

Mikko Ollikainen

PIENVESIVOIMALAN PARAMETROINTI JA VALVONTA

PIENVESIVOIMALAN PARAMETROINTI JA VALVONTA

Mikko Ollikainen
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkövoimatekniikka

Tekijä: Mikko Ollikainen

Opinnäytetyön nimi: Pienvesivoimalan parametointi ja valvonta

Työn ohjaajat: Ville Irvankoski, Pekka Rantala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2017 Sivumäärä: 35 + 1 liite

Työ tehtiin Wind Controller Oy:lle, jonka tavoitteena oli parantaa tietämystä pienvesivoimalan toiminnasta. Työssä tutkittiin pienvesivoimalan toimintaa yleisesti ja sen hallinnassa vakiintuneita käytäntöjä. Työssä selvitettiin voimalan mitattavia ja ohjattavia arvoja sekä voimalan valvontaa ja turvallisuuskäytäntöjä. Lisäksi työssä hahmoteltiin mahdollista SCADA-järjestelmän asiakasnäkymää.

Työ tehtiin hyödyntämällä vesivoimatekniikasta saatavilla olevaa kirjallisuutta. Mittattaviin ja ohjattaviin arvoihin liittyvää tietoa kerättiin haastattelemalla Koskienergian toimitusjohtaja Hannu Ruotsalaista Äänekoskella. SCADA-järjestelmän asiakasnäkymään ja sen kehitykseen liittyviin kysymyksiin saatiin myös vastauksia samassa haastattelussa.

Opinnäytetyössä syntyvien tulosten pohjalta yritys saa käyttöönsä kirjallista materiaalia pienvesivoimaloissa käytetyistä komponenteista ja apujärjestelmistä. Materiaaleista tulee myös ilmi voimaloiden käyttöön, ohjaukseen ja valvontaan liittyviä tietoja sekä kehitettäviä tarpeita. Yritykselle tuotettiin myös hahmotelma valvontaan liittyvän SCADA-järjestelmän asiakasnäkymästä. SCADA-järjestelmän asiakasnäkymästä tulee ilmi asiakkaalle näkyviä tietoja voimalansa tiedoista ja tuotoista.

Työssä tuli ilmi, että pienvesivoimalan ohjaaminen ja valvonta eroaa lainsäädännöllisesti jonkin verran suuren vesivoimalan valvonnasta. Tulevaisuudessa tietoa voimaloiden toiminnasta voisi kerätä hyödyntäen useampia tahoja, joilla pienvesivoimaloita on omistuksessaan. SCADA-järjestelmän asiakasnäkymään voisi liittää välilehtiä, joissa tulee ilmi tietoja voimalan lämpötiloista, tilatiedoista, hälytyksistä ja lokeista.

Asiasanat: vesivoimala, monitorointi, turbiinit, generaattorit

ALKULAUSE

Tein opinnäytetyöni Oulun ammattikorkeakoululle, ja työn tilaajana toimi Wind Controller Oy. Tahdon kiittää työtäni ohjanneita Oulun ammattikorkeakoulun yliopettaja Pekka Rantalaa ja Wind Controller Oy:n technical director Ville Irvankoskea. Kiitos avustanne ja ohjeistanne eri vaiheissa työtä.

Lisäksi tahdon kiittää vastauksista haastateltavaa tahoa eli Koskienergian toimitusjohtaja Hannu Ruotsalaista.

Kiitokset myös omalle lähipiirille ja kaikille, jotka ovat neuvoneet ja kannustaneet työn suorituksessa.

Oulussa 23.4.2017

Mikko Ollikainen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO.....	7
2 WIND CONTROLLER OY	8
3 PIENVESIVOIMA	11
3.1 Pienvesivoiman historia Suomessa	12
3.2 Pienvesivoimalan toiminta	13
3.3 Jäähyyhde	14
3.4 Kavitaatio	15
3.5 Suomessa yleisimmät turbiinimallit	16
3.5.1 Kaplan-turbiini	16
3.5.2 Potkuriturbiini	17
3.5.3 Putkiturbiini	17
3.5.4 Francis-turbiini	17
3.5.5 Pelton-turbiini	18
3.6 Pienvesivoimaloiden turbiinien asennustavat	19
4 PIENVESIVOIMAN PARAMETROINTI JA VALVONTA	22
4.1 Pienvesivoiman parametointi	22
4.2 Pienvesivoiman valvonta	23
4.3 Pienvesivoimalan toiminta vikatilanteessa	25
4.4 Valvonnassa käytetty SCADA-järjestelmä	25
5 SCADA-JÄRJESTELMÄN ASIAKASNÄKYMÄ.....	27
5.1 Head-ikkuna	29
5.2 Flow-ikkuna	30
5.3 Overall efficiency -ikkuna	31
5.4 System demand -ikkuna	32
6 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	34
LIITTEET	

Liite 1 Haastattelukysymykset

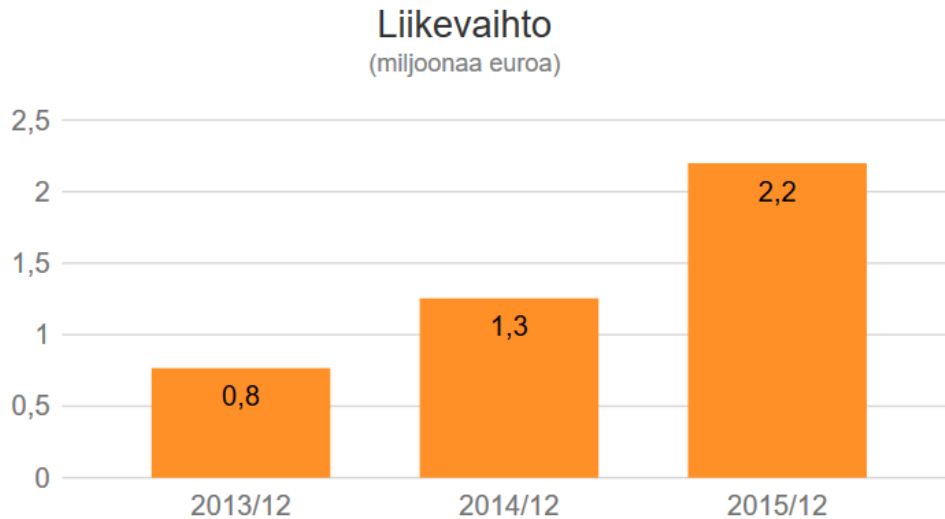
1 JOHDANTO

Työn tilaajana toimi Wind Controller Oy, joka on vuonna 2012 perustettu uusiutuvan energian asiantuntija- ja valvomopalveluita tarjoava yritys. Yritys järjestää myös tarkastuksia tuulivoimaloiden eri osioihin tuulivoimalan elinkaaren aikana. Yritys myös järjestää GWO:n (Global Wind Organisation) sertifioimia koulutuksia. Yrityksellä on päätoimipiste Oulussa ja sivutoimisto Hyvinkäällä.

Yritys tahtoo pysyä ajan hermolla valvomopalveluiden tarjonnassa. Työn tavoite oli tuoda yritykseen lisätietoa pienvesivoimasta, kerätä tietoa pienvesivoimassa valvonnan kannalta oleellisista mitattavista ja ohjattavista arvoista sekä tutkia turvallisuuskäytäntöjä ja jälleenkytkennän reunaehtoja. Lisäksi työn tarkoituksena oli luoda hahmotelma SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) -järjestelmän asiakasnäkymän pääsivusta.

2 WIND CONTROLLER OY

Wind Controller Oy on vuonna 2012 perustettu yritys, joka on kasvanut siitä lähtien tasaisesti tähän päivään saakka. Kuvassa 1 näkyy liikevaihdon kehitys. (1.)



KUVA 1. Wind Controller liikevaihdon kehitys (1)

Yritys on uusiutuvan energiamuotojen eri palveluja tarjoava yritys. Wind Controllerin taustat tulevat vahvasti tuulivoima-alan osaamisesta, joka perustuu tuulivoimayhtiö WinWinDin aikaiseen toimintaan. Yrityksen henkilöstöllä on yhteensä yli 100 vuoden kokemus tuulivoima-alalta ja sen palveluista. Yrityksen toiminta on laajentunut tuulivoiman lisäksi myös aurinkovoimaan ja sähköasemien valvontaan. Toiminnot yrityksen sisällä on jaettu neljään eri kategoriaan. (2.)

