

Pekka Jokikokko

VTT:N PIENTUULIVOIMALAN AUTOMATISOINTI JA TESTAUS

VTT:N PIENTUULIVOIMALAN AUTOMATISOINTI JA TESTAUS

Pekka Jokikokko
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Automaatiotekniikan koulutus-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Pekka Jokikokko

Opinnäytetyön nimi: Tuulivoimalan automatisointi ja testaus

Työn ohjaaja: Klaus Känsälä ja Timo Heikkinen

Työn valmistumislukukausi- ja vuosi: Kevät 2016 Sivumäärä: 36 + 15

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli saattaa VTT:n Oulun toimistotilojen katolla sijaitseva Hannevindin valmistama tuulivoimala jälleen sähkön tuotantoon. Tämä tarkoitti käytännössä tuulivoimalan toimintaan perehtymistä ja laitteistoon tutustumista sekä tuulivoimalan logiikkaohjelman uudelleen ohjelmoimista. Tuulivoimalan valmistajan Hannevindin konkurssin vuoksi, saatavissa oleva dokumentointi oli lähes olematonta, mikä aiheutti omat haasteensa.

Opinnäytetyön ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin tuulivoimalan toiminta ja laadittiin toimintakuvaus. Toimintakuvauksen perusteella laadittiin I/O-luettelo. Tämä oli aikaa vievä työvaihe, koska dokumentaation niukkuuden vuoksi, se piti tehdä I/O-porttien toimintaa manuaalisesti kokeilemalla.

Seuraava vaihe työssä oli laatia kokonaan uusi logiikkaohjelmointi Siemens Logo! -logiikalle. Ohjelman toimintaperiaatteeseen haluttiin muutoksia, joten aikaisemmasta ohjelmasta ei ollut juurikaan apua. Sähköisiä kytkentöjä ei ollut tarkoitus muuttaa, vaan laatia ohjelma olemassa olevien kytkentöjen mukaisesti.

Viimeisenä vaiheena oli testata ohjelman toimivuus ja optimoida sen toiminta. Suurimman haasteen tässä vaiheessa aiheuttivat tammikuun tuulettomat olosuhteet.

Työn tuloksena saatiin tilaajan toiveiden mukaisesti toimiva logiikkaohjelmisto. Täältä pohjalta on hyvä lähteä tekemään jatkokehitystä. Logiikkaohjelmaa on tarkoitus soveltaa pienillä muutoksilla myös muihin saman valmistajan tuulivoimaloihin.

Asiasanat: tuulivoima, tuulivoimala, ohjelmoitava logiikka, VTT, Siemens Logo!

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 TYÖN TAVOITTEET	7
2.1 Nykyisen tuulivoimalan ongelmakohdat	7
2.2 Asetetut tavoitteet.....	7
3 TUULIVOIMA.....	9
3.1 Tuulivoiman historia	9
3.2 Tuulivoimalan tekniikka	10
3.3 Pientuulivoima	11
3.4 Tuulivoima Suomessa	12
4 VTT:N TUULIVOIMALAN RAKENNE- JA TOIMINTAKUVAUS.....	14
4.1 Generaattori, vaihteisto ja jarru	16
4.2 Kääntömoottori	16
4.3 Tuulensuunta- ja nopeusanturi	16
4.4 Logiikka	17
4.5 Tuulen suunnan mittaaminen	18
4.6 Tuulen nopeuden mittaaminen	20
4.7 Maston kääntäminen ja kiertymävika	20
4.8 Sähköverkkoon kytkeytyminen ja alasajotoiminta	21
4.9 Alustustoiminta	22
4.10 Nuolipainikkeet.....	23
4.11 Turvallisuustekijät ja vikatilat	24
4.11.1 Vikatila ja reset	24
4.11.2 Myrskysuojaus.....	25
4.11.3 Generaattorin yli- ja alinopeus.....	25
4.11.4 Maksimilämpötila	26
4.11.5 Maston virtakaapeleiden kiertymävika.....	27
5 TUULIVOIMALAN AUTOMATISOINNIN TOTEUTUS	28
5.1 Logiikkaohjelma Siemens Logo! Soft Comfort.....	28
5.2 Logiikan tulot ja lähdöt.....	28

5.3	Säädettävät parametrit	28
5.4	Näytön tiedot	29
5.5	Ohjelmakoodit	30
6	TOIMINNAN OPTIMOINTI JA TESTAUS	31
7	YHTEENVETO	33
	LÄHTEET	35
	LIITTEET	37

1 JOHDANTO

Tämän työn on tilannut Oulun VTT. Työn tarkoituksena on saada VTT:n Oulun toimistotilojen katolla sijaitseva Hannevindin valmistama tuulivoimala jälleen sähkön tuotantoon. Tuulivoimala on ollut käyttämättömänä erinäisten ohjelmistopuutteiden vuoksi. Tuulivoimalan valmistajan mentyä konkurssiin, sieltä ei ole voinut pyytää teknistä tukea puutteiden korjaamiseksi, minkä johdosta tämän lopputyön tilaaminen tuli ajankohtaiseksi.

Työn tavoitteena on tuulivoimalan toiminnan automatisoiminen uudelleen käyttäen olemassa olevaa laitteistoa muuttamatta sitä mitenkään. Tuulivoimalan toimintalogiikkaa muutetaan tilaajan toiveiden mukaisesti. Käytännössä tämä tarkoittaa laitteiston ohjaamiseen käytettävän Siemens Logo! -logiikan ohjelmointia uudelleen. Lopuksi ohjelman toiminta testataan ja optimoidaan toimimaan mahdollisimman hyvin ja lopputulokset dokumentoidaan tähän opinnäytetyöhön. Loppudokumentoinnin avulla työntilaaajan on mahdollista jatkaa tuulivoimalan jatkokehitystä ja ylläpitoa.

2 TYÖN TAVOITTEET

2.1 Nykyisen tuulivoimalan ongelmakohdat

Pahin ongelma tuulivoimalan toiminnassa on ollut se, että tuulivoimala reagoi liian herkästi tuulenpuuskiin ja käynnistyy ja pysähtyy vähän väliä. Tämä rasittaa turhaan roottorin osien mekaniikkaa ja aiheuttaa meluhaittaa rakennuksen sisäpuolelle. Melulla on merkitystä, koska tuulivoimala sijaitsee toimitilojen katolla.

Toisena ongelma-kohtana on tekniikka, jolla yritetään kytkeytyä valtakunnan verkkoon tuulen ollessa sopiva. Siinä pehmokäynnistimellä tehdään alkukäynnistys ja samalla mitataan generaattorin pyörimisnopeutta. Pyörimisnopeuden ollessa tarpeeksi lähellä verkkotaajuutta, generaattori kytkeytyy valtakunnan verkkoon. Tällöin sähköverkkoon kytketty generaattori pakottaa roottorin lapoja pyörimään verkkotaajuudella, mikä aiheuttaa isoja vastamomenteja lapoihin. Tällainen käynnistystekniikka rasittaa lapoja, mikä voi johtaa lapojen hajoamiseen ja irtoamiseen, mikä on suuri turvallisuusriski.

Kolmas ongelma-kohta on se, että tuulivoimalan valmistaja on mennyt konkurssiin, minkä takia tuulivoimalasta on niukasti saatavilla dokumentaatiota. Myös logiikkaohjelma oli lukittuna salasanalla, jota ei ollut enää saatavilla, joten ohjelmaa ei päässyt tutkimaan tai muokkaamaan, jotta olisi saanut logiikan toimimaan halutulla tavalla. Logiikan toiminnassa on ilmennyt muitakin epämääräisyyksiä, minkä takia se on ollut pois käytöstä muutaman vuoden.

2.2 Asetetut tavoitteet

Tämän työn tavoitteena on ohjelmoida ja testata tuulivoimalaa ohjaava logiikkaohjelma ja optimoida sen toiminta. Aluksi selvitetään testaamalla mitä tuloihin ja lähtöihin on kytketty. Sen jälkeen tehdään logiikkaohjelma kokonaan uusiksi siten, että se toimii vakaasti ja luotettavasti. Ohjelmamuutokset on tarkoitus tehdä siten, että sähköisiä kytkentöjä ei tarvitse muuttaa. Verkkoon kytkeytymi-

sen periaate muutetaan sellaiseksi, että se ei aiheuta ylimääräistä rasitusta mekaniikalle verkkoon kytkeytymisen hetkellä. Tuulivoimalan toiminta on kerrottu tarkemmin luvussa 4.

Tärkeä osa tätä työtä on myös testata ja optimoida toiminta ympäristön tuuliolosuhteisiin nähden. Tätä testaus- ja optimointityötä rajoittavat tietenkin käytössä oleva aika ja tuuliolosuhteet, jotka eivät olleet parhaat mahdolliset tammikuun tyynessä pakkaskelissä. Myös työn loppudokumentointi on tärkeä osa tätä työtä, koska dokumentteja ei ole sähköpiirustusta lukuun ottamatta saatavilla. Luodun dokumentaation avulla voidaan jatkossa tehdä mahdollisia muutostöitä ja optimoida toimintaa säädettävien parametrien avulla.

3 TUULIVOIMA

Tuulessa on energiaa, joka voidaan valjastaa ihmisten käyttöön erilaisilla tuulivoimaloilla. Yhteistä kaikille ratkaisuille on, että niillä tuotetaan sähköä kuluttajille tai sähköverkkoon. Pientuulivoimaloilla (alle 20 kW) voidaan esimerkiksi ladata sähköverkon ulkopuolella olevan loma-asunnon akkuja. Toisessa ääripäässä ovat jättimäiset megawattiluokan voimalat, jotka on usein sijoitettu merelle tai rannikon läheisyyteen. (1.)

3.1 Tuulivoiman historia

Tuulivoima on eräs vanhimmista energiantuotantomuodoista ja toisaalta eräs nykyaikaisimmista sähköenergiantuotantomuodoista. Vanhoilla tuulimyllyillä, joita käytettiin pääasiassa viljan jauhamiseen, ei juuri ole muuta yhteistä nykyaikaisiin tuulivoimaloihin verrattaessa kuin se, että molemmissa tuulen liike-energiaa muutetaan akselin pyörimisliikkeeksi. (1.)

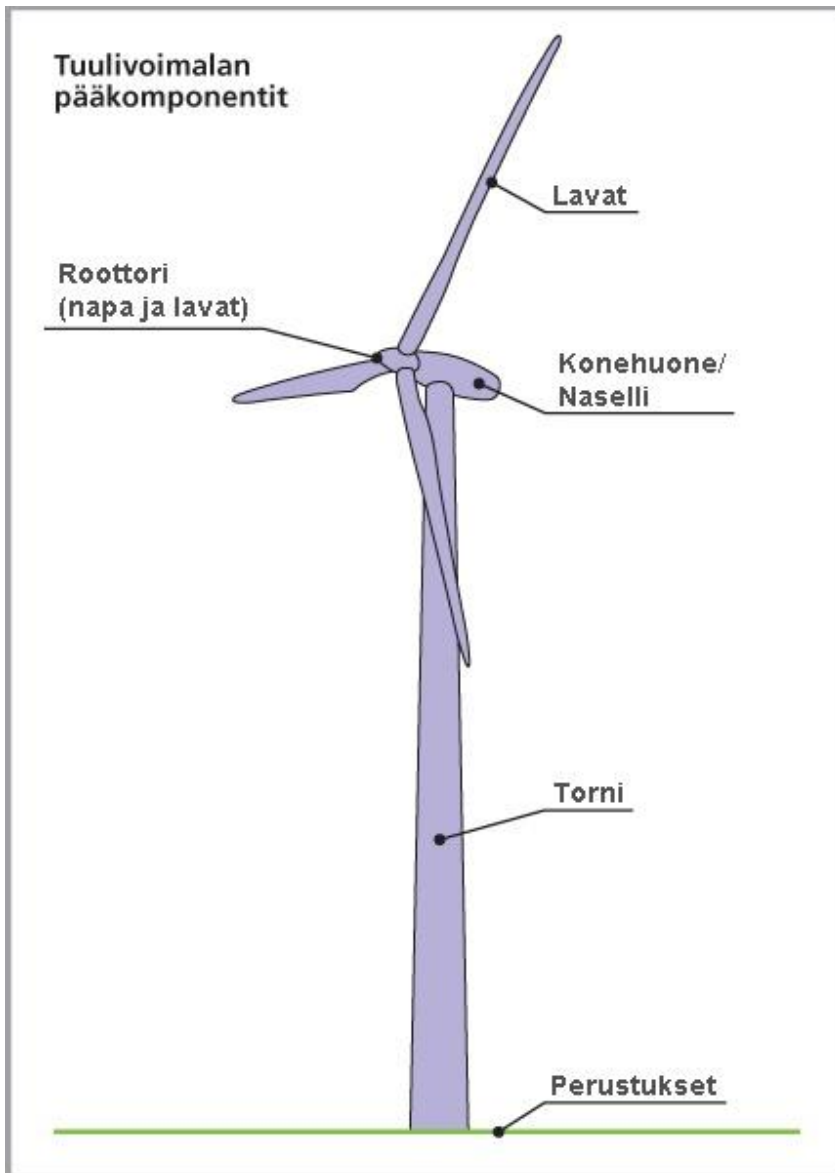
Ensimmäiset tuulimyllyt ovat muinaisesta Persiasta jo 600-luvulta eKr. Ne olivat vertikaaliakselisia tuulimyllyjä, joilla nostettiin vettä pelloille. Eurooppaan tuulimyllytekniikka levisi 1200–1300 -luvuilla. Euroopassa kehitettiin myös vaaka-akseloituja tuulimyllyjä. Yleisemmin ne olivat nelisiipisiä, mutta jopa 16-siipisiä on löydetty. Keskeisin käyttötarkoitus niillä oli viljan jauhatus, mistä juontuu nimi ”tuulimylly”. (1.)

Suomeen tuulimyllytekniikka levisi noin 1500-luvulla. Suomalaiset tuulimyllyt edustivat kolmea eri tyyppiä. Harakka- ja mamsellimyllyissä jauhinkivet olivat alhaalla erityisessä kivihuoneessa ja vain myllyn yläosa oli käännettävissä. Varvasmyllyssä oli jalkaristikko, jonka varassa koko myllyä kivineen voitiin kääntää. Suomessa tuulimyllyjä on käytetty viljan jauhamiseen, veden nostamiseen ja sahan pyörittämiseen. (1.)

