

Laura Salonpää

PIENVESIVOIMALAITOKSEN MODERNISOINTI

Selvitys vanhan pienvesivoimalaitoksen jälleenrakentamisesta

Opinnäytetyö

CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Marraskuu 2015

TIIVISTELMÄ

Yksikkö Ylivieska	Aika Marraskuu 2015	Tekijä/tekijät Laura Salonpää
Koulutusohjelma Sähkötekniikka		
Työn nimi Pienvesivoimalaitoksen modernisointi. Selvitys vanhan pienvesivoimalaitoksen jälleenrakentamisesta		
Työn ohjaaja Yrjö Muilu	Sivumäärä [29 + 1]	
Työelämäohjaaja -		
<p>Opinnäytetyössä selvitettiin vanhan pienvesivoimalaitoksen jälleenrakennus mahdollisuuksia. Tarkoituksena oli kartoittaa, millä tavalla komponentteja laitoksessa tulisi käyttää, jotta se olisi mahdollisimman kannattava omakotitalon puulämmityksen rinnalla. Tehon laskemiseksi käytettiin yksinkertaisia mittavälineitä ja tulosten avulla laskettiin keskimääräinen teho.</p> <p>Ennen varsinaiseen työhön ryhtymistä oli tärkeää selvittää olemassa olevien lupien riittävyys ja samalla avautui kansi historiankirjasta. Työtä varten selvitettiin asioita sähkön pientuotannosta, pienvoimalaitoksen verkkoon liittymisestä, vesiturbiineista ja generaattoreista. Tärkeä osa työssä oli selvittää kustannukset ja niiden pienentämiseksi mahdolliset saatavat tuet.</p> <p>Lopputulosten perusteella voimalaitoksen omistaja voi pohtia, onko laitoksen jälleenrakentaminen kannattavaa.</p>		

Asiasanat

Oma sähköntuotanto, Pienvesivoima, Sähkönpuentuoantanto

ABSTRACT

Unit Ylivieska	Date November 2015	Author/s Laura Salonpää
Degree programme Electrical engineering		
Name of thesis Modernising of an old microhydroelectric power plant. A report on the rebuilding of an old microhydroelectric power plant.		
Instructor Yrjö Muilu		Pages [29 + 1]
Supervisor -		
<p>In this thesis the possibilities of rebuilding an old micro hydropower plant were clarified. The purpose was to survey what kinds of components should be used so that the plant would be as profitable as possible. In calculating the power output simple measuring devices and formulas were used.</p> <p>First the adequacy of permissions was checked and at the same time a book of history was opened. In this thesis micro generation of electricity, interconnection, hydroturbines and generators were studied. An important part of the thesis was finding out about the costs as well as the financial support available.</p> <p>On the basis of the final results the owner of the hydropower plant can think if rebuilding is really profitable.</p>		

<p>Key words Own generation of electricity, Micro generation of electricity, Micro hydropower</p>
--

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS

LIITTEET	1
1 JOHDANTO	1
2 HISTORIA	3
3 LUVAT	4
4 YLEISTÄ SÄHKÖN PIENTUOTANNOSTA	5
5 MITTAUKSET JA LASKELMAT	7
5.1 Virtausnopeus ja veden syvyys	7
5.2 Teho	8
6 VERKKOLIITÄNTÄ	10
7 TURBIINI	13
7.1 Pelton-turbiini	13
7.2 Francis-turbiini	14
7.3 Kaplan-turbiini	15
7.4 Valittu turbiini	15
8 GENERAATTORI	17
8.1 Kohteeseen soveltuvat generaattorityypit	17
8.2 Valittu generaattori	18
9 SÄHKÖISET KOMPONENTIT	20
9.1 Vesivoimalaitos	20
9.2 Lämmitysjärjestelmä	21
10 TUET JA KUSTANNUKSET	22
10.1 Tuet ja avustukset	22
10.2 Kustannukset	23
11 TAKAISINMAKSUAIKA	24
11 LOPPUPOHDINTA JA -PÄÄTELMÄT	25
LÄHTEET	27
LIITTEET	

KUVIOT

KUVIO 1. Myllykanavan ja kosken sijainti toisiinsa nähden	1
KUVIO 2. Pienimuotoisten sähköntuotantomuotojen ominaispiirteitä ja kustannuksia	5
KUVIO 3. Tuotantolaitosten luokittelu käyttötavan ja -tarkoituksen mukaan	10
KUVIO 4. Pelton-turbiini	14
KUVIO 5. Francis-turbiini	14
KUVIO 6. Kaplan-turbiini	15
KUVIO 7. Kestomagneetti- ja epätahtigeneraattoreiden vertailu	18

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Virtausnopeus	7
TAULUKKO 2. Veden syvyys	7

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää millainen vesiturbiini sopii parhaiten olemassa olevaan patorakenteeseen ja myllykanavaan, jossa on sijainnut ennenkin pienvesivoimalaitos sekä kartoittaa sähköistykseen tarvittavia komponentteja. Vanha laitosrakennus on purettu kunnostamistöitä varten. Saatavaa energiaa on tarkoitus hyödyntää omakotitalon puulämmityksen rinnalla. Sähköä ei ole tarkoitus tuottaa myyntiin, vain omaan käyttöön. Pato ja myllykanava sijaitsevat Oulaisten kaupungissa, Matkanivan kylässä. Koski, jota hyödynnetään, on nimeltään Honkakoski.



KUVIO 1. Myllykanavan ja kosken sijainti toisiinsa nähden (Karttaikkuna 2015)

Tärkeä osa vesivoimalaitoksen rakentamisessa ovat luvat, jotka tässäkin työssä huomioidaan. Vanhaa lupaa tutkiessani ajauhin lukemaan papereita samassa paikassa vielä aiemmin sijainneesta vesivoimalaitoksesta ja päätin lisätä työhön luvun paikan historiasta. Työssä käsitellään myös sähkön pientuotantoa ja jakeluverkkoon liittymistä yleiseltä kannalta, pääpainon pysyessä kuitenkin nimenomaan pienvesivoimassa. Vesivoimalaitoksissa

käytettäviä turbiineja käsitellään hieman laajemmin, mutta generaattoreita käsittelevässä osiossa keskitytään vain pienvesivoimalaitokseen sopiviin generaattoreihin. Kartoitus vesivoimalaitokseen tarvittavista sähkökomponenteista on työn loppupuolella. Takaisinmaksuaikaa ja lopputuloksia pohditaan työn viimeisillä sivuilla.

2 HISTORIA

Vuonna 1947 Paavo Salonpää oli hakenut rakennuslupaa Oulaisten Matkanivan kylässä sijaitsevaan Pyhäjoen Honkakoskeen rakennettavalle koko jokea hyödyntävälle vesilaitokselle. Toimitusmiehet olivat ehdottaneet luvan myöntämistä tietyin ehdoin vuonna 1953, mutta jostain syystä Paavo Salonpää oli luopunut hakemuksestaan Yrjö Salonpään, Taavetti Vainikaisen, Uuno Tuomikosken ja Tuomas Penttilän hyväksi. Näin ollen vuonna 1953 edellä mainitut neljä miestä olivat anoneet lupaa vesilaitoksen rakentamiseksi Pyhäjoen Honkakoskeen. (Korhonen 1952; Hinkka 1953.)

