

Vesa Kinnunen

## **HYBRIDIENERGIAJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU**

# **HYBRIDIENERGIAJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU**

Konsepti liikuteltavasta hybridiennergiajärjestelmästä

Vesa Kinnunen  
Opinnäytetyö  
Syksy 2023  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Vesa Kinnunen

Opinnäytetyön nimi: Hybridienergiajärjestelmän suunnittelu

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Concept design of a hybrid energy system

Työn ohjaaja: Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2023

Sivumäärä: 41 + 5 liitettä

---

Jokaisella energiantuotantomuodolla on heikkoutensa. Jonkin käyttäminen voi olla kallista, toinen on hyvin olosuhderiippuvainen ja osaa ei haluta sen käytön tuottamien ympäristövaikutusten vuoksi. Hybridienergiaratkaisujen avulla yksittäisten tuotantomuotojen heikkouksia voidaan kompensoida ja parantaa energiantuotannon luotettavuutta. Vaikka hybridienergia tekniikan maailmassa käsitteenä ei ole uusi, tietoisuus ja hybridituotannon hyödyntäminen tuntuu olevan harvemmassa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda konseptitasoinen suunnitelma liikuteltavasta hybridienergiajärjestelmästä, jota pystyisi hyödyntämään erilaisiin käyttötarkoituksiin, kuten esittelykapaleena tai laboratoriotehävissä. Työssä keskitytään sähköntuotantoon ja sen varastointiin ja lämmöntuotanto jätetään hybridijärjestelmästä pois. Opinnäytetyö on tehty Oulun ammattikorkeakoululle ja idea syntyi Oulun ammattikorkeakoulun omistamasta pientuulivoimalasta. Suunnittelussa hyödynnettiin erilaisia työkaluja, kuten Solidworks ja MagiCAD sekä tietokantoja, kuten PVGIS.

Suunnittelun tuloksena saatiin luotua hybridienergiajärjestelmä, joka hyödyntää energiantuotannossa aurinko- ja tuulivoimaa, polttokennoa sekä verkosta otettavaa sähköä. Hybridijärjestelmään valitut energiantuotantomuodot voisivat toimia hyvin toistensa kanssa sekä luovat yhdessä energiantuotannollista varmuutta omista heikkouksistaan huolimatta. Hybridijärjestelmä suunniteltiin peräkärryyn, jonka ansiosta sitä voi helposti siirrellä vetoautolla haluttuun paikkaan. Hybridijärjestelmän suunnitelma sisältää järjestelmään ehdotetut laitevalinnat, hybridijärjestelmän 3D-mallin, järjestelmäkaavion sekä toimintaselostuksen.

Konseptitasoinen suunnitelma mahdollistaa suunnitellun hybridijärjestelmän jatkojalostamisen, esimerkiksi järjestelmän kasvattamisen. Tehdyn opinnäytetyön pohjalta voisi myös tehdä muita opinnäytetöitä, kuten tarkat sähkösuunnitelmat tai harjoitustehtäviä laboratoriokäyttöön.

---

Asiasanat: konseptisuunnittelu, hybridi energia, sähkötekniikka, laitevalinnat

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme of Energy Technology

---

Author: Vesa Kinnunen  
Title of thesis: Concept design of a hybrid energy system  
Supervisor: Jukka Ylikunnari  
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2023  
Number of pages: 41 + 5 appendices

---

Hybrid energy solutions provide multiple benefits in energy technologies. These hybrid systems compensate the inherent negatives of a single form of energy production by reducing unpredictability and potential losses due to reasons such as technical failure of a single form of energy. Hybrid energy systems can be built in many ways, such as with different energy sources in a single connection point or with a usage of energy storages or by combining fore mentioned.

The goal of this dissertation was to make a concept level design of a mobile hybrid energy system that is adaptable for diverse applications, such as promotional exhibitions or laboratory exercises. The focal point of this thesis and the hybrid energy system itself was electricity production, with heat production being deliberately excluded from the system configuration. This thesis was made for Oulu University of Applied Sciences and the idea for the thesis came from a small-scale wind turbine generator owned by the OUAS. Multiple design tools, such as Solidworks and MagiCAD, in conjunction with databases like PVGIS, were used in the design phase of this thesis.

The outcome of the concept design was a hybrid energy system that harnesses solar and wind power with a fuel cell as buffer for higher loads and grid electricity for backup. The selected energy production techniques within the designed hybrid system were intentionally synergized to function harmoniously, effectively mitigating individual shortcomings, and collectively enhancing energy production reliability. To make the system portable, it was integrated into a trailer configuration to make the transportation convenient to user-defined locations. The results consist of recommendations for component choices, a conceptual 3D-model representation of the system, system diagram and an operational report.

The conceptual design of the hybrid energy system in this thesis not only permits further refinement and expansion of the envisioned hybrid system but could also serve as a foundation for additional thesis endeavors. These may include the development of comprehensive electrical blueprints or practical laboratory exercises tailored for instructional use aimed towards students in multiple fields of study, such as energy and electrical engineering.

---

Keywords: concept design, hybrid energy, electrical engineering, component selection

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	HYBRIDIENERGIA.....	7
2.1	Hybridiratkaisujen hyötyjä.....	7
2.1.1	Energiakriisi ja nykytilanne.....	8
2.1.2	Pörssisähkö ja omatuotanto.....	9
2.2	Hybridijärjestelmien haasteita.....	9
2.3	Erlaisia hybriditeknologioita .....	11
3	KONSEPTI HYBRIDIENERGIAJÄRJESTELMÄSTÄ.....	13
3.1	Hybridijärjestelmän pääkomponentit .....	13
3.1.1	Järjestelmän aurinkopaneeli .....	14
3.1.2	Pienoistuulivoimala .....	18
3.1.3	Polttokenno .....	21
3.1.4	Akusto.....	22
3.1.5	Automatiikka .....	24
3.1.6	Vetoalusta.....	26
3.2	Kuormat.....	26
4	3D-MALLI, KAAVIOT JA TOIMINTASELOSTUS.....	28
4.1	Versio 1 .....	28
4.2	Versio 2 .....	31
4.3	Versio 3 .....	32
4.4	Järjestelmäkaavio ja toimintaselostus .....	33
4.5	Kytkenät ja käyttöönotto .....	35
5	YHTEENVETO .....	38
	LÄHTEET.....	39
	LIITTEET .....	42

# 1 JOHDANTO

Hybridiennergia ja vihreä energia ovat tämän päivän trendisanoja. Vihreää energiantuotantoa tarvitaan lisää, jotta pystytään pääsemään kansallisiin ja Euroopan unionin asettamiin vihreisiin tavoitteisiin. Vihreisiin energiamuotoihin kohdistuva kiinnostus on kasvanut lähes kaikilla viime vuosina huimaa tahtia, mutta energia-alaan perehtymättömien ymmärrys siitä, että yhteen energiamuotoon, kuten tuulivoimaan, ei pysty luottamaan yhtenä ainoana vaihtoehtona, laahaa perässä. Tästä syystä huomion ja näkyvyyden lisääminen hybridiennergia ratkaisuihin on hyödyllistä.

Tämän opinnäytetyön päämääränä on luoda konseptitasoinen suunnitelma Oulun ammattikorkeakoulun käyttöön liikuteltavissa olevasta hybridiennergiajärjestelmästä, joka hyödyntää useita energialähteitä ja jolla voidaan havainnollistaa sekä luoda kiinnostusta niin hybridiennergian kuin myös Oamkin ympärille. Lopullisen kokonaisuuden on tarkoitus pystyä toimimaan esimerkiksi esittely- tai laboratoriokäytössä. Opinnäytetyön tilaaja on Oulun ammattikorkeakoulu.

Opinnäytetyössä käsitellään, mitä hybridiennergia on, itse hybridiennergiajärjestelmän kokonaisuuden suunnittelua sekä hybridijärjestelmän mallin luomista. Suunnitelma tulee sisältämään myös ehdotukset järjestelmässä käytettävistä laitteista, erilaisista mahdollisista kuormista, kytkentäkaavion hybridijärjestelmästä ja huomiota suunnitellun järjestelmän käytöstä. Suunnitellun järjestelmän rakentaminen käyttövalmiiksi jää opinnäytetyön ulkopuolelle.

## 2 HYBRIDIENERGIA

Hybridienergialla ei itsessään tarkoiteta mitään tiettyä energiantuotanto tai -varastointimuotoa. Hybridienergiatuotannolla tarkoitetaan useamman energiantuotantomuodon, kuten tuulivoiman ja aurinkoenergian, aurinko- ja vesivoiman, hyödyntämistä. Näin energiaa, useimmiten sähköä, tuotetaan kahdesta tai useammasta lähteestä. Hybridienergiajärjestelmän energiantuotannon ei tarvitse olla vihreää tai hiilineutraalia, jotta systeemiä voidaan kutsua hybridiratkaisuksi, mutta usein hybridienergiasta puhuttaessa kyseessä on vihreiksi ajatellut energiantuotannot. (1.)

Syy sille, miksi hybridienergia yhdistetään vihreisiin energioihin, johtuu siitä, että hybridiratkaisuina vihreiden energiantuotantomuotojen, kuten tuulivoiman, huonoja- tai ei-toivottuja ominaisuuksia voidaan paikata. Tuulivoimala ei pysty tuottamaan energiaa, jos tuulen nopeus ei yllä tuulivoimalan käynnistysnopeuteen (2). Tällöin tuulivoimala voi pyöriä hitaasti ilman verkkoon kytkeytymistä mutta ei tuota energiaa käyttöön. Tässä tilassa tuulivoimala ainoastaan kuluttaa energiaa, esimerkiksi lämmittämiseen tai muihin omakäyttökohteisiin. (3.)

### 2.1 Hybridiratkaisujen hyötyjä

Hybridiratkaisussa tuulettomuuden aiheuttamaa tuotantovajetta voidaan korvata esimerkiksi aurinkovoiman avulla ja toisin päin paistamattomuutta voidaan korvata tuulivoimalla, polttokennoilla tai muilla generaattoreilla. Näin yhdistämällä eri energiamuotoja voidaan luoda synergisiä suhteita eri tuotantomuotojen välille, jolloin energian saatavuus on paremmin ennustettavissa. Olemassa oleviin voimaloihin, kuten vesivoimaloihin, lisättyllä aurinkovoimalalla voidaan myös kasvattaa voimaloiden tuotantokapasiteettia ja hyödyntää olemassa olevia liityntäpisteitä valtakunnan sähköverkkoon. (1.)

Hybridiratkaisut ovat hyödyllisiä ja toimivia ratkaisuja myös omakotitaloissa, mökeillä tai muissa vastaavissa kohteissa. OKT- tai mökkitasolla hyvin mitoitettun ja suunnitellun hybridiratkaisun avulla voi omatuotannon osuus olla sen verran suurta tiettyinä aikoina vuodesta, että verkosta ostetun sähkön määrä saadaan pudotettua erittäin matalaksi tai hybridijärjestelmällä varustettuun mökkiin ei tarvitse ottaa verkkoliityntää, koska oma tuotanto riittää kaikkiin tarpeisiin. Tällaisissa tilanteissa

hybridituotanto tarvitsee systeemiin lisäksi akuston, jonka avulla sähköä voidaan varastoida ja käyttää tarpeen mukaan. Sähköä on akustojen kautta saatavilla sitä tarvittaessa, ja akustojen lataus tapahtuu systeemiin valittujen tuotantomuotojen mukaisesti. (4.)

Uusiutuvista energiantuotantomuodoista tehty hybridienergiajärjestelmä on myös käyttökustannuksiltaan halpa sekä vähän huomiota vaativa oikein asennettuna ja ohjattuna. Tämän lisäksi vihreällä hybridiratkaisulla saadaan pienennettyä omaa hiilijalanjälkeä ja järjestelmällä saadaan myös säästöjä verrattuna esimerkiksi aggregaattitoimisiin omatuotantomuotoihin. (4.)

Kiinteistöissä hybridienergiaratkaisut verkkoliittynän kanssa luovat joustavuutta sekä taloudellista hyötyä. Kun kiinteistölle rakennetun hybridiratkaisun akkuvarastot ovat täyttyneet omatuotannon takia eikä jatkuvalla tuotannolle ole senhetkistä kulutusta, voidaan ylijäämäsähkö myydä takaisin verkkoon, millä parannetaan rakennetun hybridijärjestelmän tuomia hyötyjä omistajalle. Kiinteistön omistajan täytyy tehdä sopimus verkkoyhtiön sekä sähkönmyyjien kanssa ylijäämäsähkön siirtämisestä ja myymisestä. Pientuotannon myymisessä sähkönostaja hinnoittelee sähkön pörssihinnan mukaisesti. Omatuotannon sekä ylijäämän myyntiin liittyviä hyötyjä havainnollistaa kuva 1. (5.)



KUVA 1. Sähkön osto- ja myyntihinnan rakenne ja mittakaava (5)

### 2.1.1 Energiakriisi ja nykytilanne

Vuonna 2022 energian hinta lähti jyrkkään nousuun. Tälle on useita syitä, kuten Pohjoismaissa koettu kuivuus, korkeat polttoainehinnat, vähä tulisuus, maakaasun vähentyminen Euroopassa, kasvanut sähkönsiirto keski-Eurooppaan, sähkön tuonnin lopettaminen Venäjältä sekä Olkiluodon kolmannen ydinreaktorin epävarmuudet (6). Sähkön toistaiseksi voimassa olevien sopimusten hinnat ovat moninkertaistuneet: vuoden 2022 alusta 10–15 snt/kWh hinnasta 40–45 snt:iin/kWh. Tämä



sai monet vaihtamaan pörssisähkösopimukseen, jonka kuukauden keskihinta on matalampi ja jossa kuukaudessa maksettua hintaan pystyy vaikuttamaan omaa sähkön käyttöä harkiten. (7.)

Vuonna 2023 energian hinta palasi normaalimpaan suuntaan, johon vaikutti useita tekijöitä, kuten Olkiluodon kolmannen yksikön tuotannon aloitus ja kasvanut tuulivoimakapasiteetti. Energiamarkkinoita on hankala ennustaa, mutta todennäköisesti energiakriisiä edeltäviin, 4–6 snt/kWh, hintatasoihin ei päästä. Energianhintojen ennustusta hankaloittaa myös tukeutuminen tuulivoimaan, koska heikon tuulen jaksoina sähkönhinta voi kohota piikkeinä hyvinkin korkeaksi sekä toisin päin, eli korkeatuulisina jaksoina hinnat voivat pudota nollan lähetyville. (8.)

### **2.1.2 Pörssisähkö ja omatuotanto**

Hintojen nousun myötä useat halusivat madaltaa omaa sähkön kulutusta tai tuottaa sähköä itse. Tämä johti kohonneeseen kiinnostukseen hankkia kiinteistöihin erilaisia energiaratkaisuja, joista merkittävimpänä mainittakoon aurinkovoimalat. Ihmiset, jotka hankkivat itselleen kiinteistöihinsä joko aurinkovoimaloita tai erilaisia hybridiratkaisuja, pystyivät myymään omatuotannon ylijäämän takaisin verkkoon pörssisähköhintaan. Tämä yhdistettynä ennen hintojen nousua sovittuun mallilisen hintaiseen määräaikaiseen sähkösopimukseen ihmiset saattoivat saada huomattavia säästöjä, ja jopa tienata tämän avulla. (9.)

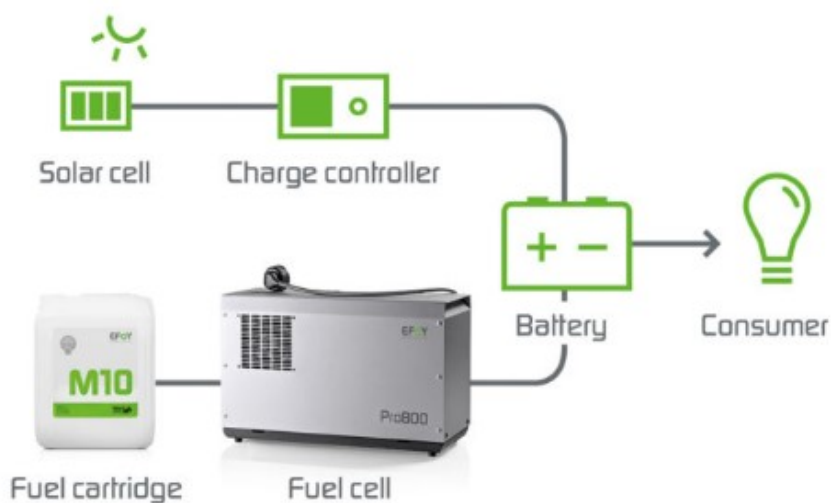
## **2.2 Hybridijärjestelmien haasteita**

Hybridiennergiajärjestelmät ovat laajoja ja monimutkaisia kokonaisuuksia, ja tämän takia järjestelmää hankittaessa kannattaa lähestyä osaavia toimijoita luomaan suunnitelmat järjestelmästä. Hybridiennergiajärjestelmät vaativat paljon osaamista niin asennuksesta kuin systeemin ohjaamisesta ja automaatiosta. Mitä laajemman järjestelmän on suunnittelemassa, sitä enemmän tarvitaan järjestelmän hallintaan liittyvää osaamista ja tekniikkaa. (4.) Valittaessa järjestelmään useita energiantuotanto ja -varastointimuotoja lisääntyy tarve monimutkaisemmille ohjauksille sekä järjestelmävaatimukset kasvavat. Tietyt komponentit, kuten lataussäätimet, toimivat ainoastaan esimerkiksi vain yhden omatuotantomuodon, kuten aurinkoenergian, tai vain tietyn tyyppisten akkujen kanssa (10).