Tanskassa tuulivoimalla ruvettiin tuottamaan sähköä jo 1890-luvulla. Kehitystyötä tehtiin myös Saksassa. Tuulivoimaloissa oli yleensä nelilapainen roottori ja suurimpien laitosten teho oli 20–60 kW. (1.)

3.2 Tuulivoimalan tekniikka

Nykyaikainen tuulivoimala koostuu tyypillisesti roottorista, vaihteet ja generaattorin sisältävästä konehuoneesta sekä tornista ja perustuksista. Kuvassa 1 on esitetty tuulivoimalan pääkomponentit. (3.)



KUVA 1. Tuulivoimalan rakennekuva (3.)

Perustuksen pääasiallinen tehtävä on kantaa tuulivoimalan ja tornin paino. Lisäksi perustusten täytyy kestää vaakasuuntaista rasitusta, jota syntyy voimakkaan tuulen puhaltaessa. Perustuksen juurelle sijoitetaan myös liitäntä sähköverkkoon, mikäli voimalalla tuotetaan virtaa muualla kulutettavaksi. (3.)

Tuulivoimalan kokoa voidaan kuvata sen nimellisteholla, roottorin halkaisijalla, vuosituotolla tai napakorkeudella. Useimmiten puhutaan kuitenkin nimellistehosta, joka on tuulivoimalan enimmillään tuottama teho. Tuulivoimalan tuotto on kuitenkin suoraan verrannollinen pyyhkäisyypinta-alaan. Tuotto paranee myös napakorkeuden kasvaessa, koska tuulennopeus on suurempi korkeammalla. Suomessa ja muualla Euroopassa rakennetaan nykyään napakorkeudeltaan 120–140 metriä korkeita tuulivoimaloita. Teho on kasvanut samalla 1980-luvulta lähtien 55 kilowatista 3000 ja jopa 7000 kilowattiin. (4.)

Konehuoneessa sijaitsee pääosa voimalan tekniikasta. Konehuoneessa sijaitsee vaihteisto, jarrut ja generaattori. Käytettävä teknologia riippuu voimalan mallista. Markkinoille on myös tullut vaihteettomia voimaloita. (3.)

Roottori pyörittää tuulivoimalan generaattoria. Yleisimmin käytetty tuulivoimalamalli sisältää kolme siipeä, mutta myös yhden ja kahden siiven roottorit ovat mahdollisia. Tuulta pystytään hyödyntämään sitä paremmin, mitä herkempiä tuulivoimalan siivet ovat pyörimään. Tämä vaatii toteutuakseen kevyitä, mutta kestäviä materiaaleja kuten alumiini, hiilikuitu ja lasikuitu. (3.)

3.3 Pientuulivoima

Pientuulivoimalat ovat teholtaan vähäisempiä kuin teolliseen tuotantoon käytetyt turbiinit. Määritelmän mukaan pientuulivoimalat ovat voimaloita, joiden potkurin pyörimiskehän pinta-ala on alle 200 m². Käytännössä tämä tarkoittaa nimellisteholtaan alle 50 kW:n laitteita. (5.)

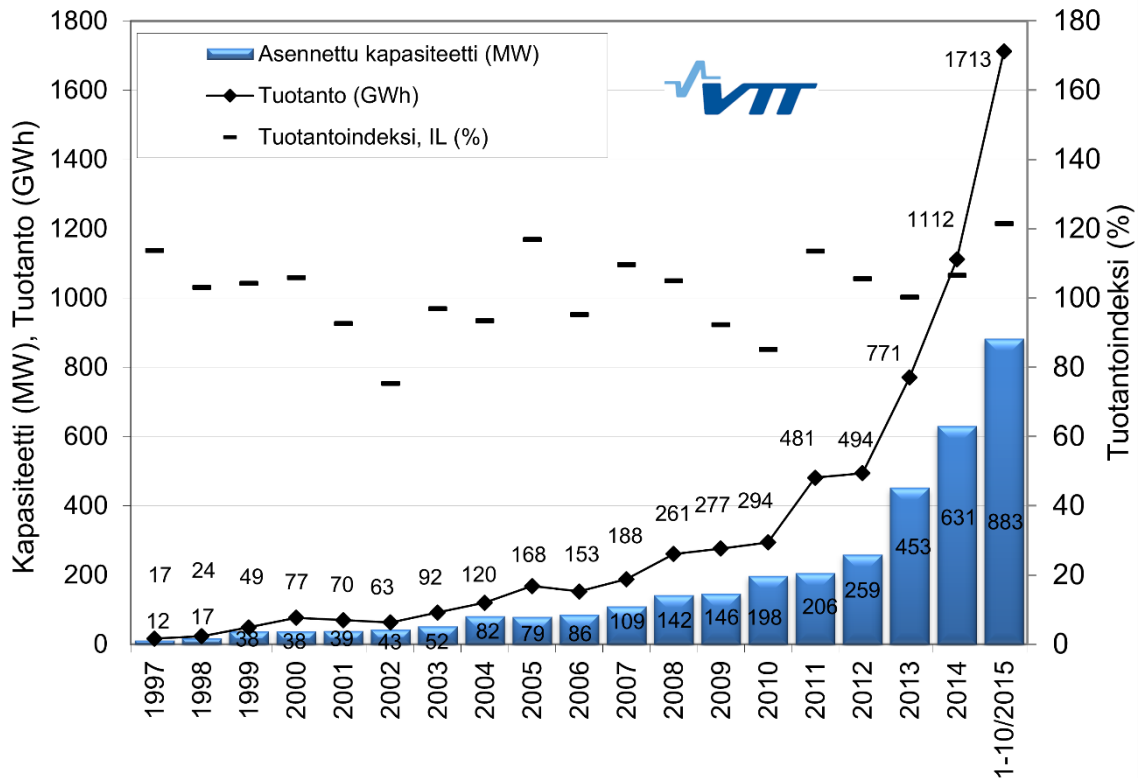
Tuuliselle paikalle sijoitettu pientuulivoimala on energiataloudellinen ja ympäristön kannalta hyvä vaihtoehto hajautettuun energiantuotantoon. Pientuulivoimaloita käytetään muun muassa maataloudessa, laitoksissa, kotitalouksissa, vapaa-ajan asunnoissa ja purjeveneissä. Niitä voidaan käyttää kohteissa, jotka eivät ole sähköverkon piirissä, mutta yhä useammin niitä asennetaan sähkönjakelun piirissä oleviin taloihin. Näissä taloissa pientuulivoimala lisää omavaraisuutta ja pienentää sähkölaskua. (5.)

Kiinteistökohtaisia tuulivoimaloita on monen tyyppisiä: tavanomaisimmat ovat vaaka-akseliset perinteiset potkurityyppiset ja pystyakseliset Savonius- ja Darrieus- tyyppiset voimalat. Vaaka-akseliset turbiinit on suunniteltu määrätulle tuulen nopeusalueelle, jolla ne toimivat parhaiten. Pystyakselinen tuulivoimala toimii hyvin pyörteisissä tuuliolosuhteissa, mikä lisää pystyakselisten voimaloiden sijoitusmahdollisuuksia. (5.)

3.4 Tuulivoima Suomessa

Tuulivoima on Suomessa suhteellisen uusi sähköntuotantomuoto, jonka rakentaminen on lähtenyt viime vuosina hyvin liikkeelle. Tuulivoima on ympäristön kannalta hyvä tapa tuottaa energiaa. Tuulivoimalat tuottavat sähköä saasteettomasti ja vähentävät sähköntuotannon tarvetta hiilellä, öljyllä ja kaasulla. Suomessa tuulivoiman osuus sähkön kokonaistuotannosta on vielä huomattavan pieni. Osuutta pyritään nostamaan merkittävästi jo vuoteen 2020 mennessä, Suomen ilmasto- ja energiastrategian mukaisesti. Tuulivoima on muiden uusiutuvien energiantuotantomuotojen tavoin tuotantotuen piirissä, mutta mikäli tuulivoimamarkkinan annetaan edelleen kehittyä vuoden 2020 jälkeen ja sen edistämiseksi otetaan käyttöön kustannustehokkaita edistämiskeinoja, voidaan Suomessakin saavuttaa tuulivoimalle hintataso, joka on kilpailukykyinen sähkömarkkinoilla lopulta ilman tukia. (6.)

Suomen tuulivoimakapasiteettia on mahdollista lisätä merkittävästi nykyisestä. Vuoden 2014 lopussa Suomessa oli toiminnassa 260 tuulivoimalaa, joiden kokonaiskapasiteetti on 627 MW. Ne tuottivat noin 1,3 prosenttia Suomessa vuonna 2014 kulutetusta sähköstä. Kuvassa 2 näkyy Suomen tämän hetkinen asennettu tuulivoimakapasiteetti. (7.)



KUVA 2. Suomen tuulivoimakapasiteetti, VTT (8.)

Nykyisin suurimpien laitosten koko on Suomessa 5 MW. Tulevaisuudessa yksittäisten tuulivoimaloiden koko etenkin merelle rakennettaessa kasvaa niin, että laitosten teho voi olla yli 7 MW. (1.)

4 VTT:N TUULIVOIMALAN RAKENNE- JA TOIMINTAKUVAUS

Pientuulivoimala, johon logiikkaohjelma tehdään, sijaitsee Oulun teknologiakylässä VTT:n toimitilan katolla. Tuulivoimalan rakenne koostuu mastosta, konehuoneesta, lavoista ja niitä ohjaavasta logiikasta. Tuulivoimalan masto, konehuone ja lavat sijaitsevat toimitilan katolla. Sähköiset kytkennät ja ohjauslogiikka sijaitsevat rakennuksen sisäpuolella. Kuvassa 3 näkyy VTT Oulun toimipisteen tuulivoimala katolta kuvattuna.



KUVA 3. VTT Oulu toimipisteen tuulivoimala

Konehuoneen pääosia ovat vaihteisto, generaattori, jarru ja kääntömoottori. Kuvassa 4 näkyy konehuoneen sisältö. Konehuoneen katolla ovat tuulianturit, jotka mittaavat tuulen nopeutta ja suuntaa ja joiden antaman informaation avulla generaattorin toimintaa ohjataan ja voimalaa käännetään aina tuulen suuntaan.



KUVA 4. Konehuone kansi avattuna

Toimintakuvaus laadittiin tutustumalla tuulivoimalan toimintaan ja laitteistoon. Tämä työvaihe oli haasteellista ja aikaa vievää, koska tuulivoimalasta ei ollut muuta dokumentaatiota saatavilla kuin sähköpiirustus, kts. liite 1, joten se piti tehdä itse kokeilemalla. Toimintakuvauksen perusteella laadittiin I/O-luettelo. Rakennekuvaus laadittiin Roaming Oy:lta saadun laiteluettelon pohjalta ja laitevalmistajien internet sivuja hyväksi käyttäen.

Tuulivoimalan käynnistys tehdään mitatun tuulen nopeuden perusteella. Kun tuulen nopeus on saavuttanut ohjelmassa asetetun kynnyksarvon, roottorin lavat suunnataan tuulen suuntaan. Aluksi generaattori käynnistetään sähkömoottorina, koska pelkkä tuulivoima ei muuten jaksaisi pyörittää roottorin lapoja suuren lepokitkan vuoksi. Jos tuulen liike-energia on riittävän suuri, alkavat roottorin lavat pyörimään tuulen voiman avulla ja generaattori alkaa tuottamaan sähköä. Tuulen nopeutta tarkastellaan ohjelmaan asetetuin väliajoin, esimerkiksi 10 minuutin välein, jolloin tiedetään, kannattaako generaattoria pitää kytkettynä, jotta se tuottaisi energiaa kuluttamisen sijaan. Tämän käynnistämistavan hyväpuoli on se, ettei tuulivoimala käynnisty jokaisesta tuulen puuskasta. Tämä säästää roottorin lapoja eikä aiheuta meluhaittaa, jota syntyy aina käynnistyksen yhteydessä. Meluhaitta on otettava huomioon, koska tuulivoimala sijaitsee toimitilan katolla.

4.1 Generaattori, vaihteisto ja jarru

Generaattorin on valmistanut Nord Gear. Generaattorin malli on SK42 VL-132S/4 BRE60 SR PT100. Generaattori on 3-vaiheinen hammasvaihdemoottori, jossa on 2-portainen vaihteisto. Generaattori on varustettu jarrulla ja Pt100-lämpötila-anturilla. Moottorin nimellisteho on 5,5 kW, nimellisvirta 11,4 A, toisiomomentti 370 Nm ja jarrun jarrutusmomentti 60 Nm.

4.2 Kääntömoottori

Kääntömoottori on myös Nord Gearin valmistama. Kääntömoottorin malli on Universal SK 50/H10 – IEC63 - 63S/4. Moottori on nelinapainen 3-vaiheinen kierukkavaihdemoottori. Moottorin nimellisteho on 0,12 kW, nimellisvirta 0,55 A, toisiomomentti 125 Nm.

4.3 Tuulensuunta- ja nopeusanturi

Tuulen nopeuden ja suunnan mittaamiseen käytetään Davis anemometer 7911 -tyypin tuulimittaria. Tuulimittari on esitetty kuvassa 5. Tuulimittarissa on tuulen nopeuden ja -suunnan mittaasanturit. Lujatekoinen rakenne kestää koviakin myrskytuulia, mutta on riittävän herkkä myös pienillä tuulilla. Tuulennopeuspulssi saadaan hall-anturista, joka on kytketty juoksupyörän akseliin. Nopeusmittari antaa 5 V:n suuruisia jännitepulsseja aina pyörähtaessään akselinsa ympäri. Tuulensuuntamittari koostuu tuuliviiristä, joka kääntyy tuulen suunnan mukaan ja on kytketty 20 k Ω :n potentiometriin, josta saadaan 0–10 V:n suuruinen jänniteviesti logiikalle. (9.)



KUVA 5. Davis anemometer 7911 -tyypin tuulimittari (10.)

