



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joonas Lassila

PIENVESIVOIMAN KANNATTAVUUS  
POHJANMAAN MAAKUNNASSA

Tekniikka  
2020

## TIIVISTELMÄ

|                    |  |
|--------------------|--|
| Tekijä             | Joonas Lassila                                     |
| Opinnäytetyön nimi | Pienvesivoiman kannattavuus Pohjanmaan maakunnassa |
| Vuosi              | 2020   |
| Kieli              | suomi  |
| Sivumäärä          | 34   |
| Ohjaaja            | Ossi Koskinen                                      |

---

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää pienvesivoiman mahdollisuuksia ja kannattavuutta Pohjanmaan maakunnassa. Opinnäytetyössä tutustutaan nykyisiin laitoksiin sekä huomioidaan myös uusien laitosten rakentamisen mahdollisuus. Opinnäytetyössä lasketaan pienvesivoiman investointi- ja käyttökulut ja niiden perusteella pohditaan, löytyykö Pohjanmaan maakunnasta rakennuskohdetta pienvesivoimalalle, jossa saavutetaan riittävä kannattavuus huomioiden energiasta saatavat tuotot.

Opinnäytetyön keskeiset käsitteet ovat pienvesivoimatekniikka, turbiinityypit, kannattavuus sekä Pohjanmaan maakunta. Opinnäytetyön tavoitteeseen pääsemiseksi käytettiin potentiaalisen tehon laskentakaavaa sekä tarkasteltiin investointi-, käyttöönotto- ja huoltokustannuksia vesivoimalaitoksille. Myös energian hinnasta tehtiin tulevaisuuden arviot. Teoriatietoa haettiin tietokannoista kuten ScienceDirectista sekä internetistä.

Opinnäytetyö osoittaa, että Pohjanmaan maakunnassa on potentiaalisesti kannattavia kohteita pienvesivoimalle. Etenkin molemmat uudistetut kohteet eli Hiirikoski sekä Stadsfors vaikuttavat potentiaalisilta. Mahdollisia paikkoja löytyi myös uusien laitosten rakentamiselle, eikä kannattavuus niissäkään ole huono, jos ajatellaan tulevaisuutta ja uusiutuvan energian lisäämistä.

## ABSTRACT

|                    |   |
|--------------------|---|
| Author             | Joonas Lassila  |
| Title              | Profitability of Small Scale Hydropower in Ostrobothnia |
| Year               | 2020  |
| Language           | Finnish   |
| Pages              | 34  |
| Name of Supervisor | Ossi Koskinen   |

---

The purpose of this bachelor's thesis is to find out the possibilities and profitability of small scale hydropower in the province of Ostrobothnia. The thesis introduces the existing departments and also takes into account the possibility of building new departments. In the thesis, the investment and operating costs of small scale hydropower are calculated and based on them, it is considered whether there is a construction site for a small scale hydropower plant in Ostrobothnia, where sufficient profitability is achieved, taking into account the income from energy.

The main keywords of this bachelor's thesis are small scale hydropower technology, turbine types, profitability and the province of Ostrobothnia. In order to reach the goal of the thesis, the potential power calculation formula was used and the investment, operation and maintenance costs for hydropower plants were examined. Future estimates were also made of the price of energy. Theoretical information was retrieved from databases such as ScienceDirect and the Internet.

The thesis shows that there are potentially profitable sites for small scale hydropower in the province of Ostrobothnia. In particular, both renovated sites, Hiirikoski and Stadsfors, appear to be potential. Potential places were also found for the construction of new plants, and profitability is not bad in them either, considering the future and increasing renewable energy.

