



Karelia-ammattikorkeakoulu
Energia- ja ympäristötekniikka (AMK)

Hajautetun energiantuotannon selvitys Venejoen Piilolle

Mikael Häkkinen
Ruusa Inkinen

Opinnäytetyö, Marraskuu 2023

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2023
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijät
Mikael Häkkinen
Ruusa Inkinen

Nimeke
Hajautetun energiantuotannon selvitys Venejoen Piilolle

Toimeksiantaja
Venejoen Piilo

Tiivistelmä

Venejoen Piilo tarjoaa ympäristöystävällistä ja kestävää majoitusta Kontiolahdella. Tämä opinnäytetyö oli selvitys pienvesivoiman hyödyntämisestä Venejoella virtaavassa koskessa alueen sähköistämiseen. Lisäksi opinnäytetyö tutki aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuuksia alueen energiankulutuksessa.

Opinnäytetyö oli selvitys vesivoimalaitoksen ja aurinkopaneelien toteutusten mahdollisuus, luvanvaraisuus ja kannattavuus. Tulokset perustuivat kirjallisuuteen, internet-lähteisiin ja mittauksiloksiin sekä laskelmiin.

Tarkastelussa havaittiin, että sähkön tuotanto myyntiä varten ei ole kannattavaa. Suurin hyöty saavutetaan, kun itse tuotetulla sähköllä korvataan ostosähkö. Investointeina tarkastelluista vaihtoehtoista kannattavimmaksi osoittautui pienvesivoimala. 1000 W vesivoimala riittää kattamaan yrityksen energiantarpeen ja se olisi investointina järkevä. Ongelmana aurinkoenergian ja vesivoiman käytössä on niiden jaksollisuus ja riippuvuus sääolosuhteista. Hyvänä puolena niissä on se, ettei ne ole riippuvaisia polttoaineista, ja niiden huoltokustannukset ovat alhaiset.

Kieli
suomi

Sivuja 32
Liitteet 5
Liitesivumäärä 7

Asiasanat
hajautettu energiantuotanto, sähköntuotanto, vesivoima, aurinkoenergia



THESIS

February 2023

Degree Programme in Energy and Environmental Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Mikael Häkkinen
Ruusa Inkinen

Title
Distributed Energy Production Study for the Venejoen Piilo

Commissioned by
Venejoen Piilo

Abstract

Venejoen Piilo offers environmentally friendly and sustainable accommodation in Kontio-lahti, Finland. This thesis is an investigation into the utilization of small-scale hydropower in the flowing rapids of Venejoki for electrifying the area. Additionally, the thesis explores the possibilities of producing energy with solar panels.

In the thesis the viability, regulatory requirements, and the profitability of implementing a hydropower plant and solar panels were studied. The results are based on literature, internet sources, measurement results and calculation.

In the analysis, it was noticed that electricity production for sale is not profitable. The greatest benefit can be achieved when self-produced electricity replaces purchased electricity. Among the considered investment options, a small-scale hydropower plant proved to be the most profitable. A 1000 W hydropower plant is sufficient to cover the energy needs of the business and would be a sensible investment.

The challenge with the use of solar energy and hydropower lies in their periodicity and dependence on weather conditions. A positive aspect is that they are not dependent on fossil fuels, and their maintenance costs are low.

Language
Finnish

Pages 32
Appendices 5
Pages of Appendices 7

Keywords
distributed generation, production of electricity, hydro power, solar energy

Sisältö

1	Johdanto	1
2	Vesivoima	2
2.1	Pienvesivoima Suomessa	2
2.2	Vesivoimalaitos	3
2.3	Hydrokineettinen vesivoima	4
2.4	Pienvesivoiman ympäristövaikutukset	5
3	Turbiinit	5
3.1	Francis-turbiini	5
3.2	Kaplan-turbiini	6
3.3	Pelton-turbiini	7
3.4	Michell-Banki-turbiini	7
3.5	Hydrokineettinen turbiini	8
4	Aurinkovoima	9
4.1	Aurinkoenergia	9
4.2	Aurinkoenergia Suomessa	9
4.3	Auringon sähköenergia	10
4.4	Aurinkosähköljärjestelmät	10
4.5	On-Grid ja Off-Grid järjestelmät	11
4.6	Aurinkoenergian ympäristövaikutukset	12
5	Vesilaki	12
6	Toiminnan luvanvaraisuus	12
7	Tuet	13
8	Opinnäytetyön tavoite ja tehtävä	14
9	Opinnäytetyön menetelmälliset valinnat	15
9.1	Kohde	15
9.2	Käytettävät menetelmät	17
9.3	Virtaamamittaus	17
9.4	Vaaitus	19
9.5	Aurinkovoimalan simulointi	20
9.6	Virtaaman määrittäminen	20
9.7	Energiavirtaaman määrittäminen	23
9.8	Potentiaalisen tehon määrittäminen	24
9.9	Vuosienergiantuotannon määrittäminen	24
10	Tulokset ja tulkinta	25
10.1	Aurinkovoiman kannattavuus	25
10.2	Vesivoiman kannattavuus	27
10.3	Kannattavuuslaskelmien yhteenveto	29
11	Luotettavuus	30
12	Pohdinta	31
	Lähteet	33

Kuvat

Kuva 1	Hydrologinen kierto.
Kuva 2	Vesivoimalan leikkauskuva.
Kuva 3	Francis-turbiini.
Kuva 4	Kaplan-turbiini.
Kuva 5	Pelton-turbiini.

Kuva 6	Michell-banki turbiini.
Kuva 7	Virtavesiturbiini.
Kuva 8	Aurinkokennon toimintaperiaate.
Kuva 9	Vanha myllyrakennus.
Kuva 10	Ensimmäinen virtaamamittaus 21.01.2023.
Kuva 11	Vaaitusoptiikka.
Kuva 12	Havainnollistava kuva uoman poikkileikkauksesta.
Kuva 13	Aurinkopaneeleiden kytkentäkaavio.
Kuva 14	Piharakennus.

Taulukot

Taulukko 1	Virtaamamittausten tulokset.
------------	------------------------------

Kuviot

Kuvio 1	Aurinkovoiman takaisinmaksuaika.
Kuvio 2	Vesivoiman takaisinmaksuaika.

Liitteet

Liite 1	Venejoen Piilo kartalla.
Liite 2	Venejoen maastokartta.
Liite 3	Venejoen valuma-alue.
Liite 4	Aurinkovoiman TMA-laskelmat.
Liite 5	Vesivoiman TMA-laskelmat.

1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Venejoen Piilo, joka tarjoaa elämismajoituksia Kontiolahdella. Yritys on perustettu 2021, mutta 2023 on yrityksen ensimmäinen kokonainen toimintavuosi. Yrityksen toiminnan keskiössä on luonnonläheisyys, kestävyys sekä vastuullisuus ja nämä arvot näkyvätkin jo rakennetuissa lomamökeissä. Rakennusmateriaaleissa on suosittu puuta sekä muita kestäviä ja kierrätettyjä kotimaisia tuotteita. Venejoen Piilolla on pyrkimys vähähiiliseen energiantuotantoon omavaraisesti hyödyntämällä tontilla virtaavaa Venejokea. Uusiutuvan energian tuottaminen itse tukisi yrityksen tavoitetta kohti entistä ympäristöystävällisempää matkailua.

Hajautettu energiantuotanto on yleensä pienimuotoista ja paikallisia energianlähteitä, etenkin uusiutuvaa energiaa, hyödyntävä energiantuotantomuoto (Vihanninjoki 2015, 2). Sähkön pientuotannon muodoista aurinkosähkö on selkeästi suosituin, ja sen tuotanto on viime vuosina kasvanut voimakkaimmin verrattuna muuhun sähkön pientuotantoon (Energiavirasto 2020). Suurin osa sähkön pientuottajista on kotitalouksia, mutta pientuottajia löytyy myös yritysmaailmasta (Caruna 2020).

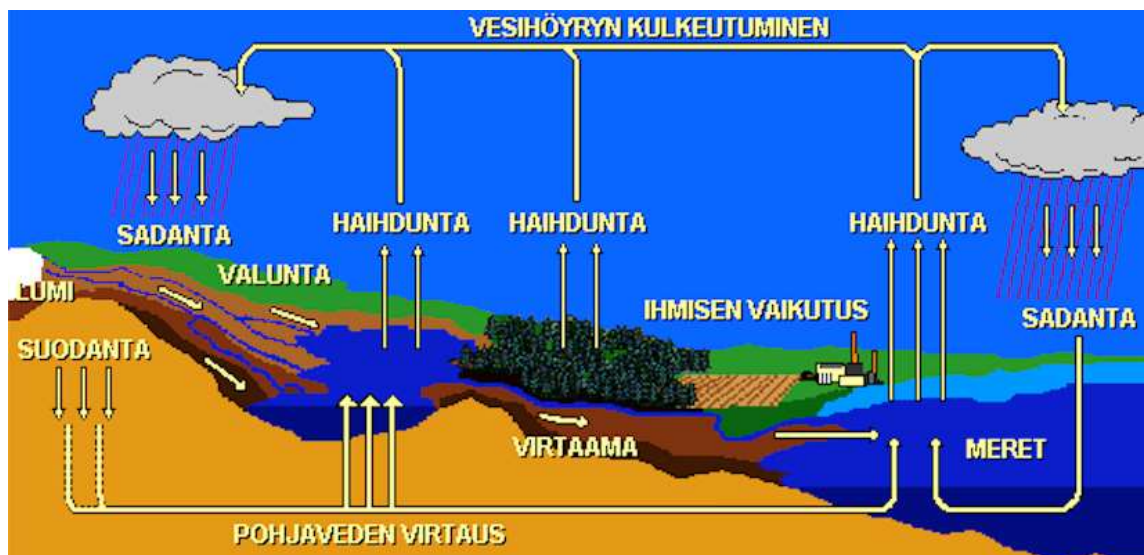
Tämän opinnäytetyön päätavoitteena on selvittää, onko yrityksen mahdollista ja kannattavaa tuottaa itse energiansa. Opinnäytetyössä tarkastellaan vesivoiman ja aurinkovoiman hyödyntämistä. Sähköä tarvitsee myllyrakennus, jota yritys aikoo vuokrata esimerkiksi juhlaikäyttöön, sekä majoituskäytössä olevat mökit ja mökkien läheisyydessä sijaisteva pieni yleisrakennus. Selvitys perustuu mitaustuloksiin ja laskelmiin.

Opinnäytetyö on osa energia- ja ympäristötekniikan koulutusta. Työ sopii alan opinnäytetyöksi, sillä se keskittyy uusiutuviin energioihin, joka on iso osa alan opintoja. Aiheen tutkiminen antaa syvempää ymmärrystä selvityksen tekemisestä ja energiaratkaisujen mitoittamisesta käytännössä. Aihe antaa mahdollisuuden kehittyä energia-alan ammattilaisena, josta on hyötyä myös tulevaisuudessa työuralla.

2 Vesivoima

Vesivoima on uusiutuvan energian lähde, jossa sähköä syntyy veden luontaisen kiertokulun ja painovoiman aiheuttaman virtauksen avulla ympärivuotisesti. Vesivoima on riippuvainen hydrologisesta kierrosta, jossa auringon lämpöenergia lämmittää vedenpintaa, minkä seurauksena vesi haihtuu ilmaan. Vesihöyry kondensoituu pilviksi ja sataa takaisin maahan vetenä tai lumena. Sateet kerääntyvät puroihin ja jokiin, jotka valuvat meriin tai järviin, joista vesi jälleen haihtuu ja aloittaa kierron uudelleen. (Energy Information Administration 2022.)

Vesivoima on merkittävä uusiutuvan energiantuotannon muoto Suomessa ja kattaa noin 15–25 % koko maan energiantuotannosta. Suomessa on vesivoimalaitoksia noin 250 kappaletta ja Suomen koko vesivoimakapasiteetti on noin 3190 MW. Vesivoimapotentiaalia suojelemattomissa vesistöissä on jäljellä noin 663 MW (2352 GWh/a). (Motiva 2021.)



Kuva 1. Hydrologinen kierto (Kuva: Ekofokus 2010).

2.1 Pienvesivoima Suomessa

Vesivoima on yksi vanhimmista käytetyistä energianmuodoista. Suomessa myllyjä on alettu rakentamaan 1200-luvulla ja vesivoimaa käytettiin pääasiassa

viljan jauhamiseen. Nykyään Suomessa on pienvesivoimalaitoksia noin 150 kappaletta, joista puolet on yli 50 vuotta vanhoja. Vanhat laitokset luovat mahdollisuuden lisätä kotimaista sähköntuotantoa voimaloiden parantamisella ja tehonlisäämisellä. (Pienvesivoimaopas, 2009.)

