

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta
Valaistusyksikkö

Tom Schneider

Aurinkosähköjärjestelmien tuottaman tasavirran käyttö toimistorakennusten LED-
valaistusjärjestelmissä

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 24.11.2009

Työn valvoja Professori Liisa Halonen

Työn ohjaaja Marjukka Puolakka

TEKNILLINEN KORKEAKOULU Diplomityön tiivistelmä

Tekijä: Tom Schneider	
Työn nimi: Aurinkosähköjärjestelmien tuottaman tasavirran käyttö toimistorakennusten LED-valaistusjärjestelmissä	Sivumäärä: 71
Päivämäärä: 24.11.2009	
Tiedekunta: Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta	
Professori: S-118 Valaistustekniikka	
Työn valvoja: Professori Liisa Halonen	
Työn ohjaaja: TkT Marjukka Puolakka	
Tiivistelmäteksti: <p>Toimistorakennuksiin integroidut aurinkosähköjärjestelmät tulevat lisääntymään tulevaisuudessa. Ne vähentävät rakennuksien tarvitsemää verkkosähköä, parantavat yritysten imagoa ja niillä voidaan korvata muita rakennusmateriaaleja. Myös Suomessa pystytään tuottamaan aurinkosähköä. Järjestelmän tuottama tasasähkö muutetaan yleensä vaihtosuuntaajissa yleiseen verkkoon soveltuvaksi vaihtosähköksi. Tämä aiheuttaa tehohäviöitä tuotetulle aurinkosähkölle ja lisäksi aurinkosähkölle suunnitellut vaihtosuuntaajat kasvattavat entisestään järjestelmän investointikustannuksia.</p> <p>Tässä työssä selvitettiin mahdollisuutta käyttää tuotettua tasasähköä LED-valaistusjärjestelmissä ja siitä koituvia hyötyjä. LEDit käyttävät tasasähköä ja vaihtosähköverkkoon kytkettäessä ne tarvitsevat liitäntälaitteen, joka muuttaa vaihtosähkön tasasähköksi. Tasasähkön käyttäminen toimistorakennuksessa vaatisi erillisen tasasähköverkon toteuttamisen vaihtosähköverkon rinnalle. Työssä tehtiin suunnitelmat tasasähköverkkoon kytketystä aurinkosähköjärjestelmästä, tasasähköverkosta ja LED-valaistuksesta Vantaalle suunnitteilla olevaan toimistorakennukseen Avia Toweriin. Suunnitelmien avulla tehtiin elinkaarikustannuslaskelmat järjestelmän eri osille.</p> <p>Avia Toweriin tullaan todennäköisesti integroimaan aurinkosähköjärjestelmä. Tasasähköverkon ja LED-valaistusjärjestelmän suunnitelmat eivät tule toteutumaan, vaan ne tehtiin varta vasten tätä diplomityötä varten.</p>	
Avainsanat: Aurinkokenno, aurinkopaneeli, aurinkosähkö, BIPV, DC, tasavirta, tasajännite, tasasähkö, LED, valaistus, sähkösuunnittelu.	

Author: Tom Schneider	
Name of the thesis: The use of direct current produced by photovoltaic systems in LED lighting systems of office buildings	Number of pages: 71
Date: 24.11.2009	
Faculty: Faculty of Electronics, telecommunications and automation	
Professorship: S-118 Lighting technology	
Supervisor: Professor Liisa Halonen, D.Sc. (Tech.)	
Instructor: Marjukka Puolakka, D.Sc. (Tech.)	
Abstract text:	
<p>The amount of building integrated photovoltaic systems in office buildings will increase in the future. They reduce the need of electricity from the network, they improve the image of the corporate and they can replace other building materials. Even in Finland it is possible to produce solar electricity. The direct current produced by PV systems is usually inverted to alternate current compatible to the electricity network. This process causes power losses and the power inverters increase the investment costs of the system.</p> <p>In this work the possibility to use the produced DC in office LED lighting systems is examined. LEDs use direct current and to connect LED luminaire to the public network a ballast is needed to convert the alternate current to direct current. The use of direct current in the office buildings would require a separate DC-network in addition to the AC-network. In this work plans were made to the DC-network-connected PV-system, to the DC-network and to the LED lighting system. The plans were applied to Avia Tower office building, which is planned to be built in Vantaa. With the plans the life cycle cost calculations were made for all the different parts of the system.</p> <p>A photovoltaic system will be probably integrated to the office building Avia Tower. The DC-network and the LED lighting system will be not realized in the building. The plans were made specifically for the purpose of this thesis.</p>	
Keywords: PV, photovoltaic, solar cell, solar panel, solar electricity, BIPV, DC, direct current, LED, lighting, electrical design.	

Alkulause

Tämä työ on tehty insinööritoimistossa Yhtyneet Insinöörit Oy Vantaalle tulevan toimistorakennuksen Avia Towerin sähkösuunnittelun yhteydessä. Haluan kiittää Yhtyneet Insinöörit Oy:n toimitusjohtajaa Keijo Mäkistä diplomityön aiheen ehdottamisesta, kannustuksesta ja työn ohjaamisesta tarkoituksenmukaiseen suuntaan. Kiitos kuuluu myös työkavereille, jotka olivat aina valmiina auttamaan.

Työn valvojalle Liisa Haloselle ja työn viralliselle ohjaajalle Marjukka Puolakalle haluan esittää kiitoksen ohjauksesta ja neuvoista.

Vaimoani Lauraa haluan lämpimästi kiittää antamasta tuesta. Meidän yhteistä poikaamme Francista haluan kiittää ilon tuomisesta työntäyteisiin päiviin.

Espoossa marraskuun 24. päivänä 2009

Tom Schneider

Sisällysluettelo

Alkulause.....	4
Sisällysluettelo.....	5
Käsitteet, määritelmät ja lyhenteet	7
1 Johdanto.....	9
2 Aurinkosähköjärjestelmät.....	11
2.1 Aurinkosäteily	11
2.1.1 Sijainnin ja vuodenajan vaikutus	12
2.1.2 Paneelin suuntauksen vaikutus	13
2.2 Aurinkokennot.....	15
2.2.1 Aurinkokennon toiminta	16
2.2.2 IV-käyrä	17
2.2.3 Lämpötilariippuvuus	18
2.2.4 Kennotyypit	18
2.3 Aurinkosähköpaneelit ja -paneelistot	20
2.4 MPPT – Maximum Power Point Tracker.....	20
2.5 Vaihtosuuntaaja	21
2.6 Mittaus.....	22
2.7 Standardit ja suunnittelun apuvälineet	22
2.7.1 Suojausmenetelmät	22
2.7.2 Erotuslaitteet	23
2.7.3 Maadoitus.....	23
2.7.4 Kaapelit ja muut laitteet.....	23
2.8 Yhteenveto	25
3 Toimistorakennuksiin integroidut järjestelmät.....	26
3.1 Johdanto	26
3.2 Toteutettuja aurinkosähköjärjestelmiä	27
3.3 Aurinkosähköjärjestelmät tasasähkölähteinä	30
3.3.1 Tasasähkön tuottaminen vaihtosuuntauksen kautta	30
3.3.2 Aurinkosähköjärjestelmien tuottaman tasavirran suora käyttö.....	32
3.4 Toimistovalaisituksen sähkökuorma ja sen soveltuvuus aurinkosähkön kuormaksi	35
3.5 Yhteenveto	35
4 LED-valaistus	37
4.1 LED valonlähteenä.....	37
4.1.1 LEDin toimintaperiaate ja käyttö aurinkosähköjärjestelmissä	37
4.1.2 LEDin valo- ja sähkötekniset ominaisuudet	37
4.1.3 Valkoinen LED	38
4.1.4 LED-lamppu	39
4.1.5 Huomioon otettavaa LEDeistä.....	39
4.2 LED-valaisimet toimistoon	40
4.2.1 Markkinat.....	40
4.3 Yhteenveto	45
5 Toimiston valaistus.....	46
5.1 Valaistussuunnittelu	46
5.1.1 Valaistusvoimakkuus	46
5.1.2 Rakennuksen valaistuksen energiatehokkuus	48
5.2 Valonsäätö ja valaistuksen ohjaus.....	48
6 Mallitoimisto: Avia Tower	49
6.1 Johdanto	49
6.2 Aurinkosähköjärjestelmä.....	49

6.2.1	Suunnitelma	49
6.2.2	Energiantuotto-arvio	49
6.2.3	Aurinkosähköjärjestelmän kustannusarvio	51
6.2.4	Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskelma	52
6.2.5	Seuranta	54
6.3	LED-tasasähköjärjestelmä.....	54
6.3.1	Tasasähkönjakelu ja sen kustannukset.....	54
6.3.2	LED-valaistussuunnitelma.....	57
6.3.3	LED-valaistusjärjestelmän energiatehokkuus.....	59
6.3.4	LED-valaistusjärjestelmän elinkaarikustannukset	60
6.4	Yhteenveto	61
7	Johtopäätökset	63
8	Lähteet	64
9	Liitteet.....	66

Käsitteet, määritelmät ja lyhenteet

AC = Alternate Current (en.)

Vaihtovirta

aurinkokenno

Aurinkosähköinen perusyksikkö, joka voi tuottaa sähköä, kun se on alttiina valolle kuten auringon säteilylle.

(aurinkosähkö)paneeli

Pienin ympäristöltä suojattu yhteenkytkettyjä aurinkokennoja sisältävä kokonaisuus

(aurinkosähkö)paneeliketju

Piiri, jossa aurinkosähköpaneelit kytketään sarjaan, jotta paneelistossa voidaan tuottaa tarvittava ulosmenojännite

(aurinkosähkö)paneelisto

Mekaanisesti ja sähköisesti yhdistetyt aurinkosähköpaneelit ja muut tarvittavat komponentit, jotka muodostavat tasasähköteholähteen

aurinkosähkögeneraattori

Aurinkosähköpaneelitojen järjestelmä

DC = Direct Current (en.)

Tasavirta

huipputeho, P_p

Aurinkosähköpaneelin tai aurinkosähköpaneeliston tuottama teho standardoiduissa olosuhteissa. Yksikkönä käytetään W_p .

IV-käyrä

Aurinkokennolle ja -paneelille ominainen virta-jännitekäyrä, jota tutkimalla saadaan selville kennojen ja paneelien tärkeämmät ominaisuudet.

LED = Light Emitting Diode

Loistediodi

oikosulkuvirta $I_{SC\ STC}$

Aurinkokennon, -paneelin, -paneeliketjun, -paneeliston, aurinkosähkögeneraattorin tai vaihtosuuntaajan oikosulkuvirta standardoiduissa olosuhteissa

paneeliketjukaapeli

Kaapeli, jolla aurinkosähköpaneelit liitetään yhteen muodostamaan paneeliketju.

paneelistokaapeli

Paneeliston ulostulokaapeli.

standardoidut testausolosuhteet (STC)

Standardissa EN 60904-3 määritellyt testausolosuhteet aurinkopaneeleille ja aurinkokennoille. Määritellyt olosuhteet ovat lämpötila $t = 25\text{ °C}$, auringonsäteily $G = 1000\text{ W/m}^2$ ja ilmassa AM1,5. Näistä testausolosuhteista käytetään myös lyhennettä STC (Standard Test Condition).

syöttötariffi

Vakiokorvaus energiayhtiöltä sähköntuottajalle sähkön syöttämisestä verkkoon. Käytetään valtion ohjauskeinona tukemaan tiettyjä energialähteitä. Syöttötariffi on sähkön markkinahintaa korkeampi. Ei ole vielä käytössä Suomessa.

(aurinkosähköjärjestelmän) tasajännitepääkaapeli

Kaapeli, joka kytkee aurinkosähkögeneraattorin liitäntärasian aurinkosähköjärjestelmän vaihtosuuntaajaan tai kiinteistön tasasähköverkon pääjohtoon.

tasasähköosa

Aurinkosähköasennuksen osa, jossa on tasasähköä.

tyhjäkäyntijännite $U_{OC\text{ STC}}$

Jännite testaustilanteessa kuormittamattoman aurinkokenno, -paneeli, paneeliketjun, paneeliston, aurinkosähkögeneraattorin tai vaihtosuuntaajan yli standardoiduissa testausolosuhteissa.

(aurinkosähköjärjestelmän) vaihtosuuntaaja

Laitte, joka muuttaa tasasähkön vaihtosähköksi. Laitetta kutsutaan myös invertteriksi.

vaihtosähköosa

Aurinkosähköjärjestelmän osa jossa on vaihtosähköä.

ylivirtasuojaja

Sähköverkon komponentti, jota käytetään sähkölaitteiden ja kaapeleiden suojaukseen vioilta ja ylikuormituksilta.

yksinkertainen erotus

Piirien tai piirin ja maan välinen erotus käyttäen peruseristystä.

1 Johdanto

Ihminen on nykypäivänä riippuvainen sähkön tuotannosta. Sähkönkulutus jatkaa kasvuaan ja sähköntuotantoa joudutaan lisäämään. Tämä ei saisi kuitenkaan lisätä kasvihuonepäästöjä. Aurinkosähköjärjestelmät pystyvät tuottamaan sähköä ilman kasvihuonepäästöjä. Aurinkosähköjärjestelmien määrä on ollut rajussa kasvussa Euroopassa ja muualla maailmassa [1]. Aurinkosähköjärjestelmien korkeat kustannukset ovat pitkään jarruttaneet niiden kaupallista läpimurtoa. Viime vuosien aikana kustannukset ovat kuitenkin laskeneet [1]. Samalla monet yritykset haluavat panostaa uusiutuvaan energiaan ympäristöystävällisen imagon luomiseksi. Tähän tarkoitukseen toimistorakennukseen integroitu aurinkosähköjärjestelmä toimii tehokkaasti.

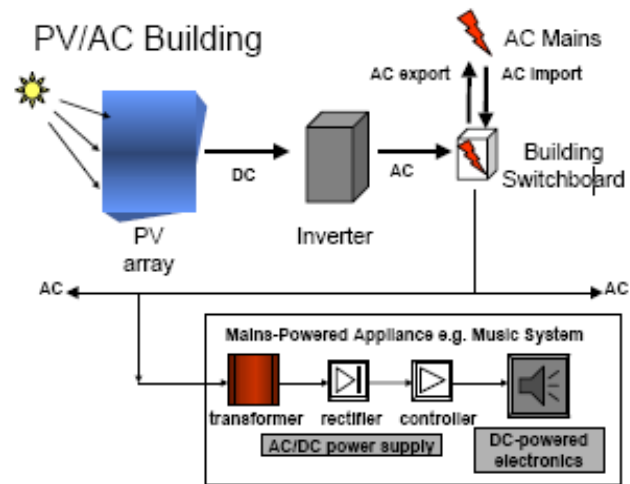
Aurinkosähköjärjestelmät soveltuvat hyvin toimistorakennuksiin integroituina kolmesta syystä

- 1) kohentaa yrityksen ympäristöystävällistä imagoa
- 2) toimistorakennuksen kulutushuippu ajoittuu keskipäivälle, jolloin aurinkosähkön tuotanto on suurimmillaan
- 3) aurinkopaneeleilla voidaan korvata muita kalliita rakennusmateriaaleja, kuten julkisivumateriaalit tai niitä voidaan integroida ikkunalaseihin, jolloin aurinkosähkön investoinnin lisäkustannus ei välttämättä ole merkittävän suuri.

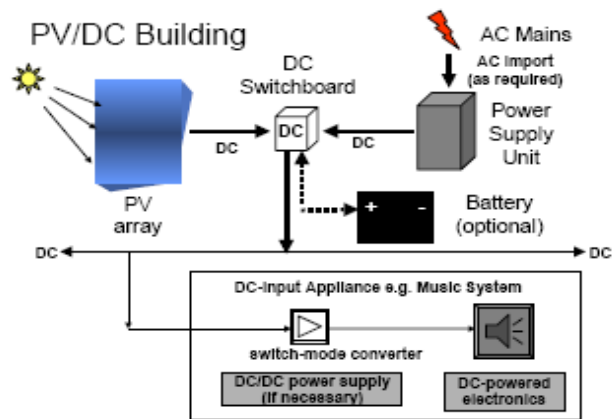
Suomessa tällaisiin hankkeisiin on haettavissa Työ- ja elinkeinoministeriön kautta energiatukea [2], jolla tuetaan uusiutuvan energian investointikustannuksia.

Perinteisissä toimistorakennuksiin integroiduissa aurinkosähköjärjestelmissä tuotettu tasavirta muutetaan vaihtosuuntaajissa yleiseen sähköverkkoon soveltuvaksi vaihtosähköksi. Vaihtosuuntaajat aiheuttavat tehohäviöitä ja muodostavat 30 % koko aurinkosähköjärjestelmän kustannuksista [3]. Niiden käytön välttäminen säästäisi sähköenergiaa ja rahaa. Lisäksi monet toimiston sähkölaitteet toimivat tasavirralla. Kun aurinkopaneelien tasasähkö muunnetaan ensin vaihtosuuntaajassa vaihtosähköksi ja sitten takaisin tasasähköksi, syntyy turhia tehohäviöitä. (ks. Kuva 1). Kuva 2 esittää järjestelmää, jossa aurinkopaneelien tasavirtaa hyödynnetään suoraan. Tällöin vältetään turhilta häviöiltä.

Toimistorakennuksissa valaistukseen kuluu 30-45% koko toimistorakennuksen käyttämästä sähköenergiasta [4]. LEDit toimivat tasavirralla, joten ne soveltuvat tasasähköjärjestelmän kuormaksi. Tässä työssä pyritään selvittämään onko tasasähköverkon käyttö aurinkosähköjärjestelmien ja LED-valaistusjärjestelmän yhteydessä järkevää energiansäästön ja kustannusten kannalta. Työssä tehdään mallisuunnitelma aurinkosähköjärjestelmästä ja LED-tasasähköjärjestelmästä Vantaalle suunnitellaan olevaan toimistorakennukseen Avia Toweriin. Suunnitelmien perusteella arvioidaan energiansäästö ja elinkaarikustannukset.



Kuva 1. Perinteisen vaihtosähköverkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän lohkokkaavio [5].



Kuva 2. Tasasähköverkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän lohkokkaavio [5].

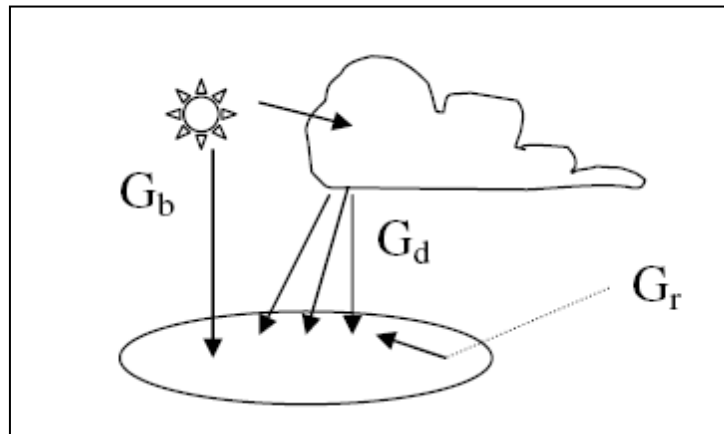
2 Aurinkosähköjärjestelmät

Aurinkosähköjärjestelmä on monista osista koostuva kokonaisuus, joka tuottaa sähköä aurinkosäteilyn avulla. Järjestelmän pääkomponentit ovat aurinkopaneelit, joilla kyetään muuttaman osa aurinkosäteilyn energiasta sähköenergiaksi. Tässä luvussa käsitellään aurinkosähköjärjestelmien perusteita ja järjestelmän suunnittelussa huomioon otettavia tekijöitä.

2.1 Aurinkosäteily

Aurinkosähköjärjestelmät tuottavat uusiutuvaa ja päästötöntä energiaa. Kaikki maapallon uusiutuvat energianlähteet ovat auringon energiasta riippuvaisia. Maapallon pinnalle saapuvan aurinkosäteilyn energiamäärä on 10 000-kertainen maapallon koko energiantarpeeseen verrattuna. [6] Auringosta ilmakehälle kohtisuorasti saapuvan säteilyn intensiteetti on 1370 W/m^2 . Tätä arvoa kutsutaan aurinkovakioksi. Ilmakehässä aurinkosäteily vaimenee absorptiosta ja sironnasta johtuen. Muun muassa O_3 -molekyylit suodattavat ilmakehässä ihmiselle vaarallista UV-säteilyä. Vesi- ja hiilidioksidimolekyylit suodattavat mm. infrapunasäteilyä. Sirontaa aiheuttavat esimerkiksi ilmamolekyylit, pöly, vesimolekyylit, aerosolit ja saasteet. [6]

Maan pinnalle saapuva aurinkosäteilyn intensiteetti riippuu aurinkosäteilyn tulokulmasta ja ilmakehän selkeystasosta. [6] Kun aurinkosäteily saapuu 90° kulmassa maan pinnalle, se on kulkenut lyhyimmän mahdollisen reitin ilmakehässä. Suomessa tulokulma ei ole koskaan 90° . Saasteet, ilmankosteus ja pilvet vaikuttavat ilman selkeystasoon. Esimerkiksi pilvisenä päivänä suuri osa aurinkosäteilystä heijastuu pilvien vesimolekyyleistä takaisin avaruuteen. [6]



Kuva 3 – Auringon säteilykomponentit [6].

Maan pinnalle saapuva aurinkosäteily voidaan jakaa kolmeen osaan: suora säteily, hajasäteily ja heijastunut säteily (ks. Kuva 3) [6]. Pilvisellä säällä on vain hajasäteilyä ($G_d =$ hajasäteily). Talvella lumihangesta heijastuva säteilykomponentti ($G_r =$ heijastunut säteily) voi olla hyvinkin voimakas. Pääkomponentti ja eniten sähköä tuottava komponentti on suora säteily ($G_b =$ suorasäteily). Kaikkia näitä säteilykomponentteja pystytään arvioimaan matemaattisesti, mutta aurinkosähköjärjestelmiä suunniteltaessa on mielekkäämpää käyttää tilastoja aurinkosäteilystä, koska se vastaa parhaiten todellista tilannetta.

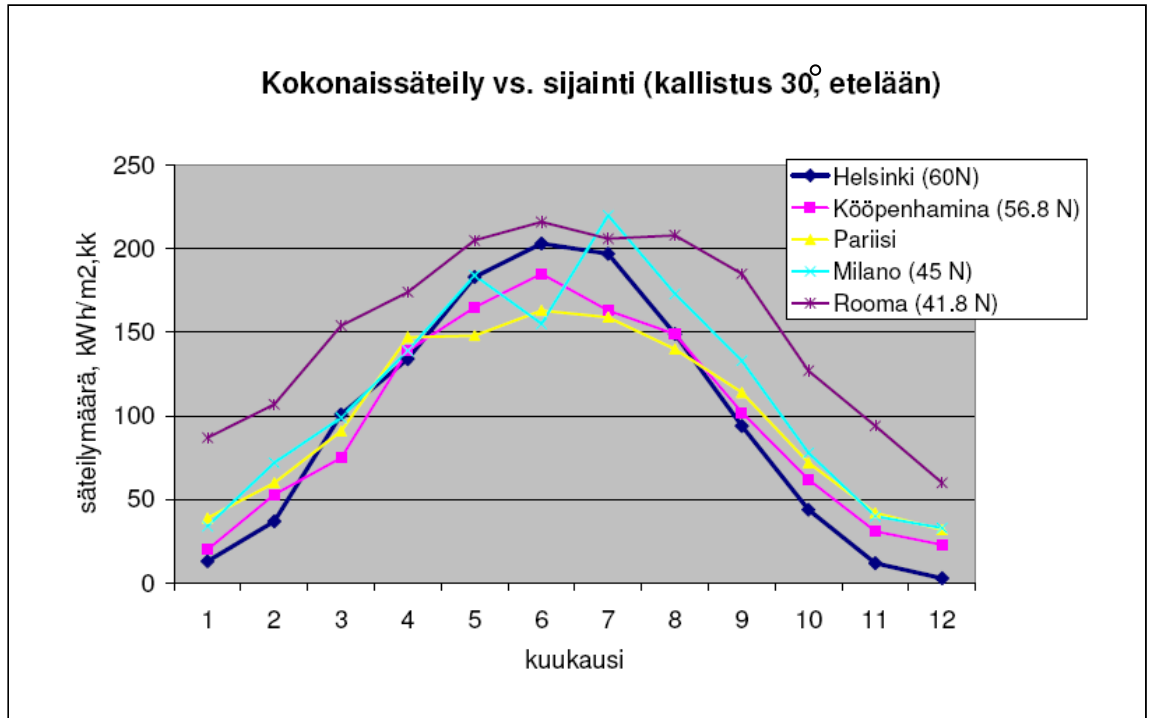
2.1.1 Sijainnin ja vuodenajan vaikutus

Kerättyjen tilastojen avulla voidaan selvittää aurinkosäteilyn saatavuus tietyllä paikkakunnalla. Näin pystytään arvioimaan suhteellisen hyvin, kuinka paljon aurinkosähköjärjestelmä voisi tuottaa sähköä ko. paikkakunnalla (ks. Kuva 4). Euroopan Komission alainen Institute for Energy tarjoaa selainpohjaisen laskentaohjelman PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) [7], jolla voidaan arvioida aurinkosähköjärjestelmien sähkötehon ja sähköenergian tuottoa kohteen koordinaattien avulla. Tilastojen ja laskentaohjelmien avulla on mahdollista vertailla eri toteutustapoja keskenään, esimerkiksi paneelien eri kallistusten ja suuntausten vaikutusta sähkön tuottoon (ks. Kuva 7). Taulukko 1 käy ilmi, että Helsingissä vaakatasolle saadaan vuoden aikana aurinkosäteilyä 950 kWh/m². Huomattavaa on, että ero esimerkiksi Berliiniin ei ole kovin suuri. Ainoastaan Euroopan Alppien eteläisellä puolella saadaan Helsinkiä huomattavasti suurempia arvoja.

Taulukko 1. Aurinkosäteily määrä kWh/m² vuoden aikana eri paikkakunnilla [6].

Paikka	Leveyspiiri	Vaakataso, kWh/m ² /vuosi
Helsinki	60°N	950
Sodankylä	67°N	800
Lontoo	51°N	1065
Berliini	52°N	1157
Messina (Sisilia)	38°N	1801
Avignon (Ranska)	44°N	1826
Shetlanti	60°N	891

Sijainnin lisäksi paikkakunnille saapuvaan säteilyyn vaikuttaa vuodenaika. Varsinkin Suomessa kesän ja talven ero on suuri. Kuva 4 näyttää mikä on kuukausittainen aurinkosäteily määrä. Joulukuussa ja tammikuussa Helsingissä 30° kallistetulle paneelille tulee huomattavasti vähemmän säteilyä kuin Pariisissa, sillä aurinko paistaa Helsingissä hyvin matalalta. Kesällä taas päivän pituuden ansiosta Helsingin säteily määrä on suurempi kuin Pariisin.



