämpötilatarkastelu, 2012. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ohjeet/Rakentamismaarayskok oelma Viitattu 23.3.2017
- /21/ Cengel, Yunus. 2002, *Heat Transfer: A Practical Approach, 2nd edition*: McGraw-Hill 896 s.
- /22/ Ledvance Oy, led-perustietoa. 2017. Saatavissa: <https://www.ledvance.fi/tuotteet/tuotetiedot/led-perustiedot/led-perustietoa/index.jsp> Viitattu 14.4.2017
- /23/ Ensto Oy, 2009. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228463997562/1228464018683/1231336191394.html> Viitattu 23.3.2017
- /24/ Lumenstore Oy, monix slim 47 w, 2017. Saatavissa: <http://www.lumenluxstore.fi/Ensto-Monix-Slim-47W-LED-Yleisvalaisin> Viitattu 14.4.2017
- /25/ Taloon.com Oy, lumilux t5, 2017. Saatavissa: <http://www.taloon.com/loisteputki-lumilux-t5-ho-49-w-840-g5-1449-mm-4310lm-4000k/S-4931240/dp?openGroup=267> Viitattu 14.4.2017
- /26/ Sähköpostitiedustelu Helen Oy:n asiakaspalvelun kanssa 22.3.2017.
- /27/ Helen Oy, sähkötuotteet yritykselle, 2017. Saatavissa: <https://www.helen.fi/sahko/yritykset/sahkotuotteet-yritykselle> Viitattu 14.4.2017
- /28/ Helen Oy, energia- ja vesivirtamaksut, 2017. Saatavissa: <https://www.helen.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusedot/lampo-ja-jaahdytys/kotitaloudet/energia--ja-vesivirtamaksut.pdf>
- /29/ Helen Oy, hinnat. 2017. Saatavissa: <https://www.helen.fi/lampo/kodit/hinnat/> Viitattu 14.4.2017
- /30/ Nordpool Oy, historical market data, 2017. Saatavissa: <http://www.nordpoolspot.com/historical-market-data/> Viitattu 20.4.2017

AMSL90 valaisimen tuotekortti




Saves Your Energy

1 / 3

PRODUCT CARD
23.4.2017

AMSL90
Yleisvalaisin

Koodi	AMSL90
GTIN	6410043603320
Sähkönnumero	4360332
Nimi	Yleisvalaisin Ensto AMSL90 IP44 LED 47W/840 AC O
Kuvaus	Kosteaan tilan IP44 muovikupuvalaisin LED- ja TS-valonlähteille. Monix Slim on monikäyttöinen matala valaisinsarja teollisuus-, liike- ja asuintilojen yleisvalaistukseen. Sarja täydentää Monix tuoteperheen käyttöalueet mataliin tiloihin.
Toimittaja	Ensto Lighting Oy ☉ CE