Vesistötoimikunta oli harkinnut luvan myöntämistä vuonna 1953 Salonpäälle, Vainikaiselle, Tuomikoskelle ja Penttilälle tietyin ehdoin. Ehtoihin kuului, että laitos on rakennettava aikaisemman suunnitelman mukaiseen paikkaan ja sen ehtoja sekä vesioikeuslain säännöksiä noudattaen. Lisäksi rakentamisessa tulisi noudattaa myös kahdeksaa erillistä lupahtoa, jotka käsittelivät mm. tulva-aukkoja, puiden uittoa ja rakennuskorkeutta. (Hinkka 1953.)

Pato ja vesilaitos rakennettiin ja vesivoimalla pyöritettiin myllyä ja sahaa noin parinkymmenen vuoden ajan. Talvisin pato purettiin, jotta jäät eivät sitä särkisi, ja vesivoiman ohella jouduttiin käyttämään traktoria tarvittavan energiansaannin täyttämiseksi. Kannattavuuden ja laitteiston huonon kunnon takia vesivoiman tuotanto lopetettiin vuonna 1973. (Salonpää 2015.)

Vuonna 1992 Eeli Salonpää oli anonut lupaa vesivoiman käyttöön, jotta voisi sähköistää kesämökkinsä. Saha, mylly ja pato oli purettu osittain noin 20 vuotta ennen Salonpään uutta hakemusta. Puurakenteinen pato oli hajonnut täysin 20 vuoden kuluessa ja uutta hakemusta anottaessa jäljellä olivat enää sahan raami ja voimanottokanavassa ollut turbiini. Koska Salonpäällä ei ollut aikomusta padota, kaivaa tai vaikuttaa mitenkään jokiuomaan eikä kyseessä ollut uuden voimalaitoksen rakentaminen, hän sai luvan olemassa olevan vesilaitoksen kanaaliin sijoittaa oman kesämökkinsä sähköistämistä varten turbiinin siellä ennestään olleen turbiinin tilalle. (Sihvomaa 1992.)

3 LUVAT

Lupa- ja lakiasioihin kysyin apua ELY-keskuksesta, koska vuonna 1992 myönnetyn luvan aikaan oli voimassa vanha vesilaki, ja uusi vesilaki astui voimaan vuonna 2012. Uudessa vesilaissa ei ole suoraan pykälää, joka koskisi vanhan vesivoimalaitoksen käyttöönottoa tai sen kunnostamista. Myös uuden vesilain 19 luvun 16 § herätti mielenkiinnon, pykälässä nimittäin käsitellään aiemmin annetun päätöksen selventämistä. Eli vanhan luvan voisi halutessaan päivittää vastaamaan uutta vesilakia.

Asiantuntijan mukaan laitoksen saa kunnostaa siten, ettei vesiteiden mittoja kasvateta luvassa määrättyistä mitoista ja erillistä luvan selvennystä ei tarvita. ELY-keskuksesta voi kuitenkin halutessaan pyytää lausunnon aiotuista korjaustoimenpiteistä ja niiden mahdollisesta vaikutuksesta lupaan. Tässä tapauksessa ei kuitenkaan, ainakaan tässä vaiheessa, lähdetty hakemaan lausuntoa ELY-keskuksesta. (Selin 2015.)

4 YLEISTÄ SÄHKÖN PIENTUOTANNOSTA

Pientuotannon määritelmä riippuu määrittelevästä tahosta. Usein määritelmä perustuu voimalan nimellis- tai maksimitehoon, mutta käytössä on myös määritelmä liittymäverkon mukaan. Tyypillisesti tehot liikkuvat pientuotannossa muutamasta kymmenestä muutama sataan kilowattiin, mutta myös muutaman megawatin tuotanto saatetaan luokitella pientuotannoksi. Suomessa merkittävimmät tuotantomuodot ovat pienvesivoima, tuulivoima ja bioenergia. (Pöyry Energy Oy 2006.)

	Yleisimmät yksikkö-tehot (kW)	Tuotantomuodon ominaispiirteet sähköntuotannon kannalta	Käyttöikä (vuotta)	Investointikustannus (euro/kW)	Tuotantokustannus (c/kWh)
Tuuli	n. 0,5 2-4 1000–5000	tuulioloilla ratkaiseva merkitys, korkeat investointikustannukset ja alhaiset käyttökustannukset, riippumattomuus polttoaineen hinnoista	20	2000–5000 1000–2000 (1000–5000 kW voimalaitokset)	2-4 (1-140 kW voimalaitokset) 1-2 (1000–5000 kW voimalaitokset) riippuu huomattavasti tuulisuudesta.
Pienvesivoima	20–10 000	korkeat investointikustannukset ja alhaiset käyttökustannukset, riippumattomuus polttoaineen hinnoista	30–40	1 200–3 000	2–5
Aurinkosähkö*	5-50, 2000-	korkeat investointikustannukset ja alhaiset käyttökustannukset, aurinkonvalon määrällä ratkaiseva merkitys	25–30	2900–5000	30–200
Bio-CHP höyryturbiinilla	2 000–5 000	hyvä mahdollisuus sähkön tuotannon suunnitelmallisuuteen: ajoitus ja säädettävyys	20	2 500–3 500	3–6 riippuu huomattavasti polttoaineen ja lämmön hinnasta
Bio-CHP kaasumoottorilla tai mikroturbiinilla	30–3 000	korkea sähköhyötysuhde, monipuolinen polttoainevalikoima, modulaarisuus	15	500–5 000 alin kustannus sisältää kaasumoottorivoimalaitoksen, ylin kustannus sisältää termisen kaasuttimen	4–8 riippuu huomattavasti polttoaineen ja lämmön hinnasta

*kustannukset EU:ssa keskimäärin

KUVIO 2. Pienimuotoisten sähköntuotantomuotojen ominaispiirteitä ja kustannuksia (Motiva 2012)

Kuviosta 2 nähdään eri pientuotantomuotojen ominaispiirteitä ja investointikustannuksia. Vaikka investointikustannukset ovat korkeat jokaisella tuotantomuodolla, on myös käyttöikä kaikilla suhteellisen pitkä. Näin ollen takaisinmaksuaikaa on ruhtinaallisesti. Pienvesivoima on kuitenkin kuviossa esitetyistä tuotantomuodoista ehdottomasti kannattavin, koska sen investointikustannukset (euroa per kilowatti) ja tuotantokustannukset (senttiä per kilowatti) ovat keskiarvoltaan kaikista pienimmät sekä lisäksi pienvesivoiman käyttöikä on kaikkein pisin.

