

Niklas Ylä-Kujala

OMAKOTITALON VARAVOIMAJÄRJESTELMÄ

Opinnäytetyö
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2014




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MAMK University of Applied Sciences		Opinnäytetyön päivämäärä 5.5.2014	
Tekijä(t) Niklas Ylä-Kujala		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Nimeke Omakotitalon varavoimajärjestelmä			
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella varavoimajärjestelmä haja-asutusalueella sijaitsevaan omakotitaloon. Järjestelmä toteutettiin kohteeseen akkuihin perustuvalla ratkaisulla. Lisäksi siihen oli tarkoitus liittää aurinkopaneelit lataamaan akkuja sekä pienentämään sähkölaskua. Järjestelmän suunnittelussa pidettiin mielessä aggregaatin liittämismahdollisuus tulevaisuudessa.</p> <p>Työssä kartoitettiin ja esiteltiin erilaisia varavoimajärjestelmän toteutustapoja. Näissä pyrittiin mahdollisuuksien mukaan hyödyntämään uusiutuvaa energiaa kuten aurinkoa ja tuulta. Työssä kerrottiin myös varavoimajärjestelmän tarpeesta erilaisissa kohteissa sekä järjestelmän hyödyistä. Lisäksi tarkasteltiin järjestelmiin keskeisesti liittyvää akkuteknologiaa. Tätä kaikkea käytettiin hyödyksi järjestelmän suunnittelussa.</p> <p>Lisäksi tutkittiin sähkön mikrotuotannon liittämistä yleiseen sähköverkkoon. Selvityksessä kerrottiin tuotannolle asetetuista vaatimuksista sekä tilanne paikallisen verkkoyhtiön alueella. Tämän pohjalta tehtiin päätös kohteen liittymisen suhteen.</p> <p>Lopullinen toteutus sisälsi kytkentäkaavion ja laitevalinnat sekä kustannusarvion laitteiston osalta. Lisäksi pohdittiin, mitä vaikutuksia laitteistolla oli kohteen asumismukavuuteen.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Varavoima, UPS-järjestelmä, aurinkosähköjärjestelmä			
Sivumäärä 52 + 3	Kieli Suomi	URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Juha Korpijärvi		Opinnäytetyön toimeksiantaja	

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 5.5.2014
Author(s) Niklas Ylä-Kujala		Degree programme and option Electrical engineering
Name of the bachelor's thesis Reserve power-system of detached house		
Abstract <p>Aim of this thesis was to design a reserve power system for a detached house. The house was located in the countryside. The system was implemented as a battery solution. It should be connected to solar panels which charge to the batteries. Solar panels also reduced the power check of the house. The system was planned so that also the aggregate can be connected in the future.</p> <p>The thesis surveyed the different reserve power-systems. They included for example solar and wind power. In this job it was also told when there is need for reserve power system and what its benefits are. The battery technologies were in this project. All of this were utilized to the system structure.</p> <p>This case included facts also about micro production of electricity connected to the power grid. The facts dealt with specifications and situation in the area of local power company.</p> <p>In the final execution will include' the wiring diagram and choices of devices. Also devices prices are contained. In this task it was thought that the system will improve the living comfort of house.</p>		
Subject headings, (keywords) Reserve power, UPS-system, solar-power system		
Pages 52 + 3	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Juha Korpijärvi		Bachelor's thesis assigned by

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	KOHTEEN ESITTELY	1
3	VARAKÄYTTÖ	2
3.1	Tyyppejä	5
3.1.1	UPS	6
3.1.2	Aggregaatti.....	9
3.1.3	Tuulivoima.....	11
3.2	Aurinkoenergia	16
3.2.1	Aurinkopaneeli.....	19
3.2.2	Lataussäädin.....	22
3.3	Akut	25
4	TOTEUTUS	34
4.1	Tarkastelu.....	35
4.2	Laitteisto	37
4.3	Kytkenä.....	40
5	KUSTANNUSARVIO	41
6	VAIKUTUKSET.....	43
7	TULEVAISUUDENNÄKYMÄT JA MYYNTI VERKKOON	43
8	POHDINTA	45
	LIITTEET	
	1 Phoenix MultiPlus-tekniset tiedot	
	2 Danfoss DLX-tekniset tiedot	
	3 Hanwha Solar HSL 60-tekniset tiedot	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on omakotitalon sähkönsyötön varakäyttöjärjestelmä. Työssä tullaan keskittymään aurinkosähköllä ja akkujärjestelmällä toteutettavaan ratkaisuun. Lisäksi kerrotaan muistakin vaihtoehtoista varakäyttöön. Työssä laaditaan valmis suunnitelma varakäytön toteuttamiseksi. Se pitää sisällään kytkennät, laitevalinnat, akkutyypit ja laskelmat varavoimalle. Suunnitteluvaiheessa pyritään mahdollisuuksien rajoissa huomioimaan myös mahdollisia tulevaisuuden laajennusmahdollisuuksia. Tällaisia ovat esimerkiksi aggregaatin liittämismahdollisuus järjestelmään sekä kohteen sähköjärjestelmän laajeneminen.

Lopuksi järjestelmälle laaditaan kustannuslaskelma valituilla laitteilla. Suunnittelu-työllä ja laitteiden valinnoilla on pyritty saamaan järjestelmä mahdollisimman edulliseksi järjestyksen puitteissa.

2 KOHTEEN ESITTELY

Kohteena on omakotitalo, jonka noin 60 m²:n perusosa on rakennettu 1900-luvun taitteessa. Paraikaa kohdetta laajennetaan noin 25 m²:llä. Laajennusprojektin yhteydessä koko rakennus peruskorjataan ja nykyaikaistetaan. Talon eristys saatetaan nykyaikaiselle tasolle ja sen sähkötyöt uusitaan kokonaan. Talon alkuperäisen osan sähköjärjestelmä on yksivaiheinen. Taloa laajennettaessa myös sen koko sähköjärjestelmä uusitaan, ja tehdään esimerkiksi kolmivaihejärjestelmä.

Kohteessa on alkuperäisenä lämmitysmuotona suurimassainen takka talon keskellä. Tarkoituksena on käyttää pääasiallisena lämmityksenä kyseistä takkaa. Päätöstä edesauttaa takan hyvä sijainti lämmönjaon kannalta ja oletettavasti hyvä lämmönvarauskyky. Lisäksi talon keittiössä on puulämmitteinen hella, jota voidaan tarvittaessa käyttää lämmityksen lisänä. Rakennukseen on suunniteltu asennettavan sähköpattereita, jotka tukevat tarvittaessa lämmitystä. Käyttöveden lämmitys hoidetaan lämminvesivaraajan sähkövastuksilla.

Varavoimajärjestelmän suunnittelua kyseiseen kohteeseen helpottaa suuresti, että kohteen kaikki sähkötyöt suunnitellaan ja tehdään uusiksi. Täten varavoiman hyödyntä-

minen voidaan ottaa huomioon jo suunnittelussa. Luonnollisesti tämä kaikki edesauttaa parhaimpaan lopputulokseen pääsemistä ja mahdollistaa helpoiten asiakkaan toiveiden toteuttamisen. Kohteen sähköjen suunnittelussa voidaan myös valita mahdollisimman energiatehokkaita valaisimia ja laitteita, mikä helpottaa varavoimajärjestelmän toimintaa.

Mahdollisen sähkökatkon sattuessakin kohteen asumismukavuutta parantaa huomattavasti jo normaalin lämmityksen toteuttaminen takalla. Tämä luonnollisesti vähentää varavoimajärjestelmän kuormitusta, koska sitä ei tarvitse käyttää lämmön tuottamiseen. Kohteeseen suunniteltavan varavoimajärjestelmän tarkoituksena on parantaa talon asumismukavuutta minimoimalla mahdollisten sähkökatkojen haitat.

Kohde sijaitsee Haminassa taajaman ulkopuolella Kymenlaakson Sähköverkko Oy:n hallinnoiman jakeluverkon alueella. Rakennus saa sähkönsä ilmajohtoa pitkin tontin rajalla sijaitsevasta sähköpylvästä, johon tulee 400 V:n ilmajohto. Kohteessa mahdollisesti esiintyvien sähkökatkojen pituudet voivat vaihdella paljonkin. Lyhyimmät katkot kestävät verkon pikajälleenkytkennän ajan ja pisimmät katkot ovat yleisimmin useamman tunnin pituisia. Pisintä mahdollista sähkökatkosta ei tietenkään pysty tarkasti määrittelemään. Mahdollinen sähkökatko voi johtua 20 kV:n linjan avojohdoille lentävästä oksasta, joka aiheuttaa pikajälleenkytkennän. Pidemmät katkot voivat aiheutua esimerkiksi sähkölinjan katkeamisesta myrskyllä tai linjan huoltotoimista.

3 VARAKÄYTTÖ

Varakäyttöjärjestelmän tarkoituksena on turvata kiinteistön sähkönsaanti sähkökatkon aikana. Kyseisen järjestelmän tarpeellisuuteen vaikuttaa suuresti rakennuksen sijainti. Haja-asutusalueella sähkökatkot ovat huomattavasti yleisempiä kuin taajamissa. Ongelmaksi muodostuu myös se, että monesti sähkökatkosta aiheutuu enemmän ongelmia haja-asutusalueella asujalle kuin taajama-asujalle. Esimerkiksi haja-asutusalueella sijaitsevan kiinteistön vedensaanti saatetaan hoitaa omasta kaivosta, jonka pumppu tarvitsee sähköä. Lisäksi lämmitysjärjestelmänä voi olla keskuslämmitys, jonka kiertovesipumput vaativat sähköä. Onneksi monista taloista löytyy myös jonkinlainen tulisija, joka voi toimia lämmönlähteenä sähkökatkon aikana.

Keskeisimpiä ihmisen tarvitsemia asioita asumisessa ovatkin lämpö, vesi ja ruoka. Asumismukavuutta ja -turvallisuutta kasvattaa merkittävästi myös valo. Näiden turvaaminen sähkökatkon aikana onkin tärkeää.

Mikäli aletaan miettiä hiukan epäsuorempia ongelmia sähkökatkon aikana, ei sovi unohtaa myöskään mahdollisia vaikeakulkuisia kulkureittejä. Tällaiset paikat muodostavat pimeällä ja etenkin liukkaalla kelillä ilman toimivia pihavaloja tapaturmariskin.

Taajama-asujat ovat tottuneet häiriöttömämpään sähkösaantiin kuin haja-asutusalueella asuvat. Tästä syystä taajamissa mahdollinen katko voi yllättää ja siihen ei ole osattu varautua niin hyvin kuin haja-asutusalueella. Mihin ei ole totuttu, niin siihen ei myöskään osata varautua. Taajamien sähkösaannin luotettavuuteen vaikuttaa keskeisesti maakaapelointi. Sekään ei tosin ole täysin riskitön vaihtoehto, sillä sen heikkoja kohtia ovat etenkin päätteet ja jatkokset. Maakaapeli saattaa vikaantua myös esimerkiksi kaivinkoneen aiheuttamana. Haja-asutusalueella käytetään vielä nykyisin paljon avojohtoja, jotka ovat arempia ulkoisille häiriöille. Täten sähkökatkoja esiintyy etenkin voimakkaan tuulen ja ukonilman aikana. Lisäksi märkä lumi aiheuttaa katkoja. [1; 6.]

Pitkät sähkökatkot ovat jokseenkin harvinaisia, mutteivät suinkaan mahdottomia. 2000-luvulla Suomessa on ollut useita voimakkaita myrskyjä, jotka ovat aiheuttaneet paljon tuhoa. Esimerkiksi vuonna 2001 Pyry ja Janika myrskyt aiheuttivat 800000 suomalaiskodin sähköjen katkeamisen. Kodeista joka neljäs oli ilman sähköjä vielä viiden päivän kuluttua myrskystä. Vastaavasti Ruotsissa vuonna 2005 Gudrun-myrskyn aiheuttama sähkökatko kesti keskimäärin neljä päivää ja pisimmillään puolitoista kuukautta. [1.]

Vuodenajasta riippuen sähkökatko vaikuttaa meihin eri tavoin. Pimeinä ja kylminä hetkinä vaikutukset ovat tuntuvampia. Olinpaikkamme sähkökatkon sattuessa vaikuttaa myös tuntemuksiimme. Valoisaan aikaan kotipihalla ei tunnu yhtä ikävältä kuin jumittua hissiin. [1.] Suomessa voimakkaat myrskyt sattuvat yleisimmin syksyllä ja talvella, jolloin lämpöä ja valoa kaivattaisiin eniten. Voimakkaiden tuulien esiintyminen eri vuodenaikoina käy hyvin ilmi oheisesta kuvaajasta (kuva 1), jossa on tilastoituna merialueillamme havaitut myrskypäivät kuukausittain vuodesta 1994 lähtien. Myrskypäivän määritelmä Ilmatieteen laitoksen mukaan: Päivä, jolloin ainakin yhdel-

lä merisäähavaintoasemalla on mitattu 10 minuutin keskituulen nopeudeksi vähintään 21 m/s kolmen tunnin välein tehtävissä Synop-havainnoissa. Merialueiden myrskypäivistä voidaan tehdä jonkinasteisia päätelmiä myös rannikon ja sisämaan tuulisuu-
desta. Ilmatieteen laitos kertoo yhtäläisyyksistä seuraavaa: Kun merellä mitataan myrskylukemia, rannikolla ja usein myös sisämaassa puhalttaa vähintään navakasti (8 - 12 m/s). Sisämaassa tuulee kovaa (10 minuutin keskituulen nopeus vähintään 14 m/s) aika harvoin. Tuntureiden huipulla olevissa mastomittauksissa havaitaan talviaikana joka kuukausi myrskylukemia. [44].

Myrskypäivät kuukausittain vuodesta 1994 lähtien													
vuosi/kk	T	H	M	H	T	K	H	E	S	L	M	J	KPL/vuosi
1994	6	0	4	1	1	2	0	1	2	6	6	1	30
1995	7	7	4	2	1	1	0	1	2	3	6	4	38
1996	0	1	0	2	1	0	2	0	1	3	5	1	16
1997	4	6	4	4	2	0	0	0	5	1	0	0	26
1998	3	2	0	2	0	0	0	0	0	6	2	1	16
1999	3	4	0	1	0	0	0	0	1	2	5	8	24
2000	6	3	4	0	1	0	1	0	0	2	2	1	20
2001	0	2	0	0	0	0	0	1	1	1	7	2	14
2002	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	11
2003	1	2	2	1	0	0	0	0	1	2	0	11	20
2004	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	5	4	13
2005	3	3	0	0	0	0	0	1	4	6	5	3	25
2006	1	0	1	0	0	0	0	0	1	3	4	4	14
2007	7	0	0	4	1	0	1	1	3	2	4	3	26
2008	3	4	1	0	0	0	0	2	0	2	5	1	18
2009	3	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	3	11
2010	1	2	1	0	0	0	0	0	0	3	4	5	16
2011	2	1	3	1	1	1	0	0	2	2	3	11	27
2012	3	2	2	0	0	1	0	0	1	3	4	1	17
2013	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	3	7	14
2014	0	1	3										4
Keskiarvo 1994-2013	2,9	2,1	1,6	0,9	0,4	0,3	0,2	0,4	1,4	2,6	3,6	3,7	19

eniten ko. kuukaudessa vuodesta 1994 lähtien

Päivitetty 1.4.2014

KUVA 1. Merialueillamme havaitut myrskypäivät [44]

Ennusteiden mukaan tuulten voimakkuudet Suomessa muuttuvat jonkin verran tulevaisuudessa. Ilmastomallien mukaan keväällä ja kesällä tuuliolosuhteet pysyvät jokseenkin muuttumattomina, mutta syksyisin ja talvisin ne voimistunevat jonkin verran. [2.] Tämän seurauksena sähköverkkoon kohdistunee entistä enemmän räsytystä ja sähkökatkojen todennäköisyys kasvaa. Toisaalta tuulella on myös käänköpuolensa. Nimitäin paksu kerros painavaa lunta saattaa katkoa puita ja oksia sähkölinjoille. Vastavasti tuuli keventää puiden lumitaakkaa. [3.]

Edellä mainittujen seikkojen perusteella varakäyttöjärjestelmille on tilausta Suomessa. Omakotitaloasujalle järjestelmä onkin vartenotettava vaihtoehto. Kenties helpoimalla päästään, mikäli järjestelmän käyttöönotto huomioidaan jo uudisrakennuksen suunnitteluvaiheessa. Tämä ei kuitenkaan ole välttämättömyys sillä järjestelmä saadaan kyllä toimimaan vanhemmassakin rakennuksessa.

3.1 Tyyppejä

Varakäyttöjärjestelmälle on olemassa monenlaisia vaihtoehtoja. Kohde vaikuttaa oleellisesti valittavaan järjestelmätyyppiin. Luonnollisesti omakotitalon varavoimajärjestelmä on erilainen kuin lääkintätilojen. Omakotitaloon valitaan yleensä varavoimajärjestelmä mukavuusperustein, lääkintätiloihin puolestaan ihmishenkien pelastamiseksi. Lääkintätiloihin jo pelkästään laki edellyttää varavoimajärjestelmää. Oleellista on myös järjestelmän toimintavarmuus. Omakotitalossa harvemmin varavoimajärjestelmän vikaantuminen aiheuttaa vakavia seurauksia, mutta sairaalassa se voisi niin tehdäkin. Tästä syystä lääkintätilojen varavoimajärjestelmille on määriteltä esimerkiksi tarkat kytkeytymis- ja toiminta-ajat. Esimerkkinä voidaan mainita ryhmän 2 lääkintätilojen kytkeytymisajaksi 0,5 sekuntia. Kyseiseen ryhmään kuuluu leikkaussalit, joissa sähkönsyötön keskeytys saattaa aiheuttaa välitöntä vaaraa potilaalle. Puolen sekunnin kytkentäaika tarkoittaa, että sähköjärjestelmän tehon on palaututtava automaattisesti 0,5 sekunnin kuluessa. [4.]

Varavoimajärjestelmän toimintaperiaatteissakin on eroa. Toisissa järjestelmissä sähkönsyöttö kiinteistöön käynnistyy vasta sähkökatkon tultua, kun taas toiset toimivat sähköverkon rinnalla. Laitteet, jotka kytkeytyvät vasta sähköjen katkettua aiheuttavat luonnollisesti hetkellisen katkoksen kiinteistön sähkönsyöttöön. Rinnalla toimivat järjestelmät sen sijaan mahdollistavat katkeamattoman syötön. On olemassa myös järjestelmiä, joilla voidaan tasoittaa sähköverkon häiriötä. Tällä tavoin kiinteistölle saadaan laadukkaampaa sähköä.

Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että omakotitalolle ei tarvita täysin katkeamatonta sähkönsaantia. Tavalliselle kuluttajalle kenties kriittisin kohde sähkökatkon sattuessa on tietokone. Kuluttaja saattaa olla sähkökatkon tullessa tekemässä tietokoneellaan jotakin sellaista mitä ei soisi menettävänsä. Varasähköjärjestelmien kytkentäviive on käytännössä niin pieni, että tietokoneet eivät yleensä ehdi sammua sen aikana. Tietoko-

neet pysyvät käynnissä kyseisen hetken niiden virtalähteiden kondensaattoreihin varastoituneen energian avulla.

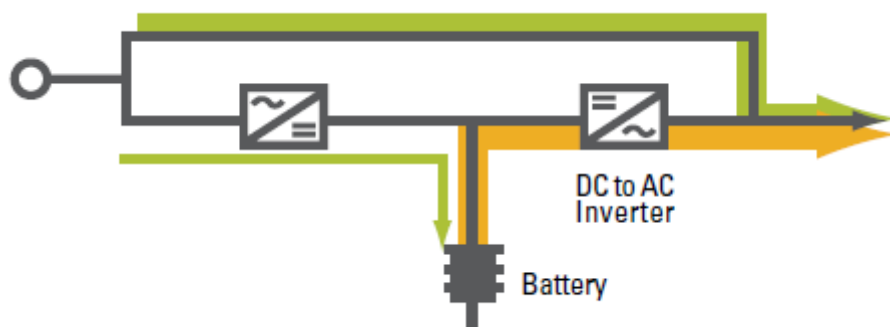
3.1.1 UPS

UPS tulee englannin kielen sanoista Uninterruptible Power Supply. Mikäli sähkö katkeavat, alkaa UPS-laitte syöttää virtaa siihen kytketylle laitteelle. Tämä tapahtuu murto-osasekunnissa. UPSin virransyöttö sähkökatkon aikana perustuu sen sisältämään akkuun. Tämä akku latautuu automaattisesti verkosta silloin, kun verkko toimii normaalisti. UPSit voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan, offline-, online- ja line-interaktiivisiin upseihin. [6.]