Suomalaisten hyödyntämä pienvesivoima eroaa muusta maailmasta siten, että Suomessa veden putoamiskorkeudet ovat huomattavasti matalammat, eikä vettä pystytä varastoimaan altaisiin. Suomessa pienvesivoimaloiden yhteenlaskettu sähköntuotanto vuodessa on noin 1 TWh. Suomessa on vielä hyödyntämätöntä pienvesivoimakapasiteettia, joka ei ole suojelun piirissä. Laitostehona laskettuna hyödyntämätön kapasiteetti on noin 414 MW, joka vastaa vuosittain noin 2 TWh energiantuotantoa. Numeroina potentiaali vastaa noin 376 M€ arvoista vuotuista sähköenergiantuotantoa ja 900 000 tn CO₂ päästöjen vuotuista vähennystä. Pienvesivoimalla on tärkeä rooli Suomessa myös säätövoiman tuotannossa. Säätövoimalla hallitaan sähkön tuotannon ja kulutuksen vaihteluja. (Pienvesivoimayhdistys, 2022b.)

2.2 Vesivoimalaitos

Pienvesivoimalaitokset on jaoteltu kolmeen eri kokoluokkaan niiden nimellistehon perusteella:

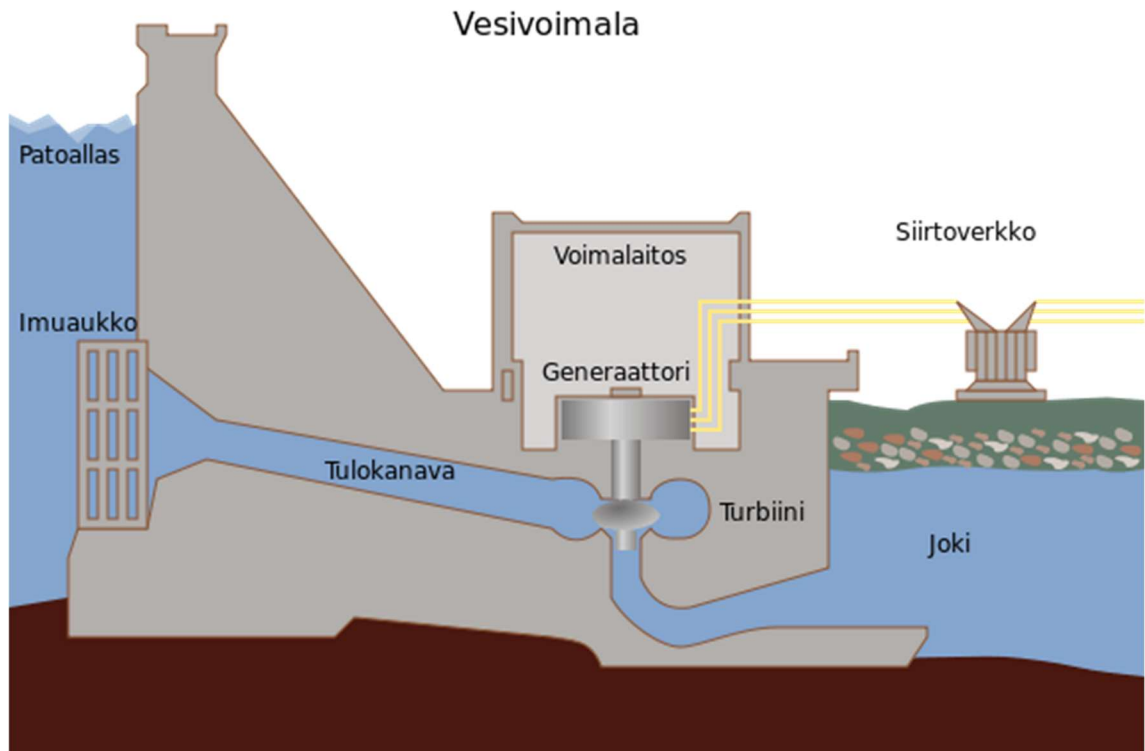
- alle 0.1 MW:n laitokset ovat mikrovesivoimaloita;
- alle 1 MW:n laitokset ovat minivesivoimaloita; ja
- 1–10 MW:n laitokset ovat pienvesivoimaloita. (Pienvesivoimayhdistys 2022a.)

Yli 10 MW:n laitokset ovat suurvesivoimaloita (Motiva 2021).

Vesivoimalan toimintamalli on koosta huolimatta samanlainen. Rakenteisiin mahdollisia vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa turbiinityyppi ja maasto-olosuhteet. Pienvesivoimalaitoksen käyttöikä on pitkä, tyypillisesti 60–100 vuotta. (Motiva 2021.)

Vesivoima perustuu veden liikkeen hyödyntämiseen energiantuotannossa. Vesi johdetaan padottuun altaaseen, josta se uudelleen johdetaan voimalaitoksen

turbiinien lävitse. Virtaava vesimassa pyörittää turbiinia, joka on akselilla kytetty generaattoriin. Generaattori tuottaa sähköä. Generaattorista sähkö ohjataan muuntajaan, jossa sen jännite muunnetaan siirtoon sopivaksi.



Kuva 2. Vesivoimalan leikkauskuva (Kuva: Wikipedia Commons).

2.3 Hydrokineettinen vesivoima

Hydrokineettinen vesivoima on energiantuotantotekniikka, joka hyödyntää veden virtausta tuottaakseen sähköä. Ero perinteiseen vesivoimaan on siinä, että hydrokineettinen vesivoima ei perustu veden keräämiseen patoihin ja paineen hyödyntämiseen vaan käyttää sen sijaan veden liikettä suoraan energiantuotantoon. Tyypillisiä kohteita ovat joet, joissa virtaus on voimakasta. Tämän tyyppinen vesivoima on vielä suhteellisen kehitysvaiheessa verrattuna perinteiseen vesivoimaan, mutta tutkimusta ja kehitystyötä tehdään jatkuvasti enemmän. (Smart Energy Finland 2022.)

2.4 Pienvesivoiman ympäristövaikutukset

Pienvesivoima on ympäristölleen puhdas uusiutuvan energianmuoto. Vesi ei pi-laannu virratessaan voimalan läpi eikä tuotannossa synny kiinteää jätettä tai päästöjä. Vesivoiman ympäristövaikutukset ovat usein paikallisia ja ne voidaan rajata rakentamisprosesseihin. Padot voivat vaikuttaa jokien kalakantoihin, koska ne estävät kaloja nousemasta ylävirtaan ja siksi voimalaa suunnitellessa on otettava huomioon mahdolliset kalaporaat. Suuremmissa vesivoimaloissa veden säännöstely aiheuttaa muutoksia pinnankorkeudessa ja virtausnopeudessa, mikä osaltaan voi vaikuttaa alueen kalakantoihin sekä ympäröivän alueen virkistyskäyttöön. (Vattenfall 2023.)

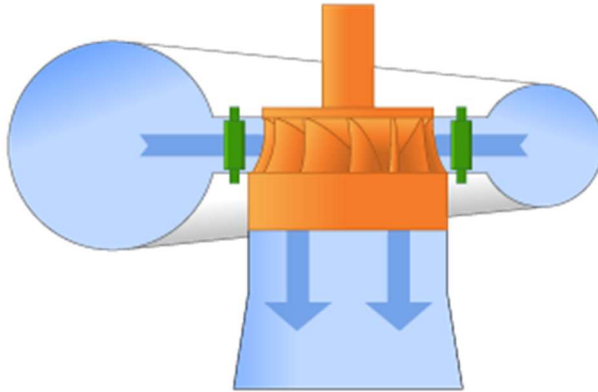
3 Turbiinit

Vesivoimalaitoksissa yleisesti käytetyt turbiinit voidaan jakaa reaktioturbiineihin eli ylipaineturbiineihin kuten Francis- ja Kaplan-turbiineihin ja impulssiturbiineihin, kuten Pelton- ja Michell-banki-turbiineihin. Reaktioturbiinit tuottavat voimaa yhdistetysti paineen ja kineettisen energian avulla, kun taas impulssiturbiinit käyttävät ainoastaan veden kineettistä energiaa pyörittääkseen turbiinia. Turbiinia valittaessa on otettava huomioon veden putoamiskorkeus, virtausnopeus sekä veden virtaama. Lisäksi vaikuttavia tekijöitä ovat vedensyvyys johon turbiini tulee asettaa, turbiinin hyötysuhde sekä hinta. (Department of Energy 2023.)

3.1 Francis-turbiini

Francis-turbiini on ensimmäinen moderni vesivoimaturbiini, jonka kehitti James Francis vuonna 1849. Turbiinissa on tyypillisesti lapoja yhdeksän tai enemmän, jotka pyörivät veden paineen ja liike-energian avulla. Vesi tulee turbiinin päältä ja poistuu alta pyörittäen lapoja. Turbiinia käytetään tyypillisesti 40–600 metrin putouskorkeuksissa, mutta sitä on käytetty myös matalammissa

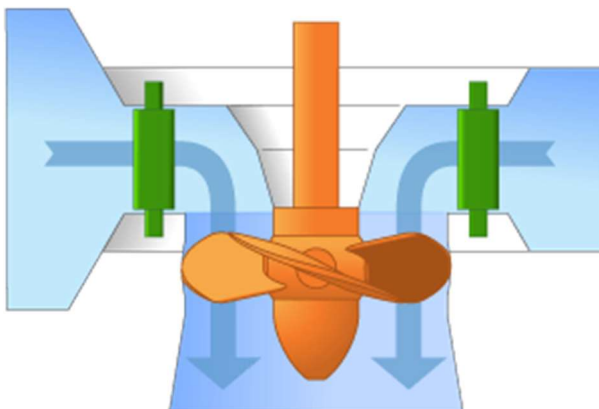
putouskorkeuksissa. Turbiini voidaan asentaa horisontaalisesti tai vertikaalisti. (Department of Energy 2023.)



Kuva 3. Francis-turbiini (Kuva: Department of Energy 2023).

3.2 Kaplan-turbiini

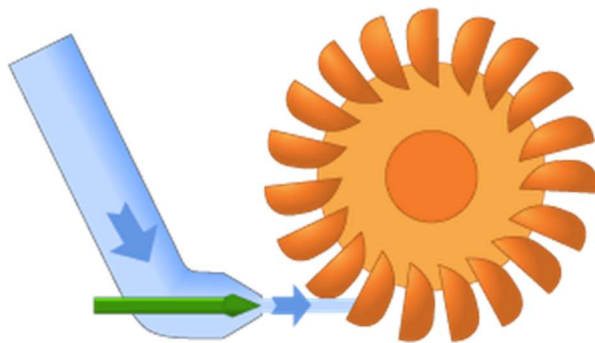
Kaplan-turbiini on itävaltalaisen professori Viktor Kaplanin vuonna 1913 kehittämä turbiini, joka on kehitelty Francis turbiinin pohjalta. Turbiinissa vesi virtaa sisään ja ulos sen pyörimisakselia pitkin luovuttaen energiaa turbiinin pyörimiseen. Kaplan-turbiinin erikoisuus on se, että siivet voivat muuttaa kulmaansa tarpeen mukaan säilyttäen maksimaalisen tehokkuuden eri virtausnopeuksilla. Putouskorkeudet voivat vaihdella kahdesta metristä 70 metriin. Turbiini on suunniteltu niin, että se kestää suuriakin vesimassoja. (Department of Energy 2023.)



Kuva 4. Kaplan-turbiini (Kuva: Department of Energy 2023).

3.3 Pelton-turbiini

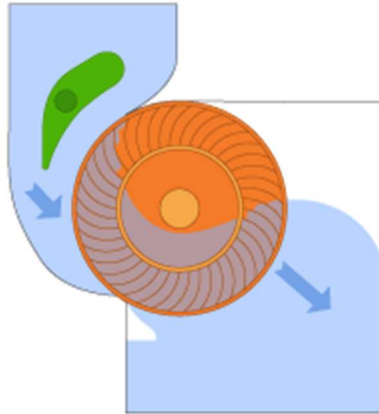
Pelton-turbiinin kehitti amerikkalainen keksijä Lester Allan Pelton 1870-luvulla. Turbiinin toiminta perustuu suuttimesta korkealla paineella suihkutettavaan veteen, joka kohdistetaan kauhoihin. Korkeapaineinen suihku synnyttää vääntömomentin, joka pyörittää turbiinia. (Department of Energy 2023.)



Kuva 5. Pelton-turbiini (Kuva: Department of Energy 2023).