Pienvesivoima jaetaan edelleen pienvesivoimalaitoksiin ja minivesivoimalaitoksiin. Pienvesivoimalaitoksen teho on 1-10 MW ja minivesivoimalaitoksen teho alle 1 MW. Pienvesivoimalaitoksia Suomessa on tällä hetkellä 83 ja minivesivoimalaitoksia on 67. Koska ilmastonmuutos on totta, pyritään yhä enemmän panostamaan uusiutuviin energiamuotoihin. Näin ollen myös kiinnostus pienvesivoimaan kasvaa koko ajan. Käyttämätöntä vesivoimapotentiaalia on Suomen suojelemattomissa vesistöissä noin 2352 GWh/a, josta pienvesivoimaa 392 GWh/a ja minivesivoimaa 1021 GWh/a. (Motiva 2014.)

5 MITTAUKSET JA LASKELMAT

Mittaukset suoritettiin 24.8.2015. Mittaukset suoritettiin ilman hienoja apuvälineitä ja mittalaitteita. Apuvälineinä toimivat lapio ja kädet. Mittavälineinä toimivat taas appelsiini, rullamitta ja puhelimen sekundaattori. Aluksi myllykanavan yläjuoksulta poistettiin heinät ja ylimääräinen hiekka, jotta virtausta saatiin paremmaksi. Patoa myös hieman korjailtiin, koska jäät olivat sitä särkeneet pikkuhiljaa aina keväisin.

5.1 Virtausnopeus ja veden syvyys

Virtausnopeus mitattiin appelsiinin avulla. Mitattava matka oli viisi metriä välpistä ylävirtaan. Aikaa otettiin siis viiden metrin matkalta yhteensä kolme kertaa. Mitatuista ajoista laskettiin keskiarvo ja siitä edelleen virtausnopeuden keskiarvo yksikössä m/s. Virtamaan laskemiseksi tarvittiin myös veden poikkileikkauksen pinta-ala. Jotta pinta-ala voitiin laskea, tarvittiin keskiarvo veden syvyydestä samaisella viiden metrin matkalla (TAULUKKO 2.). (LUMA 2011).

TAULUKKO 1. Virtausnopeus

Aika ₁ [s/5m]	Aika ₂ [s/5m]	Aika ₃ [s/5m]	Keskiarvo [s/5m]	Virtausnopeus [m/s]
13,2	14,1	13,4	13,57	0,368

TAULUKKO 2. Veden syvyys

Syvyys ₁ [m]	Syvyys ₂ [m]	Syvyys ₃ [m]	Syvyys ₄ [m]	Syvyys ₅ [m]	Syvyys ₆ [m]	Keskiarvo [m]
0,3	0,4	0,5	0,35	0,45	0,55	0,425

5.2 Teho

Laskelmilla oli tarkoitus selvittää tehon suuruus myllykanavaan virtaavassa vedessä. Teho ei ole kovin suuri, sillä suurin osa vedestä virtaa myllykanavan ohi (Kuvio 1). Tehon suuruus vaihtelee myös vuodenajasta riippuen aika paljon. Vesi on matalimmillaan yleensä talvella, jolloin koko koski on jäässä ja voimalaitosta ei pysty käyttämään. Myös hyvin kuivana kesänä vesi saattaa laskea yhtä alas kuin talvisin. Koska lämmityskulut ovat korkeimmillaan syksyllä ja talvella, kesän veden vähyys ei ole suuri ongelma. Mittaukset tehtiin, kun vesi oli ns. normaalikorkeudessa.

Tehon laskemiseksi tarvitaan virtaama, putouskorkeus, veden tiheys, putoamiskiihtyvyys ja turbiinin hyötysuhde. Putouskorkeudeksi mitattiin 0,90 m.

Tehoa laskettaessa η_{pg} -kertoimena käytän $8,2\text{kWs/m}^4$. Lukuun sisältyy hyötysuhde, veden tiheys ja putoamiskiihtyvyys. Tämä vastaa hyötysuhdetta 0,836, johon sisältyy turbiini- ja generaattorihäviöiden lisäksi myös putoushäviöt lyhyissä ja väljissä sisäisissä vesiteissä. (Muilu 2013.)

Lasketaan ensin virtamaa kaavasta

$$q_v = A * v,$$

missä q_v on virtaama, A on veden poikkileikkauksen pinta-ala ja v on virtausnopeus. (LUMA 2011.)

$$q_v = 0,425\text{m} * 5\text{m} * 0,368 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,782 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Tämän jälkeen voidaan laskea teho kaavasta

$$P = \eta * \rho * g * H * q_v,$$

missä P on teho, η on hyötysuhde, ρ on veden tiheys, g on putoamiskiihtyvyys, H on putouuskorkeus ja q_v on virtaama. (Muilu 2013.)

$$P = 8,2 \frac{kWs}{m^4} * 0,90m * 0,782 \frac{m^3}{s} = 5,77116 \dots kW \approx 5,8kW$$

Tuloksessa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että teho on laskettu vain yhdellä virtausnopeudella ja vesimäärällä. Tulos on hyvä keskiarvo, koska vettä voi olla enemmän tai vähemmän verrattuna mittauksen aikaiseen vesimäärään.

6 VERKKOLIITÄNTÄ

Sähköä tuottavat pienvoimalat voidaan jakaa neljään eri luokkaan voimalan käyttötavan mukaan.

- Luokka 1 käsittää voimalat, jotka ovat täysin yleisestä jakeluverkosta erotettuja.
- Luokka 2 käsittää voimalat, jotka toimivat vaihtoehtona yleiselle jakeluverkolle eli ovat varustettu joko automaattisella tai manuaalisella syötönvaihdolla ja ovat niin sanottuja varavoimalaitteistoja.
- Luokka 3 käsittää voimalat, jotka toimivat rinnan yleisen jakeluverkon kanssa, mutta jakeluverkkoon ei siirretä tuotettua sähköä.
- Luokka 4 käsittää voimalat, jotka toimivat rinnan yleisen jakeluverkon kanssa ja tuotettu sähkö voidaan siirtää osin tai kokonaan jakeluverkkoon.

(Sener 2011.)

		Luokka	Rinnan- käynnin esto	Tahdistus	Yhteen- sopivuus	Saareke- käytön esto	Sopimus- ehdot
Yleisestä jakeluverkosta erossa käyvät tuotanto- laitokset	Rinnankäyttö estetty mekaanisesti	1	X				LE05 ja VPE10
	Sähkön siirto jakeluverkkoon estetty	2		X			LE05 ja VPE10
Yleiseen jakeluverkkoon syöttävät tuotanto- laitokset	Tuotetulle sähkölle ei ole ostajaa	3		X	X	X	LE05 ja TVPE11
	Tuottaja myy sähköä sähkömarkkina- osapuolelle	4		X	X	X	LE05 tai TLE11 ja TVPE11

KUVIO 3. Tuotantolaitosten luokittelu käyttötavan ja -tarkoituksen mukaan (Energiateollisuus 2013.)

