



Karelia-ammattikorkeakoulu
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Mikrovesivoimalaitoksen suunnittelu ja pilotointi

Tino Jehkonen

Opinnäytetyö, Marraskuu 2021

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2021
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Tino Jehkonen

Nimeke
Mikrovesivoimalaitoksen suunnittelu ja pilotointi

Toimeksiantaja
Karelia-ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin pilottilaitos mikrovesivoimalasta ja toteutettiin pilotointi. Mikrovesivoimala mitoitettiin kartoittamalla kohteen energian tarve ja mittaamalla virtaaman määrittämiseen tarvittavat tiedot uomasta eri vuodenaikoina. Puron virtausnopeuden, syvyyden ja leveyden perusteella arvioitiin potentiaalista energiantuotantoa eri vaihtoehdoilla. Voimala suunniteltiin noin 1–2 metriä leveään uomaan Pohjois-Karjalassa Lieksan kunnan alueella.

Mikrovesivoimala suunniteltiin vesilain puitteissa ja pysyviä rakenteita tai patoamista vaativat ratkaisut, eivät olleet mahdollisia pilotoinnissa lupa asioiden takia. Pilotointiin valittiin Waterlily-turbiinit, jotka ovat suoraan virtaukseen asetettavia ja eivät vaadi pysyviä rakenteita tai uoman muokkausta. Pilotoinnin tarkoituksena oli testata pienimuotoista energiantuotantoa ja tehon pysyvyyttä uomassa.

Pilotointi sujui odotusten mukaisesti ja kahdella turbiinilla saavutettiin 15–20 W jatkuva teho uomassa. Pilottilaitoksella on mahdollista ladata mobiililaitteita ja varavirtalähteitä. Pilotoinnin tavoitteena oli saavuttaa mobiililaitteille tarvittava latausteho ja siinä onnistuttiin. Tehon pysyvyys kohteessa kärsi kesällä suurista virtaamavaihteluista, ja talvella uoman jäätyminen rajoittaa pilottilaitoksen käyttöä.

Kieli
suomi

Sivuja 40
Liitteet 0
Liitesivumäärä 0

Asiasanat
Pienvedet, vesivoimalat, mikrotekniikka



THESIS
November 2021
Degree Programme in Energy and Environmental technology

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Tino Jehkonen

Title
Design and Piloting of a Micro Hydropower Plant

Commissioned by
Karelia University of Applied Sciences

Summary

In this thesis, a pilot plant was designed from a micro hydropower and piloting was carried out. The micro-hydropower plant was dimensioned by estimating the energy demand of the site and measuring the data from the river for different seasons of the year to determine the flow. Based on the amount, depth and width of the stream flow, the potential energy production was evaluated with different options. The power plant was designed for a 1–2 meter wide stream in North Karelia in the municipality of Lieksa.

The hydroelectric power plant was designed under the Water Act, and permanent structures or damming solutions, were not possible in piloting due to permit issues. Waterlily turbines were selected for piloting, which are direct flowable and do not require permanent structures or modifications on the channel. The purpose of the piloting was to test small-scale energy production and the stability of power in the channel.

The piloting proceeded as expected and the two turbines achieved a continuous power output of 15–20 W. It is possible for the pilot plant to charge mobile devices and backup power supplies. The aim of the pilot was to have the necessary charging power for mobile devices and it was a success. The power output suffers from large-scale fluctuations in the summer and in the winter the stagnation of the river limits the pilot plant use.

Language
Finnish

Pages 40
Appendices 0
Pages of Appendice 0

Keywords
Small waters, hydropower, microtechnology

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Vesivoima	6
2.1	Vesivoimalaitostekniikka	8
2.2	Vesivoimalaitostyypit	9
2.3	Turbiinityypit.....	10
2.3.1	Kaplan-turbiini.....	10
2.3.2	Pelton-turbiini.....	12
2.3.3	Francis-turbiini	13
2.3.4	Putki- ja potkuriturbiinit	14
2.4	Ympäristövaikutukset.....	15
3	Mikrovesivoima	16
3.1	Mikrovesivoimatekniikka	16
3.2	Säädökset mikrovesivoimatuotannolle.....	17
4	Mikrovesivoiman rakennevaihtoehdot.....	18
4.1	Suoraan virtaukseen asetettavat turbiinit.....	18
4.1.1	Flowwatt200-turbiini.....	18
4.1.2	Waterlily-turbiini	20
4.2	Patoratkaisuun tai vesikaukaloon perustuvat putkiturbiinivoimalat	20
4.2.1	Powerpal-pienoisvesivoimala.....	21
4.2.2	Powersprout putkiturbiinivoimala	23
4.3	Pelton-tyyppiset mikrovesivoimalat.....	23
5	Menetelmälliset valinnat suunnittelulle.....	25
5.1	Virtaaman määrittäminen.....	25
5.2	Energiavirtaamat purossa	28
5.3	Virtaavan veden vuosienenergia.....	30
6	Suunnittelun tulokset.....	31
6.1	Pilottilaitoksen valinta	31
6.2	Pilottilaitos ja pilotointi.....	32
7	Pilotoinnin lopputulos	36
8	Pohdinta.....	38
	Lähteet.....	40

Keskeisiä käsitteitä

Aksiaalilaakeri on laakeri, joka kestää kuormitusta akselin suuntaisesti.

Välppä on ensisuodatin, mikä estää liian isoja kappaleita joutumasta laitteen prosessiin.

SAE-liitin tarkoittaa fyysisesti sukupuoletonta kaksijohtimista liitintä, jota käytetään yleisesti aurinko- ja autosähkösovelluksissa.

Turbiini tarkoittaa pyörivää konetta, joka muuttaa virtaavan aineen energian pyörimisenergiaksi.

Juoksupyörällä tarkoitetaan turbiinin pyörivää osaa.

Generaattorilla tarkoitetaan konetta, joka muuttaa mekaanisen liike-energian sähkövirraksi.

Virtaamalla tarkoitetaan vesitilavuuden siirtymistä kuvitteellisen pinnan ohi tietyssä aikayksikössä. Vesitieteissä käytetään yleisenä yksikkönä m^3/s (kuutiometriä sekunnissa) ja l/s (litraa sekunnissa).

Alivirtaamalla tarkoitetaan uoman pienintä mitattua virtaama arvoa vuoden aikana.

Keskivirtaamalla tarkoitetaan seuranta-ajanjakson virtaamien keskiarvoa uomassa.

Ylivirtaamalla tarkoitetaan uoman suurinta mitattua virtaama arvoa vuoden aikana.

Valuma-alueella tarkoitetaan maantieteellistä maa-aluetta, josta esimerkiksi järvet ja joet keräävät vetensä.

1 Johdanto

Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Pohjois-Karjalan ELY-keskuksen CBC NatureBeST ja Karelia-ammattikorkeakoulun UusiutuWat -hankkeiden kanssa. Niiden tavoitteena on edistää maaseutuyritysten yhteistyötä uusiutuvan energian tuotannossa ja käytössä. Työ toteutettiin Lieksan Kontiovaarassa sähköverkon ulkopuolella sijaitsevalle Erä-Eero-yritykselle. Yrityksen tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian määrää kohteessa sekä korvata aggregaatilla tuotettu energia vesi- ja aurinkosähköllä. Yritykselle tullaan hankkeiden puitteissa asentamaan myös aurinkosähköjärjestelmä, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään vain mikrovesivoimalan suunnitteluun ja pilotointiin.

Opinnäytetyössä käsitellään vesivoimaa yleisesti tekniikan ja voimalaitostyyppien ymmärtämiseksi. Lisäksi esitellään myös mikrovesivoimatekniikan perusteita ja rakennevaihtoehtoja. Mikrovesivoimalan tekniikka perustuu käytännössä isommissakin voimaloissa esiintyviin ratkaisuihin ja rakennevaihtoehdot ovat periaatteeltaan samankaltaisia. Opinnäytetyössä esitetyt mittaukset pohjautuvat yrityksen tontilla sijaitsevasta, noin 1–2 metrin levyisestä purosta itse tehtyihin mittauksiin vuonna 2021. Työn tavoitteena oli toteuttaa yritykselle pilottilaitos mikrovesivoimalasta ja saavuttaa mobiililaitteiden lataukseen riittävä tehontuotto.

Erä-Eeron toiminta kohdistuu luontokuvausta harrastavien matkailijoiden palvelimiseen ja isännöintiin. Yrityksen energiantarve muodostuu pääasiallisesta kameroiden ja mobiililaitteiden lataamisesta. Kohteessa tuotetaan energiaa pääosin aggregaatilla, jolla ladataan akkuja ja käytetään myös suoraan sähkölaitteita. Kohteen lämmitys hoidetaan puulla ja ruuanlaitto kaasua käyttäen. Työssä otettiin huomioon myös paikan luontoarvo, sillä yritys sijaitsee luonnonsuojelualueella. Puron uoma on aikaisemmin muokattu ja padottu. Mikrovesivoimalan ympäristövaikutukset pyritään selvittämään mahdollisimman tarkasti, vaikka oletusarvona on, ettei mittavia vaikutuksia synny.