8760-Control

8760-Control-palvelu sisältää ympärivuorokautista voimaloiden ja sähköasemien etävalvontaa. Palveluun kuuluu tuotantotietojen sekä huoltojen raportointi voimaloiden sekä sähköasemien omistajille. Valvottavia voimaloita ja sähköasemia on

valvonnassa noin 250 MW:n edestä, ja ne sijaitsevat Suomessa, Ruotsissa, Virossa, Tšekissä ja Ranskassa. Valvonnan alaisuudesta löytyy tuulivoimaa, aurinkovoimaa sekä sähköasemien etävalvontaa. 8760-Control valvoo voimaloiden tuotantoa reaaliaikaisesti, ja huomattuaan voimalan toiminnassa normaalista poikkeavaa käytöstä se välittää huoltopyynnöt voimaloiden omistajille. (3.)

Technical Control

Technical Control sisältää voimaloiden tarkastuksien tekemisiä, huoltojen suosituksia, ohjelmistopäivityksiä ja voimaloiden kunnonvalvontaa. Tarkastuksien tulosten perusteella asiakas voi reagoida nopeasti sekä luotettavasti voimalan kuntoon ja mahdolliseen huollon tarpeeseen. Technical Control tarjoaa myös vastauksia ja ratkaisuja asiakasta askarruttaviin teknisiin kysymyksiin. Kunnonvalvonta voimaloissa on toteutettu Valmet Sensodec 6S-järjestelmällä, joka mahdollistaa lämpötilojen, voiteluöljyn partikkeleiden ja värähtelyn mittaamisen. Kunnonvalvonnan mittaustuloksia yrityksessä analysoi Mobius Institutin 3-tason tutkinnon suorittanut henkilö. Tarkastuksiin kentällä sisältyy visuaalisia tarkastuksia, endoskooppisia tarkastuksia, värähtelyn mittaamista, lämpökameralla kuvaamista, erilaisia nesteanalyysejä sekä akseleiden linjausmittauksia. (3.)

Blade Control

Blade Control -palvelu sisältää tarvittaessa siipien tarkastamista joka vaiheessa tehtaalta voimalatyömaalle. Palvelu takaa, että siivet ovat laatumääräykset täytävissä kunnossa, ennen kuin ne asennetaan työmaalla itse voimalaan. Palvelussa tehdään auditointeja siipiä valmistavalle tehtaalle asiantuntijan kanssa ja todetaan tuotteiden laatu ja vaatimukset. Palvelun piiriin kuuluu myös vastaanototarkastuksen suorittaminen satamassa tai työmaalla, millä saadaan eroteltua mahdollisesti kuljetuksessa syntyneet vauriot. Siipien tarkastus onnistuu myös määräaikaistarkastuksissa visuaalisesti, nelikopterilla tai köysillä riippuen. (3.)

Safety Control

Palveluun kuuluu (Global Wind Organisation) GWO-sertifioituja koulutuksia ja turvalaitetarkastuksia. Koulutukset ovat pääsääntöisesti tuulivoimala-alalle painotettuja. Toteutettavat kurssit koostuvat working at heights-, first aid-, fire awareness- ja manual handling -kursseista. Lisäksi toteutettavia kursseja ovat sähkötyöturvallisuus-, tulityö- ja työturvallisuuskorttikoulutukset. Turvalaitetarkastukset koostuvat lakisääteisten henkilökohtaisten turvavälineiden tarkastuksista, kiinnityspisteiden ja pelastautumisvälineiden tarkastuksista sekä tuulivoimaloiden huoltohissien huolloista ja tarkastuksista. Safety Control -palveluun kuuluu myös huoltojen suunnittelu ja koordinointi. (3.)

3 PIENVESIVOIMA

Pienvesivoimassa käytetty tekniikka on pääosiltaan tavallista vesivoimateknologiaa mutta pienemmässä mittakaavassa. Pienvesivoimaloiden putouskorkeus vaihtelee Suomessa tyypillisesti 2 - 6 m. Vesivoimalat jaetaan virallisesti kolmeen teholuokkaan niiden tehojen perusteella:

- < 1 MW:n voimalat ovat minivesivoimaloita.
- 1–10 MW:n voimalat ovat pienvesivoimaloita (kuva 2).
- > 10 MW:n voimalat ovat suurvesivoimaloita. (4.)



KUVA 2. Kissakosken pienvesivoimala (5)

Käytännössä pienvesivoimasektorin piiriin kuuluvat kaikki vesivoimalat, jotka ovat alle 10 MW:n tehoisia (6). 10 MW:n laitosteho on sovittu lähes koko Euroopan laajuisesti maksimirajaksi pienvesivoimalle, mutta jotkin maat ovat Euroopassa poikkeuksia, kuten Italia, joka vaatii yli 3 MW laitoksien myyvän sähköä halvemmalla kuin pienemmät voimalat. Ranskassa pienvesivoiman maksimiteho on 8 MW ja Iso-Britannia pitää ylärajana 5 MW:n tehoa. (7, s. 16.)

Suomessa on pienvesivoimaloita yhteensä noin 150 kappaletta, joista 67 on minivesivoimaloita ja 83 on pienvesivoimaloita. Suomen vesivoimalla tuotetusta sähköstä pienvesivoimasektori kattaa noin yhdeksän prosenttia. (6.)

3.1 Pienvesivoiman historia Suomessa

Pienvesivoiman historia Suomessa ulottuu aina 1200-luvulle saakka. Se on ollut vahva jalusta suomen teollisuuden ja yhteiskunnan rakentamiselle. (8, s. 6.) Alkuvaiheissa pienvesivoimaloita käytettiin sahoilla ja myllyillä, mutta sota-ajan energiapula valjasti koko vesivoiman rakentamisen tarpeen uudelle tasolle. Suomessa tarvittiin uutta sähköntuotantoa paljon ja nopeasti, sillä sodan päätyttyä kolmanneksen maan energiasta tuottaneet vesivoimalat olivat jääneet suomen rajojen ulkopuolelle. (9.)

1950-luvun jälkeen pienvesivoimaloiden määrä laski. Syy pienvesivoimaloiden vähenemiseen oli tuotantokustannusten nouseminen voimalan tuottoon nähden kohtuuttomaksi. Sähkölain muutos velvoitti miehittämään pienimmätkin voimalat käytön ajaksi, mikä puolestaan nosti tuotantohinnat niin suuriksi, että osa voimaloista poistettiin käytöstä väliaikaisesti. (8, s. 6.)

2000-luvulla pienvesivoiman tuotannossa on tapahtunut huomattavia muutoksia teknisellä tasolla ja voidaankin todeta, että pienvesivoimalat ovat saavuttaneet tekniikaltaan lakipisteensä. Voimaloiden velvoitetuista käytön aikaisista miehityksistä on voitu luopua kehittyneen kaukokäyttökniikan ansiosta, jolloin tuottavuutta on saatu parannettua. Tehonsäätö on kehittynyt taajuusmuuttajakäyttöjen yleistyttyä. Kestomagneettigeneraattorit tarjoavat hyvän hyötysuhteen tuotantoon jo alhaisilla kierrosluvuilla. (8, s. 6.)

Pienvesivoiman tehonkasvua tapahtuu jatkuvasti, koska voimaloiden koneistoja uusitaan ja niiden myötä myös hyötysuhde paranee. Koneistojen uudistamisen tarve lisääntyy lähitulevaisuudessa, sillä noin puolet 150 pienvesivoimalasta on yli 50-vuotiaita. (8, s. 6–7.)

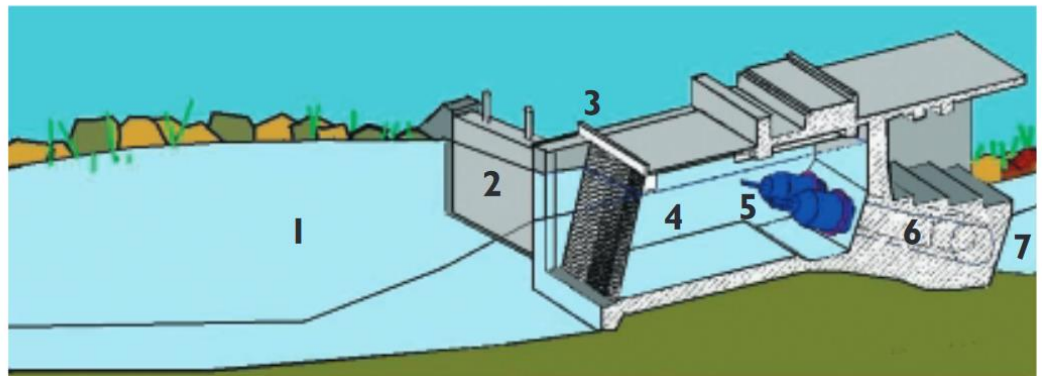
3.2 Pienvesivoimalan toiminta

Pienvesivoimala rakentuu pääosin kuvassa 3 olevista osista (10, s. 2). Sähkön tuotannon kannalta lisäyksenä kuvaan tulisi esittää turbiinin jatkoksi generaattori ja muuntaja, joiden välityksellä sähköä syntyy ja välitetään jakeluverkkoon. (8, s. 26)

Voimalaitos toimii siten, että vettä ajetaan kuvan 3 yläaltaasta (1) väljän (3) läpi tulokammioon (4) ja sitä kautta tuotantoon. Tulokammioista (4) vesi johdetaan turbiinin (5) lävitse imuputken (6) kautta alavirtaan (7), tai mikäli vesi halutaan ohjata ohi tuotannon, voidaan se tehdä ohivirtausaukkoa hyödyntäen (2) (10, s. 2.)