Kuviossa 3 rinnankäynninesto tarkoittaa, että laitos on erotettu mekaanisesti yleisestä jakeluverkosta ja tahdistus tarkoittaa, että laitos on kykenevä tahdistumaan jakeluverkon kanssa samaan tahtiin ja pysymään siinä. Yhteensopivuus tarkoittaa laitoksen ja jakeluverkon sähköistä yhteensopivuutta ja saarekekäytön esto tarkoittaa, että laitos on suojattu siten, ettei se voi syöttää sähköä jännitteettömään verkkoon. (Energiateollisuus 2013.)

Sopimusehtojen lyhennykset:

- LE05 = liittymisehdot
- VPE10 = verkkopalveluehdot
- TVPE11 = tuotantoa koskeva liite verkkopalveluehtoihin
- TLE11 = tuotannon liittymisehdot

Tarkoitus on käyttää vesivoimalaitokselta saatu sähkö lämminvesivaraajan sähkövastuksiin ja mahdollisesti lämmityskattilan kiertovesipumpun pyörittämiseen. Kytkennät on tarkoitus toteuttaa erillisillä vastuksilla ja pumpun kytkentä vaihtokytkimellä, jotta pystyy valitsemaan onko sähkö omaa vai otetaanko se yleisestä sähköverkosta. Joten luokittelun mukaan laitoksesta tulee luokan 1 voimalaitos. Tässä tapauksessa voimalaitokseen ei tarvitse kaikkia suojausjärjestelmiä, jotka jakeluverkon haltija vaatisi rinnankytketyn laitoksen tapauksessa. Näin saadaan investointikustannuksia pienemmiksi.

LE05 eli liittymisehdot käsittelevät sähkönkäyttöpaikkojen liittymisehtoja. Näitä ehtoja voi soveltuvin osin soveltaa sähköntuotantolaitteistoja sisältäviin käyttöpaikkoihin, joissa sähkönsiirto jakeluverkkoon on tehokkaasti estetty. Tämä tarkoittaa, että sähköntuottaja vastaa siitä, ettei hänen laitteisto aiheuta häiriötä tai vaaraa muille sähkönkuluttajille tai jakeluverkolle. (Liittymisehdot 2005.)

VPE10 eli verkkopalveluehdot käsittelevät muun muassa verkkopalvelusopimuksen tekemistä, mittausta, laskutusta, vahinkojen korvaamista ja sopimuksen päättymistä. Kuten liittymisehdoissa, myös verkkopalveluehdoissa, ehtoja voidaan soveltuvin osin soveltaa sähköntuotantokohteisiin, joissa sähkönsiirto jakeluverkkoon on tehokkaasti estetty. Kappale neljä, sähkölaitteet, käsittelee tällaista tuotantolaitosta ja siihen liittyviä toimenpiteitä. Näissäkin ehdoissa edellytetään, ettei tuotantolaitos aiheuta vaaraa tai häiriötä toisille sähkönkuluttajille tai jakeluverkolle. Sähköasennukset ja -laitteet tulee olla lakien ja standardien vaatimusten mukaiset. (Energiateollisuus 2010.)

Verkkopalveluehdoissa ennakkoselvitystä vaativia laitoksia ovat esimerkiksi vesi-, tuuli- ja aurinkovoimalaitokset vaikka ne olisivat täysin verkosta erotettuja. Kysyin ennakkoselvityksestä Elenialta, koska se on alueen verkkoyhtiö. Elenian mukaan pelkkä ilmoitus kysei-

sestä, täysin verkosta erotetusta, laitoksesta riittää. Ilmoituksesta tulee kuitenkin käydä ilmi, kuinka verkosta erotus on toteutettu. (Elenian työntekijä, 2015; Energiateollisuus 2010.)

7 TURBIINI

Turbiineja on erilaisia malleja, joilla jokaisella on omat hyvät ominaisuutensa. Jotkut sopivat hyvin pienille putouskorkeuksille, toiset taas tarvitsevat suuren putouskorkeuden tuottaakseen energiaa mahdollisimman hyvin.

Turbiinityypit voidaan jakaa suihku- eli aktioturbiineihin ja ylipaine- eli reaktioturbiineihin. Aktioturbiinissa hyödynnetään veden liike-energiaa ja reaktioturbiineissa veden potentiaalienergia muutetaan osittain liike- ja osittain paine-energiaksi. Ylipaineturbiinit ovat käytetympiä, koska ne toimivat paremmin pienillä ja keskisuurilla putouskorkeuksilla. (Muilu 2013.)

Opinnäytetyönkohteeseen turbiinia valittaessa tulee etsiä mahdollisimman pienelle putouskorkeudelle ja virtaamalle sopiva turbiini-malli. Suomessa vesiturbiineja valmistaa ainakin kaksi yritystä, Saahkarin Kone Ky Rautalammella ja Waterpumps WP Oy Helsingissä. Waterpumps WP Oy toimittaa myös automaattioratkaisuja, suunnittelua vesivoimalaitokselle, pumppuja ja sulkuluukkuja. Toinen yritys Suomessa, joka tarjoaa kokonaisia vesivoimalaitoksia suunnittelusta asennukseen, on Oy M&S Power Ltd. Helsingissä. Oy M&S Power Ltd tekee yhteistyötä Saahkarin Kone Ky:n kanssa. Rautalammella vastataan turbiinin valmistuksesta ja Helsingissä sähkösuunnittelusta. (M&S Power Ltd. 2008; Saahkarin Kone Ky 2015; Waterpumps WP Oy 2007.)

7.1 Pelton-turbiini

Pelton-turbiinin (KUVIO 4) on kehittänyt vuonna 1880 amerikkalainen L.A. Pelton, jonka mukaan turbiini on saanut myös nimensä. Pelton-turbiini on tyypiltään aktioturbiini ja sitä käytetään suurissa putouskorkeuksissa ja suhteellisen alhaisilla kierrosnopeuksilla. Pelton-turbiini on asennettu jopa 2 km:n putouskorkeuteen. Noin 90 % turbiiniin suihkutetun veden liike-energiasta saadaan muutettua sähköksi. Suurin ongelma pelton-turbiinin käytössä on vedessä oleva hiekka ja siitä aiheutuva eroosio suuttimille ja juoksupyörälle. Koska

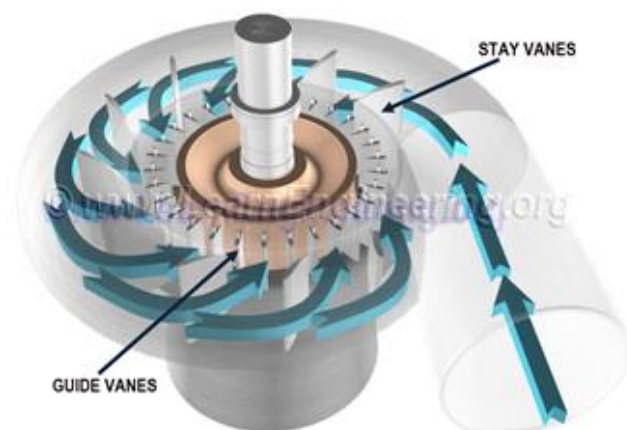
turbiini tarvitsee suuren putouskorkeuden, sitä ei voida käyttää Suomen olosuhteissa. (Muilu 2013.)