Kuva 4. Kuukausittainen säteily määrä eri paikkakunnilla [6].

2.1.2 Paneelin suuntauksen vaikutus

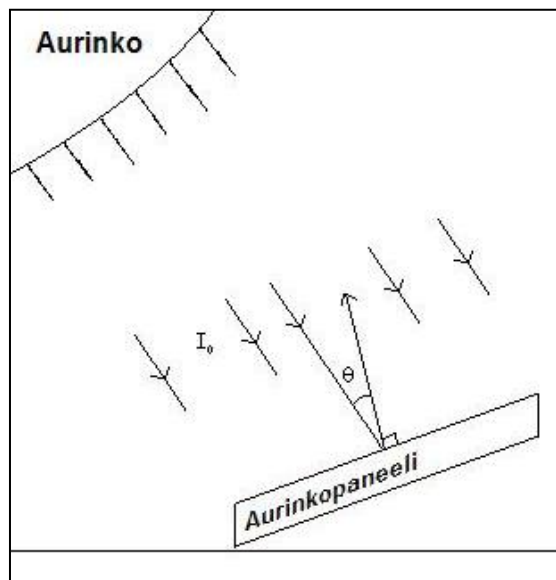
Aurinkopaneelistä saatava sähköteho riippuu hyvin paljon paneelin suuntauksesta. Kun aurinkosäteily on kulkenut ilmakehän läpi, aurinkopaneelin pinnalle saapuva säteilyteho riippuu säteilyn tulokulmasta pinnalle yhtälön 1 mukaisesti (ks. Kuva 5).

$$I = I_0 \cos(\theta) \tag{1}$$

missä

I_0 on auringon säteilyteho

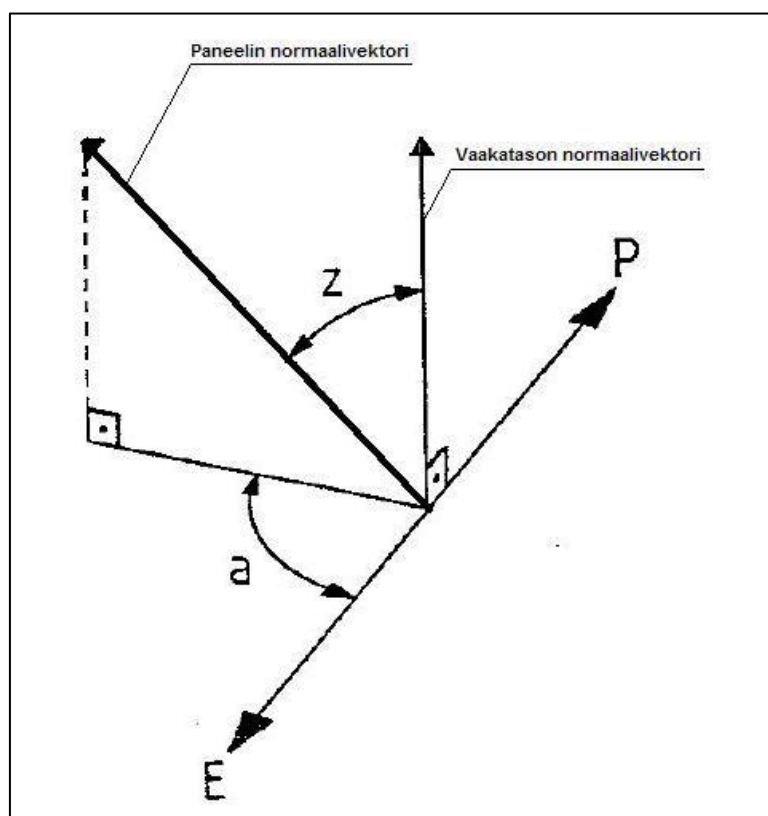
θ on aurinkosäteilyn tulokulma aurinkopaneelin normaalivektorin suhteen



Kuva 5. Säteilyn tulokulma θ aurinkopaneelipinnalle [6].

Kun paneelin normaalivektorin ja aurinkosäteilyn suuntavektorin pistetulo on 1, kulma θ on nolla ja aurinkopaneelin pinnalle saapuva säteilyteho on kirkkaalla säällä suoraan auringon säteilyteho. Auringon säteilyvektori vaihtaa kulmaa jatkuvasti. Aurinkopaneelit voidaan varustaa akseliseurannalla, jolloin paneelin pinnan normaalivektoria pystytään ohjaamaan tulokulman θ minimoimiseksi. Yhdellä akselilla pystytään seuraamaan auringon liikettä melko hyvin, mutta kahdella akselilla pystytään seuraamaan auringon liikettä täydellisesti niin kauan kuin aurinko paistaa. Akseliseurannat lisäävät kustannuksia eikä niitä käsitellä tässä työssä. Tässä työssä käsitellään ainoastaan kiinteitä asennuksia. [6]

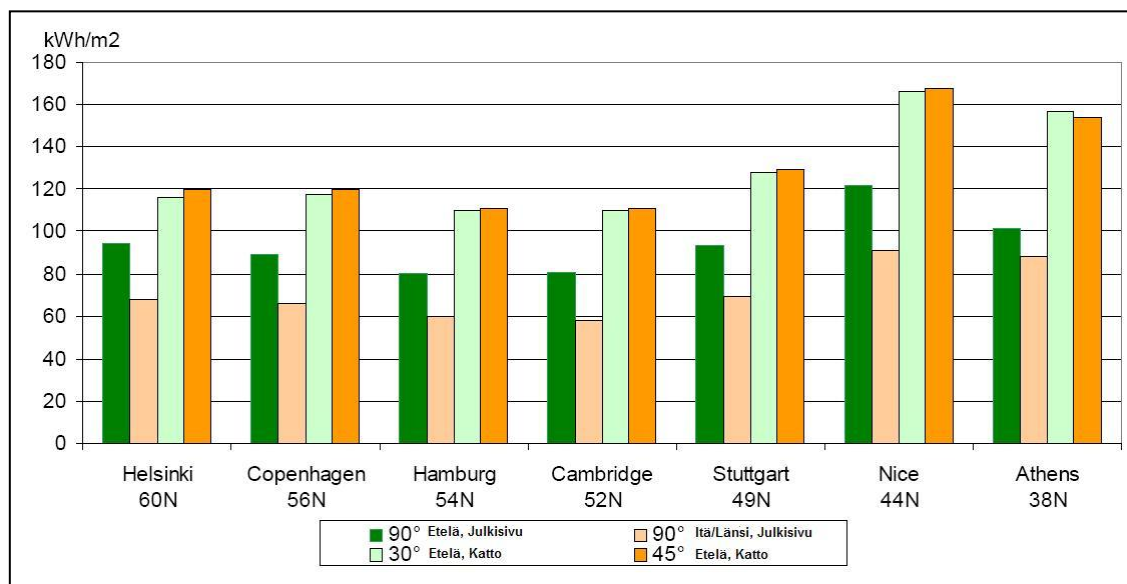
On selvää, että kiinteissä asennuksissa paneelin normaalivektorin suunta tulee valita tarkasti, jotta järjestelmä tuottaisi mahdollisimman paljon sähköä. Paneelin normaalivektorin suunta voidaan ilmaista paneelin atsimuuttikulmalla a ja zenittikulmalla z (ks. Kuva 6). Atsimuuttikulma a kertoo kuinka monta astetta paneelin normaalivektorin projektio vaakapinnalle poikkeaa etelän ilmansuunnasta (esim. itä $a = -90^\circ$ tai kaakko $a = 45^\circ$) ja zenittikulma z kertoo kuinka monta astetta normaalivektori poikkeaa vaakapinnan normaalivektorista (esim. kun $z = 90^\circ$, paneeli on pystyssä). Mitä pohjoisemmaksi päiväntasaajasta mennään, sitä suurempi on auringon zenittikulma, koska aurinko paistaa matalammalta horisonttiin nähden. Päiväntasaajalla taas aurinkopaneelit kannattaisi sijoittaa katolle vaakatasoon, koska aurinko paistaa suoraan zenitistä ja auringon zenittikulma on usein 0° . [6]



Kuva 6. Paneelin suuntausta kuvaavat kulmat.

Paneelin suuntausta voidaan optimoida laskennallisesti. Tässäkin tapauksessa helpompaa on tarkastella tilastoja ja käyttää laskentaohjelmia. Tietyissä tapauksissa aurinkopaneeleja ei voida edes suunnata optimaalisimpaan suuntaan (esim. jos halutaan asentaa aurinkopaneeleja jo olemassa olevan rakennuksen julkisivulle).

Kuva 7 esittää Euroopan eri paikkakunnilla toteutuneita aurinkosähköjärjestelmien tuottoja paneelin eri suuntauksilla. Kuvasta 7 nähdään, että Suomessa on saatu enemmän sähköenergiaa kuin Kööpenhaminassa tai Saksan Hampurissa. Helsingissä paras tuotto on saatu, kun aurinkopaneelit on kallistettu 45° vaakatasosta (paneelin normaalivektorin $z = 45^\circ$) ja ilmansuunta on etelä (paneelin normaalivektorin $a = 0^\circ$). Vasta Euroopan Alppien eteläpuolelle mentäessä aurinkosähköjärjestelmät alkavat tuottamaan enemmän sähköenergiaa kuin Suomessa. Eteläisellä julkisivulla 90° vaakatasosta oleva aurinkosähköjärjestelmä (paneelin normaalivektorin $z=90^\circ$ ja $a=0^\circ$) tuottaisi tilastojen mukaan yli 90 kWh/m². Ateenassa samanlainen järjestelmä tuottaisi n. 100 kWh/m² eli hiukan enemmän kuin Helsingissä. Toisin sanoen tällaiset julkisivun kiinteät asennukset ovat lähes yhtä kannattavia Suomessa kuin Kreikassakin.



Kuva 7. Keskimääräinen vuodessa tuotettu sähköenergia eri kallistuksilla ja ilmansuunnilla. [8]

Toimistorakennuksen julkisivuun tai vesikattoon integroituna aurinkosähköjärjestelmän paneelit voivat korvata muun kalliin rakennusmateriaalin. Tällöin paneelin suuntaukseen voidaan vaikuttaa rakennuksen muodolla ja suuntauksella. Uudisrakennuksissa tuleekin suunnittelun varhaisessa vaiheessa arkkitehdin kanssa pyrkiä suunnittelemaan rakennus siten, että aurinkosähköjärjestelmä tuottaisi mahdollisimman paljon sähköä.

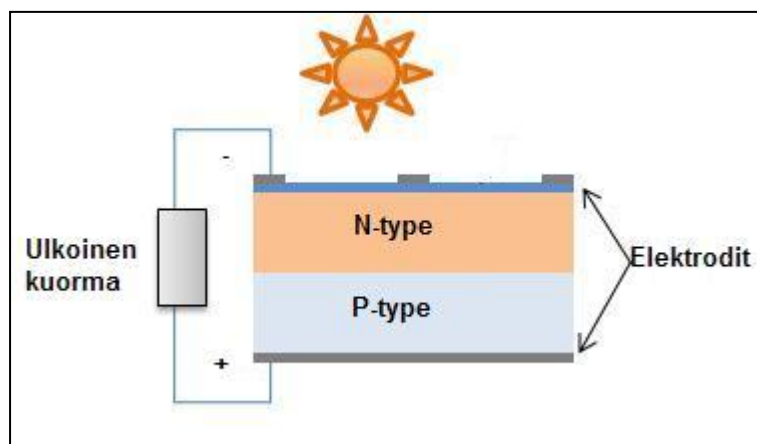
Mielestäni Suomessa toimistorakennukseen integroidut aurinkosähköjärjestelmät olisi hyvä toteuttaa julkisivujärjestelminä, jolloin aurinkopaneelit ovat pystyssä ja suunnattu etelään (paneelin normaalivektorin $z=90^\circ$ ja $a=0^\circ$). Julkisivulle asennettavien paneelien hyötyinä ovat, että ne voivat korvata kalliita lasijulkisivuja, ne ovat hyvin näkyviä ja parantavat täten tehokkaammin yrityksen imagoa, ne tuottavat tasaisemmin sähköä ympäri vuoden kuin katolle asennetut järjestelmät (talvella julkisivulle asennetut aurinkosähköjärjestelmät tuottavat enemmän kuin katolle asennetut), lunta ei kerääny paneelien pintaan talvisin, paneelien likaantuminen on vähäisempää ja paneelit eivät varjosta toisiaan, kuten kallistetuissa järjestelmissä usein tapahtuu.

2.2 Aurinkokennot

Aurinkosähköjärjestelmän perustana ovat aurinkopaneelit, jotka tuottavat sähköä valon vaikutuksesta. Aurinkopaneelit koostuvat useista aurinkokennoista, jotka on kytketty

sähköisesti toisiinsa ja paketoitu aurinkopaneeliksi. Aurinkopaneelin toiminnan tutkimiseksi tutkitaan aluksi yksittäisen kennon toimintaa.

2.2.1 Aurinkokennon toiminta



Kuva 8. Aurinkokennon toiminta [29].

Aurinkokennot valmistetaan puolijohteista. Yksinkertaisimmillaan kenno koostuu kiteisistä materiaalikerroksista, joista yksi on n-tyypin kerros ja toinen on p-tyypin kerros (ks. Kuva 8). Tasapainotilassa puolijohteen atomien elektronit ovat valenssivyöllä. Tietyn suuruisella energialla elektroni hyppää valenssivyöltä johtavuusvyölle, jossa se pystyy liikkumaan. Elektronien liike synnyttää sähköä, siksi tavoitteena on saada mahdollisimman suuri määrä elektroneja johtavuusvyölle. N-tyypin materiaali tulee olla negatiivisesti varautunut. N-tyypin materiaalia pyritään muokkaamaan siten, että valenssivyöllä olisi liikaa elektroneja. P-tyypin materiaali tulee taas olla positiivisesti varautunut. P-tyypin materiaalia muokataan siten, että valenssivyöllä olisi liikaa positiivisia aukkoja eli liian vähän elektroneja. [6][9]

Saapuessaan aurinkokennoon aurinkosäteilyn fotonit osuvat elektroneihin ja antavat niille energiaa. Kun elektroni saa riittävän suuren energian, se hyppää johtavuusvyölle ja kulkee negatiivisen elektrodin kautta johtimiin. Tätä prosessia kutsutaan valosähköiseksi ilmiöksi. Ideaalitulanteessa kaikki johtavuusvyölle hypänneet elektronit alkavat kulkemaan johtimien kautta, mutta käytännössä pn-liitos ei ole täysin eristetty. Siksi tapahtuu rekombinaatiota, jolloin valenssivyöltä hypännyt elektroni ei saa aikaa sähkötehoa. Muita häviöitä syntyy kun aurinkosäteily läpäisee kennon tai heijastuu kennon pinnasta. Heijastumisesta johtuvia häviöitä pystytään vähentämään pinnoitteilla. [6][9]

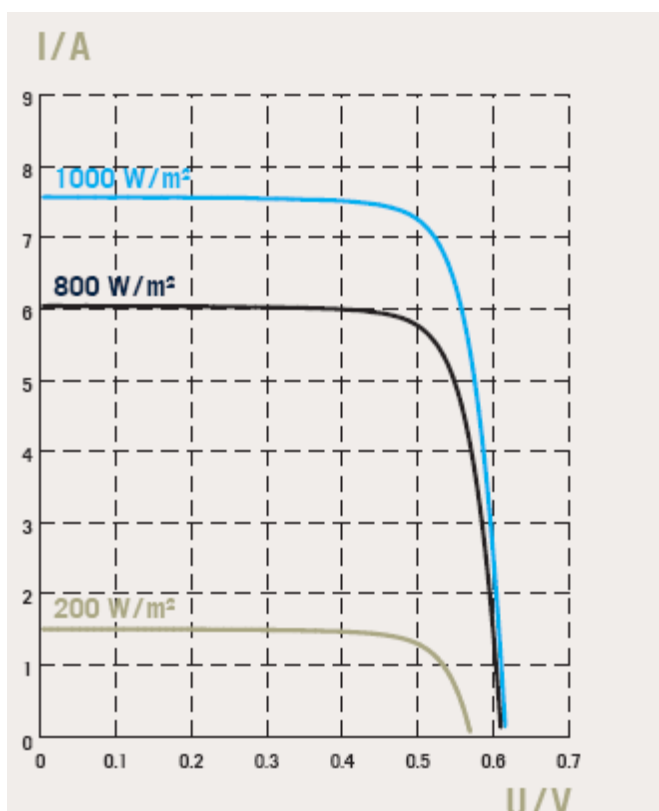
Pii on yleisin materiaali, josta valmistetaan aurinkokennoja. Piin ominaisuuksia voidaan muokata, lisäämällä siihen epäpuhtauksia. Piistä voidaan tehdä sekä p- että n-tyypin materiaaleja. Tutkimustyöllä yritetään parantaa kennojen hyötysuhdetta. Hyötysuhde η kertoo suoraan, kuinka paljon kennolle saapuvasta aurinkosäteilyn tehosta saadaan sähkötehoa. [6][9]

$$P_{\text{sähkö}} = P_{\text{aurinkosäteily}} \cdot \eta_{\text{kenno}} \quad (2)$$

Kennon hyötysuhde on tyypillisesti alle 20 %. Suurin vaikuttava tekijä on yksinkertaisesti se, ettei pystytä käyttämään koko auringon spektriä sähkön tuottamiseen. Suuri osa aurinkosäteilyn aallonpituuksista ei aiheuta valosähköistä ilmiötä puolijohdteessa. Piikenoilla pystytään hyödyntämään aurinkosäteilyn aallonpituuksia väliltä 300-750 nm. Osa säteilystä läpäisee kennon tai lämmittää sitä. Materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa siihen, mitkä aallonpituudet aurinkosäteilystä pystytään hyödyntämään. [6][9]

2.2.2 IV-käyrä

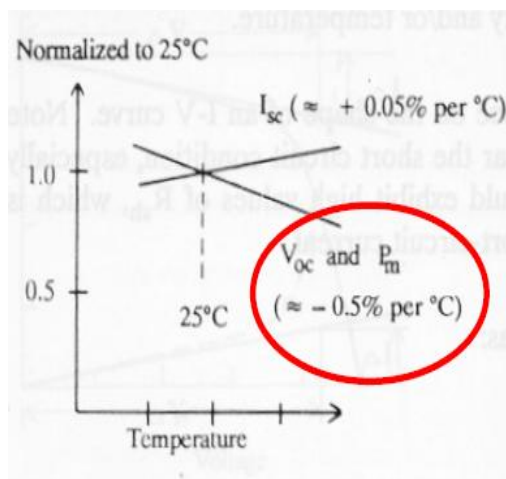
Kennon johtimissa syntyvät resistiiviset häviöt ja rekombinaatiot heikentävät sen hyötysuhdetta [6]. Kennon ominaisuuksia pystytään tarkastelemaan kennolle ominaisella IV-käyrällä, joka kuvaa aikaansaadun virran ja kennon napojen välisen jännitteen suhdetta. Kunkin kennon IV-käyrä on mitattu standardoiduissa testausolosuhteissa. Kun kennoa valaistaan eikä siihen ole kuormaa kytkettynä, navoilla on maksimijännite ja virta on nolla. Tällöin puhutaan paneelin tyhjäkäyntijännitteestä. Kun kennoa valaistaan ja navat ovat oikosuljettuja, jännite on nolla ja virta saavuttaa maksimiarvonsa. Tämä arvo on oikosulkuvirta. Kun kenno kytketään kuormaan, sen vaikutuksesta jännitteen ja virran arvot seuraavat ominaiskäyrää (ks. Kuva 9). Kuva 9 esittää erään valmistajan kennon IV-käyrää. Kuvassa on kolme käyrää eri säteilytehoja varten. Jos kennossa ei olisi resistiivisiä häviöitä eikä rekombinaatiota, maksimiteho olisi oikosulkuvirran ja tyhjäkäyntijännitteen välinen tulo ja IV-käyrä olisi kanttiaallon muotoinen. [9]



Kuva 9. Erään paneelin IV-käyrä [11].

2.2.3 Lämpötilariippuvuus

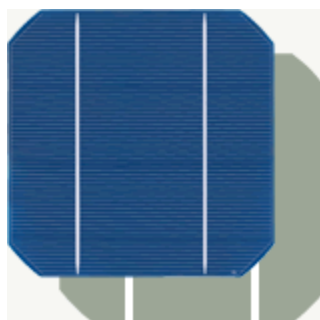
Kennojen lämpötilariippuvuus on hyvin tärkeä ottaa huomioon, kuten Kuva 10 käy ilmi. Ympäristön lämpötilan vaikutus jännitteeseen on kuvan tapauksessa 0,5 % celsius astetta kohti. Kesällä Etelä-Euroopassa paneelin lämpötila voi olla yli 50°C, jolloin tehon tuotto on nimellistehoa paljon pienempi. Tämä tekijä suosii pohjoismaisia aurinkosähköjärjestelmiä talvella ja varsinkin valoisina keväisinä päivinä. Esimerkiksi kylmänä päivänä -20°C:ssa paneeli voi tuottaa hetkellisesti yli 20 % enemmän tehoa kuin paneelin nimellisteho. [9]



Kuva 10. Lämpötilan vaikutus pii-kennon sähköisiin ominaisuuksiin vakiolla aurinkosäteilyteholla. I_{sc} on paneelin virta, V_{oc} on paneelin napojen jännite ja P_m on kennon tuottama sähköteho. [6]

2.2.4 Kennotyypit

Pii on yleisin materiaali kennojen valmistuksessa. Piistä voidaan tehdä yksikiteisiä, monikiteisiä tai amorfisia kennoja. Yksikiteinen piikkenno on hyötysuhteeltaan paras, mutta valmistus on kalliimpaa kuin monikiteisen piikennon valmistus. Lisäksi yksikiteisellä piillä ei pystytä tekemään täysin neliskulmaisia kennoja. Monikiteiset piikennot ovat neliskulmaisia ja niillä pystytään hyödyntämään paremmin neliskulmaisen aurinkopaneelin koko pinta-alaa. (vrt. Kuva 11 ja Kuva 12) Yksikiteisen piikennon hyötysuhde eräällä valmistajalla on hieman yli 16% [10]. Samalla valmistajalla monikiteisen piikennon hyötysuhde on yli 14%. [11]



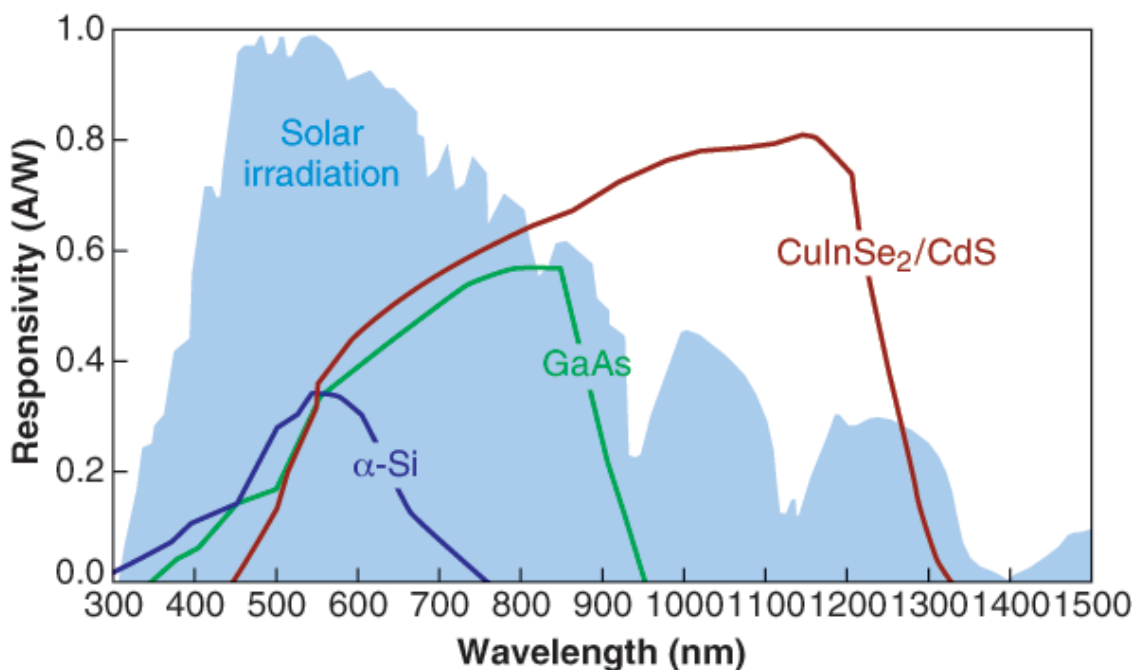
Kuva 11. Yksikiteisen piikennon muoto [10].



Kuva 12. Monikiteisen piikennon muoto [11].

Amorfisella piillä tarkoitetaan piitä, jolla ei ole kiderakennetta. Amorfisesta piistä valmistetaan hyvin ohuita piikalvoja eli ohutkalvokennoja. Kun piikerroksen paksuus on vain muutama μm , säästetään piin materiaalikustannuksissa. Kennon hyötysuhde on kuitenkin vain 5-8%. Ohutkalvoteknologiassa käytetään muitakin materiaaleja kuin piitä. Amorfisen piin sijasta on valmistettu ohutkalvoja, joiden materiaaleina ovat mm. kupari-indium-diselendi (CIS) ja kadmium-telluridi (CdTe). Näillä materiaaleilla päästään 10% hyötysuhteeseen. [6]

Auringon säteilyspektristä pystytään hyödyntämään vain tietyt aallonpituudet. Ohutkalvoteknologia on mahdollistanut monikerroksisten kalvojen valmistuksen, jolloin eri kerroksissa hyödynnetään säteilyspektrin eri aallonpituuksia. Kuva 13 esittää eri kennomateriaalien vasteita maan pinnalle saapuvalle aurinkosäteilyn spektrille. Amorfinen pii ($\alpha\text{-Si}$) hyödyntää aurinkosäteilyn spektristä aallonpituuksia väliltä 300-750 nm. Kaksikerroksinen $\text{CuInSe}_2/\text{CdS}$ -kenno hyödyntää aurinkosäteilyn spektristä laajemman kaistan eli aallonpituudet väliltä 300-1330 nm.



