

Markus Nissilä

ARRAKOSKEN VESIVOIMALAN MODERNISOINTISUUNNITTELU

Opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka

2020



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Markus Nissilä	Insinööri (AMK)	Tammikuu 2020
Opinnäytetyön nimi Arrakosken vesivoimalaitoksen modernisointisuunnittelu		70 sivua 2 liitesivua
Toimeksiantaja Kuljetinsähkö Tampere Oy		
Ohjaaja Juha Korpijärvi		
Tiivistelmä <p>Tämän työn tarkoituksena oli kartoittaa Arrakosken vesivoimalaitoksen tämänhetkinen tila ja suunnitella uudistukset luotettavan käytön takaamiseksi. Työ tehtiin Virolan puutarhalle.</p> <p>Työssä käytettiin laajasti olemassa olevaa tutkimustietoa vesivoimasta. Laitoksen luonteen vuoksi suoraan soveltuvaa kirjallisuutta on olemassa vähän, ja työ perustuu osin muun aineiston soveltamiseen ja havaintoihin. Työn yhtenä osa-alueena oli laskea suurempien uudistusten kannattavuutta tutustumalla nykyisiin laitteisiin ja selvittämällä, millaisia kustannuksia ne tuottavat verrattuna uusiin vastaaviin.</p> <p>Työn tärkeimpänä tuloksena saatiin kattava tieto laitoksen tilasta ja tarvittavista toimenpiteistä. Laitoksen sähköiset laitteet todettiin suurelta osin eliniän ylittäneiksi ja uusimista vaativiksi. Lisäksi työn tuloksena tehtiin monia laitevalintoja. Työn perusteella voitiin myös todeta minivesivoiman merkitys energiatuotannossa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin myös joitakin kehitysehdotuksia jatkokehitykseen. Muuntajan uusinta todettiin kriittiseksi nopealla aikataululla. Myös turbiinin säätölaitteiston kunnostus tai uusiminen tuotiin esille.</p>		
Asiasanat Vesivoimalaitos, modernisointi, suunnittelu		

Author (authors)	Degree	Time
Markus Nissilä	Bachelor of Engineering	January 2020
Thesis title		
Arrakoski hydropower plant modernization plan		70 pages 2 pages of appendices
Commissioned by		
Kuljetinsähkö Tampere Oy		
Supervisor		
Juha Korpijärvi		
Abstract		
<p>The purpose of this thesis was to study the current status and conditions of the Arrakoski hydroelectric power plant and plan the modernization to ensure reliable operation of the plant. This thesis was commissioned by Virolan Garden.</p> <p>One of main part of this thesis was to calculate the profitability of major renewals. This was performed by becoming acquainted with the present devices and by clarifying what kind of costs they produce compared with new ones.</p> <p>The main result of the thesis was comprehensive state of the plant current state and necessary proposal for action. The electric devices of the plant in many respects exceeded the lifetime and required renewing. Also many device choices were made as a result of the thesis. It was also possible to find out the significance of the mini hydroelectric power plant in the production of the energy.</p> <p>Recommendations were also given for further developing. The renewal of the main transformer was found to be necessary with a quick schedule. Rebuilding or renewal of the control equipment of the turbine was found out be urgent.</p>		
Keywords		
Water power plant, modernization, plan		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	9
2	VESIVOIMAN TUOTANTO SUOMESSA	9
2.1	Vesivoimaloiden jaottelu	10
2.1.1	Jokivoimalaitokset.....	10
2.1.2	Säätövoimalaitokset	11
2.1.3	Pumppuvoimalaitokset.....	11
2.1.4	Vuorovesi- ja aaltovoimalaitokset.....	12
3	MINIVESIVOIMA	12
3.1	Voimalan tehon laskenta	13
3.2	Minivesivoiman merkitys.....	13
4	TYÖN LÄHTÖKOHDAT	15
5	ARRAKOSKEN VOIMALAN ESITTELY	16
5.1	Voimataloudellinen hyöty	18
5.2	Laitoksen rakenne	19
6	LAITOKSEN NYKYTILA	20
7	LAITOKSEN TAVOITETILA.....	21
8	UUDISTUSTEN LÄHTÖKOHDAT	21
9	HAASTEET UUDISTAMISESSA	23
9.1	Ylävesialue	23
9.2	Kalaporras	24
9.3	Muuntaja.....	24
9.4	Olemassa oleva dokumentointi.....	24
9.5	Johtopyörä ja säätäjä.....	25
9.6	Uudistusten keskinäiset suhteet	25
9.7	Elinkaari.....	25
10	TURVALLISUUSNÄKÖKOHDAT.....	26
11	KANNATTAVUUSLASKELMAT.....	29

11.1	Muuntaja.....	29
11.1.1	Uusi muuntamo.....	30
11.1.2	Vanhan muuntamon purku ja hävittäminen.....	30
11.1.3	Tarjoukset.....	31
11.1.4	Laskelmat	31
11.1.5	Laskelmien tulos	35
11.2	Toisen turbiinin ja generaattorin lisäys.....	35
11.2.1	Sähköinen toteutus	35
11.2.2	Mekaaninen toteutus.....	36
11.2.3	Laskelmat kannattavuudesta	36
11.2.4	Laskelmien tulos	38
12	UUDISTUKSET	38
12.1	Sähkö- ja automaattiosuunnittelu.....	39
12.2	20 kV laitteet	39
12.2.1	20 kV katkaisija ja erotin	40
12.2.2	20 kV virta- ja jännitemuuntajat.....	40
12.2.3	20 kV valvontareleistys	41
12.3	Keskus.....	42
12.4	Ohjauslogiikka	45
12.5	Valvontalogiikka.....	46
12.6	Generaattorin ohjaus ja suojaus	47
12.6.1	Generaattorin sähköinen suojaus	48
12.6.2	Generaattorin kierrosluku- ja ryömintävalvonta.....	48
12.6.3	Generaattorin muu suojaus.....	48
12.6.4	Magnetointi	49
12.6.5	Tahdistus	50
12.7	Katkaisija	50
12.8	Pääventtiili	51
12.9	Säätäjä	52

12.10	Hydrauliikka	53
12.10.1	Hydrauliöljypumput	54
12.10.2	Hydrauliöljyn lämmitys	55
12.11	Voitelujärjestelmä	55
12.11.1	Turbiinin ja generaattorin voitelu	55
12.11.2	Voiteluöljyn lämmitys	56
12.12	Muut laitteet ja kokonaisuudet	56
12.12.1	Tietoliikenneverkko	56
12.12.2	Käyttöpääte ja käyttökytkimet	57
12.12.3	Akustot ja niiden tilan seuranta	57
12.12.4	Johtopyörän lukitus ja akselijarru	58
12.13	Värähtelyanturointi	59
12.14	Välppähäviö ja suppo	59
13	LAITEVALINTOJA	60
13.1	Generaattorin ohjaus ja suojaus	61
13.2	20 kV suojaus	61
13.3	Käyttöpääte	61
13.4	Valvontalogiikka	62
13.5	Pääventtiilin ohjaus	63
14	TOTEUTUS	63
14.1	Sähkösuunnittelu	63
14.2	Automaatiosuunnittelu ja ohjelmointi	64
14.3	Asennukset ja käyttöön otto	64
14.4	Dokumentointi	64
15	TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA	65
16	YHTEENVETO	66
	LÄHTEET	68

Liite 1. Tarjouspyyntö muuntamosta

Liite 2. Ethernet-verkon layout

KUVALUETTELO

Kuva 1. Esimerkki jokivoimalaitoksesta (Oy Vesirakentaja)	11
Kuva 2. Arrakosken vanhoja virtaamalukemia	17
Kuva 3. Arrakosken laitoksen generaattori ja turbiini	18
Kuva 4. Pikasulun ohjaus.....	22
Kuva 5. Muuntajan kannattavuuslaskennan lähtötietoja	32
Kuva 6. Muuntajien kustannusvertailua	32
Kuva 7. Perustietojen syöttö	33
Kuva 8. Lähtötietojen syöttö muuntajavertailuun	33
Kuva 9. Esimerkkilaskelma vuosikustannuksista	34
Kuva 10. Muuntajien aiheuttamien kulujen vertailu 30 vuoden aikajaksolla.....	34
Kuva 11. Generaattorin kannattavuuslaskennan lähtöarvoja.....	36
Kuva 12. Generaattorimuutoksen kannattavuuslaskennan lähtöarvoja	37
Kuva 13. Generaattorimuutoksen tuotto- ja kululaskennan tuloksia	37
Kuva 14. Graafinen tuottovertailu 1. ja 2. generaattorin mallista.....	38
Kuva 15. Vanhat 20 kV ylijännite- ja maasulkureleet	41
Kuva 16 .Valittu uusi suojarele (Arqtec 2019).....	41
Kuva 17. Laitoksen keskus	43
Kuva 18. Vanhaa releistystä. Kuvassa vasemmalla alhaalla vanha tahdistin.	44
Kuva 19. Keskuksen vanhaa johdotusta.....	45
Kuva 20. Vanha jännitteen säätäjä	47

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on Arrakosken vesivoimalan modernisointi. Arrakoski on vuonna 1965 valmistunut minivesivoimala, joka on myöhemmässä vaiheessa siirtynyt yksityiseen omistukseen. Voimalan vanha sähköisen ohjauslaitteiston epäluotettava toiminta ja ympäristöluvan edellyttämä kalapor-taan rakentaminen loivat tarpeen uusia kattavasti laitoksen sähköistystä.

Työn teetti Kuljetinsähkö Tampere Oy ja loppuasiakas oli Virolan puutarha. Puutarha kasvattaa erilaisia salaatteja ja yrttejä ja on niiden tuotannossa pa-nostanut uusiutuvan energian käyttöön. Puutarhan omistuksessa on kaksi ve-sivoimalaitosta, joista työssä käsitellään toista.

Työn tavoitteena on antaa teoriapohja voimalan sähköistyksen ja automaation sekä niihin olennaisesti liittyvien osien uudistamiseen. Lisäksi työn puitteissa tehdään useita laitevalintoja. Opinnäytetyössä käsitellään myös lyhyesti vesi-voiman tuotantoa Suomessa.

2 VESIVOIMAN TUOTANTO SUOMESSA

Suomen ensimmäinen sähköä tuottava vesivoimalaitos valmistui Tampereelle, Tammerkoskeen, vuonna 1891. Laitoksen teho oli 240 kilowattia (kW). Pohjois-sessakin päästiin käyttämään vesivoimalla tuotettua sähköä vuonna 1898, jol-loin Oulujoen suuhun valmistui 6,5 kW tehoinen vesivoimalaitos. (Kemijoki s.a.)

Vesivoima on Suomessa merkittävin uusiutuvan sähköntuotannon muoto. Ve-sivoimalla on myös säätöominaisuutensa vuoksi erityinen asema sähkönjake-lun käyttövarmuuden varmistamisessa. (Energiateollisuus s.a.) Vesivoiman osuus Suomen koko energiantuotannosta oli noin neljä prosenttia vuonna 2016. Sähköntuotannossa vesivoiman osuus on vaihdellut viime vuosina 12 - 16 prosentin välillä vesivuodesta riippuen.

Suomessa on vesivoimalaitoksia noin 250 kpl, ja Suomen koko vesivoimakapa-siteetti on noin 3 190 MW. Suomen vesivoiman vuosituotannon tavoite vuo-teen 2020 mennessä on 14 000 GWh. (Motiva s.a.)

Vesivoima jaetaan Suomessa suur-, pien- ja minivesivoimaan voimalan nimellistehon perusteella. Suurvesivoimalla tarkoitetaan nimellisteholtaan yli 10 MW:n, pienvesivoimalla 1-10 MW:n ja minivesivoimalla alle 1 MW:n tehoista vesivoimaa. (Energiateollisuus s.a.)

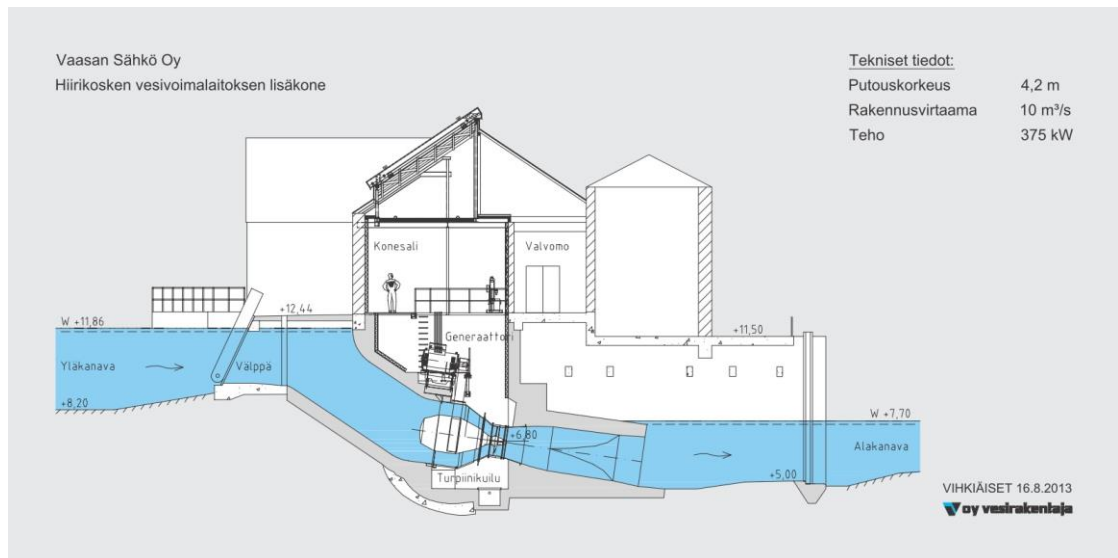
Putouskorkeudeltaan suurin laitos Suomessa Jumisko lissä. Jumiskon putouskorkeus on 96 metriä. Laitos on louhittu kokonaisuudessaan kallioon ja vesireitillä on yhteensä 7,5 km tunneleita. Laitos on siten ainoalaatuinen Suomessa. (Pohjolan Voima Oy 2017.)

2.1 Vesivoimaloiden jaottelu

Vesivoimalat voidaan jaotella säännöstely- ja rakennetyypin, putouskorkeuden ja koneiston asennustavan mukaan. Yleinen tapa jaotteluun on neljän perustopologian mukainen. Laitokset voidaan jakaa myös esimerkiksi koneistotyyppin mukaisesti, mutta tässä käsitellään seuraavassa kuitenkin ainoastaan neljä perustopologiaa. (Iha s.a.)

2.1.1 Jokivoimalaitokset

Jokilaitokset rakennetaan jokiin, ja niillä tuotetaan perusenergiaa. Pienestä vesivarastokapasiteetista johtuen ne soveltuvat ainoastaan lyhytaikaiseen säätökäyttöön. Jokilaitoksien putouskorkeudet voivat lisäksi olla pieniä. Jokivoimalaitokset ovat tyypillisiä Suomessa. Laitoksia voi myös olla lyhyelläkin joki-
osuudella useita. Tyypillinen jokivoimalaitos on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Esimerkki jokivoimalaitoksesta (Oy Vesirakentaja)

2.1.2 Säännöstelyvoimalaitokset

Säännöstelylaitokset rakennetaan järvien yhteyteen, tai niille toteutetaan tekojärviä. Nopean käynnistyksen ja sammutuksen vuoksi laitokset sopivat hyvin säätövoiman tuotantoon. Suuren vesivarannon ansiosta laitoksia voidaan kuitenkin ajaa pitkiäkin yhtäjaksoisia aikoja.

2.1.3 Pumppuvoimalaitokset

Pumppuvoimalan periaate on säännöstelyvoimalan kaltainen. Voimalat ovat lisäksi varustettuja pumppaamoilla, joilla ylävesialtaita voidaan täyttää energian hinnan ollessa matala. Laitosten putouskorkeudet voivat olla suuria, mikä vähentää tarvittavan vesivarannon suuruutta.

Laitostyyppiä ei toistaiseksi ole käytössä Suomessa. Pyhäsalmen suljetun kaivoksen yhtenä jatkokäyttökohteena on kuitenkin toteutumassa pumppuvoimala (Laatikainen 2019a). Myös Båtskäriissä sijaitseva Nyhamnsgruvanin rautakaivos on noussut voimalasuunnittelussa esiin (Laatikainen 2019b).

2.1.4 Vuorovesi- ja aaltovoimalaitokset

Vuorovesi on vähän käytetty mutta kasvava vuorovesiä hyödyntävä tuotantomuoto. Aaltovoima on merien aaltoja hyödyntävä kehityksen alla oleva laitos-tyyppi, eikä merkittäviä laitoksia ole vielä rakennettu. Laitostyyppejä ei ole Suomessa käytössä.

3 MINIVESIVOIMA

Minivesivoimalla tarkoitetaan alle 1 MW tehoisia voimaloita. Tällaisia voimaloita on Suomessa Motivan mukaan 67 kappaletta. Lukemasta puuttuvat pico-voimalat, joiden olemassaolosta ei ole virallista rekisteriä. Pico-voimaloihin lasketaan lähteestä riippuen alle 5 kW tai alle 10 kW kokoluokkaan kuuluvat voimalat.

Pienvesivoimayhdistyksen (2014) mukaan Suomen minivesivoimaloiden yhteen laskettu teho on 443 MW ja vuosituotanto 9660 TWh/a. Motivan (s.a.) mukaan jäljellä oleva potentiaali on 144 MW / 1 021 GWh/a. Kannattavia kohteita on Motivan mukaan 350 kappaletta.

Vuonna 2005 tehdyn selvityksen mukaan uusien minivesivoimaloiden rakentamisen kannattavuusrajana pidettiin 0,5 MW ja kunnostettavien 0,1 MW (KTM Dnro 58/804/2004). Kunnostamisrajan alhaisuus selittyy olemassa olevilla rakenteilla. Osa vanhoista voimaloista on poistettu käytöstä, mutta ne voidaan modernisoida taloudellisesti järkevillä kustannuksilla. Samoin käytössä olevien modernisoinnilla voidaan saavuttaa hyviä tuloksia. Myös vanhojen myllyjen ja vastaavien olemassa olevia rakenteita on mahdollisuus käyttää hyväksi ilman tarvetta rakentaa koko laitosta. Lisäksi Motiva (s.a) pitää laitosten käyttöaikaa pitkänä arvioiden sen 60 - 100 vuoden mittaiseksi. Uudisrakentamisen ja kunnostusten investoinnit voidaan siten kuolettaa pitkällä aikajänteellä.

Minivesivoiman rakentamiseen ja käyttöön liittyy monia luvanvaraisuuksia. Niihin on saatavilla valmiita ohjeita ja viranomaismääräyksiä, eikä niihin siten oteta tässä työssä kantaa.

3.1 Voimalan tehon laskenta

Voimalan todellisen tehon laskeminen edellyttää monien eri parametrien huomioimista ja käytettävien komponenttien tarkkaan tuntemista. Minivesivoiman kohdalla tällaiseen laskentaan ei aina ole mahdollisuuksia, joten tehon laskennan tulos ei tuota tarkkaa arvoa. Tästä riippumatta teho voidaan laskea riittäväällä tarkkuudella.

Vesivoimalan teho voidaan laskea kaavasta 1:

$$P = Q \times H \times \rho \times g \times \eta \quad (1)$$

Jossa:

P = teho (W)

Q = putouksessa virtaava vesimäärä (m³/s)

H = putouskorkeus (m)

ρ = veden tiheys (kg/m³)

g = putoamiskiihtyvyys (9,81 m/s²)

η = turbiinin hyötysuhde

Pienvesivoiman osalta teho voidaan Pienvesivoimayhdistyksen (2014) mukaan määritellä yksinkertaisemmalla kaavalla:

$$\text{TEHO (kW)} = \text{TEHOKERROIN} \times \text{VIRTAAMA (m}^3/\text{s)} \times \text{PUTOUSKORKEUS (m)}$$

Tehokerroin sisältää painovoimakentän parametrit, veden tilavuuspainon ja voimalaitoksen kokonaishyötysuhteen. Tehokerroin voi olla:

heikkokuntoisella vanhalla turbiinilla- ja generaattorilaitteistolla 5

- vanhantyyppisillä, mutta hyväkuntoisilla laitteilla 6
- nykyaikaisilla, mutta teknologiatasoltaan yksinkertaisilla laitteilla 6,5–7
- nykyaikaisilla ja korkeateknologisilla laitteilla 7,5–8.