Nykyaikaisella UPS-laitteella saavutetaan myös muita etuja kuin katkeamaton sähkönsyöttö. UPS nimittäin suojaa myös ylijännitepiikeiltä, joita aiheutuu ukkosesta. Samoin se pystyy korjaamaan mahdollista verkon alijännitettä. [6.] UPS-laitetta valittaessa, se kannattaa ylimitoittaa jonkin verran. Tämä mahdollistaa tulevaisuudessa laajennettavuuden syötettävissä laitteissa. Vaikkei laajennettavuutta tarvitsisi ajatella, kannattaa huomioda UPSin akkujen ikääntyminen. Niiden vanhetessa, UPSin varakäyntiaika lyhenee. Lisäksi kuormalla on suuri vaikutus UPSin varakäyntiaikaan. Mikäli täydellä kuormalla UPSin varakäyntiaika on viisi minuuttia, se kolminkertaistuu puolittamalla kuormitus. [7.]

Offline-tyyppinen laite on kaikkein edullisin ja toimintaperiaatteeltaan yksinkertaisin. Offline-tyyppinen laite päästää normaalin verkkojännitteen suoraan siihen kytketylle laitteelle. Mikäli se havaitsee ali- tai ylijännitettä, siirtyy syöttö akulle. Samoin käy myös, jos verkon sähkö katkeaa. [6.] Kyseisen tyyppin laitteet toimivat tietokoneiden suojina lyhyiden sähkökatkojen aikana. Laitteet riittävät myös lyhytkestoisille ali- ja ylijännitteille. Laitteet ovat parhaimmillaan kotikäytössä tai pienissä toimistoissa. Offline UPSien käyttöä rajoittavia seikkoja ovat, ettei niitä voi käyttää heikkolaatuisessa verkossa. Ne eivät myöskään kestä toistuvaa altistusta taajuushäiriöille. Offline-tyyppisestä teknologiasta käytetään myös nimitystä passiivinen teknologia. [7.]

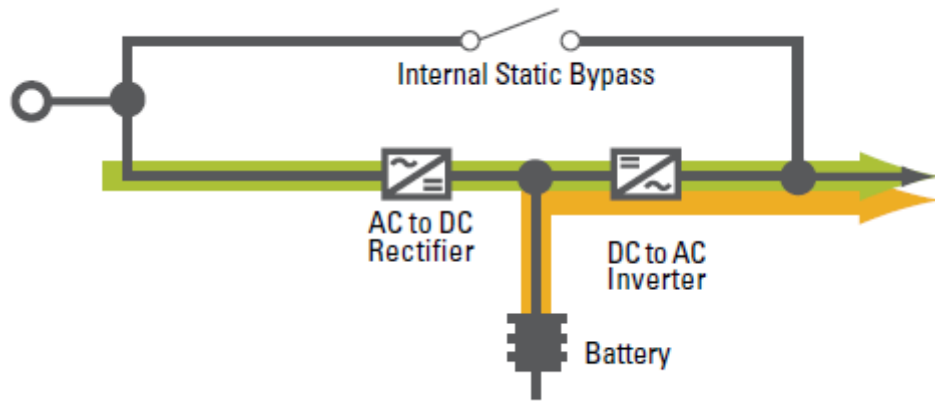
Seuraavilla sivuilla (kuvat 2, 3 ja 4) on esitetty erilaisten UPSien toimintaperiaatteet. Vihreä väri kuvaa sähkönkulkua normaalitilanteessa ja oranssi vastaavasti akkukäytössä [7].



KUVA 2. Offline UPS [7]

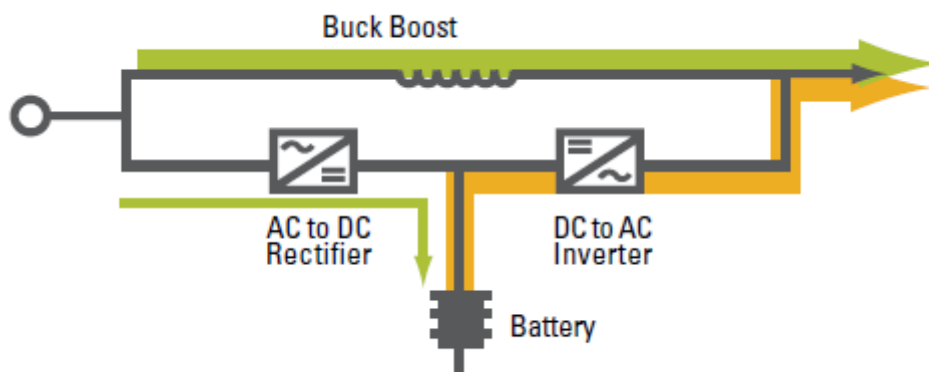
Online UPSin toiminta perustuu kaksoismuunnosteknologiaan, jolla saadaan suodatettua lähes kaikki verkkosähkön puutteet [6]. Kyseisen teknologian laitteissa tuleva ja lähtevä jännite eroavat toisistaan merkittävästi. Tämä johtuu siitä, että Online UPS muodostaa itse lähtevän jännitteen. Tämä tehdään seuraavasti: Laite muodostaa siihen syöttävän verkon vaihtovirrasta tasavirtaa, joka muunnetaan uudelleen vaihtovirraksi. Tämä muunneltu vaihtovirta syötetään puolestaan suojattavalle laitteelle. Online-laitteita käytetään kaikkein kriittisimpien laitteiden suojina. Ne mahdollistavat jatkuvan laadukkaan sähkönsyötön akkukapasiteetin rajoissa. Niillä suojattaville laitteille saadaan hyvin tasalaatuista sähköä. Online UPSien käyttämä teknologia ei aseta rajoitteita suojattaville laitteille. [7.]

Online UPSeihin on yleensä rakennettu automaattisesti toimiva staattinen ohituskytkin, jolla verkkosähkö saadaan kulkemaan suoraan syötettäville laitteille. Staattinen kytkin reagoi, mikäli UPS-laite ei kykene syöttämään riittävän laadukasta sähköä. Usein tämä kytkin on ohjattavissa myös manuaalisesti käyttäjän toimesta. Staattisen kytkimen reagoiminen ei vaikuta sähkönsyöttöön, sillä vaihto suorasyötölle on viiveetön. Lisäksi online UPSin yhteyteen voidaan rakentaa ulkoinen ohituskytkin, jota ohjataan käsikäyttöisesti. Ulkoinen kytkin on niin sanottu huoltokytke, jolla saadaan ohitettua UPS sen huoltotöiden ajaksi. Se myös mahdollistaa UPS-laitteen vaihdon ilman, että syötettävien laitteiden sähkönsyöttö pitää katkaista. [59; 60.]



KUVA 3. Online UPS [7]

Kolmas UPS tyyppi on line interactive-UPS. Kyseiset laitteet ovat omimmillaan ali- ja ylijännitteiden korjauksessa. Parhaimmillaan laitteet pystyvät korjaamaan useampien päivien jännitepoikkeamat ilman, että turvautuvat akkuihin. Line interactive-UPSeissa verkkosähkö syötetään suojattavalle laitteelle jännitteensäätimen läpi, mikä mahdollistaa edellä mainitun toiminnan. [6.] Jännitteensäätimenä toimii yleensä buck-boost-tyyppinen säädin. Kyseinen säädin yhdistää buck- sekä boost-säätimien ominaisuudet. Buck-säädin alentaa syötettävää jännitettä ja boost-säädin vastaavasti kohottaa sitä. Tämän seurauksena buck-boost-säädin kykenee nostamaan verkon alijännitettä syötettäville laitteille ja vastaavasti laskemaan ylijännitettä. Kyseinen säädin toimii hakkuri-periaatteella. [61; 62.] Line-interactive-UPSia käytetään etenkin yritysten tietoverkon IT-sovellusten suojauksessa jännitevaihteluilta sekä sähkökatkoilta [7].



KUVA 4. Line interactive-UPS [7]

UPS-järjestelmät voidaan toteuttaa joko hajautettuina tai keskitettyinä. Hajautettu järjestelmä tarkoittaa, että UPS-laite on tuotu lähelle syötettävää laitetta. Kyseisellä UP-

Silla voidaankin syöttää vain yhtä yksittäistä laitetta tai useampaa pienempää. Kytkevien laitteiden lukumäärään vaikuttaa tietenkin UPSin kapasiteetti. Hajautettu järjestelmä sopii hyvin työpistekohtaiseen suojaukseen. Kyseisissä UPSeissa käytetään yleensä tavallisia suojamaadoitettuja pistorasialiitäntöjä, mikä mahdollistaa helpon asennettavuuden. Laitteiden koot rajoittuvat yleensä 6 kVA:iin. [7.]

Vastaavasti keskitetty UPS-laitteisto tarkoittaa yhtä suurempaa UPSia, joka syöttää useita laitteita. Kyseinen UPS sijoitetaan yleensä sähkökeskukseen, jossa se on kytketty kiinteistön verkkoon. Keskitettyjen UPSien elinkaari on usein pidempi kuin vastaavien hajautettujen. Tähän vaikuttaa etenkin laitetoimittajien takaamat pidemmät myyntiajat varaosille. Keskitetty UPS on sähkökeskuksessa myös paremmassa suojassa kuin hajautettu UPS työpisteessä. Ymmärrettävästi keskitetyn järjestelmän asennuskustannukset ovat suuremmat kuin hajautetun laitteen. [7.]

Tietyillä laitteistoilla voidaan hyödyntää hajautettua ja keskitettyä UPSia yhdessä. Kyseisellä järjestelyllä saadaan huomattavasti lisää toimintavarmuutta. Lisäksi yhdistelmäsyötön kohteena olevan laitteen varakäyntiaika pitenee. Yhdistelmää voidaan käyttää kriittisten laitteiden syöttöön. [7.]

3.1.2 Aggregaatti

Aggregaatti tarkoittaa polttomoottorin ja generaattorin yhdistelmää. Varsinainen nimi on vierasperäinen eikä sille ole suoranaista suomennosta. Puhekielessä saatetaan puhua myös varavoimakoneesta. Aggregaatin tarkoituksena on tuottaa sähköä silloin, kun yleinen sähköverkko on vikaantunut. Se siis toimii varavoimana tilapäissähkötarpeeseen. Sitä voidaan käyttää myös yksittäisen kohteen sähköntuotantoon paikoissa, joissa verkkosähköä ei ole saatavissa. [8.] Tällaiset kohteet voivat olla yksittäisiä laitteita tai esimerkiksi kesämökkejä. Aggregaatteja käytetään paljon myös maataloudessa varmistamaan maatilán tärkeitä toimintoja, kuten lypsykoneen toimintaa tai tuotantorakennuksen ilmastointia [8].

Maatilalle ei aina ole kannattavaa ostaa erillistä aggregaattia, vaan voimakoneena voidaan käyttää tilan omaa traktoria. Tällöin traktorilla pyöritetään erillistä generaattoria. Lisäksi generaattorilla ja aggregaatilla voidaan ennalta ehkäistä ukkosen aiheuttamia

vaurioita herkille ja arvokkaille laitteille. Tällöin varavoimakäytölle siirrytään ennen pahinta rajuilmaa.



KUVA 5. Aggregaatti; 4-tahti, jatkuva teho 2,5 kW [45]

Aggregaattia voidaan käyttää monentyyppisten laitteiden sähköntuotantoon. Käytettävät laitteet sanelevat ehtoja aggregaatin valinnalle kyseiseen kohteeseen. Mikäli aggregaatilla syötetään esimerkiksi moottoria, tarvitsee sen sietää suuria hetkellisiä virtapiikkejä. Tilannetta pahentaa vielä, jos moottoriin on kytketty kuorma sen käynnistyessä. [8.] Käytännön esimerkki tällaisesta tilanteesta on kompressorin. Lisäksi kaivoissa käytettävät pumput ottavat suuren käynnistysvirtapiikin. Aggregaatit eivät siedä ylikuormaa kuin erittäin lyhyitä hetkiä. Ylikuormatilanteissa niiden suoja-automatiikka reagoi pysäyttäen aggregaatin. Yleisesti ottaen kuluttajakokoluokan aggregaateissa suojaukseen käytetään johdonsuojakatkaisijoita sekä ylijännitesuojia. Olisi myös muistettava, ettei aggregaattia ole hyvä kuormittaa täydellä kuormalla. Jatkuva kuormittaminen täydellä teholla lyhentää aggregaatin elinikää huomattavasti. [8.] Tämän takia aggregaatti olisi suotavaa hiukan ylimitoittaa käyttökohteeseen.

Käytettäessä aggregaattia varavoiman tuotantoon, on muistettava huolehtia sen kunnosta. Laitteesta ei ole hyötyä mikäli se ei käynnisty sähkökatkon tullessa. Polttomoottori vaatii huoltoa ja omanlaista tietotaitoa. Aggregaattia on hyvä käynnistää määrävälein ja testata sen toiminta. Etenkin dieselkäyttöisillä moottoreilla varustetut laitteet ovat tarkkoja käynnistyksille, sillä niiden polttoainejärjestelmä vaatii diesel-polttoaineen voitelevuutta. Pitkään käyttämättä olleen dieselmoottorin polttoainejärjestelmä kuivuu ja voitelu kärsii. [9.] Moottorin huoltotoimenpiteistä sen sijaan on hyvä mainita öljyn vaihto nelitahtisissa moottoreissa. Polttoaineet eivät myöskään

ole ikuisia, etenkin bensiinin säilyvyyden kanssa on oltava tarkkana. Tavallinen pumppubensiini ilman minkäänlaisia säilyvyyttä parantavia aineita saattaa vaikeuttaa aggregaatin käynnistämistä huomattavasti.

Aggregaatin tuottaman sähköön laatu saattaa vaihdella suurestikin. Tästä syystä siihen mahdollisesti liitetyn herkän elektroniikan suojaukseen on hyvä panostaa. Tällaiset kohteet on hyvä suojata erillisillä ylijännitesuojilla. [8.]

Aggregaatin valintaan vaikuttaa suuresti käyttötarkoitus ja -kohde. Varmatoimisuuteen ja käynnistuksen helppouteen kannatta panostaa. On olemassa myös kohteita, joissa hiljaiselle käyntiäänelle annetaan painoarvoa. Laitteen polttoaineenkulutuskin saattaa olla joskus merkittävässä roolissa. Satunnaisessa varavoimakäytössä sillä ei ole välttämättä suurta merkitystä, mutta jo esimerkiksi kesämökin sähköntuotannossa näin voi olla. Yleensä dieselaggregaatti kuluttaa 15–20 prosenttia vähemmän polttoainetta vastaavaan bensiinikäyttöiseen verrattuna. [8.]

Aggregaatteja on olemassa sekä kaksi- että nelitahtisia bensiinimoottorillisia, kuten myös nelitahtisia dieselmoottorillisia. [8.] Jätettäessä varavoima aggregaatin varaan, olisi muistettava, että sen käynnistymiseen menee aikaa. Optimaalisimmassakin tilanteessa puhutaan käytännössä 20–60 sekunnista. Tällainen aika tarkoittaa, että esimerkiksi tietokoneet vaatisivat erillisen UPS-varmennuksen, mikäli ne halutaan sammuttaa hallitusti sähköjen katketessa. Aggregaatin koosta ja tyypistä riippuen, niiden käynnistäminen voidaan toteuttaa käsikäyttöisesti tai automaattisesti sähköllä. Automaattikäynnisteisissä laitteissa käytetään erillistä akkua käynnistykseen. Tällaiseen laitteeseen voidaan rakentaa myös etäkäynnistys langattomasti matkapuhelimella tai kiinteistön sisälle kaapeloinnilla. [9.]

3.1.3 Tuulivoima

Varavoimaratkaisuissa voidaan hyödyntää myös tuulivoimaa, sillä pientuulivoimalat soveltuvat varavoima-akuston lataukseen. Tuulivoimalla tarkoitetaan tuulen liike-energian muuntamista sähköksi. Tuuli puolestaan tarkoittaa ilman liikettä. [13.]

Omakotitaloihin soveltuvista tuulivoimaloista käytetään nimitystä pientuulivoimala. Ne ovat tehoiltaan huomattavasti pienempiä kuin teollisuuden vastaavat. Pientuuli-

voimaloita voidaan hyvin käyttää sellaisissa kohteissa, joihin ei ole saatavilla julkista sähköverkkoa. Nykyisin niitä on alettu käyttää paljon myös kiinteistöissä, jotka kuuluvat yleiseen sähköverkkoon. Tällöin tuulivoimaa käytetään lisäämään kiinteistön omavaraisuutta sekä sähkölaskun pienentämiseksi. [10.] Pientuulivoimaloita on olemassa erityyppisiä. Jako voidaan tehdä vaaka-akselisiin ja pystyakselisiin voimaloihin. Perinteiset potkurilliset voimalat edustavat vaaka-akselisia ja pystyakselisia ovat esimerkiksi Savonius ja Darrieus-tyypin voimalat. [11.]



KUVA 6. Savonius-tyyppinen voimala [46]

Suomessa pientuulivoimaloita käytetään lataamaan akkuja, joita käytetään 12, 24, 48 tai 230 V:n järjestelmissä. Tuulivoimaa hyödynnetään myös kiinteistön lämmitysenergian tuotannossa tai käyttöveden lämmityksessä. Voimaloita voidaan myös kytkeä suoraan kiinteistön sähköjärjestelmään. [10.] ”Alle 50 kW:n pienvoimalaitokset on vapautettu sähköveron piiristä.”, muistuttaa Suomen Tuulivoimayhdistys ry [11.] Pientuulivoimalan rakentamiseen liittyy lupa-asioita. Lupakäytännöissä on jonkin verran eroa kuntakohtaisesti. Yleensä vaaditaan rakennus- tai toimenpidelupa. [11.]

Pientuulivoimalalla tarkoitetaan voimalaa, jonka potkurin pinta-ala on alle 200 m^2 . Tämä rajaa yleensä laitteiden nimellistehon alle 50 kW:n . [12]. Joskus saatetaan puhua myös mikrotuulivoimaloista, joilla tarkoitetaan alle 20 kW:n voimaloita [14]. Yleisesti ottaen, kesämökeillä olevat voimalat ovat joidenkin satojen wattien tehoisia. Tällöin lapojen halkaisija on suunnilleen pari metriä. Mikäli voimala on liitetty verkkoon tai sitä käytetään kiinteistön lämmöntuotantoon, vaaditaan siltä tehoa parista kilowatista ylöspäin. Tällaisen voimalan lapojen halkaisija on jo vähintään neljä metriä. [10.] Voimalasta saatava energia on verrannollinen potkurin pyörähtäessä muodostamaan alaan [12].



KUVA 7. Vaaka-akselinen voimala [10]

Voimalan sähköntuotantoon vaikuttaa suoraan tuuliolosuhteet. Yleisesti ottaen rannikkoseuduilla on sisämaata paremmat tuuliolosuhteet. Tämä ei kuitenkaan välttämättä tarkoita, ettei sisämaassakin voisi käyttää tuulivoimaa sähköntuotantoon, sillä tuuliolosuhteissa on aluekohtaisia eroja. On myös hyvä muistaa, että riittävän korkea masto edesauttaa sähköntuotantoa. Tuulivoimalalle on tärkeää, että tuuli pääsee puhaltamaan siihen mahdollisimman suoraviivaisesti. Erilaiset esteet tekevät tuuleen pyörteilyä, mikä heikentää sen voimaa, vaikuttaen negatiivisesti sähköntuotantoon. [11.] Tuulivoimalan parhaimpia sijoituskohteita ovatkin peltoaukeat ja vesistöjen rannat [12].

Voimala mitoitetaan tuulijakauman mukaisesti. Tuulijakaumasta nähdään kunkin paikan tuuliolosuhteet. Tätä tietoa käytetään hyväksi voimalan valinnassa siten, että voimala valitaan niille olosuhteille, mitä jakaumassa on eniten. Valintaa tehdessä huomioidaan myös generaattorin hyötysuhde, sillä se vaikuttaa merkittävästi saatavaan sähkötehoon. Osa tuulesta saatavasta energiasta muuttuu esimerkiksi lämmöksi koneiston

kitkahäviöiden takia. Mikäli voimalan hyötysuhde on huono, vaikuttaa se etenkin heikkotuulisten päivien sähköntuottoon. Heikko tuuli nimittäin tarvitsee todella herkkäliikkeisen potkurin. Kitkahäviöt ovat merkittävimmissä osassa voimalan käynnistymisessä heikolla tuulella. [12.]

