

Iivo Korte

Aurinkoenergian opetuspaketti

Opinnäytetyö
Energiatekniikan koulutus

2017



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Iivo Korte	Insinööri (AMK)	Toukokuu 2017
Opinnäytetyön nimi		49 sivua 5 liitesivua
Aurinkoenergian opetuspaketti		
Toimeksiantaja		
Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu		
Ohjaaja		
Lehtori Vesa Kankkunen		
Tiivistelmä		
<p>Insinöörityön tarkoituksena on tuottaa Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululle aurinkoenergiaan liittyvä opetuspaketti, joka on tarkoituksenmukainen ja ymmärrettävä. Opetuspaketin on tarkoitus perehdyttää opiskelija aurinkosähkötekniikan perusteisiin tekemällä yksinkertaisia sähkötekniisiä mittauksia ja tutkimalla, miten komponentit käyttäytyvät keskenään. Säästä riippuen tämän tulee olla mahdollista tapahtua sekä sisätiloissa, että ulkoilmassa.</p> <p>Työ alkoi selvittämällä, mistä aurinkoenergia laitteistot koostuvat, sekä miten ne toimivat. Sitä seurasi laitteiston mekaanisen ja sähkötekniikan kokonaisuuden suunnittelu. Suunnittelun jälkeen hankittiin tarvittava materiaali ja komponentit, joka mahdollisti rakennustyön aloittamisen. Rakennustyön valmistumisen jälkeen suunniteltiin vielä muutama esimerkkiharjoitus.</p> <p>Lopputuloksena oli opetuspaketti, jolla on hyvä lähteä opettamaan aurinkotekniikan perusteita tulevien vuosikurssien opiskelijoille.</p>		
Asiasanat		
aurinkosähkö, aurinkoenergia, uusiutuva energia, energiatekniikka		

Author (authors)	Degree	Time
Iivo Korte	Bachelor of Engineering	May 2017
Thesis Title		
Teaching module for solar energy		49 pages 5 pages of appendices
Commissioned by		
South-Eastern Finland University of Applied Sciences		
Supervisor		
Vesa Kankkunen, Senior Lecturer		
Abstract		
<p>The purpose of this thesis work was to produce a solar energy teaching module for South-Eastern Finland University of Applied Sciences that would be functional and easily graspable. The purpose of this teaching module is to introduce students to the basics of the solar electrical technology through basic electrical measurements and through studying how different components interact with each other. Depending on weather, it should work both in- and outdoors.</p> <p>The work started with learning from which components solar energy installations are built from and how they function. It was followed by making electrical and mechanical plans for build of module. The Planning was followed by procurement of material and components, which allowed the assembling phase to begin. The finished assembly was followed by designing several example exercises.</p> <p>The result was a functional teaching module, which provides a good for start teaching basics of solar energy to future students.</p>		
Keywords		
solar energy, solar electricity, renewable energy, energy engineering		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	AURINKO JA AURINKORESURSSIT	6
2.1	Auringon säteilyteho	7
3	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT	7
3.1	Valosähköinen paneeli.....	7
3.1.1	Valosähköinen kenno.....	8
3.1.2	Valosähköisen kennon ominaiskäyrä ja maksimitehopiste	9
3.1.3	Monikiteisen piin kenno.....	11
3.1.4	Yksikiteisen piin kenno.....	12
3.1.5	Amorfisen piin kenno	13
3.1.6	Valosähköisen paneelin rakenne	13
3.1.7	Suuntauksen vaikutus valosähköisen paneelin tuottoon.....	15
3.2	Lataussäätimet	17
3.2.1	Pulssinleveysmodulaatio.....	17
3.2.2	Maksimitehopisteen säätö	18
3.3	Akku.....	18
3.3.1	Lyijyakku	19
3.3.2	Litium-ioniakku.....	19
3.4	Invertteri.....	20
3.4.1	Ketjuinvertteri.....	20
3.4.2	Keskusinvertteri	20
3.4.3	Mikroinvertteri	21
4	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN TYYPIT	21
4.1	Verkkoon liitetyt aurinkosähköjärjestelmät.....	21
4.2	Verkkoon liittymättömät aurinkosähköjärjestelmät	22
5	OPETUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITELMA	22
5.1	Mekaaninen suunnitelma	22

5.2	Sähköinen suunnitelma	23
5.2.1	Paneelit.....	23
5.2.2	Lataussäätimet	24
5.2.3	Akku.....	25
5.2.4	Kuormat	26
5.2.5	Tukilaitteet	28
6	OPETUSJÄRJESTELMÄN TOTEUTUS.....	29
6.1	Mekaaninen toteutus	29
6.2	Sähköinen toteutus	30
7	ESIMERKKIHARJOITUKSIA	32
7.1	Harjoitus 1	32
7.2	Harjoitus 2	32
7.3	Harjoitus 3	35
7.4	Harjoitus 4	37
7.5	Harjoitus 5	39
7.6	Harjoitus 6	43
8	YHTEENVETO	45

LÄHTEET

LIITTEET

Liite 1. Opetusjärjestelmän rungon CAD-suunnitelma

Liite 2. Periaatekuva komponenttien sijoituksista taustalevyyn

Liite 3. Solistek A1 DE datalehti

Liite 4. Solistek A1 DE Ohje

1 JOHDANTO

Aurinkosähkölaitteistojen hinnat ovat pudonneet viime vuosikymmenellä. Samoin on Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulussa perinteinen energiatekniikan ohjelma korvattu energia- ja ympäristötekniikan ohjelmalla, johtuen energiatehokkuuden sekä uusiutuvien energiamuotojen tärkeyden kasvusta energia-alalla. Tämän takia on tärkeää, että Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu pystyy tarjoamaan opetusta aurinkoenergiaan liittyen.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on suunnitella ja rakentaa pienoismalli aurinkovoimalasta joka sijaitsee Haminan Mäkelänkankaalla sijaitsevassa aurinko- ja tuulipuistossa osana Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Aurinko- ja tuulivoiman koulutus ja tutkimuskeskittymä hanketta. Mäkelänkankaan aurinko- ja tuulipuistossa sijaitsevassa aurinkovoimala on rakennettu yhteensä 2772 paneelista joiden yhteenlaskettu huipputeho on 720 kilowattia ja neljästä tuulivoimalasta joiden jokaisen huipputeho on 2 megawattia, joten hyvänä päivänä puisto kykenee tuottamaan 720 kilowatin teholla aurinkosähköä ja kahdeksan megawatin teholla tuulisähköä.

Työhön tulee sisällyttämään aurinkosähkötekniikan teoriaan tutustuminen, koulutuslaitteiston pienoismallin sähköistyksen ja mekaanisen puolen suunnittelu ja rakentaminen, sekä muutamien esimerkkiharjoitusten kehittäminen. Pienoismalli tulee opetuskäyttöön ja sen avulla on tarkoitus havainnollistaa opiskelijoille laboratoriotöiden avulla miten aurinkosähköä tuotetaan sekä Mäkelänkankaalla että yleensä.

2 AURINKO JA AURINKORESURSSIT

Taivaalla paistava Aurinko on massiivinen ja käytännössä ehtymätön puhtaan energian lähde, joka on suoraan tai epäsuorasti kaikkien energian tuotantomuotojen takana fissiolaitoksia lukuun ottamatta. Tuuli- ja vesivoima perustuvat auringon lämmön aiheuttamiin paine-eroihin ja höyrystymiseen, biomassaa perustuu eliöihin jotka käyttävät auringon energiaa tavalla tai toisella elämänsä aika. Jopa fossiiliset polttoaineet perustuvat muinaisiin eliöihin joiden olemassaolo perustuu auringon voimaan. (Albright ym. 2012, 269.)

2.1 Auringon säteilyteho

Maan kiertoradan tasolla, ja ilmakehän ulkopuolella, on auringosta tulevan säteilyn intensiteetti vähintään kilowatin luokkaa neliometriä kohti. Kun taas maanpinnalle keskimääräinen säteily on keskimäärin noin 166 Watin luokkaa neliometrillä, mikä tekee päivittäisessä energiassa noin 4 kilowattituntia neliometrillä. Tietysti tämä on vain keskiarvo ja todellinen arvo on paljon suurempi päiväntasaajalla ja kutistuu navoille mentäessä. Suomenkin korkeudella auringon säteilyteho on edelleen varteenotettava vaihtoehto, koska näilläkin korkeuksilla auringon säteilyteho on edelleen keskimäärin vajaat 1000 wattia neliometrillä. Ilmatieteen laitos on mitannut vuotuiseksi säteilyenergiaksi neliometriä kohden 980 kilowattituntia neliometriä kohti eteläisimmässä Suomessa, 890 kilowattituntia neliometriä kohti keskisessä Suomessa ja vielä 790 kilowattituntia neliometriä kohti Pohjois-Suomessa. Tietysti tämä luku vaihtelee, johtuen Maapallon ja Auringon välisen etäisyyden muutoksista sekä Suomen ilmasto ja sääolosuhteista kunakin vuonna. (Albright ym. 2012, 269; Motiva.)

3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT

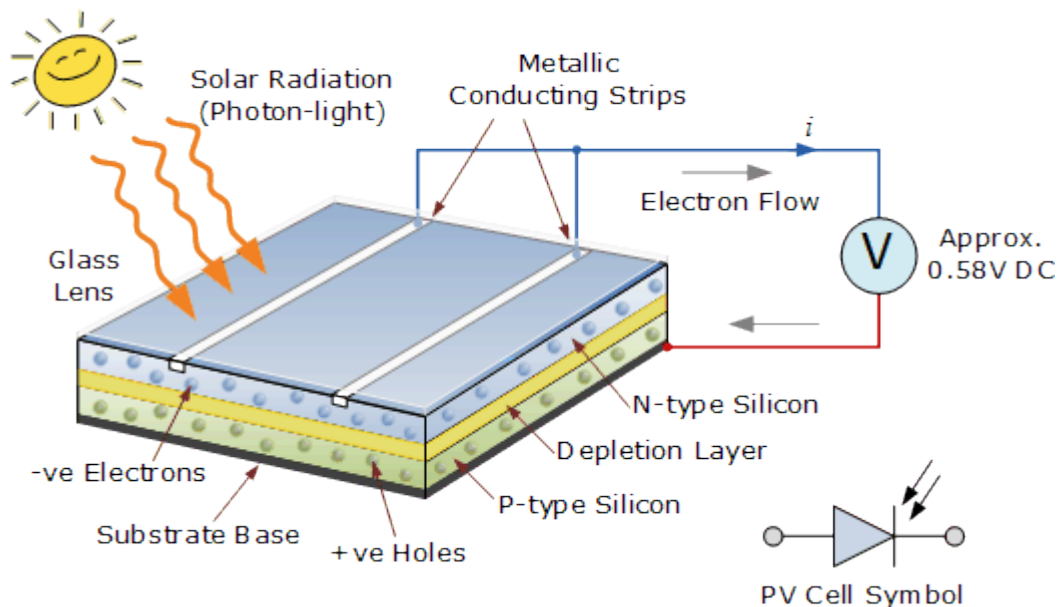
Aurinkosähköjärjestelmä koostuu yksinkertaisimmillaan valosähköisestä paneelistä ja kuormasta johon syötetään valosähköisen paneelin tuottamaa tasasähköä. Koska auringonpaiste ei ole tasaista lisätään järjestelmään yleensä vielä lataussäädin ja akku tai akusto. Näiden tarkoituksena on tasata aurinkopaneelin tuottamaa sähköenergiaa varastoimalla sitä ja ohjaamalla sen jännitettä ja virtaa.

3.1 Valosähköinen paneeli

Valosähköiset paneelit ovat aurinkosähköjärjestelmän sydän. Nämä paneelit rakennetaan kytkemällä sarjaan lukuisia valosähköisiä kennoja, jotka ovat tavallisimmin valmistettu seostetusta piistä. Näiden kennojen suojana on tavallisesti kova lasikate joka suojaa kennoja vahingolta ja elementeiltä. Paneelin toiminnan parantamiseksi se varustetaan usein ohitus- ja estodiodeilla. (Hieta-lahti 2013, 71.)

3.1.1 Valosähköinen kenno

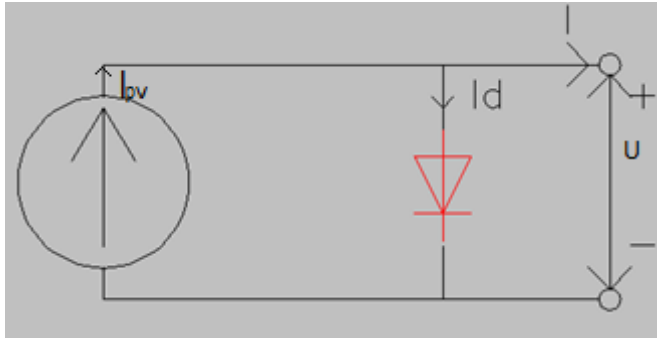
Valosähköinen kenno koostuu kahdesta kerroksesta puolijohdemateriaalia joista ylempi on seostettu niin, että siinä olevat epäpuhtaudet antavat sille elektronien ylimäärän. Tästä käytetään nimitystä N-typin puolijohde, koska se on negatiivisesti varautunut. Alemmassa kerroksessa olevat epäpuhtaudet taas aiheuttavat elektronien alimäärän, jossa on elektronien mentäviä aukkoja, joten sitä kutsutaan myös P-typin puolijohdeeksi sen positiivisesta varauksesta johtuen. Tämä elektronien epätasapaino kerrosten välillä aiheuttaa sen, että kun kerrokset kerrostetaan, vaeltavat elektronit aluksi N-kerroksesta P-kerrokseen, kunnes kaikki aukot ovat kerrosten välisellä rajaseudulla täytetty. Tämän seurauksena syntyy estovyöhyke, joka torjuu enempien elektronien siirtymisen. Kun N- ja P-kerrokset kytketään toisiinsa ja N-kerrosta valaistaan, vapautuvat elektronit saavat ylimääräistä energiaa, ja alkavat puskemaan toisiaan kohti johdinta, joka yhdistää puoliskot toisiinsa. Vastaavasti P-kerroksen aukot alkavat matkata kohti taustalevyä, johon johdin on kiinnitetty (kuva 1). Tästä seuraa sähkövirran kulku kennon puoliskojen välillä, joka jatkuu niin kauan, kunnes kennoa valaistaan. (Hietalahti 2013, 68.)



Kuva 1. Aurinkokennon rakenne (Alternative energy tutorials)

Edellä mainittu pätee valaistuksen alla. Kun aurinkokennoa ei valaista, ja kenno altistetaan ulkoiselle jännite lähteelle, toimii se kuin tavallinen PN-diodi

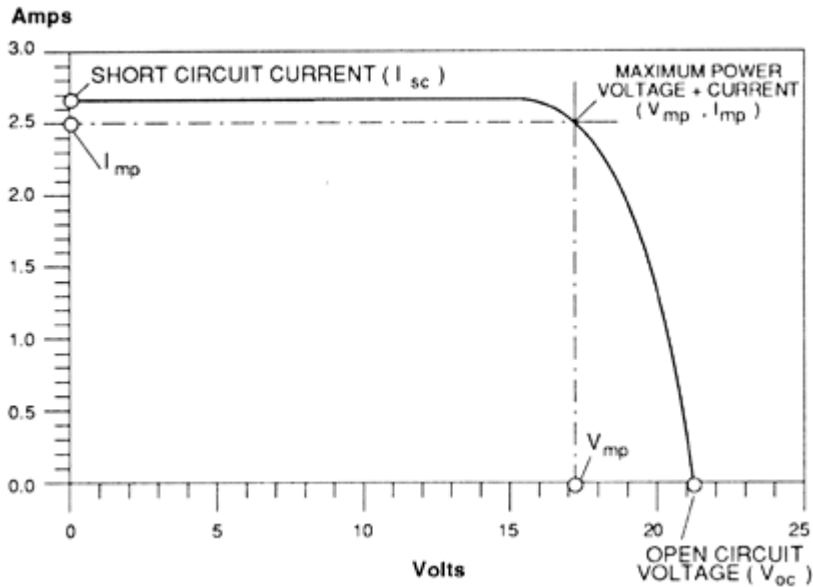
ikään. Tämä saattaa olla ongelma tietyissä tilanteissa koska se voi johtaa esimerkiksi akun purkautumiseen aurinkopaneelin kautta, mutta se voidaan estää esimerkiksi estodiodeilla joista puhutaan myöhemmin. Tämän takia aurinkokennon sijaiskytkentänä voidaan käyttää vakiovirtalähdettä, jonka rinnalle on kytketty diodi (kuva 2). (Kalogirou 2014, 488.)