Omatuotanto- ja hybridijärjestelmien alkuinvestoinnit ovat suuria. 10 000 kWh energiaa kuluttavaan omakotitaloon olisi hyvä aurinkoenergiajärjestelmän koko noin 3–5 kWp, mikä maksaa erään myyjän mukaan keskimäärin 5 000–8 000 € (11). Tämän lisäksi järjestelmään on hyvä sisällyttää akusto, joka on erikseen hankittava. Riippuen järjestelmän koosta ja eri tarvikkeista voi hinta kasvaa hyvinkin suureksi.

Yksi merkittävimmistä hybridijärjestelmien haasteista on saada järjestelmä mitoitettua kohteelle oikean kokoiseksi. Hybridijärjestelmiä suunnitellessa on tärkeää hyödyntää kaikkea kohteesta saatavissa olevaa tietoa, koska jokainen kohde, niiden tarpeet ja kulutus eroavat toisistaan eikä yhtä suunnittelumallia kannata sovitaa kaikkiin. Järjestelmän mitoituksessa kannattaa hyödyntää energiankulutusprofileja, joiden avulla pystytään suunnitella järjestelmä suoraan todellisen energiankäytön mukaan. Kulutusprofiilit myös esittävät vuodenaikojen vaikutuksen energiankulutukseen. Kulutusprofiilien lisäksi esimerkiksi säädätän hyödyntäminen kohteen sijainnista voi antaa tärkeää tietoa siitä miten suunniteltava järjestelmä todennäköisesti toimisi kohteessa.

Uusiutuvien energioiden hybridijärjestelmien heikkous on myös sääolosuhteet. Jos haluaa kiinteistönsä, kuten mökin, olevan irti sähköverkosta, on mahdollista, että esimerkiksi talvella aurinkovoima ei tuota paneelien ollessa lumen peitossa tai pientuulivoimalan lapojen ollessa jäässä tuulivoimala ei tuota. (12.) Järjestelmään voi sisällyttää esimerkiksi polttokennon tai aggregaatin turvaamaan energiantuotantoa uusiutuvien energiantuotantomuotojen kannalta huonojen säiden aikana. Kuva 2 havainnollistaa polttokennon ja aurinkopaneelien muodostamaa hybridijärjestelmää. (13.)



KUVA 2. Polttokennon ja aurinkovoiman muodostama hybridiennergiajärjestelmä (13)

## 2.3 Erilaisia hybriditeknologioita

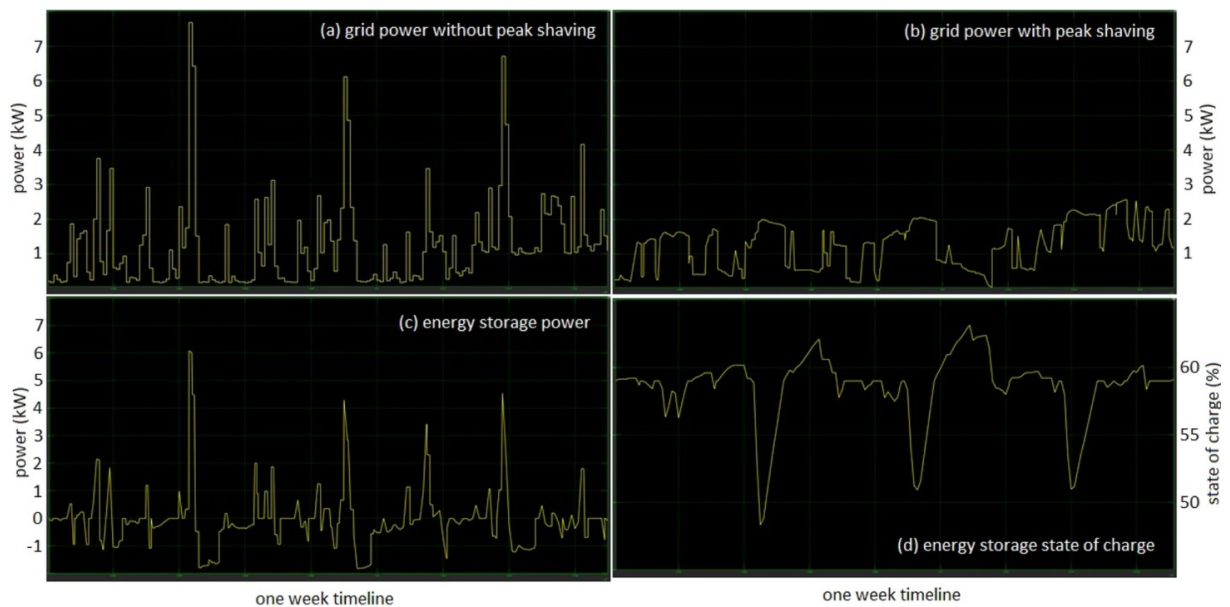
Wärtsilä toimittaa Yhdysvaltain Neitsytsaarille VIWAPA:lle hybridilaitoksen, joka sisältää 36 MW monipolttoainemoottorin ja 9/18 MW energiavaraston sekä Wärtsilän GEMS-energianhallintajärjestelmän. Hybridilaitos rakennetaan Randolph Harley -voimalaitosalueelle. Hybridilaitoksen käyttötarkoitus on kohentaa saaren energian saatavuutta sekä varmistaa energian riittävyys vanhempien energiantuotantomuotojen, kuten kaasulaitosten, ollessa poissa käytöstä ja antaa lisää joustavuutta eri polttoaineiden käytössä. Toimitettu moottori on Wärtsilän ensimmäinen käytössä oleva 32LG-moottori, joka pystyy vaihtamaan käytön aikana dieselin ja propaani nestekaasun välillä. Energiavaraston tarkoituksena on varmistaa noin kahden tunnin energiantarve saarelle mahdollisen verkkohäiriön vuoksi, mikä voi johtua esimerkiksi saarelle yleisistä hurrikaaneista. Energiavarasto myös huolehtii sähköverkon jännite- ja taajuusheilahteluista, minkä avulla parannetaan verkon kestävyyttä sekä vähennetään vikatilanteita. (14.)

Tampereen ammattikorkeakoulu rakensi liikuteltavan hybridienergijärjestelmän. Projektin tarkoituksena oli luoda teknisesti mahdollisimman monikäyttöinen järjestelmä testikäyttöön sekä demonstroidakseen erilaisia moderneja älykkään energian muutoksen sähkökäyttöjä. Projektissa rakennettiin kaksi traileria, joista toinen sisälsi 100 kWh energiavaraston ja toinen tehoelektroniikkajärjestelmän sekä sähköautojen teholatauspisteen, jotka ovat nähtävissä kuvassa 3. (15, s. 1–2.)



KUVA 3. Vasemmassa trailerissa energiavarasto ja oikeassa tehoelektroniikkajärjestelmä sekä sähköautojen teholatauspiste (15, s. 3)

Järjestelmä onnistui tehtävässään luoda älykäs ohjaus keventämään asiakkaan sähkönkulutuksen piikkejä tehoptki-mallilla, jossa verkosta otettava teho pidettiin tietyissä rajoissa ja piikkienergian tarpeet otettiin hybridijärjestelmästä keventäen sähköverkon kuormaa. Hybridijärjestelmä onnistui tehtävässään ollessaan testikäytössä maatilalla ja onnistui korjaamaan maatilän sähkönlaatuviirheet. Kyseissä tapauksessa, kun kuivausrakennuksen korkeatehoiset laitteet käynnistettiin, yksi kolmesta vaiheesta saatettiin aika ajoin menettää ylikuormittumisen takia. Tilalle oli asennettu n. 50 kW:n tehoinen aurinkoenergiajärjestelmä tukeakseen sähköverkkoa. Viikon testikäytön aikana tilän sähkönlaatu ongelmat saatiin korjattua järjestelmän energiapiikkejä madaltavan vaikutuksen ansiosta. Kuvassa 4 on nähtävissä kaavioita hybridijärjestelmän tehohallinnan vaikutuksesta tehoptki-mallia hyödyntäen. (15, s. 8–11.)

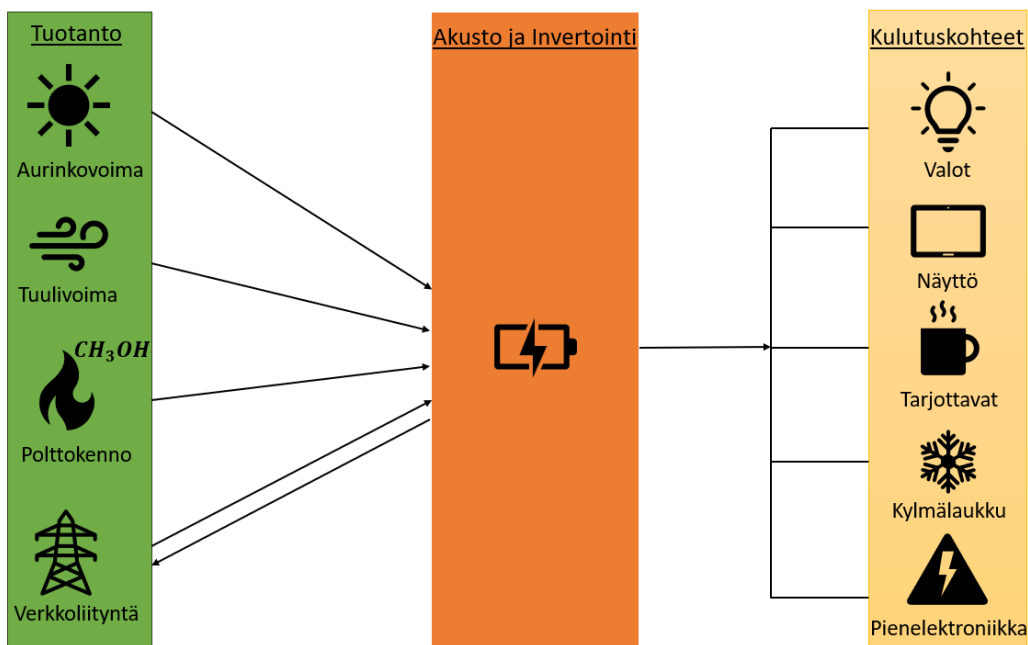


KUVA 4. Tehohallinta tehoptki-mallia hyödyntäen viikon aikajaksolla (15, s. 9)

Järjestelmän tehohallinnan seurattessaan dataa asiakkaan verkonkäytöstä ja energiavaraston hyödyntäminen piikkikulutusten aikana oli tarpeeksi lopettamaan verkon vaihekatkokset, joka oli testi-asiakkaan pääsyy sähkönlaatu ongelmiin. Artikkelissa todetaan todennäköiseksi, että tällaiset verkon tukijärjestelmät tulisivat yleistymään lähitulevaisuudessa. (15, s. 11.)

### 3 KONSEPTI HYBRIDIENERGIAJÄRJESTELMÄSTÄ

Työssä suunniteltu laite on konsepti hybridienergiajärjestelmästä ja käsittää hybridijärjestelmän laitteiden valinnat sekä valittujen laitteiden yhteen sovittamisen. Tässä luvussa tarkastellaan laitevalintoja sekä mitoituksia, hybridijärjestelmän vaatimia suojalaitteita sekä ehdotuksia suojalaitteista, hybridijärjestelmässä mahdollisesti käytettäviä kuormia ja järjestelmän vaatimia mittalaitteita sekä niiden yhteyksiä järjestelmän ohjaukseen. Työn ideoinnin aikana keskusteltiin, mitä hybridijärjestelmä voisi sisältää, jotta tehtävällä oli skaala ja lähtökohta, josta lähteä suunnittelemaan. Suunnittelua aloitettaessa hybridijärjestelmästä oli visio, jota kuva 5 havainnollistaa.



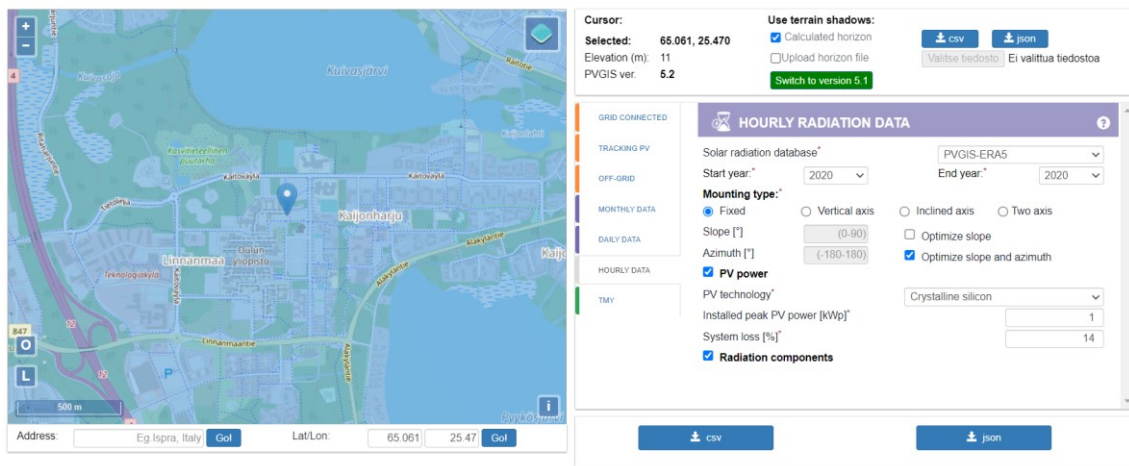
KUVA 5. Havainnollistava malli suunniteltavasta hybridijärjestelmästä

#### 3.1 Hybridijärjestelmän pääkomponentit

Suunniteltavan hybridijärjestelmän pääkomponentit ovat aurinkopaneeli, Oulun ammattikorkeakoulun omistama pienoistuulivoimala ja polttokenno. Nämä vastaisivat järjestelmän energiantuotannosta. Näiden lisäksi järjestelmän tulisi sisältää tarpeisiin nähden riittävän kokoinen akusto. Järjestelmän pitää olla liikuteltavissa sekä kuljetettavissa eri tilanteisiin, jolloin peräkärry tai, riippuen järjestelmän lopullisesta koosta, traileri olisi vaihtoehtona.

### 3.1.1 Järjestelmän aurinkopaneeli

Hybridijärjestelmän aurinkopaneeli on energiantuotannon osalta avainasemassa. Vaikka aurinkopaneelin nimellisteho ei olisikaan järjestelmän korkein, on sen kautta saatavissa eniten energiaa lataamaan akustoa. Aurinkopaneeli valittiin laskentasovellusta hyödyntäen. Internetistä löytyvä PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) oli työkaluna löytämään hyvän kokoinen aurinkopaneeli järjestelmään (16). Valinnan lähtökohtana oli löytää tietyn tehoinen paneeli, joka pystyisi tarvittaessa myös itsessään lataamaan järjestelmää tehokkaasti niin käytön aikana kuin myös etukäteen esimerkiksi päiviä ennen tapahtumaa. Rajoitteina paneelin valinnassa oli peräkärryn tai trailerin tilarajoitteet. Lähtökohtien ollessa selviä pystyi käyttämään PVGIS-sovellusta. Kuvassa 6 on nähtävissä sovelluksen käyttöliittymä.



KUVA 6. PVGIS-käyttöliittymä halutussa sijainnissa tuntidata-välilehdellä (16)

Kuvasta 6 nähdään, että kartalta voidaan valita tarkka sijainti, josta halutaan saada säteilydataa tunneittain, tässä tapauksessa Oulun ammattikorkeakoulun puoleisen päädyn parkkipaikalta. Seuraavaksi sovellukseen täytettiin tietoja, kuten miltä vuodelta käyttäjä haluaa tuntisen datan, millainen on paneelin asennus, onko asennettavan paneelin kulma ja suunta optimoitu sekä järjestelmän tietoja, kuten asennettu piikkiteho, asennettujen paneelien tyyppi ja järjestelmän häviöt.