Tuulivoimalan mitoitukseen vaikuttaa suuresti vallitsevat tuuliolosuhteet, sillä pienellä tuulella voimalan tuotto jää mitättömäksi. Sen sijaan kovalla tuulella ongelmaksi muodostuu liiallinen potkurin pyöriminen. Tällöin kierroksia on rajoitettava. Esimerkiksi tuulennopeudella 6 m/s pyörii 1,7 m halkaisijan omaava potkuri noin 400 r/min. Tällöin se tuottaa sähkötehoa noin 140 W. Samainen potkuri tuottaa kuitenkin tuulennopeudella 12 m/s sähkötehoa jo yli 1 kW. Karkeasti ottaen voidaan sanoa, että tuulennopeuden kaksinkertaistuessa voimalan tuotto kahdeksankertaistuu. [12]

Käytännössä kahden metrin luokkaa ja hiukan sen alle olevat potkurit vaativat pareikseen kunnollisen akuston, koska tämän kokoisten voimaloiden tuotto jää usein riittämättömäksi suoraa kytkentää varten. [12.] Akustosta on myös toisenlaista hyötyä, sillä sitä voidaan käyttää kiinteistön varavoimana. Akustolla tarkoitetaan erillisistä akuista koostuvaa tasavirtalähdettä [18].

Perinteisessä vaaka-akselisessa voimalassa on yleensä kaksi tai kolmelapainen potkuri. Lavat voivat olla joko kiinteitä tai kääntyviä. Jälkimmäisillä saavutetaan helpompi käyntiinlähtö, pyörimisnopeuden säätö ja tätä kautta myös myrskysuojaus. Lavat puolestaan kiinnittyvät napaan, joka on pääakselilla. Pääakseli on luonnollisesti laakeroitu. Pääakselin tehtävä on siirtää potkurista saatava energia generaattorille joko suoraan tai vaihteiston välityksellä. Akselin halkaisijan minimimitana on yleensä prosentti potkurin halkaisijasta. Akselin laakerointi vaikuttaa suuresti voimalan kitkahäviöihin. Voimalassa voi olla myös vaihteisto. Sen välityssuhde vaihtelee yleensä 1:5 ja 1:12 välillä. Potkurin ja generaattorin nimellipyörimisnopeudet vaikuttavat välityssuhteen valintaan tapauskohtaisesti. Vaihteisto muodostuu usein hammaspyöristä, joita voidellaan öljyllä. Toinen käytössä oleva vaihtoehto on hammashihnavälitys. Vaihteisto ja sen eristäminen rungosta puolestaan vaikuttavat voimalan meluisuuteen. [12.] Vaihteiston kääntöpuolena on, että se laskee voimalan hyötysuhdetta. Voimalassa on tietenkin myös generaattori, jonka teho on yleisesti 170–250 W jokaista potkurin pyörehdyksen muodostamaa neliometriä kohden. Generaattori pyritään valitsemaan mahdollisimman hitaasti pyöriväksi. Tällöin vaihteisto voi olla miedompi tai parhaimmas-

sa tapauksessa sitä ei tarvita ollenkaan. Nämä seikat parantavat jälleen voimalan hyötysuhdetta. [12].

Potkurin pyörimisen ja voimalan tuoton kannalta on tärkeää, että potkuri voi kääntyä vapaasti tuulen mukana. Tämä mahdollistaa potkurin asennon aina kohtisuorasti tuulta vasten. Voimalassa pitääkin olla peräsin tätä varten. Voimalan vähittäiskorkeudeksi suositellaan yli viittä metriä. Mieluiten se saisi olla kuitenkin 10 ja 15 metrin välillä. Lisäksi rakentamisessa on huomioitava maston maadoittaminen ja koko voimalan ukkossuojaus. [12].

Generaattoria on kuormitettava ainoastaan potkurin tuoton verran, koska ylikuorma aiheuttaa potkurin sakkaamista ja sen pysähtymisen. Näitä seikkoja valvoo erillinen säätöjärjestelmä. Todellisuudessa tehoa otetaan hiukan vähemmän kuin mitä potkurista saadaan. Samalla on tietenkin huomioitava voimalan häviöt. [12.]

Pientuulivoimalaa voidaan käyttää kiinteistön energiantuotannossa kolmella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on kytkeä voimala akustoon ja ottaa voimalan tuottama sähkö kiinteistön käyttöön vasta akustosta. Akuston koko ja kytkentä määrittävät millä tavoin siitä otetaan sähköä kiinteistöön. Yleinen tapa on käyttää invertteriä akun ja kiinteistön välissä. Invertterillä muunnetaan akkujen tasajännite verkon 230 voltin vaihtojännitteeksi. Akuston tarkoituksena on toimia energiavarastona tuulettomina hetkinä. Kyseinen tapa tulee kyseeseen kiinteistöissä, joihin ei tule valtakunnan sähköverkkoa. Tällaisia kohteita ovat etenkin mökkirakennukset. Valtakunnanverkon puuttumisen vuoksi edellä mainituissa kohteissa on välttämätöntä käyttää järjestelmää, jossa hyödynnetään akkuja. Ilman valtakunnanverkkoa ei saada muuten turvatuksi sähkönsaantia tuulettomina hetkinä. Kytkentätapaa voidaan hyödyntää myös erinomaisesti varasähköjärjestelmässä. Akku toimii tällöin rakennuksen sähkölähteenä sähkökatkon aikana. Mikäli tällöin myös tuulee, saadaan akkua ladatuksi ja varakäyntiaika pitenee. Kyseinen tapa voimalan liittämiseksi ei kuitenkaan ole omimmillaan kiinteistön ympärivuotiseen energiantuotantoon. Tätä seikkaa rajoittaa akusto. [5.]

Toinen tapa on liittää pientuulivoimala kantaverkkokytkimen avulla kiinteistön sähköjärjestelmään. Tavoitteena on käyttää kaikki voimalasta saatu sähkö suoraan kiinteistössä. Mikäli sähköntarve on suurempi kuin voimalan tuotto, hyödynnetään lisäksi

valtakunnan sähköverkkoa. Kantaverkkokytin mahdollistaa myös sähkön syöttämisen valtakunnan sähköverkkoon. [5.]

Kolmas tapa on syöttää pientuulivoimalan sähkö rakennuksen lämmitysjärjestelmään. Tällöin sähkö voidaan syöttää esimerkiksi lämminvesivaraajan sähkövastuksiin. [5.]

3.2 Aurinkoenergia

Aurinkoa voidaan hyödyntää rakennuksen energiantuotannossa monella eri tavalla. Sillä voidaan esimerkiksi lämmittää suoraan vettä tai sillä voidaan tuottaa sähköä. Suomen sähköntuotannosta aurinkoenergian osuus on alle promillen. [16.] Aurinkoenergialle povataan kuitenkin valoisia tulevaisuudennäkymiä ja vakaata kehitystä. Tämä johtuu etenkin yhteiskunnan tarpeesta löytää uusia, ja kehittää jo olemassa olevia uusiutuvia energiantuotantomuotoja.

Aurinkoenergian historian voidaan sanoa alkaneeksi vuodesta 1938, jolloin Edmund Becquerel sai muutetuksi valon sähköksi. Vuonna 1883 Charles Fritts teki seleenikiekoista aurinkokennot, joilla sai muutetuksi 1-2 prosenttia auringonenergiasta sähköksi. Vuonna 1885 Charles Tellier rakensi talonsa katolle aurinkolämpöjärjestelmän, joka lämmitti talon käyttövettä. Ensimmäinen kaupalliseen käyttöön tehty aurinkokenno esiteltiin vuonna 1956. [21.] Aurinkopaneeleita on hyödynnetty ja kehitetty etenkin satelliittien sähköntuotantoon [24, s. 87].

Aurinkoenergia on ympäristöystävällistä, sillä sen varsinaisesta hyödyntämisestä ei synny lainkaan päästöjä. ”Aurinko on ehtymätön energianlähde, ja sen lämpöä on pyritty aina hyödyntämään.”, kertoo Motiva [19]. Siitä saatava energia on myös uusiutuvaa ja käyttö edullista. Varsinainen auringon energia on peräisin fuusiosta. Kyseessä on lämpöydinreaktio, jossa yksi heliumatomi muodostuu neljästä vetyatomista. Tällöin yli jää massaa, joka muuttuu osittain energiaksi. Auringon ominaisteho on $3,846 \cdot 10^{23}$ kW, josta maapallolle asti tulee $1,7 \cdot 10^{14}$ kW. [20.]

Etelä-Suomessa auringonsäteilyä tulee neliömetrille noin 1000 kWh vuodessa. Tätä säteilyä on mahdollista hyödyntää lähes ympärivuotisesti. Poikkeuksena on joulu-tammikuun aika, jolloin aurinko on matalalla tai horisontin alapuolella. Tästä johtuen aurinkoenergian hyödyntäminen on vaikeaa. Auringon energiaa on mahdollista hyö-

dyntää joko passiivisesti tai aktiivisesti. Passiivinen hyödyntäminen ei tarvitse minikäänlaista laitetta. [17.] Tällöin voidaan esimerkiksi antaa auringon lämmittää rakennusta vapaasti ikkunoiden välityksellä [20]. Aurinkopaneelit sekä -keräimet taas ovat aktiivista hyödyntämistä. Aurinkokeräimillä on mahdollista hyödyntää 25–35 prosenttia auringonsäteilystä lämpönä. Aurinkopaneelit sen sijaan pystyvät hyödyntämään 15 prosenttia sähköä. [17.]

Aurinkokeräimillä lämmitetään joko käyttövettä tai niitä käytetään rakennuksen lämmittämiseen. Yleisin tapa on käyttää tasokeräintä, jossa kiertää vesi-glykoliseos. Tämä seos lämpiää auringon vaikutuksesta. Lämmennyt seos puolestaan kiertää lämminvesivaraajan kautta lämmittäen sen vettä. Toinen vaihtoehto on käyttää tyhjiöputkeräimiä, jotka pystyvät käyttämään tehokkaammin auringon hajasäteilyä. [17.]

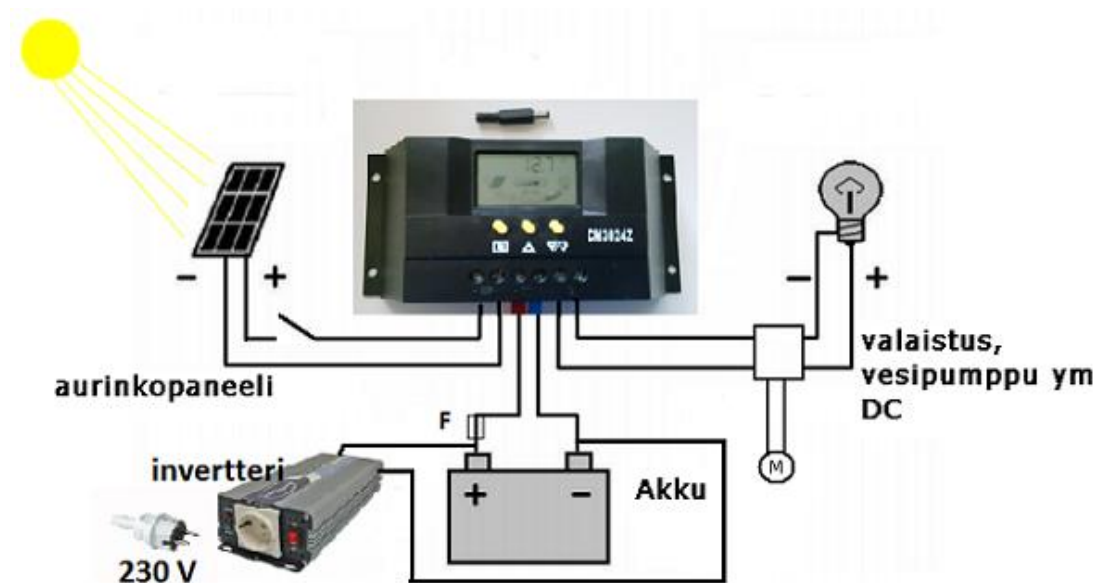
Aurinkoa on totuttu hyödyntämään sähköntuotannossa kohteissa, joissa ei ole ollut saatavilla verkkosähköä. Tällaisia kohteita ovat etenkin mökkirakennukset. Nykyään on kuitenkin alettu yhä enenemässä määrin hyödyntää aurinkoa myös verkkosähkön piirissä olevissa rakennuksissa. Parhaimmillaan aurinkosähkön osuus voi olla hyvin merkittävä rakennuksen sähköntarpeesta. [15.]

Kesämökkeihin soveltuvat järjestelmät ovat jo hyvinkin kilpailukykyisissä hinnoissa. Täten ne ovat varteenotettava vaihtoehto, mikäli sähköä ei tarvita paljoa tai valtakunnan verkkoon on etäisyyttä. Hankittaessa aurinkosähköjärjestelmää kannattaa varmistua sen laajennettavuusmahdollisuuksista, sillä monesti sähköntarve saattaa kasvaa tulevaisuudessa. [15.]

Aurinkosähköjärjestelmä on myös mahdollista liittää kiinteistöön siten, että kulutuksen ollessa tuottoa vähäisempää, syötetään sähköä valtakunnanverkkoon [15].

Aurinkosähköjärjestelmä perustuu aurinkopaneeleihin, joilla sähkö tuotetaan. Yleensä aurinkosähköjärjestelmässä käytetään akkua tai akustoa paneelin tuottaman sähkön varastoinniseksi. Tämä on tärkeää etenkin kiinteistössä, joita ei ole liitetty yleiseen sähköverkkoon. Akusto toimii sähkönlähteenä silloin kun aurinko ei paista. Mikäli aurinkosähköjärjestelmä toimii kiinteistön ainoana sähkönlähteenä, Motiva suosittelee mitoittamaan akuston riittämään muutamaksi päiväksi ilman latausta. Motiva myös korostaa käyttämään hyvälaatuista akkua, joka kestää toistuvaa purkaus/lataussykliä.

Toinen vaihtoehto on liittää aurinkopaneelit kiinteistöön suoraan ilman akkua. Tällöin paneelien tuottama sähkö voidaan käyttää esimerkiksi ilmastointiin. Luonnollisesti-
kaan järjestelmän käyttö ilman akkua ei tule kyseeseen rakennuksissa, joissa sitä käytetään ainoana sähkönlähteenä. [15.]



KUVA 8. Esimerkki aurinkosähköjärjestelmästä [48]

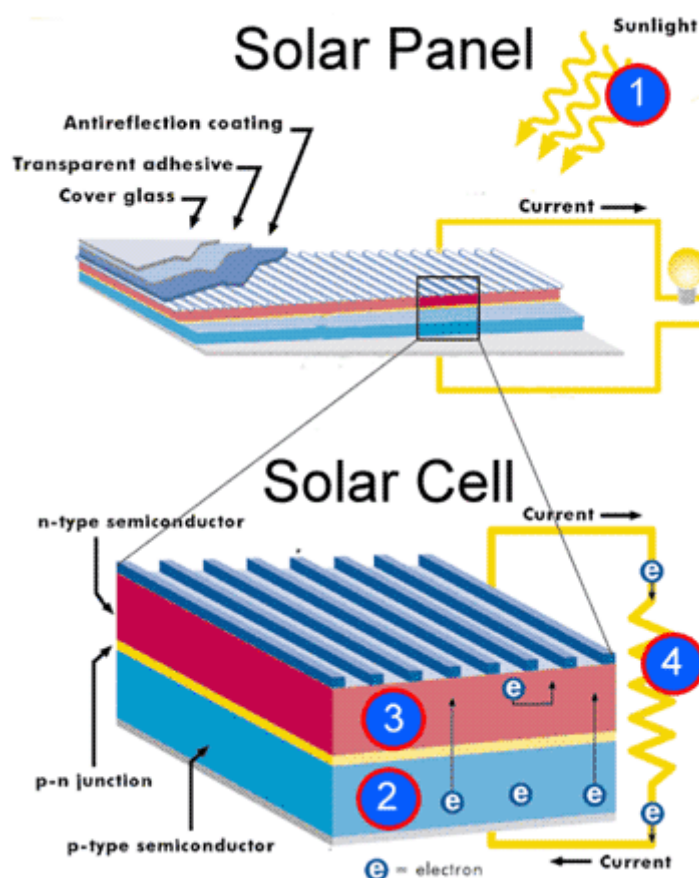
Kuvassa 8 on periaatepiirros aurinkosähköjärjestelmästä. Kuvassa olevassa järjestelmässä lataussäätimen/ohjainyksikön kautta voidaan ottaa tasasähköä (yleensä 12 V) pienille laitteille. Kuvan mukaista kytkentää käytetään etenkin mökkikäytössä.

Aurinkosähkön tuottamisessa voidaan myös hyödyntää optiikkaa. Nykyisin on jo olemassa suuria aurinkovoimaloita, jotka hyödyntävät kyseistä tekniikkaa. Niissä paraboloidiset peilit keskittävät auringon lämpöä, joka muutetaan mekaaniseksi tehoksi, jolla tuotetaan sähköä. [20].

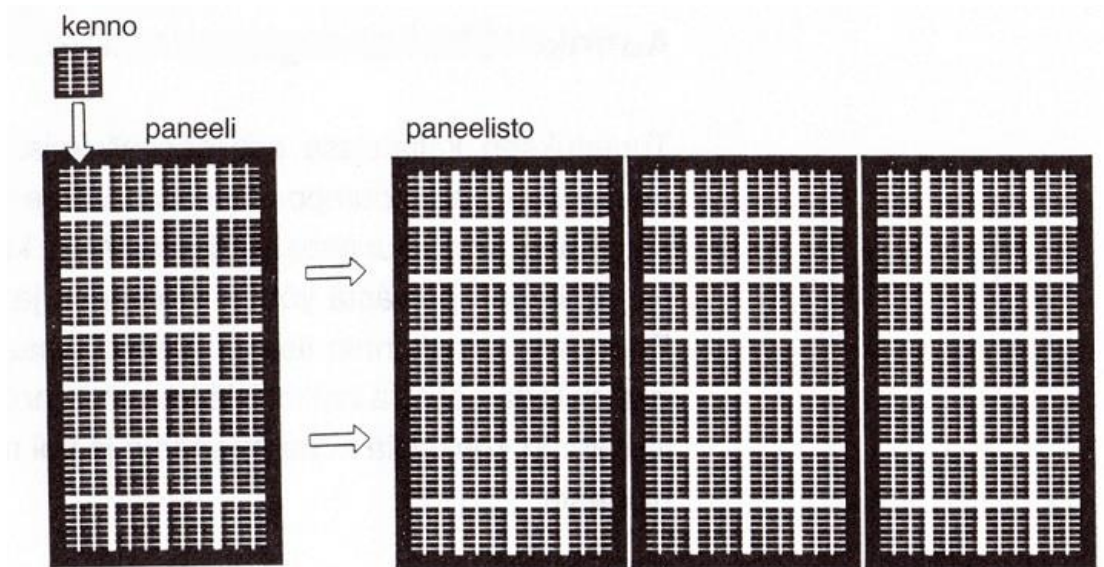
Aurinkoenergian käytössä voidaan hyödyntää myös hybridijärjestelmää, joka tarkoittaa useamman sähköntuotantomuodon yhdistämistä. Tällöin aurinkopaneelien kanssa voidaan käyttää esimerkiksi pientuulivoimalaa tai aggregaattia. [19.]

3.2.1 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneeli muodostuu aurinkokennoista, joissa jännite syntyy auringonsäteiden energian aikaansaannoksena. Kennoja sarjaan kytkemällä, saadaan jännite nostettua halutulle tasolle. [15.] Vastaavasti kapasiteettia saadaan kasvatetuksi paneelien rinnankytkennällä [24, s. 88]. Useiden paneelien muodostamaa järjestelmää kutsutaan paneelistoksi (kuva 10) [25, s. 134–135]. ”Aurinkokenno on elektroninen puolijohde”, kertoo Motiva. Kennojen raaka-aineena on pii, joka voi olla kiteistä, monikiteistä tai amorfista. Jännite muodostuu kennoissa niiden ala- ja yläpinnan välille auringonsäteilyn muodostamana. [15.] Kennossa on kaksi ominaisuuksiltaan erilaista kerrosta (kuva 9). Näiden kerrosten yli muodostuu sisäinen sähkökenttä valosähköisen ilmiön johdosta. Valosähköinen ilmiö tarkoittaa auringonvalon vaikutuksesta johtuvaa elektronien liikkumista kerrosten välisen rajapinnan yli, kasautuen sen toiselle puolelle. [19.] Niin sanottujen vakiopaneelien jännite on mitoitettu sopivaksi 12 voltin akun lataamiseen [25, s. 134].



KUVA 9. Aurinkopaneelin sekä -kennon rakenne [47]



KUVA 10. Aurinkopaneeliston rakenne [25 s.135]

Kuvassa 11 on erilaisia aurinkopaneeleita kide-tyypin mukaan. Ensimmäisessä paneelissa pii on kiteistä, keskimmäisessä monikiteistä ja viimeisessä amorfista.