---

Keywords      small scale hydropower, hydroelectric power plant, turbines, Ostrobothnia

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | JOHDANTO.....                             | 7  |
| 2     | PIENVESIVOIMATEKNIikka.....               | 9  |
| 2.1   | Turbiinityypit.....                       | 9  |
| 2.2   | Impulssiturbiinit.....                    | 10 |
| 2.2.1 | Pelton-turbiini.....                      | 10 |
| 2.2.2 | Turgo-turbiini.....                       | 11 |
| 2.3   | Reaktioturbiinit.....                     | 11 |
| 2.3.1 | Potkuriturbiinit.....                     | 11 |
| 2.3.2 | Bulb-turbiini.....                        | 11 |
| 2.3.3 | Kaplan-turbiini.....                      | 12 |
| 2.3.4 | Francis-turbiini.....                     | 13 |
| 3     | KANNATTAVUUDEN PERUSTEET.....             | 15 |
| 3.1   | Toteutuskustannukset.....                 | 15 |
| 3.2   | Hankkeen elämä.....                       | 15 |
| 4     | PIENVESIVOIMA POHJANMAAN MAAKUNNASSA..... | 17 |
| 4.1   | Nykyiset laitokset.....                   | 17 |
| 4.2   | Jokien potentiaali.....                   | 19 |
| 5     | PIENVESIVOIMAN RAKENTAMINEN.....          | 20 |
| 5.1   | Laki.....                                 | 20 |
| 5.2   | Vesivoima ja ympäristö.....               | 20 |
| 6     | POTENTIAALIN LASKENTA.....                | 22 |
| 6.1   | Teho.....                                 | 22 |
| 6.2   | Laitoksen investointihinta.....           | 23 |
| 6.3   | Energia.....                              | 24 |
| 6.4   | Rakentamattomat kohteet.....              | 26 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 6.4.1 | Båskfors.....                             | 26 |
| 6.4.2 | Gunnarsfors.....                          | 27 |
| 6.5   | Rakennettujen kohteiden uudistaminen..... | 28 |
| 6.5.1 | Hiirikoski.....                           | 28 |
| 6.5.2 | Stadsfors.....                            | 29 |
| 7     | JOHTOPÄÄTÖKSET.....                       | 31 |
|       | LÄHTEET.....                              | 33 |

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

|  |    |
|--|----|
| <b>Kuva 1.</b> Pelton-turbiini.....  | 10 |
| <b>Kuva 2.</b> Bulb-turbiini.....  | 12 |
| <b>Kuva 3.</b> Kaplan-turbiinin komponentit.....   | 13 |
| <b>Kuva 4.</b> Francis-turbiini.....   | 14 |
| <b>Kuva 5.</b> Suomen vesivoimalaitokset, Pohjanmaan maakunta.....                         | 18 |
| <b>Kuva 6.</b> Sähkön hinta normaalivuosina.....   | 25 |
| <b>Kuva 7.</b> Sähkön hinta eri sääolosuhteissa.....                                       | 25 |
|  |    |
| <b>Taulukko 1.</b> Joen tehokertoimet.....   | 22 |
| <b>Taulukko 2.</b> Investointihinta rakentamattomille ja jo rakennetuille laitoksille. ... | 24 |
| <b>Taulukko 3.</b> Båskforsin laskelmat. ....  | 26 |
| <b>Taulukko 4.</b> Gunnarsforsin laskelmat. ....   | 27 |
| <b>Taulukko 5.</b> Hiirikosken laskelmat .....   | 29 |
| <b>Taulukko 6.</b> Stadsforsin laskelmat .....   | 30 |

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan pienvesivoiman kannattavuutta Pohjanmaan maakunnassa. Halu rakentaa ja uudistaa pienvesivoimaa on kasvussa, kun etsitään korvaavia energiamuotoja fossiilisten polttoaineiden tilalle. Potentialiaali on suuri pienvesivoimalle ympäri Suomen, onhan Suomi kuuluisa vesistöistään. Tässä opinnäytetyössä käydään läpi pienvesivoimatekniikkaa ja eri turbiinityyppejä. Turbiinityyppejä on erilaisia ja jotkut näistä sopivat Pohjanmaan maakuntaan paremmin kuin toiset. Turbiinien valinta siis riippuu vesistöjen virtaamasta ja putouskorkeudesta laitoksilla. Vesivoimalaitoksen kannattavuutta tutkitaan investointisummalla, rakentamisen jälkeisillä käyttöönotto- ja huoltokustannuksilla sekä tuotetusta energiasta saatavalla tuotolla. Energiantuotanto ja käyttöönotto- ja huoltokustannukset lasketaan tietyltä ajalta, jolloin laitokseen ei ole vielä tehty mahdollisia lisäinvestointeja. Näin saadaan potentiaalinen tieto siitä, onko vesivoima kannattavaa Pohjanmaan maakunnassa.