Tekniset tiedot

Mitat

Paino:	2.3 kg
Pituus:	898 mm
Leveys:	140 mm
Korkeus:	57 mm

Lämpötilat

Käyttölämpötila:	-20 ... 30 °C
-------------------------	---------------

Sähköiset arvot

Jännite:	230 V
-----------------	-------

Mekaaninen

Iskunkesto:	Ei testattu
--------------------	-------------

Luokitukset

Kotelointiluokka:	IP44
Teho:	47 W
Suojausluokka:	I
ETIM-luokka:	EC002892

Valaisinkohtaiset tiedot

Ensto
06100 Espoo

Ensto Miettisen katu 2

email: ensto@ensto.com
phone: 0204 76 21

www.ensto.com

Tekninen valaistustieto

Ohjattavuus:	-
Lampun kanta:	LED-mod
Valonlähteiden lkm ja teho:	1x47
Valonlähde (ILCOS):	DS
Valonlähde:	LED
Runkorakenne / muut tekniset tiedot:	Runko valkoiseksi pulverimaalattua, sinkittyä teräslevyä. Päädyt iskun-, lämmön- ja UV-säteilyn kestävää ABS-muovia. Kupu ulkopuolelta sileää, sisäpuolelta uritettua kirkasta (K) akryylimuovia tai opaalialakryylimuovia (O). Valkoinen heijastin.
Häikäisy suoja/ optiikka/kupu:	Akryylikupu
Asennustapa:	Pinta
Ketjutettavuus:	läpimenevä
Sähkölinen liitäntä: napaluku x johtimen poikkipinta:	5x2,5
Sähkölinen liitäntä: liitintyyppi:	Jousiliitin
Valon väriämpötila:	4000 K
Ra-indeksi:	Ra>80
LED-moduulin valovirta:	6600 lm
LED-valaisimen valovirta:	4663 lm
LED-moduulin valovirran pysyvyys L70:	50000 h
Valaisimen ottoteho (W):	47 W
LED-moduulin vaihdettavuus:	ei
LED-valaisimen kokonais-valotehokkuus:	99 lm/W
C16- johdonsuojalle sallittu määrä valaisimia:	28
McAdam arvo, SDCM:	3

ETIM tiedot**ETIM**

Width:	140 mm
Length:	898 mm
Type of surface:	Matt
Degree of protection (IP):	IP44
Suitable for ceiling mounting:	true
Suitable for surface mounting:	true
Lamp type:	LED not exchangeable
With lamp:	true
Lamp holder:	None
Suitable for number of lamps:	1
Lamp power:	47 W
Lamp power at multiwatt:	Other
Type of control gear:	LED operating device current-controlled
Control gear included:	true
Type of dimming:	Not dimmable
Circuit:	Parallel-compensated

Nominal voltage:	230 V
Colour temperature:	4000 K
Material housing:	Steel
Colour housing:	White
Material cover:	Plastic, structured
Type of grid:	None
Reflector:	None
Light sharing:	Symmetric
Radiation angle:	Open beam
Light outlet:	Direct
Height/depth:	57 mm
Protection class:	I
Ambient temperature:	-20 ... 30 °C
Filament test according to IEC 60695-2-10:	None
Voltage type:	AC
Colour of light:	White
Colour rendering index CRI:	80-89
Suitable for wall mounting:	true
System power:	47 W
Effective luminous flux:	4663 lm

AMS2490 valaisimen tuotekortti

1 / 4



Saves Your Energy

PRODUCT CARD
23.4.2017

AMS2490-N
Pinta-asennusvalaisin

Koodi	AMS2490-N
GTIN	6410042653227
Sähkönumero	4265322
Nimi	Pinta-asennusvalaisin Ensto AMS2490-N T5 2X49W O
Kuvaus	Kosteaan tilan IP44 muovikupuvalaisin LED- ja T5-valonlähteille. Monix Slim on monikäyttöinen matala valaisinsarja teollisuus-, liike- ja asuintilojen yleisvalaistukseen. Sarja täydentää Monix tuoteperheen käyttöalueet mataliin tiloihin.
Toimittaja	Ensto Lighting Oy ☉CE



Tekniset tiedot

Mitat

Paino:	3.5 kg
Pituus:	1498 mm
Leveys:	140 mm
Korkeus:	57 mm

Lämpötilat

Käyttölämpötila:	-20 ... 30 °C
-------------------------	---------------

Sähköiset arvot

Jännite:	230 V
-----------------	-------

Mekaaninen

Iskunkesto:	-
--------------------	---

Luokitukset

Kotelointiluokka:	IP44
Teho:	105 W
Suojausluokka:	I
ETIM-luokka:	EC002892

Valaisinkohtaiset tiedot

Ensto

Ensto Miettisen katu 2
06100 Porvoo

email: ensto@ensto.com
phone: 0204 76 21

www.ensto.com

Tekninen valaistustieto

Ohjattavuus:	-
Lampun kanta:	G5
Valonlähteiden lkm ja teho:	2x49
Valonlähde (ILCOS):	FDH
Valonlähde:	T5
Liitäntälaitteen energiatehokkuusluokka:	A2
Runkorakenne / muut tekniset tiedot:	Runko valkoiseksi pulverimaalattua, sinkittyä teräsläpää. Päädyt iskun-, lämmön- ja UV-säteilykestävää ABS-muovia. Kupu ulkopuolelta sileää, sisäpuolelta uritettua kirkasta (K) akryyliä
Häikäisysoja/ optikka/kupu:	Akryylikupu
Asennustapa:	Pinta
Ketjutettavuus:	läpimenevä
Sähköinen liitäntä: napaluku x johtimen poikkipinta:	5x2,5
Sähköinen liitäntä: liitintyyppi:	jousiliitin
C16- johdonsuojalle sallittu määrä valaisimia:	25

