

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkögeneraattorien ominaisuuksien oppimis- ja tutkimisympäristö

Pränni Aki

Sähkötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Sähkövoimatekniikka
Insinööri(AMK)

KEMI 2011

ALKUSANAT

Haluan kiittää Kemi-Tornion ammattikorkeakoulua mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta ja DI Jaakko Ettoa erinomaisesta opastuksesta.

TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala	
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä	Aki Pränni
Opinnäytetyön nimi	Sähkögeneraattorien oppimis- ja ominaisuuksien tutkimisympäristö
Työn laji	Opinnäytetyö
päiväys	13.12.2011
sivumäärä	54 + 17 liitesivua
Opinnäytetyön ohjaaja	DI Jaakko Etto
Yritys	Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu
Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	DI Jaakko Etto

Työn lähtökohtana oli Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun sähkölaboratorioiden kehittämishanke, jonka tarkoituksena on täydentää opetuskalustoa mm. sähkögeneraattoreiden ominaisuuksien oppimis- ja tutkimisympäristöllä. Tehtävänä oli opetuskäyttöön hankittavien tuuli-, vesi-, bensiini- ja dieselgeneraattoreiden tutkimisympäristöjen selvittely ja suunnittelu.

Työn alkuvaiheessa tutkittiin teoreettisesti alan kirjallisuuden pohjalta työn kannalta tärkeimpiä vaihtosähkökoneiden ominaisuuksia, tuulivoimalan ja vesivoimalan rakennetta sekä taajuusmuuttajaa. Seuraavaksi selvitettiin voimantuotantolaitteiden verkkoonliittyminen ja sähköverkon suojaus. Tämän jälkeen valittiin opetuskäyttöön soveltuvat laitteet. Laboratorioon tulevien pienvoimaloiden oppimis- ja tutkimisympäristöjen generaattoreita pyöritetään taajuusmuuttaja ohjatulla sähkömoottorilla. Pyörityksellä on tarkoitus simuloida eri tuulen nopeuksia vastaavia pyörimisnopeuksia. Koulun katolle tai läheisyyteen asennetaan samanlaiset pientuulivoimalat kuin laboratorioon. Näin voidaan tutkia pientuulivoimalan toimintaa oikeissa olosuhteissa ja laboratoriossa.

Oppimisympäristöillä on tarkoitus antaa opiskelijoille realistinen käsitys erilaisien sähkögeneraattoreiden toiminnasta erilaisissa kuormitus tilanteissa sekä sähkögeneraattorien suojauksesta, säädöstä ja kytkemisestä sähköverkkoon nykypäivän tekniikalla.

Pienvoimalaitosten ja varavoimageneraattoreiden varsinainen hankintasuunnitelma kilpailutuksineen tulee ajankohtaiseksi myöhempänä ajankohtana, ja sen laatiminen sekä osa tulevista pienvoimalaitoksista rajataan työn ulkopuolelle samankaltaisuuden vuoksi. Työn tuloksena luodun suunnitelman on tarkoitus toimia esisuunnitelmana testauslaitteistoja ostettaessa.

Asiasanat: tuulivoima, tahtikone, taajuusmuuttaja, hajautettu sähköntuotanto, generaattori

ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Electrical Engineering
Name	Aki Pränni
Title	Electric generators learning and qualities environment
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	13 December 2011
Pages	54 + 17 appendices
Instructor	Jaakko Etto, MSc (El.Eng)
Company	Kemi-Tornio University of Applied Sciences
Contact Person/Supervisor from Company	Jaakko Etto, MSc (El.Eng)

The basis of this was to improve the electrical laboratories in Kemi-Tornio University of Applied Sciences by reinforcing educational equipment with a research and learning environment of electric generators. The main task was to explore and design wind, hydro, gasoline, and diesel generators for the research environment.

The generators will be rotated by inverter controlled electric motors. The rotating simulates the different wind speeds corresponding to rotational speeds. In the future, wind turbines will be installed in the laboratory. The plan is to mount turbines on the school roof or somewhere near the school. With these assemblies it is possible to do some research in laboratory circumstances or in their real environment.

The learning environment is designed to give students a realistic view of various types of electric power operations in different load situations and also something of the protection of electric generators and how to connect the generators to the power grid using today's technology.

The goals set in the study were met. An acquirement plan of small power plant generators was made. The competitive bidding will take place later. The competitive bidding was not included in the study. A more precise technical definition of similar small power plants was left out. As a result, the created plan is to be used as a pre-engineering test equipment for the purchase.

Keywords: wind turbine, synchronous machine, frequency converters, distributed generation, generator.

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	I
TIIVISTELMÄ	II
ABSTRACT	III
SISÄLLYSLUETTELO	IV
1. JOHDANTO	1
2. VAIHTOSÄHKÖKONEET	2
2.1. Tahtikoneet	2
2.1.1. Tahtigeneraattori	2
2.1.2. Tahtimoottori	5
2.1.3. Kestomagnetoitu tahtikone	6
2.2. Epätahtikoneet	7
2.2.1. Epätahtimoottori	7
2.2.2. Epätahtigeneraattori	10
3. TUULIVOIMALA	11
3.1. Voimalan osat	12
3.1.1. Roottori	13
3.1.2. Vaihteisto	13
3.1.3. Generaattori	14
3.1.4. Masto	15
3.1.5. Säätojärjestelmä	16
4. VESIVOIMALA	18
4.1. Rakenne ja ominaisuudet	18
4.1.1. Juoksupyörä	19
4.1.2. Johtopyörä	19
4.1.3. Imuputki	20
4.1.4. Spiraali	20
4.1.5. Rakennusvirtaama ja turbiinin tilavuusvirta	21
4.1.6. Teho	21
4.1.7. Putouskorkeus	22
4.1.8. Kavitaatio	23
4.2. Vesivoima nykyään	23
4.2.1. Tehonnostot	23
5. TAAJUUSMUUTTAJA	26
5.1. Rakenne	26
5.1.1. Tasasuuntaaja	26
5.1.2. Välipiiri	27
5.1.3. Vaihtosuuntaaja	28
5.1.4. Ohjaus- ja säätöpiiri	28
5.2. Generaattorin asettamat vaatimukset taajuusmuuttajille	29
5.2.1. Täystehoinen taajuusmuuttaja	29
5.2.2. Akkukäyttö	29
6. SÄHKÖVERKKOON LIITTYMINEN	31
6.1. Turvallisuus	31
6.2. Suojaus	31
6.3. Tahdistus	32
6.4. Taajuuden- ja tehonsäätö	32
7. TESTILAITTEISTO	33

7.1.	Tavoitteet testaus ympäristöille.....	33
7.2.	Tuulivoimageraattorin testaus ympäristö (Ampair Pasific 300)	33
7.2.1.	Tekniset tiedot.....	34
7.2.2.	Generaattori.....	35
7.2.3.	Tuuli- ja myrskysuojaus.....	35
7.2.4.	Tasasuuntaus	36
7.2.5.	Akusto	37
7.2.6.	Suorituskyky	37
7.2.7.	Testausympäristö.....	39
7.3.	Taajuusmuuttajalla tehon takaisinsyöttö verkkoon (Tuule E200).	40
7.3.1.	Moottori	41
7.3.2.	Moottoria ohjaava taajuusmuuttaja.....	41
7.3.3.	Generaattori.....	42
7.3.4.	Takaisin verkkoon syöttävä taajuusmuuttaja	42
7.3.5.	Testausympäristö.....	43
7.4.	Varavoimageraattorit.....	44
7.4.1.	Bensiinigeräattori	44
7.4.2.	Dieselgeräattori (biodiesel)	45
7.5.	Mikrovesivoimalat	46
7.5.1.	MHG-200LH turbiini-geräattori.....	46
7.5.2.	MHG500HH keskipaineturbiini.....	47
8.	YHTEENVETO	49
9.	LÄHDELUETTELO	50
10.	LIITELUETTELO	54

1. JOHDANTO

Tämä työ on Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun toimeksiantona osana tekniikan koulutusyksikön sähkölaboratorioiden kehittämishanketta. Saneeraus alkoi keväällä 2010 ja saneerauksen olisi pitänyt valmistua laboratorioiden osalta syyskuussa 2011. Työn lähtökohtana toimi tavoite täydentää oppilaitoksen opetuskalustoa sähköenergian tuotannon oppimisympäristöillä.

Työn tavoitteeksi muodostui uusiutuvan energian projektissa ja sähkölaboratorion kehittämissuunnitelmassa toteutettavien eri tyyppisten ja eri tehoisten generaattoreiden oppimis- ja tutkimisympäristöjen toteuttamisen selvittäminen. Oppimisympäristöillä on tarkoitus antaa opiskelijoille realistinen käsitys erilaisien sähkögeneraattoreiden toiminnasta erilaisissa kuormitustilanteissa sekä sähkögeneraattorien suojauksesta, säädöstä ja kytkemisestä sähköverkkoon nykypäivän tekniikalla.

Laboratorioon tulevien pientuulivoimaloiden oppimis- ja tutkimisympäristöjen generaattoreita pyöritetään taajuusmuuttaja ohjatulla sähkömoottorilla. Moottorilla pyöritettäessä generaattoria voidaan simuloida eri tuulen nopeuksia. Koulun katolle tai läheisyyteen asennettavilla pientuulivoimaloilla, selvitetään pyörintä nopeuksia vastaava tuulen nopeus.

Mikrovesivoimaloiden oppimis- ja tutkimisympäristö asennetaan koululla olevaan vesiprosessiin. Vesiprosessiin joudutaan tekemään putkilinjojen muutoksia ja lisäyksiä, mahdollistaen mikrovesivoimaloiden tutkimisympäristön. Mikrovesivoimaloiden suuren veden virtaaman tarpeen täyttämiseksi joudutaan lisäämään uusi vesipumppu tai pumppuja riippuen putkiston suunnittelusta.

Varavoimakoneiden oppimis- ja tutkimisympäristö sijoitetaan koulun sähkölaboratorioon varattuun huoneeseen, meluhaittojen vähentämiseksi. Varavoimageneraattoreiden ominaisuuksia tutkitaan saarekekäytössä ja verkkoon tahdistettuna. Saarekekäytössä voidaan tutkia generaattorin toimintaa erinlaisilla kuormilla. Verkkoon tahdistuksen periaatteiden opiskelu ja käytännössä liittäminen sähköverkkoon.

Laite hankintasuunnittelu pienten tuuli- ja vesivoimageneraattoreiden osalta osin opinnäytetyön kanssa samanaikaisesti syksyllä 2011, varavoimalaitoksen ja testitilan osalta vuonna 2012. Varsinaiset laitehankinnat ja oppimisympäristöjen lopullinen toteutus varmistuvat myöhemmin vuonna 2012 kilpailutuksen jälkeen.

Sähkölaboratoriahankkeessa investointien yhteismäärä 1,2 M€ ja uusiutuvan energiantuotannonhankkeessa 0,24 M€. Molemmissa projekteissa rahoitusta oppimisympäristöjen suunnitteluun ja toteutukseen.

2. VAIHTOSÄHKÖKONEET

Vaihtosähkökoneen toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään. Vaihtosähkökoneet voidaan luokitella epätahti- ja tahtikoneisiin, sen mukaan pyöriikö koneen roottori staattorikämmityksen kehittämän pyörivän magneetiikentän kanssa eri vai samalla nopeudella./6/

2.1. Tahtikoneet

Tahtikone on vaihtosähkökone, jonka roottori pyörii staattorin synnyttämän pyörivän magneettikentän kanssa samaa nopeutta eli tahdissa. Staattorin rakenne on periaatteessa samanlainen kuin epätahtikoneessa, mutta roottorin rakenne on erinlainen. Tahtikoneen roottorin rakenne riippuu käyttö tarkoituksesta. Nopeakäytisissä rakenteissa käytetään umpinaparoottoria ja hidaskäytisissä avonaparakennetta. Staattori ja roottori on rakennettava samalla napaluvulla kuten epätahtikoneetkin./6/

2.1.1. Tahtigeneraattori

Tahtigeneraattori on sähkökone, joka muuttaa voimakoneen sille antaman mekaanisen tehon sähköenergiaksi, jonka se luovuttaa muuntajien kautta sähköverkkoon. Voimakoneina sähkövoimalaitoksissa käytetään yleensä vesi-, höyry- tai kaasuturbiineja ja varavoimalaitoksissa dieselmootoreita. Generaattorin rakenteeseen vaikuttaa voimakoneen ominaisuudet, esimerkiksi pyörintänopeus./6/

Vesivoimalaitoksissa käytetään yleensä pystyakselikoneistoja, joiden pyörintänopeus on 75-500 r/min, mikä määrää generaattorin napapariluvun välille 40-6 (Taulukko 1), jotta saadaan sähkölle 50 Hz taajuus. Tehon heilahtejujen vaimentamiseksi tarvittavat suuret hitausmomentit vaativat, että generaattoreissa on suuret halkaisijat. Tästä taas seuraa, että generaattorit ovat akselin suunnassa lyhyitä ja ovat avo- eli varsinapakoneita./6/

Höyry- ja kaasuturbiinivoimalaitosten turbiinit vaativat suuren pyörintänopeuden 3000 r/min. Näissä turbiinivoimaloissa generaattorin on kehitettävä 50 Hz:n taajuinen sähkövirta, mikä saadaan yhdellä napaparilla. Suuresta pyörintänopeudesta johtuen generaattoreiden halkaisijat ovat suhteellisen pieniä ja akselinsuuntainen pituus suhteellisen pitkä. Rakenteeltaan generaattorit ovat umpinapakoneita eli lieriöroottorikoneita./6/

Varavoimalaitoksissa käytettävien dieselmootoreiden pyörittämien tahtigeneraattoreiden pyörintänopeudet ovat 500-1500 r/min taajuuden ollessa 50 Hz, joka saadaan napapariluvun välillä 6-2. Rakenne voi olla avo- tai umpinapakone./6/

Taulukko 1. Generaattoreiden pyörintänopeudet, kun taajuus $f = 50 \text{ Hz}$./6/

p	n/(r/min)	p	n/(r/min)	p	n/(r/min)	p	n/(r/min)
1	3000	8	375	15	200	28	107 1/7
2	1500	9	333 1/3	16	187 1/2	30	100
3	1000	10	300	18	166 2/3	32	93 3/4
4	750	11	272 8/11	20	150	34	88 4/21
5	600	12	250	22	136 4/11	36	83 1/3
6	500	13	230 1/13	24	125	38	78 18/19
7	427 4/7	14	214 2/7	26	115 5/13	40	75

Tahtigeneraattorien tehot vaihtelevat likimäärin 10kVA ja 1000MVA välillä ja jännitteet vastaavasti 400V ja 30kV välillä. Tyhjäkäynnin tahtigeneraattorin sähkömotorisen jännitteen taajuus on napapariluvun ja roottorin pyörimisnopeuden tulo, joka selviää seuraavasta yhtälöstä:

$$n = \frac{f}{p} \text{ eli } n = \frac{60f / \text{Hz}}{p} \frac{r}{\text{min}} \quad (1)$$

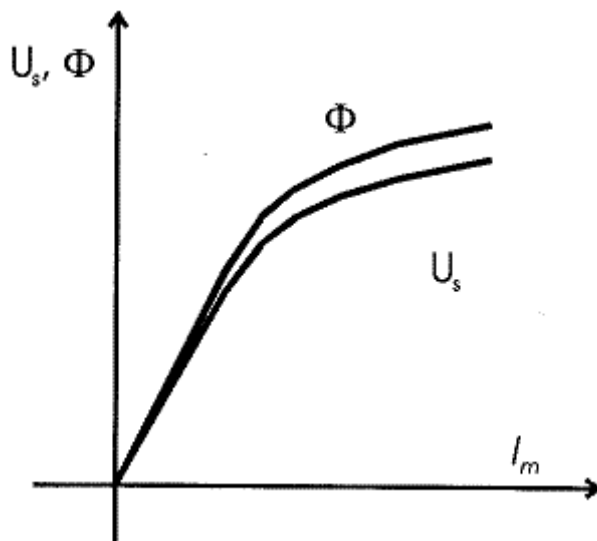
jossa p = generaattorin napapariluku
f = taajuus
r = kierrosta

Kun generaattoria pyöritetään voimakoneella taulukon 1 mukaisilla pyörimisnopeuksilla, staattorikäämejä lävistävä päävuoto Φ_m muuttuu ajallisesti staattorikäämeihin nähden, joka indusoi sinimuotoisen jännitteen, jota nimitetään päälähdejännitteeksi./6/

$$E_{mv} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f_k f N \Phi_m \approx 4,44 f_k f N \Phi_m \quad (2)$$

jossa f_k = käämityskerroin,
f = taajuus,
N = staattorin vaihekäämin sarjaan kytketyt johdinkierrokset,
 Φ_m = yhden magneettinavan päävuoto, joka on sama kuin staattorivyyhden maksimi- eli huippuvuoto

Lähdejännitteen suuruus riippuu magnetoimisvirran suuruudesta. Jos magnetoimisvirta on nolla, kone kehittää vain pienen lähdejännitteen johtuen remanenssimagneettivuosta. Kun magnetoimintaa lisätään, kasvaa lähdejännite aluksi verrannollisena magnetoimisvirtaan. Magneettisen kyllästymisen takia lähdejännitteen kasvu hidastuu tietyn rajan ylittyessä. Kuvassa 1 kuvataan lähdejännitteen ja magnetoimisvirran suhdetta./6/



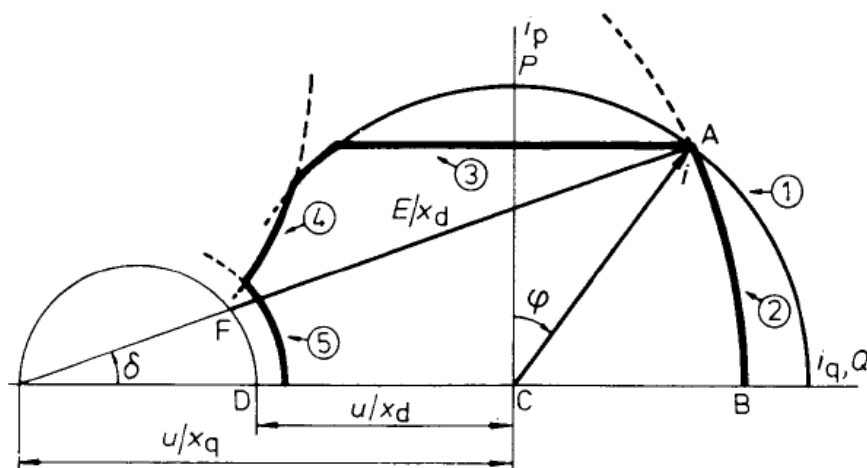
Kuva 1. Tahtikoneen lähdejännite suhteessa magneetoimisvirran kasvuun./13/

Indusoituva jännite voidaan laskea kaavalla 2, yksinkertaisemmin kaavalla 3, josta on yhdistetty koneen kertoimet.

$$E_v = k I_m \quad (3)$$

jossa k = vakio, joka mallintaa koneen rakenteen ja raudankyllästymistä./3/

Kuvassa 2 on esitetty erään tahtigeneraattorin PQ-diagrammi, joka kuvaa generaattorin jatkuvan toiminnan rajoja.



Kuva 2. Erään tahtigeneraattorin PQ-diagrammi./3/

jossa

- A = kuormituspiste (nimellikäyttöpiste),
- B = tyhjäkäyntipiste nimellismagneetoinilla,
- C = tyhjäkäyntipiste tyhjäkäyntimagneetoinilla,
- D = tyhjäkäyntipiste ilman magneetointia,
- CA = staattorivirta (= i),

FA = nimellismagnetointivirta,
 DC = tyhjäkäyntimagnetointivirta,
 1 = vakiostaattorivirtakäyrä, staattorin lämpenemisen asettama raja,
 2 = vakiomagnetointikäyrä, roottorin lämpenemisen asettama raja,
 3 = voimakoneen pätötehoraja,
 4 = käytännön stabiilisuusraja,
 5 = alimagnetointiraja,
 u = staattorijännite,
 P = pätöteho,
 Q = loisteho,
 I = staattovirta (i_p = pätövirta i_q = loisvirta),
 E = tyhjäkäyntijännite nimellismagnetoinnilla,
 x_d = pitkittäinen tahtireaktanssi,
 x_q = poikittainen tahtireaktanssi,
 δ = kuormituskulma (napakulma),
 φ = tehokulma ($\cos \varphi$ = tehokerroin),
 (tehot, virrat, jännitteet ja reaktanssit suhteellisarvoja).

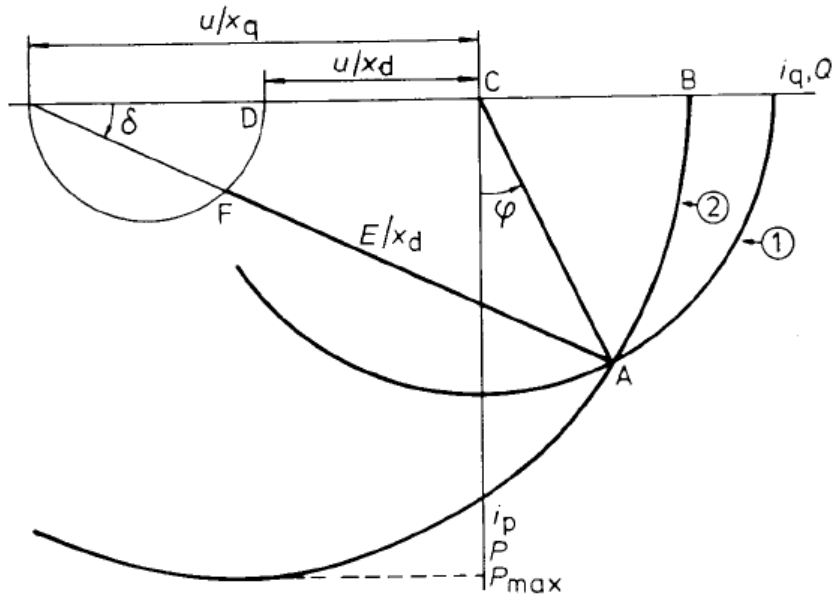
2.1.2. Tahtimoottori

Tahtimoottorilla on parempi hyötysuhde verrattuna epätahtimoottoriin ja erityisesti se, että sillä voidaan kompensoida laitoksen loistehoa. Tällöin se toimii samanaikaisesti vaihekompensaattorina eli dynaamisena kondensaattorina ja jonkin kuormituksen voimakoneena. Tahtimoottoria voidaan käyttää pienilläkin pyörimisnopeuksilla suuren ilmavälinsä ja erillismagnetointinsa takia. Tahtimoottorin maksimivääntömomentti on suoraan verrannollinen verkon jännitteeseen U , koneen sähkömotoriseen voimaan E ja koneen mitoitukseen k , kaavalla 4 voidaan laskea maksimivääntömomentti./6/

$$T_{\max} = kUE \approx 1,5...2,5T_N \quad (4)$$

jossa k = vakiokerroin,
 T_N = nimellismomentti./3/

Tahtimoottori kytketään sähköverkkoon samalla lailla kuin epätahtimoottori, sitä ei tarvitse tahdistaa, kuten tahtigeneraattoria. Tahtimoottori ja –generaattori ovat rakenteeltaan samanlaisia, mutta eroavat toisistaan ulkoisella kytkennällä. Kumpiakin on harjallisina ja harjattomina. Harjallisissa tahtimoottoreissa magnetointiin tarvitaan ulkopuolinen tasasähkö. Harjattomissa magnetointiteho otetaan koneen akseliin sijoitetusta vaihtosähkögeneraattorista, josta saatu sähköenergia tasasuunnataan diodisillan avulla, kuten harjattomissa tahtigeneraattoreissakin./6/



Kuva 3. Erään tahtimoottorin osoitindigrammi./3/

jossa P_{\max} = huipputeho nimellismagnetoinnilla.
Muut merkinnät samat kuin tahtigeneraattorin osoitindigrammissa.

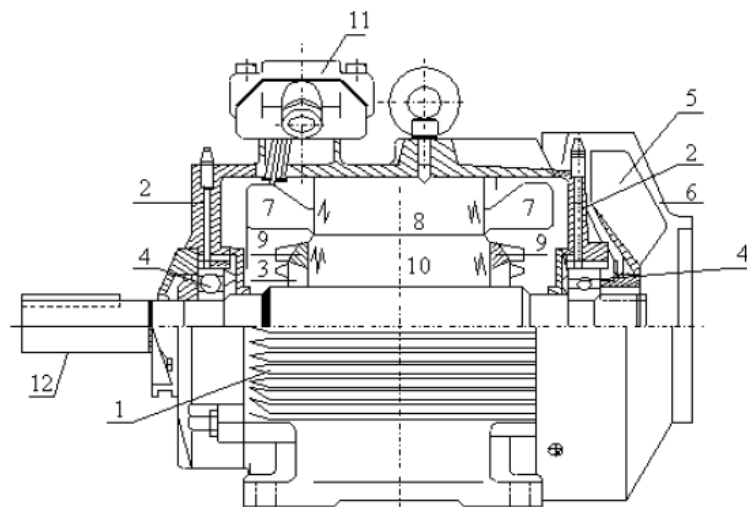
2.1.3. Kestomagnetoitu tahtikone

Kestomagnetoituja koneita käytetään, koska niillä saavutetaan joitakin etuja verrattuna sähköisesti magnetoituihin koneisiin. Magnetoimiskäämityksen puuttuessa myös magnetoimishäviöt puuttuvat ja hyötysuhde paranee. Tehotiheys ja vääntömomentti roottorilavuutta kohti saadaan suuremmaksi kuin sähköisellä magnetoinnilla, jolloin dynaamiset ominaisuudet saadaan hyviksi. Kestomagnetoitujen koneiden roottorissa ei välttämättä myöskään tarvita rautaa. Kestomagnetoitujen koneiden rakenne on yksinkertainen, erityisesti jos koneessa on roottorin pinnalle asennetut magneetit. Joissain tapauksissa, lähinnä pienillä tehoilla, kestomagnetoitujen koneiden hintakin voidaan saada perinteistä sähköisesti magnetoitua konetta alhaisemmaksi./13/

Kestomagnetoidut sähkökoneet voidaan jakaa magnetoimissuuntansa mukaan radiaalisesti-, tangentialisesti- tai aksiaalisesti magnetoituihin koneisiin. Magneetit voivat olla joko roottorin pinnalla tai roottoriin upotettuna. Valittava rakenne riippuu koneen käyttökohteesta. Häviöiden ollessa kestomagnetoiduissa koneissa lähinnä staattorissa, on tehokas jäähdytys helpompi toteuttaa kuin sähköisesti magnetoiduissa koneissa./13/

2.2. Epätahtikoneet

Epätahtikoneen rakenneperiaatetta esittää kuva 4, josta käy ilmi moottorin tärkeimmät osat. Koneen toiminnan kannalta tärkeimmät osat ovat staattorin käämitys paketteina ja roottorin käämitys levypaketteina. Nämä osat ovat sähköisen toiminnan aktiiviset osat, passiiviset osat pitävät moottorin osat paikoillaan ja mahdollistavat voiman siirtämisen akselin kautta eteenpäin tai generaattorina takaisin. ”Epätahtikone on vaihtosähkökone, jonka roottori pyörii eri nopeudella eli epätahdissa staattorinkäämityksen kehittämän magneettikentän kanssa.”/6/



Oikosulkumoottorin rakenne. 1 staattorin runko, 2 laakerikilvet, 3 roottori, 4 laakerit, 5 tuuletin, 6 tuulettimen suojus, 7 staattorikäämitys, 8 staattorin levypaketti, 9 roottorin käämitys, 10 roottorin levypaketti, 11 liitäntäkotelo, 12 akseli.

