

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutuslinja

Juho Rekiranta

Pientuulivoimalan rakentaminen ja käyttö

Insinööritö 17.5.2010

Ohjaaja: yliopettaja Torsti Viilo
Ohjaava opettaja: yliopettaja Torsti Viilo

Tekijä	Juho Rekiranta
Otsikko	Pientuulivoimalan rakentaminen ja käyttö
Sivumäärä	52 sivua
Aika	17.5.2010
Koulutusohjelma	talotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja	yliopettaja Torsti Viilo
Ohjaava opettaja	yliopettaja Torsti Viilo
<p>Insinööri­työn tavoitteena on suunnitella ja rakentaa täydellinen pientuulivoimala järjestelmä, joka pystyy toimimaan itsenäisesti ja voimalasta saadaan hyötyä. Voimalaa ei liitetä kiinteistön omaan sähköverkkoon, vaan järjestelmä toimii omana kokonaisuutena.</p> <p>Tuulivoimaa on käytetty aina ajanlaskun alusta asti erilaisten hyödykkeiden tuottamiseen. Nykyään tuulivoimaa käytetään pääasiassa sähkön tuottoon. Pientuulivoimaloita käytetään erilaisten yksityisten sähköntuottoon ja harrastelijat ovat rakennelleet pienvoimaloita 1970-luvulta asti, jolloin sähköä tuottavat tuulivoimalat alkoivat yleistyä. Aivan viime vuosina pientuulivoimalat ovat alkaneet yleistymään kaikkialla, tämä johtuu energian hinnan noususta sekä tarvittava tekniikka on halventunut. Pääasiassa kaikki pientuulivoimalat perustuvat neodym-supermagneetteihin, jotka mahdollistavat generaattoreiden korkean hyötysuhteen, matalan pyörimisnopeuden sekä yksinkertaisen rakenteen.</p> <p>Pelkkä hyvä generaattori ei riitä sähköntuottoon vaan pientuulivoimala tarvitsee täydellisen järjestelmän toimiakseen kunnolla. Tässä työssä käydään läpi pientuulivoiman hyödyntämistapoja, tuulivoimaan liittyviä yleisiä asioita sekä suunnitellaan ja rakennetaan pientuulivoimalajärjestelmä, jota hyödynnetään kiinteistön lämmittämisessä.</p> <p>Insinööri­työlle asetetut tavoitteet toteutuivat ja tässä insinööri­työssä rakennettu tuulivoimala on toimiva sekä hyötykäytössä.</p>	
Hakusanat	pientuulivoimala, kestopagneetti, aksiaalivuogeneraattori

Author	Juho Rekiranta
Title	Construction and operation of a small wind turbine
Number of Pages	52
Date	17 May 2010
Degree Programme	Building Services Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor	Torsti Viilo, Principal Lecturer
Supervisor	Torsti Viilo, Principal Lecturer
<p>The aim of this final year project was to build a perfect small wind turbine system that can operate independently and also be useful as a power station. The power station would not be linked to the property grid, but work independently.</p> <p>Wind power has been used from the very beginning of history, for the production of various commodities. Today, wind energy is mainly used for the production of electricity. Small wind turbines are used in private energy production, and amateurs have built small power plants since the 1970s, when the wind turbines for electricity production became more common. In recent years, the number of small wind farms has started to increase due to high energy prices and cheap technology. Most small wind power plants are based on neodymium magnets that enable the construction of high-efficiency generators, with low rotation speed and simple structure.</p> <p>A good generator is not sufficient to produce electricity. A small wind turbine also requires a complete system to work properly. This final year project studied how small wind turbines can be used efficiently. The project also studied energy and wind power in general, and explains how to design and build a small wind turbine system to heat a property.</p> <p>The aims set for this final year project were fulfilled and the wind turbine which was built during the project is both operational and being used.</p>	
Keywords	small wind turbine, neodymium magnets, axialfluxgeneration,

Lyhenteet, käsitteet ja määritelmät

P	Teho, yksikkö watti (W).
R	Vastus, yksikkö ohmi (Ω).
U	Jännite, yksikkö voltti (v).
I	Virta, yksikkö ampeeri (A).
Φ	Magneettivuo, magnetismin määrää kuvaava suure, yksikkö weber ($1 \text{ Wb} = 1 \text{ V}\cdot\text{s} = 10^8 \text{ Mx}$) Magneettivuo kuvaa magneettikenttäviivojen kokonaismäärää tietyn pinnan läpi.
B	Magneettivuontiheys, yksikkö tesla ($1 \text{ T} = 1 \text{ Wb}/\text{m}^2 = 1 \text{ V}\cdot\text{s}/\text{m}^2$).
MGOe	Magneetin maksimienergian tuottoyksikkö MGOe (mega-gauss-oersted) tai KJ/m^3 .
ρ	Tiheys, yksikkö kg/m^3 , Ilmantiheytenä käytetään tässä työssä $1,225 \text{ kg}/\text{m}^3$.
M	Voiman momentti, yksikkö Newtonmetri (Nm).
F	Voima, yksikkö Newton (N).
TSR	(tip-speed-ratio), TSR-arvo tarkoittaa lavan kärjen nopeutta suhteessa tuulen nopeuteen,
rpm	(Revolutions Per Minute), kierrosnopeuden yksikkö.
NACA	(National Advisory Committee for Aeronautics), NASA (National Aeronautics and Space Administration), edeltänyt aerodynamiikkaan erikoistunut instituutio.

Sisällys

Tiivistelmä	
Abstract	
Lyhenteet, käsitteet ja määritelmät	
1 Johdanto	6
2 Tuuliolosuhteet	7
2.1 Rannikon tuuliolot	7
2.2 Saariston tuuliolot	8
2.3 Sisämaan tuuliolot	8
2.4 Tuntureiden tuuliolot	8
3 Ympäristö	9
3.1 Turvallisuus	9
3.2 Luvat	9
4 Voimalamallit	10
4.1 Vaaka-akseliturbiinit	10
4.2 Pystyakseliturbiinit	11
5 Generaattorimallit	12
5.1 Aksiaalivuogeneraattori	13
5.2 Radiaalivuogeneraattori	14
6 Tuulivoimalan hyödyntäminen	14
6.1 Akkulataus	14
6.2 Veden lämmitys	15
6.3 Verkkokytkentä	15
7 Tuulivoimalan rakentaminen	16
7.1 Generaattorin suunnittelu	17
7.2 Staattorin valmistus	19
7.3 Roottori	21
7.4 Runko	22
8 Lavat	24
8.1 Lapojen suunnittelu	24
8.2 Lapojen valmistus ja kiinnitys	27

9 Myrskysuojaus.....	28
9.1 Yleiset myrskysuojaukset.....	28
9.2 Myrskysuojauksen valmistus.....	28
10 Masto ja perustukset	29
10.1 Masto.....	29
10.2 Harusvaijereiden lujuuslaskenta	31
10.3 Harusvaijereiden kiinnitys.....	32
10.4 Perustukset.....	32
10.5 Paikan valinta.....	34
11 Sähkön hyödyntäminen ja kytkennät.....	35
12 Mittaukset.....	36
12.1 Mittaustulokset.....	36
12.2 Mittaustulosten pohdinta	37
13 Harrastajat	37
14 Ongelmat.....	38
15 Kulut ja kustannukset.....	38
16 Yhteenveto	39
Lähteet	40
Liitteet	
Liite 1: Sähköä tuottavan laitteiston liittäminen jakeluverkkoon.....	42
Liite 2: SMA Windy Boy hinnasto	51
Liite 3: Femm magneettisuuden mallinnuskuva.....	52

1 Johdanto

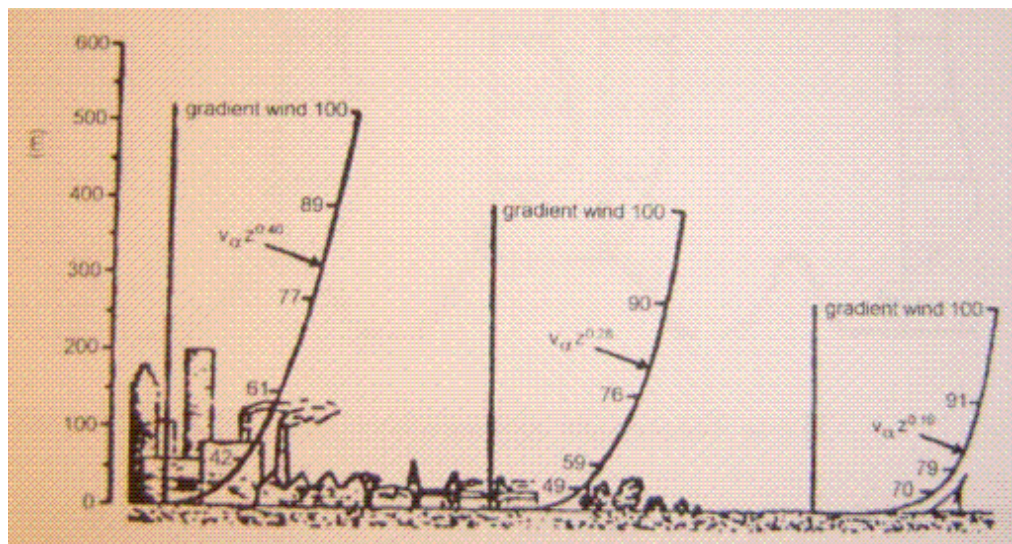
Pienten mökkivoimaloiden ja isojen tuulivoimaloiden välissä on pitkään ollut tyhjä aukko. Nykyään tämä ero on kuroutumassa umpeen, kun pientuulivoimalat ovat yleistymässä. Yleistymistä auttaa se, että pienvoimaloiden hinnat ovat tulleet reilusti alaspäin, että voimaloissa tarvittavien oheislaitteiden saatavuus on parantunut. Harrastajien näkökulmasta kaikki tarpeelliset tarvikkeet saa helposti ostettua, ja oman voimalan voi aiheeseen perehtymisen jälkeen rakentaa itse.

Tämä työ on jaettu kahteen osa-alueeseen. Ensimmäisessä osassa käydään läpi yleisiä asioita tuuliolosuhteista sekä tuulivoimasta. Toisessa osassa suunnitellaan ja rakennetaan täydellinen tuulivoimala järjestelmä. Voimala toteutetaan täysin omalla suunnitelulla sekä työt toteuttaen itse. Työn lopussa suoritetaan mittaukset, pystytys sekä sähkökytkennät ja arvioidaan mahdollista sähkön vuosituottoa.

Työssä rakennettava tuulivoimala tulee yksityiskäyttöön ja voimalaa hyödynnetään kiinteistön lämmityksessä.

2 Tuuliolosuhteet

Suomi kuuluu länsituulivyöhykkeeseen ja lähes kaikkialla saavutetaan tuulen keskinopeudeksi 7 m/s 60 metrin korkeudessa. Tuulen voimakkuuteen vaikuttaa paljon korkeus maan pinnasta, ympäröivän maaston muodot, puustot sekä rakennukset. Tuuliprofiilin kuvasta näkee, kuinka kaupungissa saavutetaan 500 metrissä samat tuuliolosuhteet kuin merellä 250 metrissä. [1]



Kuva 1. Tuuliprofiili [1]

2.1 Rannikon tuuliolot

Rannikoiden keskimääräinen tuulennopeus on n. 6–6,5 m/s. Rannikon tuuliolosuhteet ovat hyvät tuulivoiman kannalta, tuotto 4 Twh/a. [2] Suomessa suurin osa voimaloista on sijoitettu rannikolle, myös pienien voimaloiden käytöllä rannikoilla saavutetaan erinomainen sähköntuotto.

2.2 Saariston tuuliolot

Saaristoissa on erinomaiset tuuliolot. Tuulivoiman kannalta varsinkin saaristossa sijaitsevilla rakennuksilla on hyvät edellytykset käyttää tuulivoimaa sekä tuottaa itse sähköä pienvoimaloilla. Tuulen keskinopeus saaristossa on 6–7,5 m/s ja kertymätuotto 10 Twh/a. [2]

2.3 Sisämaan tuuliolot

Sisämaan tuulioloja ei pidetä kovin potentiaalisena tuulienergian kannalta. Rannikolta sisämaahan tullessa tuulen nopeus laskee sitä jyrkemmin mitä matalammalla ollaan, mutta mäkien päällä, laakeilla alueilla, isojen järvien selillä, niemien kärjessä sekä tuntureissa voi Suomen sisämaassa olla kohtuullisen hyvät tuuliolosuhteet. [3, s. 21.] Tuulen keskinopeus sisämaassa on 4,5–5,5 m/s. [2] Isoja tuulivoimaloita sisämaahan ei ole rakennettu mutta sisämaassa on pientuulivoimaloita.