Pienvesivoimalan rakenne:

1. Yläallas
2. Pato, ohivirtausaukot ja vedenpinnan korkeuden mittaus
3. Välppä
4. Tulokammio
5. Turbiinit
6. Imuputki
7. Alavirta



KUVA 3. Pienvesivoimalan rakenteelliset osat (10, s. 2)

Kun tiedetään voimalaitoksen koneiston hyötysuhde sekä vesistössä virtaavan veden määrä ja putouskorkeus, voidaan laskea sen tuottama sähköteho watteina kaavalla 1 (11, s. 265).

$$P = Q * H * \rho * g * \eta$$

KAAVA 1

Jossa,

$$P = \text{Teho(W)}$$

$$Q = \text{Virtaavan veden määrä } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$$

$$H = \text{Putouskorkeus(m)}$$

$$\rho = \text{Veden tiheys } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$$

$$g = \text{Painovoiman kiihtyvyys } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$\eta = \text{Turbiinin hyötysuhde(\%)}$$

3.3 Jäähyyhde

Luonnonilmiöistä täytyy välttää välppän pintaan tulovirtaaman päähän syntyvää jäähyhdettä, joka voi pahimmillaan kasvaa niin pahaksi, että välppä tukkeutuu. Mikäli välppään syntyvä jäähyyhde on niin suurta, että välppä tukkeutuu, on sen avaaminen työlästä. Välppän puhdistamisen vuoksi voimala pitää sammuttaa ja mekaanisesti poistetaan osa kertyneestä jäästä sekä säädetään tulovirtaamaa sopivan pieneksi. Jäähyhdettä poistettaessa voimala joutuu olemaan joko hetken pysähdyksissä tai käymään osateholla parikin päivää, mikä näkyy välittömästi tuotannonmenetyksinä voimalan omistajalle. (12.)

Jäähyhteiden syntymisen ehkäisyyn on olemassa menetelmä, jossa kaksi lämpötilanmittausta on toteutettu tulovirtauman äärellä metrin etäisyydellä syvyys suunnassa. Menetelmässä valvotaan tulovirtauman eri syvyyksissä olevien ja eri läm-

pöisten vesien sekoittumista keskenään, mikä aiheuttaa alilämpöisen veden synnyttämän jäähyhteen muodostumista voimalaitoksen välppään. Mikäli vesistön virtaus on nopea ja siihen ei pääse syntymään jääkerrosta pintaan, voi vesistöön syntyä jäähyhdettä. Jäähyhteen syntymistä voidaan estää pienentämällä tulo- virtaamaa siten, että vesistön virtaus pienenee ja jääkansi muodostuisi suojaamaan eristävällä tavalla vesistön pintaa kylmältä ulkoilmalta. (12.)

3.4 Kavitaatio

Yksi voimalaitoksissa vältettävä ilmiö on juoksupyörään kohdistuva kavitaatio. Kavitaatio johtuu siitä, kun turbiinin imupuolen paine laskee alle veden höyrystymispaineen ja vesi alkaa kupliin. Kuplien osuessa juoksupyörän siipiin on se verrattavissa pieniin iskuihin siipien pinnalla mitkä kuluttavat niiden materiaalia (kuva 4). Kavitaation äänen voi kuulla vierestä pienenä ritinä. Kavitaation ehkäisemiseksi tulisi imupuolen paine sovittaa sopivaksi turbiinille sekä tarkkailla veden putouskorkeutta ja läpi virtaavan veden määrää. (12.)



KUVA 4. Kavitaation aiheuttamia jälkiä potkurin siivessä (13)

3.5 Suomessa yleisimmät turbiinimallit

Vesivoimalaitoksessa putouksesta virtaavan veden liike-energia otetaan talteen turbiinilla. Voimalaitoksen rakenteesta riippuen turbiinit ovat eri tyyppisiä. Turbiinilta pyörivä liike-energia johdetaan generaattorille ja siitä sähköenergiana kuluttajille. (4.)

3.5.1 Kaplan-turbiini

Kaplan-turbiini on Suomessa yksi suosituimmista malleista johtuen sen hyvästä hyötysuhteesta matalilla putouskorkeuksilla. Suomessa olevat vesistöt ovat yleisimmin putouskorkeuksiltaan matalia. Kaplan-turbiinin toiminta putouskorkeuksilla on laaja, aina 10 metristä 70 metriin. Sen juoksupyörässä on 4 - 5 siipeä, joiden lapakulma on täysin säädettävissä (kuva 5). Säädöllä saadaan ohjattua turbiinin läpi menevää vesimassaa, joka on suoraan yhteydessä laitoksen tuottamaan sähkötehoon. Kaplan-turbiini ei ole laajasti käytössä pienvesivoimassa, sillä juoksupyörän siipien säätömekanismit kasvattavat turbiinin kokoa. Turbiinin juoksupyörän kammion muotoilulla on tärkeä tehtävä koneen hyötysuhteen ja koko turbiinin toiminnan kannalta, koska kammion muotoilulla voidaan vaikuttaa veden optimaaliseen kulmaan sen saavutettua juoksupyörän. (11, s. 269–271.)



KUVA 5. Kaplan-turbiini ja sen johtosiivet (14)

3.5.2 Potkuriturbiini

Potkuriturbiini on hyvin paljon samankaltainen rakenteeltaan ja toimintatavoiltaan kuin Kaplan-turbiini. Huomattavimpana erona Kaplan-turbiiniin on se, että potkuriturbiinissa on kiinteät juoksusiivet, kun taas Kaplanissa ne ovat säädettävissä. Potkuriturbiini on kompaktimpi rakenteeltaan, ja se sopii sen takia paremmin käytettäväksi pienvesivoimaloissa. (11, s. 272.)

3.5.3 Putkiturbiini

Putkiturbiinit toimivat hyvin voimalaitoksissa, joissa putouskorkeus ei ole kovin suuri ja virtaama on pieni. Putkiturbiineissa käytettävä juoksupyörä on joko Kaplan- tai potkurimallinen ja se sijoitetaan vaakasuoraan putkeen, jolloin kiilamaiset johtosiivet ovat kartiopinnalla. Johtosiivet ohjaavat veden virtaaman kohti juoksupyörää. Puoli-Kaplan-turbiineissa on kiinteät johtosiivet, joilla vesi ohjataan säädettävälle juoksupyörälle. Generaattorin sijoittelussa on yleensä käytetty kahta erilaista mallia, joista toisessa generaattori on täysin putken ulkopuolella ja toisessa se on kapseloitu putken sisälle. (11, s. 272.)

3.5.4 Francis-turbiini

Suomessa käytettävät uudemmat Francis-turbiinit ovat kooltaan ja teholtaan verrattain pieniä, noin 8 MW:n laitoksia. Francis-turbiinilla on laaja käyttöalue, ja sitä voidaan käyttää aina 5 metrin putouskorkeudesta 700 m:n korkeuteen.