Kuva 4. Erään täysin suljetun oikosulkumoottorin kokoonpanopiirustus./6/

Epätahtikoneet koneet jaetaan seuraaviin ryhmiin.

Epätahtimoottorit:

- kolmivaiheiset oikosulkumoottorit
- yksivaiheiset oikosulkumoottorit
- liukurengasmoottorit.

Epätahtigeneraattorit:

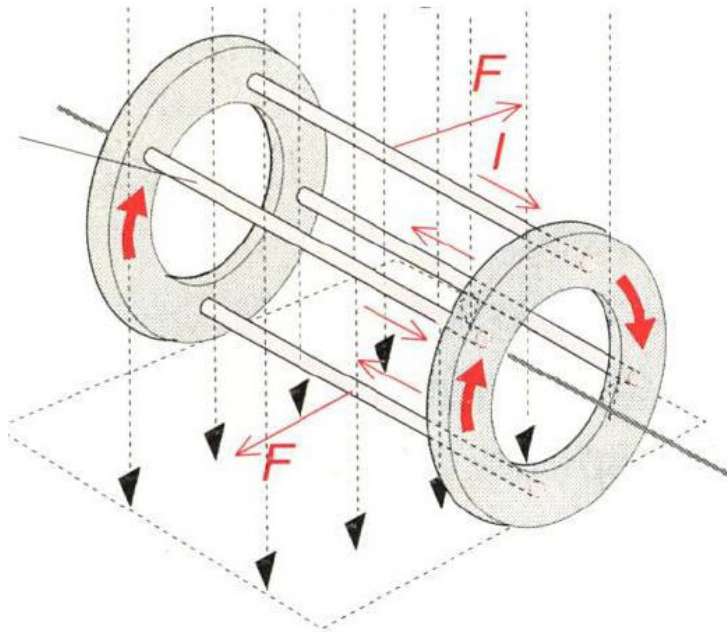
- verkkomagnetoidut epätahtigeneraattorit
- kondensaattorimagnetoidut epätahtigeneraattorit.

2.2.1. Epätahtimoottori

Epätahtimoottoreita kutsutaan monilla eri nimillä, kuten oikosulkumoottori, induktimoottori tai asynkronimoottori. Oikosulkumoottori on saanut nimensä oikosuljetusta roottorikäämityksestä (kuva 5). Induktiomoottori-nimitys johtuu siitä, että

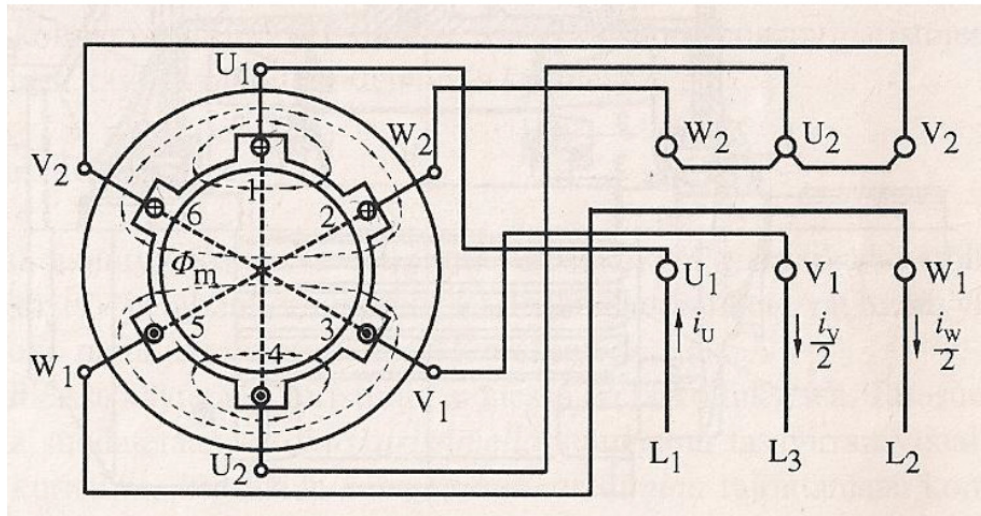
roottorivirta syntyy induktion avulla eli pyörivä magneettikenttä indusoi jännitteen roottorikämmitykseen. Epätahtimoottori-nimitys johtuu taas siitä, että roottori pyörii staattorikenttää hitaammin./4/

Yhteistä kaikkien vaihtosähkökoneiden toiminnalle on se, että niiden seisijaan eli staattoriin on kehitettävä pyörivä magneettikenttä. Tämä tapahtuu eri tavoin kolmi- ja yksivaiheisissa koneissa. Kolmivaiheinen vaihtosähkökone kehittää ilman lisälaitteita pyörivän magneettikentän symmetrisestä kolmivaiheverkosta./18/



Kuva 5. Oikosulkumoottorin häkkikämmityksenmuoto ja staattorikentän aiheuttama sähkövääntömomentti./18/

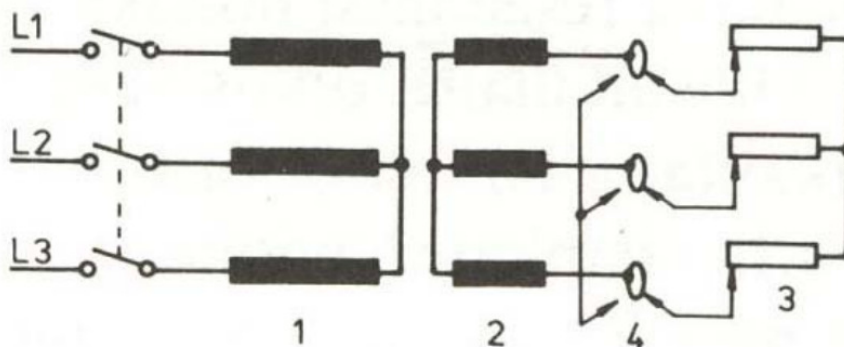
Kuvassa 6 on esitetty kuuteen uraan sijoitettu staattorin kolmivaihekäämitys, jossa siis on kaksi uraa kutakin vaihetta kohden. Käytännössä koneissa on staattorissa useampia kuin kaksi uraa vaihetta kohden, joiden kesken vaihekäämien johdinkierrokset jaetaan. Kun käämien alkupäät, U1, V1, W1, kytketään kolmivaihesyöttöön, alkaa käämien läpi kulkea kolmivaihevirta. Virran aiheuttama magneettikenttä on aina kohtisuorasti sen vaihekäämin tasoa vastaan, jossa virralla on huippuarvo, jolloin vaihtovirta synnyttää koneen sisälle pyörivän magneettikentän./6/



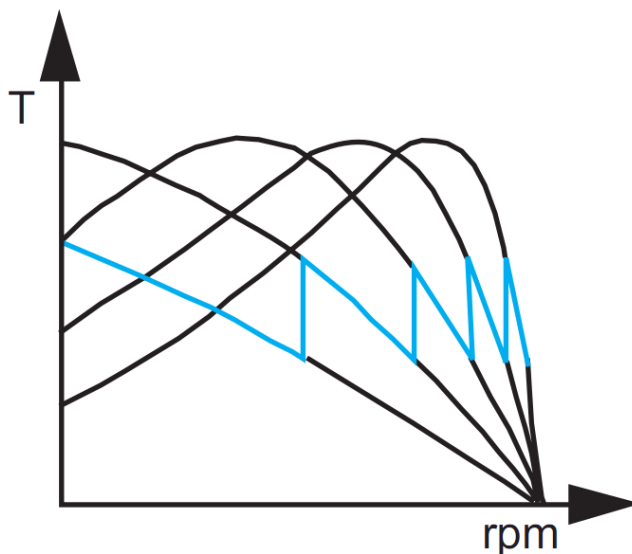
Kuva 6. Tähteen kytketty staattorinkäämitys ja sen synnyttämä magneettikenttä./6/

Liukurengaskone

Liurengaskoneella roottorin käämitys ei ole oikosuljettu vaan sisäisten kytkentöjen toisen pään johtimet on tuotu ulos liukurenkaiden avulla, kuvassa 7 liukurengasmootorin käynnistyskytkentä. Näin ollen moottoriin voidaan kytkeä ylimääräinen vastus/vastukset, jonka avulla voidaan säätää käynnistyvän moottorin käynnistys momenttia tai generaattori käytössä parantaa generaattorin hyötysuhdetta. Käynnistyvän moottorin tapauksessa vastuksen lisääminen kasvattaa maksimimomentin jättämää eli koneen maksimivääntö saadaan alhaisemmalla kierrosluvulla, kuvassa 8 mallinnus vääntömomentista. Käytetään suurta lähtömomenttia vaativissa käytöissä./13/



Kuva 7. Liukurengasmootorin käynnistyskytkentä: 1 staattori, 2 roottori, 3 vastuskäynnistin ja 4 harjat liukurenkaille./6/



Kuva 8. Erään liekurengasmootorin momenttikaavio, sinisellä vastuskäynnistimen eri vastusarvot./2/

2.2.2. Epätahtigeneraattori

Epätahtigeneraattorit voidaan jakaa oikosulku- ja liukurengaskoneisiin. Näistä oikosulkugeneraattori on rakenteeltaan yksinkertaisempi ja huomattavasti yleisempi. Hajautetussa tuotannossa epätahtigeneraattoreita käytetään tuulivoiman ja pien- ja minivesivoiman yhteydessä. Oikosulkugeneraattoreita käytetään vakionopeuksisissa ja liukurengaskoneita muuttuvanopeuksisissa sovelluksissa. Liukurengaskoneen pyörimisnopeutta voidaan säätää joko muuttamalla roottoriresistanssia tai käyttämällä kaksoissyöttökäytännä, jossa roottorikäymistä syötetään taajuusmuuttajalla. Kaksoissyöttökäytännän etuna on se, että osa roottoripiirin energiasta voidaan syöttää takaisin verkkoon eikä sitä tarvitse kuluttaa vastuksissa. /6/

Epätahtigeneraattorin pätö- ja loistehoa ei voida säätää toisistaan riippumatta, sillä kone ottaa magnetointivirtansa verkosta. /6/

Epätahtigeneraattori toimii vikatilanteessa eri tavalla kuin tahtigeneraattori. Koska epätahtikone ottaa magnetointivirtansa verkosta, ei generaattori pysty syöttämään vikavirtaa pitkittyneessä kolmivaiheisessa vikatilanteessa, vaan vikavirta vaimenee jopa 0,2 sekunnissa. Epäsymmetrisen vian tapauksessa epätahtigeneraattori voi syöttää pysyvääkin vikavirtaa. /6/

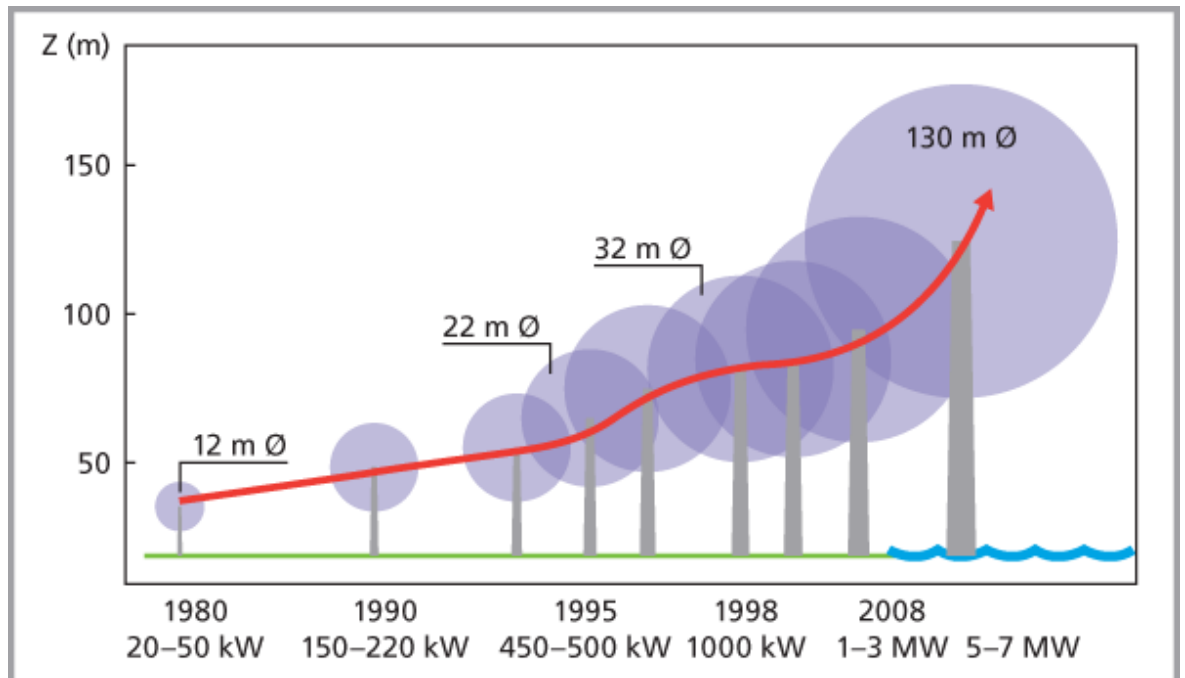
3. TUULIVOIMALA

Tuuli syntyy, kun aurinko säteilee maahan lämmittäen maata ja meriä, joka aiheuttaa ilman liikkumisen ilmassa lämpötila- ja paine-erojen seurauksena. Tuulen liike-energia voidaan muuntaa pyörimisliikkeeksi ja edelleen sähköksi generaattorissa./23/

Tuulivoimalan toiminta perustuu ilman liikkuihin molekyyleihin, joiden liike-energia muutetaan pyörimisenergiaksi tuulivoimalan siipien avulla. Siivet pyörittävät generaattoriin kytkettyä akselia. Generaattorissa pyörimisenergia muutetaan sähköksi, joka johdetaan muuntajaan ja edelleen sähköverkkoon. Näitä voivat olla esimerkiksi akun latauspiirit, kotitalousverkot, eristetyt saarekeverkot tai suuret jakeluverkot./23/

Rakenteeltaan nykyaikaiset tuulivoimalat perustuvat lentokonetekniikkaan. Suurin osa niistä on kolmilapaisia, vaaka-akselisia (joihin tässä työssä keskitytään) ja niiden roottorit kääntyvät tornissa tuulen mukaan. /23/

Tuulivoimalayksiköiden koko on kasvanut merkittävästi viime vuosina kuva 9. Noin 25 vuotta sitten rakennettujen voimaloiden koko oli 20-250 kW. Nykyään rakennettavien voimaloiden koko on lähes poikkeuksetta vähintään yksi megawatti. Suurimpien markkinoilla olevien tuulivoimaloiden koko on 5 MW, joiden korkeus ylittää 130 metriä ja potkurin halkaisija jopa 130 metriä./23/,/37/

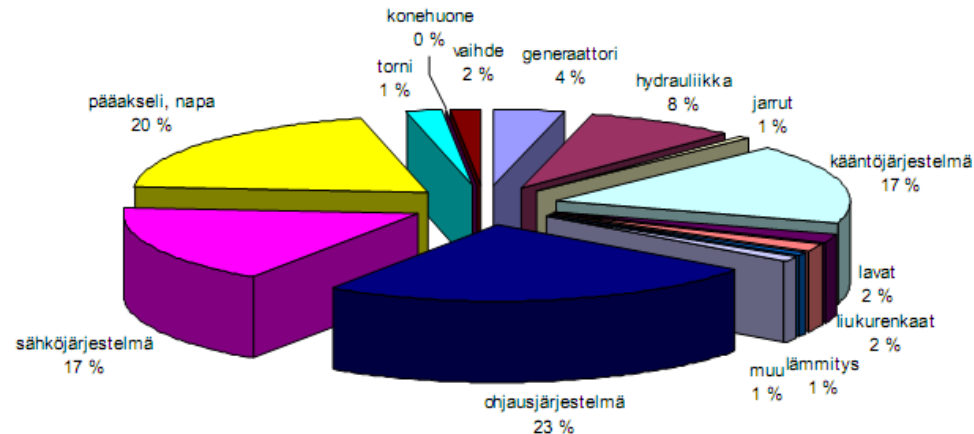


Kuva 9. Tuulivoimaloiden kasvu 1980-luvulta lähtien./23/

Viimeisten kymmenen vuoden aikana keskimääräinen käytettävyys on vaihdellut välillä 91 % ja 96 %. Vuonna 2009 keskimääräinen tekninen käytettävyys oli 91 %. Teknisessä käytettävydessä ei ole otettu huomioon sähköverkon aiheuttamia käyttökatkoja. Muut

tuotantoseisokit, kuten vuosihuollot, korjaukset ja seisokit, jolloin tuulivoimala ei ole ollut valmiustilassa, on otettu huomioon käytettävyyttä vähentävinä./31/

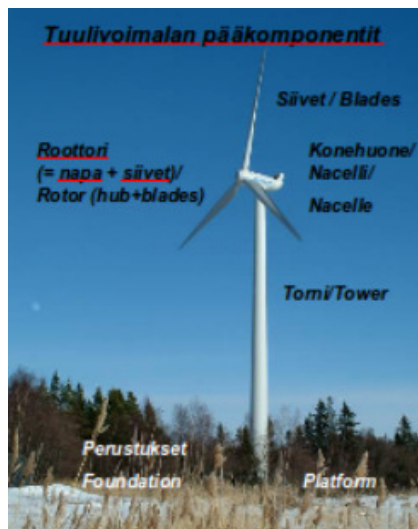
Suurimmat käyttökatoja aiheuttaneet tuulivoimalan komponentit pääakseli tai napa, sähköjärjestelmä, ohjausjärjestelmä ja kääntöjärjestelmä, jotka muodostavat keskeytyksistä 77 %. Kuvassa 10 on esitetty vikojen aiheuttamat käyttökätkot vuonna 2009, yhteensä 36368 tuntia, 94 voimalaitosta, 120 MW (keskiarvo 4 % ajasta)./31/



Kuva 10. Vikojen aiheuttamien käyttökätköiden jakaumatuminen tuulivoimaloiden eri komponenteille vuonna 2009. /31/

3.1. Voimalan osat

Tuulivoimala koostuu pääasiassa siivistä, roottorista, konehuoneesta, mastosta ja perustuksista. Nykypäivän tuulivoima sisältää runsaasti erilaisia mittauksia ja säätöjä, joista tarkemmin myöhemmin. Tuulivoimalan osat on selvitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Tuulivoimalan osat./37/

3.1.1. Roottori

Roottorin lavat valmistetaan tällä hetkellä yleisimmin komposiittimateriaaleista, joissa käytetään lasikuitua ja joskus myös hiilikuitua tai puuta yhdessä epoksin tai polyesterin kanssa. Lavat toimivat myös laitoksen tehonsäätö- ja pysäytysmekanismina. Tehoa säädetään joko sakkaukseen tai lapakulman säätöön perustuen. Laitoksen pysäytys tapahtuu kärkijarrujen avulla (sakkaussäätöiset laitokset) tai kääntämällä koko lapa pois tuulesta (aktiivisella sakkauksella varustetut ja lapakulmasäätöiset laitokset). Lisäksi laitoksissa on toinen erillinen pysäytysmekanismi, joka on levyjarru joko hitaalla tai nopealla akselilla tai molemmilla, yleensä nopealla akselilla./15/

Kolme lapaa

Kolmilapainen potkuri on pyörähdyssymmetrisesti tasapainossa ja massahitaisuvoimat ovat tasapainossa kaikkien akseleiden suhteen. Mikäli voimalassa on vähemmän kuin kolme lapaa, aiheuttaa tuuleen käännettäessä koneistoa rasittavaa värinää, joka johtuu massahitaisuvoimien eroista vaaka- ja pystyakselin suhteen. Tuuleen käännettäessä kaksi tai yksilapaisessa potkurissa kääntö sujuu kevyesti, kun lapa on pystyssä, mutta estyy lähes kokonaan, kun lapa on vaaka-asennossa. Enemmän kuin kolme lapaa maksaa enemmän kuin kolme, mutta ei anna enempää tuottoa./15/

Hyötysuhde

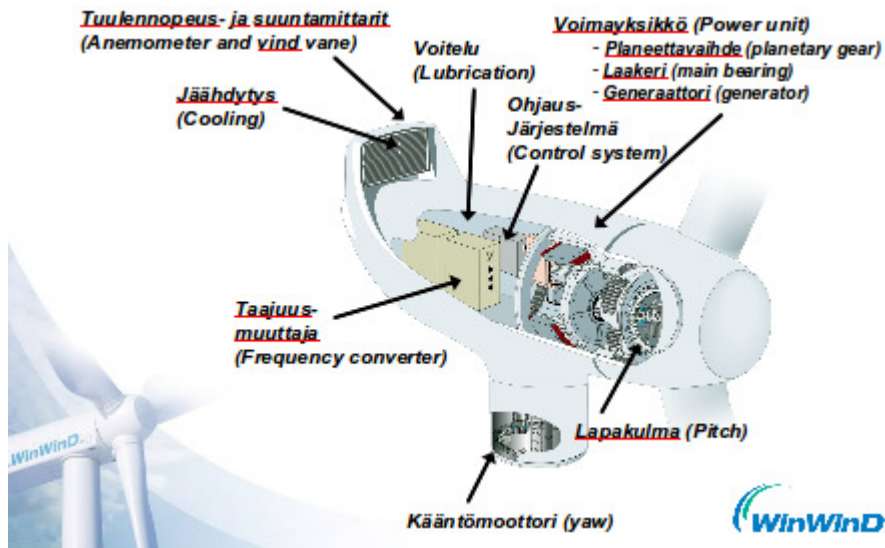
Tuulivoimaloiden teoreettinen huippu hyötysuhde on noin 59%, tätä kutsutaan Betzin-teoriaksi, keksijänsä mukaan. Ideaalisen tuuliturbiinin hyötysuhde voidaan esittää kaavalla 5. Häviöt johtuvat tuulen nopeuden muutoksesta ennen ja jälkeen roottorin lapojen./36/

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho V^3 A} \quad (5)$$

jossa C_p = tuulivoimalan hyötysuhde (max. 0,5926)
 P = roottorin teho
 ρ = ilman tiheys
 V = tuulen nopeus
 A = roottorin pyyhkäisyypinta-ala

3.1.2. Vaihteisto

Isoissa tuulivoimaloissa roottori pyörii noin 22 kierrosta minuutissa (RPM), mutta generaattorin täytyy pyöriä 1500 kierrosta minuutissa. Vaihdelaatikko muuttaa 22 kierrosta 1500 kierrokseen. Kuvassa 12 esitetty tuulivoimalan konehuoneen rakenne pääpiirteisesti ja kuvassa 13 on vaihdelaatikon sisältä./31/



Kuva 12. Konehuone. /37/



Kuva 13. Vaihdelaatikko sisältä päin. /31/

3.1.3. Generaattori

Vakionopeuksisen tuulivoimalan epätahtigeneraattori on kytketty suoraan verkkoon tuulen nopeudesta riippumatta. Turbiinin pyörimisnopeus määräytyy silloin verkon taajuudesta, epätahtigeneraattorin napaluvusta ja vaihteistosta. Pyörimisnopeus voidaan säätää halutuksi generaattorin magnetoinnilla ja turbiinin lapakulmalla. Vaikka vakionopeuksisen tuulivoimalan keskimääräinen hyötysuhde jää pienemmäksi kuin muuttuvanopeuksisen, on se silti tähän mennessä oikosulkugeneraattorin kanssa yleisimmin käytetty tuulivoimalatyyppe kaupallisen tuulivoiman alalla./21/

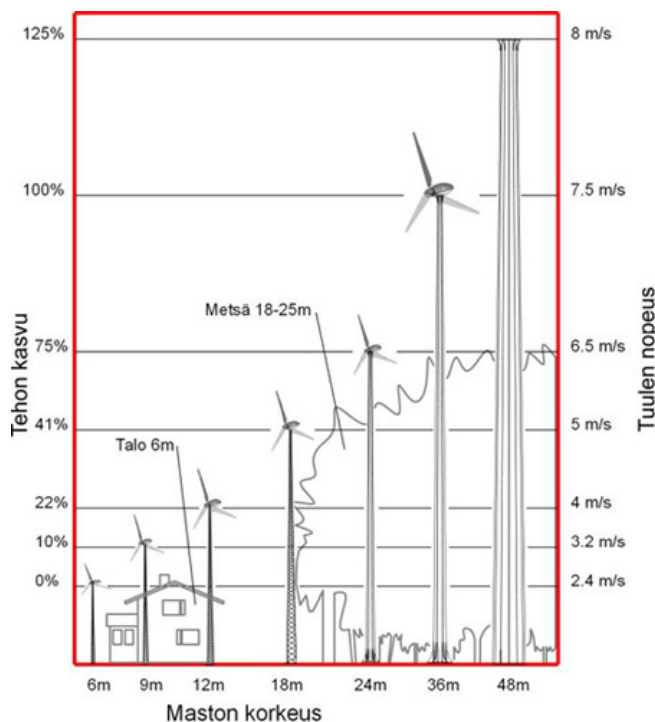
Muuttuvanopeuksinen tuulivoimala on varustettu yleensä tahtigeneraattorilla tai epätahtigeneraattorilla, mutta verkkoon kytkentä on tehtävä epäsuorasti tehonmuokkaimilla eli taajuusmuuttajakäytöllä. Taajuusmuuttajakäyttö on juuri se keskeinen asia joka antaa mahdollisuuden pyörimisnopeuden vaihteluun ja loistehon säätöön. Rahallisesti ei

kuitenkaan ole järkevää asentaa epätahtigeneraattoria ja taajuusmuuttajaa samaan laitteistoon, koska epätahtigeneraattori on mahdollista kytkeä suoraan verkkoon. Kestomagneettitahtigeneraattoria käytettäessä voimala ei tarvitse vaihteistoa generaattorin moninapaisuuden ansiosta, tai vaihteisto on joka tapauksessa huomattavasti pienempi./21/