2.4 Tuntureiden tuuliolot

Tuntureiden keskituulinopeudet ovat 7,5–9,5 m/s ja tuulienergiapotentiaali on 13–15 Twh/a. [2] Talvisin tuntureiden tuuliolot ovat välillä liiankin kovat tuulivoimaloiden kannalta, harvinaisia eivät ole yli 40 m/s olevat puuskat sekä kymmeniä minutteja kestävät yli 30 m/s puhaltavat tuulet. [4, s. 17.]

Kovat puuskat vaativat voimaloiden rakenteista tavallista vahvempia. Muuten tuntureissa saavutetaan Suomessa erittäin hyvät tuuliolosuhteet tuulivoimaloiden kannalta.

3 Ympäristö

Pientuulivoimaloiden ympäristöhaittoja ei ole paljoakaan tutkittu, mutta ne ovat oletettavasti erittäin mitättömät. Meluhaitat ovat myös pienvoimaloissa lähes olemattomat, koska pienvoimalat ovat yleensä suoravetoisia, näin ollen isojen voimaloiden vaihteistometeliä ei pienissä voimaloissa ole.

Oikein tehdyt siivet eivät myöskään pidä suhinaa perustulessa ja kovassa tuulessa tuulen aiheuttama puhina on muutenkin kova. Voimalan sijoituksessa on otettava huomioon, mihin pyörivän propellin varjo osuu, koska pyörivä propelli aiheuttaa varjon välkkymistä.

3.1 Turvallisuus

Turvallisuus on pienvoimaloissa tärkeässä asemassa, koska pienvoimalat sijaitsevat usein erittäin lähellä asutusta, kuten kesäasuntojen tai omakotitalojen pihoilla. Suurimmat riskit turvallisuuteen aiheutuvat pyörivästä propellista sekä mahdollisista maston haruksista.

Propellista tulevat vaaratekijät on otettava huomioon kovalla tuulella, jolloin propelli saattaa särkyä, tai talvella, jolloin muodostuu jäätä ja kova puuska pyöräyttää propellia. Tällöin propellissa ollut jääpala voi irrota ja lentää jopa yli 10 metrin päähän. Toiset huomattavat riskit aiheuttavat harukset, joiden merkintään on kiinnitettävä huomiota, jotta varoitusnauhat erottuvat taustasta hyvin. Teräsvaijeriharustus voi aiheuttaa vakavan vaaratilanteen, jos ihminen kävelee tai juoksee harukseen. Kovemmilla tuulilla voimalan läheisyydessä ei pitäisi olla ollenkaan, koska haruksia on joskus mennyt poikki mikä on aiheuttanut voimalan kaatumisen.

3.2 Luvat

Pientuulivoimalan tarvitsemat luvat vaihtelevat kunnasta riippuen. Joillekin kunnille riittää pelkkä toimenpideilmoitus ja toiset vaativat rakennus- ja toimenpideluvan, joissakin tapauksissa naapureiden kuuleminen on hyvä tässä vaiheessa.

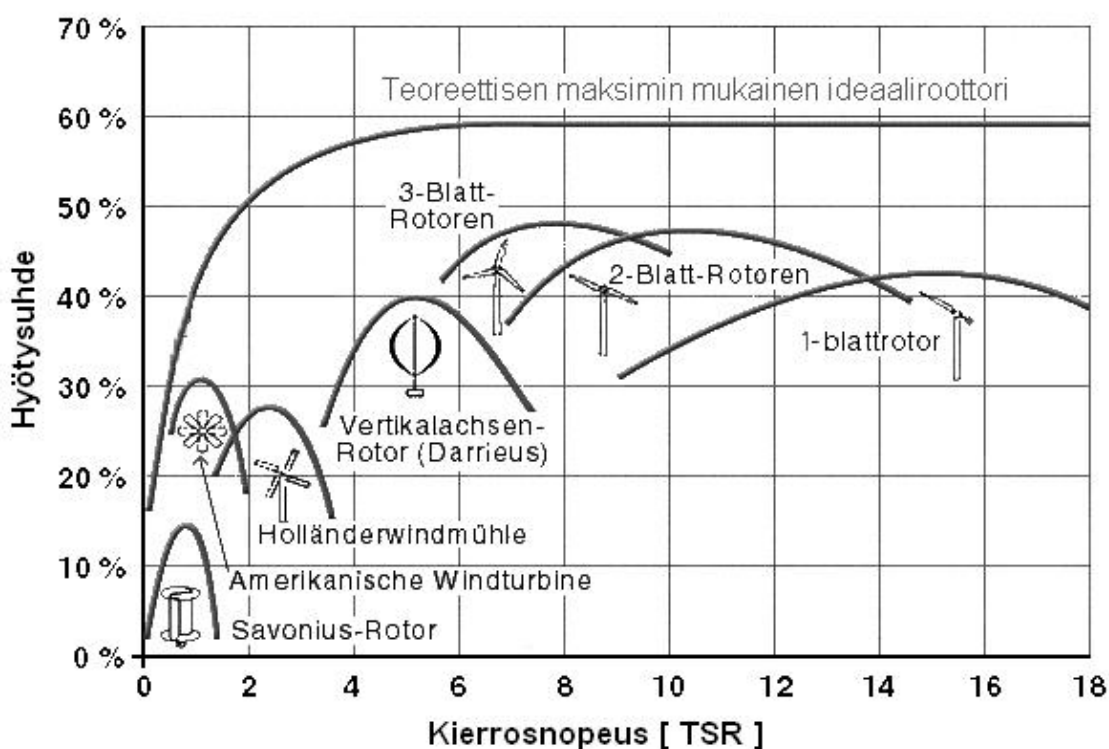
Edes ympäristöministeriöllä ei ole kantaa yhtenäiseen lupakäytäntöön. [5, s. 22.]

Sähköyhtiöiltä ei tarvitse lupa-asioita kysyä, jos pienvoimalaa ei kytketä suoraan valtakunnan sähköverkkoon niin voimalan tuottama sähkö ei liity millään tavalla sähköyhtiöön tai verkkoa hallitsevalle yhtiölle. Jos voimalan haluaa liittää valtakunnan verkkoon, on sähköyhtiölle tehtävä lupahakemus ja toimitettava tarvittavat verkkokytkentälaitteen tekniset tiedot.

4 Voimalamallit

Voimat jakautuvat kahteen eri luokkaan: vaaka-akseliset ja pystyakseliset voimat.

Varsinkin vaaka-akseliset 3-lapaiset ovat tällä hetkellä yleisimpiä. Myös muita vaihtoehtoja on, varsinkin pystyakselisia turbiinimalleja on useita. Kuvassa 2 on esitetty eri voimalamallien hyötysuhdetta ja TSR-lukua.



Kuva 2. Eri roottorityyppien hyötysuhteita [6, s. 25]

4.1 Vaaka-akseliturbiinit

Vaaka-akseliturbiinista käytetään lyhennettä HAWT (Horizontal-Axis Wind Turbine). Turbiinin hyötysuhteen yhtenä määrittäjäosana käytetään TSR-arvoa (tip speed ration) joka tarkoittaa lavankärjen nopeutta suhteessa tuulen nopeuteen.

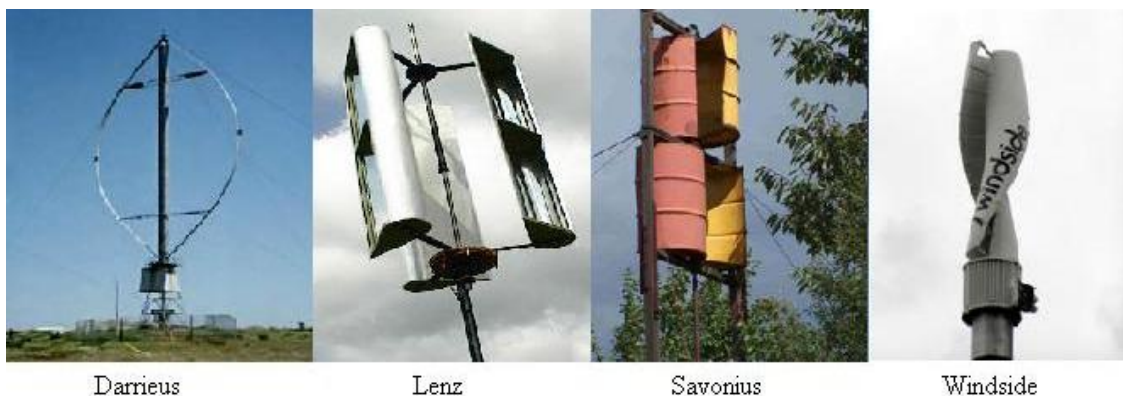
Vaaka-akselisilla saavutetaan yleensä parempi TSR-arvo. TSR-arvo ei suoranaisesti vaikuta hyötysuhteeseen, mutta korkeammalla TSR-arvolla on helpompi saavuttaa parempi hyötysuhde. Suurin pyörimisnopeus saavutetaan yksilapaisella turbiinilla, mutta haittana on erittäin huono pyörimisen käynnistyminen sekä tasapainotuspulmat.

Kaksilapaiset turbiinit eivät myöskään ole yleisiä. 2-lapaiset turbiinit kärsivät pienestä tasapainopulmasta, joka kuitenkin on suhteellisen helppo ratkaista lisäpainoilla. 2-lapaiset turbiinit myös kärsivät huonommasta käyntiinlähdestä, mutta tuulisilla alueilla 2-lapaisella voidaan saavuttaa parempi hyötysuhde kuin useampilapaisella. Suomessa on myös suunniteltu isoissa merivoimaloissa 2-lapaisten voimaloiden käyttöä. [7, s. 11.]

3-lapainen turbiini on yleisin käytetty turbiini malli. 3-lapainen turbiini on kaikissa olosuhteissa tasaisesti pyörivä sekä kohtuullisen hyvä käyntiinlähtö pienissä tuulissa. Tasapainotuksen kannalta 3-lapainen on parhaimpia. Useampilapaisilla eli yleensä 5–6 lapaiset turbiinit on käytössä pääasiassa pienissä mökkivoimaloissa sekä purjeveneissä. Näiden voimaloiden kokonaishalkaisija ei yleensä ylitä metriäkään sekä toimivat yleensä pieninä akkulatureina.

4.2 Pystyakseliturbiinit

Pystyakseliturbiineista käytetään lyhennettä VAWT (Vertical-Axis Wind Turbine). VAWT-tyyppisiä tuuliturbiineita on monenlaisia. Pystyakseliturbiineita ei tässä työssä käydä tarkemmin läpi. Yleisimmät VAWT-malliset turbiinit ovat Darrieus, Lenz, Savonius ja Windside (kuva 3).



Kuva 3. Yleisimmät VAWT-mallit [8; 9;10;11]

VAWT-malleilla on muutama hyvä puoli verrattuna HAWT-malleihin. Kaikki VAWT-mallit eivät tarvitse myrskysuojausta, eikä kääntömekanismeja tarvita ollenkaan missään malleissa. VAWT-mallit soveltuvat hyvin talojen katoille tai pihaille joissa ilma on yleensä pyörteistä, sijoitus korkeus yleensä lähellä maata.

Huonoina puolina verrattuna HAWT-malleihin pyörimisnopeudet jäävät monesti pienemmiksi poisluettuna Darrieus, jolla saavutetaan korkea pyörimisnopeus mutta erittäin huono käyntiinlähtö, tarvitsevat monesti apumoottorin. [8] Savonius-mallilla saavutetaan taas hyvä käyntiinlähtö mutta matala pyörimisnopeus (kuva 2).

5 Generaattorimallit

Yleisimmät generaattorityypit pienvoimaloissa ovat aksiaalivuogeneraattori ja Radiaalivuogeneraattori. Aikaisemmin harrastajat tekivät voimalan generaattorit auton latureista sekä vanhoista oikosulkumoottoreista. Nämä ratkaisut vaativat välityksen sekä ulkopuolisen magnetoinnin. Nykyään kestomagneettien hinnat ja saatavuus ovat tulleet harrastelijoiden ulottuville ja generaattoreista on tullut suoravetoisia, näin parannetaan myös hyötysuhdetta. Suhteellisen halpojen ja voimakkaiden kestomagneettien ansiosta myös tehdasrakenteisten pienvoimaloiden hinnat ja saatavuus on tullut tavallisten kuluttajien ulottuville.

Magneetteina käytetään neodym-kestomagneetteja, yleensä tyypiltään NdFeB (neodyymi – rauta – boori). Kestomagneettien energiatuotto (magneettisuus) ilmoitetaan mittayksiköllä MG0e (mega-gauss-oersted). Magneetin virtatiheydelle on mittayksikkönä T (Tesla), mitä suurempia ovat nämä arvot, sen tehokkaampi magneetti on. Taulukossa 1 on esitetty tavallisten kestomagneettien magneettisuusarvoja.