4.4 Logiikka

Logiikkana tuulivoimalassa käytetään Siemens Logo! -pienlogiikkaa. Logo! on yleiskäyttöinen logiikkamoduuli Siemensiltä, jossa seuraavat ominaisuudet.

- ohjaustoiminnot
- ohjelmointipainikkeet ja taustavalolla varustetut näytöt
- jännitteensyöttöliityntä
- liityntä laajennusmoduuleille, muistikortille, paristokortille ja PC-kaapelille
- valmiit käytännölliset perustoiminnot, kuten esimerkiksi aikahidastetut kytkennät, sysäysrele ja ohjelmoitupainike
- kellokytkimet
- binääri- ja analogiavälimuistit
- lisäksi kojetyypin mukaiset tulot ja lähdöt. (11.)

Keskusyksikkönä käytetään Logo! 12/24 RC -moduulia versio 0BA6, joka on esitetty kuvassa 6. Laite toimii 12/24 V:n jännitteellä. Laitteessa on itsessään kahdeksan digitaalista sisääntuloa ja neljä relelähtöä. Sisääntuloista neljää voidaan käyttää tarvittaessa myös analogisena 0-10 V:n tulona. (11.)



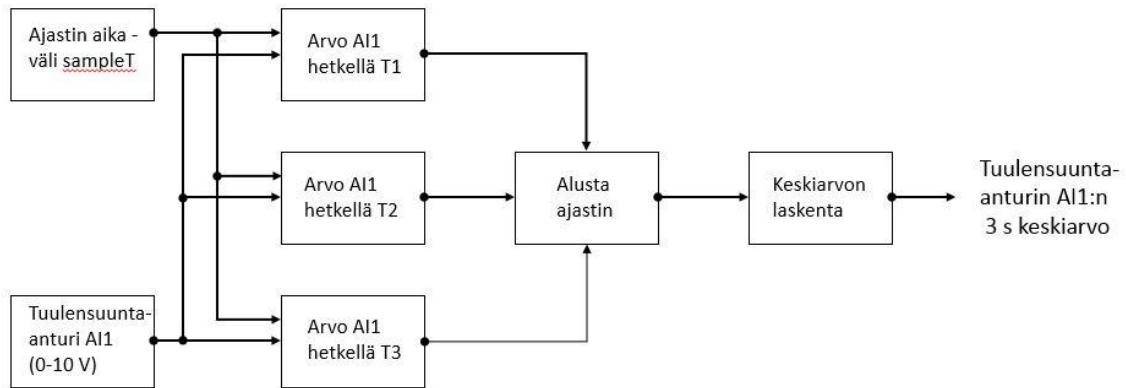
KUVA 6. Siemens Logo! 12/24 RCo keskusyksikkö

Keskusyksikköön on liitetty kolme laajennusmoduulia: Logo! DM8 12/24 R, Logo! AM2 AQ ja Logo! AM2 Pt100. Logo! DM8 12/24R -laajennusmoduulissa on neljä digitaalista sisääntuloa, neljä relelähtöä ja toimii 12/24 V:n jännitteellä. Logo! AM2 AQ -laajennusmoduulissa on kaksi analogista lähtöä. Lähdöt antavat ulos joko 0-10 V:n suuruista jänniteviestiä, 0/4-20 mA:n suuruista virtaviestiä ja toimii 24 V:n jännitteellä. Logo! AM2 RTD -laajennusmoduulissa on kaksi sisääntuloa PT100/PT1000-lämpöantureille. Lämpötilan mittausalue on -50 - 200 °C. Moduuli toimii 12/24 V:n jännitteellä. (11.)

4.5 Tuulen suunnan mittaaminen

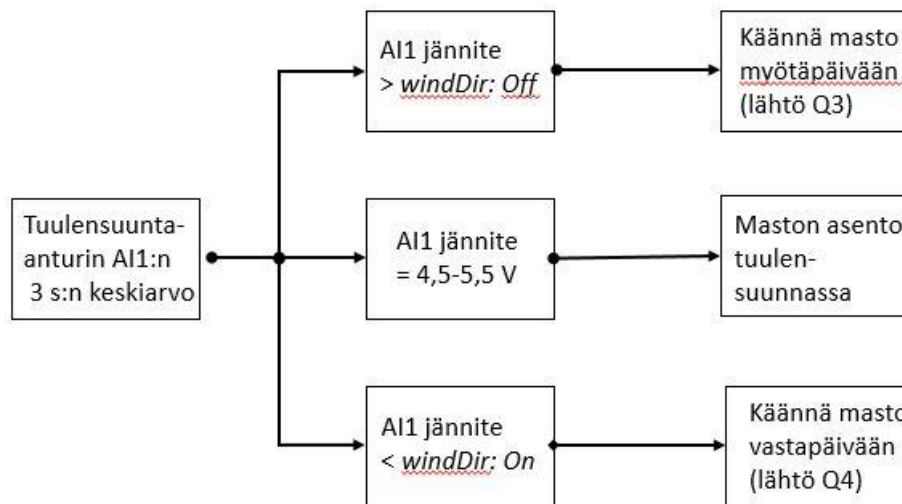
Tuulen suuntaa mitataan, jotta roottorin lavat voitaisiin kääntää aina optimaaliseen tuulen suuntaan. Tuulen suuntaa mitataan suhteessa roottorin asentoon, jolloin sen arvo kertoo, paljonko roottori on sivussa tuulen suunnasta. Roottoria käännetään tuulen suuntaan vain generaattorin ollessa käynnissä. Kun generaattori käynnistetään, se samalla käännetään oikeaan suuntaan. Tuulensuuntaa mitataan *sampleT: TH*-parametrilla asetetuin aikavälein ja saaduista arvoista lasketaan keskiarvo kolmen mittausarvon välein, joiden perusteella mastoa käännetään. Tällä tavoin saadaan haluttu herkästi tuulensuunnan muutoksiin reagoiva säätö. Jos keskiarvoa ei käytetä, masto reagoisi liian herkästi jokoiseen tuulen suunnan muutokseen. Tuulen suunnan mittauksen aikaväli on

käyttäjän säädettävissä parametrilla *sample: TH*. Kuvassa 7 esitetään keskiarvon laskenta lohkokaavioesityksenä.



KUVA 7. Tuulensuunta-anturin keskiarvon laskenta

Anturin mittausarvo tulee logiikan analogiatuloon AI1 0–10 V:n suuruisena jänniteviestinä, joka kertoo tuulen suunnan suhteessa roottorin asentoon. Kun tuulee kohtisuoraan roottoria kohden, saadaan 5 V:n jänniteviesti. Alle 5 V:n arvot kertovat tuulen tulevan vasta päiväisestä suunnasta akselin suunnasta katsottuna ja yli 5 V:n arvot päinvastoin. Roottoria ohjataan aina tuulta kohden, kunnes jänniteviestin arvo on parametri arvojen *windDir: On* ja *windDir: Off* välissä. Edellä mainitut parametrit ovat käyttäjän säädettävissä. Kuvassa 8 on esitetty tuulen suunnan mittaaminen lohkokaavioesityksenä.



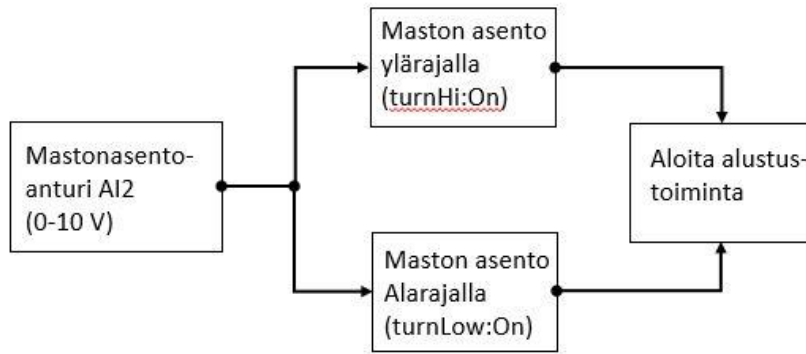
KUVA 8. Maston kääntäminen tuulen suuntaan

4.6 Tuulen nopeuden mittaaminen

Tuulen nopeutta mitataan pulssianturilla, joka antaa 5 V:n jännitepulsseja, mikä on kytketty logiikan digitaalituloon, jota luetaan 1 s:n välein. Kun tuulee esim. 3 m/s, niin tuloon saadaan kolme pulssia sekunnin aikana, joita logiikka laskee ja sen perusteella tehdään päätös kannattaako voimalaa käynnistää. Tästä käynnistystoiminnasta on kerrottu tarkemmin luvussa 4.8.

4.7 Maston kääntäminen ja kiertymävika

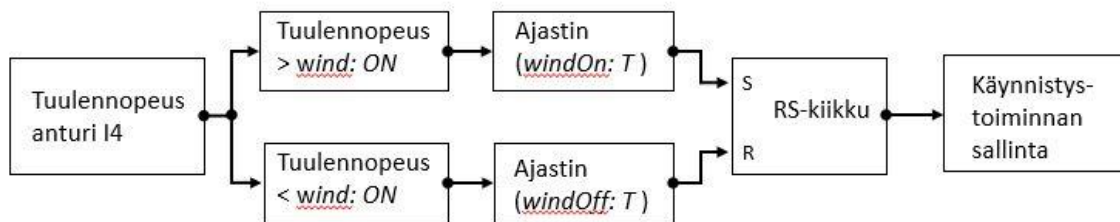
Mastoa käännellään kääntömoottorin avulla. Kääntömoottorin pyörimissuuntaa ohjataan kahden ohjausreleen avulla. Generaattorin sähköjohdot menevät kierteelle maston ympärille aina maston kääntyessä, mikä on otettava huomioon loogiikkaohjelmassa. Johtojen pituus riittää kiertymään noin kolme kierrosta suuntaansa. Maston kiertymäanturi on liitetty logiikan analogiatuloon, jota luetaan 1 s:n välein ja joka toimii 0–10 V jänniteviestillä. Jännitearvo 5 V tarkoittaa, että masto on keskikohdassa ja 0 V tarkoittaa sitä, että masto on kääntynyt noin 2,5 kierrosta vastapäivään ja vastaavasti 10 V sitä, että noin 2,5 kierrosta myötäpäivään. Maston kääntymisen maksimiarvot ovat käyttäjän määriteltävissä parametreilla. Rajat asetetaan parametreilla *turnHi: On* ja *turnLow: On*. Kuvassa 9 esitetään kiertymävian hallinnan lohkokaavioesitys.



KUVA 9. Kiertymävian hallinta

4.8 Sähköverkkoon kytkeytyminen ja alasajotoiminta

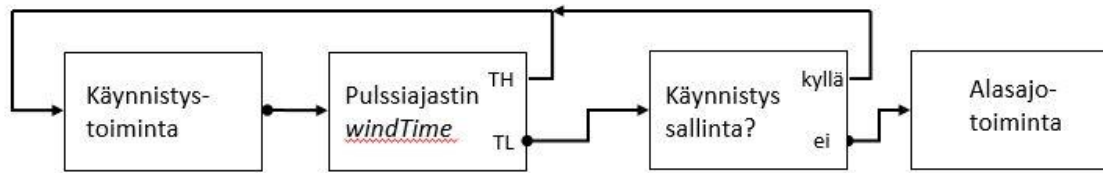
Logiikkaohjelma aloittaa käynnistystoiminnan, kun tuulen nopeuden kynnyksarvo ylitetään. Tuulen nopeuden kynnyksarvot, joilla käynnistystoiminta aloitetaan, ovat käyttäjän parametroitavissa. Näitä ovat tuulennopeuden kynnyksarvo *wind: On*, jolla aloitetaan käynnistysprosessi, ja *wind: Off*-arvo, jolla käynnistystoiminta lopetetaan. Parametrilla *windOn: T* määritellään aika, kuinka kauan tuulennopeuden kynnyksaraja pitää olla ylitettynä. Parametrilla *windOff: T* taas arvo, kuinka kauan tuulennopeus saa käväistä alle raja-arvon silloin, kun se on yli kynnyksarvon. Kuvassa 10 esitetään käynnistystoiminnan lohkokaavioesitys.



KUVA 10. Käynnistystoiminta

Tuulivoimala pysyy kytkettynä verkkoon parametrilla *windTime: TH* määritellyn ajan (oletus 10 min), vaikka tuuli laskisi hetkeksi alle raja-arvon. Tämän ajan jälkeen tarkistetaan parametrin *windTime: TL* ajan (oletus 30 s) onko tuuli vielä riittävä. Jos tuulen nopeus on riittävä, niin jatketaan kytkettynä verkkoon ja jos

ei, niin aloitetaan alasajotoiminta. Nämä molemmat parametrit ovat käyttäjän määriteltävissä. Kuvassa 11 on esitetty käynnistysajastimen lohkokaavioesitys.

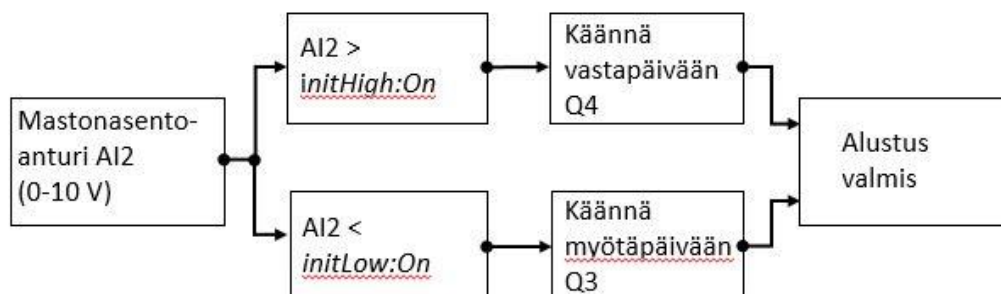


KUVA 11. Käynnistysajastimen toiminta

Alasajossa kytketään generaattori pois verkosta ja sen jälkeen kytketään jarru päälle. Tämän jälkeen tehdään aina alustustoiminta, jossa maston asento keski-
tetään. Alustustoiminta on kerrottu seuraavassa luvussa 4.9.