KUVIO 4. Pelton-turbiini (Turbines info 2011)

7.2 Francis-turbiini

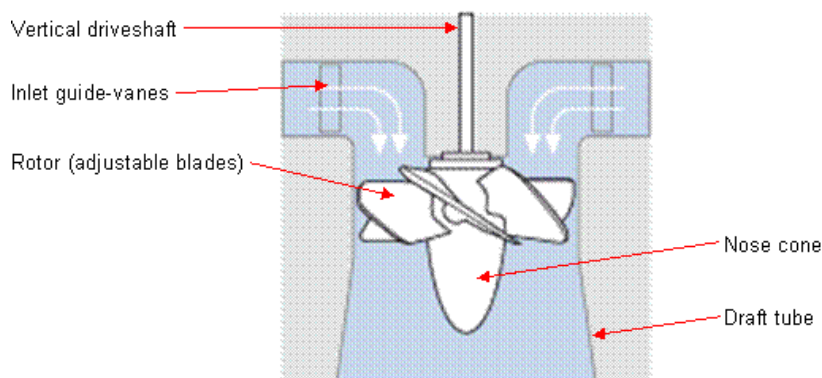
Francis-turbiini on saanut nimensä englantilaisen J.B. Francisin mukaan. Turbiini toimii parhaiten keskisuurilla putouskorkeuksilla eli 45 metristä 400 metriin asti. Francis-turbiini on rektioturbiini. Se on suhteellisen halpa ja yksinkertainen. Johtopyörässä on käännettävät siivet (KUVIO 5: guide vanes), joiden välistä vesi johdetaan juoksupyörään. Käännettävillä siivillä saadaan aikaan oikeanlainen kulma, jossa vesi virtaa juoksupyörään ja näin ollen hyötysuhde on aina paras mahdollinen vesimäärästä riippumatta. (LearnEngineering 2014; Muilu 2013.)



KUVIO 5. Francis-turbiini (LearnEngineering 2014)

7.3 Kaplan-turbiini

Itävaltalainen V. Kaplan on antanut nimensä Kaplan-turbiinille (KUVIO 6). Myös Kaplan-turbiini on reaktiiturbiini ja siinä on samat pääosat kuin Francis-turbiinissa eli johtopyörä, juoksupyörä ja imutorvi. Kaplan-turbiinissa on säädettävät johto- ja juoksupyörän siivet. Se sopii pienille putouskorkeuksille ja suurille virtaamille (putouskorkeus 2-25 m ja virtaama 70-800 m³/s). Puoli-Kaplan –turbiinissa puolestaan johtosiivet ovat kiinteitä ja juoksupyörän siivet ovat säädettävät. Suomen oloihin Kaplan- tai puoli-Kaplan -turbiinit sopivat hyvin, koska sillä on korkea ominaiskierto- ja läpäisykyky, ja se mukautuu vesimäärien vaihteluihin, jotka voivat Suomen olosuhteissa olla suuria. (LearnEngineering 2013; Muilu 2013.)



KUVIO 6. Kaplan-turbiini (Renewables First 2015)

Yksi vaihtoehto opinnäytetyön kohteen turbiiniksi on potkuriturbiini, joka on myös muunnos Kaplan-turbiinista. Potkuriturbiinissa on säädettävät johtopyörän siivet, mutta kiinteät juoksupyörän siivet. Eli päinvastainen muunnos kuin puoli-Kaplan –turbiinissa. (Muilu 2013.)

7.4 Valittu turbiini

Opinnäytetyön kohteeseen sopivaa turbiinia kysyin Saahkarin Kone Ky:stä. Siellä valmistetaan potkuri- ja puoli-Kaplan –turbiineita, jotka räätälöidään aina käyttökohteen mukaan.

He tarjoavat vaaka-, pysty- ja vinoakselisia asennusratkaisuja, joten jokaiselle luulisi löytyvän sopiva. Kaikki sähkölaitteet asennetaan kuivaan tilaan, mikä opinnäytetyön kohteessa on hyvä vaihtoehto. (Saahkarin Kone Ky 2015.)

Valittu turbiini on vaakamallin putki-turbiini eli veden kanssa kosketuksissa ovat ainoastaan juoksupyörä ja tukilaakerit. Turbiini-tarjoukseen sisältyy lisäksi imuputki, läppä säätöä ja sulkua varten, läpän käyttölaiteista sekä rasvausautomaatti. Koko laitteisto on suunniteltu merikonttiin rakennettavaksi. Merikontti-ratkaisussa kaikki rakennetaan tehtaalla valmiiksi kontin sisälle ja kontti tuodaan kohteeseen valmiiksi rakennetuille perustuksille. Liitteessä 1 on periaatekuva turbiinista.

8 GENERAATTORI

Generaattori on laite, joka muuttaa mekaanisen liike-energian sähkövirraksi. Vesivoimalaitoksessa siis veden liike-energia muuttuu turbiinin liike-energiaksi ja siitä edelleen generaattorissa sähkövirraksi. Generaattori toimii sähkömagneettisen induktion avulla. Magneetinnista riippuen sähkövirta muodostuu joko staattorissa tai roottorissa. Jos sähkövirta muodostuu staattorissa, magneetikenttä on luotu roottoriin esimerkiksi kestromagneeteilla ja staattorissa olevaan käämitykseen indusoituu jännite ja sitä kautta sähkövirta. Jos taas sähkövirta muodostuu roottorissa, magneetikenttä on staattorissa ja roottorissa olevassa käämityksessä syntyy jännite. Roottorista sähkövirta johdetaan liukurenkaan tai kommutoinnin avulla ulkopuolisiin johtimiin. Jännitteen suuruus riippuu muun muassa magneetikentän voimakkuudesta ja roottorin pyörimisnopeudesta. (Aggregaatit.com 2014; Wikipedia 2015.)

8.1 Kohteeseen soveltuvat generaattorityypit

Epätahtigeneraattorin nimi tulee siitä, että roottori pyörii epätahdissa magneetikentän kanssa. Epätahtigeneraattorit voidaan jakaa verkko- ja kondensaattorimagnetoituihin epätahtigeneraattoreihin Verkkomagnetoitu epätahtigeneraattori tarvitsee toimiakseen jännitteellisen verkon, koska se ottaa magnetointivirran sähköverkosta. Kondensaattorimagnetoitu epätahtigeneraattori saa magnetointivirran koneen liittimiin kytketyistä magnetoimiskondensaattoreista ja on näin täysin itsenäinen generaattori. Kondensaattorimagnetoitua epätahtigeneraattoria kutsutaan itsemagnetoivaksi juuri tämän takia. Magnetointiin tarvittava loisteho voidaan tuottaa myös taajuusmuuttajan avulla. Epätahtigeneraattorissa häviöitä syntyy sekä roottorissa että staattorissa, minkä vuoksi hyötysuhde kärsii. Epätahtigeneraattorin runkokoko on suhteellisen iso, jos tarvitaan paljon vääntömomenttia. Vaihde-
laatikon avulla voidaan kuitenkin pienentää runkokokoa ja näin ollen myös generaattorin hinta laskee. (Jouko 2010; Korpinen 2007).