Vesivoimalaitoksen rakentaminen on luvanvarainen hanke, ja enemmän uudistetaan vanhoja vesivoimalaitoksia kuin rakennetaan uusia laitoksia. Suuri osa potentiaalista sijaitseekin jo rakennetuissa laitoksissa. Päätös vesivoimalaitoksen rakentamisesta perustuu liiketaloudelliseen tarkasteluun, mutta rakennuslupa perustuu ympäristönäkökohtiin. Kannattavuuden tutkiminen siis auttaa mahdollisesti myös luvan saamiseen rakentamiselle. Suurin vaikutus ympäristöpuolella vesivoimaloita ajatellessa on kalatalous. Kalatalous on suuri osa investointihintaa vesivoimaloille, puhutaan jopa kymmenestä prosentista. Tänä päivänä vesivoimalaitoksille on rakennettu kalateitä, tai autettu kalojen istutuksissa esimerkiksi altaisiin, jolloin kalatalousvelvoite hoituu.

Pohjanmaan maakunnasta löytyy jo entuudestaan vesivoimaa tuottavia laitoksia, joiden teho on kohtuulliseen pientä verrattuna muihin Suomen alueella sijaitseviin vesivoimaloihin. Tämä johtuu vesistöjen vähäisyydestä. Maakunnassa on muu-

tama isompi joki, kuten Lapuanjoki, Kyrönjoki, Ähtävänjoki ja Perhonjoki. Kyseisistä joista on otettu hyöty irti ja niiden varsille on rakennettu vesivoimaloita. Joet jatkuvat muihinkin läheisiin maakuntiin, joissa on myös rakennettu vesivoimaloita näiden jokien varsille. Koskien tyypillinen käyttäytyminen Pohjanmaan maakunnassa on kova virtaama ja pieni putouskorkeus. Koskissa on siis potentiaalia, mutta osa potentiaalista on suojeltua vesistöä. Tulevaisuudessa suojeltu vesistö voi muuttua suojelemattomaksi, jos energiapula uusiutuvasta energiasta vaatii vesistöjen käytön. Maakunnassa ei ole rakennettuna vesivoimaa järvien vesistöihin.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään aikaisemmin rakennettuihin laitoksiin, mutta tutkitaan myös mahdollista potentiaalia uusien laitosten rakentamiselle ja selvitetään, mikä on paras kohde kannattavuudeltaan. Kohteiksi valitaan muutama vaihtoehto, jotka näyttävät potentiaalisimmilta. Kannattavuuden selvittämiseksi opinnäytetyössä pyritään saamaan mahdollisimman realistinen arvio siitä, onko kohde potentiaalinen, kuten energiasta saatavat hinta-arviot tulevaisuudessa ja laskukaavat potentiaaliselle teholle laitoksessa.



## 2 PIENVESIVOIMATEKNIikka

Pienvesivoiman rakentamisesta aiheutuu päästöjä, mutta rakentamisen jälkeen pienvesivoima on päästötöntä ja uusiutuvaa energiaa, joka on kestävää eikä ole säästä riippuvainen. Pienvesivoima tarjoaa keinon energiatarpeeseen, sekä mahdollisuuden yrittäjyyteen ja työllistämiseen, kun fossiilisia polttoaineita tullaan vähentämään yhä enemmän. Pienvesivoimalat ovat tärkeitä linkkejä pienillä paikkakunnilla, joissa sähkön saantivarmuus ei ole aina taattua. Tämän myötä Pohjanmaan maakunta olisi otollinen paikka pienvesivoiman rakentamiselle. Paikalliset voimalat sopeutuvat myös hyvin ympäristöönsä, joten maisemakuva ei paljoa muutu eikä ekologisia ongelmia synny. Pienvesivoimalaitoksien tyypillinen käyttöikä on noin 60–100 vuotta. Vesivoimaa luokitellaan tehonsa mukaan eri luokkiin. Kun puhutaan pienvesivoimasta, on teho tällöin yleensä yhdestä kymmeneen megawattiin. /1, 3/