KUVA 11. Erilaisia paneelityyppejä [49]

Paneeleista saatavaan sähköenergian määrään vaikuttaa luonnollisesti paneelin pinta-ala sekä auringon säteilyteho. Usein aurinkopaneelit ovat nimellisteholtaan 50–200 W. Nimellisteho tarkoittaa tehoa, jonka paneeli tuottaa auringonsäteilyn intensiteetin ollessa 1 kWh neliometriä kohden. Vastaava säteilymäärä saadaan aurinkoisena kesäkeskipäivänä tunnin aikana. [19.] Nimellisteho on siis teoreettinen maksimiteho. Tämän vuoksi on tärkeää huomioida paneelien tuotetun sähköenergian määrä, jota kuvataan lukemalla kWh/a. [24, s. 88.]

Aurinkokennoja käytetään paljon myös elektroniikkasovelluksissa, kuten taskulaskimissa. Nykyinen aurinkosähkötekniikka on vakiintunutta ja ollut osittain käytössä jo useiden vuosikymmenien ajan [19].

Aurinkopaneelien soveltuvuuteen Suomen olosuhteisiin liikkuu jonkin verran harhaluuloja, sillä usein aurinkopaneeleista luullaan, etteivät ne kestä lumikuormaa. Tämä ei kuitenkaan pidä paikkaansa. Suomen viileästä ilmastosta on aurinkopaneeleille myös etua. Ne nimittäin toimivat vain sitä paremmin, mitä kylmempää on. [16.]

Aurinkopaneelien asennukseen on syytä kiinnittää erityistä huomiota, jotta varmistetaan niiden paras mahdollinen tuotto sekä pitkäikäisyys. Mikäli paneelit asennetaan katolle, ne voidaan asentaa integroidusti, kattomateriaalina tai käyttämällä erillisiä telineitä. Paneeleita on mahdollista asentaa myös seiniin tai erilleen talosta. [19.] Integroitu asentaminen tarkoittaa paneelien käyttöä rakennuksen julkisivuna. Kyseinen rakentamistekniikka on kehittynyt nopeasti ja kehitykselle ennustetaan myös jatkoa. Ennusteiden mukaan tulevaisuudessa saatetaan koko rakennus voida päällystää paneelikerroksella. [20.]

Aurinkopaneelien käyttöikä on yleensä useita vuosikymmeniä. Ne ovat myös suhteellisen huoltovapaita, sillä vuosittaiseksi huolloksi suositellaan huuhtelemista siitepölystä. [19.] Liikkuvien osien puuttuminen tuo paneeleille elinikää ja toimintavarmuutta. Useille paneeleille myönnetään jopa yli 20 vuoden tehotakuita. Tämä takaa paneelien tehon säilyvän ikääntymisestä huolimatta. [24, s. 87–88.]

Aurinkopaneeleista saa parhaimman hyödyn irti, mikäli ne ovat kohtisuorassa aurinkoon nähden. Kiinteillä asennuksilla tämä ei tietenkään ole aina mahdollista, johtuen maapallon pyörimisestä. Tästä syystä paneeleihin on kehitetty automaattisia kääntäjiä, jotka mahdollistavat paneeleille niiden optimaalisen asennon aurinkoa kohti [20]. Kyseisiä laitteita on olemassa erilaisia. Toiset laitteet säätävät sekä paneelin kallistusta, että suuntaa. Toiset taas säätävät ainoastaan paneelin suuntaa. Kääntöpuolenaan laitteet tuovat lisääntyneen huollontarpeen sekä energiankulutuksen. Seurantalaitteiden hyöty talvella on melko vähäistä, sillä päivät ovat lyhyempiä kuin kesällä. [25, s. 16–17.]

Yleisimmissä kiteisissä paneeleissa on kiinnitettävä erityistä huomiota auringonvalon esteettömään pääsyyn. Tähän on syynä, että mikäli paneelin pinta-alasta jää kymmenesosa varjoon, jää sen sähköntuotosta saamatta 90 prosenttia. [23, s. 104]. Varjon vaikutus paneelin tehoon johtuu kennojen sarjaan kytkennästä, koska piirissä kulkee sama virta kaikkien kennojen yli. Mikäli yksi kenno joutuu varjoon, kulkee sen piirissä yhtä pieni virta kuin kyseisessä kennossa. [25, s. 15, 133–135.] Ohutkalvotekniikan paneelit sietänevät paremmin varjostuksia. Paneeleiden ohjauselektroniikalla on mahdollista vaikuttaa varjojen vaikutukseen. Huonolla ohjauselektroniikalla, järjestelmän tuotto on yhtä huono kuin piirin heikoimman paneelin. [23, s. 104–106.]

Aurinkopaneeleita pyritään kehittämään jatkuvasti, mistä esimerkkinä ohutkalvo- ja läpikuultava aurinkopaneeli. Ohutkalvopaneeleita on mahdollista käyttää pyöreillä pinnoilla rakennuksissa, ja jopa vaatteissa. Läpikuultavia paneeleita voidaan puolestaan käyttää ikkunalaseina. [20.] Sähköä tuottavan kerroksen paksuus ohutkalvopaneelissa on noin tuhannesosamillimetrin paksuinen. Tämän vuoksi on mahdollista tehdä useita kerroksia päällekkäin, mikä kasvattaa kennon tehoa. Ohutkalvopaneeleissa kehitellään etenkin orgaanisten ja polymeeristen rakenteiden käyttöä niiden valmistuksessa. [22.]

3.2.2 Lataussäädin

Keskeisenä komponenttina järjestelmässä on lataussäädin. Se sijaitsee aurinkopaneeliston ja akuston välissä. Säädin nimensä mukaisesti säättää akustolle menevää sähköä paneeleilta. Säätimen tärkein tehtävä on estää akkujen ylilatautuminen, joka olisi vaarana sähkön kulutuksen ollessa paneelien tuottoa vähäisempää. Vastaavasti säädin myös estää sähkön kulun toisin päin eli akustolta paneeleille. Tämä voisi tulla kyseeseen öiseen aikaan, jolloin paneelit eivät tuota sähköä. [25, s. 140.]

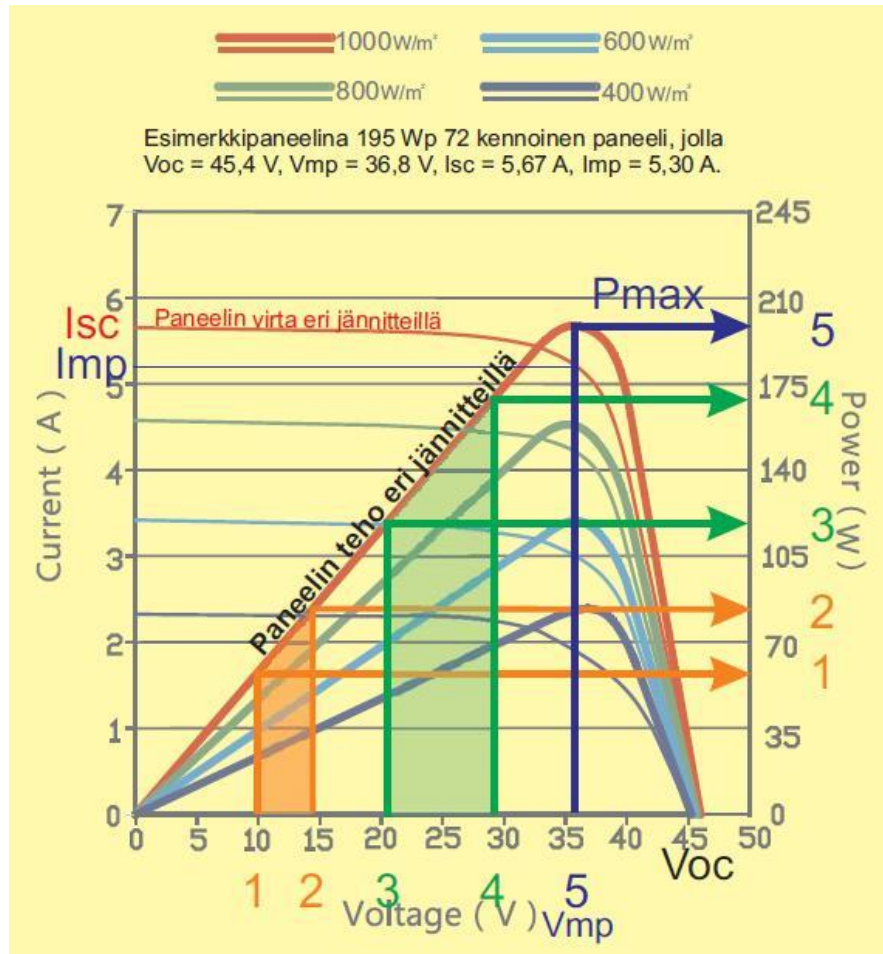
Lataussäätimiä on olemassa erityyppisiä. Yksinkertaisin säädinmalli on vastusmallinen säädin. Kyseisen mallin säätö perustuu suoraan akun jännitteeseen, jota se mittaa. Säätimeen on esiasetettu jännitteelle ylä- sekä alarajat. Jännitteen noustua ylärajalle, katkaisee säädin aurinkopaneeliston latauksen. Vastaavasti akuston jännitteen laskettua alarajalle, lataus alkaa uudelleen. Toimintaperiaate on melko yksinkertainen mahdollistaen säätimen edullisen hinnan. Haittapuolena sen sijaan on jokseenkin hallitsematon lataus. [25, s. 140.] Akun jännitteen ollessa säätimen ylärajalla, ei akku ole vie-

lä välttämättä täysi. Akun jännite nousee melko nopeasti latauksen aikana kiehumiselle alttiille tasolle, jolloin lataus katkeaa. Akku on tällöin kuitenkin vielä vajaa ja lataussäätimeltä tarvittaisiin latausvirran pulssittamista, jotta akku latautuisi täyteen ilman liiallista jännitteennousua. [58.]

Nykyaikaisempi lataussäädin käyttää hyödyksi pulssinleveys modulaatiota (PWM), engl. Pulse-Width Modulation. Kyseinen säädin pyrkii pitämään akuston jännitteen kokoajan halutulla tasolla. Paneeliston latauksen pois/päälle kytkentä on huomattavasti nopeampaa kuin vastussäätöisellä säätimellä. PWM-säätimellä lataus on hallitumpaa ja tehokkaampaa. Säädin kykenee hyödyntämään paneeleita paremmin kuin vastussäätöinen. [25, s. 140.]

Joissain säädinmalleissa hyödynnetään myös lämpötilasäätöä. Tällöin akustolle syötettävä latausjännite säätyy osittain myös lämpötila-anturin mukaan, koska lämpötilalla on jonkin verran vaikutusta akun optimaaliseen latausjännitteeseen. [25, s. 140.]

Aurinkopaneeliston yhteyteen voidaan liittää myös maksimitehopisteen seuraaja, MPPT-säädin. Kyseinen laite säätää paneelilta tulevan jännitteen paneelin maksimitehopisteen mukaan. [25, s. 140–141.] MPPT-säädin on PWM-säätimen kehittyneempi versio. Se sisältää kuitenkin myös PWM-säädön. 12 tai 24 V:n akustoille suunnitellun aurinkopaneelin tuottama kuormittamaton jännite on melko korkea, usein jopa 45 V. Aurinkopaneelille on olemassa ominaiskäyrä, jolta nähdään sen antama virta kullakin jännitteellä. Tältä käyrältä voidaan määritellä maksimitehopiste, joka tarkoittaa paneelin antamaa suurinta mahdollista tehoa. Huippujännitteellä paneeli ei kykene antamaan virtaa ollenkaan, ja vastaavasti huippuvirralla jännite on 0 V. MPPT-säädin laskee paneelille jännitearvon, jolla tehoksi saadaan suurin mahdollinen. Teho saadaan laskemalla virran ja jännitteen tulo. Kytkettäessä paneelille kuormaa (akusto) ilman MPPT-säädintä, laskee paneelin jännite akuston jännitteen tasolle. Paneelin maksimitehopiste ei osu tälle jännitteelle, vaan se saavutetaan korkeammalla jännitteellä. Akuston jännitteellä paneeli ei siis kykene antamaan tehoa kuin murto-osan sen maksimitehopisteen tehosta. Tämä tarkoittaa luonnollisesti heikompaa latausta akustolle ja menetettyä paneelin kapasiteettia. MPPT-säädin mahdollistaa akuston latauksen huomattavasti tehokkaammin, minkä ansiosta akustolta voidaan myös ottaa enemmän virtaa. Seuraavan sivun kuvan (kuva 12) alapuolella on edellä kerrotusta laskuesimerkki. [58.]



KUVA 12. Erään aurinkopaneelin ominaiskäyrät erilaisilla auringonsäteilyn voimakkuuksilla [58]

Kuvasta 12 käy ilmi, kuinka paneelin tuottama jännite vaikuttaa sen antamaan virtaan. I_{sc} on paneelin maksimivirta ja V_{oc} maksimijännite. I_{mp} on virta maksimitehopisteessä ja V_{mp} vastaavasti jännite kyseisessä pisteessä. Kuvassa on ominaiskäyrät ja maksimitehopisteet erilaisille auringonsäteilyn voimakkuuksille. Kuvasta nähdään myös paneelin antama teho kytkennällä akustoon, ilman MPPT-säädintä. Oranssi numero yksi kuvaa paneeliston antamaa tehoa ladattaessa tyhjää 12 V:n akustoa auringonsäteilyn ollessa 1000 W/m^2 ja numero kaksi vastaavasti täydellä akustolla. Numerot kolme ja neljä kuvaavat vastaavaa 24 V:n akustolla. [58.]

Auringonsäteilyllä 1000 W/m^2 kuvan 12 paneelin antama teho, ladattaessa täyttä 12 V:n akkua ilman MPPT-säädintä: $14,4 \text{ V} \cdot 5,6 \text{ A} = 80,64 \text{ W}$

Vastaava MPPT-säätimellä: $36,8 \text{ V} \cdot 5,3 \text{ A} = 195,04 \text{ W}$

Akun napajännitteen ollessa 14,4 V esimerkkipaneelin maksimi latausvirta on ilman MPPT-säädintä 5,6 A

Vastaavasti MPPT-säätimellä latausvirta on: $I = P / U = 195 \text{ W} / 14,4 \text{ V} = 13,54 \text{ A}$

MPPT-säätimen etuihin lukeutuu myös mahdollisuus käyttää ohuempia johtimia paneelin ja säätimen välillä, koska korkeammalla jännitteellä siirtohäviöt ovat vähäisemmät [58].

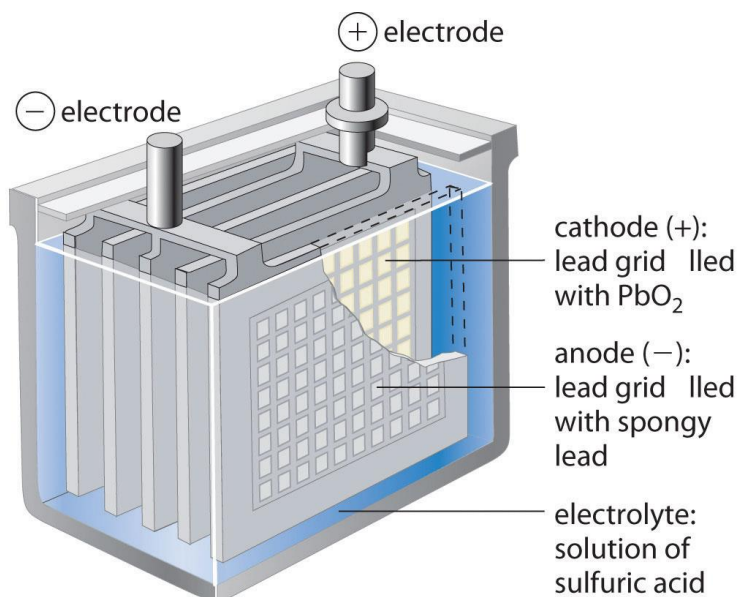
Lataussäätimen valinnassa on tärkeää, ettei valita liian pientä säädintä. Sen on kestävä aurinkopaneeleiden tuottama suurin virta sekä jännitetaso. [25, s. 140.]

3.3 Akut

Akkuja on olemassa erityyppisiä, ja ne soveltuvat eri käyttötarkoituksiin. Akut ovat myös kehittyneet vuosien saatossa. Olemassa olevat akkutyypit ovat parantuneet ja kokonaan uusia akkutyyppejä on tullut markkinoille. Nykyiset akut voidaan jakaa muutamaankin eri pääryhmään, joissa on vielä erilaisia akkutyyppejä. Akkutyyppien käyttökohteet menevät jonkin verran päällekkäin. Pääsääntöisesti akut voidaan jakaa niin sanottuihin käynnistysakkuihin ja paikallisakkuihin. Molempia akkuja on olemassa niin avoimia kuin suljettujakin malleja. Näistä on olemassa vielä niin sanottuja syväpurkausakkuja, jotka ovat omimmillaan aurinko-, tuuli- tai UPS-sovelluksissa. Suljetut lyijyakut ovat geeli- tai AGM-akkuja. [31.] Tavallisimmat akut ovat lyijyisiä, nikkeli- tai litiumperusteisia. Varavoimajärjestelmissä käytetään pääasiassa lyijyakkua, minkä vuoksi keskityn lähinnä niihin.

Akusta saatava energia on peräisin sen sisällä tapahtuvasta sähkökemiallisesta reaktiosta, jossa kemiallisesta reaktiosta syntyy sähköenergiaa. Toteutuakseen reaktio vaatii anodin, katodin ja elektrolyytin, jotka muodostavat sähköparin. [41.][42.] Yksi akkukkenno sisältää yhden sähköparin [42]. Akun purkautuessa anodina on negatiivinen elektrodi, jolla tapahtuu hapettumisreaktio. Vastaavasti katodina on positiivinen elektrodi, jolla tapahtuu pelkistymisreaktio. Akkua ladattaessa se toimii elektrolyysikennona, jolloin positiivisesta elektrodista tulee anodi ja negatiivisesta tulee katodi. Elektronit kulkeutuvat anodilta katodille, joten akun purkautuessa ne kulkeutuvat negatiiviselta elektrodilta positiiviselle elektrodille ja akun latautuessa toisinpäin. [63, s. 28–

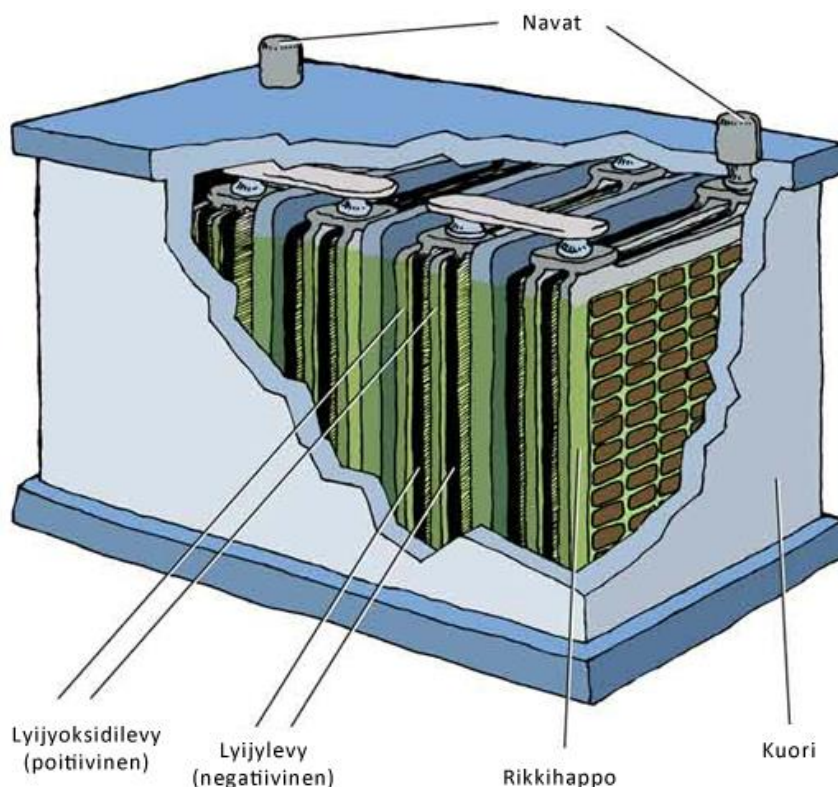
33, 44–53.] Yleensä akku nimetään sen elektrodimateriaalin mukaan. Akusta saadaan tasasähköä ja sitä myös ladataan tasasähköllä. [42.]



KUVA 13. Lyijynesteakun yhden kennon rakenne [64]

Akun hyötysuhde on noin 80 %, mikä johtuu pääasiassa sen lataus/purkaushäviöstä. Häviö tarkoittaa käytännössä, että akkua on ladattava suuremmalla jännitteellä kuin siitä saadaan ulos. Muihin häviöihin lukeutuu akun itsepurkautuminen. [41.]