Kuva 2. Valosähköisen kennon sijaiskytkentä

3.1.2 Valosähköisen kennon ominaiskäyrä ja maksimitehopiste

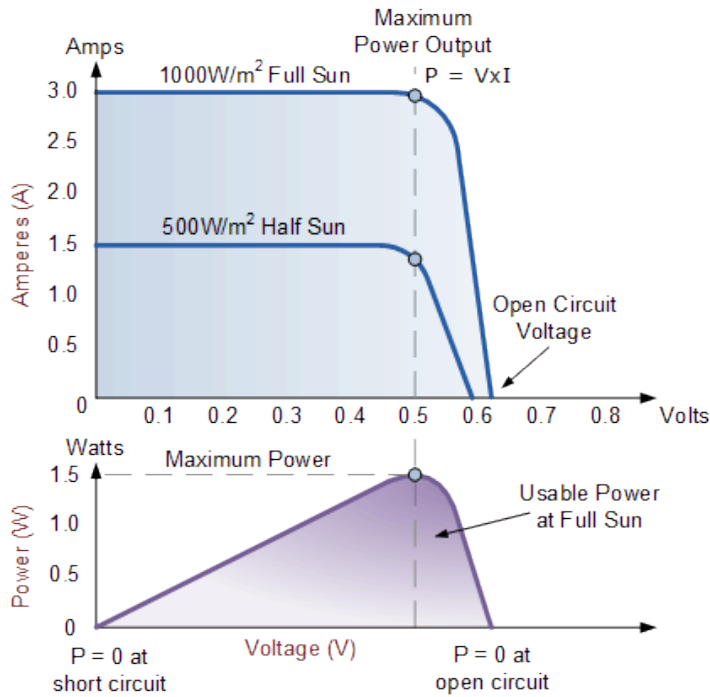
Valosähköisen kennoilla on virta-jännite ominaiskäyrä, joka kuvaa kaikki mahdolliset virta-jännite yhdistelmät tietyllä säteilyn intensiteetillä ja tietyssä lämpötilassa oikosulun ja avoimen piirin välillä. Ideaalisen aurinkokennon tuottama sähkövirta pysyy vakiona ja on lähellä oikosulkuvirtaa paneelin kuormitusta kasvattaessa, kunnes aletaan lähestyä niin sanottua maksimitehopistettä. Tämän jälkeen kenno alkaa käyttäytymään yhä enemmän vakiojännitelähteen tavoin ja vastuksen kasvattaminen vähentää sähkövirran määrää jännitteen pysyessä lähes vakiona, kunnes saavutetaan avoimen piirin jännite jolloin virta ei kulje ollenkaan (kuva 3). Virta-jännite ominaiskäyrä saadaan helposti tehtyä kytkemällä säädettävä vastus kennon napoihin ja kirjaamalla talteen virta- ja jännitearvot kussakin vastuksen asennossa.



Kuva 3. Esimerkki valosähköisen kennon ominaiskäyrästä (Darling D.)

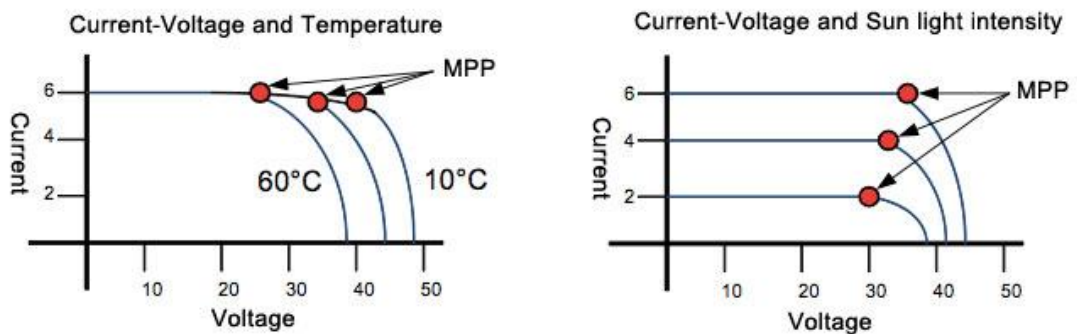
Tämä ominaiskäyrä ei ole aina sama, vaan se muuttuu ympäristön olosuhteiden mukaan kennon operointilämpötilan ja auringon säteilyintensiteetin vaihdeltaessa. Näistä kennon lämpötila vaikuttaa kennon jännitteeseen ja säteilyn intensiteetti vaikuttaa siihen mikä on paneelin tuottama sähkövirta. Sähkövirran ja säteilytason välillä on positiivinen korrelaatio mikä johtaa siihen, että kenno tuottaa sitä paremmin sähköä mitä kirkkaampaa on. Kun taas piikennon jännite laskee lämpötilan myötä, johtaen heikompaan jännitetasoon kuumemalla säällä.

Koska aurinkopaneelin tuottama virta on suurimmaksi osaksi vakio johtaa se siihen, että tiettyyn pisteeseen asti on valosähköisen paneelin teho ja jännite ovat suoraan verrannollisia toisiinsa, ja teho kasvaa jännitteen myötä. Kuitenkaan tämä ei pidä loputtomiin paikkaansa, vaan lopulta saavutetaan piste jonka jälkeen teho ei kasva ja lähtee romahtamaan, koska sähkövirran syöttö lähtee romahtamaan (kuva 4). Tätä pistettä kutsutaan aurinkokennon maksimitehopisteeksi.



Kuva 4. Valosähköisen kennon jännitteen ja virran suhde sekä jännitteen ja tehon suhde (Alternative Energy Tutorials)

Tämän maksimitehopisteen tulisi olla vakio. Kuitenkaan se ei sitä ole vaan se muuttuu sitä mukaan kun ympäristön olosuhteet, ja täten virta-jännite ominaiskäyrä, muuttuvat (kuva 5). (Alternative energy tutorials; David Darling; Kalogirou 2014, 488.)



Kuva 5. Lämpötilan ja säteilyintensiteetin vaikutus aurinkokennon ominaiskäyrään (Gozuk)

3.1.3 Monikiteisen piin kenno

Monikiteisen paneelin kennot (kuva 6) valmistetaan sulattamalla joukko erilaisia piin sirpaleita yhdeksi palkiksi ja leikkaamalla siitä kennoihin tulevia levyjä.

Nimensä mukaisesti näissä kiekkoissa on useita kiderakenteita ja täten kiderajoja. Monikiteisyys vähentää valmistuskustannuksia, mutta heikentää hyötysuhdetta. Valmistajasta ja mallista riippuen monikiteisten paneelien hyötysuhde on 13 – 18 %. Monikiteisestä piistä valmistetut kennot ovat kestäviä, ja niille arvioidaan 25 vuoden elinajanodotetta, mutta on olemassa paneeleita, jotka ovat olleet toiminnassa 1970 ja 1980 lukujen vaihteesta asti. (Boxwell 2012, 69.)



Kuva 6. Monikidepiin kennoja (SolarPV.co.uk)

3.1.4 Yksikiteisen piin kenno

Yksikidepii vastaa monikidepiitä sillä erotuksella, että nimensä mukaisesti kenno koostuu yhdestä yhtenäisestä piikiteestä (kuva 7). Yksikiteisen piin kenno valmistetaan kasvattamalla hitaasti yhdestä piikiteestä koostuva pylväs. Tämä parantaa hyötysuhdetta koska se vähentää kiderajojen aiheuttamia häviöitä, mutta vastaavasti se kasvattaa hintaa verrattuna monikidepiihin. Yksikidepiille luvataan 15 – 24 % hyötysuhdetta ja vastaavasti se on arviolta 30 – 35 % kalliimpaa, kuin monikiteinen pii. (Boxwell 2012, 69.)



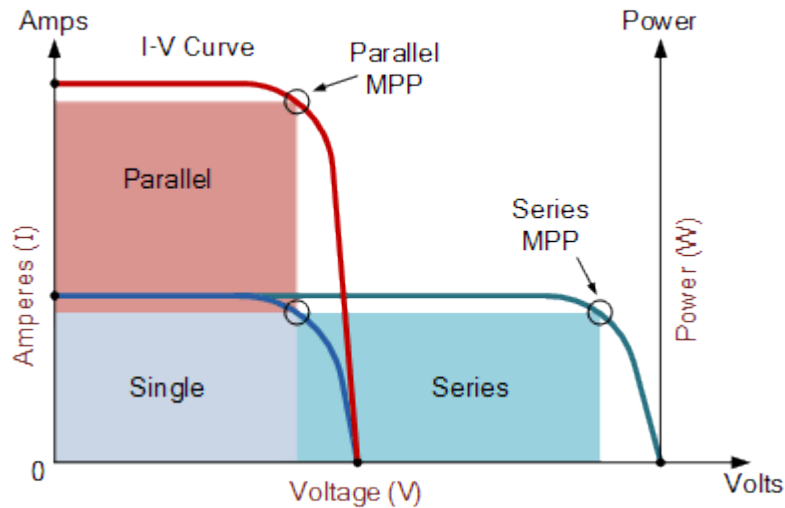
Kuva 7. Yksikiteisenpiin kennoja (SolarPV.co.uk)

3.1.5 Amorfisen piin kenno

Ohutfilmipaneeli eli amorfisen piin kenno koostuu piistä, joka on kristallisen rakenteen sijasta amorfisessa muodossa. Ohutfilmipaneelit ovat hyötysuhteeltaan heikompia, tyypillisesti 6 – 8 % auringonvalosta saadaan sähköksi, mutta niiden tuotto osittaisen varjostuksen alla on parempaa verrattuna kidepaneeliin. Myös se että ohutfilmipaneelit ovat edullisempia valmistaa, ja että ne voidaan muokata kidepaneeleita helpommin erilaisiin muotoihin, puhuu niiden puolesta. Toisaalta koska ohutfilmi kennoja tarvitaan suuremmalle pinta-alalle tuottamaan vastaava teho, tulee todennäköisesti tästä aiheutuvat rakennuskulut mitätöimään edut, jotka saavutetaan alentuneista tuotantokustannuksista. (Boxwell 2012, 67.)

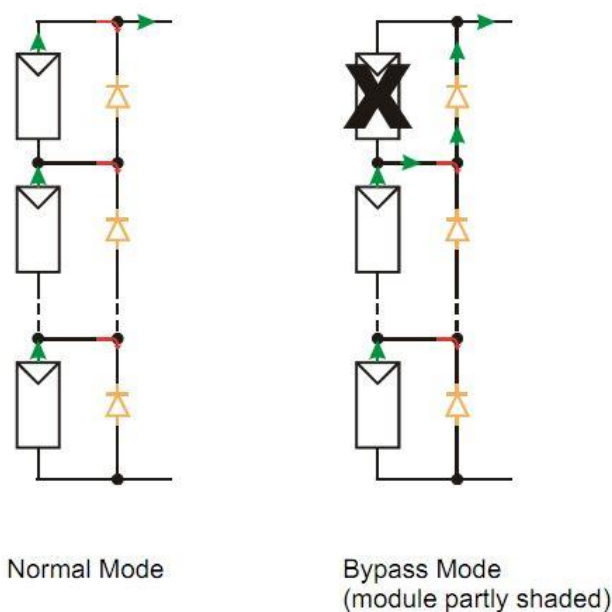
3.1.6 Valosähköisen paneelin rakenne

Valosähköiset paneelit koostuvat yksittäisistä valosähköisistä kennoista, jotka on kytketty sarjaan ketjuksi paneelin jännitteen nostamiseksi. Pienemmissä paneeleissa ketjuja on vain yksi, mutta suuremmissa paneeleissa tai jos tehoa halutaan kasvattaa nostamatta jännitetasoa, kytketään kaksi tai useampia ketjuja rinnan, ja kasvatetaan kennojen synnyttämään sähkövirtaa jännitteen sijaan (kuva 8). (Kalogirou 2014, 495.)



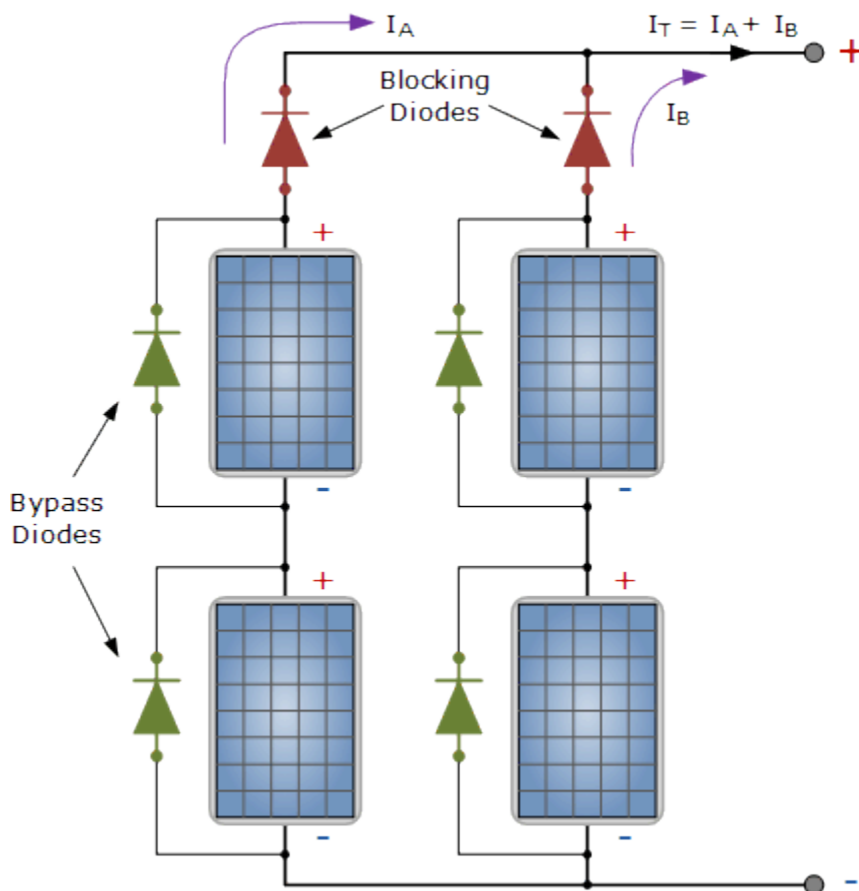
Kuva 8. Kennojen rinnan- ja sarjaankytkennän vaikutukset jännitteeseen ja virtaan. (Alternative Energy Tutorials)

Koska kennot voivat varjostua luonnonolosuhteissa, varustetaan paneelit ohitusdiodeilla. Nämä diodit kytketään rinnan aurinkokennojen kanssa, ja siten, että ne ovat normaalisti estosuunnassa, kun aurinkokenno toimii normaalisti. Kun kenno tai ketjun varjostuu, sen polariteetti muuttuu, ja tämä muuttaa ohitusdiodista päästösuuntaisen (kuva 9). Teoriassa joka ikisen kenno rinnalle pystyisi kytkemään ohitusdiodin, mutta koska tämä vaikuttaa suoraan aurinkopaneelien hintaan, ohitetaan diodilla yleensä kennojen sarja. Suuremmissa paneeleissa tämä tarkoittaa kahta tai useampaa ohitusdiodia, kun taas pienempien paneelien kohdalla ohitusdiodi ohittaa koko paneelin (PVEDUCATION.ORG).



Kuva 9. Ohitusdiodin toiminta (CIVICSOLAR 2011)

Valosähköiset paneelit voidaan varustaa myös estodiodeilla joko paneeli- tai kennoketjun tasolla. Estodiodeja voi sijoittaa myös lataussäätimessä. Kun ketjut tai paneelit kytketään rinnan ja tapahtuu varjostuminen, käy niin, että osa varjostumattoman osion synnyttämästä sähkövirrasta ohjautuu varjostamattomaan paneeliin tai ketjuun, siihen asti, että rinnan kytkennän kaikki osat ovat samassa potentiaalissa (kuva 10). Estodiodeja varmistaa myös sen, että akustolla varustetussa järjestelmässä akusto ei purkaudu paneelien lävitse yön aikana. (CIVICSOLAR 2011; PVEDUCATION.ORG.)