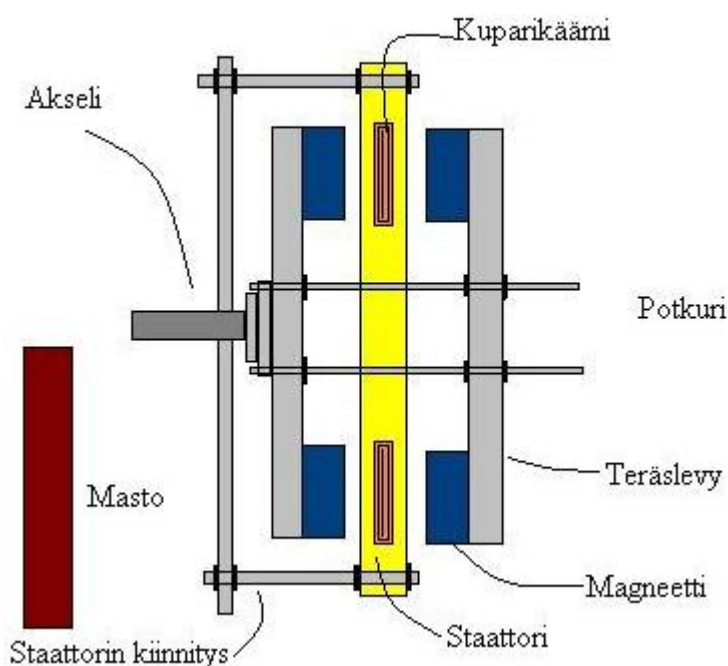
Taulukko 1. Kestomagneettien magneettisuusarvoja [12]

Laatu	T	MGOe
N30	1.08-1.12	28-30
N33	1.14-1.17	31-33
N35	1.17-1.21	33-35
N38	1.22-1.26	36-38
N40	1.26-1.29	38-40
N42	1.29-1.32	40-42
N45	1.32-1.37	43-45
N48	1.37-1.42	45-48
N50	1.40-1.46	47-51
N52	1.42-1.47	48-53

Tavallisen ferriittimagneetin magneettisuus n. 3–4 MGOe.

5.1 Aksiaalivuogeneraattori

Aksiaalivuogeneraattori (kuva 4) on harrastajien yleisin käytetty malli, generaattorin rakenne on erittäin yksinkertainen eikä generaattorissa ole kaarevia teräsmuotoja.



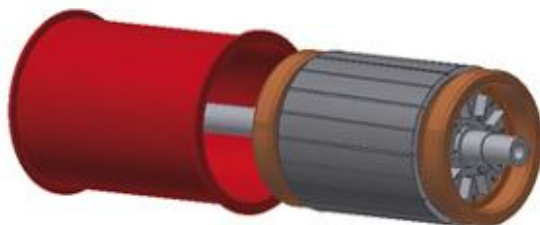
Kuva 4. Aksiaalivuogeneraattori

Generaattorin teräskiekot pyörivät staattorin ympärillä ja staattori on kiinnitetty runkoon. Kun staattorin molemmilla puolilla on magneetit, staattoriin vaikuttaa

suurempi magneettivuon tiheys, näin generaattorista saadaan tehokkaampi. Generaattorimallin huonona puolena on täysin avoin rakenne ja suuri halkaisija.

5.2 Radiaalivuogeneraattori

Radialivuogeneraattoreita (kuva 5) eivät yleensä harrastelijat rakenna, koska generaattorissa on kaarevia teräsmuotoja, joita on vaikea tehdä ilman kunnollisia metallintyöstökoneita. Radiaalivuogeneraattorin rakenne on erittäin kestävä ja tukeva, ja on yleinen generaattorityyppi tehdasrakennetuissa pienvoimaloissa.



Kuva 5. Radiaalivuogeneraattori [14]

6 Tuulivoimalan hyödyntäminen

Pientuulivoimaloiden hyödyntäminen kiinteistön sähkönkulutuksessa on monesti vaikeampaa kuin sähkön tuottaminen tuulivoimalla. Varsinkin harrastajat haluavat päästä pienillä kustannuksilla. Seuraavassa tutustutaan kolmeen yleisimpään sähkönhyödyntäminen ja talteenottotapoihin.

6.1 Akkulataus

Suora akkulataus soveltuu hyvin vapaa-ajan asuntoihin ja mökeille. Suoraa akustolatausta käytetään myös omakotitaloissa. Sähköä voi hyödyntää joko tasasähkönä tai invertterin kautta 230 VAC. Yleensä invertteriä ei ole järkevää käyttää jatkuvan sähkön käyttöön vaan hetkellisissä käytöissä. Varsinkin halvemmat invertterit kuluttavat akustoa pelkästään päällä ollessaan yllättävän paljon $>0,4$ A. Voimalan voi kytkeä suoraan akustoon, mutta välissä olisi hyvä käyttää lataussäädintä. Kun voimala saavuttaa akuston nimellisjännitteen, generaattori alkaa jarruttamaan turbiinin pyörimistä erittäin voimakkaasti, varsinkin heikoilla tuulilla akuston lataus on huonoa

ilman lataussäädintä, lataussäädin säätää latausvirtaa ja päästää generaattorin pyörimään paremmin näin saavutetaan parempi hyötysuhde. Säädin toimii myös akuston suojana, eivätkä akut pääse ylilatautumaan.

Kaupalliset tuulivoimalat monesti sisältävät lataussäätimen jo generaattorin yhteyteen rakennettuna. Itserakentajat ostavat tai enemmänkin elektroniikkaan perehtyneet rakentavat lataussäätimen itse.

Yleiset akkujännitteet ovat 12 V, 24 V, 48 V, mutta isommissa järjestelmissä on käytössä korkeampia akkujännitteitä 120 V, 240 V, jopa 400 V. Tällaisia järjestelmiä hyödynnetään yleensä verkkokytkimen kautta.

6.2 Veden lämmitys

Tuulivoimalan käyttö lämmitykseen on hyvin perusteltua, koska Suomessa alkaa lämmitysjakso syksyllä. Yleensä silloin on hyvät tuulet ja varsinkin Etelä-Suomessa talvet ovat monesti lämpimiä ja tuulisia. Vesivaraajan koko olisi hyvä olla riittävän iso, (>500 l) jotta tuuliset ajankohdat saataisiin talteen. Tammi-helmikuun pakkasjaksoilla pientuulivoimalat ei tuota sähköä, paitsi jos voimala on sijoitettu rannikolle tai riittävän korkealle. Tämän takia tuulivoima on aina rinnakkaislämmitin ja rinnalla pitää olla toinen lämmitysmuoto esim. suorasähkö, puu, öljy, pelletti tai maalämpö.

Lämmitysvastus käytössä on sama kuin akustolatauksessa, eli välissä on hyvä käyttää säädintä, joka säätää lämmitysvastukselle menevää virtaa, näin voimalan kuormitus on aina optimi ja turbiini pääsee pyörimään paremmin ja saadaan parempi hyötysuhde.

6.3 Verkkokytkentä

Pientuulivoimalan kytkeminen suoraan sähköverkkoon ei onnistu suoraan vaan välissä tarvitaan kantaverkkokytkin (Grid Tie Inverter). Kantaverkkokytkin liitetään kiinteistön sähköverkkoon ja tuulivoimalan sähköntuotto ohjataan suoraan kiinteistön verkkoon.

Tuulisina päivinä jos kiinteistön sähkönkulutus ei ole riittävä, ylimääräinen sähkö ohjautuu yleiseen sähköverkkoon. Kantaverkkokytkimeen tuulivoimala liitetään yleensä tasasähköllä. Pienemmissä jännite 20–150 VDC ja isommissa järjestelmissä 130–400 VDC verkkokytkin muuttaa sähkön vaihtosähköksi 200–250 VAC ja tahdistaa verkon taajuuteen 50 Hz. Kaikki hyväksytyt verkkokytkimet sammuvat kun sähköverkossa on sähkökatkos, näin vältetään sähköasentajille sähköiskunvaara huoltotyön aikana. Verkkokytkimen käyttö vaatii aina paikallisen sähkölaitoksen

hyväksynnän. Kun pientuulivoimalaa halutaan liittää kiinteistöön eikä voimalaa voi hyödyntää veden lämmityksessä on järkevä sekä helppo tapa käyttää kantaverkkokytkeitä. Verkkokytkeiden hinnoittelu on vielä aavistuksen korkea, esimerkiksi SMA Windy Boy 1000 W hinta 1299 € Windy boy 1700 W hinta 1399 € [Liite 2]

7 Tuulivoimalan rakentaminen

Tässä osassa käydään läpi tuulivoimalan suunnittelu, rakentaminen, pystytys ja käyttö. Rakentamisen aloitin ensin tutustumalla aiheeseen, jonka jälkeen rakensin harjoitteluvoimalan (kuva 6). Tässä voimalassa ei perehdytty laskuoppeihin, vaan rakensin voimalan aika pienellä tietomäärällä. Tämän voimalan rakentamisen syynä oli kartuttaa tietoa mihin asioihin pitää kiinnittää huomiota, kun valmistaa isompaa voimalaa. Kun harjoitusvoimala oli valmis, kiinnostukseni heräsi isomman voimalan rakentamisesta. Tässä vaiheessa myös aloin pohtia, voisiko tästä aiheesta tehdä päättötyön.



Kuva 6. Harjoitusvoimala

Harjoitusvoimalan tekeminen ei välttämättä ollut mikään tärkeä vaihe, mutta se auttoi ymmärtämään järjestelmän kokonaisuutta. Esimerkiksi lapojen valmistuksessa pystyin tekemään pienemmän mallin, jonka toimivuutta pystyin kokeilemaan ennenkuin aloitin isompien lapojen valmistuksen. Myös pystytysmekanismin tärkeys tuli harjoitusvoimalalla huomattua. Harjoitusvoimala kaatui yhdessä pystytyksessä. Isompaa voimalaa tehdessäni kiinnitin huomiota mm. hyvään pystytysjärjestelmään.

7.1 Generaattorin suunnittelu

Suunnittelun lähtökohtana oli valmistaa generaattori itse ja jonka huipputehoissa päästäisiin yli 1000 W. Generaattorimalliksi valitsin aksiaalivuogeneraattorin helpommin valmistettavien metalliosien takia. Ensimmäisenä valitsin magneettien koon. Magneeteiksi halusin mahdollisimman pitkät kestopagneetit, koska näin saavutetaan mahdollisimman suuri magneettivuon pyyhkäisyypinta-ala. Magneeteiksi valitsin 60 x 20 x 10 (p x l x k), koska tämä oli isoin koko, jonka hyllytavarana sai. Tämän jälkeen valitsin teräslevyjen halkaisijan. Magneetit eivät saa olla liian lähellä toisiaan sisäkehällä. Välin pitäisi olla n. 2 kertaa magneetin leveys eli tässä tapauksessa 40 cm halkaisijaltaan olevat teräslevyt ovat sopivat. Seuraavaksi oli jännitetaso valinta. Lämmitysvastuskäyttöä ajatellen valitsin 50–240 V.

Valmistuksessa tein työt itse perustyökaluja käyttäen, paitsi generaattorin roottorin teräskiekot valmistettiin metallipajassa tarkkuusplasmaleikkuria käyttäen.

Kun haluttu jännitetaso oli tiedossa sekä magneettien koko ja teräslevyjen halkaisia, pystyin laskemaan tarvittavan kuparijohtimien kierrosmäärät.

$$E = Blv \quad [13] \quad (\text{kaava 1})$$

E on jännite voltia (V), v on johtimen nopeus ($\frac{m}{s}$), l on magneetinpituus (m) ja B on magneettivuontiheys (T).

Lasketaan v

$$v = \frac{s \times \pi}{t} \quad (\text{kaava 2})$$

s on roottorin halkaisija (m), t on aika (s). Lasketaan nopeus 60 rpm eli $\frac{1}{s}$

sijoitetaan arvot kaavaan 2.

$$v = \frac{0,4 \times \pi}{\frac{1}{s}} = 1,256 \frac{m}{s}$$

Seuraavaksi sijoitetaan arvot kaavaan 1. Magneettivuon tiheytenä käytetään arvoa 0,5 T, perustuu femm magneettisuuden mallinnusohjelman laskenta tulokseen. [Liite 3]

$$E = 1,256 \frac{m}{s} \times 0,5T \times 2 \times 0,06m = 0,0753V$$

Seuraavaksi lasketaan tarvittava kuparikäämien kierros määrä, että saavutetaan 50 V:n jännite kierroksella 60 rpm.

$$N = \frac{U_{gen}}{E} \quad (\text{kaava 3})$$

N on käämikierrosten lukumäärä, U_{gen} haluttu jännite (V), E johtimen jännite (V). Sijoitetaan arvot kaavaan 3.

$$N = \frac{50V}{0,0753} = 664 \text{kierrosta}$$

Staattorissa on käämejä 8 eli yhteen käämiin tulee kierroksia 83, näin saavutetaan 50 V:n jännite kierroksella 60 rpm.

7.2 Staattorin valmistus

Staattorin valmistin lakatusta kuparista, jonka valoin lasikuitu / hartsin valuuun.