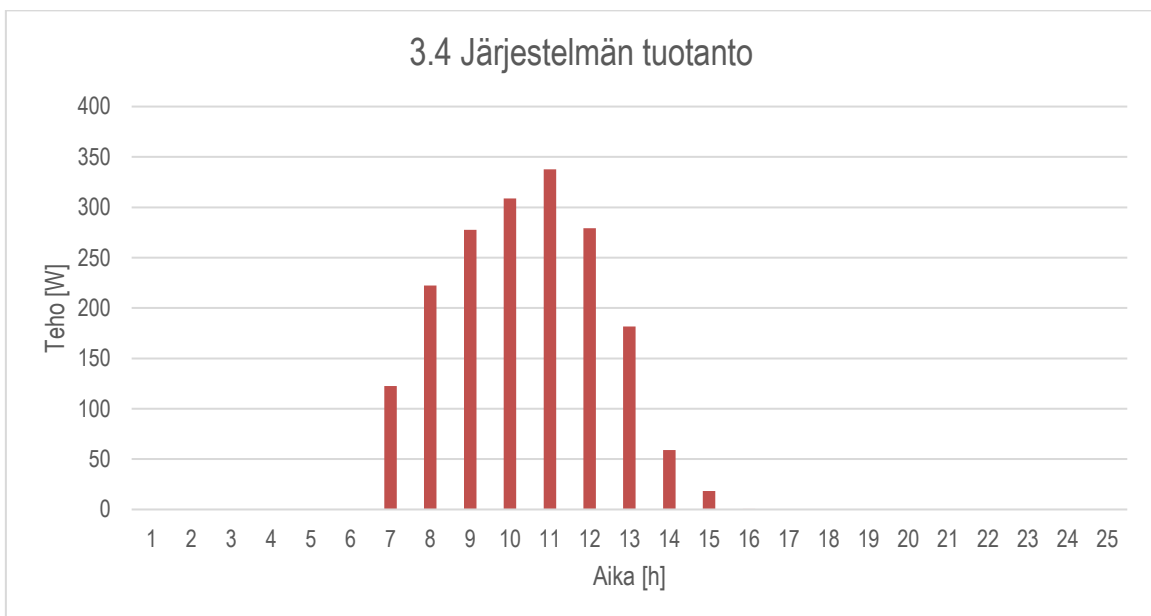
PVGIS antaa Excelillä käytettävän taulukoidun datan seuraavista tiedoista:

- aika
- teho [W]
- säteilyn komponentit
  - $G_b$  direct in-plane irradiance [ $W/m^2$ ]
  - $G_d$  diffuse in-plane irradiance [ $W/m^2$ ]

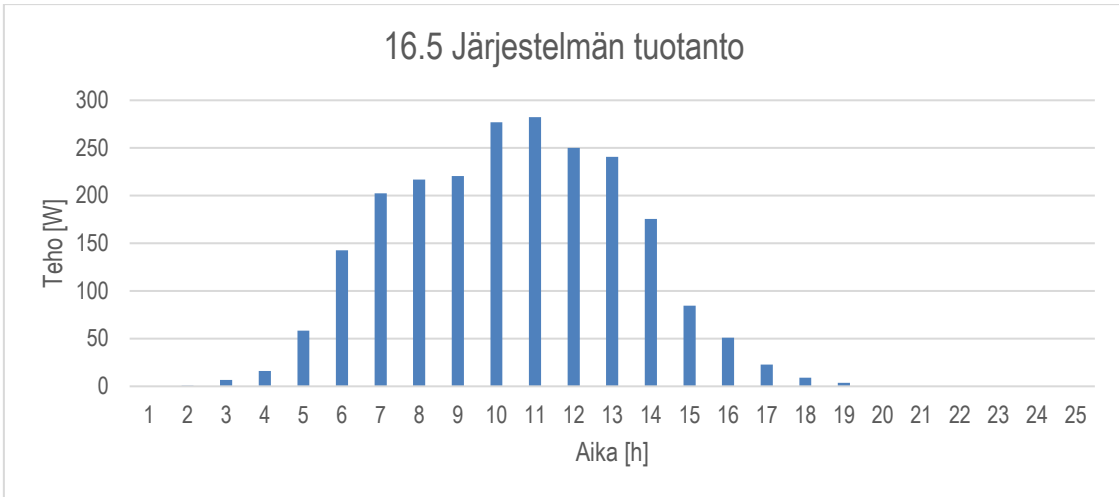
- $G_r$  reflected in-plane irradiance [ $W/m^2$ ]
- auringon korkeus [ $^\circ$ ]
- ilman lämpötila [ $^\circ C$ ]
- Tuulenoisuus ( $h = 10\text{ m}$ ) [ $m/s$ ]

Datan ilmoittama teho kertoo lähtötietoihin osoitetun aurinkoenergiajärjestelmän tuotannosta. Alkutiloihin asetettiin järjestelmän piikkitehoiksi aluksi 1 kWp, toisella kierroksella 0,6 kWp ja kolmannella valittiin oikean, useassa paikassa myynnissä olevan ja hyvin arvostellun paneelin piikkiteho, 0,435 kWp. Aurinkoenergiajärjestelmän kokoluokkaa (piikkitehoa) haettiin rinnakkain hybridijärjestelmällä mahdollisesti käytettävien kuormien kanssa, joista lisää myöhemmissä luvuissa.

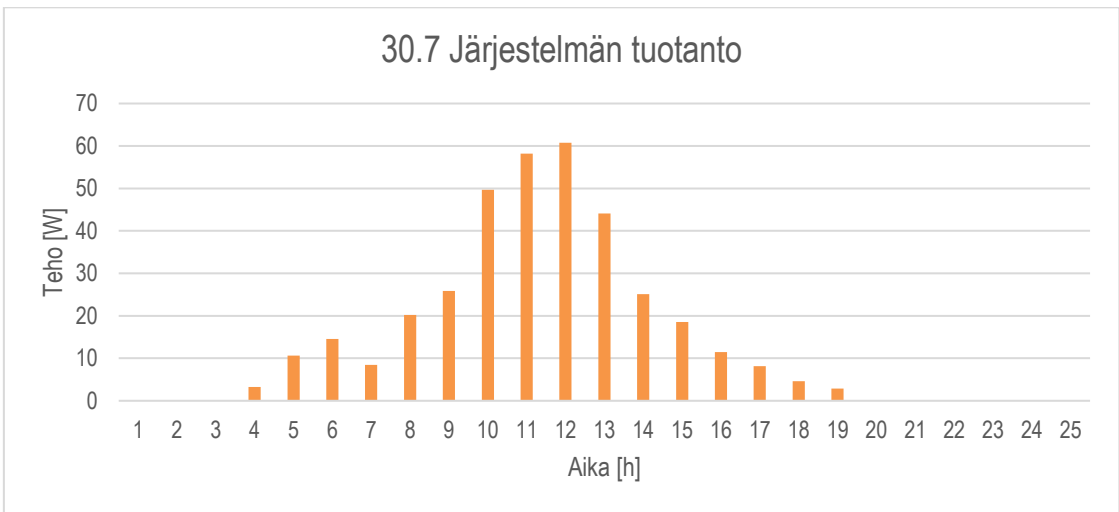
Sovellus antaa tiedot tunneittain, jolloin datan viereen pystyttiin tekemään 24 tunnin ajalta summaus siitä, kuinka paljon järjestelmä päivän aikana tuottaisi energiaa. Tämä tieto monistettiin koko vuodelle ja sen avulla saatiin tarkempaa tietoa siitä, miten järjestelmä toimisi eri vuodenaikoina. Tämän lisäksi päiväkohtainen tieto antaa suuntaa sille, kuinka suuri akusto mahdollisesti voisi olla. Kuvissa 7, 8 ja 9 nähdään tuotanto kolmena eri päivänä aurinkoenergian kannalta otollisimpina ajanjaksoina, eli keväällä ja kesällä. Kuvissa 10 ja 11 on nähtävissä päivät syksyiltä ja talvelta, milloin aurinkoenergian saanti on huomattavasti heikompaa.



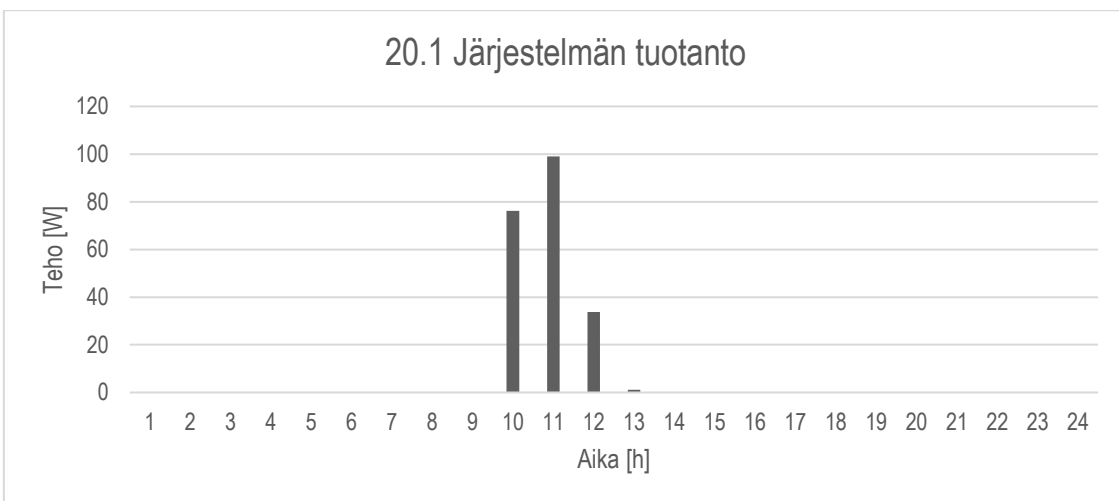
KUVA 7. Vuorokauden energiantuotanto huhtikuussa



KUVA 8. Vuorokauden energiantuotanto toukokuussa

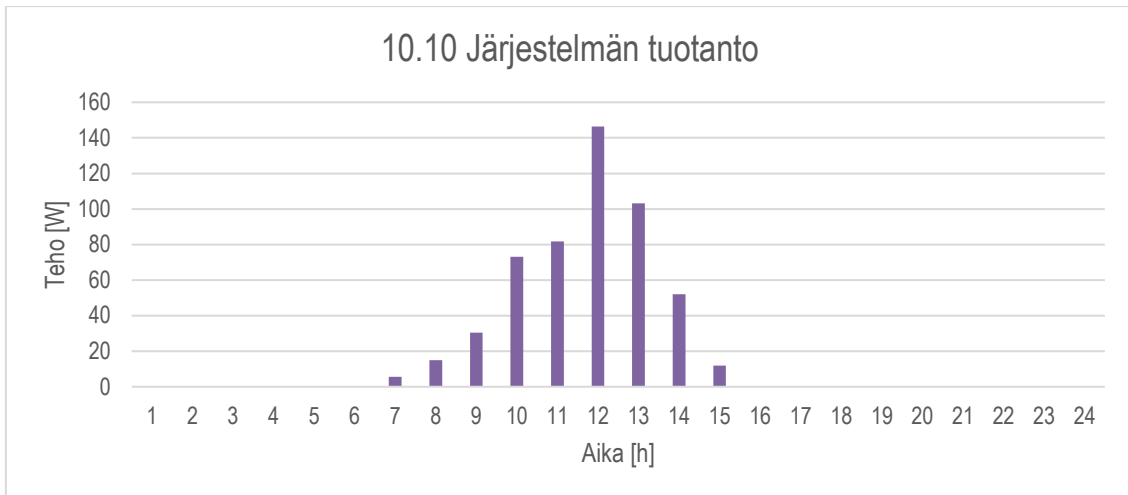


KUVA 9. Vuorokauden energiantuotanto heinäkuussa



KUVA 10. Vuorokauden energiantuotanto tammikuussa





KUVA 11. Vuorokauden energiantuotanto lokakuussa

Syy sille, miksi tiedonhaussa käytettiin vuoden 2020 dataa eikä tyypillisen meteorologisen vuoden dataa, on se, että vuosikohtainen data huomioi myös esimerkiksi pilviset päivät. Näin saatiin parempi kuva siitä, miten järjestelmä todellisuudessa tuottaisi verrattuna paljon korkeampiin, usealta vuodelta keskiarvotettuihin tuloksiin. Tätä havainnollistaa kuva 9. Heinä- ja elokuu ajatellaan korkean aurinkoenergian tuotannon ajaksi, mutta kuvaajasta nähdään huomattavasti matalampi tuotanto verrattuna kuvassa 8 olevaan toukokuun päivään. Heikompaan tuotantoon on voinut vaikuttaa pilvisuus ja se kannattaa huomioida järjestelmää suunnitellessa sekä järjestelmää käyttäessä.

Kun tiedettiin energiansaatavuus 0,435 kWp järjestelmällä päiväkohtaisesti, otettiin päivän saannista kahdella tavalla mediaaniluku. Ensimmäinen mediaaniluku kertoo koko vuodelta tuotannon. Tähän vaikuttaa huomattavasti talvikuukausien päivät, jolloin energiantuotanto aurinkopaneelista on lähes nolla. Mediaani päivätuotanto koko vuodelta on 1 062,74 Wh. Toinen mediaaniluku otettiin maaliskuu-lokakuu ajalta, mikä kuvastaa paremmin oletetun käyttöajan energiantuotantoa. Maalis-lokakuun mediaani päivätuotanto oli 2042,75 Wh.

Aurinkoenergiajärjestelmän koko riittää itsenäiseen energiantuotantoon arvioiduille kuormille ja muiden tuotantomuotojen ohella tuottaisi energiaa luotettavasti. Tästä syystä aurinkopaneeliksi valittiin JinkoSolar Tiger Neo N-Type 435 Wp aurinkopaneeli (liite 1). Nämä paneelit ovat käytössä esimerkiksi Vattenfallin asentamissa paketeissa. Paneeleilla on hyvä tehontuottotakuu, ja paneelityyppi vähentää tehontuoton heikentymistä käyttöönoton jälkeen. (17.)

### 3.1.2 Pienoistuulivoimala

Hybridijärjestelmän tuulivoimala on Oulun ammattikorkeakoulun omistama. Tuulivoimalaa itsessään ei siis tarvinnut suunnitella vaan se, miten tuulivoimalan saisi yhdistettyä suunniteltavaan hybridijärjestelmään ja millaista tuotantoa tuulivoimasta olisi saatavissa ja miten se toimisi yhdessä muiden järjestelmän laitteiden kanssa. Pitää huomioida, että tuulivoimalan pakettiin ei sisältynyt voimalan salkoa vaan se on erikseen hankittava osa kokonaisuutta.

Kyseessä oleva pienoistuulivoimala on Zhejiang Ruihua Machineryn valmistama Wind Turbine Black 600. Mallin numero 600 viittaa laitteen nimellistehoon, joka on 600 W. Tuulivoimalalle tarkoitettulla salolla se olisi 10 metrin korkeudessa operoiva tuulivoimala. (18.) Salkokorkeus on sama kuin PVGIS-sovelluksesta saatavan tuulennopeuden mittauskorkeus, mikä helpottaa tehonarviointia. Yleisesti käytössä oleva Suomen Tuuliatlas -sovellus antaa tuulitietoja 50 metristä ylöspäin ja sen datan hyödyntäminen tämän kokoluokan voimalassa olisi vääristänyt arvioita suuresti (19).

Aluksi selvitettiin tuulesta saatavilla oleva energia per neliö. Tämä on laskettavissa kaavalla 1.

$$\frac{P_{\text{tuuli}}}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3$$

KAAVA 1

jossa  $\rho$  on ilman tiheys,  $v$  ilman nopeus.

Tuulesta saatava energia per neliö tarkoittaa tuulen kineettistä energiaa eikä tässä kohtaa ota huomioon tuulivoimalaamme. Saatavissa oleva energia on nähtävissä taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Tuulen kineettinen energia

Tuulennopeus (m/s)	Tuulen liike-energia (W/m <sup>2</sup> )	Tuulennopeus (m/s)	Tuulen liike-energia (W/m <sup>2</sup> )
1	0,61	8	313,60
2	4,90	9	446,51
3	16,54	10	612,50
4	39,20	11	815,24
5	76,56	12	1058,40
6	132,30	13	1345,66
7	210,09	14	1680,70

Valmistaja ei ilmoittanut tuulivoimalan hyötysuhdetta, joten se täytyi laskea. Siiven pituudeksi mitattiin 0,805 metriä. Kaavaa 1 pystyttiin nyt muuttamaan, minkä avulla saatiin tietää, kuinka paljon energiaa on saatavilla tuulivoimalamme pyörähdyspinta-alalla.

$$P_{Tuuli} = \frac{1}{2} \rho A v^3 = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3 \quad \text{KAAVA 2}$$

jossa A on tuulivoimalan pinta-ala, r on tuulivoimalan lavan pituus tai pyörähdyspinta-alan säde.

Kaava 2 kertoo saatavilla olevan energian tuulivoimalamme pinta-alalla. Tämä kuvaa myös tuulivoimalaa, jonka hyötysuhde on 100 %, joka pystyisi hyödyntämään kaiken tuulen kineettisen energian. Taulukkoon 2 on laskettu energiat.