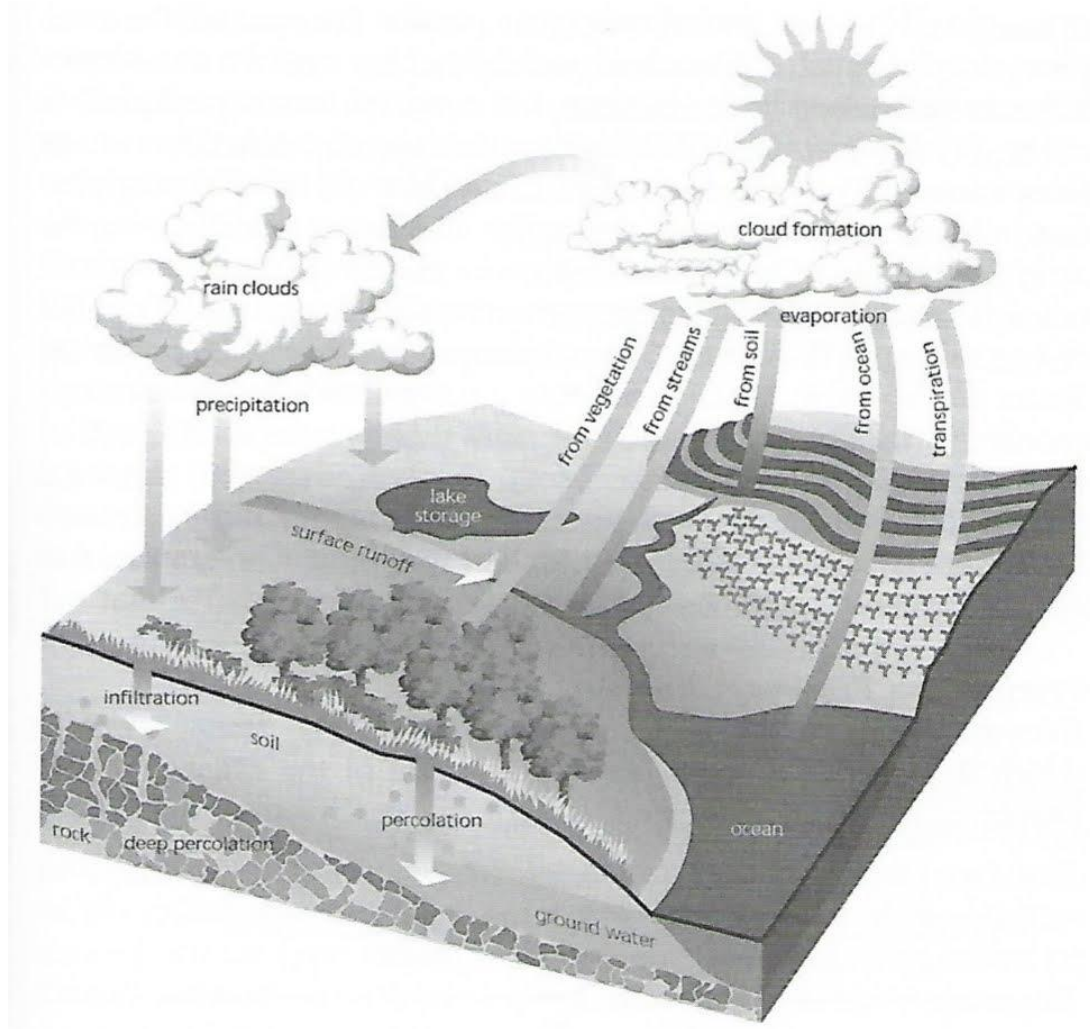
2 Vesivoima

Vesivoima perustuu veden juoksuttamiseen ylemmältä tasolta turbiinin läpi alemmalle tasolle. Veden virtaus muutetaan energiaksi, kun turbiini pyörittää generaattoria. Generaattorilta sähkö siirtyy muuntajalle, joka muuntaa sähköjännitteen sähköverkkoon sopivaksi. (Wattenfall 2021.)

Vuonna 2019 Suomessa oli noin 250 vesivoimalaitosta, ja niiden kapasiteetti kattoi 3 190 MW energiankulutuksesta. Vesivoiman osuus Suomen sähköntuotannosta oli tuolloin noin 19 %. Suomessa on edelleen mahdollisuuksia vesivoiman lisärakentamiseen, vaikka suurimmat kohteet on jo toteutettu. Merkittävä vesivoiman lisärakentaminen on kuitenkin epätodennäköistä ympäristön- ja luonnonsuojelullisista syistä. Vesivoiman käytön osuuden kasvatus perustuukin lähinnä nykyisten voimaloiden uudistamisen ja käyttöasteen nostamisen potentiaaliin. (Motiva 2021.)

Yksi vesivoiman tärkeimmistä eduista on ilmainen energian saatavuus. Vesivoiman käytön kustannukset koostuvatkin lähinnä voimalan rakennus- ja ylläpito-kuluista. Vesivoimaloissa tekniikka on kestävä ja käyttöikä voi nousta jopa yli 100 vuoteen. Sähköntuotannon säännöstelemisen on myös helppoa sähkön pörssihintojen mukaan. (Energiamailma 2021.)

Energianlähteen perustana on veden kiertokulku, jossa vesi kiertää jatkuvasti valtamerien, merien, järvien, ilmakehän sekä maan välillä prosessissa, jota kutsutaan hydrologiseksi kiertokulkuksi. Tämä kierto perustuu auringon voimaan. Aurinko lämmittää vesimolekyylejä, jonka seurauksena ne muuttuvat höyryksi ja höyryt jatkavat matkaansa kohti ilmakehää, jossa sen sisältämä vesi tiivistyy jälleen pisaroiksi. Tyypillisesti tämä tapahtuu, kun kylmä ja kuuma ilmassa kohtaavat. (Matlock & Morgan 2011, 92–93.)



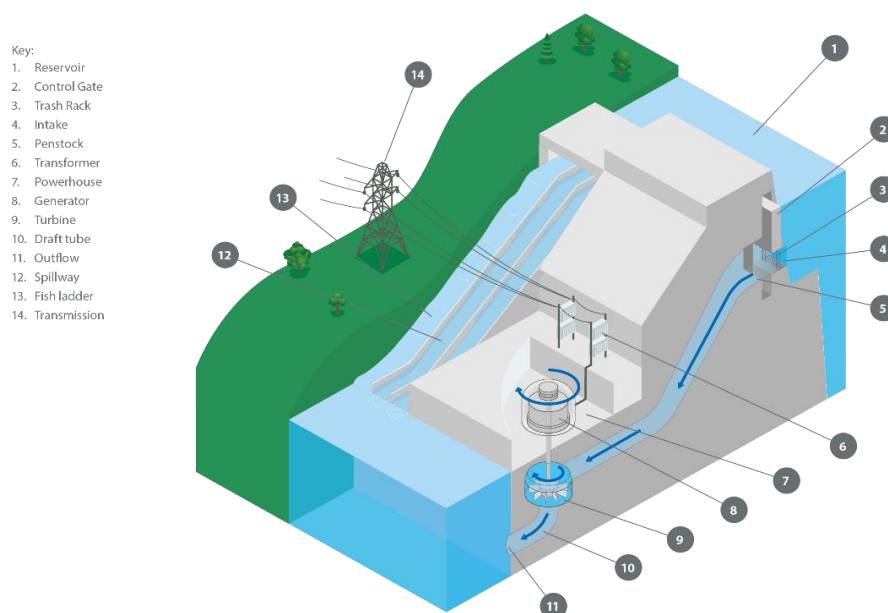
Kuva 1. Veden kiertokulku (Kuva: Matlock & Morgan 2011, 93).

2.1 Vesivoimalaitostekniikka

Suurin osa Suomen vesivoimatekniikasta perustuu pudotuskorkeuteen. Pienveivoimaloille tyypillinen pudotuskorkeus on 2–6 metriä, mutta Kemijärvellä sijaitsevassa Jumiskon maanalaisessa voimalaitoksessa pudotuskorkeutta on 96 metriä. Vesivoimatekniikan etuna on sen käytettävyys säätövoimana kulutus- huippujen aikana. Patoamalla varastoidaan vettä, ja siten sähköntuotannon lisääminen tai vähentäminen onnistuu nopeasti. (Motiva 2021.)

Vesivoimalat käyttävät veden ohjaukseen patoja, kanavia tai putkia, mutta energian muunnoksessa tärkein tekijä on hydraulinen turbiini. Turbiinit ovat rakenteeltaan yksinkertaisia ja luotettavia. (Breeze 2006, 109–111.)

Nykyiset vesivoimalat on rakennettu Suomessa pitkälti 1900-luvulla, ja tekniikka on pysynyt periaatteeltaan samana suuremmissa voimaloissa. Toiminta perustuu ylä- ja alavesialtaan väliseen korkeuseroon. (Motiva 2021.) Vesi virtaa painovoimaisesti yläkanavan imuaukosta tulokanavaa pitkin turbiinille. Vesi pyörittää turbiinia, joka on kytketty generaattoriin sähkön tuottamiseksi. Tuotettu sähkö johdetaan sähköverkkoon. Vesi jatkaa turbiinin ohittamisen jälkeen matkaa alempaan altaaseen. (Hydropower 2021.)



Kuva 2. Tyypillisen vesivoimalan poikkileikkauskuva (Kuva: Hydropower 2021).

2.2 Vesivoimalaitostyypit

Vesivoima on jaoteltu Suomessa kolmeen eri kokoluokkaan.

- Minivesivoima (alle 1MW) 144 MW / 1021 GWh/a;
- Pienvesivoima (1-10MW) 144 MW /392 GWh/a; ja
- Vesivoima (yli 10 MW) 375 MW / 939 GWh/a.

(Motiva 2021.)

Minivesivoimalaitokset hyödyntävät yleensä jokien luonnollista alaspäin suuntautuvaa virtausta ja käyttävät pieniä turbiineja veden energian talteen ottamiseen. Tyypillisesti minivesivoimalaitoksissa vesi johdetaan putkea pitkin alempaan pisteeseen, jossa veden potentiaalinen energia muutetaan kineettiseksi energiaksi turbiinin kautta. (British-hydro 2021.) Putkella johdettaviin vesivoimalaitoksiin tarvitaan pudotuskorkeutta minimissään 3 metriä (Powerspout 2021).

Pienvesivoimalat ovat konseptiltaan samankaltaisia kuin isommat vesivoimalat, mutta pienemmässä mittakaavassa. Pienvesivoimaloissa turbiineita ei yleensä suunnitella erikseen kyseiseen kohteeseen, vaan valitaan yleisesti käytössä oleva malli. Näin mahdollistetaan edullisemmat rakennuskulut. Hyötysuhde nykyaikaisissa pienvoimaloissa on noin 75 % tai sen alle. Pudotuskorkeus on pienvesivoiman tärkein tekijä määrittäessä sen taloudellista kannattavuutta. Korkean pudotuskorkeuden omaava voimala on luonnollisesti helpompi ja halvempi toteuttaa. Alle 2,5 metrin voimaloiden pudotuskorkeutta on vaikea hyödyntää. Patorakenteet ovat pienvesivoimaloissa samankaltaisia isompiin vesivoimaloihin verrattuna, mutta vaativat vähemmän työtä toteuttaa. Pienvesivoimaloissa suunnittelun kustannukset ovat noin 50 % budjetista. (Breeze 2006,113–114.)

Suuremmissa vesivoimaloissa pudotuskorkeutta on paljon ja vesimäärät ovat isoja. Voimaloissa, jossa pudotuskorkeus on yli 1 000 metriä, vesi johdetaan suuttimeen, joka työntää sitä jopa 500 km/h nopeudella turbiiniin kierrosten noustessa jopa 1 000 rpm asti. Vesivoimalaoperaattorien on mahdollista säätää suuttimia käytettävän vesimäärän mukaan. Massiiviset padot käsittelevät suuria

määriä vettä ja luovat pudotuskorkeutta voimalalle. Maailman suurin vesivoimala Three Gorges Dam Kiinassa kattaa noin 180 metriä leveään padon ja melkein 600 metriä pudotuskorkeutta tuottaen 26 jättimäisellä turbiinilla 18,2 GW nimellistehon. (Wengenmayr-Bührke 2013, 25–26.)

Suuret vesivoimalat ovat lähes aina räätälöity erikseen kohteisiinsa ja suunnittelun kustannukset isoissa vesivoimaloissa ovat 1–2 % rakennuskustannuksista (Breeze 2006, 113–114).

2.3 Turbiinityypit

Tyypillisimpiä vesiturbiinityyppejä ovat Kaplan, Pelton, Francis, potku- ja putki-turbiinit. Suosituimpana pidetään Francis -turbiinia, joka kattaa noin 80 % hydraulisten turbiinien käytöstä. Turbiineilla on erilaiset ominaisuudet pudotuskorkeuteen ja virtausnopeuteen perustuen. Turbiinit valmistetaan yleensä raudasta tai teräksestä. (Breeze 2006, 109–112.)