ETIM tiedot**ETIM**

Width:	140 mm
Length:	1498 mm
Type of surface:	Matt
Degree of protection (IP):	IP44
Suitable for ceiling mounting:	true
Suitable for surface mounting:	true
Lamp type:	Fluorescent lamp D=16 mm
Lamp holder:	G5
Suitable for number of lamps:	2
Lamp power:	49 W
Lamp power at multiwatt:	Not applicable
Type of control gear:	Electronic ballast standard
Control gear included:	true
Type of dimming:	Not dimmable
Circuit:	Parallel-compensated
Nominal voltage:	230 V
Material housing:	Steel
Colour housing:	White
Material cover:	Plastic, structured
Type of grid:	None
Reflector:	None
Light sharing:	Symmetric
Radiation angle:	Open beam
Light outlet:	Direct
Height/depth:	57 mm

Protection class:	I
Build in insulated ceiling, fire-resistance *F with roof*:	true
Ambient temperature:	-20 ... 30 °C
Filament test according to IEC 60695-2-10:	None
Voltage type:	AC
Suitable for wall mounting:	true

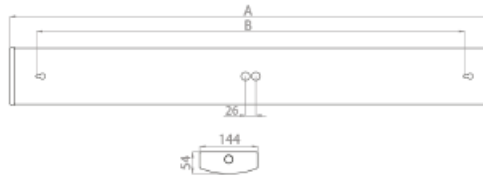
Pakkaustiedot

Oletuspakkaus

Koko:	1
Pituus:	1510 mm
Leveys:	160 mm
Korkeus:	60 mm
Paino (brt):	3.9 kg
Tilavuus:	14.496

Lavapakkaus

Koko:	60
--------------	----



Tyyppi	Tuotenimi	A	B
Opaalikupu - 1-putkiset			
AMS128O-N	AMS128O-N TS 1X28W O	1198	1065
AMS135O-N	AMS135O-N TS 1X35W O	1498	1365
AMS149O-N	AMS149O-N TS 1X49W O	1498	1365
Opaalikupu - 2-putkiset			
AMS214O-N	AMS214O-N TS 2X14W O	598	520
AMS228O-N	AMS228O-N TS 2X28W O	1198	1065
AMS235O-N	AMS235O-N TS 2X35W O	1498	1365
AMS249O-N	AMS249O-N TS 2X49W O	1498	1365
Kirkas kupu - 1-putkiset			
AMS128K-N	AMS128K-N TS 1X28W C	1198	1065
AMS135K-N	AMS135K-N TS 1X35W C	1498	1365
AMS149K-N	AMS149K-N TS 1X49W C	1498	1365
Kirkas kupu - 2-putkiset			
AMS214K-N	AMS214K-N TS 2X14W C	598	520
AMS228K-N	AMS228K-N TS 2X28W C	1198	1065
AMS235K-N	AMS235K-N TS 2X35W C	1498	1365
AMS249K-N	AMS249K-N TS 2X49W C	1498	1365

DiaLUX laskenta AMSL90 valaisimelle

Projekti 1

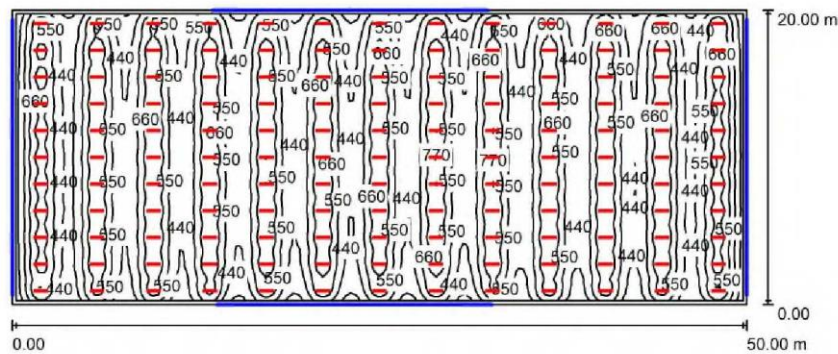


DIALux

23.03.2017

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Tila 1 LED, ikkunoilla / Yksisivuinen tulos



Tilan korkeus: 3.000 m, Asennuskorkeus: 2.500 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:358

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	557	274	787	0.493
Lattia	20	525	262	633	0.498
Katto	70	127	84	243	0.664
Seinät (4)	57	272	108	600	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 128 x 128 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	143	Alppilux Oy AMSL90 Monix Slim LED AMSL90 (1.000)	4660	4663	47.1
			Yhteensä: 666341	Yhteensä: 666809	6735.3

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $6.74 \text{ W/m}^2 = 1.21 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1000.00 m^2)

DiaLUX laskenta AMS2490 valaisimelle.