TAULUKKO 2. Kineettinen energia tuulivoimalan pyörähdyspinta-alalla

Tuulennopeus (m/s)	Tuulen liike-energia (W)	Tuulennopeus (m/s)	Tuulen liike-energia (W)
1	1,25	8	638,44
2	9,98	9	909,02
3	33,67	10	1246,95
4	79,80	11	1659,69
5	155,87	12	2154,72
6	269,34	13	2739,54
7	427,70	14	3421,62

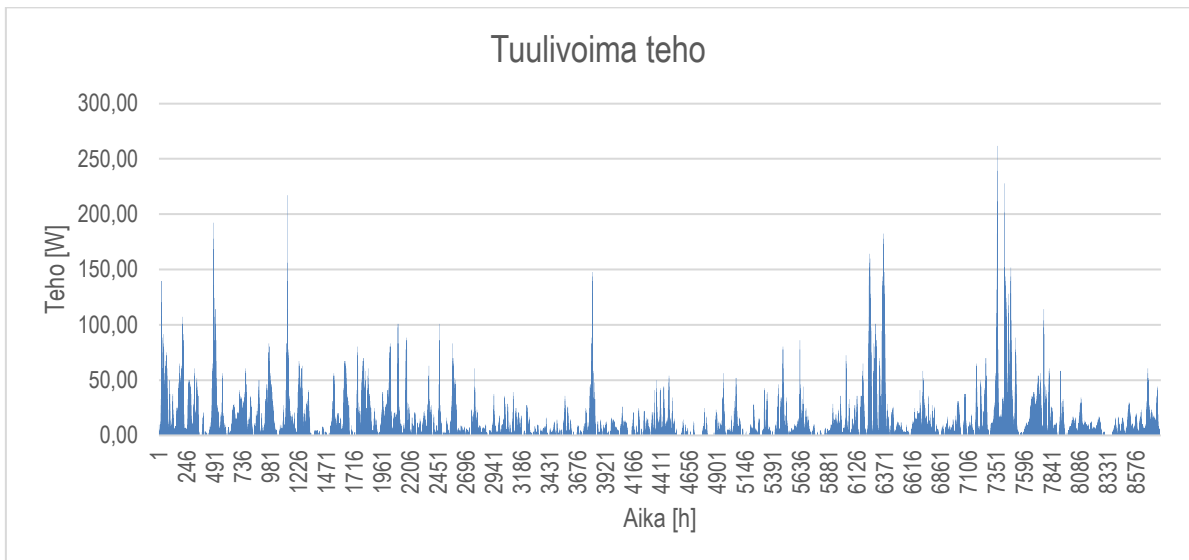
Tuulivoimalan generaattorin kyljessä oli kyltti, joka kertoi nimellistehon 600 W olevan saatavissa tuulen nopeudella 12 m/s, joten pystyimme nyt määrittämään hyötysuhteen. Tämä saatiin laskettua kaavalla 3.

$$\eta_{Tuulivoimala} = \frac{P_{Nimellis}}{P_{Tuuli} (v=12 \frac{m}{s})} = \frac{600 W}{2154,72 W} = 0,28 \quad \text{KAAVA 3}$$

Tuulivoimalan hyötysuhde on 28 %. PVGIS-sovelluksesta saatavasta datasta pystyttiin nyt laskemaan koko vuodelle tuulivoimalasta saatava energia datan yhteyteen kaavalla 4.

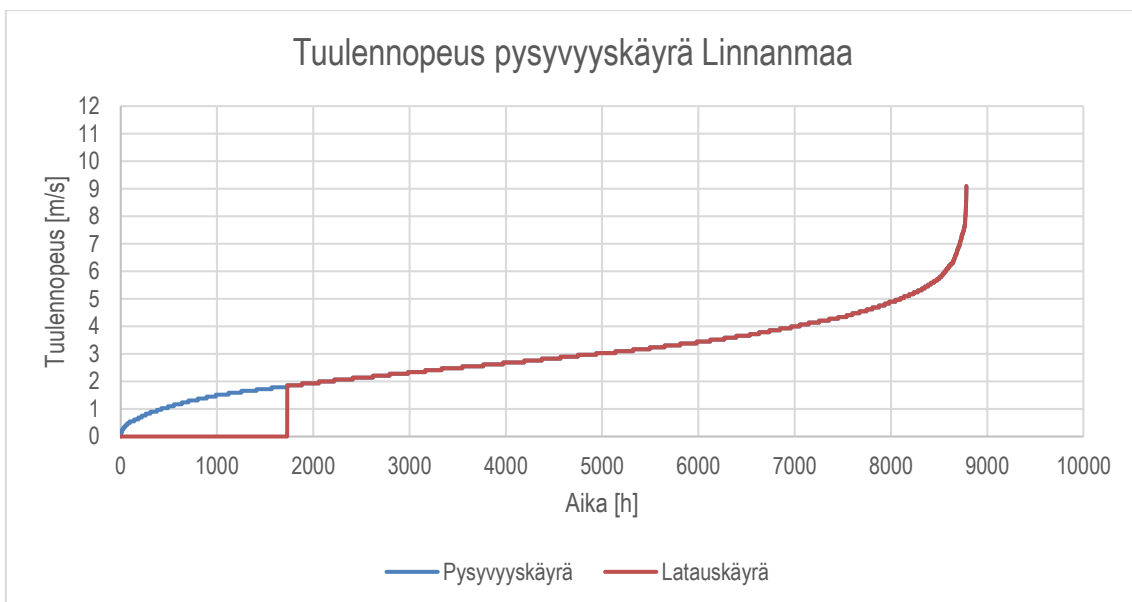
$$P_{Tuulivoima} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \eta \quad \text{KAAVA 4}$$

Tuulivoimasta saatava teho näillä korkeuksilla on maltillinen. Tuulivoimalan teho tuulidataa hyödyntäen on nähtävissä kuvassa 12.



KUVA 12. Vuoden ajalta pienoistuulivoimalasta saatava teho

Pitää huomioida, että tuulivoimalalla on myös käynnistämiseen vaadittavat tuulennopeudet. Kyseessä oleva tuulivoimala alkaa pyörimään 0,8 m/s tuulella ja kykenee aloittamaan energiantuotannon ja akkujen latauksen vasta 1,8 m/s tuulessa. (18, s. 6.) Datan avulla tehtiin pysyvyyskäyrä havainnollistamaan tuulennopeuksia vuoden ajalta, mikä on nähtävissä kuvassa 13.



KUVA 13. Tuulennopeuden pysyvyyskäyrä Oulun Linnanmaa kampusalueelta

Kuvasta 13 on nähtävissä, että noin viidenneksen vuodesta tuulennopeus on sen verran heikkoa, että pienoistuulivoimala ei pysty sitä hyödyntämään. Kuvasta on myös luettavissa, että vuoden aikana tuulennopeus ei noussut 10 metrin korkeudessa noin 9 m:ä/s korkeammaksi, jolloin nimellisteho tuottaviin lukemiin ei pääsisi vuoden aikana kertaakaan. Vuodesta 113 tuntia tuulennopeus ylittää 6,6 m/s ja ylemmäksi, jolloin tuulivoimalan teho olisi 100 W tai enemmän.

Tästä huolimatta tuulivoimala on hyvä havainnollistamaan hybridienergiajärjestelmää ja pystyy vuoden aikana tuottamaan jonkin verran energiaa. Sen lisäksi kyseessä olevalle tuulivoimalalle tulisi käyttötarkoitus, koska tähän asti se on pysynyt käyttämättömänä.

### 3.1.3 Polttokenno

Hybridijärjestelmässä polttokenno olisi paikkaamassa uusiutuviin energiantuotantomuotoihin perustuvia heikkouksia. Polttokennolla pystyy tuottamaan energiaa silloin kun aurinko- tai tuulivoimalla ei saa tuotettua energiaa. Polttokenno voi järjestelmässä toimia myös varatehona suuren kuorman hetkinä, jolloin akustoa saadaan ladattua tehokkaammin muiden energiantuotantomuotojen rinnalla. Polttokenno tarvitsee polttoainetta, jonka vuoksi vetoalustan tilavaraukseen täytyy itseen lisäksi huomioida myös polttoainesäiliö. Riippuen polttokennon käytön laajuudesta voi myös olla tarve erilaisille polttoainesäiliökokonaisuuksille, joihin voidaan ketjuttaa useita polttoainesäiliöitä, mutta suunnittelussa ajateltiin laitteeseen olevan yhdistettynä vain yksi polttoainesäiliö.

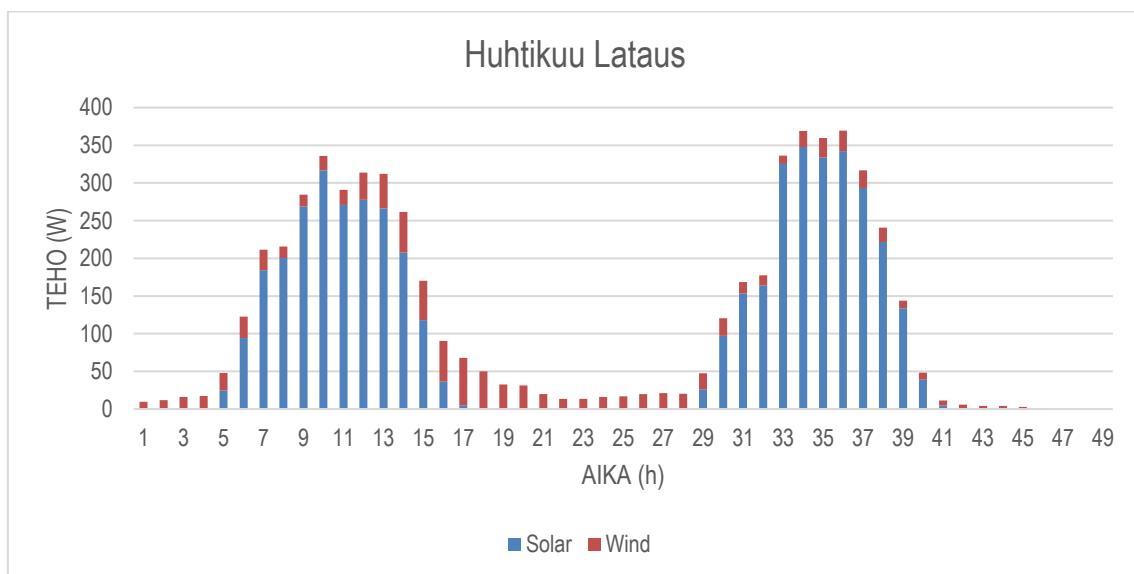
Polttokennoksi suunniteltiin EFOY:n valmistamia polttokennoja. EFOY valmistaa metanoli- ja vetykäyttöisiä polttokennoja. Polttokennoratkaisu on EFOY:lta saatavissa laajassa skaalassa. Pienin polttokenno on teholtaan 40 W, mikä on tarkoitettu pieniin kuormiin ja väliaikaiseen käyttöön, kun suuriin polttokennoratkaisu voi olla 50 kW, jossa hyödynnetään useampaa 2,5 kW vetykennoa. EFOY:n tuotteet ovat suunniteltu moniin erilaisiin käyttötarkoituksiin sekä -kohteisiin, mikä lisää varmuutta polttokennon yhteensopivuudesta ja kestävydestä suunniteltavaan hybridienergiajärjestelmään. (20.)

Polttokennoksi valittiin EFOY Pro 2800 125 W-malli (liite 2). Polttokenno valittiin sen tehon perusteella. Vaikka polttokennolla itsellään ei järjestelmää nopeasti pysty ladata täyteen lataukseen, voidaan 125 W latausteholla hidastaa akkujen tyhjenemistä käytön aikana kuormien ollessa kytket-

tyinä. Muiden energiantuotantomuotojen ollessa aktiivisia aurinkoisena ja tuulisena päivänä akusto-  
tojen latausta voidaan tarvittaessa nopeuttaa hyödyntämällä polttokennoa. Kyseessä oleva poltto-  
kenno käyttää polttoaineena metanolia, ja sen kulutus on 0,9 l/kWh (21). Käyttämällä polttokennoa  
nimellisteholla 8 tuntia vuorokaudessa riittäisi yksi 5 l polttoainesäiliö melkein kuuteen käyttöpäi-  
vään. Polttoainesäiliöitä on saatavissa koissa 5, 10, 28 ja 60 litraa ja suuremmilla tai useamman  
valinnalla järjestelmän autonomista käyttöaikaa on pidennettävissä. (20.)

### 3.1.4 Akusto

Hybridijärjestelmän akusto valittiin siten, että siitä riittäisi energiaa vuorokauden käyttöön ja että se  
olisi täydessä latauksessa hybridijärjestelmän energiantuotantomuotoja hyödyntäen noin kahden  
päivän aikana. Akuston latausta ja purkua laskettiin työn aikana käytetyn datan avulla. Hybridijär-  
jestelmän akuston kokonaiskapasiteettia suunniteltiin datan kautta siten, että datavuodesta haettiin  
satunnaisia ajanjaksoja, josta tarkasteltiin yhden ja kahden vuorokauden aikana saatavaa energia-  
määrää, esimerkkinä kuva 14.



KUVA 14. Energiantuotanto kahdelta vuorokaudelta huhtikuussa

Kuvassa 14 näkyy yksi tarkastelujakso datavuodesta huhtikuulta. Tarkastelukohtia tehtiin useampi  
satunnaisella otannalla vuoden ajalta. Kuvassa olevasta jaksosta laskettiin järjestelmän yhteinen  
tuotanto, tulokset esimerkkitarkastelujakson tuotannosta taulukossa 3. Tarkastelujen perusteella määri-  
tettiin suuntaa antavasti hybridijärjestelmän akuston kapasiteetti.

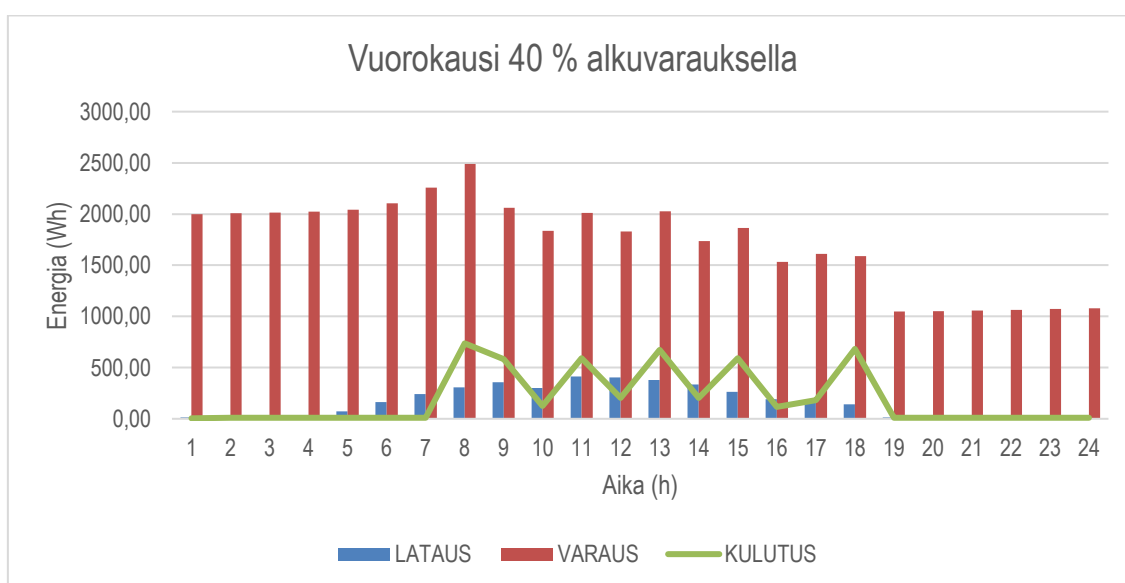
TAULUKKO 3. Tarkastellun ajanjakson energiantuotanto

	Aurinko (Wh)	Tuuli (Wh)	Yhteensä
1 vrk	2270,59	702,38	2972,97
2 vrk	4752,65	1006,98	5759,63

Kahden vuorokauden ajalta tulokset olivat tarkastelujaksoissa noin 3 800–5 800 Wh. Tulosten perusteella haettiin myynnissä olevia akkuja ja vertailtiin erilaisia akkutyyppejä. Potentiaaliseksi vaihtoehdoksi muodostui MG High Energy Lithium-ion Battery 200 Ah 24 V (Liite 3).

Litiumakkujen positiivisia puolia hybridijärjestelmän kannalta ovat hyvä liikuteltavuus, huoltovapaa käyttö sekä pitkä kestävyys. Li-ioni akut kestävät lataussyklejä paremmin kuin esimerkiksi AGM-akut sekä vastaanottavat enemmän virtaa. Litiumakut ovat myös kevyitä verrattuna esimerkiksi lyijyakkuihin. Litiumakut ovat muihin akkutyyppeihin verrattuna huomattavasti huolettomampia. (22.)

Akun valittua pystyttiin tarkastelemaan miten akun varauksen taso käyttäytyisi hypoteettisessa tilanteessa energiantuotannon kanssa. Tarkasteluun haettiin vuoden datasta vuorokausi, joka olisi tilanteessa niin sanotusti tapahtumapäivä. Valittu akku olisi 40 % varauksessa vuorokauden alussa ja järjestelmä aktiivinen, eli aurinkopaneeli ja tuulivoimala pystyvät tuottamaan energiaa olosuhteiden niin salliessa. Tilanne on kaaviolla esitetty, mutta antaa silti kuvan hybridijärjestelmän toiminnasta sekä valittujen komponenttien tehojen riittävydestä. Kuvassa 15 on kaavio akuston varauksen tilasta vuorokauden aikana.