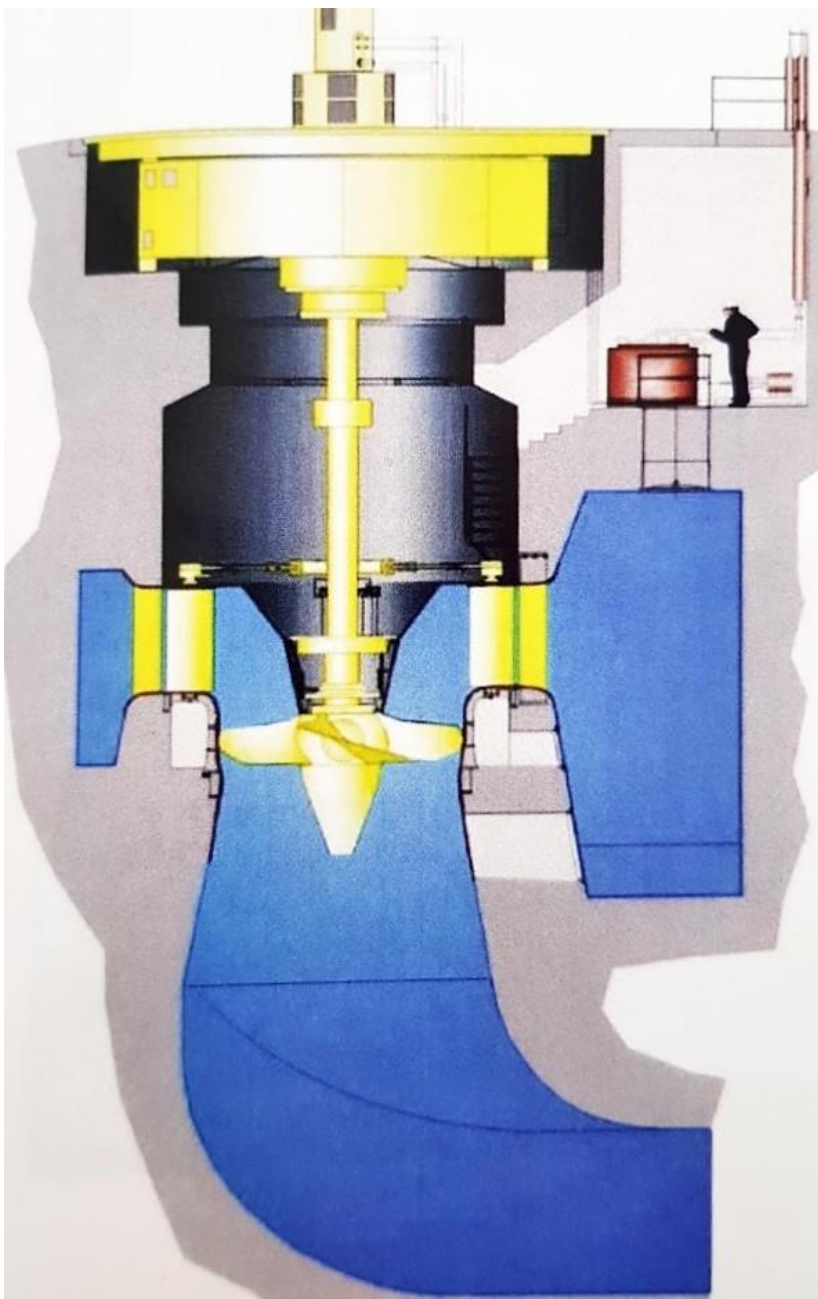
Turbiiniteknologiat ovat toimintaperiaatteeltaan samankaltaisia riippumatta voimalan kokoluokasta tai pudotuskorkeudesta, ja sen takia työssä on tärkeää käydä läpi erilaiset turbiinityypit ja niiden hyödyntämismahdollisuudet.

2.3.1 Kaplan-turbiini

Kaplan-turbiineille tyypillinen pudotuskorkeus vaihtelee noin 2–70 metrin välillä. Kaplan-turbiinin juoksupyörä sisältää 4–5 säädettävää siipeä. Siivet on kiinnitetty laakeroimalla ne turbiinin napaan kiinni. Öljyä täynnä oleva napa hoitaa voitelun. Pienissä Kaplan-turbiineissa napa ja laakeritappi voivat olla osa samaa rakennetta. (Huhtinen ym. 2013, 269–271.)

Suuremmissa juoksupyörissä käytetään rakennetta, jossa siipi kiinnitetään laakeritappiin ja vipurenkaaseen ruuveilla. Tämä mahdollistaa kevyemmän siipirakenteen, ja tappi valmistetaan laakeriominaisuuksiltaan paremmasta materiaalista. Öljynpaine navassa pyritään pitämään korkeampana kuin veden hydrostaattinen paine turbiinissa. Kaplan-turbiinissa juoksupyörä on kammion

muotoinen. Muotoilu on tärkeää kestävyuden ja hyötysuhteen kannalta. Siiven ja kammion välys on tyypillisesti noin 0,5–1,0 promillea juoksupyörän halkaisijasta. (Huhtinen ym. 2013, 269–271.)

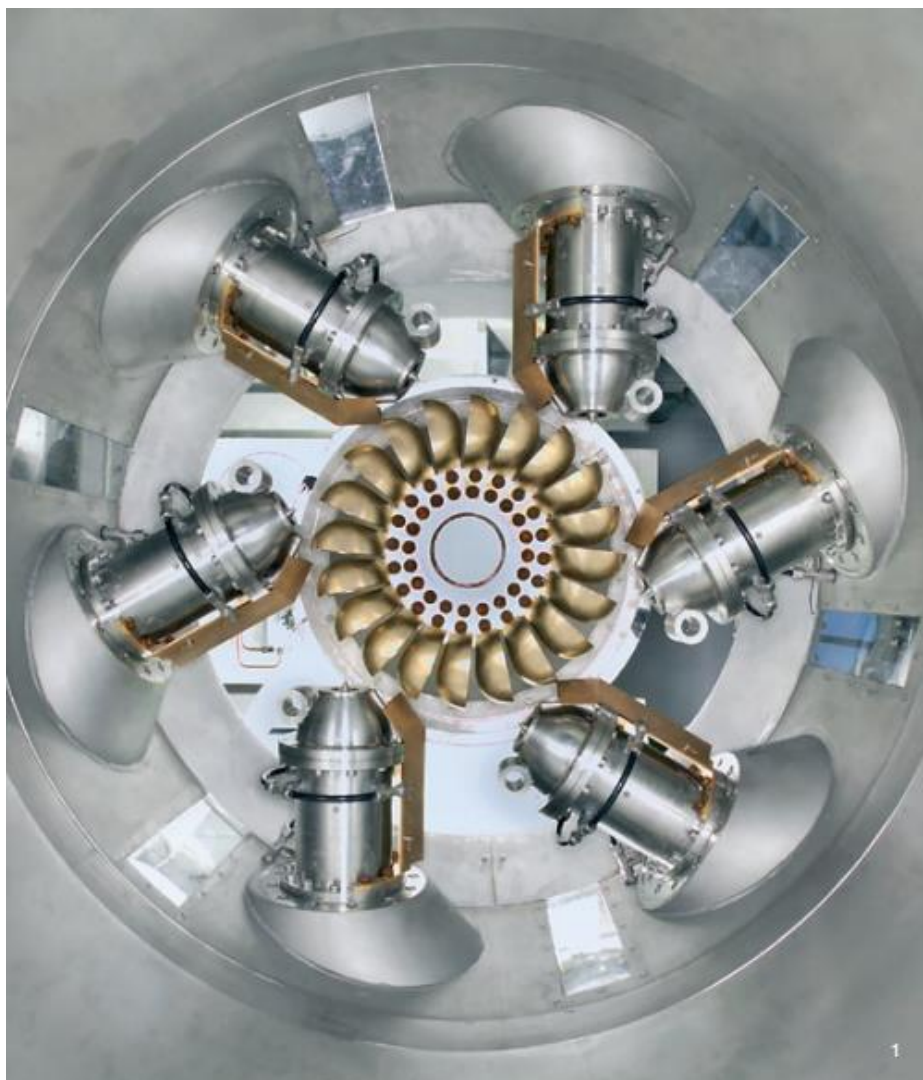


Kuva 3. Pystyakselinen Kaplan-turbiini (Kuva: Huhtinen ym. 2013, 271)

2.3.2 Pelton-turbiini

Pelton-turbiineja käytetään tyypillisesti noin 5–700 metrin pudotuskorkeuksissa. Pelton-turbiinit hyödyntävät veden pudotuskorkeutta vastaavaa painetta. Vesi johdetaan putkella suuttimelle, jossa paine vapautuu ja vesisuihku pyörittää turbiinia. Pelton-turbiineissa voidaan käyttää useita suuttimia pyörittämässä turbiinia. (Huhtinen ym. 2013, 267.)

Pelton-turbiini eroaa muista turbiineista siten, että turbiini pyörii ilmassa ja sillä voidaan saavuttaa noin 95 %:n hyötysuhde. Turbiinin lavat ovat kuppimaiset, jossa keskellä on terävä reuna (kuva 4). Vesisuihku ammutaan kuppeihin kovalla paineella, mikä muodostaa impulssin ja saa turbiinin pyörimään. Pelton-turbiinia käytetään yleensä silloin, kun käytettävissä on korkea pudotuskorkeus ja virtaavan veden määrä on pieni. (Breeze 2006, 109–112.)

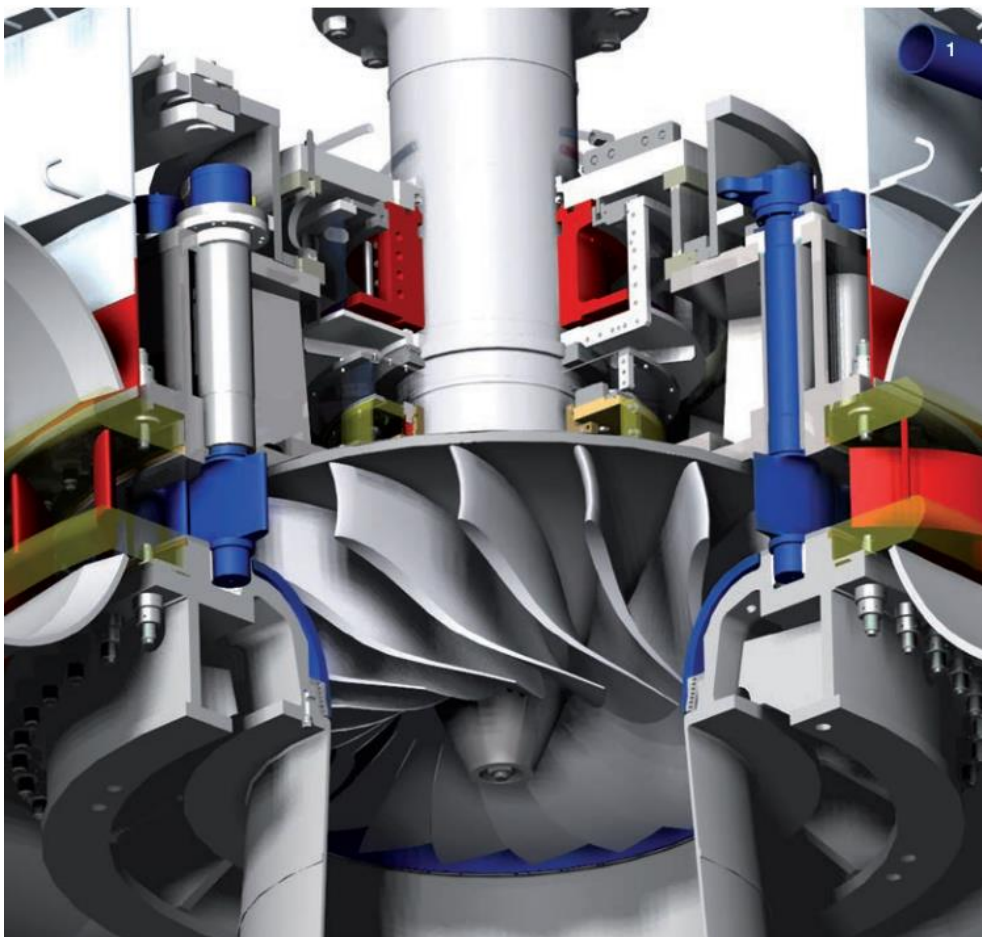


Kuva 4. Pelton-turbiini 6-suuttimella (Kuva: Voith 2021).