Ensimmäisenä valmistin muotin, johon kuparikäämit pujotin. Muotin rakensin puusta tietokoneella tulostetun kuvan päälle, näin muotista saisin mahdollisimman tarkan.

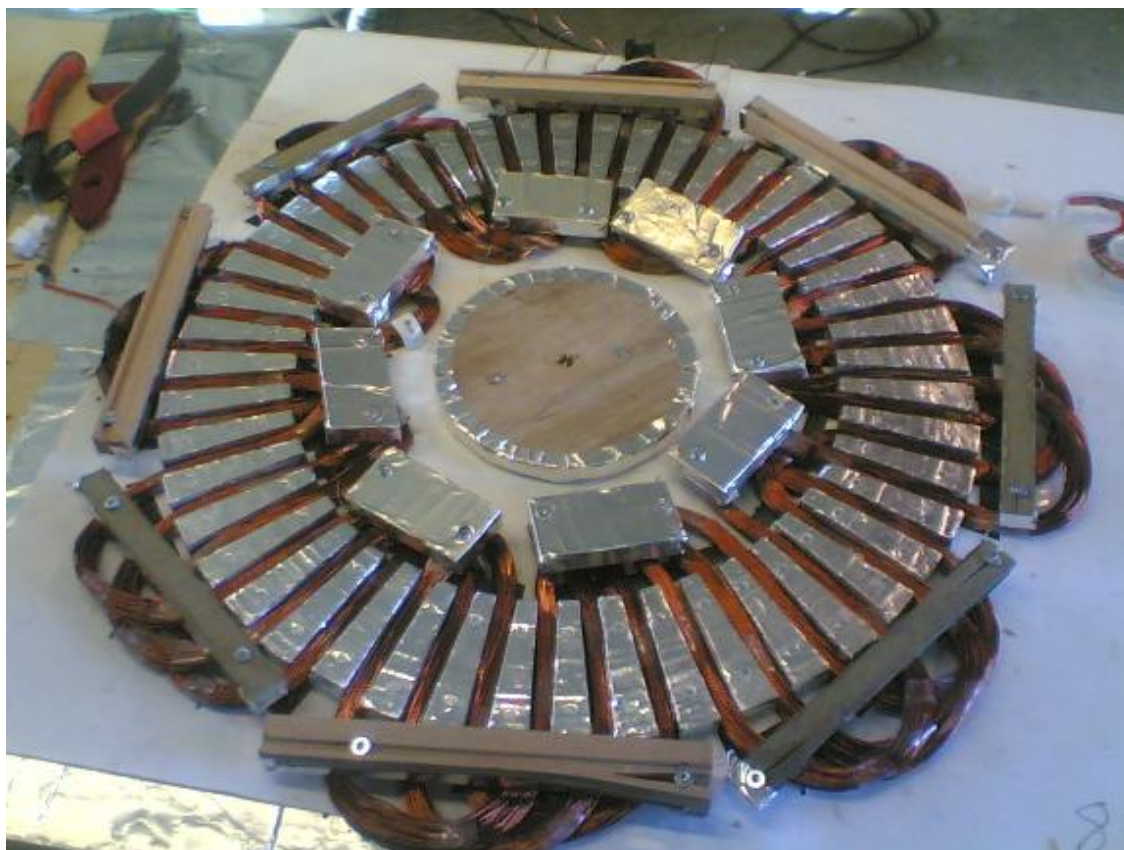
Kuvassa 7 on kaksi käämivaihetta asetettu paikoilleen, hopeat palat ovat folioiteipillä suojattuja puupaloja, folio estää hartsin tarttumasta muottiin.



Kuva 7. Staattorin valmistus

Käämityksen toteutin hammasratatekniikalla, näin säästetään kuparin määrässä. Yksi käämivaihe on yhtenäinen ja n. 2,5 m pitkä, käämissä on 85 kierrosta 0,7 mm:n lakattua kuparilankaa. Yhtenäisen käämin valmistin pituussäädettävää lautaa apuna käyttäen.

Kun kaikki vaiheet oli saatu muottiin, puristin käämit kasaan ja valoin polyesterihartsin päälle. (kuva 8, kuva 9) Näin käämit ovat suojattuna ja pysyvät oikeassa asennossa.



Kuva 8. Staattorin valmistus



Kuva 9. Staattorin valu

Kuvassa 9 käämien väliset muotit ja puristinpuut ovat poistettu ja staattori odottaa lopullista hartsivalua. Hartsivalun jälkeen staattoriin ulkokehälle porasin 8 kappaletta 10 mm:n reikää, joista staattori kiinnitetään runkoon.

7.3 Roottori

Roottoreita on kaksi ja ne valmistettiin 6 mm:n raudasta, joka muotoiltiin plasmaleikkurilla. Muotoiltuun rautalevyihin liimasin yhteensä 32 kpl neodymiummagneetteja 16 kpl / roottori. Magneettien koko 60 x 20 x 10 mm (k x l x p), voimakkuus 40 Mgo.



Kuva 10. Magneettiroottori 1

Magneetit asetin roottoriin, siten että joka toinen magneetti on käännetty, kuvassa 10 N = Pohjoinen ja S = Etelä. Roottorit 1 ja 2 ovat muuten samanlaisia, paitsi magneetit on aseteltu peilikuvallisesti niin että magneettinapaisuus on toisessa levyssä käännetty. Näin levyt vetävät toisiaan puoleensa.

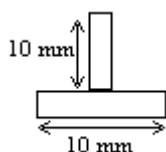
7.4 Runko

Generaattori sekä siivet tarvitsevat rungon, johon ne kiinnitetään. Tässä päärunkona toimii perävaunun 400 kg mitoitettu akseli. Akselin pultteihin saa roottorit kiinnitettyä 12 mm muttereilla, mutta staattori vaatii kiinnityksen ulkoreunoilta. Kiinnityksen toteutin hitsaamalla akseliin 8 kpl 25 cm lattarautoja.



Kuva 11. Genraattorin runko

Kuvassa 11 näkyy akseli, johon on kiinnitetty toinen rmaneettiroottori ja staattorin kinnitysraudat. Kiinnitysrautoihin hitsasin vahvikkeeksi vielä toiset lattaraudat, mutta pystysuunnassa (kuva 12).



Kuva 12. Staattorin kiinnitysrauta

Näin varmistetaan staattorin paikoillaan pysyminen.

Seuraavaksi runkoon pitää tehdä kääntömekanismi sekä kiinnitys mastoon.



Kuva 13. Rungon osa

Kuvassa 13 on perusrunko, johon kääntölaakerit, akseli ja peräsin kiinnitetään. Rungossa käytin monia eri metalliosia, jotka hitsasin kiinni Mig-hitsauskoneella.



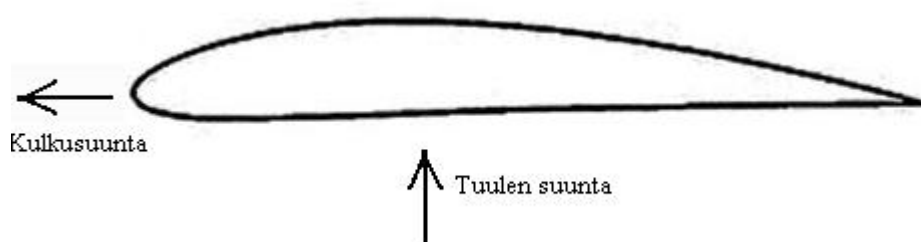
Kuva 14. Valmis runko

Kuvassa 14 pystyputkessa näkyvät 2 laakeria, laakerit menevät maston sisälle ja toimivat kääntölaakereina. Laakerit ovat hiottu oikean kokoisiksi, että ne ovat riittävän tiukasti mastossa kiinni. Runkoon on myös valmis staattori kiinnitetty 8 kpl:lla 10 mm:n pultilla. Seuraavaksi generaattorin suojaksi tehdään 2-osainen kaareva peltikotelo, jonka tarkoituksena on suojata generaattori vedeltä ja lumelta.

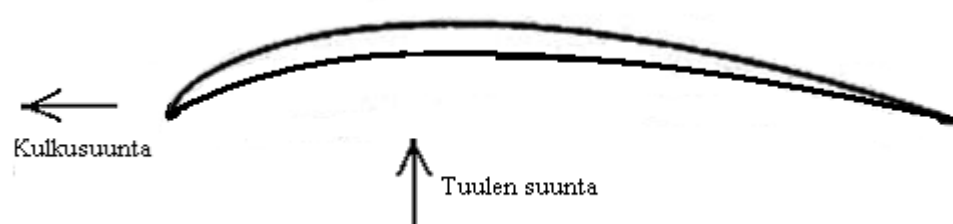
8 Lavat

8.1 Lapojen suunnittelu

Lapojen valmistusmateriaalina käytin lasikuitua. Yleinen lapojen muotona käytetty malli on Naca 4412 (kuva 15), joka on aika yleinen lapamalli pienvoimaloissa. Omien kokeideni perusteella halusin tuulensunnan puolelle enemmän kaarevuutta (kuva 16). Kokeet suoritin harjoitusvoimalalla käyttäen kolmea toisistaan erilaista lapamuotoa.



Kuva 15. Naca 4412



Kuva 16. Käytettävä siipiprofili

Kun lavan profiili oli selvillä seuraavaksi laskin lavan pituuden. Tässä voimalassa ei ole käytössä sähkövirtaa säätävää säädintä, näin ollen potkurin halkaisija pitää mitoittaa käytettävän kuorman mukaan. Peruskuormana on 900 W:n lämmitysvastus. Lavat piti mitoittaa niin, että potkurin tuottama teho on isompi kuin kuorma.

Tuulen sisältämä teho saadaan kaavasta 4, [15, s. 123] jossa P on teho (W), ρ ilman tiheys ($\frac{kg}{m^3}$), V tuulen nopeus ($\frac{m}{s}$), A Potkurin pyörähdys ala (m).

$$P = \rho \times V^3 \times A \times \frac{1}{2} \quad (\text{kaava 4})$$

Kaavasta 4 huomaamme, että tuulen nopeus on verrannollinen tehoon kolmannessa potenssissa. Tätä tehoa ei voi käyttää kokonaan hyväksi. Saksalainen Betz todisti jo 1920-luvulla, että tuulen sisältämästä tehosta voidaan muuttaa käytettävään muotoon korkeintaan 59,3 %. Todellisuudessa on paljon realistisempaa käyttää hyötysuhteena 30 %. [15, s. 123]

Kun tiedetään, että vastuksen teho on 900 W 230 V:n jännitteellä ja tiedetään generaattorin tuottavan 50 V:n jännitteen kierroksilla 60 rpm voidaan tehon kaavalla laskea lämmitysvastuksen resistanssi.

$$R = \frac{U^2}{P} \quad (\text{kaava 5})$$

R on vastus (Ω), U on Jännite (V), P on teho (W), sijoitetaan lämmitysvastuksen arvot kaavaan 5.

$$R = \frac{230^2 V}{900 W} = 58,7 \Omega$$

Kaavaa 5 käyttämällä voidaan laskea lämmitysvastuksen ottama teho 50 V:n jännitteellä joka on n. 43 W. Seuraavaksi mitoitetaan potkuri, jonka pyörimisteho on pienillä tuulilla korkeampi kuin 43 W. Sijoitetaan kaavaan 4, $12,88 \text{ m}^2$ potkurin arvot, ilman tiheytenä käytetään $1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$P = 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 3^3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 12,88 \text{ m}^2 \times \frac{1}{2} = 213 W$$

$$30\% \times 213 W = 63,9 W$$

Huomataan, että halkaisijaltaan 4-metrinen potkurin pitäisi riittää kuormitetun generaattorin pyörittämiseen. On myös huomioitava, että tämän kokoisen potkurin teho on 10 m/s tuulessa n. 2300 W, eli järjestelmä tarvitsee lisävastusta tuulisina päivinä.

Seuraavaksi tehdään arviointi laskenta potkurin pyörintä nopeudesta eri tuulivoimakkuuksilla. *TSR* lavankärjen nopeus suhteessa ilman nopeuteen,

S lavan kärjen kulkema matka (m), *v* tuulen nopeus ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$). [16]

$$TSR = \frac{rpm \times S}{60 \times v} \quad (\text{kaava 6})$$

Hyvin muotoilussa 3-lapaisessa *TSR* luku on maksimissaan 8, mutta itse muotoiluissa ei välttämättä päästä näin korkeisiin arvoihin ja tässä arviointilaskussa käytetään arvoa 5. Sijoitetaan 4-metrinen potkurin arvot kaavaan 6.

$$rpm = \frac{5 \times 60 \times 3 \frac{m}{s}}{12,72m} = 70,75rpm$$

On huomattava, että 3 m/s tuulella saavutettava pyörimisnopeus 70 rpm toteutuu vain jos generaattori on kuormittamaton, eli kuormitettuna tuulta tarvitaan vähän enemmän.