3.2 Minivesivoiman merkitys

Minivesivoiman käytöllä on monia positiivisia merkityksiä, vaikka voimaloiden tuotanto vastaa vain pientä osaa koko Suomen sähkön tuotannosta. Vesivoimaa pidetään päästöttömänä voiman tuotantona ja fossiilisten polttoaineiden käyttöä rajoitettaessa vaihtoehtoisen energian tuotannon tarve kasvaa.

Minivesivoima aiheuttaa paikallista muutosta vesistöihin, mutta suuriin yksiköihin verrattuna muutokset ovat pieniä. Vesivoima on myös käytännössä äänetöntä ja näkymätöntä esimerkiksi tuulivoiman tuotantoon verrattuna. Vanhat, olemassa olevat rakenteet kuuluvat myös osin alueiden kulttuuriperintöön, jolloin rakenteiden säilyttämiseen on monia intressejä. Tällaisessa tilanteessa rakenteiden valjastaminen voiman tuotantoon on ympäristölle lähes näkymätöntä, mutta voi osaltaan varmistaa arvokkaiden rakenteiden ja rakennusten kunnossapitoa.

Pienelläkin vesivoimalalla on kyky vastata kulutushuippuihin ja reagoida nopea sähkön kysynnän vaihteluihin. Laitos voidaan käynnistää ja pysäyttää tarvittaessa muutamissa minuuteissa. Lisäksi sijainnista riippuen ylävesialue voi mahdollistaa suurenkin joustavuuden. Kulutushuippujen aikana energian hinta kohoaa merkittävästi erityisesti kovilla pakkaskausilla. Mikäli minivoimalaa voidaan vesivarannon rajallisuuden vuoksi käyttää ainoastaan rajallisesti, on luonnollista pyrkiä tuottamaan energiaa silloin, kun siitä maksettava korvaus on mahdollisimman korkea. Tästä johtuen voidaan pitää todennäköisenä minivoimaloiden omistajien varmistavan laitosten käytettävyyden huippujen tasajina.

Minivoimaloiden tuottama sähkö johdetaan monesti paikallisen verkkoyhtiön verkkoon. Varsinkin vanhoja voimaloita ja myllyjä on aikanaan rakennettu palvelemaan lähellä asuvia, joten sähkön kuluttaja on edelleen voimalan läheisyydessä. Sähkön tuotanto lähellä kuluttajaa vähentää siirtokustannuksia ja parantaa toimitusvarmuutta.

Minivoimaloilla on myös yhteiskunnallisia vaikutuksia. Reiterin (2012) mukaan yksi 1000 kW:n minivoimala tuottaa sähköä vuosittain noin 5 GWh/a, joka kattaa noin 800 suomalaisen pientalon sähköntarpeen lämmitysjärjestelmän ollessa muu kuin sähkö. Vastaavasti 100 kW minivoimala tuottaa sähköä noin 500 MWh/a eli keskimäärin 80 pientalon tarpeeseen. Energian myynnin verkotymä jää maan sisälle. Samoin laitoksen elinkaaren aikaiset suunnittelu- ja ylläpitotyöt kohdistuvat monin osin kotimaiseen työvoimaan.

Pienvesivoimayhdistyksen (2014) mukaan noin puolet Suomen pienvesivoimalaitoksista on yli 50 vuotta vanhoja ja vain noin 25 % laitoksista on alle 25

vuoden ikäisiä. Kunnostuksen ja parannusten tarvetta voidaan siten pitää merkittävänä. Voimaloiden ollessa erilaisia ei ole olemassa yhtä valmista ratkaisua modernisoinnin toteuttamiseen. Tämä luo mahdollisuuden paikallisen osaamisen lisääntymiselle ja uusille innovaatioille. Samalla edellä esitellyt yhteiskunnalliset vaikutukset lisääntyvät.

Minivesivoiman merkitystä voidaan arvioida myös poikkeustilanteisiin varautumisen pohjalta. Nykyisten määräysten pohjalta voimaloiden tulee irrota automaattisesti verkosta verkon häiriötapauksissa. Voimaloita ei myöskään välttämättä ole suunniteltu saarekekäytössä toimiviksi, koska tällaiseen ei normaalisti ole tarvetta. Pitkäaikaisessa poikkeustilanteessa verkkoyhtiöillä on yleensä mahdollisuus liittää ongelmista kärsivälle alueelle siirrettäviä dieselgeneraattoreita. Tällaisessa tilanteessa minivoimalan kannalta verkko toimii normaalisti eikä käynnistämiseksi ole estettä. Näin päästään tilanteeseen, jossa vesivoima tuottaa perusvoiman dieselin vastatessa kulutuksen muutoksiin.

Mikäli ennalta voidaan arvioida sota tai muu pitkäaikainen ja merkittävä poikkeustila, voidaan minivoimaloita muuttaa toimimaan itsenäisenä yksikkönä saarekekäytössä. Vaikka minivoimaloiden kapasiteetilla ei voida vastata kuin pieneen osaan normaalista energian tarpeesta, voitaisiin näin turvata yhteiskunnan toiminnan kannalta kriittisimpien paikallisen tason toimintojen jatkuvuus.

4 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

Työn tilasi Kuljetinsähkö Tampere Oy, ja työn kohteena oli Virolan puutarhan vuodesta 2001 lähtien omistama Arrakosken vesivoimala. Voimalan tuottama energia myydään sijainnista johtuen verkkoyhtiölle, mutta käytännössä puutarha käyttää itse tuottamaansa vihreää energiaa. Virolan puutarhan omistuksessa on myös Siuronkosken vesivoimala.

Voimala kärsi vanhan ohjausjärjestelmän ongelmista, ja omistaja halusi parantaa laitoksen luotettavuutta ja nykyaikaistaa toimintoja. Työhön oli tarkoitus sisällyttää nykytilan kartoitus ja uudistusten suunnittelu. Myös sähköistys oli tarkoitus suunnitella osin uudelleen työn puitteissa.

Laitoksen omistajalla oli myös aluehallintoviraston myöntämä lupa toisen koneiston asentamiseen voimalaan. Työn yhtenä osiona oli laskea tämän kannattavuutta.

Työtä aloittaessa oli tiedossa suunnitelmien toteutuminen osin tai kokonaisuutena myös käytännössä. Työn rajaamiseksi käytännön toteutus jätettiin kuitenkin osin tämän työn ulkopuolelle.

5 ARRAKOSKEN VOIMALAN ESITTELY

Arrakoski on Padasjoen Osoilan kylässä sijaitseva koski, joka laskee Miestämänjärvestä. Järven säännöstely on aloitettu alun perin Hämeen läänin kuvernöörin päätöksellä 24.1.1877. Asiasta on annettu Keisarillisen Suomen Senaatin Talousosaston päätös 23.1.1878, jossa on laillistettu varapato sekä meijerin ja sahan voimalaitospato. Hämeen läänin maaherra on päätöksellään 19.12.1934 nro 5602 myöntänyt Padasjoen Osuusmeijerille oikeuden käyttää Arrakosken vesilaitosta patoineen. (ISY-2007-Y-178 2008.)

Arrakosken nykyinen vesivoimalaitos on rakennettu vesistötoimikunnan väliaikaisen luvan 19.12.1961 nro 62/1961 perusteella ja otettu käyttöön kesällä 1965 (ESAVI/61/04.09/201 2012). Laitos on rakennettu ja aloittanut kyläyhteisön omistuksessa, mutta jo varhaisessa vaiheessa sähkön ja koko laitoksen myynnistä on käyty keskusteluja.

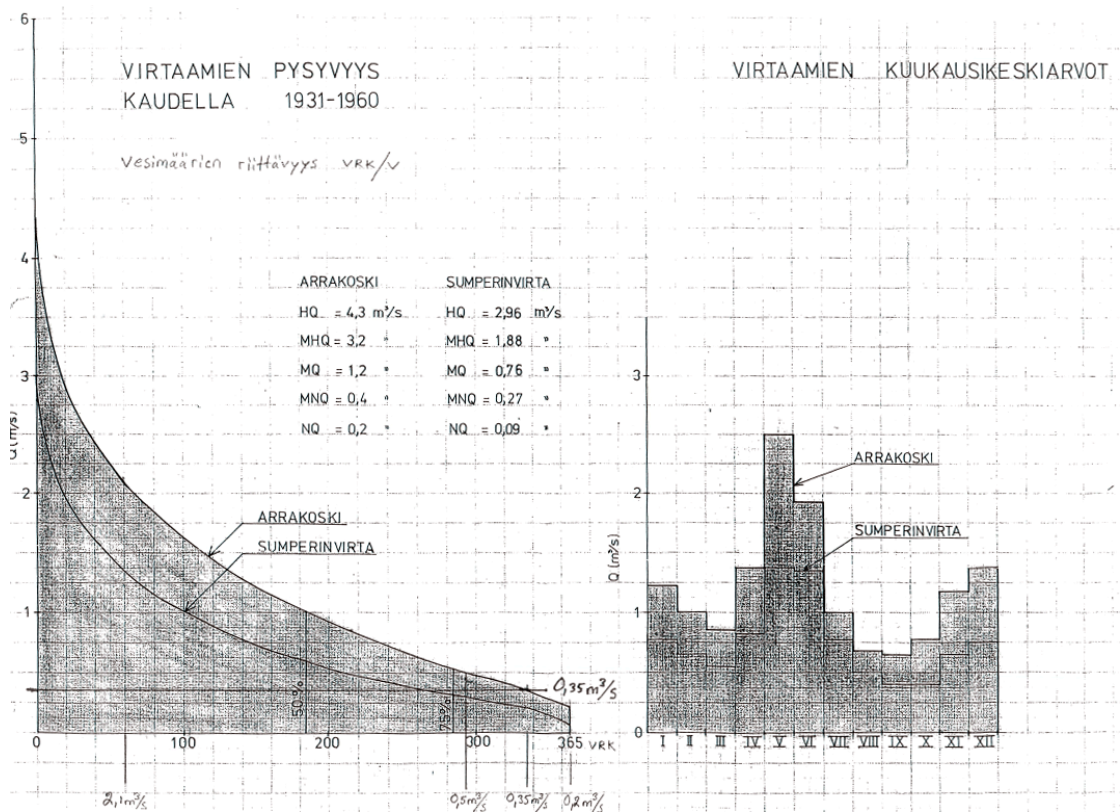
Arrakoski sijaitsee Miestämän Luusuassa. Kosken niskalla on säännöstelypato ja noin 120 m padon yläpuolelle ns. varapato, jolla uoma voidaan tarvittaessa sulkea. Voimalaitoksella ja säännöstelypadolla säännöstellään yläpuolista Miestämänjärveä välillä N43 +101,56–102,20 m. Merkintä N43 tarkoittaa Ilmatieteen laitoksen mukaan toisen Suomessa tehdyn tarkkuusvaaituksen tuloksia vuosilta 1935–1955. Vaaitus antaa meriveden referenssitason eli nollakohdan johon mitattua veden korkeutta verrataan. Luonnonuoma laskee laitoksen alakanavaan noin 70 m ennen Alajärveä, tien nro 24 (Lahti–Jyväskylä) länsipuolella.

Vesi johdetaan patojen väliin jäävästä lammesta 215 m pitkällä tuloputkella voimalaitokselle. Tuloputki on kaivettu maahan koko matkaltaan. Laitoksen

alapuolelle on kaivettu noin 180 m pitkä alakanava. Kanava johtaa alapuoliseen Alajärveen.

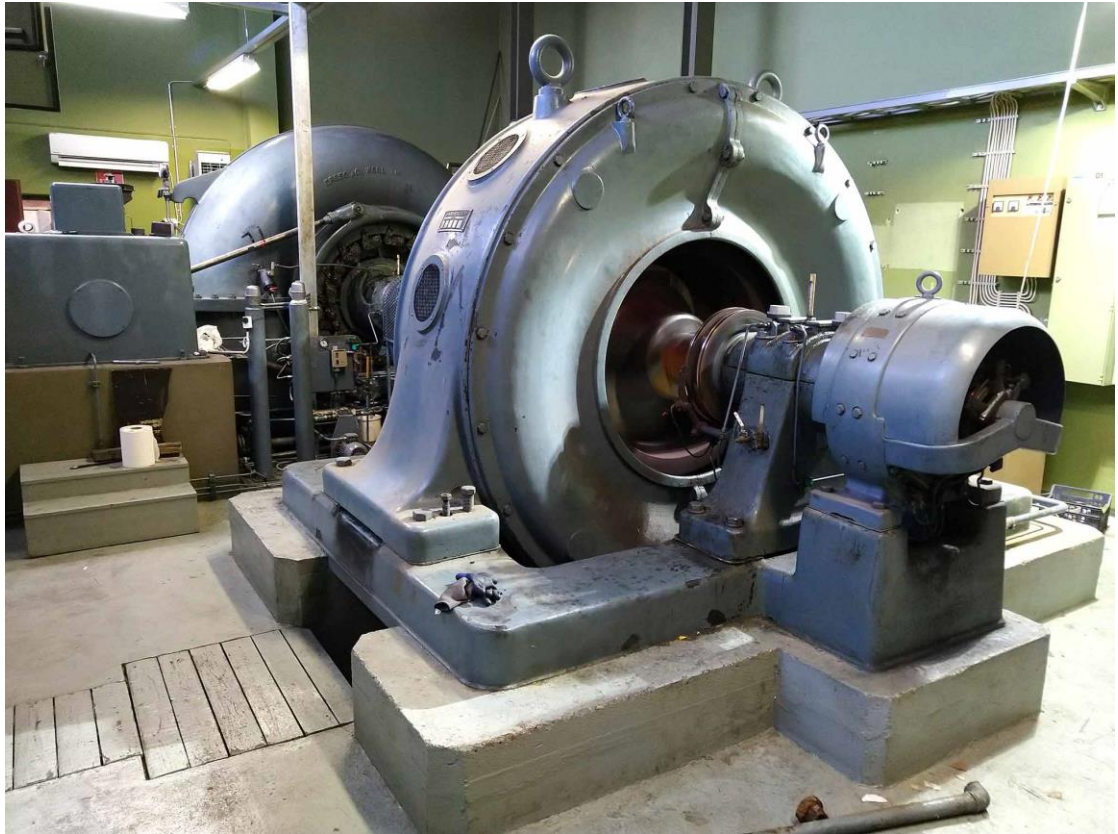
Voimalaitoksella on yksi rakennevirtaamaltaan $3,2 \text{ m}^3/\text{s}$ turbiini. Putouskorkeus on noin 20 m ja laitoksen tahtigeneraattorin nimellisteho 660 kVA ja laitoksen laskennallinen teho $P[\text{kW}] = 8,2 \times Q \text{ R} [\text{m}^3/\text{s}] \times H [\text{m}] = 8,2 \times 3,2 \times 20,2 = 530 \text{ kW}$. (ESAVI/61/04.09/201 2012.)

Työtä tehtäessä löydettyistä papereista yksi kiinnostava oli kuvassa 2 esitetty virtaamien pysyvyyden seurannan tulos ennen voimalan rakentamista edeltävältä ajalta.



Kuva 2. Arrakosken vanhoja virtaamalukemia

Kuvassa 3 on esitelty voimalan turbiini, generaattori ja kuvan vasemmassa reunassa turbiinin johtopyörän säätölaite. Kuvasta käy ilmi myös toteutuksessa olevan erillinen magnetointigeneraattori. Laitteet ovat alkuperäisiä, ainoastaan säätäjään on lisätty myöhemmässä vaiheessa sähköistys. Alkuvaiheessa käyttö tapahtui manuaalisesti.



Kuva 3. Arrakosken laitoksen generaattori ja turbiini

5.1 Voimataloudellinen hyöty

Laitoksen hyötyä on arvioitu lupapäätöksessä. Lausunnossa todetaan voimalaitoksen keskimääräiseksi energiantuotannoksi 1 500 MWh/a. Suunnitellun lisäkoneiston teho on 50 kW. Laitoksella ei nykyisinkään tarvita ohijuoksutuksia kuin isoimmilla tulvilla, joten lisäkoneistolla ei ole käytännössä merkitystä laitoksen keskimääräiseen energiantuotantoon. (ESAVI/61/04.09/201 2012). Kokonaisuutena laitoksen käytöstä aiheutuu myös erilaisia ylläpito- ja korjauskuluja. Laitos ei ole oma, erillinen yksikkönsä vaan kuuluu asiakkaan liiketoimintakokonaisuuteen. Lisäksi asiakkaan tehdessä monia huoltoja omana työnään käyttäen osin olemassa olevia varaosia on kokonaiskustannusten arviointi ongelmallista. Kokonaisuuden taloudellisista vaikutuksista ei siten ollut tietoa.

5.2 Laitoksen rakenne

Laitos on rakenteeltaan kuiva-asenteinen, eli turbiini ja generaattori ovat sijoitettuna kuivaan tilaan. Asennustapa on vaaka-akselinen turbiinin ja generaattorin ollessa pystyyn asennettuja samalla, kiinteällä akselilla ilman vaihteistoa. Laitoksen turbiini on tyypiltään Francis-turbiini.

Laitos on rakenteeltaan harvinainen Suomessa kuuluen paineputkivoimaloiden luokkaan. Lisäksi putouskorkeuden perusteella laitos luokitellaan keskipainevoimalaitokseksi. Suurin osa Suomen minivesivoimaloista kuuluu pienpainevoimaloihin putouskorkeuden ollessa alle 10 metriä. Muutoinkin laitoksen putouskorkeutta voidaan pitää verrattain suurena.

Työtä tehtäessä tiedossa olevista suurimmalla putouskorkeudella oleva Arrakosken tyyppinen paineputkilaitos oli Kaihua voimalaitos Rovaniemellä. Voimalan putouskorkeus on 46,5 m. (ÅF-Consult Oy s.a.) Arrakoskesta poiketen putkea ei kuitenkaan ole upotettu maahan koko pituudeltaan.

Putouskorkeudeltaan suurempia ovat 50 metrin putouskorkeudella Pamilon voimala Joensuun Enossa ja Jumiskon voimala lissä. Jumiskon putouskorkeus on 96 metrillä suurin Suomessa. Pamilo eroaa kuitenkin koneiston osalta Arrakosken voimalasta. Jumiskon toteutus kokonaisuutena kallioon louhittuna eroaa myös Arrakosken toteutuksesta. (Pohjolan voima 2017; ÅF-Consult Oy s.a.)

Laitos syöttää tuottamansa energian Elenian hallinnoimaan 20 kV keskijänniteverkkoon. Generaattorin nimellisjännitteen ollessa 0,4 kV kuuluu laitokseen voimalarakennuksen ulkopuolinen pylväsmuuntamo, jolla jännite nostetaan keskijänniteverkon tasoon. Laitoksen alueen ilmakaapeloitu keskijänniteverkko on myöhemmin uudistettu maakaapeloiduksi, mutta alkuperäinen pylväsmuuntamo on tässä yhteydessä säilytetty. Tämän seurauksena pylväsmuuntamon vierellä on Elenian hallinnoima pylväs, jonka kautta tuotettu energia siirretään maakaapeloituun verkkoon.

Laitoksen olemassaolon lupateknisiä esteitä ei työn tekohetkellä ollut nähtävillä. Laitoksen toimintaan liittyvät luvat olivat olleen käsittelyssä ennen työn

aloittamista, ja ne olivat loppuun saatetut. Näin ollen käytön jatkamiselle ei ollut esteitä.

6 LAITOKSEN NYKYTILA

Laitoksen mekaaniset rakenteet ovat pääsääntöisesti peräisin rakentamisvuodelta. Niiden kunnossapidosta vastaa omistajataho, eikä niihin siten työn puitteissa puututtu kuin välttämättömiksi katsotuin osin.

Laitoksen alkuperäistä sähköistystä on uusittu tarpeen mukaan lisäten erilaisia ominaisuuksia. Alkuperäisenä laitos oli ainoastaan paikalliskäyttöinen, mutta siihen on lisätty etäkäyttö- ja valvontamahdollisuudet, joita on päivitetty myöhemmin tarpeen niin vaatiessa. Esimerkiksi vanha radiolinkki oli korvattu puhelinverkkoyhteydellä ja tämä taas myöhemmin mobiiliyhteydellä.

Viimeiset releistykseen kohdistuvat suuremmat muutokset on tehty 1980 alussa. Tämän jälkeen suurin yksittäinen muutos on ollut logiikan lisääminen ohjaamaan osaa toiminnoista. Logiikka tukeutui kuitenkin täysin vanhaan releohjaukseen.