2.3.3 Francis-turbiini

Francis-turbiinien pudotuskorkeus on yleensä noin 5–700 metrin välillä. Turbiinit ovat yleensä rakennettu pysty akseliseksi ja turbiinin spiraalipesä on valettu betoniin osittain tai kokonaan. Turbiinin juoksupyörä on kiinteäsiipinen ja siinä on yleensä säädettävä johtopyörä. Hätäsulklaitteena käytetään läppäventtiiliä. Francis-turbiinin navassa ja kannessa on käytettävä kestävä materiaalia. Kannen ja navan välinen rako pyritään tekemään mahdollisimman tiiviiksi. Navan vällyksen kasvaminen aiheuttaa vuotohäviöitä ja rasittaa aksiaalilaakeria. Hydraulisen akselivoiman pienentäminen turbiinissa on mahdollista kannen ja juoksupyörän navan välisten tasapainotusreikien avulla. Uudemmat Francis-turbiinit ovat Suomessa sijaitsevilla voimaloilla pieniä, ja niiden läpi kulkeva vesimäärä on noin 20 m³/s. (Huhtinen ym. 2013, 267–269.)

Turbiiniroottorin terät on muotoiltu tarkasti taltioimaan enimmäismäärän energiaa niiden läpi virtaavasta vedestä. Terät ovat kaarevat ja veden teriin kohdistama voima saa turbiinin pyörimään. Veden tulisi virrata turbiiniin mahdollisimman tasaisesti parhaan hyötysuhteen saavuttamiseksi. Hyvin suunniteltu Francis-turbiini voi saavuttaa 90–95 % hyötysuhteen. Suurin osa energian talteenotosta tapahtuu reaktiolla vedenpaineesta, mutta myös turbiinin siipiin siirretty liike-energia otetaan talteen. (Breeze 2018. 37-39)

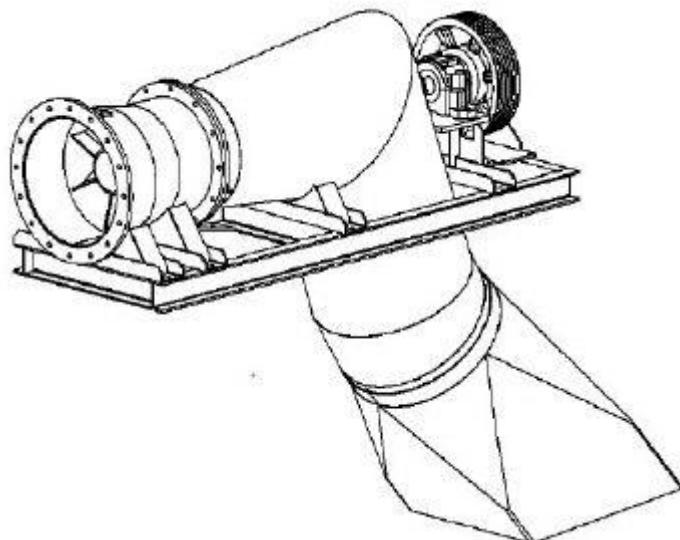


Kuva 5. 3D-mallinnus Francis-turbiinista (Kuva: Voith 2021)

2.3.4 Putki- ja potkurturbiinit

Putkiturbiinit soveltuvat matalan putouksen vesivoimalaitoksiin, joissa on pieni virtaama. Juoksupyörä on kaplan- tai potkurturbiinin tyyppinen. Putkiturbiinissa juoksupyörä on sijoitettu vaakasuoraan putkeen. Johtosiivet ovat kiilamaiset ja ne sijaitsevat kartiopinnalla. Generaattori putkiturbiinivoimaloissa voi olla putken ulkopuolella tai sisällä kapseloituna. (Huhtinen ym. 2013, 272–273.)

Potkurturbiini on tyyppiltään samanlainen kuin Kaplan-turbiini, mutta siinä ei ole säädettäviä juoksupyöränsiipiä (Lansisuomenvoima.fi 2021). Potkurturbiinissa on yleensä 3–6 lapaa, jotka pyörivät koko ajan veden alla. Potkurturbiinilaitoksissa turbiinille kohdistuva paine on vakio. (Energy 2021.)



Kuva 6. Vaaka-akselinen potkuriputkiturbiini (Kuva: Saahkarin kone KY:n www-sivut).

2.4 Ympäristövaikutukset

Useimmat vesivoimalaitoksista aiheutuvat vaikutukset ympäristölle ja luonnolle jäävät paikallisiksi. Vesialueiden ja maa-alueen ekologiseen tasapainoon vaikuttavat kuitenkin vesivoimalaitosten yhteyteen mahdollisesti rakennettavat tekoaltaat. Rakennettavan alueen alkuperäinen luonto, joko tuhoutuu tai väistyy vesivoimalaitoksen tieltä. Tekoaltaiden rakentaminen voi vaikuttaa myös ihmisasutukseen ja tekoaltaiden rakentaminen vapauttaa maaperässä sijaitsevia haitallisia aineita, jotka liukenevat vesistöihin vaikuttaen alueen eliöstöön ja kaloihin. (Motiva 2021.)

Vesivoimalaitoksilla on myös suuret vaikutukset alueen kalakantoihin raskasmetallikertymien lisäksi ja vaelluskalojen nousu kutujokiin voi estyä tai vaikeutua patorakenteiden takia. Kalaportaan rakentamisella voimalaitoksen yhteyteen tätä ongelmaa voidaan kuitenkin vähentää. Vesistön säännöstelyllä on vaikutuksia vedenkorkeuteen ja suuri vaihtelu voi vaikuttaa kalojen kudun ja poikasten selviytymisen onnistumiseen. (Motiva 2021.)

3 Mikrovesivoima

Mikrovesivoimalla tarkoitetaan mahdollisimman yksinkertaista uusiutuvan energian tuottamista virtaavasta vedestä (Energy 2021). Useimmiten vesivoima mielletään suuriksi padoiksi tai säiliöiksi, jotka varastoivat vettä ja niillä on isot vaikutukset ympäristöön häiriten samalla joen luonnollista virtaamaa. Mikrovesivoima toimii kuitenkin puroa tai jokea hallinnoimalla. Mikrovesivoimaloissa pudotuskorkeus ja veden luonnollinen virtaus sanelee tuotettavan energian määrän. (Aplegate 2017.)

Mikrovesivoimaloiden teho on yleisesti alle 100 kW, ja ne tuottavat energiaa syrjäisiin kohteisiin, jotka tarvitsevat vain vähän sähköä. Ympäri vuorokautinen energiatuotanto ja luotettavuus ovat mikrovesivoiman etuja. (Energy matters 2021.) Mikrovesivoimalat luokitellaan Suomessa minivesivoiman alle ja niiden kokoluokka on alle 1 MW.

3.1 Mikrovesivoimatekniikka

Viime vuosikymmenien aikana mikrovesivoima on tehnyt harppauksen tekniikassa, mikä tekee siitä varteenotettavan vaihtoehdon mökki- ja omakotitalo-asujille, joilla on mahdollisuus hyödyntää lähistöllä virtaavaa vettä. Taajuusmuuntajien, latausohjaimien ja turbiinigeneraattorien hinnat ovat laskeneet, mikä edesauttaa mikrovesivoiman kannattavuutta. Mahdollisimman suuri luontainen pudotuskorkeus purossa tai joessa tarjoaa parhaan mahdollisuuden mikrovesivoiman hyödyntämiselle. (Breslin 2009.)

Mikrovesivoimalaitoksissa käytetään yleensä turbiinigeneraattoreita, jotka sijoitetaan suoraan vesiväylään. Vaihtoehtoisena ratkaisuna voidaan käyttää patorakennetta. Toinen yleinen vaihtoehto on johtaa vettä putkella tai vesikourulla turbiinille, jossa pudotuskorkeus tai vedenpaine hyödynnetään. Johdettavissa ratkaisuisissa, puron tai joen virtaamasta käytetään vain osa, ja vesi palautetaan takaisin uomaan kuljettuaan voimalan läpi. (Breeze 2018, 55–62.)

3.2 Säädökset mikrovesivoimatuotannolle

Mikrovesivoima on osa minivesivoimaa. Rakentaminen ja tuotanto ovat luvanvaraista toimintaa. Vesivoimalan rakentamiselle ja tuotannolle vaaditaan koskiensuojelun ja vesilain vaatima vesitalouslupa. Luvat on haettavissa paikallisesta aluehallintovirastosta. Vesilaki ohjaa yleisesti vesistöjen käyttöä ja vesistöihin liittyvää rakentamista. Vesilaissa määritellään vesitaloushankkeet, joihin kuuluvat vesivoiman hyödyntäminen, vesien säännöstely ja padon rakentaminen. (587/2011, 3 §.)

Lupahakemuksen laatijalla on oltava riittävä asiantuntemus hankkeen laadun, laajuuden ja vaikutusten ymmärtämiseksi. Vesitalouslupahakemusten keskimääräinen käsittelyaikatavoite aluehallintovirastolla on noin 9 kuukautta. Lupien hakemisesta peritään maksu. (Aluehallintovirasto 2021.)

4 Mikrovesivoiman rakennevaihtoehdot

Mikrovesivoiman rakennevaihtoehdot löytyy niin valmiita kaupallisia ratkaisuja ja myös tee se itse -tyyppisiä voimaloita. Vaihtoehtojen tarkastelussa keskitytään kaupallisiin vaihtoehtoihin tietojen luotettavuuden kannalta. Mikrovesivoima vaatii kuitenkin myös soveltamista ja rakentelua, vaikka käytössä olisikin kaupallinen tuote.

Rakennevaihtoehdoissa tarkastellaan yleisimmin mikrovesivoimassa käytettyjä ratkaisuja, kuten suoraan virtaukseen asennettavia turbiineja, patoratkaisuun tai vesikaukaloon perustuvia putkiturbiinivoimaloita ja pelton-turbiinin omaavia voimaloita.