Kuva 13. Kennomateriaalien vasteet aurinkosäteilyspektrille. $\alpha\text{-Si}$ -kenno hyödyntää aurinkosäteilyn aallonpituudet väliltä 300-750 nm. GaAs-kenno hyödyntää aurinkosäteilyn aallonpituudet väliltä 350-950 nm. $\text{CuInSe}_2/\text{CdS}$ -kenno hyödyntää aurinkosäteilyn aallonpituudet väliltä 300-1330 nm. [12]

2.3 Aurinkosähköpaneelit ja -paneelistot

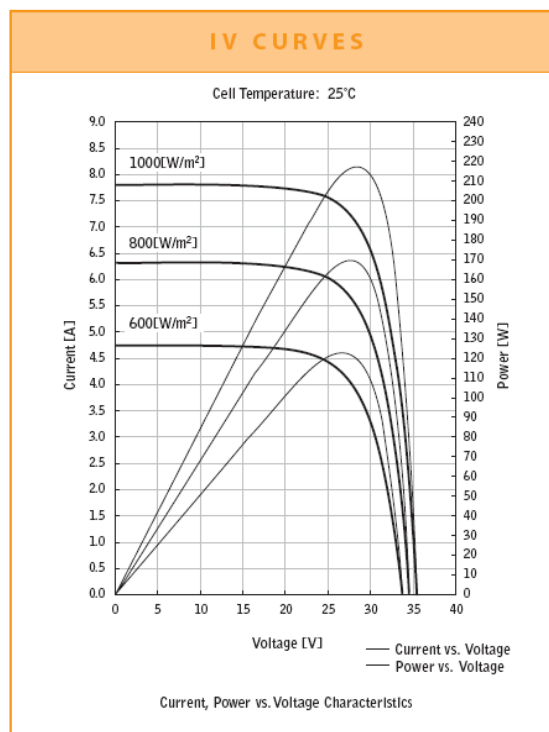
Aurinkosähköpaneelit ovat kokonaisuus, joka sisältää sähköisesti kytkettyjä aurinkokennoja. Aurinkopaneelin hyötysuhde tulee aina olemaan hieman pienempi kuin käytettyjen aurinkokennojen hyötysuhde. Yhden piikennon antama jännite on tyypillisesti 0,6 V ja virta 7 A. Kytkemällä kennot sarjaan nostetaan paneelin jännitettä. Tyypillinen akun lataukseen käytetty 24 V paneeli valmistetaan kytkemällä sarjaan 48 kennoa, jolloin jännite on 28,8 V. Kytkemällä useampia tällaisia kennosarjoja rinnan, nostetaan paneelin syöttämää virtaa. [6][13]

Paneelien koko ja teho vaihtelevat tuotekohtaisesti. Paneeleita on saatavilla 1-300 W huipputeholla. Tyypillisesti paneelin huipputeho on 50-100 W. Aurinkopaneelin valmistajat myöntävät paneeleille 20-25 vuoden takuun. Kaikista maailman aurinkopaneeleista 85 % ovat moni- tai yksikiteisistä piikenneistä valmistettuja. Loput on valmistettu ohutkalvoteknologialla. [6]

Aurinkosähköpaneelisto on kokonaisuus, joka koostuu toisiinsa sähköisesti ja mekaanisesti kytketyistä paneeleista ja muista komponenteista. Muut komponentit ovat kaapelit ja liitäntäkotelot. Paneelista suunniteltaessa toimitaan samalla periaatteella kuin paneelien kanssa. Kytkemällä aurinkopaneelit sarjaan nostetaan paneeliston jännitettä. Yhtä paneelien sarjaa kutsutaan (aurinko)paneeliketjuksi. Kytkemällä tällaisia paneeliketjuja rinnan kasvatetaan paneeliston tuottamaa maksimivirtaa. Yhtä tai useampaa yhteen kytkettyä paneelista kutsutaan aurinkosähkögeneraattoriksi. Liitäntäkotelota tulee käyttää aina, kun liitetään sähköisesti yhteen paneeliketjuja ja paneelista. Näihin liitäntäkoteloihin voidaan tarvittaessa sijoittaa suojalaitteita esimerkiksi ukkossuojalaitteita. [6][13]

2.4 MPPT – Maximum Power Point Tracker

Kaikissa tilanteissa aurinkosähkögeneraattorista halutaan saada irti mahdollisimman paljon tehoa. Paneelin jännite ja virta noudattavat kunkin paneelin IV-käyrää. Kuva 14 esittää erään valmistaja paneelin IV-käyrät. Lisäksi kuvassa on esitetty paneelin tuottaman sähkötehon käyrä. Tuotettu sähköteho vaihtelee riippuen paneelin toimintapisteestä. Kun aurinkosäteilyn intensiteetti on 800 W/m^2 , maksimitehon toimintapisteessä virta on noin 6,4 A ja jännite noin 27 V, jolloin paneeli tuottaa 172,8 W, Kuva 14.



Kuva 14. Sharp ND208UI-paneelin IV-käyrät [40].

Paneelin toimintapisteen asettuminen riippuu aurinkosähkögeneraattorin kuormasta. Esimerkiksi jos paneelilla on kuormana 12 V akku, paneelin toimintapiste asettuu 12 V kohdalle. Tällöin paneeli tuottaisi maksimissaan 100 W eli puolet potentiaalisesta 200 W huipputehosta. MPPT (Maximum Power Point Tracker) on laite, joka pyrkii asettamaan paneelin toimintapisteen maksimitehon pisteeseen. Tämä laite toimii käytännössä tasasähkökatkojana, joka muuttaa tasajännitettä tai -virtaa. Kuva 14 esimerkissä tämä tarkoittaa sitä, että MPPT asettaa paneelin toimintapisteen maksimitehon pisteeseen ja silti syöttää akkua 12 V jännitteellä.

Pelkkä tasasähkökatkoja ei kuitenkaan riittäisi täyttämään tätä tehtävää, vaan laitteen on kyettävä löytämään aurinkosähkögeneraattorin maksimitehon toimintapiste. Tämä toiminta on dynaamista, sillä kuten kuvasta nähdään, maksimitehon toimintapiste on myös dynaaminen ja muuttuu paneelille saapuvan säteilytehon mukaan. MPPT:n laatuksia ovat nopeus ja tarkkuus. Mitä nopeammin ja tarkemmin tämä laite löytää maksimitehon pisteen, sitä enemmän sähköenergiaa pystytään saamaan aurinkosähkögeneraattorista. Puolipilvisinä päivinä paneeleille saapuva teho muuttuu hyvinkin nopeasti ja silloin MPPT:n nopeudesta on suurta hyötyä. MPPT:n tarkkuudesta on hyötyä taas kirkkaina ja aurinkoisina hetkinä, jolloin paneeleille saapuva säteilyteho on lähes stabiili. Tällöin pienikin epätarkkuus voi pitkällä aikavälillä aiheuttaa suuria häviöitä. Järjestelmissä, jossa ei käytetä vaihtosuuntaaja, tulee tämä laite hankkia erikseen. [14]

2.5 Vaihtosuuntaaja

Euroopassa yleisestä sähköverkosta saadaan vaihtosähköä, jonka taajuus on 50 Hz. Aurinkosähkögeneraattori tuottaa tasasähköä. Jos halutaan syöttää tätä tasavirtaa yleiseen sähköverkkoon tarvitaan vaihtosuuntaaja eli invertteri.

Vaihtosuuntaaja on aurinkopaneeliston jälkeen toiseksi kallein laite tyyppillisessä verkkoon kytketyssä aurinkosähköjärjestelmässä. Vaihtosuuntaajat toimivat optimaalisesti vain tietyllä jännitealueella. Kun jännite laskee pois vaihtosuuntaajan optimialueelta, syntyy enemmän häviöitä. Siksi paneeliston sähköinen kytkentä täytyy optimoida vaihtosuuntaajan kanssa, ottaen huomioon aurinkosäteilyn vaihtuvuus ympäri vuoden. Yleistä verkkoa syöttävän vaihtosuuntaajan hyötysuhde on maksimissaan 95% luokkaa, mutta kun aurinkosäteilyn määrä pienenee, vaihtosuuntaajan hyötysuhde laskee. [3] Vaihtosuuntaajan todellisen hyötysuhde arvioidaan tässä työssä olevan keskimäärin 90 %.

Aurinkosähköjärjestelmille suunnitellut vaihtosuuntaajat sisältävät MPPT-laitteen (ks. 2.4). Jos kuitenkin on tarkoitus hyödyntää suoraan aurinkosähkögeneraattorin tuottamaa tasasähköä, vaihtosuuntaajan sijasta olisi hyvä hankkia erikseen pelkkä MPPT-laite.

2.6 Mittaus

Aurinkosähköjärjestelmissä olisi hyvä olla mittauslaitteisto. Sen tarkoituksena on ennen kaikkea tarkistaa järjestelmän toimivuus. Jos järjestelmässä on vika, joka vähentää sen tehokkuutta, huomataan se mittausdatasta. Tämä mittausdata antaa myös lisätietoa järjestelmien yleisestä toiminnasta, mikä voi kannustaa uusia tahoja investoimaan aurinkosähköjärjestelmään. Mittauksesta hyödytään myös siinä tapauksessa, että tuotettu sähkö syötetään takaisin yleiseen sähköverkkoon. Tällöin on mahdollista periä maksuja jakeluverkon haltijalta verkkoon syötetystä sähköstä.

Mittauslaitteistoon kuuluu tehomittareita, datayksikköjä ja info-näyttöjä. Mittareilla saadaan virallinen tieto toteutuneesta sähköverkkoon syötetystä tehosta. Datayksikkö tallentaa mittausdatan. Info-näytöillä voidaan varmistaa se, että aurinkosähköjärjestelmä saa näkyvyyttä siellä, missä ihmiset ovat. Toimistorakennuksissa info-näyttö sijoitetaan useimmiten pää-aulaan. Näytöstä voi käydä ilmi mm. järjestelmän hetkellinen sähköteho, päivän aikana tuotettu sähköenergia, järjestelmän asentamisesta nykyhetkeen asti tuotettu sähköenergia, vältetyt CO₂-päästöt, jne.

2.7 Standardit ja suunnittelun apuvälineet

Suomen Standardisoimisliitto SFS on julkaissut standardin SFS 6000-7-712 ”Aurinkosähköiset tehonsyöttöjärjestelmät” [13]. Tämä standardi soveltuu aurinkosähköjärjestelmiin, joihin kuuluu vaihtosuuntaaja ja vaihtosähköosa. Standardissa todetaan: ”Vaatimukset aurinkosähköjärjestelmille, jotka on tarkoitettu käytettäväksi ilman vaihtosähkömoduuleja, ovat harkittavana.” Näin ollen, suunnittelijan on itse pohdittava tasasähköverkkoon kytkettävän aurinkosähköjärjestelmän vaatimuksia tämän standardin pohjalta, jotta järjestelmä olisi käyttäjille turvallinen. Standardissa esitetään mm. määritelmiä, suojausmenetelmiä, sähkölaitteiden valintaa ja asentamista koskevia määräyksiä, maadoittamista koskevia määräyksiä ja aurinkosähköjärjestelmän yleiskaavio (ks. Kuva 15). Sähkötieto Ry on julkaissut suunnitteluohjeen ST 55.33 ”Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähkönjakelujärjestelmään”. [15]

2.7.1 Suojausmenetelmät

Aurinkosähköjärjestelmän kalliit laitteet halutaan suojata mahdollisilta vaaratekijöiltä. Näitä ovat mm. ylijännitteet ja oikosulut. Ylijännitteet voivat syntyä mm. sähköverkon vikatilanteista tai salamankuista. Kuva 15 esittää aurinkosähköjärjestelmän yleiskaavion, jossa näkyvät vaihtosuuntaajalla varustetun järjestelmän suojalaitteet.

Tasasähköpuolella standardit eivät vaadi suojausta, sillä ylijännitteet pysyvät pieninä oikosulunkin tapauksessa. Pääasiallinen huolenaihe ovatkin sähköverkosta tulevat ylijännitteet. Salamaniskun yhteydessä ylijännitteitä indusoituu myös tasasähkökaapeleihin. Näiden jännitteiden pienentämiseksi pyritäänkin minimoimaan johdinsilmukoiden pinta-aloja standardin SFS 6000-712.444 mukaisesti [13]. Suurissa järjestelmissä on suositeltavaa asentaa ylijännitesuojat myös tasasähköpuolelle. Kulutuslaitteita tulee suojata aurinkosähköjärjestelmän vikavirroista syötön automaattisella poiskytkennällä standardin SFS 6000-712.411 mukaisesti [13]. Järjestelmässä, jossa tasasähkö hyödynnetään suoraan, automaattinen poiskytkentä on suositeltava. Se voidaan toteuttaa IEC 60755 mukaisella B-tyyppin vikavirtasuojalla, joka pystyy suojaamaan verkkoa ja laitteita myös vikavirralla, joka on tasavirtaa. [13]

2.7.2 Erotuslaitteet

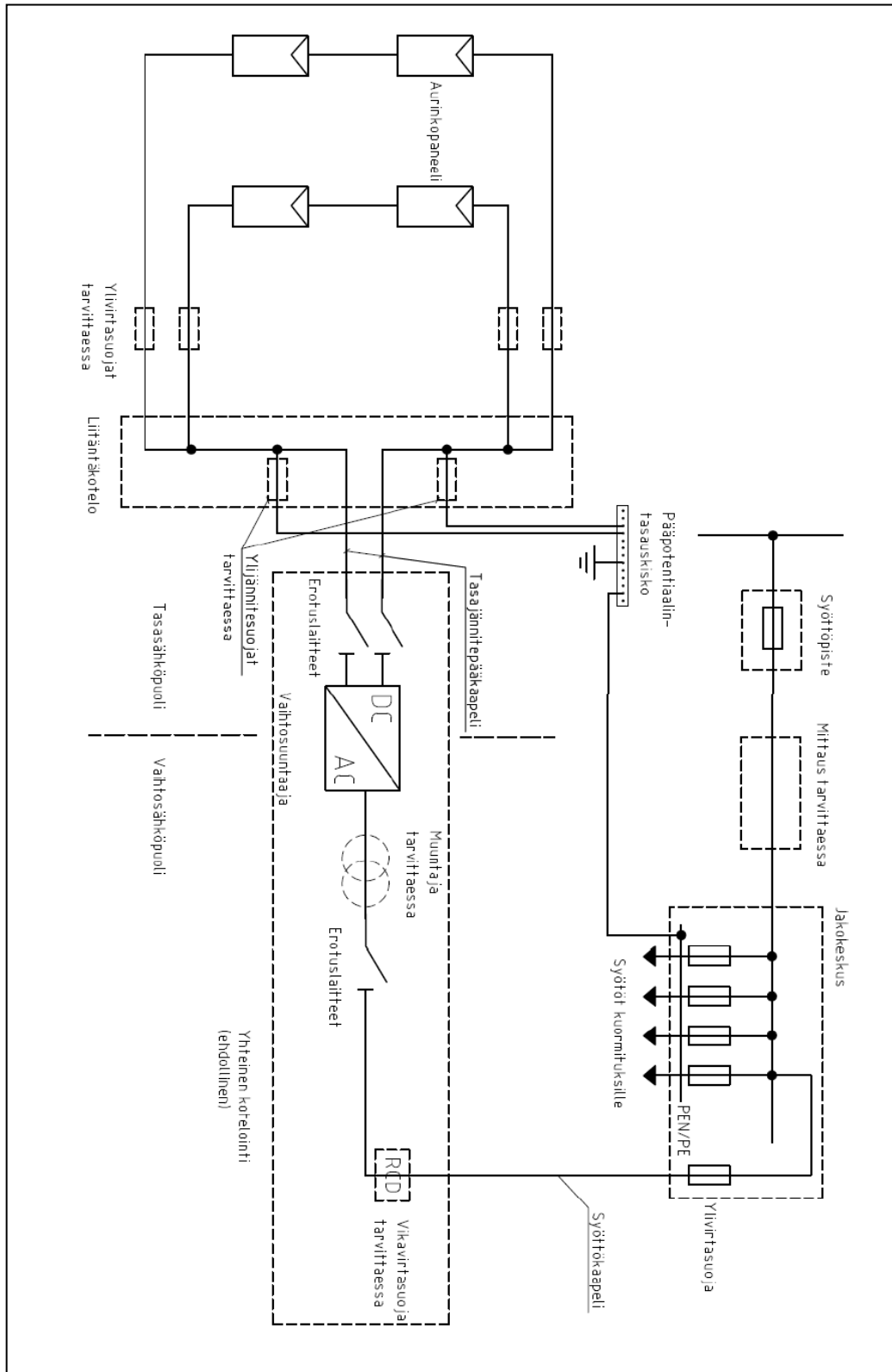
Katkaisijoiden käyttö helpottaa huoltoa ja laitteiston vaihtamista turvallisesti. Verkkoon kytketyssä aurinkosähköjärjestelmässä on tyypillisesti kolme eri katkaisijaa: tasavirtakatkaisija, vaihtovirtakatkaisija ja pääkytkin. Tasavirtakatkaisija toimii erottavana pisteinä yhden paneeliryhmän ja kyseisen ryhmän vaihtosuuntaajan välillä. Riippuen ryhmän maksimijännitteestä voidaan käyttää tavallisia katkaisijoita tai tasavirralla suunniteltuja katkaisijoita. Vaihtovirtakatkaisijat asennetaan heti vaihtosuuntaajan jälkeen. Kaikkien vaihtovirtakatkaisijoiden jälkeen asennetaan pääkytkin, jolla koko järjestelmä voidaan turvallisesti kytkeä irti rakennuksen sähköverkosta. Verkkoon kytketyissä järjestelmissä erotuslaitteet tulee valita ja asentaa ohjeiden mukaisesti siten, että aurinkosähköjärjestelmää pidetään kuormana ja jakeluverkkoa teholahteenä. [13]

2.7.3 Maadoitus

Maadoitus lisää järjestelmän turvallisuutta. Standardin SFS 6000-7-712 mukaan tasasähköpuolella yhden jännitteisen johtimen maadoittaminen on sallittua, jos vaihtosähkö- ja tasasähköpuolen välillä on vähintään yksinkertainen erotus. [13]

2.7.4 Kaapelit ja muut laitteet

Kaapelityypit ja johtimien poikkipinta-alat tulee valita aurinkosähköjärjestelmän oikosulkuvirran avulla sopivaksi. Standardin SFS 6000-7-712 mukaan ylikuormitussuojausta ei tarvita, jos kaapelin kuormitettavuus on 25 % suurempi kuin järjestelmän oikosulkuvirta $I_{SC\ STC}$. Esimerkiksi järjestelmässä, jonka $I_{SC\ STC} = 100\ A$, tasajännitepääkaapeli tulisi valita vähintään 125 A:n kuormitettavuudella. Tällöin standardi ei vaatisi ylikuormitussuojausta. Kaapelin valinnalla tulisi samalla pyrkiä minimoimaan maa- ja oikosulkujen vaikutusta, esimerkiksi käyttämällä vaipallisia yksijohdinkaapeleita. Lisäksi aurinkosähköjärjestelmän kaapelit altistuvat tuulelle, jälle, lämpötilan muutoksille ja auringon säteilylle ja näitä ulkoisia tekijöitä tulee valitun kaapelin kestä. Tasasähköosan laitteet tulee kaikki olla standardin mukaisia ja suojaus suositellaan toteuttavaksi luokan II laitteilla standardin SFS 6000-712.412 mukaisesti. [13]



Kuva 15. Vaihtosähköverkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän yleiskaavio [13].

2.8 Yhteenveto

Aurinkosähköjärjestelmät tuottavat sähköä aurinkosäteilyn avulla. Tilastojen mukaan Etelä-Suomi on yhtä hyvä sijainti tuottaa aurinkosähköä kuin Saksa. Suomessa eteläiselle julkisivuille 90° vaakatasosta asennetut järjestelmät ovat lähes yhtä tuottavia kuin Kreikassa. Vaikka kallistetulla paneelilla saadaan suurempi tuotto aurinkosähköjärjestelmälle, julkisivulle pystyyn asennetut paneelit tarjoavat hyvän vaihtoehdon rakennusten perinteisille julkisivumateriaaleille.

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelussa on otettava huomioon paneelien IV-käyrä, jonka perusteella voidaan arvioida paneelin laatua. Lisäksi aurinkosähköpaneelisto on saatava tuottamaan maksimiteho kaikissa olosuhteissa tarpeenmukaisella laitteistolla. Tähän tarkoitukseen järjestelmässä tulee olla MPPT-laite, joka asettaa paneeliston jännitteen ja virran maksimitehon toimintapisteeseen.

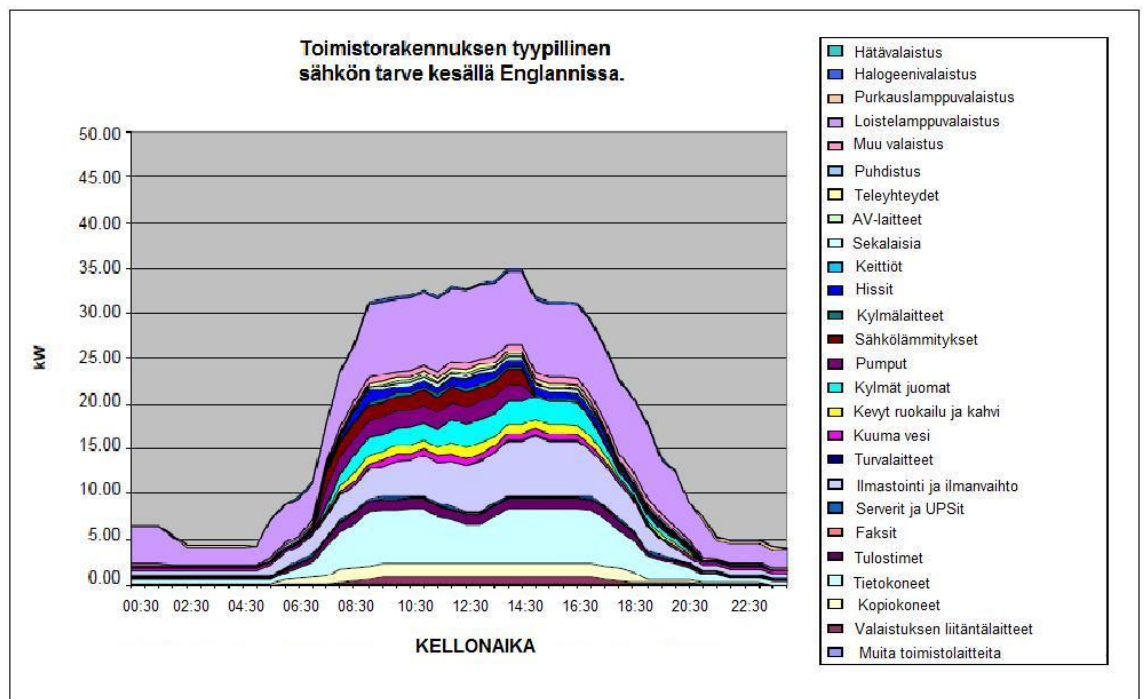
Standardit esittävät muutamia vaatimuksia ainoastaan aurinkosähköjärjestelmille, joihin sisältyy vaihtosähköosa. Suunnittelijat voivat pitää näitä standardeja lähtökohtana harkittaessa vaatimuksia tasasähköverkkoa syöttäville aurinkosähköjärjestelmille. Tavoitteena on suunnitella turvallinen ja vikatilanteita kestävä järjestelmä.

3 Toimistorakennuksiin integroidut järjestelmät

3.1 Johdanto

Ympäristöystävällisen imagon luomiseksi yritykset ovat alkaneet kiinnostua rakennuksiin integroitavista aurinkosähköjärjestelmistä. Aurinkopaneeleja on asennettu mm. katolle ja julkisivuille. Lisäksi yksittäisiä kennoja on integroitu lasipintoihin, jolloin sähkön tuottamisen lisäksi kennot vähentävät aurinkosäteilyn lämpökuormaa rakennuksen sisällä. Luvussa 6 esitettyyn mallitoimistorakennukseen Avia Toweriin aurinkopaneelit sijoitetaan julkisivulle. Avia Towerissa aurinkopaneelit korvaavat vaihtoehdoisen julkisivumateriaalin, joka voisi olla lasi. Aurinkosähköjärjestelmän toteuttaminen julkisivujärjestelmänä on investointikustannuksien kannalta edullisempi ratkaisu kuin erillisen järjestelmän toteuttaminen katolle. Koska julkisivujärjestelmä korvaa toisen julkisivumateriaalin, voidaan investointilaskelmaa tehdessä määrittää aurinkosähköjärjestelmän investointikustannukseksi ainoastaan lisäkustannus muun julkisivumateriaalin suhteen. On arvioitu, että lasijulkisivun hinta voi olla 55 % aurinkopaneeliston hinnasta [8]. Siinä tapauksessa paneeliston lisäkustannus olisi vain 45 % paneeliston kokonaishinnasta. Tätä arviota tullaan käyttämään Avia Towerin aurinkosähköjärjestelmän elinkaarikustannuslaskelmissa.

Aurinkosähköjärjestelmät soveltuvat hyvin toimistorakennuksiin siitäkin syystä, että toimistorakennuksen sähkönkulutuksen käyrämuoto on samanlainen kuin aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotannon käyrämuoto (vrt. Kuva 16 ja Kuva 29). Tästä johtuen toimistorakennuksessa aurinkopaneeleilla tuotettu sähkö leikkaa rakennuksen huippukulutuksia. Sähköyhtiöt veloittavat huippukulutuksen mukaan tietyn kuukausimaksun, joten huippukulutuksen leikkaamisella on taloudellista merkitystä.



Kuva 16. Toimistorakennuksen tyyppinen sähkön tarve kesällä Englannissa [5].

3.2 Toteutettuja aurinkosähköjärjestelmiä

Esimerkkejä julkisivuihin integroiduista aurinkosähköjärjestelmistä löytyy Euroopasta useita. Tässä kappaleessa esitetään muutamia suurimpia järjestelmiä Suomesta ja muualta Euroopasta. Kaikki mainitut esimerkit ovat verkkoon kytkettyjä aurinkosähköjärjestelmiä.

Englannissa Manchesterin kaupungista löytyy julkisivujärjestelmä, joka on aivan omaa luokkaansa (ks. Kuva 17). Rakennuksen nimi on CIS Solar Tower. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelijana ja toimittajana toimi Solarcentury ja paneelit olivat Sharpin valmistamia. Tämä toimistotorni on 120m korkea ja kolmea julkisivua paneloitiin aurinkokennoilla. Tämän aurinkosähköjärjestelmän paneeliston koko on 4000 m², mihin tarvittiin yli 7000 paneelia. Järjestelmän nimellisteho on 391 kW ja se tuottaa vuodessa 183 MWh sähköenergiaa. Hanke valmistui keväällä 2006 ja sen hinnaksi tuli 5,5 miljoona puntaa, johon saatiin noin 1,1 miljoonan verran avustuksia. Tämän hankkeen innoittamana Manchester College of Arts and Technology tilasi aurinkosähköjärjestelmän, jonka huipputeho on 68 kW. (ks. Kuva 19).