Muuttuvanopeuksisessa tuulivoimalassa koneisto määrää itse pyörimisnopeutensa, jolloin generaattori pyrkii toimimaan lähellä maksimihyötysuhdettaan tuulenopeudesta riippumatta. Pyörimisnopeuden ei anneta kuitenkaan enää kasvaa huomattavasti nimellistehon saavutettuaan. Voimalan tehokerrointa ja sen tuottamaa loistehoa on myös mahdollista säätää taajuusmuuttajilla. Hidas pyörimisnopeus antaa hiljaisemman käyntiäänän ja paremman kestoiän laitteistolle. Sijoituspaikasta riippumatta tuotanto on optimaalista. Turbiinin lavat voivat olla muihin laitoksiin verrattuna kapeampia ja kevyempiä, jolloin koko tornin rakenne saadaan kevyemmäksi. Laitteisto voi olla kuitenkin kovin monimutkainen ja vikaantumisherkkyytensä takia voi vaatia paljon huoltoa. Myös hinta on perinteistä vakionopeuksista suurempi. Kuitenkin tulevaisuudessa odotetaan muuttuvanopeuksisille tuulivoimaloille suurta kasvua kaupalliseen tuulivoiman tuotantoon./21/

3.1.4. Masto

Tuulivoimalan asennuksessa tulee huomioida mistä tuulee ja minne maston voi pystyttää. Tuulen suuntaan ja voimakkuuteen vaikuttavat huomattavasti maan muodot, rakennukset ja puusto. Voimala tulee sijoittaa avaralle paikalle ja mastonkoekeus tehostaa huomattavasti voimalan toimintaa (kuva 14). Erilaiset rakennukset ja puustot aiheuttavat ilmaan pyörteitä, jotka alentavat tuulen nopeutta./34/



Kuva 14. Maston korkeus suhteessa tuulen nopeuteen./34/

3.1.5. Säättöjärjestelmä

Kaikki tuulivoimalat on varustettu tehonsäätölaitteistolla. Modernissa vaaka-akselisessa tuulivoimalassa on kaksi yleisesti käytettyä roottorin säätötekniikkaa, lapakulma- ja sakkaussäätö. Tuulivoimaloissa on myös koneisto, jolla tuulivoimalan roottori ja samalla koko tornin päässä oleva laitteisto eli naselli voidaan kääntää tuulen suunnan mukaan. Lisäksi muuttuvanopeuksisessa tuulivoimalassa on käytettävissä generaattorin momentin säätö./36/

Lapakulmasäätö

Lapakulmasäätöisen tuulivoimalan elektroninen ohjausyksikkö tarkkailee generaattorin antotehoa, ja sen kasvaessa liian suureksi antaa käskyn lapakulmasäätimien moottoreille pienentää lapojen kohtauskulmaa tuuleen nähden. Tämä on airodynaamisesti oikein tapa ohjata ja säätää teho, vaatii kehittyneen ohjausjärjestelmän. Lapakulma säätö toimii sekä kiinteällä ja muuttuvalla pyörimisnopeudella./35/

Pysäytetyssä asennossa eli lepuutusasennossa lapojen kulma tuuleen nähden on 90°. Voimalaa käynnistettäessä muutetaan lapojen kulmaa noin 45° ja pidetään siinä, kunnes potkuri pyörii kunnolla. Lapojen kulmaa aletaan pienentää, kun tuotanto alkaa. Kevyellä tuulella lapojen kulma voi mennä jopa miinuksien puolelle. Tuulen voimistuessa kulmaa säädetään positiiviseen suuntaan ja ennen myrsky rajaa lapakulma on noin 25°. Lapojen kääntö yli 30° aiheuttaa nostovoiman merkittävän vähenemisen ja voimala hidastuu. Mentäessä kohti lepuutusasentoa voimala pysähtyy. Häätäpysäytyksessä lapakulma käännetään nopeasti lepoasentoon, jolloin potkuri pysähtyy nopeasti. /35/

Aktiivinen sakkaussäätö

Aktiivi sakkaussäätöinen tuulivoimala on yhdistelmä lapakulmasäätöä ja normaalia passiivista sakkaussäätöä. Sen ideana on kuluttaa nimellistehon ylittävää osuutta roottorissa kasvattamalla lapojen kohtauskulmaa tuuleen nähden. Tällöin lavat sakkaavat yhä enemmän, eikä generaattorin antoteho kasva. Etuna aktiivisessa sakkaussäädössä on generaattoritehon pysyminen tarkasti nimellisessä kovilla tuulennopeuksilla./35/

Myrskysäätö

Tuulivoimaloille joudutaan antamaan turvallisuussyistä suurin sallittu pyörimisnopeus jonka jälkeen voimala on pysäytettävä. Pysäytys vaihtoehtoina ovat aerodynaaminen jarru, mekaaninen jarru tai tuulesta pois kääntö./35/

Aerodynaaminen jarru, jota käytetään sakkausrajoitettujen voimaloiden nopeassa pysäytyksessä. Yleisin malli on kokonaan kääntyvä kärkiosa, joka kääntyy poikittain tuuleen voimalan pysäytyksessä. Kärkijarrun pituus on noin 10 % lavan pituudesta. Yksi kärkijarru kykenee pysäyttämään koko voimalan, mutta turvallisuuden takia kärkijarrut on liitetty toisiinsa jarrukaapeleilla, jotta pysäytys on varmistettu. Kärkijarrun toimintaa ohjaa yleensä keskihakuvoima. Luotettavuuden vuoksi kärkijarrusta on tullut yleisimmin käytetty ratkaisu kiinteälapisissa voimaloissa./35/

Tuulessa pois käänö tapahtuu kääntämällä potkurin kehä kokonaan pois tuulesta. Käytetään pienissä voimaloissa joissa potkurin halkaisia on alle 10 metriä. Suuremmissa voimaloissa hyrrävoimat kasvavat niin suureksi, ettei puuskatilanteissa säätö ehdi toimia. On yleisesti käytetty kiinteäläpäsissa pienvoimaloissa./35/

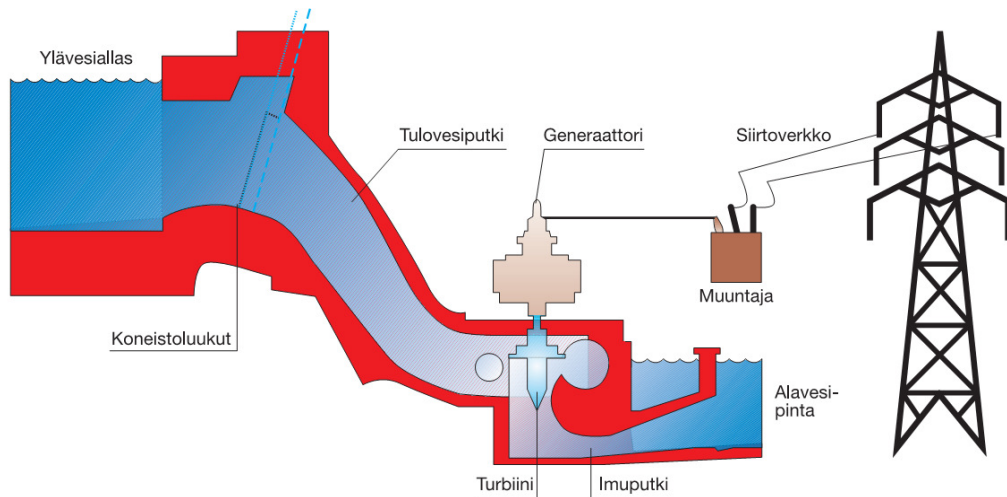
4. VESIVOIMALA

Vesivoima on merkittävä uusiutuva sähköntuotantomuoto Suomessa. Vesivoimalla tuotetaan energiaa noin 13 000 GWh vuodessa ja se vastaa noin 60 prosenttia kaikesta uusiutuvilla energialähteillä tuotetusta sähköstä./17/

Vesivoiman tehokkaan hyödyntämisen ja sen lisärakentamisen merkitys kasvaa entisestään. Se on taloudellisesti merkittävin hyödynnettävissä oleva uusiutuvan energian lähde, jota voidaan rakentaa ilman yhteiskunnan tukea. Lisäksi se on erittäin tärkeä sähköntuotantojärjestelmän toimintavarmuuden takaajana ja käytännössä ainoa tehonsäätöön kykenevä uusiutuvan sähköenergian muoto./1/

4.1. Rakenne ja ominaisuudet

Vesivoimaloiden rakenne on yleisesti hyvin samankaltainen riippumatta laitoksen koosta. Yleensä voimaloiden rakenteeseen vaikuttaa eniten voimalaitoksessa käytettävä turbiinityyppi ja ympäröivä maasto. Suomessa vesivoimalat ovat pääasiassa patolaitoksia (kuva 15), missä vettä padotaan voimalan yläpuolelle ylävesialtaaseen. Tämän jälkeen yläpuolella olevaa vettä lasketaan padon läpi hyödyntäen veden korkeuseroa jolloin potentiaalienergia muuttuu veden liike-energiaksi, joka taas muuttuu pyörimisliike-energiaksi mennessään turbiinin läpi. Turbiini pyörittää generaattoria, joka pyöriessään muuntaa mekaanista energiaa sähköksi./20/



Kuva 15. Vesivoimalaitoksen toimintaperiaate./7/

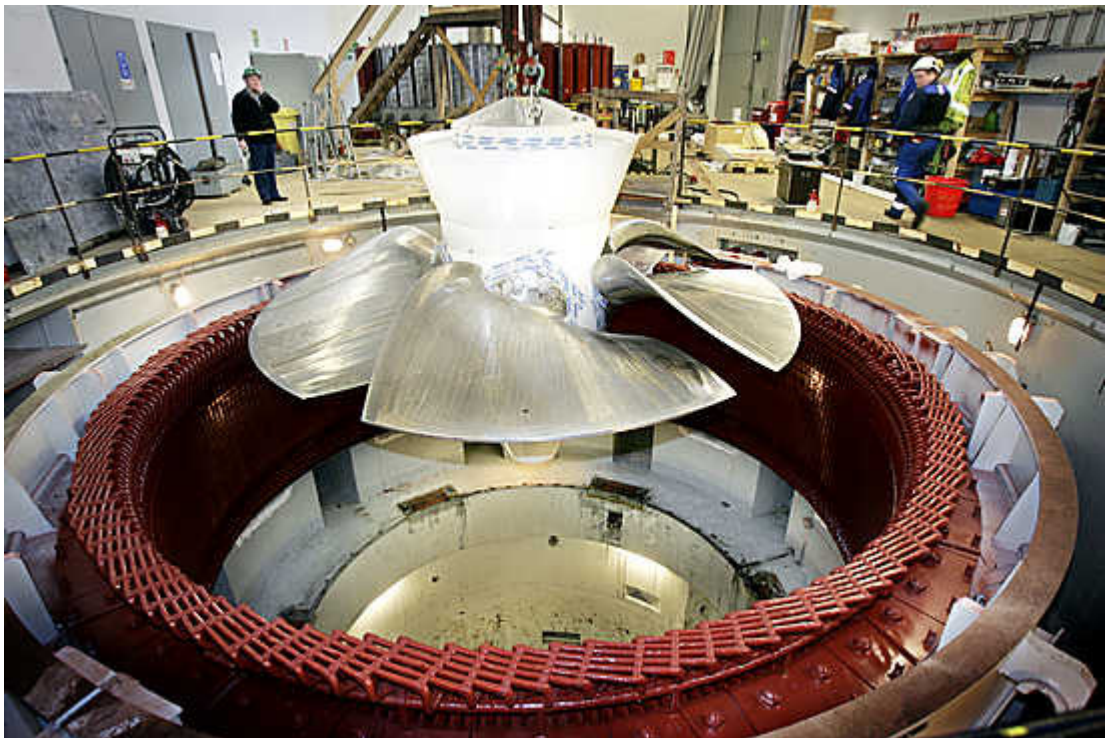
4.1.1. Juoksupyörä

Juoksupyörän tehtävänä on vääntömomentin kehittäminen. Vääntömomentti saadaan kaavalla 6./12/

$$M = Q\rho(R_1c_{u1} - R_2c_{u2}) \quad (6)$$

jossa

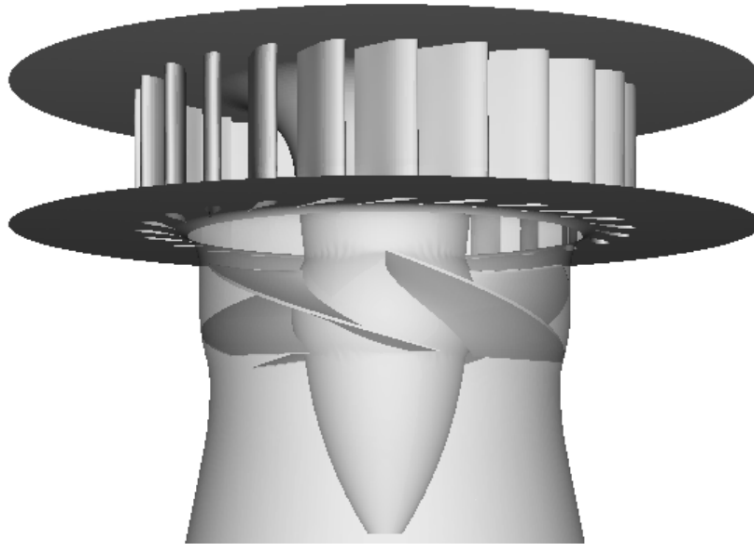
- M = vääntömomentti
- $Q\rho$ = massavirta
- R_1 = juoksupyörän tuloreunan säde
- R_2 = juoksupyörän lähtöreunan säde
- c_{u1} = todellinen u_1 suuntainen nopeus ennen juoksupyörää
- c_{u2} = todellinen u_2 suuntainen nopeus ennen juoksupyörää



Kuva 16. Haapakosken voimalaitoksen kablanturbiinin juoksupyörä. Halkaisia 3,8 metriä.

4.1.2. Johtopyörä

Johtopyörän tehtävä on säätää tulevan veden virtausta. Johtopyörässä on 12-24 kiertyvää johtosiipeä, joita säädetään generaattorin tarpeen mukaan. Kuten kuvasta 17 näkyy vesi johdetaan juoksupyörälle pyörintäsuunnan mukaan ja näin saadaan hyötysuhde korkeaksi./19/



Kuva 17. Kaplan-turbiinin johtopyörä ja juoksupyörä./12/

4.1.3. Imuputki

Imuputki ohjaa veden juoksupyörän jälkeen hallitusti alavesipinnalle. Imuputki ottaa talteen staattisen energian jatkaen imukorkeutta, samalla parantaen hyötysuhdetta./12/

4.1.4. Spiraali

Spiraali ohjaa tulovirtaaman tasaisesti turbiinien tulopuolen kehälle (kuva 18). Pienillä putouskorkeuksilla voidaan käyttää betonispiraalia ja suuremmilla terässpiraalia. Betonispiraalit yleensä verhoillaan teräksellä, kulumisen ehkäisemiksi ja saadaan parempi hyötysuhde kun kulumia ei tapahdu nopeasti./12/



Kuva 18. Erään kaplan-turbiinin spiraali./12/

4.1.5. Rakennusvirtaama ja turbiinin tilavuusvirta

Laitoksen kaikkien turbiinien käyttämää suurinta yhteenlaskettua virtaamaa kutsutaan rakennusvirtaamaksi. Käytettävän rakennusvirtaaman suhdetta keskivirtaamaan nimitetään rakennusasteeksi. Laitoksen Q_R määritellään seuraavasti (kaava 5)./24/

$$Q_R = MQR \quad (5)$$

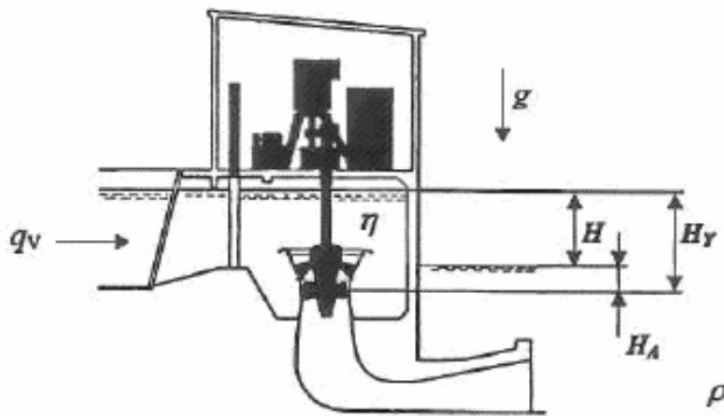
jossa MQ = keskivirtaama
 R = rakennusaste

Turbiinin tilavuusvirralla tarkoitetaan vesimäärää, joka virtaa turbiinin läpi aikayksiköä kohden. Turbiinin tilavuusvirta Q kaavalla 6./24/

$$Q = \frac{Q_R}{\text{koneistojen_lukumäärä}} \quad (6)$$

4.1.6. Teho

Erityisen tärkeää varsinkin voimalaitosta suunniteltaessa olisi tietää, minkä verran hyödynnettävää sähkötehoa olisi mahdollisesti saatavissa sekä minkälainen tai minkälaiset turbiinit soveltuisivat parhaiten mihinkin käyttökohteeseen. Selvittämällä saatavissa oleva teho kuvan 3 laskukaavalla (kaava 7) voidaan arvioida vesivoimalaitoksen kannattavuutta sekä valita sopivin turbiiniratkaisu. Vesivoimalan toimintaan ja sen kannattavuuteen vaikuttavat oleellisesti putoukorkuus, veden virtauksen määrä, investoinnin suuruus sekä sähkön hinta. Luonnontilassa olevien patolaitosten kannattavuuteen vaikuttaa oleellisesti myös vuotuiset sademäärät ja tästä aiheutuva ylävesialtaan säännöstely./22/



Kuva 19. Turbiinin tehon laskentakaava./22/

$$P = \eta \rho g H q_v \quad (7)$$

jossa

- P = vesiturbiinin teho (W)
- η = hyötysuhde
- ρ = veden tiheys (kg/m^3)
- g = putoamiskiihtyvyyys (m/s^2)
- H = putouskorkeus (m)
- q_v = virtaama (m^3/s)

4.1.7. Putouskorkeus

Putouskorkeuden ollessa pieni käytetään ylipaineturbiinia ja vastaavasti suurilla putouskorkeuksilla käytetään suihkuturbiinia. Ylipaineturbiineja ovat Francis-, potkuri- ja Kaplan-turbiinit. Näissä turbiineissa mahdollisimman suuri osa veden liike-energiasta siirretään turbiinin roottorin lapaan. Virtaukseen jäänyttä energiaa käytetään, kun vesi virtaa imuputken kautta tunnelista ulos./19/

Francis-turbiinit ovat radiaalisia ja niissä on kiinteät lavat. Näitä turbiineja voidaan käyttää pienistä putouskorkeuksista aina 500 metriin saakka. Turbiinin virtaamaa ja tehoa säädetään johtosiipien avulla. Näiden tarkoituksena on säädellä turbiinin läpi virtaavan veden määrää. Nykyään Francis-turbiineja ei enää käytetä yleisesti, vaan ne on korvattu nykyaikaisimmilla potkuriturbiineilla. Kaplan- ja potkuriturbiinit ovat aksiaalisia ja niissä on säädettävät siivet, joilla voi lavan kulmaa muuttamalla säätää turbiinin tehoa. Tämän lisäksi myös näissä turbiineissa on johtosiivet, joilla voidaan säätää virtaavan veden määrää. Kaplan- ja potkuriturbiineja voidaan käyttää pienistä putouskorkeuksista aina 70 metriin asti ja niillä on hyvä hyötysuhde vielä osatehoillakin. Näin ne ovatkin yleisiä Suomen vesivoimalaitoksissa./19/

Putki- tai suihkuturbiinilaitoksia käytetään maissa, joissa on erittäin suuria putouskorkeuksia aina 2000 metriin asti. Näitä laitoksia on yleisesti käytössä Norjassa ja

Sveitsissä, mutta Suomessa on vain pieniä putkivoimalaitoksia. Turbiinina käytetään yleensä radiaalista Pelton-turbiinia, jossa vesimassa suihkutetaan suuttimista juoksupyörään. Tämä pyörä on kiinni generaattorin akselissa ja näin saadaan veden potentiaalienergia muutettua roottorin liike-energiaksi./19/

4.1.8. Kavitaatio

Kavitaatiota voi ilmetä, kun neste, tässä tapauksessa vesi, virtaa turbiinin juoksupyörän siipien ohi. Kavitaatio aiheutuu siitä, että veden paine laskee alle veden höyrystymispaineen, mistä johtuen vesi rupeaa höyrystymään ja kuplimaan. Kun tällaiset kuplat sitten osuvat juoksupyörän siipiin, ne aiheuttavat paineiskuja, jotka ajan kanssa aiheuttavat kovaa kulumista metallipinnoissa. Tällaista ilmiötä kutsutaan kavitaatioeroosioksi, joka aiheuttaa näkyvimpänä haittana tehon heikkenemistä siipipyörän kuluessa puhki. Kavitaatiosta aiheutuvan äänen voi kuulla terävinä iskuina tai ritinä turbiinin sisällä./12/

4.2. Vesivoima nykyään

Suomessa vesivoimaa ei juurikaan voi ympäristöä vahingoittamatta rakentaa lisää, ja vesilaki suojeleekin jäljellä olevia luonnontilaisia koskia. Juoksutusten säännöstelyjen seurauksena vedenkorkeuden vaihtelu muuttuu luonnollisesta, mikä voi edelleen haitata kalataloutta ja ekosysteemiä./17/

4.2.1. Tehonnostot

Kemijoki Oy on määrätietoisesti investoinut voimalaitosten tehonnostoihin, voimalaitosten peruskorjaukset ja tehonnostot (taulukko 2). Tehonnosto tapahtuu pääsääntöisesti turbiinin, juoksupyörän ja säätälaitteiston modernisoinnilla. Uoman ruoppausta käytetään myös parantamaan joen virtaamaa, kuten kuvassa 20 Tervolan Mattisessa./17/

Pohjolanvoima saneeraa voimalaitoksiaan aktiivisesti saadakseen paremman hyödyn voimalaitoksista. Liitteessä 17 Pohjolan voiman tehonnosto Iijoessa.