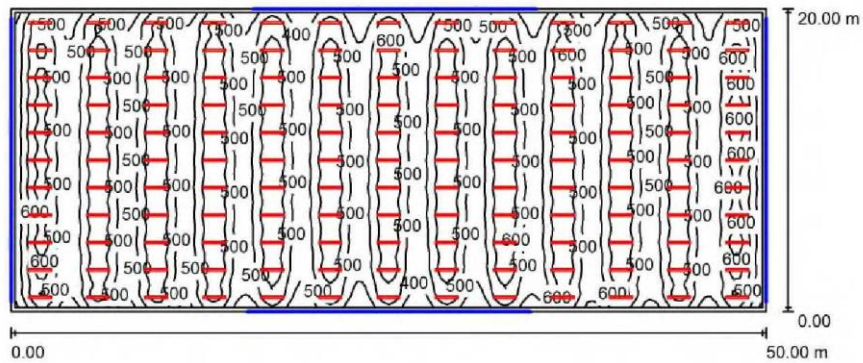
Projekti 1



23.03.2017

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Tila 1 loisteputki, ikkunoilla / Yksisivuinen tulos



Tilan korkeus: 3.000 m, Asennuskorkeus: 2.500 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:358

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	532	264	719	0.497
Lattia	20	503	258	600	0.513
Katto	70	133	85	217	0.638
Seinät (4)	57	273	118	548	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 128 x 128 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ (Valaisin) [lm]	Φ (Lamput) [lm]	P [W]
1	143	Alpilux Oy AMS2490 Monix Slim (1.000)	4528	8600	105.0
Yhteensä:			647457	Yhteensä: 1229800	15015.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $15.02 \text{ W/m}^2 = 2.82 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1000.00 m^2)

Simulaation 1 IDA ICE ostoenergiaraportti.

	Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
LVI sähkö	55728	3.1	12.35	94738	5.3
Kerros 1 tilan valaistus	0	0.0	0.0	0	0.0
Kerros 2 tilan valaistus	0	0.0	0.0	0	0.0
Kerros 3 tilan valaistus	0	0.0	0.0	0	0.0
Kerros 1 tilan kuluttajalaitteet	4047	0.2	1.0	6880	0.4
Kerros 2 tilan kuluttajalaitteet	4047	0.2	1.0	6880	0.4
Kerros 3 tilan kuluttajalaitteet	4047	0.2	1.0	6880	0.4
Yhteensä, Kiinteistösähkö	67869	3.8		115378	6.4
Kerros 1 tilan lämmitysenergia	9658	0.5	11.31	6761	0.4
Kerros 2 tilan lämmitysenergia	4896	0.3	8.78	3427	0.2
Kerros 3 tilan lämmitysenergia	11763	0.7	13.87	8234	0.5
Kerros 1 tilan jäähdytysenergia	822	0.0	14.67	329	0.0
Kerros 2 tilan jäähdytysenergia	3448	0.2	19.04	1379	0.1
Kerros 3 tilan jäähdytysenergia	3391	0.2	17.07	1356	0.1
Kerros 1 tilan henkilökuorma	8095	0.4	2.0		
Kerros 2 tilan henkilökuorma	8095	0.4	2.0		
Kerros 3 tilan henkilökuorma	8095	0.4	2.0		
Yhteensä, Kiinteistö polttoaine*	58263	3.2		21486	1.2
Lämmitys, kaukolämpö	213298	11.9	153.0	149309	8.3
LKV, kaukolämpö	16706	0.9	1.91	11694	0.6
Kaukojäähdytys	14398	0.8	128.1	5759	0.3
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	244402	13.6		166762	9.3
Yhteensä	370534	20.6		303626	16.9