Pienimuotoinen vesivoimalaitos tuottaa kineettistä energiaa liikkuvan veden avulla, kun se kulkee turbiinin läpi. Monissa pienvesivoimaloissa on rakennettu ”jokirata”, jolla pyritään säilyttämään joen luonnollinen virtaus. Tällöin ei ole välttämätöntä rakentaa patoa, jolloin säästyään negatiivisilta asioilta kuten tulvilta sekä veden lämpötila- ja koostumuseroilta. Pato voi kuitenkin olla hyvä asia Pohjanmaalla, kun kevättulvat iskevät ja veden säätelyyn voidaan vaikuttaa. /2/

### 2.1 Turbiinityypit

Turbiinit luokitellaan kahteen pääluokkaan: impulssi- ja reaktioturbiini. Impulssiturbiineita käytetään suurissa putouskorkeuksissa, kun muutamalla metrillä ei ole enää suurta merkitystä. Juoksupyörää pyöritetään suuttimilla, johon luodaan paine vesipatsaan avulla. Vesipatsas antaa vedelle suuren virtausnopeuden. Reaktioturbiineja käytetään matalimmissa putouskorkeuksissa, joissa virtaus on kova. Vesivoiman kannattavuuden toteuttamiseksi Pohjanmaan maakunnassa suositel-

tava turbiinityyppi on reaktioturbiini. Juoksupyörän lavat sijoitetaan reaktioturbiineissa suoraan vesivirtaan, tällöin lapojen liike ei ole riippuvainen suuttimista tulevasta paineesta. /4/

## 2.2 Impulssiturbiinit

### 2.2.1 Pelton-turbiini

Pelton-turbiineja (ks. Kuva 1) käytetään suurien putouskorkeuksien omaavilla vesivoimalaitoksilla, jopa kahdestakymmenestä sataan metriin. Tuotettuun tehoon verrattuna turbiini on pienikokoinen ja täten helposti asennettava, koska veden virtausnopeudet eivät ole kovin suuria. Pelton-turbiini tarvitsee kuitenkin korkean paineen veden tulokanavan putkeen, jonka suunnitteleminen ja asentaminen on haastavaa ja kallista. Juoksuratasta pyörittää yksi tai useammasta putkesta tuleva vesisuihku. Vesisuihku törmää juoksurattaassa oleviin kauhoihin ja saa liikkeen aikaan. Pelton-turbiinin käyttö Pohjanmaan maakunnan vesistöihin ei sovellu tarvittavan putouskorkeuden takia. /4, 5/



**Kuva 1.** Pelton-turbiini. /21/

### **2.2.2 Turgo-turbiini**

Turgo-turbiini on muunnelma Pelton-turbiinista, jonka muoto muistuttaa tuulettimen siivekettä, jossa on suljetut reunat. Turgo-turbiini pystyy käsittelemään suurempaa virtausnopeutta, kuin samankokoinen Pelton-turbiini. Tämä johtuu siitä, että tuleva vesisuihku ei törmää vesisuihkuun, joka syntyy poistuessa turbiinista. Juoksurattaassa vesi levitetään toiselta puolelta, josta se kulkee rataan terien poikki ja lopuksi vesi poistuu toiselta puolelta ratasta. Turgo-turbiineita käytetään siis keskikokoisilla putouskorkeuksilla ja nopealla virtausnopeudella. /4, 5/