4.9 Alustustoiminta

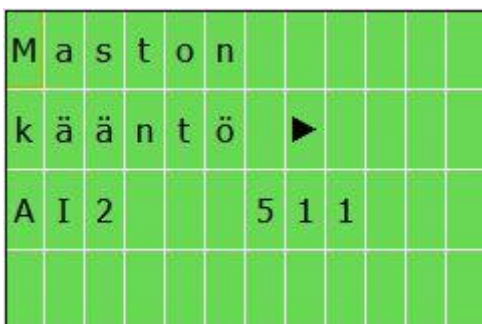
Alustustoiminnassa mastoa käännetään keskiasentoon kohden, kunnes asentoanturilta saadaan arvo, joka on parametrien *initLow: On* ja *initHigh: On* välissä. Tästä näkyy ilmoitus logiikan näytöllä käyttäjälle siihen saakka, kunnes keskiasento on saavutettu. Alustus aktivoituu aina, kun logiikka kytketään päälle, reset-painiketta on painettu yli 5 s:a tai kun alasajotoiminta aktivoituu. Maston keskiasennon raja-arvot ovat säädettävissä seuraavilla parametreilla: *initHigh: On* ja *initLow: On*. Kuvassa 12 näkyy alustustoiminnan lohkokaavioesitys.



KUVA 12. Alustustoiminta

4.10 Nuolipainikkeet

Logiikassa on neljä fyysistä nuolipainiketta, joille voidaan ohjelmoida oma toiminta. Niitä voidaan käyttää esimerkiksi maston manuaaliseen ohjaamiseen tai anturitietojen lukemiseen. Nuolipainikkeita käytetään painamalla Esc- ja nuolipainike yhtäaikaa. Kun nuolipainikkeita painetaan, tulee siitä aina viesti logiikannäytölle. Kuvassa 13 näkyy näytön viesti, kun mastoa ollaan kääntämässä myötäpäivään.



KUVA 13. Mastonkääntö myötäpäivään viesti näytöllä

Nuoli ylös -painikkeella voidaan kokeilla generaattorin toimintaa. Kun ylös-painiketta on painettu, aloitetaan käynnistystoiminta ja logiikan näyttöön tulee "Käyntiin!" -viesti sekä generaattorin pyörimisnopeudet molemmilta nopeusantureilta digitaalituloista I5 ja I6, joilla voidaan kätevästi nähdä lähteekö generaattori pyörimään ja toisaalta voidaan testata nopeusantureiden toimivuutta.

Nuoli vasemmalle- ja nuoli oikealle -painikkeilla voidaan mastoa kääntää molempiin suuntiin. Nuoli vasemmalle -painikkeella masto kääntyy vastapäivään ja nuoli oikealle -painikkeella vastaavasti myötäpäivään. Maston kääntymisestä ilmoitetaan logiikannäytöllä. Näytöllä näkyy suunta- sekä mastonasentoanturin lukema, mistä voidaan seurata maston kääntymistä.

Nuoli alas -painikkeella voidaan tarkistaa laskureiden arvoja, jotka laskevat kuinka monesti generaattori on käynyt ylikerroksilla. Tämä toiminta on tehty, koska testatessa ilmeni, että generaattori pyörähtää ajoittain ylikerroksille ja varsinaista syytä siihen ei ole vielä ilmennyt. Tällä toiminnolla voidaan seurata,

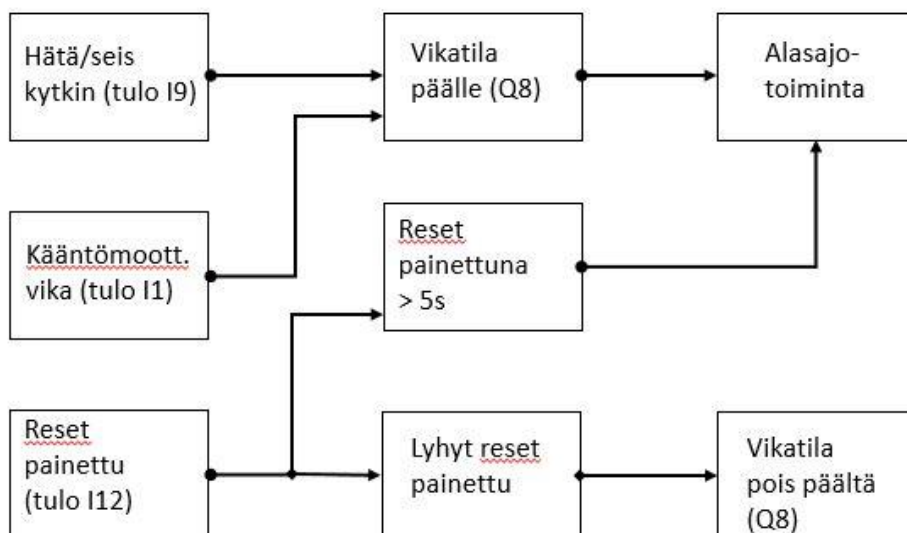
kuinka monesti generaattorin ylikierrosvika on ilmaantunut. Logiikan näytöllä näkyy molempien nopeusanturien laskurien arvot.

4.11 Turvallisuustekijät ja vikatilat

Tuulivoimalan ohjelmoinnissa on otettu huomioon monenlaisia tuvalisuustekijöitä ja vikatilanteita, jotta tuulivoimalaa olisi turvallista käyttää. Suurin ympäristön aiheuttama turvallisuusriski on myrskytuuli ja vikatilanteista kriittisin on mekaaninen vika roottorin lavoissa, joka voi aiheuttaa rajua ravistusta ja hajottaa tuulivoimalan rakenteita.

4.11.1 Vikatila ja reset

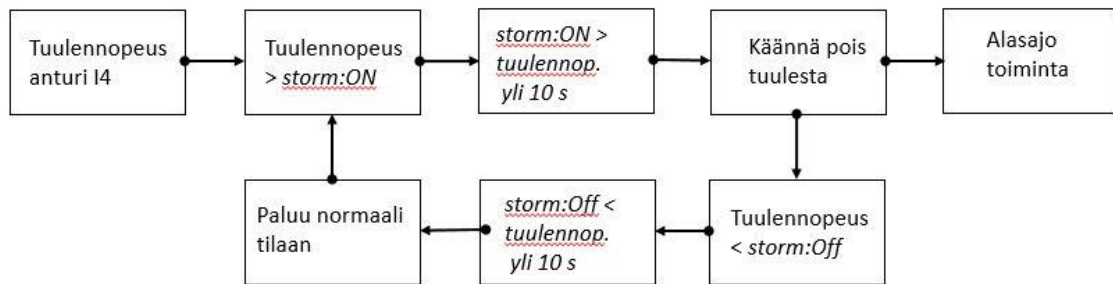
Vikatila aktivoituu erilaisista vikatiloista, joita on lueteltu seuraavissa kappa-leissa. Vikatilassa menee päälle lähtö Q8, joka syyttää valon sähkökaapissa olevaan reset-painikkeeseen, jolloin aloitetaan alasajotoiminta, jossa generaattori kytketään irti verkosta ja jarru menee päälle. Vikatila pitää käyttäjän käydä kuittaamassa painamalla reset-painiketta. Painamalla reset-painiketta yli 5 s:n ajan, missä tahansa tilassa, aktivoituu alasajo- ja alustustoiminta. Kuvassa 14 näkyvät vikatila- ja reset-toiminnot lohkokaavioesityksenä.



KUVA 14. Vikatila- ja reset-toiminnot

4.11.2 Myrskysuojaus

Ehkä tärkein turvallisuuteen vaikuttava tekijä on myrskytuuli, jolloin on vaarana liian suuren virran synty tai kantaverkon taajuudesta putoaminen, joka voi aiheuttaa epämääräistä käyttäytymistä ja mekaanista rasitusta roottorin lavoille. Liian kova tuuli muutenkin voi aiheuttaa liiallista rasitusta tuulimyllyn rakenteisiin lapojen pyöriessä. Ohjelmassa mitataan tuulennopeutta ja jos se ylittää parametri *storm: On* arvon yli 10 sekunnin ajan, niin aloitetaan myrskysuojaustoiminta. Myrskysuojaustoiminnassa masto käännetään tuulesta sivuun, jonka jälkeen generaattori kytketään irti verkosta, kytketään jarru päälle ja ilmoitetaan siitä logiikan näytöllä. Tuulen rauhoituttua parametrin *storm: Off* rajan alle vähintään 10 sekunnin ajan, palautuu ohjelma taas normaali tilaan. Kuvassa 15 näkyy myrskysuojauksen toteutus lohkokaavioesityksenä.



KUVA 15. Myrskysuojaus

4.11.3 Generaattorin yli- ja alinopeus

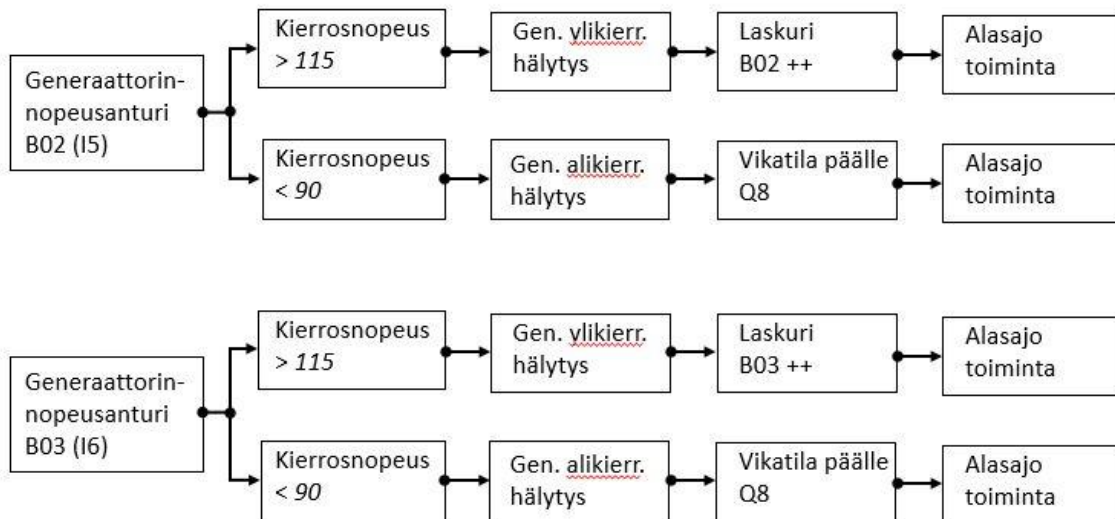
Generaattorin pyörimisnopeutta mitataan kahdella generaattorin kierroslukua mittaavalla anturilla. Antureita on kaksi, jotta saadaan varmistettua nopeuden mittaaminen silloinkin, kun toinen on rikkoontunut. Generaattorin nopeutta mitataan silloin, kun ollaan kytkeytyneenä verkkoon, jolloin generaattorin pyörimisnopeus on vakio. Jos lukema poikkeaa tästä, niin kertoo se jostakin viasta. Varsinkin ylinopeus on kriittinen, koska silloin on irrottauduttu kantaverkosta. Generaattorilla ei ole silloin kuormaa, minkä vuoksi roottorin lavat saattavat alkaa pyörimään hyvinkin suurella nopeudella vapaasti tuulen voimasta, mikä voi aiheuttaa vaaratilanteen. Kun ylinopeus hälytys saadaan, aloitetaan alasajotoiminta ja annetaan ilmoitus tästä logiikan näytölle. Jokaisesta ylinopeusviasta kasvatetaan las-kureiden arvoja, joita voidaan tarkastella painamalla Esc + nuolialas-painikkeita,

jolloin näytölle tulee viesti, missä näkyy laskureiden arvot. Kuvassa 16 näkyy näytön viesti nuoli alas -painiketta painettaessa.

G	e	n	y	l	i	k	i	e	r	.
l	a	s	k	u	r	i	t			
B	0	2					2			
B	0	3					1			

KUVA 16. Nuoli alas -painike

Alinopeus taas voi kertoa jostain generaattorin mekaanisesta viasta, jolloin generaattori ei jaksa pyöriä verkkotaajuudella. Kun alinopeus hälytys saadaan, siitä ilmoitetaan logiikan näytöllä ja aktivoidaan lähtö Q8, joka sytyttää sähkökaapissa vikatilavalon palamaan. Vikatila pitää käyttäjän käydä kuittaamassa reset-painikkeella. Kuvassa 17 näkyy generaattorin yli- ja alinopeuden mittaamisen toteutus lohkokaavioesityksenä.



KUVA 17. Generaattorin yli- ja alinopeustoiminnat

4.11.4 Maksimilämpötila

Generaattorin lämpötilaa mitataan Pt100 lämpötila-anturilla. Liian suuri lämpötila voi ilmaista jostain ongelmasta generaattorissa. Kun lämpötila ylittää 100 °C, niin siitä tulee ilmoitus näytölle ja vikatila aktivoituu, joka pitää käyttäjän käydä

kuittaamassa. Generaattorin maksimi lämpötila määritellään parametrilla *max-Temp: On*. Lämpötilan laskettua alle 60 °C ohjelma palaa taas normaalitilaan.

4.11.5 Maston virtakaapeleiden kiertymävika

Luvussa 4.7 on kerrottu kiertymävian toteutuksesta tarkemmin.

5 TUULIVOIMALAN AUTOMATISOINNIN TOTEUTUS

Automatisoinnin toteutus aloitettiin logiikkaohjelma Siemens LOGO!:on tutustumisella ja ohjelman toimintaperiaatteiden suunnittelulla. Tässä vaiheessa oli tärkeintä perehtyä turvallisuusvaatimuksiin ja aloittaa ohjelman suunnittelu ja ohjelmoiminen niistä. Turvatoiminnot testattiin LOGO!:n simulointi tilassa ja varmistettiin niiden toimivuus. Ohjelman koodaaminen tehtiin edellisessä luvussa kuvatun toimintakuvauksen ja I/O-luettelon pohjalta.