3.4 Michell-Banki-turbiini

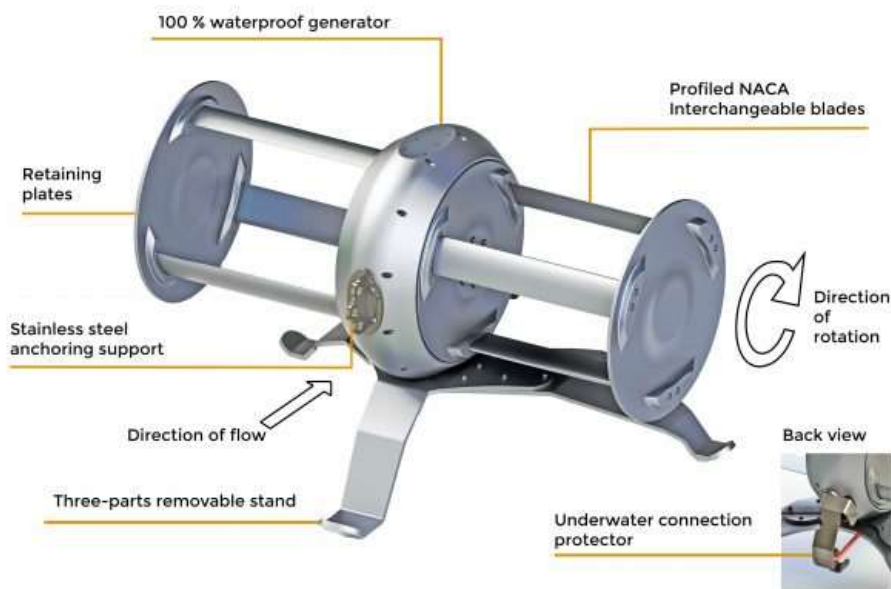
Alkuperäisen Michell-Banki-poikkivirtausturbiinin kehitti itävaltalainen insinööri Anthony Michell, jota myöhemmin unkarilainen insinööri Donát Bánki paranteli. Ulkoisesti turbiini muistuttaa juoksupyörää. Poikkivirtausturbiini on rummun muotoinen, jonka kaarevia siipiä vasten on suunnattu pitkä suorakaiteen muotoinen suutin. Turbiini kehitettiin suurempia virtauksia ja matalampia pudotuskorkeuksia varten, joihin Pelton-turbiini ei ollut sovellettavissa. (Department of Energy 2023.)



Kuva 6. Michell-Banki-turbiini (Kuva: Department of Energy 2023).

3.5 Hydrokineettinen turbiini

Hydrokineettinen turbiini eli virtavesiturbiini on virtaavaan veteen asennettava turbiinimalli. Turbiini muistuttaa toimintaperiaatteeltaan tuulivoimasta tunnettua pysty akselista Darrieus-roottoria. Turbiini toimii hyvin myös matalammalla vedenkorkeudella ja hitaammalla virtaamalla. (Solar Impulse Foundation 2020.)



Kuva 7. Virtavesiturbiini (Kuva: Idéenergie 2023).

4 Aurinkovoima

4.1 Aurinkoenergia

Aurinkoenergialla tarkoitetaan auringon säteilemän energian, eli fotonien hyödyntämistä sähkö- tai lämpöenergiana. Aurinkoenergialla on kasvavissa määrin merkittävä rooli maailman energiajärjestelmässä ja aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää aina pienistä kotitalouskohteista suuren mittakaavan aurinkopuistoihin. Aurinkosähkö onkin yksi tämän hetken halvimmista sähköntuotantomenetelmistä, sillä paneelien hinnat ovat laskeneet merkittävästi. Globaalisti aurinkoenergian kapasiteetin odotetaan rikkovan terawatin raja lähivuosina. (Solar Power Europe 2023.)

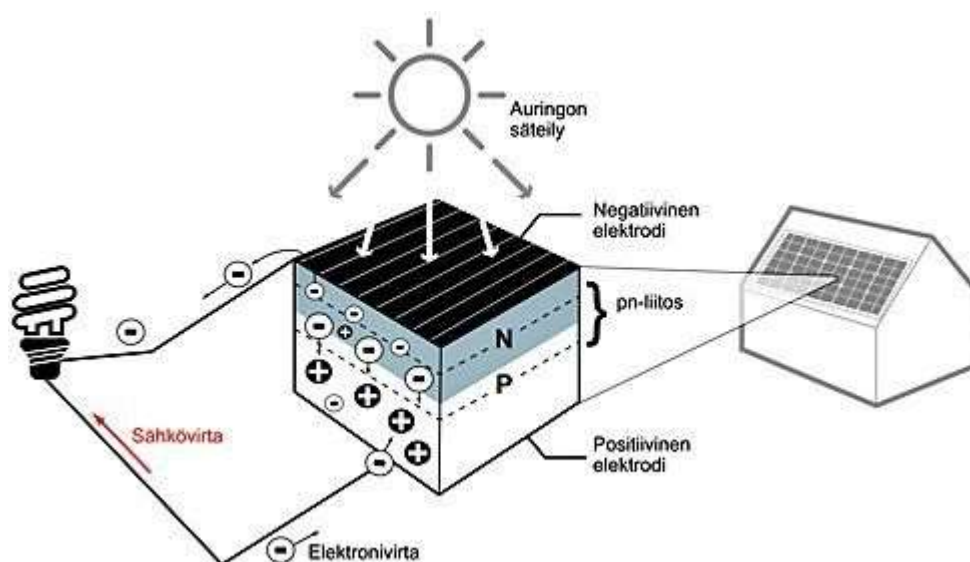
4.2 Aurinkoenergia Suomessa

Aurinkosähköinvestoinnit ovat lisääntyneet Suomessa merkittävästi. Suomi on aurinkoenergian tuotantopotentiaaliltaan verrattavissa Keski-Euroopan aurinkoiisiin maihin. Aurinkopaneelien hyötysuhde paranee kylmässä ympäristössä ja siksi Suomi onkin otollinen maa aurinkoenergian hyödyntämiselle. Oikein asennettuna paneelit kestävät hyvin myös suurempia lumikuormia läpi talven. (LUT-Yliopisto 2022.)

Kokonaisuudessaan Suomen sähköverkkoon liitettyä sähköntuotantokapasiteettia vuonna 2021 oli noin 395 MW, mutta määrän oletetaan kasvavan jatkuvasti. Vuodessa Suomi saa aurinkosäteilystä energiaa noin 900 kWh neliötä kohden. Aurinkolämpöä hyödynnetään kiinteistöissä usein osana muuta lämmitysjärjestelmää. Auringon lämpöenergiaa ei pystytä talvella hyödyntämään ja lämmön kulutus on kesällä matalimmillaan, jolloin aurinkokeräimet tuottaisit parhaiten. (Energiamaaailma 2023.)

4.3 Auringon sähköenergia

Aurinkosähkön tuottaminen perustuu auringon säteilyenergian muuttamiseen sähkövirraksi. Auringon säteilemä energia koostuu pienistä hiukkasista, eli fotoneista. Fotonien osuessa aurinkopaneeleihin ne imeytyvät puolijohdemateriaaleihin, kuten piihin. Fotonit irrottavat negatiivisen varauksen omaavat elektronit atomeistaan, jolloin elektronit pääsevät vapaasti virtaamaan puolijohdemateriaalissa muodostaen sähkövirtaa. Auringon säteilyn intensiteetin kasvaessa elektroneja irtoaa enemmän eli teho paranee. (Caruna 2023.)



Kuva 8. Aurinkokennon toimintaperiaate (Kuva: J.Ahoranta 2022).

4.4 Aurinkosähköjärjestelmät

Aurinkosähköjärjestelmän keskeisin komponentti on aurinkokenno, joka on yleensä valmistettu yksi-, tai monikiteisestä piistä. Aurinkopaneeli koostuu useasta sarjaan kytketystä aurinkokennosta, jolloin paneelista saadaan ulos haluttu teho. Aurinkopaneelin tehoon vaikuttavia tekijöitä ovat: auringon säteilyn intensiteetti, paneelin suunta, kulma ja lämpötila. Aurinkosähköjärjestelmä on mahdollista asentaa rakennuksen katolle, seinälle tai maahan. Optimaalisen tuoton saamiseksi paneeli tulisi asentaa etelään päin 42 asteen kulmaan ilman varjostavia tekijöitä, kuten puita tai muita rakennuksia. (Caruna 2023.)

Aurinkopaneelien hyötysuhde on noin 20–23 %. Hyötysuhde kertoo, kuinka suuri osa auringon säteilyenergiasta pystytään muuttamaan sähköenergiaksi. Yksikidepaneelissa on parempi hyötysuhde, mutta monikiteinen paneeli hyödyntää paremmin hajasäteilyä. (Caruna 2023.)

Aurinkopaneelien tekniset vaatimukset täyttävä käyttöikä on noin 25–30 vuotta ja takaisinmaksuaika arviolta 5–20 vuotta. Aurinkopaneelin lisäksi aurinkosähköjärjestelmä tarvitsee kiinnitystelineet ja invertterin, joka muuttaa paneelien tasajännitteen (DC) kiinteistössä käytettäväksi vaihtojännitteeksi (AC). Invertterin käyttöikä on keskimäärin 8–15 vuotta. (Caruna 2023.)

4.5 On-Grid ja Off-Grid järjestelmät

On-Grid aurinkoenergiajärjestelmät ovat yleisimpiä kuluttajien käyttämiä järjestelmiä. On-Gridillä tarkoitetaan, että järjestelmä ei tarvitse akkuja vaan ylimääräinen tuotettu energia syötetään julkiseen sähköverkkoon, josta kuluttaja saa rahaa. On-Grid järjestelmä ei pysty tuottamaan sähköä esimerkiksi sähkökatkosten aikaan turvallisuussyiden vuoksi. (Solar Empower 2023.)

Off-Grid järjestelmä nimensä mukaisesti ei ole kytketty julkiseen sähköverkkoon ja vaatii siksi akkuja sähköön varastointia varten. Nämä järjestelmät ovat tyypillisesti kalliimpia akkujen hankintakustannusten takia. Off-Grid järjestelmiä käytetään alueilla, jotka ovat kaukana julkisesta sähköverkosta. (Solar Empower 2023.)

Edellä mainittujen järjestelmien lisäksi on olemassa myös hybridimalli, joka hyödyntää molempia järjestelmämallia. On-Grid järjestelmiin on mahdollista lisätä myöhemmässä vaiheessa akustoa ja hyödyntää niitä lataamalla ne täyteen esimerkiksi halvalla yösähköllä. (Solar Empower 2023.)

4.6 Aurinkoenergian ympäristövaikutukset

Aurinkoenergia on uusiutuva ja hiilidioksidipäästötön energianmuoto ja sen käytön aikaiset negatiiviset ympäristövaikutukset ovat pienet. Negatiiviset ympäristövaikutukset liittyvät lähinnä paneelien tuotannossa tarvittavien erikoismateriaalien, kuten piin, alumiinin ja kuparin kaivamiseen ja niiden jatkojalostamiseen. Ympäristöhaittoja voi aiheutua myös aurinkopaneelien hävittämisestä niiden tullessa käyttöikänsä päähän. Lisäksi negatiivisia ympäristövaikutuksia voi aiheutua paneelien pesemiseen käytetyistä kemikaaleista, jotka valuvat luontoon. (Kuby Renewable Energy 2023.)

5 Vesilaki

Vesivoimahankkeissa tulee kyseeseen vesilaki (587/2011), jota sen 1 luvun 2. §:n mukaan sovelletaan vesitalousasioihin. Vesilain 3. luku käsittelee luvanvaraisia vesitaloushankkeita. Sen 3. §:n kohdan 7 mukaan vesivoimalaitoksen rakentaminen on aina luvanvaraista. Jos lupaa ei tarvita, kyseeseen voi tulla ympäristönsuojelulain soveltaminen (Vesilaki 1:2). Vesilain 3. luvun 5. §:n mukaan myös maankäyttö- ja rakennuslain soveltaminen voi tulla kyseeseen lupa-asiaa ratkaistaessa. (587/2011.)

6 Toiminnan luvanvaraisuus

Vesivoimalan rakentaminen tarvitsee aina luvan, voimalan koosta riippumatta. Yrityksellä on vanha myllylupa vuodelta 1921. Uusi lupa on kuitenkin todennäköisesti tarpeellinen vesivoimalaa rakentaessa. Lupa maksaisi ELY-keskuksen mukaan jopa 15 000 euroa. Yritys on ottanut yhteyttä Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskukseen, ja sen mukaan koskea voisi olla mahdollista hyödyntää

vesivoimatarkoitukseen, jos toiminta ei aiheuta haittaa vesistössä esiintyvälle uhanalaiselle purotaimenelle.

Vesivoimalaitoksen rakentamiselle tarvittavan vesilain mukaisen luvan myöntää aluehallintovirasto. Lupa on maksullinen ja se on hyvä hakea hyvissä ajoin, sillä kyseisen lupahakemuksen keskimääräinen käsittelyaika on 9 kuukautta. Lupaa haettaessa täytetään lupahakemus, jossa tulee ilmi hankkeen laatu, laajuus ja vaikutukset. Tämä hakemus toimitetaan aluehallintoviranomaiselle. Tämän jälkeen lupaviranomainen julkaisee kuulutuksen lupatietopalveluun vähintään 30 päiväksi, jonka aikana viranomainen pyytää asiasta lausunnot sitä koskevilta tahoilta. Kuulutusajan päätyttyä hakija voi vastata hakemuksesta annettuihin lausuntoihin ja muistutuksiin. Päätös toimitetaan hakijalle ja lausuntopyynnön saaneille viranomaisille. Päätös on lainvoimainen, kun sen valitusaika päättyy eikä siitä ole valitettu hallinto-oikeuteen. (Aluehallintovirasto 2021.)