Turbiini

Turbiini määrittää koneiston tuotannon maksimiarvon. Vesiturbiini on keksintönä jo vanha. Pitkään sen kehitys oli pysähdyksissä ja vasta 1990-luvulla uudet tietokoneavusteiset suunnittelu- ja laskentamenetelmät käynnistivät vesiturbiinin kehityksen uudelleen. Turbiinin juoksupyörän ja etenkin sen siipien muotoilulla pystytään hyötysuhdetta parantamaan ja turbiini saadaan kestävämpään suurempia vesimääriä./17/

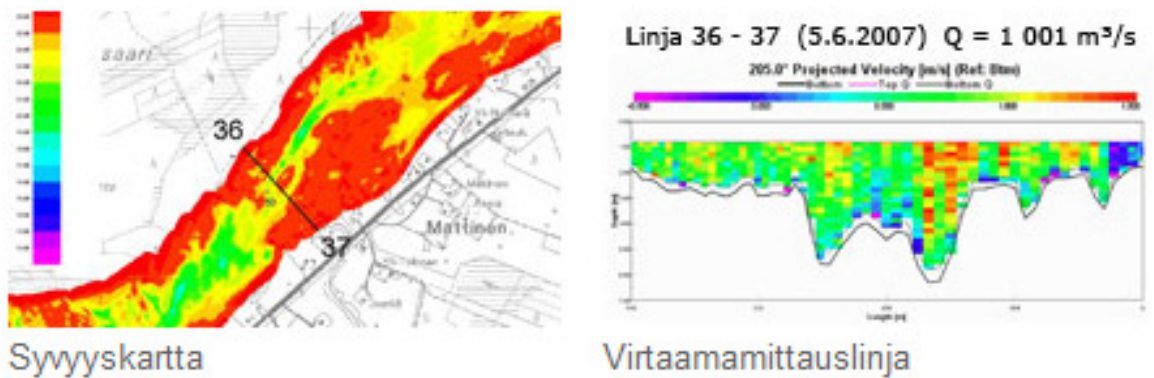
Juoksupyörä

Tehonlisäys saavutetaan juoksupyörän siipien muotoilulla, minkä seurauksena koneiston kautta voidaan ajaa suurempi virtaama. Tuotannon lisäys saavutetaan tulva-aikana koneiston kautta juoksetettavalla, aikaisempaan verrattuna suuremmalla virtaamalla, sekä

muuna aikana turbiinin paremman hyötysuhteen ansiosta. Peruskorjausten yhteydessä uusitaan myös generaattori sekä säätö- ja automaatiolaitteisto./17/

Uomanparannus

Uomanparannushankkeiden tavoitteena on parantaa joen virtausteknisiä ominaisuuksia niin, että uomassa olisi riittävän suuri virtausala koko joen pituudelta (kuva 20). Ahtaat virtausalueet ilmenevät talvisin sulapaikkoina, joissa vesi pääsee jäähtymään ja muodostuu supoksi sulan alapuolisella alueella. Suppo muodostaa hyydepatoja, jotka padotessaan vettä haittaavat energiantuotantoa ja nostavat vettä ranta-alueille./17/



Kuva 20. Tervolan Mattisessa ruoppauksen suunnittelu./17/

Taulukko 2. Peruskorjaukset ja tehonnostot Kemijoki Oy./17/

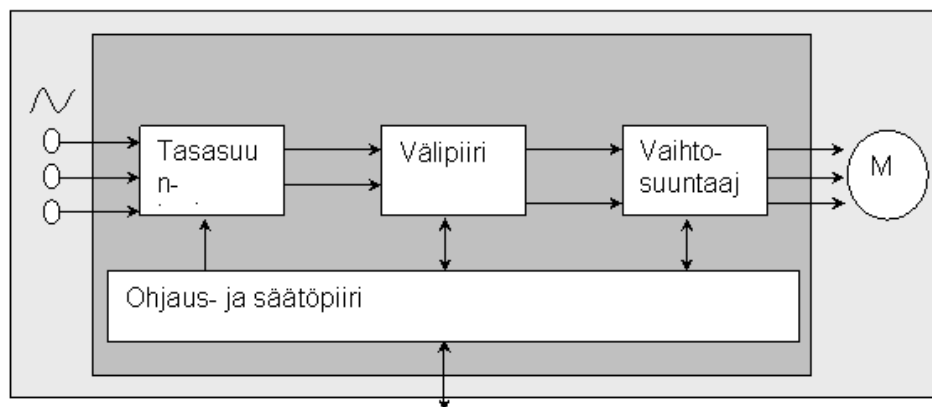
Voimalaitos	Vuosi	Rakennus- virtaaman	Putous- korkeus	Lisäteho	Lisä- energia
		lisäys			
		m³/s	m	MW	GWh
Petäjaskoski I	1996	50	20,5	8	12
Seitakorva II	1997	40	24	8	7
Taivalkoski I-III	1998	150	14,5	18	16
	1999				
Valajaskoski I-III	2001	300	11,5	31	30
	2002				
	2003				
Seitakorva I	2004	100	24	20	14
Permantokoski	2005		24	2	4
Petäjaskoski II-III	2005	200	20,5	37	42
	2006				
Ossauskoski I-III	2007	330	15	31	47
	2008				
Pirttikoski I-II	2009	200	26	30	30
	2010				
Vanttauskoski I-II	2010	150	17	12	24
	2011				
Petäjaskoski I	2011	50	20,5	10	7
Seitakorva II	2014	60	24 - 17	14	5
Lieksankoski I-II	2012		12	2	2
	2015				
Pankakoski I-II	2013		10,5	2	2
	2016				
Porttipahta	2015	50	30	13	2
Vajukoski	2016	40	16	6	2
Kurittukoski	2017	40	11	3	1
Yhteensä:				247	247

5. TAAJUUSMUUTTAJA

Taajuusmuuttajalla pystytään ohjaamaan ja säätämään sähkömoottorin pyörimisnopeutta tai momenttia. Vaihtosähkömoottorin pyörimisnopeus on riippuvainen siihen syötettävän sähköön taajuudesta ja juuri tästä taajuuden muuttamisesta taajuusmuuttaja on saanut nimensä. Alun perin vain pyörimisnopeuden säätö taajuuden avulla oli mahdollista, mutta nykyään myös vääntömomentin säätö pyörimisnopeuden pysyessä vakiona on mahdollista./32/

5.1. Rakenne

Taajuusmuuttajan rakenne voidaan jakaa neljään osaan: tasasuuntaaja, välipiiri, vaihtosuuntaaja sekä näitä kolmea yksikköä ohjaava ohjauspiiri. Taajuusmuuttajan toimintaperiaate on yksinkertaistettuna seuraavanlainen: Ensimmäiseksi sähköverkosta taajuusmuuttajaan syötetty sinimuotoinen vaihtojännite tasasuunnataan eli muutetaan sykkiväksi tasajännitteeksi. Tämä tasajännite on kuitenkin vielä epätasaista, joten se pitää suodattaa. Tämä tapahtuu välipiirissä olevilla kondensaattoreilla, jotka tasoittavat jännitteen ja toimivat samalla energiavarastoina kommutointien yhteydessä, jolloin välipiirissä oleva DC-jännite pysyy vakaana. Viimeisenä vaihtosuuntausyksikkö muuttaa suodatetun tasajännitteen halutun taajuiseksi vaihtojännitteeksi, joka lopuksi syötetään ohjattavalle moottorille./32/

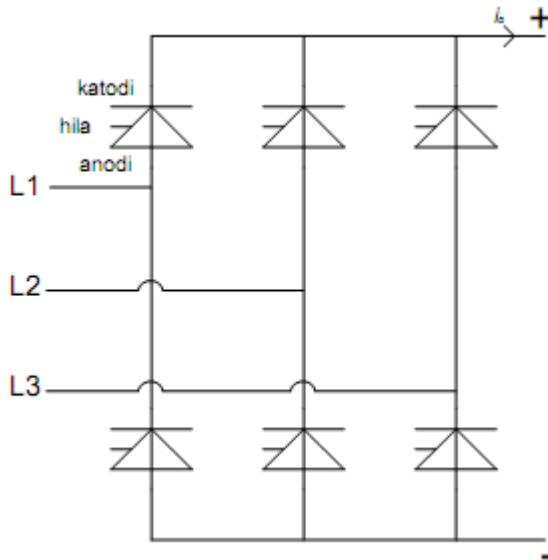


Kuva 21. Taajuusmuuttajan periaatekaavio./14/

5.1.1. Tasasuuntaaja

Tasasuuntaajia on kahta eri päätyyppiä: ohjattu ja ohjaamaton tasasuuntaaja. Tasasuuntaaja muuttaa nimensä mukaisesti muuttaa syöttöverkon kolmivaiheisen vaihtojännitteen tasajännitteeksi. Tasasuuntaaja voidaan rakentaa tyristereilla, diodeilla, tehotransistoreilla tai näiden yhdistelmillä. Diodeilla rakennettua siltaa kutsutaan ohjaamattomaksi tasasuuntaajaksi. Jos silta on rakennettu diodien ja tyristorien yhdistelmällä, tasasuuntaaja on puoliksi ohjattu. Pelkillä transistoreilla tai tyristereilla rakennettua siltaa kutsutaan täysinohjatuksi tasasuuntaajaksi./32/

Tasajännitteen sykkeluvun lisääminen pienentää tasajännitteessä esiintyvää vaihtosähkökomponenttia eli sen aaltoisuus pienenee. Yleisin käytetty tasasuuntaajatyyppe on kuusipulssitasasuuntaaja kuvassa 21. Kaksitoistapulssitasasuuntaaja on yleistymässä./32/



Kuva 22. Kuusipulssitasasuuntaaja. Tyristori ohjattu./16/

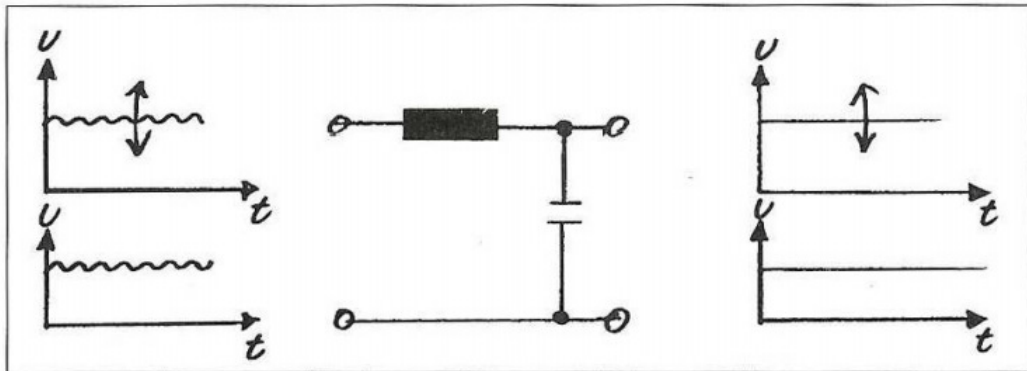
5.1.2. Välipiiri

Välipiiriä voidaan pitää varastona, josta moottori saa energiansa vaihtosuuntaajan välityksellä. Välipiirit voidaan jakaa kolmeen ryhmään. Käytettävän välipiirin tyyppi riippuu tasasuuntaajan ja vaihtosuuntaajan tyypistä./32/

Välipiirejä on olemassa kolmea eri tyyppiä; muuttava tasavirtävälipiiri, vakio- tai muuttuvajännitteinen välipiiri ja muuttuvajännitteinen välipiiri./32/

Muuttuva tasavirtävälipiiri yhdistetään vain ohjattuun tasasuuntaajaan. Piirissä oleva käänin muuttaa tasasuuntaajan tuottaman muuttuvan jännitteen muuttuvaksi tasavirraksi. Moottorinjännite määräytyy kuorman mukaan. Kyseisellä välipiirillä jarrutusteho voidaan siirtää takaisin verkkoon ilman lisälaitteita./32/

Vakio- tai muuttuvajännitteisessä välipiirissä voi olla käänin ja kondensaattorin muodostama suodatin, kuten kuvassa 22. Suodatin tasaa sykkivän tasajännitteen, joka tulee tasasuuntaajasta. Jos tasasuuntaaja on ohjattu, jännite pysyy vakiona tietyllä taajuudella. Vaihtosuuntaajaan johdettu jännite on siten vaihteleva tasoitettu tasajännite. Moottorille menevä virta määräytyy kuormituksen perusteella./32/

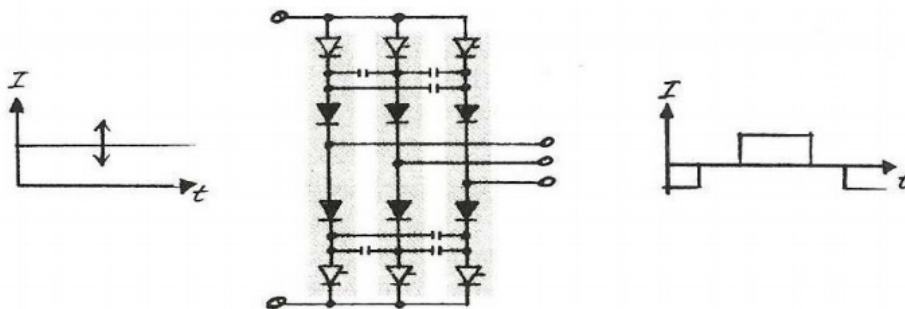


Kuva 23. Vakio- tai muuttuvajännitteinen välipiiri./32/

5.1.3. Vaihtosuuntaaja

Moottorijännitteen taajuutta ja suuruutta ohjataan vaihtosuuntaajalla. Vakiotasajännite on myös mahdollista muuntaa muuttuvaksi jännitteeksi. Koska lähtöjännite sopeutetaan kuormitukseen, mahdollistaa taajuusmuuttaja todella hyvät toimintasuhteet koko säätöalueelle. Näin voidaan pitää moottorin magnetointi optimaalisena kuormitusilannetta vastaavaksi./32/

Vaihtosuuntaaja saa välipiiristä joko muuttuvan tasavirran, muuttuvan jännitteen tai vakiotasajännitteen. Vaihtosuuntaajan tehtävänä on huolehtia siitä, että moottorin syöttö on aina vaihtovirtaa./32/



Kuva 24. Vaihtosuuntaaja, jossa on muuttuva välipiirin virta./32/

5.1.4. Ohjaus- ja säätöpiiri

Ohjaus- ja säätöpiiri ohjaa taajuusmuuttajan puolijohteita sekä hoitaa viestien välityksen ja vastaanottamisen muiden ympärillä olevien laitteiden kanssa. Viestejä voi antaa laitteen ohjauspaneelista tai ylemmän tason säätö- ja ohjausjärjestelmästä./32/

Ohjauspiirin tulot ja lähdöt riippuvat prosessista, jossa taajuusmuuttajaa käytetään. Taajuusmuuttajan tulee ottaa vastaan sekä analogisia että digitaalisia viestejä, jos sitä käytetään esimerkiksi automatisoidussa laitoksessa./32/

5.2. Generaattorin asettamat vaatimukset taajuusmuuttajille

Generaattorin sähköisiä liityntäsuureita ovat esim. nimellisteho, -jännite, -virta, -taajuus, tehokerroin ($\cos\Phi$), suurin käynnistysvirta sekä em. suureiden vaihtelualueet. Erityisesti generaattorin satunnaiset esim. vioista johtuvat ylikuormitustilanteet vaikuttavat suoraan taajuusmuuttajan tulosuureisiin. Myös koneiden magnetointitiedot tarvitaan./9/

Tuulivoimakäytöissä taajuusmuuttaja muodostuu kahdesta muuttajasta eli suuntaajasta ja niiden välisestä tasajännitepiiristä. Lisäksi taajuusmuuttajaan voi kuulua pääkomponentteina suojalaitteita ja suodattimia ja tasajännitepiirin katkoja. Taajuusmuuttajan kahdella osamuuttajalla voi olla niiden toimintaa kuvaavat nimet kuten tasasuuntaaja generaattoripuolella ja vaihtosuuntaaja sähköverkkopuolella. Edelleen näitä osamuuttajia kutsutaan usein yleisnimellä silta niiden puolijohdekytkinten siltaa muistuttavan kytkennän takia. Taajuusmuuttajan tärkein mitoituskriteeri on sen läpi kulkeva teho. Teho muodostuu jännitteen ja virran tulosta. Niinpä taajuusmuuttajan jännite- ja virtakestoisuudet tulevat vastaan komponentteja valittaessa ja niiden suojausta toteutettaessa./9/

5.2.1. Täystehoisen taajuusmuuttaja

Täystehoisen taajuusmuuttajan generaattorin puoleisen suuntaajan on kyettävä ottamaan generaattorin antama suurin teho niin kauan kuin generaattori sitä syöttää. Generaattorin akselitehon käyttö taajuusmuuttajan mitoituksen yhtenä perustana on oikeutettu silloin, kun generaattorin tehokerroin on yksi. Jos generaattori kuluttaa tai tuottaa loistehoa on se korvattava generaattorin näennäisteholla. Jos taajuusmuuttaja muodostuu useista suuntaajasilloista, on laskettu teho ositettava käytössä oleville silloille./9/

Taajuusmuuttajan tasajänniteteho on sama kuin generaattoriteho, kun yksi generaattori syöttää taajuusmuuttajaa ja häviöitä ei ole otettu huomioon. Tasajännitevälipiirissä oleva suuri kondensaattori tasoittaa eli suodattaa välipiirin jännitteen vaihtelua./9/

Sähköverkkoon syötetään taajuusmuuttajasta sama teho, mikä on tasajännitteisessä välipiirissä vähennettynä mahdollisella katkojan kautta ohitukseen viedyllä teholla, kun häviöt on jätetty huomioon ottamatta./9/

5.2.2. Akkukäyttö

Sähköverkossa akkuenergiavarastoja käytetään parantamaan sähkön laatua, ehkäisemään jännitekuoppia, välkyntää, ylijännitteitä tai taajuusvaihteluja. Akkuja käytetään myös katkeamattoman sähkön järjestelmissä (UPS-laitteissa, Uninterruptible Power Supply). Koska akustot usein sijaitsevat hyvää sähkön laatua tarvitsevien paikkojen lähellä, ne luetaan hajautettuihin energialähteisiin./9/

Akkujännitteen vaihtelualue voi olla esimerkiksi tavallisille lyijyakuille alueella (0,5–1,25) kertaa akun nimellisjännite. Akkujännitteen alaraja tulee vastaan, kun akkuja puretaan niiden tyhjentymisjännitteeseen asti ja yläraja täysien akkujen lataustilanteessa. Edellä kuvatuissa akkujen käyttötavoissa akkujen lataus-purkauskertojen lukumäärä jää pieneksi ja lukumäärä pyritään pitämään pienenä, tällä varmistetaan akkujen pitkä käyttöikä./9/

Superkondensaattorit (ultrakondensaattorit) saattavat tulevaisuudessa olla merkittäviäkin energiavarastoja esim. UPS-laitteissa. Etuna superkondensaattoreilla on varaus-purkauskertojen suuri määrä ja nopeat varaus- ja purkauskyvyt verrattuna lyijyakkuihin./9/

Akkukäytöissä vaihtosuuntaajan tulopuolen tasajännitteen vaihtelualue on siis varsin laaja ja tämä on otettava huomioon vaihtosuuntaajan toteutuksessa, jotta sähköverkkoon syötettävän vaihtojännitteen suuruus pysyy halutuissa rajoissa. Akkujen tasajännitteen on oltava tarpeeksi suuri, jotta akuista saadaan siirretyksi ilman erityistoimenpiteitä (esim. jännitteen vakauttamista) tehoa sähköverkkoon vaihtosuuntaajan kautta./9/

6. SÄHKÖVERKKOON LIITTYMINEN

Yleiseen sähköverkkoon saa liittää vain tekniset vaatimukset täyttäviä sähköntuotantolaitteistoja. Sähköverkon kanssa rinnan toimiva pienvoimala vaikuttaa verkkosähkön ominaisuuksiin ja verkon käyttäytymiseen./29/

Sähkön mikrotuotanto voi toimia muusta sähköverkosta erillään, jolloin tekniset ratkaisut ovat yksinkertaisia. Kaikelle syntyvälle sähkölle ei välttämättä löydy käyttöä kaikkina aikoina ja tarvittaisiin esimerkiksi akusto sähkön varastointiin. Siksi mikrotuotanto voidaan kytkeä siten, että ylimääräinen sähkö menee yleiseen jakeluverkkoon. Tämä kytkentä ei ole aivan yksinkertainen asia. Erityinen hankaluus syntyy siitä, että mikrotuotanto voi aiheuttaa sähkötapaturmia, ellei niiden torjumiseen kiinnitetä huomiota./29/

Sähköliittymään voidaan liittää tuotantoa liittymissopimuksessa määritellyn tehon mukaisesti, jos tuotantolaitoksen käynnistäminen tai verkosta pois putoaminen ei aiheuta yli 4 % jännitteen muutosta ja sähkön laatu liittämiskohdassa pysyy aina sähkön laatua koskevan standardin SFS-EN 50160 rajoissa. Lisäksi mikrotuotantolaitoksen käynnistysvirta ei saa ylittää liittymissopimuksen maksimitehon mukaista virran huippuarvoa./29/

6.1. Turvallisuus

Tuotantolaitoksen tulee täyttää sähköturvallisuutta koskevat vaatimukset ja standardit SFS 6000 (sarja, pienjänniteasennukset) ja SFS 6002 (sähkötyöturvallisuus)./9/

Pien- ja mikrotuotantolaitosten olemassaolosta jakeluverkossa varoitetaan lisäämällä merkintä muuntamon tai jakokaapin lähdön yhteyteen. Mikrotuotantolähdöt tulee merkitä asianmukaisesti sekä itse laitoksen että verkon puolella. Varoituskilvet tulee asettaa siten, että paikalla oleva asentaja tai maallikko huomaa ne varmasti. Lisäksi on tärkeää ohjeistaa asennushenkilökuntaa, jotta he tietävät mitä varoituskilpi tarkoittaa, miten mikrotuotantolaitoksen aiheuttama riski on huomioitava käytännön työssä ja miten varmistutaan kohteen jännitteettömyydestä./29/

Sähköturvallisuusstandardien mukaan tuotantolaitos tulee olla erotettavissa verkosta ja erotuslaitteessa tulee olla näkyvä ilmajäli ja erottimen käyttömekanismiin tulee olla lukittavissa (SFS6002). Lisäksi jakeluverkon haltijalla täytyy olla joko rajoittamaton pääsy erottimelle tai kaukokytkentämahdollisuus (SFS6000)./30/

6.2. Suojaus

Suojauksen perustana on, että suojauksen pitää olla selektiivistä, aukotonta ja luotettavaa. Suojauksen avulla turvataan, että pienvoimalaitoksen toiminta ei aiheuta vaaraa eikä häiriötä jakeluverkolle ja sen muille verkon käyttäjille ja huoltohenkilöstölle. Samoin suojauksen avulla turvataan tuotantolaitos verkossa tapahtuvilta häiriöiltä ja vioilta./29/

Mikrotuotantolaitteisto on varustettava suojalaitteilla, jotka kytkevät laitteiston irti yleisestä verkosta, jos verkkosyöttö katkeaa, tai jos jännite tai taajuus generaattorilaitteiston navoissa poikkeaa mikrotuotantolaitoksen sallitulle toiminnalle asetelluista jännite- ja taajuusarvoista. Mikrotuotantolaitteisto ei saa koskaan kytkeytyä verkkoon, kun verkon jännite tai taajuus ei ole annetuissa rajoissa./30/

Pienvoimalaitoksen suojalaitteita ovat mm. ylijännite-, alijännite-, ylitaajuus-, alitaajuus-, ylivirta- ja maasulkusuoja./30/

6.3. Tahdistus

Tahtigeneraattorit tulee tahdistaa toimimaan samassa vaiheessa ja samalla taajuudella muun verkon kanssa, ennen generaattorin kytkemistä yleiseen sähköverkkoon. Jos verkkoon syötettäisiin eritaajuista jännitettä, vaihe-erot voisivat aiheuttaa oikosulkuja ja sähkölaitteiden rikkoutumista./30/

Mikrogeneraattorin synkronointi verkon kanssa tulee olla täysin automatisoitua. Liittymän suojausten tulee taata, että tehon syöttö verkkoon alkaa vain silloin, kun jännite ja taajuus ovat olleet suojausasetusten sallimissa rajoissa vähintään tietyn minimiajan, joka on generaattoreille 3 minuuttia ja taajuusmuuttajilla liitetyille järjestelmille 20 sekuntia./29/

6.4. Taajuuden- ja tehonsäätö

Sähkövoimajärjestelmässä taajuus kuvaa pätötehotasapainoa. Kun verkon taajuus pysyy lähes vakiona, on tuotetun ja kulutetun pätötehon suhde lähes vakio./19/

Yksittäin saarekkeessa käyvän generaattorin taajuuden säätö perustuu kierrosnopeuden säätöön. Sähköverkon kuormituksen kasvaessa generaattorin sähköinen vastamomentti pyrkii kasvamaan, mikä on vastakkaisuuntainen generaattorin voimakoneen tuottamalle mekaaniselle vääntömomentille. Tämä pyrkii hidastamaan generaattorin akselinopeutta, joka puolestaan on suoraan verrannollinen taajuuteen. Taajuuden pysyvän alenemisen estämiseksi on voimakoneen tehoa lisättävä, mikä dieselgeneraattoreissa tapahtuu säätämällä polttoaineen syöttöä./19/

7. TESTILAITTEISTO

Generaattoreiden testaus laitteistoissa sijoitetaan samanlaiset tuulivoimalat koulun läheisyyteen tai koulun katolle ja sähkövoimatekniikan laboratorioon. Näin voidaan tutkia laitteistojen toimintaa oikeissa oloissa ja laboratorio ympäristössä. Laboratoriossa käytettäviä voimaloita pyöritetään sähkömoottorilla, joita ohjataan taajuusmuuttajalla.

Tulevaisuudessa koululle on tulossa:

- 3 kappaletta sisälle ja ulos pieniä tuulivoimaloita alle 0,5kVA
- Tuulen E200 laboratorioon tai vastaava
- bensiinigeneraattori
- dieselgeneraattori
- MHG-200LH matalapaineturbiinigeneraattori
- MHG500HH keskipaineturbiinigeneraattori.

7.1. Tavoitteet testaus ympäristöille

Sähköenergian tuotannon oppimisympäristön tavoitteena on antaa opiskelijoille realistinen käsitys sähkögeneraattorin toiminnasta, päto- ja loistehosta, sähköenergian tuotannosta, kunnossapidosta sekä sähkögeneraattorin suojauksesta, säädöstä ja kytkennästä sähköverkkoon. Tyypillisiä opiskeltavia aihepiirejä laboratoriotöiden muodossa olisivat:/8/

- dieselgeneraattorin huolto-ohjelma ja huoltotoimenpiteet
- dieselgeneraattorin käyttö tahdistettuna yleiseen sähköverkkoon
- dieselgeneraattorin saarekekäyttö
- generaattorin magnetoinnin, suojauksen säätöjen ja toimintarajojen tutkiminen
- 1- ja 3-vaiheisen generaattorin toiminta, jännitteenkäyrämuoto ja kuormitettavuus
- tuulivoimageneraattorin toiminta, kytkentä, säätö, suojaus ja testaus (verkkoon liitettynä ja omana verkkona)
- pientuulivoimala akuston latauksessa
- taajuusmuuttajan käyttö
- sähköenergian mittaukset./8/

7.2. Tuulivoimageneraattorin testaus ympäristö (Ampair Pasific 300)

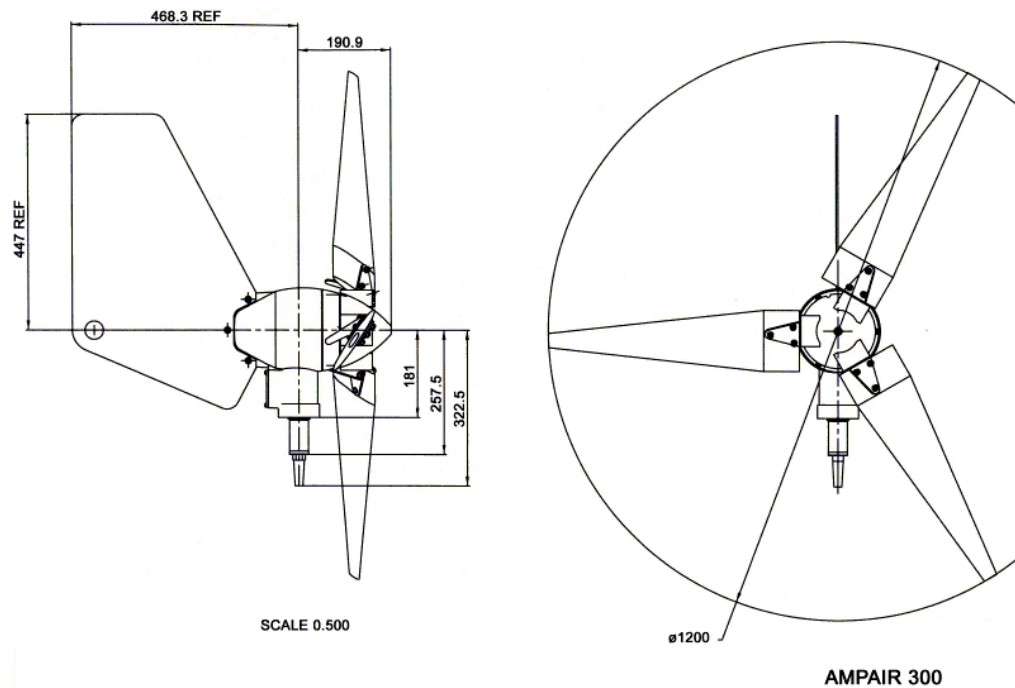
Pacific Ampair 300 mallia on tarjolla 12 ja 24 voltin latausjärjestelmillä varustettuina. Pientuulivoimala soveltuu sähkön tuotantoon mökeille, purjeveneisiin, saaristoon sekä turvajärjestelmiin./5/



Kuva 25. Ampair 300./5/

7.2.1. Tekniset tiedot

Laitteen toimitussisältöön kuuluu kuvan 25 lisäksi tasasuuntaaja, kenttäjohdotukset, pysäytyskytkimen, lataussäätimen ja akuston. Oheisessa kuvassa 26 ulkoiset mitat millimetreinä. Tekniset tiedot taulukossa 3.