Simulaation 1 kerroskohtainen ilmanvaihdon lämmöntalteenotto

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	12201.0	0.0	9947.0	0.0	0.0	1535.0
2	11442.0	0.0	9502.0	0.0	0.0	1416.0
3	10951.0	0.0	9735.0	0.0	0.0	1595.0
4	5358.0	1.8	6504.0	0.0	0.0	1482.0
5	1506.0	208.3	4716.0	0.0	0.0	1606.0
6	427.6	588.9	2635.0	0.0	0.0	1550.0
7	27.5	1973.0	973.5	9.6	0.0	1554.0
8	345.6	1993.0	1880.0	39.6	0.0	1612.0
9	2074.0	33.3	4397.0	0.0	0.0	1546.0
10	5678.0	0.0	5818.0	0.0	0.0	1543.0
11	9874.0	0.0	8160.0	0.0	0.0	1538.0
12	11349.0	0.0	9264.0	0.0	0.0	1536.0
Yhteensä	71233.7	4798.4	73531.5	49.3	0.0	18513.0

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	12178.0	0.0	9970.0	0.0	0.0	1534.0
2	11417.0	0.0	9527.0	0.0	0.0	1416.0
3	10892.0	0.0	9794.0	0.0	0.0	1595.0
4	5213.0	1.8	6649.0	0.0	0.0	1482.0
5	1366.0	208.3	4856.0	0.0	0.0	1605.0
6	362.5	588.9	2701.0	0.0	0.0	1550.0
7	21.9	1974.0	979.1	8.0	0.0	1554.0
8	304.1	1993.0	1922.0	39.6	0.0	1611.0
9	1952.0	33.3	4520.0	0.0	0.0	1546.0
10	5604.0	0.0	5892.0	0.0	0.0	1543.0
11	9854.0	0.0	8180.0	0.0	0.0	1538.0
12	11327.0	0.0	9285.0	0.0	0.0	1536.0
Yhteensä	70491.5	4799.4	74275.1	47.7	0.0	18510.0

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	12328.0	0.0	9820.0	0.0	0.0	1535.0
2	11580.0	0.0	9364.0	0.0	0.0	1416.0
3	11082.0	0.0	9604.0	0.0	0.0	1595.0
4	5314.0	1.8	6548.0	0.0	0.0	1482.0
5	1387.0	208.3	4835.0	0.0	0.0	1605.0
6	362.1	588.9	2701.0	0.0	0.0	1550.0
7	22.7	1974.0	978.4	8.0	0.0	1554.0
8	301.5	1993.0	1924.0	39.6	0.0	1611.0
9	1999.0	33.3	4473.0	0.0	0.0	1546.0
10	5726.0	0.0	5770.0	0.0	0.0	1543.0
11	9998.0	0.0	8036.0	0.0	0.0	1538.0
12	11473.0	0.0	9140.0	0.0	0.0	1536.0
Yhteensä	71573.3	4799.4	73193.4	47.7	0.0	18511.0

Simulaation 2 IDA ICE ostoenergiaraportti.

	Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
LVI sähkö	55689	3.1	12.35	94670	5.3
Kerros 1 tilan valaistus	27026	1.5	6.69	45943	2.6
Kerros 2 tilan valaistus	27026	1.5	6.69	45943	2.6
Kerros 3 tilan valaistus	27026	1.5	6.69	45943	2.6
Kerros 1 tilan kuluttajalaitteet	4041	0.2	1.0	6870	0.4
Kerros 2 tilan kuluttajalaitteet	4041	0.2	1.0	6870	0.4
Kerros 3 tilan kuluttajalaitteet	4041	0.2	1.0	6870	0.4
Yhteensä, Kiinteistösähkö	148890	8.3		253109	14.1
Kerros 1 tilan lämmitysenergia	4378	0.2	9.6	3065	0.2
Kerros 2 tilan lämmitysenergia	735	0.0	6.05	514	0.0
Kerros 3 tilan lämmitysenergia	2313	0.1	11.5	1619	0.1
Kerros 1 tilan jäähdytysenergia	5849	0.3	16.39	2340	0.1
Kerros 2 tilan jäähdytysenergia	11911	0.7	19.06	4764	0.3
Kerros 3 tilan jäähdytysenergia	11514	0.6	18.83	4606	0.3
Kerros 1 tilan henkilökuorma	8082	0.4	2.0		
Kerros 2 tilan henkilökuorma	8082	0.4	2.0		
Kerros 3 tilan henkilökuorma	8082	0.4	2.0		
Yhteensä, Kiinteistö polttoaine*	60946	3.4		16908	0.9
Lämmitys, kaukolämpö	198997	11.1	151.1	139298	7.7
LKV, kaukolämpö	16705	0.9	1.91	11693	0.6
Kaukojäähdytys	14408	0.8	127.4	5763	0.3
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	230110	12.8		156754	8.7
Yhteensä	439946	24.4		426771	23.7