Aurinkopaneelien asennus ei välttämättä tarvitse lupaa. Toimenpidelupa tarvitaan, jos aurinkopaneeleilla on merkittävä vaikutus kaupunkikuvaan tai ympäristöön. (Motiva 2022.) Kontiolahden kunnassa, jossa kohde sijaitsee, toimenpideilmoitus tarvitaan, jos aurinkokeräin tai -paneeli on yli 26 neliön kokoinen ja rakennetaan asemakaava-alueelle (Kontiolahti 2023). Yritys ei sijaitse asemakaava-alueella.

7 Tuet

Sähkön pientuotantoa tuetaan ja kannustetaan, sillä siihen liittyy tiettyjä taloudellisia haasteita, kuten suuri investointi kustannus. Yritysten on mahdollista saada investointitukea ja vapautuksen sähköverosta alle 50 kW ja joissain tapauksissa myös 50–2000 kW:n järjestelmille. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2014, 18–19.)

Innovaatorahoituskeskus Business Finland myöntää energiatukea yrityksille uusiutuvan energian tuotannon investointi- ja katselmushankkeisiin, tavoitteenaan

edistää uusiutuvan energian käyttöä ja energiatehokkuutta. Tuettavan hankkeen koolla ei ole ylärajaa, mutta investointikustannusten on oltava vähintään energiatehokkuusinvestoinneissa 10 000 euroa ja uusiutuvan energian investoinneissa 30 000 euroa. Uusiutuvan energian investoinneissa aurinkosähköhankkeelle saatava tuen määrä on 15 % investoinnin hinnasta. Mitkään vesivoimahankkeet eivät ole energiatuen piirissä. Tuen saamiseksi asuinkiinteistö ei kuitenkaan saa olla yhteydessä hankkeeseen ja yrityksellä on oltava riittävä oma rahoitus hankkeelle. (Business Finland 2023.)

8 Opinnäytetyön tavoite ja tehtävä

Myllyn vieressä virtaavassa koskessa on yrittäjien mukaan ollut aikoinaan vesivoimatoimintaa, josta syntyi idea sille, että myllyyn voisi saada siten sähköt myös nykyaikana. Sähkön tuottaminen itse sopii heidän toimenkuvaansa, sillä he ovat kiinnostuneet tarjoamaan kestävää ja vastuullista matkailua. Ympäristöystävällisyydellä ja pienellä hiilijalanjäljellä on nykyisin positiivinen vaikutus yritysten imagoon. Myös sähkön korkean hinnan takia energiaomavaraisuus kiinnostaa, mutta energiaratkaisut ovat investointihinnoiltaan usein melko kalliita. Tällä hetkellä mökkikylän sähköt on vedetty maakaapelilla yrittäjien omalta tilalta käsin.

Opinnäytetyö on luonteeltaan selvitys. Työn tavoitteena on selvittää vesivoimalaitoksen toteutuksen mahdollisuus, koko ja kannattavuus, jotta kosken viereiseen myllyrakennukseen saataisiin sähköt. Yrittäjien toiveena on mahdollisimman hiljainen ja vähän näkyvä laitos, jotta se ei häiritsisi heidän asiakkaitaan, eikä muokkaa liikaa luonnollista ympäristöä.

Opinnäytetyö selvittää myös aurinkovoiman hyödyntämismahdollisuuksia alueella. Siten saadaan vertailukohde vesivoimalle ja voidaan valita järkevin vaihtoehto. Vesivoima ja aurinkovoima ovat yritykselle parhaimmat vaihtoehdot, sillä ne ovat hiljaisia, vähäpäästöisiä, eivätkä aiheuta suuria muutoksia ympäristöön.

Opinnäytetyössä laskelmoidaan yrityksen energiankulutuksen pohjalta mitoitus- ja kannattavuuslaskelmat. Kannattavuuslaskelmien tavoitteena on selvittää, mikä olisi yritykselle edullisin tapa tuottaa energiaa ja ovatko investoinnit ylipäättään yritykselle taloudellisesti kannattavia tällä hetkellä. Uusiutuvien energioiden tuotantoon tarvitaan monesti lupa, joka voi tulla kalliiksi.

9 Opinnäytetyön menetelmälliset valinnat

9.1 Kohde

Alueella on vanha myllyrakennus, kolme pientä mökkiä ja ”glamping” -telttu (Liite 1 Venejoen Piilo aluekartta). Yrityksellä on rakenteilla kaksi uutta mökkiä, jotka ovat tulossa käyttöön vuonna 2023. Uudet mökit tulevat olemaan samantlaisia kuin jo käytössä olevat mökit. Mökit ovat käytössä ympäri vuoden, ne ovat sähkölämmitteisiä ja kooltaan 14 neliömetriä. Lämmityspatterit ovat teholtaan 700 wattia, ja tämä teho on yrityksen mukaan riittänyt tänä talvena kovillakin pakkasilla. Sähkön korkean hinnan takia mökit eivät ole täysissä lämmöissä koaikaaisesti. Rakennuksissa on painovoimainen ilmanvaihto. Alueelta löytyy myös yleiseen käyttöön sauna, wc ja yhteistupa. Yhteistuvassa sähköä tarvitaan jääkaapin, mikroaaltouunin, vedenkeitin ja vesiautomaatin toimintaan.



Kuva 9. Vanha myllyrakennus (Kuva: Venejoen Piilo 2022).

Yrityksellä ei ollut antaa tarkkaa dataa majoitusrakennusten energian kulutuksesta, sillä se on ollut toiminnassa niin vähän aikaa. Myllyrakennuksen ja mökkikylän energiantarpeen määrittämisessä on arvioitu sähköä tarvitsevat laitteet, niiden teho ja käyttöaika. Mökkien ja myllyrakennuksen yhteenlaskettu energiankulutus on noin 3 700 kWh vuodessa.

Myllyä kiertää kolme uomaa ja sen vieressä virtaa koski, josta olisi mahdollista tuottaa vesivoimaa (Liite 2 Alue kartalla). Venejoen vieressä oleva vanha mylly on tuottanut vesivoimaa neljään rakennukseen 20-luvulla. Rakennus on säilytetty, mutta kaikki vanha tekniikka on purettu pois.

Joesta löytyy edelleen kaksi patoa, joista toinen on suljettu. Yrittäjillä on myllylupa vuodelta 1921. Joessa on luontainen purotaimenkanta, mutta tämän ei Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen mukaan pitäisi olla esteenä vesivoiman tuotannolle, jos kalaston nousua ei estetä eikä sitä vahingoiteta.

9.2 Käytettävät menetelmät

Opinnäytetyöt ammattikorkeakoulussa ovat usein tutkimus- tai kehittämistöitä. Tämä opinnäytetyö sisältää elementtejä molemmista. Opinnäytetyö on tutkimustyyppinen, sillä se selvittää uusiutuvien energianlähteiden mahdollisuutta ja kannattavuutta yritykselle, perustuen mittaustuloksiin. Opinnäytetyössä on vähän kehittämistyönkin elementtejä, sillä esimerkiksi aurinkopaneelien mitoituksessa on mahdollista mennä jo suunnitelman puolelle. (Hakala 2022, 30–33, 35).

Opinnäytetyön lähteinä toimivat kirjallisuus ja internet-lähteet, sekä mittaustulokset ja laskelmat. Yritykseen liittyvien tietojen osalta tiedot saadaan selville yrittäjältä. Tällaisia tietoja ovat muun muassa alueen energiantarpeiden laskemiseen tarvittavat tiedot. Virtaamamittaukset tehdään standardin mukaisesti Flowatch-mittarilla. Aurinkovoimaloita mitoittaessa hyödynnetään PV*SOL-ohjelmaa. Kannattavuuslaskelmissa hyödynnetään Microsoftin Excel -ohjelmaa.

9.3 Virtaamamittaus

Työtä varten on selvitettävä virtausnopeus, virtaama ja uoman leveys sekä syvyys. Virtaaman mittaus tehdään Flowatch -mittarilla. Mittauksia on tehtävä ainakin kaksi; talven minimi ja kevään huippu. Ensimmäinen mittaus tehtiin talvella 21.1.2023, jolloin joen virtaama on matalimmillaan. Toisen mittauksen ajankohta oli 27.5.2023 kevättulvan aikaan, kun jäät olivat sulaneet. Laskelmia varten tehtiin myös kolmas mittaus syksyllä 17.9.2023. Kolme mittausta antoi kattavan kuvan joen ympärivuotisesta virtaamasta ja käytämisestä.



Kuva 10. Ensimmäinen virtaamamittaus 21.01.2023.

Virtaamamittaus ja joen käyttäytymisen selvittäminen on olennaista, jotta saada selville, onko mikrovesivoiman hyödyntäminen mahdollista, kuinka iso laitoksen tulee olla ja onko se taloudellisesti kannattava. Kun mittauksia tehdään useampi, saadaan laajempi kuva joen käyttäytymisestä, virtaamista ja tuottavuudesta eri vuodenaikoina.

9.4 Vaaitus

Vaaituksessa mitataan kahden maastopisteen välistä korkeuseroa. Vaaitus tapahtuu tähtäämällä vaakasuorasti pystysuoraan lattatikkuun, joka toimii mitta-asteikkona. Halutun pisteen korkeus saadaan selville laskemalla ensin kojeen korkeus takana olevan lattatikun lukeman avulla, jonka jälkeen edessä olevan lattatikun lukema vähennetään kojeen korkeudesta. (Suomen Geoteknillinen Yhdistys 2017, 29.)



Kuva 11. Vaaitusoptiikka

9.5 Aurinkovoimalan simulointi

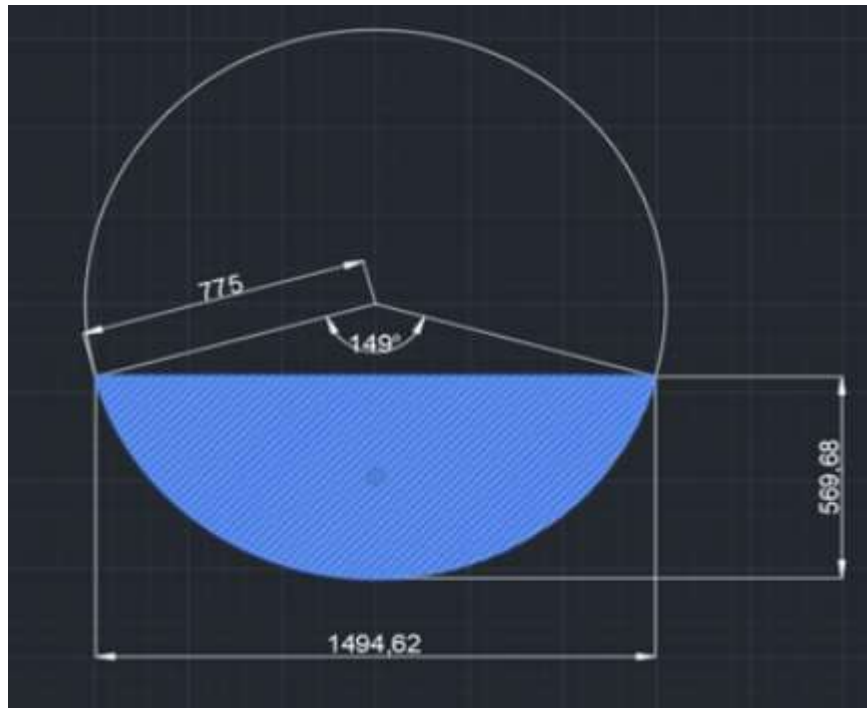
Aurinkopaneelien suunnittelua varten hyödynnetään PV*SOL-ohjelmistoa, johon koululla on lisenssi. Ohjelmalla suunnitellaan ja simuloidaan aurinkopaneelijärjestelmät alueen mökkien katoille sekä pystytään vertailemaan eri aurinkopaneelimalleja ja inverttereitä. Ohjelmalla on mahdollista laskea myös järjestelmän takaisinmaksuaika.

Näiden laskujen toteuttamiseksi tarvitaan energiankulutustiedot ja sen rakennuksen mitat, johon paneelit aiotaan sijoittaa. Tärkeää on tietää katon pinta-ala, kulma, suunta ja materiaali, sillä ne vaikuttavat siihen, onko paneeleita järkevää tai edes mahdollista sijoittaa kyseiseen paikkaan. Tärkeää on myös tietää mahdollisimman tarkasti alueen varjostavat tekijät, kuten puiden mitta ja etäisyys kohteesta.