5.1 Logiikkaohjelma Siemens Logo! Soft Comfort

Logiikkaohjelma luotiin Logo! Soft Comfort -ohjelmointiohjelmalla. Ohjelmasta käytettiin päivitysversiona 8.0. Logo!:lla voidaan luoda sovelluksia graafisina releksaaviona (LAD) tai toimintokaaviona (FBD). Tässä työssä käytettiin toimintokaavioperiaatetta. Logo!:lla sovellusta voidaan simuloida tietokoneessa simulointimoodissa. Online-testi -moodissa tietokoneella voidaan lukea logiikan tiloja ja oloarvoja sovelluksen ollessa ajotilassa. Logo!:lla avulla sovellus voidaan siirtää logiikasta tietokoneelle tai tietokoneelta logiikalle. (11.)

5.2 Logiikan tulot ja lähdöt

Logiikkaohjelmassa käytetyt tulot on listattu taulukkoon, joka löytyy liitteestä 2 ja lähdöt löytyy taulukosta, joka on liitteessä 3.

5.3 Säädettävät parametrit

Taulukossa 1 on lueteltu käyttäjän säädettävissä olevat parametrit. Parametrien toiminta on kerrottu luvussa 4.

TAULUKKO 1. Säädettävät parametrit

Paramet- rin nimi	Säädettä- vät para- metrit	Oletus- arvo	Toiminta
windDir	On Off	470 530	Tuulen suunnan alaraja-arvo On, kts. 4.5. Tuulen suunnan yläraja-arvo Off, kts. 4.5.
sampleT	TH	1 s	Tuulensuunta-anturin mittausväli sykli, kts. 4.5.
turnHi	On	850	Maston kääntymä anturin maksimi arvo, kts. 4.7.
turnLow	On	100	Maston kääntymä anturin maksimi arvo, kts. 4.7.
wind	On Off	5 (m/s) 4 (m/s)	Tuulen nopeuden raja-arvot On ja Off, kts. 4.8.
windOn	T	10 s	Tuulen nopeuden aika arvo, kuinka kauan wind:On pitää olla ylitettynä, kts 4.8.
windOff	T	5 s	Tuulennopeuden aika arvo, kuinka kauan wind:Off pitää olla alitettuna, kts 4.8.
windTime	TH TL	10 min 30 s	Ajastimen aika TH minkä ajan generaattoria pidetään päällä ja TL arvo minkä ajan mitataan onko tuuli vielä riittävä, kts 4.8.
initHigh	On	540	Maston keskiasennon yläraja-arvo. kts. 4.9.
initLow	On	460	Maston keskiasennon alaraja-arvo. kts. 4.9.
storm	On Off	14 (m/s) 10 (m/s)	Myrskytuulen raja-arvot On ja Off, kts. 4.11.2.
maxtemp	On Off	100 °C 60 °C	Generaattorin maks. lämpöarvo On-arvo ja Off-arvo arvo, minkä alle lämpötilan pitää jäähtyä. kts. 4.11.4.

5.4 Näytön tiedot

Näytön tiedot on lueteltu taulukossa, joka löytyy liitteestä 5. Taulukossa on näytön nimi, prioriteetti ja näytön sisältö. Prioriteetti kertoo näytön tärkeysjärjestyksen, suurin arvo on tärkein.

5.5 Ohjelmakoodit

Sovelluksen ohjelmakoodit löytyvät liitteestä 4.

6 TOIMINNAN OPTIMOINTI JA TESTAUS

Toiminnan optimointi ja testaus oli ohjelmoinnin ohella työläs työvaihe. Ohjelman kehitystä ja testausta tehtiin myös paljon rinnakkain. Tärkeintä testauksessa oli varmistaa turvatoimien toimiminen. Testausta tehtiin aluksi kehitystyökulun simulointi-ohjelmalla. Sillä oli kuitenkin vaikea ottaa huomioon kaikkia mahdollisia muuttujia, joten toiminnat piti myös varmistaa käytännön olosuhteissa. Tämä oli hieman haastavaa, koska testausajankohta osui talven kylmimmän pakkasjakson kohdalle, jolloin yleensä tuulee vähän. Turvatekijöiden testausta piti tehdä aluksi siten, että raja-arvot laitettiin niin pieniksi, että ne ylittyivät pienilläkin tuulilla. Testattavat turvatekijät olivat myrskytuuli, generaattorin yli- ja alinopeus, reset-painikkeen toiminta (I9), kääntömoottorin vikavirtasulakkeen toimivuus (I1) ja maston kiertymärajat.

Turvatekijöiden toimiessa luotettavasti aloitettiin optimointityö. Tässä aiheuttivat haasteita tuulettomat päivät, jotka piti käyttää tehokkaasti. Aluksi tässä vaiheessa piti varmistaa, että tuulimylly kääntyy tuulen suuntaan ja reagoi riittävän nopeasti tuulen suunnan muutokseen. Tässä aiheuttivat ongelmia vaeltavat lukemat suunta-anturilta, mikä johtuu todennäköisesti suunta-anturin kulumasta. Tämän takia todennäköisesti roottorin lavat ovat ajoittain hieman sivussa tuulesta, koska anturilta ei saada luotettavaa lukemaa. Tämä ongelma saatiin kohtuullisesti korjattua laskemalla anturin lukemille keskiarvoa siten, että anturilta luettiin uusi arvo sekunnin välein kolmen sekunnin ajan ja laskemalla tästä keskiarvo.

Viimeinen vaihe optimoinnissa oli hakea tuulen nopeusarvot, joilla generaattori kannattaa käynnistää. Tämä saatiin siten, että seurattiin tehomittarista, millä tuulen nopeusarvoilla generaattori alkoi tuottamaan sähköenergiaa verkkoon päin. Nämä arvot ovat parametreissa oletusarvoina ja niitä voi käyttäjä halutessaan muuttaa.

Lopputuloksena saatiin toimiva ohjelmisto, joka on tuotantokäytössä. Testauksen lopputuloksena jäi yksi ongelma, generaattorin ylikierroksista tuli satunnaisia virheilmoituksia. Tähän ongelmaan ei ole saatu varmaa vastausta. Tämä ongelma saatiin korjattua muuttamalla ohjelmaa niin, että ylikierrosvian tullessa ei

laiteta vikatilaa aktiiviseksi, vaan suoritetaan alasajotoiminta. Alasajotoiminnassa generaattori kytketään hallitusti pois verkosta ja jatketaan sen jälkeen toimintaa normaalisti. Jokaisesta viasta kasvatetaan laskureiden arvoja, joita voi tarkastella painamalla Esc + nuoli alas -painiketta. Tätä laskureiden arvoa seuraamalla voidaan ylikierrosvian esiintymistä seurata jatkossa ja ryhtyä korjaustoimenpiteisiin, jos se katsotaan tarpeelliseksi.

7 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli tutustua Hannevindin valmistamaan 5,5 kW:n pien-tuulivoimalan toimintaan ja laatia kokonaan uusi logiikkaohjelma tuulivoimalan ohjaamiseen. Tuulivoimalan toiminnallisuus ja ohjelmisto oli tarkoitus dokumen-toida mahdollisimman hyvin. Loppudokumentaatio on tärkeää sen mahdollisen käyttöönottamisen vuoksi muissa vastaavissa tuulivoimaloissa sekä mahdolli-sen jatkokehityksen vuoksi.

Työssä oli neljä eri vaihetta:

- 1) esitietojen kerääminen ja laitteistoon tutustuminen
- 2) logiikkaohjelman suunnittelu ja ohjelmoiminen
- 3) ohjelmiston toiminnallisuuden testaaminen ja optimointi
- 4) työn dokumentointi.

Tutustuminen tuulivoimalan laitteistoon ja logiikan I/O:hon oli aikaa vievä vaihe, sillä dokumentaatiota oli niukasti saatavilla, ainoastaan yksi sähköpiirustus. Ai-kaisempi ohjelmisto oli suojattu salasanalla, joka onnistuttiin saamaan auki vasta työn loppupuolella, joten siitä ei ollut juurikaan apua uuden ohjelman ke-hittämisessä. Uuden ohjelman toiminnallisuus oli niin paljon erilainen, ettei van-haa ohjelmaa kannattanut käyttää pohjana uudelle. Laitteiston toiminta saatiin selville kokeilemalla ja kyselemällä tietoja Hannevindin entisiltä asiakkailta, jotka olivat olleet tekemisissä kyseisen tuulivoimalamallin kanssa. Logiikan I/O-luet-telo laadittiin mittaamalla I/O:ta logiikasta ja tutkimalla sähköpiirustusta.

Kun I/O-luettelo oli saatu tehtyä, päästiin ohjelman suunnittelun pariin. Ohjel-miston toimintakuvaus saatiin pääpiirteittäin laadittua keskustelemalla siitä VTT:n yhteyshenkilön Klaus Käsälän kanssa. Tässä vaiheessa oli apuna myös Roaming Oy:stä saadulla ohjelmistolla, jota he olivat suunnitelleet kyseiselle voimalatyypille. Heiltä saatiin myös lainaksi logiikkalaitteisto, jonka avulla logiik-kaohjelman kehittämistyötä pystyi myös tekemään kotioloissa. Tämän ohjelmis-ton ja logiikkalaitteiston avulla päästiin nopeasti sisään Logo!:lla ohjelmoimisen saloihin ja ohjelmointityö pystyttiin aloittamaan.

Kun logiikkaohjelma oli saatu pääpiirteittäin valmiiksi, aloitettiin testaaminen varovasti oikeassa toimintaympäristössä. Aluksi piti varmistaa turvallisuustoimintojen toimiminen, jotta ei aiheutettaisi vaaraa ympäristölle, eikä hajotettaisi tuulivoimalaa väärillä ohjaustoiminnoilla. Turvallisuustekijöiden ollessa luetettavia, aloitettiin toiminnan optimoiminen. Siinä tutkittiin millaisessa tuulessa voimala toimisi optimaalisesti, jonka perusteella saatiin toimivat tuulen nopeus -parametrit tässä toimintaympäristössä. Tässä vaiheessa aiheuttivat haasteita tammi-kuun tuulettomat pakkaskelit. Tuulisiakin päiviä onneksi oli sen verran, että päästiin hyvään lopputulokseen.

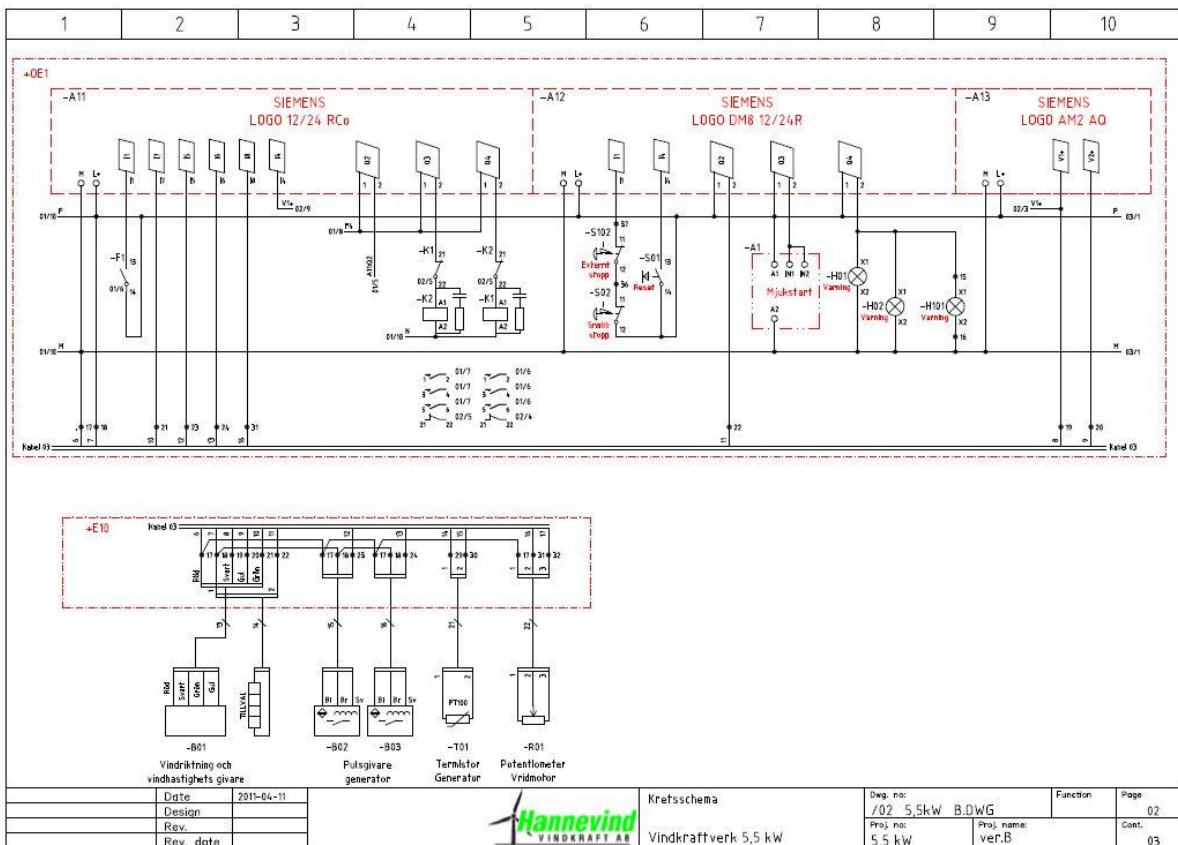
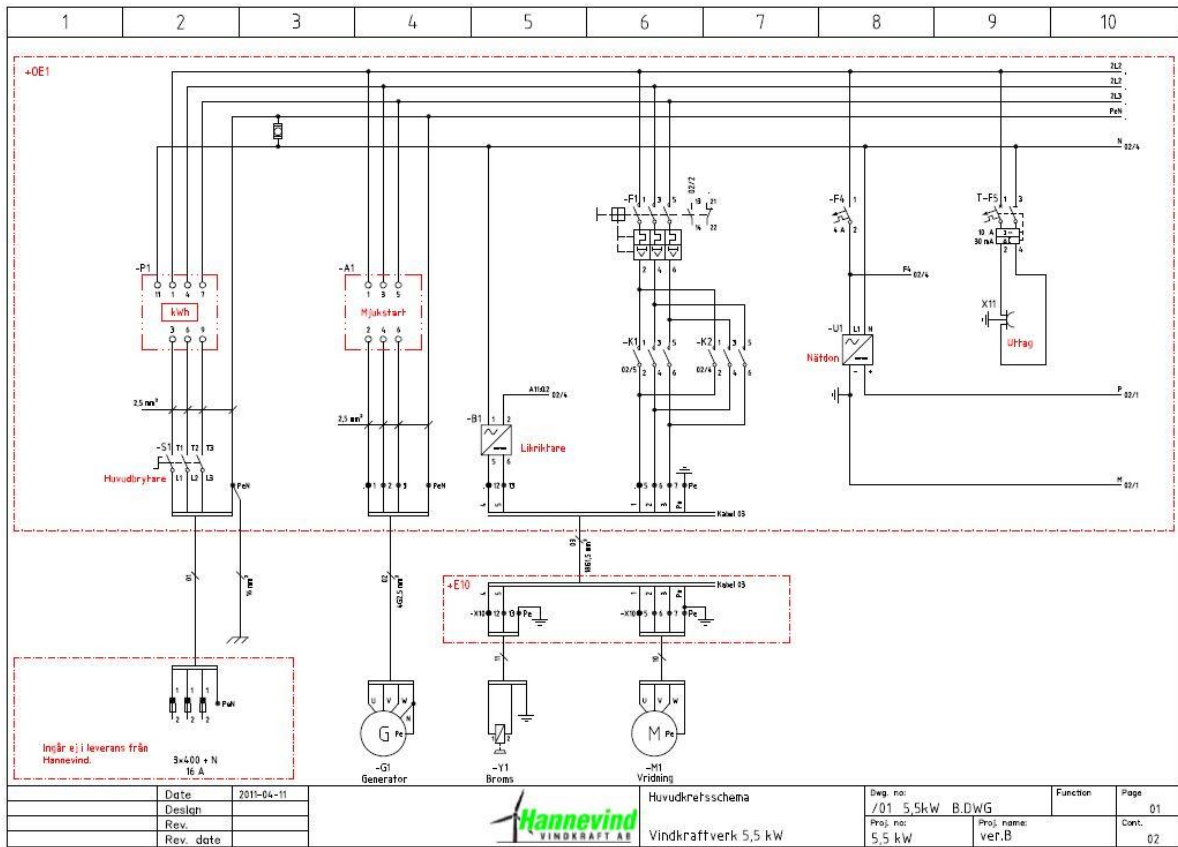
Lopputuloksena saatiin tilaajan toivomuksia vastaava logiikkaohjelmisto, ja tuulivoimalan toimintaa kuvaava loppudokumentaatio, jota tämä opinnäytetyö edustaa. Loppudokumentaatiosta löytyy tuulivoimalan rakennekuvaus, sähköpiirustukset, ohjelmiston toimintakuvaus, logiikan I/O-luettelo ja säädettävien parametrien luettelo. Näiden tietojen pohjalta on hyvä lähteä jatkokehittämään tai laatia ohjelmistoon tarvittavat muutokset, jotta ohjelman voi ottaa käyttöön kohtuullisella työmäärällä myös muissa vastaavissa tuulivoimaloissa