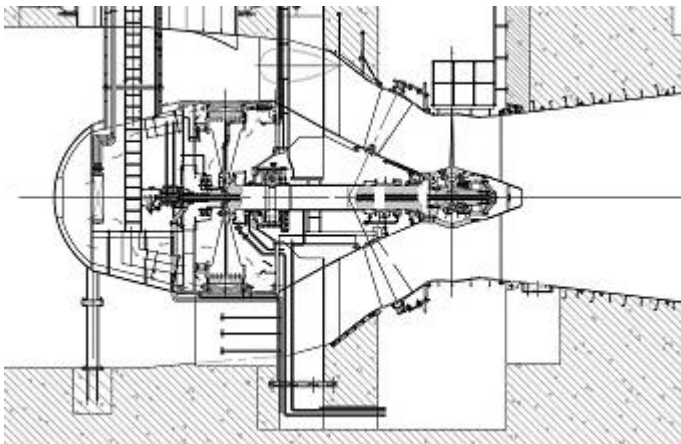
## **2.3 Reaktioturbiinit**

### **2.3.1 Potkuriturbiinit**

Potkuriturbiinien juoksurattaassa on yleensä siivekkeitä kolmesta kuuteen, joihin vesi on kosketuksissa koko ajan. Painevaihteluita ei potkuriturbiineissa ole, sillä muuten juoksija olisi epätasapainossa. Juoksurattaan terät voivat olla kiinteitä, tai niitä voidaan säädellä tarpeen mukaan. Potkuriturbiineiden alaisuuteen lukeutuu useita erilaisia variaatioita. /4/

### **2.3.2 Bulb-turbiini**

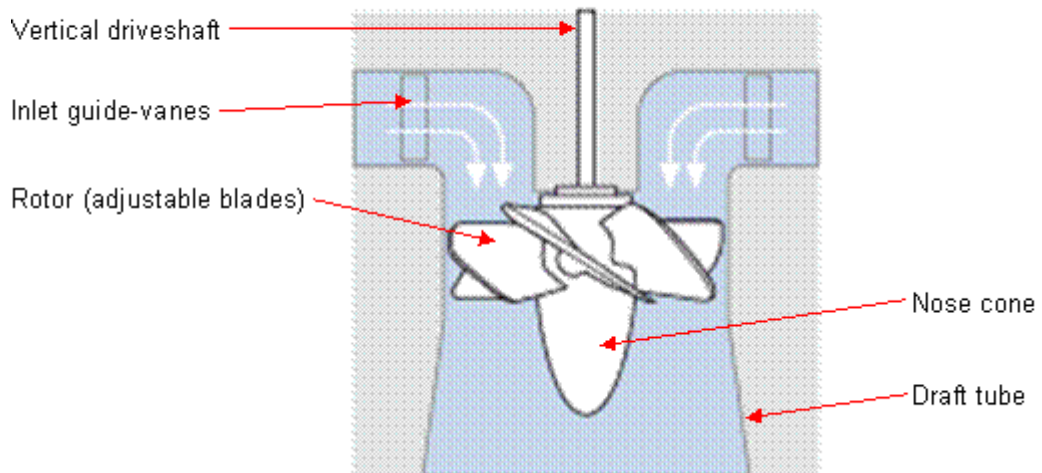
Bulb-turbiinissa (ks. Kuva 2) generaattori on kapseloitu ja suljettu teräsrunkoon, joka on virtaviivainen ja vesitiivis. Teräsrunko on vesikanavan keskellä ja asennettu vaakatasoon. Bulb-turbiinissa on säädettävä potkuri, joka sijaitsee virtauksen loppupäässä. Vesi tulee sisään ja poistuu Bulb-turbiinista hyvin pienellä suunnanmuutoksella. Bulb-turbiinin rakenteen ansiosta se antaa joustavuutta voimalaitossuunnittelussa. Bulb-turbiinia asennettaessa on kuitenkin huomioitava sisäinen jäähdytys ja ilmanvaihto, koska kyseessä on suljettu kapseli. Bulb-turbiini sopii käytettäväksi matalissa putouskorkeuksissa, koska potkuriturbiinit voivat saavuttaa erittäin suuren pyörimisnopeuden. Bulb-turbiini on siis vartenotettava vaihtoehto ajatellessa Pohjanmaan maakunnan vesistöjä, sillä se soveltuu jokien varsille. /6, 16/