9.6 Virtaaman määrittäminen

Uoman vesipinta-ala on laskettu käyttämällä ympyrän segmentin pinta-alan kaavaa. Virtaaman suuruuteen vaikuttavia tekijöitä ovat uoman kaventuminen talvisin ja veden pinnankorkeuden vaihtelut johtuen muun muassa tulvasta tai pidemmästä kuivasta jaksosta. Vesipinta-ala lasketaan erikseen jokaisella

mittauskerralla, jotta saadaan luotettavaa tietoa joen vesimassan käyttäytymisestä (Taulukko 1).



Kuva 12. Havainnollistava kuva uoman poikkileikkauksesta

Vesipinta-ala saadaan kaavalla 1.

$$A = \frac{r^2}{2} \times \left(\frac{\alpha}{180^\circ} \times \pi - \sin \alpha \right)$$

A = ympyrän segmentin pinta-ala (m²)

r = ympyrän säde (m)

α = segmentin kulma (°)

$$A = \frac{0,775^2}{2} \times \left(\frac{149^\circ}{180^\circ} \times \pi - \sin 149^\circ \right) = 1,07 \text{ m}^2$$

Joen virtaama saadaan kertomalla uoman vesipinta-ala mitatulla virtausnopeudella ja rosoisuuskertoimella. Rosoisuuskerroin on vakio 0,8.

Kaava 2. Virtaaman laskentakaava

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

virtausnopeus = joessa virtaavan veden nopeus (m/s)

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

rosoisuuskerroin = 0,8. (Uoman pohja kivikkoinen)

Mittauspäivämäärä	Uoman poikkileikkauksen pinta-ala (m^2)	Virtaama (m^3/s)
1.1.2023	1,07	0,155
27.5.2023	0,2	0,092
17.09.2023	2,051	0,984
		Keskivirtaama (m^3/s)
		0,575

Taulukko 1. Virtaamamittausten tulokset

9.7 Energiavirtaaman määrittäminen

Kaava 3. Energiavirtaaman laskentakaava

$$P = \eta \times \rho \times g \times Q \times h$$

jossa:

P = teho (W)

η = Voimalaitoksen hyötysuhde

ρ = veden tiheys (kg/m^3), käytetään arvoa 1000 kg/m^3

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

Q = tilavuusvirta (m^3/s)

h = putouskorkeus (m).

Joen energiavirtaamaksi saadaan

$$P = 0,8 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,575 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,0 \text{ m} = 4512 \text{ W} \approx 4,51 \text{ kW}$$

Energiavirtaaman suuruuteen vaikuttaa kuinka suuri tilavuusvirta (Q) saadaan ohjattua turbiinin läpi sekä putoamiskorkeus V . Putoamiskorkeus V toimii kaavassa kertoimena. Korkeammalla pudotuksella saadaan aikaan suurempia energiavirtaamia. Mikäli vesivoimala rakennettaisiin kohteen padon kohdalle, olisi pudotuskorkeutta mahdollista saada jopa 1,5 m.

9.8 Potentiaalisen tehon määrittäminen

Kaava 4. Pienvesivoimalan potentiaalisen tehon laskentakaava

$$\text{Teho} = \text{tehokerroin} \times \text{virtaama} \times \text{putouskorkeus}$$

”Tehokerroin sisältää painovoimakentän parametrit, veden tilavuuspainon ja voimalaitoksen kokonaishyötysuhteen. Tehokerroin voi olla 5 huonokuntoisilla vanhalla turbiini- ja generaattorilaitteistolla, mutta voi olla lähellä 8 nykyaikaisilla ja korkeateknologisilla laitteilla”. (Energiayrittäjyys 2019.)

Oheisella laskukaavalla pienvesivoimalan potentiaalisesti tehoksi saadaan:

$$P = 8 \times 0,575 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,0 \text{ m} = 4,6 \text{ kW}$$

9.9 Vuosienergiantuotannon määrittäminen

Kaava 5. Vuodessa tuotetun energian laskentakaava

$$E = P \times t$$

jossa:

E = vuosienergia (kWh/a)

P = vesivoimalan teho (kW)

t = teholliset vuosikäyttötunnit (h/a).

Vuosienergiantuotanto saadaan kertomalla teho käyttötunneilla.

Vuosienergiantuotantoa määrittäessä tulee ottaa huomioon uoman mahdollinen jäätyminen talvella. Laskelmissa käytetään käyttöaikana 9 kuukautta (maalismarraskuu).

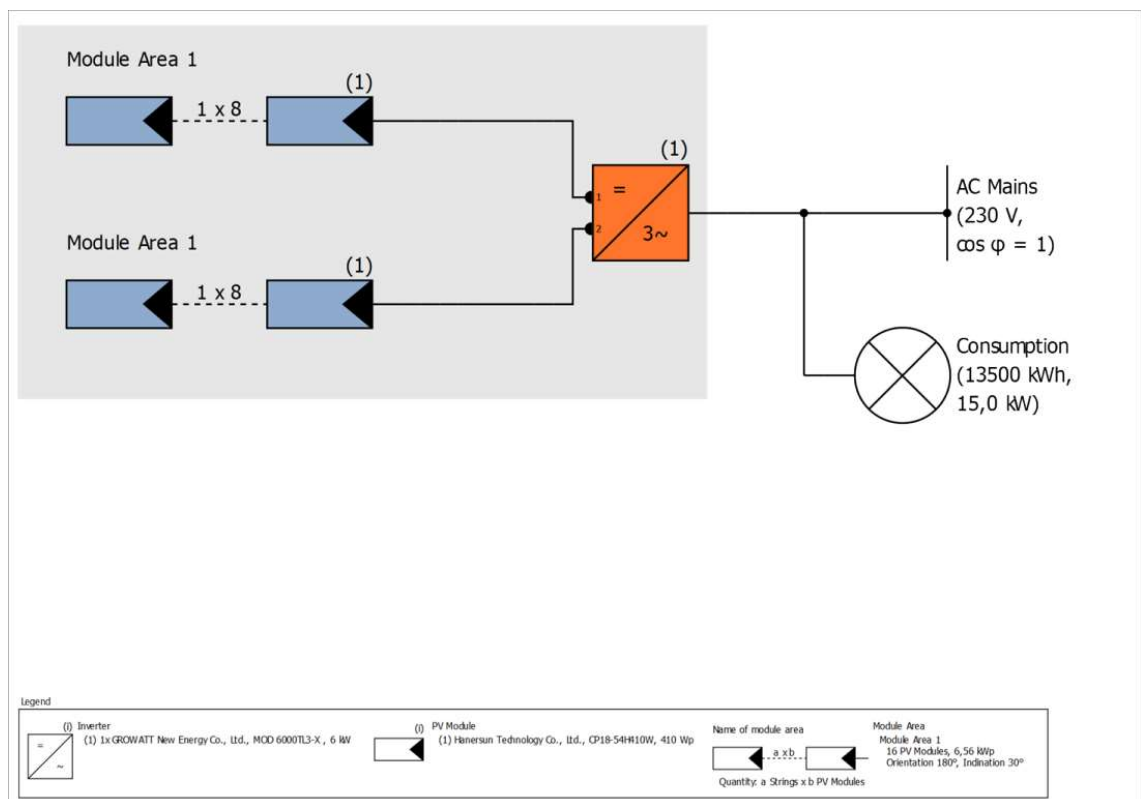
$$E = 4,6 \text{ kW} \times 6576 \text{ h} = 30\,249 \text{ kWh}$$

Tämä vuosienenergiantuotanto on pelkästään teoreettinen, sillä tämän tuotannon saavuttamiseksi tulisi joen koko virtaama saada ohjattua turbiiniin lävitse. Realistinen vuosienenergiantuotanto saadaan laskettua, kun tiedetään vesivoimalan tarkat mitat ja ohjailtavat vesimäärät.

10 Tulokset ja tulkinta

10.1 Aurinkovoiman kannattavuus

Aurinkopaneelit suunniteltiin käyttäen PV*SOL ohjelmistoa. Kannattavuuden simulointiin käytettiin tontin omakotitalon sähkönkulutusta, joka on noin 13500 kWh. Otollisin paikka aurinkopaneelien asennukselle on tontilla sijaitseva piharakennus. Rakennuksen katon pinta-ala on noin 44m², joten katolle mahtuu 16 kappaletta 410 Wp paneelia. Tällä paneelimäärällä saavutettaisiin 6,6 kWp teho. Aurinkopaneelien laskennallinen vuosituotto on 5 800 kWh.



Kuva 13. Aurinkopaneelien kytkentäkaavio (PV*SOL sovellus)

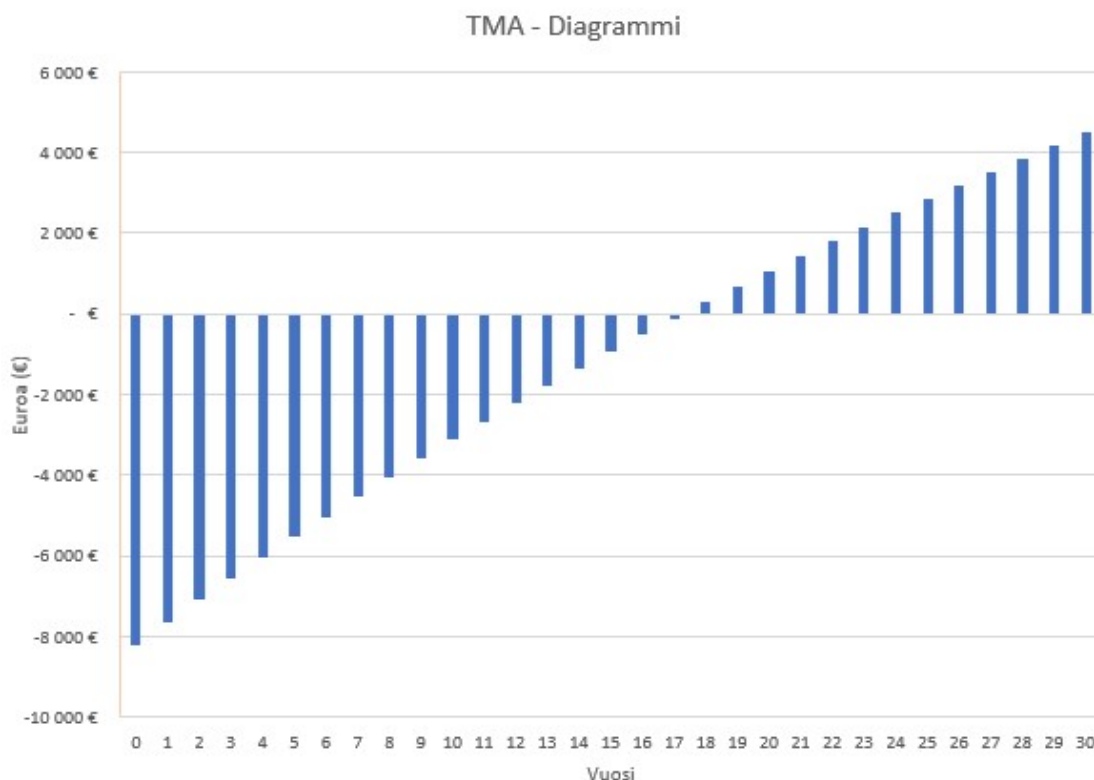
Aurinkopaneelien sijoituspaikaksi paras olisi yrityksen kotitalan piharakennuksen katto, sillä sen ympärillä ei ole varjostavia tekijöitä. Piharakennuksessa on myös sähköpääkeskus. Mökkien ollessa metsässä puiden ympäröimänä, aurinkopaneelit olisivat liian varjoisessa paikassa. Rakennuksen katon kaltevuus laskettuna rakennuksen mittojen perusteella on 22° ja pinta-ala $44,89\text{m}^2$ per puoli. Rakennuksen katemateriaali on peltiä.



Kuva 14. Piharakennus

Jos aurinkosähköjärjestelmä on liitetty sähköverkkoon, voi paneelien tuottamaa ylijäämäsähköä myydä. Ostosähkön hinta vaihtelee markkinahinnan perusteella. Hinnoittelussa käytetään yleensä tunneittain vaihtuvaa Spot-hintaa, jolloin tuottajalle maksetaan suunnilleen sama hinta, minkä tuottaja maksaisi ostaessaan sähköenergiaa. Myyntiin liittyy myös vero- ja sähkönsiirtokuluja. Korkeimmillaan spot-hinta on päivällä ja iltaisin. (Motiva 2023.)

Aurinkopaneeleiden investoinnin hinta on noin 8 200 €, joka muodostuu paneelien ja invertterin arvosta 6600 € ja asennustöiden arvioidusta hinnasta 1200 €.