Perinteinen lyijyakku koostuu kennoista, joiden jännitteet ovat noin 2 V. Kennoja sarjaankytkemällä saadaan akulle haluttu jännite. Esimerkiksi 12 V:n akku sisältää kuusi kappaletta 2 V:n kennoja. Kennot muodostuvat kahdesta lyijylevystä, joiden välissä on elektrolyyttinä rikkihappoa. Täyden akun kennot ovat lyijyä ja lyijyoksidia. Akun varauksen laskiessa, lyijylevyt muuttuvat lyijysulfaatiksi ja elektrolyytti vedeksi. [39.] Lyijyakkuja ladattaessa muodostetaan akkuun uudelleen aktiivisia aineita, joita ovat rikkihappo (H_2SO_4), lyijy (Pb) ja lyijyoksidi (PbO_2). Lyijyoksidia muodostetaan akun purkautuessa syntyvästä lyijysulfaatista (PbSO_4). [33.] Akun purkautuessa rikkihapon rikki siirtyy lyijylevyihin. Vastaavasti latauksessa levyjen lyijysulfaatista muodostuu negatiiviselle levyille lyijyä ja positiiviselle levyille lyijyoksidia. [40.]



KUVA 14. Lyijynesteakun periaatekuva [51]

Akkujen valinnassa on huomioitava, minkälaisia ominaisuuksia akulta vaaditaan. Asennuspaikka, käyttöolosuhteet ja kuormitusvaatimukset vaikuttavat suuresti akun valintaan. Ajoneuvoissa akulta vaaditaan hyvää värinän- ja kylmänkestoa. Vastaavasti aurinkosähköjärjestelmässä akkujen on kestävä syväpurkauksia. Toisinaan eteen tulee myös tilanteita, joissa akku on sijoitettava kyljelleen, jolloin tarvitaan tiiviyyttä.

Akun sisäinen resistanssi vaikuttaa sen kykyyn sietää kuormitusta. Suuri resistanssi aiheuttaa kovassa rasituksessa suuren pudotuksen akun jännitteessä. [31.] Akun kapasiteetti saadaan määritetyksi esimerkiksi DIN C₂₀-testillä, jossa akkua rasitetaan vakiokuormalla kunnes sen jännite on tippunut 10,5 volttiin. Testissä käytetään melko pientä kuormaa. Esimerkkitapauksena 60 Ah:n akkua kuormitetaan 3 A:lla 20 tuntia. [26.]

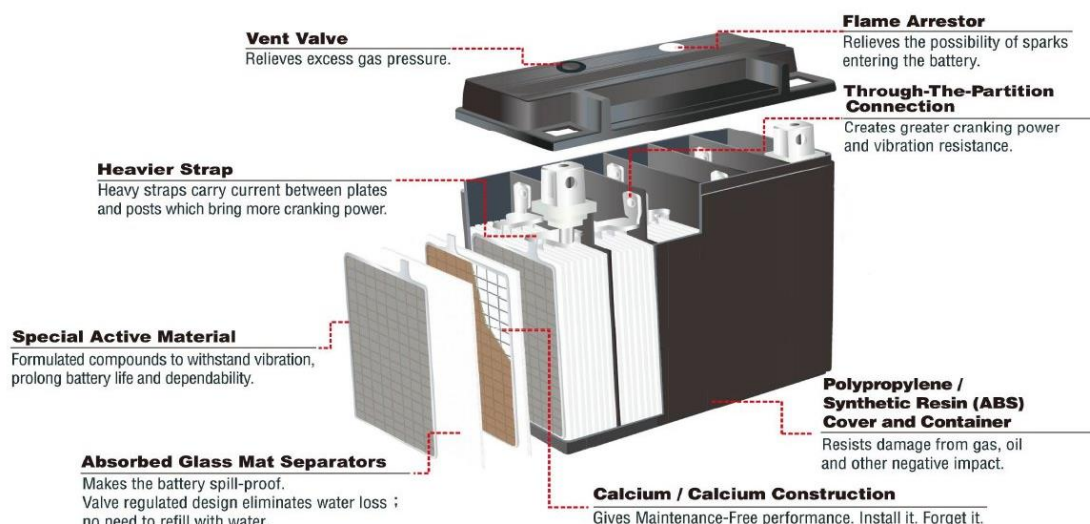
Avoimet akut ovat lyijynesteakkuja. Perinteiset avoimet akut on helppo tunnistaa päällä olevien korkkien takia. Avoimen rakenteen vuoksi akuista haihtuu vettä ja happoa ulos, mikä asettaa akkujen käytölle tiettyjä edellytyksiä. Ne on esimerkiksi sijoitettava pystyyn ja turvalliseen paikkaan, jossa mahdollisesti yli vuotava akkuneste ei aiheuta haittaa ympäristölle. Akkujen osalta on huolehdittava myös hyvästä ilman-

vaihdosta, poistuvat höyryt ovat syövyttäviä ja paloalttiita. Näiden seikkojen vuoksi akkuja ei suositella säilytettäväksi sisätiloissa. Akusta haihtuu vettä ja happoa etenkin, jos sitä ladataan nopeasti ja liian suurella jännitteellä. Avoimien akkujen osalta on muistettava myös säännöllinen huolto. Ne tarvitsevat akkunesteen määrän tarkkailua ja tarvittaessa on muistettava lisätä akkuvettä. Akut ovat kuitenkin kohtuuhintaisia ja melko pitkäikäisiä, mikäli niitä vain huolletaan oikein. Markkinoilla on olemassa myös niin sanottuja puoliavoimia akkuja. Niissä osa haihtuvasta höyrystä palautuu vetenä akkuun erikoiskorkin avulla. [31.]

Kalsiumteknologiaan perustuvat akut ovat rakenteeltaan perinteisten lyijyakkujen kaltaisia. Kalsiumakut eroavat perinteisistä lyijyakuista siten, että akun positiiviset ja negatiiviset levyt ovat kalsiumseosta. Teknologialla saavutetaan 80 % pienempi vedenkulutus kuin perinteisessä lyijyakussa. Lisäksi akun itsepurkautuminen on pienempää. [32.] Sen sijaan hopea-kalsium-akuissa positiivinen levy on hopea-kalsiumseosta ja negatiivinen levy ainoastaan kalsium-seosta [36]. Usein molemmissa akuissa on suljettu kansirakenne, joka kierrättää haihtuvia aineita akkuun. Tällaisia akkuja markkinoidaan usein huoltovapaina, sillä niihin ei lisätä vettä. [38.]

Geeliakuissa elektrolyytti on sidottuna geeliin, mikä estää mahdolliset vuodot. Tämä mahdollistaa akun asennolle uusia mahdollisuuksia, sillä niitä voidaan säilyttää kyljellään ja parhaimmillaan ylösalaisin. Akkujen haittapuolena on niiden rajoitettu hetkellinen virran anto- ja ottokyky. Suurin mahdollinen latausvirta riippuu jonkin verran akkumallista, mutta tyypillinen latausvirta on kahdeskymmenesosa akun kapasiteetista (60Ah:n akku noin 3A). Latausvirtaa rajoittaa geelissä muodostuvat kaasut, jotka muodostavat geeliin kanavia ja halkeamia. Tällöin sähkö ei enää kulje akussa. [31.]

AGM-akku (kuva 15) on perinteisen lyijyakun kehitysversio [31]. Joskus käytetään myös nimitystä kuiva-akku [32]. Akussa sen sisältämä neste on sidottuna lasikuitukankaaseen, joka on lyijylevyjen välissä. Tämä mahdollistaa samat vapaudet akkujen sijoitukselle kuin geeliakuilla. Lisänä geeliakkuihin, AGM-akku pystyy antamaan suurta hetkittäistä virtaa ja sietää myös suurta latausvirtaa. AGM akut sietävät myös hyvin tärinää, koska lasikuitukangas tukevoittaa lyijykennoja. [31.]



KUVA 15. AGM-akku [50]

Varavoimajärjestelmissä käytetään myös putkilevynesteakkuja. Kyseiset akut kestävät hyvin syväpurkamista ja ovat erittäin pitkäikäisiä. Niiden rakenne mahdollistaa myös akkuveden lisäämisen tarvittaessa. [38].

On olemassa myös akkuja, joiden kennot ovat rullamuodossa (kuva 16) toisin kuin perinteisten akkujen levytekniikka. Rullatekniikan akkujen elektrolyytti on sidottuna lasikuitumattoon, joka erottaa rullatut lyijylevyt toisistaan. Rakenne on suljettu ja huoltovapaa. Akut kestävät myös hyvin tärinää. [35.]



KUVA 16. Akku, jossa kennot ovat rullamuodossa [35]

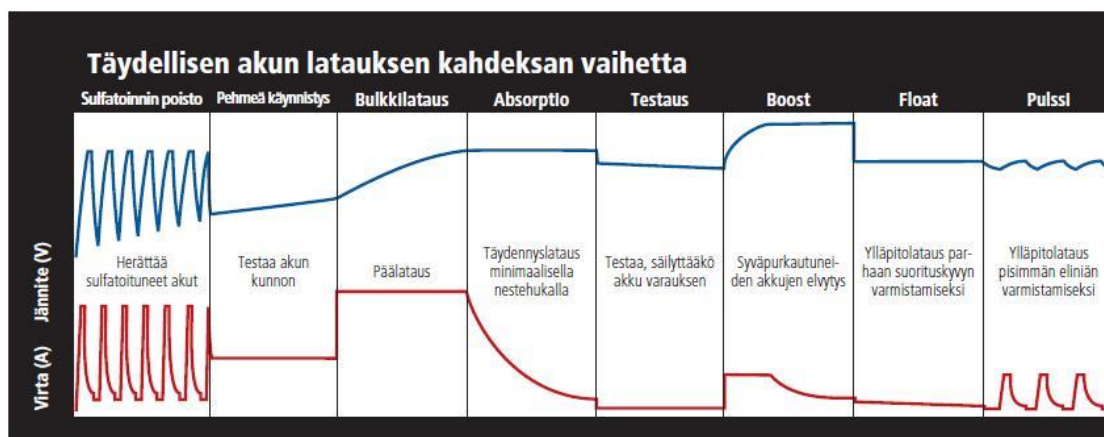
Käynnistysakut ovat omimmillaan nimensä mukaisesti erilaisissa käynnistystilanteissa ja paikallisakut kiinteissä asennuksissa. Käynnistysakkuja käytetään yleensä polttomoottoreiden käynnistämiseen. Polttomoottorit käynnistetään pääsääntöisesti sähköisen käynnistysmoottorin avulla. Kyseinen moottori ottaa käynnistystilanteessa suuren

hetkittäisen virran, joka akun on kestävä ja pystyttävä luovuttamaan. Käynnistysvirrat ovat useita satoja ampeereita riippuen moottoreiden kokoluokista. Edellä mainittu asettaa akulle vaatimukseksi suuren hetkittäisen virranantokyvyn ilman, että sen jännite laskee liiaksi. Akun on tietenkin kestävä toistuvia käynnistyskäyntejä. Käynnistysakut eivät kuitenkaan joudu antamaan suurta virtaa kovinkaan pitkiä aikoja, ja ne saavat tavallisesti käynnistyshetkien välissä latausta. Käynnistystilanteessa hyväkuntoisen akun kapasiteetista puretaan vain 2-5 prosenttia. Tämä vaje puolestaan ladataan melko nopeasti moottorin käydessä. [31.] Latauksesta huolehtii auton oma laturi, jota sen moottori pyörittää. Moottorin käynnistyttyä akut pääsevätkin huomattavasti helpomalla jatkuvan latauksen vuoksi ja, koska akuilta otetaan huomattavasti vähemmän virtaa kuin käynnistystilanteessa. Tällöin myös akkujen jännite pysyy verrattain korkealla, yleensä 12 voltin akulla noin 14 voltissa latauksesta johtuen. Käynnistysakkujen ongelmaksi paikalliskäytössä muodostuu, etteivät ne siedä syväpurkauksista johtuvaa alijännitettä. Tämä seikka estää niiden käytön UPS-, aurinko- ja tuulivoimajärjestelmissä. [27.]

Paikallisakkujen käyttö on puolestaan aivan toisenlaista. Niiltä vaaditaan pitkäkestoisempaa virranantokykyä, mutta niistä otetaan virtaa huomattavasti tasaisemmin ja vähemmän kuin käynnistysakuista. Esimerkiksi varavoima-, tuulivoima-, tai aurinkovoimakäytössä on erityisen tärkeää, että akut pystyvät antamaan virtaa pitkään. Tällaisten järjestelmien akuista käytetään usein nimitystä syväpurkausakku. [31.]

Lyijyakkujen ongelmana on niiden kennojen sulfatoituminen, joka heikentää akun ominaisuuksia. Sulfatoitumista esiintyy etenkin akuissa, joita käytetään harvoin. Akun varaus laskee sen ollessa käyttämättä, jolloin levyjen pinnoille alkaa kertyä lyijysulfaattia. Tämä estää rikkihapon pääsyä kennon sisäosiin. Akkuihin saadaan uutta eloa lataamalla ne uudelleen, milloin myös lyijysulfaattia irtoaa takaisin akkunesteeseen. Latauksesta huolimatta jonkin verran lyijysulfaattia jää levyjen pinnalle. Sulfaatin poistamiseksi on kuitenkin kehitetty pulssilatausmenetelmä, jota käytetään niin sanoituissa automaattilatureissa. [34.] Kyseisessä menetelmässä laturi säätelee latausvirtaa ja -jännitettä latauksen aikana. Pääperiaate lyijysulfaatin poistamiseksi on, että latauksen alkuvaiheessa akkua ”herätellään” korkealla jännitteellä, mutta pienellä virralla. Jännitteen nosto tapahtuu hallitusti ja pulssimaisesti. Esimerkiksi 12 voltin akkua ladattaessa CTEK Multi XS 25000-laturilla jännite nousee aina 15,8 volttiin asti. Pulssilatausmenetelmällä toimivien laturien lataussyklit poikkeavat jonkin verran toisistaan laturin

merkistä ja mallista riippuen. Esimerkkikuvassa (kuva 17) on CTEK Multi XS 25000-laturin lataussykli. [26.]



KUVA 17. CTEK Multi XS 25000-laturin lataussykli [26]

Toinen ja perinteisempi latausmenettely on lineaarinen lataus. Kyseisen tyyppin laturissa on perinteinen muuntaja, ja tekniikka on muutenkin yksinkertaista. Tästä johtuen ne ovat suhteellisen edullisia. Kyseisten latureiden ongelma on latausvaiheen heikko hallinta. Laturit nimittäin syöttävät akkuun vakiojännitettä, mikä aiheuttaa latauksen loppuvaiheessa akun jännitteen nousun suureksi. Tämän johdosta akku kiehuu, mikä heikentää sen käyttöikä. Lineaariset laturit onkin muistettava irrottaa akusta sen täytyttyä, toisin kuin ylläpitolataukseen siirtyvät automaattilaturit. [26.] Lineaarisilla latureilla ei myöskään välttämättä saada akkua ladattua aivan täyteen, johtuen latauksen loppuvaiheen suuresta jännitteenoususta. Tällöin jännite kohoaa liikaa ja virta pienenee. Tällöin latausta ei pahemmin tapahdu, mutta akku kiehuu korkean jännitteen ansiosta. 12 V:n akuille myytävillä latureilla ilmoitetaan maksimilatausvirta, joka saavutetaan yleensä 5 V:n akkujännitteellä. 12 V:n akku ei yleensä pääse näin tyhjäksi, jonka vuoksi todellisempi maksimilatausvirta on noin 75 % laturin ilmoitetusta. Latausvirta pienenee akun jännitteen noustessa latauksen aikana. [33.] Markkinoilla on olemassa myös laitteita, jotka kytketään latauspiiriin ennen akkua parantamaan latausta. Tällainen laite kytketään yleensä ajoneuvon laturin ja akun väliin. Kyseinen laite muuttaa laturin tuottamaa sähköä pulssilatausmenetelmän kaltaiseksi. [34.]

Akun toiminnan ja käyttöiän kannalta on tärkeää, että akkua pidetään ladattuna. Akun säilyttäminen tyhjänä heikentää sen ominaisuuksia, mutta myös altistaa akun ulkoisille vaaroille. Tyhjä akku nimittäin ei siedä pakkasta läheskään yhtä hyvin kuin täysi, vaan se saattaa jäätyä. [26; 27; 34.] Akkua ei myöskään kannata säilyttää kuumassa tai liian

kosteassa. Korkeissa lämpötiloissa akun itsepurkautuminen on nopeampaa. Kosteaa ilma puolestaan syövyttää akun napoja sekä elektrodeja. Lyijyakun kunnosta ja varaustasosta saadaan tietoa joko mittaamalla sen napajännite tai akkunesteen paino. Jälkimmäistä ei luonnollisestikaan voida suorittaa suljetusta akusta. Mittaukset on suoritettava 24 h:n kuluttua akun lataamisesta täyteen. Heti latauksen loputtua mittausravot olisivat liian korkeita kertoakseen akun kunnon. Oheiseen taulukkoon on koottu mitta-arvot muutamalle varaustasolle. Arvot ovat 20°C:n lämpötilassa. [37.]

TAULUKKO 1. Lyijynesteakun ominaisuudet eri varaustasoilla [37]

Akun napajännite (V)	Akkunesteen ominaispaino g/cm ³	Varaustaso (%)	Akun pakkaskesto (°C)
12,8	1,28	100	-67
12,4	1,23	75	-35
12,0	1,16	40	-18
11,6	1,10	10	
11,0	1,00	0	-5

Akun heikko varaus aiheuttaa myös jo aikaisemmin kerrottua sulfatoitumista, jonka poisto on sitä hankalampaa mitä pidempään sitä ehtii tapahtua. Toinen akun kuntoa heikentävä seikka on tärinä, jonka vaikutuksesta lyijyä irtoaa akun pohjalle. Pahimmillaan lyijyä voi olla niin paljon, että se ylettyy kennoon asti. Tämä puolestaan aiheuttaa kenno-oikosulun, jolloin akku on käyttökelvoton. [27.] Ca/Ca–tyyppisen (kalsium) akun ongelmaksi muodostuu puolestaan akkuhapon kerrostuminen veden kanssa. Tätä esiintyy jo, mikäli akun varaus laskee puoleen täyden akun vastaavasta. Jotkut automaattiset laturit osaavat poistaa näitä kerrostumia. [28.]

Akun kiehuessa kennojen pinnalle muodostuu vetyä, joka lopulta nousee akkuhapon pinnalle. Vety pääsee poistumaan akusta ilmaan, minkä vuoksi akut on sijoitettava hyvin tuulettuvaan tilaan. Vety myös altistaa akut alttiiksi räjähdyksille, sillä jo pieni kipinä sytyttää vedyn räjähdysmäisesti. Akkuihin kannattaa muutenkin suhtautua kunnioittavasti, sillä ne sisältävät suuren määrän energiaa, ja lyijyakut myös syövyttävää rikkihappoa. [27.] Ylilatauksella akuista haihtuu myös vettä, mikä aiheuttaa niiden kuivumista ja nopeuttaa vanhenemista. Mikäli akkukennon yläosa pääsee kuivaksi, aiheutuu akulle pysyviä vaurioita. [28.] Avoimiin akkumalleihin on mahdollista lisätä akkuvettä, millä voidaan korvata haihtunutta.

Nikkeli-kadmium-akun (NiCd) elektrodit ovat nikkelihydroksidia ja kadmiumia. Elektrolyytinä toimii tavallisesti kaliumhydroksidiliuos. [42]. Kyseinen akkutyyppi kärsii muisti-ilmiöstä, jonka vuoksi se on purattava täysin tyhjäksi ennen latausta. Muisti-ilmiöllä tarkoitetaan sitä, että akku ”muistaa” tilan, josta se lähdetään lataamaan täyteen. Seuraavalla käyttökerralla akku pyrkii jäämään tähän tilaan, eikä anna virtaa enää sen jälkeen. Tällöin akun todellisesta kapasiteetista jää hyödyntämättä vielä osa, jos akkua on edellisellä kerralla lähdetty lataamaan aikaisemmin kuin se olisi ollut täysin tyhjä. Akkutyyppin hyviä puolia on kohtuullinen pakkaskesto. Noin -15 °C:n lämpötilassa täyteen ladatun akun kapasiteetista on jäljellä vielä noin 40 prosenttia. [30.] Akun hyviin puoliin lukeutuu myös melko pitkä käyttöikä sekä hyvä virranantokyky. NiCd-akun energiatiheys on noin 50 Wh/kg. [42]. Akkutyyppin ominaisuuksiin kuuluu myös kohtalaisen suuri itsepurkautuminen. Kuukaudessa akun varauksesta häviää noin 20 prosenttia [30]. Sen kennojännite on 1,2 V [40].