8.2 Lapojen valmistus ja kiinnitys

Lapojen valmistuksessa käytin lasikuitua. Lapojen muodon sain valamalla lasikuitua 250 mm viemäriputken päälle (kuva 17). Lasikuituvalun kuivuttua leikkasin ylimääräiset lasikuidut pois. Yhden lavan paino on 1250 g lavat ovat tarkasti punnittu, tyvi sekä kärkipainot erikseen. Näin potkurista saadaan tasapainoinen ja tasaisesti pyörivä. Painon tasaamiseksi joihinkin lapohin joutui lisäämään hartsia.



Kuva 17. Lavan valmistus

Lavat kiinnitin kahden teräksestä valmistetun laipan väliin. Teräslaipat kiinnitin generaattorin akseliin. Teräslaipat leikattiin plasmaleikkurilla, plasmaleikkaus teetettiin metallipajalla.

9 Myrskysuojaus

9.1 Yleiset myrskysuojaukset

Myrskysuojaus on potkurivoimalassa erittäin tärkeää, sillä varmistetaan, etteivät siivet hajoa tai voimala kaadu kovassa tuulessa. Tämän kokoluokan (<5 m) voimaloissa käytetään yleensä myrskysuojauksena tuulesta poiskääntö, lapakulmansäätö, keskipakoisvoimajarru, sekä sakkaus. Yleisimpiä ovat tuulesta poiskääntö sekä keskipakoisvoimajarru. Sakkaus ei varsinaisesti ole myrskysuojaus vaan sillä hillitään generaattorin pyörimistä nostamalla kuormitusta, myrskytuulissa on vaarana käämityksen palaminen.

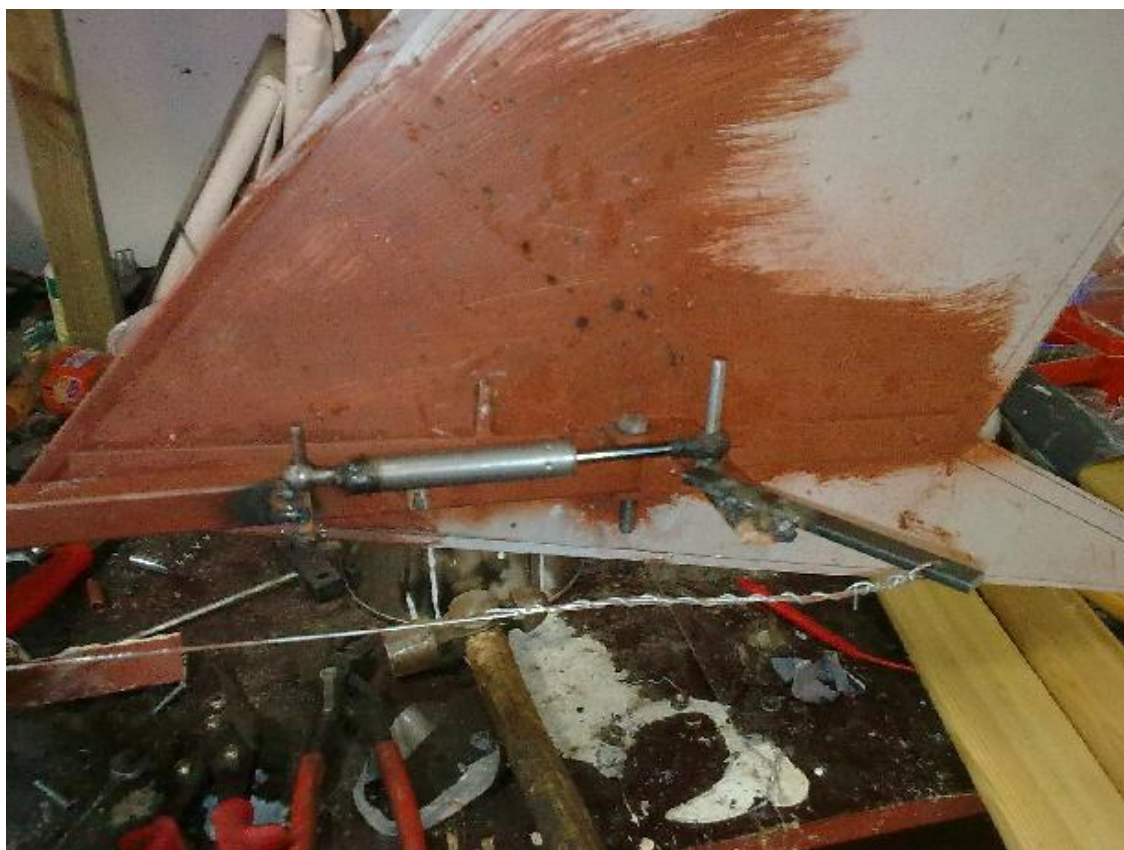
Tässä työssä myrskysuojaukseksi valitsin tuulesta pois käännön. Usein poiskääntö perustuu potkurin työntövoimaan, mutta halusin tehdä sähköllä käännettävän peräsimen. Näin myrskysuojausta voi säätää helposti jos myrskysuojauksen haluaa käynnistyvän aiemmin tai myöhemmin.

9.2 Myrskysuojauksen valmistus

Myrskysuojauksena toimiva sähköllä kääntyvä peräsin tarvitsee toimiakseen nivelöidyn peräsimen, sähkömoottorin sekä ohjauslaitteen. Moottoriksi valitsin 2 kpl 12 V:n vetomoottoreita. Moottoreiden ohjaus tarvitsee kokonaan oman järjestelmän, koska voimala ei ainakaan suoraan tuota näin matalaa jännitettä.

Moottoreiden ohjauksen toteutin erittäin yksinkertaisella kytkennällä. Generaattorin tuottamasta vaihtosähköstä otetaan pienellä 230/12 V muuntajalla myrskysuojauksen vetomoottoreiden ohjausjännite, muuntajan tuottama vaihtosähkö tasasuunnataan ja ohjataan zenerdiodin kautta 12 V:n releelle. Releellä ohjataan myrskysuojauksen vetomoottoreita. Muuntajan toisiopuolen jännite on verrannollinen generaattorin tuottamaan jännitteeseen. Esimerkiksi generaattori tuottaa 115 V, muuntajan toisiopuolen jännite on 6 V.

Zenerdiodin tarkoitus on estää releellä valumasta sähköä muuntajasta ja zenerdiodia vaihtamalla eriarvoisiin voidaan säätää millä jännitteellä myrskysuojaus käynnistyy, esimerkiksi 12 V zenerdiodia käytettäessä myrskysuojaus käynnistyy, kun generaattori saavuttaa 230 V jännitteen (taulukko 2, s.36). Täysin vastaavalla kytkennällä hoidetaan myös generaattorin lisäkuormituksen ohjaus kovalla tuulella paitsi, että releen ohjattavan jännitteen arvot ovat eroavat. Kuvassa 18 on kääntyvä peräsin joka on osittain pohjamaalattu..



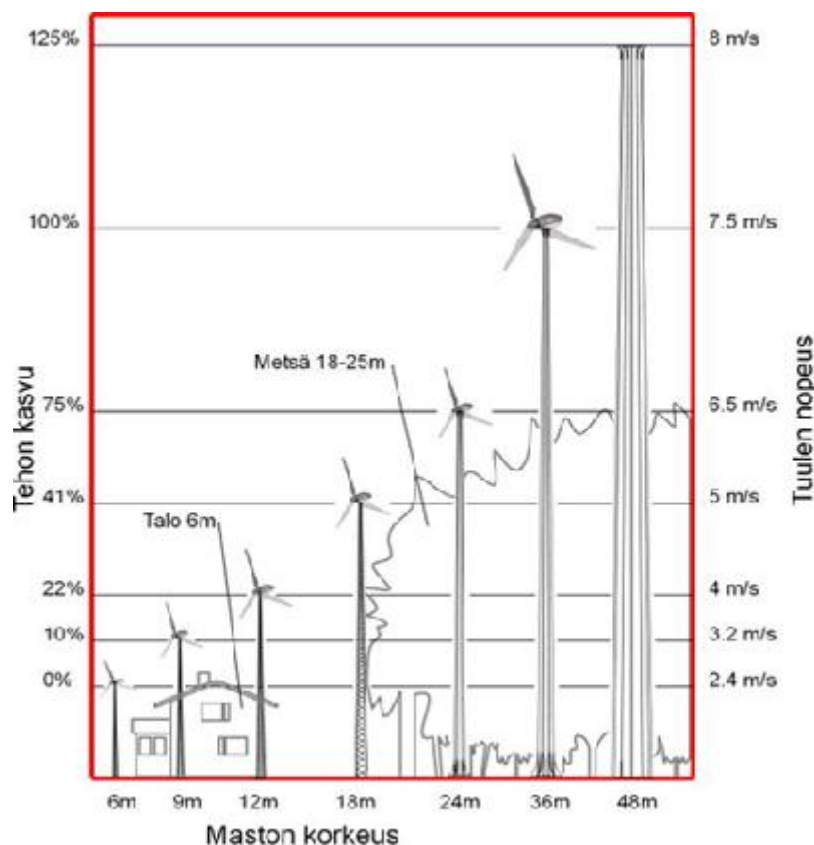
Kuva 18. Kääntyvä peräsin

10 Masto ja perustukset

10.1 Masto

Mastoja on kahdentyyppisiä: harustamattomat sekä harustetut. Harustamattomat mastot ovat paljon tukevampaa tekoa, myös perustukset ovat tukevammat ja varsinkin kiinnitys perustukseen on oltava vahva. Maston korkeudella on suuri vaikutus saatavaan tuottoon. Masto pitää valita ympäristön mukaan ja tuulivoimalla olisi hyvä saada sijoitettua ympäristöä korkeammalle. Mitä korkeammalle voimalla saadaan

sijoitettua, sen tasaisempi sähköntuotto on. Yleensä asutuksen läheisyyteen ei voida maisemoinnin takia sijoittaa 30 metrin mastoa, näin ollen on tyydyttävä pienempään tuottoon. Kuvassa 19 esitetään maston korkeuden vaikutus tuottoon.



Kuva 19. Maston korkeuden vaikutus [17]

Tässä työssä päädyin harustetun maston käyttöön. Mastona käytetään 3 m pätkissä olevia porausputkia, halkaisija 75 mm. Putkissa on kierrekiinnitys ja putkia laitoin 3 kpl peräkkäin, näin maston kokonaispituus on 9 metriä. Mastoa on mahdollista myös jatkaa myöhemmin. Maston tukevoittamiseksi maston yläosaan sijoitin 3 kpl 5 mm:n harusvaijereita. Vaijerit varustin alapäästä vanttikiristimillä, joilla vaijerit saadaan kiristettyä tiukalle.

10.2 Harusvaijereiden lujuuslaskenta

Kovalla tuulella potkuri aiheuttaa työntövoimaa ja maston harusvaijereille on suoritettava lujuuslaskenta, jotta vaijerit eivät katkea kovalla tuulella.

Ensin lasketaan potkurin työntövoima $25 \frac{m}{s}$ tuulessa.

F_p = potkurintyöntövoima (N), ρ ilmantiheys ($\frac{kg}{m^3}$), V^2 tuulen nopeus ($\frac{m}{s}$)

A = potkurin pyörähdyspinta-ala (m^2), C_T työntövoimakertoin, käytetään arvoa $\frac{8}{9}$.

$$F_p = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times A \times C_T \quad [6, s.75] \quad (\text{kaava 7})$$

Sijoitetaan arvot kaavaan 7

$$F_p = \frac{1}{2} \times 1,25 \frac{kg}{m^3} \times 25^2 \frac{m}{s} \times 12,88 m^2 \times \frac{8}{9} = 4471,7 N$$

Koska vaijerit eivät ole kiinnitetty suoraan maston latvaan, vaan 2 metriä alemmaksi on vaijeriin kohdistuva voima isompi. M = taivutusmomentti (Nm), h = pituus (m).

[18, s. 62.]

$$M = F_p \times h \quad (\text{kaava 8})$$

Sijoitetaan arvot kaavaan 8

$$M = 4471,7 N \times 2 m = 8943,4 Nm$$

Seuraavaksi tarkistetaan 5 mm:n vaijerin kestävyys

A = pinta-ala (mm^2), s = säde (mm)

$$A = s^2 \times \pi \quad (\text{kaava 9})$$

Sijoitetaan 5 mm:n teräsköyden arvot kaavaan 9

$$A = 2,5^2 \text{ mm} \times \pi = 19,63 \text{ mm}^2$$

Teräsköyden täyttökerroin on 0,76, [19] näin saadaan pinta-alaksi $14,89 \text{ mm}^2$

Teräsköyden murtokuorma on 1370 N/mm^2 , [19] 5 mm:n vaijerin murtokuorma $14,89 \text{ mm}^2 \times 1370 \text{ N/mm}^2 = 20\,407 \text{ N}$

Myös mastoon kohdistuu tuulikuormaa, mutta sen merkitys kokonaistuulikuormassa on vähäinen, koska masto on vain 9 m korkea ja 75 mm:n pyöreää putkea.