Laitoksen ohjauksen lisäksi myös erilaiset valvonta- ja turvallisuustoiminnot oli toteutettu releistyksen kautta. Tästä johtuen releiden määrä oli suuri, peräkkäisiä kärkeä paljon ja laitteiden ikääntymisen myötä ongelmien määrä on kasvanut vianhaun ollessa samalla vaikeaa.

Sähkön tuotannollisesti laitoksen normaali ajoteho on nykyään 300 kW maksimin asettuessa noin 420 kW tehoon. Käyttö ei ole jatkuvaa vaan vesitilanteesta ja sähkön hinnasta riippuvaa. Laitosta ajetaan usein muutamien tuntien jaksoja yhtämittaisten pidempien jaksojen ajoittuessa syksyn ja kevään runsasvetisempiin aikoihin. Ohijuoksutukseen laitoksella ei yleensä ole tarvetta, ja se on tarvittaessa hoidettava paikallisesti manuaalisesti luukkuja avaamalla.

7 LAITOKSEN TAVOITETILA

Laitoksen tavoitetilaa uudistusten jälkeen voitiin pitää melko yksinkertaisesti määriteltävänä. Suurimpana ongelmana olleista releistysten ongelmista haluttiin päästä eroon ja samalla helpottaa mahdollista vianhakua. Vaikka laitosta oli jo aikaisemmin käytetty kaukokäyttöisenä, haluttiin myös tähän parannuksia, jotta paljon aikaa vaativien käyntien määrä voidaan pitää minimissä.

Laitoksen uudet ympäristöluvut mahdollistavat käytön jatkamisen pitkälle tulevaisuuteen. Olemassa olevaa turbiinia ja generaattoria lukuun ottamatta laitoksen tekniikka haluttiin uudistaa nykypäivän vaatimuksiin vastaavaksi niin, että käyttöä voidaan jatkaa ilman suuria uudistuksia pitkälle tulevaisuuteen. Laitteiston tulee myös vastata ympäristöluvassa vaaditun kalaportaan aikaansaamaan käyttöaikojen lyhenemiseen ja aikaisempaa useammin tapahtuvaan käynnistykseen ja pysäytykseen.

Myös tuleviin huoltoihin haluttiin ennakoitavuutta. Ongelmia tulisi havaita aikaisemmassa vaiheessa ja käytettyjen laitteiden tulisi olla sellaisia, joiden osalta voidaan ennakoida jatkuvuutta pitkällä aikajaksolla tai vaihtoehtoisesti helposti vastaavalla tuotteella korvattavia. Huomiota haluttiin kiinnitettävän erityisesti turbiinin ja generaattorin valvonnan parantamiseen ja näin pyrkiä välttämään kalliita ja vaikeasti korjattavia laiterikkoja.

Tavoitetilassa laitos myös toimii aikaisempaa paremmin yhdessä ympäristönsä kanssa. Öljyä käyttävien laitteiden määrä vähenee, muuntajan aiheuttamien öljyvahinkojen riski minimoituu uudella sijoituksella altaineen ja myös mahdolliset haitallisia aineita sisältävät kytkinlaitteet korvataan uusilla. Kehittyneemmän hallittavuuden ansiosta myös vedenkorkeuden vaihteluja voidaan hallita aikaisempaa paremmin.

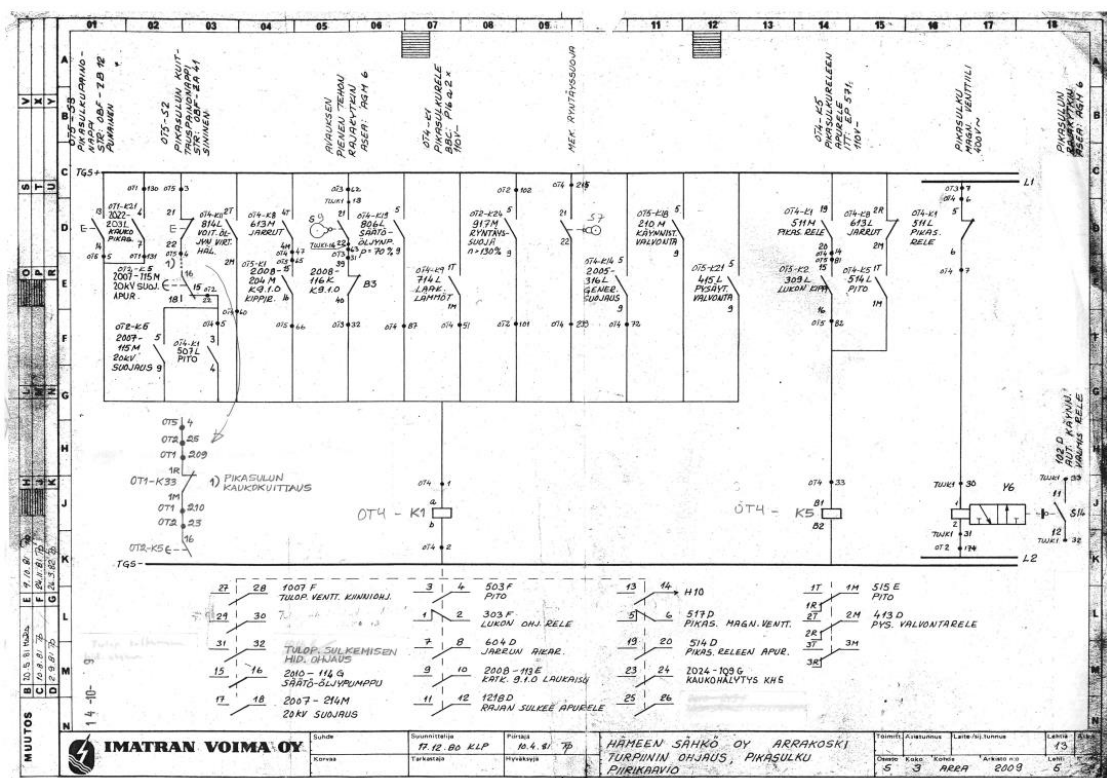
8 UUDISTUSTEN LÄHTÖKOHDAT

Uudistuksia kartoittaessa otettiin asiakkaan toiveesta lähtökohdiksi muutamia seikkoja, joiden toteutusmahdollisuuksia ja kustannuksia käytiin läpi suunnittelu edetessä. Kustannuskattoa ei suunnittelun alussa asetettu, osakokonaisuuksia tultaisiin tarkastelemaan ehdotusten perusteella.

Laitokselle oli olemassa lupa pienemmän koneiston asennukseen. Lähtökoh-
taisesti tällainen olisi asennettu. Laskelmia kannattavuudesta ei kuitenkaan ol-
lut vielä tehty, ja kannattavuus haluttiin selvittää. Myöskään laitoksen muunta-
jan kunnosta ei ollut tietoa. Haluttiin selvittää, onko nykyisen muuntajan käyt-
töä mahdollista ja järkevää jatkaa, ja jos muuntaja uusitaan, millä aikajaksolla
investointi muuttuu kannattavaksi.

Laitoksen releistys oli vanhaa ja toteutettu kokonaisuudessaan ilman automaatiota. Tehtyjen ratkaisujen perusteita ei ollut selvitetty mitenkään eikä kaikkia muutoksia dokumentoitu. Releistyksen ikääntymisen myötä ongelmien määrä oli lisääntynyt vianhaun ollessa vaikeaa. Haluttiin selvitettävän, miten ongelmien määrää voitaisiin vähentää.

Kuvassa 4 on lehti vanhasta kuvamateriaalista. Reletekniikasta johtuen monissa piireissä oli käytetty releiden kärkiä paljon sekä sarjassa että rinnakkain. Kuvan mukaisesti ohjattava rele saattoi olla 15 kärkiparilla varustettu. Kaikkia laitteita ei myöskään ollut ryhmitelty loogisesti lisäten siten sähkökaappien välisen johdotuksen määrää. Kuvan esittämä piiri suoritti laitoksen pikasulun, mutta sen aiheuttajasta ei saatu mitään tietoa. Tämän kaltaisten ongelmien selvittämistä pidettiin todella vaikeina.



Kuva 4. Pikasulun ohjaus

Laitoksen sähköistyksessä käytettiin sekä 24 DCV- että 110 DCV -piirejä. Lisäksi aikaisempia muutoksia edeltävältä ajalta oli vielä jäljellä muutamia 48 DCV- ja 60 DCV -laitteita, joille tuotettiin erillinen käyttöjännite. Lisäksi sekä 24 että 110 DCV -järjestelmä oli varustettu omalla akustolla latureineen. Kahta erillistä akustoa pidettiin raskaana järjestelmänä ja 110 DCV -laitteiden saatu vuutta heikkona. Suunnittelun lähtökohta oli 110 DCV -piiristä luopuminen ja kyseistä jännitettä käyttävien laitteiden uusiminen.

Laitoksen ohjauksessa käytettiin hydraulikkaa kahdella eri painealueella ja lisäksi järjestelmässä oli myös 110 DCV -pumppu, joka tulisi uusiksi, mikäli 110 DCV -järjestelmästä luovuttaisiin. Hydraulikan korvaaminen sähköisillä otettiin yhdeksi lähtökohdaksi.

Laitoksen 0,4 kV katkaisijan kunto oli epäselvä ja laite iältään vanha. Uusin-
nan tarvetta pidettiin lähtökohtana. 20 kV laitteista ei lähtötiedoissa annettu
selvää kuvaa, joten nämä sisällytettiin selvittäväksi yhdessä muuntajan
kanssa.

9 HAASTEET UUDISTAMISESSA

Uudistamiskohteita ja tarpeita kartoitettaessa selvisi melko nopeasti työn olevan laaja-alainen sisältäen monia haasteellisia tekijöitä. Myös alkuperäinen ajatus turbiinin lisäyksen ja muuntajan vaihdon kannattavuuslaskemista muuttui laaja-alaiseksi kokonaisuudeksi.

9.1 Ylävesialue

Voimalan ylävesialue on melko pieni rajoittaen juoksutusta. Käytännön ajoajat kohdistuvat kevään sulamisvesiin ja muutoin kulutushuippujen aikaiseen käyttöön vesitilanteen salliessa. Voimala on siten pitkiä aikoja, ja sekä ylös- että alasajon on onnistuttava tästä huolimatta nopeasti ja hallitusti ilman fyysisen paikalla olon tarvetta voimalalla.

9.2 Kalaporras

Voimalan yhteyteen on ympäristöluvan yhtenä ehtona edellytetty kalaportaan rakentaminen. Kalaportaan virtaama tulee vastaaman noin kolmannesta voimalan aikaisemmasta kokonaisvirtaamasta vaikuttaen siten oleellisesti voimalan ajoaikoihin. Samalla myös voimalan käyntiajat lyhenevät ja nopean ylös- ja alasajon merkitys kasvaa, jotta käytettävissä oleva vesi voidaan hyödyntää mahdollisimman hyvin kulutushuippujen aikana.

Voimalan ajo nykyisellä turbiinilla ei myöskään ole mahdollista pienillä osatehoilla kavitoinnista johtuen. Tämä lisäsi haasteita järkevimmän ratkaisun kar-toittamisessa.

Kalaporras oli valmistumassa käyttöön vasta loppuvuonna 2019, joten sen todellisia vaikutuksia ei siten ollut tiedossa. Ainoastaan lupapäätöksessä vaadittu minimivirtaama ja omistajatahon arviot sen vaikutuksesta tuotantoon olivat tiedossa.

9.3 Muuntaja

Voimalan verkkoon syöttämä ajon aikainen teho ja pysähdyksissä ollessa omakäyttö saadaan saman muuntajan kautta. Muuntajan mitoitus on siten ol-tava voimalan suurimman ajotehon mukainen.

Lyhyet ajoajat ja pitkä pysähdyksissä olo aiheutti tarpeen selvittää tarkemmin voimalan päämuuntajan tila ja uusimisen kannattavuus. Koska voimalan oma-käytön tehon tarve on melko pieni, lähinnä laitteiden valmiustilan ja tarvitta-essa erilaisten ylläpitolämmitysten aikaansaama, nousi muuntajan tyhjäkäynti-häviöiden huomioiminen merkittävään rooliin.

9.4 Olemassa oleva dokumentointi

Työtä aloittaessa käytettävissä oli ainoastaan laitoksen sähkökuvat, jotka oli-vat lähes 40 vuotta vanhoja. Niihin oli lisäksi tehty monia korjauksia, eikä kaik-kia muutoksia ollut dokumentoitu. Osa dokumentoiduista havaittiin myös vir-heellisiksi.

Työtä tehtäessä havaittiin laitoksesta olevan osin poikkeuksellisen kattava dokumentaatio. Arkistoista löydettiin useita kansioita materiaalia jo alkuperäisen suunnittelun ajalta. Materiaalista saatiin osin vastauksia avoimena olleisiin asioihin, mutta valitettavasti osa mekaanisten laitteiden dokumentaatiosta oli puutteellista, eikä kaikista tehdyistä muutoksista tai niiden syistä ollut mainintoja.

Sähköistyksen osalta ei ollut olemassa dokumentaatiota siitä, millaisin ehdoin sähkösuunnittelu on tehty. Erilaiset ratkaisut jouduttiin siten selvittämään lähes täysin sähkökuvien perusteella. Kaikkien aikaisemmin tehtyjen ratkaisuiden tueksi ei kuitenkaan löydetty selviä perusteita. Osa näistä saatiin ratkaistua asiakkaan haastattelujen perusteella, osa aikaisempien kokemusten pohjalta osan jäädessä hieman avoimiksi mutta toiminnan kannalta merkityksettömiksi.

9.5 Johtopyörä ja säätäjä

Johtopyörän säätölaitteistosta ei ollut saatavilla mitään dokumentaatiota, josta olisi löydettävissä laitteen tietoja. Laitteen mekaanis-sähköis-hydraulisen rakenteen, harvinaisuuden ja iän huomioiden varaosia saisi ainoastaan teettämällä eikä korjausosaamisen olemassaoloa pidetty varmana. Myös korvaamista uudella laitteella pidettiin alusta alkaen ongelmallisena toteutettavana.

9.6 Uudistusten keskinäiset suhteet

Moni suunniteltu muutos oli luonteeltaan muihin osa-alueisiin vaikuttava. Tästä johtuen erityisesti alustavassa vaiheessa jouduttiin tekemään monelta osin erilaisia suunnitelmia sen mukaisesti, mitä minkäkin osa-alueen vaikutukset ovat muihin ja millä tasolla ne on huomioitava. Samoin oli kartoitettava, mitkä uudistuksista ovat pakollisia, jotta projekti on mahdollista toteuttaa.

9.7 Elinkaari

Työn puitteissa ei ollut mahdollista tehdä erikseen elinkaarilaskelmia. Suunnittelun pohjana oli tästä riippumatta tavoite tuottaa pitkään palvelevia uudistuksia huomioiden korvaavien laitteiden saanti tulevaisuudessa.

Elinkaarta arvioitaessa jouduttiin myös arvioimaan, mitä laitteita voidaan korvata tulevaisuudessa ja minkä osalta korvaaminen tulisi tehdä heti. Vanhojen, osin harvinaisten laitteiden osalta oli kuitenkin lähes mahdotonta määrittää edessä olevan elinkaaren pituutta.

Työn puitteissa ei kuitenkaan voitu ottaa kantaa turbiinin ja generaattorin elinkaareen muutoin kuin pieneltä osin. Suunnittelussa pyrittiin siten sellaisiin ratkaisuihin, joilla pyritään ehkäisemään aikaisempaa paremmin vaurioiden syntyä ja parantamaan niiden havaittavuutta aikaisemmassa vaiheessa.

Voimalan ulkoisten rakenteiden elinkaaren arviointia ei työtä tehtäessä tehty millään tasolla. Näitä pidettiin niin laajana kokonaisuutena ja erityistä ammattiosaamista vaativana, ettei käytännön mahdollisuuksia arviointiin ollut.

10 TURVALLISUUSNÄKÖKOHDAT

Voimalan toiminnan tulee olla turvallista laitokselle itselleen ja ympäristölleen. Lisäksi käyttöön kohdistuu monia viranomaisten vaatimuksia. Tämän työn puitteissa ei otettu kantaa patoturvallisuuteen ja muuhun vastaavaan, ainoastaan sähköiseen ja siihen läheisesti liittyvien toteutusten turvallisuusnäkököhtiin.

Voimala toimii suuren osan ajasta itsenäisesti, tärkeimpien etäkäytöllä suoritettavien toimenpiteiden ollessa käynnistys, pysäytys ja tehon asettelu. Laitoksen ollessa yksityisomistuksessa se ei ole jatkuvan etävalvonnan piirissä, joten voimalan on selviydyttävä itsenäisesti turvallisesta alasajosta kaikissa käyttötilanteissa. Laitokselle ei myöskään ole järkevästi toteutettavissa luotettavaa tietoliikenneyhteyden kahdennusta. Toiminnan on siten oltava luotettavaa myös verkkokatkotilanteissa. Samoin erilaisista korjausta vaativia ongelmia tulisi pystyä havaitsemaan ennakolta ja saada niistä etävalvonnan kautta tieto.

Laitos syöttää tuottamansa sähköön 20 kV verkkoon. Verkko ei ole itsenäinen yksikkö vaan osa alueella toimivan verkkoyhtiön verkkoa. Verkon ongelmat aiheuttavat laitoksen nopean ja turvallisen alasajon tarpeen. Vastaavasti voimalan virhetoiminnot voisivat kuitenkin aiheuttaa verkkoon häiriöitä ja laiterikkoja

lähimmissä kiinteistöissä. Suurimpana yksittäisenä ongelmana pidettiin suojausta saarekkeen osalta eli tilanteessa, jossa laitos on käynnissä, mutta verkko katkeaa kauempaa laitoksen jäädessä samaan saarekkeeseen lähialueen kanssa.

Verkkoa ja laitosta suojaavien komponenttien on siten täytettävä niille asetetut vaatimukset itse laitteiden ja dokumentoinnin osalta. Laitteet on myös tarkastuttava säännöllisesti. Verkkoyhtiö ei kuitenkaan laske asiakkaan verkon suojausparametreja vaan antaa ainoastaan lähtötiedot, joiden perusteella parametrit on laskettava itse ja hyväksyttävä.

Turvallisuusseikkojen määrittelyä hankaloitti se, ettei kaikkiin osa-alueisiin ole suoraan soveltuvaa ohjeistusta eikä suoria vaatimuksia. Työn kuluessa jouduttiin siten pohtimaan useaan otteeseen, mitä kaikkia ongelmatilanteita laitoksella voi olla. Lisäksi pohdittiin, miten todennäköisenä yksittäistä tilannetta voidaan pitää, millaisia vaurioita siitä voi aiheutua ja millä tasolla tilanteeseen on varauduttava.

Turvallisuutta pohtiessa kartoitettiin myös sitä, miten missäkin tilanteessa laitos ajetaan alas. Osa häiriötilanteista on sen kaltaisia, joissa hallittu alasajo on mahdollinen mutta pakollinen. Osassa verkosta erottamisen on tapahduttava välittömästi ja laitos ajettava pikasulkuun.

Voimala ei mekaanisten suojausten osalta täytä kaikkia nykyisiä vaatimuksia. Normaali käyttötilanne on kuitenkin miehittämätön. Rakennus on myös murto-suojattu ja kameravalvottu, eikä sinne ole ulkopuolisilla pääsyä. Laitoksen kaukokäyttö voidaan estää huoltojen ajaksi ja tarvittavat testaukseen liittyvät toiminnot voidaan ohjata paikallisesti. Lisäksi huoltoja suorittavat ainoastaan muutamat voimalan hyvin tuntevat henkilöt. Mekaanisiin suojauksiin ei siten otettu tässä työssä kantaa, mutta havaittuja asioita tuotiin omistajan tietoon.

Sähköturvallisuuden osalta noudatettiin normaaliin tapaan pienjännitteisiä kohteita koskevia määräyksiä. Suurjännitteisiin osiin kohdistuvia töitä ei työn puitteissa tehty. Lisäksi huomioitiin myös konedirektiivin 2006/42/EY vaatimukset työhön liittyvin osin. Direktiivissä säädetään mm. seuraavasti:

1.2.1 Ohjausjärjestelmien turvallisuus ja toimintavarmuus

Ohjausjärjestelmät on suunniteltava ja rakennettava sellaisiksi, että ne estävät vaaratilanteiden syntymisen. Ennen kaikkea ne on suunniteltava ja rakennettava sellaisiksi, että ohjausjärjestelmän laitteisto- tai ohjelmistovika ei aiheuta vaaratilanteita eivätkä virheet ohjausjärjestelmän logiikassa aiheuta vaaratilanteita.