**Kuva 2.** Bulb-turbiini /6/

### 2.3.3 Kaplan-turbiini

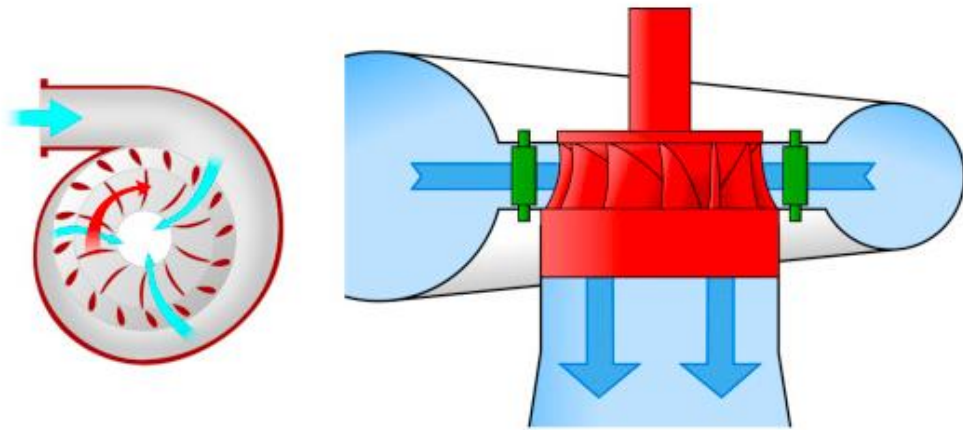
Kaplan-turbiini (ks. Kuva 3) on yksinkertainen potkuri, jossa on säädettävät siivekkeet. Säädettävät siivekkeet takaavat tasaisen hyötysuhteen, kun virtaus voidaan kohdistaa mahdollisimman optimaalisesti. Siivekkeet ovat putken sisällä, jossa vesi virtaa vain yhteen suuntaan. Virran suuntaus ei muutu läppäisteessään roottorin, koska turbiini on pystysuunnassa. Kaplan-turbiinin muoto on suunniteltu kartiomaiseksi, jotta vesi ei pääse synnyttämään pyörrettä turbiinin ympärille virratessaan siitä läpi. Turbiini voidaan asettaa lepotilaan sulkemalla tuloaukon läpät. Näin voidaan myös säädellä virtauksen määrää turbiiniin. Kaplan-turbiini sopii parhaimmillaan mataliin putouskorkeuksiin, joissa on kova virtausnopeus samasta syystä kuin Bulb-turbiini. Turbiinia voitaisiin siis käyttää hyvinkin Pohjanmaan maakunnan pienvesivoiman suunnittelussa. /15/



**Kuva 3.** Kaplan-turbiinin komponentit. /15/

#### 2.3.4 Francis-turbiini

Francis-turbiini (ks. Kuva 4) on erittäin joustava. Turbiinia voidaan räätälöidä putouskorkeuksien mukaan tuottamaan energiaa. Turbiinin on oltava toiminnan aikana upotettuna. Francis-turbiinia kutsutaan sekavirtaiseksi turbiiniksi. Ominaisuuksiin kuuluu veden suunnanmuutos, kun se kulkee turbiinin läpi. Vedestä saatavan tehon lisäämiseksi turbiinin ympärille on rakennettu spiraalimainen kotelo, joka ohjaa virtauksen kaikkiin lapoihin tasaisesti. Francis-turbiinia voidaan käyttää matalista putouskorkeuksista korkeisiin. Korkeudet ovat tällöin riippuvaisia veden virtauksesta. Tämä johtuu vesipatsaaseen aiheutuvasta paineesta. Korkeissa putouskorkeuksissa virtauksen on oltava suuri ja matalissa korkeuksissa pieni. Parhaimman hyötysuhteen Francis-turbiinista saa silloin, kun putouskorkeus on 100–300 metriä. Tämä tarkoittaa sitä, että virtauksen on oltava myös suurta. /17/