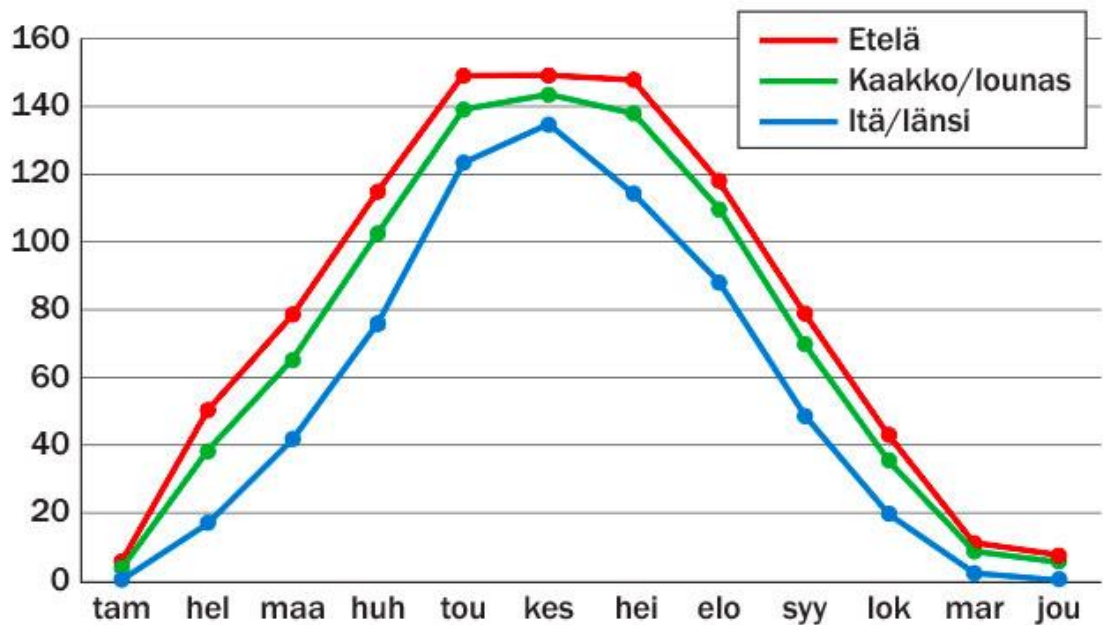
Kuva 10. Periaatekuva estodioidien asennuksesta (CIVICSOLAR 2011)

3.1.7 Suuntauksen vaikutus valosähköisen paneelin tuottoon

Valosähköinen paneeli tuottaa suurimman tehon, kun se suunnataan suoraan aurinkoa päin. Koska auringon asema taivaalla vaihtelee vuorokauden- ja vuodenaikojen mukaan tuottaa se ongelmia tälle tavoitteelle. Yksi ratkaisu on aurinkoa seuraavat paneelit. Näissä paneelien telineet varustetaan moottoreilla, ja antureilla jotka seuraavat auringon asemaa taivaalla. Vastaavasti aurinkoa

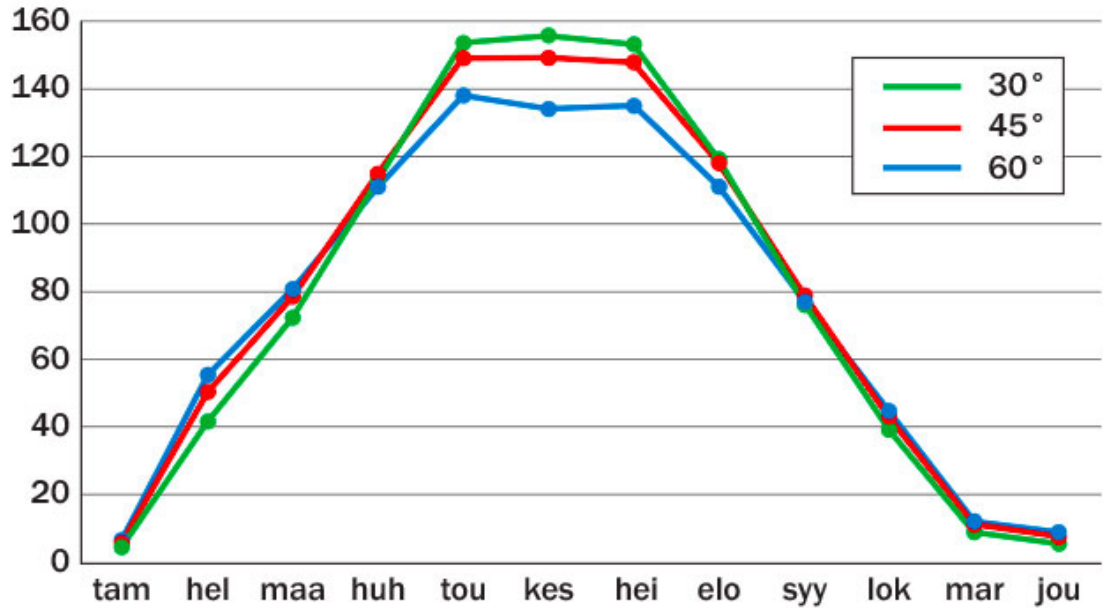
seuraavilla paneeleilla ovat korkeammat hankinta- ja huoltokustannukset kuin kiinteillä paneeleilla. (Bushong 2016.)

Kiinteällä asennuksella voidaan myös yrittää optimoida tuotantoa, jos asennuspinta sen sallii. Pisimmän tuotantoajan saamiseksi paneelin tulisi osoittaa suoraan etelään (kuva 11). Näin aurinko ensimmäisten ja viimeisten säteiden välillä on mahdollisimman monta tuntia.



Kuva 11. Ilmansuunnan vaikutus valosähköisen paneelin vuotuisen tuotantoon (AJHO Energia)

Kallistuskulmalla taas voidaan vaikuttaa siihen, milloin paneeli tuottaa parhaiten. Mitä pystymässä kulmassa paneeli on, sitä enemmän se tuottaa talven vähäisinä tunteina ja vastaavasti kesän tuotanto vähenee. Paneelin kallistamisella maata kohti taas on päinvastainen vaikutus (kuva 12). Paneelin sijoittaminen noin 45 asteen kulmaan taas on kompromissi, näiden ääripäiden välillä, ja mahdollistaa kohtalaisen tuoton ympäri vuoden. (Ahjo Energia.)



Kuva 12. Kallistuskulman vaikutus valosähköisen paneelin vuotuisen tuotantoon (AJHO Aurinkosähkö, Aurinkopaneelien sijoitus ja asennus)

3.2 Lataussäätimet

Lataussäädin on tehoelektroninen laite, joka nimensä mukaisesti säätää sitä, millä jännitteillä ja virroilla energia liikkuu erisuuntiin valosähköisessä järjestelmässä. Lataussäätimet voidaan varustaa myös lämpötila-anturilla, joka monitoroi akun tai akuston lämpötilaa vahinkojen välttämiseksi. Paremmin varustettujen lataussäätimien varustukseen kuuluu myös liitäntä mahdollisella datakaapelille jolla sen tilaa voidaan valvoa etänä ja mahdollisesti tarvittaessa muuttaa sitä minkälaisella ohjelmalla se suorittaa lataustoimintoa. Yleisimmät latauksen säätötekniikat ovat PWM (Pulse Width Modulation) eli pulssinleveysmodulaatio ja MPPT (Maximum power point tracking) eli maksimi tehopisteen säätö.

3.2.1 Pulssinleveysmodulaatio

Pulssileveysmodulointi, tai PWM, on yleisempi nykyisistä lataussäädintekniikoista. Pulssileveysmodulointi perustuu siihen, että säädin mittaa, tai säätimelle asennetaan, patteriston nimellisjännite jonka jälkeen säädin alkaa kääntää elektronista kytkintä nopeassa tahdissa auki ja kiinni samalla mitaten jännitetasoa. PWM-lataussäädin kytkee paneelin suoraan akkuun ja laitteen tuot-

tama modulaatio laskee paneelien jännitettä tasolle, joka on sopiva kompromissi akkujen terveyden ja latautuvuuden välillä. Pulssileveysmodulointi on edullinen tapa säätää jännitettä mutta sen ongelmana on, että paneelin akuille syötettävä sähkövirta pysyy vakiona. Tämä johtaa ongelmiin korkeammilla jännitetasoilla koska jännitteen laskeminen ilman, että sähkövirtaa kasvatetaan, johtaa häviöihin tehossa. Tästä johtuen PWM sopii parhaiten järjestelmiin joissa akkujen ja paneelien nimellisjännitteet ovat lähellä toisiaan. (Bluelight 2011.)

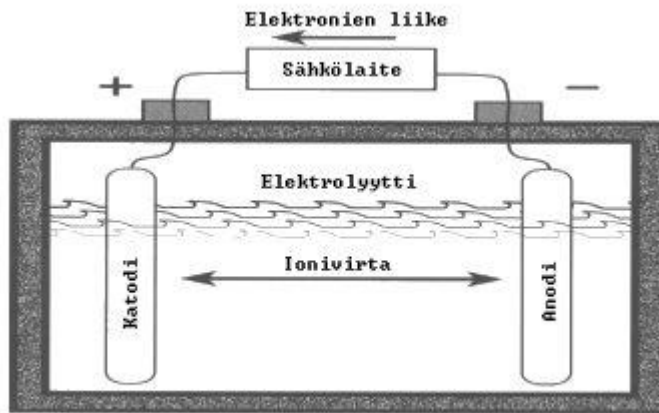
3.2.2 Maksimitehopisteen säätö

Maksimitehopisteen säätö, eli MPPT, on parannettu järjestelmä PWM-säätimestä. Toisin kuin PWM-säädin, joka tuo paneelit akustojen tasolle, MPPT-säädin pyrkii aktiivisesti siihen että paneeleiden jännite ja virta ovat siinä pisteessä, mikä tuottaa kullakin hetkellä maksitehon. PWM-säätimen lailla MPPT-säädin alentaa akkupiirissä jännitteen akuille sopivaksi, mutta toisin kuin PWM-säädin MPPT-lataussäätimessä käytetään kehittyneempiä DC-DC muuntotekniikoita, joka kykenevät korottamaan akuille menevän sähkövirran määrää samassa suhteessa kuin akuille annettava jännite alennetaan. Tämä vähentää tehohäviöitä ja nopeutta lataussyklejä. Kääntöpuolena on se että MPPT-säätimet ovat kalliimpia ja suurempia kuin PWM-säätimet, johtuen suuremmasta komponenttien määrästä, sekä niistä seuraavasta jäähtymisen tarpeesta. (Leonics; Northern Arizona Wind&Sun.)

3.3 Akku

Aurinkoenergiaa varastoidaan akkuihin niitä hetkiä varten kun auringonpaiste ei ole riittävää energiatuotantoa varten. Akku myös tasoittaa kuormalle menevää energiaa koska se saadaan akuista vakiojännitteellä. Akkujen toiminta perustuu sähkökemialliseen reaktioon jossa sähköenergia on varastoitu elektrolyyttiin upotettuihin elektrodeihin. Elektrolyytti sisältää elektrodien materiaalia vastaavia ioneita, ja elektrodiparissa toinen elektrodi on katodi jossa tapahtuu pelkistyminen ja toinen elektrodi on anodi jossa tapahtuu hapettuminen (kuva 13). Yhdessä akussa on usein monta sähkökemiallista paria halutun jännite tason saavuttamiseksi. Elektrolyytti voi olla nestemäisessä muodossa, geelinä

tai imeytettynä lasikuitumattoon. Akut yleensä luokitellaan elektrodimateriaalin perusteella. (Ahtela ym. 1998; Motiva 2016.)



Kuva 13. Akun periaate (Ahtela ym. 1998)

3.3.1 Lyijyakku

Rakenteellisesti lyijyakku koostuu kahdesta lyijyelektrodista upotettuna elektrolyyttiin, joka on nestemäisessä tai geelimäisessä muodossa, tai imeytettynä lasikuitumattoon. Lyijyakkujen nimellisjännite on tavallisesti 12 voltia, mutta suurempia jännitteitä saadaan aikaiseksi kytkemällä akkuja sarjaan. Lyijyakut ovat suhteellisen edullisia mutta niitä vaivaa pieni energiatiheys, joka on noin 30 wattituntia kilogramma kohti, mistä johtuen akustojen massa kasvaa voimakkaasti niiden energiakapasiteetin kasvaessa. Tästä huolimatta lyijyakut ovat yleisin alkutyypin aurinkosähköntuotannossa. (Motiva 2016.)

3.3.2 Litium-ioniakku

Litium-ioni akku koostuu etyleenikarbonaatti-elektrolyytissä olevista litiumoksidielektrodeista. Elektrodimateriaalina käytetään myös mangaani- ja kobolttioksidia, rautafostaattia, nikkeliä, alumiinia, titanaattia ja polymeeriä. Litium-ioniakkujen etuna muihin akkutyyppeihin on korkeampi solujännite sekä suuri energiatiheys. Litium-rautafosfaattiakuissa luku on 100 wattituntia kilogrammaa kohti ja litium-polymeeriakuissa vastaava luku on 200 wattituntia kilogrammaa kohti. Litium-ioni akut toisaalta ovat hankalampia valmistaa, mikä johtuu niiden herkkyydestä epäpuhtauksille ja kosteudelle. Nämä ominaisuudet myös nopeuttavat niiden ikääntymistä kaltoin kohdeltuna eivätkä li-ioni-

akut pidä syväpurkautumisesta tai ylilatauksista. Tästä huolimatta litium-ioni akkuja kaupataan aurinkosähköjärjestelmille. (Motiva 2016.)

3.4 Invertteri

Koska monet kodin sähkölaitteet, puhumattakaan valtakunnan verkosta, käyttävät vaihtosähköä aurinkopaneelin syöttämän tasasähkön sijaan, tarvitaan keino tasasähkön muuttamiseksi vaihtosähköksi ja tässä tulevat invertterit kuvaan. Yksinkertaisimmillaan invertteri on DC-DC muuntimen kaltainen laite jossa jännitettä katkokaan puolijohdekomponenttien kanssa pulssiaaltomodulaatiolla. DC-DC muuntimista poiketen invertteri ei katko jännitettä vakio-pulssinleveydellä ja polarisaatiolla vaan muuttaa pulssinleveyttä ja polarisaatiota siten että kuormana olevien laitteiden näkökulmasta niille syötetään vaihtosähköä. (Dutton ym.)

3.4.1 Ketjuinvertteri

Ketjuinvertterissä on DC sisääntulo nimensä mukaisesti vain yhdelle aurinkopaneeliketjulle. Ne ovat yleisiä pienissä aurinkosähkökohteissa kuten yrityksissä ja kodeissa. Ketjuinvertterit ovat pienikokoisia ja niiden huolto on yksinkertaista, koska ne voidaan asentaa paikkaan jossa ne ovat suojassa luonnonvoimilta ja jossa niiden luokse pääsy huoltamista varten on helppoa. Ketjuinverttereitä on sekä yksi että kolmivaiheisia. Kolmivaiheisten ketjuinvertterien tehot alkavat kolmesta kilowatista. (Solar Power World Online 2010.)

3.4.2 Keskusinvertteri

Aurinkopuistoissa on lukuisia paneeleita useissa ketjuissa. Tästä johtuen niissä käytetään usein keskusinvertteriä. Keskusinvertterit voivat kohteesta riippuen sijaita joko sisätiloissa tai esimerkiksi kontissa ulkona. Ketjuinvertteristä poiketen keskusinvertterissä on lukuisia DC sisääntuloja useita paneeliketjuja varten. Keskusinvertterit ovat kolmivaiheisia ulostuloltaan ja ulos tulojännitteet ovat pienjänniteverkkon sopivia pääjännitteitä mallista riippuen ja teho alkavat 50 kilowatista. (Solar Power World Online 2010.)

3.4.3 Mikroinvertteri

Mikroinvertteri vastaa yksivaiheista keskusinvertteriä siten että se ottaa aurinkopaneelista tasasähköä ja syöttää sen eteenpäin yksivaiheisena vaihtosähkönä. Mikroinvertterien käyttö eroaa keskusinvertterien käytöstä siten, että sen sijaan että kokonaisen paneeliketjun perään asennettaisiin yksi suurempi invertteri, asennetaan jokaista 1 – 2 paneelia kohti yksi mikroinvertteri. Koska näin saadaan aikaan paneelikohtainen maksimitehopisteensäätö jokaiselle paneelille ja koska jokainen paneeli tuottaa toisistaan riippumatta tehoa, saadaan yksittäisten paneelien tuotanto suuremmaksi ja vähennetään varjostuksen aiheuttamia tappioita energian tuotantoon. Varjopuolena on se että mikroinvertterit tekevät järjestelmästä kalliimman ja lisäävät huollon määrää suuremman elektroniikan määrän myötä ja hankaloittavat huoltoa jos paneelit ovat katolla, koska mikroinvertterit yleensä asennetaan paneelien yhteyteen. (Solar Power World Online 2010.)

4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN TYYPIT

Edellä mainituista komponenteista voidaan rakentaa monia tyyppisiä järjestelmiä. Kuitenkin pohjimmiltaan kaikki aurinkosähköjärjestelmät voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä ja verkkoon liittämätön aurinkosähköjärjestelmä.

4.1 Verkkoon liitetyt aurinkosähköjärjestelmät

Suomessa, ja muuallakin, verkkoon liitetyt aurinkosähköjärjestelmät tavallisesti asennetaan kohteisiin jotka ovat valmiiksi osana valtakunnan sähköverkkoa. Näissä järjestelmissä on verrattain vähän erityyppisiä komponentteja mutta yksittäisten komponenttityyppien kappalemäärä on huomattava. Verkkoon liitetyissä sähköjärjestelmissä on tavallisesti vain aurinkopaneelit kytkettyinä inverttereihin jotka puolestaan on kytketty suoraan rakennuksen sähköverkkoon. Invertterit voivat olla yksivaiheisia, kolmivaiheisia tai mikroinvertteireitä. Verkkoon liitetyissä järjestelmissä saattaa olla myös akkuja mutta tämä ei ole tavallista koska merkittävän kapasiteetin omaavan akuston hinta on normaalisti huomattava. (Alternative Energy Tutorials.)

4.2 Verkkoon liittymättömät aurinkosähköjärjestelmät

Näitä järjestelmiä käytetään Suomessa tavallisesti mökeillä ja paikoissa mihin uusien verkkokaapeleiden vetäminen on taloudellisesti kannattamatonta. Verkkoon kytkemättömät järjestelmät koostuvat paneeleista, lataussäätimestä, akuista ja halutusta kuormasta. Paneelistot eivät ole välttämättä yhtä suuria kuin verkkoon liitetyissä järjestelmissä, mutta akkujen merkitys korostuu. Tämä siitä että aurinko kun ei aina paista eikä verkkoon kytkemättömiltä järjestelmillä nimensä mukaisesti ole valtakunnan verkkoa tukena. Tämän vuoksi tarvitaan akusto joka on mitoitettu oletetun kulutustarpeen mukaan. Verkkovirtaan suunniteltuja laitteita varten tarvitaan myös invertteri tai inverttereitä. Invertteri kytketään tavallisesti suoraan akustoon ja asennetaan helposti lähestyttävään paikkaan, koska sen ottama virta voi olla suurempi kuin mitä käytetty lataussäädin sietää. Toinen vaihtoehto jota voidaan käyttää suuremmissa kohteissa ja suurempien järjestelmien kanssa, on käyttää keskitettyä invertteri-laturia, joka syöttää verkkovirtaa kaikille pistorasioille. (Clean Energy Reviews)

5 OPETUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITELMA

Seuraavassa kappaleessa käsittelemme opetuspaketin suunnitelmia mekaanisesta ja sähköisestä näkökulmasta.