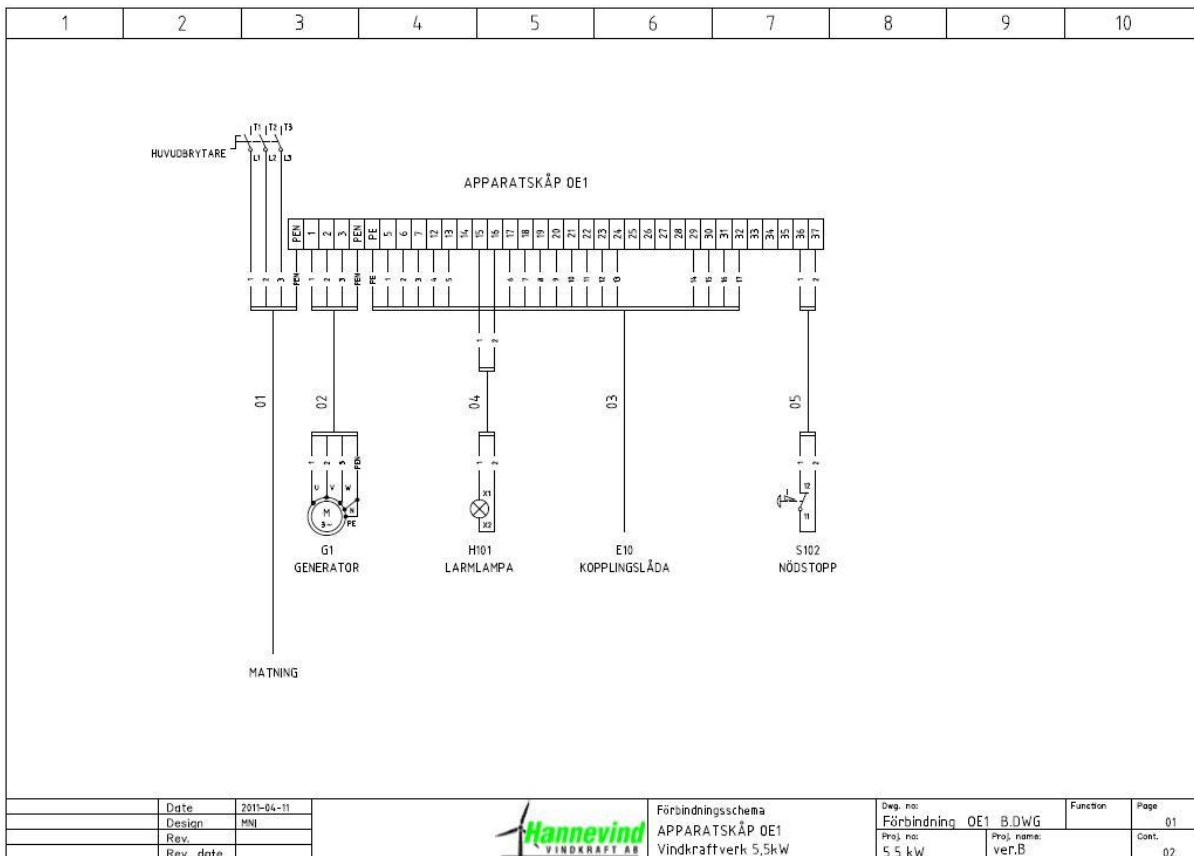
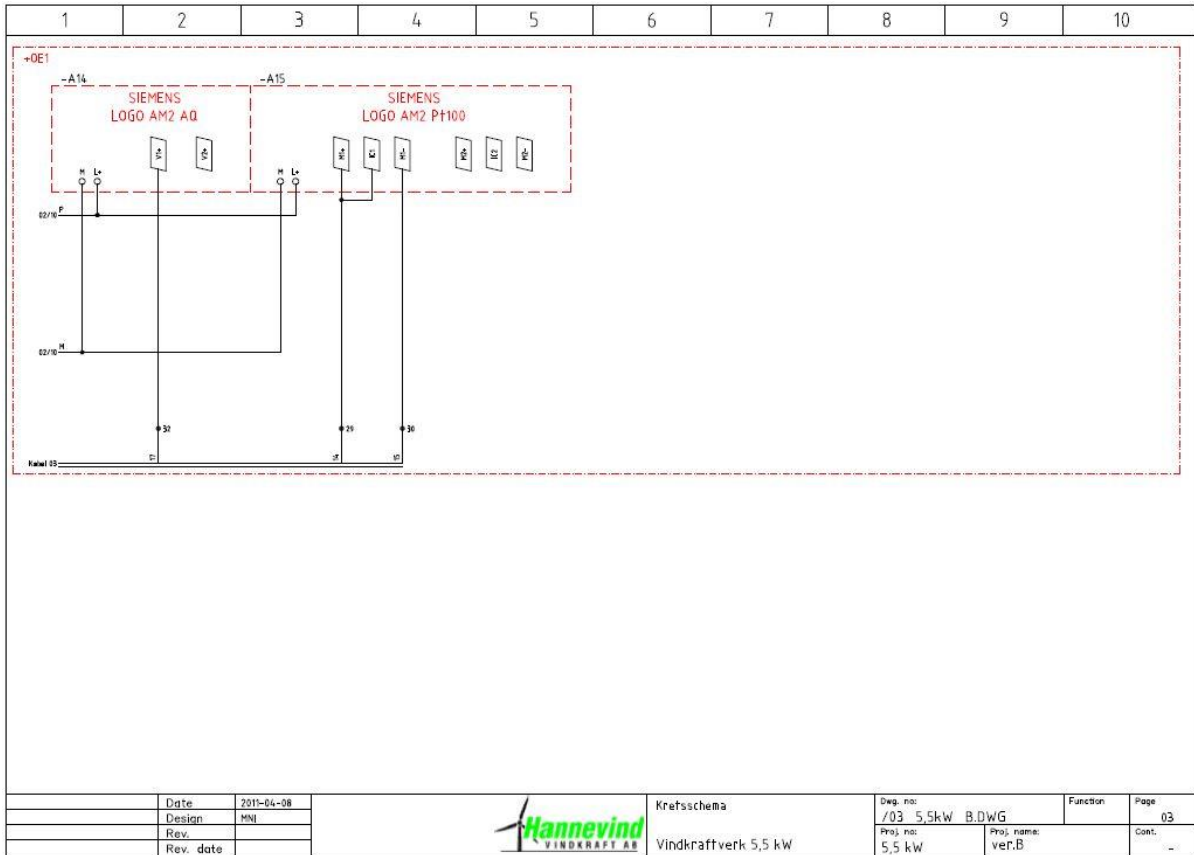
Työ oli minulle sopivan haasteellinen ja opettavainen, ja siinä oli sopivasti uuden oppimista ja koulussa opitun tiedon hyödyntämistä. Uutta tässä työssä minulle edusti tuulivoimalan toiminnan selvittäminen ja opitun hyödyntäminen oli logiikkaohjelman laatiminen ja sen loppudokumentointi.

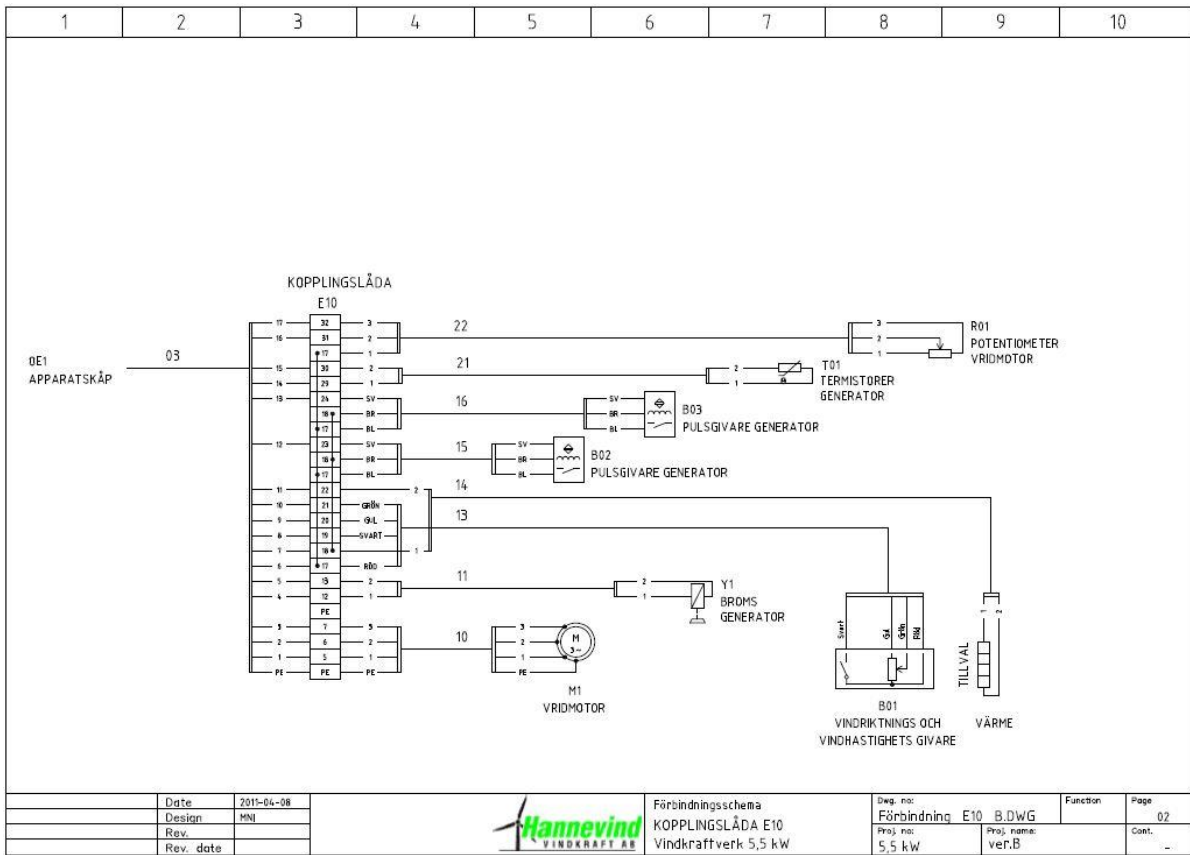
LÄHTEET

- 1 Tuulivoima. Saimaa gardens service. <http://www.saimaagardens.one1.fi/index.php?mid=45>. Hakupäivä 2.3.2016
- 2 Tuulivoiman historiaa. Suomen tuulivoimayhdistys. Saatavissa: <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/miksi-tuulivoimaa/tuulivoiman-historiaa>. Hakupäivä 2.3.2016.
- 3 Tuulivoimalan rakenne. Saimaa gardens service. Saatavissa: <http://www.saimaagardens.one1.fi/index.php?mid=77>. Hakupäivä 2.3.2016.
- 4 Tuulivoimatekniikka. Suomen tuulivoimayhdistys. Saatavissa. <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka>. Hakupäivä 2.3.2016.
- 5 Pientuulivoima. Suomen tuulivoimayhdistys. Saatavissa. <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/pientuulivoima>. Hakupäivä 2.3.2016.
- 6 Tietoa tuulivoimasta. Suomen tuulivoimayhdistys. Saatavissa. <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta>. Hakupäivä 2.3.2016.
- 7 Tuulivoima Suomessa. 2015. Tuulivoimaopas. Saatavissa: http://www.tuulivoimaopas.fi/tuulivoima_suomessa. Hakupäivä 2.3.2016.
- 8 VTT – Suomen tuulivoima tilastot. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/palvelut/v%C3%A4h%C3%A4hiilinen-energia/tuulivoima/suomen-tuulivoimatilastot/>. Hakupäivä 2.3.2016.
- 9 Anemometer 7911. 2013. Saatavissa: http://www.davisnet.com/product_documents/weather/spec_sheets/7911_SS.pdf. Hakupäivä 5.3.2016.
- 10 Anemometer for Weather Monitor or Wizard. Saatavissa: http://www.davisnet.com/weather/products/weather_product.asp?pnum=07911. Hakupäivä 5.3.2016.