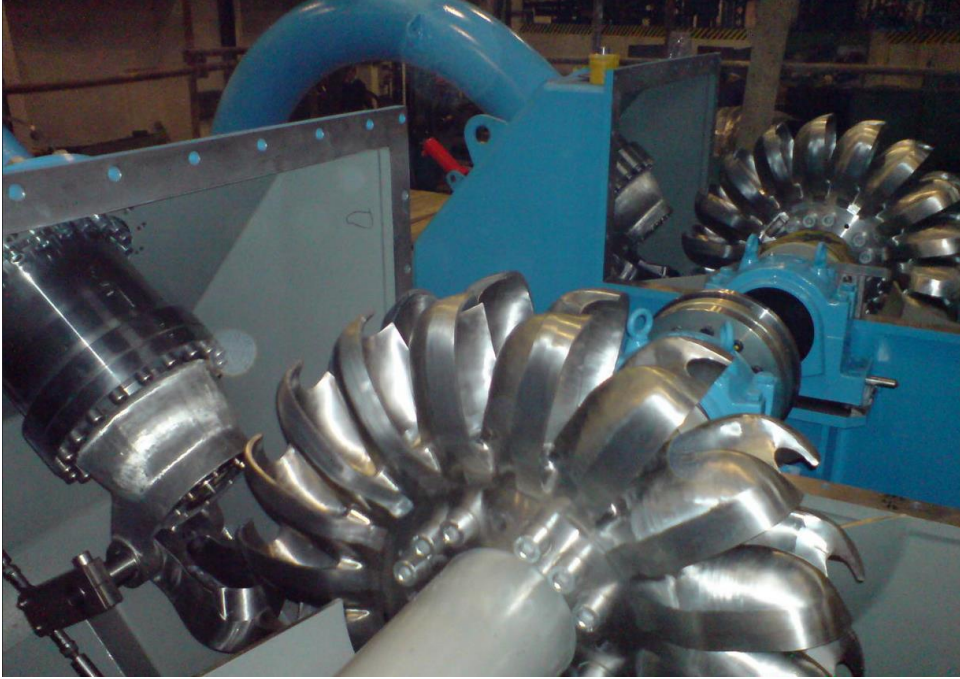
Francis-turbiineista suurimmat ovat yleensä pysty akselisiä, ja niissä on teräksiset spiraalipesät, jotka ovat joko osittain tai kokonaan valettu betoniin. Turbiinin imuputki on kartiomainen ja juoksupyörä on kiinteäsiipinen, mistä johtuen turbiinissa on yleensä säädettävä johtopyörä. Johtopyörän säädöllä saadaan veden virtaama säädettyä halutuksi, kun vesi virtaa sen lävitse juoksupyörälle (Kuva 6). (11, s. 267–269.)



KUVA 6. Francis- turbiinin juoksupyörä (15)

3.5.5 Pelton-turbiini

Pelton-turbiini ei ole Suomessa kovin yleinen. Vaikka se toimii pienellä virtaamalla, tarvitsee se todella suuren putouskorkeuden toimiakseen. Pelton-turbiinin akseli on sijoittelultaan vaakatasossa. Putkessa, jolla vesi johdetaan suuttimeen, muutetaan paine-energia nopeusenergiaksi ennen kuin se ruiskutetaan suurella nopeudella kuvassa 7 näkyviin juoksupyörän kauhoihin. Veden osuessa kauhaan muuttuu se akselia pyörittäväksi vääntövoimaksi, joka pyörittää generaattoria. Pelton-turbiinin kehällä voi olla useampi suutin, mutta yleensä koko turbiinin kehän matkalta vettä ei syötetä. (11, s. 267.)



KUVA 7. Pelton-turbiini ja suutin (16)

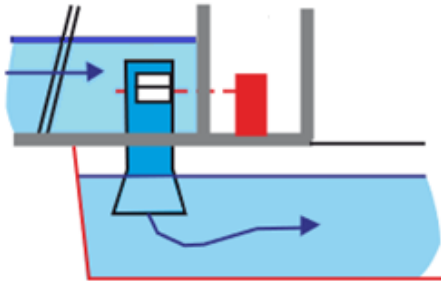
3.6 Pienvesivoimaloiden turbiinien asennustavat

Pienvesivoimalan turbiinin ja generaattorin asennustapoja on monia. Asennustapaan vaikuttavat voimalassa käytetyn turbiinin malli, putouskorkeus ja laitostyyppi. Generaattori on asennettu kuivaan tilaan. Siihen saapuva akseli johtaa voiman turbiinilta, joka voi olla asennustavasta riippuen joko pysty-, vaaka- tai vinoakselinen. (8, s. 9.)

Märkäasennuksella tarkoitetaan, että turbiini on asennettu veden alle ja generaattori on kuivassa tilassa. Poikkeuksena märkäasennuksessa on uppo-generaattori, jossa generaattori on turbiinin kanssa yhdessä kapselissa veden alla. (8, s. 9.)

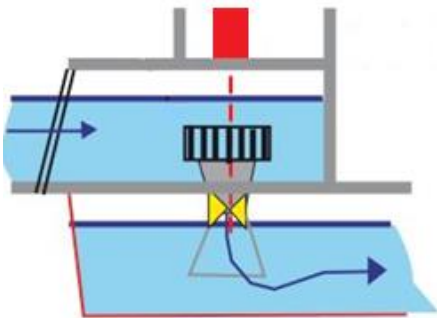
Kuiva-asennuksessa turbiinit, vaihteistot ja generaattorit on asennettu kuivaan tilaan konesaleihin ja veden kanssa tekemisissä on vain juoksupyörä. Tämä asennustapa sopii kaikille turbiinimalleille. (8, s. 9.)

Kuvassa 8 on vaaka-akselinen märkäasennus, jossa Francis-turbiini on asennettu siten, että akseli, joka johtaa voiman generaattorille, on vaakatasossa (8, s. 9).



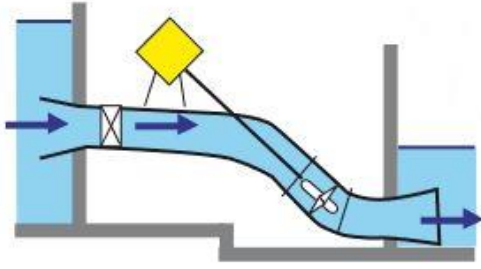
KUVA 8. Vaaka-akselinen märkäasennus (8, s. 9)

Kuvassa 9 olevaa pystyakselista märkäasennusta voidaan käyttää sekä Francis-että Kaplan-turbiineja asennettaessa (8, s. 9).



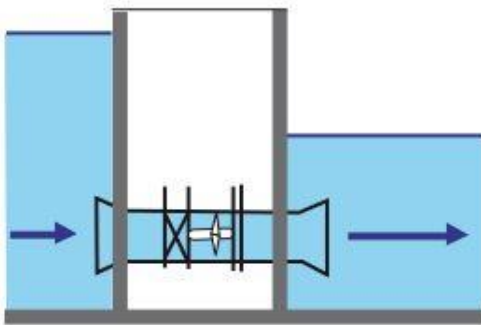
KUVA 9. Pystyakselinen märkäasennus (8, s. 9.)

Putkiturbiineissa, joissa käytetään Kaplan- tai potkuri-turbiinia, voidaan akseli ja generaattori sijoittaa siten, että ne ovat asennettu voimalasta nähden viistosti. (kuva 10). Tätä kutsutaan vinoakseliseksi kuiva-asennukseksi (8, s. 9).



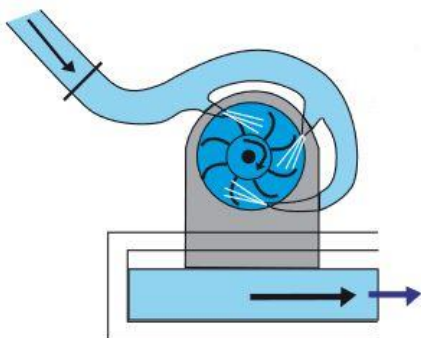
KUVA 10. Vinoakselinen kuiva-asennus (8, s. 9)

Mikäli kyseessä on pienen putouskorkeuden laitos, voidaan ratkaisuna käyttää potkuriturbiinia uppoasennuksena (kuva 11). Tässä mallissa generaattori ja turbiini on kapseloitu vaaka-asentoon veden alle siten, että kaikki vaadittava tekniikka muuntajaa lukuunottamatta on kapselissa. (8, s. 9.)



KUVA 11. Vaaka-akselinen uppogeneraattori (8, s. 9.)

Pelton-turbiinissa vettä suihkutetaan juoksupyörissä oleviin kauhoihin. Tämä muodostaa vääntövoiman akselille. Pelton-turbiineissa käytetään yleisesti vaakatasossa olevaa kuiva-asennusta (kuva 12). (8, s. 9.)



KUVA 12. Pelton-turbiini vaaka-asennus (8, s. 9.)

4 PIENVESIVOIMAN PARAMETROINTI JA VALVONTA

Pienvesivoimassa valvotaan turbiinin tilaa ja turbiiniin ohjaukseen liittyviä parametreja. Valvottavat kohteet voivat liittyä pyörimisnopeuksiin sekä johtopyörän ja juoksupyörän asentoihin. Valvottavia kohteita ovat myös erilaiset nesteiden paineet ja lämpötilat järjestelmässä. (11, s. 276.)