1.2.2 Ohjauslaitteet

Jos ohjauspaikkoja on enemmän kuin yksi, ohjausjärjestelmä on suunniteltava sellaiseksi, että yhden ohjauspaikan käyttäminen estää muiden käytön, pysäytys- ja hätäpysäytyslaitteita lukuun ottamatta.

1.2.4.3 Hätäpysäytys

Koneessa on oltava yksi tai useampia hätäpysäytyslaitteita, joiden avulla todellinen tai uhkaava vaara voidaan torjua.

Kun hätäpysäytyslaitteen aktiivinen käyttäminen, josta pysäytyskäsky seuraa, on lakannut, tämän käskyn on jäätävä voimaan hätäpysäytyslaitteen lukkiutumisen avulla, kunnes tämä lukitus vapautetaan erityisellä toimenpiteellä; hätäpysäytyslaitteen lukkiutuminen ei saa olla mahdollista ilman, että aiheutuu pysäytyskäsky; hätäpysäytyslaitteen vapauttaminen pysäytysasennon lukituksesta saa olla mahdollista vain tarkoituksellisella toimenpiteellä, eikä vapautuminen saa käynnistää konetta uudelleen vaan ainoastaan tehdä uudelleen käynnistäminen mahdolliseksi. Hätäpysäytystoiminnon on oltava koko ajan saatavilla ja toimintakunnossa toimintatavasta riippumatta. Hätäpysäytyslaitteiden on oltava muita suojausteknisiä toimenpiteitä täydentävä keino eikä niiden korvaaja.

1.2.5 Ohjaus- tai toimintatapojen valinta

Valitun ohjaus- tai toimintatavan on oltava ensisijainen kaikkiin muihin ohjaus- ja toimintatapoihin nähden hätäpysäytystä lukuun ottamatta.

1.5.1 Sähkönsyöttö

Kone, jossa on sähkönsyöttö, on suunniteltava, rakennettava ja varustettava siten, että kaikki sähköstä johtuvat vaarat estetään tai voidaan estää. (Direktiivi 2006/42/EY 2006.)

11 KANNATTAVUUSLASKELMAT

Työn yhtenä pääkohtana oli tuottaa asiakkaalle riittävä materiaali päätöksen tueksi laitoksen nykyisen muuntajan tilasta ja laskea eri variaatioiden kannattavuus.

Työn toisena pääkohtana oli pohtia kalaportaan aiheuttamia vaikutuksia ja sitä, miten käytettävissä oleva vesi voidaan hyödyntää parhaalla mahdollisella tavalla. Asiakkaan toive oli selvittää, voidaanko toisen turbiinin ja generaattorin lisäämisellä saavuttaa parempi käyttöaste ja lisätä sähkön tuotantoa aikaisemmasta. Lisäksi asiakas toivoi kustannuslaskelmien tekoa, jotta investoinnin taloudelliset vaikutukset voitiin arvioida.

11.1 Muuntaja

Voimalan muuntaja tiedettiin työtä aloittaessa vanhaksi, mutta tarkka ikä ei ollut tiedossa. Pylväsmuuntajana muuntaja on myös ollut säiden rasitukselle alttiina koko käytössä olon ajan. Voimalaa on myös ajettu talvisin lyhyitä aikoja kerrallaan, jolloin muuntajan kuormitus ja lämpörasitus on syklimäistä.

Voimalaan tutustuessa ei ollut mahdollisuutta päästä muuntajan välittömään läheisyyteen tarkistamaan tyyppikilven arvoja. Alkuperäisissä laskelmissa käytettiin siten osin samankaltaisten muuntajien taulukoituja arvoja. Osa arvoista saatiin kuitenkin luettua myöhemmin muuntajasta otetuista valokuvista. Kaikkia arvoja ei arvokilvistä pystytty enää tulkitsemaan, mutta näillä ei ollut laskennan kannalta merkitystä.

Muuntajan arvokilven perusteella todettiin muuntajan olevan vuodelta 1956 ja siten ylittänyt elinikäodotuksensa. Muuntajalle pääteltiin tehdyn jonkin tasoinen tarkastus ja mahdollinen kunnostus ennen voimalalle asentamista. Tämän sisällöstä ei kuitenkaan löydetty mitään dokumentaatiota.

lästään johtuen muuntajan hyötysuhde ei vastaa tämän päivän vaatimuksia, eikä uutta kunnostamista pidetty siten enää järkevänä. Vaihtoehtoiksi rajattiin siten melko aikaisessa vaiheessa muuntajan uusiminen ja keskusteltavaksi jäi, käytetäänkö vanhaa muuntajaa miten pitkään, voidaanko sen käyttöä pitää

luotettavana ja mitkä ovat kustannustekijät vanhan suurempien häviöiden osalta.

11.1.1 Uusi muuntamo

Laitoksen suurimmasta ajotehosta johtuen uuden muuntajan kooksi ja laskelmien lähtökohdaksi valittiin 500 kVA:n muuntaja helpon saatavuuden vuoksi. 315 kVA:n muuntaja olisi ollut normaalisti riittävä mutta rajoittanut suurinta ajotehoa, eikä tätä pidetty järkevänä. 400 kVA:n muuntajat todettiin harvinaisemmiksi ja saatavuudeltaan huonoksi.

Koska nykyinen muuntamo oli toteutettu pylväsmuuntamona, todettiin pylväiden uusimisen olevan ajankohtainen samalla muuntajan kanssa. Tätä ei kuitenkaan pidetty järkevänä, joten päädyttiin käyttämään laskelmissa puistomuuntamoa. Tällä valinnalla muuntaja saataisiin sääsuojaan ja itse asennus olisi helpompi ja nopeampi pylväsmuuntamoon verrattuna. Myös tarpeelliset 20 kV laitteet saataisiin samassa kokonaisuudessa ja valmiiksi asennettuna.

Muuntajan asennuskuluja arvioitiin pääasiallisesti sähköisten tekijöiden osalta. Paikalleen asennuksen ja pohjatöiden osalta tarkempaa hinta-arviota ei pyydetty eikä tehty. Asiakkaalla oli olemassa konekanta, jolla työt voidaan toteuttaa ilman ulkopuolista urakoitsijaa. Tästä johtuen kuluja huomioitiin laskennassa ainoastaan asiakkaan arvion ja tarpeellisena pitämän määrän mukaisesti.

11.1.2 Vanhan muuntamon purku ja hävittäminen

Muuntajan uusimista suunniteltaessa kohdattiin haasteena se, miten vanhan muuntamon kanssa toimitaan. Muuntajan yli 3000 kg painon vuoksi pylvästä alas nosto vaatii kalustoa, jolla ei hankalan sijainnin vuoksi paikalle päästä muutoin kuin kuivaan kesäaikaan.

Muuntajassa oleva öljyn määrä todettiin uusien muuntajien suuremmaksi öljymäärän ollessa 790 kg. Muuntajan ikä huomioiden pidetään mahdollisena öl-

jyn sisältävän PCB:tä. Öljy todettiin siten tarpeelliseksi tutkia, muutoin muuntajan hävittäminen jouduttaisiin tekemään ongelmajätteenä, joka nostaisi merkittävästi kustannuksia.

Muuntamon yhteydessä olevien muiden laitteiden ikä aiheutti saman epäilyn kuin itse muuntaja. Niiden öljy tulisi tutkia, jotta turvallisesta hävittämisestä voidaan varmistua. Myös pylväsmuuntamon pylväät ovat jätettä, joka vaatii oikeanlaisen käsittelyn.

Purkamisen kustannuksia ei arvioitu erikseen. Asiakkaalla on olemassa konekanta, jolla ainakin osa työstä olisi mahdollista toteuttaa ilman ulkopuolista toimijaa. Nämä kustannukset jätettiin asiakkaan arvioitaviksi. Hävittämisen kokonaiskulut voitaisiin muutoinkin arvioida vasta öljyn tutkimisen jälkeen.

11.1.3 Tarjoukset

Edellä esitettyjen määrittelyjen pohjalta pyydettiin kolmelta toimijalta tarjous soveltuvasta puistomuuntamosta. Tarjoukset pyydettiin tarvittavien 20 kV laitteiden kanssa ilman 0,4 kV laitteita. Niiden osalta tarjoajille jätettiin mahdollisuus tarjota mielestään soveltuvaa ratkaisua.

Muuntamosta lähetetty tarjouspyyntö on esitetty liitteessä 1. Pyynnössä ei tehty erityisen tarkkoja rajauksia eikä vaatimuksia käytettävien laitteiden valmistajasta. Tarjouksia saatiin kolme kappaletta, Alfen Elkamolta, SLO:lta ja Finnkumulta. Tarjoajista kaksi pyysi täydentäviä lisätietoja ja oli yhteydessä tarjouksen lähettämisen jälkeen. Trafomicilta tarjousta ei aluksi pyydetty, mutta myöhemmin muussa yhteydessä asia nousi esille, ja he olivat halukkaita tarjouksen tekemään. Tarjousta ei kuitenkaan koskaan saatu. Huomion arvoisena voitiin pitää ainoastaan yhtä tarkentavaa tiedustelua kohteen tarkemmasta sijainnista ja siitä, miten ja millaisella kalustolla toimitus voidaan hoitaa.

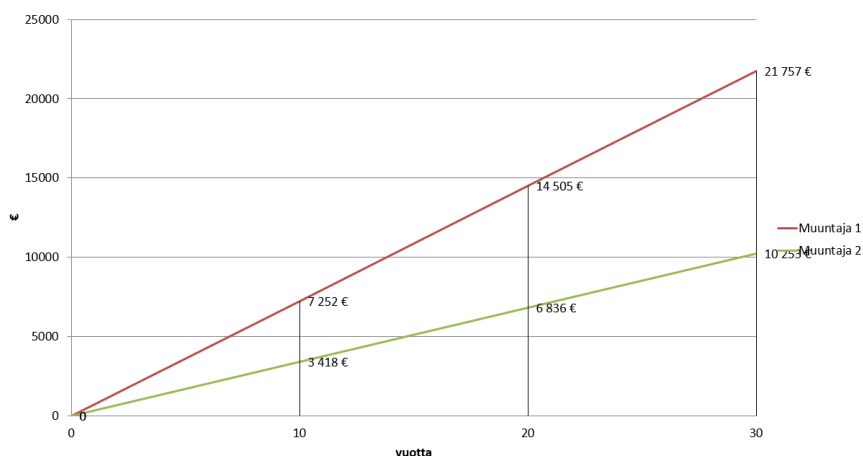
11.1.4 Laskelmat

Muuntajan kustannuksien laskentaan tehtiin kaksi erilaista laskentamallia. Toisessa käytettiin kuvan 5 mukaisesti ainoastaan yksinkertaisia lähtöarvoja, ja

niiden perusteella verrattiin pelkkiä häviöiden aiheuttamia kustannuksia 30 vuoden aikajaksolla. Tulokset esitettiin taulukoituna ja kuvan 6 mukaisesti yksinkertaisena kuvaajana. Laskennassa ei myöskään huomioitu hintojen ja rahan arvon muutoksia. Laskennan tarkoituksena oli havainnollistaa helposti asiakkaalle häviöiden merkitys ennen tarkempaa laskentaa.

Lähtötiedot			
	P _o	P _k	Teho
Muuntaja 1	1100	7300	500
Muuntaja 2	472	4460	500
Ajovuorokausia / vuosi			40
Ajoteho / kW			300
Sähkön ostohinta		6	snt/kWh
Sähkön myyntihinta		4	snt/kWh

Kuva 5. Muuntajan kannattavuuslaskennan lähtötietoja



Kuva 6. Muuntajien kustannusvertailua

Laajemmassa laskennassa huomioitiin muuntajan arvioidut uusimiskulut, huoltokulut ja rahan arvon muutos. Lisäksi huomioitiin sähkön hinnan muutokset. Laskelman lähtökohdaksi otettiin vanhan muuntajan pakollinen uusiminen, joka sijoitettiin 15 vuoden kohdalle. Yleisten lähtötietojen syöttöikkuna on esitetty kuvassa 7.

Lähtöarvot, tuotanto / kulutus		
Tuotanto		
Vuosituotanto	1000000	kWh
Keskim. Ajoteho	300	kVA
Keskihinta	0,04	€ / kWh
Sähkön hinnan nousu	2,00 %	/ vuosi
Indeksi	3,00 %	/ vuosi
Omakäyttö		
Omakäyttö	20000	kWh / vuosi
Omakäyttö	0,07	€ / kWh
Tehokerroin cosφ	0,80	

Kuva 7. Perustietojen syöttö

Laskelmassa käytettiin muuntajien osalta alustavasti taulukkoarvoja, myöhem-
 mässä vaiheessa vanhan ja mahdollisen uuden todellisia arvoja. Todellisten
 huoltokulujen puuttuessa käytettiin arvioita. Lähtökohtaisesti oletettiin, ettei
 uusi muuntaja vaatisi öljyanalyysien lisäksi erityistä huoltoa, jatkuvaa huoltoa,
 joten kulurakenteena käytettiin pieniä arvoja perustuen aikaisempien öljyana-
 lyysien ja tarkistusten hintoihin. Itse muuntamorakennuksen osalta ei kustan-
 nuksia arvioitu. Mahdolliset tarvittavat maalaukset ja muu ylläpito toteutetta-
 siin asiakkaan omana työnä ilman tarvetta ulkopuoliselle toimijalle.

Esimerkki uuden muuntajan arvojen syötöstä kuvassa 8, vanhan muuntajan
 osalta arvioitiin laskelmaan vastaavat arvot. Kustannuksia haarukoitiin yh-
 dessä asiakkaan kanssa eri lähtöarvoilla käyden läpi erilaisia skenaarioita.

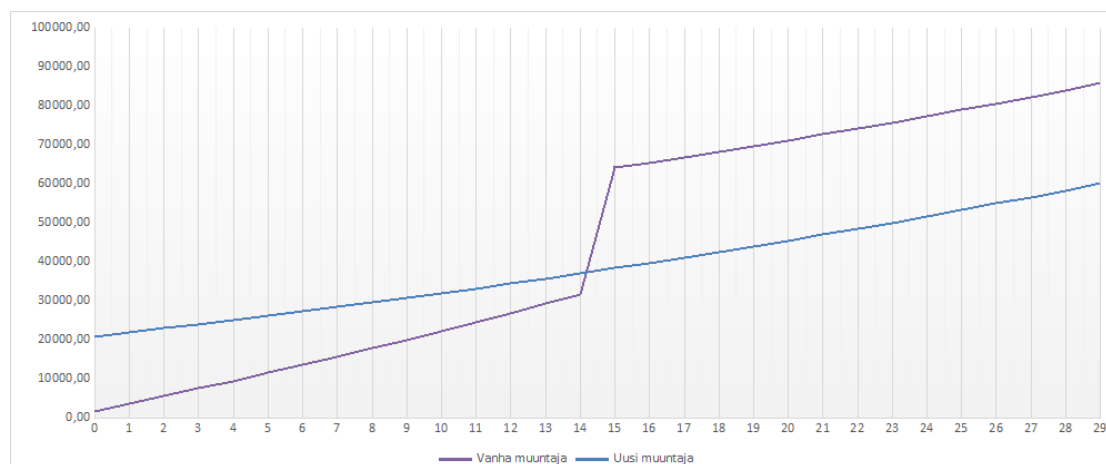
Lähtöarvot / Uusi muuntaja		
Sähköiset arvot		
Teho / Sn	500,00	kVA
Tyhjäk. häviö / Po	705,00	W
Kuormahäviö / Pk	4900,00	W
Oikos. Imped. Zk	4,50	%
Tehokerroin cosφ	1,00	
Hankintakustannukset		
Hankinta	15000,00	€
Asennus	5000,00	€
Ylläpito / huolto		
Vuonna 0	200,00	€ / vuosi

Kuva 8. Lähtötietojen syöttö muuntajavertailuun

Annettujen lähtöarvojen perusteella laskettiin sekä vanhaa muuntajaa käyttäen että uusitulla muuntajalla kulut kuvan 9 mukaisesti. Lisäksi vastaavat laskettiin myös koko 30 vuoden ajanjaksolle, ja niistä piirrettiin kuvassa 10 esitetty kuvaaja. Kuvaajassa näkyy selvästi vanhan muuntajan tapauksessa uusinnan kustannus 15 vuoden kohdalla. Lisäksi havaitaan vanhan muuntajan kumulatiivisen rahavirran lähes saavuttaneen uuden muuntajan kulut samalla 15 vuoden aikajaksolla.

Vuosi	Vanha muuntaja				Uusi muuntaja					
	Investointi	Muuttuvat	Yhteensä	Kumulat.	Investointi	Muuttuvat	Yhteensä	Kumulat.	Erotuskassavirta	Kumulaatio
0		1833,88	1833,88	1833,88	20000,00	990,97	20990,97	20990,97	-19157,09	-19157,09
1		1870,56	1870,56	3704,44		1010,79	1010,79	22001,76	859,77	-18297,33
2		1907,97	1907,97	5612,41		1031,01	1031,01	23032,77	876,96	-17420,37
3		1946,13	1946,13	7558,53		1051,63	1051,63	24084,40	894,50	-16525,87
4		1985,05	1985,05	9543,59		1072,66	1072,66	25157,06	912,39	-15613,48
5		2024,75	2024,75	11568,34		1094,11	1094,11	26251,17	930,64	-14682,84
6		2065,25	2065,25	13633,58		1116,00	1116,00	27367,17	949,25	-13733,59
7		2106,55	2106,55	15740,14		1138,32	1138,32	28505,49	968,24	-12765,35
8		2148,68	2148,68	17888,82		1161,08	1161,08	29666,57	987,60	-11777,75
9		2191,66	2191,66	20080,47		1184,30	1184,30	30850,87	1007,35	-10770,40
10		2235,49	2235,49	22315,96		1207,99	1207,99	32058,86	1027,50	-9742,90
11		2280,20	2280,20	24596,16		1232,15	1232,15	33291,01	1048,05	-8694,85
12		2325,80	2325,80	26921,97		1256,79	1256,79	34547,80	1069,01	-7625,84
13		2372,32	2372,32	29294,29		1281,93	1281,93	35829,73	1090,39	-6535,45
14		2419,77	2419,77	31714,05		1307,57	1307,57	37137,30	1112,20	-5423,25
15	31159,3483	1333,72	32493,07	64207,12		1333,72	1333,72	38471,02	31159,35	25736,10
16		1360,39	1360,39	65567,51		1360,39	1360,39	39831,41	0,00	25736,10
17		1387,60	1387,60	66955,11		1387,60	1387,60	41219,01	0,00	25736,10
18		1415,35	1415,35	68370,46		1415,35	1415,35	42634,36	0,00	25736,10
19		1443,66	1443,66	69814,12		1443,66	1443,66	44078,02	0,00	25736,10
20		1472,53	1472,53	71286,66		1472,53	1472,53	45550,56	0,00	25736,10
21		1501,98	1501,98	72788,64		1501,98	1501,98	47052,54	0,00	25736,10
22		1532,02	1532,02	74320,66		1532,02	1532,02	48584,56	0,00	25736,10
23		1562,66	1562,66	75883,33		1562,66	1562,66	50147,23	0,00	25736,10
24		1593,92	1593,92	77477,24		1593,92	1593,92	51741,14	0,00	25736,10
25		1625,80	1625,80	79103,04		1625,80	1625,80	53366,94	0,00	25736,10
26		1658,31	1658,31	80761,35		1658,31	1658,31	55025,25	0,00	25736,10
27		1691,48	1691,48	82452,83		1691,48	1691,48	56716,73	0,00	25736,10
28		1725,31	1725,31	84178,13		1725,31	1725,31	58442,03	0,00	25736,10
29		1759,81	1759,81	85937,95		1759,81	1759,81	60201,85	0,00	25736,10
	Nettonykyarvo	56 037,91 €			Nettonykyarvo	44 562,71 €			7 %	

Kuva 9. Esimerkkilaskelma vuosikustannuksista



Kuva 10. Muuntajien aiheuttamien kulujen vertailu 30 vuoden aikajaksolla

11.1.5 Laskelmien tulos

Laskelmien tuloksena saatiin tieto, millaisella aikajaksolla uusi muuntamo tulee vanhaa edullisemmaksi. Myös laskennan tuottamaa 7 % sisäistä korkoa voitiin pitää hyvänä. Mikäli koroissa ei tapahdu suurta nousua, on investointi tehtävissä laskelman perusteella myös myöhemmin.