Kestomagneettigeneraattorissa magnetointi tuotetaan roottorissa olevien kestromagneettien avulla. Koska magnetointia ei voi säätää, syntyvän jännitteen suuruus ja taajuus riippuvat

roottorin pyörimisnopeudesta. Kestomagneettigeneraattori on niin sanottu tahtikone, eli roottori pyörii samassa tahdissa magneetikentän kanssa. Kestomagneettigeneraattorissa vääntömomentti on parempi runkokokoon nähden kuin epätahtigeneraattorissa. Koska runkokoko on pienempi, myös hinta on pienempi. Häviöitä syntyy ainoastaan roottorissa. (Jouko 2010.)

	Kestomagneettigeneraattori	Epätahtigeneraattori
Magnetointi	Roottoriin asennetuilla kesto- magneeteilla	Loistehoa verkosta tai taajuusmuut- tajasta
Häviöt	Staattorissa	Staattorissa ja roottorissa
Hyötysuhde	Kestomagneettigeneraattorilla parempi, koska pienemmät häviöt	
Vääntömomentti	Kestomagneettigeneraattorissa suurempi vääntömomentti suhteessa runkokokoon	

KUVIO 7. Kestomagneetti- ja epätahtigeneraattoreiden vertailu (Jouko 2010.)

Vierasmagnetoidussa tahtigeneraattorissa roottorissa on magnetointikäänitys, jonka magnetointiin tarvitaan tasavirtaa. Tarvittava magnetointivirta voidaan tehdä generaattorin vaihtovirran tasasuuntauksella ja johtamalla se liukurenkaiden ja hiiliharjojen kautta takaisin roottoriin. Tällä tavoin toteutettua tahtigeneraattoria kutsutaan harjalliseksi. Toinen keino magnetointivirran tuottamiseen on generaattorin kanssa samalle akselille sijoitettava vaihtosähkögeneraattori, jonka roottoriin indusoituva vaihtovirta tasasuunnataan ja syötetään päägeneraattorin roottoriin. Tällöin liukurenkaita ei tarvita ja kone on harjaton. (Korpinen 2007.)

8.2 Valittu generaattori

Jos generaattorilaitteistolla on tarkoitus syöttää sähköasennusta, jota ei ole liitetty yleiseen jakeluverkkoon, tai generaattoria käytetään kytkettävänä vaihtoehtona yleiselle jakeluverkolle, generaattorilaitteiston tehon ja muiden ominaisuuksien on oltava sellaisia, etteivät jännite- ja taajuusvaihtelut vaaranna tai vaurioita laitteita kytkettäessä kuormituksia päälle tai pois päältä. On oltava käytössä laitteet, joilla voidaan generaattorin kuormitettavuuden

ylittyessä automaattisesti kytkeä pois tarvittavia sähköasennuksen osia. (SFS 6000-5-55, 2012.)

Generaattorin valintaan vaikuttavat pyörimisnopeus, vääntömomentti, teho ja kustannukset. Kuten aiemmin todettua, Honkakoskeen sopivat generaattorimallit ovat epätahti-, kes-
tomagneetti- ja vierasmagnetoitu tahtigeneraattori. Kysyin tarjousta kaikista komponenteista Oy M&S Power Ltd:lta. Heidän tarjouksensa perusteella valitaan vierasmagnetoitu harjaton tahtigeneraattori.

Pyörivien koneiden teho voidaan laskea kaavalla

$$P = 2 * n * \pi * T,$$

jossa P on teho, n on pyörimisnopeus ja T on vääntömomentti.

Kaavan avulla voidaan esittää turbiinin ja generaattorin pyörimisnopeuden, vääntömomentin ja tehon tasapaino.

9 SÄHKÖISET KOMPONENTIT

Sähköiset komponentit-luvussa käsitellään sähköistykseen tarvittavia osia ja niiden toimintaa teoriatasolla. Vesivoimalaitoksessa tulee huomioida ennen kaikkea turvallisuus ja miten tuotettu sähkö johdetaan käyttölaitteille ilman suuria taajuuden vaihteluita. Suojauksia on löydettävä sekä voimalaitoksesta että omakotitalosta, ylijännite- ja oikosulkusuojat näistä tärkeimpänä.

9.1 Vesivoimalaitos

Vesivoimalaitoksessa on sähköinen vesimäärää säättävä läppä. Lämpän voi sulkea myös tarvittaessa kokonaan. Lämpää ohjataan karamoottorilla, joka tarvitsee käyttöjännitteeksi 24 voltia tasajännitettä. Tämä tasasähkö saadaan akustosta, jota ladataan vesivoimalaitoksen käydessä lataustasasuuntaajan avulla. Lataustasasuuntaaja myös varmistaa akuston jännitteen pysymisen tasaisena. Laitoksen seisoessa pidemmän aikaa, akusto tarvitsee latausta varten sähköä jakeluverkosta. Lämpän tarkoitus on säätää vesimäärää, jotta turbiinin pyörimisnopeus pysyy kuormaan nähden oikeana. Tätä säätää varten on pyörimisnopeuden mitaus. Vikatapauksessa karamoottori sulkee lämpän automaattisesti estäen suurempien vikojen syntymisen.

Taajuusmuuttajan avulla generaattorin tuottama sähkö johdetaan kulutuskohteisiin. Taajuusmuuttaja myös estää vesimäärän säädöstä johtuvan taajuuden muutoksen siten, etteivät kulutuskojeet häiriinny. Koska laitokseen kuuluu taajuusmuuttaja, se on halutessa mahdollista liittää myös jakeluverkon rinnalle vain pieniä lisäyksiä tehden. Hälytysyksiköstä saadaan hälytys vedenpinnan laskusta ja noususta, laitoksen pysähtymisestä, akuston latausviasta ja pienautomaation viasta.

9.2 Lämmitysjärjestelmä

Jotta kiertovesipumpun erotus yleisestä jakeluverkosta on tarpeeksi luotettava, standardissa SFS 6000-5-53 määritellään sopivat menetelmät. Näitä menetelmiä ovat muun muassa:

- sähköinen, mekaaninen tai sähkömekaaninen lukitus vaihtokytkimen käyttömekanismien tai ohjauspiirien välillä
- lukitusjärjestelmä, johon on ainoastaan yksi siirrettävä avain
- kolmiasentoinen vaihtokytkin, joka katkaisee toisen syötön ennen kuin toinen syöttö kytkeytyy. (SFS 6000-5-55, 2012.)

Lämminvesivaraajaan tarvitaan omat lämmitysvastukset, jotka lämpenevät vesisähköllä, sillä varaajassa tällä hetkellä olevat vastukset ovat sen verran suuret, ettei vesivoimalaitoksen teho välttämättä riitä niihin. Varaajassa on vapaita vastuspaikkoja, joten uusien vastusten asentaminen ei tuota ongelmia.