11 LOGO! käsikirja versioista 0BA6 ja 0BA7. Saatavissa: http://www.siemens.fi/pool/products/industry/iadt_is/tuotteet/automaatiotekniikka/ohjelmoitavat_logiikat/logo/logo_0ba6_ba7_web.pdf. Hakupäivä 5.3.2016.





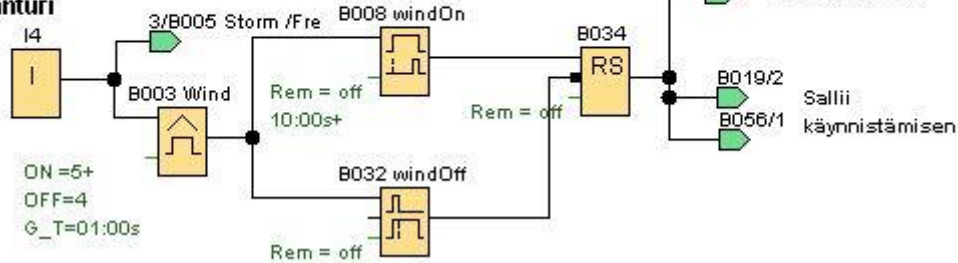


Posi- tio- tun- nus	Tyyppi	Sig- nalointi	Skaalaus	Toiminta	Moduuli
I1	Digitaalinen	1/0	1 = ok 0 = sulake vika	Kääntömootorin suojarele	Logo! 12/24 RCo
I4	Digitaalinen	1/0	1 pulssi / kier- ros	Tuulennopeus pulssianturi	Logo! 12/24 RCo
I5	Digitaalinen	1/0	pulssi, 100 pulssia / s ⇒ 50 Hz	Generaattorin pyörimisno- peus, anturi B02	Logo! 12/24 RCo
I6	Digitaalinen	1/0	pulssi, 100 pulssia / s ⇒ 50 Hz	Generaattorin pyörimisno- peus, anturi B03	Logo! 12/24 RCo
I9	Digitaalinen	1/0	1 = painettu 0 = ei painettu	Hätä / seis- -painike	Logo! DM8 12/24R (tulo I1 moduu- lissa)
I12	Digitaalinen	1/0	1 = painettu 0 = ei painettu	Reset -painike	Logo! DM8 12/24R (tulo I4 moduu- lissa)
AI1	Analogi- nen	0..20ma / 0..10 V	0 - 1000	Tuulensuunta mittari	Logo! 12/24 RCo (tulo I7 moduu- lissa)
AI2	Analogi- nen	0..20ma / 0..10 V	0 - 1000	Mastonkääntö- anturi	Logo! 12/24 RCo (tulo I8 moduu- lissa)
AI3	Analogi- nen	0..20ma / 0..10 V	- 50 °C – 200 °C	Generaattorin lämpötila-an- turi Pt100	Logo AM2 Pt100

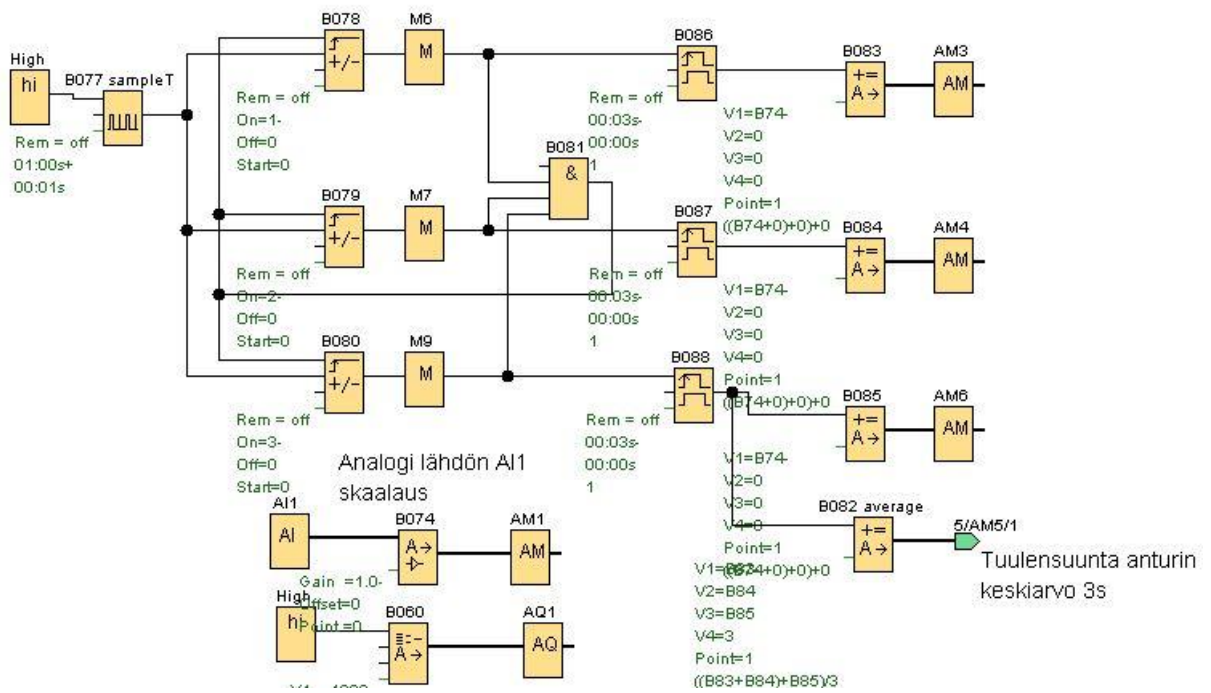
Positio- tunnus	Tyyppi	Sig- nalointi	Skaalaus	Toiminta	Moduuli
Q2	Kontak- tori	1 / 0	1 = ei jarruta 0 = jarruttaa	Generaattorin jarru	Logo! 12/24 RCo
Q3	Kontak- tori	1 / 0	1 = rele vetää 0 = rele ei vedä	Kääntömootto- rin ohjausrele K2	Logo! 12/24 RCo
Q4	Kontak- tori	1 / 0	1 = rele vetää 0 = rele ei vedä	Kääntömootto- rin ohjausrele K1	Logo! 12/24 RCo
Q7	Kontak- tori	1 / 0	1 = päälle 0 = pois päältä	Pehmokäyn- nistin ohjaus	Logo! DM8 12/24R (lähtö Q3 moduu- lissa)
Q8	Kontak- tori	1 / 0	1 = päälle 0 = pois päältä	Reset-valo	Logo! DM8 12/24R (lähtö Q4 moduu- lissa)