Saksan Freiburgista löytyy Solar Tower-niminen rakennus, jossa osa 90m korkeasta julkisivusta on paneloitu aurinkokennoilla (ks. Kuva 22). Tämä järjestelmä valmistui vuonna 1999, sen nimellisteho on 34 kW ja se tuottaa vuodessa 24 MWh sähköenergiaa. Tämän toimistotornin aurinkopaneelisto on 327 m² suuruinen ja sen toteuttamiseen tarvittiin 246 aurinkopaneelia.

Helsingissä NCC:n pääkonttorin kattoon on asennettu 139 m² suuruinen aurinkosähköjärjestelmä, jonka nimellisteho on 16,5 kW (ks. Kuvat 24 ja 26). Lisäksi itäisellä julkisivulla on asennettu 8 m² aurinkokennoja ikkunoihin integroituina (ks. Kuva 25). Ikkunoiden kahden lasipinnan väliin on asennettu kennot siten, että joka kennot ovat hieman erillään toisistaan. Ikkunat läpäisevät siis valoa kennoista huolimatta. Ikkunoiden aurinkokennojen nimellisteho on 0,8 kW. Ikkunoiden aurinkokennot ja katon paneelit tuottavat yhteensä 15 MWh sähköenergiaa vuodessa. Järjestelmän toimitti ja asensi Naps Systems Oy. Hanke oli osaa Euroopan unionin PV-Nord-hanketta, joka tuki vuosina 2002-2004 muutamia aurinkosähköhankkeita Pohjoismaissa.

PV-Nord-hankkeessa oli mukana Helsingin Viikissä sijaitsevan asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmä (ks. Kuva 18). Parvekekaiteisiin integroitiin aurinkokennot ja järjestelmän nimellistehoksi saatiin 24 kW. Kennot ovat hieman erillään toisistaan, jolloin osa auringon valosta läpäisee parvekekaiteen ja valaisee asukkaan parveketta. Aurinkosähköjärjestelmä tuottaa vuodessa 18 MWh sähköenergiaa. Tässä järjestelmässä osa tuotetusta sähköstä syötetään sähköjakeluverkkoon.

Toistaiseksi Suomen suurin aurinkosähköjärjestelmä sijaitsee Tampereella. Lielahden Citymarketin katolle asennetun järjestelmän nimellisteho on 39 kW ja se valmistui vuonna 2000 (ks. Kuva 17).

Kuvassa 20 on Espoon Otaniemessä sijaitsevan Teknillisen Korkeakoulun sähkötalon aurinkosähköjärjestelmä. Tämän järjestelmän nimellisteho on 6 kW ja sen toimitti Naps Systems Oy. Paneelit on asennettu julkisivulle ja ne on kallistettu. Näin paneelit vähentävät rakennukseen tulevan auringon lämpökuormaa.

Kuvassa 23 on Casablancan lentokentän aurinkosähköjärjestelmä. Tässäkin järjestelmässä lasipintoihin integroitiin aurinkokennot niin, että osa auringon valosta läpäisee ikkunan. Nimellisteho on 71 kW ja järjestelmän toimittaja oli Naps Systems Oy.



Kuva 17. Manchesterin CIS Solar Tower.



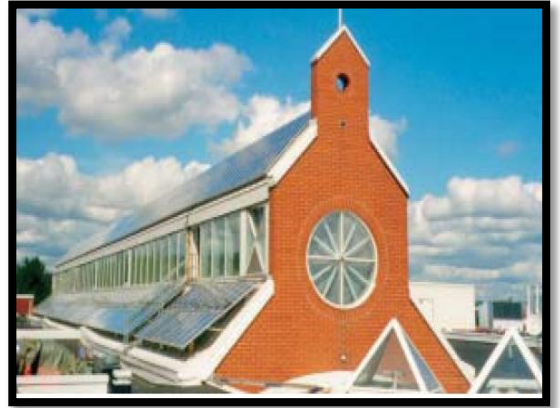
Kuva 18. Helsingin Viikissä sijaitsevan asuinrakennuksen parvekkeitaisiin integroidut kennot. [8]



Kuva 19. Manchesterin College of Arts & Technology. [16]



Kuva 20. Otaniemessä Teknillisen Korkeakoulun sähkötalon aurinkosähköjärjestelmä. [8]



Kuva 21. Lielahden Marketin katolle integroitu järjestelmä. [17]



Kuva 22. Saksan Freiburgin Solar Tower. [18]



Kuva 23. Casablancan lentokentällä lasipintoihin integroidut kennot. [19]



Kuva 24. NCC:n Helsingin pääkonttori. [20]



Kuva 25. NCC:n pääkonttorin lasisiin integroidut aurinkokennot. [20]



Kuva 26. NCC:n pääkonttorin katolle asennetut aurinkopaneelit. [20]

3.3 Aurinkosähköjärjestelmät tasasähkölähteinä

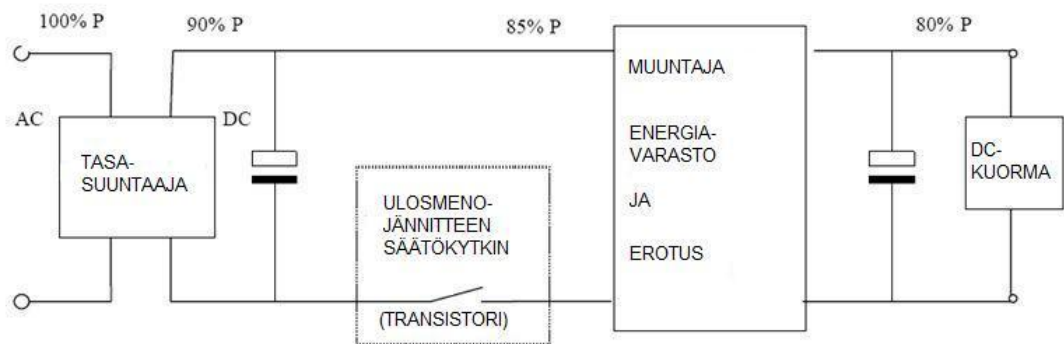
Aurinkopaneelit tuottavat tasasähköä. Toimistorakennuksen sähkölaitteista suuri osa toimii tasasähköllä, esimerkkinä kannettavat tietokoneet. Näissä laitteissa verkosta saatava vaihtosähkö joudutaan tasasuuntaamaan. Tässä kappaleessa esitellään ja verrataan prosessia, jossa aurinkopaneelien tuottamaa tasasähköä kulutetaan vaihtosuuntauksen kautta, ja prosessia, jossa aurinkopaneelien tuottamaa tasasähköä kulutetaan suoraan tasasähkökuormissa.

3.3.1 Tasasähkön tuottaminen vaihtosuuntauksen kautta

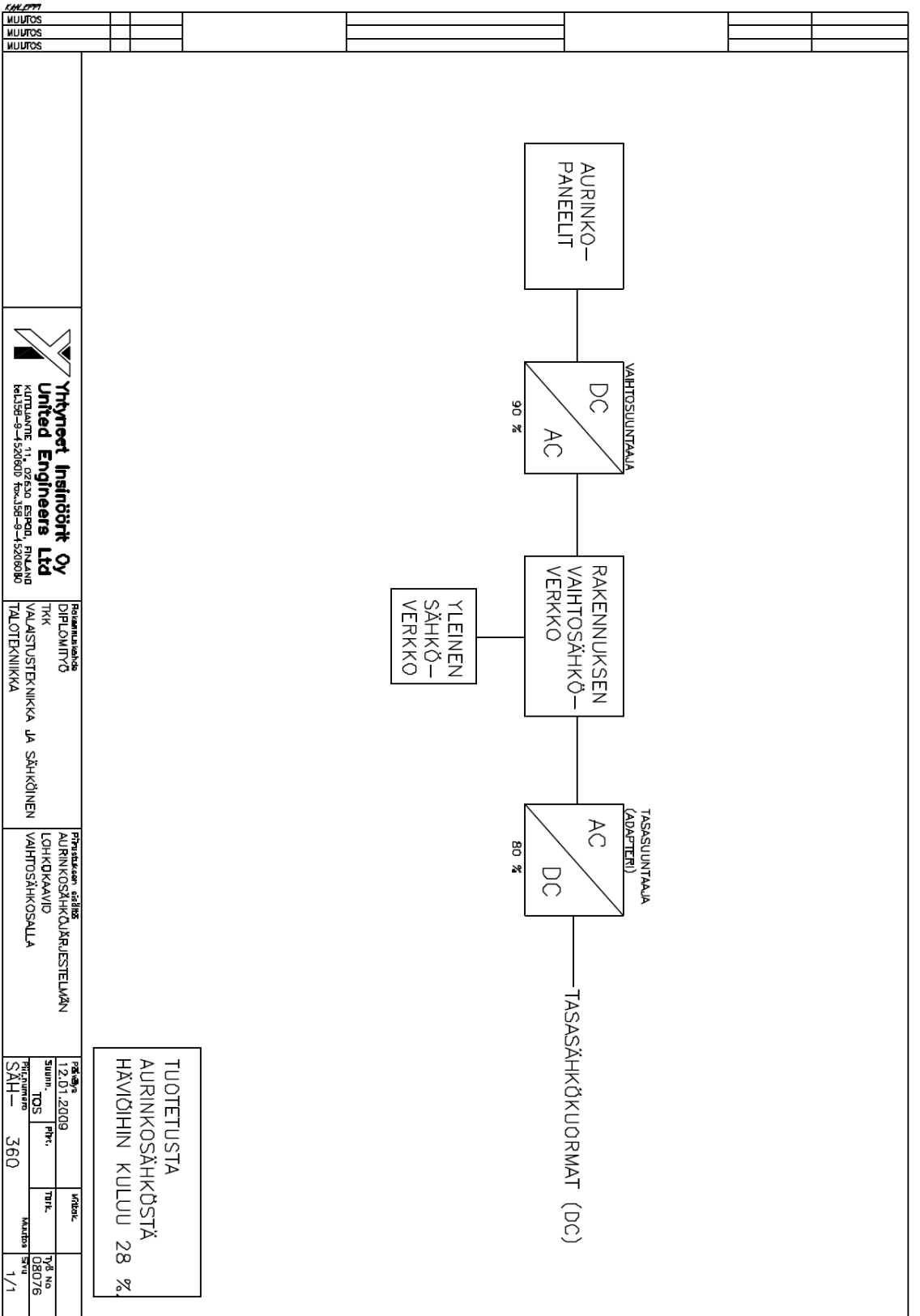
Kun toimistorakennuksiin integroidaan aurinkosähköjärjestelmä, syötetään tuotettu tasavirta vaihtosuuntaajiin. Vaihtosuuntaajissa tasasähkö muutetaan yleiseen verkkoon soveltuvaksi vaihtosähköksi ja tämä vaihtosähkö syötetään rakennuksen sähköverkkoon. Vaihtosuuntaajien hyötysuhteen arvioidaan olevan 90 %.

Tasasähköllä toimivista sähkölaitteista löytyy tasasuuntaaja eli verkkoadapteri, joka suuntaa verkosta saatavan vaihtosähkön laitteelle sopivaksi tasasähköksi. Esimerkiksi kannettavan tietokoneen ja muiden laitteiden verkkoadapterit saattavat käytössä lämmitä huomattavasti. Tällainen lämpeneminen aiheuttaa tehohäviöitä ja lämpökuormia.

Vanhat adapterit saattavat pahimmillaan tuottaa 60 % tehohäviöitä. Nykyään kuitenkin teholelektronikka on kehittynyt ja pystytään toteuttamaan hyvinkin vähän häviöitä tuottavia tasasuuntaajia. Usein tasasuuntaaminen toteutetaan hakkuriteholähteillä, joiden avulla voidaan saavuttaa yli 90 % hyötysuhteita. Hakkuriteholähde sisältää tasasähkökatkojan jonka eteen on kytketty tasasuuntaaja. Kuva 27 on esitetty hakkuriteholähteen (Switch Mode Power Supply) lohkokaavio. Lohkokaaavion hakkuriteholähteen hyötysuhde on 80% [5]. Aurinkopaneelien tasasähkön vaihtosuuntausprosessin hyötysuhde on 90 % ja vaihtosuunnatun aurinkosähkön tasasuuntausprosessin hyötysuhde on 80 %, jolloin koko prosessin hyötysuhde on 78 %. Toisin sanoen aurinkosähköjärjestelmän aurinkopaneelien tuottamalle tasasähkölähteelle aiheutuu häviöitä 28 %, kun se vaihtosuunnataan vaihtosuuntaajassa ja tasasuunnataan hakkuriteholähteessä (ks. Kuva 28).



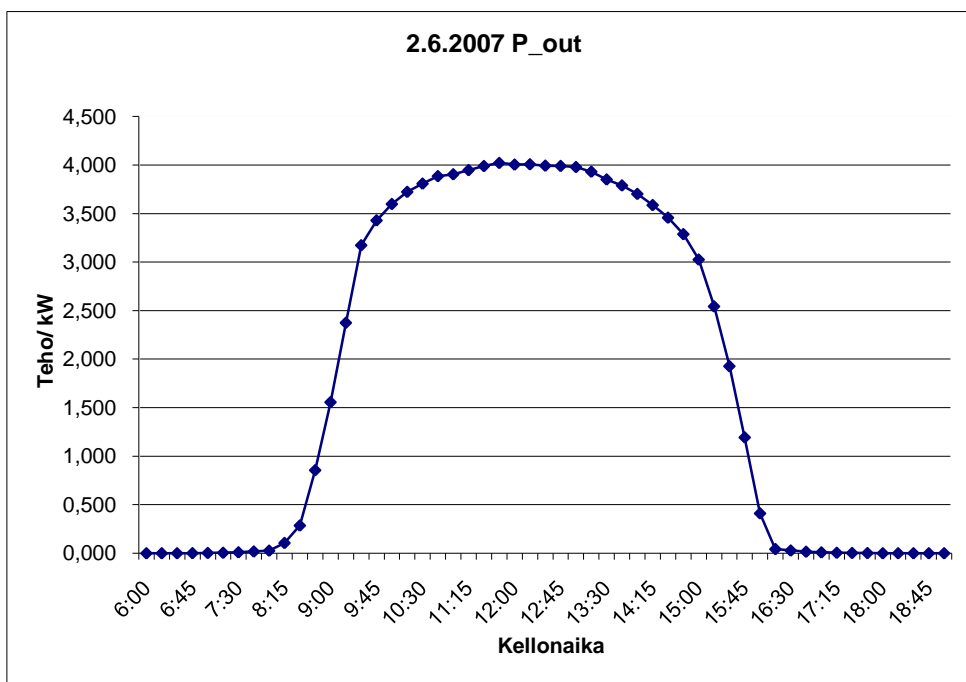
Kuva 27. Hakkuriteholähteen yksinkertainen lohkokaavio ja tehohäviöt. [5]



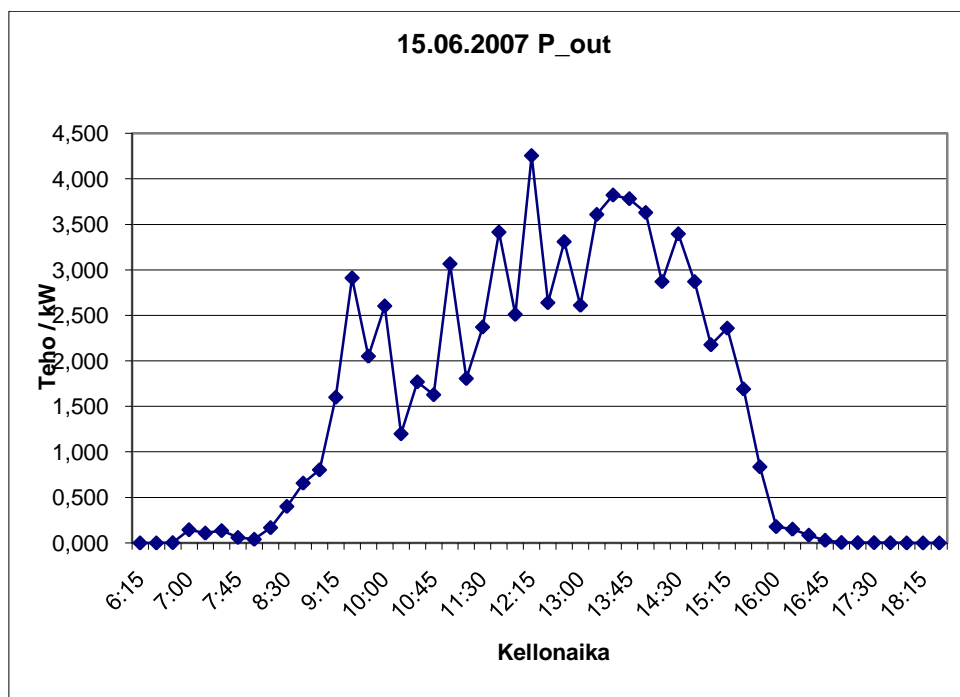
Kuva 28. Vaihtosuuntaajalla varustetun aurinkosähköjärjestelmän lohkokaavio.

3.3.2 Aurinkosähköjärjestelmien tuottaman tasavirran suora käyttö

Aurinkosähköjärjestelmä tuottama sähköteho ei ole ajallisesti vakio. Järjestelmät tuottavat huipputehon keskipäivän aikaan. Kuva 29 esittää Otaniemessä Valotalon julkisivulla olevasta aurinkosähköjärjestelmästä yhden kirkkaan päivän aikana saatavaa sähkötehoa. Puolipilvisinä päivinä sähköteho vaihtelee hyvinkin paljon (ks. Kuva 30).



Kuva 29. Otaniemen Valotalon aurinkosähköjärjestelmän sähkötehon tuotto kirkkaana päivänä.

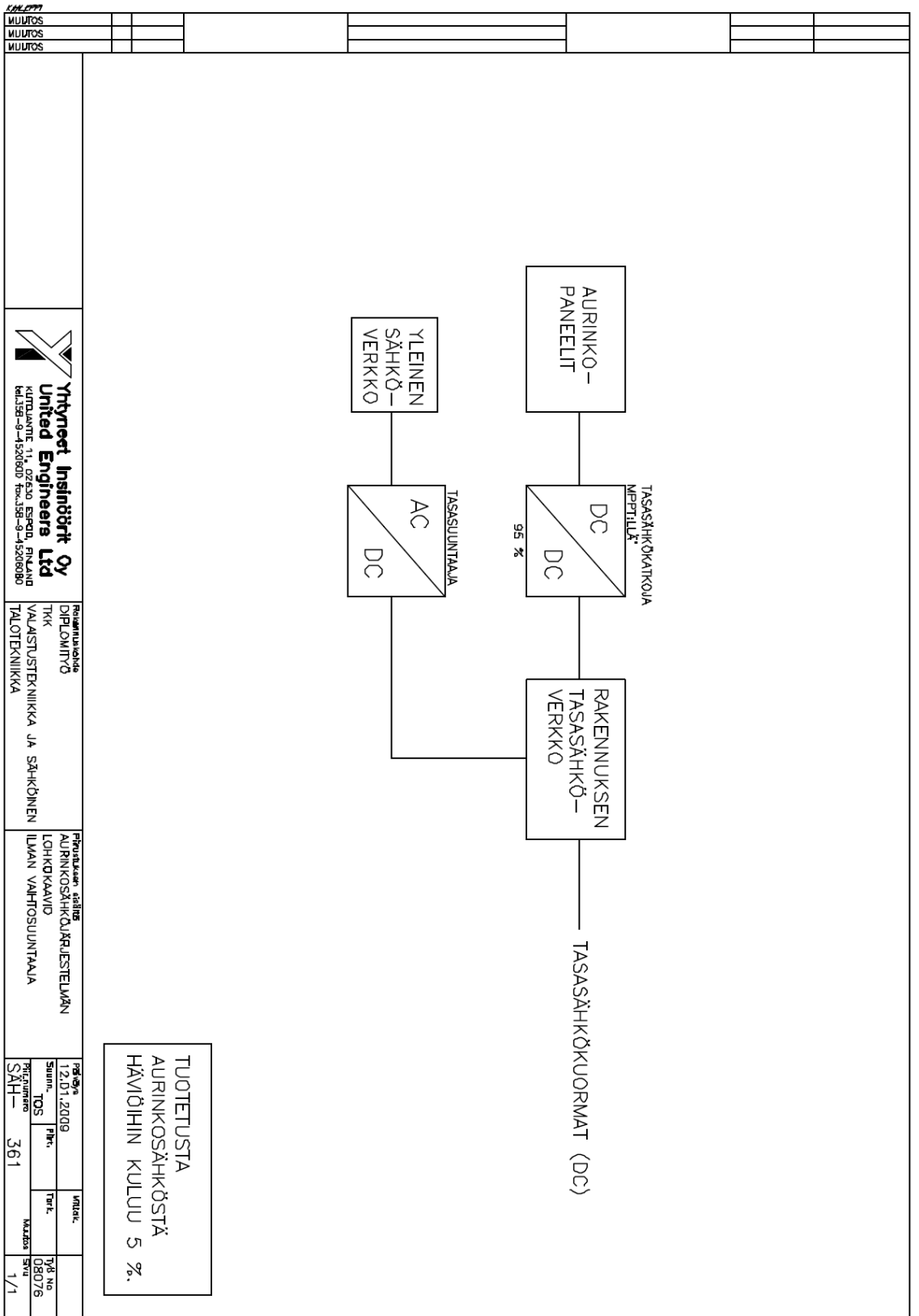


Kuva 30. Otaniemen Valotalon aurinkosähköjärjestelmän sähkötehon puolipilvisenä päivänä.

Ajallisen vaihtelun takia aurinkopaneeleista saatava sähkö ei kelpaa yleensä sellaisenaan käyttöön. Aurinkosähköjärjestelmien tuottamaa tasavirtaa voidaan hyödyntää jos käytössä on sähkötehon varastointia tai ylimääräinen sähkötehon lähde, josta saadaan tarvittava sähköteho kompensoimaan aurinkosäteilyn aiheuttamia vaihteluja.

Akkuja käytetään sähkötehon varastoimiseen ja niitä käytetään järjestelmissä, jossa yleinen sähköverkko ei ole käytettävissä. Näitä kutsutaan itsenäisiksi järjestelmiksi (eng. stand-alone system). Esimerkiksi lomamökeissä saatetaan käyttää itsenäisiä aurinkosähköjärjestelmiä, jossa aurinkopaneelilla ladatuista akuista saadaan mökin sähkön tarve. Akut heikentävät aurinkosähköjärjestelmän kokonaishyötysuhdetta, vaativat huoltoa ja ovat ongelmajätettä. Tämän takia akkujen käyttöä pyritään välttämään.

Yleisen sähköverkon rinnalle asennettuja aurinkosähköjärjestelmiä kutsutaan verkkoonkytketyiksi järjestelmiksi (eng. grid-connected system). Tällöin aurinkosähköjärjestelmä toimii ylimääräisenä tehonsyöttöjärjestelmänä yleisen sähköverkon rinnalla, mikä vähentää tarvetta ostaa sähköä yleisestä sähköverkosta. Tuotettu tasasähkötehon vaihtelu pystytään kompensoimaan yleisestä sähköverkosta saatavalla sähköteholla. Kuitenkin yleinen sähköverkko tarjoaa vaihtosähköä ja siksi aurinkosähköjärjestelmän tuottaman tasasähkön vaihtelun kompensoimiseksi tarvitaan tasasuuntaajaa tasasähköverkon ja yleisen sähköverkon välille. Tasasähköverkon ja aurinkopaneelien tasasähkön välille taas tarvitaan tasasähkökatkoja, joka säättää tasasähkön tasasähköverkon jännite- tai virtatasoon. Toisaalta, koska halutaan käyttää kaikki aurinkosähköjärjestelmänstä saatava sähköteho olisiärkevä käyttää MPPT-laitetta (ks. kohta 2.4), joka on jo itsessään tasasähkökatkoja. MPPT-laitteen hyötysuhde on parempi kuin vaihtosuuntaajan hyötysuhde ja sen arvioidaan olevan 95 %. Tällaisen hybridijärjestelmän aurinkopaneelien tuottamaan tasasähkötehoon aiheutuva häviö tasasähkökuormalle asti on ainoastaan 5 % (ks. Kuva 31).



Kuva 31. Tasasuuntaajalla varustetun aurinkosähköjärjestelmän lohkokaavio.

KALOT
MUUT
MUUT
MUUT


Yhtyneet Insinöörit Oy
United Engineers Ltd
 KUMMUKATU 11, 07200 ESPOO, FINLAND
 tel.138-9-4520600 fax.138-9-4520600

Rekrytointilupa
 DIPLOMITTYÖ
 TKK
 VALAISTUSTEKNIikka JA SÄHKÖINEN
 TALOTEKNIikka

Projektiin kuuluu
 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN
 LOHKOKAAVIO
 ILMAN VAHTOSUUNTAAJA

Proj. nro	12.01.2009	Urak.	
Siuna.	TOS	Ter.	
Projektin nro		Määrä	
SÄH-	361	Siv	1/1

3.4 Toimistovalaistuksen sähkökuorma ja sen soveltuvuus aurinkosähkön kuormaksi

Toimistorakennuksessa valaistukseen tarvittava hetkellinen sähköteho on ennustettavissa ja sen päivänaiainen vaihtelu riippuu käytössä olevasta ohjausjärjestelmästä. Ilman säätöä toteutetun valaistusjärjestelmä sähkökuorma on samantyyppinen kuin toimistorakennuksen koko sähkökuorma. Toisin sanoen aamulla sähkönkulutus kasvaa, lounasaikaan kulutus notkahtaa, jonka jälkeen saavutetaan taas kulutuspiikki ja iltaa kohden kulutus pienenee. Kehittyneet valaistuksen ohjausjärjestelmät voivat vähentää huomattavasti valaistuksen kuluttamaa sähköenergiaa hyödyntämällä päivänvaloa ja valaisemalla ainoastaan ne alueet, joissa ihmisiä on. Säädettävyyden pienentää sähkönkulutusta varsinkin kesällä päiväsaikaan päivänvalon saatavuudesta riippuen.