5.1 Mekaaninen suunnitelma

Toiveena oli, että opetuslaitteisto olisi liikuteltavissa. Tämän takia se tulee olemaan pyörillä varustetussa kehikossa. Kehikon tulee oleman tarpeeksi kapea että se mahtuu ovista sisään ja ulos. Aurinkoisella säällä sen on oltavissa vietävissä ulos.

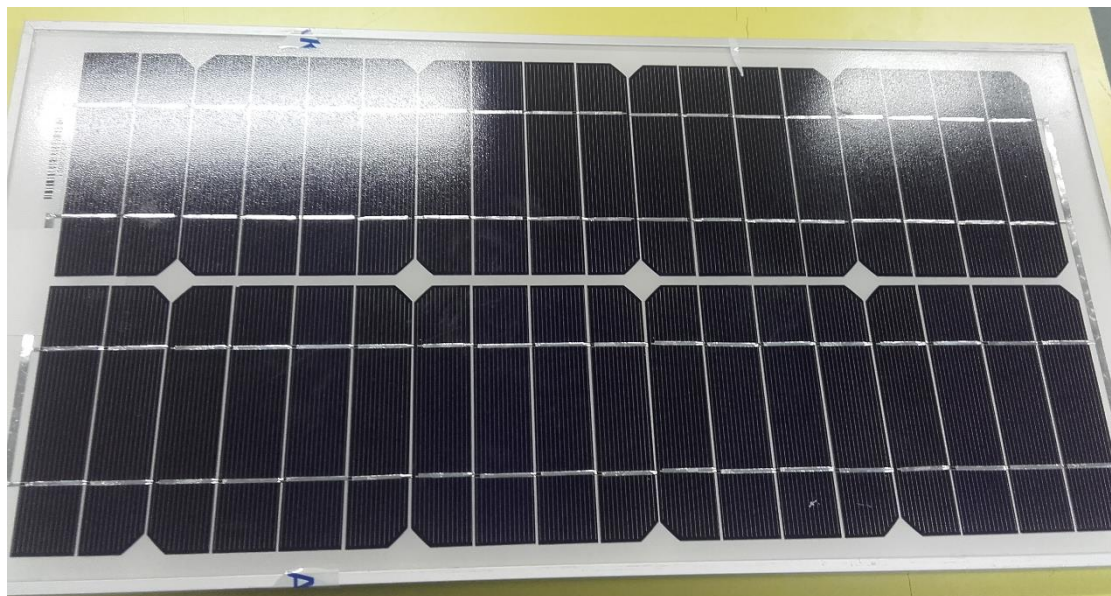
Kehikko koostuu yläkiskosta johon tulevat valaisimet ja sivuprofiililtaan L-kirjaimen muotoisesta rakenteesta joka varustetaan kahdella vanerilevyllä, jotta siihen saadaan varustettua työskentelyyn tarvittavat komponentit. Aurinkopaneelit asennetaan L-profiilista katsottuna vastakkaiselle puolelle olevalle paikalle jotta oppilaiden ei tarvitse työskennellä suoraan lampun alla, kun sitä joudutaan käyttämään. CAD-ohjelmalla tehty luonnos esitellään liitteessä 1.

5.2 Sähköinen suunnitelma

Järjestelmä tullaan varustamaan kahdella aurinkopaneelilla, kahdella lataussäätimellä, akulla ja muutamalla kuormaesineellä. Näihin tullaan asentamaan 4mm banaaniliittimet, kiinteästi asennettavia akkuja lukuun ottamatta, jotta opiskelijat itse rakentamaan piirit harjoitusten aikana ja jotta mittareiden asentaminen olisi yksinkertaista. Liitteessä 2 näkyy komponenttien aiottu sijoitustapa.

5.2.1 Paneelit

Paneelipiiriin kuuluu yksi yksikide paneeli ja yksi monikidepaneeli. Yksikiteinen paneelin on Sunny Mono 20W joka koostuu kahdesta 18 yksikiteisen piikennon sarjasta (kuva 14). Standardi testiolosuhteissa maksimitehopisteessä paneeli kehittää 18,72 voltin jännitteen ja 1,07 ampeerin virran, mikä tuottaa paneelin nimessä mainitun 20 watin tehon.



Kuva 14. Sunny Mono 20W

Monikidepaneeli on Solar Xonin ES-30W, mikä koostuu kahdesta 18 monikiteisen piikennon sarjasta (kuva 15). Paneeli kykenee tuottamaan standardi testiolosuhteissa kehittämään 19,2 voltin jännitteen ja 1,56 ampeerin virran, mikä tuottaa paneelin nimessä mainitun 30 watin tehon.



Kuva 15. Solar Xon ES-30W

5.2.2 Lataussäätimet

Yksi lataussäätimistä on EPSolar LS1024 PWM-lataussäädin (kuva 16). Tämä tehdasasetuksilla tämä lataussäädin kykenee tunnistamaan onko se kytketty 12 voltin vai 24 voltin akustoon ja kykenee säätämään paneelijännitteen sen mukaan. Se on luokiteltu sietämään maksimissaan 10 ampeerin virran ja voidaan varustaa erillisellä akun lämpöanturilla ja RS-485 kenttäväylällä etätarkkailuun ja ohjelmointiin.



Kuva 16. EPSolar LS1024

Toinen lataussäätimistä on Victron Energyn BlueSolar MPPT 75/15 (kuva 17). Tämä maksimitehopisteen seurannalla varustettu lataussäädin kykenee paneelistosta ja sääolosuhteista riippuen ottamaan maksimissaan 75 voltin paneelijännitteen ja 15 ampeerin paneelivirran. Koska se on MPPT-säädin,

akuston lataus tapahtuu joko 12 tai 24 voltin jännitteellä, riippuen kumman se tunnistaa mutta vastaavasti se nostaa akustolle menevien ampeerien määrää verrattuna paneeleilta tuleviin ampeereihin jotta mahdollisimman suuri teho saataisiin hyödynnettyä.



Kuva 17. Victron Energy BlueSolar MPPT 75/15

5.2.3 Akku

Akku on Sznajderin Energy Plus 965 07 lyijyakku (kuva 18). Akun nimellisjännite on 12 voltia ja varauskyky on 60 ampeerituntia joka, huomioon ottaen mahdolliset käyttämämme kuormalaitteet, on enemmän kuin riittävästi. Akku on myös huoltovapaa akku mikä tekee siitä oppilaskäytössä turvallisemman, koska rikkihapon leviämisen vaara vähenee johtuen akun suljetusta rakenteesta.



Kuva 18. Sznajder Energy Plus 965 07

5.2.4 Kuormat

Kuormaksi tulee pieni puhallin, kaksi valaisinta ja yksi säädettävä tehovastus. Säädettävää tehovastusta käytetään aurinkopaneelien ominaiskäyrien selvittämiseen. Muita käytetään kuormittamaan lataussäädinten kuormapiirejä. Yhtenä kuormana pitäisi olla invertteri, mutta sen on katsottu kuluttavan valittun akun liian nopeasti.

Puhallin on 12 voltin prosessorituuletin, joka saatiin IT-tuessa olleesta vanhentuneesta tietokoneesta (kuva 19). Tämän puhaltimen harjaton moottori ottaa akusta virtaa 0.5 ampeeria, tehden siitä 6 watin puhaltimen. Siinä olisi valmius myös PWM ohjaukselle, mutta se jätetään käyttämättä koska se on tämän työn ulkopuolella.



Kuva 19. Prosessorituuletin

Ensimmäinen valaisimista on Bullboy B15 LED-työvalo (kuva 20). Tämä työvalo koostuu viidestä kolmen watin LED-valosta ja sen toimintajännite on 12 voltia, täten sen ottama sähkövirran suuruus on 1,25 ampeeria.



Kuva 20. Bullboy B15

Toinen lampuista on 55 watin halogeenivalaisin (kuva 21). Yhdellä halogeenipolttimolla varustettu valaisin kuluttaa 12 voltin toimintajännitteellä noin 4,58 ampeeria.



Kuva 21. Halogeenivalaisin.

Säätövastuksena on Frizlenin RGL100 tehovastus. Tämä vastus on luokiteltu 60 watin nimellisteholle joten siinä on hiukan pelivaraa ottaen huomioon, että laitteiston aurinkopaneelien yhteenlaskettu teho on 50 wattia hyvällä säällä. Säätövastuksessa on valmiiksi turvaliittimet, joten se ei tarvitse enempää työtä.

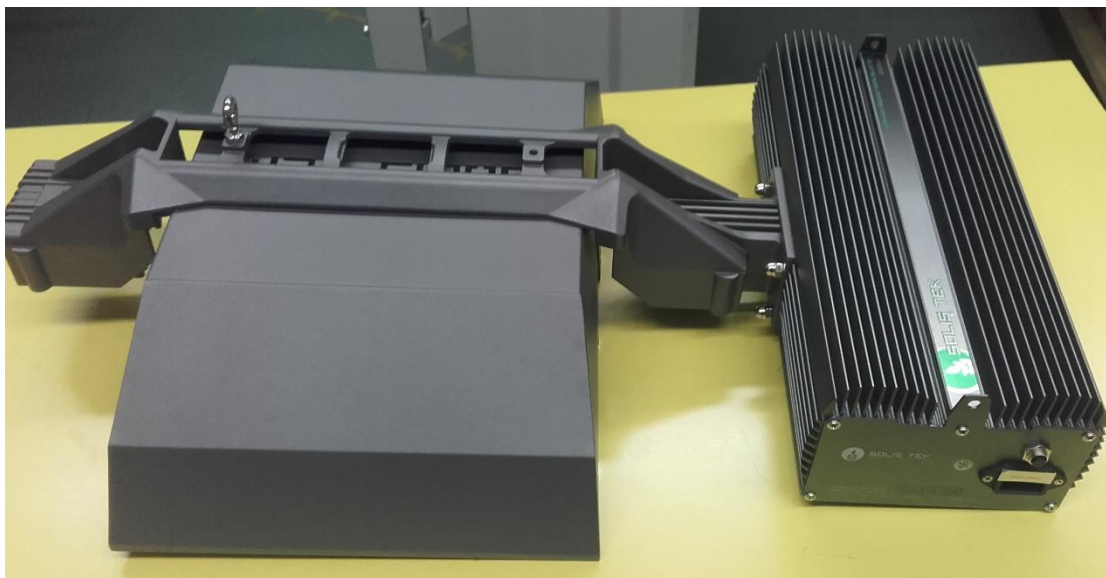
5.2.5 Tukilaitteet

Ensimmäinen tukilaitteista on Bosch C3 ylläpitolataussäädin (Kuva 22). Ylläpitolataussäädin on tarkoitettu nimensä mukaisesti ylläpitämään tietty lataustaso ja estämään akun loppuun kulumisen varastoinnin aikana. Ylläpitovirrran se ottaa sähköverkosta jonka se tasasuuntaa akuille sopivaksi 12 voltin ja 3,8 ampeerin tasasähköksi. Ylläpito latauksen merkitys korostuu varsinkin talvikuu-kausina ja aikoina jolloin laitteistoa ei käytetä pitkään aikaan.



Kuva 22. Bosch C3 Ylläpitolaturi.

Toinen tukilaitteista on Solistek A1 DE (kuva 23). Se on 1000 watin monimittalilampulla varustettu valaisin. Valoteho ja säteilyn aurinkoa muistuttava spektri takaavat sen että opiskelijoiden on mahdollista tehdä myös huonossa säässä töitä. Ainoa huono puoli on se, että valaisin lämmittää ympäristönsä tehokkaasti ja myös polttimon herkkyys siirtelyssä, varsinkin välittömästi käytön jälkeen. Valaisimen datalehti ja ohje löytyvät liitteenä tämän työn lopussa.



Kuva 23. Solistek A1 DE

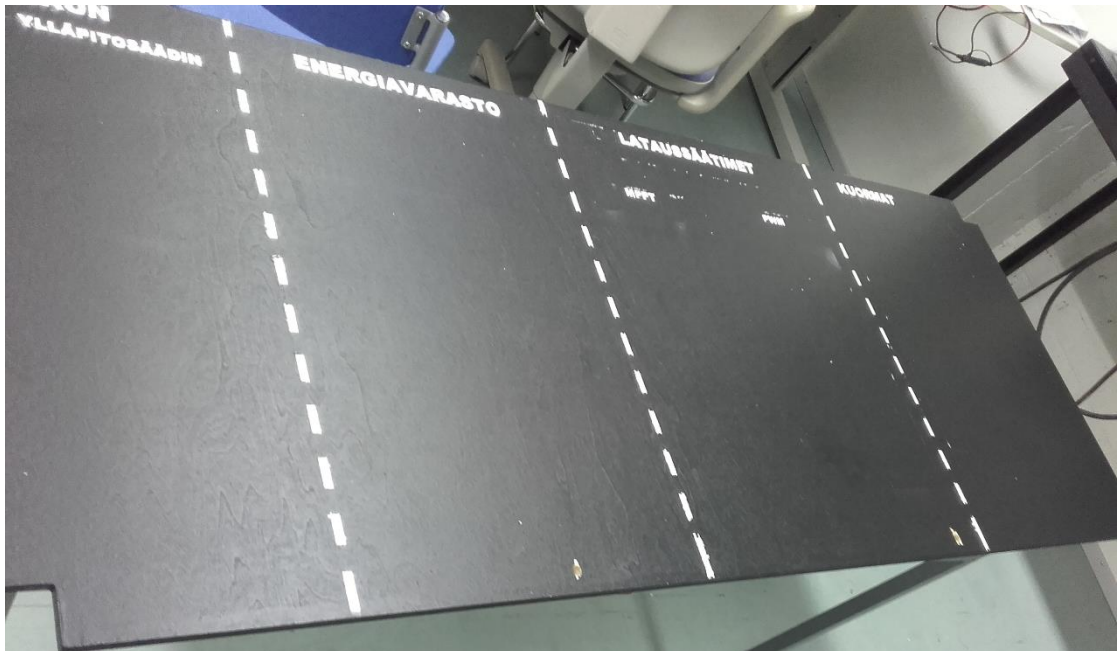
6 OPETUSJÄRJESTELMÄN TOTEUTUS

6.1 Mekaaninen toteutus

Alumiiniprofiili saapui ja ensimmäisenä tehtävänä oli tuotteiden tarkistaminen. Kaikki tilatut esineet näyttivät olevan paikallaan. Profiilin perustana oli Norcanin 45 mm x 45 mm alumiiniprofiili jossa on urat jokaisessa kyljessä, jotka toimivat pesinä muttereille. Koska profiilin kiinnitys metodina oli ruuvi plus mutteri periaate ja Norcanin puolesta oli ruuveille työstetty tilauksen mukaisesti reiät, oli rakentaminen suhteellisen suoraviivaista. Paperilla kiinnitys tekniikka näytti haastavammalta kuin se oli mitä se todellisuudessa oli mutta siitä huolimatta pisimmissä palkeissa tuli hiukan ongelmia, ja apua siinä tarvitsin, mutta sain sen lopulta valmiiksi.

Asennuspinnaksi tulevat vanerit maalattiin ja liitettiin odottamaan lopullista kiinnitystä kehikkoon. Koska vanerien kulmista oli otettu alumiiniprofiilin verran materiaalia pois, tukivat profiilit vanerin paikalleen. Tämän jälkeen liitin keinoaurion yläkiskoon ja kisko käännettiin 45° kulmaan ja laitettiin vastakkaiseen reunaan siitä, mihin paneelit tullaan kiinnittämään. Näin valaisin pääsee valaisemaan paneeleita tarvittaessa, eikä se varjosta paneeleita kun pystytään käyttämään luonnonvaloa.

Paneelien kehikkoihin työstettiin paikat joihin saranaliittimet tulittiin kiinnittämään. Tämä jouduttiin tekemään koska paneeleissa valmiina olleet reiät eivät olleet sopivia haluttua painon jakautumista ja toimivuutta varten. Kun paneelit liitettiin alumiiniprofiiliin nivelellä, ne pääsivät liikkumaan ilman ongelmia. Puulevy, johon muut komponentit tullaan asentamaan, päätettiin merkitä ja jakaa toimintojen mukaan neljään osaan jotka erotetaan toisistaan katkoviivalla, ja nimetään. Sekä katkoviivoitus, että nimeämiset päätettiin tehdä spraymaalilla. Aloitin työlään vaiheen jossa valmistin sapluunat spraymaalaukselta varten. Vaikka tämä ei ihan ominta kokemusta ollutkaan, niin onnistui se paremmin kuin odotin mutta sapluunointi ei ollut ihan onnistunutta, ja sitä jouduttiin korjaamaan vielä pensselillä (kuva 24).