4.1 Suoraan virtaukseen asetettavat turbiinit

Suoraan virtaukseen asennettavista turbiineista tunnetuimpia ovat kanadalainen Waterlily- ja venäläinen Flowwatt200-turbiinit. Toiminnaltaan molemmat ovat samankaltaisia ja molemmissa on kolme pyörivää lapaa. Vesi virtaa turbiineihin ja pyörittää turbiineihin sisäänrakennettua generaattoria, jolloin pyörivä liike-energia muuntuu sähköksi.

Suoraan virtaukseen asennettavien turbiinin etuna on helppo liikuteltavuus ja puron virtaus pysyy luonnonmukaisena. Vesiuoma ei vaadi minkäänlaista muokkausta tai rakenteita uoman yhteyteen. Turbiinit eivät myöskään vaikuta veden luontaiseen virtaukseen.

4.1.1 Flowwatt200-turbiini

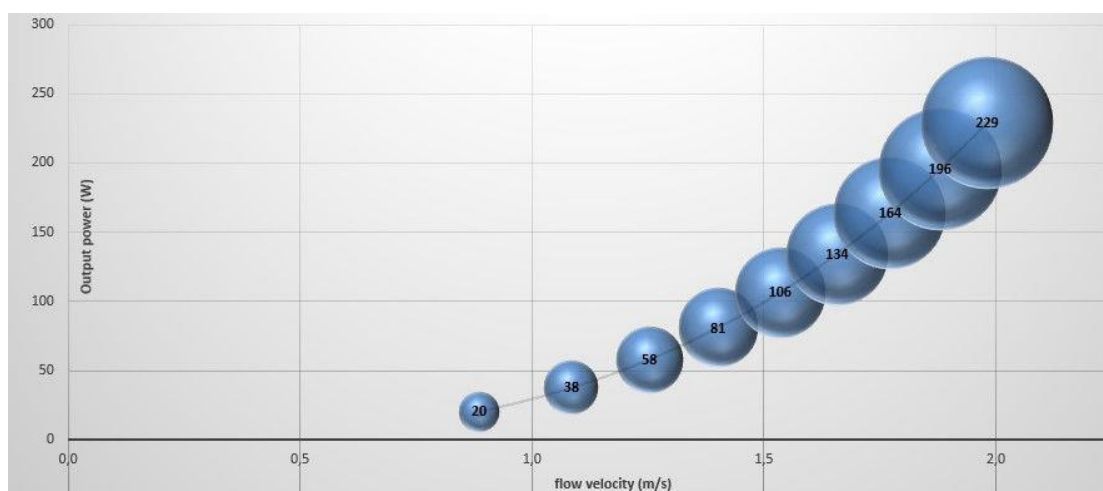
Flowwatt200-turbiinin halkaisijaksi muodostuu 50 cm ja turbiinin paino 2,5 kg. Turbiini on valmistettu teräksestä ja sen siivet ovat vaihdettavissa. Turbiinia on

saatavilla 12 ja 24 voltin tasavirtaa tuottavina versioina. Turbiinin mukana toimitetaan myös lataussäädin. (Flowwatt 2021.)



Kuva 8. Flowwatt200-turbiini (kuva: Flowwatt 2021)

Valmistaja ilmoittaa maksimitehoksi 200 W, noin 2 m/s virtausnopeudella. Virtausnopeuden ollessa alle 1 m/s teho putoaa kuitenkin, noin 20 wattiin. Flowwatt200-turbiinien hinnat alkavat noin 210 eurosta. (Flowwatt 2021.)



Kuva 9. Flowwatt200 tehon pysyvyyskäyrä (Kuva: Flowwatt 2021).

4.1.2 Waterlily-turbiini

Waterlily turbiinin halkaisija on 18 cm ja Paino 1,3 kg. Rakenteeltaan turbiini on muovinen. Kevyen ja pienen koon vuoksi turbiini on helposti liikuteltavissa paikasta toiseen. Turbiinia on saatavilla 5 voltin USB-ulostulolla tai 12 voltin SAE-liittimellä. Laite sisältää itsessään lataussäätimen. (waterlilyturbine 2021.)



Kuva 10. Waterlily-turbiini (Kuva: waterlilyturbine 2021).

Turbiinille tarvittavat virtausnopeudet valmistajan mukaan:

Vähimmäisvirtaus turbiinille energian tuottamiseksi: 0,28 m/s

Virtaus huipputeholla (15 W): 3,2 m/s.

Waterlily-turbiineja on mahdollista asentaa useita sarjaan, jolloin tehoa saadaan kasvatettua. Yhden Waterlily-turbiinin hinta on noin 150 euroa. (waterlilyturbine 2021.)

4.2 Patoratkaisuun tai vesikaukaloon perustuvat putkiturbiinivoimalat

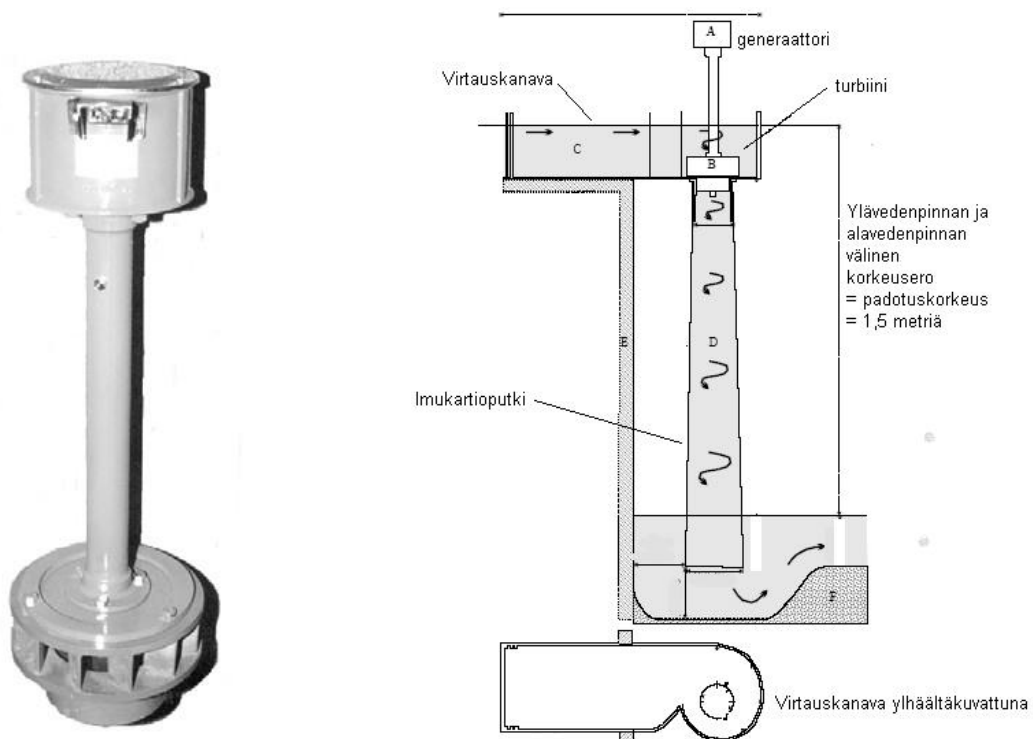
Markkinoilta löytyy paljon eri valmistajien putkiturbiinivoimaloita ja ne ovat yleisesti suosittuja mikrovesivoimaloissa. Putkiturbiinivoimalat vaativat kuitenkin

aina suurempia rakennelmia ja valmistajat ilmoittavat niiden tarvitsevan vähintään metrin verran pudotuskorkeutta toimiakseen.

Putkiturbiinivoimaloiden etuna on toimintavarmuus ja yksinkertainen rakenne. Putkiturbiinivoimalat soveltuvat erityisesti kohteisiin, joissa on luonnollista pudotuskorkeutta tai mahdollisuus patoratkaisuun.

4.2.1 Powerpal-pienoisvesivoimala

Suomessa PowerPal-voimalatyyppejä myy SaukkolanVoima Oy. Voimala vaatii 1,5 metrin pudotuskorkeuden ja vaatii minimissään 35 litraa vettä sekunnissa olevan virtaaman. Voimalan generaattori tuottaa 220 voltin vaihtosähköä. Verkkotasoisella jännitteellä voidaankin käyttää tavallisia kodin sähkölaitteita. (Saukkolanvoima Oy 2021.)



Kuva 11. Powerpal-voimala ja sen asennuskaavio (Kuva: SaukkolanVoima Oy 2021).

Powerpal-voimalat on valmistettu kanadalaisen päämiehen toimesta Vietnaminissa. Generaattorin rakenteet ovat valurautaa, terästä ja alumiinia. Laakeroinnit ja käämitykset ovat laitteessa ylimitoitettuja, jolloin saavutetaan pieni huoltotarve ja pitkä käyttöikä. Suomeen tuodut laitteet koekäytetään ja varustetaan maadoituksella, sekä roisketiiviillä kytkentäkotelolla. (SaukkolanVoima Oy 2021.)

PowerPal matalapaineturbiinit

Tekniset ominaisuudet	MHG-200LH	MHG-500 LH	MHG-1000 LH	
Padotuskorkeus	1,5	1,5	1,5	m
Virtaama	35	70	130	l/s
Sallittu jatkuva kuormitus	200	500	1000	VA
Lyhytaikainen maksimikuorma	250	650	1200	VA
Nimellisjännite	220	220	220	V
Jännitteensäätäjä	on	on	on	
Taajuus nimellisteholla	50...60	50...60	50...60	Hz
Taajuus ilman kuormaa	75	75	75	Hz
Nimellisoopeus	1000	1000	1000	rpm
Ryntäysnopeus	1500	1500	1500	rpm
Paino	16	32	74	kg
Korkeus	680	780	920	mm
Halkaisija	200	300	425	mm
Juoksupyörä	potkuri	potkuri	potkuri	
Siipikulma	kiinteä	kiinteä	kiinteä	
Generaattorityyppi	1-vaiheinen kestopagn.		6-nap.	
Magneettimateriaali	NdFeB	NdFeB	NdFeB	
Sulake	1,0	2,5	5,0	A
Ylälaakeri	6203Z	6204Z	6206Z	
Alalaakeri	kumi	kumi	kumi	
Käyttölämpötila-alue	-18...+75	-18...+75	-18...+75	C
Ympäristön kosteus	0...100	0...100	0...100	% RH
Hinnat, sisältäen 24 % Alv				
Turbiini-generaattoriyhdistelmä	720	950	2000	euroa
Virtauskanava ja imukartio	220	320	720	euroa

Kuva 12. PowerPal matalapaineturbiinin parametrit (Kuva: SaukkolanVoima Oy 2021).

Laitetta on saatavilla kolmea eri luokkaa 200, 500 ja 1000 watin teholla. Voimailoihin on erikseen ostettavissa myös virtauskanava ja imukartio parhaan tehontuoton saavuttamiseksi. Powerpal-voimalat on helppo asentaa vanhaan myllypatoon tai luonnonputoukseen. Turbiinille on mahdollista johtaa myös vesi erikseen rakennettavalla sivukanavalla. Turbiini-generaattoriyhdistelmien hinnat alkavat 720 eurosta. (Saukkolanvoima Oy 2021.)