Valaistuksen tarvitsema sähköteho olisi mahdollista syöttää myös tasasähköllä. Useimmat loistevalaisinten liitäntälaitteet toimivat 180-270 V tasajännitteellä. Lisäksi LEDit toimivat tasasähköllä ja ne voisivat soveltua aurinkosähköjärjestelmän tasasähkökuormaksi. Mikäli toimistorakennuksessa olisi aurinkosähköjärjestelmä, voitaisiin valaistukselle kehittää oma tasasähköverkko. Tällöin säästettäisiin sähkön muokkaamisesta aiheutuvia häviöitä. Tasasähköverkon käyttöönotto toimiston yleistä käyttöä varten olisi hankalaa ja siihen soveltuvien laitteiden hankinta on kallista. Valaistusjärjestelmän etuna on, että se voidaan suunnitella etukäteen toimimaan erillisen suljetun tasasähköverkon osana yleisen vaihtosähköverkon rinnalla. Tähän tasasähköverkkoon voidaan liittää muitakin laitteita, jotka käyttävät tasasähköä. Esimerkiksi valaistuksen ohjausjärjestelmän laitteet ja tasasähkömoottorit voitaisiin liittää tasasähköverkkoon.

Aurinkosähköjärjestelmät eivät ole staattisia tasasähkölähteitä vaan hyvinkin dynaamisia. Aurinkosähköjärjestelmien yhteydessä ei haluta tilannetta, jossa aurinkosähkön tarjonta ylittäisi kysynnän. Tähän päästään ainoastaan varmistumalla, että sähkönkysyntä ylittää jatkuvasti aurinkosähkön tarjonnan. Loput kuorman tarvitsemasta sähkötehosta on otettava jostain muualta. Kuva 31 esittää ratkaisun tähän ongelmaan. Kysynnän ylittäessä aurinkosähköjärjestelmän tuottaman sähkötehon, otetaan puuttuva sähköteho yleisestä verkosta keskitetyn tasasuuntaajan kautta.

3.5 Yhteenveto

Rakennuksiin integroidut aurinkosähköjärjestelmät eli BIPV (Building Integrated Photovoltaic) ei ole mitään uutta teknologiaa. Tällaisia järjestelmiä on toteutettu ja ne antavat toimistorakennuksille lisäarvoa ja jokaisen uudisrakennuksen suunnittelun alkuvaiheessa tulisi harkita, voidaanko rakennukseen integroida sähköä tuottavia paneeleja.

Syötettäessä tuotettua aurinkosähköä suoraan rakennuksen tasasähköverkkoon ovat aurinkosähköön kohdistuvat häviöt 5 %. Syötettäessä tuotettua aurinkosähköä vaihtosähköverkkoon, aurinkosähköön kohdistuvat tehohäviöt voivat olla jopa 28 %. Tämän valossa tasasähköverkon toteuttaminen vaikuttaa järkevältä. Tasasähköverkko vaatii toimiakseen tarkoituksenmukaisella tavalla sähköenergian varastointia tai aurinkosähkösyötön rinnalle kompensoivaa tasasähkösyöttöä yleisestä vaihtosähköverkosta.

Valaistus on hyvä vaihtoehto tasasähköverkon kuormaksi. Oikein valituilla LED- tai loistelamppuvalaisimilla valaistusjärjestelmä voidaan liittää suoraan tasasähköverkkoon. Tasasähköverkon kuormaksi on mahdollista liittää muitakin tasasähköä käyttäviä laitteita, mutta etukäteen tarkasti määritelty suljettu tasasähköjärjestelmä on järkevämpää kuin tasasähkön tarjoaminen vapaasti käytettäväksi esimerkiksi pistorasioiden kautta. Tämänkin takia rakennuksen valaistusjärjestelmä olisi hyvä tasasähköverkon kuorma.

4 LED-valaistus

4.1 LED valonlähteenä

LEDit ovat suurena puheenaiheena valaistusalalla niiden kasvavan valotehokkuuden, pitkän käyttöiän ja pienen kokonsa takia. Toimistovalaistuksessa pitkä käyttöikä ja valotehokkuus ovat tärkeitä ominaisuuksia, mutta niiden lisäksi valonlähteeltä vaaditaan hyvää värintoistoindeksiä ja sopivaa värilämpötilaa.

4.1.1 LEDin toimintaperiaate ja käyttö aurinkosähköjärjestelmissä

LED on valonlähteenä täysin erilainen verrattuna tällä hetkellä yleisessä käytössä oleviin valonlähteisiin. LED on puolijohdekomponentti. Kun LEDille syötetään virtaa pn-liitoksen positiiviselle elektrodille, virtaa kuljettavat elektrodit ja elektroniaukot kohtaavat liitoskohdassa. Liitoskohdassa tapahtuva rekombinoituminen aiheuttaa fotoniemission eli valoa. Periaate on sama kuin aurinkokennoille, mutta päinvastainen. Valoa tuotetaan ja sähköä kulutetaan. Tuotetun valon aallonpituuksia voidaan säätää pn-liitoksen materiaalivalinnoilla. Siksi LEDejä pystytään valmistamaan IR-, UV-säteilijöiksi tai tuottamaan näkyvää valoa eri väreissä.

Aurinkokenno tuottaa tasavirtaa kun auringonsäde saapuu paneelin pinnalle. LED-siru tuottaa valoa, kun siihen syötetään tasavirtaa. Siksi yleiseen sähköverkkoon kytkettävissä LED-valaisimissa tarvitaan tasavirtalähde valaisimessa integroituna tai erillisenä liitäntälaitteena. Tasasähköverkossa liitäntälaitetta ei välttämättä tarvita.

Aurinkosähköjärjestelmän tuottama tasasähkö voidaan hyödyntää ilman turhia vaihto- ja tasasuuntauksia LED-valaistuksessa. Toimistovalaistuksessa on kuitenkin tärkeää, että valaisimen tuottama valovirta ei vaihtele häiritsevästi. Siksi on huomioitavaa, että LEDien tuottama valovirta muuttuu syötetyn virran muuttuessa. Suunniteltaessa LED-tasasähköverkkoa on huolehdittava siitä, että syötetty virta on vakio. Jos tasasähköverkon jännite ja virta muuttuvat, toimistotilojen käyttäjät saattavat havaita sen häiritsevänä valovirran vaihteluna. Tämän välttämiseksi voidaan käyttää tasasähköverkkoon kytkettäviä tasavirtalähteitä, jotka syöttävät tietynsuuruista virtaa valaisimille. Lisäksi tasavirtalähteen hankinta on perusteltua, kun halutaan säätää valaistustasoa.

LEDien valovirtaa pystytään säätämään jatkuvan virran säädöllä tai pulssinleveysmodulaatiolla, jota kutsutaan PWM-säädöksi (Pulse Width Modulation). Virran säädön ongelmana on se, että LEDin tuottaman valon väri on usein riippuvainen virran arvosta varsinkin pienillä virran arvoilla. Pulssinleveysmodulaatiossa LEDille syötettävää tasavirtaa kytketään päälle ja pois tietyllä suhteella ja niin suurella taajuudella ettei ihmissilmä sitä havaitse. Vaikka käytännössä LED vilkkuu, niin ihmissilmä havaitsee tuotetun valovirran ajallisen keskiarvon. PWM-säädössä valon väri muuttuu jatkuvan virran säätöä vähemmän. Jatkuva virran säätö on paljon yksinkertaisempi ja halvempi tekniikka säätää LEDien valovirtaa. [21]

4.1.2 LEDin valo- ja sähkötekniset ominaisuudet

Pieni koko antaa valaisin- ja valaistussuunnittelijoille mahdollisuuden kehittää täysin uudentyyppistä valaistusta. Monet valaisinvalmistajat ovat jo tuoneet markkinoille hehkulamppujen, halogeenilamppujen ja loistelamppujen näköisiä LED-lamppuja, joilla voidaan korvata nykyisiä valonlähteitä. Koska kysymyksessä on aivan uudenlainen valonlähde, LED-valaisimien suunnittelussa on myös mahdollista käyttää uudenlaista

ajattelutapaa. Pieni koko mahdollistaa energiatehokkaiden kohdevalaisinten valmistamisen, jolloin valoa saadaan entistä paremmin sinne minne sitä tarvitaan.

Pitkä käyttöikä tekee LED-valonlähteestä elinkaarikustannuksiltaan kilpailukykyisen verrattuna nykyisin käytössä oleviin valonlähteisiin. LEDien käyttöikästä on liikkunut epätasua tietoa. Siksi on ymmärrettävä ero LEDin käyttöikä ja LEDin eliniän välillä. Esimerkiksi hehkulamppujen kohdalla käyttöikä ja polttoikä tarkoittavat samaa asiaa, sillä hehkulamppu käytetään siihen asti kun se hajoaa. LEDit eivät lakkaa toimimasta, vaan niiden valovirta alenee ajan mittaan. LEDien yhteydessä on siksi turha puhua eliniästä, joka voi olla yli 100 000 tuntia. Käyttöikä on kuvaavampi termi, sillä se kertoo missä ajassa LEDin valovirta on 50 - 70 % tasolla alkuperäisestä valovirrasta. LED-valaisinta suunniteltaessa onkin huomioitavaa muiden valaisinosien eliniät, sillä ne voivat helposti olla LEDin käyttöikä lyhyemmät. Tällä hetkellä markkinoilla olevien LED-valonlähteiden käyttöikä on useimmiten luvattu 50 000 tuntia, johon mennessä valonlähteen valovirta on 70 %:n tasolla alkuperäisestä valovirrasta. [21]

Valotehokkuus on arvo, joka kertoo kuinka paljon valovirtaa tuotetaan kulutetun sähkötehon suhteessa. LEDien valotehokkuus on kehittynyt huimaa vauhtia viime vuosien aikana ja kehitty edelleen. Vuonna 2007 monet valmistajat toivat markkinoille valkoista valoa tuottavia LED-siruja, joiden valotehokkuus oli yli 100 lm/W. [21] Vuonna 2009 markkinoilla olevissa valkoisissa LEDeissä valotehokkuus on edelleen vain hieman yli 100 lm/W. Eräs valmistaja on asettanut tavoitteekseen saavuttaa valotehokkuuden 150 lm/W vuoteen 2012 mennessä. [22]

Kun loistelampun valotehokkuus verrataan LED-lampun valotehokkuuteen, on pidettävä mielessä valonlähteiden eri luonne. Loistelamput tuottavat valoa koko ympäristöönsä, jolloin osa valosta joudutaan heijastamaan optiikan avulla. LEDit sen sijaan emittoivat valoa vain tiettyyn suuntaan. Näin ollen loistelamppuvalaisimien hyötysuhde on useimmiten huonompi kuin samantyyppisen LED-valaisimien hyötysuhde.

4.1.3 Valkoinen LED

Valkoista valoa emittoiva LED voidaan valmistaa kahdella eri menetelmällä. Yksi tapa on monivärimenetelmä, jolla valkoinen valo tuotetaan sekoittamalla yhteen usean erivärisen LEDin tuottamaa valoa. Yleisimmin käytetään punaisen, vihreän ja sinisen valon yhdistelmää. Tähän periaatteeseen perustuvat RGB-LEDit. Käytettäessä RGB-LEDien kanssa sopivaa ohjausta, voidaan samalla valonlähteellä tuottaa miljoonia eri värejä. RGB-LEDien haittana on huono värintoistoindeksi. Lisäksi LEDin tuottaman valon väri muuttuu ajan ja lämpötilan muuttuessa. Näitä haittoja ei voida hyväksyä toimistojen sisävalaistuksessa, mutta RGB-LEDit antavat paljon mahdollisuuksia julkisivuvalaistuksien suunnittelijoille. [21]

Toinen tapa tuottaa valkoista valoa on päällystää yhdellä tai useammalla fosforilla sinistä valoa tai ultraviolettia valoa tuottava LED-siru. Menetelmä muistuttaa loistelamppujen käyttämää teknologiaa. Sinisen LEDin kanssa käytetään keltaista ja punaista fosforia eikä tuotettu valo sisällä UV-säteilyä. Osa sinisen LED-sirun tuottamasta sinisestä valosta läpäisee fosforikerroksen ja siksi tuotetun valon värilämpötila on korkea. Keltainen ja punainen fosfori pienentävät värilämpötilaa ja parantavat värintoistoindeksiä. Ultraviolettia valoa tuottava LED-siru päällystetään monella erivärisellä fosforilla, jolloin värilämpötilaa ja värintoistoindeksiä saadaan säädettyä entistä tarkemmin ja vapaammin. Fosforikerrokset heikentävät LEDin valotehokkuutta verrattuna RGB-LEDeihin, mutta tällä hetkellä ainoastaan

fosforikerrosten avulla pystytään tuottamaan valkoista valoa, joka soveltuu laadultaan toimistojen sisävalaistukseen. [21]

4.1.4 LED-lamppu

Monet valmistajat ovat tuoneet markkinoille LED-lamppuja, jotka voidaan asentaa nykyisiin valaisimiin nykyisten valonlähteiden tilalle. Kuva 32 ja Kuva 33 esittävät kahden eri valmistajan LED-lamppua, jotka voidaan asentaa E27-kantaan. Markkinoilta löytyy myös loistelamppujen tilalle asennettavia LED-lamppuja. LED-lampuissa on sisäänrakennettuna liitäntälaitte, jolla verkkovirta muutetaan LEDille sopivaksi tasavirraksi. LED-lampun valonjako ei välttämättä vastaa alkuperäisen valonlähteen valonjakoa, johon valaisin oli suunniteltu. Siksi vaihtamalla nykyinen valonlähde LED-lamppuun, valaisimen valaistusominaisuudet saattavat poiketa alkuperäisestä.



Kuva 32. Philipsin eräs LED-lamppu.



Kuva 33. Osramin eräs LED-lamppu.

4.1.5 Huomioon otettavaa LEDeistä

LEDin säteilemä valo ei sisällä lämpösäteilyä eli se ei lämmitä valaistavaa kohdetta. Toimistorakennuksissa tämä merkitsee vähemmän lämpökuormaa eli pienempiä jäähdytyskustannuksia. Toisaalta on muistettava, että LED-komponentit ja liitäntälaitteet lämpenevät ja aiheuttavat oman lämpökuorman rakennukseen.

LEDeillä on myös heikot puolensa. Yksi suurimmista on elektroniikan jäähdyttäminen. Palaessa LED-komponentin kanta lämpenee voimakkaasti ja lämpö on haitaksi LEDin käyttöille ja valontuotolle. Valmistajat antavat LEDeille maksimilämpötilat, joiden ylittyessä valonlähteen käyttöikä laskee huomattavasti. Valontuottoakin heikkenee kun puolijohdekomponenttien lämpötila nousee. Mitä tiheämmin LEDit ovat valaisimessa, sitä enemmän tarvitaan jäähdytystä. Useimmiten LED-valaisimissa tarvitaan erillisiä jäähdytyskomponentteja esimerkiksi alumiinisia jäähdytysripoja ja tällöin on huolehdittava, että ripojen ympäristön lämpötila on pysyvä hallinnassa.

LEDien laadussa on valtavia eroja, mikä on tahrannut niiden mainetta. Siksi on tärkeää hankkia laadukkaita LEDejä luotettavilta valmistajilta. Koska LED-valaisin on valmis kokonaisuus, LEDin käyttöikä päättyttyä koko valaisin joudutaan vaihtamaan. Hankittaessa LED-valaisin on tärkeää laskea elinkaarikustannukset ja verrata niitä vaihtoehdoisen valaisimen elinkaarikustannuksiin.

4.2 LED-valaisimet toimistoon



Markkinoille tuodaan LED-valaisimia yhä enenevässä määrin. Näistä valaisimista osa soveltuu toimistorakennusten sisävalaistukseen. On olemassa LEDeillä toteutettuja kattoon upotettavia ja pinta-asenteisia downlight-valaisimia, jotka voivat korvata perinteisiä pienloistelampuilla toteutettuja downlight-valaisimia. Työpisteiden valaistuskin pystytään toteuttamaan LED-valaisimilla. Muihinkin tiloihin on saatavilla sopivia LED-tekniikalla toteutettuja valaisimia. Voidaan siis todeta, että on mahdollista toteuttaa koko toimiston valaistus pelkästään LED-valaisimilla.


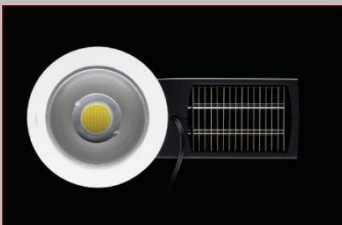
Suurin osa markkinoille tulevista valaisimista on tarkoitettu suoraan yleiseen vaihtosähköverkkoon kytkettäviksi. Tällöin liitäntälaitte on joko integroituna valaisimeen tai erillisenä. Jotkut LED-valaisimien liitäntälaitteet, niin kuin loistelamppuvalaisimienkin liitäntälaitteet, voidaan kytkeä sekä vaihtojänniteverkkoon että tasajänniteverkkoon. Tämä mahdollisuus käy harvoin ilmi valaisimien tuotekorteista tai valaisinluetteloista, joten asia on tarkistettava erikseen maahantuojalta tai valaisinvalmistajalta.



Toimiston LED-tasasähköjärjestelmän suunnittelussa halutaan käyttää LED-valaisimia, jotka voidaan kytkeä suoraan tasasähköverkkoon. Tähän voidaan päästä kolmella tavalla. Ensimmäinen vaihtoehto on käyttää valaisinta, jota voidaan syöttää sekä vaihtosähköllä että tasasähköllä. Toinen vaihtoehto on teettää räätälöity valaisin. Kolmas vaihtoehto on neuvotella LED-valaisinvalmistajan kanssa tuotannossa olevan valaisimen toimittamisesta ilman liitäntälaitetta tai tasasähköverkkoon kytkettävällä liitäntälaitteella. Esimerkiksi liitäntälaittevalmistaja Tridonic Atcon liitäntälaitteista lähes kaikkia loistelamppuvalaisimille ja LED-valaisimille tarkoitettuja liitäntälaitteita voidaan syöttää tasasähköllä.

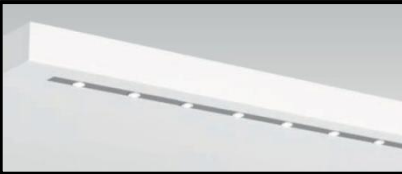

4.2.1 Markkinat


Seuraavassa esitetään markkinoilla olevia toimistorakennuksiin soveltuvia LED-sisävalaisimia. Valaisinten tiedot on kerätty valmistajien tuoteluetteloista ja Internet sivuilta. Kaikki valaisimet eivät suoraan sovellu tasasähköverkkoon kytkettäviksi, jolloin valaisinvalmistajasta riippuu suostuuko se toimittamaan valaisimen ilman liitäntälaitetta tai tasasähköverkkoon soveltuvalla liitäntälaitteella. Mallitoimiston Avia Towerin LED-tasasähköjärjestelmän suunnitelmissa tullaan käyttämään osaa näistä LED-valaisimista.



Philips Lighting, LuxSpace		BBS480 3000K	BBS480 4000K
 <p>Kuva 34 – LuxSpace</p>  <p>Kuva 35 - LuxSpace</p>	Teho	18.4 W	18.4 W
	Halkaisija	163 mm	163 mm
	Valovirta	1100 lm	1230 lm
	Valon värilämpötila	3000 K	4000 K
	Värintoistoindeksi	80	80
	Häikäisyarvo UGR	≤ 21	≤ 21
	Valaisimen hyötysuhde	92,5 %	92,5 %
	Valaisimen valotehokkuus	59,8 lm/W	66,8 lm/W
	Liitännälaite AC & DC	Ei	Ei
	Liitännälaite erillisenä	Kyllä	Kyllä
Käyttöikä (70% alenema)	50 000 h	50 000 h	



Cooper Lighting, Axent		RXD 1 Warm White	RXD 1 Cool White
 <p>Kuva 36 - Axent RXD</p>  <p>Kuva 37 - Axent RXD</p>	Teho	25 W	25 W
	Halkaisija	120 mm	120 mm
	Valovirta valaisimesta	1430 lm	1533 lm
	Valon värilämpötila	2900 K	5000 K
	Värintoistoindeksi	80	80
	Valaisimen hyötysuhde	96 %	96 %
	Valaisimen valotehokkuus	57,2 lm/W	61,3 lm/W
	Liitännälaite AC & DC	Ei	Ei
	Liitännälaite erillisenä	Kyllä	Kyllä
	Käyttöikä	50 000 h	50 000 h


Reggiani, uniSio		uniSio 4x16 W	uniSio 16W MIRA
 <p>Kuva 38 - uniSio 4x16 W</p>  <p>Kuva 39 - uniSio 1x16 W</p>	Teho (ilman liitäntälaitetta)	64 W	16 W
	Halkaisija	195 mm	130 mm
	Valovirta valaisimesta	2496 lm	568 lm
	Valon värilämpötila	3000 K	3000 K
	Värintoistoindeksi	90	90
	Valaisimen hyötysuhde	78 %	71 %
	Valaisimen valotehokkuus	39 lm/W	35,5 lm/W
	Liitäntälaitte AC & DC	Ei	Ei
	Liitäntälaitte erillisenä	Kyllä	Kyllä
	Käyttöikä	50 000 h	50 000 h

XAL LED-profiilit		NANO 1 SPOT 18°	LED Wall- Washer
 <p>Kuva 40 - NANO 1</p>  <p>Kuva 41 - LED wallwasher</p>	Teho	11 W	27,5 W
	Pituus	600 mm	1474 mm
	Valovirta valaisimesta	907,8 lm	2550 lm (valonlähde)
	Valon värilämpötila	4000 K	4000 K
	Värintoistoindeksi	90	90
	Valaisimen hyötysuhde	89 %	Ei tiedossa
	Valaisimen valotehokkuus	82,5 lm/W	98,7 lm/W (valonlähde)
	Liitäntälaitte AC & DC	Ei liitäntälaitetta	Ei liitäntälaitetta
	Jännite	24 VDC	24 VDC
	Käyttöikä	50 000 h	50 000 h

Philips Lighting, SpotLED 3		BBG480 25°	BBG480 25°
 <p>Kuva 42 - SpotLED 3</p>	Teho	10 W	10 W
	Halkaisija	80 mm	80 mm
	Valovirta valaisimesta	430 lm	450 lm
	Valon värilämpötila	2700 K	4000 K
	Värintoistoindeksi	Ei tiedossa	Ei tiedossa
	Valaisimen hyötysuhde	81 %	91 %
	Valaisimen valotehokkuus	43 lm/W	45 lm/W
	Liitäntälaite AC & DC	Ei	Ei
	Liitäntälaite erillisenä	Kyllä	Kyllä
	Käyttöikä	50 000 h	50 000 h

Thorn Lighting, Base		BASELED UPPO	BASELED PINTA
 <p>Kuva 43 - BASE UPPO</p>  <p>Kuva 44 - BASE PINTA</p>	Teho	12 W	12 W
	Mitat	190 mm	halk. 200 mm
	Valovirta valaisimesta	650 lm	650 lm
	Valon värilämpötila	3500 K	3500 K
	Värintoistoindeksi	94	94
	Häikäisyarvo UGR	≤ 19	≤ 19
	Valaisimen hyötysuhde	90 %	90 %
	Valaisimen valotehokkuus	54,2 lm/W	54,2 lm/W
	Liitäntälaite AC & DC	Kyllä (220 VDC)	Kyllä (220 VDC)
	Liitäntälaite erillisenä	Kyllä	Kyllä
	Käyttöikä	50 000 h	50 000 h

Zumtobel		Careena 3500 K	Panos HG 150 LED
 <p>Kuva 45 – Careena</p>  <p>Kuva 46 - Panos</p>	Teho	52 W	42 W
	Mitat	600x600 mm	halk. 163 mm
	Valovirta valaisimesta	3311 lm	2000 lm
	Valon värilämpötila	3500 K	3000 K
	Värintoistoindeksi	90	90
	Häikäisyarvo UGR	≤ 18	≤ 19
	Valaisimen hyötysuhde	77 %	94 %
	Valaisimen valotehokkuus	63,7 lm/W	47,6 lm/W
	Liitäntälaite AC & DC	Ei tiedossa	Ei tiedossa
	Liitäntälaite erillisenä	Ei	Kyllä
	Käyttöikä	50 000 h	50 000 h

Zumtobel, Crayon (upotettava)		Q375 3500 K
 <p>Kuva 47 - Crayon</p>	Teho	48 W
	Halkaisija	375x375 mm
	Valovirta valaisimesta	3200 lm
	Valon värilämpötila	3500 K
	Värintoistoindeksi	92
	Häikäisyarvo UGR	≤ 19
	Valaisimen hyötysuhde	90 %
	Valaisimen valotehokkuus	66,7 lm/W
	Liitäntälaite AC & DC	Ei tiedossa
	Liitäntälaite erillisenä	Kyllä
	Käyttöikä	50 000 h

4.3 Yhteenveto

LEDit ovat pienen kokonsa, pitkän käyttöiän ja suuren valotehokkuutensa ansiosta tulossa yleisvalaistuksen suosituksi valonlähteeksi. Koska LED on uudentyyppinen valonlähde, valaistusta ja valaisimia voidaan suunnitella uusilla tavoilla. Valaisinvalmistajien on valittava laadukkaita LED-komponentteja ja huolehdittava LEDin riittävästä jäähtymisestä, jotta LED-valaisimet olisivat oikeasti pitkäikäisiä.

Toimistorakennuksiin soveltuvia LED-valaisimia löytyy muutamia vartenotettavia vaihtoehtoja. Useimmat näistä sisältävät liitäntälaitteen, joka on suunniteltu suoraan yleiseen vaihtosähköverkkoon kytkettäväksi. Tasasähköverkkoon kytkettäviä laadukkaita LED-valaisimia on hankalaa löytää. Jos tasasähköverkkoon kytkettävää valaisinta ei löydy, voidaan tilata räätälöity valaisin tai sopia valaisinvalmistajan kanssa tuotannossa olevan LED-valaisimen toimittamisesta liitäntälaitteella, jota voidaan syöttää tasasähköllä. Jos LED-valaisimen ei tarvitse olla ohjattava, voidaan valaisinvalmistajan kanssa sopia tuotannossa olevan LED-valaisimen toimittamisesta ilman liitäntälaitetta.