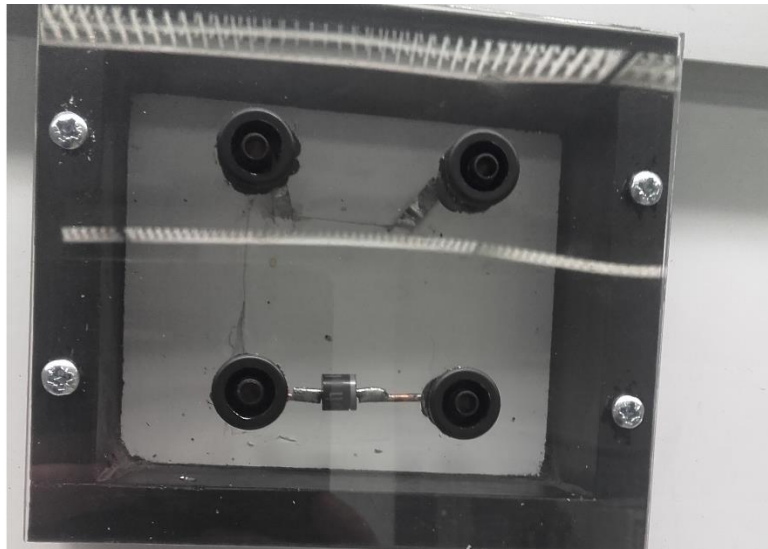
Kuva 24. Taustalevy spray-maalauksen jälkeen

Maalin kuivuttua tarpeeksi levy kiinnitettiin runkoon käyttämällä muttereita ja liimaa. Tämän jälkeen levyyn kiinnitettiin lataussäätimet, valaisimet, puhallin sekä ylläpitosäädin. Akkua ja säätövastusta ei kiinnitetty erikseen, vaan niiden oma fyysinen massa riittää pitämään ne paikallaan.

6.2 Sähköinen toteutus

Sähköinen toteutus alkoi sillä että paneeleista otettiin vanhat liityntärasiat irti. Vanhojen liityntärasioiden irrottamisen ja irrotusjälkien siistimisen jälkeen oli

uusien liityntärasioden rakentamisen vuoro. Liityntärasiat rakennettiin teke-
mällä pieni puinen koppa jossa on muovista tehty kansi. Kopasta tehtiin tar-
peeksi korkea jotta 4 millimetrin banaanirungot mahtuisivat sisään. Kumman-
kin kotelon kanteen tehtiin neljä reikää banaanirungoille. Kaksi runkoa kiinni-
tettiin suoraan paneelin positiivisiin ja negatiivisiin napoihin, kun taas toiseen
pariin kytkettiin ohitusdiodi, joka voidaan kytkeä tai jättää kytkemättä tarpeen
vaatiessa (kuva 25).



Kuva 25. aurinkopaneelin uusi liityntärasia

Seuraavaksi oli banaanirunkojen kiinnitys. Valaisimissa ja puhaltimissa olivat
johtimet virran syötölle valmiina, joten näitä voitiin hyödyntää melko suoraan.
Valaisinten johtimiin juotettiin banaaliliitinten rungot suoraan kun taas tuuletti-
men johtimiin täytyi juottaa jatkopalat joiden päihin banaanirungot tulivat,
koska tuulettimen johtimet olivat verrattain lyhyet. Seuraavaksi valmistettiin la-
taussäätimille tulevat banaanirungot. Koska lataussäätimillä ei ollut valmiita
johtimia ne tehtiin itse. Molempiin lataussäätimiin tuli neljä johtimen palaa ba-
naanirungolla. Johdinten toinen pää tuli lataussäätimeen. Viimeisenä vai-
heena oli lataussäädinten kytkeminen akkuun. Tämän jälkeen laitteisto on val-
miina käytettäväksi.

7 ESIMERKKIHARJOITUKSIA

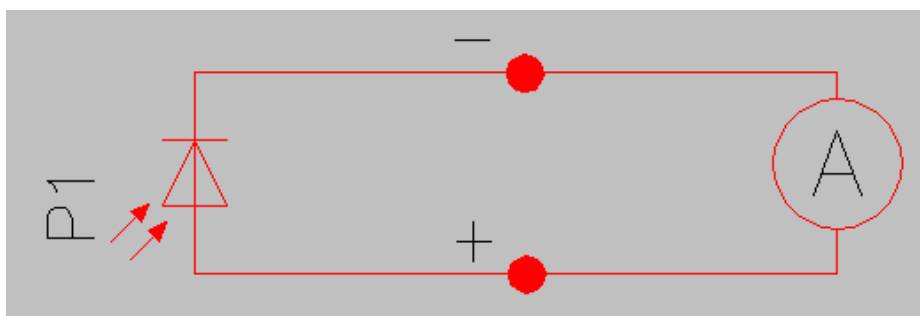
7.1 Harjoitus 1

Nimeä laitteiston komponentit, selvitä komponenttien tekniset tiedot tyypikilpien ja valmistajan antamien tekniset tietojen perusteella.

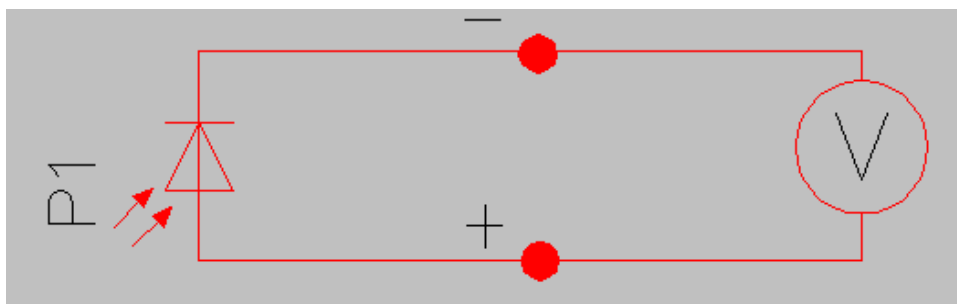
7.2 Harjoitus 2

Mitataan aurinkopaneelien sähkötekniiset arvot. Aloita laittamalla paneelit suoraan valaisinta tai aurinkoa kohti.

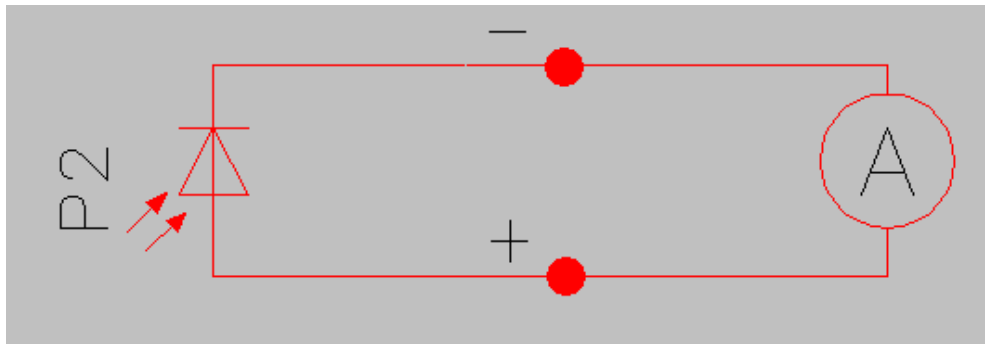
- a) Kytke yleismittari paneelin P1 napoihin. Käännä mittari mittaamaan tasavirtaa. Mikä on paneelin oikosulkuvirta? Vastaako tämä valmistajan antamaa arvoa? Jos ei, niin miksi ei?



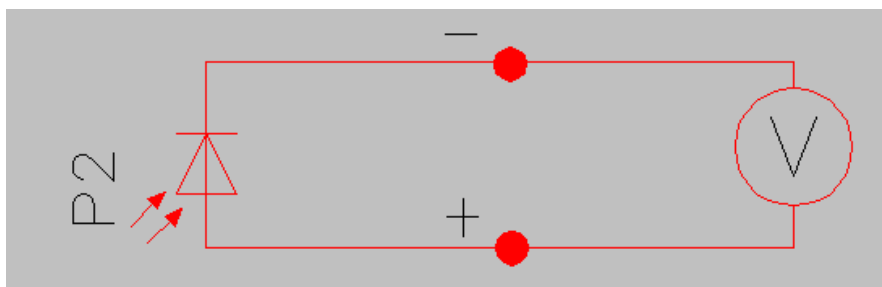
- b) Kytke yleismittari paneelin P1 napoihin. Käännä mittari mittaamaan tasajännitettä. Mikä on paneelin avoimen piirin jännite? Vastaako tämä valmistajan antamaa arvoa? Jos ei niin miksi ei?



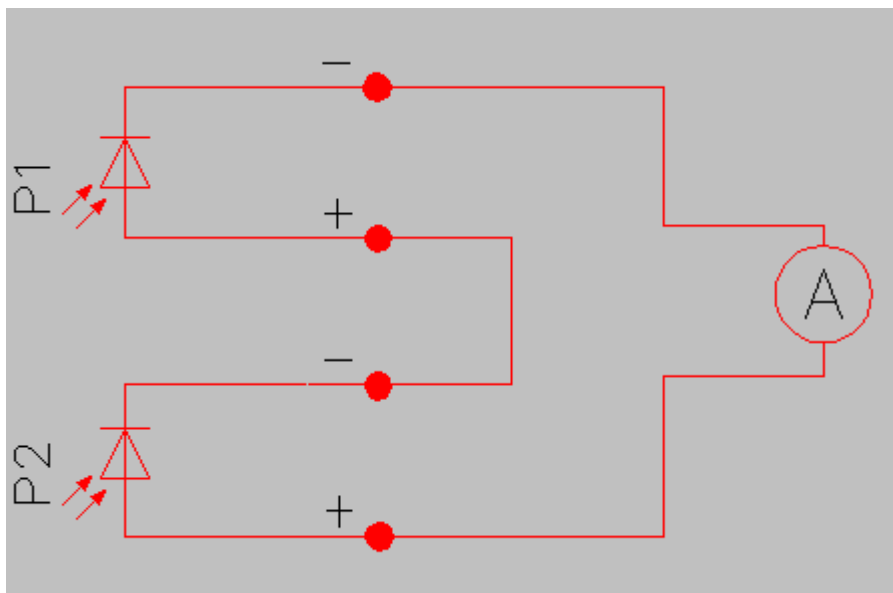
- c) Kytke yleismittari paneelin P2 napoihin. Käännä mittari mittaamaan tasavirtaa. Mikä on paneelin avoimen piirin jännite? Vastaako tämä valmistajan antamaa arvoa? Jos ei niin miksi ei?



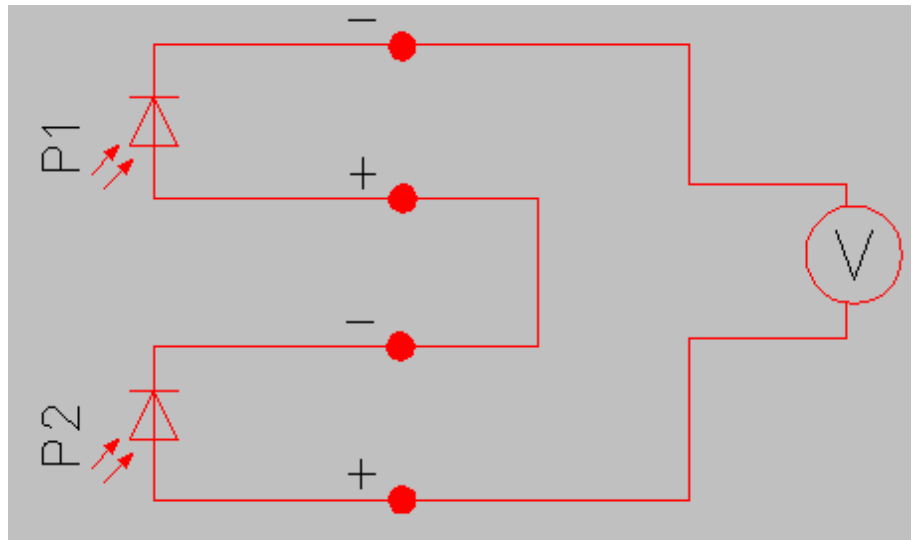
- d) Kytke yleismittari paneelin P2 napoihin. Käännä mittari mittaamaan jännitettä. Mikä on paneelin avoimen piirin jännite? Vastaako tämä valmistajan antamaa arvoa? Jos ei niin miksi ei?



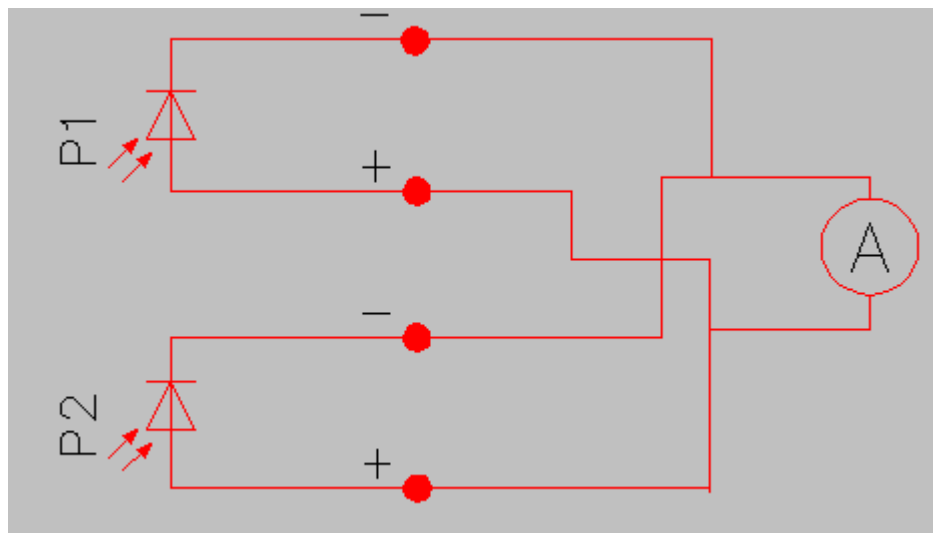
- e) Kytke paneelit ja mittari kuvan osoittamalla tavalla. Käännä mittari mittaamaan tasavirtaa. Miten kytkentä vaikuttaa syntyneeseen oikosulkuvirtaan? Miksi?



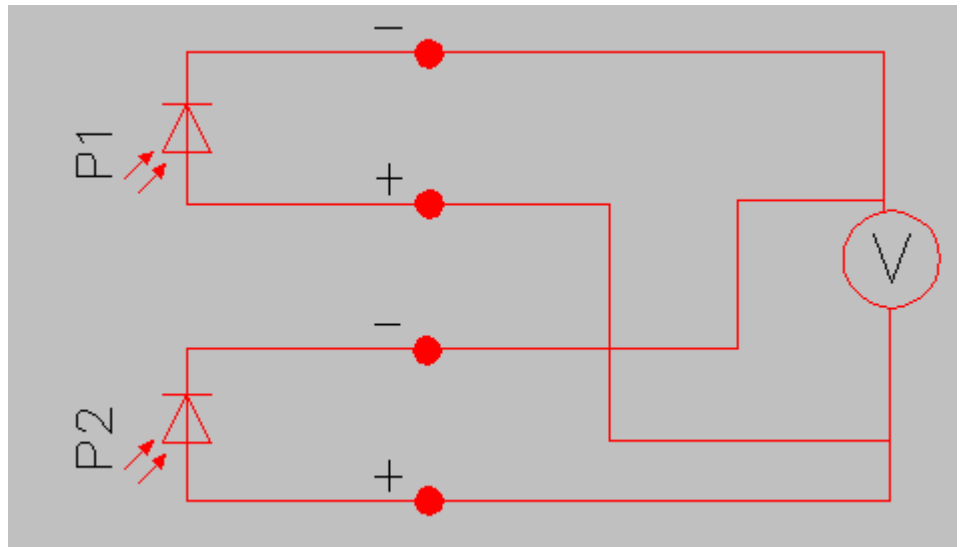
- f) Kytke paneelit ja mittari kuvan osoittamalla tavalla. Käännä mittari mittaamaan tasajännitettä. Miten kytkentä vaikuttaa syntyneeseen avoimen piirin jännitteeseen? Miksi?



- g) Kytke paneelit ja mittari kuvan osoittamalla tavalla. Käännä mittari mittaamaan tasavirtaa. Miten kytkentä vaikuttaa syntyneeseen oikosulkuvirtaan? Miksi?

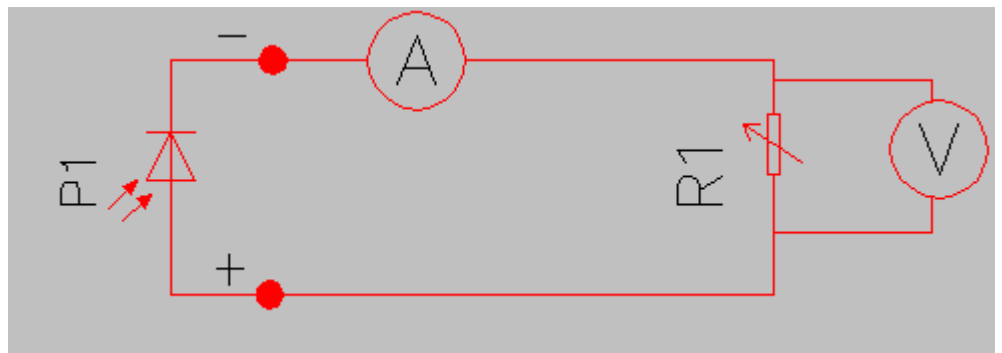


- h) Kytke paneelit ja mittari kuvan osoittamalla tavalla. Käännä mittari mittaamaan tasajännitettä. Miten kytkentä vaikuttaa syntyneeseen avoimen piirin jännitteeseen? Miksi?