KUVA 18. Nikkeli-kadmium-akun kenno [52]

Nikkelimetallihydridi-akun (NiMH) elektrodit ovat nikkelihydroksidia ja metallihydridia, elektrolyytin ollessa kaliumhydroksidia [42]. Akkutyyppi on uudempi kuin NiCd-akku. NiMH-akulla esiintyy myös itsepurkautumista, jopa vähän enemmän kuin NiCd-akulla. Kuukaudessa sen varauksesta häviää noin 25 prosenttia. Hyvänä puolena sen sijaan on muisti-ilmiön puuttuminen sekä suurempi kapasiteetti kuin NiCd-akulla. [30; 42.] Vastaavasti pakkasta akkutyyppi kestää hyvin huonosti. Täyden akun kapasiteetista ei ole jäljellä enää yhtään -15 °C:ssa. [30.] Akun kestoikä on myös jonkin verran lyhyempi kuin NiCd-akulla [42]. Sen kennojännite on 1,2 V [40].

Litium-ion-akku (Li-ion) edustaa vielä NiMh-akkuja uudempaa teknologiaa. Sen elektrodien valmistuksessa käytetään litiumoksidia, elektrolyytin ollessa esimerkiksi etyleenikarbonaattia [42]. Akkutyypillä on monia hyviä ominaisuuksia, kuten muisti-ilmiön puuttuminen ja vähäinen itsepurkautuminen. Akun kapasiteetista häviää kuu-kaudessa ainoastaan muutama prosentti. [30.] Li-ion akun kennojännite on 3,6 tai 3,7 V, mikä on muita akkutyyppejä korkeampi [40; 42]. Samaa voidaan sanoa sen painoon suhteutetusta kapasiteetista [42]. Akku kestää myös kohtuullisen hyvin kylmää. Akku on vielä -10 °C:ssa melko käyttökuntoinen, mutta -20 °C:ssa varauksesta on jäljellä enää 10 prosenttia. [29.] Li-ion-akun varastointiaika ilman uudelleenlatauksen tarvetta on hyvä, mikä johtuu juuri vähäisestä itsepurkautumisesta. Akkua voikin parhaimmillaan varastoida jopa kaksi vuotta ilman latausta. Vastaava aika NiCd- ja NiMH-akuilla on noin puoli vuotta. [30.] Akun huonoihin puoliin lukeutuu herkkyyys ylilataukselle sekä syväpurkamiselle [42].

4 TOTEUTUS

Hyödynnän toteutuksessa pitkälti edellä mainittuja asioita. Kyseisessä kohteessa tuulivoiman käyttö ei tule kysymykseen johtuen kohteen sijainnista. Rakennuksen sijaintipaikalla ei yksinkertaisesti tuule riittävästi tuulivoiman kannattavuuden kannalta. Tuulivoimalat ovat myös suhteellisen kalliita kertainvestointeja. Toteutuksessa oli lähtökohtana edullisuus järkevissä puitteissa sekä laajennettavuus. Kustannukset on pyritty pitämään pieninä, samalla kuitenkin huomioiden järjestelmän toiminta ja sen luotettavuus. Laajennettavuus on otettu huomioon siten, että järjestelmän akkukapasiteettia on mahdollista lisätä helposti ja edullisesti tulevaisuudessa. Samalla otettiin huomioon mahdollinen aggregaatin liittäminen järjestelmään tulevaisuudessa. Järjestelmän toteutuksessa haluttiin, että sähkökatkon aikana voidaan hyödyntää aurinkosähköä UPSin akuston lataamiseen.

Alkuperäisenä ideana oli toteuttaa järjestelmä alusta pitäen itse, valitsemalla komponentit ja toteuttamalla logiikka ohjaamaan aurinkopaneeleita ja varavoiman kytkentää. Järjestelmässä päädyttiin kuitenkin loppujen lopuksi hyödyntämään mahdollisimman paljon markkinoilla olevia UPS- sekä aurinkopaneelijärjestelmiä. Ratkaisuun päädyttiin, koska haluttiin varmistaa järjestelmän toimivuus. Markkinoilla olevia valmiita laitteita ja järjestelmiä on jo testattu käytännössä ja ne on todettu toimiviksi.

Mikäli laitteistoa olisi alettu suunnittelemaan lähes komponentti kerrallaan, olisi ollut suuri riski, että ensimmäisissä käytännön testeissä olisi törmätty ongelmiin. Valitsemalla valmis paketti, säästettiin myös huomattavan paljon aikaa. Suunnittelutyö helpottui ja nopeutui huomattavasti, koska ei tarvinnut miettiä niin paljon asioita eikä käyttää aikaa parhaimpien komponenttien valitsemiseen ja yhteensovittamiseen. Asiakkaalle haluttiin myös tarjota järjestelmä nopeammin toimintavalmiuteen, koska käytännön testityö jäi valmiilla laitteistolla huomattavasti vähäisemmäksi kuin itse suunnitellulla ja rakennetulla.

4.1 Tarkastelu

Markkinoilla on useita laitteistotarjoajia, joista valitsin tarkasteltavaksi UTU:n ja Eatonin tarjoamat ratkaisut. Päädyin näihin kahteen toimittajaan, koska ne ovat tunnettuja valmistajia ja mallisto vaikutti kattavalta. Itselläni on myös jonkin verran kokemusta Eatonin UPS-järjestelmistä ennestään. Aloitin laitteistojen tarkastelun valmistajien internet-sivuilta kartoittamalla mielestäni parhaimpia vaihtoehtoja. Laitteistotarkastelussa hyödynsin myös aikaisemmin kertomiani asioita. Nämä helpottivat itseäni laitteiden rajauksessa.

UPS-laitteiston tarkastelussa päädyin käyttämään yksivaiheista UPSia. Tähän vaikutti rakennuksen koko sekä sen sähkönkulutus. Yksivaiheisella UPSilla saadaan melko helposti toteutettua varasyöttö vaadittaville laitteille ja kohteille. Käyttämällä yksivaiheista UPSia kolmivaiheisen sijasta, säästetään myös kustannuksissa. Kolmivaiheinen UPS maksaa nimittäin yksivaiheista enemmän.

Kohteen sähköjärjestelmän yhdestä vaiheesta osa varmistettaisiin kyseisellä UPSilla. Kyseiseen tarkoitukseen valitsin keskitetyn UPSin, jonka akkukapasiteettia olisi helppo kasvattaa. Ratkaisu mahdollistaisi järjestelmän varakäyntiajan kasvattamisen halutuksi. Hajautettua UPS järjestelmää mietittiin myös, mutta se ei vaikuttanut järkevältä. Useiden erillisten UPSien ostaminen olisi maksanut paljon ja ollut epäkäytännöllistä. Nyt pystyttiin keskittymään yhteen laitteeseen, joka voitaisiin räätälöidä halutunlaiseksi esimerkiksi varakäyntiajan osalta. Keskitetty laitteisto helpottaa huomattavasti myös huoltotoimia sekä takaa järjestelmälle pitkäikäisyyttä. Usein laitteistotoimittajat lupaavat pidempää varaosatukea keskitetyille laitteille kuin hajautetuille. Lisäksi yhtä

keskitettyä laitteistoa on huomattavasti helpompi testata määrävälein kuin montaa hajautetun järjestelmän laitetta.

Seuraavaksi lähestyin puhelimitse ja sähköpostitse valmistajia tarkempien kyselyiden merkeissä. Kerroin valmistajien edustajille opinnäytetyöstäni ja rakennuksesta, johon olin etsimässä UPS-laitteistoa. Sain laitteistovalmistajilta tietoa järjestelmistä sekä heidän ehdotelmiaan kohteeseen. Suhtautuminen opinnäytetyöhöni oli positiivista ja materiaalia sain nopealla aikataululla.

Mikäli rakennuksessa olisi käytetty Eatonin UPSia, parhain vaihtoehto olisi ollut Eaton 9130. Kyseinen laite kuuluu valmistajan tietoverkko ja palvelin-tuoteperheeseen. Laitteeseen on mahdollista kytkeä lisäakkuja varakäyntiajan pidentämiseksi. Laitteita on saatavilla 700–6000 VA:n tehoisina, hyötysuhteen ollessa puolestaan 95 %. [43.] Mikäli kyseistä mallia olisi käytetty rakennuksessa, aurinkopaneelien liittäminen olisi pitänyt hoitaa erillisellä ratkaisulla. Eatonin UPSiin ei olisi ollut järkevää kytkeä aurinkopaneelita lataamaan sitä, koska paneelien tuotto ei riitä täysimääräiseen lataukseen. Kyseinen UPS on suunniteltu ladattavaksi verkosta, eikä paneelien osittainen hyödyntäminen olisi ollut kannattavaa. Tästä syystä aurinkopaneelit olisi pitänyt liittää rakennukseen erillisellä kytkennällä joko akun välityksellä tai ilman. KytKentä ilman akkuja olisi ollut mahdollista liittämällä paneelit esimerkiksi lämmin-vesivaraajaan. Kyseisessä kohteessa tällaisesta vaihtoehdosta kuitenkin luovuttiin.

Mielestäni rakennukseen löytyi kuitenkin Eatonin tarjoamia malleja parempi ratkaisu UTU:n mallistosta. Ratkaisu mahdollisti aurinkopaneelien liittämisen samaan järjestelmään varavoiman kanssa. Tämä puolestaan mahdollistaa aurinkosähkön hyödyntämisen rakennuksessa käytännössä kokoaikaisesti. Nyt paneelien sähköä voidaan käyttää esimerkiksi kylmälaitteissa, jotka ovat jatkuvasti päällä. Täten aurinkosähköä ei mene hukkaan, koska kiinteistössä ei ole syöttöä verkkoon päin. Mikäli rakennuksessa olisi ollut koneellinen ilmanvaihto tai vesikiertoinen lämmitys, olisi ollut mahdollista kytkeä paneelit myös niihin. UTU:n tarjoama järjestelmä mahdollistaa myös aggregaatin liittämisen järjestelmään tarvittaessa. Ratkaisu tulee kyseeseen mahdollisten pitkien sähkökatkojen aikana.

Laitteiston kytkentä toteutettiin liittämällä rakennuksen yksi vaihe kyseiseen järjestelmään, kuitenkin ilman sähköliettä sekä kolmivaihepistorasiaa. Kaikki kohteet, jotka

haluttiin varmistetun sähkön piiriin, kytkettiin kyseiseen vaiheeseen. Tällaiset kohteet olivat jääkaappi sekä pakastin, muutama pistorasia ja -valaisin. Kyseisiin pistorasioihin on mahdollista kytkeä tietokone sekä laitteita, joita halutaan käytettäväksi sähkökatkon aikana. Valaisimet valittiin siten, että liikkuminen rakennuksen sisällä on turvallista ja mahdollista ilman taskulamppua. Rakennuksen pistorasioista haluttiin valita järjestelmään liitettäväksi muun muassa yksi keittiön pistorasia. Valaistus ja keittiön varmistettu pistorasia yhdessä puulieden kanssa, mahdollistavat sujuvan ruoanlaiton myös sähkökatkon aikana.

4.2 Laitteisto

Varsinaiset laitteet järjestelmässä ovat Phoenix MultiPlus C24/3000/70-50-varaaja/vaihtosuuntaaja (liite 1), Danfoss DLX 2.0-verkkovaihtosuuntaaja (liite 2), kaksi kappaletta Ritar RA12-260-akkuja sekä kymmenen kappaletta 250 W:n Hanwha HSL60-aurinkopaneeleita (liite 3).

Järjestelmä ei perustu varsinaiseen UPS-laitteeseen, vaan Phoenix MultiPlus C24/3000/70-50-varaaja/vaihtosuuntaajaan. Kyseinen laite sisältää aidon siniaaltointvertterin, älykkään akkulaturin ja nopean vaihtovirran siirtokatkaisijan samoissa kuorissa. Laite itsessään ei sisällä akkua, vaan siihen kytketään erillinen akusto. Laitteeseen on esiohjelmoitu tiettyjä toimintoja, mutta sille on mahdollista asetella myös useita lisätoimintoja. Perustoimintoihin lukeutuu UPS-laitteen kaltainen ominaisuus, jolla rakennukseen saadaan syötetyksi keskeytymätöntä vaihtovirtaa. Toiminto käynnistyy automaattisesti verkkosähkön hävityksessä. Toiminnon kytketymisviive on niin pieni, etteivät esimerkiksi tietokoneet ehdi sammua. Laite sisältää myös ohjelmoitavan releen, jolla voidaan esimerkiksi käynnistää mahdollinen sähkökäynnisteinen aggregaatti verkkosähkön katketessa. [65.]

MultiPlus-laite on aseteltavissa erityyppisille akuille. Tämän vuoksi siihen voidaan kytkeä erilaisia lyijyakkuja kuten myös litiumakkuja. Akkujen lataustoiminto vastaa edellä kerrottua automaattilaturin tyyppistä latausta. Laite osaa myös sopeuttaa latauksen akun tilan mukaan, kuten purkautumisasteen ja lämpötilan mukaan. Lämpötilaa valvoo erillinen lämpötila-anturi. Laitteessa on kaksi erilaista akkuliitääntä, joista toinen on tarkoitettu varsinaiselle käyttöakustolle. Toista liitääntä puolestaan voidaan hyödyntää esimerkiksi aggregaatin käynnistysakun lataamisessa. Jälkimmäisen liitän-

nän latausvirta on rajoitettu 4 A:iin. Akkujen latauksessa ja niiden varaustilan seurannassa voidaan ottaa huomioon myös johtojen aiheuttama jännitteenalenema. [65.]

Phoenix MultiPlus C24/3000/70-50-laitte mahdollistaa myös aurinkopaneeleiden liittämisen samaan järjestelmään. Ratkaisussa aurinkopaneelit liitetään erillisen verkkovaihtosuuntaajaan avulla rinnan MultiPlussan rakennusta syöttävän liitännän kanssa. Laite myös kykenee huomioimaan aurinkopaneeleiden tuoton järjestelmässä. Tavoitteena on, että kaikki aurinkopaneeleiden tuottama sähkö käytetään rakennuksessa. Mikäli rakennuksen kulutus on paneelien tuottoa suurempaa, MultiPlus paikkaa tätä vajetta syöttämällä sähköä valtakunnanverkosta. Vastaavasti kulutuksen ollessa paneelien tuottoa vähäisempää, käyttää MultiPlus paneelien sähköä akuston lataamiseen. Laite mahdollistaa samalla aurinkosähkön hyödyntämisen myös sähkökatkon aikana. Lisäksi MultiPlus erottaa sähkökatkon aikana valtakunnan sähköverkon järjestelmästä. Tällä saadaan varmistettua, ettei akuston tai aurinkopaneeleiden tuottamaa sähköä mene muualle kuin rakennukseen. Valtakunnan sähköverkon syötön palautuksessa, alkaa MultiPlus jälleen käyttää hyödyksi verkkosähköä akuston latauksessa. Tällä pyritään mahdollisimman nopeaan akkujen latautumiseen. [65.]

Danfoss DLX 2.0-verkkovaihtosuuntaaja liittää aurinkopaneelit rakennuksen sähköverkkoon. Mallinumero kertoo laitteen nimellistehon, joka on 2 kVA. Verkkovaihtosuuntaajan keskeisimpänä tehtävänä on muuntaa aurinkopaneeliston tuottamasta tasasähköstä rakennukseen 230 V:n vaihtosähköä. Tätä tarkoitusta varten DLX 2.0 sisältää invertterin. Laite pyrkii hyödyntämään paneelistoa mahdollisimman tehokkaasti, minkä vuoksi sen toiminta perustuu jo aikaisemmin lataussäädinten yhteydessä kerrottuun maksimitehopisteen seurantaan (MPPT). Kyseinen verkkovaihtosuuntaaja kykenee mukauttamaan tointansa vallitsevan auringonsäteilyn mukaan, mistä esimerkkinä siirtyminen lepotilaan yön ajaksi. Danfoss DLX 2.0 toimii täysin automaattisesti ilman, että käyttäjän on huolehdittava siitä. Lisäksi laite kertoo käyttäjälle aurinkosähkön tuotantotietoja reaaliaikaisesti, sekä tallentaa niitä myös muistiin. Turvallisuuskulmasta voi mainita, että DLX 2.0 erottaa aurinkopaneeliston ja rakennuksen sähköverkon galvaanisesti toisistaan. Laite voidaan myös ohjelmoida erilaisille aurinkopaneelityypeille. [66; 67.]

Aurinkopaneeleina järjestelmässä on kymmenen kappaletta Hanwha Solar HSL 60-monikidepaneeleita. Paneelit soveltuvat hyvin Suomen olosuhteisiin, mistä esimerkki-

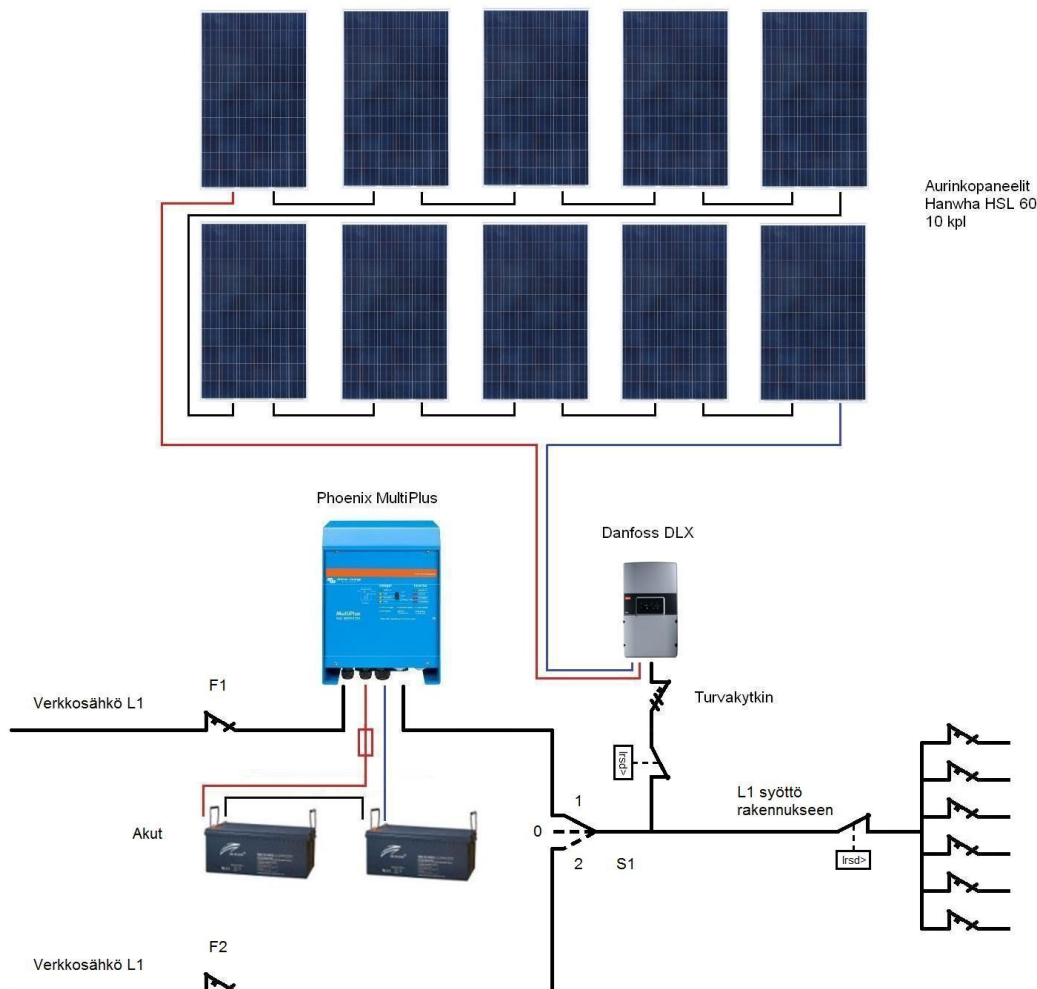
nä lumikuormalle luvattu 690 kg/m^2 kestävyys. Paneeleille annetaan 12 vuoden valmistusvirhe- ja 25 vuoden lineaarinen suorituskykytakuu. Paneeleiden käyttömukavuutta lisää myös heijastamaton, itsepuhdistuva sekä vettä hylkivä lasi. [68.]

Akuiksi valikoitui Ritar RA12-260-akut. Kyseinen akkutyypin on 260 Ah:n 12 V:n AGM-akku. Se on tarkoitettu etenkin puskuri- ja sykliseen käyttöön. [70.]