Vaikka harusvaijerit ainakin laskujen mukaan kestää potkurin aiheuttaman työntövoiman, myrskytuulilla (>20 m/s) voimala olisi hyvä kytkeä pois päältä, oikosulkemalla generaattori. Näin vältetään turhat rikkoutuneet osat.

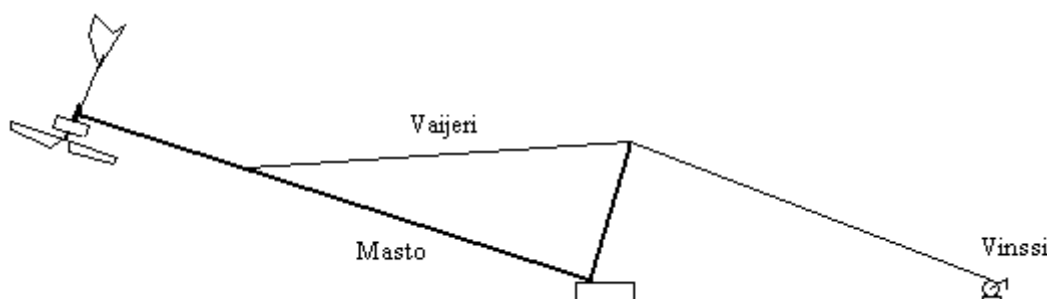
10.3 Harusvaijereiden kiinnitys

Harusvaijerit kestävät potkurin aiheuttaman työntövoiman, joka ei vielä riitä, harukset ovat kiinnitettävä mastoon sekä maahan tukevasti. Kiinnityksen mastoon toteutin hitsaamalla mastoputken ympärille n. 100 mm:sen teräslenkin, johon harusvaijerit kiinnitetään silmukkalenkillä. Harusten ankkureina käytin 12 mm harjaterästä, jonka löin piikkauskoneella savimaahan 6-metrisenä tankona, näin sain harusvaijerit pysymään maassa kiinni. Harusvaijereiden kiristyksen toteutin vanttiruuvilla.

10.4 Perustukset

Jotta masto saadaan tukevasti maahan kiinni, kaivoin maahan noin 70 cm x 70 cm ja 120 cm syvän montun, jonka valoin betonia täyteen. Betonivalun raudoitukset sekä maston kiinnityspultit hitsasin yhtenäisiksi, näin maston kiinnitystä voidaan pitää tukevana. Kiinnitin maston nivelöidyn teräsjalan betonivaluun neljällä 24 mm paksulla pultilla (kuva 21). Maston kippauksen mahdollistamiseksi on kiinnitysjalka oltava nivelöity. Pelkkä nivelointi ei riitä, vaan nostossa ja kaadossa on käytettävä maston juuressa n. 2 m:n mittaista terästankoa. Terästangon tarkoituksena on muodostaa vaijerin ja maston väliin riittävän iso A-kulma, joka mahdollistaa maston alas ja

ylösajossa hallitut liikkeet. Kuvassa 20 on esitetty maston nosto / laskumekanismin periaate.



Kuva 20. Nosto / laskumekanismin periaate



Kuva 21. Perustukset

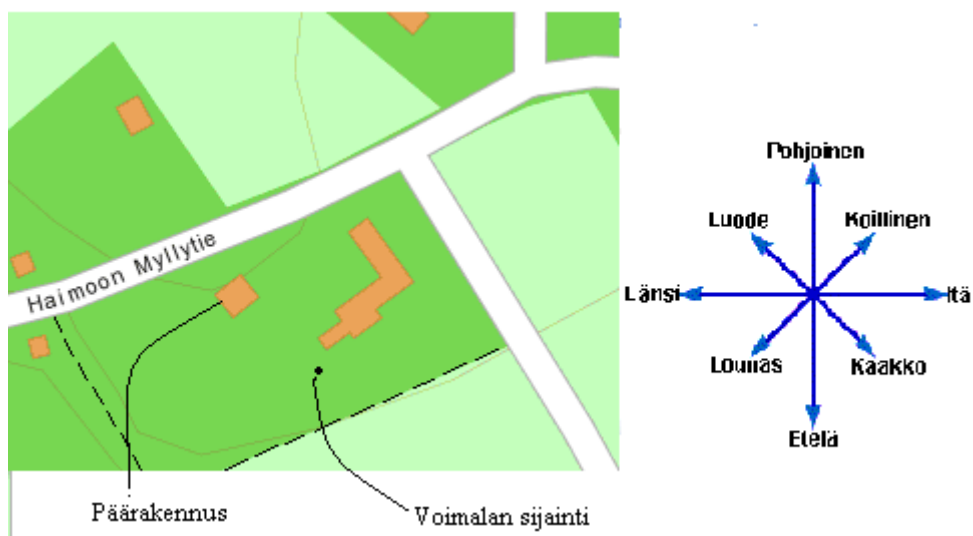
Kuvassa 22 on voimalan nosto vaijerivinssillä. Noston pystyy suorittamaan yksin, mutta laskussa olisi hyvä olla toinen henkilö kaverina.



Kuva 22. Voimalan nosto

10.5 Paikan valinta

Tuulivoimalan sijoituspaikka on 1,2 ha omakotitalotontti. Tämä rajaa jo paljon sijoituspaikan valintaa, ja maston harusvajereiden sijoittelun takia voimala on sijoitettava tontin sivulle. Tontti rajoittuu peltoon lounas, etelä ja kaakko suunnilta. Nämä ovat tällä alueella erittäin yleiset tuulensuunnat, joten voimalan sijoittaminen pellon viereen oli ainoa mahdollinen sijoituspaikka. Kuvassa 23 esitetään voimalan sijoitus tontille karttakuvalla.



Kuva 23. Voimalan sijoituskuva tontille

11 Sähkön hyödyntäminen ja kytkennät

Koska voimalassa ei ole elektronista säädintä ja voimala kytketään suoraan lämmitysvastukseen, sähkökytkennät ovat erittäin vähäisiä.

Generaattorin 3-vaiheinen vaihtosähkö tasasuunnataan ja tasasuunnattu sähkö johdetaan pistorasiaan, johon n. 1000 W:n säteilylämmitin kytketään.

Säteilylämmittimen sijoituspaikka on tontin päärakennuksen yläkerrassa sijaitseva olohuone. Huoneen korkeus on korkeimmillaan n. 4 metriä (harjakatto) ja lämmitin sijoitetaan kattoon, josta lämpö säteilee alaspäin. Lämmitysvastuksella ison vesivaraajan >500 l lämmittäminen olisi paljon järkevämpää, mutta rakennus on suorasähkö / puulämmitteinen.

Järjestelmää pitää ainakin aluksi hyödyntää suorana ilman lämmittämisenä.

Tulevaisuuden suunnitelmiin kuuluukin verkkoinvertterin hankinta, näin voimalasta saa paremman hyödyn.

12 Mittaukset

Tuulivoimalan tehomittaukset suoritin seuraavilla yksinkertaisilla mittalaitteilla: yleismittari Biltema, pihtiyleismittari Biltema, sääasema, generaattorin pyörimisnopeusanturi. Sääaseman tuulimittausanturi on sijoitettu n. 6 m:n korkeuteen mastoon. Generaattorin pyörimisanturi on muokattu polkupyörän digitaalisesta ajotietokoneesta.

12.1 Mittaustulokset

Mittaukset suoritettiin järjestelmän ollessa täysin valmiina ja pystytettynä toimintakuntoon. Mittaukset suoritin useana eri päivänä.

Generaattorin kytkin 1000 W:n sähkövastukseen, kovemmillä tuulilla järjestelmässä oli 2000 W:n lisävastus. Yleismittarilla seurasin jännitettä (V), pihtimittarilla virtaa (A) ja sääasemalla tuulen nopeutta (m/s), rpm on generaattorin pyörimisnopeus.

Taulukko 2. Mittaustulokset

V	A	W	m/s	rpm
35	0,5	17,5	3-4	50
50	1,2	60		67
65	1,7	110,5	4-5	84
80	2,1	168		101
95	2,4	228	5-6	118
110	2,8	308		145
125	3,3	412,5	6-7	152
140	3,8	532		177
155	4,4	682	7-8	187
170	4,9	833		203
185	5,5	1017,5	8-9	210
200	5,9	1180		237
215	6,3	1354,5	9-12	254
230	6,9	1587		271
245	7,5	1837,5	12-13	288
260	8,1	2106		305
275	8,7	2392,5	13-16	322
290	9,8	2842		339

12.2 Mittaustulosten pohdinta

Mittaustuloksista (taulukko 2) huomaamme, että ulostuloteho alkaa olemaan 8 m/s tuulella olemaan jo kohtuullisen hyvä ja yli 10 m/s tuulilla tehoa tulee jo riittävästi. Kuitenkin on huomioitava, että voimalan matalan sijoituskorkeuden takia tuulet eivät ole tasaisia, vaan enemmänkin puuskittaisia, näin ollen jatkuvaa yli 1000 w tehotuottoa ei saavuteta. Alue minne voimala on sijoitettu, yli 10 m/s olevat tuulet ovat aika harvinaisia, keskituulet ovat 2–5 m/s välillä, eli voimalan keskituotto liikkuu 10–200 W paikkeilla. Vuosittaiseksi tuotoksi (Kwh/a) voisi arvioida seuraavalla laskutavalla.

$$Tuotto = 362 pva \times 24h \times \left(\frac{10W + 200W}{2} \right) / 1000 = 912,2 Kwh / a$$

Jos vuodessa esiintyy yksi poikkeuksellisen kovatuulinen kuukausi, voi vuosituotto jopa kaksinkertaistua. Sijoittamalla voimala esimerkiksi 25 m:n korkeuteen voisi vuosituotoksi tulla $65\% \times 912,2 Kwh / a = 1505,1 Kwh / a$ (kuva19).

Tuottolaskelmassa huomataan, ettei vuosituotto ole omakotitalo mittakaavassa kovin iso, mutta järjestelmä on toimiva ja tuottaa sähköä tuulen voimakkuuden mukaan. Tämän tyyppiset voimalarakennukset ovat monesti enemmän harrastustoimintaa sekä asenteellinen, tuottaa itse osa kulutettavasta sähköenergiasta.

13 Harrastajat

Pientuulivoimalat soveltuvat hyvin käytettäväksi kesämökeillä, omakotitaloissa ja maataloilla. Pientuulivoimalan käyttö vaatii ainakin jossakin määrin kiinnostusta aiheeseen, varsinkin jos on kiinnostunut itse rakentamaan voimalan, on aiheeseen perehdyttävä kunnolla. Alla olevassa listauksessa on listattu kirjallisuus- ja internet-lähteitä, joiden lukeminen auttaa tiedon keräämistä pientuulivoimaloista.

www.windesol.fi – Uusiutuvien energioiden tietosanakirja.

<http://ilmaisenergia.info/foorumi/> – Ilmaisienergiaan liittyvä keskustelupalsta.

www.tuulivoimayhdistys.fi – Suomen tuulivoimayhdistys.

www.finnwind.fi – Suomalainen teknologiayritys valmistaa ja myy pientuulivoimaloita ja oheistarvikkeita.

www.google.com – hakusanoilla: small wind turbines, hawt wind turbine, vawt wind turbine, wind turbines blade, wind turbines rotor, DIY wind turbine. hakukone löytää paljon aihetta käsitteleviä tuulivoimalasivustoja.

Sundell, Lasse. Kauhanen, Keijo. Kansikas, Risto. Energiavaihtoehdot. Helsinki, 1981. IP tietokirjat – kirja käsittelee eri energiavaihtoehtoja.

14 Ongelmat

Aina kun suunnitellaan ja rakennetaan mitä tahansa laitteita tulee erinäisiä pulmia, niin myös tässäkin projektissa. Oman pulmansa aiheutti sää, koska monet työvaiheet piti suorittaa ulkona, esimerkiksi generaattorin kasaus, maston valmistus, perustukset ja koko voimalan kasaus. Suurinosa näistä työvaiheista osui talvelle. Kasasin $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa generaattoria ja ennen perustusten kaivamista piti maassa pitää nuotiota noin 2 vuorokautta roudan sulattamiseksi.

Teknisistä vaikeuksista suurin oli toimivien siipien valmistaminen. Tällä hetkellä voimalassa pyörii kolmannet siivet. Tämä työvaihe olisi ehkä kannattanut ostaa valmiina, mutta en löytänyt mistään järkevän hintaisia ja oikeankokoisia siipiä, näin ollen valmistin siivet itse.

Yllättävän suureksi työvaiheeksi osoittautui generaattorin rungon valmistus kääntölaakereineen. Myös staattorin muotin teko ja käämitys oli aikaa vievää puuhaa.