Kuva 26. Ampair 300 mitat (mm)./5/

Taulukko 3. Ampair 300 tekniset tiedot./5/

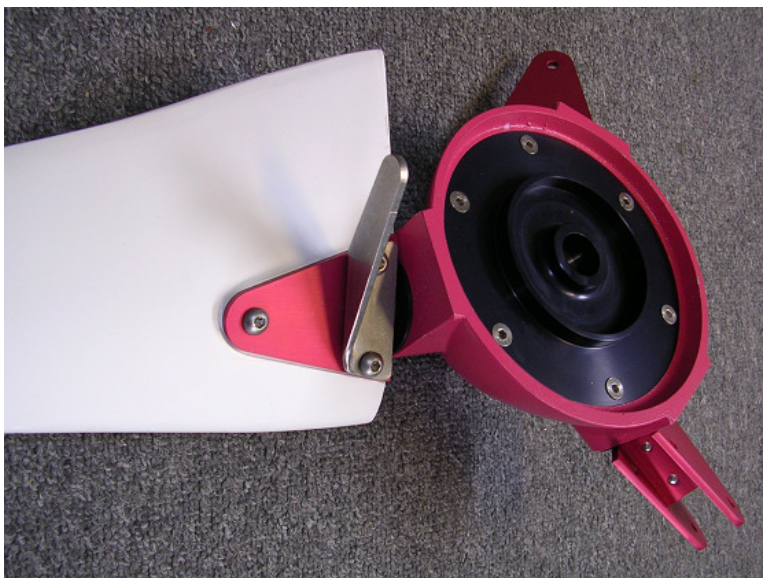
Tuulivoimalan tekniset tiedot	
Tuulivoimalan nimellisteho	300W
Nimellistuulennopeus	12,6 m/s
Potkurin halkaisija	1,2 m
Käynnistys tuulennopeus	noin 3 m/s
Sähköntuotannon aloitus	noin 3 m/s
Pysäytys tuulennopeus	ei ole
Potkurin lapojen lukumäärä	3
Potkurin tehollinen pyörimisnopeus	500-1400 rpm
Generaattori	vaihteeton kestmagneettigeneraattori
Generaattorijännite	0 - 400 V AC, 3 ~
Latausjännite	12 VDC tai 24 VDC

7.2.2. Generaattori

Tutkittava generaattori on alumiini runkoinen epätahtikone. Roottori on 12 napainen kolmivaiheinen kestmagnetoitu. Roottorin akseli on ruostumatonta terästä ja runkoon kestovoideilluilla kuulalaakereilla. Generaattorista sähkövirta johdetaan hiiliharjoilla rungon alaosaan messinkisille liukurenkailla, jolloin naselli voi kääntyä tuulen mukana./5/

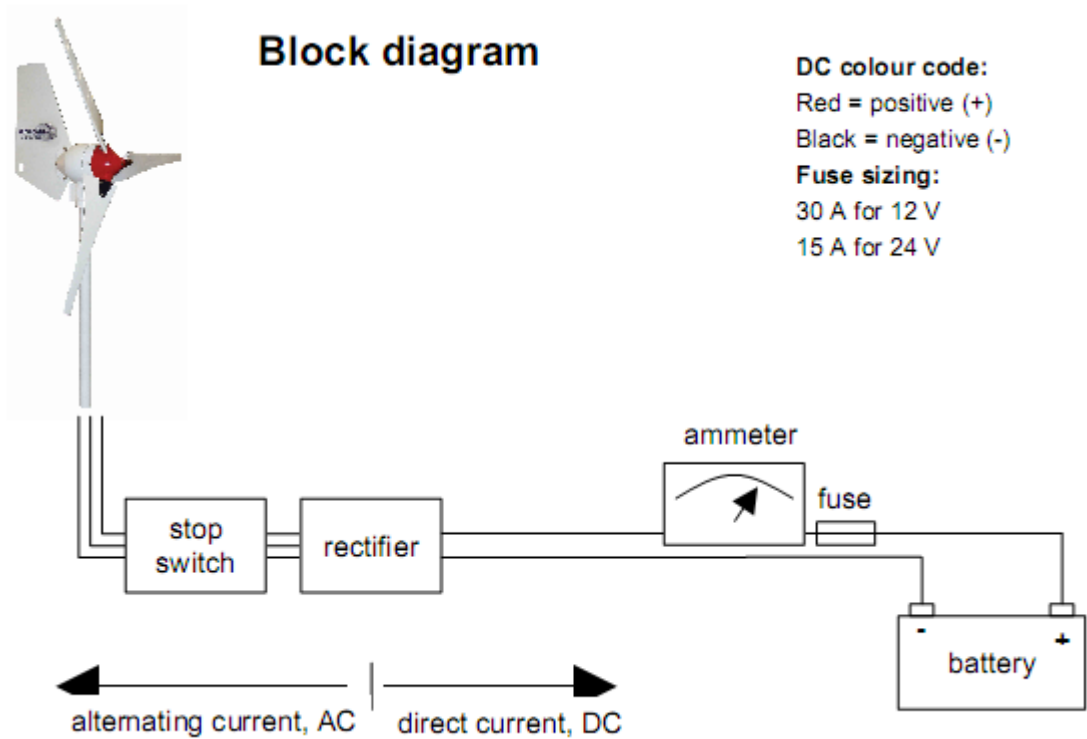
7.2.3. Tuuli- ja myrskysuojaus

Tuulisuojaus on toteutettu PowerFurl™ furling-tekniikalla. Potkurin napaan kiinnitettyihin lapoihin on lisätty lisäpainot kuvassa 27, jotka tuulen noustessa kääntävät lapoja. Tässä ns. mekaanisella lapakulman säädöllä saadaan rajoitettua pyörintä nopeutta ja pystytään pitämään voimalaitos toiminnassa aina myrsky rajaan asti, jolloin generaattori oikosuljetaan ja se pysähtyy./5/

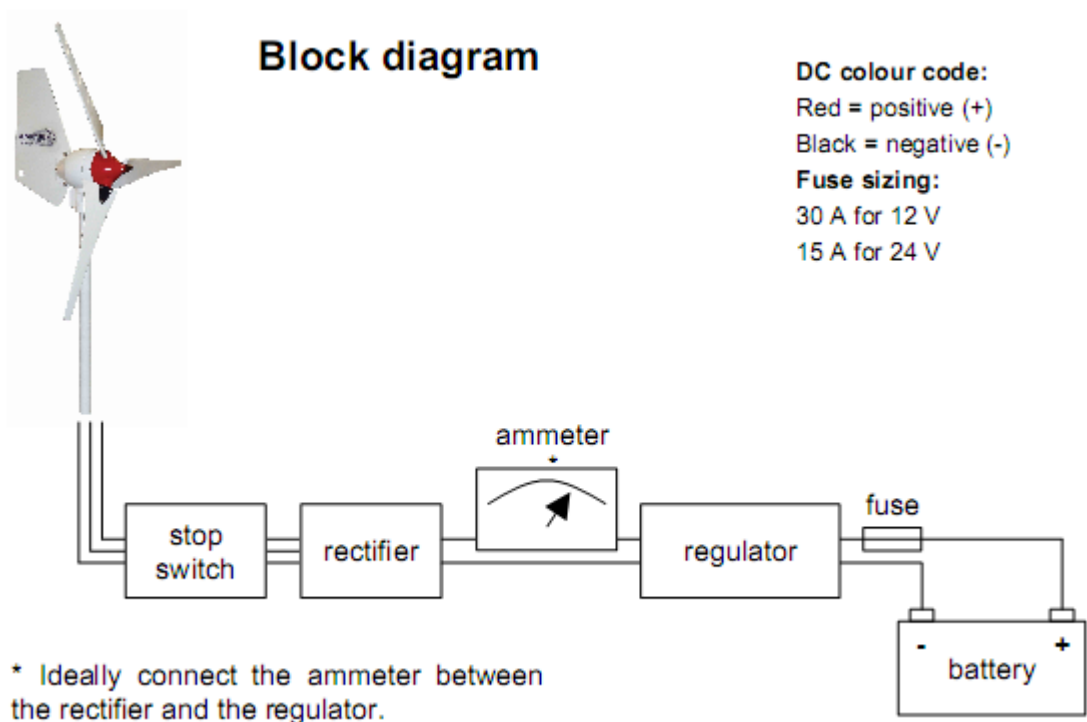
**Kuva 27. Generaattorin napa, lapa ja lisäpaino./5/**

7.2.4. Tasasuuntaus

Generaattorista saatava kolmivaihesähkö tasasuunnataan juuri ennen akustoa, minimoiden häviöt. Riippuen käytettävästä laitteistosta onko tasasuuntaa ja säädin samassa paketissa kuva 28 vai erikseen kuva 29./5/



Kuva 28. Tasasuuntaus ja säädin samassa paketissa./5/



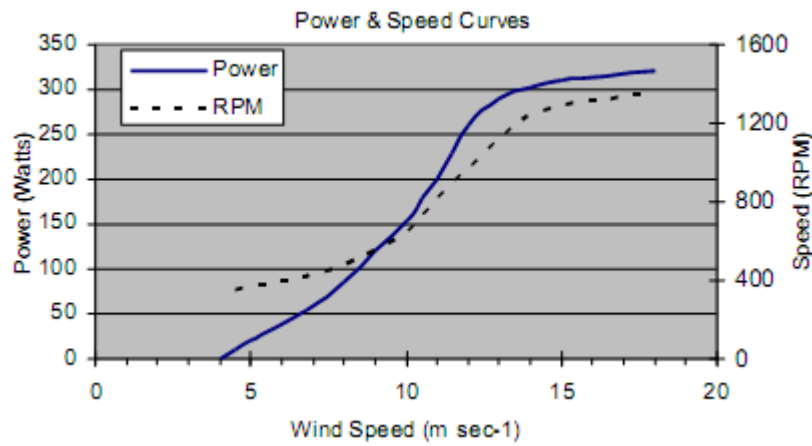
Kuva 29. Tasasuuntaus ja säädin erikseen./5/

7.2.5. Akusto

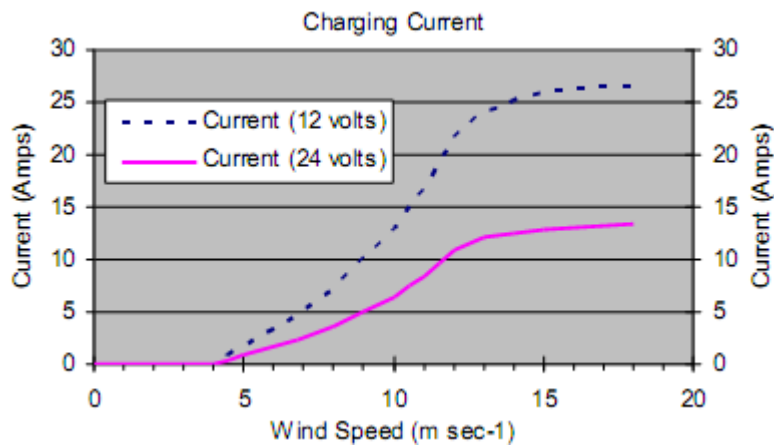
On sähköenergiaa varastoiva laitteisto. Akusto koostuu useista akuista, jotka on kytketty halutulla tavalla saaden oikea jännite- ja ampeerituntimäärä. Ampair 300 minimi-akuston koko on 300 Ah, mutta suositellaan 400-500 Ah-akustoa./5/

7.2.6. Suorituskyky

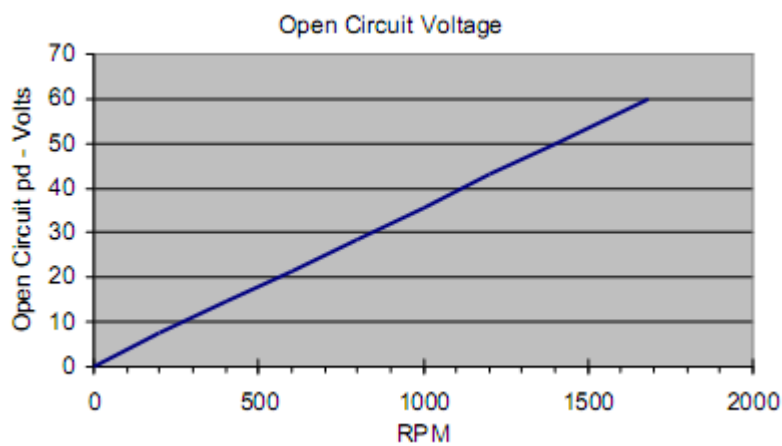
Tuulivoiman teho on suoraan verrannollinen tuulen nopeuteen, kuvassa 30 Tehon ja pyörintänopeuden suhde, kuvassa 31 virran suhteen ja kuvassa 32 avoimen piirin jännitteen suhteen. Generaattorin masto on tuettava hyvin koska, tuulen nopeuden ollessa 20 m/s, vaikutta mastoon 160 Newtonin voima./5/



Kuva 30. Teho ja pyörintänopeus suhteessa tuulen nopeuteen./5/



Kuva 31. Virran tuotto tuulen suhteen./5/



Kuva 32. Avoimen piirin jännite suhteessa pyörintänopeuteen./5/

7.2.7. Testausympäristö

Testauspenkki

Testausalusta johon moottori ja generaattori kiinnitetään ja yhdistetään akselilla toisiinsa on konepuolen suunnittelussa. Turvallisussyistä generaattoriin ei tule napaa ja siipiä paikalleen sisätiloissa.

Moottori

Moottoriksi valitsin ABB:n valmistaman M3BP80A B3 0,55 kW 1500, sähkönumero 86 208 50. Cad-kuva liite1. Moottoria käytetään kierrosluvuilla 400-1500 rpm ja generaattorin tarvitsema vääntömomentti nousee kierrosten noustessa, niin moottori ei tarvitse lisjäähdytystä.

Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajaksi valitsin ABB:n ACS150-01E-04A7-2 0,75KW IP20, Sähkönumero 38 079 32. Taajuusmuuttaja voidaan kytkeä myös yksivaiheisena sähköverkkoon.

Akusto

Akusto on sana joka käsittää rykelmän akkuja, johon sähköenergia varastoidaan.

Mittarit ja Työntoteutus

Ampair 300 generaattorin 3-vaihe johtimille asennetaan mahdollisuus, jännite ja virta mittauksille. Fluken valmistama 3-vaiheverkko- ja virtalähdeanalyysointilaite, joka on mallia 434 power quality analyser, jolla on mahdollista tallentaa mittausarvoja pidemmältä aikaväliltä. Mittarilla voidaan mitata generaattorin jännite, virta ja teho ennen tasasuuntausta ja saman tyyppisellä mittarilla tasasuuntauksen jälkeen jännite ja virta. Näin saataisiin selville tarkasti generaattorin tuottama jännite ja virta eri pyörintänopeuksilla. Samalla tasasuuntauksen hyötysuhteen tarkka selvittäminen olisi mahdollista.

Akuston kuormitukseen olisi siniaaltoinvertteri joka muuntaa 12 voltin tasajännitteen 230 voltin vaihtojännitteeksi. Näin saataisiin kuormituksen virrat pidettyä kohtuullisen alhaalla ja monipuolistettua työn tutkimista. Generaattorin nimellinen antoteho on 300 w joten 12 voltin tasajännitteellä virta nousee 25 Ampeeriin. Mittauspöytäkirja liitteessä 11.

Huolto

Puhtaat siivet tuottavat paremman hyötysuhteen, joten tehdään siipien puhdistus ja tarkastus. Lapojen ja navan ruuvien kiristys ja kunnon tarkastus. Viallinen lapa aiheuttaa tärinää ja ajan myötä rasittaa turhaan koko tuulivoimalaa. Ohjaus siiven kiinnityksen tarkastus ja puhdistus./5/

Generaattorin huolto keskittyy pääasiassa roottorin laakereihin, liukurenkaiden, hiiliharjojen tarkastukseen ja niiden vaihtamiseen tarpeen vaatiessa. Laakerit ovat

kestavoideltuja ja rakenteelta umpinaisia, joten rasvaaminen on käytännössä turhaa. Rasvauksella rikottaisiin laakerin umpinainen rakenne ja likaherkkyys nousisi./5/

Sähköiset osat on suojattu tasasuuntauksen jälkeen sulakkeella liiallisen kuormituksen tai oikosulun varalta. Tasasuuntaus johtimet on mitoitettu generaattorin mukaan hätäpysäytyksen kestäväksi. Hätäpysäytyksessä virta saavuttaa maksimiarvon. Sulakkeiden asentaminen ennen hätäpysäytyskytkintä on kielletty, koska sulakkeiden palaminen estäisi hätäpysäytyksen. Kaapeleiden ja johtimien tarkistus puhdistuksen yhteydessä./5/

Ampair 300 laskennallinen toimintaikä on noin 20 000 tuntia, joka on yhtä jaksoisesti noin 830 vuorokautta nimellisuopeudella, jonka jälkeen on peruskorjauksen aika. Käytännössä toiminta-aika on pidempi, tuulen nopeuden vaihtelun vuoksi. Peruskorjaukseen käytännössä sisältää laakereiden, liukurenkaiden ja hiiliharjojen vaihto ja käyttöönottomittaukset./5/

7.3. Taajuusmuuttajalla tehon takaisinsyöttö verkkoon (Tuule E200).

Tuule E200 tuulivoimala on tarkoitettu omakotitalojen, vapaa-ajanasuntojen sekä maatilojen sähköntuotantoon kohteissa, joissa on kiinteä sähköverkko. Taajuusmuuttajan suojausyksikkö suojaa taajuusmuuttajaa lyhytaikaisilta jännitepiikeiltä poikkeustilanteissa. Taajuusmuuttaja sisältää verkosta irtautumistoiminnot. Syöttö verkkoon katkaistaan, jos verkko häviää tai jos verkon taajuus ja/tai jännite ei täytä laatuvaatimuksia. Voimalan maston juurella sähkökotelossa on pääsulake sekä erillinen lukittava pääkytkin. Pääsulake estää voimalan ylikuormittumisen sähköjärjestelmän mahdollisissa vikatilanteissa. Lukittavalla pääkatkaisijalla tuulivoimala voidaan kytkeä turvallisesti irti verkosta. Maston korkeus on 18 tai 27 m. Taulukossa 4 on tuulivoimalan tekniset tiedot./10/

Taulukko 4. Tuule E200 tuulivoimalan tekniset tiedot./10/

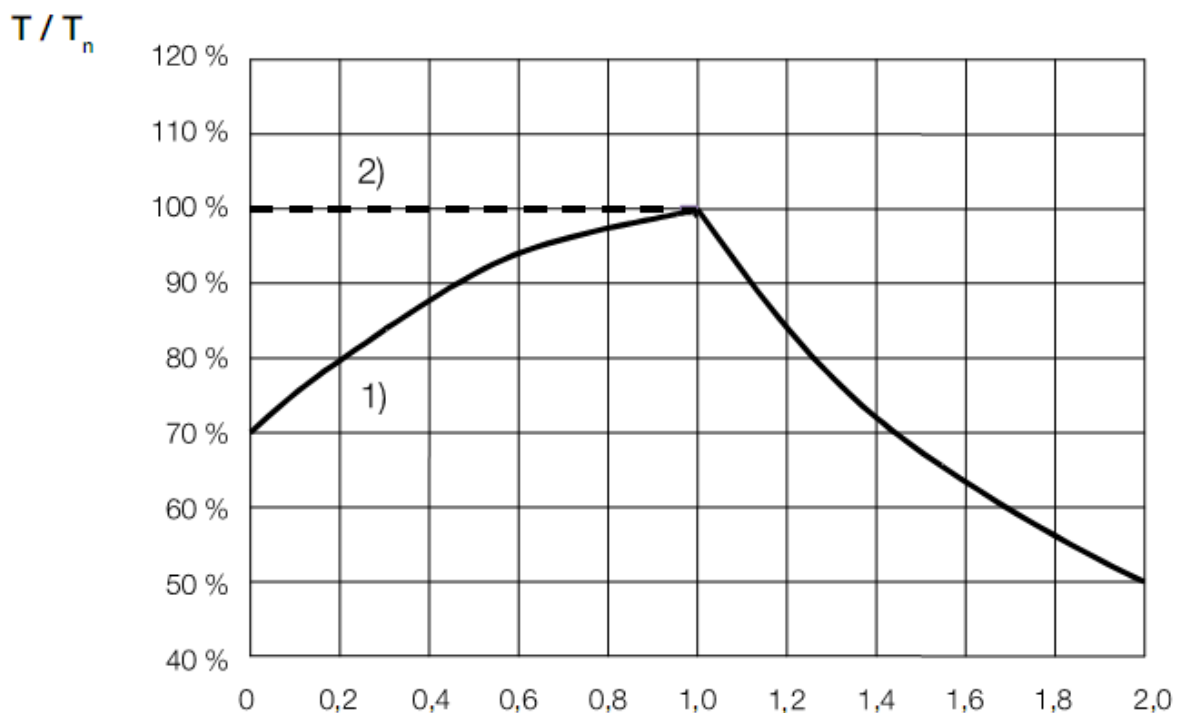
Tuulivoimalan tekniset tiedot	
Tuulivoimalan nimellisteho	4 kW
Taajuusmuuttajan nimellisteho	3.6 kW
Nimellistuulennopeus	10 m/s
Potkurin halkaisija	5 m
Potkurin pyörähdyspinta-ala	20 m ²
Käynnistys tuulennopeus	noin 2 m/s
Sähköntuotannon aloitus	noin 2,5 m/s
Pysäytys tuulennopeus	ei ole
Potkurin lapojen lukumäärä	3
Potkurin tehollinen pyörimisnopeus	40 – 280 rpm
Generaattori	vaihteeton kestopagneettigeneraattori
Generaattorijännite	0 - 400 V AC, 3 ~
Verkkoon syöttöjännite	230 V / 50 Hz
Myrskysuojaus	tuulenpaineella sivuun kääntävä mekanismi
Suurin tuulennopeus	50 m/s (muunneltavissa 60 m/s)
Koneiston paino	90 kg

7.3.1. Moottori

Moottoriksi valitsin ABB:n valmistaman alumiinirunkoisen moottorin M2AA160MLA B3 11kW 1500, joka löytyy sähkönumerolla 86 201 69. Moottori on alumiinirunkoinen, koska painoa kertyy vastaavalla rautarunkoisella noin 150 kg ja alumiinirunkoisella 75 kg.

Moottorin määrittäminen kun generaattorin tarvitsema pyörintänopeus on 40-280 rpm. Pyörintänopeuden ja tehon perusteella, olisi voinut valita moottorin jossa on 10 napaparia, jolloin pyörintä nopeus nimellistaajuudella on 300 rpm. Kyseisen moottorin hankintahinta on turhan korkea ja muihin käyttöihin soveltaminen ei ole käytännöllistä.

Taajuusmuuttajan avulla pyöritettäessä moottorista saatava tyypillinen momentti kuvassa 33. Valittu moottori on 1500 rpm pyörivä joten taajuusmuuttajan arvojen oikein asettelu on tehtävä huolella. Taajuus kun pyörintänopeus on 40 rpm on 1,333 Hz ja 280 rpm vastaavasti 9,333 Hz. Moottorin vääntömomentti on nimellistä noin 71% 40 rpm ja on noin 78% 280 rpm, joten moottori on riittävän kokoinen ja ei tarvitse lisäjäähdystä./1/



Kuva 33. Kuormitettavuus taajuusmuuttaja käytössä. 1) ilman lisäjäähdystä 2) lisäjäähdytyksellä./1/

7.3.2. Moottoria ohjaava taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajaksi valitsin ACS800-01-0016-3+E200 mallin, koska ACS800 taajuusmuuttajia käytetään tehtaissa ja tämän laboraatiotyön tarkoituksena on tutustua nykypäivän tekniikkaan. Taajuusmuuttaja löytyy sähkönumerolla 38 057 07.