Olen pyrkinyt järjestelmää suunnitellessani ottamaan huomioon sen mahdollisen laajennettavuuden tulevaisuudessa. Mahdollinen laajennettavuus koskee pääasiassa aggregaatin liittämistä. Phoenix MultiPlus C24/3000/70-50 mahdollistaa myös tämän melko helposti, sillä siihen on mahdollista liittää aggregaatti. Lisäksi MultiPlus voidaan ohjelmoida tasoittamaan kulutuksen virtapiikkejä, mikä antaa mahdollisuuden pienemmän aggregaatin valintaan. Rakennuksen sähkönkulutuksen ei ole ennustettu kasvavan, mutta kulutuksen kasvu ei aiheuttane suurta ongelmaa. MultiPlus laitteita voidaan nimittäin kytkeä rinnakkain enimmillään kuusi kappaletta. Niillä voidaan myös toteuttaa kolmivaiheinen käyttö. Lisäksi nykyisen laitteiston akkukapasiteettia voidaan lisätä tarvittaessa, esimerkiksi varakäyntiajan kasvattamiseksi. Nykyinen laitteisto valittiin siten, että talon kuormitus voi kasvaa jonkin verran, ilman laitteiston muutostarvetta. [65.]

4.3 KytKentä

KytKentä tapahtuu kuvan 19 mukaisesti. Paksut mustat johdot ovat vaihtosähköä ja ohuimmat puolestaan tasasähköä.



KUVA 19. Järjestelmän kytKentä

Phoenix MultiPlus C24/3000/70-50-laitteelle tuodaan sähkökeskukselta johdonsuojakatkaisijan kautta yksi vaihe sekä nolla- ja PE-johdot. Laitteelta puolestaan lähtee varmistettuna vaihe- ja nollajohdin sekä PE-johdin. Lähtevä PE-johdin on samassa potentiaalissa sähkökeskuksen maadoituskiskon kanssa. Nämä MultiPlussalta lähtevät johtimet viedään takaisin sähkökeskukselle. Vaihe- ja nollajohdin kytketään kaksipiirisen ja kolmeasentoisen kytkimen kautta yhdelle vikavirtasuojalle. Kyseiseltä vikavirtasuojalta viedään nollajohdin muusta verkosta erotetulle kiskolle, josta se jaetaan varmistettaville kohteille. Vaihejohdin puolestaan viedään samaiselta vikavirtasuojalta tarvittavien johdonsuojakatkaisijoiden kautta varmistettaville kohteille. Edellä maini-

tulle kaksipiiriseen kytkimelle tuodaan myös tavallinen verkkosähkö erillisen johdon-suojakatkaisijan kautta. Ratkaisulla saadaan tarvittaessa ohitettua Phoenix MultiPlus C24/3000/70-50-laitte.

Aurinkopaneellit kytketään sarjaan ja liitetään Danfoss DLX 2.0-laitteeseen. Tältä puolestaan viedään vaihe-, nolla- ja PE-johdin turvakatkaisijan kautta sähkökeskukseen. PE-johdin kytketään samaan potentiaaliin muiden maadoitusten kanssa. Vastavasti vaihe- ja nollajohdin kytketään erillisen vikavirtasuojan kautta, rinnakkain Phoenix MultiPlus C24/3000/70-50-laitteelta tulevan syötön kanssa. Turvakatkaisin katkaisee vaihe- sekä nollajohtimen.

Akut kytketään sarjaan keskenään ja liitetään sulakkeen kautta Phoenix MultiPlus C24/3000/70-50-laitteeseen.

Phoenix MultiPlus C24/3000/70-50-laitte mitoitettiin varman päälle, koska järjestelmän käytön huolettomuutta haluttiin lisätä. Rakennuksen nykyiselle sähkönkulutukselle olisi riittänyt pienempi, 2 kVA:n C24/2000/50-30-malli. Edellytyksenä olisi kuitenkin ollut, että laitteiden kytkemisessä olisi pitänyt olla tarkempi, kytkemällä laitteita muiden vaiheiden syöttämille pistorasioille. Valitsemalla nykyinen 3 kVA:n laite, saatiin myös reserviä tulevaisuuteen, mikäli sähkönkulutus tulee kasvamaan. Vaihtoehtona olisi myös ollut käyttää Phoenix MultiPlus-laitteen 12 V:n versiota. Käytettäväksi laitteeksi valikoitui kuitenkin 24 V:n versio, koska täten akuston virtaa saatiin pienemmäksi.

5 KUSTANNUSARVIO

Järjestelmän kokonaiskustannukset vaikuttivat päätökseen valita nykyinen järjestelmä. Mikäli rakennukseen olisi valittu Eatonin UPS-järjestelmä, olisi tarvittu vielä erillinen aurinkosähköjärjestelmä. Tämä puolestaan olisi nostanut hankeen kokonaiskustannuksia. Nyt selvittiin yhdellä ainoalla järjestelmällä.

Sain UTU Oy:ltä laitteistolle seuraavat hinnat:

Phoenix MultiPlus C24/3000/70-50 2160 €

Aurinkosähkölaitteistopaketti: 5900 €

- Aurinkopaneelit, 10 kpl
- Kattoteline paneeleille
- Danfoss DLX 2.0
- Välikaapelit

Akkujen hinta Oy Osmag Trading Ab:n verkkokaupasta [69].

- Ritar RA12-260D-F13, 2 kpl $2 \cdot 470,80 \text{ €} = 941,60 \text{ €}$

Näin ollen järjestelmän kokonaishinnaksi tulisi:

$$2160 \text{ €} + 5900 \text{ €} + 941,60 \text{ €} = 9001,60 \text{ €}$$

Kustannuksia kasvattaa vielä muut kaapelointitarvikkeet sekä tarvittavat kytkimet. Kyseisiä hintoja olisi ollut vaikea selvittää, koska kohteen lopullinen toteutus vaikuttaa niihin. Vielä ei esimerkiksi ollut tiedossa, mitkä tulevat olemaan laitteiden tarkat välimatkat toisiinsa lopullisessa toteutuksessa.

Laitteiden hinnoista voidaan nähdä, että aurinkosähkön osuus muodostaa merkittävän osan järjestelmän kokonaiskustannuksista. Laitteiston lopulliseen hintaan pystytään vielä melko helposti vaikuttamaan esimerkiksi erilaisten akkujen valinnalla. Nyt valittu akkutyyppe toimii hyvänä perusakuna järjestelmälle. Akun hinta ja käytetty teknologia vaikuttavat akkujen käyttöikään sekä toimintavarmuuteen. Nyt valitulle akulle luvataan kymmenen vuoden käyttöikää, mutta esimerkiksi putkilevynesteakuille luvataan vielä pidempää käyttöikää. Niiden hankintahinta on kuitenkin esimerkkiakkua suurempi. Toisaalta markkinoilla on myös Ritarin akkuja halvempia tuotteita. Akkujen valinnassa on kuitenkin syytä huomioda, että valitaan riittävän laadukas tuote. Tällöin järjestelmällä pystytään takaamaan riittävän pitkä varakäyntiaika myös vuosien päästä, halvalla akustolla saattaa tulla ikäviä yllätyksiä sen suhteen.

Mikäli Phoenix MultiPlussasta olisi valittu pienempi 2 kVA:n versio, kustannussäästöä olisi tullut 540 €. Mielestäni tässä kohtaa kannatti panostaa tehokkaampaan malliin, aikaisemmin kerrotun tehoreservin vuoksi.

6 VAIKUTUKSET

Järjestelmällä saadaan lisättyä kohteen asumismukavuutta sekä viihtyvyyttä. Esimerkiksi television katsominen sähkökatkon aikana tekee ihmeitä mukavuuden kannalta. Järjestelmällä on myös positiivisia vaikutuksia rakennuksen ukkossuojaukseen. Nyt herkkiä laitteita kuten tietokoneita voidaan suojata järjestelmän avulla ukonilman aiheuttamilta ylijännitteiltä.

Järjestelmän toimintavarmuuden kannalta on tärkeää, että sen kuntoa tarkkaillaan määrääjoin. Täten varmistutaan sen toiminnasta mahdollisen sähkökatkon aikana. Tarkastuksiin kuuluu järjestelmän koekäynnistys ja samalla akkujen kunnon tarkastus silmämääräisesti sekä mittaamalla varakäyntiaika. Akkujen testaukseen on olemassa myös valmiita testilaitteita, jotka koekuormittavat akkuja kertoen niiden kunnon [27]. Todennäköisesti riittävänä testauksena toimii kuitenkin edellä mainittu varakäyntiajan mittaaminen. Laitteisto ja sen ympäristö on myös muistettava pitää puhtaana jo pelkän jäähdytyksen ja paloturvallisuuden kannalta.

7 TULEVAISUUDENNÄKYMÄT JA MYYNTI VERKKOON

Aurinkosähkölle povataan suotuisia tulevaisuuden näkymiä. Nykypäivänä on etsittävä ympäristöystävällisiä energiantuotantomuotoja sekä kehitettävä jo olemassa olevia. Aurinkopaneeleita kehitetäänkin jatkuvasti paremmiksi ja niitä tuodaan helpommin kuluttajien saataville. Paneeleiden hinnat ovat laskeneet ja kehitys toivottavasti jatkuu samanlaisena. Aurinkosähkö on melko huoleton ja edullinen sähköntuotantomuoto, jonka yleistymistä haittaa investointikustannukset. Toivottavasti asiaan saadaan helpotusta tulevaisuudessa vaikkapa verohelpotusten muodossa.

Kuten jo aikaisemmin on käynyt ilmi, Suomessa tapahtuu vielä melko pitkiäkin sähkökatkoja. Sähkönjakelun kehittämiseen sekä varmuuteen panostetaan kyllä jatkuvasti, mutta katkoista ei varmasti milloinkaan tulla pääsemään täysin eroon. Luonnonilmiöt aiheuttavat jatkossakin katkoja ja teknisiä vikoja on aina mahdollista tulla. Kenties katkoja saadaan vähemmäksi tekniikan kehittymisen sekä sähköverkon parantamisen myötä. Kriittiset kohteet tulevat varmasti jatkossakin tarvitsemaan varavoimaa ja ainakin siihen on järkevää varautua. Tavallinen omakotitaloasujakin osaa varmasti

arvostaa varavoimaa sähköjen katkettua. Sähköt saattavat myös katketa juuri silloin, kun niitä eniten tarvitsisi. Tällöin varavoima on erittäin toivottua.

Selvitin työssäni myös, olisiko kohteen aurinkopaneeleiden tuottamaa sähköä järkevää syöttää yleiseen sähköverkkoon. Tilanteessa kiinnosti lähinnä sähkön myyminen, saataisiinko sillä jotakin etua ja olisiko se ylipäättään mahdollista. Kartoitin tilannetta yleisellä tasolla Suomessa sekä paikallisen sähkölaitoksen alueella.

Kytettäessä aurinkopaneelit yleiseen sähköverkkoon puhutaan mikrotuotannosta. Energiateollisuus ry:n määritelmä mikrotuotantolaitokselle: ”Pienjänniteverkkoon kulutuskohteen yhteyteen kytketty sähköntuotantolaitos, jonka ensisijainen tarkoitus on tuottaa sähköä kulutuskohteeseen. Verkkoon syöttö on satunnaista tai vähäistä. Yksivaiheisen tuotannon kokoraja on 16 A (suurin laitoksen syöttämä virta).” [54.]

Mikäli mikrotuotantolaitoksen tuottamaa sähköä syötetään sähköverkkoon, on siitä tehtävä sopimus kyseisen sähköverkkoyhtiön kanssa. Uutta laitteistoa hankittaessa, kannattaa olla yhteyksissä yhtiöön jo ennen laitteiston ostopäätöstä. [53.] Tuottajan on maksettava veroa sähkön myyntituloista [55].

Ensiarvoisen tärkeää on, ettei mikrotuotanto häiritse muuta verkkoa, vaan syötettävä sähkö täyttää laatukriteerit [53]. Mikrotuotantolaitos on myös pystyttävä erottamaan verkosta mahdollisten huoltotöiden ajaksi erillisellä erotuskytkimellä. Lisäksi jakeluverkonhaltijan on päästävä käsiksi erotuskytkimeen tai vaihtoehtoisesti pystyttävä erottamaan tuotantolaitos kaukokytkentäisesti. [71.]

Käytettäessä laitteistoa myös varavoimana, vaatii se erillisen kaksoiskytkentämahdollisuuden. Tällä varmistetaan, että sähkökatkon aikana tuotantolaitos ei syötä sähköä verkkoon päin. [54.]

Paikallinen sähköverkkoyhtiö sallii mikrotuotantolaitoksen liittämisen verkkoonsa. Se myös ostaa verkkoon syötetyn sähkön, mutta sähkön voi myös myydä muille yhtiöille. [56; 57.] 13.8.2013 julkaistun ohjeen mukaan paikallinen verkkoyhtiö perii maksua syötetystä sähköstä 0,07 snt/kWh (alv. 0 %) [57].

Kohteen aurinkosähköjärjestelmää ei ollut varsinaisesti järkevää suunnitella yleiseen sähköverkkoon liitettäväksi. Käytettävän aurinkopaneeliston tuotto on vielä liian vähäistä, jotta liittäminen olisi perusteltua. Tehokkaampi paneelisto olisi nostanut projektin kokonaiskustannuksia liian suuriksi. Kohteen aurinkopaneeliston kokoa ei ole myöskään suunniteltu kasvatettavaksi, joten liityntämahdollisuutta ei otettu huomioon järjestelmän suunnittelussa. Käytettäväksi valikoitunut Phoenix MultiPlus C24/3000/70-50-laitte kuitenkin mahdollistaa aurinkosähkön syöttämisen myös valtakunnan verkkoon. Toiminto on ohjelmoitavissa joko päälle tai pois. Toiminnon ollessa aktiivinen laite alkaa syöttää sähköä verkkoon, mikäli akut ovat täynnä ja rakennuksen kulutus on paneelien tuottoa vähäisempää. Tällä tavoin asiakas voi halutessaan alkaa sähkön mikrotuottajaksi, kunhan on sopinut asian ensin paikallisen sähköverkkoyhtiön kanssa.

8 POHDINTA

Tutkin opinnäytetyössäni melko laajasti erilaisia varavoimavaihtoehtoja sekä sähkön pientuotantomuotoja. Tällä halusin varmistua, että kohteeseen valitaan järkevin vaihtoehto vastaaman käytön tarpeita. Lähtökohtaisesti ajatuksissa oli akuilla ja aurinkopaneeleilla toimiva järjestelmä, mutta tuulivoimaakaan ei haluttu täysin sulkea pois. Aggregaatin liittämismahdollisuutta pidettiin myös tärkeänä. Työn etenemisen myötä alkupäätelmät vaikuttivat edelleenkin järkeviltä. Kartoittaessani erilaisia vaihtoehtoja UPS-laitteistojen tekniset eroavaisuudet tulivat hyvin esille. Mielenkiintoista oli myös huomata laitetoimittajien erilaiset järjestelmät. UTU:n tarjoama vaihtoehto oli ehdottomasti järkevin ajatellen aurinkopaneelien liittämistä järjestelmään. Muussa tapauksessa niille olisi pitänyt rakentaa eri järjestelmä UPSin kanssa.

Halusin myös kartoittaa tarkasti erilaiset akkuvaihtoehdot, että kohteeseen tulisi valittua hyvä akusto. Tietoa etsiessä oli helppo huomata, että hyviä vaihtoehtoja löytyy useampiakin. Mielestäni akut ovat kuitenkin niin keskeisessä roolissa, että niihin kannattaa panostaa. Ei ole järkevää ostaa kaikkein halvimpia. Monesti halpa akku toimii huonosti eikä välttämättä tule kalliimpaa vaihtoehtoa halvemmaksi. Olisi ikävä yllätys, jos varavoiman tarpeen yllättäessä varakäyntiaika jää huomattavasti suunniteltua lyhyemmäksi. Vääränlainen ja halpa akkuvalinta näkyy usein myös ikääntymisessä.

Kalliimpi akku kestää usein pidempään kuin halpa versio. Tässä suhteessa vuotuiset akkukustannukset saattavat jäädä kalliimmalla akulla pienemmiksi.

Työtä tehdessä ilmeni, että saatavilla on jonkin verran ristiriitaista tietoa sähkön mikrotuotantotapoihin liittyen. Kenties selityksenä voi olla, että laitteet kehittyvät jatkuvasti ja tietoteokset eivät pysy kehityksessä mukana.

Työtä tehdessä selvisi myös, että aurinkosähköjärjestelmät ovat vielä melko kallis investointi. Mahdollinen laitteistohankinta kannattaa suunnitella huolella ja eri vaihtoehdot on syytä tutkia tarkasti. Laatuun kannattaa myös panostaa, koska laitteiston takaisinmaksuajat ovat vielä melko pitkiä.

LÄHTEET

1. Puolustusministeriö. Pahasti poikki - Näin selviät pitkästä sähkökatkosta – kansalaisopas. PDF-dokumentti
http://www.fingrid.fi/fi/ajankohtaista/julkaisut/opassahkokatkoihin/Liitetiedostot/pitka_sahkokatkos_kansalaisopas.pdf. Päivitetty 25.8.2011. Luettu 14.2.2014.
2. Ilmatieteen laitos. Verkkodokumentti.
<http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/e16bb020-5c80-41ed-9d23-508701c90c5c/tuuliolot-eivat-suuresti-muutu.html>. Päivitetty 30.4.2014. Luettu 30.4.2014.
3. Kouvolan sanomat. Verkkodokumentti.
<http://www.kouvolansanomat.fi/Online/2013/01/30/Tuiskuhuippu+1%C3%A4hestyy,+tuulesta+hy%C3%B6ty%C3%A4kin/2013215113704/4> Päivitetty 30.4.2014. Luettu 30.4.2014
4. SFS 6000-7-710.560.6.104.1. Enintään 0,5 s kytkeytymisajan omaavat varavoimajärjestelmän teholähteet. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
5. Kujanpää, Jorma. Tuulivoimaa kotiin. Koneviesti 7, 104-107. 2008.
6. Ylä-Jääski, Vesa. UPS-laitteet – Sähköä katkoita. Tekniikan Maailma 13, 102–106. 2012.
7. Eaton. UPS-käsikirja. PDF-dokumentti.
http://pqlit.eaton.com/ll_download_bylitcode.asp?doc_id=24030. Päivitetty 4.12.2012. Luettu 27.2.2014.
8. Aalto, Kyösti. Aggregaatti yhä useammin tarpeen – Ei vara venettä kaada. Koneviesti 6, 66-67. 2012.
9. Karhunen, Matti. Kiinteistön varavoima-aggregaatti – Käynnistettävä määrävälein. Koneviesti 11, 74–77. 2009.
10. Suomen Tuulivoimayhdistys ry. Verkkodokumentti.
<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/pientuulivoima>. Päivitetty 30.4.2014. Luettu 30.4.2014.
11. Suomen Tuulivoimayhdistys ry. Verkkodokumentti.
http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoja_ostajalle. Päivitetty 30.4.2014. Luettu 30.4.2014.
12. Suomen Tuulivoimayhdistys ry. Verkkodokumentti.
http://www.tuulivoimayhdistys.fi/yleista_tekniikasta. Päivitetty 30.4.2014. Luettu 30.4.2014.
13. Innopower Oy. Verkkodokumentti.
<http://www.innopower.fi/tuulivoima>. Päivitetty 30.4.2014. Luettu 30.4.
14. Ympäristöministeriö. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. PDF-dokumentti.
http://www.tuulivoimaopas.fi/files/40/Tuulivoimarakentamisen_suunnittelu.pdf. Päivitetty 27.8.2012. Luettu 16.3.2014.

15. Motiva Oy. Verkkodokumentti.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko.
Päivitetty 19.3.2014. Luettu 19.3.2014.
16. LUT-Lappeenranta University of Technology. Verkkodokumentti
http://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkovoima-tormaa-vaariin-luuloihin. Päivitetty 30.4.2014. Luettu 30.4.2014
17. Motiva Oy. Verkkodokumentti.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia. Päivitetty 19.3.2014. Luettu 19.3.2014.
18. SuomiSanakirja.fi. Verkkodokumentti.
<http://www.suomisanakirja.fi/akusto>. Päivitetty 18.3. Luettu 18.3.
19. Motiva Oy. Auringosta lämpöä ja sähköä. PDF-dokumentti.
http://www.motiva.fi/files/6137/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa2012.pdf. Päivitetty 31.8.2012. Luettu 19.3.2014.
20. Aurinkoenergiaa.fi. Verkkodokumentti.
<http://www.aurinkoenergiaa.fi/Info/23/aurinkoenergia>. Päivitetty 29.4.2014. Luettu 30.4.2014.
21. Aurinkoenergiaa.fi. Verkkodokumentti.
<http://www.aurinkoenergiaa.fi/Info/154/aurinkoenergian-historia>. Päivitetty 29.4.2014. Luettu 30.4.2014.
22. Aurinkoenergiaa.fi. Verkkodokumentti.
<http://www.aurinkoenergiaa.fi/Info/25/aurinkopaneeli>. Päivitetty 29.4.2014. Luettu 30.4.2014.
23. Isosaari, Kyösti. Mistä energia taloon? – Omakotiasujan energia- ja ympäristö-opas. Helsinki: Otavamedia. 2012.
24. Laitinen, Jussi. Pieni suuri energiakirja – Opas energiatehokkaaseen asumiseen. Helsinki: Into Kustannus Oy. 2013.
25. Erat, Bruno, Erkkilä, Vesa, Löfgren, Timo, Nyman, Christer, Peltola, Seppo & Suokivi, Hannu. Aurinko-opas – Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Helsinki: Kustantajat Sarmala Oy; Rakennusalan Kustantajat RAK. 2001.
26. Karkinen, Jyrki. CTEKin laturit turvallisia ja helppokäyttöisiä – Älylaturista on hyötyä. Koneviesti 6, 28–30. 2008.
27. Karkinen, Jyrki. Akku kuluu käytössä. Koneviesti 6, 31. 2008.
28. CTEK. Näin tapahtuu akulle, jos siitä ei pidetä huolta:. PDF-dokumentti.
http://www.ctek.com/sradmin/ARCHIVE/Support/Battery_Knowledge/Folder_Battery_Knowledge_FI.pdf. Päivitetty 23.11.2011. Luettu 27.3.2014.