4.2.2 Powersprout putkiturbiinivoimala

Uusiseelantilainen EcolInnovation Ltd -yhtiö on erikoistunut juuri mikrokokoluokan vesivoimalaratkaisuihin ja heiltä löytyy vastaavia pienikokoisia putkiturbiinigeneraattoreita. Powersprout Low Water Head -mallistossa on 1 metrin pudotuskorkeuteen sopivia laitteita.



Kuva 13. Powersprout LH mini (Kuva: Powersprout 2021).

Laite on toimintaperiaatteeltaan ja rakenteeltaan hyvin samankaltainen Powerpal-voimalan kanssa. Valmistaja arvioi voimalalle 1 metrin pudotuskorkeudella ja 14 litraa sekunnissa virtaamalla noin 70 watin nimellistehoa. Voimalaa on mahdollista saada 12, 24, 48 ja 220 voltin jännitettä tuottavina. Powersprout LH minin maksimiteho on 800 W, mutta se vaatisi 5 metrin pudotuskorkeuden ja 32 litraa sekunnissa virtauksen. Valmistaja lupaa laitteille 2 vuoden takuun. Laitteen hinnaksi on ilmoitettu noin 1 300 euroa. (Powersprout 2021.)

4.3 Pelton-tyyppiset mikrovesivoimalat

Pelton-tyyppisiä mikrovesivoimakohteita löytyy maailmalta paljon ja ne ovat suosittuja paikoissa, joissa pudotuskorkeutta on mahdollista kerätä pidemmältä matkalta. Pelton-tyyppiset voimalat eivät vaadi pystysuoraa pudotuskorkeutta,

koska voimalan teho perustuu vedenpaineeseen alhaalla putkessa. Mikrovesivoimaloissa käytetyt Pelton-turbiinit hankitaan yleensä kaupalliselta valmistajalta. (Microhydropower 2021.)

Powersproutin mallistosta löytyy valmis kahdella suuttimella varustettu Pelton-turbiinilla varustettu Powersprout PLT-mikrovesivoimala. Voimalan maksimitehoksi on ilmoitettu 1,2 kW. Voimalaa voidaan käyttää 3–160 metriin pudotuskorkeuteen perustuvalla putkistolla. Valmistaja tarjoaa internet-sivuillaan myös laskuria, jolla voidaan laskea teoreettisia tuottoja voimalalle. Laskuriin syötetään pudotuskorkeus, virtaama, putken paksuus ja putkiston pituus. Esimerkiksi 3 metrin pudotuksella, 5,9 l/s virtaamalla, 85 mm putken paksuudella ja 15 metriä pitkällä putkella laskuri antaa voimalan tehoksi 60 W. (Powersprout 2021.)



Kuva 14. Powersprout PLT (Kuva: Powersprout 2021).

Voimala vaatii toimiakseen putken, jolla pudotuskorkeus saadaan muodostettua. Laitetta on saatavilla 12, 24, 48 ja 220 voltin jännitettä tuottavina.

Pelkän Powersprout PLT:n hinnaksi on ilmoitettu noin 2 500 euroa suoraan valmistajan verkkokaupasta hankittuna. Valmistaja lupaa laitteelle 3 vuoden takuun. (powersprout 2021.)

5 Menetelmälliset valinnat suunnittelulle

Suunnitteluun tarvittava aineisto kerättiin tammi-kesäkuun 2021 aikana. Menetelminä työssä tehtiin virtaamamittauksia ja hyödynnettiin valuma-alueen tietoja Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämästä rajaustyökalusta (VALUE KM10). Virtausnopeusmittarina oli käytössä saksalaisvalmisteinen Schiltknecht Miniair2.

Suunnittelu aloitettiin kohteen energiantarpeen määrittämisestä. Erä-Eeron energiantarve koostuu ladattavista laitteista ja jatkuvaa tarvetta energialle ei ole. Sähkönkulutustietoja kohteesta ei ole saatavilla, koska se ei ole liittynyt sähköverkkoon. Tämän vuoksi sähkönkulutustiedot jouduttiin arvioimaan kohteeseen yrittäjän kertoman perustella.

Tehtyjä mittauksia uomasta verrataan aineistoon turbiineista ja mikrovesivoimalaratkaisuista sekä tarkastellaan niiden soveltuvuutta kohteeseen. Mitoituksista saaduilla tiedoilla lasketaan myös teoreettiset energiavirtaamat kyseisestä uomasta. Energiavirtaamien perusteella voidaan arvioida, millaista tehoa uomasta voisi teoreettisesti saada erilaisilla ratkaisuilla.

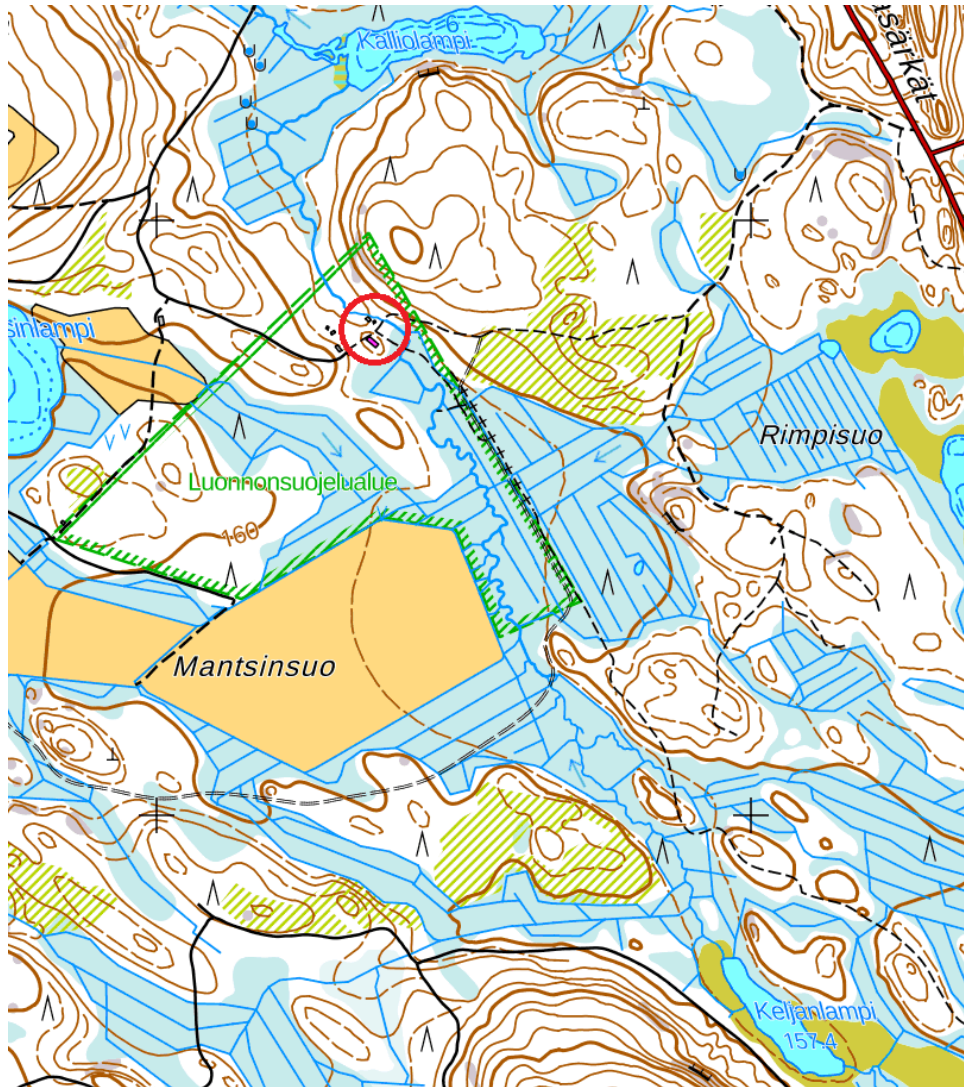
5.1 Virtaaman määrittäminen

Uoma virtaa Keljanlammesta kalliolampeen, sen pituus kokonaisuudessaan on noin 4 km ja leveyttä oli keskimäärin 1–2 metriä. Syvyyttä uomalla oli keskimäärin noin 15–40 cm riippuen kohdasta. Uoman valuma-alueeksi määritettiin kartan ja Suomen ympäristökeskuksen valuma-alueen rajaustyökalun avulla noin 6,5 km². Virtaamavaihtelut uomassa olivatkin keskikesällä huomattavia juuri pieneen valuma-alueen takia.



Kuva 15. Tino Jehkonen määrittämässä virtausnopeuksia uomasta tammikuussa 18.01.2021 (Kuva: Timo Hokkanen).

Uoman virtaamaa aloitettiin määrittämään heti tammikuussa kovien pakkasjaksojen jälkeen, jolloin virtaama oli alimmillaan. Uomasta mitoitettiin virtaamat m^3/s kolmelta eri vuodenajalta ja tarkasteltiin suurimpia hetkellisiä virtausnopeuksia.



Kuva 16. Keljanlammesta Kalliolampeen kulkeva uoma ja kohteen sijainti merkittynä punaisella ympyrällä (Kuva: Paikkatietoikkuna 2021).

Puron virtaamat laskettiin kaavalla 1.

virtaama = uoman vesipinta-ala x virtausnopeus x rosoisuuskerroin (1)

virtaama = purossa virtaavan veden tilavuusvirta (m^3/s)

uoman vesipinta-ala = puron poikkileikkauksen pinta-ala (m^2)

virtausnopeus = purossa virtaavan veden nopeus (m/s)

rosoisuuskerroin = 0,8.

Määritetyt virtaamat purosta	
Mittauspäivämäärät	Virtaamat m^3/s
18.1.2021	0.0497
23.4.2021	0.4779
9.6.2021	0.1437
	Keskivirtaama m^3/s
	0.2238
Maksimi virtausnopeudet uomassa hetkellisesti	
Mittauspäivämäärät	Virtausnopeus maksimi m/s
18.1.2021	0.55
23.4.2021	1.52
9.6.2021	1.23

Karkeasti arvioiden vuosittainen virtaama uomassa olisi noin 7 miljoonaa kuutiota vuodessa virtaamien keskiarvoa käyttäen. Vuosittainen virtaama laskettu kaavalla 2.

Vuosittaisen virtaaman laskenta:

Vuosittainen virtaama = Virtaama \times Sekunteja vuodessa (2)

virtaama = purossa virtaavan veden tilavuusvirta (m^3/s)

Sekunteja vuodessa = 31 536 000

$$V1 = 0.2238 \frac{m^3}{s} \times 31\,536\,000 \frac{s}{v} = 7\,057\,756 \approx 7\,000\,000 \frac{m^3}{v}$$

5.2 Energiavirtaamat purossa

Käytännössä uomassa olisi mahdollista saavuttaa vesikaukalolla tai patoamisella noin 1 metrin pudotuskorkeus. Vesivoimalan teoreettinen teho onkin laskettu mahdollisen pudotuskorkeuden ja mitatun keskivirtaaman perusteella.

Energiavirtaama määritetään yleisellä kaavalla 3.

$$P = \eta \times \rho \times g \times Q \times h \quad (3)$$

P = teho (W)

η = voimalaitoksen kokonaishyötysuhde

ρ = vedentiheys (kg/m^3), josta käytetään arvoa $1\,000\text{ kg}/\text{m}^3$

g = putoamiskiintyvyyys $9,81\text{ m}/\text{s}^2$

Q = turbiinin läpi virtaava vesimäärä (m^3/s)

h = putouskorkeus (m).