KUVA 15. Vuorokausi 40 % akuston alkuvarauksella vaihtelevilla kuormilla

Kuvasta 15 on nähtävissä, että akun varaus pysyisi hybridijärjestelmässä hyvällä tasolla vuorokauden aikana. Vuorokauden lopussa, kun aurinkovoimalan tuotanto heikkenee, alkaa akun varauksen taso laskemaan. Järjestelmässä kuvan esittämänä vuorokautena kaikki energiantuotantomuodot olivat aktiivisia ja polttokenno oli käytössä nimellisteholla kello 8–17. Tarkasteltavassa vuorokaudessa tuulennopeus vaihteli 3–6 m/s ja aurinkovoimalan piikkiteho vuorokauden aikana oli 270,1 Wp. Kaavio on esitettyä numeroina liitteessä 4.

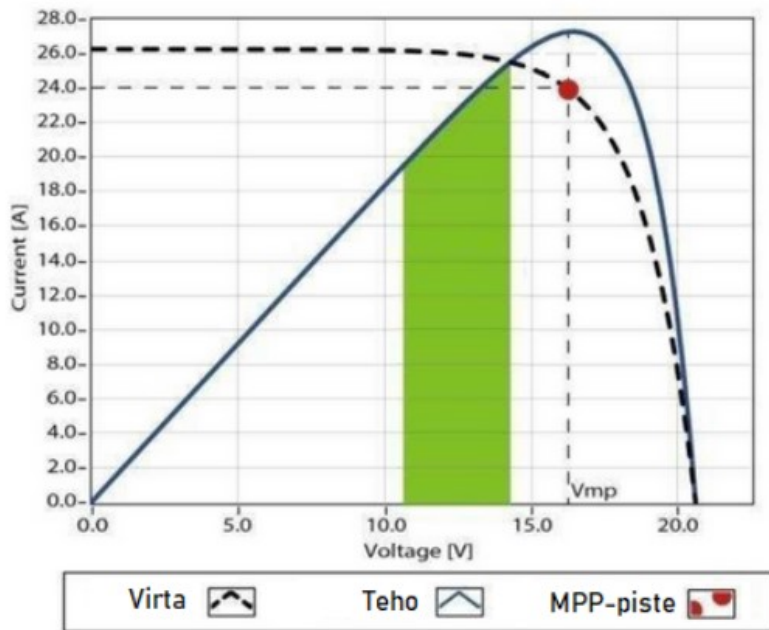
Järjestelmä ei jaksaisi ylläpitää varauksen tasoa, jos saman vuorokauden alussa akun varaus olisi ollut alle 10 %. Tästä syystä akun valvontaan on hyvä asettaa purkurajaksi esimerkiksi 20–30 %, jolla varmistettaisiin järjestelmän toimivuus keväisenä-kesäisenä päivänä hyvien ilmaolosuhteiden aikana järjestelmää käytettäessä.

### **3.1.5 Automaatiikka**

Hybridijärjestelmään tarvitaan aurinko- ja tuulivoimalalle lataussäätimet. Lataussäätimien tehtävänä on huolehtia järjestelmän tuotannosta ja latauksesta. Lataussäätimet muuntavat järjestelmän energiantuotannon akustoille sopivaksi ja valvovat akun tilaa, ettei akustoa yli ladata tai liiaksi tyhjennetä. Näin akustoa suojataan, taaten järjestelmälle pitempi käyttöikä. (23.)

Lataussäätimiä on Maximum power point tracking (MPPT) tai Pulse-width Modulation (PWM) malleja. PWM-lataussäätimet ovat vanhempia eivätkä yleensä kestä yli 30 V latausjännitteitä, minkä vuoksi tarkasteltiin pääsääntöisesti MPPT-malleja. MPPT-lataussäätimet ovat hyötysuhteiltaan korkeampia, koska ne seuraavat tehokäyrää, jonka mukaan lataussäädin voi laskea jännitteen akustolle sopivaksi nostamalla latausvirtaa. Kuvassa 16 on esimerkki lataussäätimien toiminnasta, kun kyseessä on 12 V:n järjestelmä. Kuvassa vihreä alue esittää PWM-lataussäätimen hyödynnettävissä olevaa toiminta-aluetta ja punainen piste maksimi tehopistettä. (23.)





KUVA 16. Aurinkopaneelin tehokäyrä, PWM-säätimen toiminta-alue ja maksimitehopiste (23)

Paneelin tuotannon kannalta maksimi tehoa tuottava piste,  $U = 16 \text{ V}$ ,  $I = 24 \text{ A}$ , jää PWM lataussäätimen toiminta-alueen ulkopuolelle jättäen toiminta-alueen ylittävän jännitteen pois heikentäen järjestelmän hyötysuhdetta. Paneelilta saatava maksimiteho esimerkkitapauksessa on  $384 \text{ W}$ , mikä laskettiin kaavalla 5. (23.)

$$P = U * I$$

KAAVA 5

jossa  $U$  on jännite,  $I$  on virta.

Jos akusto olisi ladattavissa  $14,5 \text{ V}$ :n jännitteellä, lataisi PWM lataussäädin akustoa teholla  $14,5 \text{ V} * 24 \text{ A} = 348 \text{ W}$ . PWM lataussäädin ei nosta virtaa siinä missä MPPT-lataussäädin nostaisi ladaten akustoa teholla  $14,5 \text{ V} * 26,48 \text{ A} = 384 \text{ W}$ . MPPT-säätimet pystyvät nostamaan virtaa lähes häviöittä, minkä ansiosta hyötysuhteet ovat korkeampia. (23.)

Yksi lataussäädin ei välttämättä sovellu kaikkiin tarkoituksiin. Aurinko- ja tuulivoimaloille on omat lataussäätimet. Tuulivoimalan lataussäädin valvoo järjestelmää hallitsemalla tuulivoimalalta saatavaa tehoa. Lataussäädin suojaa järjestelmää esimerkiksi jänniteputoamisilta ja ylikuormitukselta sekä tuulivoimalaa itseään jarruttamalla myrskyjen aikana. Tuulivoimaloille tarkoitettua lataussäädintä ei voi käyttää aurinkovoimalalle pääsääntöisesti siksi, että tuulivoimala tuottaa vaihtovirtaa (AC), kun aurinkovoimala tuottaa tasavirtaa (DC). (24.)

Hybridijärjestelmään valittiin Istepower 24 V 800 W + 600 W -hybridilataussäädin. Näin molemmat energiantuotantomuodot voidaan liittää yhteen komponenttiin, johon on rakennettu kummankin lataussäätimen toiminta. Lataussäätimeen voi kytkeä maksimissaan 800 W tuulivoimalan sekä 600 W aurinkovoimalan. Järjestelmäämme valituille komponenteille kyseinen lataussäädin on oikean kokoinen ja antaa myös varaa muokkauksille tulevaisuudessa. Lataussäädin on rakennettu kestävään sähkökaappiin, joka luo tekniikalle kestävämmät olosuhteet peräkäräykäyttöön. Lataussäädin sisältää kuormitusvastuksen, jonka avulla järjestelmää voidaan suojata tuulivoiman ylituotannolta. (25.)

### **3.1.6 Vetoalusta**

Hybridijärjestelmästä haluttiin liikuteltava, että sitä kykenisi kuljettamaan tarpeen mukaisesti. Peräkärä on huomattavasti kustannuksiltaan halvempi ratkaisu verrattuna esimerkiksi hybridijärjestelmän rakentamista pakettiauton yhteyteen sekä tehtävänannon yhteydessä hybridijärjestelmä ajateltiin liitettäväksi peräkäräyyn. Laittevalintoja tehtäessä laitteiden fyysiset koot otettiin huomioon, minkä perusteella etsittiin järjestelmälle sopiva kärä vetoalustaksi.

Hybridijärjestelmäkokonaisuus mahtuisi esimerkiksi Muuli 1500 L peräkäräyyn. Kyseessä oleva peräkärä on kooltaan tyyppillinen, henkilöautolla vedettävä peräkärä. Suunniteltu järjestelmä ei ylitä käräyyn painorajoituksia sekä järjestelmää saisi vetää B-luokan ajokortilla. Peräkäräyyn on saatavilla kuomu, jonka voisi kiinnittää kuljetusten ajaksi. Peräkäräyyn ominaisuuksista huomioitavia on irrotettavat laidat, kippi sekä nokkapyörä. Peräkäräyyn lavan pohja on vaneria, mikä helpottaisi hybridijärjestelmän komponenttien kiinnittämistä rakenteeseen sopivaksi nähdyillä kiinnikeratkaisuilla. (26.)

### **3.2 Kuormat**

Hybridijärjestelmään on asennettavissa erilaisia kuormia tarpeen mukaan. Invertterin avulla järjestelmästä saadaan 230 V ulostulo, johon voi kytkeä erilaisia laitteita sen hetkisen tapahtuman tai tehtävän mukaisesti. Hybridijärjestelmään valittiin Victron Energy:n Phoenix 24 V 1200 VA invertteri (liite 5). Järjestelmää tarkasteltiin useilla eri tehoisilla kuormilla, jonka vuoksi invertteriksi valittiin

tehokas malli ( $P_{PEAK} = 2200 \text{ W}$ ), joka kestäisi näitä kuormituksia. Invertteristä on saatavissa jatkuvalla syötöllä 850 W. (27.)

Laskuihin kuormat valittiin kokemuksen kautta sen mukaan, mitä tapahtumissa esittelypisteet tarjoavat, mikä voisi saada ihmiset kiinnostuneeksi ja mikä saa ihmiset todennäköisemmin jäämään esittelypisteelle kuuntelemaan. Kuormina käytettiin 1550 W:n kahvinkeitintä/perkolaattoria, 800 W:n mikroa, 65 W:n kaiuttimista näyttöä, 65 W laitelatauksia, 90 W:sta kannettavan tietokoneen laturia sekä 50 W:n kylmälokeroa. Tarjottavat, sekä vierailijoille omien laitteiden latausmahdollisuus esittelyn ja keskustelun ajan lisäävät pysyvyyttä vierailijoille.

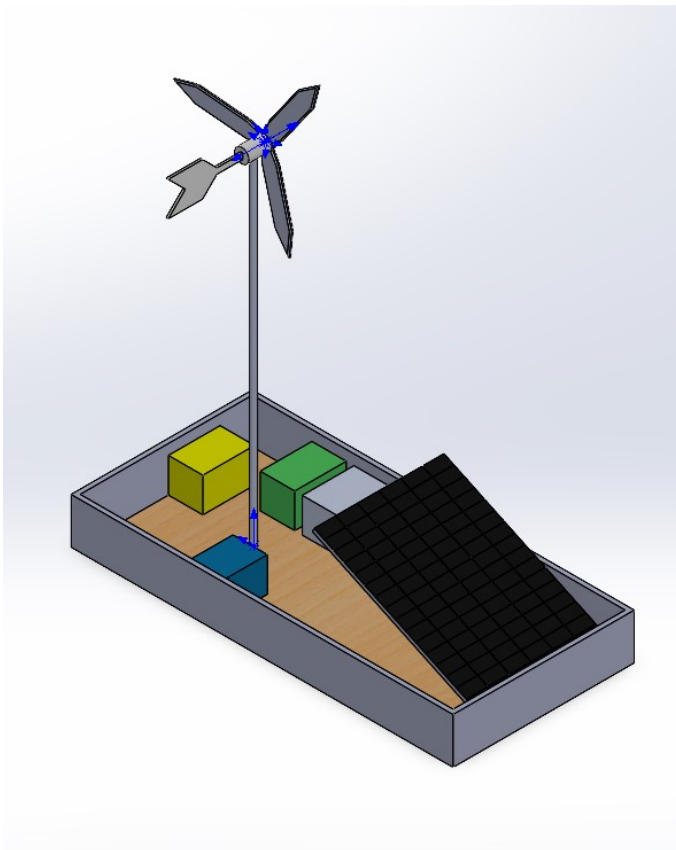
Järjestelmään voi asentaa kuormitusvastuksen (dumpperin), jonka avulla järjestelmää suojataan yllilataukselta sekä tarvittaessa tyhjentääkseen akuston varaus. Valittu lataussäädin sisältää dumpperin, jolla suojataan järjestelmää siihen kytkettyjen laitteiden ylituotannolta. Lataussäätimen kuormitusvastus kytkeytyy/kytketään päälle, kun järjestelmän akusto on täynnä ja lataussäädin kytkee latauskuorman pois. Ilman kuormitusvastusta tuulivoimalla tässä kohtaa pyöriisi kuormatta ja voisi esimerkiksi tuulenpuuskien takia saavuttaa hallitsemattoman nopeuden, joka voisi aiheuttaa tuulivoimalalle mekaanisia vahinkoja. Jos akuston varaus putoaa ja lataussäädin kytkisi akuston takaisin ladattavaksi tuulivoimalan pyöriessä liian nopeasti, tuulivoimalaan kohdistuva äkillinen nopeuden hidastuminen voisi myös vahingoittaa laitetta. (28.)

## 4 3D-MALLI, KAAVIOT JA TOIMINTASELOSTUS

Komponenttien tunnistamisen jälkeen pystyttiin luomaan tuotteiden mitoiltaan oikea mallinnus tärkeimmistä osista. Mallinnukset tehtiin Solidworks-ohjelmaa käyttäen. Järjestelmää mallinnettaessa tarkoituksena oli hahmottaa järjestelmän kokoa sekä tilankäyttöä, ei niinkään luoda tuotteista tarkkoja detaljikuvia. Tässä luvussa käydään läpi luotuja mallinnuksia, huomioita mallinuksiin liittyen, kytkentäkaaviota ja käyttöön liittyviä ohjeita kytkentäkaavion perusteella.

### 4.1 Versio 1

Ensimmäisessä mallinnuksessa valituista kappaleista luotiin tuotteiden kokojen mukaiset kappaleet ja yhdistettiin ne kokoonpanoksi. Malli on nähtävissä kuvassa 17.



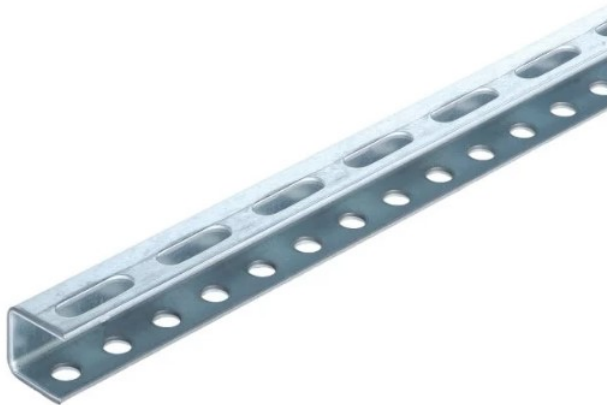
KUVA 17. Ensimmäinen versio hybridijärjestelmästä

Kuvassa 17 on nähtävissä mallinnettu kärry, aurinkopaneeli, tuulivoimala sekä neljä eri väristä objektia, jotka kuvastavat akustoa, polttokennoa, polttokennon polttoainesäiliötä sekä lataussäädintä. Mallinnuksesta herääviä huomioita on esimerkiksi tuulivoimalan korkeus. Korkean tuulivoimalan

rakenteen vuoksi olisi epäkäytännöllistä kuljettaa sitä kokonaisena. Tästä syystä yksi mahdollisuus olisi rakentaa salko itse ja tehdä siitä koottava tai teleskooppinen, jolloin tuulivoimalan salko olisi tarpeen mukaan kasattavissa ja purettavissa. Salon osat voisi säilyttää kääryssä sille tehdyssä tilassa tai vetoautossa. Kokonsa vuoksi itse tuuliturbiinista kannattaisi kuljetuksen ajaksi purkaa siivet, jotta turbiinin/generaattorin rakenne ei vahingoitu kuljetuksessa.

Tuulivoimalan sijoituksessa kannattaa ottaa huomioon aurinkopaneeli, että tuulivoimala ei aiheuttaisi varjostusta paneeleille. Tuulivoimalan jalkarakenteen voisi sijoittaa esimerkiksi vetoalusta taakseen, ja paneeli etuosaan. Näin asennettuna paneeleille ei muodostuisi varjoa, kun vetoalustasta irrotettaisiin/laskettaisiin myös etulevy.

Kuvassa näkyvälle aurinkopaneelille täytyisi rakentaa jonkinlainen nostomekanismi, jotta paneeli voitaisiin nostaa optimaaliseen kulmaan. Paneeleissa on useita kiinnitysmahdollisuuksia ja jonkinlainen kiskomekanismi voisi olla kätevä tähän tarkoitukseen. Paneeli nostettaisiin haluttuun kulmaan, ja kiskon voisi lukita sokalla haluttuun asentoon. Kuvassa 18 on nähtävissä suunnitelman mahdollistava U-kisko.