5 Toimiston valaistus

5.1 Valaistussuunnittelu

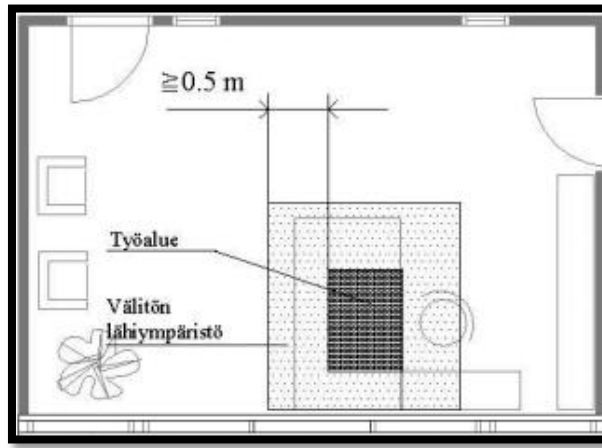
Toimistorakennusten valaistussuunnittelua ohjaa valaistusstandardi EN 12464-1 ”Lighting of indoor work places”. Tämä standardi antaa ohjearvot mm. valaistusvoimakkuudelle, kiusahäikäisyydelle, värinöistölle eri tiloille ja tehtäville. Toimistoja koskevat vaatimukset löytyvät Taulukko 2. Taulukko ei sisällä vaatimuksia pintojen luminansseille, varjon muodostukselle tai välkynnälle. Näitä valaistuksen laatuun vaikuttavia tekijöitä tulee ottaa huomioon valaistussuunnittelussa. [24]

Taulukko 2. Osa EN 12464:n valaistusvaatimuksista toimistotiloille [25].

Tila, tehtävä tai toiminta	Valaistusvoimakkuus E_m	Häikäisyarvo UGR	Värinöindeksi R_a
Arkistointi, kopiointi, jne.	300	19	80
Kirjoittaminen, konekirjoitus, lukeminen, tietojenkäsittely	500	19	80
Tekninen piirtäminen	750	16	80
CAD-työasemat	500	19	80
Neuvottelu- ja kokoushuoneet	500	19	80
Vastaanottotiski	300	22	80
Arkistot	200	25	80

5.1.1 Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus on usein lähtökohtana kun suunnitellaan toimiston valaistusta. EN 12464-1 antaa valaistusvoimakkuusvaatimukset eri tiloille ja tehtäville. Tiloissa, joissa työskennellään jatkuvasti, tulee valaistusvoimakkuuden olla joka tapauksessa vähintään 200 lx. [25]



Kuva 48. Työalueen ja välittömän lähiympäristön määrittely [26].

Lisäksi standardissa määritetään vaatimus välittömälle lähiympäristölle jotta valaistusvoimakkuus olisi riittävä tasainen. Työalue (eng. ”task area”) on se osa työskentelyalueesta, jossa varsinainen näkötehtävä suoritetaan. Välittömän lähiympäristö on työaluetta ympäröivä alue, jonka vähimmäisleveys tulee olla 0,5 m (ks. Kuva 48). Taulukko 3 esittää välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuusvaatimukset riippuen työalueen valaistusvoimakkuudesta. Tyypillisen toimistotyön tapauksessa välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus on oltava 300 lx. Työalueen valaistusvoimakkuuden tasaisuus tulee olla vähintään 0,7 ja välittömän lähiympäristö 0,5. [26]

Suosittelut valaistusvoimakkuudet ovat (yksikkönä lx): 20-30-50-75-100-150-200-300-500-750-100-1500-2000-3000-5000. Tällöin valaistusvoimakkuusportaiden välinen kerroin on noin 1,5, mikä vastaa pienintä subjektiivisesti havaittavaa eroa valaistusvoimakkuuksissa. Välittömän lähiympäristön ulkopuolella valaistusvoimakkuus voi olla yhden portaan verran pienempi kuin välittömässä lähiympäristössä eli 200 lx. Käytävälle siirryttäessä valaistusvoimakkuus voi edelleen pienentyä yhden portaan verran arvoon 150 lx. [26]

Kaikki mainitut valaistusvoimakkuudet tarkoittavat valaistusvoimakkuuden huoltoarvoa eli arvoa, joka toteutuu valaistushuoltoa suoritettaessa, jolloin lampun ikä ja valaisimen likaantuminen ovat vaikuttaneet valovirran alenemaan. [26]

Taulukko 3. Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus EN 12464 mukaisesti [25].

Työalueen valaistusvoimakkuus	Välittömän lähiympäristön valaistusvoimakkuus
yli 750 lx	500 lx
500 lx	300 lx
300 lx	200 lx
alle 200 lx	Sama kuin työalueella
Tasaisuus vähintään 0,7	Tasaisuus vähintään 0,5

5.1.2 Rakennuksen valaistuksen energiatehokkuus

Valaistussuunnittelussa on erittäin tärkeää panostaa energiatehokkuuteen. Toimistorakennuksen käyttämästä energiasta noin 30-45% kuluu valaistukseen. Valaistuksen laadusta ei tulisi kuitenkaan tinkiä energiatehokkuuden takia. Laadukas ja energiatehokas valaistus toteutetaan tarkoituksenmukaisella valaistusjärjestelmällä, valitsemalla valotehokkaita valonlähteitä ja sopiva ohjausjärjestelmä sekä hyödyntämällä mahdollisuuksien mukaan luonnonvaloa. [4]

Rakennuksen valaistuksen energiankulutus on usein ilmoitettu valaistuksen huipputeholla neliometriä kohden. Tällainen mittari ei kuitenkaan ota huomioon esimerkiksi valon säädöstä ja ohjauksesta koituvia vuotuisia energiansäästöjä. Vuonna 2007 astui voimaan standardi EN 15193-1, jossa rakennuksen valaistuksen energiatehokkuutta arvioidaan LENI-luvulla (LENI = Lighting Energy Numeric Index). Tämä luku ilmoitetaan muodossa kWh/m²,vuosi. LENI-luku ottaa huomioon tietyillä määritetyillä kertoimilla mm. läsnäolo- ja vakiovalo-ohjauksen, päivänvalon saatavuuden ja turva-valaistuksen kuluttaman energian. [4]

5.2 Valonsäätö ja valaistuksen ohjaus

Säädöllä tarkoitetaan valaistustason muuttamista eli lampun valovirran säätämistä. Ohjauksella tarkoitetaan käyttäjän toimintaa, jolla valoa säädetään tai kytketään päälle/pois. Markkinoilla on useita eri säätö- ja ohjausjärjestelmiä. Toimistoissa valonsäädölle löytyy perusteita ja niistä merkittävin on energiansäästö. Säätämällä valaistusta vakiovalo- ja läsnäoloantureilla voidaan päästä jopa 70 % energiansäästöön. Suora painikeohjaus ja ohjaimella säätö ovat nykyään yleisimmät säätötavat toimistoissa. Suorassa painikeohjauksessa impulssipainike kytketään suoraan liitäntälaitteeseen. Lyhyellä impulssilla valaisin syttyy ja sammuu ja pitkällä impulssilla valoa säädetään voimakkaammaksi tai himmennetään. Ohjaimia käytettäessä impulssin sijasta ohjain lähettää ohjaussignaalin, esimerkiksi analogisen 1-10 V signaalin tai digitaalisen signaalin. Tässäkin tapauksessa säätö tapahtuu liitäntälaitteessa, mutta ohjain voi olla monipuolisempi kuin pelkkä painike. [27][28]

Kehittyneitä ohjausjärjestelmiä ovat DALI-ohjaus ja kenttäväylään perustuva KNX-ohjaus. DALI-ohjaus on osoitteellinen digitaalinen ohjausstandardi. DALI-järjestelmässä kaikilla valaisimilla ja ohjaimilla on oma itsenäinen osoite, jolloin valaisinasennusten jälkeen tulee valaisimet ohjelmoida ryhmiin ja määrittää painikkeet ohjaamaan haluttuja ryhmiä. Ryhmät ja ohjaukset voidaan muuttaa pelkällä ohjelmoinnilla eikä johdotuksiin tarvitse tällöin koskea. DALI soveltuu ainoastaan valaistuksen ohjaukseen, kun taas KNX on avoin kenttäväylä, joilla pystytään ohjaamaan koko kiinteistön teknisiä järjestelmiä. [27][28]

6 Mallitoimisto: Avia Tower

6.1 Johdanto

Vantaalle suunnitteilla olevaan tornimaiseen toimistorakennukseen tehdään mallisuunnitelma aurinkosähköjärjestelmästä. Rakennukseen tehdään myös mallisuunnitelma LED-tasasähköjärjestelmästä. LED-tasasähköjärjestelmän tasasähkötehon lähteenä käytetään aurinkosähköjärjestelmän tasasähkötehoa. Loput LED-tasasähköjärjestelmän tarvitsemasta tasasähkötehosta otetaan yleisestä sähköverkosta muuttamalla vaihtosähkö tasasähköksi. Mallisuunnitelmien yhteydessä esitetään järjestelmien energian tuotto- ja kulutusarviot sekä kustannusarviot. Lopuksi pohditaan tämän järjestelmäkokonaisuuden hyötyjä ja haittoja.

6.2 Aurinkosähköjärjestelmä

6.2.1 Suunnitelma

Aurinkosähköjärjestelmän 1000 m² suuruinen aurinkosähköpaneelisto suunniteltiin asennettavaksi lounaiselle julkisivulle. Paneelit kiinnitetään betonijulkisivulle käyttäen tarkoitukseen soveltuvia alumiinikiskoja. Aurinkosähköpaneelit ovat monikidekennopaneeleja. Näillä paneeleilla saadaan aurinkosähköpaneeliston nimellistehoaksi 120 kW.

Paneelien väliset johdotukset jäävät rakennuksen ja paneeliston väliin piiloon. Paneelien tuottama sähköteho syötetään rakennuksen tasasähköverkkoon MPPT-laitteiden kautta. MPPT-laitteiden avulla saavutetaan maksimitehon tuotto kaikissa olosuhteissa ja tasasähköverkkoon syötetään sähköteho 220 V tasajännitteellä. Järjestelmässä on 10 MPPT-laitetta. Aurinkosähköpaneelisto jaetaan siis 10 osaan, jolloin yhden osan nimellisteho on 12 kW. Energiantuotto-arvion yhteydessä selviää yhden paneelisto-osan todellinen maksimitehon tuotto, jolla MPPT-laite mitoitetetaan.

6.2.2 Energiantuotto-arvio

Rakennus kohoaa korkeana tornina muiden rakennusten yläpuolelle, joten esteiden aiheuttamia varjoja ei tarvitse ottaa huomioon. Maksimitehon tuoton määrittämiseksi ja vuotuisen energian tuoton arvioimiseksi käytetään selainpohjaista laskentaohjelmaa PVGIS [7]. Laskentaohjelmaan on määritettävä aurinkosähköjärjestelmän sijainti, kennotyyppi, aurinkosähköpaneeliston nimellisteho, arvioidut järjestelmän kaapeleissa ja laitteissa tapahtuvat tehohäviöt, paneelien kallistuskulma ja paneelien atsimuuttikulma.

Avia Tower tulee sijaitsemaan Vantaalla osoitteessa Valuuttakatu 1 (60°17'N, 24°57'E). Aurinkosähköjärjestelmässä käytetään monikidekennopaneeleja. Paneeliston nimellisteho on 120 kW ja paneeliston kallistuskulma on 90° eli paneelit ovat rakennuksen julkisivulla. Paneelit asennetaan rakennuksen lounaiselle julkisivulle, joten etelän atsimuuttikulman ollessa 0° on paneelien atsimuuttikulma 45°. Taulukko 4 esittää PVGIS:n laskentaohjelmassa tehdyn energiantuottoarvion Avia Towerin aurinkosähköpaneelistolle. Lisäksi taulukossa esitetään jokaiselle kuukaudelle paneeliston tuottama arvioitu huipputeho kirkkaana päivänä.

Taulukko 4. PVGIS:n laskentaohjelman sähköenergiantuottoarvio Avia Towerin aurinkosähköpaneelistolle.

	$E_{\text{päivässä}}$ (kWh)	$E_{\text{kuukaudessa}}$ (kWh)	P_{huippu} (kW)	Huipputehon kellonaika
Tammikuu	58,3	1810,0	48,07	13:10
Helmikuu	179,0	5000,0	85,77	13:50
Maaliskuu	252,0	7800,0	91,93	14:20
Huhtikuu	345,0	10300,0	90,09	14:40
Toukokuu	375,0	11600,0	85,26	14:50
Kesäkuu	346,0	10400,0	80,33	14:50
Heinäkuu	354,0	11000,0	80,84	14:40
Elokuu	289,0	8950,0	82,79	14:40
Syyskuu	213,0	6400,0	82,48	14:10
Lokakuu	132,0	4080,0	77,25	13:50
Marraskuu	54,1	1620,0	58,34	13:20
Joulukuu	32,7	1010,0	57,83	13:10
E_{tot} (kWh) / Energiantuotto vuodessa		80000,0		

Taulukko 4 mukaan Avia Towerin aurinkosähköpaneelisto voisi tuottaa vuodessa 80 MWh sähköenergiaa. Laskelmassa saatu tulos on sopusoinnussa Kuva 7 kanssa. Toukokuun aikana paneeliston tuottama energia olisi vuoden suurin, 11,6 MWh, ja joulukuussa pienin, 1010 kWh.

Aurinkosähköpaneelisto tuottaa suurimman tehon maaliskuuisena päivänä klo 14 jälkeen noin 92 kW teholla. Tätä arvoa käytetään aurinkosähköjärjestelmän osien mitoituksessa. Yhden paneeliosion huipputeho on noin 9,2 kW. Yhden MPPT-laitteen tulee olla kyseiselle teholle soveltuva.

Oletetaan, että kuvan 16 tyypillinen sähkön tarve Englannissa sijaitsevassa toimistorakennuksessa vastaa likimain Suomessa sijaitsevan toimiston sähkön tarvetta. Kuvan 16 perusteella arvioidaan Avia Towerin päivän huipputehonkulutuksen ajankohdaksi klo 14. Laskentaohjelman avulla arvioitiin kuinka paljon aurinkosähköpaneelisto tuottaa sähkötehoa pilvisellä säällä klo 14 eri kuukausina. Tämä kertoo kuinka paljon tuotetulla aurinkosähköllä leikataan huipputehonkulutusta pilvisellä säällä. Saadut tulokset on kerätty taulukkoon 5, josta käy ilmi, että kesäkuukausina huipputehonkulutusta leikataan vähintään 13,8 kW ja joulukuussa vähintään 1,5 kW. Toisaalta, pilvisinä päivinä voidaan olettaa, ettei rakennuksessa saavuteta huipputehonkulutusta, koska aurinko ei lämmitä rakennusta yhtä paljon kuin kirkaana päivänä ja jäädytystehoa tarvitaan vähemmän. Näin ollen arvio siitä, kuinka paljon aurinkosähköjärjestelmällä pystytään leikkaamaan huipputehonkulutusta, on hyvin viitteellinen. Todellinen arvo tulee todeta sähkötehonkulutuksen ja aurinkosähkötehon tuoton seurannalla.

Tuotetun sähköenergian rahallinen arvo on yhtä suuri kuin kulutetusta sähköenergiasta veloittettava summa. Lisäksi jokaisen kuukauden huipputehosta veloitetaan tietty hinnaston mukainen summa. Vantaalla paikallinen sähköverkonhaltija on Vantaan Energia Oy. Avia Towerin sähköliittymä toteutetaan keskijänniteliittymänä. Vantaan Energian verkkopalveluhinnaston (6.11.2009) mukaan sähkönsiirtoon kohdistuvat maksut ovat huipputehosta 3,40 €/kW kuukaudessa ja sähköenergian siirrosta 0,7 c/kWh. Sähkövero lisätään sähkön siirtohintaan ja se on ollut 1.1.2008 alkaen 1,08 c/kWh. Sähköenergian siirrosta veloitetaan siis yhteensä 1,8 c/kWh. Vantaan Energian sähkönmyyntihinnaston (6.11.2009) mukaan sähköenergiasta veloitetaan 5,48 c/kWh. Kaikki hinnat ovat arvonlisäverollisia.

Taulukosta 5 käy ilmi, että huipputehdon leikkaamisesta koituvat säästöt ovat vähintään 395,42 €. Vuoden aikana tuotetun energia arvo on siis

$$T_{aurinkosähkö} = E_{vuodessa} \cdot (H_{sähkönsiirto} + H_{sähköenergia}) + S_{huipputeho}$$

$$T_{aurinkosähkö} = 80000kWh \cdot (0,0177726€/kWh + 0,0548€/kWh) + 395,42€ = 6201,228€. \quad (3)$$

missä

$T_{aurinkosähkö}$ on vuodessa tuotetun aurinkosähköenergian arvo (€)

$E_{vuodessa}$ on vuodessa tuotettu aurinkosähköenergia (kWh)

$H_{sähkönsiirto}$ on sähkösiirrosta aiheutuvia kustannuksia (€/kWh)

$H_{sähköenergia}$ on sähköenergia hinta (€/kWh)

$S_{huipputeho}$ on huipputehdon leikkaamisesta koituvat säästöt (€/kWh).

Taulukko 5. Päivittäinen huipputeho eri kuukausina ja siitä koituvat säästöt.

Kuu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Teho/ kW	2,9	8,1	11,3	14,1	14,6	14,6	14,8	13,8	10,7	6,8	3,1	1,5
Säästö/ €	9,86	27,54	38,42	47,94	49,64	49,64	50,32	46,92	36,38	23,12	10,54	5,1
Säästöt yht. / €	395,42											

Aurinkosähköpaneeliston tuottaman sähkön arvo vuodessa on 6201,3 € vuoden 2009 hintojen mukaan. Koska huipputehdon leikkaamisesta koituvien säästöjen laskennassa saatu arvo 395,42 € on minimiarvo, voidaan pyöristää vuodessa tuotetun energian arvoa ylöspäin arvoon 6500 €.

6.2.3 Aurinkosähköjärjestelmän kustannusarvio

Aurinkosähköjärjestelmän hinnan arvioimiseksi pyydettiin tarjousta kahdelta aurinkosähköjärjestelmien toimittajalta. Tarjousten perusteella verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän hinta on noin 700 €/m². Tämä hinta sisältää vaihtosuuntaajat eli invertterit, joiden kustannus tyyppillisessä aurinkosähköjärjestelmässä on 30 % kokonaiskustannuksista. Toisin sanoen, aurinkosähköjärjestelmän hinta ilman vaihtosuuntaajia on 490 €/m². Aurinkosähköpaneeliston kustannus on noin 55 % koko järjestelmän kustannuksista eli 385 €/m². MPPT-laitteiden kustannus on puolet aurinkosähköjärjestelmien vaihtosuuntaajien kustannuksista. Kaavan 4 mukaan MPPT-laitteiden kustannus on siis 105 €/m².

$$K_{MPPT} = \frac{1}{2} K_{invertterit} = \frac{1}{2} \cdot 700 \text{€} / \text{m}^2 \cdot 0,3 = 105 \text{€} / \text{m}^2 \quad (4)$$

missä

K_{MPPT} on MPPT-laitteiden kustannus (€)

$K_{invertterit}$ on aurinkosähköjärjestelmän vaihtosuuntaajien kustannus (€)

Avia Towerin aurinkosähköjärjestelmän alkuinvestointi on arvioltaan

$$I_0 = (K_{MPPT} + K_{muu}) \cdot A = (105 \text{€} / \text{m}^2 + 490 \text{€} / \text{m}^2) \cdot 1000 \text{m}^2 = 595000 \text{€} \quad (5)$$

missä

I_0 on aurinkosähköjärjestelmän alkuinvestointi (€)

K_{MPPT} on MPPT-laitteiden kustannus (€)

K_{muu} on aurinkosähköjärjestelmän muu kustannus (€)

A on aurinkosähköpaneeliston pinta-ala (m^2)

6.2.4 Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskelma

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta tarkasteltiin erikseen ilman LED-tasasähköjärjestelmän kustannuksia. Kannattavuutta arvioitiin nykyarvomenetelmällä. Aluksi määritettiin järjestelmän investoinnit, tuotot, korkotekijät, tarkastelu aika ja jäännösarvo.

Tarkastelua ajaksi valitaan paneelien elinikä, joten jäännösarvo on 0 €. Paneelien eliniäksi arvioitiin 30 vuotta. MPPT-laitteen eliniäksi arvioitiin 15 vuotta, joten 15 vuotta alkuinvestoinnin jälkeen tulee tehdä uusintainvestointi K_{MPPT} . Järjestelmän vuotuinen tuotto on $T_{aurinkosähkö}$.

Aurinkosähköjärjestelmän alkuinvestointi on I_0 . Alkuinvestoinnista voidaan vähentää Työ- ja elinkeinoministeriön myöntämä energiatuki, joka on tämänkaltaisille investoinneille suurimmillaan 40 % järjestelmän investointikuluista. Käytännössä energiatuki tulisi olemaan noin 35 % kaikista investointikustannuksista. Aurinkosähköpaneelit asennetaan toimistorakennuksen julkisivulle, joten alkuinvestoinneista voidaan vähentää vaihtoehtoisen julkisivumateriaalin kustannukset. Tämän kaltaisessa kohteessa vaihtoehtoisena julkisivumateriaalina voisi olla lasi. Lasijulkisivun kustannus voi olla 55 % aurinkosähköpaneeliston kustannuksista. (8) Laskennassa huomioitava alkuinvestointi on siis

$$I_0' = I_0 - I_{paneelit} \cdot 0,55 - I_0 \cdot 0,35 = 595 \text{k€} - 385 \text{k€} \cdot 0,55 - 595 \text{k€} \cdot 0,35 = 175000 \text{€} \quad (6)$$

missä

I_0' on aurinkosähköjärjestelmän alkuinvestointi vähennyksineen (€)

I_0 on aurinkosähköjärjestelmän alkuinvestointi (€)

$I_{paneelit}$ on aurinkosähköpaneeliston alkuinvestointi (€)

Määritettäviä korkotekijöitä ovat nimelliskorko, inflaatio ja energiahinnan nousua huomioon ottava eskalaatio. Nimelliskoroksi määritettiin 5 %, inflaatioksi 2 % ja eskalaatioksi 2 %. Näin saatiin reaalikoroksi

$$r = \frac{i - f}{1 + f} = \frac{0,05 - 0,02}{1 + 0,02} = 0,0294 \quad (7)$$

missä

r on reaalikorko
 i on nimelliskorko
 f on inflaatio

Eskalaation huomioon ottavaksi reaalikoroksi saatiin

$$r_e = \frac{r - e}{1 + e} = \frac{0,0294 - 0,02}{1 + 0,02} = 0,00922 \quad (8)$$

missä

r_e on eskalaation huomioon ottava reaalikorko
 r on reaalikorko
 e on eskalaatio

Aurinkosähköjärjestelmän eliniälle aurinkosähköenergiatuottojen diskonttaustekijäksi saatiin siis

$$a''_{30} = \frac{1 - (1 + r_e)^{-30}}{r_e} = \frac{1 - (1 + 0,00922)^{-30}}{0,00922} \approx 26,104 \quad (9)$$

missä

r_e on eskalaation huomioon ottava reaalikorko
 a''_{30} on aurinkosähköjärjestelmän energiatuottojen diskonttaustekijä

Aurinkosähköjärjestelmän nykyarvoksi saadaan P:

$$P = a''_{30} \cdot T_{\text{aurinkosähkö}} - I_0' - \frac{K_{\text{MPPT}} \cdot 1000m^2}{(1 + r)^{15}} =$$

$$P = 26,104 \cdot 6500\text{€} - 175000\text{€} - 67987,15\text{€} \approx -73311,15\text{€} \quad (10)$$

Nykyarvomenetelmällä ja valituilla arvoilla hanke on tappiollinen. Tämän tuloksen perusteella ei kuitenkaan kannata tehdä lopullista johtopäätöksiä. On huomioitavaa se, että sähkön hinnan kehitystä on hyvin vaikea arvioida. Eskalaatiokorko huomioi energianhinnan muutosta, mutta käytännössä energianhinta voi muuttua paljon voimakkaammin. Laskelmassa ei oteta myöskään huomioon aurinkosähköjärjestelmän tuomaa mainosarvoa toimistorakennukselle.

Energeettinen takaisinmaksuaika määrittelee, monenko vuoden päästä aurinkosähköjärjestelmä on tuottanut saman verran energiaa kuin sen rakentamisessa on kulunut. Tälle järjestelmälle energieettinen takaisinmaksuaika on noin 10 vuotta. CO₂-

takaisinmaksuaika määrittää taas, monenko vuoden päästä tuotetun sähkön määrä on korvannut järjestelmän toteuttamisen yhteydessä tuotetut CO₂-päästöt. Tämän järjestelmän CO₂-takaisinmaksuaika on noin 7,5 vuotta. Energeettinen ja CO₂-takaisinmaksuaika lisäävät aurinkosähköjärjestelmän mainosarvoa ja niitä voidaan käyttää markkinoinnissa.

Vertailun vuoksi laskettiin myös yleiseen sähköverkkoon kytkettävän aurinkosähköjärjestelmän nykyarvo. Muuttuvat arvot ovat alkuinvestointi, vaihtosuuntaajien uusintainvestointi 15 vuoden jälkeen ja tuotetun aurinkosähköenergian arvo. Tuotetun aurinkosähköenergian arvo on 5 % pienempi vaihtosuuntaajien huonomman hyötysuhteen takia.

$$I_{0,230VAC} = (K_{inverterit} + K_{muu}) \cdot A = 700\text{€}/m^2 \cdot 1000m^2 = 700000\text{€} \quad (11)$$

$$I_{inverterit} = 700\text{€}/m^2 \cdot 0,3 \cdot 1000m^2 = 210000\text{€} \quad (12)$$

Nykyarvoksi saadaan:

$$P_{230VAC} = a''_{30} \cdot T_{aurinkosäkö} \cdot 0,95 - I_{0,230VAC} \cdot \frac{I_{inverterit}}{(1+r)^{15}} =$$

$$P_{230VAC} = 26,104 \cdot 6175\text{€} - 243250\text{€} - 135974,30\text{€} \approx -218032,10\text{€} \quad (13)$$

Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän nykyarvo on myös tappiollinen. Vertaamalla verkkoon kytketyn järjestelmän nykyarvo tasasähköverkkoa syöttävän aurinkosähköjärjestelmän nykyarvoon, voidaan todeta tasasähköverkkoa syöttävän järjestelmän olevan halvempi. Nykyarvossa tasasähköverkkoa syöttävä aurinkosähköjärjestelmä on yli 144000 € halvempi. Tasasähköjärjestelmän toteuttaminen rakennukseen tuo kuitenkin lisäkustannuksia ja niitä tarkastellaan myöhemmin.

6.2.5 Seuranta

Aurinkosähköjärjestelmää seurataan laitteistolla, joka mittaa aurinkosähköpaneeliston syöttämää sähkötehoa. Samalla seurataan koko rakennuksen kuluttamaa sähkötehoa. Seurantaa varten asennetaan keskusyksikkö, joka tallentaa mittausdatan ja laskee kulutettua ja tuotettua sähköenergiaa. Keskusyksikön mittausdata pystytään lukemaan Internet-yhteydellä. Mittausdatan avulla varmistutaan siitä, että järjestelmä toimii halutulla tavalla ja saatuja tuloksia voidaan käyttää markkinoinnissa. Mittausdatan avulla saadaan lisäksi kokemukseräistä tietoa julkisivulle asennetun aurinkosähköjärjestelmän toiminnasta Suomessa, joka voi kannustaa muita investoimaan uusiutuvaan energiaan.