7.3.3. Generaattori

Tuule E200 tuulivoimalan generaattorin tekniset tiedot taulukosta 5. Generaattori on 24-napainen, joten pyörintänopeus on saatu varsin pieneksi. Generaattorin kuva 34./10/



Kuva 34. Tuule E200 Generaattori./10/

Taulukko 5. Tuule E200 generaattorin tekniset tiedot./10/

Generaattorin tekniset tiedot	
Tyyppi	kestomagneettigeneraattori
Magnetointi	radiaalinen magnetointi, Neodymium kestopagneetit
Nimellisjännite	400 VAC 3 vaiheinen
Nimellinen pyörimisnopeus	280 rpm
Nimellisteho	4 kW, maksimiteho 5,3 kW
Paino	45 kg

7.3.4. Takaisin verkkoon syöttävä taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajan suojausyksikkö suojaa taajuusmuuttajaa lyhytaikaisilta jännitepiikeiltä poikkeustilanteissa. Taajuusmuuttaja sisältää verkosta irtautumistoiminnot. Syöttö verkkoon katkaistaan, jos verkko häviää tai jos verkon taajuus ja/tai jännite ei täytä laatuvaatimuksia. Kun tuulen nopeus on riittävän suuri, taajuusmuuttaja tahdistuu automaattisesti sähköverkkoon. Tuulennonopeuden laskiessa alle verkkosyöttörajan, taajuusmuuttaja kytkeytyy irti verkosta ja siirtyy valmiustilaan odottamaan. Taajuusmuuttajan tekniset tiedot taulukosta 6. /10/

Taajuusmuuttaja sisältää EN 50438 normin mukaiset verkosta irtautumistoiminnot. Syöttö verkkoon katkaistaan, jos verkko häviää tai jos verkon taajuus ja/tai jännite ei täytä laatuvaatimuksia./10/

Taulukko 6. Taajuusmuuttajan tekniset tiedot./10/

Taajuusmuuttajan tekniset tiedot	
Verkkosyötön nimellisteho	3600 W

Maksimi syöttöjännite	600 VDC
Toiminta-alue	50 to 580 (nimellinen 360) VDC
Maksimitehon jännitealue	180-530 VDC
Nimellisjännite Yksivaiheinen 230 VAC	Yksivaiheinen 230 VAC
Nimellistaajuus	50 Hz
Maksimi hyötysuhde 96,8% (96,0% Euro; 96,0% CEC)	96,8% (96,0% Euro; 96,0% CEC)
Ympäristön käyttölämpötila	-25 to +60, rajoitetusti kun >55 °C
Häviöt	< 8 W
Koteloinnin suojausluokka	IP65
Suhteellinen kosteus 0-100%, kondensoituva	0-100%, kondensoituva
Äänenpainetaso <50 dBA, 1m	<50 dBA, 1m
Koko (korkeus, leveys, syvyys) 547 x 325 x 208 mm	547 x 325 x 208 mm
Paino	17 kg

7.3.5. Testausympäristö

Testauspenkki

Testausalusta johon moottori ja generaattori kiinnitetään ja yhdistetään akselilla toisiinsa on konepuolen suunnittelussa. Turvallisuussyistä generaattoriin ei tule napaa ja siipiä paikalleen sisätiloissa.

Tuule E200

Tuulivoimavoimalan mukana toimitetaan generaattori ja takaisinverkkoon syöttävä taajuusmuuttaja.

Mittarit ja Työntoteutus

Taajuusmuuntajan syöttämä taajuuden yläraja pitäisi asettaa 10Hz taajuudelle, jolloin generaattorin pyörintänopeus rajoittuu 300 rpm kohdalle, joten pieni ylikuormitus olisi mahdollista. 300 rpm pyörintänopeus nimellisestä pyörintänopeudesta on noin 107%, joten generaattorin vaurioitumisriski on erittäin pieni.

Generaattorin tuottama sähköenergia tuodaan taajuusmuuttajan suojausyksikölle. Suojausyksikön ulkopuolelle asennetaan ylijännitevastus, joka kuluttaa liiallisen sähköenergian, ettei taajuusmuuttaja vaurioituisi.

Mittauskohteita:

- generaattorin jännitteen, virran ja taajuuden mittaus ennen suojausyksikköä
- ylijännitevastuksen jännite ja virta
- taajuusmuuntajan antama virta ja ulkoisen verkon antama virta eri kulutuskohteille.

Mittauksilla pystytään selvittämään tuuligeneraattorin teho eri pyörintänopeuksilla. Voidaan selvittää suojausyksikön toiminta virta ja ylijännitevastuksen kuluttama energia ja se millä pyörintänopeudella suojausyksikkö aloittaa taajuusmuuttajan suojaukset. Takaisinverkkoon syöttävän taajuusmuuttajan tuottama sähköenergia saadaan suhteessa ulkoisesta verkkosta saatuun sähköenergiaan. Moottoria syöttävältä taajuusmuuttajalta

saadaan moottorin tuottama teho ja takaisinverkkoon syöttävältä taajuusmuutajan antama teho, näin saadaan testilaitteiston kokonaishyötysuhde ja osahyötysuhteet selvitettyä.

7.4. Varavoimageneraattorit

Varmennetun verkon voimakoneena käytetään yleensä moni sylinterisiä ja suorasuihkutteisia dieselmoottoreita kohtuullisen hyvän hyötysuhteen ansiosta. Moottorin pyörintänopeus on oltava 95-105% generaattorin nimellisyörintänopeusta tai joudutaan käyttämään vaihteistoa. Generaattori on yleensä yhdistetty suoraan akselilla tai joustavalla kytkimellä voimakoneeseen. Joustavalla kytkimellä saadaan minimoitua moottorin aiheuttama tärinä generaattorille./33/

Ohjausautomaatiikka toimii varavoimalaitoksen ohjaavana osana. Ohjausautomaatiikka koostuu elektronisesta ohjelmoitavasta logiikasta, jonka apuna on lukuisia releitä, kontaktoreja, suojalaitteita ja muita lisäkomponentteja. Ohjausautomaatiikka vastaa usein koko järjestelmän toiminnasta, kuten tahdistuksesta, syötön vaihdosta ja dieselin sekä sen apulaitteiden hallinnasta. Lisäksi ohjausautomaatiikka rekisteröi mahdolliset häiriötilanteet ja ilmoittaa ne eteenpäin esimerkiksi kiinteistönvalvontajärjestelmään ja sen alakeskuksiin. Varavoimakoneissa käytetään yleisesti ohjausjännitteenä 24:ää voltia, jolloin se on sama kuin käynnistysakuston jännite./33/

Varavoimadieselin tarkoituksen on luoda varmennettuihin verkkoihin pääasiallista suurta sähkötehoa pitkään ja luotettavasti. Varavoimakoneen käynnistyminen ja häiriötön toiminta on kaiken lähtökohtana. Polttoainetta voi olla tarpeesta riippuen jopa viikkojen käyttöön riippuen kohteen tärkeydestä yhteiskunnalle, tämän takia moottorin on kestettävä useiden satojen tuntien yhtämittäinen käyttö. Säiliöiden tilavuuden mitoituksessa voidaan käyttää ohjeellisena kulutusarvona 0,3 l/kWh. Yleinen käytäntö on mitoittaa käyttösäiliön tilavuus siten, että sen tilavuus riittää 8 tunnin yhtämittaiseen käyttöön nimellisteholla. Varavoimalaitoksen asennustarkastuksen mittauspöytäkirja liitteessä 16./33/

7.4.1. Bensiinigenaattori

Valitsin Combiplus 5500 R-RE generaattorin hyvien liitännöiden vuoksi. Oppimisympäristöön haluttiin pieni 3-vaiheinen bensiinikäyttöinen generaattori, jolla voidaan tutkia generaattorin toimintaa erikuormilla ja ylittäessä nimellisteho. Generaattorin tekniset tiedot taulukossa 7. Generaattorin kytkentä- ja ohjauspaneeli liitteessä 5 ja ulkomitat liitteessä 6. Kuormitusmittaus liitteessä 10. Päivittäiset ja määräaikaishuollot liitteessä 7./11/

Taulukko 7. Combiplus 5500 R-RE Tekniset tiedot./11/

Kuivapaino	70	kg
Säiliön tilavuus	19	l
Nimellisyörintänopeus	3000	rpm
IP suojaus	IP 23	
Käynnistys	Veto/autom.sähkö	
Generaattori	3~	
Nimellisjännite	400/230	V

Taajuus	50	Hz
Maksimiteho	5500VA 3~/1800W 1~	
Virta	8/8	A
Moottori	ROBIN EX 27	
Jäähdytys	Ilmajäähdytteinen	
Sylinteritilavuus	265	cc
Moottorin nimelliteho	9	HP
Öljy tilavuus	1	l

7.4.2. Dieselgeneraattori (biodiesel)

Varavoimakoneeksi valitsin Hollolan Sähköautomaatiikka Oy:n myymän GSL 42 D dieselgeneraattorin toisena vaihtoehtona oli Cummins powerin C44 D5e malli. Taulukossa 8 GLS 42 D tekniset tiedot. Valitsin kyseisen mallin teknisten mittojen vuoksi. Generaattorin avoimen rakenteen joutui tilanpuutteen vuoksi valitsemaan. Generaattorin asennuskuvat liitteessä 8. Avoimen rakenteen hyödyt verrattuna koteloituun/äänieristettyyn ovat pienempi tilantarve, helpompi pääsy huollettaviin kohteisiin ja opetuskäytössä generaattorin osat helposti tunnistettavissa.

Dieselgeneraattoria tullaan käyttämään saarekekäytössä, jossa tutkitaan generaattorin ominaisuuksia eri kuormituksilla. Generaattorin rinnalle tullaan tahdistamaan pienempi generaattori oppimisympäristön luomiseksi. Generaattorin virtapiirikaaviot liitteessä 9./27/

Taulukko 8. GLS 42 D tekniset tiedot./27/

Nimellisteho	kVA	39,3
Hetkellinen teho	kVA	41,2
Jännite	V	400/231
Taajuus	Hz	50
Tehokerroin	CosΦ	0,8
Polttoaine säiliö	l	90
Käynti (100% kuormitus)	h	9,6
Mitat	mm	1800 x 750 x1570
Paino	kg	761
Dieselmoottori	Deutz	BF4M 2011
Jäähdytys		Öljy
Pyörintänopeus	rpm	1500
Iskutilavuus	cc	3110
Sylinteri luku		4
Ilmansyöttö		Ahdettu (Turbo)
Moottorinteho	kW	36,4
Polttoaineen kulutus	g/kWh	217
Sähköjärjestelmä	V	12
Generaattori	Stamford	BCI 184 J
Eristys	Luokka	H
Suojausluokka		IP 23
Jännitteen säätö	%	Elektroninen (± 1,5)

7.5. Mikrovesivoimalat

Vesivoimalat ovat rakenteeltaan aivan samanlaisia kuin suuremmatkin vesivoimalaitokset. Luokittelu tehdään lähinnä tuotettavan tehon perusteella:/31/

- suurvesivoimalaitos: yli 10 MW
- pienvesivoimalaitos: 1 - 10 MW
- minivesivoimalaitos: alle 1 MW
- mikrovesivoimalaitos: alle 0,1 MW eli 100 kW.

Minivesivoimaloista ja mikrovesivoimaloista käytetään pienvesivoimala nimitystä. Tavallisesti luokittelu tehdään kaksijakoisesti niin että laitokset jaetaan kahteen ryhmään: suurvesivoimalaitokset, jotka käsittävät suuremmat laitokset, sekä pienvesivoimalaitokset, joihin kuuluvat pienemmät laitokset. Mikro-, mini- ja pienvesivoimaloita on Suomessa noin 200, ja niiden tuotantokapasiteetti on noin 200 MW./31/

Oppilaitoksessa jo olevaan vesiprosessiin lisätään PowerPal matalapaine- ja keskipaineturbiini. Mahdollistaa mikrovesivoimalan toiminnantutkimisen, huoltamisen ja käyttöönoton. Vesivoimalan suunnittelukuvat ovat konepuolella suunnittelun/teon alla, joten keskityn testauslaitteiston suunnitteluun.

Vesivoimalan tutkimisympäristössä konetekniikan opiskelijoilla on mahdollista tutustua generaattorien ja pumppujen toimintaperiaatteeseen, asennukseen (linjaus) ja huoltoon. Sähkötekniikan opiskelijoille generaattorin toiminta eri vedenvirtauksilla, käyttöönotto, huolto ja kuormitettavuuden. Tulevaisuudessa värähtelymittauksia laitteiden huoltoja suunniteltaessa.

Generaattoreita saa kuormittaa täyden pätötehon verran, esimerkiksi $200 \text{ VA} = 200 \text{ W}$, ainoastaan vastuskuormalla. Kuorman ottaessa loistehoa generaattorilta, maksimi kuormitettavuus vähänee $\cos\Phi$ verran.

7.5.1. MHG-200LH turbiini-generaattori

Oppilaitoksen vesiprosessin vesikanavaan lisätään matalapaineturbiini. Vesiprosessissa vesikanavaan pumppaavat pumput eivät ole riittävän kokoisia pienelle matalapaineturbiinille, joten generaattoria ei voida kuormittaa nimellisteholla mittauksissa. Vaatii tehokkaamman pumpun asenatamisen vesikanavaan veden pumppaukselle. Taulukossa 9 MGH-200LH tekniset tiedot, josta veden virtaama nimelliskuormalla 35 l/s ja vesiprosessissa olevat pumput pumppaavat 13 metrin korkeuteen yhteensä 6 l/s. Pumppujen maksimi nostokorkeutta ei tarvita (noin 3metriä), mutta virtaama on todennäköisesti liian pieni pidemmillä mittauksilla. Vettä voidaan varastoida vesiprosessin yläsäiliöön mahdollistaen hetkellisesti nimellistuotannon. Nimellistuotannon pidempiaikaista mittausta varten, vesiprosessin vesikanavaan tulee yksi pumppu lisää veden pumppaukseen.

Taulukko 9. MHG-200LH Tekniset tiedot./26/**PowerPal matalapaineturbiini**

Tekniset ominaisuudet	MHG-200LH	
Padotuskorkeus	1,5	m
Virtaama	35	l/s
Sallittu jatkuva kuormitus	200	VA
Lyhytaikainen maksimikuorma	250	VA
Nimellisjännite	220	V
Jännitteensäätäjä	on	
Taajuus nimellisteholla	50...60	Hz
Taajuus ilman kuormaa	75	Hz
Nimellisa nopeus	1000	rpm
Ryntäysnopeus	1500	rpm
Paino	16	kg
Korkeus	680	mm
Halkaisija	200	mm
Juoksupyörä	potkuri	
Siipikulma	kiinteä	
Generaattorityyppi	1-vaiheinen	
Magneettimateriaali	NdFeB	
Sulake	1	A
Ylälaakeri	6203Z	
Alalaakeri	kumi	
Käyttölämpötila-alue	-18...+75 (5-50)	C
Ympäristön kosteus	0...100	% RH

Matalapaineturbiinin asennus liitteessä 2. Yläpuolen virtauskanava on muotoiltu paremman hyötysuhteen takia.

7.5.2. MHG500HH keskipaineturbiini

Keskipaineturbiinin asennus liitteessä 3 ja tekniset tiedot taulukossa 10. Oppilaitoksen vesiprosessiin tehdään keskipaineturbiinille uusi putkilinjasto ja pumppu veden pumppaamiseen suoraan keskipaineturbiinille, virtaaman putouskorkeuden vaikutus taulukossa 11. Pumpuksi on suunniteltu kolmeks AKN-100/4 juoksupyörällä 0210. Pumppua pyörittää 3 kW epätahtikone, jossa riittää teho riittävän vesimäärän siirtämiselle turbiinille. Pumpun tarkemmat tiedot liitteessä 4. Moottoria ohjataan taajuusmuuttajalla, jolloin veden virtaamaa voidaan säätää tarkasti.

Taulukko 10. MHG-500HH Tekniset tiedot./25/

MHG-500HH Tekniset tiedot	
Rated power output	500W
Maximum allowable load	650W
Intended voltage	110 / 220V~
Frequency at rated power output	50-60 Hz
Frequency at runaway speed	70 Hz
Rotor runaway speed	1400rpm
Weight	36kg
Turbine runner type	Turgo
Runner diameter	180mm
Number of buckets	20
Bucket diameter	68mm
Number of nozzles	1
Jet diameter	28.5mm
Generator	Single phase permanent magnet alternator
Rotor characteristics	NdFeB 3-pair pole permanent magnet
Stator wire size	0.7mm
Upper bearing size	SKF6301-2Z
Lower bearing size	6204
Seal size	20x47x7mm
Recommended cable	0.75 sq.mm/A
Operating temperature	5 to 50 °C
Operating humidity	0 to 90%

Taulukko 11. Putous korkeuden ja virtaaman vaikutus./25/

MHG500HH					
Padotuskorkeus	7 m	8 m	9 m	10 m	11 m
Virtaama	7,4 l/s	7,9 l/s	8,4 l/s	8,9 l/s	9,1 l/s
Sähköteho	275 VA	325 VA	390 VA	460 VA	500 VA

Oppimisympäristö

Veden virtaaman mittaukseen on hyvä laittaa virtausmittari, ettei tarvitse olettaa millainen virtaus putkessa on. Virtausmittariksi valitsin magneettisen määrämittarin mallia Promag 10D, joka suunniteltu veden virtauksen mittaukseen. Mittalaite on laippojen väliin asennettava malli, joten putkistoa suunnitellessa pitää ottaa huomioon.

Taajuusmuuttajaksi valitsin ABB:n valmistaman ACS 150:n joka on tarkoitettu moottoreille 0,37-4 kW ja moottori on 3 kW epätahtimoottori. Taajuusmuuttajasta saadaan moottorille menevä teho, joten koko prosessin hyötysuhde on selvitettävissä.

Jännitteen ja virran mittaukset suoritetaan kuormalle menevistä johtimista eri veden virtauksilla. Loistehoa ottavia kuormia käytettäessä voidaan selvittää generaattorin kykyä tuottaa loistehoa.

8. YHTEENVETO

Työn lähtökohtana toimi Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun sähkölaboratorioiden kehittämishanke, jonka tarkoituksena on täydentää opetuskalustoa mm. sähkögeneraattoreiden ominaisuuksien oppimis- ja tutkimisympäristöllä. Tehtävänä oli opetuskäyttöön hankittavien tuuli-, vesi-, bensiini- ja dieselgeneraattoreiden tutkimisympäristöjen selvittely ja suunnittelu.

Työssä ongelmakohtina oli teknisten tietojen saatavuus. Lähettelin muutamia sähköpostiviestejä valmistajille. Vastauksena tuli, että he eivät voi antaa tarkempia tietoja laitteista ulkopuoliselle.

Oppimis- ja tutkimisympäristöiden selvittely ja suunnittelu onnistui mielestäni kohtuullisesti. Työnä aika laaja ja mielenkiintoinen, mitä enemmän pienvoimaloita ja varavoimageneraattoreita tutki, sitä mielenkiintoisemmaksi tutkiminen kävi.

Työssä esitellyt generatorivalinnat ovat alustavia ja esisuunnitelman mukaisia. Projektien hankintojen kilpailutuksessa valitaan kyseiset tai teknisiltä ominaisuuksiltaan vastaavat generaattorit ja muut laitteistot teknistaloudellisen kilpailutuksen perusteella. Lopullinen generaattoreiden oppimis- ja testausympäristöjen toteutus selviää vuoden 2012 kuluessa hankintojen edetessä.

9. LÄHDELUETTELO

- /1/ ABB Group, Tekninen opas nro 7, Sähkökäytön mitoitus, [www-dokumentti],
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/\\$file/tekninen_opasnro7.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/$file/tekninen_opasnro7.pdf), 28.10.2011
- /2/ ABB Oy, kotimaan tuotemyynti, [www-dokumentti],
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6de96a2197b01677c125725f00468d4a/\\$file/pehmokaynnistinopas%202007%20fi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/6de96a2197b01677c125725f00468d4a/$file/pehmokaynnistinopas%202007%20fi.pdf), 25.11.2011
- /3/ ABB TTT-käsikirja, ABB Oy, 2000-07
- /4/ Ahoranta, Jukka, Sähköttekniikka, 2008, WSOYpro
- /5/ Ampair, Ampair™ 300 Wind Turbine, Operation & Maintenance Manual, 2006,
[www-dokumentti], http://www.ampair.com/downloads/Ampair_300_manual.pdf,
26.11.2011
- /6/ Aura-Antti, Lauri, J.Tonteri, Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet, 1. painos,
WSOY, 1996.
- /7/ Energiaa suomessa, Energiaa suomessa, [www-dokumentti],
<http://www.energiaasuomessa.net/pdf/vesivoima.pdf>, 28.11.2011
- /8/ Etto, Jaakko, Sähköttekniikan insinöörikoulutuksen
oppimisympäristöjen kehittäminen, opinnäytetyö, 2010
- /9/ Farin, Juho, Peltonen, Lasse, Pykälä, Marja-Leena, Uski-Joutsenvuo, Sanna,
Taajuusmuuttajien rakenne, mitoitus ja säätö generaattorikäytöissä, [www-
dokumentti], <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/TAMU-loppuraportti.pdf>,
12.12.2011

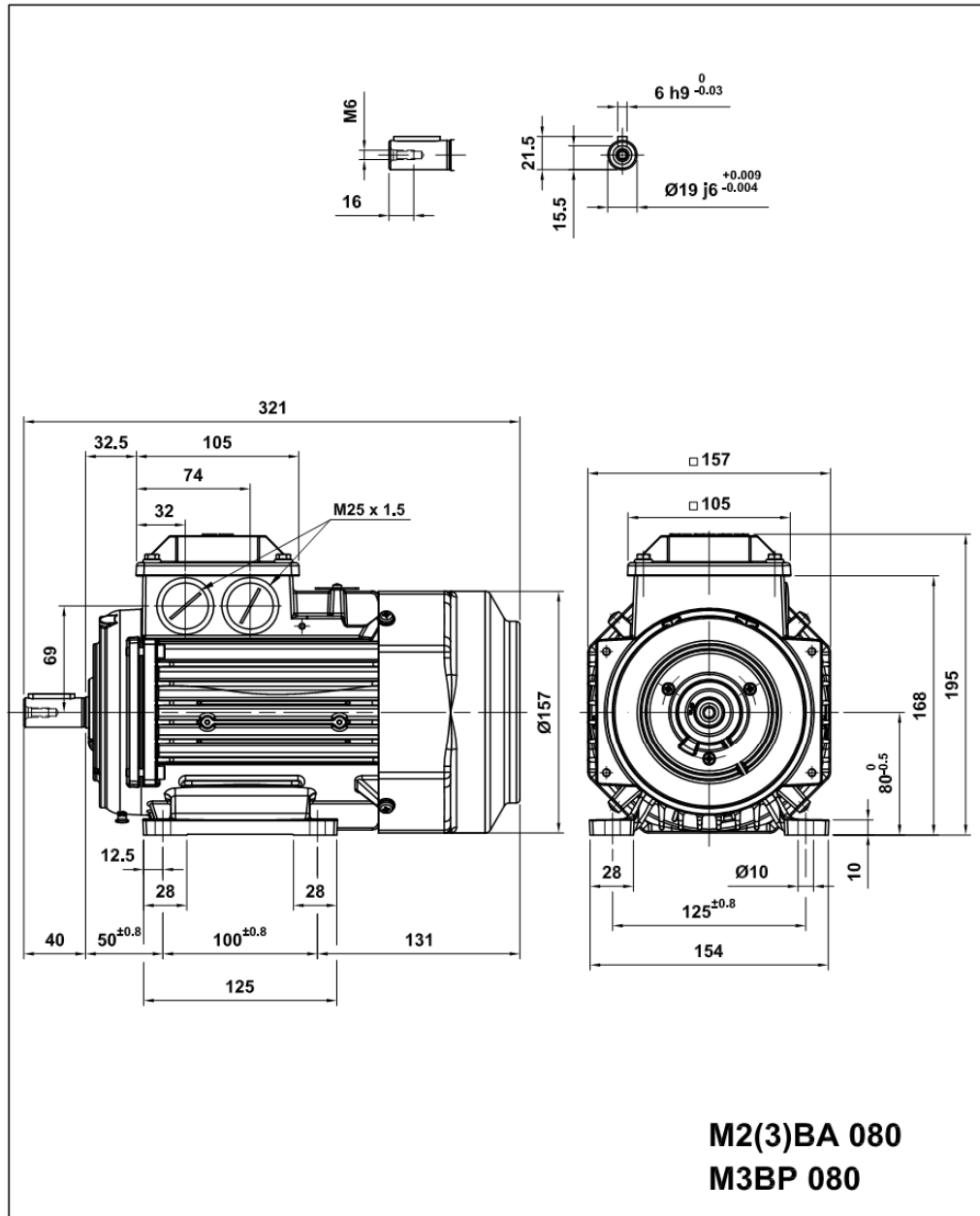
- /10/ Finnwind Oy, Kotimaiset tuulivoimalat, [www-dokumentti],
http://www.finnwind.fi/web-content/esitteet/tekniset/Tuule_E200_tekninen_kuvaus.pdf, 30.11.2011
- /11/ Genmac, Käyttö- ja huolto-opas,[www-dokumentti],
http://www.ikhservice.com/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=211&Itemid=352, 15.12.2011
- /12/ Haapakoski, Pasi, Vesivoimalaitosten rakenneratkaisut, opinnäytetyö, 2011
- /13/ Hietalahti, Lauri, Muuntajat ja sähkökoneet, 1.painos, Amk-kustannus Oy
Tammertekniikka, 2011
- /14/ Hietanen, Tero, Automaatiotekniikka 1, Ouluseudun ammattikorkeakoulu, [www-dokumentti], http://www.tekniikka.oamk.fi/~terohi/auto1_s2006u.htm, 29.11.2011
- /15/ Jaskari, Eija, Meridian X Oy, Tuulivoiman projektiopas, Motivan julkaisu 5 / 1999,
[www-dokumentti], <http://www.motiva.fi/files/228/tuulivoimanprojektiopas.pdf>,
27.11.2011
- /16/ Karja, Ville, Erään kenttäväyläratkaisun sovittaminen
pienitehoisen taajuusmuuttajan ohjausosaan, Opinnäytetyö, 2011
- /17/ Kemijoki Oy, Vesivoima, [www-dokumentti], http://www.kemijoki.fi/kejo-fi/sp_Content32B79, 8.12.2011
- /18/ Konttinen, Juha, Vaihtosähkökoneen huolto ja koestus, tutkintotyö, 2008
- /19/ Korpinen, Leena, Sähkön kulutus ja tuotanto, [www-dokumentti],
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/2sahkon_kulutus_ja_tuotanto.pdf,
29.11.2011

- /20/ Korpinen, Leena, Sähkön kulutus ja tuotanto, [www-dokumentti],
http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/sahkon_tuotanto_ja_kulutus.pdf,
29.11.2011
- /21/ Laakso, Hannu, Repo, Sami, Tuulivoimateknologia sähkönjakeluverkoissa, 2003
- /22/ Laari, Anton, Vuosaaren B-voimalaitoksen lauhduttimien merivesikanavaan
sijoitettavan pienvesivoimalan kannattavuusselvitys, insinööriyö, 2006
- /23/ Motiva, Asiantuntija energian ja materiaalin tehokkaassa käytössä, [www-
dokumentti],http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/tuulivoima/,
1.12.2011.
- /24/ Pienvesivoimayhdistys ry, Pienvesivoimaopas, 2009, [www-dokumentti],
<http://server.perlasoft.fi/vesivoima/images/Pienvesivoimaopas.pdf>, 25.11.2011
- /25/ Powerpal, electricity from water with powerpal, [www-dokumentti],
<http://www.powerpal.com/highHead.pdf>, 7.12.2011
- /26/ Powerpal, electricity from water with powerpal, [www-dokumentti],
<http://www.powerpal.com/lowheadmanual.pdf>, 1.12.2011
- /27/ Pramac Group, Technical guide,[www-dokumentti],
<http://www.hsaoy.com/aggregaatit/pramac/index.htm>, 15.12.2011
- /29/ Santala, Sanna, Oma energiantuotannon ja sen kytkeminen kiinteistöjen
sähköverkkoihin, opinnäytetyö, 2011.
- /30/ ST-kortisto, ST 55.34, Tuulienergiaa hyödyntävätlaitteet ja niiden liittäminen
rakennuksen sähkönjakelujärjestelmään, Sähkötieto ry, Sähköinfo Oy, Espoo.