1 Metrin pudotuskorkeudella puron tehoksi saataisiin virtaaman mitattua keskiarvoa käyttäen:

$$P = 0,80 \times 1\,000,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,2238 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1,0 = 1\,756,38 \approx 1,8\text{ kW}$$

Vesivaraston ja pudotuskorkeuden tekemää työtä kutsutaan vesivoimassa tehopotentialiksi. Tehopotentiali vapautuu, kun virtaama kulkee turbiinin läpi.

Pienvesivoiman teho määritetään kaavalla 4.

Teho = tehokerroin \times virtaama \times putouskorkeus (4)

”tehokerroin = heikkokuntoisella vanhalla turbiinilla ja generaattorilaitteistolla 5; vanhantyyppisillä, hyväkuntoisilla laitteilla 6; nykyaikaisilla, yksinkertaisilla teknologiatasoisilla laitteilla 6,5–7; nykyaikaisilla ja korkeateknologisilla laitteilla 7,5–8.” (Narva 2015.)

Tehon laskenta kohteeseen kaavalla 4.

$$P = 7 \times 0,2238 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1,0 = 1,6\text{ kW}$$

Suoraan virtaukseen asetettavien turbiinien tehontuottoa voidaan arvioida turbiinivalmistajan ilmoittamien tietojen perusteella ja tehontuoton arviointi perustuu turbiinille tulevan veden virtausnopeuteen. Uomasta mitattujen virtausnopeuksien perusteella esimerkiksi Waterlily-turbiinin keskimääräiseksi tehontuotoksi voitiin arvioida noin 6-10 W tehoa yhdellä turbiinilla.

5.3 Virtaavan veden vuosienergia

Vuosienergia voimalalle lasketaan kertomalla teho voimalan käyttöajalla kaavalla 5.

$$E = P \times t \quad (5)$$

E = vuosienergia (MWh/a)

P = vesivoimalan teho (MW)

t = vesivoimalan käyttöaika (8760 h/a)

$$E = 1,8\text{kW} \times 8760 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 15\,768 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Vesivoimalan käyttöaikaa tulisi käytännössä kuitenkin vähentää talven jäätyismahdollisuus huomioiden. Käytännössä mahdollinen käyttöaika voimalalle olisi noin 9 kuukautta vuodessa riippuen talvesta. Vuosienergia 9 kuukauden käyttöajalla on laskettu kaavalla 5.

$$E = 1,8\text{kW} \times 6\,570 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 11\,826 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Vesivoimalan käyttöajaksi muutettu (6 570 h/a).

Laskuissa olennaista on huomioida, että teoreettisesta maksimista vuosienergiasta olisi hyödynnettävä koko uoman virtaama, eli käytännössä koko uomassa kulkeva vesimäärä olisi juoksutettava voimalan läpi.

6 Suunnittelun tulokset

Uoman virtaamat osoittautuivat talvi- ja kesäaikaan todella pieniksi ja virtaamissa oli etenkin kesäaikaan suurta vaihtelua. Uoman pieni valuma-alue korostaa paikallisen sademäärän merkitystä virtaamaan ja virtaaman vaihtelut ovat sen vuoksi suuria. Alivirtaaman ja ylivirtaaman ero uomassa oli lähes kymmenkertainen. Virtausnopeuksissa ero ei ollut aivan niin merkittävä, mutta vaikka virtausnopeus pysyykin suhteellisen tasaisena uomassa, on huomioitava uoman vesimäärän laskeminen.

Kohteen energiankulutus pystytään kuitenkin kattamaan kesäaikaan kokonaan kohteeseen asennetulla uudella aurinkosähköjärjestelmällä, joten suurin energian tarve kohteessa osoittautuu juuri syksylle ja keväälle. Syksyllä ja keväällä virtaamat uomassa ovat keskivirtaamaa suuremmat, joten ongelmia vesimäärän suhteen ei juurikaan ole. Talvella vesivoiman käyttö kohteessa on mahdotonta puron jäätyksen takia.

Virtaama on kuitenkin suurelle osalle turbiinityypeistä sopiva ja pudotuskorkeutta olisi mahdollista saada noin 1 metri. Patoamalla virtaamavaihteluita saataisiin hieman tasattua, mutta kohteessa se ei ole toivottu ratkaisu. Suunnittelun kannalta tärkeimmäksi seikaksi tulee kuitenkin vesilaki, mikä kieltää rakentamisen tai luontaisen uoman muokkaamisen. Luvat on haettava paikalliselta aluehallintovirastolta ja lupaprosessit ovat todella kalliita ja jäykkiä. Käytännössä mikrovesivoimala vaatii lähestulkoon samantyyppiset luvat kuin minivesivoimalat, joiden hakeminen on jo itsessään mittava ja kallis projekti

6.1 Pilottilaitoksen valinta

Pilottilaitoksen valintaan kohteessa vaikutti lähinnä lainsäädölliset asiat ja alueen ympäristöarvojen huomioonottaminen. Lähtökohtana suunnittelulle oli alueen ympäristön säilyttäminen mahdollisimman luonnonmukaisena, joten koko uoman muokkaaminen ei ollut mahdollista. Uomassa ei elä kaloja yrittäjän kertoman perusteella, joten siitä ei ole suunnittelun kannalta ongelmaa.

Vesikaukalon rakentaminen uomaan olisi ollut mahdollista käyttäen näin vain osan uoman virtaamasta, mutta se olisi vaatinut vesivoimalan rakentamiseen tarvittavat luvat. Kohteeseen ei tämän opinnäytetyön puitteissa haettu vesilain vaatimaa lupaa vesivoimalan rakentamiselle, joten pilotointilaitoksesta tehtiin täysin liikuteltava. Kyseisen kohteen sijainti luonnonsuojelualueella tekisi todennäköisesti lupaprosessista todella pitkän ja haastavan.

Suoraan virtaukseen asetettavat turbiinit jäivät ainoaksi vaihtoehdoksi pilotointiin, koska ne eivät vaadi rakentamista ja ovat helposti liikuteltavia. Flowwatt200-turbiinin halkaisija oli fyysisesti liian suuri käytettäväksi uomassa ja olisi toiminut vain ylivirtaaman aikaan, jolloin vesimäärä olisi ollut turbiinille sopiva. Kohteen pilotointiin valikoitui suoraan virtaukseen asetettavat Waterlily-turbiinit. Turbiinien etuna oli pieni koko ja helppo liikuteltavuus. Turbiinien käyttö ei vaatisi uomalta minkäänlaista muokkausta. Voimalan ympäristövaikutukset jäivätkin uoman osalta maisemalliseksi haitaksi.

Heikkoutena turbiineilla on kuitenkin jo lähtökohtaisesti pieni tehontuotto, ja 15 watin huipputehoon yhdellä turbiinilla ei uomasta mitatuilla virtausnopeuksilla ole mahdollista päästä. Turbiinit valittiin 12 voltin jännitettä, antavina ja soveltuvat siten akkujen lataamiseen. Pilotoinnin tarkoituksena oli lähteä testaamaan pienimuotoista energiantuotantoa ja tehon pysyvyyttä tällä kaupallisella ratkaisulla.

6.2 Pilottilaitos ja pilotointi

Pilottilaitoksessa käytimme kahta Waterlily-turbiinia, jotka ovat suoraan virtaukseen asetettavia ja eivät vaadi pysyviä rakennelmia puroon. Pilotointi aloitettiin kokeilemalla turbiinin tehoa suoraan vapaassa virtauksessa. Turbiinit toimivat odotetulla tavalla ja yhden turbiinin tehoksi saatiin noin 7–10 W. Virtaava vesi sisältää kuitenkin paljon roskia, jotka tulisivat jäämään pidemmällä käytöllä kiinni turbiinin akselin ympärille ja heikentäisivät turbiinin tehoa. Puron syvyys

oli myös yksi ongelma, koska turbiinit olisivat kuivan kauden aikana osittain kosketuksissa pohjaan.



Kuva 17. Waterlily turbiinien ensitestausta Uomassa. (Kuva: Tino Jehkonen).

Turbiinien sijoittaminen putkeen ja putken päähän asennettava välppä estämään roskien pääsyn turbiineille oli ratkaisu ongelmaan. Turbiineja asennettiin 2 kpl, 2 metriä pitkän rumpuputken sisään, jonka halkaisija oli 200 mm. Vesi virtaa putkessa siis molempien turbiinien läpi. Toinen turbiineista asetettiin putken puoleenväliin ja toinen aivan päähän, näin virtausnopeus kerkeää kasvamaan veden läpäistessä ensimmäisen turbiinin. Pilottilaitoksen turbiinit kytkettiin sarjaan SAE-liittimillä ja latausta voidaan toteuttaa suoraan SAE-liittimeen liitettä-

vällä USB-liittimellä tai laturijohdolla, jossa on päässä hauenleuat akulle. Pilottilaitos rakennettiin täysin liikuteltavaksi, ja se ei siten vaadi vesilain vaatimaa lupaa, koska kyseessä ei ole pysyvä rakennelma.



Kuva 18. Waterlily-turbiinin asettaminen rumpuputken sisälle (Kuva: Tino Jehkonen).



Kuva 19. Waterlily turbiinit rumpuputken sisällä uomassa. (Kuva: Tino Jehkonen).

7 Pilotoinnin lopputulos

Pilotointi onnistui kohteessa hienosti ja turbiinit olivat yllättävänkin laadukkaan oloisia. Muovinen rakenne ei toki ole kestävyydeltään paras, mutta pilottilaitoksessa turbiinit olivat suojattuna rumpuputkessa ja toimivat hyvin luotettavasti. Laitoksen teho jäi oletetusti pieneksi ja kahdella turbiinilla saavutettiin 15–20 W jatkuva teho uomassa. Kevätylivirtaaman aikaan uomassa vesimäärä pysyy tasanaisena pisimmän ajanjakson vuodesta, jolloin voimalan teho ei pääse merkittävästi heittelemään. Kesällä virtaaman suuret vaihtelut vaikuttavat suoraan voimalan tehoon.

Pilotoinnissa käytetyt suoraan virtaukseen asetettavat turbiinit eivät hyödyntäneet pudotuskorkeutta, mikä korostaa virtaamavaihteluiden vaikutusta turbiinien pyörimisnopeuteen. Pudotuskorkeuteen perustuvat mikrovesivoimalat eivät ole niin herkkiä virtaamavaihteluille, koska voimalat käyttävät pientä vesimäärää, mikä saavutetaan myös alimman virtaaman aikana. Näin voimaloiden käyttöaste pysyy mahdollisimman suurena ja teho vakaana. Pilottilaitoksella saavutettu pieni tehontuotto korostaa pudotuskorkeuden merkitystä vesivoimaloissa.