6.3 LED-tasasähköjärjestelmä

6.3.1 Tasasähkönjakelu ja sen kustannukset

Toimistorakennukseen suunniteltiin tasasähköverkko johon aurinkosähköjärjestelmän tuottama tasasähkö syötetään suoraan. Lisäksi yleisestä sähköverkosta syötetään tasasuuntauksen kautta tasasähköä, jotta tasasähköverkon kuormille saataisiin tarpeeksi sähkötehoa. Kuva 49 esittää tasasähköverkon nousujohtokaaviota. Järjestelmä suunniteltiin jakelukiskolla, johon voidaan syöttää tuotettu aurinkosähkö monesta

pisteestä. Tällä tavalla säästetään kaapelointikustannuksissa. Yleisestä verkosta otettavaa sähköä tasasuunnataan pääkeskushuoneessa ja syötetään jakelukiskon alapäähän. Kerroksittain sähköteho syötetään jakokeskuksiin virranottolaitteen kautta.

Tasasähkönjakelun toteuttamisesta koituvia kustannuksia ei lähdetty kokonaan arvioimaan, vaan ainoastaan arvioitiin ne kustannukset, jotka kohdistuvat tasasähkönjakeluun. Jakelukiskon, jakokeskusten, kaapeloinnin ja muiden tämänkaltaisten kustannukset kohdistuisivat myös vaihtosähkönjakeluun, jos tasasähkönjakelu jätettäisiin toteuttamatta. Ne kustannukset, jotka kohdistuvat ainoastaan tasasähkönjakeluun ovat sähköpääkeskuksen tasasuuntaajien, kytkinvarokkeiden ja katkaisijoiden työ- ja materiaalikustannukset. Saatujen tarjousten perusteella näiden kustannukset ovat noin 20 000 €. Tasasuuntaajien eliniäksi arvioitiin 15 vuotta, joten 30 vuoden elinkaarikustannuslaskelmassa lasketaan uusintainvestointi 15 vuoden kohdalla. Kustannusten nykyarvoksi saatiin

$$P_{DC} = K_{DC} + \frac{K_{DC}}{(1+r)^{15}} = 20000\text{€} + \frac{20000\text{€}}{(1+0,0294)^{15}} =$$

$$P_{DC} = 20000\text{€} + 12949,94\text{€} = 32949,94\text{€} \quad (14)$$

missä

P_{DC} on tasasähkönjakelun arvioidut lisäkustannusten nykyarvo 30 vuodelta
 K_{DC} on tasasähkönjakelun arvioidut lisäkustannukset.

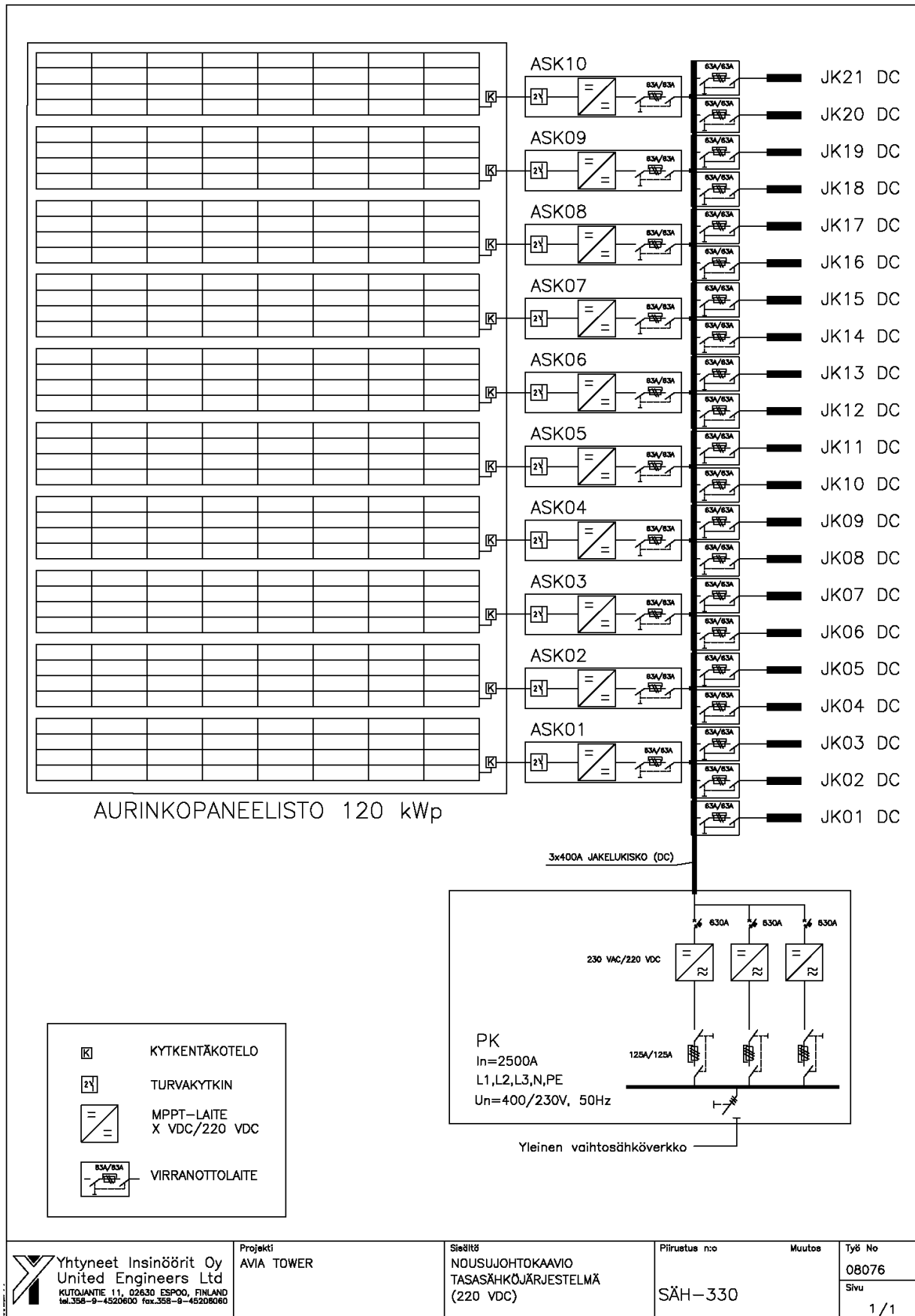
Vähentämällä tasasähköverkon kustannusten nykyarvoa tasasähköverkkoa syöttävän aurinkosähkijärjestelmän nykyarvo, saatiin nykyarvoksi

$$P_{PV+DC} = P - P_{DC} = -73311,15 - 32949,94 = -106261,09\text{€} \quad (15)$$

missä

P_{PV+DC} on tasasähkönjakelun ja tasasähköverkkoa syöttävän aurinkosähkijärjestelmän yhteenlaskettu nykyarvo 30 vuoden ajalta.

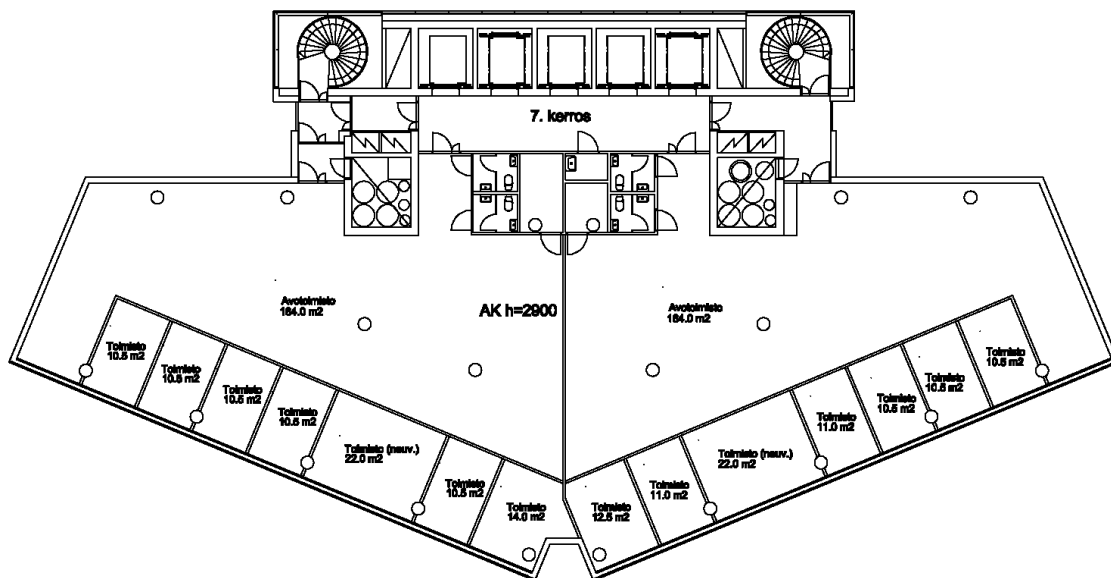
Tasasähkön hyödyntäminen vähentää kustannuksia noin 111 000 € yleiseen vaihtosähköverkkoon kytketyn aurinkosähkijärjestelmään elinkaarikustannuksiin verrattuna. Jos järjestelmän mainosarvo 30 vuoden ajalle on yhtä suuri kuin nykyarvon tappio 111 000 €, on tasasähköverkkoa syöttävä aurinkosähkijärjestelmä kannattava investointi.



Kuva 49. Nousujohtokaavio.

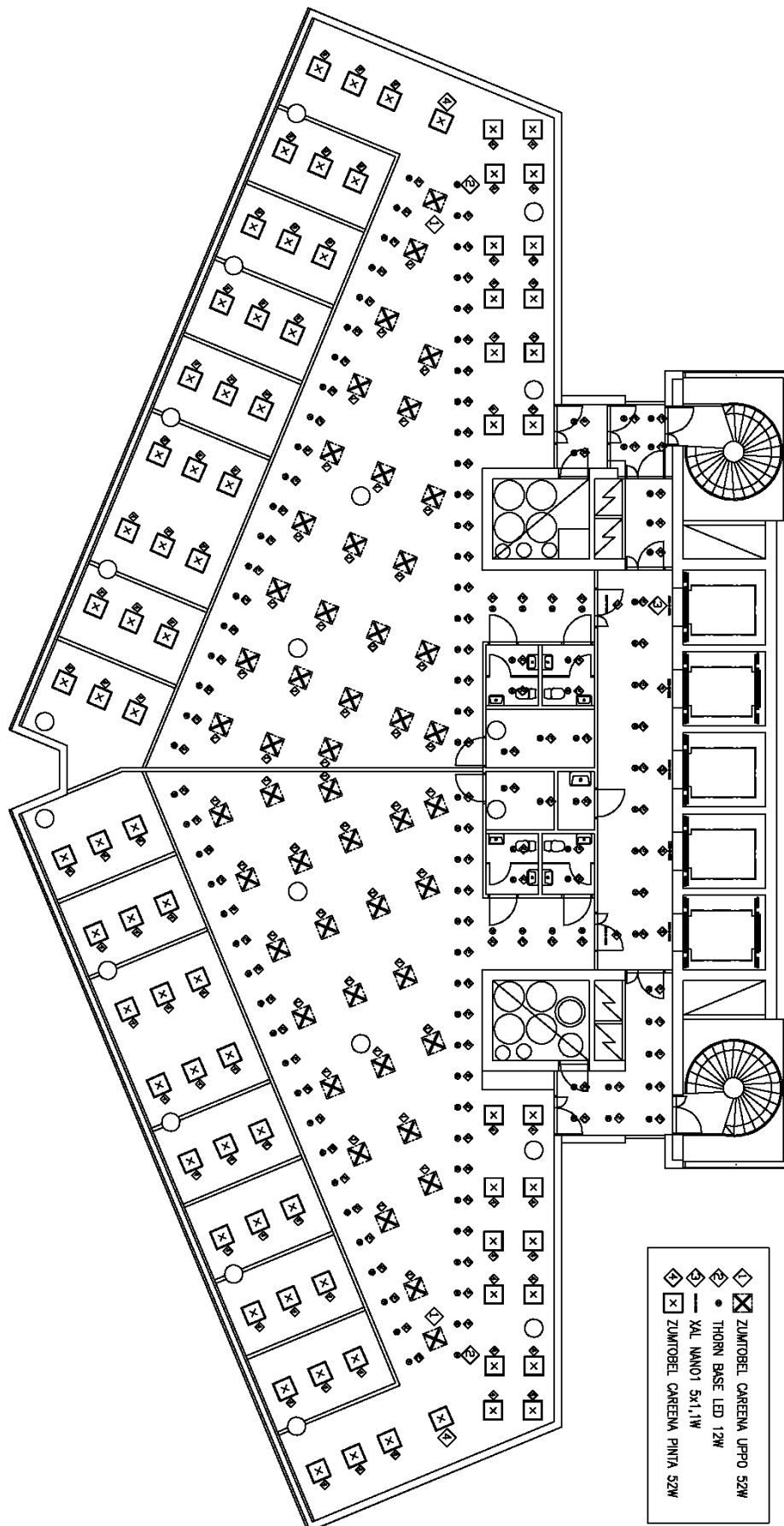
6.3.2 LED-valaistussuunnitelma

Valaistussuunnitelma tehtiin toimistorakennuksen 7. kerrokselle. Lähtökohtana oli arkkitehdin tekemä 7. kerroksen pohjakuva, Kuva 50. Valaistus haluttiin toteuttaa kokonaan LED-valaisimilla. Kuva 51 esittää LED-valaistussuunnitelman. Valaisinluettelo on liitteessä 1 ja valaisinkuvasto on liitteessä 2.



Kuva 50. Avia Towerin 7. kerroksen arkkitehtipohja.

Avotoimistoalueen ja ikkunavyöhykkeillä olevien työpisteiden valaistus suunniteltiin Zumtobelin Careena-moduulivalaisimella. Avotoimistoalueella moduulivalaisin on upotettavaa mallia. Ikkunavyöhykkeillä moduulivalaisin on pinta-asenteinen ja se valaisee myös epäsuorasti katon kautta. Häikäisyn suojauksen puolesta molemmat valaisimet soveltuvat näyttöpäätetyöskentelyyn, sillä niiden häikäisyarvo $UGR < 18$. Työskentelytilojen valaistus tuli suunnitella niin, että tilat olisivat muunneltavia. Tällä valaistusratkaisulla väliseiniä voidaan lisätä tai poistaa suhteellisen vapaasti niin, että työpisteillä on tarvittava valaistusvoimakkuus. Valaistusratkaisut mallinnettiin valaistuksen laskentaohjelmalla Dialux. Laskelmien perusteella avotoimistoalueen keskimääräinen valaistusvoimakkuus valaisimen käyttöään lopussa on 514 lx. Ikkunavyöhykkeellä toimistohuoneissa vastaava arvo on 528 lx. Valittu moduulivalaisin sisältää liitäntälaitteen. Valaisin oli niin uusi, ettei sen liitäntälaitteesta saatu tarkempaa tietoa. Varmuutta siitä, voidaanko kyseistä valaisinta syöttää suoraan tasasähköllä, ei saatu. Valaisinta ohjataan DALI-väylän kautta. Toimistohuoneissa työntekijät voivat itse ohjata valaistusta DALI-painikkeilla. Valaistusta ohjaavat läsnäolo- ja valoisuusanturit. Avotoimistoalueella valaistusta ohjaavat ainoastaan läsnäolo- ja valoisuusanturit. Valoisuusanturit säästävät sähköä, koska niiden avulla otetaan huomioon ikkunoista tulevaa luonnonvaloa. Lisäksi valoisuusanturilla ylläpidetään 500 lx valaistusvoimakkuutta LED-valaisimen käyttöään alusta loppuun. DALI-väylän ansiosta väliseinämutoosten yhteydessä tarvitaan ainoastaan valaistusryhmien ja painikkeiden uudelleenohjelmointia väylään kiinnitettävällä päätteellä.



Kuva 51. LED-valaistussuunnitelma.



Kuva 52. Toimistohuoneen valaistusmallinnus.



Kuva 53. Avotoimiston valaistusmallinnus ilman väliseiniä.

Käytävien, kulkuväylien ja muiden alueiden valaisimeksi valittiin Thornin Base LED-allasvalo. Hissi-aulassa toimistotilan sisäänkäyntejä ja hissien edustoja haluttiin korostaa Xalin NANO 1 profiilivalaisimella. Näillä valaisinvalinnoilla saavutetaan tiloissa vähintään 150 lx keskimääräinen valaistusvoimakkuus valaisimien käyttöään lopussa. Thornin alasvalon liitälaitetta voidaan syöttää 220 V tasajännitteellä. Xalin profiilivalaisimessa ei liitälaitetta ole, vaan valaisinta syötetään suoraan 24 V jännitteellä. Kerroksen jakokeskuksessa muutetaan 220 V tasajännite 24 V tasajännitteeksi, jolla profiilivalaisimet syötetään. Käytävien, kulkuväylien ja muiden alueiden valaisimia ohjataan läsnäoloantureilla ja aikaohjelmilla.

6.3.3 LED-valaistusjärjestelmän energiatehokkuus

Valaistusjärjestelmän energiatehokkuuden määrittämiseksi laskettiin mallikerroksen LENI-luku, joka ilmaisee kuinka paljon sähköenergiaa kulutetaan valaistua pinta-alaüksikköä kohden vuodessa. LENI-luku määritettiin standardin EN 15193-1 mukaisesti. Vertailuarvoksi mainittakoon, että Suomen rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan taulukkoarvo toimistorakennuksen valaistuksen kuluttamalle sähköenergialle on 30 kWh/m² vuodessa.

Valaistuksen kuluttama sähköenergia lasketaan kaavalla 16.

$$W_{\text{valaistus}} = \sum (P_n \cdot F_C) \cdot [(t_D \cdot F_D \cdot F_O) + (t_N \cdot F_O)] \quad (16)$$

missä

- $W_{\text{valaistus}}$ on valaistuksen vuodessa kuluttama sähköenergia
- P_n on asennettu kokonaisvalaistusteho tilassa tai vyöhykkeellä
- F_C on korjauskerroin, joka huomioi valovirran aleneman aiheuttaman ylimitoituksen kompensoituminen vakiovalo järjestelmällä
- t_D on työtuntien määrä, jolloin päivänvaloa on käytettävissä
- F_D on korjauskerroin päivänvalon saatavuudelle
- F_O on työntekijöiden läsnäoloon perustuva kerroin
- t_N on työtuntien määrä, jolloin päivänvaloa ei ole käytettävissä

Valaistuksen kuluttaman sähköenergian lisäksi tulee arvioida energiamäärä $W_{lepokulutus}$, mikä kuluu valmiustilassa olevissa ohjattavissa liitäntälaitteissa. $W_{lepokulutus}$ on standardin EN-15193-1 mukaan keskimäärin 5 kWh/m² vuodessa. Valaistusjärjestelmän kuluttama kokonaisenergia on

$$W_{kokonais} = W_{valaistus} + W_{lepokulutus} \quad (17)$$

Valaistusjärjestelmän LENI-luku saadaan jakamalla valaistusjärjestelmän kuluttama kokonaisenergia valaistulla pinta-alalla. Mallikerroksen valaistu pinta-ala on 666,5 m². Taulukko 7 esittää korjauskertoimet, joiden avulla mallikerroksen LENI-luvuksi saatiin 22,64 kWh/m²,a. Korjauskertoimet määritettiin standardin EN-15193-1 mukaisella tavalla.

Taulukko 7. Mallikerroksen LED-valaistusjärjestelmän LENI-luku.

	P_n	F_C	t_D	F_D	F_O	t_N	$W_{valaistus}$
Avotoimisto	1248 W	0,85	2250 h	0,9	0,9	250 h	2172 kWh
Ikkunavyöhykkeet	4160 W	0,85	2250 h	0,8	0,9	250 h	6524 kWh
Muut tilat	1360 W	1	2250 h	1	0,9	250 h	3060 kWh
Yhteensä	6768 W	--	--	--	--	--	11756 kWh
<hr/>							
$W_{valaistus}$	11756 kWh						
$W_{lepokulutus}$	3333 kWh (5 kWh/m ²)						
$W_{kokonais}$	15089 kWh						
<hr/>							
LENI-luku	22,64 kWh/m ² /a						

LED-valaistusjärjestelmän elinkaarikustannuksia haluttiin verrata loistelamppuvalaisimilla toteutettuun valaistusjärjestelmään. LED-moduulivalaisimen tilalle valittiin loistelamppumoduulivalaisin 4x14 W. LED-alasvalon tilalle valittiin loistelamppuallasvalo 1x13 W. LED-profiilivalaisimen tilalle valittiin loistelamppuprofiilivalaisin 1x14 W. Näillä valaisimilla saatiin mallikerroksen loistelamppuvalaisimilla toteutetun valaistusjärjestelmän LENI-luvuksi 24,21 kWh/m²,a (ks. Taulukko 8).

Taulukko 8. Mallikerroksen loistelamppuvalaisimilla toteutetun valaistusjärjestelmän LENI-luku .

	P_n	F_C	t_D	F_D	F_O	t_N	$W_{valaistus}$
Avotoimisto	1344 W	0,85	2250 h	0,9	0,9	250 h	2339 kWh
Ikkunavyöhykkeet	4480 W	0,85	2250 h	0,8	0,9	250 h	7026 kWh
Muut tilat	1528 W	1	2250 h	1	0,9	250 h	3438 kWh
Yhteensä	7352 W	--	--	--	--	--	12803 kWh
<hr/>							
$W_{valaistus}$	12803 kWh						
$W_{lepokulutus}$	3333 kWh (5 kWh/m ²)						
$W_{kokonais}$	16136 kWh						
<hr/>							
LENI-luku	24,21 kWh/m ² /a						

6.3.4 LED-valaistusjärjestelmän elinkaarikustannukset

Elinkaarikustannukset arvioitiin nykyarvomenetelmällä käyttäen samoja korkotekijöitä kuin aurinkosähköjärjestelmän kustannuslaskelmissa. Valaistusjärjestelmän eliniäksi arvioitiin 50 000 käyttötuntia eli toimistokäytössä elinikä olisi 20 vuotta.

LED-valaistusjärjestelmän eliniälle sähköenergian kulutuksen diskonttaustekijäksi saatiin

$$a''_{20} = \frac{1 - (1 + r_e)^{-20}}{r_e} = \frac{1 - (1 + 0,00922)^{-20}}{0,00922} \approx 18,228 \quad (18)$$

Maahantuojilta saatujen tietojen mukaan LED-moduulivalaisimen hinta on 900 € (alv. 0%). LED-allasvalon ja LED-profiilivalaisimen hinta on 250 € (alv. 0 %). LED-valaistusjärjestelmän kustannusten nykyarvoksi saatiin

$$\begin{aligned} P_{LED} &= I_{valaisimet} + K_{energia} = I_{valaisimet} + a''_{20} \cdot W_{kokonais} \cdot H = \\ P_{LED} &= 122\,350\text{€} + 18,228 \cdot 15089\text{kWh} \cdot 0,10\text{€/ kWh} \approx 149\,853\text{€} \end{aligned} \quad (19)$$

Vertailun vuoksi laskettiin saman valaistusjärjestelmän elinkaarikustannukset loistelamppuvalaisimilla. Loistelamppumoduulivalaisimen hinta on 300 € (alv. 0 %). Loistelamppuallasvalon ja loistelamppuprofiilivalaisimen hinta on 150 € (alv. 0 %). Loistevalaisimiin kohdistuvat lampunvaihto- ja huoltokustannukset ovat yhteensä 50 €/valaisin ja toimenpiteet suoritetaan 8 vuoden välein. Loistelamppuvalaisimilla toteutetun valaistusjärjestelmän kustannusten nykyarvoksi saatiin

$$\begin{aligned} P_{LOISTE} &= I_{valaisimet} + K_{energia} + K_{huolto,8v} + K_{huolto,16v} = \\ &= 48\,450\text{€} + 18,228 \cdot 16136\text{kWh} \cdot 0,10\text{€/ kWh} + \frac{50\text{€/ kpl} \cdot 221\text{kpl}}{(1 + 0,0294)^8} + \frac{50\text{€/ kpl} \cdot 221\text{kpl}}{(1 + 0,0294)^{16}} \\ &\approx 93\,575\text{€} \end{aligned}$$

(20)

Loistelamppuvalaisimilla toteutetun valaistusjärjestelmän 20 vuoden elinkaarikustannukset ovat mallikerroksen osalta 56 278 € pienemmät kuin LED-valaisimilla toteutetun järjestelmän elinkaarikustannukset.

6.4 Yhteenveto

Rakennukseen integroitujen aurinkosähköjärjestelmien yhteydessä on kustannuksien perusteella järkevää toteuttaa tasasähköverkko, johon tuotettu aurinkosähkö syötetään. Suurimmat säästöt syntyvät siitä, että aurinkosähkölle suunniteltujen vaihtosuuntaajien sijasta hankitaan vain MPPT-laite. Säästöjä saadaan myös siitä, että MPPT-laitteen tehohäviöt ovat pienemmät kuin vaihtosuuntaajan tehohäviöt. Mallisuunnitelman aurinkosähköjärjestelmän ja tasasähköverkon toteuttamisen elinkaarikustannukset olivat 50 % pienemmät kuin pelkän vaihtosähköverkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän elinkaarikustannukset. Mallisuunnitelman aurinkosähköjärjestelmän nykyarvo oli kuitenkin tappiollinen. Tasasähköverkon kustannuksia huomioiva nykyarvo oli 30 vuoden tarkasteluajalla -106 261,09 €. Tällaisen aurinkosähköjärjestelmän ja tasasähköverkon toteuttaminen on kannattavaa, jos järjestelmän mainosarvo 30 vuoden ajalle todetaan olevan yhtä suuri tai suurempi kuin 106 261,09 €. Suuren kokoluokan toimistorakennuksessa järjestelmän mainosarvo voi mielestäni olla 100 000 € luokkaa, sillä aurinkosähköjärjestelmä on aihe, joka nousee helposti otsikoihin uutisvälineissä.

Tasasähköverkon kuormaksi suunniteltiin LED-valaistusjärjestelmä. Koska toimistorakennuksissa valaistuksen tulee olla ohjattava, valaisimien liitäntälaitteista ja

niiden aiheuttamista tehohäviöistä ei päästy eroon tasasähköverkon saatavuudesta huolimatta. LED-valaistusjärjestelmä ei siis anna lisäarvoa tasasähköverkolle. Jos kuormana olisi valaistusjärjestelmä, jossa valaistusta ei tarvitse ohjata, liitäntälaitteita ei tarvittaisi. Tämä toisi energiansäästöjä ja sitä kautta lisäarvoa tasasähköverkolle.