Työn kuluessa muuntamoa ei uusittu. Asiakas aikatauluttaa uusimisen myöhempään ajankohtaan tiedostaen uusimisen olevan käytännössä välttämätön toimenpide. Muut uudistukset pyrittiin siten suunnittelemaan mahdollisimman suurelta osin niin, ettei myöhemmässä vaiheessa muuntamon vaihdon yhteydessä jouduta tekemään muutoksia muuhun laitteistoon.

11.2 Toisen turbiinin ja generaattorin lisäys

Ympäristöluvan mukaisesti laitokselle oli mahdollisuus lisätä toinen, pienempi generaattori. Lisäyksen kannattavuutta ei oltu aikaisemmin arvioitu. Laitoksen omistajataho oli kuitenkin lisännyt toiseen omistamaansa kohteeseen jälkikäteen uuden, pienen turbiinin ja generaattorin. Vastaavan kaltaisen lisäyksen kustannustehokkuus haluttiin siten laskettavaksi myös Arrakosken osalta.

11.2.1 Sähköinen toteutus

Suunnittelussa käytiin läpi erilaisia toteutustapoja ja sitä, miltä osin generaattorit voisivat käyttää samoja komponentteja. Päädyttiin ratkaisuun, jossa pienempi epätahtigeneraattori olisi kokonaan oma, valmis kokonaisuutensa omalla ohjauksella, eikä sitä siten ohjattaisi muutoin kuin käynnistyksen ja pysäytyksen osalta isompaa generaattoria ohjaavalla logiikalla. Tätä valintaa puolsi myös se, että asiakkaalla on entuudestaan käytössä toisessa kohteessa vastaava, jälkiasenteinen kokonaisuus.

Koska generaattorien yhtäaikainen käyttö ei olisi veden riittävyydestä johtuen mahdollista, todettiin generaattorien vaativan omat 0,4 kV katkaisijansa, mutta katkaisijoilta eteenpäin sekä 400 V että 20 kV mitta- ja suojalaitteet voisivat palvella molempia generaattoreita. Sähköistä toteutusta voitiin siten pitää melko yksinkertaisena.

11.2.2 Mekaaninen toteutus

Suunnittelun kohdistui pääosin sähköiseen puoleen huomioiden toteutuksen vaativan myös monia mekaanisia muutoksia. Voimalan rakenteen perusteella muutoksia pidettiin vaativina. Niiden suunnitteluun olisi lisäksi tarvittu ulkopuolista suunnitteluapua. Asiakkaalla oli kuitenkin mahdollisuus toteuttaa suuri osa mekaanisista asennuksista omana työnä. Edellä esitetyn perusteella laskelmien pohjana käytettiin asiakkaan arvioimia lukuja.

11.2.3 Laskelmat kannattavuudesta

Laskelmissa huomioitiin 30 vuoden aikajakso mukaan lukien laitteiston hankinta-, asennus- ja lainakulut. Lisäksi huomioitiin arviot sähkön hinnan muutoksesta ja arviot uuden koneen käyntiajoista. Laskelmia tehtiin useita eri lähtöarvoilla havainnollistaen siten eri skenaarioiden merkityksen kustannusten takaisinmaksuajan osalta. Kuvien arvo ovat siten osin esimerkin omaisia. Kuvassa 11 on lähtöarvot yhden generaattorin tapauksessa. Vastaavat arvot hankinta-, asennus- ja lainakuluineen taulukoitiin myös mahdollisesta 2. generaattorista.

Lähtöarvot, nykytilanne / 1. generaattori	
Tuotanto	
Vuosituotanto	1000000 kWh
Keskihinta 0-10 v	0,04 € / kWh
Keskihinta 10-20 v	0,04 € / kWh
Keskihinta 20-30 v	0,04 € / kWh
Omakäyttö	
Omakäyttö	20000 kWh / vuosi
Omakäyttö 0-10 v	0,07 € / kWh
Omakäyttö 10-20 v	0,07 € / kWh
Omakäyttö 20-30 v	0,07 € / kWh
Omakäyttö / kiinteä	0,00 € / kk
Ylläpito / huolto	
0-10 vuotta	2000,00 € / vuosi
10-20 vuotta	2000,00 € / vuosi
20-30 vuotta	2000,00 € / vuosi

Kuva 11. Generaattorin kannattavuuslaskennan lähtöarvoja

Laskennassa käytettiin asiakkaan arvioimia tietoja tuotosta. Vuositason tuotanto jaettiin neljään kolmen kuukauden pituiseen jaksoon. Tämän jakson oletettiin toistuvan keskimäärin vastaavana, joten muuttuvana tekijänä pidettiin

ainoastaan sähkön hintakehitystä ja huoltokuluja. Kuvassa 12 on esitetty yhden vuosineljänneksen tietoja. Arvojen perusteella laskettiin vuosineljänniksittäin tuotot ja kulut kuvan 13 mukaisesti. Nämä yhdistettiin vuositason laskelmiin ja kokonaisuus 30 vuoden ajanjaksolle.

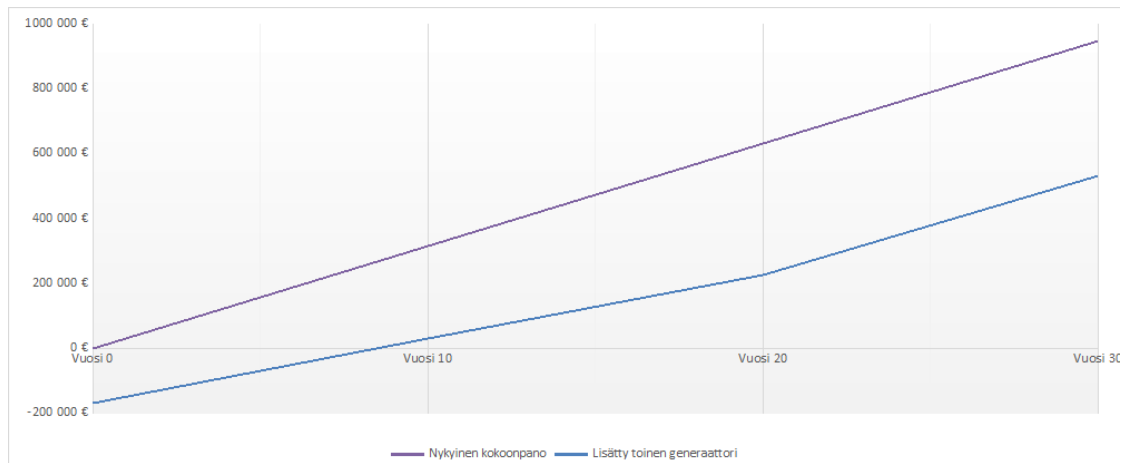
Ajoprofili, arvio huhti-kesäkuu	
Käytössä kaksi generaattoria	
1. generaattori	
Tuotto	200000 kWh / 3kk
Keskihinta 0-10 v	0,04 € / kWh
Keskihinta 10-20v	0,04 € / kWh
Keskihinta 20-30 v	0,04 € / kWh
2. generaattori	
Tuotto	50000 kWh / 3kk
Keskihinta 0-10 v	0,03 € / kWh
Keskihinta 10-20v	0,03 € / kWh
Keskihinta 20-30 v	0,03 € / kWh
Omakäyttö	
Kulutus	5000 kWh / 3kk
Keskihinta 0-10 v	0,07 € / kWh
Keskihinta 10-20v	0,07 € / kWh
Keskihinta 20-30 v	0,07 € / kWh
Omakäyttö / kiinteä	0,00 € / kk

Kuva 12. Generaattorimuutoksen kannattavuuslaskennan lähtöarvoja

Kahden generaattorin malli, huhti-kesäkuu	
Vuositaso, vuodet 0-10	
1. generaattori	7000,00 €
2. generaattori	1250,00 €
Yhteensä	8250,00 €
Kuukausikulut, huhti-kesäkuu	
Omakäyttö	350,00 €
Ylläpito / huolto	375,00 €
Yhteensä	725,00 €
Tuotot - kulut	7525,00 €
10 vuodessa	75250,00 €
Lainakulut huomioitu vuositason laskelmassa.	

Kuva 13. Generaattorimuutoksen tuotto- ja kululaskennan tuloksia

Tuloksien tulkitsemista helpottamaan piirrettiin myös kuvaaja, joka on esitetty kuvassa 14. Kuvatussa tilanteessa toisen generaattorin asentamiseen otettu velka lyhennetään tasaerin 20 vuoden ajalla. Tämän jälkeen kahden generaattorin malli tuottaisi hieman suuremmat huoltokustannukset yhteen verrattuna. Koska kalaportaan lisäämisen myötä mahdollisuutta pienemmälle juoksutukselle ei pidetty todennäköisenä, päädyttiin tilanteeseen, jossa toinen generaattori ei lisäisi laitoksen tuottoja.



Kuva 14. Graafinen tuottovertailu 1. ja 2. generaattorin mallista

11.2.4 Laskelmien tulos

Asiakas luopui laskelmien perusteella jo aikaisessa vaiheessa toistaiseksi toisen generaattorin lisäämisestä. Tämä huomioitiin myöhemmässä suunnittelussa ottamalla paremmin huomioon tulevaisuuden aikaisempaa lyhyemmät ja useammin toistuvat käyttösyklit.

Suunnittelussa vältettyyn tekemästä sellaisia ratkaisuja, jotka sulkisivat toisen turbiinin ja generaattorin lisäämisen myöhemmässä vaiheessa pois. Sähkösuunnittelun osalta suunnittelua ei kuitenkaan asiakkaan päätöksen jälkeen tehty pääkaaviota pidemmälle.

Kun kalaportaan todelliset vaikutukset selviävät myöhemmässä vaiheessa, voidaan tuloksia arvioida sen jälkeen uudelleen. Koska ohijuoksutusta ei ennen kalaporrastakaan ole juuri jouduttu käyttämään, ei näköpiirissä kuitenkaan ole selvää tarvetta tähän.

12 UUDISTUKSET

Uudistusten suunnittelu aloitettiin kartoittamalla laitoksen nykytila, ja sen perusteella suunniteltiin, millaisia uudistuksia on tarpeen tehdä ja miten ne toteutettaisiin. Uudistukset jaoteltiin eri tärkeysluokkiin, ja niille arvioitiin alustavasti kustannukset helpottamaan asiakkaalle esittämistä.

Uudistuksista tuotettiin asiakkaalle kattava dokumentointi, jossa esiteltiin jokainen osakohta perusteluineen. Lisäksi asiakkaalle toimitettiin myös lyhyet yhteenvedot jokaisen neuvottelukerran jälkeen. Näiden perusteella asiakas päätti työn kuluessa osan toteutettavista asioista ja niiden aikataulun. Osa toteutetaan asiakkaan niin halutessa myöhemmin.

12.1 Sähkö- ja automaatio suunnittelu

Työn alussa harkittiin vaihtoehtoa, jossa osa voimalan toiminnoista olisi toteutettu aikaisempaan tapaan releohjauksella. Tällöin joitain osia vanhoista kuvista olisi voitu hyödyntää, mutta koska kuvia ei ollut sähköisessä muodossa ollenkaan, olisi myös näiden kuvien uudelleenpiirtäminen ollut tarpeen. Koska lisäksi vanha releistys todettiin tarpeelliseksi uusia mahdollisimman suurin osin, katsottiin parhaaksi suunnitella lähes koko ohjauksen sähköistys uudelleen.

Laitoksen pääkaavion osalta periaate säilyi aikaisemman mukaisena, mutta suojalaitteiden uusiminen aikaansai tarpeen myös niiden uudelleen suunnittelulle. Samalla koko aineisto saadaan paperimuodosta sähköiseksi.

Suunnittelun haastavuutta lisäsi sen liittyminen oleellisiin osin lähes kaikkiin muihin laitoksen kohteisiin. Samasta syystä suunnittelua ei voitu tehdä alustavaa tasoa pidemmälle ennen lähes kaikkien muiden osa-alueiden selvittämistä.

Suunnittelu toteutettiin työn aikana ainoastaan osin kokonaisuuden valmistuksessa myöhemmässä vaiheessa.

12.2 20 kV laitteet

Voimalan 20 kV laitteet käsiteltiin osin yhdessä kohdan 9.1 kanssa. Niiden osalta huomioitiin erityisesti se, että laitteiden kunnon luotettava tarkistaminen on hoidettava ulkopuolisen, riittävän ammattitaidon ja luvat omaavan tahon toimesta.

12.2.1 20 kV katkaisija ja erotin

Laitoksella on pylväsmuuntamoon sijoitettuna 20 kV katkaisija sekä veitsiero-tin. Niiden kunnosta tai iästä ei ollut käytettävissä tarkkaa tietoa, eikä tarkasta-minen ollut työtä tehtäessä toteutettavissa. Laitteiden iäksi arvioitiin kuitenkin laitoksen ikä, koska mitään muuta tietoa ei ollut käytettävissä. Myöskään kun-non tarkistamisesta tai korjauksista ei löydetty mitään merkintöjä.

Kumpaakaan laitetta ei ollut varustettu sähköisellä toimilaitteella, eli ne olivat pelkästään mekaanisesti käsin käytettävissä. Nykyisen omistajan aikana lait-teita ei oltu käytetty käsin kertaakaan. Testaaminen jätettiin tästä johtuen teh-täväksi samaan aikaan muiden muuntamoon kohdistuvien toimien kanssa, jotta mahdollisissa ongelmatilanteissa on heti valmius korjaaviin toimiin.

Koska verkkoyhtiön puolelta ei esitetty pakottavaa vaatimusta ohjattavista lait-teista, pidettiin suunnittelussa lähtökohtana muuntamon uusimista kokonai-suudessaan, jolloin myös ko. laitteet vaihtuisivat uusiin.

Laitteet todettiin suunnittelussa kohteiksi, jotka eivät vaadi akuutisti toimenpi-teitä, mikäli muuntamo uusitaan nopealla aikataululla. Muussa tapauksessa laitteiden todettiin tarvitsevan vähintään kunnon tarkistuksen, ja lisäksi ehdo-tettiin asiakkaalle harkittavaksi katkaisijan varustamista sähköisellä käyttölait-teella.

12.2.2 20 kV virta- ja jännitemuuntajat

Laitoksen 20 kV virta- ja jännitemuuntajat sijaitsivat pylväsmuuntamossa. Koska turvallinen erottaminen keskijänniteverkosta ei ollut mahdollinen, ei työn aikana tutkittu laitteita tarkemmin. Aikaisempien tietojen pohjalta todettiin kuitenkin yksi laitteista vaihdetun aikaisemmin muiden ollessa alkuperäisiä.

Laitteiden osalta päädyttiin samaan ratkaisuun kuin 20 kV erottimen ja katkai-sijan osalta eli muuntamon uusimisen myötä tilalle tulisivat uudet laitteet. Mikäli muuntamoa ei uusita nopealla aikataululla, todettiin myös näiden laittei-den vaativan kunnon ja öljyjen tarkistuksen.

12.2.3 20 kV valvontareleistys

Laitoksen 20 kV valvontareleistys käsitti normaalit yli- ja alivirtasuojaukset sekä maasulkusuojaukset. Laitteet on esitetty kuvassa 15. Suojalaitteista oli käytettävissä tarkastustodistus, jossa ne oli todettu vaatimuksia vastaaviksi ja toimiviksi. Niiden ikä huomioiden käytön jatkamista ei pidetty mahdollisena. Rikkoutumisen mahdollisuutta pidettiin suurena, eikä laitteille ole käytännössä enää mitään huoltomahdollisuuksia. Lisäksi korvaavan laitteen hankkiminen ja asentaminen voisi pahimmassa tapauksessa kestää viikkoja aiheuttaen siten pitkän tuotantokatkon. Suunnittelun perusteella päädyttiin uusimaan olemassa olevat laitteet yhdellä nykyaikaisella laitteella. Uusi laite kuvassa 16.



Kuva 15. Vanhat 20 kV ylijännite- ja maasulkureleet



Kuva 16. Valittu uusi suojarele (Arqtec 2019)

12.3 Keskus

Työn yhtenä osana oli suunnitella nykyisen, elinikänsä lopussa olevan ja paljon ongelmia aiheuttavan ohjaustekniikan uudistaminen nykypäivän vaatimuksia vastaavaksi. Keskusta kokonaisuutena ei ollut tarkoitus uusia vaan purkaa vanhaa laitteistoa riittävällä laajuudella ja korvata uusilla.

Voimalan keskus oli toteutettu kuvien päiväyksien perusteella 1981 sen aikaisella tekniikalla. Kaikkia toimintoja ohjattiin reletekniikalla ja erilaisten turvatoimintojen vuoksi toteutuksessa oli monia monimutkaisia ja vikaherkkiä ratkaisuja. Laitteistossa oli myös käytössä erilaisia erikoisreleitä, joiden rikkoutessa korvaavan saanti todettiin lähes mahdottomaksi. Lisäksi voimala on alkujaan suunniteltu miehitetyksi laitokseksi. Keskukseen oli kuitenkin lisätty myöhemmässä vaiheessa logiikka ohjaamaan releohjausta hyödyntäen laitoksen toimintoja. Samalla laitoksen etäkäyttömahdollisuuksia oli saatu parannettua.

Suunnittelussa lähdettiin ajatuksesta, jossa osa toiminnoista jätetään edelleen releohjauksen taakse, mutta releiden määrää pyritään vähentämään ja toimintoja siirtämään logiikan ohjattavaksi. Vanhaa releistystä ei kuitenkaan todettu voitavan käyttää tässäkään ratkaisussa kuin pieneltä osin niiden iän ja heikon luotettavuuden vuoksi. Lisäksi vanha releohjaus todettiin osin niin monimutkaiseksi, ettei vianhaku uusittuna ja yksinkertaistettunakaan vastaisi nykypäivän vaatimuksia.

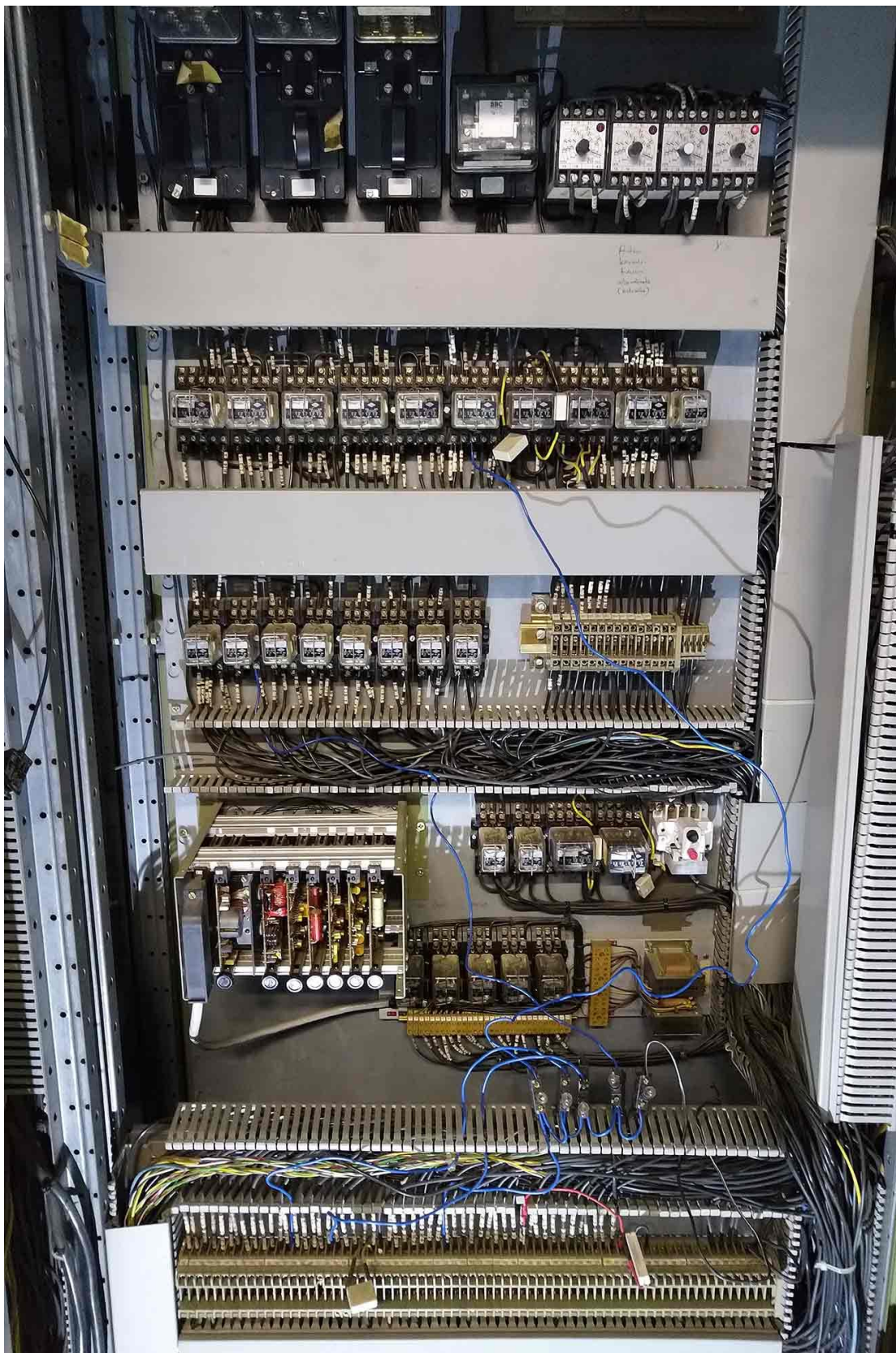
Suunnittelun tuloksena päästiin ratkaisuun, jossa logiikka ohjaa käytännössä kaikkia laitoksen toimintoja ja valvoo niitä. Releitä ohjauksiin jätettäisiin ainoastaan tarvittava minimimäärä.