Kuvio 1. Aurinkopaneeleiden takaisinmaksuajan kuvaaja

Tarkastelussa huomattiin, että nykyisillä sähkön ostohinnoilla olisi kannattavampaa käyttää itse tuotettu sähkö, kuin myydä siitä osuus valtakunnan verkkoon. Näin ollen investoinnista toteutuisi omavaraisuus sähköntuotannossa, mutta investointi maksaisi itsensä takaisin vasta 18 vuoden kuluttua. Aurinkopaneeleiden asentamista nykyisellä kustannuksellaan ei nähdä järkeväksi sijoitukseksi.

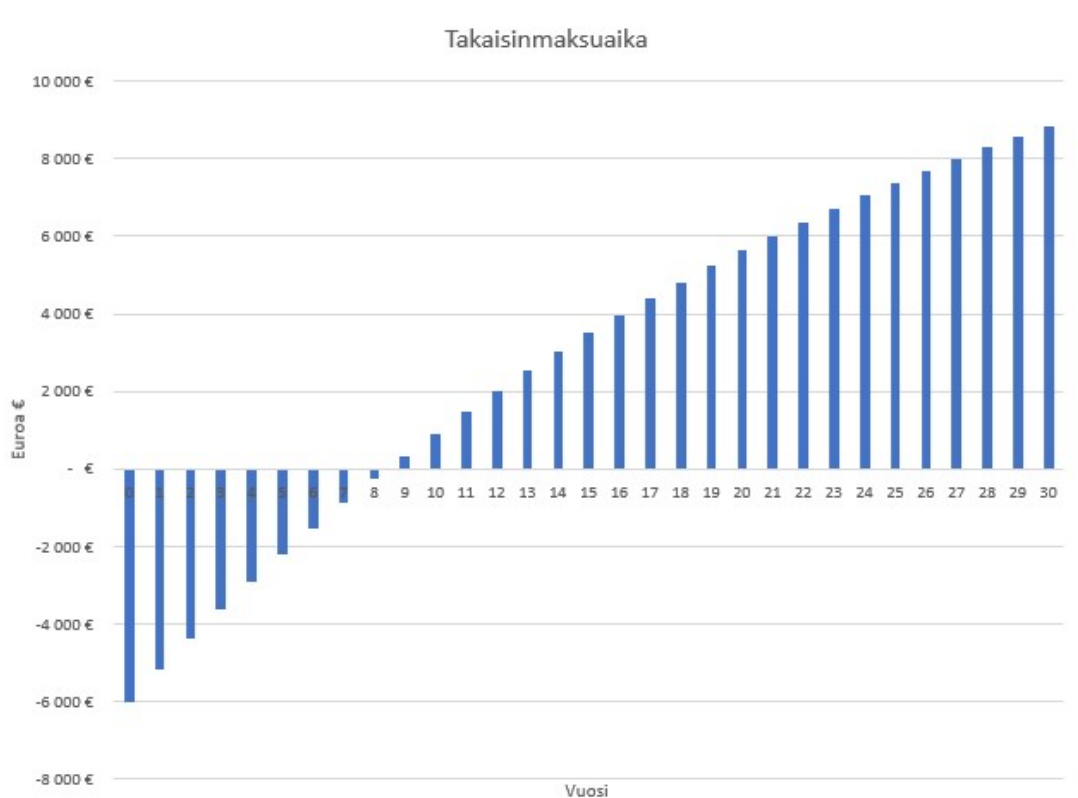
10.2 Vesivoiman kannattavuus

Vesivoimalaitoksen investointikustannus koostuu rakentamisesta, suunnittelusta ja sähköntuotantolaitteistosta. Maa- ja vesialueen muokkaamisesta ei tule lisää kuluja tässä tapauksessa. Investointi kustannuksissa ei ole myöskään huomioitu lupaprosessin kustannuksia, sillä yrittäjiltä löytyy jo lupa vanhan myllyn ajoilta. Kuitenkin, jos tämä lupa ei olekaan pätevä, kustannukset kasvavat tämän myötä. (Kinttula 2008, 65.)

Virtavesivoimalan investointikustannuksia on hankala arvioida, sillä markkinoilla ei ole myytävänä valmiita ratkaisuja, vaan laitokset valmistetaan tapauskohtaisesti asiakkaan tarpeisiin. Yksittäisten turbiinien hinnat verkkokaupoissa ovat parin tuhannen euron luokkaa, ja Motivan ”Opas sähkön pientuottajalle” -oppaan mukaan pienvesivoiman investointikustannukset ovat noin 1 200–3 000 €/kW (Motiva 2012, 10). Ottaen huomioon pienvesivoimalaitoksen rakentamiseen tarvittavat komponentit, sekä suunnittelu ja työvoima voidaan investoinnin kustannukseksi arvioida noin 6 000 €.

Joessa virtaava energia on 4,6 kW. Ei ole kuitenkaan realistista, että joen koko virtaama saataisiin valjastettua vesivoiman tuotantoon. Kannattavuuslaskelma on laskettu käyttäen voimalan tehona 1000 W, jonka tuotanto riittää kattamaan yrityksen sähkönkulutusta ja on realistisesti mahdollinen jokeen toteuttaa. Voimalan käyttötunteina käytetään jäältä vapaata aikaa (huhti-marraskuu), joten käyttötunteja vuoteen kertyy noin 6576 h. Näin ollen voimalan laskennallinen vuosituotanto on 6576 kWh. Pienvesivoimalaitos on hyvin pitkälle huoltovapaa. Kannattavuuslaskelmissa on kuitenkin otettu huomioon mahdolliset huoltokulut. Huolto- ja ylläpitokustannuksina käytettiin 2 % investoinnin suuruudesta per vuosi.

Laskentakorkona käytetään 6 %, joka on yleinen pitkän aikavälin lainakoron keskiarvo. Pienvesivoimalan käyttöaika on 30 vuotta. Näillä parametreillä voimalan takaisinmaksuajaksi saadaan 9 vuotta. Jos kuitenkin yrittäjien vuoden 1921 myllylupa ei ole pätevä, ja he joutuvat hakemaan uutta, ei tämän kokoluokan vesivoimalaan investointi tällöin olisi kannattavaa luvan korkean hinnan takia.



Kuvio 2. Vesivoimalan takaisinmaksuaika

10.3 Kannattavuuslaskelmien yhteenveto

Kannattavuuslaskelmissa on käytetty myyntisähkön hintana 0,034 €/kWh laskelmien tekohetken spot-hinnan mukaisesti. Sähkön tuottaminen myyntiä varten ei tällä hetkellä ole kannattavaa vaan suurin hyöty tuotetusta energiasta saadaan, mikäli sillä voidaan korvata oma ostosähkön käyttö.

Opinnäytetyön teon aikaan tämän kokoluokan energiainvestoinneille ei ole tukia saatavilla yritykselle. Vesivoimahankkeet eivät myöskään ole energiatuen piirissä koosta riippumatta. Kuitenkin laskelmien tulosten perusteella Venejokeen asennettava pienvesivoimala olisi kannattavampi investointi, kuin aurinkopaneelien hankinta.

Ongelmana aurinkoenergian ja mikrovesivoiman käytössä voi olla niiden jaksollisuus ja riippuvuus sääolosuhteista. Kesällä energiaa tuotetaan reilusti enemmän, kuin talvella. Sekä aurinko-, että vesivoiman tuottavuus on pienimmillään talvella. Sää olosuhteet vaikuttavat merkittävästi energiantuotantoon.

Vesivoiman tai aurinkovoiman tuottamisessa ei kuitenkaan tule esimerkiksi polttoainekustannuksia, ja käyttökustannukset ovat alhaiset.

Koska joessa on voimakas virtaama ja purotaimenkantaa, olisi vesivoiman rakentamiselle järkevin vaihtoehto hydrokineettinen vesivoima, joka sopii hyvin virtaaviin jokiin ja on turvallinen vaihtoehto kalakannat huomioon ottaen. Joen mataluus määrittää kuitenkin paljon vesivoiman rakentamismahdollisuuksia ja vaatii siten perusteellista suunnittelua. (Instream Energy Systems 2021.)

11 Luotettavuus

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää hajautetun energiantuotannon hyödyntämistä alueen sähkönkulutuksen kattamiseksi. Tarkasteltaviksi tuotantomenetelmiksi valikoituivat lopulta pienvesivoima ja aurinkovoima. Aurinkovoiman osalta investoinnin kannattavuus saatiin tarkemmin laskettua nykyaikaisten ohjelmien avulla. Pienvesivoiman suunnittelussa jouduttiin jonkin verran soveltamaan sillä muun muassa pienvesivoimaloiden hintatasosta löytyi todella niukasti tietoa ja niitä yleensä valmistetaan tapauskohtaisesti asiakkaan tarpeisiin. Tämän mittakoon pienvesivoimaloista ei ole tehty tutkimuksia Suomessa kovin paljon. Pienvesivoiman investoinnin kannattavuus saadaan laskettua tarkasti, kun tiedetään todellinen ohjailtu vesimäärä ja turbiinigeneraattorin teho.

Työn tekoa hankaloitti myös luotettavan energiankulutusdatan puute, sillä yritys on ollut toiminnassa vasta hyvin lyhyen ajan. Tämän takia laskelmissa käytetyt energiankulutustiedot ovat laskennallisia arvioita. Yritys saa kuitenkin työstä dataa joen ympärivuotisesta virtaamasta, jota he voivat hyödyntää pienvesivoimalan suunnittelussa.

12 Pohdinta

Matkailun ympäristövaikutukset huomioiva ekomatkailu on erittäin nopeasti kasvava turismin muoto. Uusiutuvat energiat houkuttelevat ekomatkailijoita matkakohteisiin, ja voi vaikuttaa myös matkailijoiden majoitusvalintaan. Uusiutuvan energian käytön ja ympäristöystävällisyyden on huomattu vaikuttavan positiivisesti majoituspalveluiden kävijämäärään. (Prinsloo 2015, 5.)

Opinnäytetyöllä on mahdollinen positiivinen vaikutus yrityksen imagoon. Laskelmista selvisi, että yrityksen olisi kannattavaa sijoittaa pienvesivoimalaan ja tuottaa itse oma sähkönsä. Yrityksen tuottaessa energiaa paikallisesti ja ympäristöystävällisesti, voidaan käyttää mainontaan ja se voi houkutella enemmän ekomatkailua. Aurinkopaneelit ja mikrovesivoimala muokkaavat yrityksen hyvin luonnonmukaista ympäristöä, mutta koska ympäristöystävällisyys ja hiilineutraalius ovat osa yrityksen arvoja, voi uusiutuvan energian esillä olo olla myös positiivinen näky. Työ on tarpeellinen, jotta yritys saa selville, mitä eri mahdollisuuksia heillä tällä saralla on, ja onko se heille tällä hetkellä kannattavaa.

Aihe on ajankohtainen meneillään olevan energiakriisin takia. Jos suunnitelman seurauksena yritys toteuttaa siirtymän uusiutuviin energioihin, on työllä positiivinen vaikutus myös ympäristöön. Uusiutuvaan energiaan panostaminen tukee myös Suomen ilmastotavoitetta olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Myös Pohjois-Karjalassa on vuoden 2023 ajan hanke, Ilmastokestävä Pohjois-Karjala, jonka tavoite on edistää alueen yritysten ja kuntien ilmastotyötä. Pohjois-Karjalassa pyritään vähentämään päästöjä 80 % vuoden 2007 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Hanke tarjoaa yrityksille muun muassa asiantuntijatukea ja koulutuksia. (Pohjois-Karjala Maakuntaliitto 2023.)

Yrittäjät olivat myös kiinnostuneita, olisiko tämän selvityksen pohjalta voinut tilata toisen opiskelijatyön ja toteuttaa esimerkiksi vesivoimalan rakentamisen alueelle. Yritys on jo ollut yhteydessä insinööritoimistoon, joka olisi kiinnostunut mikrovesivoimalan suunnittelusta tämän opinnäytetyön tuloksiin perustuen.

Opinnäytetyötä varten on laadittu toimeksiantosopimus, jonka mukaan opinnäytetyöprosessissa toimitaan. Toimeksiantosopimuksen vastuuosion mukaan opinnäytetyö toimitetaan sellaisena, kuin se on. Venejoenpiilo Oy:n mukaan opinnäytetyöhön ei liity salassapitovelvollisuuden alaisia asioita.

Opinnäytetyö oli kokonaisuudessaan aiheena mielenkiintoinen ja koulutukseen hyvin liitonnainen, mutta varsinkin vesivoiman osalta työ oli myös todella haastava, sillä pienvesivoimasta on yllättävän vähän tietoa saatavilla julkisista kanavista.