15 Kulut ja kustannukset

Rahallisesti projekti ei ollut kovinkaan kallis. Kalleimpia yksittäisiä osia oli neodym magneetit 210 €, 0,7 mm käämilanka n. 150 €, harusvaijerit tarvikkeineen 120 €

Kaikki muut osat olivat muutamista euroista, muutamiin kymmeneen euroihin.

Esimerkiksi 9 m:n masto, Vihdin hyötyromusta maksoi 25 €. Osien kokonaiskustannus oli n. 700 € muita kuluja tuli osien hakemista autolla.

Ulkopuolisella teetettyjen metallien plasmaleikkauksien arvio hinta n. 150 €, mutta työt sain tähän projektiin ilmaiseksi.

16 Yhteenveto

Projekti oli työn rakentamisen osuudelta aika laaja. Työtunteja kului yli 400 h työaika n. 15 kk. Aikaa kului kyllä paljon hukkaan erinäisiin virheisiin, kuten kolme kertaa rakennetut siivet ja kaksi kertaa käämitty staattori. Työn kirjoitusosuutta olen suorittanut rakentamisen ohella koko ajan. 10.3.2010 on päästy asetettuihin tavoitteisiin ja voimala on saatu toimimaan sekä tuottamaan sähköä hyötykäyttöön. Varsinkin jos järjestelmä kytketään jossakin vaiheessa verkkoinvertteriin, voi voimala maksaa itsensä joskus rahallisesti takaisin. Pitää huomioida, että järjestelmä on täysin ilmainen käytettävä. Ainoa rahallinen kuluerä on noin kerran kahteen vuoteen uusittava roottorin laakeri. Tällaisten järjestelmien takaisin maksuaika on yleensä pitkä, jopa 10 vuotta. Kokonaisuutena projekti oli erittäin mielenkiintoinen, monesti jopa haastava, mutta toimiva ja sähköä tuottava pientuulivoimala oli pienen rahallisen kulun ja vaivannäön arvoinen.



Kuva 24. Tuulivoimala sijoituspaikassaan

Kuvassa 24 näkyvä tässä työssä rakennettu tuulivoimala kuvan keskellä, kuvan etualalla on harjoitusvoimala, joka toimii pihavalojen akkulaturina.

Lähteet

- 1 Tuuliprofiili.(WWW-dokumentti.) Windesol. <<http://windesol.fi/-windesol/Tuuliprofiili>>. Luettu 29.12.2009.
- 2 Yhteiskuntatutkimus. (WWW-dokumentti.) Ilmatieteenlaitos. <http://fmi.fi/tutkimus_yhteis-kunta/yhteiskunta_9.html>. Luettu 18.3.2009.
- 3 Uudet energiaratkaisut Pohjanmaalla. (WWW-dokumentti.) energia-alan asiantuntijaseminaari Kalajoella 12.9.2008. <http://projects.gtk.fi/-export/sites/projects/energiaseminaari/esitykset/7-Luopajarvi_Lauri-Kalajoki.pdf>. Luettu 20.3.2009.
- 4 Kukkonen, Vilho. Tammelin, Bengt. Tuulienergian saatavuus ja sähkönkulutuksen vertailu. Helsinki: Yliopistopaino, 1994.
- 5 Nikula, Paula. Kainu, Miikka. Tuulesta temmattu lattialämpö. Kauppalehti, 2.3.2009
- 6 Haapanen, Erkki. Tuulivoimatekniikka. (WWW-dokumentti.) Tuulitaito. <www.tuulitaito.fi/Artikkelit/tuulivoimatekniikkaa_luento.ppt>. Luettu 5.4.2010.
- 7 Tuulivoiman tuotantoon soveltuvien alueiden kartoitus. Uudenmaan liitto. Uudenmaan liiton julkaisu E 77–2003.
- 8 Darrieus-roottori. (WWW-dokumentti.) Wikipedia. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Darrieus-roottori>>. Luettu 20.3.2009.
- 9 Lenz-roottori. (WWW-dokumentti.) Uusi Suomi. <<http://henry.blogit.uusisuomi.fi/>>. Luettu 20.3.2009
- 10 Savonius-roottori. (WWW-dokumentti.) Green energy. <<http://www.thegreen-energyweb-site.com/windy.htm>>. Luettu 20.3.2009.
- 11 Windside-roottori. (WWW-dokumentti.) Windside. <<http://windside.com/-/finnish/products.html>>. Luettu 20.3.2009.
- 12 Kestomagneettien fyysiset tiedot. (WWW-dokumentti.) Supermagnete. <http://www.super-magnete.de/fin/data_table.php>. Luettu 7.9.2009.
- 13 Peltonen, Hannu. Perkkiö, Juha. Vierinen, Kari. Insinöörin fysiikka (AMK) osa 2. Saarijärvi: Lahden teho-opetus, 2004.
- 14 Radiaalivuogeneraattori. (WWW-dokumentti.) Axcomotors. <<http://www.axcomotors.com/aksiaalivuomoottori/vesivoimageneraattori.html>>. Luettu 10.9.2009.

- 15 Sundell, Lasse. Kauhanen, Keijo. Kansikas, Risto. Energia vaihtoehdot. Helsinki: IP tietokirjat, 1981.
- 16 Basic blade design. (WWW-dokumentti.) Windmission. <<http://www.windmission.dk/workshop/basicbladedesign/bladedesignleft.html>>. Luettu 10.2.2010.
- 17 Maston valmistaja. (WWW-dokumentti.) Oy Nordic AC Ltd. <<http://www.nac.fi/index.html>>. Luettu 30.1.2010.
- 18 Hautala, Mikko. Peltonen, Hannu. Insinöörin fysiikka (AMK) osa1. Saarijärvi: Lahden teho-opetus, 2005.
- 19 Teräsköydet ja tarvikkeet. (WWW-dokumentti.) Certex. <<http://www.certex.fi/UserFiles/FI/1%20Ter%C3%A4sk%C3%B6ydet%20ja%20tarvikkeet.pdf>>. Luettu 10.2.2010.
- 20 Sähköä tuottavan laitteiston liittäminen jakeluverkkoon. (WWW-dokumentti.) Satavakka. <www.satavakka.fi/skansio/docs/40198.doc>. Luettu 10.2.2010.
- 21 SMA Windy Boy Hinnasto. (WWW-dokumentti.) Jn-Solar. <http://www.jn-solar.fi/index.php?main_page=index&cPath=36_37>. Luettu 25.3.2010.

[20]

Voimassa: 1.12.1998 alkaen

**SÄHKÖÄ TUOTTAVAN LAITTEISTON LIITTÄMINEN
JAKELUVERKKOON JA VERKKOPALVELUN TEKNISET
EDELLYTYKSET**

1. Yleistä

Tämän ohjeen tarkoituksena on määritellä tekniset seikat, joiden avulla mahdollistetaan sähkön tuotantolaitteistojen liittäminen ja käyttö jakeluverkossa.

Jakeluverkolla tarkoitetaan sähköverkkoa, jonka nimellisjännite on pienempi kuin 110 kilovoltia.

Jakeluverkonhaltijalla (JVH) tarkoitetaan verkonhaltijaa, jolla on hallinnassaan jakeluverkkoa, ja joka harjoittaa luvanvaraista sähköverkkotoimintaa.

Yleisellä jakeluverkolla tarkoitetaan jakeluverkonhaltijan omistamaa jakeluverkkoa.

Jakeluverkkoon liitettävä tuotantolaitos ei saa

- aiheuttaa vaaraa jakeluverkon kanssa tekemisissä oleville henkilöille
- häiritä muiden jakeluverkkoon liitettyjen sähkölaitteiden toimintaa.

Erityisesti jakeluverkonhaltijan tietämättä **syntyvät takajännitteet ja yleisen jakeluverkon eroaminen erillisiksi asiakkaan tuotantolaitteistojen syöttämiksi saarekkeiksi tulee olla estetty.**

Ohjeessa käsitellään tuotannon jakeluverkkoon liittämistä ja verkkopalvelun teknisiä edellytyksiä mutta ei verkkopalvelun hinnoittelua eikä tuotetun sähköenergian kauppaa.

Sähkön tuotantolaitteistoihin (jatkossa voimalaitos) rinnastetaan pyörivien generaattoreiden lisäksi myös erilaiset staattiset sähköjakeluverkkoon sähköä syöttävät laitteistot, kuten akut, aurinkopaneelit, polttokennolaitokset jne.

Voimalaitosten ja niiden syöttämien verkkojen rakenteet automatiikkoineen ja relesuojauksineen tulee laitteiston haltijan toimesta suunnitella ja rakentaa tarkoituksenmukaisiksi siten, että ne täyttävät tässä esitetyt vaatimukset sekä sähköturvallisuuden asettamat vaatimukset. Asiasta on julkaistu viranomaisten ohjeiden (Rakennusten sähköasennukset A2-1995, luku 551; Tiedonanto T85-91; Sähköturvallisuusmääräykset A1-93) lisäksi mm. SFS-standardi SFS4936, ST-käsikirja ja ST-kortiston sivu (ST 52.40).

Generaattorin mahdollisesti verkkokäskylähetille aiheuttamat ongelmat tulee voimalaitoksen haltijan poistaa kustannuksellaan.

Myös vanhojen laitteistojen muutostöissä tulee noudattaa tässä ohjeessa esitettyjä periaatteita ja menettelyjä.

2 Voimalaitosten luokitus

Jakeluverkkoon liitetyt voimalaitokset jaotellaan tässä ohjeessa seuraavasti:

- | | |
|------|---|
| Lk1 | Yleisestä jakeluverkosta aina erossa toimivat voimalaitokset |
| Lk2 | Yleisestä jakeluverkosta erossa käyvät voimalaitokset |
| Lk 3 | Yleisen jakeluverkon kanssa rinnan käyvät voimalaitokset, |
| LK4 | Yleisen jakeluverkon kanssa rinnan käyvät voimalaitokset, joiden tuottamaa energiaa siirretään jakeluverkkoon |

3 Sähköverkkoon liittäminen

Mikäli kyseessä on sähköä yleiseen jakeluverkkoon syöttävä voimalaitos (Lk4), laaditaan sille oma sähkön tuotannon liittymissopimus. Liittymisen tekniset ehdot annetaan tässä ohjeessa. Mikäli voimalaitos tuottaa sähköä vain liittyjän omaan käyttöön, riittää sähkön käyttöpaikkaa koskeva normaali liittymissopimus, jossa nojaututaan Kauppa- ja teollisuusministeriön päätökseen liittymisehdoista (781/95). Lisäksi on noudatettava tämän ohjeen luokkien lk1...lk3 laitteille annettuja teknisiä ehtoja.

Voimalaitoksen tulee olla rakennettu ja asennettu sähköturvallisuuslain ja sen nojalla annettujen säädösten mukaan sekä Suomessa voimassa olevien standardien mukaisesti. Voimalaitos tulee varustaa jäljempänä esitetyillä suojalaitteilla.

Voimalaitokselle on ennen sen käyttöönottoa tehtävä käyttöönottotarkastus sekä tarvittaessa varmennustarkastus pöytäkirjoineen. KTMP 517/96 mukaan tarkastuspöytäkirjat toimitetaan jakeluverkonhaltijalle rekisterin pitoa varten. Suojareleiden toiminta-arvojen asettelun ja koestuksen on luokkien lk2...lk4 voimalaitosten osalta tapahduttava yhteistyössä verkonhaltijan kanssa.

Koneiston tulee syöttää symmetristä kolmivaihetehoa.

Ennen verkkoon liittämistä voimalaitoksen haltijan tulee toimittaa viranomaisille näiden vaatimat tiedot ja jakeluverkonhaltijalle voimalaitosta koskevat tiedot

- koneiston laji (vesiturbiini, tuuliturbiini jne)
- generaattorin laji
- generaattorin nimellisarvot
- suojalaitteet (releet, katkaisijat jne.)
- kytkentäkaavio

Verkonhaltijan erillisestä pyynnöstä on annettava releiden kytkentää ja toimintaa koskevat piirustukset tms. tiedot.

Luokkien Lk 2 ... Lk 4 mukaisten voimalaitosten käyttöönotosta ja laitteistojen käyttötavan muutoksista tulee sopia jakeluverkonhaltijan kanssa, sekä sisällyttää voimalaitosasiat sähköverkkosopimukseen.

Em. luokkien mukaisten voimalaitosten suunnitelmat, joihin sisältyy selvitykset verkkoonliittymisautomaatiikasta ja suojauksesta, sekä asiakkaan verkon pää- ja suojauskaaviot, tulee hyväksyttää jakeluverkonhaltijalla ennen voimalaitoksen käyttöönottoa. Lisäksi tulee luokkien 3 ja 4 mukaisten laitosten osalta ennakkoon sopia tarvittavien jakeluverkostomuutosten ja suojausjärjestelmien rakentamis- ja muutosaikatauluista sekä niiden kustannusjakoperusteista ennen laitosten rakentamista tai olemassa olevien laitosten käyttötavan muutosta.