Jotta lämmitysjärjestelmä olisi täysin omavarainen, kiertovesipumpun tulisi käydä myös sähkökatkon yllättäessä ja pienvesivoimalaitoksen seisoessa. Tämä ongelma voidaan ratkaista syöttämällä vaihtosuuntaajan kautta akkuun vesisähköä ja mahdollisesti toteutetaan myös valmius ladata akkua jakeluverkon sähköllä. Jos edellä mainittu tilanne tapahtuu, releohjauksella toteutetaan syötönvaihto akulle ja kiertovesipumppu rupeaa käymään akun avulla. Tällöin huoli lämmityskattilan ylikuumentumisesta poistuu. Releohjausta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, että akuston releohjauksen tarvitsee olla käytössä vain silloin, kun kiertovesipumppua pyöritetään jakeluverkon sähköllä.

10 TUET JA KUSTANNUKSET

Suurimmat kustannukset syntyvät turbiinin ja generaattorin hankinnasta. Myös muut sähkölaitteet voimalaitoksessa ja asennustyöt omakotitalossa vaativat aika paljon rahaa. Koska budjetin tulee olla suuri ja maksumiehenä on yksityinen henkilö, on tärkeää kartoittaa mahdolliset saatavat tuet ja avustukset.

10.1 Tuet ja avustukset

ELY-keskus sekä työ- ja elinkeinoministeriö päättävät yhdessä myönnettävästä investointituesta uusiutuvalle energialle. Energiatuen tarkoitus on edistää uuden energiateknologian käyttöönottoa ja sen tuomista markkinoille. Energian pientuottajille tuotantolaitoksen kotipaikkakunnan tullipiiri maksaa myös sähköntuotannon tukea ja pienvesivoimalaitokselle, jonka teho on alle 1 MW, sähköntuotannon tuki oli 0,042 senttiä/kWh vuonna 2009. (Motiva 2015; Pienvesivoimala opas 2009.)

Energiatukea myönnetään vain yrityksille ja yhteisöille, esimerkiksi kunnille. Kohteen omistajalla kuitenkin on olemassa toiminimi, jota voisi hyödyntää, jos energiatukea päätehtään hakea. Haku tapahtuu toimittamalla hakupaperit paikalliseen ELY-keskukseen ennen kuin mitään on investoitu tai rakennettu. Vuonna 2014 pienvesivoimalle myönnettiin energiatukea 15-20% hyväksyttävistä kustannuksista. (Motiva 2015.)

Yksityisille kuluttajille on olemassa kuntien myöntämä energia-avustus. Jotta tätä avustusta voi hakea, tulee toimenpiteen parantaa energiataloutta tai ottaa lämmityksessä käyttöön uusiutuvaa energiaa, esimerkiksi maalämpöpumppu-, pellettilämmitys- tai uusiutuvaa energiaa hyödyntävä yhdistelmälämmitysjärjestelmä. Tätä avustusta haetaan suoraan kunnalta ja sen saamisen ehtona on muun muassa, etteivät ruokakunnan tulot ylitä asetettuja tulo rajoja. Avustusta voi saada enintään 25% kunnan hyväksymistä kustannuksista. (Motiva 2015.)

10.2 Kustannukset

Sain erilliset tarjoukset sähköistyksestä ja turbiinista osineen. Lisäksi kustannuksia tulee kaapelinkaivamisesta voimalaitokselta omakotitalolle, voimalaitoksen perustuksista, omakotitalossa tarvittavista sähköosista ja -töistä.

Sähköistystarjous, sisältää arvonlisäveron 24 %: 18 100€

Turbiinitarjous osineen, ei sisällä arvonlisäveroa: 24 000€

Sähköistystarjous sisältää sähkötoteutuksen koestuksen, tarkastuksen ja käyttökoulutuksen. Turbiinitarjous sisältää konttivoimalaitoksen toimituksen kotimaahan, asennuksen valmiisiin perustuksiin sekä koeajon.

11 TAKAISINMAKSUAIKA

Takaisin maksuaika tarkoittaa aikaa, jolloin säästöt käyttämättä jääneistä kuluista ovat suuremmat kuin koko laitoksen investointikulut. Vesivoimalaitos on aina kallis investointi, joten takaisinmaksuaika on useita vuosia, ehkä jopa kymmeniä vuosia, mutta pitkän käyttökänsä ansiosta sen on mahdollisuus maksaa itsensä takaisin. Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa myös tarvittavat huoltotoimenpiteet ja niistä syntyvät kustannukset.

Koska omakotitalossa on puulämmitys, takaisinmaksuaikaa on hyvin vaikea laskea. Tarvittavat polttopuut tehdään omalla ajalla ja omilla työkaluilla oman metsän raaka-aineista, joten hintaa tälle rupeamalle ei voi laskea. Polttopuita kuluu toisena vuonna vähemmän ja toisena enemmän, kuten myös lämminvesivaraajan nykyisten sähkövastusten käyttö vaihtelee vuosikohtaisesti. Eli lämmityskuluja/vuosi on vaikea arvioida, saati laskea tarkasti.

Tulee kuitenkin huomioida, että vesivoimalla tuotetun sähkön ansiosta metsää tarvitsee vähemmän hakata (harvennusta lukuun ottamatta), jolloin myös siellä käyminen vähenee ja siten antaa lisää aikaa muille hommille. Tämä on tärkeää, koska vanhemmiten polttopuiden teko käy enemmän raskaaksi ja aikaa vieväksi. Joten pienvesivoimalaitoksesta on hyötyä muilla elämän osa-alueilla, jota ei välttämättä voi mitata rahassa. Tässä tapauksessa onkin järkevämpää arvioida kaikkia saatavia hyötyjä kuin laskea takaisinmaksuaikaa rahassa.

11 LOPPUPOHDINTA JA -PÄÄTELMÄT

Työ oli mielenkiintoinen tehdä. Pääsin perehtymään vesivoimalaitoksen komponentteihin tarkasti ja tarjoukset sähköistyksestä ja turbiinista sekä niiden hinnat toivat konkreettista näkökulmaa työhön. Toteutus käytännössä vaatii paljon aikaa ja rahaa. Huomionarvoinen seikka on, että kuviossa 2 esitetyt investointikustannukset/kW pienvesivoimalle ovat paljon alemmat kuin tarjouksien yhteen laskettu hinta. Mielenkiintoista olisikin ollut tutkia, mistä näin suuri ero syntyy. Lisäksi tulee ottaa huomioon, ettei laitoksesta saatava teho ole kovin suuri. Täytyy siis harkita tarkasti lähteekö toteuttamaan laitosta tässä työssä esitetyllä tavalla vai kehittääkö paremmin tuottavan laitoksen eri paikkaan tai saako putouskorkeutta jotenkin nostettua, tietysti lakien ja lupien sallimissa rajoissa.