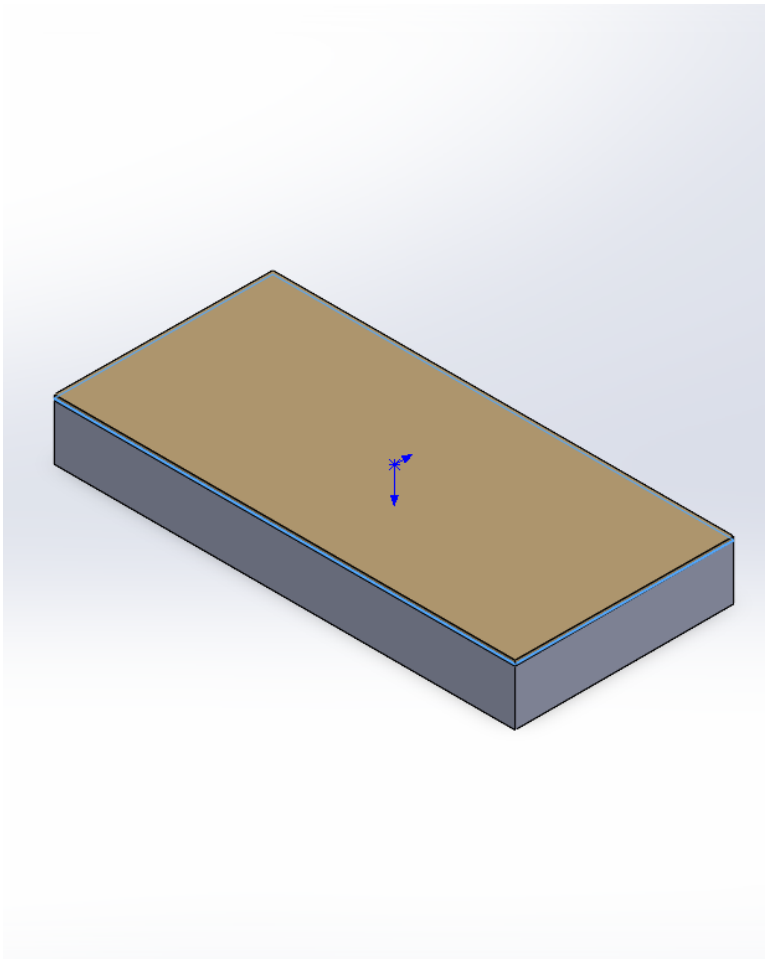
*KUVA 18. 30 mm U-kisko (29)*

Kuvan 18 mukaiset kiskot asennettaisiin vetoalustaan pohjalle ja paneeliin kääntöpuolelle, milloin kiskojen keskelle asennettaisiin liikuteltava nostotanko, joka olisi lukittavissa sokalla kiskojen rei'istä.

Tämä olisi helppo ratkaisu toteuttaa sekä nopeasti liikuteltava ja paneeli olisi kuljetuksen ajaksi lukittavissa luotettavasti.

Mallinnuksesta on huomattavissa, että kääryssä on myös ylimääräistä tilaa. Järjestelmään jo valittujen komponenttien lisäksi kääryyn voi tehdä eri tarvikkeille kuljetuksen aikaiset säilytyspaikat, jolloin esimerkiksi tuulivoimalan osia ei tarvitsisi kuljettaa vetoautossa. Yksi vaihtoehto on skaalata järjestelmää suuremmaksi käyttötarpeiden mukaisesti, esimerkiksi kasvattaa akuston kapasiteettia tai tuoda uusia järjestelmiä lisäksi.

Kuva 19 näyttää, millainen hybridijärjestelmä olisi, kun siihen tehty kansirakenne olisi kiinni. Mallinnuksen kansirakenteeksi ajateltiin olevan itsetehty levykansi eikä kuomu, josta tarkemmin luvussa 4.2.

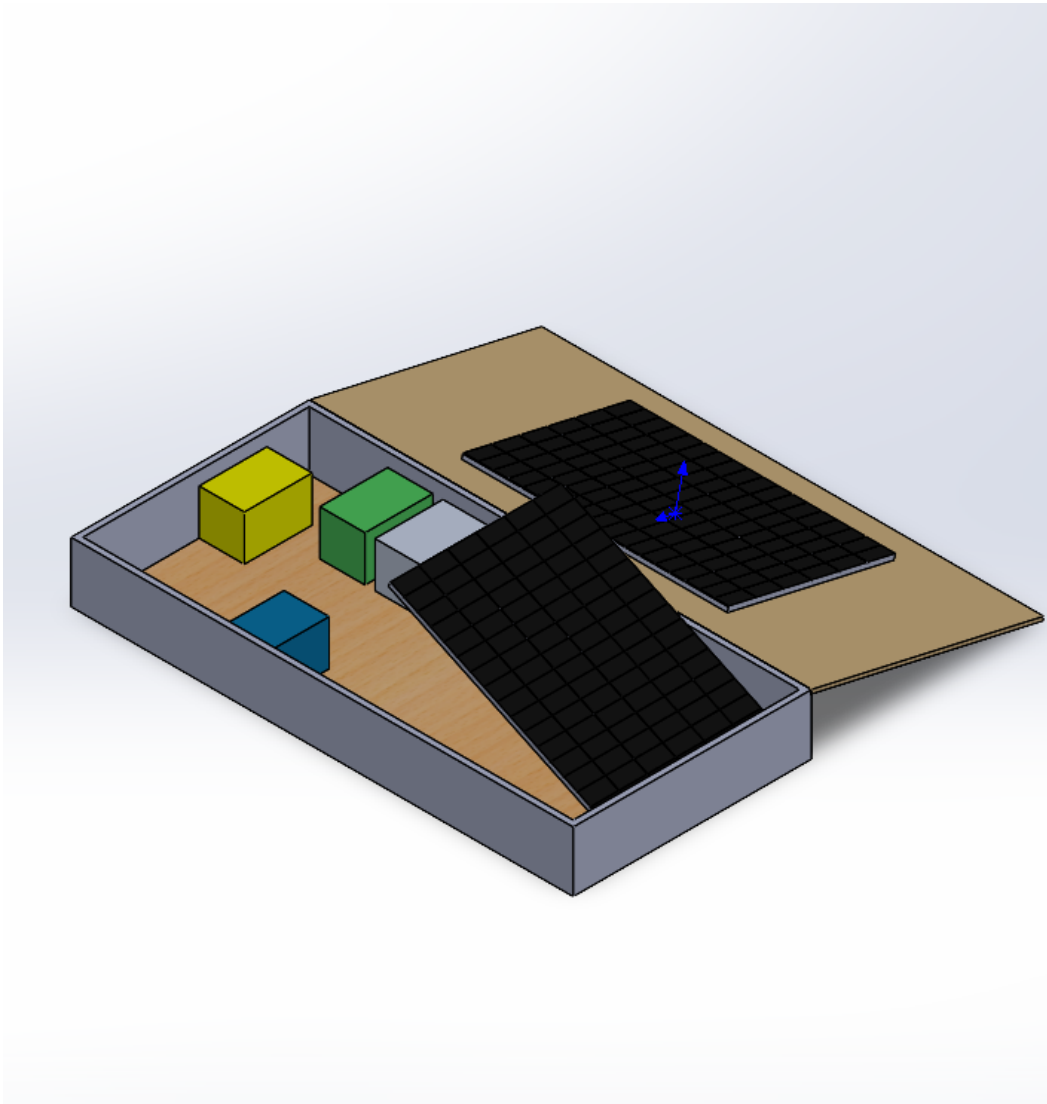


*KUVA 19. Hybridijärjestelmä pakattuna ja kansi kiinni*

Kansirakenne olisi rakennettavissa esimerkiksi vanerilevystä. Materiaaliin olisi helppo tehdä haluttuja merkintöjä tai kiinnittää kylttejä tai muita komponentteja.

## 4.2 Versio 2

Mallinnettaessa hybridijärjestelmään kansirakennetta heräsi idea, kuinka järjestelmän tuotantokapasiteettia olisi helppo kasvattaa, jos tällaiselle olisi tarvetta. Tasaiseen kansirakenteeseen pystyisi asentaa sisäpuolelle ylimääräinen aurinkopaneeli, mitä kuva 20 esittää.



KUVA 20. Toinen versio hybridijärjestelmästä

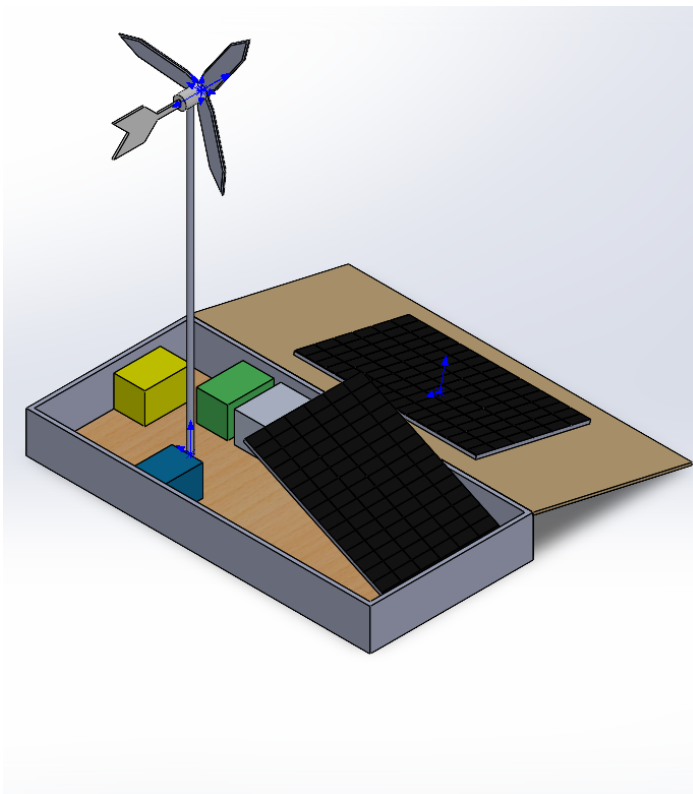
Kasvattamalla hybridijärjestelmän tehoa kuvassa esitetyllä tavalla, aurinkoenergian kapasiteetti nimellisesti tuplaantuisi. Kannessa olevalla paneelilla ei kuitenkaan pystyisi tuottamaan energiaa yhtä paljon kuin pääpaneelilla jos paneeli asennettaisi kiinteästi pysymään vain yhdessä asennossa. Paneelin kannattaisi olla monikiteinen, jotta se pystyisi paremmin hyödyntämään auringon hajasäteilystä saatavaa energiaa. Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, vetoalustassa riittää

tilaa kasvattaa komponenttien määrää ja kokoa, joka olisi edessä aurinkopaneeleja lisäämällä. Järjestelmään valittu lataussäädin sallii siihen kytkettyjen aurinkopaneelien olevan maksimissaan 600 W, eli lataussäätimelle täytyisi löytää korvaaja.

Lataussäätimen lisäksi myös akuston kapasiteetin kasvattaminen voisi myös olla hyödyllistä, antaen hybridijärjestelmälle uusia mahdollisuuksia eri käyttötarpeisiin. Paneeleja voisi myös lisätä kannen ulkopuolelle, jolloin hybridijärjestelmää voisi ladata esimerkiksi kuljetuksen aikana tai suojassa sääolosuhteilta.

### 4.3 Versio 3

Toinen versio keskittyi lähinnä vetoalustan kannen mahdollisesti tuomiin hyötyihin tai mahdollisuuksiin, kolmannessa versiossa eri osat nidottiin yhteen, mitä kuva 21 esittää. Kansi, ja siihen mahdollisesti lisätyt komponentit, ei poista tai huononna tuulivoimalan hyödyntämistä hybridijärjestelmässä.



KUVA 21. Kolmas versio hybridijärjestelmästä

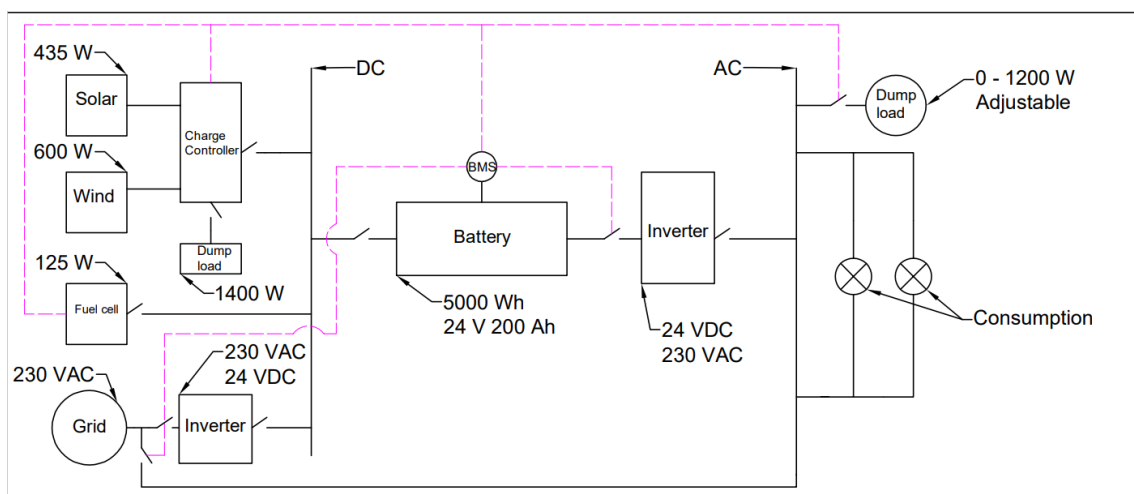
Kuvassa 21, kuin myös aiemmissa hybridijärjestelmän mallinuksissa, komponenttien sijaintien ei tarvitse olla juuri niiden paikoilla. Mallinuksissa haettiin komponenteille mahdollisia sijainteja,



joissa aurinkopaneelit voisivat toimia optimaalisesti ilman tuulivoimalan luomaa varjoa. Hybridijärjestelmää rakennettaessa komponenttien lopulliset sijainnit voivat olla eroavat myös kaapeloinnin helpottamiseksi.

#### 4.4 Järjestelmäkaavio ja toimintaselostus

Hybridijärjestelmästä luotiin kaavio, joka on nähtävissä kuvassa 22. Kaavion avulla voidaan havainnoida toimintakertomusta ja tarkastella järjestelmää taseena. Kaaviosta on nähtävillä myös hybridijärjestelmän ohjaukseen liittyviä tekijöitä. Violetti katkoviiva havainnollistaa ohjauksia.



KUVA 22. Energiakaavio

Hybridijärjestelmän akustoa ladatessa, kun kulutusta ei ole ja käyttötarpeita ei ole lähiaikoina, kannattaa hyödyntää pelkästään järjestelmän aurinko- ja tuulivoimaa. Näin lataaminen ei kuluta polttokennolle varattua polttoainetta eikä verkosta tarvitse ottaa sähköä, joka maksaisi. Vaikka polttokenno on kytkettynä hybridijärjestelmässä, voidaan se asettaa kiinni, jolloin polttokenno ei akuston hetkisen matalan varauksen vuoksi ala sen asetusarvoista riippumatta lataamaan. Akustoa voidaan aurinko- ja tuulivoiman avulla ladata 1035 W nimellisteholla. Akuston lataamisesta huolehtii lataussäädin, joka tarkkailee akuston tilaa. Akuston saavutettua täysi varaus lataussäädin lopettaa akuston lataamisen ja ohjaa ylimääräisen energian lataussäätimen 1400 W kuormitusvastukselle. Vaihtoehtoisesti järjestelmä voitaisi ohjata käyttämään vaihtovirtapuolen kuormitusvastusta tai ohjata verkkokytkennän kautta käytettäväksi sähköverkossa.

Kun hybridijärjestelmällä on vaihtelevaa kuormaa, voidaan järjestelmää käyttää kuten aiemmassa kappaleessa on kerrottu, mutta sen lisäksi polttokenno voidaan kytkeä päälle. Hybridijärjestelmän polttokenno tarkkailee lataussäätimen tavoin akuston tilaa. Nyt polttokenno voi toimia asetusarvo- jensa mukaisesti aloittaen latauksen esimerkiksi akuston varauksen laskiessa 20 %:n. Nyt hybridijärjestelmän akustolle saatavilla oleva nimellisteho on 1160 W. Jos käyttöpuolen kulutus vähenee tai loppuu, kun akuston varaus on esimerkiksi 60 %, jatkaa polttokenno lataamista siihen asti, kunnes latauksen pysäyttävä asetusarvo on saavutettu, esimerkiksi 80 %. Akusto jatkaa latautumista 80 %:n kohdalla täyteen varaukseen aurinko- ja tuulivoiman avulla. Kun akusto saavuttaa täyden latauksen, lataussäädin katkaisee syötön akustolle ja ohjaa aurinko- ja tuulienergian lataussäätimen kuormitusvastukselle. Ylimääräinen energia voidaan myös ohjata kulutuspuolen kuormitusvastukselle tai verkkoon käytettäväksi.