LED-valaistusjärjestelmän elinkaarikustannuksia arvioitiin ja verrattiin loistelamppuvalaisimilla toteutettuun valaistusjärjestelmään. Tasasähköverkkoa voidaan hyödyntää sekä loistelamppuvalaisimilla että LED-valaisimilla. LED-valaistusjärjestelmä oli laskelmien mukaan LENI-luvun perusteella 6,5 % energiatehokkaampi. LED-valaisimien hinnat olivat kuitenkin sen verran suuremmat kuin loistelamppuvalaisimien hinnat, että valaistus kannattaisi toteuttaa loistelamppuvalaisimilla. Mallisuunnitelman valaisinvalinnoilla valaistusjärjestelmän elinkaarikustannukset olivat loistelamppuvalaisimilla 37,6 % pienemmät kuin LED-valaisimilla säästetystä energiasta huolimatta.

7 Johtopäätökset

Työn tarkoituksena oli tutkia kannattaako energiansäästön ja kustannusten kannalta toteuttaa toimistorakennuksiin integroitujen aurinkosähköjärjestelmien yhteydessä tasasähköverkko ja voisiko LED-valaistusjärjestelmä olla hyvä kuorma tälle tasasähköverkolle.

Mallisuunnitelmien elinkaarilaskelmien perusteella vaihtosähköverkkoa syöttävän aurinkosähköjärjestelmän investoinnit tuottavat tappiota. Tasasähköverkkoa syöttävän järjestelmän investoinnit tuottavat pienempää tappiota. Tasasähköverkon avulla säästetään energiaa ja kustannuksia, verrattuna aurinkosähköjärjestelmään, jossa tuotettu sähkö syötetään vaihtosähköverkkoon. Jos kannattavuuslaskelmassa otetaan huomioon järjestelmän antama mainosarvo toimistorakennukselle, voi tasasähköverkkoa syöttävä aurinkosähköjärjestelmän investointi olla kannattava. Kaikkien uudisrakennusten suunnittelun alkuvaiheessa tulee pohtia mahdollisuutta integroida tasasähköverkkoa syöttävä aurinkosähköjärjestelmä.

On arvioitu, että aurinkopaneelien hinnat tulevat vielä laskemaan. Jos lisäksi sähköenergian hinta jatkaa kasvuaan, aurinkosähköjärjestelmien investoinnit tulevat entistä kannattavimmiksi. Suomen valtio kannustaa tällaisia investointeja, mutta tariffillisin tuominen suomen sähkömarkkinoille kannustaisi entistä enemmän investoimaan aurinkosähköön. Aurinkosähköjärjestelmät tuottavat hyvin sähköä Suomessakin, joten investointi aurinkosähköön säästää sähköenergiaa ja vähentää kasvihuonepäästöjä.

Työssä tasasähköverkon kuormaksi suunniteltiin LED-valaistusjärjestelmä, koska LEDit käyttävät tasasähköä. Tästä ei kuitenkaan saatu sen enempää hyötyä irti, koska toimistorakennuksien valaisimien on oltava ohjattavia, jolloin valaisimessa on joka tapauksessa oltava liitäntälaitte. Siitä huolimatta toimistorakennuksen mallikerros suunniteltiin kokonaan LED-valaisimilla valaistuksen laadusta tinkimättä. LED-valaistusjärjestelmän etuna oli energiatehokkuus, mutta LED-valaisimien suuret kustannukset tekivät loistelamppuvalaisimilla toteutetusta järjestelmästä elinkaarikustannuksiltaan halvemman.

LED-valaisinten lisääntyessä markkinoilla myös niiden hinta tulee laskemaan. Valotehokkuuden on lisäksi ennustettu kasvavan. Voimme siis mielenkiinnolla odottaa valaisinvalmistajien uusia LED-valaisimia tulevien vuosien aikana.

Tämä työ on avartanut katsetta ympäristömyönteisempään sähkö- ja valaistussuunnitteluun. Tätä työtä voisi jatkaa tutkimalla muita mahdollisia tasasähkökuormia valaistuksen ohella sekä tutkimalla muiden uusiutuvien energialähteiden integroimista rakennuksiin. Mahdollisia hyötyjä tasasähkön syöttämisestä valaistuksen liitäntälaitteisiin voitaisiin selvittää.

8 Lähteet

1. **International Energy Agency.** TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS - Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2007. s.l. : International Energy Agency, 2008.
2. **Työvoima- ja elinkeinokeskus.** TE-keskus - Energiatuki. [Online] [Viitattu: 31. Lokakuuta 2008.] <http://www.te-keskus.fi/Public/?ContentID=1088&NodeID=10530&area=7651>.
3. **Max Fordham & Partners In Association with Feilden Clegg Architects.** Photovoltaics in Buildings - A Design Guide. s.l. : Department of Trade and Industry, 1999.
4. **Fagerhult.** Valaistuksen energiatehokkuus. 2007.
5. **Departement for Business, Enterprise Regulatory reform.** The use of direct current output from PV systems in buildings. Iso-Britannia : Crown, 2002.
6. **Lund, Prof. Peter.** Aurinkoenergitakekniikan kurssi luentomonisteet. Teknillinen Korkeakoulu. 2008.
7. **Institute For Energy, European Commission.** Photovoltaic Geographical Information System. [Online] [Viitattu: 23.10.2009.] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php#>.
8. **Naps Systems Oy.** Solar Electric Systems for Building. 2005.
9. **Lund, Peter.** Aurinkoenergitakekniikan kurssin luennot. Teknillinen Korkeakoulu. 2008.
10. **AG, Q-Cells.** Q6LM Product Specification. [Online] [Viitattu: 25. Marraskuuta 2008.] http://www.q-cells.com/medien/produkte_services/solarzellen/q6lm/downloads/QCL_Q6LM_GB_Feb06.pdf.
11. **AG, Q-Cells.** Q6LEP3 Product Specification. [Online] [Viitattu: 25. Marraskuuta 2008.] http://www.q-cells.com/medien/produkte_services/solarzellen/q6lep3/datenblatt_q6lep3.pdf.
12. **PennWell.** [Online] [Viitattu: 6. Huhtikuu 2009.] http://images.pennnet.com/articles/lfw/cap/cap_0703lfw06f1.gif.
13. **Suomen Standardisointiliitto SFS.** SFS 6000-7-712. Helsinki.
14. **Cullen, Richard A.** What is Maximum Power Point Tracking (MPPT)? s.l. : Blue Sky Energy, Inc.
15. **Kuronen, Jarkko.** Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen sähköjakelujärjestelmään. ESPOO : Sähkötieto ry, 2009. ST 55.33.
16. **Solar Century.** <http://www.solarcentury.com/Community-buildings/Products-Solar-Facade>. [Online] [Viitattu: 1. Joulukuu 2008.]
17. **Leppänen, Jyrki.** Aurinkosähköä rakennuksissa. [Online] 2008. <http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/semi08>.
18. **Solar Server.** http://www.solarserver.de/solarmagazin/images/soltower_freiburg.jpg. [Online] [Viitattu: 1. Joulukuuta 2008.]
19. **Oy, Naps Systems.** http://www.napssystems.com/whats_new/news/33.html. [Online] [Viitattu: 1. Joulukuuta 2008.]
20. **PV-NORD.** Brief Building Report – NCC Head office. s.l. : PV NORD, 2005.
21. **Paakkinen, Martti.** DIPLOMATYÖ: LED-TEKNIIKAN MAHDOLLISUUDET. Teknillinen Korkeakoulu. 2008.
22. **Philips Valaistus.** Indoor Luminaire Catalogue 2008-2010. 2009.
23. **Digitimes Inc.** DigiTimes. [Online] [Viitattu: 15. Lokakuuta 2009.] <http://www.digitimes.com/news/a20090518PD212.html>.

24. **Kanmanco Oy: Kari Nyman.** ST 58.07: Valaistuksen laatu, arviointi ja mittaus. Espoo : Sähkötieto ry, 2005. ST 58.07.
25. **SFS, Suomen standardisoiimisliitto.** SFS-EN 12464-1. Helsinki: Suomen standardisoiimisliitto SFS ry, 2003.
26. **Tauno Nissinen Oy: Jarmo Jumppanen.** ST 58.02: VALAISTUSOHJEISTUS STANDARDIN EN 12464 MUKAISESTI. Espoo : Sähkötieto ry, 2002. ST 58.02.
27. **Pleion Oy: Jukka Riikkula.** ST-58.32: Valaistuksen ohjaus. Espoo : Sähkötieto ry, 2004. Sähkötietokortti 58.32.
28. **Pleion Oy: Jukka Rikula.** Eri valonlähteiden säätö. Espoo : Sähkötieto ry , 2004. ST 58.31.
29. **National Instruments.** [Online] [Viitattu: 25. Marraskuuta 2008.] <http://zone.ni.com/cms/images/devzone/tut/image17528.jpg>.
30. **GmbH, Calyxo.** CdTe/CdS-module product brochure. www.calyxosolar.com. [Online] [Viitattu: 25. Marraskuuta 2008.] http://www.calyxosolar.com/medien_calyxo/produkte/cx3565/download/Calyxo_produktbroschure_en.pdf.
31. **Euroopan Unioni.** Phasing out incandescent bulbs in the EU - Technical briefing. 2009.
32. **STU ja SVS.** Lamput ja Valaisimet. 1998.
33. **Europe's energy portal.** <http://www.energy.eu/focus/energy-label.php>. [Online] [Viitattu: 11.2.2009.]
34. **Osram Oy.** Toimistovalaistus. [Online] [Viitattu: 16. Helmikuuta 2009.] http://osram.fi/osram_fi/Professional/General_Lighting/Halogen_lamps/Application_overview/Toimistovalaistus/index.html.
35. **Sähkötieto ry.** ENERGIAA SÄÄSTÄVÄT RATKAISUT. VALAISTUS. 2003. ST 58.20.
36. **Osram Oy.** POWERBALL HCI®. [Online] [Viitattu: 5.2.2009.] http://osram.fi/_global/pdf/Professional/General_Lighting/High_pressure_discharge_lamps/104W002GB_PI_Powerball_HCI_low.pdf.
37. **Osram Oy.** Tuoteluettelo. [Online] [Viitattu: 16.2.2009.] <http://catalogx.myosram.com>.
38. **Varsila, Markku.** Luminord-seminaari. 2007.
39. **Advance Transformer Co.** e-Vision® Electronic Dimming Ballast for Metal Halide Lamps. 2005.
40. **Sharp Electronics Corporation.** ND-208U1 Product Specification. [Online] [Viitattu: 16. Marraskuuta 2009.] <http://www.wholesalesolar.com/pdf.folder/module%20pdf%20folder/sharpend208.pdf>

9 Liitteet

Liite 1: Valaisinluettelo


Pöytä N:o	Valaisinryppä	Teho W	Lamppu	Asennustapa	7. krt		Huom. N:o
					8	Palkko/kpl	
1	ZUMTOBEL CAREENA E 52W LED 935 M600 LDE DO KA	52 W	LED U		48		
2	THORN BASE LED 165 MRE 1X12W LED L935 96107303	12 W	LED U		127		
3	XAL NANO 1 007-1156516S	5,5 W	LED U		7		
4	ZUMTOBEL CAREENA A 52W LED 935 LDE DO	52 W	LED P		80		
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

Huom. N:o

– POS. 3 VALAISIMEN MUKANA HANKITTAVAN UPOTETTAVAN ALUMIINIPROFIILIN NANO CHANNEL. F. 007-1911564

Rev.	Uudenn.	Muutos	Suunn./Pöytä N:o	Muutos
Rotomerkinnän nimi ja osat AVIA TOWER			Piirustuksen sisältö VALAISINLUETTELO	Suunnitelman piirustusnumero SÄH-600
Suunn. TOS	Piir. TOS	Tekn. TOS	Suunnitelman piirustusnumero SÄH-600	Sivut 1/1
Yhtyneet Insinöörit Oy United Engineers Ltd KUTOJANKATU 11, 02630 ESPOO, FINLAND tel. 050-9-4520601 fax. 050-9-4520600				

Liite 2: Valaisinkuvasto

Rev.	Lukum.	Muutos	Suunn./Piirt.	Päiväys
Rakennuskohteen nimi ja osoite			Piirustuksen sisältö	Mittakaava
AVIA TOWER			VALAISINKUVASTO	Sivu 1/5
Suunn.	Piirt.	Tark.	Suunnittelualue	Piirustusnumero
TOS	TOS	TOS		
Päiväys ja allekirjoitus		Työ No	SÄH- 601	
06.11.2009		08076		
 Yhtyneet Insinöörit Oy United Engineers Ltd KUTOJANTIE 11, 02630 ESPOO, FINLAND tel.358-9-4520600, fax.358-9-4520600				
S:\08076\kuva\601_ES.dwg - 06.11.2009				

POSITIO 1

CAREENA



CAREENA E 52W LED 935 M600 LDE DO KA

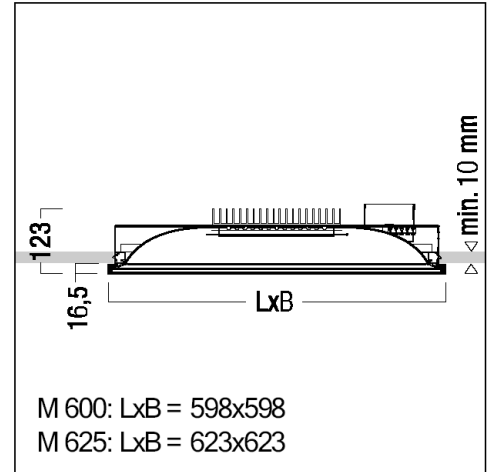
42177952

Recessed lum. opt. w. micropyr. struct.

LED ceiling-recessed luminaire with MPO-plus micropyramidal optic for general lighting, Daughter luminaire for DALI control (DALI only) with high frequency ballast 52 W (nominal) LED neutral white 3500K. Multilayer optical system optimised for LED technology and designed for maximum efficiency, with application-oriented glare-control for DSE workstations and evenly spaced light points. Optic particularly suitable for glare control for monitors having a large tilt angle. High colour rendering Ra 90. Lamp service life 50,000h at 70% luminous flux. Slimline housing made of white enamelled sheet steel, powder coated aluminium optic frame in silver finish. 5-pole connector terminal. Optic can be removed without tools. Installed using FE level-adjustment kit (please order separately); for ceiling Modul: 600. Dimensions: 598 x 598 x 125 mm, weight: 8.72 kg



ZS_CNA_F_Einbau.jpg

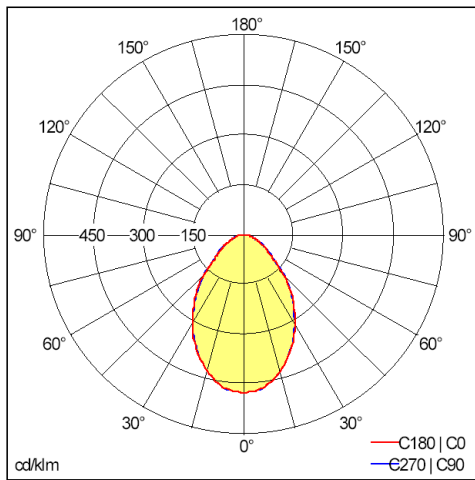


ZS_CNA_M_Einbau.wmf

M 600: LxB = 598x598
M 625: LxB = 623x623

Light Distribution

STD - standard



D27877EN.idt

- Lamps: 1 x LED / 52W
- Total luminous flux: 4300 lm
- Ballast: EVG PC LR24
- Connected Load: 52 W Lambda = 0,95
- Dimming: LDE DO dimmable to 1%
- CELMA: A1





We reserve the right to make technical changes without prior notice. 06.11.2009 © Zumtobel

POSITIO 2

THORN

Base LED

96107303 BASELED 165 MRE 1X12W LED L935

12W LED_L935  IP44  CE 960°C

Base LED

A ceiling recessed IP44 downlight with 12W white LED. Body, in die-cast aluminium, fits Ø165mm cut-out in ceilings 10 - 25mm thick. Bezel, finished in matt white, can be fitted with decorative inner ring in matt white, matt copper or satin silver. Class I electrical. Connection via 3 x 2.5mm² terminal block. Dimmable to 20% using conventional reverse-phase devices. Complete with 3500K LED.

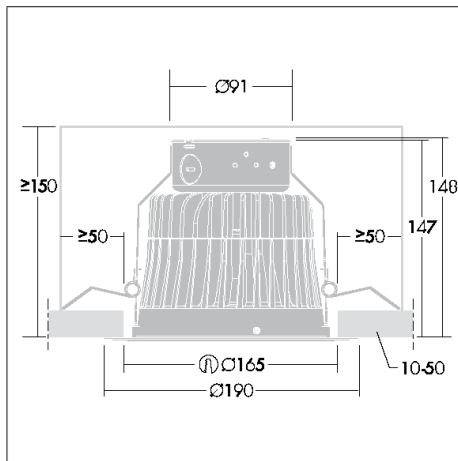
Dimensions : Ø190 x 152 mm

Total power : 12 W

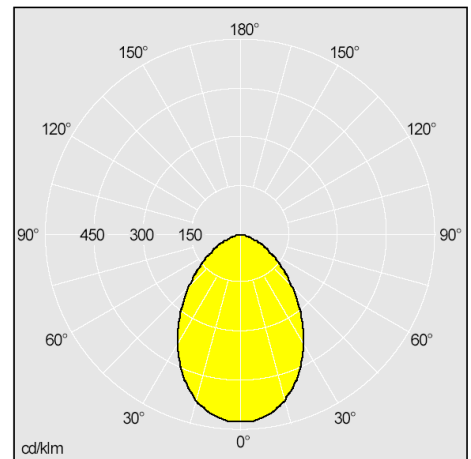
Weight: 1.3 kg



TLG_BASE_F_MRE.jpg



TLG_BASE_M_LD1.wmf



TLG_LE_1126.ltd

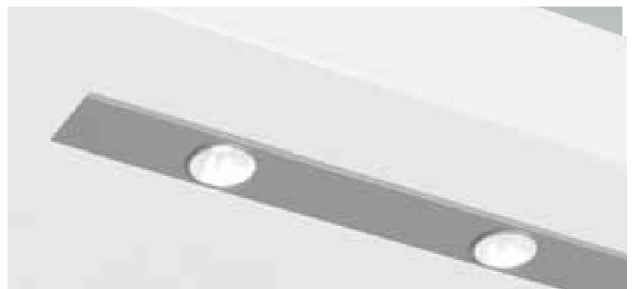
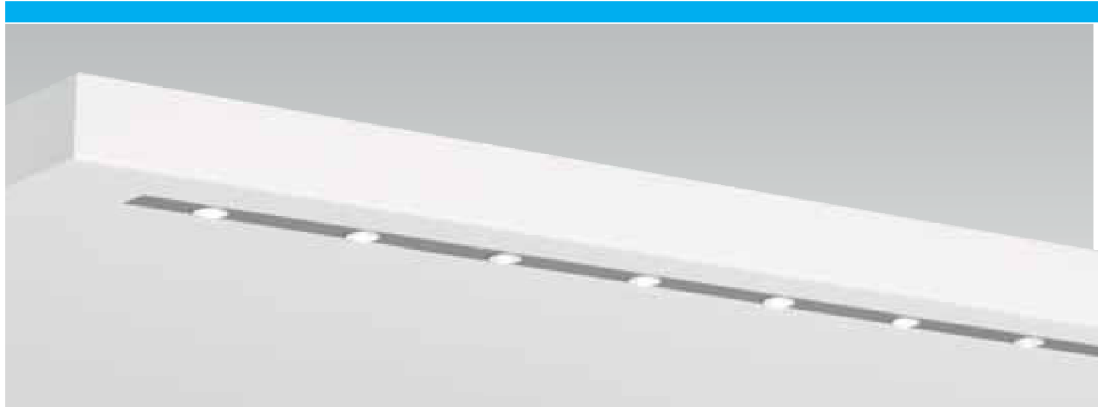
Lamp position: STD - standard

Lamp: LED_L935 12W

LOR: 1,00 ULOR: 0,00 DLOR: 1,00

NANO 1

6



D
 Rechteckiges Leuchtenprofil, Aluminium natur oder schwarz eloxiert
 Wahlweise in drei Ausstrahlwinkeln 18/45/65° lieferbar
 Durchkontaktiertes elektr. Stecksyst. ermöglicht werkzeuglose Montage
 Varianten mit Lichtfarben 2700, 3000, 4000 und 6000K
 Auf Wunsch mit Premiumbinning und mit Farbwiedergabeindex Ra >90
 Bestückung mit energieeffizienten 1,1W e² LED, Lebensdauer 50.000h
 Montagekanäle sind als Aufbau- oder Einbauvariante erhältlich
 Aluminiumprofilkanäle und LED Konverter 24V DC separat bestellen

E
 Square shaped profile made of natural or black anodised aluminium
 Three choices of beam angles 18/45/65°
 Versions with colour temperatures of 2700, 3000, 4000 and 6000K
 Toolless in line mounting of fixtures with cord and plug system
 Premium binning upon request with colour rendering index CRI >90
 Equipped with 1,1W e² LED, life time of 50,000h, operation with 24V DC
 Channels available as recessed or surface mounted systems
 Please order mounting channels and LED converter separately

TYPE		e ² LED	
	15 11,3 L 60	NANO 1 LED 24V DC	CAPACITY L (MM) CODE
		2x1,1W	120 007-1130###_
		3x1,1W	180 007-1132###_
		4x1,1W	240 007-1133###_
		5x1,1W	300 007-1134###_
		5x1,1W mixed	300 007-11340###_
		6x1,1W	360 007-1135###_
		10x1,1W	600 007-1136###_
		10x1,1W mixed	600 007-11360###_
See page 36 for XAL premium binning			
	15 11,3 L 120	NANO 1 LED 24V DC	CAPACITY L (MM) CODE
		3x1,1W	300 007-1154###_
		5x1,1W	500 007-1156###_
See page 36 for XAL premium binning			
	15 11,3 L 18	NANO 1 MIXED LED 24V DC	CAPACITY L (MM) CODE
		6x1,1W	300 007-11240###_
		12x1,1W	600 007-11260###_
See page 36 for XAL premium binning			

LED COLOUR TEMPERATURE																								
e ² LED	4	5	<table border="1"> <tr> <td>007-...41...</td> <td>2700K</td> <td>89 lm/led</td> </tr> <tr> <td>51</td> <td>3000K</td> <td>89 lm/led</td> </tr> <tr> <td>61</td> <td>4000K</td> <td>102 lm/led</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>6000K</td> <td>118 lm/led</td> </tr> <tr> <td>00</td> <td>3000 6000K</td> <td>89 118 lm/led</td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>2700 4000K</td> <td>89 102 lm/led</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>2700 4500K</td> <td>77 lm/led</td> </tr> </table>	007-...41...	2700K	89 lm/led	51	3000K	89 lm/led	61	4000K	102 lm/led	90	6000K	118 lm/led	00	3000 6000K	89 118 lm/led	01	2700 4000K	89 102 lm/led	02	2700 4500K	77 lm/led
	007-...41...	2700K		89 lm/led																				
	51	3000K		89 lm/led																				
	61	4000K		102 lm/led																				
	90	6000K		118 lm/led																				
	00	3000 6000K		89 118 lm/led																				
	01	2700 4000K		89 102 lm/led																				
	02	2700 4500K		77 lm/led																				
6	8																							

COLOUR	
	007-...6_ anodised aluminium
	8_ anodised black

+ ACCESSORIES	
	Channels End caps LED Converter Cable See page 22 25 for more accessories

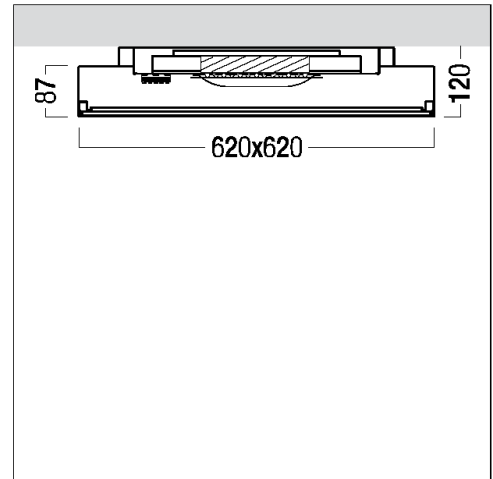
BEAM ANGLE	
	007-...S_ spot 18° F_ flood 45° W_ wide flood 65° total viewing angle

Surf-mount lum. with micropyramid optic

LED surface-mount luminaire with MPO-plus micropyramidal optic for general lighting with ceiling illumination. Daughter luminaire for DALI control (DALI only) with high frequency ballast 52 W (nominal) LED neutral white 3500K. Multilayer optical system optimised for LED technology and designed for maximum efficiency, with application-oriented glare-control and evenly spaced light points. Optic particularly suitable for glare control for monitors having a large tilt angle. High colour rendering Ra 90. Lamp service life 50,000h at 70% luminous flux. Slimline housing made of translucent polymethylmethacrylate for visible lamps and ceiling illumination. powder coated aluminium optic frame in silver finish. 5-pole connector terminal. Optic can be removed without tools. Dimensions: 620 x 620 x 128 mm, weight: 9.27 kg



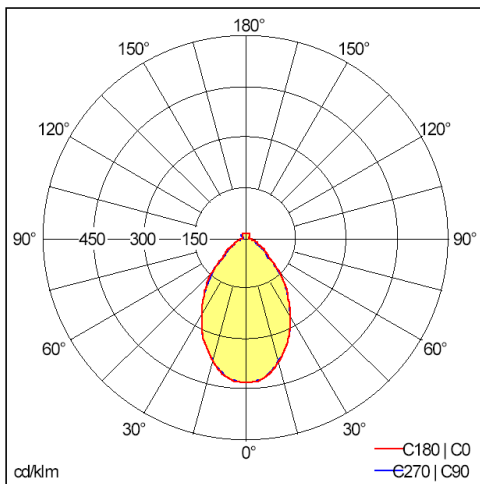
ZS_CNA_F_Anbau.jpg



ZS_CNA_M_Anbau.wmf

Light Distribution

STD - standard



D27876EN.Idt

- Lamps: 1 x LED / 52W
- Total luminous flux: 4300 lm
- Ballast: EVG PC LR24
- Connected Load: 52 W Lambda = 0,95
- Dimming: LDE DO dimmable to 1%
- CELMA: A1