Kuvassa 17 on laitoksen pääkeskus ulkoa. Tämän keskuksen lisäksi laitoksella on myös erilliset akkukeskukset, niihin liittyvä akkutila ja muutamia erilaisia pienempiä jakokeskuksia.



Kuva 17. Laitoksen keskus

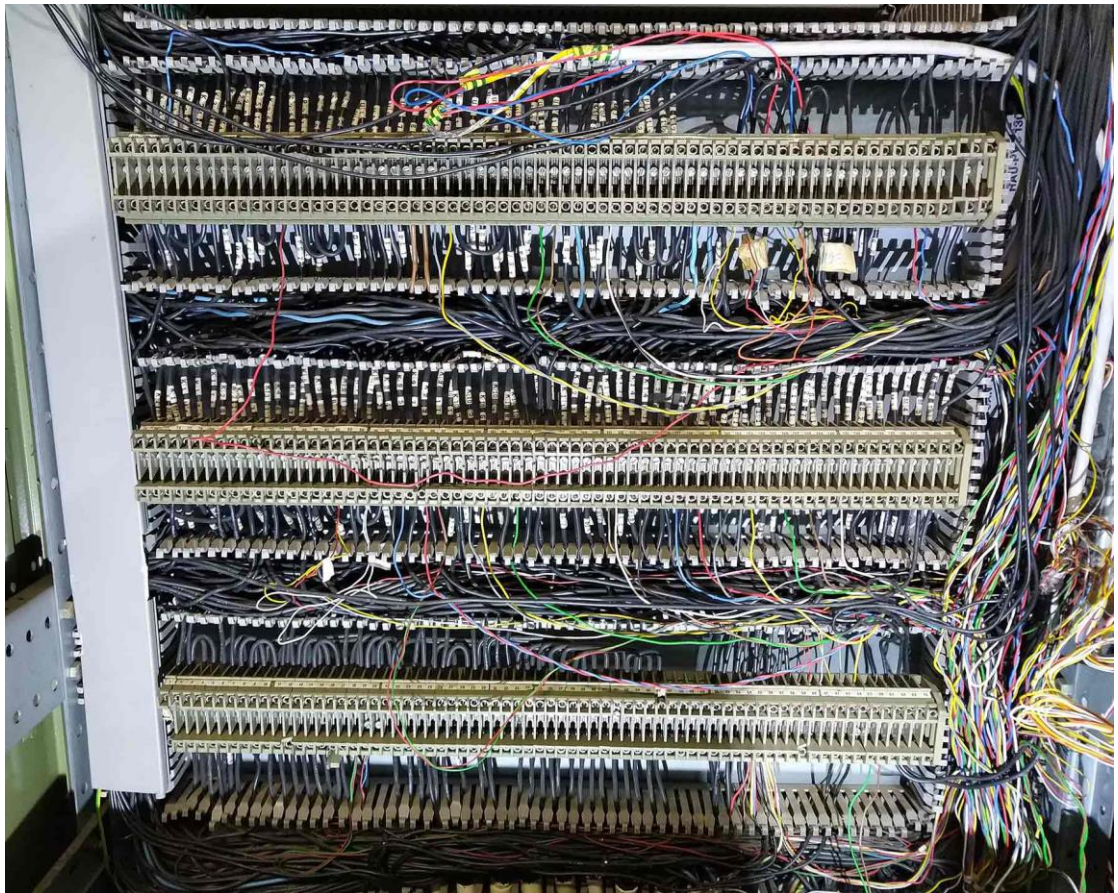
Kuvassa 18 esimerkki yhden kaapin vanhasta releistyksestä. Kuvan yläreunassa osin näkyvien kaltaisia erikoisreleitä oli laitoksella käytössä useita. Kuvan alareunassa on nähtävillä myös irtonaisia merkkivaloja, joita on lisätty indikoimaan käynnistyssekvenssin tilaa. Tämän kaltaisia ratkaisuja laitoksella oli useita helpottamassa mahdollisen vikatilanteen selvittämistä.



Kuva 18. Vanhaa releistystä. Kuvassa vasemmalla alhaalla vanha tahdistin.

Kuvassa 19 on esitelty keskuksen vanhaa johdotusta. Pääkeskuksen jokaisessa viidessä kaapissa oli alhaalla vastaava noin 200 riviliittimen koko-

naisuus, joissa oli sekä kaappien välisiä kaapeleita, kenttäkaapeleita, lenkityksiä liittimien välillä, kaapin sisäisiä kaapeleita ja lisäksi jälkiasenteisia valvonnan ja logiikan kaapelointeja. Vanhassa suunnittelussa ei myöskään ollut huomioitu eri jännitetasojen erottamista toisistaan käytännössä millään tasolla. Viereisissä liittimissä saattoi siten olla 24 DCV ja 230 ACV. Tätä pidettiin merkittävänä riskitekijänä, koska virhekytkentä voisi aiheuttaa merkittäviä laiterikkoja.



Kuva 19. Keskuksen vanhaa johdotusta

12.4 Ohjauslogiikka

Laitokselle oli lisätty myöhemmässä vaiheessa FF-Automationin valmistama AutoLog-logiikka ohjaamaan releohjausta hyödyntäen laitoksen toimintoja. Logiikan Modbus-liikennöinti oli muutettu IP-pohjaiseksi ja varustettu 4G-modeeilla. Tällä ratkaisulla asiakkaan tiloihin oli toteutettu valvomosovellus, jolla laitosta voidaan ohjata ja valvoa. Lisäksi laitteistossa oli gsm-modeemi, jonka kautta saadaan muutamia perustietoja sms-viestein.

Käytössä ollut AutoLog-logiikka todettiin iäkkääksi, mutta koska vastaavia laitteita on asiakkaalla muissakin käytössä ja laite on todettu hyvin pitkäikäiseksi ja varmatoimiseksi, toiveena oli jättää laite edelleen käyttöön.

lästään johtuen logiikka ei vastaa ominaisuuksiltaan ja nopeudeltaan nykyaikaisia logiikoita, mutta soveltuu siitä huolimatta uudistustenkin jälkeen hoitamaan voimalan ohjauksia. Lisäksi logiikkaohjelma ei olisi ollut suoraan käännettävissä muille laitteille, joten tarpeelliset muutokset päädyttiin toteuttamaan olemassa olevaan ohjelmaan.

Koska kyseessä on iäkäs, tuotannosta poistunut laite, selvitettiin mahdollisten varaosien saantia, jotta asiakkaalle saadaan kaikista käytössä olevista laitteiston osista varakappaleet. Varaosien hankinta jäi osin kesken työn päättymisen kohdalla. Kaikista korteista saatiin varakappaleet, mutta muutamien osien varaosien määrä olisi haluttu kahdentaa.

12.5 Valvontalogiikka

Luovuttaessa suunnitelmasta käyttää releohjauksia voimalan alasajoon mahdollisissa logiikan ongelmatilanteissa nousi esiin tarve varmentaa luotettava toiminta muilla tavoin. Ratkaisuksi valittiin päälogiikan toimintaa valvovan logiikan lisääminen laitteistoon. Kahden, omiin varmennettuihin sähkönsyöttöihin kytkettyjen logiikoiden toimintavarmuutta pidettiin niin korkeana, ettei erillisille turvalogiikoille nähty tarvetta.

Valvontalogiikan toiminnan suunnittelussa haasteita tuotti toteuttaa ne tavat, joilla päälogiikan tekemien päätösten oikeellisuutta seurataan, ja se, miten tilanne hoidetaan, mikäli virheellisiä toimintoja esiintyy.

Lopullisessa toteutuksessa kaikki IO-tieto suunniteltiin tuotavaksi molemmille logiikoille. Tällöin ohjelmallinen suunnittelu voi mukailla suurin osin päälogiikkaa sillä poikkeuksella, että erilaiset valvonta-ajat ja muu vastaava on hieman pidempää ja ohjauksiin puututaan ainoastaan tarvittaessa.

Valvovan logiikan saadessa kaiken IO-tiedon mahdollistuu myös tulevaisuudessa muuttaa laitteen ohjelmistoa niin, että päälogiikan vikatilanteessa voidaan harkitusti ja valvonnan alla käyttää laitosta ainoastaan yhden logiikan turvin.

Laitoksen turvallinen erottaminen verkosta on kriittisin yksittäinen toimenpide, joten pääasiallisena erottimena toimivan 0,4 kV katkaisijan suora laukaisu mahdollistettiin molemmilta logiikoilta. Lisäksi suojaraleiden, turbiinin mekaanisen ryntäyssuojan ja fyysisen pikasulkupainikkeen katsottiin olevan laitteita, joiden on kyettävä ohjaamaan katkaisijaa myös tilanteissa, joissa molemmat logiikat vikaantuisivat.

12.6 Generaattorin ohjaus ja suojaus

Laitoksen generaattorin ohjaus ja suojaus on monivaiheinen prosessi sisältäen sähköiset ja muut suojaukset. Suojausten lisäksi myös magnetoinnin, jännitteen, tehon ja loistehon valvonnat ja ohjaukset. Alkuperäisen moneen eri laitteeseen eriytetyn ratkaisun yksinkertaistamista pidettiin toivottavana suunnittelun pohjana. Myös laitteiden ikää pidettiin ongelmallisena. Kuvassa 20 on esitetty vanhan jännitteen säätäjän etusivu.



Kuva 20. Vanha jännitteen säätäjä

12.6.1 Generaattorin sähköinen suojaus

Generaattorin suojaus käsitti yli- ja alivirtasuojaukset ja maasulkusuojaukset 0,4 kV jännitteelle. Suojareleista oli käytettävissä tarkastustodistus, jonka mukaan laitteet olivat toimivia. Niiden ikä huomioiden uusimista pidettiin kuitenkin toimintavarmuuden takaamiseksi kriittisenä toimenpiteenä.

12.6.2 Generaattorin kierrosluku- ja ryömintävalvonta

Generaattorin kierrosluvun valvontaan oli kolme erillistä anturia ja niille omat, prosentuaalisen kierroslukutiedon havaitsevat releet. Lisäksi generaattori oli varustettu mekaanisella ryntäyssuojalla. Toteutuksesta johtuen kierroslukua ei myöskään ollut käytettävissä logiikalla eikä siten valvottavissa etävalvomosta.

Turbiinilla oli asiakkaan haastattelujen perusteella taipumus ryömiä, mikäli pääventtiiliä ei suljeta. Ryömintäsuoja oli toteutettu erillisenä ratkaisunaan jossa pysäytyskohdasta riippuen 0–180 asteen pyörähdys aktivoi toisen relepiirin ja tämän jälkeen 180 asteen pyörähdys toisen. Molempien aktivoiduttua turbiinin todettiin ryömivän.

Olemassa oleva anturointi korvattiin kahdella erillisellä anturilla, jotta kierros-tieto on aina saatavilla myös mahdollisessa anturin rikkoutumistapauksessa. Anturiratkaisulla logiikoille saadaan todellinen pyörintänopeus. Alasajo suoritetaan tarvittaessa anturitietojen perusteella ohjelmallisesti. Samoin logiikalla havaitaan ryömintätilanne ja ohjataan pääventtiilin sulkeminen.

Ainoastaan mekaaninen ryntäyssuoja jätettiin ohjaamaan laitteiston pikasulku suoraan ohi logiikoiden. Asiakkaan kertoman mukaan mekaanisen suojan aiheuttamia alasajotilanteita ei ole ollut koskaan, mutta tästä huolimatta suoja haluttiin jättää aikaisempaan tapaan ohjaamaan turbiinin sulku täysin riippumatta muista ohjauksista.

12.6.3 Generaattorin muu suojaus

Turbiini oli varustettu 0/1-kärkitiedon tarjoavilla öljyjen ja laakereiden lämpötiloja ja öljyn painetta seuraavilla antureilla. Lisäksi öljyn virtausta seurattiin

useassa kohteessa ja öljyn pinnan tasoa öljysäiliön yhteydessä. Vanhassa toteutuksessa rajojen ylitys / alitus aktivoi pikasulun.

Laitteistoon päätettiin asentaa uudet lämpötiloja ja voiteluöljyn painetta seuraavat lähettimet ja tuoda niiden tiedot logikoille. Virtaus- ja pinta-anturit päätettiin jättää ennalleen. Alasajo suoritetaan tarvittaessa anturitietojen perusteella ohjelmallisesti. Aikaisemman kaltaiselle pikasululle kaikissa tilanteissa ei nähty tarvetta muutoin kuin vanhan releohjauksen toteutuksen kannalta. Alasajo päätettiin jatkossa hoitaa hallitusti tilanteissa, joissa seurattavissa arvoissa havaitaan käyttöön vaikuttavia muutoksia.

12.6.4 Magnetointi

Voimalan generaattorin magnetointi oli toteutettu valmistumisajan ratkaisuja noudattaen. Generaattorin akselilla on erillinen magnetointigeneraattori. Magnetointigeneraattorin magnetointia ohjasi erillinen, moottorikäyttöinen säätölaite. Tämän kaltainen järjestelmä erillisellä magnetointigeneraattorilla on toimiva mutta monimutkainen ja lisää pyörivän massan määrää.

Magnetointigeneraattorin mahdollista korvaamista muulla tekniikalla vaikeutti poikkeavat jännitteet. Generaattorille olemassa olleessa materiaalisissa annettiin magnetoinnin arvoiksi 110 V / 73A, mutta normaalissa ajotilanteessa jännite oli noin puolet tästä ja virta hieman mainittua arvoa suurempi. Tällaisella jännitteellä ja virralla toimivan säätölaitteiston löytäminen osoittautui ongelmalliseksi normaalisti käytössä olevien ollessa suuremmalla jännitteellä ja pienemmällä virralla.

Magnetointigeneraattori todettiin hyvin toimivaksi mutta liukupintojen vaativan huoltoa. Suunnittelussa harkittiin kolmea mahdollisuutta, joista yhdessä erillinen generaattori poistetaan, toisessa se jätetään käyttöön ja kolmannessa jätetään käyttöön huomioiden mahdollisimman helppo korvaaminen muulla ratkaisulla myöhemmässä vaiheessa.

12.6.5 Tahdistus

Voimalan tahdistuslaitteiston ikää ei pystytty selvittämään, mutta laite todettiin vanhaksi ja odotetun eliniän reilusti ylittäneeksi. Tarkemmalla tarkastelulla erilaisia komponenttivaurioita oli selvästi havaittavissa. Laitteen luotettavaan käyttökuntoon saattaminen olisi edellyttänyt lähes kaikkien komponenttien vaihdon, mutta nykyvaatimuksien mukaiseksi laitetta ei kuitenkaan olisi saatu.

Koska voimalaa ajetaan kulutushuippujen aikana ja ylös ajon tulisi tapahtua nopeasti, myös tahdistimeen kohdistui vaatimus nopeasta toiminnasta. Vanha laite todettiin huonosti vaatimusta vastaavaksi, vaikka toimivuus olisi muilta osin saatu varmistettua.

Työtä tehtäessä suunniteltiin myös mahdollisuutta toteuttaa osittain käsikäyttöinen tahdistus pienellä logiikalla tarvittavien oheislaitteiden kanssa. Tästä ajatuksesta kuitenkin luovuttiin yhdessä osasta muista käsiajotoiminnoista luopumisen kanssa.

12.7 Katkaisija

Voimalassa oli käytössä 0,4 kV/1000A katkaisija. Katkaisijan valmistusajan kohdasta ei saatu varmaa tietoa. Katkaisijalle oli kuitenkin mahdollisesti tehty aikanaan huolto, mutta tästä ei löydetty mitään papereita, joten mahdollinen ajankohta ja huollon sisältö jäivät avoimeksi. Koska käytössä olevan tyyppisen katkaisijan luotettava toimintaikä on noin 5000 kertaa täydellä kuormalla, arviointiin vähintään toiminnan tarkistaminen välttämättömäksi.

Katkaisija on laitoksen toiminnan kannalta kriittisen tärkeä laite, jonka on toimittava kaikissa tilanteissa. Generaattori on saatava irrotettua verkosta normaalin käytön lisäksi myös erilaisissa ongelmatilanteissa. Toiminnan kriittisyyttä lisää sähköisesti ohjatun erotusmahdollisuuden puuttuminen 20 kV puolelta.

Katkaisija avattiin työn kuluessa ja tarkistettiin sen toiminta niiltä osin kuin mahdollista. Laite todettiin pääosin kunnossa olevaksi, mutta kärkien ylimenovastuksia ei saatu mitattua.

Katkaisija jätettiin työn aikana uusimatta, mutta koska olemassa olevan laitteen varaosia ei enää ongelmatilanteissa ole saatavilla, pyydettiin tarjous korvaavasta laitteesta. Korvaavaksi suunniteltiin Schneiderin Masterpack NW -sarjan laitetta, koska asiakkaalla on entuudestaan käytössä vastaavia laitteita. Tällöin mahdollisessa ongelmatilanteessa voisi tulla kyseeseen laitteen lainaaminen toisesta kohteesta. Samoin varalaitteen hankkiminen olisi kustannustehokkaampaa.

Työn ulkopuolelle jäi katkaisijoiden varastoinnin kesto. Mikäli myöhemmässä vaiheessa hankitaan varakappale, selvitetään tässä yhteydessä, edellyttääkö pidempi varastointi joitakin erityisiä toimia.

12.8 Pääventtiili

Laitoksen ollessa putkivoimala tuloputki oli varustettu 900 mm kiilaventtiilillä. Venttiiliä ohjattiin hydraulimoottorilla. Venttiilin käyttöä ei ollut kahdennettu millään tavoin, sitä käytti ainoastaan 110 DCV hydraulipumppu.

Hydraulimoottorin tietojen perusteella ei pystytty jäljittämään mitään teknisiä tietoja, eikä niitä löydetty laitoksen materiaaleista. Käyttöpaine oli tiedossa, mutta pelkästään sillä venttiilin voiman tarvetta ei voitu laskea. Myöskään itse venttiilistä ei ollut sellaista dokumentaatiota, jonka perusteella voiman tarve olisi voitu määritellä.

Tarpeellisten lähtöarvojen puutteessa venttiilin tarvitsema voima jouduttiin mittaamaan. Voima-anturille soveltuvaa paikkaa ei ollut, jonka seurauksena mitaus oli tehtävä käsin soveltuvaa jatkovartta ja vaakaa käyttäen. Saatua arvoa lisättiin varmuuskertoimella, jotta toiminta saadaan varmistettua.

Soveltuvaksi moottorin kooksi laskettiin 1,2 kW moottori sellaisella vaihteistolla, jolla toteutuu 21 kierrosta minuutissa. Moottorin ohjaukseen suunniteltiin nykyaikainen moottorinohjain, jolla voitiin toteuttaa käynnistysrampit ja ylivirtasuojaukset. Venttiili varustettiin myös kiinni- ja aukirajojen lisäksi pulssianturilla, jolla mahdollistettiin pyörimisen ja asennon seuranta.

Asennuksen jälkeisissä koekäytöissä todettiin moottorin pyörivän hyvin kevyellä kuormalla, ja siten parempi vaihteiston välitys olisi ollut 32 kierrosta minuutissa. Mahdollisuuksia vaikuttaa tilanteeseen ei kuitenkaan enää ollut, joten venttiilin toiminta jäi hieman alkuperäistä hydraulimoottoria hitaammaksi.