Koskienergian toimitusjohtajan Hannu Ruotsalaisen haastattelun kautta tarkentui pienvesivoimalan toimintaan ja valvontaan liittyviä käytäntöjä (liite 1). Pienvesivoiman parametroinnilla tarkoitetaan mittauksia ja ohjauksia, joita käytetään itse voimalan tuotannossa. Parametrointiin vaikuttaa myös viikottain tuntitasolla laadittava tuotantosuunnitelma, jossa määritellään voimalan tuottoa ja käyntiaikoja. Voimalat ovat hyvin erilaisia virtaamiltaan ja turbiinityypeiltään, joten voimaloiden ohjaus on melko lailla yksilöllistä. Pienvesivoiman valvonta on yleensä keskitetty yhteen paikkaan, josta ohjataan useita voimaloita kerrallaan turbiinikohtaisesti. (12.)

4.1 Pienvesivoiman parametointi

Voimaloissa on mitattavia I/O-pisteitä tavallisesti noin 200 - 250. Erilaisia varsinaiseen ohjaukseen vaikuttavia mitattavia kohteita voimalassa on noin 9. Näihin lukeutuu vesipintojen mittaaminen ylä- ja alavirrassa sekä ohijuoksutusluukkujen asennon mittaaminen. (12.)

Mitattavia lämpötiloja on tavallisesti noin 15 kappaletta. Haluttuja lämpötilatietoja ovat virtaavan veden lämpötila, ulkoilman lämpötila, voimalan sisälämpötila ja generaattorin staattorin käämeiltä muutama lämpötila jokaista vaihetta kohden. Generaattorin jäähdytyksen lämpötiloja seurataan, jotta tuotanto ei kuumenna generaattoria liikaa ja lyhennä siten sen käyttöikää. Joissain voimaloissa myös jäähyhteen tunnistamista varten on käytössä 2 lämpötila-anturia, jotka on asennettu yläveteen. (12.)

Voimalassa tuotantoon vaikuttavia mitattavia arvoja ovat voimalan tuottama pätöteho ja loisteho sekä virrat ja jännitteet. Generaattorin magnetointivirtaa voimalassa seurataan mittaamalla tasavirtageneraattorilta turbiinin generaattorille lähtevää virtaa. Pienvesivoimalan tehontuotto perustuu karkeasti kahteen muuttuvaan arvoon. Arvot liittyvät tuloveden pinnan korkeuteen ja voimalasta läpi virtaavan veden massaan, joten voimalassa käytetään tuotannon laskemisessa myös virtausanturia. Pienvesivoimalassa laakeroinnit on toteutettu liukulaakerein, joten perinteistä laakereiden värinänmittausta ei voimaloissa niinkään käytetä. (12.)

4.2 Pienvesivoiman valvonta

Pienvesivoimaloiden valvonta tapahtuu valvomosta, jossa operaattorilla on yleensä useampi voimala kerrallaan valvottavana (kuva 13). Pienvesivoimalat ovat sijainniltaan yleensä sellaisissa paikoissa, missä valokuituyhteyttä ei ole järkevästi saatavilla, joten yhteydet voimalaan hoidetaan varmennetulla mobiiliyhteydellä. Hälytystiedot tulevat voimalalta valvomoon. Mikäli operaattorin täytyy tarkastella voimalan tilaa tai hälytyslokeja tarkemmin, voi hän ottaa etähallintayhteyden voimalaan valvomosta käsin. (12.)



KUVA 13. ABB:n moderni valvomoratkaisu (17)

Valvomossa tehdään pienvesivoimaloihin viikottaiset tuntitasolla tapahtuvat tarkat tuotantosuunnitelmat. Tuotantosuunnitelmia voidaan joutua vielä hienosäätämään, ennen kuin ne päätyvät tuotannon toteumaan. Ennusteet tehdään Ympäristökeskuksen sääennusteiden mukaan. (12.)

Ennusteessa hahmotellaan satavan veden määrää ja sitä, kuinka se vaikuttaa tarkasteltavan vesistön alueella pintoja nostavasti. Tuotantosuunnitelmaa tehtäessä tulee huomioida kaudet. Sadekautena tai keväisin, kun lumet sulaa, voi vesistön pinnan korkeus kasvaa nopeasti. Lumen sulamisen vesimäärään vaikuttaa eniten lumen kosteusprosentti, eli se määrää veden muodostumisen sulamisessa. Tuotantosuunnitelma tehdään voimaloihin yksilöittäin, sillä voimaloissa on erikokoisia turbiineja ja luonnonmukaisia säännöstelyaltaita. (12.)

Säännöstelyaltaiden puuttuessa veden juoksutus voimalan läpi on yksilökoh- taista. Rakennettuja säännöstelyaltaita pienvesivoimassa ei usein ole käytössä, ja tästä johtuen voimaloita pitää joskus seisottaa, kun voimaloihin virtaavan tulovirran pinnankorkeus alkaa laskemaan lupaehtojen rajan lähetyville. Tuotantosuunnitelma ei saa poiketa yli lupaehtojen, eli valvomon tulee valvoa, että vesistön pinnankorkeus pysyy sallittujen ehtojen sisällä. Lupaehtojen laiminlyömisestä syntyvät sanktiot ovat merkittävät. (12.)

Valvomosta tapahtuva voimalan ohjaus voi olla yksinkertaisimmillaan turbiinin käynnistämistä tai sulkemista. Voimalan käyttöasteen määrää karkeasti tulovir- taama, joka määräytyy ylaveden korkeuden ja voimalan lupaehtojen mukaan. Pienvesivoimalan käyttöasteeseen voi vaikuttaa myös laitteiston ikä ja kunto, jotka pakottavat ajamaan voimalaa välillä osateholla. Pienvesivoimalaitokset, joi- den kokoluokka on yli 0,5 MW, veloitetaan välittämään tuotannon sähkösuureet verkkoyhtiölle. Tästä toiminnosta vastaa valvomossa työskentelevä operaattori. (12.)

4.3 Pienvesivoimalan toiminta vikatilanteessa

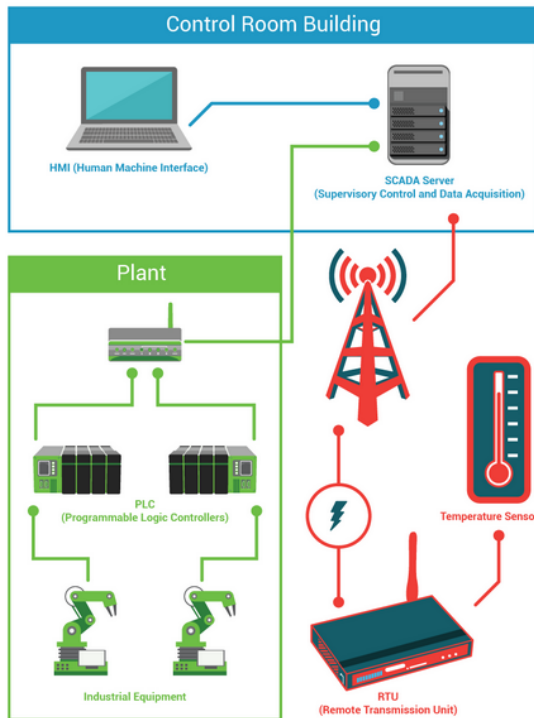
Pienvesivoimala on suunniteltu toimimaan siten, että se irrottautuu jakeluverkosta automaattisesti havaitessaan vakavan vian. Voimalan suojaus on toteutettu suojareleellä, joka tarkkailee tuotettua ja verkossa olevaa sähkönlaatua. Sähkönlaadun ollessa heikko voimala irrottautuu verkosta. Muita mahdollisia verkosta irrottavia vikoja ovat sähkökatko jakeluverkossa, maasulku, oikosulku tai jokin vääristynyt tahdistuksen arvo. Mekaaniset viat koneessa irrottavat laitoksen jakeluverkosta vain, jos vika on niin vakava, että se sammuttaa itse turbiinin. Turbiinin sammuttamisen jälkeinen jälleenkytkentä vaatii, että generaattori tahdistetaan tahdistuslaitteistolla jakeluverkkoon sopivaksi. (12.)