Positiivista kuitenkin on, että laitos on mahdollista toteuttaa samaiseen paikkaan kuin aiemmin ja kaikki tuotettu sähkö saadaan omaan käyttöön. Nykyaikaisilla komponenteilla vedestä saadaan irti kaikki mahdollinen teho, ja hyötysuhde vanhaan laitokseen verrattuna nousee paljon. Pidän tärkeänä seikkana myös sitä, että kyse on uusiutuvasta energiasta ja lämmitystöiden vähenemisestä.

Työtä tehdessä huomasin kuinka tärkeää olisi olla asiantuntija mukana auttamassa ja tuke-
massa. Sellainen, joka on perehtynyt nimenomaan kyseiseen aiheeseen. Totta kai täytyy
itse tehdä suurin työ; etsiä lähteitä, tietoa ja kirjoittaa lopuksi omaan suuhun sopiva teksti.
Asiantuntijan kanssa kuitenkin pystyisi selvittämään suurimmat ongelmakohdat tai tär-
keimmät asiat ja saada näille järkevät sekä oikeat perustelut. Tässä työssä hyvänä esimerk-
kinä toimi turbiinin valinta.

Jotta olisin täysin tyytyväinen työhön, olisin aloittanut sen aiemmin ja se sisältäisi sähkö-
piirustukset sekä voimalaitoksesta että lämmitysjärjestelmästä. Käytännöntoteutus olisi
kruunannut työn vaikkakin sen puuttuminen oli tiedossa jo projektin alussa. Pienvesivoi-
mayhdistyksen toimintaan olen kuitenkin pettynyt, sillä sieltä ei tähän päivään mennessä
ole vielä vastattu sähköpostiini koskien työnaihetta vaikka tiedän sähköpostin menneen
perille. Työn lopputulokseen olen kuitenkin siinä mielessä tyytyväinen, että kaikkiin ky-
symyksiin löytyi vastaus ja suurimpiin kustannuksiin myös hinnat. Toivon myös, että työn-

tilaaja saa tästä työstä tarvitsemaansa vastauksia pätkäillessään kannattaako laitoksen rakentaminen aloittaa.

LÄHTEET

Aggregaatit.com. 2014. Mikä on generaattori? Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.aggregaatit.com/ajankohtaista/generaattori/>. Luettu 7.10.2015.

Elenian työntekijä. 2015. Puhelinkeskustelu. 3.11.2015.

Energiateollisuus. 2005. Liittymisehdot. Pdf-dokumentti. Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/liittymisehdot_le05.pdf. Luettu 4.11.2015.

Energiateollisuus. 2013. Tekninen liite 1 ohjeeseen sähköntuotantolaitteiston liittäminen jakeluverkkoon –nimellisteholtaan enintään 50 kVA laitoksen liittäminen. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.elenia.fi/sites/default/files/Tuotannon%20liitt%C3%A4minen%20verkkoon%20C%20liite%201%20%28alle%2050%20kVA%29.pdf>. Luettu 15.10.2015.

Energiateollisuus. 2010. Verkkopalveluehdot. Pdf-dokumentti. Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/Verkkopalveluehdot_VPE2010.pdf. Luettu 4.11.2015.

Esko, J. 2010. Näkökohtia vesivoimageraattorin taajuusmuuttaja käyttöön. Diplomityö. Vaasan yliopisto. Teknillinen tiedekunta.

Hellemaa, P. 2011. Ulos luokasta puroa tutkimaan. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.luma.fi/artikkelit/ulos-luokasta-puroa-tutkimaan>. Luettu 24.8.2015

Karttaikkuna. 2015. Kartat. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta>. Luettu 16.9.2015.

Korhonen J. 1952. Toimituskirja Oulaisten pitäjään Matkanivan kylässä olevaan Pyhäjoen Honkakoskeen rakennettavan vesilaitoksen vesilaitoskatselmuksesta. Moniste.

Korpinen, L. 2007. Sähkökoneet, osa 1. Pdf-dokumentti. Saatavissa: http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf. Luettu 14.10.2015.

Korpinen, L. 2007. Sähkökoneet, osa 2. Pdf-dokumentti. Saatavissa: http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_2osa.pdf. Luettu 30.10.2015.

LearnEngineering. 2014. How does Francis turbine work? Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.learnengineering.org/2014/01/how-does-francis-turbine-work.html>. Luettu 30.9.2015.

Motiva. 2015. Uusiutuvan energian tuet. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/uusiutuvan_energian_tuet. Luettu 14.10.2015.

- Motiva. 2014. Pienvesivoima. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/vesivoima/pienvesivoima. Luettu 15.10.2015.
- Motiva. 2012. Opas sähkön pientuottajalle. Pdf-dokumentti. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf. Luettu 21.9.2015.
- Muilu, Y. 2013. Vesivoimalaitokset. Luentomuistiinpanot. Centria Ammattikorkeakoulu. Ylivieskan yksikkö.
- M&S Power Ltd. 2008. Tuotteet ja palvelut. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.m-et-s-power.net/tuotteet.html>. Luettu 30.9.2015.
- Pienvesivoimayhdistys ry. 2009. Pienvesivoimalaopas. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://pienvesivoimayhdistys.com/wp-content/uploads/2014/05/Pienvesivoimaaopas.pdf>. Luettu 14.10.2015.
- Päätös, joka koskee vesilaitoksen rakentamista Pyhäjoen Honkakosken Oulaisten pitäjän Matkanivan kylässä. Päätös. 1953. Toinen vesistötoimikunta. Helsinki.
- Pöyry Energy Oy. 2006. Sähkön pientuotannon liittäminen verkkoon. Pdf-dokumentti. Saatavissa: http://www.elenia.fi/sites/default/files/Sahkon_pientuotannon_liittaminen_verkkoon.pdf. Luettu 21.9.2015.
- Renewables First. 2015. Kaplan Turbines. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.renewablesfirst.co.uk/hydropower/hydropower-learning-centre/kaplan-turbines/>. Luettu 30.9.2015.
- Saahkarin Kone Ky. 2015. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://pienvesivoima.fi/>. Luettu 7.10.2015.
- Salonpää, E. 2015. Keskustelu. 4.9.2015.
- Selin, A. 2015. Pienvesivoiman luvat. Sähköposti. 15.9.2015.
- Sener. 2001. Pienvoimaloiden liittäminen jakeluverkkoon. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://energia.fi/sites/default/files/10930.pdf>. Luettu 28.9.2015.
- SFS 6000. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-55: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Muuta sähkölaitteet. 2012. Helsinki. Suomen standardoimisliitto SFS.
- Sihvomaa J. 1992. Honkakosken vesivoiman käyttäminen, Oulainen, Matkaniva. Päätös. Pohjois-Suomen vesioikeus. Oulu.
- Säämänen, J. 2015. Honkakosken pienvesivoimalaitos. Sähköposti. 1.11.2015.
- Turbines info. 2011. What is a Turbine? Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.turbinesinfo.com/what-is-a-turbine/>. Luettu 30.9.2015.

Waterpumps WP Oy. 2007. Waterpumps WP Oy. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.wpoy.com/>. Luettu 30.9.2015.

Wikipedia. 2015. Generaattori. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Generaattori>. Luettu 7.10.2015.