29. Ylönen, Raimo, Backman, Leo & Herttua, Ilkka. Elektroniikka talvella – Järki jäässä. Tekniikan Maaailma 5, 44–50. 2014.
30. Robert Bosch Oy. Verkkodokumentti.
<http://www.bosch-pt.com/fi/fi/ac/tarvikkeet/uutuudet-extrat/neuvot-vihjeet-koskien-akkuja/eri-akkuteknologioiden-erot/eri-akkuteknologioiden-erot.html>. Päivitetty 30.4.2014. Luettu 30.4.2014
31. REPS Oy Ab. Verkkodokumentti.
<http://www.reps.fi/fi/fi/frames-prod-batteries-fi.htm>. Päivitetty 20.3.2006. Luettu 31.3.2014.
32. CTEK. Verkkodokumentti.
<http://www.ctek.com/fi/fi/page/whycharge/12v-battery-charger>. Päivitetty 31.3.2014. Luettu 31.3.2014
33. CTEK. Verkkodokumentti.
<http://www.ctek.com/fi/fi/page/whycharge/charge-functionality>. Päivitetty 31.3.2014. Luettu 31.3.2014.
34. Knaapi, Jussi. Megapulse latausvirran muunnin – Pulssilataus ”hieroo” akut kuntoon. Koneviesti 6, 32–33. 2008.
35. Oy Flinkenberg Ab. Verkkodokumentti.
<http://www.flinkenberg.fi/batteries/optima.html#sthash.obre9gHb.ImjInGmj.dpbs>. Päivitetty 28.3.2014. Luettu 1.4.2014.
36. A Johnson Controls Inc. Company. Verkkodokumentti.
<http://www.varta-automotive.fi/fi-fi/technology/tech-commercial-vehicles/calcium-silver-technology/>. Päivitetty 1.4.2014. Luettu 1.4.2014.
37. Miljoonalaatikko, Juha Jokinen 2010. Tietoja lyijyakuista. PDF-dokumentti.
<http://www.miljoonalaatikko.com/dokumentit/lyijyakku.pdf>. Päivitetty 23.12.2010. Luettu 30.3.2014.
38. Akku-Ässä Oy. Verkkodokumentti.
<http://www.aurinkopaneelit.info/tuotteet-tarvikkeet/akustot>. Päivitetty 2.4.2014. Luettu 2.4.2014.
39. Rasila, Urpo. Verkkodokumentti.
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutarhakoneteknologia/tekniik/sahkoj/vpks11toi.htm>. Päivitetty 28.3.2010. Luettu 2.4.2014.
40. Kajaanin ammattikorkeakoulu, H.Honkanen. Akku- ja paristotekniikat. PDF-dokumentti. http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/REG_Akku-%20ja%20paristotekniikat.pdf. Päivitetty 2.11.2005. Luettu 30.3.2014.
41. Mikko Esala/Ideaport. Siljetun lyijyakun toiminnan peruskäsitteitä. PDF-dokumentti. <http://www.kolumbus.fi/mikko.esala/slaominaisuudet.pdf>. Päivitetty 15.8.2011. Luettu 30.3.2014.

42. Motiva Oy. Verkkodokumentti.
http://www.motiva.fi/liikenne/henkiloautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/akut. Päivitetty 4.4.2014. Luettu 4.4.2014.
43. Eaton. Verkkodokumentti. <http://powerquality.eaton.com/Products-services/Backup-Power-UPS/9130.aspx?cx=79&GUID=5C7F8717-F874-45D3-82EE-F86648FE108A>. Päivitetty 10.4.2014. Luettu 10.4.2014.
44. Ilmatieteen laitos. Verkkodokumentti.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/tuulitilastot>. Päivitetty 10.4.2014. Luettu 10.4.2014.
45. Otto Brandt-konserni. Verkkodokumentti.
<http://www.hondapower.fi/mallisto/generaattorit/ecm2800-generaattori>. Päivitetty 10.4.2014. Luettu 10.4.2014.
46. Pientuulivoimala-yhteistyöryhmä. Omaa tuulienergiaa. PDF-dokumentti.
http://www.tuulivoimaopas.fi/files/37/Omaa_tuulienergiaa.pdf. Päivitetty 9.3.2012. Luettu 16.3.2014.
47. Brad Merritt.com. Verkkodokumentti. http://www.bradmerritt.com/wp-content/uploads/2010/06/solar_cell.gif. Päivitetty 29.6.2010. Luettu 11.4.2014.
48. Suntuote.fi. Verkkodokumentti.
<http://www.suntuote.fi/page/4/>. Päivitetty 11.4.2014. Luettu 11.4.2014.
49. LivingInSmallHouses.com. Verkkodokumentti.
<http://www.livinginsmallhouses.com/image-files/types-of-solar-cells.png>. Päivitetty 10.9.2010. Luettu 11.4.2014.
50. Amazon.com. Verkkodokumentti. http://g-ec2.images-ama-zon.com/images/G/01/automotive/ACDelco_Powersport_AGM_cutaway_with_Logo._V372581239_.jpg. Päivitetty 18.3.2013. Luettu 11.4.2014.
51. Polar Heater. Verkkodokumentti.
<http://www.polarheater.fi/files//poikkileikkaus.jpg>. Päivitetty 11.6.2012. Luettu 11.4.2014.
52. AC-Virta Oy. Verkkodokumentti. <http://akkunetti.fi/ladattavat-akkuennot-akkupaketit/juotoskorvalliset-kennot-nimh-nicd/sub-ckoko-n1700scrjk-sanyo--panasonic-nicd-12v-1700mah-juotoskorvilla>. Päivitetty 11.4.2014. Luettu 11.4.2014.
53. Motiva Oy. Verkkodokumentti.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/sahkon_pientuotanto/kuluttaja_all_e_50_kva. Päivitetty 29.4.2014. Luettu 29.4.2014.
54. Energiateollisuus ry. Verkostosuositus YA9:13 – Mikrotuotannon liittäminen sähköjakeluverkkoon. Helsinki.
55. Motiva Oy. Verkkodokumentti.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/sahkon_pientuotanto/kuluttaja_all_e_50_kva/lainsaadanto_ja_velvollisuudet. Päivitetty 29.4.2014. Luettu 29.4.2014.

56. Kymenlaakson Sähkö Oy. Verkkodokumentti.
<http://www.ksoy.fi/kotitalouksille/rakentajille/pientuotanto>. Päivitetty 29.4.2014. Luettu 29.4.2014.
57. Kymenlaakson Sähkö Oy. Pientuotannon liittäminen sähköverkkoon. PDF-dokumentti.
http://www.ksoy.fi/content/download/3279/30615/file/OHJE_Pientuotannon+liitt%C3%A4minen_asiakasohje.pdf. Päivitetty 13.8.2013. Luettu 12.4.2014.
58. REPS Renewable Energy Production Solutions. MPPT ja PWM Lataussäädin-ABC. PDF-dokumentti. <http://www.reps.fi/datasheetsandmanuals/REPS-MPPT-lataussaadin-ABC.pdf>. Päivitetty 20.9.2013. Luettu 16.4.2014.
59. Rexel Finland Oy/Eaton. Powerware-mallisto. PDF-dokumentti.
<http://www.rexel.fi/Documents/Tuotteet%20ja%20palvelut/Esitteet%20ja%20luettelot/Tiedostot/Powerware-mallisto.pdf>. Päivitetty 29.8.2013. Luettu 19.4.2014.
60. UPS Systems plc. Verkkodokumentti. <http://www.upssystems.co.uk/knowledge-base/ups-bypasses/>. Päivitetty 19.4.2014. Luettu 19.4.2014.
61. Uninterruptible Power Supplies Ltd. Verkkodokumentti.
<http://www.upspower.co.uk/feeds/feeds/ups-topologies---an-introduction-and-comparison.aspx>. Päivitetty 19.4.2014. Luettu 19.4.2014.
62. Eric Coates MA BSc.(Hons). Verkkodokumentti. <http://www.learnabout-electronics.org/PSU/psu33.php>. Päivitetty 19.4.2014. Luettu 19.4.2014.
63. Kaila; Meriläinen; Ojala; Pihko. Reaktio 4 – Metallit ja materiaalit. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi. 2006.
64. Schmitz, Andy. Verkkodokumentti.
http://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0/section_23/78aa3b26627849dbff802309a826d49a.jpg. Päivitetty 23.3.2014. Luettu 21.4.2014.
65. Victron Energy. Manual-Phoenix MultiPlus 3k 230V VE.Bus enabled-rev 00. PDF-dokumentti.
<http://www.victronenergy.com/upload/documents/Manual%20-%20MultiPlus%203k%20230V%20Ve.Bus%20enabled%20-%20rev%2000%20-%20EN%20NL.pdf>. Päivitetty 16.9.2009. Luettu 22.4.2014.
66. Danfoss Solar Inverters A/S. DLX User Guide. PDF-dokumentti.
<http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/4C97AFB5-618D-4B32-B5E9-F667254A5969/0/DLXUserGuideENrev11.pdf>. Päivitetty 29.3.2014. Luettu 21.4.2014.
67. Danfoss Solar Inverters A/S. DLX Inverter Series-Performance and flexibility in a user friendly design. PDF-dokumentti.
http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/A4E7807A-9CA6-4E21-A140-28EBB119D06E/0/DKSIPFP203A302_DLX_factsheet_WEB.pdf. Päivitetty 28.3.2014. Luettu 31.3.2014.

68. Ylinen, Marko. Sähköpostiviesti. 31.3.2014. Tuotepäällikkö. UTU Oy. 2014.

69. Ot-verkkokauppa.fi. Verkkodokumentti.

[http://ot-](http://ot-verkkokauppa.fi/index.php?route=product/product&path=64_73_79&product_id=185)

[verkkokauppa.fi/index.php?route=product/product&path=64_73_79&product_id=185](http://ot-verkkokauppa.fi/index.php?route=product/product&path=64_73_79&product_id=185). Päivitetty 28.4.2014. Luettu 28.4.2014.

70. Akkupojat Oy. Verkkodokumentti.

<http://www.akkupojat.fi/index.php/site/teollisuus/paikallisakut/ritar-ra-sarja>. Päivitetty 29.4.2014. Luettu 29.4.

71. Motiva Oy. Verkkodokumentti.

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/sahkon_pientuotanto/kuluttaja_all_e_50_kva/yhteys_sahkoverkkoyhtioon. Päivitetty 29.4.2014. Luettu 29.4.2014.

Phoenix MultiPlus-tekniset tiedot [65]

MultiPlus	12/3000/120	24/3000/70	48/3000/35
PowerControl / PowerAssist	Yes	Yes	Yes
AC inputs	Input voltage range: 187-265 VAC Input frequency: 45 – 55 Hz		
Maximum feed through current (A)	16 or 30	16 or 30	16 or 30
INVERTER			
Input voltage range (V DC)	9,5 – 17	19 – 33	38 – 66
Output (1)	Output voltage: 230 VAC ± 2% Frequency: 50 Hz ± 0,1%		
Cont. output power at 25 °C (VA) (3)	3000	3000	3000
Cont. output power at 25 °C (W)	2500	2500	2500
Cont. output power at 40 °C (W)	2000	2000	2000
Peak power (W)	6000	6000	6000
Maximum efficiency (%)	93	94	95
Zero-load power (W)	10	10	12
CHARGER			
AC Input	Input voltage range: 187-265 VAC Input frequency: 45 – 55 Hz Power factor: 1		
Charge voltage 'absorption' (V DC)	14,4	28,8	57,6
Charge voltage 'float' (V DC)	13,8	27,6	55,2
Storage mode (V DC)	13,2	26,4	52,8
Charge current house battery (A) (4)	120	70	35
Charge current starter battery (A)	4		
Battery temperature sensor	Yes		
GENERAL			
Multi purpose relay (5)	Yes	Yes	Yes
Protection (2)	a - g		
Common Characteristics	Operating temp.: -20 to +50°C (fan assisted cooling) Humidity (non condensing) : max 95%		
ENCLOSURE			
Common Characteristics	Material & Colour: aluminium (blue RAL 5012) Protection: IP		
Battery-connection	M8 studs		
230 V AC-connections	Screw clamp		
Weight (kg)	18		
Dimensions (hwxwd in mm)	362x258x218		
STANDARDS			
Safety	EN 60335-1, EN 60335-2-29		
Emission / Immunity	EN55014-1, EN 61000-3-2 / EN 55014-2, EN 61000-3-3		
Automotive Directive	2004/104/EC		

Danfoss DLX-tekniset tiedot [66]

	Parameter	DLX 2.0	DLX 2.9	DLX 3.8	DLX 4.6
	AC				
S	Rated apparent power	2000 VA	2900 VA	3800 VA	4600 VA
P	Rated active power @ cosphi = 1	2000 W	2900 W	3800 W	4600 W
Q	Reactive power range	0-1600 VAR	0-2320 VAR	0-3120 VAR	0-3680 VAR
	Controlled power factor range	0.8 over-excited, 0.8 under-excited			
V _{ac,r}	Rated output voltage	230 V			
V _{ac,min} ; V _{ac,max}	AC voltage range (P-N, P-P)	230 V±20%, single or split phase			
	Nominal output current	9.0 A	13.0 A	17.0 A	20.0 A
I _{ac,max}	Max output current	10.5 A	15.2 A	19.7 A	23.0 A
	AC current distortion (THD %)	2.59%		3.36%	
Cosphi _{ac,r}	Power Factor (cos φ)	0.8 over-excited, 0.8 under-excited			
	Night-time power loss	< 1 W			
f _i	Mains frequency	50 Hz			
f _{min} ; f _{max}	Grid frequency range	50 Hz ± 5 %			
	DC				
	Nominal DC power	2100 W	3000 W	4000 W	4800 W
	Max recommended PV power	2625 W	3750 W	5000 W	6000 W
V _{dc,r}	Nominal voltage DC	220 – 480 V			220 - 480 V
V _{mppmin} ; V _{mppmax}	MPP voltage-nominal power	230 – 480 V			250 - 480 V
	MPP efficiency	99.9%			
	Max. DC voltage	600 V			
	Turn on voltage	230 VDC			
	Turn off voltage	220 VDC			
	Max current DC	9.5 A	13.5 A	18.0 A	21.0 A
	Max. short circuit current DC at STC	9.5 A	13.5 A	18.0 A	21.0 A
	Min. on grid power	7 W			
	Efficiency				
	Maximum efficiency	97.2 %	97.2 %	97.2 %	97.3 %
	CEC efficiency	96.8 %	96.8 %	97.0 %	97.0 %
	EU efficiency	96.3 %	96.5 %	96.7 %	96.9 %
	Other				
	Dimensions	610 x 353 x 158 mm (169.5 mm with bracket)			
	Mounting recommendation	Wall bracket			
	Weight	19 kg		21 kg	
	Sealing grade	IP65			
	Acoustic noise level	< 37dB (A)			
	Operation temperature range	-25 to +65 °C (Possible power derating above +45 °C)			
	Storage temperature	-30 °C to + 80 °C			
	Relative humidity	4 to 99%			
	Number of PV string inputs	3			
	Number of MPP trackers	1			
	Protection against excessive PV power	Yes			
	Overvoltage category AC / DC	Class B / Class B			
	Reverse polarity protection	Yes			
	Ground fault monitoring	Yes			
	Integral DC switch	Yes			
	PV grounding	Field configurable for ungrounded, positive grounded or negative grounded			
	Topology	High frequency transformer, galvanic isolation			
	Performance monitoring	Graphical colour display with 6 touch sense buttons, 3x LEDs for visual status indication, Built-in Web Server			
	PV connection	SunClix			
	AC/grid connection	Screw terminals			
	Ethernet	1 x RJ45			
	RS-485 / CAN	Screw terminals			
	Functional safety				
	Safety (protective class)	Class I			
	Islanding detection / loss of mains	Active Frequency Shift			
	RCD type A recommendation	Yes			
	Indirect contact protection	Yes, (Start class I grounded)			
	Voltage & frequency surveillance	Included			
	Insulation resistance surveillance	Included			
	DC content of AC current surveillance	Included			

Sähköiset ominaisuudet

Sähköiset ominaisuudet vakiotestiolosuhteissa (STC)

Teholuokka	235 W	240 W	245 W	250 W	255 W
Maksimiteho (P_{max})	235 W	240 W	245 W	250 W	255 W
Tyhjäkäyntijännite (V_{oc})	36,7 V	37,0 V	37,4 V	37,7 V	38,0 V
Oikosulkuvirta (I_{sc})	8,53 A	8,63 A	8,70 A	8,79 A	8,89 A
Jännite maksimiteholla (V_{mpp})	29,2 V	29,6 V	30,1 V	30,4 V	30,8 V
Virta maksimiteholla (I_{mpp})	8,05 A	8,11 A	8,15 A	8,23 A	8,29 A
Moduulin hyötysuhde (%)	14,5 %	14,8 %	15,1 %	15,5 %	15,8 %

P_{max} , V_{oc} , I_{sc} , V_{mpp} ja I_{mpp} testattu vakiotestiolosuhteissa (STC), joissa säteilyvoimakkuus on 1000 W/m² auringon kirjolla AM 1,5 lämpötilassa 25±2 °C. Moduulin teholuokalla on positiivinen tehon laajitus: 0 – +5W. Mittaustoleranssi: ±3 % (P_{max})

Sähköiset ominaisuudet kennon normaalissa käyttölämpötilassa (NOCT)

Teholuokka	235 W	240 W	245 W	250 W	255 W
Maksimiteho (P_{max})	172 W	175 W	179 W	183 W	186 W
Tyhjäkäyntijännite (V_{oc})	34,4 V	34,6 V	34,8 V	35,0 V	35,2 V
Oikosulkuvirta (I_{sc})	6,89 A	6,97 A	7,05 A	7,13 A	7,22 A
Jännite maksimiteholla (V_{mpp})	26,5 V	26,8 V	27,3 V	27,6 V	27,9 V
Virta maksimiteholla (I_{mpp})	6,50 A	6,53 A	6,56 A	6,64 A	6,67 A

P_{max} , V_{oc} , I_{sc} , V_{mpp} ja I_{mpp} testattu kennon normaalissa käyttölämpötilassa (NOCT, 45±3 °C), määritetty säteilyvoimakkuudeksi 800 W/m²; ympäristön lämpötila 20 °C; tuulen nopeus 1 m/s. Mittaustoleranssi: ±3 % (P_{max})

Lämpötilaominaisuudet

Kennon normaali käyttölämpötila (NOCT)	45±3 °C
P:n lämpötilakertoimet	-0,43 % / °C
V:n lämpötilakertoimet	-0,31 % / °C
I:n lämpötilakertoimet	+0,05% / °C

Maksimiarvot

Järjestelmän maksimijännite	1 000 V (IEC)
Sarjan sulakkeen ohjearvo	15 A
Suurin vastakkaisvirta	Sarjan sulakkeen ohjearvo kerrottuna 1,35:llä

Mekaaniset ominaisuudet

Mitat	1 636 mm × 988 mm × 40 mm
Paino	19±0,5 kg
Kehys	Alumiiniseos, eloksoitu
Etupuoli	3 mm:n karkaistu, heijastamaton lasi
Kotelointi	EVA
Takakansi	Komposiittikuori
Kennon tekniikka	Monikiteinen
Kennon koko	156 mm × 156 mm
Kennojen määrä (kpl)	60 (6 × 10)
Kytettäisiä	Suojausluokka IP67, 3 diodisarjaa
Lähtökaapelit	Aurinkokaapeli: 4 mm ² ; pituus: 1000 mm
Liitin	Amphenol FH