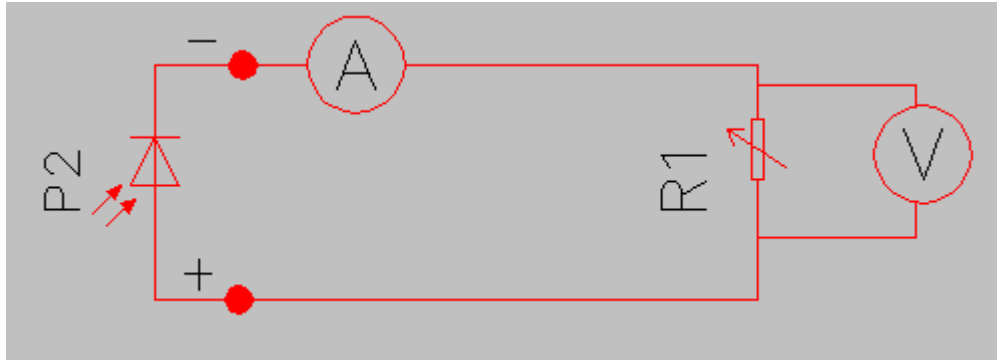
7.3 Harjoitus 3

- a) Rakenna seuraava mittausjärjestelmä paneeli 1:stä, säädettävästä tehovastuksesta ja kahdesta yleismittarista.



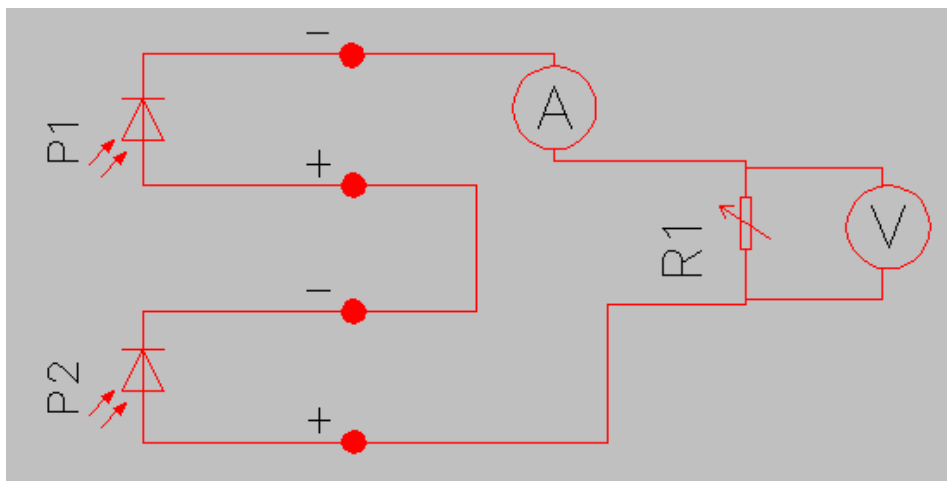
Laita säätövastus jompaankumpaan ääriasentoon ja ota ylös yleismittarien näyttämät arvot. Ala tämän jälkeen muutamaan säätövastuksen arvoa kohti toista ääripäätä. Ota tasaisin väliajoin virta ja jännite arvot ylös. Kun pääset toiseen ääripäähän, syötä arvot Exceliin. Laske tehoarvo jokaiselle pisteelle kertomalla jännitteen ja virran. Piirrä kaksi ominaiskäyrää. Toinen ominaiskäyrä näyttää virran y-akselilla ja jännitteen x-akselilla. Toinen käyrä näyttää jännitteen x-akselilla ja tehon y-akselilla. Missä on paneelin maksimitehopiste näissä olosuhteissa?

- b) Rakenna seuraava mittausjärjestelmä paneeli 1:stä, säädettävästä tehovastuksesta ja kahdesta yleismittarista.



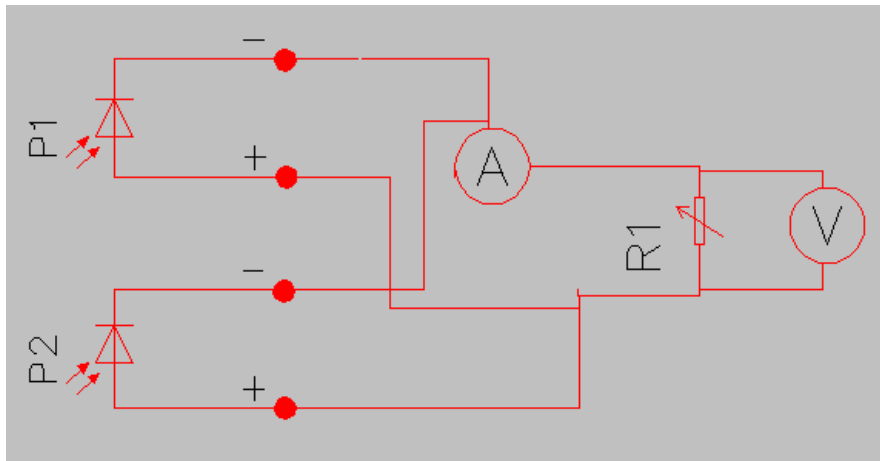
Laita säätövastus jompaankumpaan ääriasentoon ja ota ylös yleismittarien näyttämät arvot. Ala tämän jälkeen muutamaan säätövastuksen arvoa kohti toista ääripäätä. Ota tasaisin väliajoin virta ja jännite arvot ylös. Kun pääset toiseen ääripäähän, syötä arvot Exceeliin. Laske tehoarvo jokaiselle pisteelle kertomalla jännitteen ja virran. Piirrä kaksi ominaiskäyrää. Toinen ominaiskäyrä näyttää virran y-akselilla ja jännitteen x-akselilla. Toinen käyrä näyttää jännitteen x-akselilla ja tehon y-akselilla. Missä on paneelin maksimitehopiste näissä olosuhteissa?

- c) Rakenna seuraava mittausjärjestelmä paneeli 1:stä ja 2:sta, säädettävästä tehovastuksesta ja kahdesta virtamittarista.



Laita säätövastus jompaankumpaan ääriasentoon ja ota ylös yleismittarien näyttämät arvot. Ala tämän jälkeen muutamaan säätövastuksen arvoa kohti toista ääripäätä. Ota tasaisin väliajoin virta ja jännite arvot ylös. Kun pääset toiseen ääripäähän, syötä arvot Exceeliin. Laske tehoarvo jokaiselle pisteelle kertomalla jännitteen ja virran. Piirrä kaksi ominaiskäyrää. Toinen ominaiskäyrä näyttää virran y-akselilla ja jännitteen x-akselilla. Toinen käyrä näyttää jännitteen x-akselilla ja tehon y-akselilla. Missä on paneelin maksimitehopiste näissä olosuhteissa?

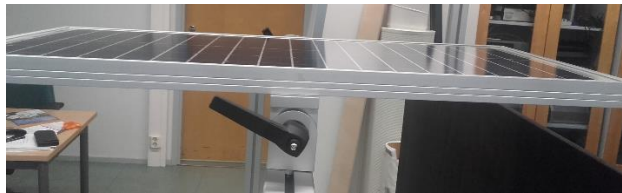
- d) Rakenna seuraava mittausjärjestelmä paneeli 1:stä ja 2:sta, säädettävästä tehovastuksesta ja kahdesta virtamittarista.



Laita säätövastus jompaankumpaan ääriasentoon ja ota ylös yleismittarien näyttämät arvot. Ala tämän jälkeen muutamaaan säätövastuksen arvoa kohti toista ääripäätä. Ota tasaisin väliajoin virta ja jännite arvot ylös. Kun pääset toiseen ääripäähän, syötä arvot Exceliin. Laske tehoarvo jokaiselle pisteelle kertomalla jännitteen ja virran. Piirrä kaksi ominaiskäyrää. Toinen ominaiskäyrä näyttää virran y-akselilla ja jännitteen x-akselilla. Toinen käyrä näyttää jännitteen x-akselilla ja tehon y-akselilla. Missä on paneelin maksimitehopiste näissä olosuhteissa?

7.4 Harjoitus 4

- a) Kytke säätövastus yksikidepaneeliin ja laita se haluamallesi arvolle oikosulku ja avoimen piirin resistanssin välillä. Lisää yleismittari jolla mittaat jännitehäviön säätövastuksen ylitse, ja yleismittari mittaamaan paneelin tuottamaa virtaa. Tämän jälkeen käännä paneeli kuvan osoittamalla tavalla.



Kirjaa jännite- ja virta-arvot sekä kulma. Käännä paneelia pykälissä alapuolisen kuvan kaltaiseen kulmaan asti (valaisinta käyttäessä käännä toiseen suuntaan), ja kirjaa kulman vaikutus virtaan ja jännitteeseen.

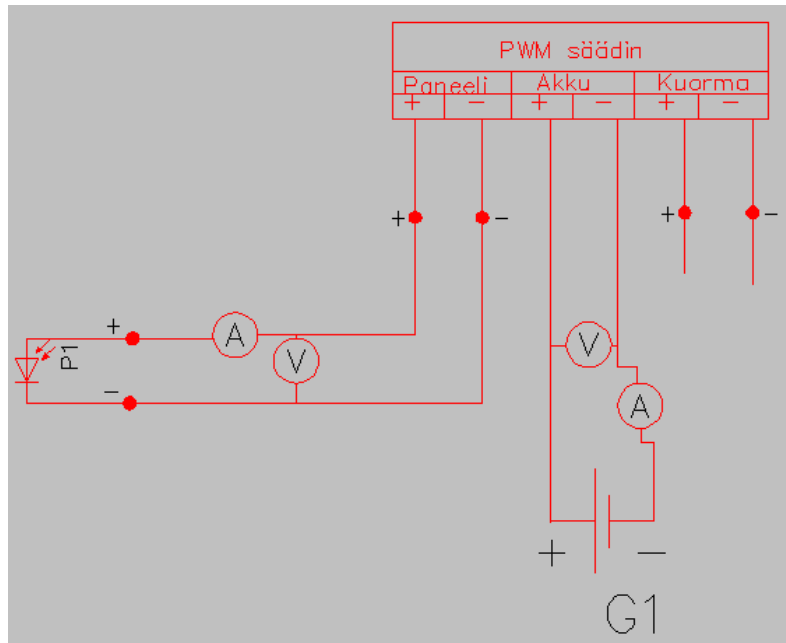


Tee Excelissä kuvaajan, joissa näkyvät kulman vaikutukset edellä mainittuihin arvoihin, sekä tehoon. Missä kulmassa paneelin teho on suurin, ja kuinka paljon paneeli voi poiketa tästä kulmasta ilman, että teho putoaa merkittävästi?

- b) Tee samat toimenpiteet kuin edellisessä osiossa, mutta monikidepaneelille. Muuttuvatko tulokset merkittävästi ja mistä tämä voisi johtua?

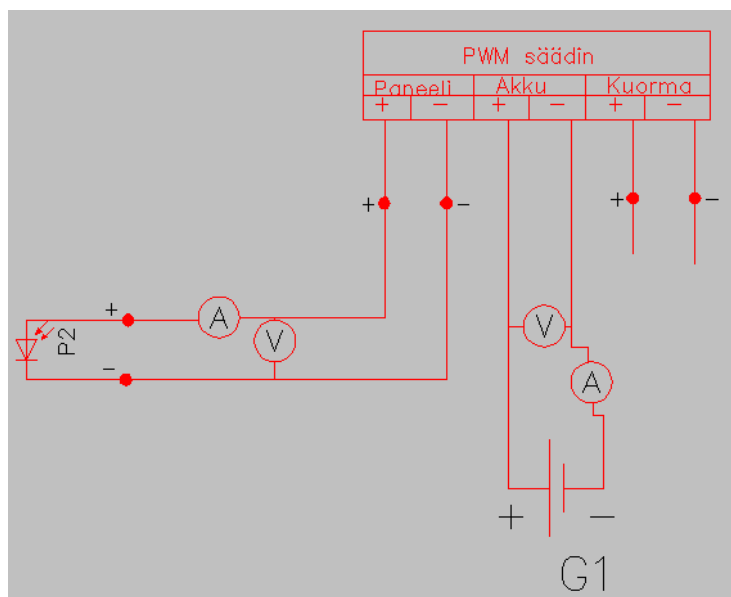
7.5 Harjoitus 5

- a) Rakenna seuraava piiri P1:stä, PWM-lataussäätimestä ja akusta ja neljästä yleismittarista



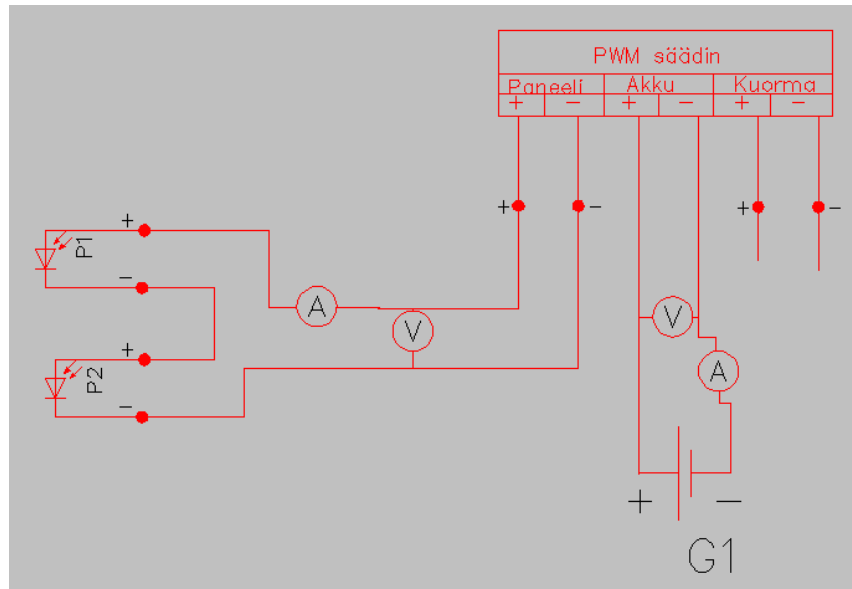
Kirjaa ylös paneelin jännite ja virta sekä akun jännite ja virta. Laske tehot saaduista arvoista. Mitkä ovat teholliset arvot ja kuinka paljon ne poikkeavat maksimitehopisteestä?

- b) Rakenna seuraava piiri P2:stä, PWM-lataussäätimestä ja akusta ja neljästä yleismittarista



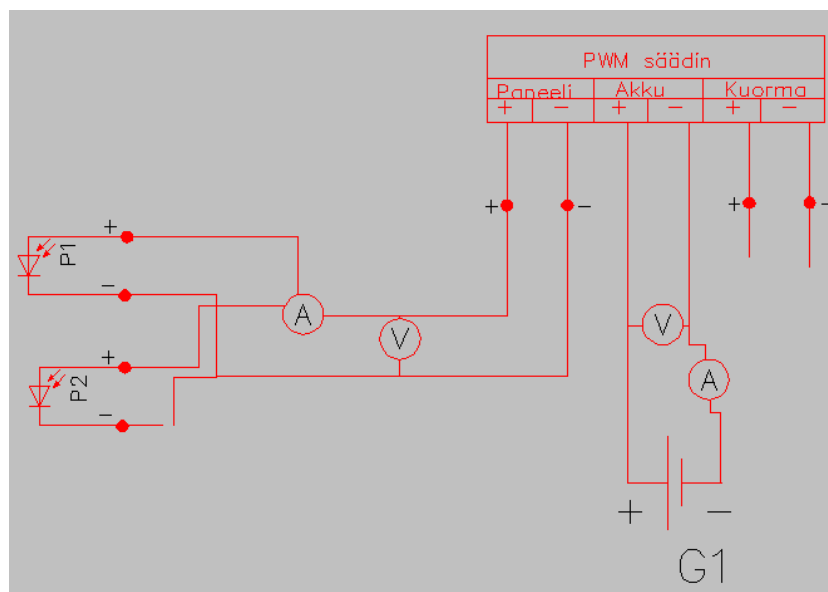
Kirjaa ylös paneelin jännite ja virta sekä akun jännite ja virta. Laske tehot saaduista arvoista. Mitkä ovat teholliset arvot ja kuinka paljon ne poikkeavat maksimitehopisteestä?

- c) Rakenna seuraava piiri P1:stä, P2:stä, PWM-lataussäätimestä ja akusta ja neljästä yleismittarista



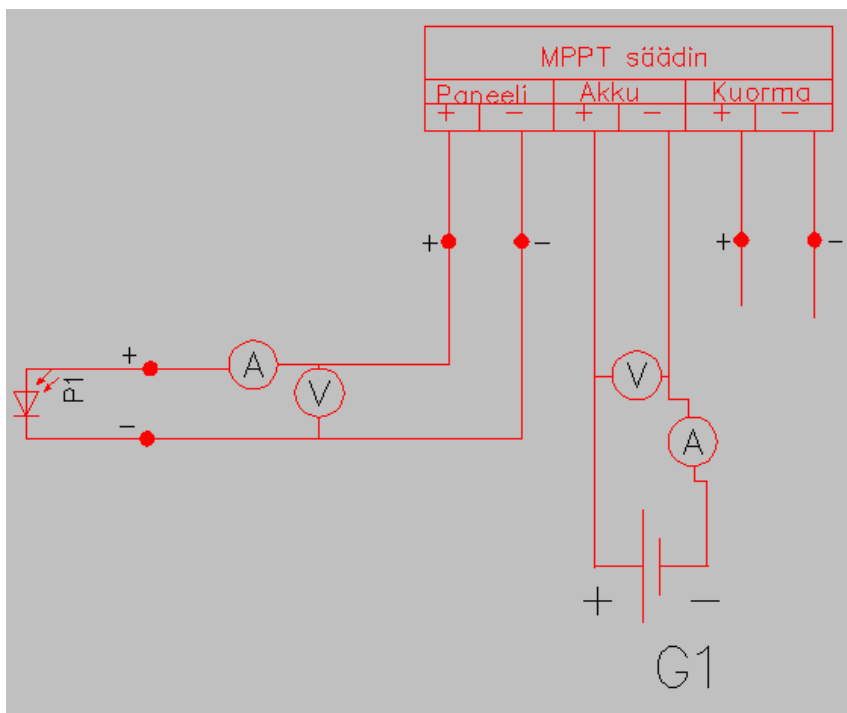
Kirjaa ylös paneelin jännite ja virta sekä akun jännite ja virta. Laske tehot saaduista arvoista. Mitkä ovat teholliset arvot ja kuinka paljon ne poikkeavat maksimitehopisteestä?