Vikatilanteen jälkeinen jälleenkytkentä voidaan toteuttaa, kun voimalan tila on palautunut normaaliksi. Voimalan ollessa jännitteellisenä ja kunnossa voidaan voimala käynnistää etäkäyttönä valvomosta, jolloin paikalla käyntiä itse voimalalla ei vaadita. Mikäli tilanne on normalisoitunut, jälleenkytkentään ei välttämättä tarvita edes verkonhaltijan lupaa vikatilanteen jälkeen. Jos voimala on pysähtynyt esimerkiksi myrskyn aiheuttaman häiriön takia, annetaan sen rauhassa olla pysähdyksissä, tarvittaessa pitkäänkin, jotta huonot sääolosuhteet menevät ohitse. Tarpeeksi pitkä odotus on tarpeellista, että saavutetaan riittävän hyvät edellytykset voimalan käynnistämiseksi ja tuotannossa pysymiseksi. On tärkeää antaa huonojen sääolosuhteiden mennä ohitse, sillä jatkuva käynnistäminen rasittaa voimalan koneistoa tarpeettoman paljon. Jos voimalan tila ei palaudu odottelusta huolimatta ennalleen tai vika on edelleen päällä, täytyy huoltohenkilöstön käydä paikan päällä korjaamassa vika tai toteamassa vian laajuus. Vikatilanteen ollessa päällä ei voimalaa saa käynnistää etänä. (12.)

4.4 Valvonnassa käytetty SCADA-järjestelmä

SCADA-järjestelmä (Supervisory Control And Data Acquisition) valvoo, ohjaa ja optimoi voimalan tuotantoa sekä sähkön siirtoa. Tärkeässä osassa järjestelmässä ovat RTU:t (Remote Terminal Units) sekä PLC:t (Programmable Logic

Controller), jotka keräävät tietoa automaattisesti järjestelmästä (kuva 14). Kerätävä tieto koostuu antureiden tiedoista, mittauksista, tuotantossa olevien laitteistojen tilatiedoista sekä kertyneistä lokitiedoista, jotka laitteet lähettävät SCADA-järjestelmälle. (18, s. 154.)



KUVA 14. SCADAn toiminta yksinkertaistetusti (19)

SCADA-järjestelmä on käytössä laajalti teollisuudessa ja energiantuotannossa. SCADAn etuihin kuuluu se, että valvova operaattori pystyy havaitsemaan nopeasti tuotannossa ilmenevän vian ja ottamaan HMI:n (Human Machine Interface) avulla etäyhteyden itse voimalaan. HMI:n kautta valvoja pääsee tutkimaan vian aiheuttajaa sekä mahdollisesti syntyneitä vaurioita. Nähdessään vian aiheuttajan tai vaurion valvoja voi tarvittaessa hälyttää huoltohenkilöstöä paikan päälle, mikä myös nopeuttaa huoltohenkilöstön toimintaa ja pienentää tuotannonmenetyksiä. (20.)

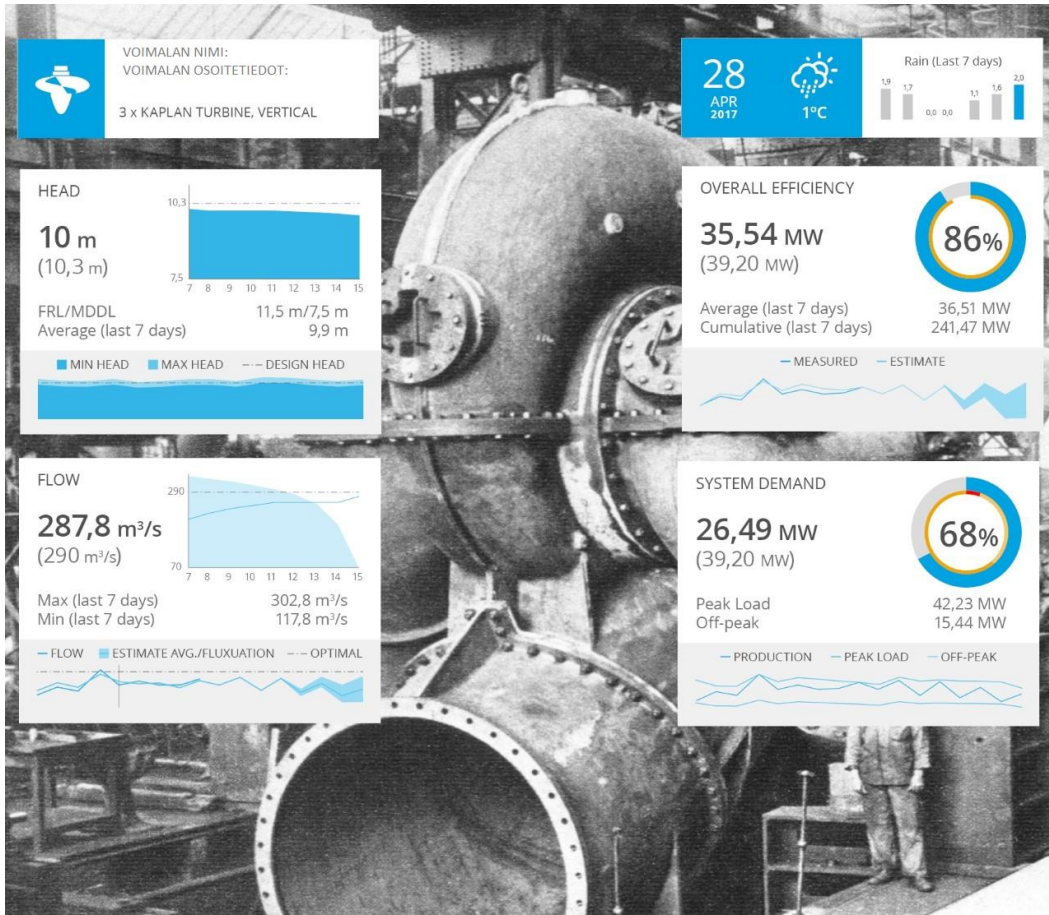
5 SCADA-JÄRJESTELMÄN ASIAKASNÄKYMÄ

SCADA-järjestelmän asiakasnäkymä on yleensä informatiivisesti suppeampi voimalan tietojen suhteen, kuin näkymä mikä välittyy valvomoon operaattorille nähtäväksi. Haastattelutulosten perusteella asiakasnäkymän tulisi sisältää tietoja voimalan pääsuureista, joihin kuuluvat sähkösuureet, magnetointi ja loistehot (12).

Asiakasnäkymässä tulisi ilmetä lämpötilatietoja voimalan eri osista. Voimalan osat, joista lämpötilatieto välitetään näkymään, ovat staattorin käämitykset, voimalan sisä- ja ulkolämpötila sekä apujärjestelmässä olevat erinäiset lämpötilat ja jäähydykset tiedot. Muita SCADAn asiakasnäkymään sisällytettäviä tietoja ovat vesipintojen näkymä, eli mitatut pinnankorkeudet näytetään sekä yläpuolelta että alapuolelta voimalan vesistöä. SCADAn välityksellä asiakkaalle välittyy myös tietoja voimalan toimintahistoriasta ja käyntitiedoista, ja tämän vuoksi asiakasnäkymässä tulisi olla nähtävissä myös käy-/seis-tietoja. Muita välitettäviä tietoja olisi lokitiedot ja hälytyslistat, joiden aikaleimalla voimalan toiminnan ja historian tutkiminen helpottuisi jälkikäteen.

Haastatteluissa kävi ilmi, että SCADA-järjestelmän asiakasnäkymään toivottiin pieniä uudistuksia ja muutoksia verrattuna nykyiseen järjestelmään (12). Toivotut muutokset tulisivat olemaan osittain visuaalisia, ja osa muutoksista tulisi käsittelemään reaaliaikaista taseseurantaa sekä vesivoimalla suunnitellun ja toteutuneen voimantuotannon seurantaa.