Simulaation 2 kerroskohtainen ilmanvaihdon lämmön talteenotto.

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	11873.0	0.0	10271.0	0.0	0.0	1534.0
2	11048.0	0.0	9894.0	0.0	0.0	1414.9
3	10351.0	0.0	10330.0	0.0	0.0	1593.0
4	4763.8	1.8	7099.7	0.0	0.0	1481.1
5	1255.6	208.2	4965.0	0.0	0.0	1605.1
6	312.3	589.2	2751.0	0.0	0.0	1550.0
7	23.2	1973.0	978.0	8.0	0.0	1553.8
8	244.1	1996.6	1981.5	39.3	0.0	1611.4
9	1619.0	33.5	4855.0	0.0	0.0	1545.0
10	4995.4	0.0	6500.3	0.0	0.0	1542.0
11	9369.0	0.0	8663.0	0.0	0.0	1537.0
12	10994.0	0.0	9616.0	0.0	0.0	1535.0
Yhteensä	66848.5	4802.3	77904.4	47.3	0.0	18502.3

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	11830.0	0.0	10314.0	0.0	0.0	1534.0
2	10973.0	0.0	9970.0	0.0	0.0	1414.6
3	10158.0	0.0	10522.0	0.0	0.0	1593.0
4	4546.3	1.8	7317.2	0.0	0.0	1480.1
5	1161.2	208.2	5059.0	0.0	0.0	1604.9
6	269.0	589.2	2795.0	0.0	0.0	1550.0
7	20.9	1973.0	980.3	8.0	0.0	1553.8
8	197.1	1996.6	2028.9	39.3	0.0	1611.3
9	1448.0	33.5	5026.0	0.0	0.0	1545.0
10	4788.6	0.0	6708.1	0.0	0.0	1541.0
11	9252.0	0.0	8779.0	0.0	0.0	1536.7
12	10950.0	0.0	9659.0	0.0	0.0	1535.0
Yhteensä	65594.0	4802.3	79158.5	47.3	0.0	18499.4

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	12041.0	0.0	10103.0	0.0	0.0	1534.0
2	11165.0	0.0	9778.0	0.0	0.0	1415.1
3	10312.0	0.0	10368.0	0.0	0.0	1593.0
4	4593.1	1.8	7270.4	0.0	0.0	1480.1
5	1156.5	208.2	5064.0	0.0	0.0	1604.8
6	267.9	589.2	2796.0	0.0	0.0	1550.0
7	21.7	1973.0	979.6	8.0	0.0	1553.8
8	183.1	1996.6	2042.6	39.3	0.0	1611.2
9	1428.0	33.5	5046.0	0.0	0.0	1545.0
10	4832.5	0.0	6663.1	0.0	0.0	1541.0
11	9398.0	0.0	8634.0	0.0	0.0	1537.0
12	11156.0	0.0	9454.0	0.0	0.0	1535.0
Yhteensä	66554.8	4802.3	78198.7	47.3	0.0	18500.0

Simulaation 3 IDA ICE ostoenergiaraportti.

	Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
LVI sähkö	55643	3.1	12.35	94593	5.3
Kerros 1 tilan valaistus	59356	3.3	14.67	100905	5.6
Kerros 2 tilan valaistus	59356	3.3	14.67	100905	5.6
Kerros 3 tilan valaistus	59356	3.3	14.67	100905	5.6
Kerros 1 tilan kuluttajalاکteet	4047	0.2	1.0	6879	0.4
Kerros 2 tilan kuluttajalاکteet	4047	0.2	1.0	6879	0.4
Kerros 3 tilan kuluttajalاکteet	4047	0.2	1.0	6879	0.4
Yhteensä, Kiinteistösähkö	245852	13.7		417945	23.2
Kerros 1 tilan lämmitysenergia	589	0.0	7.75	413	0.0
Kerros 2 tilan lämmitysenergia	157	0.0	5.88	110	0.0
Kerros 3 tilan lämmitysenergia	294	0.0	9.94	206	0.0
Kerros 1 tilan jäähdytysenergia	18527	1.0	25.46	7411	0.4
Kerros 2 tilan jäähdytysenergia	27257	1.5	26.76	10903	0.6
Kerros 3 tilan jäähdytysenergia	24196	1.3	26.08	9679	0.5
Kerros 1 tilan henkilökuorma	8093	0.4	2.0		
Kerros 2 tilan henkilökuorma	8093	0.4	2.0		
Kerros 3 tilan henkilökuorma	8093	0.4	2.0		
Yhteensä, Kiinteistö polttoaine*	95299	5.3		28722	1.6
Lämmitys, kaukolämpö	182164	10.1	146.3	127515	7.1
LKV, kaukolämpö	16706	0.9	1.91	11694	0.6
Kaukojäähdytys	14388	0.8	128.2	5755	0.3
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	213258	11.9		144964	8.1
Yhteensä	554409	30.8		591631	32.9

Simulaation 3 kerroskohtainen ilmanvaihdon lämmön talteenotto.

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	11360.0	0.0	10783.0	0.0	0.0	1533.0
2	10437.0	0.0	10504.0	0.0	0.0	1414.0
3	9526.0	0.0	11157.0	0.0	0.0	1592.0
4	4221.0	1.8	7643.0	0.0	0.0	1480.0
5	1125.0	207.5	5095.0	0.0	0.0	1605.0
6	262.6	588.2	2800.0	0.0	0.0	1550.0
7	21.4	1972.0	980.0	8.0	0.0	1554.0
8	167.2	1993.0	2058.0	39.7	0.0	1611.0
9	1279.0	33.5	5194.0	0.0	0.0	1545.0
10	4230.0	0.0	7269.0	0.0	0.0	1540.0
11	8583.0	0.0	9448.0	0.0	0.0	1535.0
12	10333.0	0.0	10278.0	0.0	0.0	1534.0
Yhteensä	61545.2	4796.0	83209.0	47.7	0.0	18493.0

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	11225.0	0.0	10919.0	0.0	0.0	1532.0
2	10241.0	0.0	10700.0	0.0	0.0	1413.0
3	9225.0	0.0	11458.0	0.0	0.0	1591.0
4	4032.0	1.8	7832.0	0.0	0.0	1479.0
5	1100.0	207.5	5121.0	0.0	0.0	1605.0
6	251.0	588.2	2812.0	0.0	0.0	1550.0
7	20.3	1972.0	981.2	8.0	0.0	1554.0
8	153.6	1993.0	2072.0	39.7	0.0	1611.0
9	1214.0	33.5	5259.0	0.0	0.0	1545.0
10	3985.0	0.0	7515.0	0.0	0.0	1540.0
11	8353.0	0.0	9678.0	0.0	0.0	1535.0
12	10147.0	0.0	10464.0	0.0	0.0	1533.0
Yhteensä	59946.9	4796.0	84811.2	47.7	0.0	18488.0

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	11410.0	0.0	10733.0	0.0	0.0	1533.0
2	10388.0	0.0	10552.0	0.0	0.0	1413.0
3	9328.0	0.0	11355.0	0.0	0.0	1591.0
4	4039.0	1.8	7824.0	0.0	0.0	1479.0
5	1107.0	207.5	5113.0	0.0	0.0	1605.0
6	254.7	588.2	2808.0	0.0	0.0	1550.0
7	21.3	1972.0	980.2	8.0	0.0	1554.0
8	155.0	1993.0	2071.0	39.7	0.0	1611.0
9	1224.0	33.5	5249.0	0.0	0.0	1545.0
10	3995.0	0.0	7505.0	0.0	0.0	1540.0
11	8443.0	0.0	9588.0	0.0	0.0	1535.0
12	10306.0	0.0	10305.0	0.0	0.0	1534.0
Yhteensä	60671.0	4796.0	84083.2	47.7	0.0	18490.0