- d) Rakenna seuraava piiri P1:stä, P2:stä, PWM-lataussäätimestä ja akusta ja neljästä yleismittarista



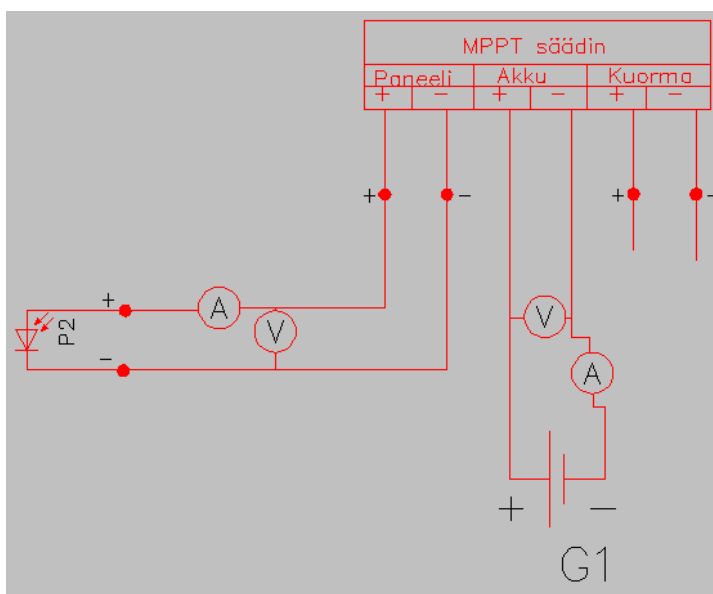
Kirjaa ylös paneelin jännite ja virta sekä akun jännite ja virta. Laske tehot saaduista arvoista. Mitkä ovat teholliset arvot ja kuinka paljon ne poikkeavat maksimitehopisteestä?

- e) Rakenna seuraava piiri P1:stä, MPPT lataussäätimestä ja akusta ja neljästä yleismittarista.



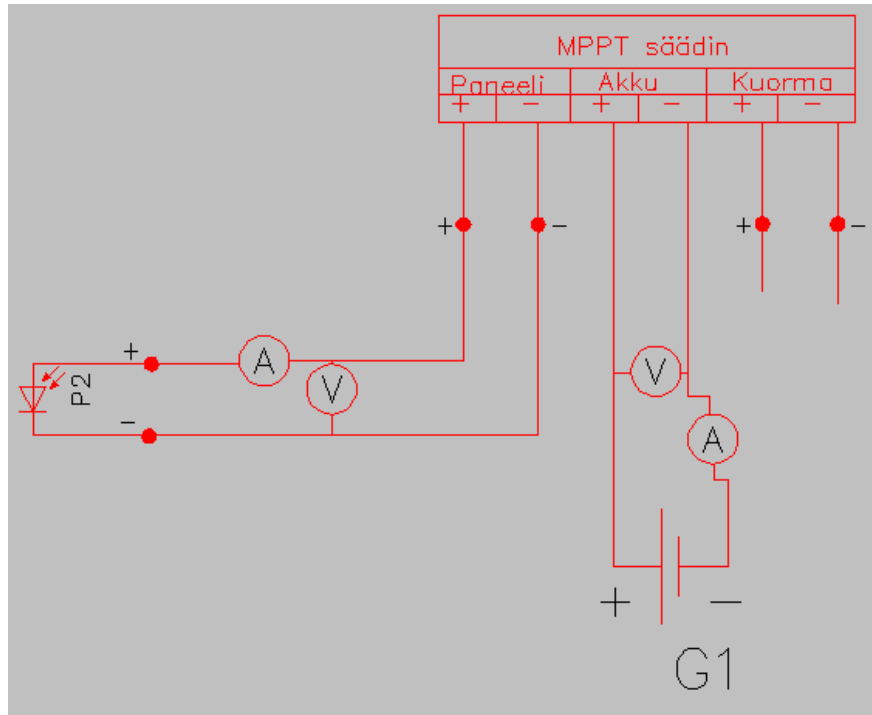
Kirjaa ylös paneelin jännite ja virta sekä akun jännite ja virta. Laske tehot saaduista arvoista. Mitkä ovat teholliset arvot ja kuinka paljon ne poikkeavat maksimitehopisteestä?

- f) Rakenna seuraava piiri P2:stä, PWM-lataussäätimestä ja akusta ja neljästä yleismittarista.



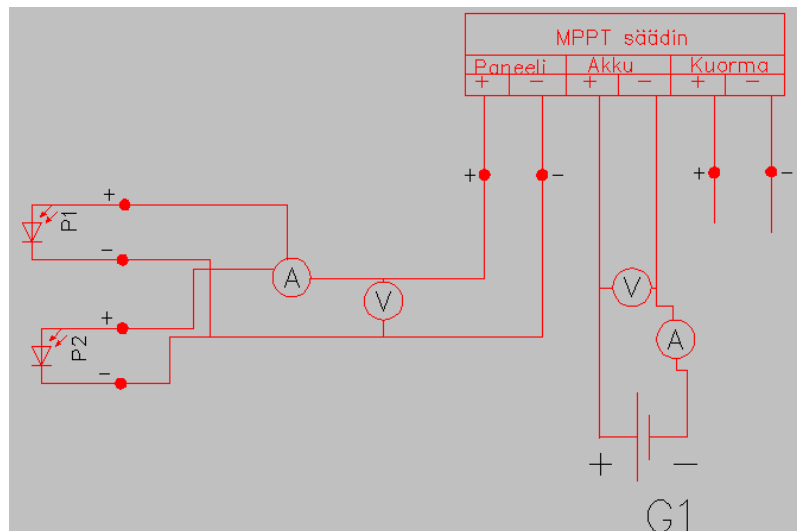
Kirjaa ylös paneelin jännite ja virta sekä akun jännite ja virta. Laske tehot saaduista arvoista. Mitkä ovat teholliset arvot ja kuinka paljon ne poikkeavat maksimitehospisteestä?

- g) Rakenna seuraava piiri P1:stä, P2:stä, MPPT lataussäätimestä ja akusta ja neljästä yleismittarista



Kirjaa ylös paneelin jännite ja virta sekä akun jännite ja virta. Laske tehot saaduista arvoista. Mitkä ovat teholliset arvot ja kuinka paljon ne poikkeavat maksimitehospisteestä?

- h) Rakenna seuraava piiri P1:stä, P2:stä, MPPT lataussäätimestä ja akusta ja neljästä yleismittarista.

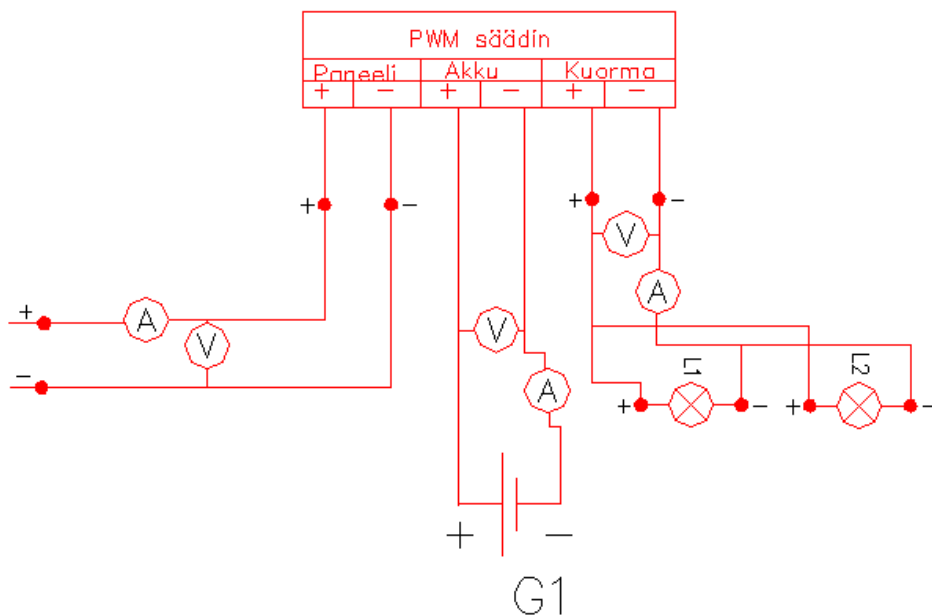
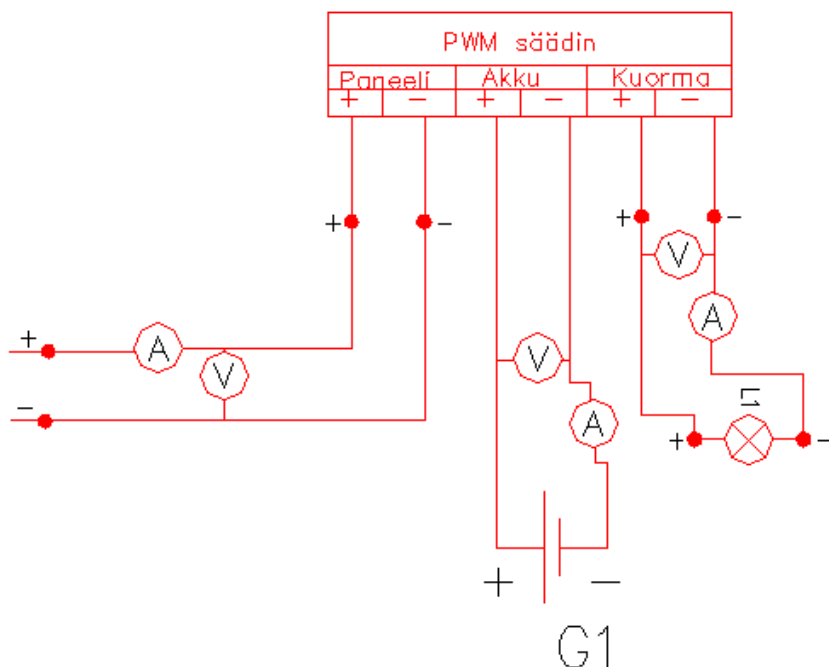


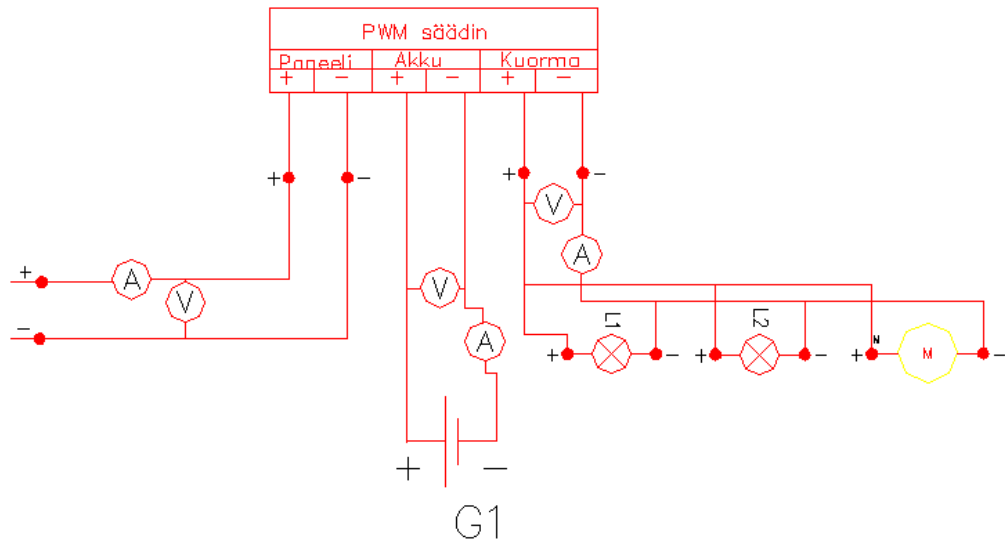
Kirjaa ylös paneelin jännite ja virta sekä akun jännite ja virta. Laske tehot saaduista arvoista. Mitkä ovat teholliset arvot ja kuinka paljon ne poikkeavat maksimitehopisteestä?

- i) Sinulla on nyt kaikista yhdistelmistä saadut arvot. Mitkä (tai mitkä) ovat lähimpänä paneelin (tai paneelien) maksimitehopistettä, ja mikä yhdistelmä lataa akkua suurimmalla virralla?

7.6 Harjoitus 6

- a) Käytä edellä oppimaasi hyväksi, ja tee seuraavat kolme piiriä siten että teet mittaukset yhdelle paneelille, kahden paneelin sarjakytkennälle ja kahden paneelin ristikytkennälle.



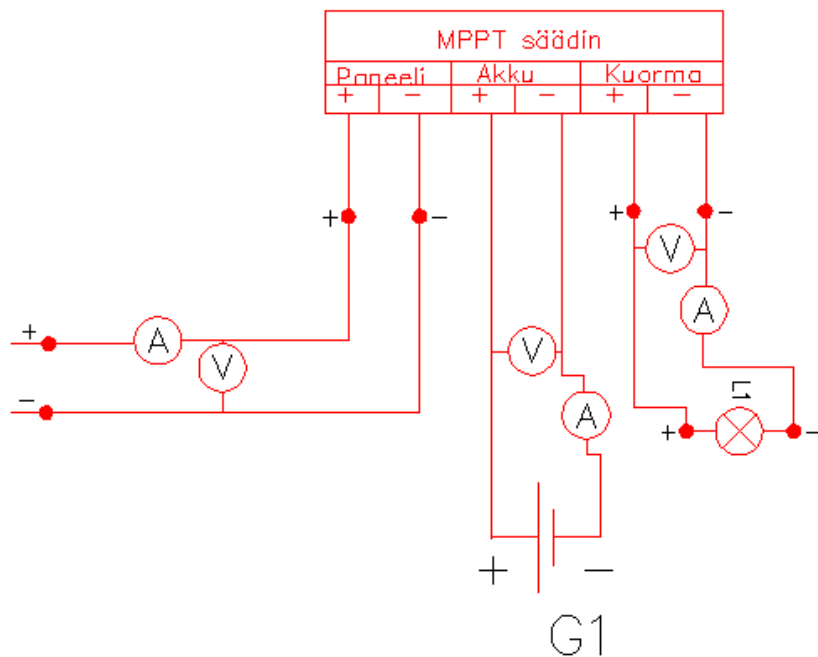


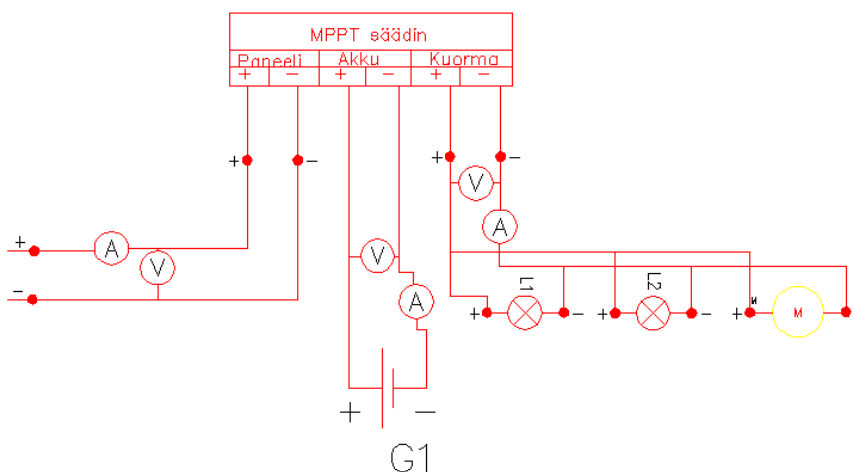
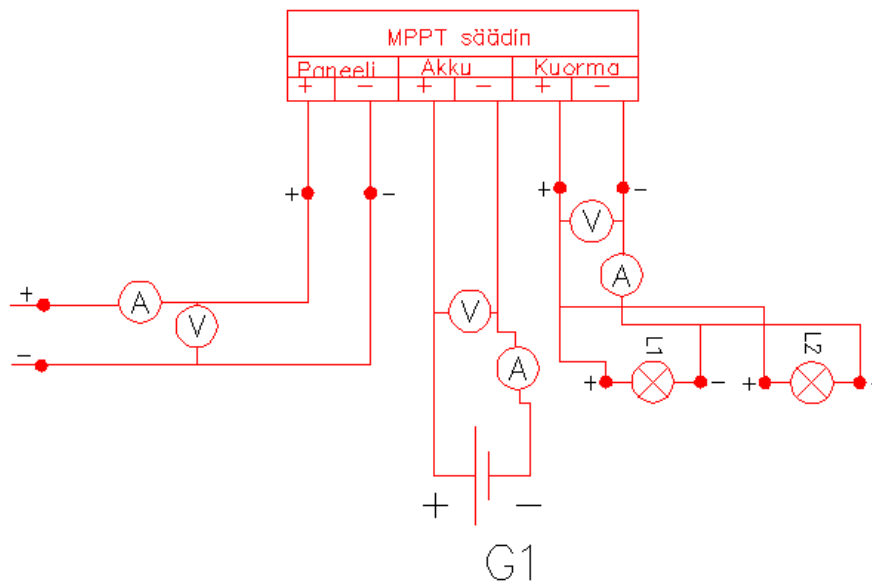
Vaikuttaako kuorman kasvattaminen kuormapiirissä kussakin tapauksessa.