Turbiinien välillä ei ollut havaittavaa eroa tehossa, vaikka toinen turbiini sijaitsi putkessa toisen turbiinin perässä. Teho on kuitenkin sopiva mobiililaitteiden, kameroiden ja virtapankkien lataukseen. Tyypillisimmät mobiililaitteiden laturit tarvitsevat 5–20 W tehon. Pilottilaitoksen tuottamaksi tehoksi päivässä tulisi noin 360 wattituntia, joka on laskettu yleisellä kaavalla 5.

$$P = 15 \text{ w} \times 24 \text{ h} = 360 \frac{\text{Wh}}{\text{d}} \quad (5)$$

Päivittäisten wattituntien muutos ampeeritunneiksi laskettu 6.

$$Ah = Wh / V \quad (6)$$

Ah = ampeeritunti

Wh= wattitunti

$V = \text{jännite}$

$$Ah = \frac{360Wh}{12v} = 30 Ah$$

Voimalalla voisi siis teoreettisesti ladata 30 Ah akun täyteen vuorokauden aikana. Pilottilaitos toimi pilotoinnissa huolettomasti ja teho pysyi vakaana. Keskikesän alimpien virtaamien aikaan teho kuitenkin laski oletetusti vesimäärän pudotessa uomassa. Pienen valuma-alueen merkitys suoraan virtaukseen asetettaville voimaloille on merkittävä. Paikalliset sadekuurot vaikuttavatkin virtaamaan todella nopeasti ja virtaama vaihtelu on suurta.

Virtaavan veden sisältämät roskat tukkivat teräsverkosta tehtyä välppää ja välppä vaatisi pidemmällä käytöllä puhdistuksen muutaman päivän välein. Pilottilaitos sopii kuitenkin kohteessa pienimuotoiseen energiantuotantoon juuri keväisin ja syksyisin, kun virtaamat ovat suuret. Käytännössä mahdollinen käyttöaika voimalalle olisi noin 8 kuukautta vuodessa riippuen vuosittaisesta sademäärästä alueella. Pilottilaitoksen teoreettinen vuosienenergia on laskettu kaavalla 5.

$$E = 15W \times 5840 \frac{h}{a} = 87,6 \frac{kWh}{a} = 87\,600 \frac{Wh}{a}$$

Vesivoimalan käyttöajaksi muutettu (5 840 h/a).

Pilottilaitoksen yhteydessä olisi järkevää käyttää helposti siirrettävää varavirta-asemaa, johon energia varastoituu. Varavirta-asemalla voitaisiin ladata useampia mobiililaitteita kerralla, kun tarvetta energialle tulisi. Pilottilaitoksen kaapelit yltyvät rantasaunalle, jossa mahdollinen varavirta-asema olisi suojassa muuttuvilta sääolosuhteilta ja lataus olisi mahdollista esimerkiksi yön yli. Näin tuotettua energiaa voitaisiin varastoida kulutuspiikkejä varten.

Pilottilaitoksesta ei lähdetty tekemään kustannusarvioita tai laskemaan takaisinmaksuaikaa, koska laitoksen tuotot jäävät oletetusti niin pieniksi. Mikrovesivoimaloiden toteuttamisissa suurimmat kulut tulevat yleensä lupaprosessista ja niiden todellisia kuluja on vaikea ennustaa.

8 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli lähteä korvaamaan kohteessa aggregaatilla tuotettua energiaa uusiutuvalla energialla. Aikaisempia toteutuksia ja tutkimustietoa mikrovesivoimaloiden käytöstä ja toteutuksista ei juurikaan Suomesta löytynyt. Tietoperusta suunnittelun tueksi on mikrovesivoimassa kuitenkin hyvin samankaltaista verraten suurempiin kokoluokkiin, joten valitut tutkimusmenetelmät toimivat työssä hyvin. Virtaamamittaukset ja valuma-alueen määrittäminen olivat työn tulosten saavuttamisen kannalta hyödyllisintä.

Uomasta tehdyt mittaukset eivät kuitenkaan anna suoraan tietoa, miten mikrovesivoimala tulisi käytännössä toimimaan kohteessa, joten työssä rakennettiin pilottilaitos tehon pysyvyyden tarkasteluun. Lopputulokset olivat kuitenkin suhteellisen hyvin ennakoitavissa, koska pilotoinnissa käytettiin suoraan virtaukseen asetettavia turbiineja. Työssä tehtyjen virtausnopeusmittausten perusteella tehoa oli hyvä arvioida valmistajan ilmoittamaan tehoon eri virtausnopeuksissa.

Lainsäädännölliset asiat jättivät työn suunnitteluosuuden suppeaksi, koska pilottilaitokselle ei käytännössä jäänyt muita toteutettavia vaihtoehtoja. Kehitystoimenpiteenä ja jatkoselvityksenä olisi mahdollista selvittää lupa-asioita isomalle vesivoimalalle, jos sellainen olisi mahdollista rakentaa kohteeseen. Toki mikrovesivoimaloissa on paljon tee se itse -sovellutuksia, joten kehitysmahdollisuudet ovat laajat.

Työn toteuttamisessa kuitenkin onnistuttiin ja mobiililaitteille tarvittava energiantuotto saavutettiin. Yrittäjälle tässä on kuitenkin enemmän imagollista hyötyä kuin rahallista. Tämän takia kustannuslaskelmat jätettiin tekemättä, koska energiantuotto oli oletetusti pieni. Pilottilaitoksesta on kuitenkin kohteen käyttäjille iloa ja mobiililaitteiden lataaminen vesivoimalla on varmasti mielekkäämpää kuin aggregaatilla lataus.

Opinnäytetyöhön liittyy eettinen kysymys voimalan sijoittamisesta luonnonsuojelu alueelle. Opinnäytetyön toteuttamisen kannalta tämä oli yksi keskeisimmistä asioista suunnittelussa. Pilottilaitos onkin helppo poistaa käytöstä kun tarvetta ei ole, joten mikäli energian tarvetta ei ole voimala voidaan nostaa pois uomasta. Ympäristölle aiheutuvia haittoja voimalasta ei käytännössä tule, mutta toki voimala saattaa näyttää epäluonnolliselta uomassa. Voimalaa olisi kuitenkin mahdollista naamioida piiloon, jos se koetaan haitaksi alueella. Mikrovesivoimalla korvataan aggregaatilla tuotettua energiaa, joten silloin säästytään meluhaitoilta alueella.

Opinnäytetyössä käytetty aineisto on kerätty hyvien tieteellisten käytäntöjen mukaan. Käytetyt tutkimusmenetelmät on työssä esitetty ja vastaavanlaisen tietotaidon omaavalla olisi hyvät lähtökohdat toteuttaa samantyyppinen vertailukelpoinen tutkimus. Opinnäytetyössä on huomioitu kohteen yrittäjän toiveita työlle ja pyritty raportoimaan asiat mahdollisimman avoimesti, sekä todenmukaisesti.

Opinnäytetyö oli kokonaisuudessaan mielekäs kokemus ja se sisälsi koulutus-alallani opittua asiantuntemusta. Hydrologiasta ja energiatekniikasta saadut opit olivat hyödyllisiä tämän opinnäytetyön toteutuksessa. Opinnäytetyössä saatiin myös uutta oppia vesivoiman kokonaisuuksista, jotka sisälsivät sähkö- ja kone-tekniikan sovellutusten ymmärtämistä. Kokonaisuudessaan opinnäytetyön tekeminen oli antoisa ja positiivinen kokemus.

Lähteet

- Applegate, J. 2017. Microhydropower: Part of New York's Clean Energy Future? 8.3.2017. Blogi. <https://www.bard.edu/cep/blog/?p=9271>.
- Breslin, M. 2009. Advances in Microhydro Technology Make Home Power Affordable. Electrical Contactors www.sivut.com.
<https://www.ecmag.com/section/miscellaneous/advances-microhydro-technology-make-home-power-affordable>. 5.4.2021.
- Breeze, P. 2006. Power Generation Technologies. Newnes/Elsevier Oxford
- Breeze, P. 2018. Hydropower. Academic Press, an imprint of Elsevier London.
- British-hydro. 2021. Types Of Hydro Generation.
<https://www.british-hydro.org/types-of-hydro/>. 2.4.2021.
- Energiamailma. 2021. Vesivoima.
<https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/vesivoima/>. 2.4.2021.
- Energy.gov. 2021. Microhydropower Systems.
<https://www.energy.gov/energysaver/buying-and-making-electricity/microhydropower-systems>. 9.4.2021.
- Energy.gov. 2021. Types of hydropower turbines.
<https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-turbines> 24.3.2021
- Energymatters. 2021. MICRO-HYDRO / WATER POWER SYSTEMS.
<https://www.energymatters.com.au/components/micro-hydro/>. 5.4.2021.
- Flowwatt. 2021.
<http://flowwatt.ru/flowwatt200.html>. 4.10.2021.
- Huhtinen M, Korhonen R, Pimiä T & Urpalainen, S. 2013. Voimalaitostekniikka. Opetushallitus. Helsinki.
- Hydropower. 2021. Types of hydropower.
<https://www.hydropower.org/discover/types-of-hydropower> 2.4.2021.
- Länsisuomenvoima. 2021. Yleistä vesivoimasta.
<https://www.lansisuomenvoima.fi/vesivoima-miten-se-toimii/yleista-vesivoimasta>. 24.3.2021.
- Matlock, M. D. & Morgan, R. A. 2011. Ecological engineering design : restoring and conserving ecosystem services. John Wiley & Sons, inc. New Jersey.
- Microhydropower 2021. Hydropower basics.
<http://www.microhydropower.net/basics/turbines.php>. 24.3.2021.
- Motiva Oy. Vesivoima.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima. 2.4.2021.
- Narva J, 2015 MIKROVESIVOIMALAITOKSEN SUUNNITTELU, Oulun Ammatikorkeakoulu. Konetekniikka. Opinnäytetyö.
(https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95325/Narva_Joni.pdf?sequence=1&isAllowed=y). 6.10.2021.
- Paikkatietoikkuna. 2021.
<https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/>. 8.10.2021.
- Suomen ympäristökeskus. 2021. VALUE – Valuma-alueen rajaustyökalu KM10.
<http://paikkatieto.ymparisto.fi/value/>. 6.10.2021.

- Suomi. 2021. Vesitalouslupa.
<https://www.suomi.fi/palvelut/vesitalouslupa-aluehallintov-irasto/5da8956d-4722-4a56-86ab-a2afce4fa6a9>. 8.10.2021.
- Saahkarin kone KY:n www-sivut. 2021.
<http://pienvesivoima.fi/>. 24.3.2021.
- Vattenfall. 2021. Sähkön tuottaminen vesivoimalla.
<https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/vesivoima/>. 9.4.2021.
- Vesilaki 587/2011.
<https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587>. 8.10.2021.
- Voith. 2021. Pelton turbines.
https://voith.com/corp-de/VH_Pelton-turbines_20_vvk_VH3371_en.pdf. 16.4.2021
- Voith. 2021. Francis Turbines.
https://voith.com/corp-en/Francis_Turbine.pdf. 16.4.2021
- Wengenmayr R, Bürke, T. 2013. Hydroelectric Power Plants: Flowing Energy. Teoksessa Renewable Energy: Sustainable Concepts for the Energy Change (2. painos) toim. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim.
- Waterlily. 2021.
<https://www.waterlilyturbine.com/>. 4.10.2021.