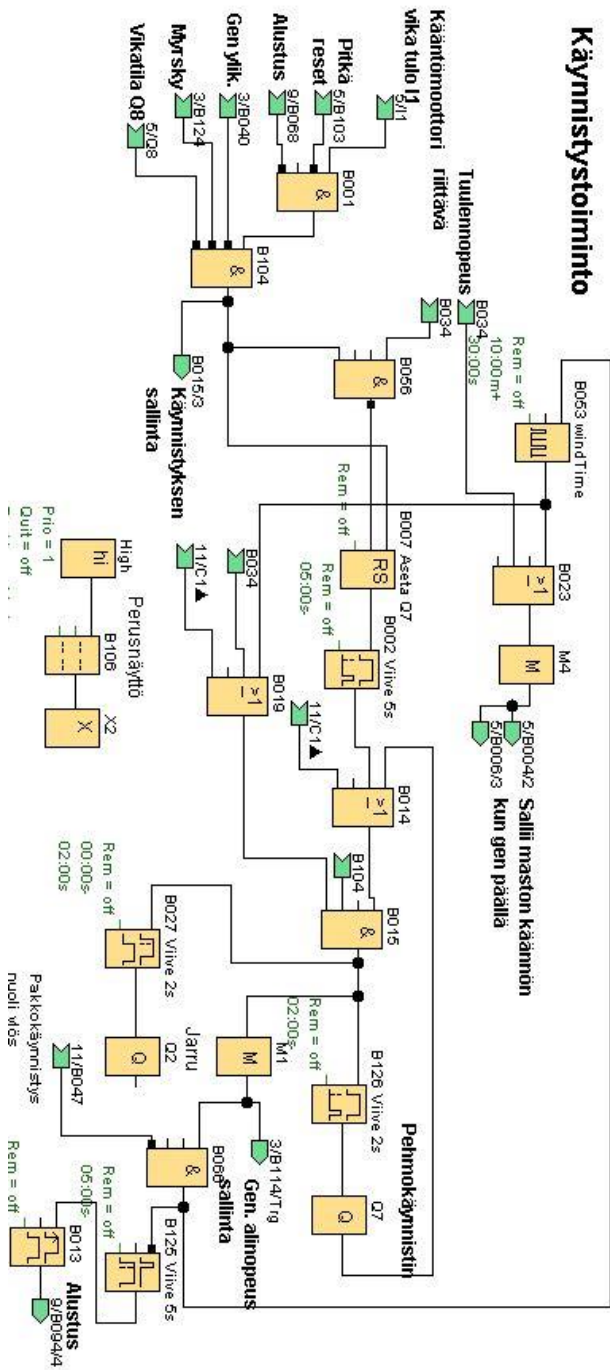
Tuulennopeuden mittaaminen

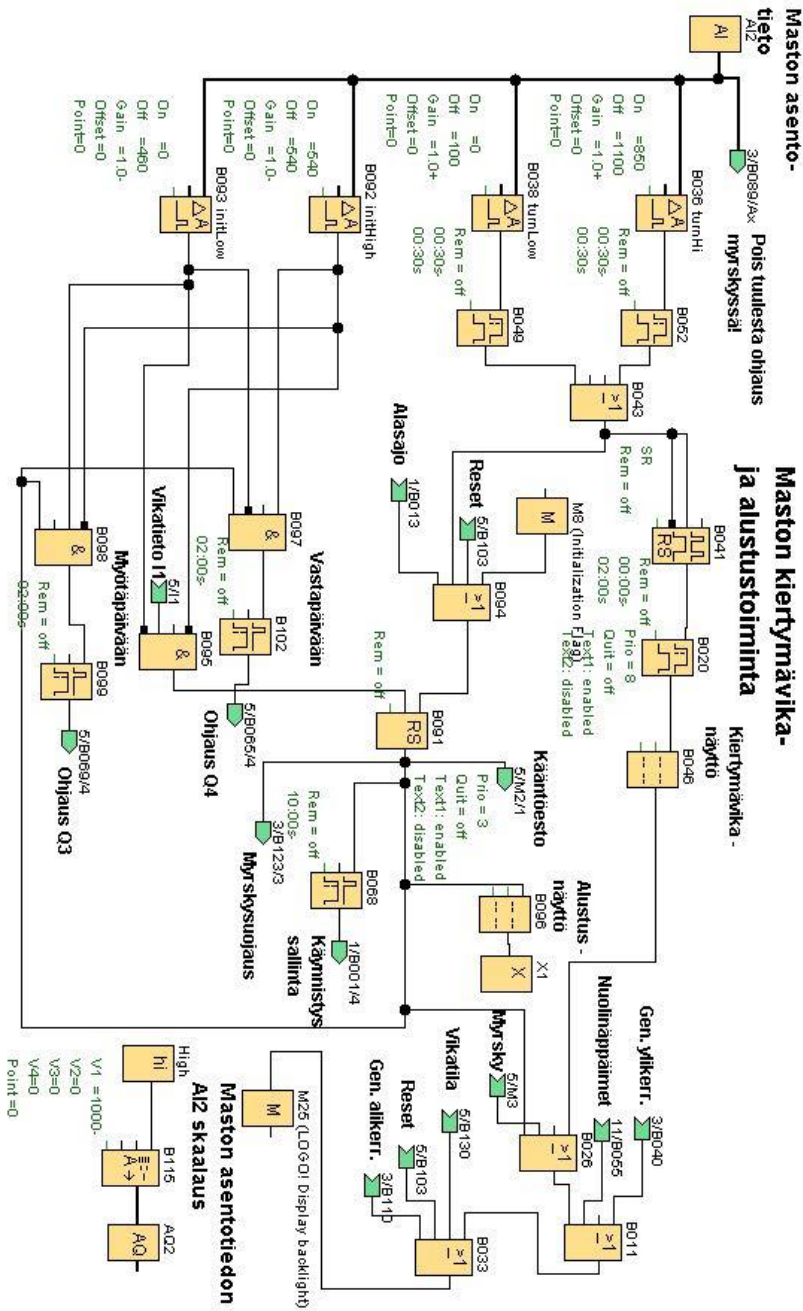
Tuulen nopeus anturi

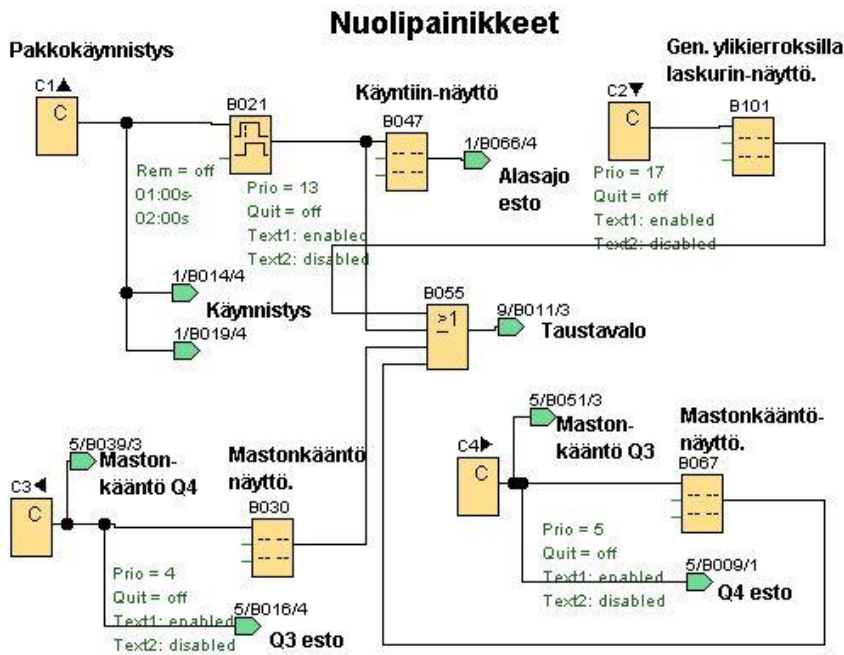
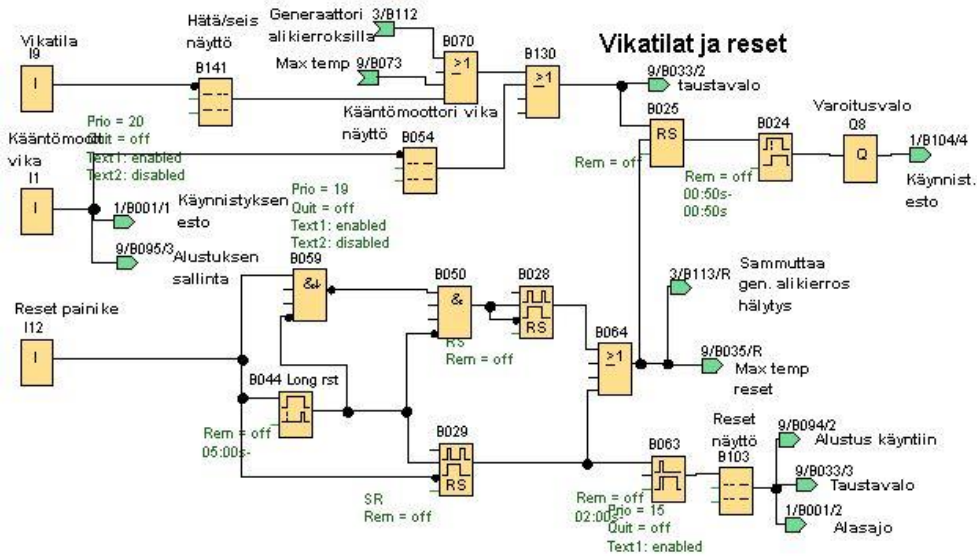


Tuulensuunta anturin keskiarvoistaminen A1

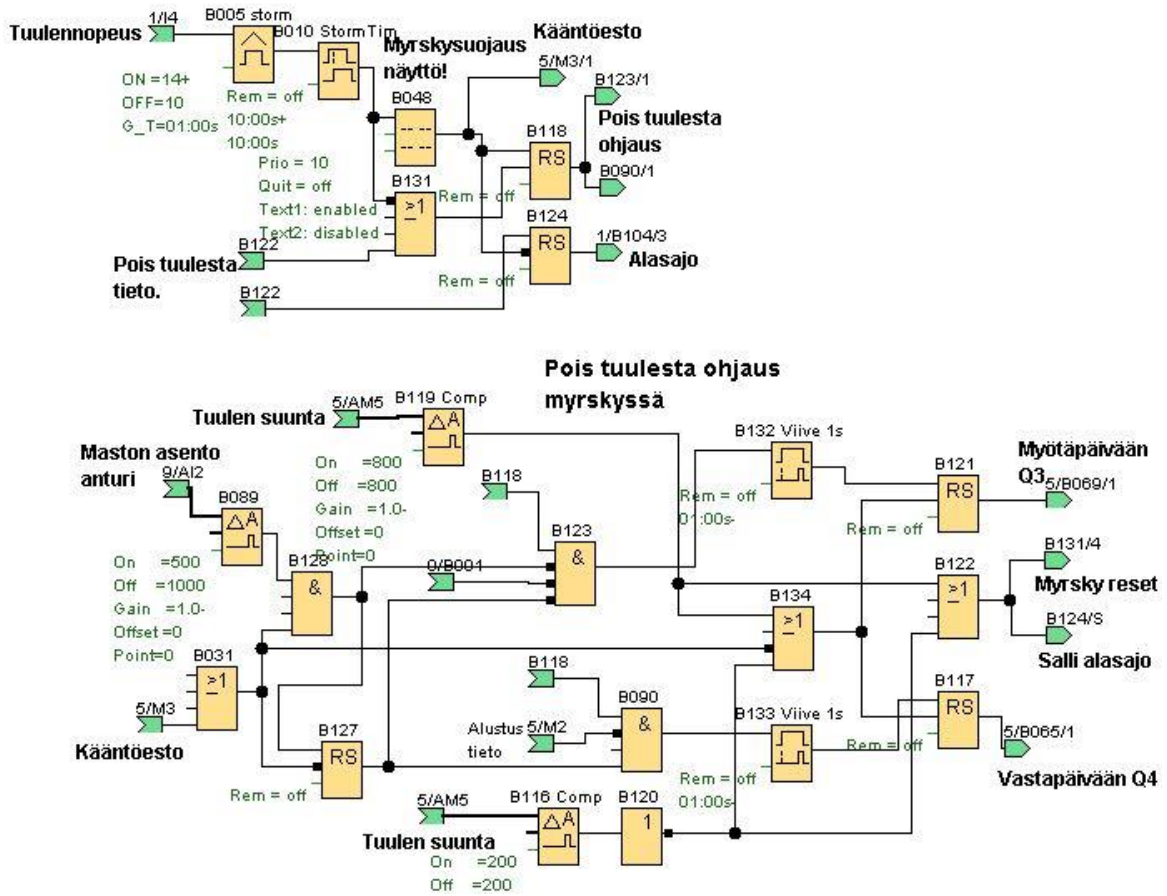


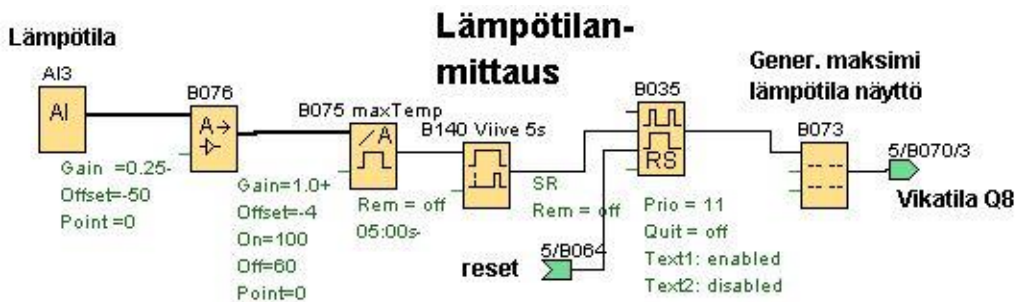
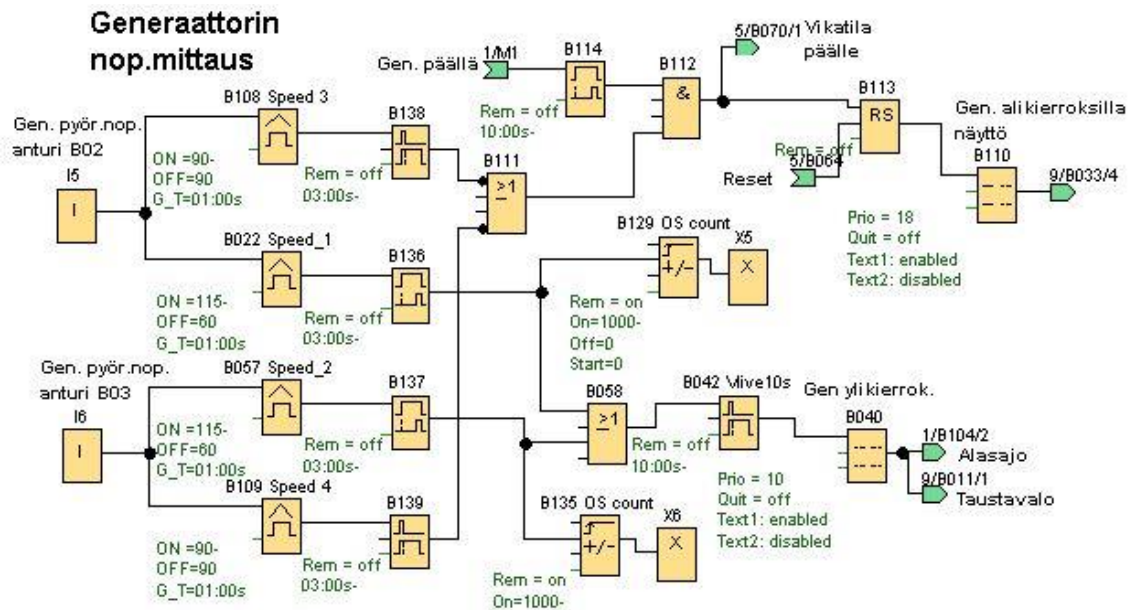


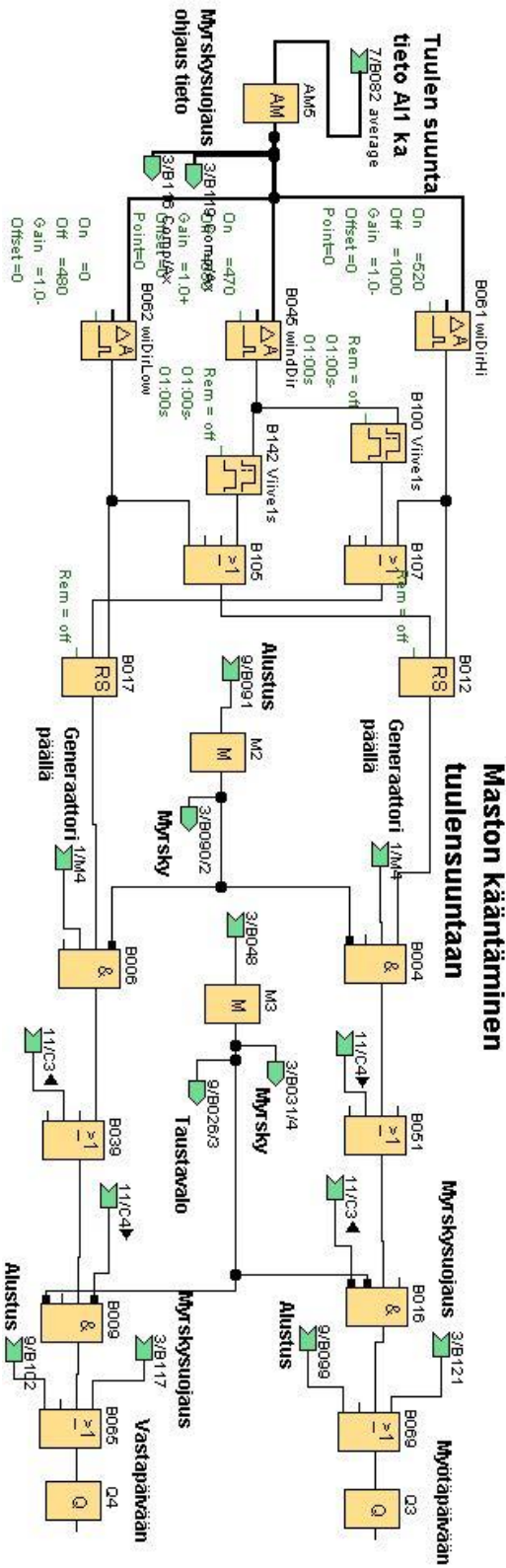




Myrskysuojaustoiminto







Näyttö	Prioriteetti	Näytön sisältö
Perusnäyttö	1	W i n d 8 m / s D i r e c t 7 5 5 I 5 1 0 1 T e m p 2 5 °C
Generaattori ylikierroksilla	2	G e n e r a a t t o r i y l i k i e r r .
Alustus	3	A l u s t e t a a n m a s t o n a s e n t o : 1 2 2
Kääntö myötapäivään	4	M a s t o n k ä ä n t ö ► A I 2 5 1 1
Kääntö vastapäivään	5	M a s t o n k ä ä n t ö ◀ A I 2 4 6 5
Käyntiin	6	K ä y n t i i n ! I 5 : 1 0 1 I 6 : 1 0 1

Näyttö	Prioriteetti	Näytön sisältö
Gen. ylikierr. laskurit	7	G e n y l i k i e r r . l a s k u r i t B 0 2 2 B 0 3 1
Kiertymävika	8	K i e r t y m a v i k a ! ! A I 2 : 5 0
Kääntömoott.vika	9	K ä ä n t o m o o t t . v i k a ! ! S u l a k e F 4
Myrskysuojaus	10	M y r s k y s u o j a u s ! T u u l i 1 6 m / s
Max. lämpötila	11	M a x t e m p ! ! 1 0 7 ° C
Gen. alikierrros	12	G e n e r a a t t o r i a l i k i e r r .

Näyttö	Prioriteetti	Näytön sisältö																																												
Hätä / Seis	13	<table border="1"> <tr><td>H</td><td>ä</td><td>t</td><td>ä</td><td>/</td><td>s</td><td>e</td><td>i</td><td>s</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>p</td><td>a</td><td>i</td><td>n</td><td>e</td><td>t</td><td>t</td><td>u</td><td>!</td><td>!</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	H	ä	t	ä	/	s	e	i	s			p	a	i	n	e	t	t	u	!	!																							
H	ä	t	ä	/	s	e	i	s																																						
p	a	i	n	e	t	t	u	!	!																																					
Reset	14	<table border="1"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>																																												