12.9 Sääätäjä

Turbiinin johtopyörää ohjattiin sääätäjällä, joka on kyseiseen käyttöön suunniteltu erityislaite, jossa osa tehoasetus ohjataan sähköisesti ja itse voiman tuotoon käytettiin hydraulikkaa. Laitteessa oli myös sähköismekaanishydraulinen pikasulkutoiminta.

Laitteesta haluttiin lähtökohtaisesti luopua, koska kunnon arviointiin ei löydetty riittävän hyviä keinoja, varaosia ei ole saatavilla eikä vastaavien laitteiden osalta uskottu löytyvän enää korjausosaamista.

Laitteistosta ei löydetty mitään teknistä dokumentaatiota, eikä iästä johtuen sellaista löydetty myöskään internetistä. Myöskään tarkkaa mekaanista kuvaa ei ollut, ainoastaan esitys hydraulikkakuvan yhteydessä.

Laitteen hydraulisylinterillä tuottama voima muutettiin pyöriväksi akseliliikkeeksi. Akselille sijoitetulta kiinnityskappaleelta voima välitettiin kahdella työntötangolla johtopyörälle. Työntötankojen yhteyteen ei ollut helposti asennettavissa voima-anturia, joten voimasta saatiin ainoastaan laskennallinen tieto huomioiden käyttöpaine ja työsylinterin koko. Korvaavaa toteutusta jouduttiin siten pohtimaan näillä tiedoilla.

Voiman tarpeeksi saatiin laskennallisesti yli 40kN. Tällä tiedolla selvitettiin useilta toimijoilta lineaarimoottorien saatavuutta tai vaihtoehtoisesti vaihteistoa, jolla voima olisi saatu välitettyä olemassa olevalle akselille. Toteutuksella oli lisäksi tarpeen toteutua itsepito, jotta säädetty asema säilyy.

Annetut ehdot täyttäviä laitteita selvitettiin useiden toimittajien kanssa melko huonolla menestyksellä. Lisäksi muutoksen muuhun laitteistoon todettiin aiheuttavan sellaisia mekaanisia muutoksia, joita suunnittelemaan ja toteuttamaan tarvittaisiin ulkopuolista apua.

Työtä tehtäessä oli tiedossa vastaavan säätölaitteiston olevan yleisesti käytössä vesivoimaloissa. Laitosten kokoluokan ollessa kuitenkin merkittävästi Arrakoskea suurempia ei katsottu perustelluksi lähteä selvittämään, miten niissä säätölaitteen kunnossapitoa hoidetaan. Pienempien laitosten toteutuksesta tiedon saanti olisi ollut hankalaa, eikä niissä välttämättä olisi ollut parempaa osaamista toteutuksen osalta. Arrakosken omistajataholla on omistuksessaan myös toinen voimala, mutta sen ratkaisujen ollessa eroavia ei myöskään sieltä voitu etsiä ratkaisumalleja.

Lopulliseen toteutukseen päädyttiin jättämään toistaiseksi vanha laite korvaavan saannin hankaluuden ja kustannusten vuoksi. Asiakkaalle tuotiin kuitenkin tietoon, ettei vanhan laitteen rikkoutuessa korvaavaa ole helposti ja nopeasti saatavilla ja että tilanteeseen olisi varauduttava ennalta. Vanhaan toteutukseen lisättiin kuitenkin absoluuttisen asematiedon tarjoava lineaarianturi mahdollistamaan toiminnan tarkempi seuranta.

Työtä tehtäessä säätölaitteistossa havaittiin myös heikentyneestä voitelusta johtuva hammaspyörävario. Tämän osalta todettiin korvaavan osan koneistuksen olevan mahdollinen eikä siten käytön jatkoa haittaava.

12.10 Hydrauliiikka

Voimalan pääventtiiliä käytettiin hydraulimoottorilla, johtopyörän lukitus kiinnitilaan hoidettiin hydraulisylinterillä, samoin turbiiniakselin jarru. Lisäksi suurimpana hydrauliiikkaa käyttävänä kokonaisuutena turbiinin suulakkeita ohjataan hydraulisella laitteistolla.

Hydrauliikan käyttö useissa eri toiminnoissa on vaatinut järjestelmän varustamisen useammalla pumpulla käyttövarmuuden takaamiseksi. Kuitenkaan itse järjestelmää ei muilta osin ollut varmistettu riittävästi.

Suunnittelun aluksi pohdittiin erilaisia turvahydrauliikkatoteutuksia, mutta melko nopeasti lähtökohdaksi muotoutui koko hydrauliikan poistaminen ja korvaaminen vaihtoehtoisin tavoin.

Hydrauliikan suunnitteluun käytettiin kokonaisuutena paljon aikaa ratkaisun eläessä muiden osa-alueiden vaatimusten mukaan ja vastaavasti niihin suoraan vaikuttavana. Alkuperäinen ajatus kokonaisuudessa luopumisesta ei toteutunut, mutta eri osa-alueiden toteutusmahdollisuuksista saatiin asiakkaalle tieto tulevaisuuden muutostöiden pohjaksi.

12.10.1 Hydrauliöljypumput

Voimalassa oli hydrauliöljyn pumppaamiseen kolme erillistä pumppua. Yksi generaattorin akselilla, yksi 400 ACV ja yksi 110 DCV. Näistä ainoastaan 110 DCV pumppu tuotti matalamman säätöpaineen lisäksi myös korkeampaa painetta venttiilien ohjaukseen.

Suunnitellessa pohdittiin tarvittavia muutoksia tilanteessa, jossa hydrauliikka säilytetään. Tällöin ainoastaan DC-pumppu olisi jouduttu korvaamaan 24 DCV -pumppulla. Soveltuvan pumpun saatavuus todettiin selvittelyjen perusteella heikoksi. 24 DCV -pumppuja löydettiin, mutta niiden tuottama paine oli pääasiallisesti liian korkea. Soveltuva pumppu kuitenkin löydettiin työn kuluessa, ja siitä saatiin tarjous.

Hydrauliikasta luopumista suunniteltaessa molemmat sähköpumput voitiin todeta tarpeettomiksi. Akselipumppu sijaitsee hankalasti saavutettavassa paikassa laakeripukissa, joten sen purkamista ei pidetty järkevänä. Tästä johtuen olisi jouduttu jättämään myös laakeripukin yhteydessä oleva öljysäiliö käyttöön ja toteuttamaan pumpulle öljyn painepuolen paluukierto tähän säiliöön.

Työn kuluessa toteutettavaksi ratkaisuksi jäi säilyttää toistaiseksi matalapaineinen hydrauliikka. Ainoastaan pumppujen ohjaukset siirrettäisiin logiikan ohjaamaksi, jotta erityisesti 110 DCV pumpun aikaisemmin ongelmana olleet liian pitkät käyntiajat saadaan hallintaan. Korkeapaineinen hydrauliikka purettiin kokonaisuudessaan.

12.10.2 Hydraulioöljyn lämmitys

Voimalan ollessa pois käytöstä hydraulioöljy on pidettävä lämpimänä, jotta nopea ylös ajo on mahdollista. Tätä varten laitteistossa oli erillinen öljyn lämmitys ja lämmittimen läpi kierrättämisen mahdollistava vapaakiertoventtiili.

Koska hydraulikäyttöä ei toistaiseksi päätetty poistaa, säilyy myös lämmityksen tarve. Lämmityksen termostaatti korvataan lämpötilalähettimellä, jolloin lämmitys voidaan toteuttaa aikaisempaa järkevämmiin ja energiatehokkaampiin.

12.11 Voitelujärjestelmä

Voitelujärjestelmän osalta ei asetettu lähtötavoitteita. Järjestelmä tulisi siten jäämään ennalleen suurelta osin. Sähköinen toteutus siirtyisi kuitenkin logiikan ohjattavaksi, eli nykyinen toiminta ja sen mahdolliset puutteet tuli selvittää ohjelmoinnin mahdollistamiseksi.

12.11.1 Turbiinin ja generaattorin voitelu

Voimalan turbiinille ja generaattorille oli yhteinen voitelupiiri. Samaan voitelupiiriin kuuluivat myös turbiinin akselin laakeripukkien laakerien voitelu. Voitelu oli toteutettu AC-pumpulla, jolla saatiin toteutettu esivoitelu. Lisäksi voitelupii-rissä oli turbiinin akselille sijoitettu pumppu ja laakeripukeissa öljykylvyn kautta kulkeva hihna, joka akselin pyöriessä nostaa öljyä laakereille.

Voitelun toimivuutta voimalan käydessä pidettiin riittävänä ja turvallisen alas-ajon varmistavana, vaikka jokin kolmesta voitelutavasta vikaantuisi. Olemassa olleella ratkaisulla voimalan käynnistys sähköttömässä tilassa ei kuitenkaan onnistuisi, tämä edellyttäisi tasasähköpumpun lisäämisen järjestelmään. Tällaista tarvetta ei kuitenkaan nykytilanteessa pidetty mahdollisena. Voimala syöttää tuottamansa energian suoraan Elenian verkkoon, eikä mitään paikallisia, suoraan kytkettyjä kuluttajia ole. Voimalaa ei siten ole tarvetta missään tilanteessa käynnistää saarekekäyttöön. Voitelujärjestelmään ei siten ollut perusteltua tarvetta tehdä muutoksia pumppujen osalta.

12.11.2 Voiteluöljyn lämmitys

Voiteluöljypiiri oli varustettu lämmittimellä. Lämmityksellä pidetään öljyn lämpötila riittävänä laitoksen ollessa pysähdyksissä.

Lämmityksen ohjaus oli toteutettu perinteisellä termostaatilla, jonka lämpötila- aluetta pidettiin liian korkeana ja siten energiahukkaa aiheuttavana. Olemassa ollut yllilämpösuoja suunniteltiin jätettäväksi edelleen käyttöön, mutta termostaatti korvattavaksi lämpötilalähtetimmellä, jotta lämpötilan seuranta ja säätö saadaan toteutettua logiikan ohjaamana ja samalla mahdollistetaan etävalvonta.

12.12 Muut laitteet ja kokonaisuudet

Laitoksella oli myös muita laitekokonaisuuksia ja toteutuksia, joita käytiin läpi työtä tehtäessä. Seuraavassa käydään läpi osa näistä.

12.12.1 Tietoliikenneverkko

Voimalan aikaisemmassa toteutuksessa ainoastaan myöhemmin lisätty logiikka oli yhdistetty muuntimen kautta 4G-modeemiin ja siten IP-verkkoon. Muu liikennöinti muodostui logiikan ja energia-analysaattorin välisestä Modbus-liikenteestä.

Käyttöön valitut uudet laitteet olivat varustettu ethernet-liitännöillä. Näiden liittämiseksi toisiinsa suunniteltiin voimalaan ethernet-verkko. Verkon kautta laitteiden ei-kriittistä dataa voidaan esittää päätteellä paikallisesti. Samalla tiedot saadaan käytettäväksi myös etävalvomossa aikaisempaa laajemmin.

Verkon täysipainoinen hyödyntäminen päätettiin jättää myöhemmin toteutettavaksi. Toteutukselle luotiin kuitenkin pohja myöhemmän työn kohdistuessa siihen ainoastaan ohjelmalliseen toteutukseen.

12.12.2 Käyttöpääte ja käyttökytkimet

Aikaisemmassa toteutuksessa voimalan toimintojen ohjaus hoidettiin lähes kaikilta osin fyysisillä käyttökytkimillä. Myöhemmin lisätylle logiikalle oli asennettu silloin saatavilla oleva käyttöpääte, jonka kautta voitiin indikoida osaa toiminnoista. Pääteen elinikäodotus oli kuitenkin ylittynyt, eikä sitä voitu pitää muutoinkaan nykyvaatimuksia vastaavana. Vanhentuneena mallina myös myynti oli loppunut vuosia aikaisemmin, eli varapääteen hankkiminen olisi ollut vaikeaa. Asiakkaalla on myös muualla käytössä vastaavia päätteitä. Tästä johtuen olemassa olleen pääteen arvo varakappaleena todettiin käyttöön jättämistä paremmaksi vaihtoehdoksi.

Voimalan käyttöä hoidetaan pääasiallisesti kaukokäytöllä, eikä paikallisen käytön tarvetta ole kuin poikkeustilanteissa. Asiakkaan kanssa käytyjen keskustelujen perusteella fyysisiä käyttökytkimiä pidettiin suurelta osin tarpeettomina. Käyttöön jätetään ainoastaan osa kytkimistä, ja toimintoja siirretään päätteelle paikallista käyttöä varten.

Vanhentunut käyttöpääte suunniteltiin korvattavaksi uudella kosketusnäyttöisellä päätteellä. Pääte liitettäisiin molempiin logiikoihin ja väylän kautta myös muihin laitteisiin. Pääteelle toteutetaan normaalia käyttötilannetta varten erilaisia voimalan tilaa esittäviä mittaroiteja ja graafeja.

12.12.3 Akustot ja niiden tilan seuranta

Olemassa olleessa toteutuksessa käytettiin 24 DCV- ja 110 DCV -järjestelmiä ja -akustoja. Laitteistoa haluttiin lähtökohtaisesti yksinkertaistaa. Tämän perusteella 110 DCV -akuston ja sitä käyttävien järjestelmien korvaaminen muilla oli suunnittelun lähtökohtana. Koska alkuperäisen ajatuksen mukainen hydraulikasta luopuminen ei toteutunut, suunnitelmaa jouduttiin muuttamaan.

Suunnittelussa päädyttiin muuttamaan 2 akun ratkaisu 2+2 akun ratkaisuksi 24 DCV -käytössä. Myös vanhan laturin rinnalle suunniteltiin lisättäväksi toinen laturi varmistamaan toimintaa.

Aikaisemmassa toteutuksessa akkujen kuntoa ei valvottu eikä myöskään laitteiden ottamia virtoja. Uudistukseen suunniteltiin venttiilien ohjauksille virtavaltta ja akustojen jännitevalvonta. Tällä mahdollistettiin ongelmatilanteiden parempi havaitseminen ja ennakkohälytysten teko heti, kun oletusparametreista poikkeavia arvoja havaitaan.

110 DCV päätettiin jättää tässä vaiheessa ennalleen. Mikäli hydraulikasta luovutaan myöhemmässä vaiheessa tai 110 DVC -hydraulipumppu korvataan 24 DCV -versiolla, jää koko 110 DCV -järjestelmä pois käytöstä.

12.12.4 Johtopyörän lukitus ja akselijarru

Johtopyörän lukituksen ohjaus oli toteutettu normaalilla hydraulisylinterillä. Vastaava ratkaisu oli myös generaattorin akselijarrulla. Toiminnan ollessa sähköisesti ja hydraulisesti yhtenevä käsiteltiin molempia kokonaisuutena.

Lukon toiminnassa ei ollut havaittu puutteita. Syy uudistamisen suunnittelulle oli alkuperäinen ajatus luopua hydraulikasta ja mahdollisuus jättää ryöminnän estämiseksi jarru päälle. Akselijarrun teho oli aikaisemmin todettu liian heikoksi johtuen alimitoitetusta jarrukengästä ja kengän öljyntyymisestä. Öljyntyymisen todettiin laitokseen tutustuttaessa johtuvan vuotavasta sylinteristä.

Molempien laitteiden käyttövoimaksi suunniteltiin lineaarimoottoria. Soveltuvat moottorit ja niiden toimittajat löydettiin suunnittelun aikana. Lukon toiminnan osalta hydraulisylinterin korvaaminen lineaarimoottorilla todettiin helposti toteutettavaksi. Jarrun toiminnan parantamiseen suunniteltiin uutta mekaanista ratkaisua, jonka asiakas pystyisi toteuttamaan omana työnään.

Vaihtoehtoisena ratkaisuna jarrutukseen pohdittiin myös generaattorilla toteutettavaa DC-jarrutusta. Alustavissa suunnitelmissa tätä pidettiin mahdollisena toteuttaa mutta sähköisesti monimutkaisempaa kuin mekaaninen toteutus. Ratkaisun suunnittelua ei viety loppuun asti, vaan päädyttiin pitäytyä mekaniikassa ratkaisussa.

Molemmat laitteet käyttivät matalapaineista hydraulikkaa. Johtopyörän säätölaitteesta johtuen tämä oli jätettävä toistaiseksi käyttöön ja päädyttiin myös luvon jättämisestä ennalleen. Jarrun osalta tilanne oli tämän työn päättyessä avoimena ja asiakkaan harkinnassa.

12.13 Värähtelyanturointi

Voimalan rakennusaikana ei ollut olemassa helppoja värähtelyjen mittaustapoja. Samoin miehitettynä laitoksena käytöstä vastaava pystyi havaitsemaan erilaisia ongelmia ennen niiden muuttumista kriittisiksi. Koska nykyään laitos ei ole huoltotilanteita ja tarkastuskäyntejä lukuun ottamatta miehitetty, valvonnan parantamista pidettiin perusteltuna.

Laitteistoon suunniteltiin lisättäväksi kaksi kokonaisvärähtelyjä mittaavaa anturia. Anturien mittaustiedot tuodaan logiikalle, jolloin värähtelyissä tapahtuvista poikkeamista saadaan hälytystieto.

Koekäyttöjen yhteydessä suunniteltiin lisäksi tutkittavan, voidaanko värähtelyjä seuraamalla havaita ohjelmallisesti kavitointi riittävällä luotettavuustasolla. Mikäli tämä havaitaan mahdolliseksi, voidaan ajotehoalueita laajentaa ja ohittaa kavitointialueiden ohjelmallinen ohitus.

12.14 Välppähäviö ja suppo

Laitoksen ollessa putkivoimala veden otto ja välppä sijaitsivat kaukana itse laitoksesta. Välppällä ei myöskään ollut kamera- eikä muutakaan valvontaa. Lisäksi laitoksen alkuperäisistä asiakirjoista löydettiin merkintöjä välppähäviön mittauksen suunnittelusta jo aikaisemmassa vaiheessa. Näiden perusteella voitiin todeta mittauksen tarpeellisuus.

Suppo on veden alijäähtymisestä johtuva ilmiö, jonka seurauksena vedessä on jääkiteitä ja suurempia hiutaleita. Nämä tarttuvat kiinni veden lämpötilassa oleviin tai kylmempiin esineisiin esimerkiksi välppän metallirakenteisiin. Työtä tehtäessä ei ollut tiedossa ilmiön esiintymisen laajuutta. Suppo voi kuitenkin muodostua nopeasti, ja tilanteeseen tulisi voida reagoida.

Supon syntymisen ennakointi edellyttäisi tarkkaa yläveden ja ilman lämpötilan mittausta. Tähän soveltuvia antureita ei laitoksella ollut eikä asentamista pidetty tarkoituksen mukaisena. Supon syntyminen voitaisiin kuitenkin havaita samalla tavoin kuin välppähäviö.

Voimalalla seurattiin viranomaisvaatimuksien perusteella yläveden korkeutta ja korkeustieto lähetettiin valvomo-ohjelmiston kautta säännöllisesti eteenpäin.

Suunnittelun aikana selvisi voimalalta vedetyn kaapelointi välpän läheisyyteen. Puuttuvan osuuden kaapeloinnin toteutumisesta ei kuitenkaan ollut tietoa, joten suunnittelussa päädyttiin vaihtoehtoiseen, kevyempään ratkaisuun. Turbiinin yhteydessä sijaitsi 0/1-tyyppinen painekeytkin, jonka rinnalle suunniteltiin lisättäväksi 0-2,5 barin painelähetin. Epätarkkuudesta huolimatta katsottiin tällaisella ratkaisulla voitavan laskennallisesti verrata yläveden korkeustietoa lisättävän anturin antamaan mittaustietoon ja näin havaita välpän tukkeutuminen.

13 LAITEVALINTOJA

Suunnittelun aikana valittiin ja hankittiin useita yksittäisiä, arvokkaampia laitteita ja suuri määrä releitä, antureita ja vastaavia komponentteja. Seuraavassa käydään läpi tärkeimmät laitteet.

Esiteltävien lisäksi valittiin myös soveltuvien puistomuuntamo. Muuntamon uusinnan jäädessä myöhempään vaiheeseen ei sitä siten käydy hankittuna laitteena erikseen läpi. Muuntamon toimittajan kanssa käytiin keskustelu hankinnan siirtymisestä, mutta vaikutus tarjouksen loppusummaan tullaan selvittämään uusinnan ollessa ajankohtainen. Tarvittaessa tullaan pyytämään myös kilpaileva tarjous uudelleen, mikäli hinnassa on tapahtunut merkittävää muutosta.