Ajan tasalla olevat pää- ja suojauskaaviot tulee toimittaa jakeluverkonhaltijalle arkistoitavaksi.

Voimalaitosten purkamisesta tai rakenteen muuttamisesta tulee sähköverkkosopimus tarkistaa.

Luokkien Lk 2...Lk 4 mukaisten laitteistojen haltijan tulee ilmoittaa verkonhaltijalle voimalaitoksen käytönjohtajan tai muun vastuuhenkilön yhteystiedot ja niiden muutokset.

4. Voimalaitoksen yleiseen jakeluverkkoon liittäminen käyttötekniset ehdot

Lk 1 Yleisestä jakeluverkosta aina erossa toimivat voimalaitteistot:

Rinnankäynti jakeluverkon kanssa tulee olla estetty erotuskytkinvaatimukset täyttävällä mekaanisella vaihtokytkimellä. Laitteiston käyttöönottotakastuspöytäkirjasta pyydetään toimittamaan kopio jvh:lle. Tarkastuksesta tulee ilmetä, että kytkennän oikeellisuus on luotettavasti varmistettu, eikä generaattori missään tilanteessa voi syöttää sähköä yleiseen jakeluverkkoon.

Lk 2 Yleisestä jakeluverkosta erossa käyvät automaattisella syötönvaihdolla toteutetut voimalaitteistot:

Tähän luokkaan luetaan sekä pelkällä kontaktorivaihtoautomaatiikalla että tahdistimella toteutetut voimalaitteistot.

- Asiakkaan generaattorin ja jakeluverkon rinnankäyntiaika tulee rajoittaa releautomaatiikalla enintään 5 sekunniksi. Automaatiikan tulee olla sellainen, ettei sitä rinnankäyntiajan pidentämiseksi käyttötoimenpitein voida ohittaa,
- Varavoimalaitteiston käynnistyessä verkkohäiriötilanteessa tulee asiakkaan varmistetun verkon yhteys JVH:n jännitteettömään verkkoon katketa luotettavasti ennen generaattorin kytkeytymistä asiakkaan verkkoon.
- JVH:n jakeluverkon jännitteen palatessa saa varavoimalaitteiston syöttämä asiakkaan verkko kytkeytyä jakeluverkkoon tahdistumalla sen jälkeen kun JVH:n jännite on ollut normaaliarvoissaan vähintään 10 minuuttia. Tahdistushetken jännite-ero tahdistuskohdassa saa olla enintään 8 %
- Asiakkaan jakelulaitteistoon tulee sisältyä lukittava erotuskytkin, jolla voidaan tarvittaessa estää tahaton sähkön syöttö myös JVH:n verkkoon.

Lk 3 Yleisen jakeluverkon kanssa rinnankäyvät voimalaitteistot:

Tämän luokan laitteistot eivät missään tilanteessa syötä tehoa JVH:n verkkoon

- Voimalaitteiston koeajot tulee suorittaa asiakkaan omaan kuormaan
- Voimalaitteiston syöttämän sähkön tulee täyttää yleiseen jakeluun tarkoitettujen sähkön laatu- ja yhteensopivuusnormien asettamat, sekä alan suositusten mukaiset vaatimukset, jottei JVH:n verkkoon leviä sähkön laatua huonontavia ilmiöitä.
- Kiinteistön pääkatkaisijalle tulee järjestää tehon suunnan valvonta, jonka tulee laukaista käyvä generaattori, tai vaihtoehtoisesti varmennettu verkko eroon JVH:n jakeluverkon syöttämästä verkosta alle 5 sekunnin kuluttua virran suunnan kääntymisestä JVH:n verkkoon päin.
- Em. kohdan aikarajoitusta voidaan erikoistapauksissa pidentää tahdistustapahtuman ajaksi lisäautomaatiikalla 10 sekunniksi, jos voimalaitteiston säätöominaisuudet niin vaativat.
- JVH suosittaa voimalaitteiston suojaukselle ja rakenteelle asetettavan sellaisia vaatimuksia, että voimalaitteisto sietää rinnankäyntitilanteissa rikkoutumatta yleisen jakeluverkon käyttöhäiriöt, so. oikosulut, maasulut pikajälleenkytkentöineen, yllättävät jakelukeskeytykset ja taajuushäiriöt. Em.häiriöt voivat aiheuttaa voimalaitteistolle jännitteen palatessa tahdistamattoman jälleenkytkeytymisen elleivät suojareleet ole erottaneet voimalaitteistoa JVH:n verkosta. JVH:n 20 kV verkon automaattinen pikajälleenkytkentä voi tapahtua 0,4 s keskeytyksen jälkeen. JVH ei ole velvollinen korvaamaan mahdollisten häiriöiden aiheuttamia vahinkoja.
- JVH:n jakeluverkon jännitteen palatessa saa varavoimalaitteiston syöttämä asiakkaan verkko kytkeytyä jakeluverkkoon tahdistumalla sen jälkeen kun JVH:n jännite on ollut normaaliarvoissaan vähintään 10 minuuttia.
- Tahdistushetken jännite-ero tahdistuskohdassa saa olla enintään 8 %.
- Asiakkaan jakelulaitteistoon tulee sisältyä lukittava erotuskytkin, jolla voidaan tarvittaessa estää tahaton sähkön syöttö myös JVH:n verkkoon.

Lk4 JVH:n verkon kanssa rinnankäyvät pienvoimalaitokset, joiden tuottamaa energiaa voidaan siirtää yleiseen jakeluverkkoon.

Yksityiskohtaiset ohjeet voimalaitoksen käytölle ja relesuojaukselle määritetään aina tapauskohtaisesti.

Yleisohjeet:

- Liittymän mitoituksen tulee perustua vähintään generaattorin nimellistehoon tai voimalaitoksen verkkoon syöttämän tehon suuruus on rajattava luotettavasti liittymän enintään sallimaan suuruuteen esim. ylivirtareleen avulla.
- Voimalaitteisto ei saa aiheuttaa häiriötä sähköverkkoon käynnistyksen eikä normaalin käytön aikana. Laitteiston syöttämän sähkön tulee täyttää yleiseen jakeluun tarkoitetun sähkön laatustandardien vaatimukset. Laitteisto on tätä varten varustettava tarpeellisilla säätölaitteilla.
- Asynkronigeneraattorin sähköverkkoon kytkemisen tulee yleensä tapahtua 97...103 % synkronisella pyörimisnopeudella. Mikäli generaattorin käynnistysvirta on niin pieni, ettei se aiheuta häiriötä sähköverkkoon, voidaan sopia muunlaisesta käynnistämisestä.
- Voimalaitteisto on varustettava laitteilla, joilla sen voi erottaa yleisestä jakeluverkosta. Näiden laitteiden on oltava jatkuvasti JVH:n käytettävissä.
- JVH:lla on oikeus erottaa voimalaitteisto verkosta, jos verkkotyöt niin edellyttävät.
- JVH voi erottaa voimalaitteiston verkosta ilman eri ilmoitusta, jos se ei täytä liittymälle asetettuja vaatimuksia tai aiheuttaa häiriötä muulle verkolle.
- Voimalaitteisto ei saa jäädä syöttämään JVH:n jakeluverkkoa silloin, kun verkkoa ei syötetä muualta, koska verkon uudelleen syöttäminen on voitava aloittaa ilman asiakkaan voimalaitteistoon kohdistuvia toimenpiteitä. Erottaminen on tarpeen myös jakeluverkon työturvallisuuden varmistamiseksi ja sen vuoksi, että pienvoimalaitteiston sähkölaitteilla ei yleensä pystytä estämään verkkoon liitetuille sähkölaitteille vaarallisten jännite- ja taajuuspoikkeamien syntymistä silloin, kun voimalaitteisto jää

yksinään syöttämään verkkoa.

Voimalaitteisto on varustettava vähintään seuraavilla turvallisen ja tarkoituksenmukaisen toiminnan edellyttämällä suojalaitteilla:

- Yksinään syötön estämiseksi jänniterele, joka laukaisee generaattorin irti verkosta, kun jännite poikkeaa enemmän kuin 15 % nimellisjännitteestä, tai taajuusrele, joka laukaisee generaattorin irti verkosta, kun taajuus poikkeaa enemmän kuin 3 Hz nimellistaajuudesta (50 Hz). Jännitettä tai taajuutta valvova rele tarvitaan paitsi synkronigeneraattoreilla myös asyn-kronigeneraattoreilla, koska jännitettä yllä pitävää kondensaattoritehoa voi olla kytkettynä verkon osaan, jota se voi jäädä yksinään syöttämään.
- Kuluttajalaitteiden suojaus vaarallisilta jännite- ja taajuuspoikkeamilta:
 - ylijännitesuoja $U >$
 - alijännitesuoja $U <$
 - ylitaajuussuoja $f >$
 - alitaajuussuoja $f <$

Jännitereleiden tulee olla kolmivaiheisia.

- Oikosulkusuoja:
 - ylivirtarele
- Ylikuormitussuoja.
- Jos laitteisto on liitetty 20 kV verkkoon, tarvitaan maasulkusuoja
- Takatehorele

Koneisto on sen oman suojauksen kannalta tarpeen varustaa muillakin suojalaitteilla. JVH ei vastaa sähköverkkonsa häiriöiden mahdollisista vaikutuksista voimalaitokseen.

- JVH suosittaa voimalaitteiston suojaukselle ja rakenteelle asetettavan sellaisia vaatimuksia, että voima-laitteisto sietää rinnankäyntitilanteessa rikkoutumatta JVH:n verkon käyttöhäiriöt, so. oikosulut, maasulut pikajälleenkytkentöineen, yllättävät jakelukeskeytykset ja taajuushäiriöt. Em. häiriöt voivat aiheuttaa voimalaitteistolle jännitteen palatessa tahdistamattoman jälleenkytketymisen elleivät suojareleet ole erottaneet voimalaitteistoa JVH:n verkosta (JVH:n 20 kV keskijännitejakeluverkon automaattinen

pikajälleenkytkentä voi tapahtua 0,4 s keskeytyksen jälkeen).

JVH:lle tulee toimittaa luokan Lk 4 laitteistosta seuraavat tiedot hyvissä ajoin ennen suunniteltua verkkoon liittymistä:

- voimakoneen ja generaattorin valmistaja ja sarjanumero
- voimakoneen laji (vesi, tuuli, kaasu, diesel jne.)
- generaattorin laji
- generaattorin arvot, vähintään seuraavat:
 - nimellisteho S_N
 - nimellisjännite U_N
 - reaktanssit x_d'' , x_d' , x_d , x_2
 - aikavakiot T_{do}'' , T_{do}'
 - särökerroin
 - magnetointilaitteiston tyyppi
 - mahdollisimman tarkat tiedot oikosulkukäyttäytymisestä (oikosulkuvirran muutokset ajan funktiona säätölaitteiden toiminta huomioon ottaen)
 - jos generaattori on blokkikytkentäinen, lisäksi blokkimuuntajan arvot:
 - nimellisteho S_N
 - muuntosuhde
 - kytkentäryhmä
 - oikosulkuimpedanssi u_k
 - asiakkaan verkon kytkentäkaavio
 - generaattorin suojauskaavio toiminta-arvoineen
 - asiakkaan keskijänniteverkon suojauskaavio toiminta-arvoineen

Suojareleiden toiminta-arvojen asetteluarvojen määrittäminen tapahtuu yhteistyössä JVH:n kanssa. Laitos saadaan kytkeä JVH:n verkkoon vasta sitten, kun JVH on antanut siihen luvan. Ennen käyttöönottoa JVH:lle on toimitettava suojareleiden koestuspöytäkirjat.

Lk 4:n laitoksissa edellytetään liittymiskohdan sähkön siirron mittauksen olevan varustettu kahdensuuntaisesti päto- ja loisenenergiaa rekisteröivällä, kaukoluettavalla mittauksella.

[21]

Tuotteen kuva	<u>Tuotteen nimi-</u>	<u>Hinta</u>
	<u>SMA Windy Boy 1100</u> Verkkoinvertteri jolla voit kytkeä tuulivoimalasi sähköverkkoon. Syöttöjännite DC 139V - 400 V. Suositeltu generaattorin koko 900 W (2500tuntia...	1,299.00€
	<u>SMA Windy Boy 1100 LV</u> Verkkoinvertteri jolla voit kytkeä tuulivoimalasi sähköverkkoon. Syöttöjännite DC 21 V - 60 V. Suositeltu generaattorin koko 900 W (2500tuntia...	1,499.00€
	<u>SMA Windy Boy 1700</u> Verkkoinvertteri jolla voit kytkeä tuulivoimalasi sähköverkkoon. Syöttöjännite DC 139 V - 400 V. Suositeltu generaattorin koko 1395 W (2500tuntia...	1,399.00€