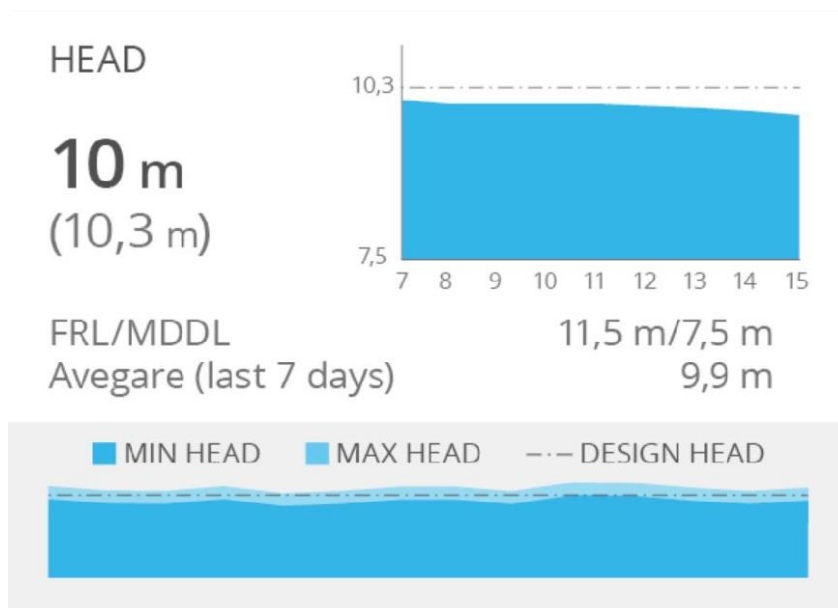
Haastattelujen perusteella toteutettiin hahmotelma, joka voisi olla mahdollinen pääsivu SCADA-järjestelmän asiakasnäkymästä (kuva 15). Asiakasnäkymässä voimalan perustiedot näkyvät kuvan 15 vasemmassa ylälaudassa.



KUVA 15. SCADAn asiakasnäkymä

5.1 Head-ikkuna

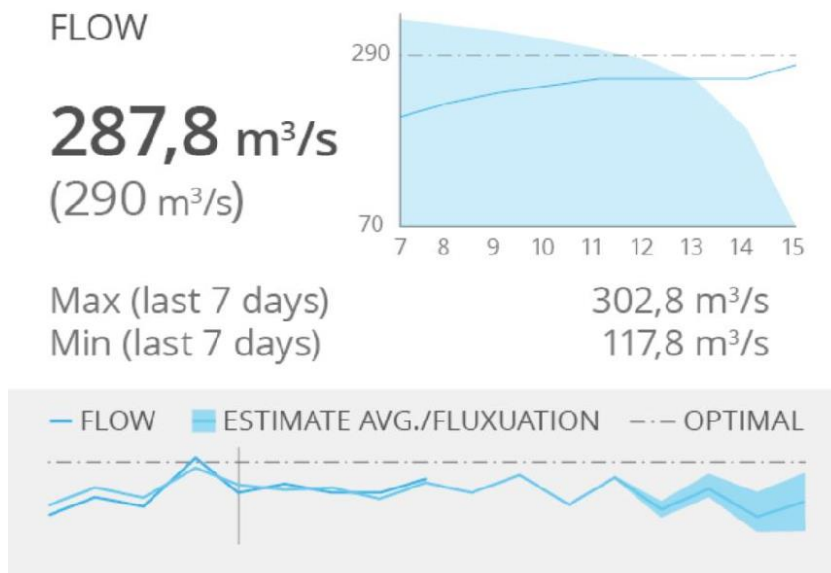
Head-kohta kuvastaa putouskorkeutta, eli siinä näkyy tämänhetkisenä korkeutena 10 m. Ikkunassa näkyvä 10,3 m kuvastaa suunniteltua korkeutta. (Kuva 16.) FRL (Full Reservoir Level) näyttää maksimi putouskorkeutta, kun taas MDDL (Minimum Draw Down Level) pienintä korkeutta. Head-kohdasta näkee myös viikon keskiarvon putouskorkeudesta ja katkoviivoin näkyy ennustearvoja tulevasta putouskorkeudesta, eli laskelma ottaa huomioon tulevat sade-ennusteet ja sen, kuinka paljon vettä sataa kyseiseen vesistöön.



KUVA 16. Head-ikkuna

5.2 Flow-ikkuna

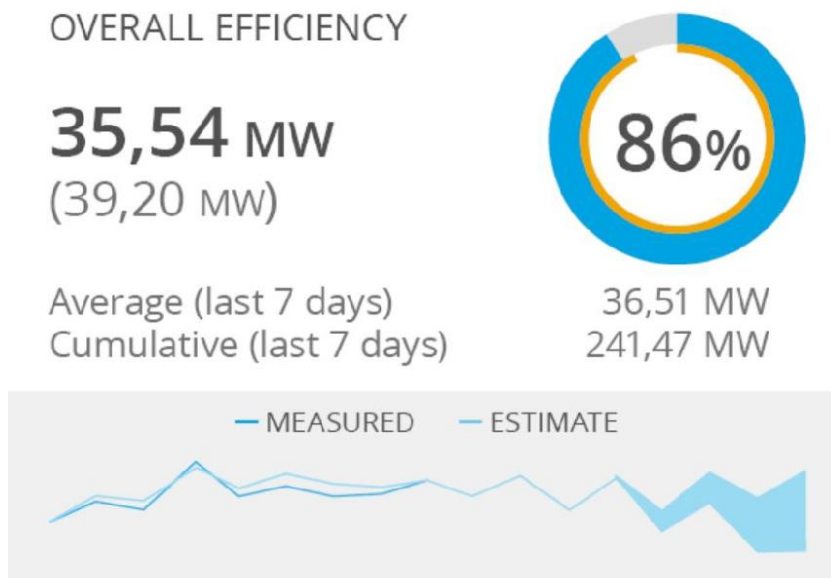
Flow-kohta kuvastaa voimalan lävitse virtaavaa vettä. Tällä hetkellä virtaama on $287,8 \text{ m}^3/\text{s}$, kun optimaalinen olisi $290 \text{ m}^3/\text{s}$ (kuva 17). Ylemmässä käyrässä näkyy kellonajan mukainen virtaaman pysyvyyssäikä ja alemmassa näkyy viikon aikana virtaamien hetkellisiä arvoja ja keskiarvoja. Min ja Max kuvastavat viikon aikana olleita pienimpiä ja suurimpia virtaamia. Asiakasnäkyvän oikeassa yläkulmassa näkyy päivämäärä, tämänhetkinen sääennuste sekä viikon aikana sa-
tanut sademäärä millimetreinä.



KUVA 17. Flow-ikkuna

5.3 Overall efficiency -ikkuna

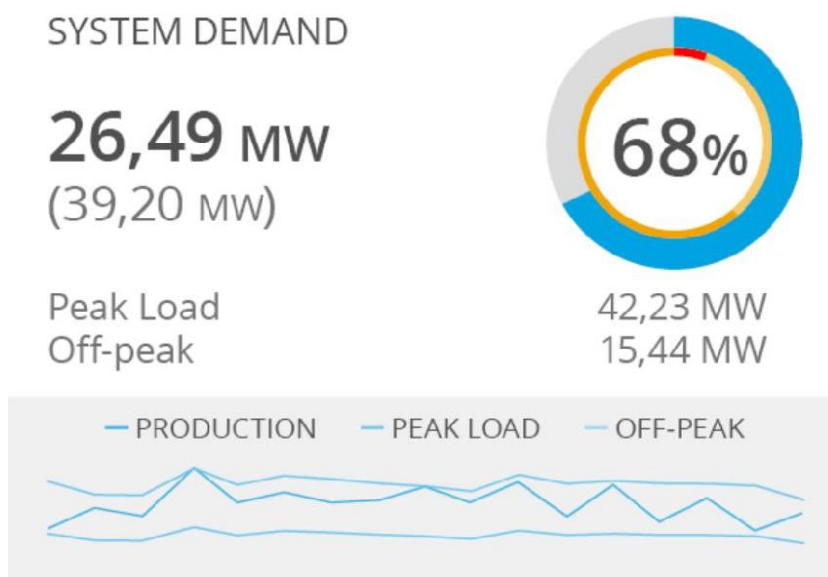
Overall efficiency -kohta kuvastaa turbiinin tuottamaa kokonaishyötysuhdetta ja sen viikon historia tietoja ja keskiarvoja (kuva 18). 35,54 MW:n arvo kuvaa ajanhetkellä olevaa tuotantoa ja 39,20 MW turbiinin täyttä tehoa. Laatikossa on myös viikon keskiarvoa sekä kumulatiivista tehoa kuvaavat laskelmat eli viikon aikana kertyneet tehot. Pyöreä kuvaaja näyttää visuaalisesti sinisellä tämänhetkisen tuotannon ja oranssilla maksimituotannon sekä prosentteina tämänhetkisen tuotannon osan maksimista.