Hankituista ja muista selvitetystä laitteista saadut tarjoukset olivat suurelta osin merkitty luottamuksellisiksi, eikä niitä siten voitu liittää tämän työn yhteyteen.

13.1 Generaattorin ohjaus ja suojaus

Suunnittelussa päädyttiin kotimaisen Arqtecin Generator Commanderiin, joka pitää sisällään generaattorin suojauksen lisäksi myös magnetoinnin ohjauksen. Yhden laitteen mallia pidettiin kiinnostavana ja kokonaisuutena asennusta ja käyttöä helpottavana. Koska laitteen maksimivirta magnetoinnissa on 30 A, ei nykyistä magnetointigeneraattoria voitu poistaa. Arqtecilta saatiin kuitenkin tieto laitteeseen myöhemmin tulossa olevasta suurempia virtoja kestävästä tyristorisillasta, joten magnetointigeneraattorin poistaminen käytöstä myöhemmässä vaiheessa saatiin mahdollistettua kohtuullisin kustannuksin ilman suuria muutoksia laitteistoon. Tätä voitiin yhdessä kotimaisen tuotteen kanssa pitää yhtenä tärkeistä valintaperusteista.

13.2 20 kV suojaus

Soveltuvista laitteista pyydettiin tarjoukset Schneideriltä ja Arqtecilta. Tarjouksien ja tarvittavien ominaisuuksien tarkastelun perusteella valittiin kotimainen Arqtecin AQ-F215 suojarile (Arqtec 2019). Laitteen hinta muodostui maltilliseksi ja hieman Schneiderin tarjoamaa edullisemmaksi. Myös tässä valinnassa vaikutti kotimaisuus. Samoin pidettiin järkevänä pitäytyä suojalaitteissa yhdessä valmistajassa, jolloin vältetään monen eri laitteen opiskelulta.

13.3 Käyttöpäätte

Paikalliskäytön tarpeen ollessa pientä ja lähinnä tarkistus- ja huoltokäynteihin painottuvaa päätteen osalta lähtökohtana pidettiin edullista hankintahintaa. Päätteeltä haluttiin kuitenkin mahdollisuus kommunikoida useiden laitteiden kanssa ethernetin kautta. Lisäksi päätteessä tuli olla RS232, joka tukee Modbus-liikennöintiä. Samoin käyttöön jäävän vanhan ohjauslogiikan vaatimusten vuoksi kyky toimia siltana Modbus RTU – Modbus/TCP:n välillä. Lisäksi päätteen tuli olla sen kokoinen, että poikkeustilanteissa voidaan näyttää häiriötiedot koko ruudun kokoisena ja mahdollistaa luku kameran kautta muun kommunikaation pettäessä.

Päätteeltä haluttiin myös kyky kirjata tietokantaan erilaisia tuotantoon liittyviä arvoja ja esittää ne graafisesti. Tällöin huoltotilanteessa voidaan paikallisesti

tarkistaa esimerkiksi laitoksen ajotehot, akkuvirrat ja jännitteet sekä veden yläveden korkeus. Aikaisemmasta ratkaisusta poiketen myös laitteiston lämpötiloja saadaan esitettyä graafisesti.

Koska päätteiden elinikä on rajallinen ja uudistetun voimalan tulee palvella pitkään mahdollisimman pienellä korjaustarpeella, pyrittiin arvioimaan valittavan tuotteen saatavuus jatkossa. Tarkkaa tietoa elinkaaresta ei ollut saatavilla, mutta mallisarja oli melko uusi, ja sen voitiin siten olettaa olevan elinkaaren alkupäässä. Lisäksi työtä tehtäessä testattiin edeltävän E1000-sarjan käyttöliittymän kääntämistä X2-sarjalle ja todettiin tämä melko toimivaksi varsinkin yksinkertaisten projektien osalta. Vanhempien sarjojen tuotteita oli lisäksi käytetty työn tilaajayrityksessä aikaisemmin ja siten jouduttu selvittämään niiden elinkaari, joka todettiin riittävän pitkäksi. Tämän perusteella tehtiin oletus vähintään saman tason yhteensopivuudesta ja elinkaaresta jatkossa.

Uudeksi päätteeksi valittiin UTU Automation Oy:n toimittama Beijer Electronicin X2 Base -sarjan 10"-malli.

13.4 Valvontalogiikka

Valvontalogiikan osalta suuria vaatimuksia ei ohjelmistolliselta puolelta ollut. Toteutus tulisi onnistumaan lähes millä tahansa nykyaikaisella logiikalla pienislogiikat pois sulkien. Logiikan haluttiin kuitenkin olevan melko uusi ja jonkin tunnetun merkin valmistama, jotta voitiin luottaa jatkuvuuteen, mikäli laiterikon seurauksena joudutaan tulevaisuudessa etsimään korvaavaa laitetta.

Valituksi tuli Mitsubishin FX5U varustettuna riittävällä määrällä lisä-IO:ta. Laite on melko uusi, joten sen uskottiin pysyvän markkinoilla pitkään. Valintaa puolsi lisäksi vastaavan laitteen käyttö toisessa projektissa, jossa jouduttiin kääntämään vanhemman version toteutus uuteen. Tämä todettiin onnistuvan kohtuullisesti, joten voitiin ajatella vastaavan onnistuvan myös nyt valitun ja sen seuraajan osalta tulevaisuudessa.

13.5 Pääventtiilin ohjaus

Pääventtiiliä ohjaavan moottorin käyttöjännitteeksi haluttu 24 DCV aiheutti yhdistettynä moottorin kooksi valittuun 1,2 kW tehoon hankaluuksia hankkia soveltuva moottori ja vaihteisto. Suurin osa tarjonnasta oli suuremmalla jännitteellä tai huomattavasti pienempitehoisia. Hankinta jouduttiin lopulta tekemään Kiinasta, josta saatiin suoraan tehtaalta soveltuva kokonaisuus.

Moottorin ohjaukseen hankittiin turkulaisen Electromen Oy:n EM-282C DC-moottoriohjain. Ohjaimen jännitealue 12-42V ja 100A maksimivirta olivat ylimitoitettut moottorin nimellisarvoihin verrattuna, mutta näiden osalta haluttiin tietoisesti riittävä varmuuskerroin, jotta ohjauksen toimivuus voidaan turvata.

14 TOTEUTUS

Toteutusta ei alustavasti suunniteltu sisällytettäväksi työhön ollenkaan, mutta osakokonaisuuksia toteutui tästä huolimatta. Koko asennusta ei saatu vietyä loppuun asti erilaisista aikataulullisista syistä. Työ aloitettiin jo alkukesällä 2018, ja sitä tehtiin muiden projektien aikataulujen sallimissa rajoissa.

14.1 Sähkösuunnittelu

Sähkösuunnittelusta vanhaan kuva-aineistoon ei voitu kaikilta osin luottaa, ja esimerkiksi erilaiset ketjutukset liittimien ja laitteiden välillä oli tarkistettava laitoksella. Suunnittelusta toteutettiin siten ainoastaan tarvittavia osakokonaisuuksia ja erilaisia muistiinpanotyyppisiä työkuvia. Lopullinen suunnitelma puhtaaksi piirrettynä valmistuu vasta myöhemmässä vaiheessa.

Vanhojen materiaalien perusteella työn aikana tuotettiin kaapeli- ja kytkentälistat sähköiseen muotoon avustamaan muutosten teossa. Listojen paikkaansa pitävyydestä ei kaikilta osin ollut varmuutta, eikä niihin ollut merkitty kaikkia tehtyjä muutoksia. Myöskään vanhoissa sähkökuvissa ei ollut kaapelitietomerkintöjä. Listojen ajantasaistaminen ei siten ollut mahdollista kartoittamatta olemassa olevan kaapeloinnin ja listojen yhteneväisyyttä. Koko kaapeloinnin tar-

kistamista osan jäädessä pois käytöstä ei kuitenkaan pidetty tarpeellisena. Lopulliset, korjatut listat ovat siten käytettävissä vasta kaikkien muutostöiden jälkeen.

14.2 Automaatiosuunnittelu ja ohjelmointi

Työn puitteissa kartoitettiin tarvittavan automaation laajuus ja vaatimukset. Myös IO-määrittelyt suunniteltiin työtä tehtäessä. Näiden perusteella voitiin suunnitella IO:n sähköiset kytkennät ja suorittaa valvovan logiikan valinta. Varsinaista logiikan ohjelmointia ei työn puitteissa kuitenkaan suoritettu.

Automaatiosuunnittelua tehtiin myös käytön osalta valiten toiminnot, jotka siirretään päätteeltä ohjattavaksi. Näin voitiin valita vanhoista käyttölaitteista poistettavat. Samalla kartoitettiin myös päätteeltä halutut ominaisuudet, jotta laitteen valinta oli mahdollinen.

Automaation suunnitteluun sisältyi myös voimalan verkon suunnittelu uudelleen. Aikaisemmin verkkoon liitettyjä laitteita olivat lähinnä itse modeemi, palomuuuri, IP-kamera ja kommunikaatiomuunnin logiikan ja verkon välillä. Uudessa toteutuksessa verkkoon liitettyjen laitteiden määrä lisääntyi huomattavasti. Verkon layout on esitetty liitteessä 2.

14.3 Asennukset ja käyttöön otto

Käytännön asennustöistä työtä tehtäessä toteutettiin akustojen muutokset ja valvonnat ja pääventtiilin ohjauksen muutos sähköiseksi. Lisäksi vanha releistys purettiin suurelta osin ja korvattiin tarpeellisina osina uusilla.

Asennusten porrastetusta toteutuksesta johtuen edellä mainitut testattiin ja otettiin käyttöön työn aikana.

14.4 Dokumentointi

Kohteen poikkeuksellisen luonteen vuoksi alkuperäinen materiaali haluttiin säilyttää koskemattomana. Vanhat sähkö- ja kaapelointikuvat digitoitiin suunnittelun pohjana käytettäväksi.

Työn aikana tuotettu materiaali piti sisällään monia erilaisia tilanteen kartoituksia, laskelmia, yhteenvedoja ja selvitysten taustamateriaaleja. Lisäksi hankituista laitteista oli olemassa ohjeistus ja muuta materiaalia.

Työn aikana selvitettiin monien eri laitteiden ominaisuuksia, saatavuuksia ja toimittajia. Myös tarjouspyyntöjä tehtiin lukuisia. Nämä arkistoitiin kokonaisuutena, jotta myöhemmin toteutuvien osa-alueiden osalta voidaan hyödyntää täysipainoisesti jo aikaisemmin suoritettuja selvityksiä.

Osa dokumenteista tarvittiin ainoastaan työn aikaisena. Muu osa jätettiin työn tilaajan hallintaan toimitettavaksi asiakkaalle muutostöiden valmistuttua.

15 TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA

Työn tarkoitus oli lähtökohtaisesti tuottaa ehdotuksia toimenpiteiksi. Työtä tehtäessä käytiin asiakkaan kanssa käydyissä neuvotteluissa perusteluineen läpi luvussa 9 esitellyt laskelmat ja kaikki luvussa 10 esitellyt seikat. Osassa alkuperäinen ajatus ja lähtökohta olivat merkittävästi poikkeavia neuvottelujen tuloksena syntyneestä. Tämän pohjalta tuotettiin lopullinen aineisto, jonka perusteella asiakas valitsi toteutettavat osa-alueet ja niiden aikataulutuksen.

Osa muutoksista tullaan toteuttamaan vasta tulevaisuudessa. Erillisiä ehdotuksia ei työn puitteissa siten tehty, edellä mainittu aineisto piti sisällään ehdotukset kokonaisuudessaan. Toteuttamatta jääneistä muuntamon uusintaa pidettiin kuitenkin kriittisenä. Samoin joko turbiinin säätölaitteiston korvaamista uudella ratkaisulla tai vanhan kunnostamista. Mikäli hydrauliiikan käyttöä jatketaan, pidettiin perusteltuna myös 110 DCV -akustosta luopumista ja pumpun korvaamista 24 DCV -mallilla.

Työtä tehtäessä asiakkaan tietoon tuotiin kuitenkin kaikki havaitut epäkohdat huomioitavaksi kunnossapidossa. Mekaaniseen kunnossapitoon ei kuitenkaan otettu työn puitteissa kantaa.

Yksittäisenä, erillisenä mekaaniseen ja sähköiseen toteutukseen liittyvänä esitettiin kuitenkin magnetointigeneraattorin huollon tarpeen selvittäminen riittävän ajoissa jotta vältytään käytön ongelmilta. Koska valittuun generaattorin ohjainlaitteeseen oli uusintahetkellä tulossa tehokkaampi tyristorisäädin, ehdotettiin selvitettävän myös sen saatavuus ja tarvittavat ratkaisut magnetointigeneraattorin poistamiseen kokonaisuudessaan.

16 YHTEENVETO

Työ tarjosi mielenkiintoisen ja laaja-alaisen haasteen tutustua ja kehittää pienvesivoimalaa. Vesivoima oli ennen työn aloitusta periaatetasolla tuttua, mutta vastaavan kokoluokan voimalan ratkaisut monelta osin uusia, opiskeltavia asioita. Myös erilaisten huomioitavien suojausten ja erikoistilanteiden määrän moninaisuus oli aluksi hieman yllättävä, mutta työn kuluessa niiden tarpeellisuuden oppi hahmottamaan hyvin.

Esille tulivat myös haasteet vanhan kohteen osalta. Dokumentointi on pelkästään paperilla, ja puuttuvien etsiminen on käytännössä mahdotonta. Valmistajat eivät ole katsoneet tarpeelliseksi myöhemmin digitoida aineistojaan, eikä jokaisen laitteen valmistajaa ole enää edes olemassa.

Laitoksen historian ajalta oli tallessa merkittävä määrä materiaalia. Työn kuluessa käytiin läpi yli 10 mappia erilaisia laitokseen liittyviä papereita. Vaikka materiaali ei työn tekoa suurelta osin palvellut, tarjosi se mielenkiintoisen ja kattavan historian laitoksen suunnittelusta nykyhetkeen.

Vaikka työ oli lähtökohtaisesti sähköön ja automaatioon liittyvä, vastaan tuli monia sellaisia asioita, joissa tarvittiin mekaniikan osaamista. Mikäli kaikki suunnitellut asiat olisi toteutettu, olisi tarvittu ulkopuolista osaamista mekaniikassa suunnittelussa ja mitoituksessa.

Työn kuluessa kohdattiin myös talouden vaikutus tämän kaltaisissa suuremmissa uudistuksissa. Suunnitelmat pitivät sisällään paljon erilaisia seikkoja, joiden hyödyt oli helppo perustella. Laitoksen tuotannon ollessa kuitenkin rajallinen osa suunnitelmista jää toteuttamatta puhtaasti taloudellisin perustein.

Työn tuloksena saavutettiin asetetut tavoitteet. Työtä pidettiin alusta alkaen melko laajana, mutta tästä huolimatta eri osa-alueiden laajuus yllätti työtä tehtaessä. Työn aikataulua ja siihen käytettävää aikaa ei kuitenkaan ollut sovittu aloitettaessa tarkkaan, joten tämä mahdollisti laajemmankin kokonaisuuden käsittelyn.

LÄHTEET

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY.

Jumiskon voimalaitos. 2017. PVO-Vesivoima Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.pohjolanvoima.fi/filebank/25713-Jumiskon_voimalaitos_esite_2017.pdf [viitattu 11.12.2019].

Kaihuan voimalaitos. s.a. ÅF-Consult Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.vesirakentaja.fi/html/voimalaitokset/kaihua.html> [viitattu 14.11.2019].

Laatikainen, T. 2019a. Pyhäsalmen kaivos saa vihdoin pumppuvesivoimalansa - ruotsalaisia toki tarvittiin. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/undefined/38476c15-4da8-4945-bb44-7375e18d6fc6> [viitattu 8.1.2020].

Laatikainen, T. 2019b. Myös Ahvenanmaalle suunnitteilla pumppuvoimala vanhaan kaivokseen - asialla Pyhäsalmeilta tutut ruotsalaiset, pörssi tähtäimessä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/myos-ahvenanmaalle-suunnitteilla-pumppuvoimala-vanhaan-kaivokseen-asialla-pyhasalmelta-tutut-ruotsalaiset-porssi-tahtaimessa/d7b11b65-7862-4323-83f4-c302427a5694> [viitattu 8.1.2020].

Pienvesivoima. s.a. Motiva Oy. WWW-dokumentti. Päivitetty 16.11.2016. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima/pienvesivoima [viitattu 17.11.2019].

Pienvesivoimalaopas. 2014. Pienvesivoimayhdistys ry. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://pienvesivoimayhdistys.com/wp-content/uploads/2014/05/Pienvesivoimaopas.pdf> [viitattu 7.9.2019].

Pienvesivoimakartoitus. Minivesivoimasektori <1MW Kauppa- ja teollisuusministeriölle tehty selvitys KTM Dnro 58/804/2004. 2005 PR Vesisuunnittelu Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.motiva.fi/files/701/pienvesivoimakartoitus.pdf> [viitattu 18.11.2019].

Päätös Dnro ISY-2007-Y-178. 2008. Itä-Suomen ympäristölupavirasto. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/no-name/%7B45C76799-6807-49B8-993E-987B92B5153D%7D/85333> [viitattu 9.2.2019].

Päätös ESAVI/61/04.09/201. 2012. Aluehallintoviraston päätös. PDF-dokumentti. Saatavissa: http://www.avi.fi/documents/10191/56792/esavi_paa-tos_278_2012_2-2012-12-20.pdf [viitattu 9.2.2019].

Suomen vesivoimalaitokset. s.a. ÅF-Consult Oy. WWW-dokumentti. Päivitetty 20.8.2019. Saatavissa: <http://www.vesirakentaja.fi/voimalaitokset/laitosluetelo.html> [viitattu 18.11.2019].

Teoreettinen keskivesi (MW) ja geodeettiset korkeusjärjestelmät Suomessa WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/keskivesitaulukot> [viitattu 18.12.2019].

Types of hydropower. s.a. International Hydropower Association. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hydropower.org/types-of-hydropower> [viitattu 12.11.2019].

Reiter, P. 2012 Uusiutuvan energian ja rakennusalan yhteistyö pienvesivoimatuottajan näkökulmasta. Powerpoint-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sli-deshare.net/Maamerkit/peter-reiter-1742012-uusiutuvan-energian-ja-rakennusalan-yhteisty-pienvesivoimatuottajan-nkkulmasta-hydyt-potentiaali-sijainti-ehdot-esteet> [viitattu 10.11.2019].

Vesivoima. s.a. Motiva Oy. WWW-dokumentti. Päivitetty 22.12.2017. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima [viitattu 14.11.2019].

Vesivoimalla eniten uusiutuvaa sähköntuotantoa. s.a. Energiateollisuus Ry. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/vesivoima> [viitattu 14.11.2019].

Vesivoiman historiaa. s.a. Kemijoki Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa:
<https://www.kemijoki.fi/vesivoima/vesivoiman-historiaa.html> [viitattu
18.11.2019].

TARJOUSPYYNTÖ

Puistomuuntamo pienvesivoimalakäyttöön; muuntamorakennus, muuntaja, 20 kV laitteet

Perustiedot:

Vanha muuntaja 500 kVA / DYN11 / öljyeristeinen 20kV / 400V

Laitoksen normaali ajoteho n. 300 kVA, maksimi n. 420 kVA. Muuntajan mitoitus näiden mukaisesti (500 / 400 kVA).

Käyttö syklistä: lyhyitä ajoaikoja, pitkiä seisonajaksoja. Muuntajan sallittava lämpötilan vaihtelut.

Omakäyttö saman muuntajan kautta voimalan ollessa pysähdyksissä. Tyhjäkäyntihäviöt merkitykselliset.

Tarvittavat laitteet, 20 kV:

Pääkojeisto:

20 kV kuormanerotin

20 kV varokekuormanerotin

Mittamuuntajat:

20 kV virta- ja jännitemuuntajat

Muut:

Tarvittavat liitännät / asennustarvikkeet

Toimitus pääkojeisto asennettuna / kytkettynä.

Tarvittavat laitteet, 400 V:

400 V mittaus- ja omakäyttölaitteita ei tarvita.

Mahdollinen toimitusajankohta kesä / syksy 2019. Hinta toimitettuna kohteeseen Arrakosken vesivoimala / Padasjoki.

Tarjoukseen viite 524_18

Toivomme tarjouksen sisältävän myös valitun muuntajan sähköiset arvot.