- Paneelipiirin jännitteeseen tai virtaan?
- Akkupiirin jännitteeseen tai virtaan?
- Kuorma piirin jännitteeseen tai virtaan?

Jos vaikuttaa, niin mitkä ovat tulokset?

- b) Käytä edellä oppimaasi hyväksi, ja tee seuraavat kolme piiriä siten että teet mittaukset yhdelle paneelille, kahden paneelin sarjakytkennälle ja kahden paneelin ristikytkennälle.





Vaikuttaako kuorman kasvattaminen kuormapiirissä kussakin tapauksessa.

- Paneelipiirin jännitteeseen tai virtaan?
- Akkupiirin jännitteeseen tai virtaan?
- Kuorma piirin jännitteeseen tai virtaan?

Jos vaikuttaa, niin mitkä ovat tulokset?

8 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli suunnitella Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululle aurinkoenergian opetuspaketti osana projektia Aurinko- ja tuulivoiman koulutus ja tutkimuskeskittymä. Opetuspaketin oli tarkoitus koostua koulutuslaitteistoja jolla opiskelijat pääsevät tutustumaan aurinkosähkölaitteistoihin, sekä harjoittelemaan sähkötekniisiä mittauksia. Lopputuloksena tuli laitteisto, jolla on tarkoituksen mukaista opiskella aurinkosähköön liittyviä periaatteita, niin ulko-

salla kuin sisälläkin säästä riippuen. Samoin oma ymmärrys liittyen aurinkosähköteknologiaan laajeni, ja pääsin harjoittelemaan kädentaitoja rakennusvaiheessa.

Mahdollista kehitettävää on. Pitäisi vielä tarkistaa olisiko invertterin hankita järkevää, koska se on laite joka on merkittävässä osassa kun aurinkosähköä muutetaan valtakunnan sähköverkossa toimiville laitteille sopivaksi. Lähinnä se riittäisikö nykyinen akku, vai pitäisikö se suurentaa. Muu on pientä laittoa, lähinnä uusien tehtävien laatimista, sekä liitännänapojen mahdollista parempaa asettelua tai asennusta.

LÄHTEET

Ahtela, J., Hirsimäki, K. & Pihlgren, P. 1998. Toimintaperiaate. Saatavissa: <https://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s98/htyo/34/rakenne.shtml> [Viitattu: 18.5.2017].

AJHO Energia s.a. Aurinkopaneelien sijoitus ja asennus. Saatavissa: <http://www.ahjoenergia.fi/index.php/periaatteet/sijoitus-ja-asennus> [viitattu: 21.9.2016].

Albright, L., Angenent, L. & Vanek, F. P. 2012. Energy Systems Engineering- Evaluation and Implementation. New York: McGraw-Hill.

Alternative Energy Tutorials s.a. Grid Connected PV. Saatavissa: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/grid-connected-pv-system.html> [Viitattu: 19.05.2017].

Alternative energy tutorials s.a. Photovoltaic Solar Cells. Saatavissa: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/photovoltaics.html> [viitattu: 22.9.2016].

Alternative Energy Tutorials s.a. Solar Cell I-V Characteristic. saatavissa: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/solar-cell-i-v-characteristic.html> [Viitattu, 21.05.2017].

Bluelight. 2011. Pulse Width Modulation Charge Controllers Explained. Saatavissa: <http://e-bluelight.com/article-345-Pulse+Width+Modulation+Charge+Controllers+Explained.html> [Viitattu: 21.05.2017].

Boxwell, M. P. 2012. Solar Electricity Handbook. UK: Greenstream Publishing.

Bushong, S. 2016. Advantages and disadvantages of a solar tracker system. Saatavissa: <http://www.solarpowerworldonline.com/2016/05/advantages-disadvantages-solar-tracker-system/> [Viitattu: 19.05.2017].

CIVICSOLAR. 2011. What is a blocking diode?. Saatavissa: <https://www.civicsolar.com/support/installer/questions/what-blocking-diode> [Viitattu: 11.04.2017].

CIVICSOLAR. 2011. What is a bypass diode?. Saatavissa: <https://www.civicsolar.com/support/installer/questions/what-bypass-diode> [Viitattu: 21.05.2017].

Clean Energy Reviews s.a. The three main types of solar power systems are. Saatavissa: <http://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/5/4/how-solar-works> [Viitattu: 19.05.2017].

Darling, D. s.a. I-V curve (of a photovoltaic device). Saatavissa: http://www.daviddarling.info/encyclopedia/I/AE_I-V_curve.html [viitattu 22.9.2016].

Dutton, J. & Fedkin M. s.a. Inverters: principle of operation and parameters. Saatavissa: <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/711> [viitattu: [18.5.2017].

Gozuk s.a. Solar cell characteristics, Saatavissa: <http://solar.inverter.co> [Viitattu: 21.05.2017].

Hietalahti, L. P. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Tampere: Amk Kustannus Oy Tammertekniikka.

Kalogirou, S. P. 2014. Solar Energy Engineering Processes And Systems. Oxford: Elsevier/Academic Press cop.

Leonics s.a. Basics of MPPT Solar Charge Controller, Saatavissa: http://www.leonics.com/support/article2_14j/articles2_14j_en.php [viitattu 16.9.2016].

Motiva. 2016. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. Saatavissa: http://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa [Viitattu: 09.03.2017].

Motiva.2016. Kestävä liikenne ja liikkuminen: Akut. Saatavissa: http://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut [viitattu 08.03.2017].

Northern Arizona Wind&Sun s.a. All about maximum power point tracking (MPPT) solar charge controllers. Saatavissa: <https://www.solar-electric.com/mppt-solar-charge-controllers.html> [viitattu 16.9.2016].

Solar Power World Online. 2010. How To Choose The Right PV Power Inverter. Saatavissa: <http://www.solarpowerworldonline.com/2010/07/how-to-choose-the-right-pv-power-inverter/> [viitattu: 15.12.2016].

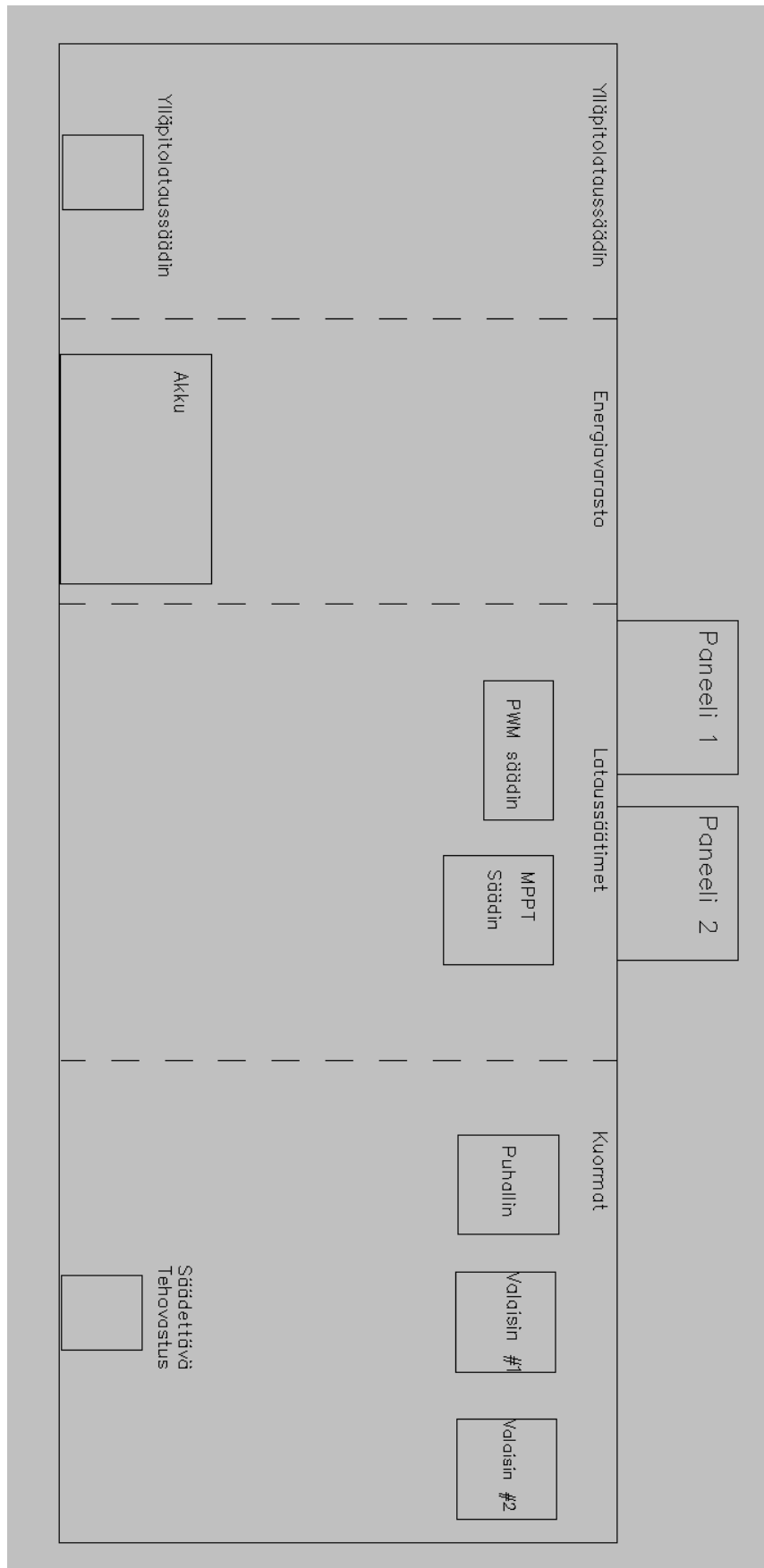
PVEDUCATION.ORG s.a. Bypass Diodes. Saatavissa: <http://pveducation.org/pvcdrom/7-modules-and-arrays/bypass-diodes> [Viitattu: 11.04.2017].

PVEDUCATION.ORG s.a. Mismatch Effects in Arrays. Saatavissa: <http://pveducation.org/pvcdrom/modules/mismatch-effects-in-arrays> [Viitattu: 11.04.2017].

SolarPV.co.uk s.a. Solar PV - Solar PV Cells - Solar PV Panels. Saatavissa: <http://www.solarpv.co.uk/solar-pv-cells.html> [Viitattu: 21.05.2017].

OPETUSJÄRJESTELMÄN RUNGON CAD-SUUNNITELMA

PERIAATEKUVA KOMPONENTTIEN SIJOITUKSISTA TAUSTALEVYYN



SOLISTEK A1 DE DATALEHTI



SOLIS TEK[®]
DIGITAL LIGHTING

Info@solis-tek





SolisTek A1 DE System 120/240V
120/208/240V Compati

	120V	240V
Input Power 1000W	9.1A	4.55A
Power Factor	> 0.99	
Input THD%	< 8%	
Output THD%	< 8%	
Input Frequency	50/60 Hz	
Tc (case) Max	80°C/176°F	
Ta (ambient)	30°C/86°F	

SolisTek A1 DE System 240V On
240V Compati

	240V
Input Power 1000W	4.55A
Power Factor	> 0.99
Input THD%	< 8%
Output THD%	< 8%
Input Frequency	50/60 Hz
Tc (case) Max	80°C/176°F
Ta (ambient)	30°C/86°F

SolisTek A1 DE System 277
Compatible from 265-30

	277V
Input Power 1000W	4.03A
Power Factor	> 0.99
Input THD%	< 8%
Output THD%	< 8%
Input Frequency	50/60 Hz
Tc (case) Max	80°C/176°F
Ta (ambient)	30°C/86°F

SolisTek A1 DE System 240V 600W
240V Compati

	240V
Input Power 600W	2.75A
Power Factor	> 0.99
Input THD%	< 8%
Output THD%	< 8%
Input Frequency	50/60 Hz
Tc (case) Max	80°C/176°F
Ta (ambient)	30°C/86°F



The SolisTek A1 DE System is the professional lighting fixture of choice for serious commercial growers. This incredibly high output fixture is designed with the competition in mind. The SolisTek A1 outperforms leading DE complete fixtures on the market and is paired with the SolisTek 2,100 μmol HPS high output efficient lamp.

The SolisTek A1 has exceptionally high lumen maintenance at under 5% depreciation over 10,000 hrs. The unique reflector is purposefully engineered to provide consistent spread, stability & easy maintenance.

The SolisTek A1 has a very high light maintenance of < 5% depreciation over 10,000 hours. The unique reflector is designed to provide consistent spread, extra stability & is easily replaceable.

Suitable for 1000W & 600W Double Ended lamps. The A1 light system is currently dimmable from 1100W, 1000W, 750W, 600W.

3 year manufacturer warranty.

solis-tek.com

SOLISTEK A1 DE OHJE



SOLIS TEK®
DIGITAL LIGHTING

info@solis-tek.com

WARNING:

Please confirm that the power is always off before you service or repair the SolisTek A1 fixture.

- A hot lamp may take up to 30 minutes to cool before it is safe to touch, replace or handle.
- SolisTek A1 is equipped with a hot restrike feature that detects impedance and will not restrike a hot lamp.
- Confirm that the input power cable is securely connected to the ballast fixture
- If a lamp breaks or fails, immediately power off the fixture and replace the lamp
- Confirm that the correct voltage is supplied to the fixture
- This fixture operates at extremely high temperature

CAUTION:

- Do not hang the fixture by the input power cord
- Do not touch the lamp holder contacts/socket when the fixture has power
- Do not open the housing of the ballast
- Do not rewire, repair, or alter any components of the fixture, this will void warranty
- Do not operate in wet locations or close to combustible materials
- Do not touch the lamp with bare hands

FIXTURE HEIGHTS:

1000W Lamps - Requires between 40" - 48" above the plant canopy
 600W Lamps - Requires between 30" - 36" above the plant canopy
 Recommended 850 - 1000 µmol PAR value, take caution not to burn your plants

LAMPS & BALLAST:

The SolisTek A1 fixture is designed to be used in combination with double ended high frequency lamps (both HPS & MH). SolisTek high frequency double ended lamps are proven to promote plant growth & health. The A1 has the ability to dim on the fly from 1100W, 1000W, 750W, 600W. All of the recognized SolisTek technology is integrated into this system including SenseSmart Technology™, Ignition Control™, Soft dimming, incredibly low output THD%

SolisTek offers a variety of double ended lamps in both Metal Halide and HPS. Our HPS boasts a broad yet intense spectrum ideal for flowering plants for high yields. Our varieties of MH options are exceptional for vegetative growth & are great options for full spectrum solutions. Full spectrum has proven to promote higher plant health and resistance to pests and diseases. MH are offered in 4K Daylight, 6K Super Blue & the 10K Finisher used for the last 10-14 days of bloom to enhance essential oil & terpene production.

LAMP & REFLECTOR INSTALLATION:

To remove the lamp from the fixture, simply open both lampholders by sliding them outwards. The lamp will be held in place by a metal spring on both sides. It is recommended to hold the lamp at the base to prevent the lamp from falling out. Wipe the lamp with a clean soft cloth.

To install a lamp, confirm the lamp wires are straight & insert the leads into the lampholder. Carefully press the ends of the lamp base into the lampholders, the metal springs should hold the lamp in place. Close the lampholders by sliding them inward, confirm that both lampholders are completely closed.

The Reflector should be replaced when the light output has decreased and will affect overall yield. Based on use, this can happen as quickly as 1 year. The reflector is held in place by a pull pin, when the lamp is removed, simply pull the pin outwards to remove the reflector from the fixture arm.

WARRANTY 3 YEARS

Please keep the original packaging as warranties must be processed with original packaging in order to prevent damage to the product during shipping. Damages incurred from shipping will not be covered under warranty.

solis.tek.com

SolisTek A1 Complete Fixture DE



PLEASE READ INTRUCTIONS BEFORE INSTALLATION

Warning: Keep your reflector away from combustible materials.

Ensure your reflector is mounted securely and keep lamp cords away from direct heat from the lamp and reflector. Light hangers or small chains are good options to use for hanging the reflector.

Changing Lamps:

Let the reflector cool down and disconnect the power from the ballast when replacing or changing out lamps. Use gloves to keep the lamp glass clean from dirt and oils.

To remove a lamp:

1. Disconnect the power from the ballast
2. Open the lamp holders by sliding them outwards, the lamp will be held in place by a metal spring, however secure the lamp to prevent it from falling out
3. Remove lamp

To install a new lamp:

1. Make sure power is disconnected from the ballast
2. Confirm the lamp is clean, wear cotton gloves if possible
3. Confirm the end wires are straight
4. Open lamp holders by sliding them outwards
5. Install the lamp by gently pressing the lamp until the metal springs hold the lamp
6. Close the lamp holders by sliding them inward
7. Wipe the lamp with clean soft cloth

**Do not touch the reflective material with your bare hands*

For more information please visit our website: www.solis-tek.com

Email: info@solis-tek.com

Telephone: (888) 998-8881