KUVA 18. Overall efficiency -ikkuna

5.4 System demand -ikkuna

System demand -kohta kuvastaa ikään kuin seuraavaksi tulevaa tilannetta, eli se ilmaisee tehoa, jota turbiinilta pyydetään (kuva 19). Tässä tapauksessa turbiinilta pyydetään 26,46 MW, kun täysi teho on 39,20 MW. Koko osion tarkoitus on kuvastaa kulutushuippuja koskevia tehopyyntöjä. Peak load -kohdassa näkyy historiatietoina suurin tuotettu teho vastaamaan kysyntää, joka on suurempi kuin voimalan nimellisteho, eli tässä kuvassa 42,23 MW. Off-peak taas näyttää ikään kuin pienimmän tuotannon, mitä voimala on tuottanut, eli 15,44 MW. Kaikki edelliset arvot on koottu vieressä olevaan ympyrään siten, että täysi kehä kuvastaa nimellistehoa, josta tämän hetkinen pyyntö on 68 % ja se näkyy sinisenä kehällä. Off-peak näkyy haalean oranssina ja Peak load oranssina, josta yli 100 % näkyy punaisena. Tässä tapauksessa yli menevä osuus on 8 %.



KUVA 19. System demand -ikkuna

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli parantaa Wind Controller Oy:n tietämystä pienvesivoimalan valvonnasta ja toiminnasta sekä selvittää voimalan mitattavia ja ohjattavia arvoja. Työn pohjalta saatujen tietojen perusteella tavoitteena oli tuottaa hahmotelma työn toimeksiantajalle SCADA-järjestelmän asiakasnäkymästä.

Työssä onnistuttiin keräämään yritykselle tietoa pienvesivoimalan toiminnasta sekä sen valvonnasta ja valvontaan liittyvistä asioista. SCADA-järjestelmän asiakasnäkymästä tuli havainnollistava, ja näytössä ilmenevä ennusteominaisuus on uusi ja toivottu ominaisuus, sillä asiakkaan toiveena oli nimenomaan, että voitaisiin tutkia suunniteltua ja toteutunutta energiantuotantoa.

Pienvesivoimaloiden toimintaan liittyviä kysymyksiä ja SCADAn asiakasnäkymän vaatimuksia ja toiveita selvitettiin haastattelemalla Koskienergian toimitusjohtaja Hannu Ruotsalaista. SCADA-järjestelmän asiakasnäkymän visuaalisesta toteutuksesta kanssani vastasi yhteistyössä oululainen mainostoimisto Funky Monkey. Funky Monkey toteutti annetuista tiedoista materiaalin, jota vielä muotoiltiin työhön sopivaksi.

Työssä oli tarkoitus esittää kysymyksiä useammalle taholle, mutta oikeiden henkilöiden tavoittaminen osoittautui haastavaksi ja tavoitettujen henkilöiden vastausajat venyivät niin, etteivät ne ehtineet tähän työhön.

Tulevaisuudessa lisätiedon kerääminen pienvesivoimaloista voisi tapahtua eri tahoja hyödyntäen. SCADA-järjestelmän asiakasnäkymää voisi kehittää lisää siten että lisävälilehdille tulisi tietoa voimalan lämpötiloista, historiatiedoista ja vikaloikeista.

LÄHTEET

1. Liikevaihdon kehitys Wind Controller Oy. Finder. Saatavissa: <https://www.finder.fi/Sähkökonekorjaamoja/Wind+Controller+JV+Oy/Oulu/yhteystiedot/2720828>. Hakupäivä 9.4.2017.
2. Yritys. Wind Controller Oy. Saatavissa: <http://www.windcontroller.fi/fi/yritys>. Hakupäivä 11.4.2017.
3. Palvelut. Wind Controller Oy. Saatavissa: <http://www.windcontroller.fi/fi/palvelut>. Hakupäivä 11.4.2017.
4. Vesivoimateknologiaa. Motiva Oy. Saatavissa: https://www.motiva.fi/etusivu_2010/toimialueet/uusiutuva_energia/vesivoima/vesivoimateknologia. Hakupäivä 23.3.2017.
5. Kissakosken pienvesivoimalaitos. ÅF-Consult Oy. Saatavissa: <http://www.vesirakentaja.fi/kuvat/voimalaitokset/Kissakoski/3.jpg>. Hakupäivä 23.4.2017.
6. Pienvesivoima. Motiva Oy. Saatavissa: https://www.motiva.fi/etusivu_2010/toimialueet/uusiutuva_energia/vesivoima/pienvesivoima. Hakupäivä 23.3.2017.
7. Layman's guidebook on how to develop a small hydro site. European Small hydropower Association (ESHA). Saatavissa: http://www.seai.ie/Renewables/Hydro_Energy/EU_layman%27s_guide_to_small_hydro.pdf. Hakupäivä 23.3.2017.
8. Pienvesivoimaopas. Pienvesivoimayhdistys Ry. Saatavissa: <http://pienvesivoimayhdistys.com/wp-content/uploads/2014/05/Pienvesivoimaopas.pdf>. Hakupäivä 14.2.2017.
9. Vesivoiman Historiaa. Kemijoki Oy. Saatavissa: <https://www.kemijoki.fi/vesivoima/vesivoiman-historiaa.html>. Hakupäivä 14.2.2017.

10. Pienvesivoima-esite. Pienvesivoimayhdistys Ry. Saatavissa: http://pienvesivoimayhdistys.com/wp-content/uploads/2014/05/PVV_ESITE.pdf. Hakupäivä 17.2.2017.
11. Huhtinen, Markku – Korhonen, Risto – Pimilä, Tuomo – Urpalainen, Samu 2001. Voimalaitostekniikka. Tampere: Juvenes Print.
12. Ruotsalainen, Hannu 2017. Toimitusjohtaja, Koskienergia. Haastattelu 21.2.2017.
13. Cavitation-analysis. gCaptain. Saatavissa: <http://gcaptain.com/propeller-cavitation-analysis/>. Hakupäivä 23.4.2017.
14. Kaplan turbine. Tschurtschenthaler turbinebau. Saatavissa: [http://www.turbinenbau-sekten.it/en/kaplan-turbine-2.html#!lightbox\[tm\]/0/](http://www.turbinenbau-sekten.it/en/kaplan-turbine-2.html#!lightbox[tm]/0/). Hakupäivä 9.4.2017.
15. Francis-turbine. OMOS s.r.o. Saatavissa: http://www.omos.cz/_en/news/detail/francis-turbine-model.htm. Hakupäivä 22.3.2017.
16. Pelton-turbine. Hydrolink Ltd. Saatavissa: <http://www.hydrolink.cz/pri-lohy/4/DSC00028.JPG>. Hakupäivä 22.3.2017.
17. 800xA control room. ABB Ltd. Saatavissa: [http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/b05ab532d3093c23c1257eab001e44fb/\\$file/800xA+Control+Room_i1080px.jpg](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/b05ab532d3093c23c1257eab001e44fb/$file/800xA+Control+Room_i1080px.jpg). Hakupäivä 9.4.2017.
18. Arghira, Nicoleta – Hossu, Daniela – Fagarasan, Ioana – Iliescu, Sergiu Stelian 2011. Modern scada philosophy in power system operation – a survey. Saatavissa: https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/full87719.pdf. Hakupäivä 26.3.2017.
19. An introduction to scada system. EETech Media, LLC. Saatavissa: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/an-introduction-to-scada-systems/>. Hakupäivä 9.4.2017.
20. What is SCADA. Inductive automation. Saatavissa: <https://inductiveautomation.com/what-is-scada>. Hakupäivä 2.4.2017.

Koskienergia/ Toimitusjohtaja Hannu Ruotsalainen

1. Saako haastateltavan nimen julkaista opinnäytetyön yhteydessä vai rajataanko niin että henkilön tunnistamattomuus säilyy?
2. Kuinka monta voimalaa yrityksellä on valvonnan alaisuudessa, missä päin ne sijaitsevat?
3. Mikä on voimaloiden vuosittain tuottama energiamäärä?
4. Kuinka paljon mitattavia ja ohjattavia suureita vesivoimalassa on keskiverrosta? Mitä suureet ovat?
5. Mitä suureita voimalan valvonnassa mitataan ja miten ne vaikuttavat ohjauksiin?
6. Millä tavalla voimaloita ajetaan, kun kyseessä on lumensulamis, jäähyhde tai sadekausi?
7. Mikä määrää voimalan käyttöasteen?
8. Missä eri tilanteissa suojauksen tulee irroittaa voimalan sähköntuotanto verkosta?
9. Mitkä ovat suojauksen kannalta voimalan verkkoon tapahtuvan jälleenkytkennän reunaehdot?
10. Mitä tietoja voimalasta on asiakkaalle näkyvässä SCADA:ssa pakko olla?
11. Millaista kehitystä SCADA:n asiakkaan näkymään toivotaan, eli mitä tietoja asiakas toivoisi näkevänsä voimalansa tiloista ja tuotannoista?