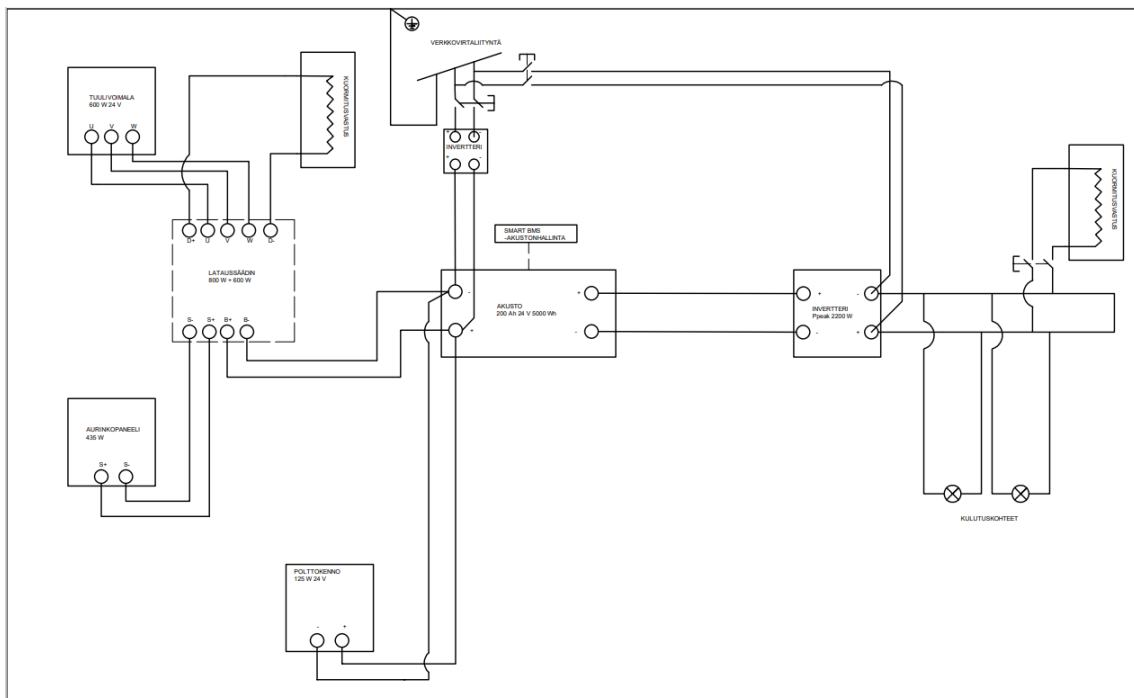
Kun hybridijärjestelmällä on jatkuvaa, lataustehon ylittävää kuormaa, jolloin akuston varaus laskee latauksesta huolimatta, voidaan hybridijärjestelmän käyttöä jatkaa normaalisti tiettyyn pisteeseen. Jos akuston varaus laskee todella matalaksi, noin 10 %, on suositeltavaa pysäyttää akustolta käyttöpuolelle tuleva syöttö, jolloin akustoa voidaan ladata tehostetusti ilman kulutusta, ja käyttötoiminta voidaan pitää käynnissä verkkovirran kautta. Hybridijärjestelmän verkkokytken kautta voidaan ohjata sähköä joko suoraan käyttöpuolelle, akustolle tai molemmille. Akuston varausta ei kannatta päästää liian matalaksi, jolloin uhkana on akuston syväpurkaus, joka vahingoittaa akustoa. Verkko-liitynnän avulla voidaan varmistaa tarpeen mukainen jatkuva toiminta hybridijärjestelmään kytkeville käyttölaitteille ja suojata akustoa. Ohjaamalla hybridijärjestelmä ottamaan käyttöön verkkovirtasyötön tarpeeksi aikaisessa vaiheessa käyttöpuolen toiminnat ei katkea akustonhallintajärjestelmän katkaistessa syöttö akulta käyttöpuolelle.

Tilanteessa, jossa hybridijärjestelmä halutaan sammuttaa siten, että järjestelmä ei kuluta eikä lataa, aloitetaan järjestelmän pysäytys avaamalla kulutuspuolen syöttö. Tämän jälkeen lataussäätimen jarru käännetään Brake-asentoon. Näin tuulivoimalan tuotanto saadaan pysäytettyä turvallisesti. Tämän jälkeen lataussäätimen johdonsuojakatkaisijat voidaan asettaa OFF-asentoon. Nyt aurinkopaneeli ei tuota ja tuulivoimala ohjaa sen hetkisen tuotannon lataussäätimen kuormitusvastukseen. Polttokenno voidaan manuaalisesti pysäyttää sen hallintapaneelistä, jolloin polttokenno ei enää seuraa sille annettuja asetusarvoja. Jos järjestelmä on kytketty yhtäaikaisesti verkkoon, avataan verkkovirran invertterille ja kulutuspuolelle menevät katkaisijat ja irrotetaan hybridijärjestelmään tuleva pistoke. Nyt järjestelmä voidaan purkaa. Lasketaan tuulivoimala ja asetetaan aurinko-

paneelin päälle peittävä suoja. Jos järjestelmälle tarvitsee tehdä sähkötöitä, erotetaan akusto molemmin puolin ja huolehditaan, että eri järjestelmien kytkennät ovat erotettuina, jolloin järjestelmä on jännitteetön ja sähkönsyöttöä ei ole mistään suunnasta.

#### 4.5 Kytkennät ja käyttöönotto

Hybridijärjestelmästä tehtiin kytkentäkaavio, joka on nähtävissä kuvassa 23. Energiakaaviota sekä valittujen komponenttien manuaaleja hyödyntäen pystyttiin luoda hybridijärjestelmän käyttöönotosta ohjeita. Kytkennät ja merkinnät voivat poiketa lopullisessa tuotteessa.

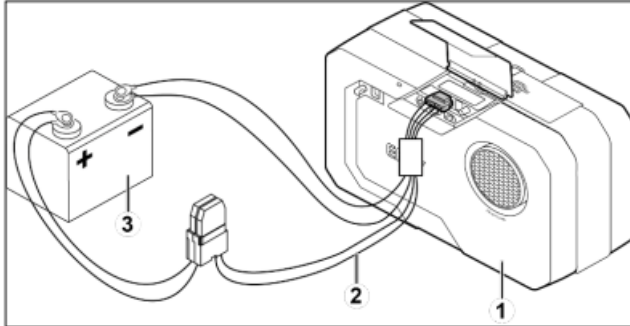


KUVA 23. Hybridijärjestelmän kytkentäkaavio

Hybridijärjestelmän aurinkopaneeli sekä tuulivoimala kytketään lataussäätimen niille osoitettuihin paikkoihin, aurinkopaneeli napoihin S+ ja S- ja tuulivoimala napoihin U, V ja W. Laittevalmistaja on valmiiksi kytkenyt lataussäätimessä olevan kuormitusvastuksen. Akustolle menevät johdot kytketään lataussäätimen johdonsuojakatkaisijoihin Battery + ja – napoihin. Järjestelmä voi tässä vaiheessa alkaa lataamaan akustoa, jos johdonsuojakatkaisijat ovat ON-asennossa.

EFOY-polttokenno kytetään suoraan akustoon. Polttokennon mukana tulee tarvittavat johdot, jotka järjestelmämme tapauksessa kytetään kuvan 24 mukaisesti.

### 6.3 Connection directly at the battery



- (1) EFOY fuel cell
- (2) Charging cable
- (3) Battery

KUVA 24. Polttokennon kytkentämalli (30)

Johdinpaketti kytetään polttokennon liitinpiisteeseen. Johtimia on neljä, Power + ja – sekä Sense + ja -. Power ja Sense -miinusjohtimet kytetään akustoon suoraan. Power ja Sense -plusjohtimet kytetään ensin laitteen mukana tulevaan sulakerasiaan, jonka kautta plus johtimet viedään akustolle. Kytkettäessä laite päälle ensimmäistä kertaa laitteessa on tehdasasetuksina litiumakuille tietyt lataukseen liittyvät raja-arvot. Lataus käynnistyy, kun akuston varaus on 20 %, pysähtyy kun varaus on 80 % ja akuston syväpurkauksen esto on 10 %. Arvoja voi muuttaa halutessaan sekä laitteen voi sulkea ja käynnistää manuaalisesti. (30.)

Hybridijärjestelmää liittäessä verkkovirtaan liittynän ja akuston välillä on katkaisija, jonka ansiosta liityntäjohto voi olla kytkettynä järjestelmään koska tahansa ja se voidaan ottaa käyttöön tarvittaessa kytkimestä ohjauksella tai manuaalisesti. Verkkovirran jännite on muunnettava akustolle sopivaksi invertterissä, jonka jälkeen johdotus voidaan viedä akustolle.

Akustoon voidaan kytkeä halutessaan erilaisia akustonhallintajärjestelmiä. Näin akuston tilaa voi seurata valitun järjestelmän sallimin tavoin, kuten etäyhteydellä tai näytöltä. Valittuun akustoon kuuluu oma BMS (Battery Management System), josta näkee akustoa koskevia tietoja (31).

Ennen käyttökohteita jännite muunnetaan invertterissä akuston 24 voltista 230 volttiin. Invertteristä voidaan käyttökohteisiin ottaa jännite pistorasia liityntöjen kautta. Invertteri voidaan sulkea laitteesta itsestään, jolloin virran syöttö saadaan pysäytettyä käyttökohteille ilman että laitteiden virtajohtoja tarvitsisi erikseen irrottaa.

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella konseptitasoinen kokonaisuus hybridienergiajärjestelmästä, jossa hyödynnettäisi Oamkin omistaman tuulivoimalan lisäksi muitakin energiantuotantomuotoja. Suunniteltava järjestelmä olisi liikuteltava, ja sitä voisi käyttää erilaisiin käyttötarkoituksiin, kuten tapahtumiin, messuihin ja laboratoriotehtäviin. Hybridijärjestelmän suunnittelussa sähkön tuotanto on pääpainona, ja lämmöntuotantoon ei keskitytty.

Opinnäytetyössä luotiin konsepti hybridijärjestelmästä tunnistamalla sen tarvitsemat pääkomponentit. Lisäksi luotiin konseptitasoinen 3D-malli, jonka tarkoitus oli sovittaa valitut komponentit valittuun vetoalustaan. 3D-malli ei ollut tarkka detaljmallinnus, vaan mallinnuksessa keskityttiin komponenttien fyysisiin kokoihin, minkä vuoksi yksityiskohtaisemmat komponentit, kuten valittu polttokenno, ei ole tarkka malli todellisesta tuotteesta.

Opinnäytetyön ulkopuolelle jäi järjestelmän rakentaminen sekä alkuperäisen suunnitelman mukainen harjoitustehtävä Oamkin laboratoriokäyttöön. Oamk halutessaan pystyy jatkamaan työtä esimerkiksi luomalla kyseisen harjoitustehtävän sekä itse järjestelmän kokoonpanon opinnäytetöiksi. Harjoitustehtävä oli suunnitelmissa luoda ensimmäisen tai toisen vuoden opiskelijoille esimerkiksi sähkötekniikan mittauksiin liittyen. Työtä voi hyödyntää usean tutkinto-ohjelman eri harjoitustehtävissä tai kurssin sisältöä havainnollistamassa sekä erilaisissa tapahtumissa.

Työssä onnistuttiin luomaan konsepti peräkärjyvetoisesta hybridijärjestelmästä. Järjestelmä hyödyntäisi aurinko- ja tuulivoimaa sekä polttokennoa varatehona kuin myös puskurina suurille kuormituksille. Tämän lisäksi järjestelmä on kytkettävissä verkkoon jatkuvan toiminnan varmistamiseksi. Järjestelmän komponentteihin kuului niiden kaapeloinnit sekä muut kiinnikkeet, minkä vuoksi niihin ei paneuduttu opinnäytetyössä. Suunnitelma sisältää hybridijärjestelmän merkittävimmät komponentit sekä käyttöön liittyviä ohjeita konseptijärjestelmän toimintaan saamiseksi.

## LÄHTEET

1. Iberdrola 2023. Hybrid electric power: when combining renewables makes them stronger. Hakupäivä 26.4.2023. <https://www.iberdrola.com/innovation/hybrid-energy>.
2. Vattenfall 2023. Tuulivoima: Mitä tapahtuu, kun ei tuule? Hakupäivä 26.4.2023. <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/tuulivoima/>.
3. Suomen Tuulivoimayhdistys ry 2023. Tuulivoimatuotanto talvella. Hakupäivä 26.4.2023. <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietopankki/tuulivoimatuotanto-talvella>.
4. Solar Technologies 2022. Advantages and disadvantages of hybrid solar energy system. Hakupäivä 26.4.2023. <https://solartechnologies.com/advantages-disadvantages-hybrid-solar-energy-systems/>.
5. Motiva Oy 2022. Ylijäämänsähkön myynti. Hakupäivä 26.4.2023. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman\\_kaytto/ylijaama-sahkon\\_myynti](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaama-sahkon_myynti).
6. Keravan Energia 2022. Miksi sähkön hinta on noussut. Hakupäivä 26.4.2023. <https://www.keravanenergia.fi/blog/artikkeli/miksi-sahkon-hinta-on-noussut/>.
7. Pantzar, Minna 2022. Pörssisähkön käyttäjien määrä kovassa kasvussa – "Usein ainoa vaihtoehto, jos sopimus katkolla", kerrotaan Energiavirastosta. Yle 19.10.2022. Hakupäivä 26.4.2023. <https://yle.fi/a/3-12655819>.
8. Väre 2023. Sähkön hintaennuste 2024 – nouseeko sähkön hinta. Artikkel. Hakupäivä 3.11.2023. <https://vare.fi/sahkon-hinta/sahkon-hintaennuste/>
9. Jaakkonen, Juha 2022. Vantaalaisperheen käsittämätön tempu: sähkölasku -480 € - "Kyllä hymyilytti". Iltalehti 9.10.2022. Hakupäivä 26.4.2023. <https://www.iltalehti.fi/kotimaa/a/51e7a670-13ad-42fd-af5f-5f14fe91ef10>.
10. Roaming Oy / Aurinkopaneelikauppa 2023. Lataussäätimet mökin aurinkosähköjärjestelmään. Hakupäivä 26.4.2023. <https://www.aurinkopaneelikauppa.fi/Lataussaeatimet>.
11. Aurinkomaailma 2023. Aurinkopaneelien hinta asennettuna. Hakupäivä 26.4.2023. <https://aurinkomaailma.fi/aurinkopaneelien-hinta/>.
12. World Solar 2018. Pros and cons of off-grid vs hybrid. Hakupäivä 26.4.2023. <https://www.worldsolar.co.nz/blog/pros-and-cons-of-off-grid-vs-hybrid>.
13. Hydrocell 2023. EFOY Pro fuel cells. Hakupäivä 26.4.2023. <https://hydrocell.fi/en/fuel-cells/>.

14. Newnhamn, Anna 2020. Wärtsilä's hybrid solution paves the way for sustainable energy and grid control in the U.S. Virgin Islands. Wärtsilä. Hakupäivä 26.4.2023. <https://www.wartsila.com/insights/article/wartsilas-hybrid-solution-paves-the-way-for-sustainable-energy-and-grid-control-in-the-us-virgin-islands>.
15. Alanen, S., Björn, R., Hietalahti, L., Kohtala, M., Korpela, A., Markkula, T. & Virtanen, K. 2023. Mobile hybrid energy system for modern drives of smart energy transition. Smart grids and sustainable energy 8, 4 (2023). Springer. Hakupäivä 27.4.2023. <https://doi.org/10.1007/s40866-023-00162-5>.
16. European Commission 2023. PVGIS Online Tool. EU Science Hub. Versio 5.2 2022. Hakupäivä 28.4.2023. [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/).
17. Vattenfall 2023. Aurinkopaneelit ja invertterit. Jinko N-tyyppin aurinkopaneelit. Hakupäivä 9.5.2023. <https://www.vattenfall.fi/aurinkopaneeli/laitteisto-ja-teknikka/>.
18. Zhejiang Ruihua Machinery Co., Ltd 2009. Assembly instruction and manual for the wind turbine Black 600. Laitemanuaali. Yuyao, Kiina 10.3.2009.
19. Ilmatieteen laitos 2023. Suomen tuuliatlas – tuulitiedot Suomen kartalla. Hakupäivä 10.5.2023. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tuuliatlas>.
20. EFOY 2023. Overview EFOY fuel cells for professional users. Hakupäivä 15.5.2023. <https://www.efoy-pro.com/en/efoy/>.
21. EFOY 2021. Datasheet EFOY fuel cells. Tekninen dokumentointi. Versio 03/2021. Brunenthal, Saksa. Hakupäivä 16.5.2023. [https://www.efoy-pro.com/wp-content/uploads/sites/10/Data-Sheet-EFOY-80\\_150\\_Pro-900\\_1800\\_2800\\_EN.pdf](https://www.efoy-pro.com/wp-content/uploads/sites/10/Data-Sheet-EFOY-80_150_Pro-900_1800_2800_EN.pdf).
22. Toivanen, Juha-Pekka 2018. Akkutyyppin valinta. Sunwind verkkouutiset 15.3.2018. Hakupäivä 16.5.2023. <https://www.sunwind.fi/pages/news/read/?id=182&Akkutyyppin-valinta>.
23. Engifar Oy 2022. Lataussäätimet. Eroverkosta.com. Artikkelit. Hakupäivä 18.5.2023. <https://eroverkosta.com/page/11/lataussaatimet>.
24. Solargeek 2023. Solar charge controller vs wind turbine charge controller. ZHCSolar. Blogi. 29.3.2023. Hakupäivä 19.5.2023. <https://zhcsolar.com/solar-charge-controller-vs-wind-turbine-charge-controller>.
25. Suomenlahden Saaristopalvelut.com Oy 2023. 800 W + 600 W älykäs hybridi lataussäädin 12 V. Hakupäivä 19.5.2023. <https://verkkokauppa.saaristotekniikka.com/product/495/800w--600w-alykas-hybridi-lataussaadin-12v-tai-24v>.
26. Juncar Oy 2023. Muuli 1500 L peräkärri. Hakupäivä 19.5.2023. <https://muuli.fi/muuli-1500l-perakarry-615000.html>.