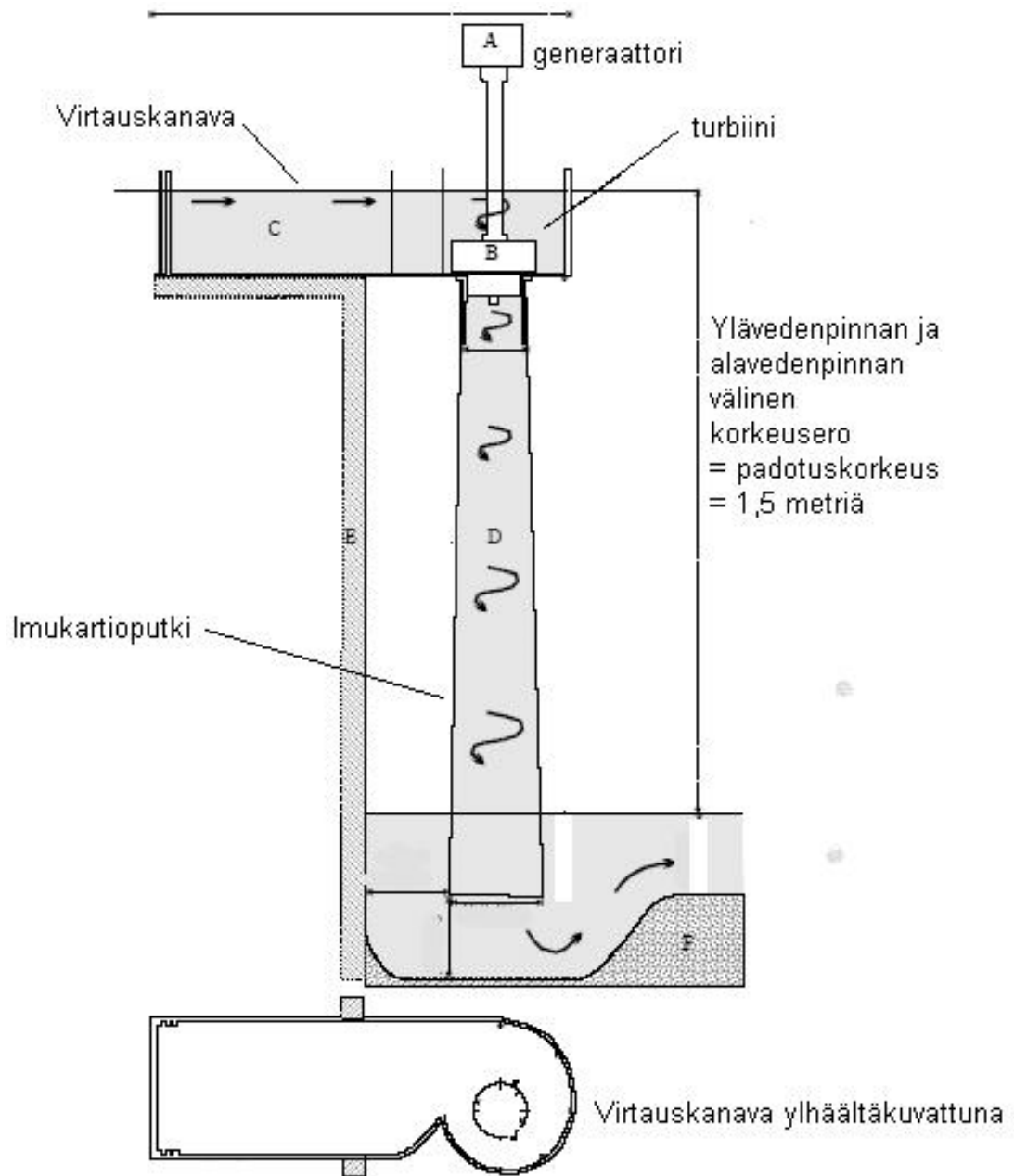
- /31/ Stenberg, Anders, Holttinen, Hannele, Holttinen, Tuulivoiman tuotantotilastot, [www-dokumentti], <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2010/W145.pdf>, 1.12.2011
- /32/ Suomen Sähkö- ja teleurakointisaliitto ry:n julkaisu, taajuusmuuttajat, Espoo, 1997, Sähköinfo
- /33/ Sähkötieto ry, Varavoimalaitokset, ST-käsikirja 31, Sähköinfo Oy, Espoo, 2000
- /34/ Tuulivoimala.com, Puhtaan paikallisen energiatuotannon ratkaisut, [www-dokumentti], www.tuulivoimala.com/tuulivoima.asp, 4.14.2011
- /35/ Tuulivoimatieto, Tuulivoiman tietopaketti, [www-dokumentti], www.tuulivoimatieto.fi, 28.11.2011
- /36/ Valtamäki, Joonas, Pientuulivoimalan testausympäristön kehittäminen ja käyttöönotto vacon-taajuusmuuttajilla, 2010
- /37/ Winwind, Suomalaista tuulivoimaa, [www-dokumentti], www.winwind.fi, 2.12.2011

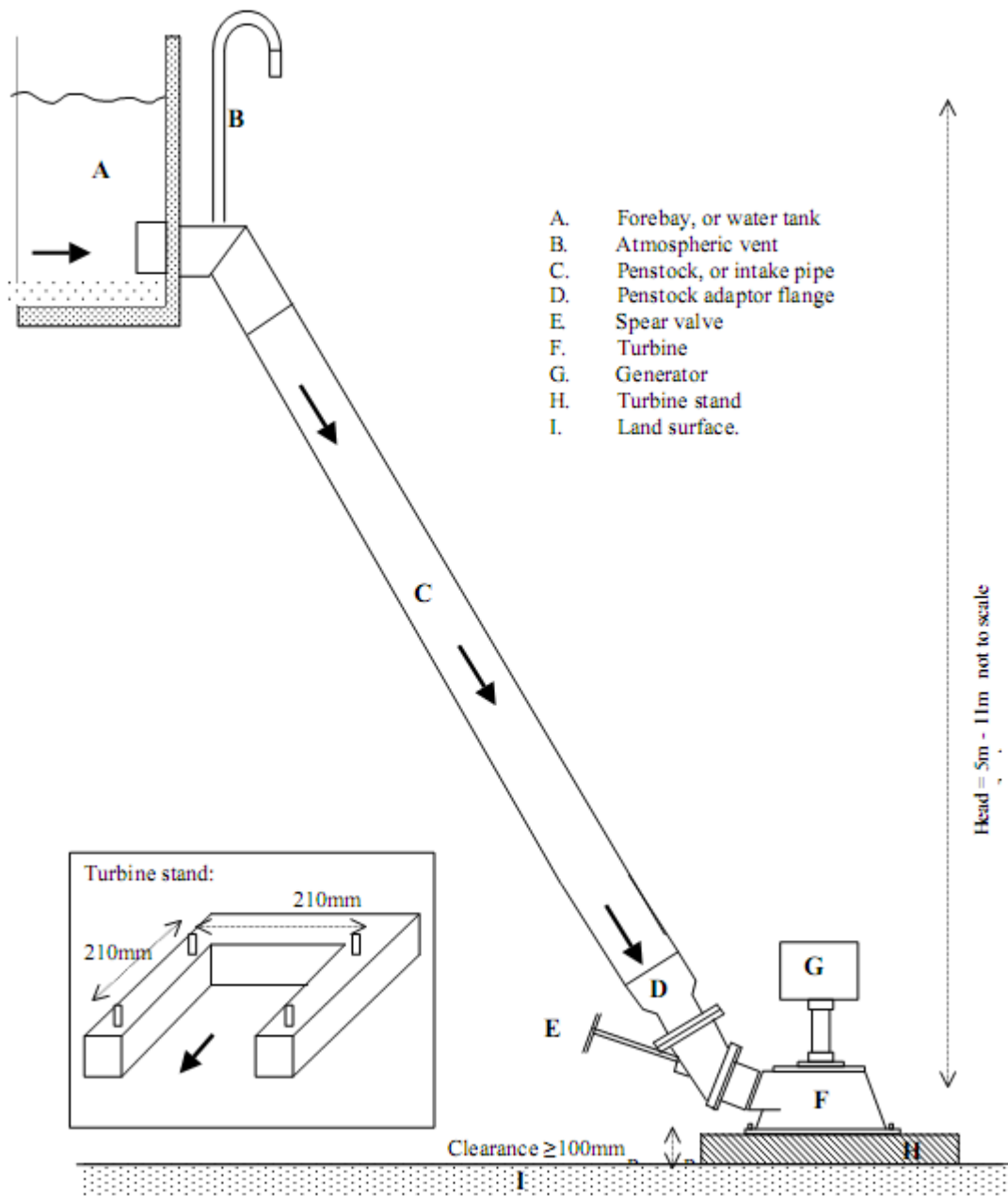
10. LIITELUETTELO

LIITE 1	Sähkömoottorin cad-kuva
LIITE 2	MGH-200LH asennuskuva
LIITE 3	MGH500HH Periaatekaavio
LIITE 4	AKN-100/4 Ominaisuudet
LIITE 5	Combiplus 5500 R-RE ohjaus/liityntä paneeli
LIITE 6	Combiplus 5500 R-RE ulkomitat
LIITE 7	Combiplus 5500 R-RE huolto
LIITE 8	GLS 42 D asennuskuva
LIITE 9	GLS 42 D Virtapiirikaaviot
LIITE 10	Combiplus 5500 R-RE varavoimakoneen kuormitustesti (esimerkki).
LIITE 11	Pacific Ampair 300 mittauspöytäkirja (esimerkki)
LIITE 12	Varavoimalaitoksen Asennustarkastuksen mittauspöytäkirja
LIITE 13	Pohjolan voiman tehonnosto Iijossa

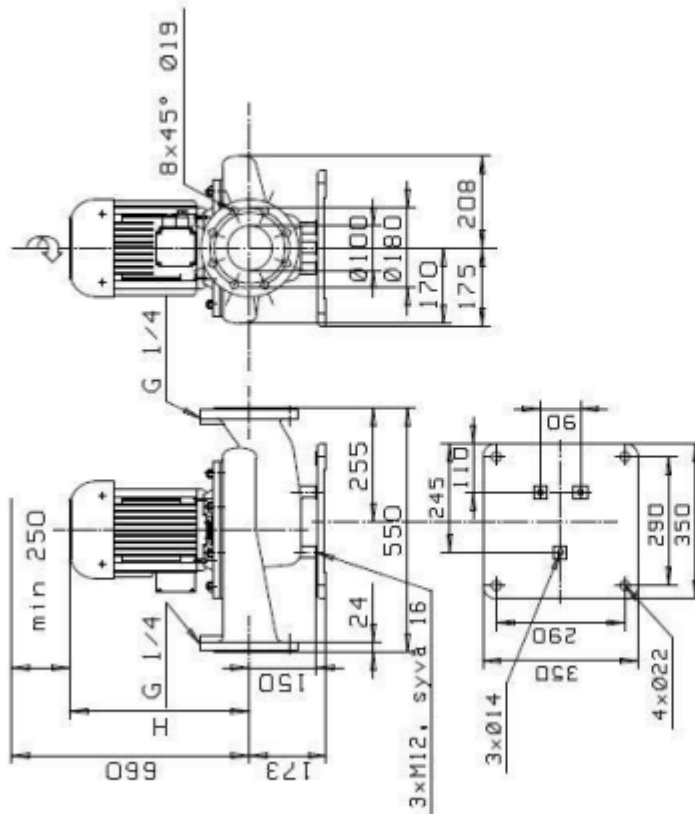


Motor Dimension Print		Motor Type : M3BA / M3BP 080	Document N° : A1.4963
Description : Motor foot mounted IM1001/ Motor con patas IM1001			
Unit : Automatlon Products - Fábrica Motores	Issued by : EMD / E.Sáenz	Replaces : 2008-07-08	
Date : 2009-07-14	Approved by : EMD / G.Blanes	Replaced by :	
Asea Brown Boveri, S.A.	Customer Reference :		ABB

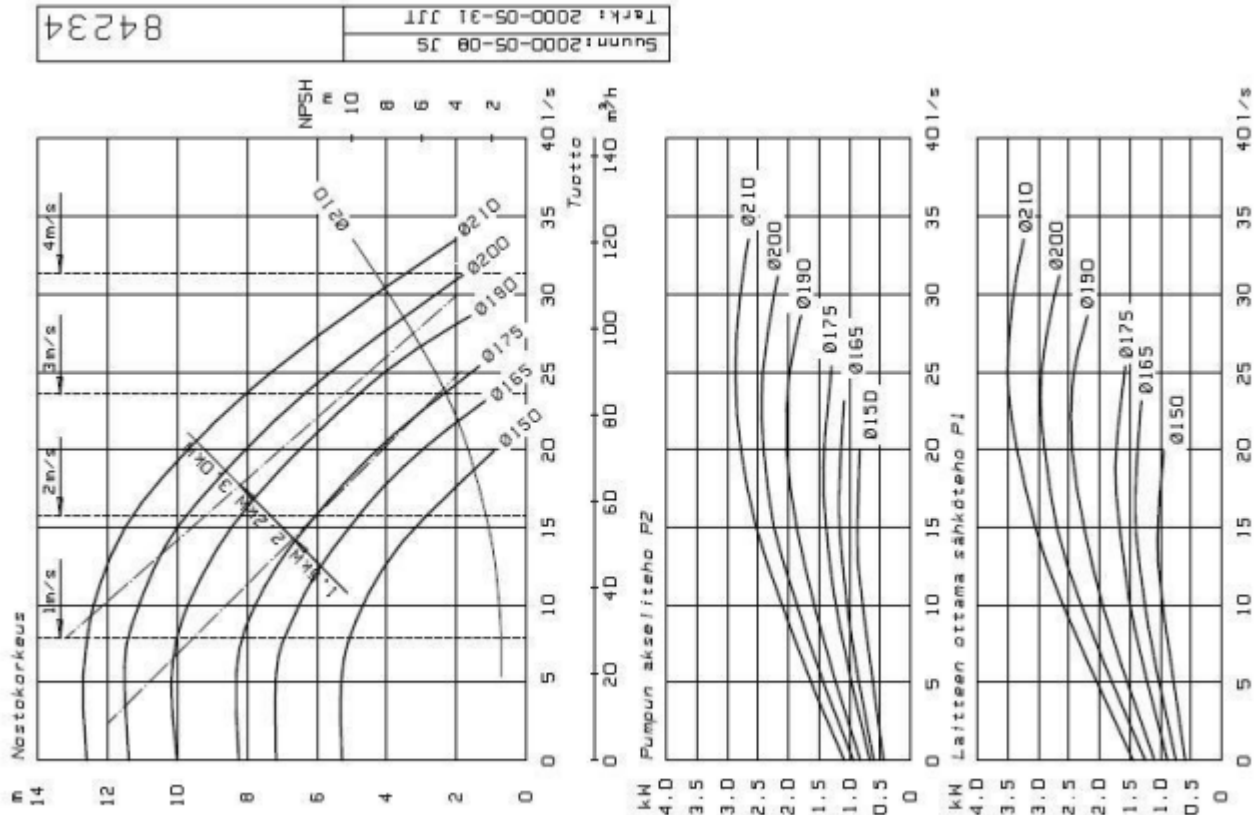
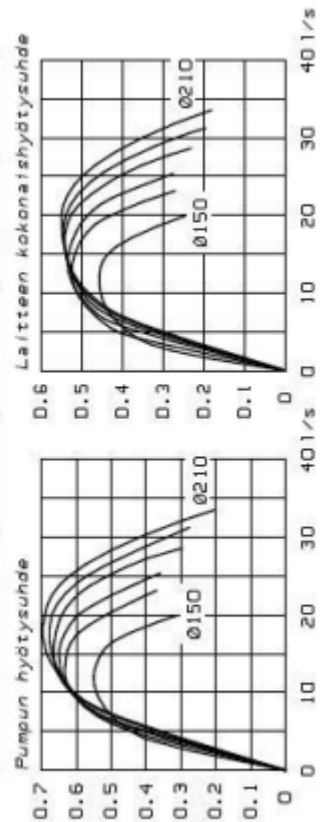




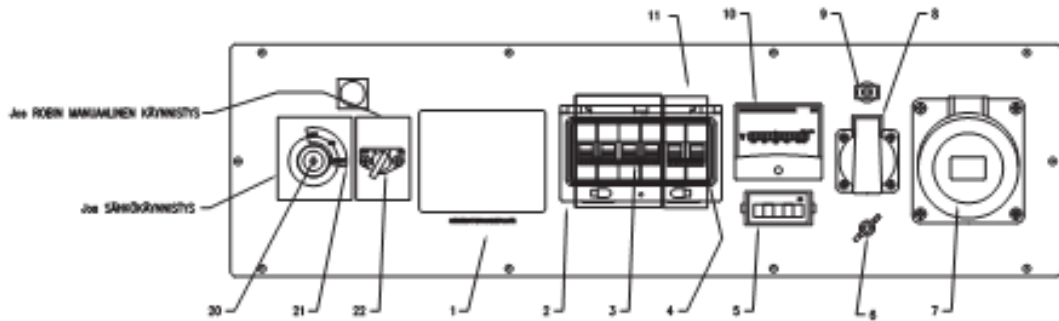
AKN -100/4 DN100 1500 r/min



	kW	A	kg	H
OKW-112 E2 N26	3.0	6.6	84	410
OKW-112 C2 N26	2.2	5.1	79	410
OKW-101 D2 N26	1.5	3.5	73	365



Suunn: 2000-05-08 JS
 Tark: 2000-05-31 JJT
 84234

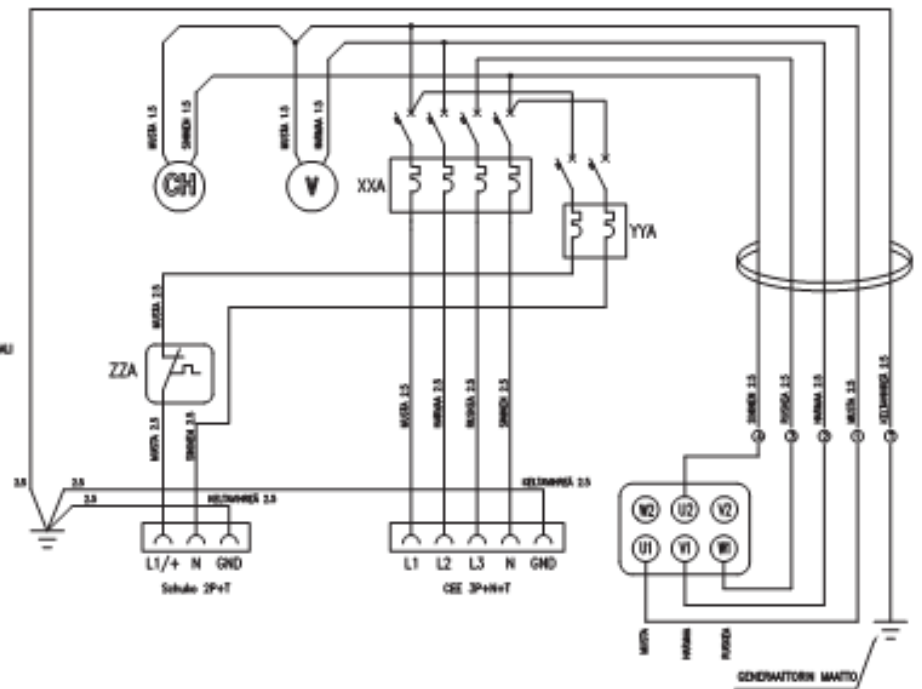


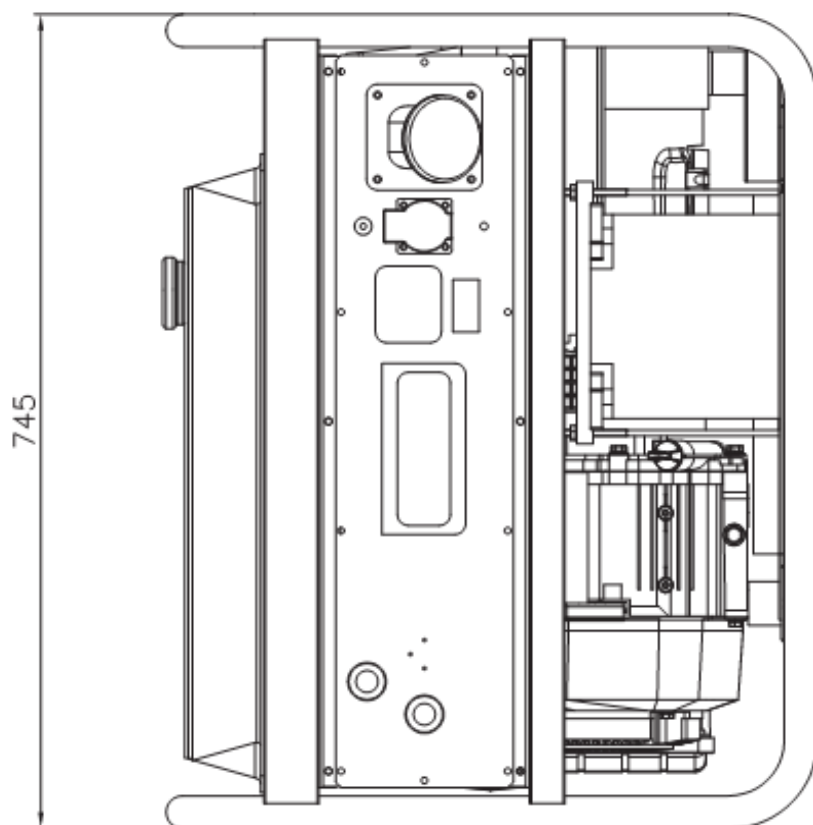
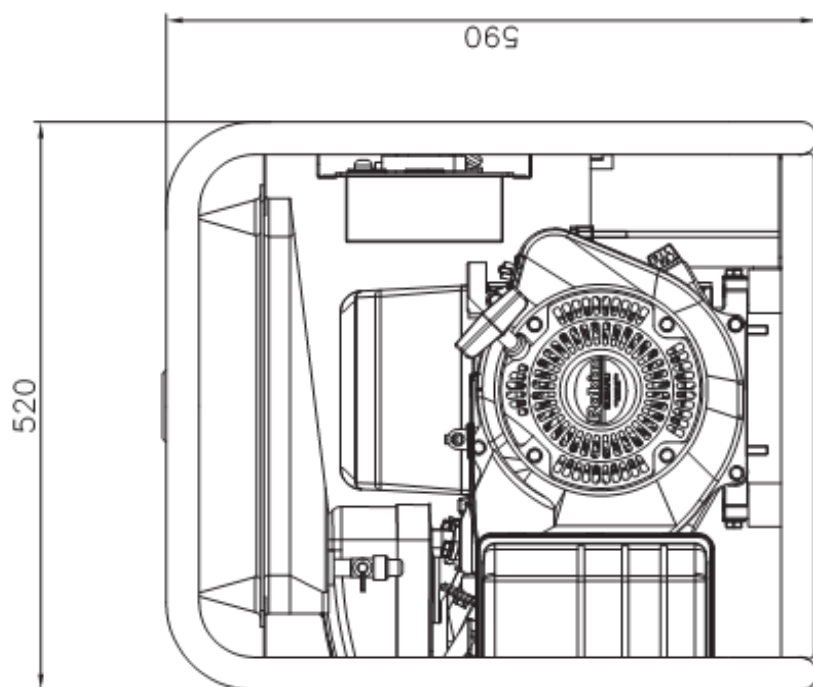
19	-	30	-						
18	-	38	-						
17	-	37	-						
16	-	36	-						
15	-	35	-						
14	-	34	-						
13	-	33	-						
12	-	32	-						
11	2-napainen lämpömagneettinen kytkin (sarja B)	31	-						
10	LED:llä varustettu jännitemittari 400V ELIDERO	30	-						
9	ETA lämpökytkin (ZZA)	29	-						
8	schuko pistorasia 2P+N 10/16A - 230V	28	-						
7	CEE pistorasia 3P+N+T 16A-400V SCHUKO	27	-						
6	moduloinninkalvot M8	26	-						
5	laskentalaite 230V 50 Hz 3kVA	25	-						
4	kytkimen tukitukala - 4 moduulia	24	-						
3	4-napainen lämpömagneettinen kytkin (sarja B)	23	-						
2	6-moduulinen laite	22	ROBIN ON/OFF-kytkin						
1	paneeli pnr. B0295-02	21	Analysin laite OFF - ON - START						
0	-	20	virta-ainne						
Väle	Kuvaus	Väle	Kuvaus						

KYTKIMÄMPÖLÖI DALUSIA PÄÄMÄN						
Väle	Väle	METÄ	PAIDAPPALE	M8H	PAIDAPPALE	M8H
4	ON/OFF	WT K/T/ON	KUUSIKAPPALE	PAIDAPPALE M8	ON/OFF	WT K/T/ON
3	ON/OFF	WT K/T/ON	KUUSIKAPPALE	PAIDAPPALE M8	ON/OFF	WT K/T/ON
2	ON/OFF	WT K/T/ON	KUUSIKAPPALE	PAIDAPPALE M8	ON/OFF	WT K/T/ON
1	ON/OFF	WT K/T/ON	KUUSIKAPPALE	PAIDAPPALE M8	ON/OFF	WT K/T/ON
7	KUUSIKAPPALE	PAIDAPPALE M8	ON/OFF	KUUSIKAPPALE M8	ON/OFF	WT K/T/ON
Väle	Väle	METÄ	PAIDAPPALE	M8H	PAIDAPPALE	M8H

Moduuli	XXA	YYA	ZZA
-	-	-	-
EX27	10A	-	8A
EXH1	10A	20A	-
1SLD40	10A	15A	-

JOS LÄMPÖKYTKIN OTTAA PAIKAN JA NEUTRAALI
4-NAPAINEN LÄMPÖKYTKIMEN MODUULI





HUOLTO

Perushuolto

Ainoastaan koulutettu henkilökunta saa suorittaa generaattorikoneikon huollon. Varmista, että moottori ei ole käynnissä ja että se on jäähtynyt tarpeeksi. Varmista, että kuormat on kytketty irti. Katso moottorin ja vaihtovirtageneraattorin käyttöoppaista neuvoja oikeaa huoltoa varten.