Lähteet

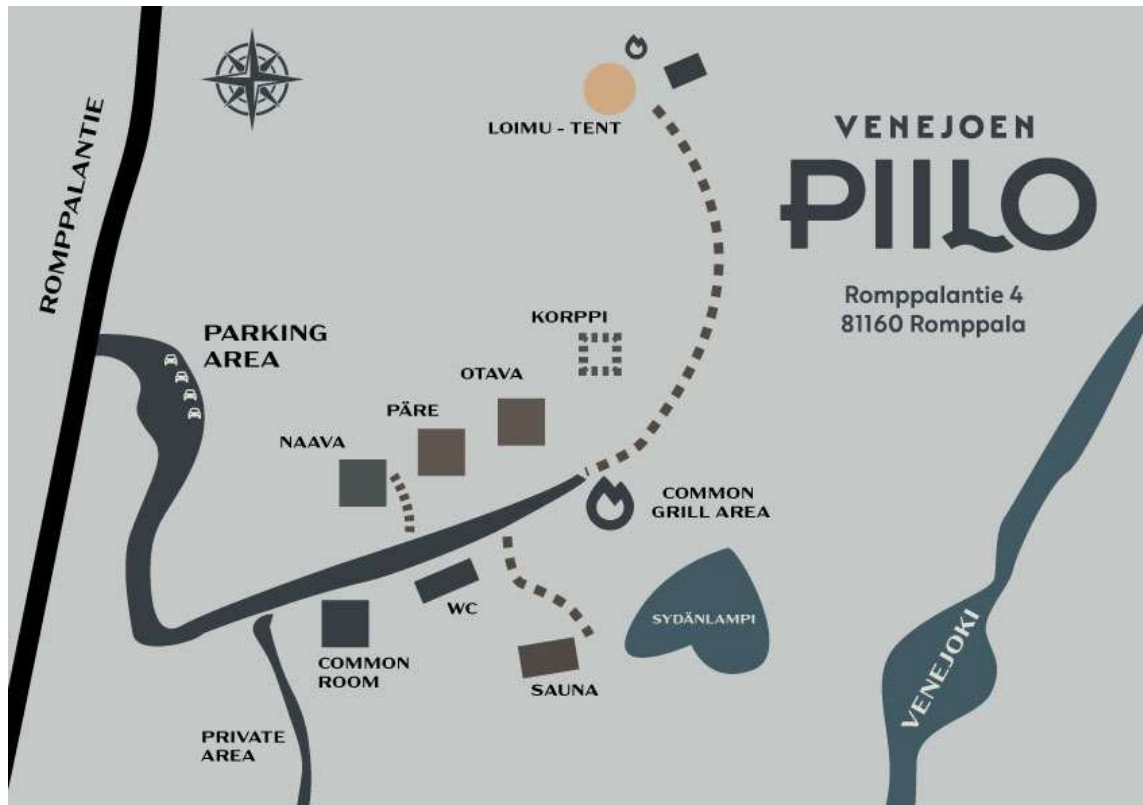
- Aluehallintovirasto. 2021. Vesitalouslupa.
<https://www.suomi.fi/palvelut/vesitalouslupa-aluehallintovirasto/5da8956d-4722-4a56-86ab-a2afce4fa6a9>. 13.3.2023.
- Business Finland. 2023. Energiatuki.
<https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>. 12.5.2023.
- Caruna. 2020. Aurinkosähkön suosio jatkaa kasvuaan Carunan verkkoalueella – suurinta kasvu on ollut Etelä-Suomen ulkopuolella. <https://caruna.fi/ajankohtaista/aurinkosahkon-suosio-jatkaa-kasvuaan-carunan-verkkoalueella-suurinta-kasvu-ollut-etela>. 21.3.2023
- Caruna. 2023. Miten aurinkopaneelit toimivat.
<https://caruna.fi/tuotteet-ja-palvelut/kotiin-ja-kiinteistoon/sahkontuotanto/miten-aurinkopaneelit-toimivat/>. 12.3.2023.
- Energiamurros. 2022. Vesivoima. <https://energiamurros.fi/vesivoima/>. 1.3.2023.
- Energiavirasto. 2020. Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti jatkoi kasvuaan vuonna 2019 - vuosikasvua 64 prosenttia. <https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-jatkoi-kasvuaan-vuonna-2019-vuosikasvua-64-prosenttia>. 21.3.2023.
- Energy.gov. 2023a. Active solar heating.
<https://www.energy.gov/energysaver/active-solar-heating/>. 14.3.2023.
- Energy.gov. 2023b. How hydropower works.
<https://www.energy.gov/eere/water/how-hydropower-works/>. 7.3.2023.
- Energy.gov. 2023c. Microhydropower-systems.
<https://www.energy.gov/energysaver/microhydropower-systems/>. 2.3.2023.
- Energy.gov. 2023d. Types of hydropower turbines.
<https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-turbines>. 11.3.2023.
- Hakala, J.T. 2022. Hyvä, parempi, valmis: Opinnäytetyöopas ammattikorkeakouluille. Helsinki: Gaudeamus.
- Idénergie. 2023. A constant source of power. <https://idenergie.ca/en/features/>. 26.11.2023.
- Instream Energy Systems. 2021. Harness Water's Kinetic Energy To Create Electricity. <https://www.instreamenergy.com/technology>. 21.10.2023.
- International Hydropower Association. 2023. Greenhouse gas emissions.
<https://www.hydropower.org/factsheets/greenhouse-gas-emissions/>. 10.3.2023.
- Kinttula, M. 2008. Pienvesivoiman elvytys, käyttöönotto ja kannattavuus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkötekniikka. Diplomityö.
<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/42863/nbnfi-fe200812042231.pdf> 18.11.2023.
- Kontiolahti. 2023. Luvat. <https://www.kontiolahti.fi/luvat?inheritRedirect=true>. 13.3.2023.
- Kuby. 2023. The positive and negative environmental impacts of solar panels.
<https://kubyenergy.ca/blog/the-positive-and-negative-environmental-impacts-of-solar-panels/>. 12.3.2023.

- Maanmittauslaitos. 2023. <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>. 27.2.2023.
- Motiva Oy. 2012. Opas sähkön pientuottajille. https://www.motiva.fi/files/5724/Opas_sahkon_pientuottajalle_2012.pdf. 18.11.2023.
- Motiva Oy. 2022a. Lupa-asiat. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lupa-asiat. 13.3.2023.
- Motiva Oy. 2021. Vesivoima. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima. 23.2.2023.
- Motiva Oy. 2022b. Vesivoimateknologia. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima/vesivoimateknologia. 23.2.2023.
- Motiva Oy. 2023. Ylijäämäsähkön myynti. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaa-masahkon_myynti. 4.11.2023.
- Pienvesivoimayhdistys. 2022a. Mitä on pienvesivoima? <https://pienvesivoimayhdistys.org/>. 12.11.2023.
- Pienvesivoimayhdistys. 2022b. Pienvesivoima Suomessa. <https://pienvesivoimayhdistys.org/>. 12.11.2023.
- Pohjois-Karjala Maakuntaliitto. 2023. Ilmastokestävä Pohjois-Karjala. <https://pohjois-karjala.fi/2023/01/ilmastokestava-pohjois-karjala/>. 24.10.2023.
- Prinsloo, F.C. 2015. Impact of renewable energy structures on tourism. University of Stellenbosch. https://www.researchgate.net/profile/Fc-Prinsloo/publication/262948582_The_impact_of_renewable_energy_structures_on_tourism/links/54fff4c60cf2eaf210bcbdc1/The-impact-of-renewable-energy-structures-on-tourism.pdf.
- Smart Energy Finland. 2022. Tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta. <https://www.smartenergyfinland.fi/tki/>. 26.11.2023.
- Solar Empower. 2022. What is ongrid and off-grid solar system. <https://www.solarempower.com/blog/what-is-on-grid-and-off-grid-solar-system/>. 15.3.2023.
- Solarimpulse Foundation. 2020. Hydrokinetic Turbine. <https://solarimpulse.com/solutions-explorer/hydrokinetic-turbine>. 26.11.2023.
- Solar Power Europe. 2023. Solar power. <https://www.solarpower-europe.org/about/discover-solar/>. 14.3.2023.
- Suomen Geoteknillinen Yhdistys. 2017. Geoteknisen mittaamisen ja monitoroinnin olennaiset käsitteet ja periaatteet. Helsinki. https://web.archive.org/web/20220108143825/https://sgy.fi/wp-content/uploads/2017/04/geoteknisen_mittaamisen_ja_monitoroinnin_olennaiset_kasitteet_ja_periaatteet_6-11-2017_julkaisu.pdf. 21.10.2023.
- Suomen ympäristökeskus. 2021. VALUE – Valuma-alueen rajaustyökalu KM10. <http://paikkatieto.ymparisto.fi/value/>. 28.5.2023.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2014. Pienimuotoisen energiantuotannon edistämistyöryhmän loppuraportti. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. <https://tem.fi/documents/1410877/2859687/Pienimuotoisen+energiatuotannon+edist%C3%A4misty%C3%B6ryhm%C3%A4n+loppuraportti+16122014.pdf>.
- Venejoen Piilo. 2022. Majoitus. <https://venejoenpiilo.com/majoitus/>. 23.2.2023.

Vihanninjoki, V. 2015. Hajautettu energiantuotanto Suomessa
Nykytila ja tulevaisuus sekä vaikutukset ilmanlaatuun. Helsinki: Suomen ympäristökeskus SYKE. <http://www.syke.fi/download/name/%7BDD119785-B537-45DE-AEF0-8360DCAB1BDF%7D/111845>.

Liite 1

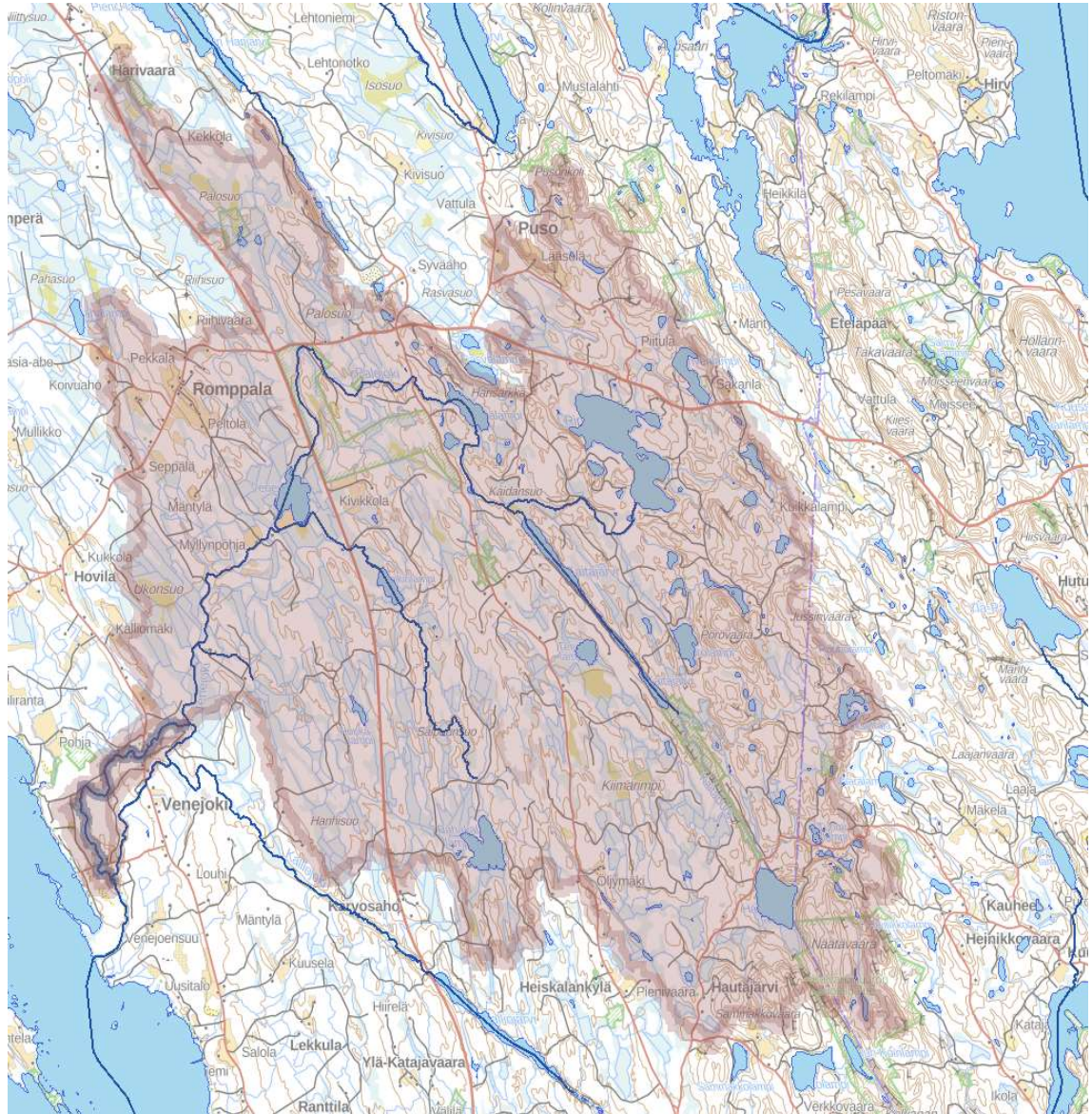
Venejoen Piilo aluekartta (Kuva: Venejoen piilo 2022).