27. Suomen Akut Oy 2023. Victron Invertteri Phoenix 24 V 1200VA. Hakupäivä 19.5.2023.  
[https://www.suomenakut.fi/laturit-ja-lataustarvikkeet/victron-invertteri-phoenix-24v-1200va-schuko-siniaalto-ve-direct/p/150601011201/?gclid=CjwKCAjw\\_\\_ihBhADEi-wAXEazJrpalboO5zOW8cbqfMms-naQmk4sTCcigWNk8akM8Ye70BQ0A1c7dBoCdBYQAvD\\_BwE#description](https://www.suomenakut.fi/laturit-ja-lataustarvikkeet/victron-invertteri-phoenix-24v-1200va-schuko-siniaalto-ve-direct/p/150601011201/?gclid=CjwKCAjw__ihBhADEi-wAXEazJrpalboO5zOW8cbqfMms-naQmk4sTCcigWNk8akM8Ye70BQ0A1c7dBoCdBYQAvD_BwE#description).
28. Alternative Energy Tutorials 2023. Dump load; Dump and Diversion Loads. Artikkel. Hakupäivä 27.8.2023. <https://www.alternative-energy-tutorials.com/wind-energy/dump-load.html>.
29. Masino Group Oy 2023. U-3 Kisko Zn 3 x 30 x 30 mm, pituus 3 m. Hakupäivä 27.8.2023.  
<https://masino.fi/80297-u-3-kisko-zn-3-x-30-x-30-x-30-mm-pituus-3m.html>
30. EFOY 2020. EFOY Installation. Turvallisuusohjeistus. Hakupäivä 31.8.2023.  
<https://www.efoy-pro.com/wp-content/uploads/sites/10/efoy-pro-installation-manual-en.pdf>
31. MG Energy Systems B.V 2023. HE Series. Hakupäivä 1.9.2023. <https://www.mgenergysystems.eu/en/products/he-series/>

## LIITTEET

Liite 1 JINKOSOLAR TIGER NEO N-TYPE 54HL4R-(V) AURINKOPANEELI DATALEHTI

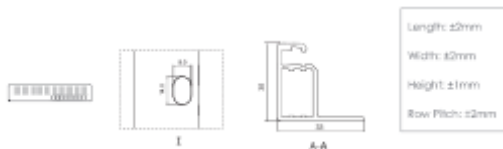
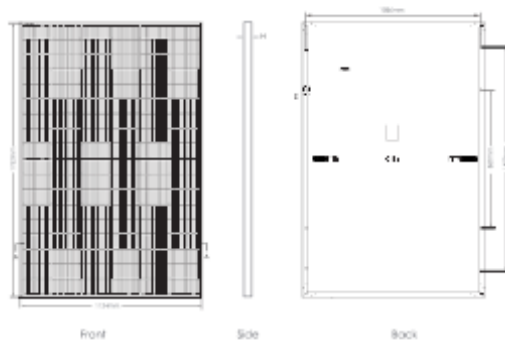
Liite 2 EFOY PRO 24 V MALLIEN DATALEHTI

Liite 3 MG HE 200 25,2 V / 200 AH LITHIUM-ION NMC BATTERY TEKNISET TIEDOT

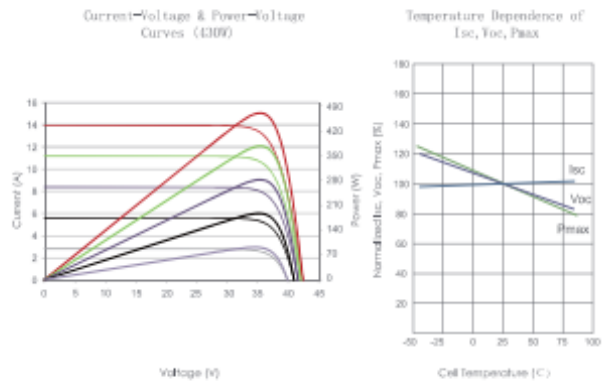
Liite 4 KUVA 15 ESITETTY NUMEROINA

Liite 5 VICTRON ENERGY PHOENIX INVERTTERIT DATALEHTI

Engineering Drawings



Electrical Performance & Temperature Dependence



Packaging Configuration

Two pallets = One stack  
 36pcs/pallets, 72pcs/stack, 936pcs/ 40HQ Container

Mechanical Characteristics

Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	108 [2×54]
Dimensions	1762×1134×30mm (69.36×44.65×1.18 inch)
Weight	22 kg (48.50 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM425N-54HL4R		JKM430N-54HL4R		JKM435N-54HL4R		JKM440N-54HL4R		JKM445N-54HL4R	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	425Wp	308Wp	430Wp	312Wp	435Wp	316Wp	440Wp	320Wp	445Wp	323Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	32.18V	29.06V	32.38V	29.21V	32.59V	29.34V	32.81V	29.50V	33.02V	29.63V
Maximum Power Current (Imp)	13.21A	10.61A	13.28A	10.68A	13.35A	10.76A	13.41A	10.83A	13.48A	10.91A
Open-circuit Voltage (Voc)	38.75V	35.84V	38.95V	36.02V	39.16V	36.20V	39.38V	36.38V	39.59V	36.56V
Short-circuit Current (Isc)	13.66A	11.23A	13.73A	11.29A	13.80A	11.36A	13.86A	11.42A	13.93A	11.49A
Module Efficiency STC (%)	21.27%		21.52%		21.77%		22.02%		22.27%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.30%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.25%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.046%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

\*STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup> Cell Temperature 25°C AM=1.5  
 NOCT: Irradiance 800W/m<sup>2</sup> Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s

## EFOY PRO 24 V MALLIEN DATALEHTI

## LIITE 2

Performance data <sup>1</sup> 24 V	EFOY 80	EFOY 150	EFOY Pro 900	EFOY Pro 1800	EFOY Pro 2800
Max. output power	40 W	75 W	42 W	82 W	125 W
Output Power <sup>2</sup> after 3.000 hours	21 W	43 W	32 W	65 W	100 W
Output Power <sup>2</sup> after 6.000 hours	---	---	27 W	53 W	83 W
Max. charging current @ 21.0 V	1.9 A	3.6 A	2 A	3.9 A	6 A
Recommended minimal battery capacity lead batteries	20 Ah	30 Ah	20 Ah	30 Ah	40 Ah
Maximum adjustable battery capacity lead batteries	400 Ah				
Recommended minimal battery capacity LiFePO4 batteries	10 Ah	15 Ah	10 Ah	15 Ah	20 Ah
Maximum adjustable battery capacity LiFePO4 batteries	300 Ah				
Quiescent consumption	0.6 W				

General technical data for EFOY Fuel Cells	EFOY 80	EFOY 150	EFOY Pro 900	EFOY Pro 1800	EFOY Pro 2800
Nominal voltage	Lead: 12 V / 24 V (Lead-Gel, Lead-Acid, AGM) LiFePO4: 12.8 V / 25.6 V				
Acceptable battery types	Lead: 2 V cells: 6S (12 V) und 12S (24 V) LiFePO4: 3.2 V cells: 4S (12.8 V) und 8S (25.6 V)				
Consumption <sup>4</sup>	0.9 l / kWh				
Connectable cartridges	1 (up to 8 with EFOY Fuel Manager)				
Length fuel cartridge connector	75 cm / 29.5 in				
Weight	6.5 kg	6.9 kg	6.5 kg	7.2 kg	7.8 kg
Dimensions [L x D x H]	448 x 198 x 275 mm				
User interface	Push button and LED optional 4,3" TFT Display optional Bluetooth adapter – EFOY App optional Ethernet connection to EFOY Cloud				
Data interface	RJ-12 socket (CAN & RS232) for the use of accessories RJ-45 socket (Ethernet)				
Communication protocol	MODBUS TCP; clear text protocol (SIO commands) Secured MQTT protocol to EFOY Cloud				
Electrical interface	4-pin Plug for EFOY charging cable Power: Positive (+) and negative (-) terminals: 4 mm <sup>2</sup> (AWG 12) Sense: Positive (+) and negative (-) terminals: 0.75 mm <sup>2</sup> (AWG 20)				
Electrical interface for EFOY accessory	Positive (+) and negative (-) terminals: min 0.75 mm <sup>2</sup> (AWG 20) / max 2.5 mm <sup>2</sup> (AWG 14) Available voltage: battery voltage / Max. current: 2 A [external fuse needed]				
Noise level <sup>5</sup> at 1 m	< 44 dB (A)	< 47 dB (A)	< 45 dB (A)	< 48 dB (A)	< 50 dB (A)
Minimal installation space [L x D x H]	EFOY Fuel Cell only: 510 x 320 x 290 mm				
Inclination along the roll axis	permanent: max. 35°				
Inclination along the lateral axis	permanent: max. 35°				
Operating temperature <sup>6</sup>	EFOY: -20 °C to +40 °C / -4 °F to +104 °F EFOY Pro: -20 °C to +50 °C / -4 °F to +122 °F				

Technical specifications	MG HE Battery 25.2V / 200Ah / 5000Wh – MGHE240200	Cycle life 2	
		DOD 75 % – Economic mode	3000
	MG HE Battery 25.2V / 200Ah / 5000Wh (M12) – MGHE242200	DOD 95 % – Performance mode	2000
Technology	Lithium-Ion NMC	Discharge 6	
Cell configuration	7S64P	Discharge cut-off voltage	21.0 V
Nominal voltage	25.2 V	Recommended discharge current	60 A (0.3 C)
Nominal capacity	200 Ah	Maximum discharge current	200 A (1.0 C)
Nominal energy	5.0 kWh	Peak discharge current 3	400 A (2.0 C)
Specific energy 1	175 Wh/kg	Internal fuses 4	300 A
Weight	28.6 kg		
Charge 6		Environmental	
Maximum charge voltage	29.4 V	Operating temperature charge	0 to +45°C
Recommended charge current	60 A (0.3 C)	Operating temperature discharge	-20 to +55°C
Maximum charge current	200 A (1.0 C)	Storage temperature	-20 to +45°C
Peak charge current 3	300 A (1.5 C)	Humidity (non-condensing)	≤ 75 %
Configuration		Mechanical	
Series configuration	Yes, up to 6. More on request.	Power connections	M8 stud, max. 20 Nm
Parallel configuration	Yes, unlimited	Humidity (non-condensing)	IP20
		Cooling	Air, forced (2x fan inside)
Redundant mode	Yes, Using multiple Master BMSs	Dimensions (l x w x h)	366x355x193 mm

## KUVA 15 ESITETTY NUMEROINA

Viikko	Tuulennopeus m/s (h=10 m)	Teho (pV)	Teho (Tuulivoima)	Teho (Polttokenno)	Lataus Wh	Akusto varaus Wh	Kulutus Wh
20200425:0030	3,45	0	14,26	0	14,26	2000,00	5,00
20200425:0130	3,59	0	16,07	0	16,07	2009,26	10
20200425:0230	3,79	0,29	18,90	0	19,19	2015,32	10
20200425:0330	3,93	6,57	21,08	0	27,65	2024,52	10
20200425:0430	4,07	48,14	23,41	0	71,55	2042,16	10
20200425:0530	3,86	144,87	19,97	0	164,84	2103,71	10
20200425:0630	4,34	213,01	28,38	0	241,39	2258,55	10
20200425:0730	4,76	270,1	37,45	0	307,55	2489,95	736,67
20200425:0830	5,03	186,92	44,19	125	356,11	2060,83	581,67
20200425:0930	4,76	137,83	37,45	125	300,28	1835,27	125,83
20200425:1030	4,9	246,92	40,85	125	412,77	2009,71	592,50
20200425:1130	5,59	216,9	60,65	125	402,55	1829,98	205,00
20200425:1230	4,97	211,17	42,63	125	378,80	2027,54	671,67
20200425:1330	4,83	169,73	39,12	125	333,85	1734,67	205,00
20200425:1430	4,21	112,14	25,91	125	263,05	1863,52	592,50
20200425:1530	4	45,26	22,22	125	192,48	1534,07	115,00
20200425:1630	3,66	15,56	17,02	125	157,58	1611,55	181,67
20200425:1730	3,45	3,42	14,26	0	17,68	1587,47	682,50
20200425:1830	3,31	0	12,59	0	12,59	922,65	10
20200425:1930	3,66	0	17,02	0	17,02	925,24	10
20200425:2030	3,72	0	17,87	0	17,87	932,26	10
20200425:2130	3,66	0	17,02	0	17,02	940,14	10
20200425:2230	3,59	0	16,07	0	16,07	947,16	10
20200425:2330	3,45	0	14,26	0	14,26	953,23	10

Phoenix Inverter	12 Volt 24 Volt 48 Volt	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Cont. power at 25°C (1)		250VA	375VA	500VA	800VA	1200VA
Cont. power at 25°C / 40°C		200 / 175W	300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Peak power		400W	700W	900W	1500W	2200W
Output AC voltage / frequency (adjustable)		230VAC or 120VAC +/- 3% 50Hz or 60Hz +/- 0,1%				
Input voltage range		9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0V				
DC low shut down (adjustable)		9,3 / 18,6 / 37,2V				
Dynamic (load dependent) DC low shut down (fully configurable)		Dynamic cut-off, see <a href="https://www.victronenergy.com/live/ve.direct:phoenix-inverters-dynamic-cutoff">https://www.victronenergy.com/live/ve.direct:phoenix-inverters-dynamic-cutoff</a>				
DC low restart and alarm (adjustable)		10,9 / 21,8 / 43,6V				
Battery charged detect (adjustable)		14,0 / 28,0 / 56,0V				
Max. efficiency		87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%	90 / 90 / 91%	91 / 91 / 92%
Zero-load power		4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W	6,5 / 7 / 9,5W	7 / 8 / 10W
Default zero-load power in ECO mode (default retry interval: 2,5 s, adjustable)		0,8 / 1,3 / 2,5W	0,9 / 1,4 / 2,6W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W
ECO mode stop and start power setting		Adjustable				
Protection (2)		a - f				
Operating temperature range		-40 to +65°C (fan assisted cooling) Derate 1,25% per °C above 40°C				
Humidity (non-condensing)		max 95%				
<b>ENCLOSURE</b>						
Material & Colour		Steel chassis and plastic cover (blue Ral 5012)				
Battery-connection		Screw terminals				
Maximum cable cross-section		10mm <sup>2</sup> / AWG8	10mm <sup>2</sup> / AWG8	10mm <sup>2</sup> / AWG8	25 / 10 / 10mm <sup>2</sup> / AWG4 / 8 / 8	35 / 25 / 25mm <sup>2</sup> / AWG2 / 4 / 4
Standard AC outlets		230V: Schuko (CEE 7/4), IEC-320 (male plug included) UK (BS 1363), AU/NZ (AS/NZS 3112) 120V: Nema 5-15R, GFCI				
Protection category		IP 21				
Weight		2,4kg / 5,3lbs	3,0kg / 6,6lbs	3,9kg / 8.5lbs	5,5kg / 12lbs	7,4kg / 16,3lbs
Dimensions (h x w x d, mm) (h x w x d, inch)		86 x 165 x 260 3.4 x 6.5 x 10.2	86 x 165 x 260 3.4 x 6.5 x 10.2	86 x 172 x 275 3,4 x 6,8 x 10,8	105 x 216 x 305 4.1 x 8.5 x 12.1 (12V model: 105 x 230 x 325)	117 x 232 x 327 4.6 x 9.1 x 12.9 (12V model: 117 x 232 x 362)
<b>ACCESSORIES</b>						
Remote on-off		Yes				
Automatic transfer switch		Filax				
<b>STANDARDS</b>						
Safety		EN-IEC 60335-1 / EN-IEC 62109-1				
EMC		EN 55014-1 / EN 55014-2 / IEC 61000-6-1 / IEC 61000-6-2 / IEC 61000-6-3				
Automotive Directive		ECE R10-4				
1) Nonlinear load, crest factor 3:1 2) Protection key: a) output short circuit b) overload c) battery voltage too high d) battery voltage too low e) temperature too high f) DC ripple too high						