Päivittäin:

- Tarkista öljyntaso ja täytä tarvittaessa.
- Pidä ilmaventtiilit ja/tai pakoputki puhtaina ja vapaina esteistä laitteen oikean ja turvallisen toiminnan takaamiseksi.
- Suorita kaikki alustavat tarkistukset ennen käynnistystä.

50 tunnin välein

- Puhdista ilmanpuhdistin ilmakompressorilla korkeintaan 2 barin paineella. Käytettäessä generaattorikoneikkoa erittäin pölyisissä olosuhteissa, puhdista osa useammin. Pidä osa aina puhtaana moottorin paremman toiminnan ja laitteen pidemmän käyttöiän takaamiseksi.
- Tarkista sytytystulppa ja tarvittaessa puhdista sytytystulpan elektrodista hiilijäämät käyttäen tulpan puhdistinta tai teräsharjaa.

100 tunnin välein

- Vaihda moottoriöljy. Irrota tyhjennystulppa ja valuta öljy. Suosittelemme valuttamaan öljyn moottorin ollessa lämmin ja irrottamaan öljymittarin nopeaa valumista varten. (Muista vaihtaa öljy useammin jos laitetta käytetään pölyisissä ympäristöissä.)
- Tarkista vaihtovirtageneraattorin harjan asento ja tila. Vaihda tarvittaessa.

200 tunnin välein

- Tarkista ja säädä sytytystulpan elektrodin väli moottorin käyttöoppaassa annettujen ohjeiden mukaan.
- Puhdista polttoainesuodatin.

500 tunnin välein

- Vaihda sytytystulppa.
- Puhdista ja tarkista kaasutin, säädä venttiiliväli ja sylinteripäässä oleva venttiilin istukka.

1000 tunnin välein (tai 24 kuukauden välein)

- Tarkista ohjauspaneeli ja sen osat
- Vaihda moottorin alla sijaitsevat tärinätulpat.
- Suorita moottorin perinpohjainen tarkastus
- Vaihda syöttöputket

Muistutus: Ensimmäinen öljynvaihto pitää suorittaa ensimmäisten 20 käyttötunnin jälkeen. Sen jälkeen vaihda öljy 100 tunnin välein.

FRONT SIGHT (ENTRANCE VIEW) VISTA DEL ENTRADA DE AIRE

LATERAL SIGHT VISTA LATERAL

BACK SIGHT (EXHAUST VIEW) VISTA DEL ESCAPE

EXHAUST PIPE DIAMETER MUST BE 100mm FOR EACH 100mm OF PIPE

EL DIAMETRO DEL COLECTOR DE ESCAPE DEBE SER DE 100mm POR CADA 100mm DEL COLECTOR

COOLING AIR INTAKE ENTRADA DE AIRE

EXHAUST BUILET

SIGHT FROM THE HEIGHT VISTA DESDE ARRIBA

NOTE: GENERATING SET MUST BE LOCATED WITH, AT LEAST, ONE METER FREE SPACE AROUND FOR MAINTENANCE WORK

SURFACE OF COOLING AIR INTAKE LOUVERS MUST BE, AT LEAST, TWICE SURFACE OF COOLING AIR EXHAUST LOUVERS

NOTA: EL GENERADOR DEBE SITUARSE CON, AL MENOS, UN METRO LIBRE ALREDEDOR PARA TRABAJOS DE MANTENIMIENTO

LA SUPERFICIE DE REJILLA DE REFRIGERACION DE ENTRADA DEBE SER, AL MENOS, DOS VECES LA SUPERFICIE DE LA REJILLA DE SALIDA DE AIRE

MODEL / MODELO	PRIME POWER / POTENCIA	ENGINE / MOTOR	FUEL TANK (LIT.) / DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE	WEIGHT (KG) / PESO (KG)
GSL22D	20	F3M2011	90	554
GSL30D	29	F4M2011	90	714
GSL42D	39.3	BF4M2011	90	761

MODEL / MODELO	COMBUSTION / COMBUSTION	COOLING AIR / AIRE DE REFRIGERACION	EXHAUST GASES / GASES DE ESCAPE	FUEL CONSUMPTION / CONSUMO DE COMBUSTIBLE (L/H)		
				75% LOAD	100% LOAD	
GSL22D	86	2520	230	3.9	5.2	
GSL30D	117	2520	314	5.3	7.1	
GSL42D	151	3318	432	7.1	9.4	

* IF IN DOUBT, ASK, DO NOT SCALE / EN CASO DE DUDA, PREGUNTAR, NO ESCALAR

* RECOMMENDED INSTALLATION DIMENSIONS FOR STANDARD CONFIGURATION / DIMENSIONES DE INSTALACION RECOMENDADAS PARA CONFIGURACION ESTANDAR

* THE PRODUCER RESERVES THE RIGHT OF MODIFYING THE DIMENSIONS REPRESENTED IN THIS PLANE WITHOUT PRIOR NOTICE / EL FABRICANTE SE RESERVA EL DERECHO DE MODIFICAR LAS DIMENSIONES REPRESENTADAS EN ESTE PLANO SIN PREVIO AVISO

2004	DATE / NAME	JCM
Drawn	Checked	JJG
Examined	SCALE	

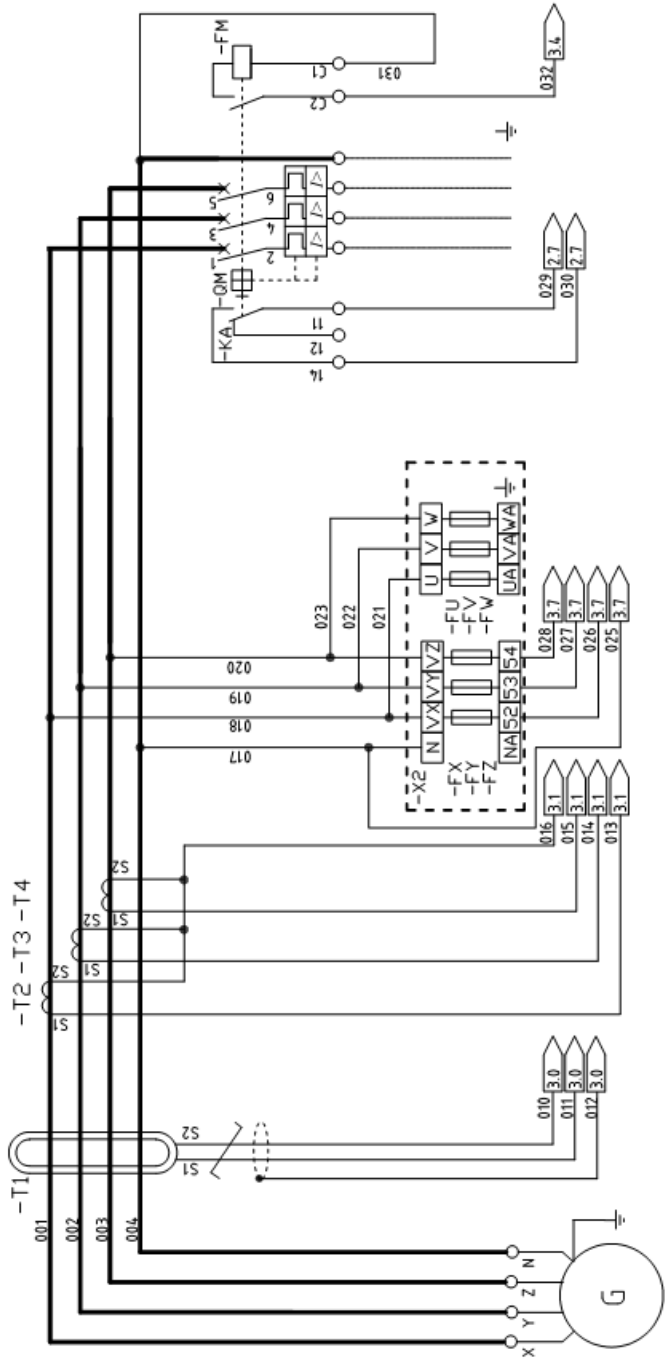
RECOMMENDED INSTALLATION DIMENSIONS
STANDARD GENSET
GSL22D-30D-42D - 1.500 RPM

No. P/GSL22D-42D_000

POWER ENGINEERING

Replaced by:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
GEN SET		TOROIDE TRAF. CURRENT TRANSF.		GEN SET VOLT. AUX POWER		GEN SET CIRCUIT BREAKER		TRIP COIL	
MOUNTED ON THIS GEN SET						LOAD			
ALTERNATOR PHASE X		PHASE X		PHASE X FUSE		PHASE U		PHASE X	
ALTERNATOR PHASE Y		PHASE Y		PHASE Y FUSE		PHASE V		PHASE Y	
ALTERNATOR PHASE Z		PHASE Z		PHASE Z FUSE		PHASE W		PHASE Z	
ALTERNATOR N		COMMON		GEN SET N		PROTECTIVE EARTH		GEN SET N	
PROTECTIVE EARTH				PROTECTIVE EARTH		N LOAD		PROTECTIVE EARTH	
		MEASUREMENT						BREAKER POS. IND. 1 NO. INC.	
								PHASE X	
								PHASE Y	
								PHASE Z	
								BREAKER POS. IND. 230V AC	
								TRIP COIL	
								N TO COMMAND	





POWER ENGINEERING

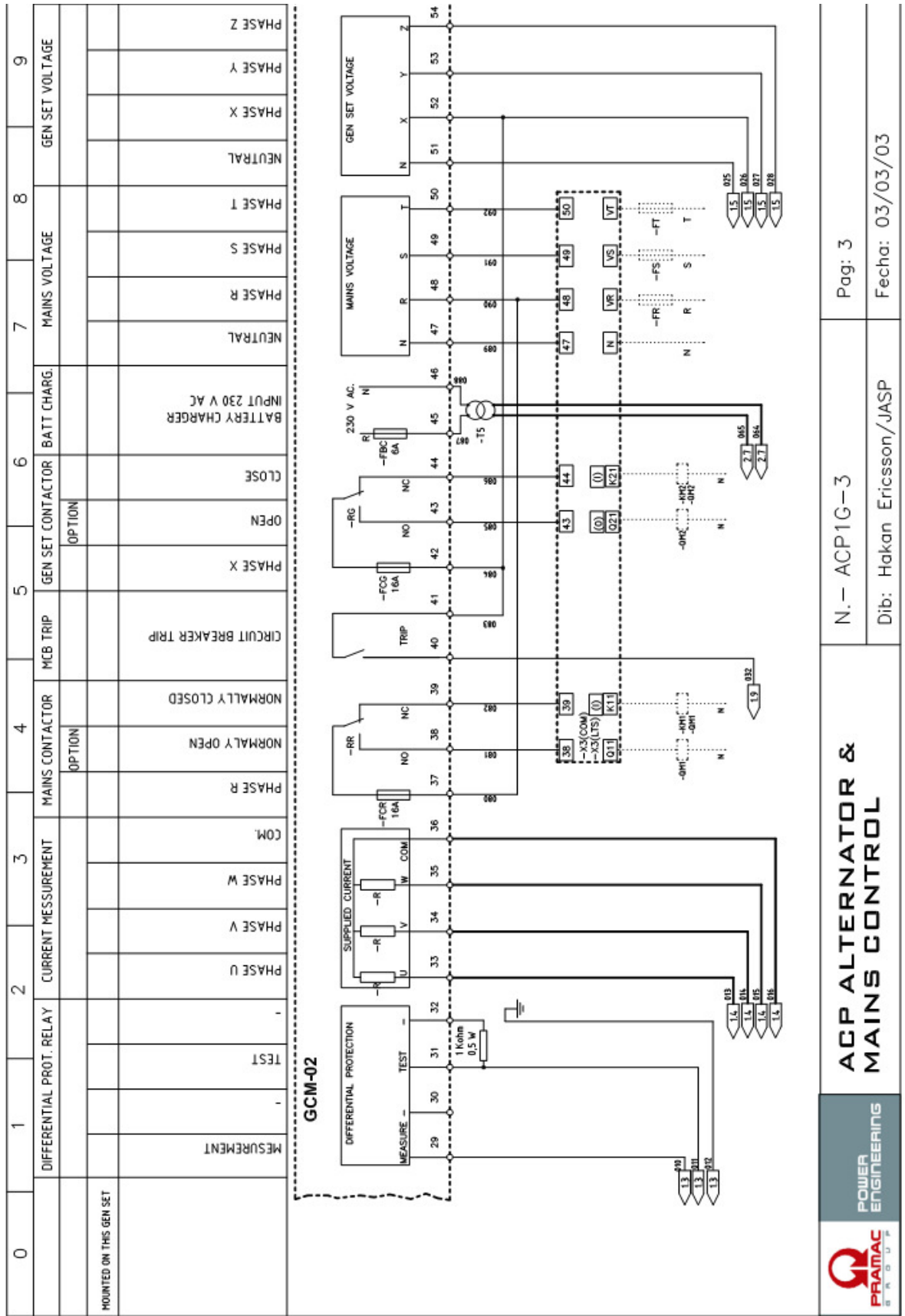
AGP PROTECTION & MEASUREMENT

N.- ACP1G-1

Pag: 1

Dib: Hakan Ericsson/JASP

Fecha: 03/03/03



ACP ALTERNATOR & MAINS CONTROL

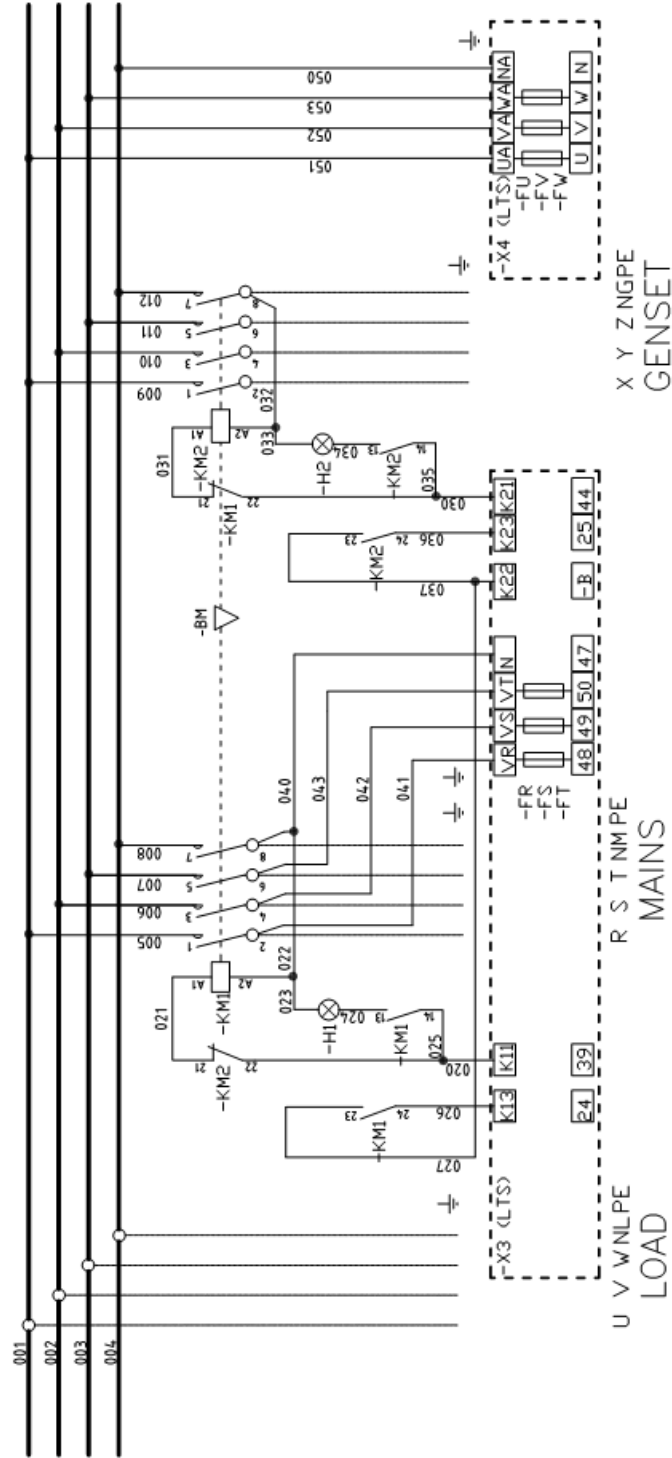
N.- ACP1G-3

Pag: 3

Fecha: 03/03/03



0	1	2	3	4	5	6	7	8	9									
LOAD		MAINS CONTACTOR			MAINS VOLTAGE GENSET CONTACTOR			AUX. POWER										
MOUNTED ON THIS GEN SET																		
PLINTH PHASE U	PLINTH PHASE V	PLINTH PHASE W	PLINTH N LOAD	PROTECTIVE EARTH	CONTACTOR POSITION SWITCH	ELECTRIC INTERLOCK	CONTACTOR POSITION IND.	CONTACTOR COIL	PHASE X	PHASE Y	PHASE Z	N GENSET	PROTECTIVE EARTH	PHASE U	PHASE V	PHASE W	N LOAD	PROTECTIVE EARTH



POWER DRAWING LTS		N.- LTSC400T		Pag: 1	
		Dib: Hakan Ericsson/JASP		Fecha: 03/03/03	

Varavoimakoneen kuormitustesti

Merkitse varavoimakoneen tekniset tiedot:

Malli:

Nimellisjännite:

Nimellisvirta:

Nimellisteho:

Kytke kolmivaihe kuorma generaattoriin ja laske prosentuaaliset virrat. Opettaja tarkastaa kytkennän ennen generaattorin käynnistystä.

1. Kuormitus resitiivisellä kuormalla ja mittaa taulukon 1 mittaukset.

Säädä kuormitusvastuksella virta I(A) ja mittaa jännite.

Taulukko 1

I (A) % nimellisestä	I (A) L1	U (V) L1
10		
25		
50		
75		
90		
100		
110		

2. Kuormitus induktiivisella kuormalla ja mittaa taulukon 2 mittaukset.

Säädä kuormitusvastuksella virta I(A) ja mittaa jännite.

Taulukko 2

I (A) % nimellisestä	I (A) L1	U (V) L1
10		
25		
50		
75		
90		
100		
110		

3. Kuormitus kapasitiivisella kuormalla ja mittaa taulukon 3 mittaukset.

Säädä kuormitusvastuksella virta I(A) ja mittaa jännite.

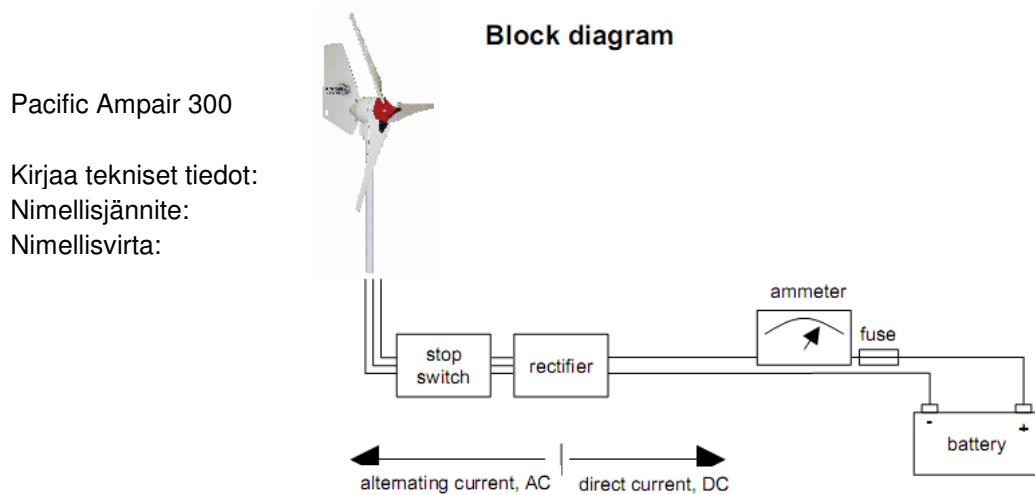
Taulukko 3

I (A) % nimellisestä	I (A) L1	U (V) L1
10		
25		
50		
75		
90		
100		
110		

4. Piirrä kohtien 1,2 ja 3 jännitteet samaan kuvaajaan.

5. Mitä voit päätellä generaattorista eri kuormituksilla jännitteen ja virran suhteen?

Mittauspöytäkirja



Kuva 1 Kytkenä

1. Tee kuvan 1 mukainen kytkentä.
2. Kytke verkkoanalysoitsija (Esim. Fluke 434) mittaamaan virtoja ja jännitteitä ennen tasasuuntausta.
3. Kytke virran ja jännitteen mittarit tasasuuntauksen jälkeen.
4. Aseta moottoria pyörittävään taajuusmuuttajaan moottorin arvot.
5. Opettaja tarkastaa kytkennän
6. Mittaa taulukon 1 arvot.

Generaattorin pyörintänopeus	Mittaa jännitteet ja virrat						Laske Teho P (W)	Mittaa tasajännite ja tasavirta		Laske tasajännitteen teho P (W)	Hyötysuhde
	L1 (U)	L2 (U)	L3 (U)	L1 (A)	L2 (A)	L3 (A)		U	I		
500											□
700											
900											
1000											
1200											
1400											

7. Laske tehot
8. Laske tasasuuntaajan hyötysuhde
9. Piirrä hyötysuhteen kuvaaja. Määritä millä pyörintänopeudella on paras hyötysuhde.
10. Piirrä AC sähköjännitteet ja virrat samaan kuvaajaan

VARAVOIMALAITTEISTON ASENNUSTARKASTUS: Mittauspöytäkirja

Asennuksen jälkeen mitataan asennettujen kaapeli eristysvastukset ja suojavaajohtimien jatkuvuus.

Mittaus tulokset merkitään tähän pöytäkirjaan.

Mittaukset suoritetaan kaapeli asennuksen jälkeen ennen niiden kytkentää.

Eristysvastusmittaus tehdään hyväksytyllä mittarilla käyttäen vähintään 500 V:n jännitettä.

Varavoimalaitteen lisämaadoitus (KEVI)

Laskettu maadoituskaapelin vastus			Mitattu vastus	16 mm ²	50 mm ²	120 mm ²
Arvioitu pituus [m]	Ω/km	Ω	Ω	Ω/km	Ω/km	Ω/km
				1,15	0,387	0,153

GENERAATTORIKAAPELI

Kaapelitunnus:				Tyyppi:			
Johdinväli	MΩ	Johdinväli	MΩ	Johdinväli	MΩ	Johdinväli	MΩ
L1-PE		L2-PE		L3-PE		N-PE	

Suojamaan jatkuvuus (paluujohdina käytetään lisämaadoitusjohdinta)

Laskettu generaattorikaapelin vastus				Mitattu generaattorikaapelin vastus	
Poikkipinta [mm ²]	Arvioitu Pituus [m]	Ω/km	Ω	Todellinen pituus [m]	Mitattu vastus (*)

(*) Yhteislaskettu
Kaapelin PE + KEVI

VERKKOKAAPELI

Kaapelitunnus:				Tyyppi:			
Johdinväli	MΩ	Johdinväli	MΩ	Johdinväli	MΩ	Johdinväli	MΩ
L1-PE		L2-PE		L3-PE		N-PE	

Suojamaan jatkuvuus (paluujohdina käytetään erillistä kalibroituja mittausjohdinta)

Laskettu verkkokaapelin vastus				Mitattu verkkokaapelin vastus	
Poikkipinta [mm ²]	Arvioitu Pituus [m]	Ω/km	Ω	Todellinen pituus [m]	Mitattu vastus

VARAVOIMAKAAPELI

Kaapelitunnus:				Tyyppi:			
Johdinväli	MΩ	Johdinväli	MΩ	Johdinväli	MΩ	Johdinväli	MΩ
L1-PE		L2-PE		L3-PE		N-PE	

Suojamaan jatkuvuus (paluujohdina käytetään erillistä kalibroituja mittausjohdinta)

Laskettu varavoimakaapelin vastus				Mitattu varavoimakaapelin vastus	
Poikkipinta [mm ²]	Arvioitu Pituus [m]	Ω/km	Ω	Todellinen pituus [m]	Mitattu vastus

6 Ijoen vesivoimalaitokset, Ii, Yli-Ii

**VESPA**

Toteutusaika	2005–2015
Tehonlisä Ijoella	30 MW

Ijoen vesivoimalaitosten kunnostus toteutetaan Pohjolan Voiman vesivoimalaitosten perusparannusohjelma VESPAan liittyen. Perusparannusohjelmassa selvitetään kunkin voimalaitoksen tehostamismahdollisuudet teknisesti ja taloudellisesti, uusitaan vesivoimalaitosten turbiinit sekä peruskunnostetaan generaattorit ja automaatio. Ijoella tehostamismahdollisuuksia on arvioitu olevan kaikkiaan 30 megawattia.

Ohjelma käynnistyi Kierikin voimalaitokselta syksyllä 2005 ja sitä jatketaan vuoteen 2015 saakka. Ijoen viidestä vesivoimalaitoksesta Kierikin koneet uusittiin vuosina 2005–2007, Haapakosken vuosina 2007–2009, Maalismaan voimalaitoksella työt ovat käynnissä ja näiden valmistuttua Pahkakosken vesivoimalaitos uusitaan vuosina 2012–2013. Työt Raasakan voimalaitoksella on suunniteltu aloitettavan Pahkakosken modernisointitöiden valmistuttua.