Liite 2

Alue kartalla (Maanmittauslaitoksen asiointipalvelu 2023).



Liite 3**Valuma-alue (Suomen ympäristökeskus 2021, 28.5.2023).**

Liite 4

Aurinkovoimalan kannattavuuslaskelma

	kWh			€				
	Paneelien tuotto	Omaan käyttöön	Myyntiin	Ostosähkön hinta	Tuotto omasta käytöstä	korvaus sähköstä	Tuotto myynnistä	Yhteensä
vuosina 1-30				€/kW	€	€/kW	€	€
1	5801	5801	0	0,099	574 €	0,034	0 €	574 €
2	5772	5772	0	0,101	582 €	0,035	0 €	582 €
3	5743	5743	0	0,103	591 €	0,035	0 €	591 €
4	5714	5714	0	0,105	600 €	0,036	0 €	600 €
5	5686	5686	0	0,107	609 €	0,037	0 €	609 €
6	5657	5657	0	0,109	618 €	0,038	0 €	618 €
7	5629	5629	0	0,111	627 €	0,038	0 €	627 €
8	5601	5601	0	0,114	636 €	0,039	0 €	636 €
9	5573	5573	0	0,116	646 €	0,040	0 €	646 €
10	5545	5545	0	0,118	655 €	0,041	0 €	655 €
11	5517	5517	0	0,121	665 €	0,041	0 €	665 €
12	5490	5490	0	0,123	675 €	0,042	0 €	675 €
13	5462	5462	0	0,125	685 €	0,043	0 €	685 €
14	5435	5435	0	0,128	695 €	0,044	0 €	695 €
15	5408	5408	0	0,130	706 €	0,045	0 €	706 €
16	5381	5381	0	0,133	716 €	0,046	0 €	716 €
17	5354	5354	0	0,136	727 €	0,047	0 €	727 €
18	5327	5327	0	0,138	738 €	0,048	0 €	738 €
19	5301	5301	0	0,141	749 €	0,049	0 €	749 €
20	5274	5274	0	0,144	760 €	0,050	0 €	760 €
21	5248	5248	0	0,147	771 €	0,051	0 €	771 €
22	5221	5221	0	0,150	783 €	0,052	0 €	783 €
23	5195	5195	0	0,153	794 €	0,053	0 €	794 €
24	5169	5169	0	0,156	806 €	0,054	0 €	806 €
25	5143	5143	0	0,159	818 €	0,055	0 €	818 €
26	5118	5118	0	0,162	830 €	0,056	0 €	830 €
27	5092	5092	0	0,166	843 €	0,057	0 €	843 €
28	5067	5067	0	0,169	855 €	0,058	0 €	855 €
29	5041	5041	0	0,172	868 €	0,059	0 €	868 €
30	5016	5016	0	0,176	881 €	0,060	0 €	881 €
yht.	161982	161982	0					

		Nykyarvo	TMA (koroton)	TMA (korollinen)	Sisäinen korko
Hankintakustannukset	8 200 €	8 200 €		- 8 200 €	- 8 200 €
1. vuoden nettotuotto	574 €	554,318	- 7 626 €	- 7 646 €	554 €
2. vuoden nettotuotto	582 €	543,553	- 7 044 €	- 7 102 €	544 €
3. vuoden nettotuotto	591 €	532,997	- 6 453 €	- 6 569 €	533 €
4. vuoden nettotuotto	600 €	522,646	- 5 853 €	- 6 046 €	523 €
5. vuoden nettotuotto	609 €	512,496	- 5 245 €	- 5 534 €	512 €
6. vuoden nettotuotto	618 €	502,543	- 4 627 €	- 5 031 €	503 €
7. vuoden nettotuotto	627 €	492,784	- 4 000 €	- 4 539 €	493 €
8. vuoden nettotuotto	636 €	483,214	- 3 364 €	- 4 055 €	483 €
9. vuoden nettotuotto	646 €	473,829	- 2 718 €	- 3 582 €	474 €
10. vuoden nettotuotto	655 €	464,628	- 2 062 €	- 3 117 €	465 €
11. vuoden nettotuotto	665 €	455,604	- 1 397 €	- 2 661 €	456 €
12. vuoden nettotuotto	675 €	446,756	- 722 €	- 2 215 €	447 €
13. vuoden nettotuotto	685 €	438,080	- 37 €	- 1 777 €	438 €
14. vuoden nettotuotto	695 €	429,573	658 €	- 1 347 €	430 €
15. vuoden nettotuotto	706 €	421,230	1 364 €	- 926 €	421 €
16. vuoden nettotuotto	716 €	413,050	2 080 €	- 513 €	413 €
17. vuoden nettotuotto	727 €	405,028	2 807 €	- 108 €	405 €
18. vuoden nettotuotto	738 €	397,162	3 545 €	289 €	397 €
19. vuoden nettotuotto	749 €	389,449	4 294 €	679 €	389 €
20. vuoden nettotuotto	760 €	381,886	5 053 €	1 061 €	382 €
21. vuoden nettotuotto	771 €	374,470	5 825 €	1 435 €	374 €
22. vuoden nettotuotto	783 €	367,198	6 607 €	1 802 €	367 €
23. vuoden nettotuotto	794 €	360,066	7 402 €	2 163 €	360 €
24. vuoden nettotuotto	806 €	353,074	8 208 €	2 516 €	353 €
25. vuoden nettotuotto	818 €	346,217	9 026 €	2 862 €	346 €
26. vuoden nettotuotto	830 €	339,493	9 856 €	3 201 €	339 €
27. vuoden nettotuotto	843 €	332,900	10 699 €	3 534 €	333 €
28. vuoden nettotuotto	855 €	326,435	11 555 €	3 861 €	326 €
29. vuoden nettotuotto	868 €	320,096	12 423 €	4 181 €	320 €
30. vuoden nettotuotto	881 €	313,880	13 304 €	4 495 €	314 €
	Yhteensä	12 695 €			3,4683 %
Jäännösarvo	- €	- €			
Tuottojen nykyarvo		12 695 €			
Kustannusten nykyarvo		8 200 €			
Erotus		4 495 €			

Liite 5

Vesivoimalan kannattavuuslaskelma

	kWh				€					
	Voimalan tuotto	Omaan käyttöön	Myyntiin		Ostosähkön hinta	Säästö omasta käytöstä	Myyntisähkön hinta	Tuotto myynnistä	Huoltokulut	Yhteensä
vuosina 1-30					€/kW	€	€/kW	€		€
1	6576	6576	0		0,150	986 €	0,034	0 €	120 €	866 €
2	6576	6576	0		0,153	1 006 €	0,034	0 €	122 €	884 €
3	6576	6576	0		0,156	1 026 €	0,035	0 €	125 €	901 €
4	6576	6576	0		0,159	1 047 €	0,036	0 €	127 €	919 €
5	6576	6576	0		0,162	1 068 €	0,036	0 €	130 €	938 €
6	6576	6576	0		0,166	1 089 €	0,037	0 €	132 €	957 €
7	6576	6576	0		0,169	1 111 €	0,038	0 €	135 €	976 €
8	6576	6576	0		0,172	1 133 €	0,038	0 €	138 €	995 €
9	6576	6576	0		0,176	1 156 €	0,039	0 €	141 €	1 015 €
10	6576	6576	0		0,179	1 179 €	0,040	0 €	143 €	1 035 €
11	6576	6576	0		0,183	1 202 €	0,041	0 €	146 €	1 056 €
12	6576	6576	0		0,187	1 226 €	0,042	0 €	149 €	1 077 €
13	6576	6576	0		0,190	1 251 €	0,042	0 €	152 €	1 099 €
14	6576	6576	0		0,194	1 276 €	0,043	0 €	155 €	1 121 €
15	6576	6576	0		0,198	1 302 €	0,044	0 €	158 €	1 143 €
16	6576	6576	0		0,202	1 328 €	0,045	0 €	162 €	1 166 €
17	6576	6576	0		0,206	1 354 €	0,046	0 €	165 €	1 189 €
18	6576	6576	0		0,210	1 381 €	0,047	0 €	168 €	1 213 €
19	6576	6576	0		0,214	1 409 €	0,048	0 €	171 €	1 237 €
20	6576	6576	0		0,219	1 437 €	0,049	0 €	175 €	1 262 €
21	6576	6576	0		0,223	1 466 €	0,050	0 €	178 €	1 287 €
22	6576	6576	0		0,227	1 495 €	0,051	0 €	182 €	1 313 €
23	6576	6576	0		0,232	1 525 €	0,052	0 €	186 €	1 339 €
24	6576	6576	0		0,237	1 555 €	0,053	0 €	189 €	1 366 €
25	6576	6576	0		0,241	1 587 €	0,054	0 €	193 €	1 394 €
26	6576	6576	0		0,246	1 618 €	0,055	0 €	197 €	1 421 €
27	6576	6576	0		0,251	1 651 €	0,056	0 €	201 €	1 450 €
28	6576	6576	0		0,256	1 684 €	0,057	0 €	205 €	1 479 €
29	6576	6576	0		0,261	1 717 €	0,058	0 €	209 €	1 508 €
30	6576	6576	0		0,266	1 752 €	0,059	0 €	213 €	1 539 €
yht.	197280	197280	0							

		Nykyarvo	TMA (koroton)	TMA (korollinen)	Sisäinen korko
Hankintakustannukset	6 000 €	6 000 €	- 6 000 €	- 6 000 €	- 6 000 €
1. vuoden nettotuotto	866 €	817,358	- 5 134 €	- 5 183 €	817 €
2. vuoden nettotuotto	884 €	786,515	- 4 250 €	- 4 396 €	787 €
3. vuoden nettotuotto	901 €	756,835	- 3 348 €	- 3 639 €	757 €
4. vuoden nettotuotto	919 €	728,275	- 2 429 €	- 2 911 €	728 €
5. vuoden nettotuotto	938 €	700,793	- 1 491 €	- 2 210 €	701 €
6. vuoden nettotuotto	957 €	674,348	- 535 €	- 1 536 €	674 €
7. vuoden nettotuotto	976 €	648,901	441 €	- 887 €	649 €
8. vuoden nettotuotto	995 €	624,414	1 436 €	- 263 €	624 €
9. vuoden nettotuotto	1 015 €	600,851	2 451 €	338 €	601 €
10. vuoden nettotuotto	1 035 €	578,178	3 487 €	916 €	578 €
11. vuoden nettotuotto	1 056 €	556,360	4 543 €	1 473 €	556 €
12. vuoden nettotuotto	1 077 €	535,365	5 620 €	2 008 €	535 €
13. vuoden nettotuotto	1 099 €	515,163	6 719 €	2 523 €	515 €
14. vuoden nettotuotto	1 121 €	495,722	7 840 €	3 019 €	496 €
15. vuoden nettotuotto	1 143 €	477,016	8 983 €	3 496 €	477 €
16. vuoden nettotuotto	1 166 €	459,015	10 149 €	3 955 €	459 €
17. vuoden nettotuotto	1 189 €	441,694	11 338 €	4 397 €	442 €
18. vuoden nettotuotto	1 213 €	425,026	12 552 €	4 822 €	425 €
19. vuoden nettotuotto	1 237 €	408,988	13 789 €	5 231 €	409 €
20. vuoden nettotuotto	1 262 €	393,554	15 051 €	5 624 €	394 €
21. vuoden nettotuotto	1 287 €	378,703	16 339 €	6 003 €	379 €
22. vuoden nettotuotto	1 313 €	364,412	17 652 €	6 367 €	364 €
23. vuoden nettotuotto	1 339 €	350,661	18 991 €	6 718 €	351 €
24. vuoden nettotuotto	1 366 €	337,428	20 358 €	7 056 €	337 €
25. vuoden nettotuotto	1 394 €	324,695	21 751 €	7 380 €	325 €
26. vuoden nettotuotto	1 421 €	312,443	23 172 €	7 693 €	312 €
27. vuoden nettotuotto	1 450 €	300,652	24 622 €	7 993 €	301 €
28. vuoden nettotuotto	1 479 €	289,307	26 101 €	8 283 €	289 €
29. vuoden nettotuotto	1 508 €	278,390	27 610 €	8 561 €	278 €
30. vuoden nettotuotto	1 539 €	267,884	29 148 €	8 829 €	268 €
	Yhteensä	14 829 €			9,5723 %
Jäännösarvo	- €	- €			
Tuottojen nykyarvo		14 829 €			
Kustannusten nykyarvo		6 000 €			
Erotus		8 829 €			