**Kuva 4.** Francis-turbiini. /17/

### **3 KANNATTAVUUDEN PERUSTEET**

Hankkeen kannattavuutta lasketaan toteuttamisen ja tuottojen erotuksella. Kannattavuus lasketaan 50–80 vuoden ajalta. Vesivoimalaitos kuitenkin tarvitsee uusintainvestointeja elämänsä aikana, joka on tänä päivänä noin 100 vuotta. Uusintainvestointi tapahtuisi tällöin puolessa välissä elinkaarta, eli noin 50 vuoden jälkeen rakentamisesta. Sähkön hinnaksi lasketaan seuraavaan 10 vuoden hintaennuste. /7, 18/

#### **3.1 Toteutuskustannukset**

Vesivoimalaitoksen toteuttaminen vaatii aluksi tarvittavan maa- ja vesialueen. Hankkeen suunnittelukustannuksiin kuuluvat osaavien ihmisten palkkaamiset, sekä mahdolliset ympäristöselvitykset ja lupaprosessit. Rakentaminen itsessään sisältää vesivoimalaitoksen komponentit sekä padon rakentamisen. Mahdollisia kuluja tulevat olemaan kanavien ja sähkönsiirtoyhteyden rakentaminen, jos vesivoimalaitosta ei voida sijoittaa lähelle sähköverkkoa. Pienvesivoima voi kuitenkin saada valtion tukea kauppaja- ja teollisuusministeriön energiatuella. Enimmillään tuen suuruus on 40 prosenttia toteutuksen hinnasta. Tämä edellyttää kuitenkin sitä, että laitoksessa on hyödynnettynä uutta vesivoimateknologiaa. /7/

#### **3.2 Hankkeen elämä**

Hankkeen toiminnan aikana syntyy tuottoja sekä kustannuksia. Tärkeimmät tulonlähteet vesivoimalaitokselle ovat tuotettu energia ja säätötehon arvo, sekä tarkastelujakson aikana saavutetut muut tuotot, esimerkiksi kantaverkkoyhtiölle myytävät palvelut. Kantaverkkoyhtiölle myytävillä palveluilla tarkoitetaan loistehoreservejä ja teknisiä reservejä, joita voi myydä vain yli 10 MW voimalaitoksesta. Näin ollen pienvesivoimaloiden kapasiteetti ei siihen välttämättä riitä. Kuluja syntyy kalusteiden huollosta ja tarpeellisista uusintainvestoinneista hankkeen aikana, kun joku laite tulee tiensä päähän. Lakivelvoitteisia kuluja liittyvät ympäristöasioihin,

kuten kalakantojen hoitamiseen. Paikallinen sähkönsiirtoyhtiö perii myös kustannuksia sähkönsiirrosta. Vesivoimalaitoksesta maksetaan kiinteistövero lain mukaisesti. Kustannuksista suurimman osan muodostavat kiinteät rakennelmat, joita löytyy jokaisesta vesivoimalasta. Voidaan siis todeta, että mitä enemmän sähköä voimalaitos tuottaa, sitä pienemmäksi jäävät kiinteistöveron rasitteet. Pienvesivoimaloille kiinteistövero on siis prosentuaalisesti suurempi rasite kuin suurille vesivoimaloille, joiden teho on yli 10 MW ja kannattavuuteen voidaan tarvita valtion tuki. /7/



## **4 PIENVESIVOIMA POHJANMAAN MAAKUNNASSA**

Pohjanmaan maakunta on vanhaa merenpohjaa, joten maisema on tyyliltään laajaa ja laakeaa ja täten sijoittuu lakeus- ja rannikkovyöhykkeelle. Korkeuseroja ei täten paljoa ole ja kun katsotaan Suomen vesivoimalat karttaa, voidaan todeta, että Pohjanmaan maakunnassa on vesivoimaloita huomattavasti vähemmän muuhun Suomeen nähden. Korkeuserot vaikuttavat suoranaisesti vesistöjen pudotuskorkeuksiin. Kuten kuvasta 5 voidaan havaita, Pohjanmaan maakunnassa on kuusi pienvesivoimalaa, jotka sijaitsevat kaikki pohjoisella puolella maakuntaa. Maakunnassa on myös viisi minivesivoimalaa, joiden teho on alle 1 MW. /7, 8/

### **4.1 Nykyiset laitokset**

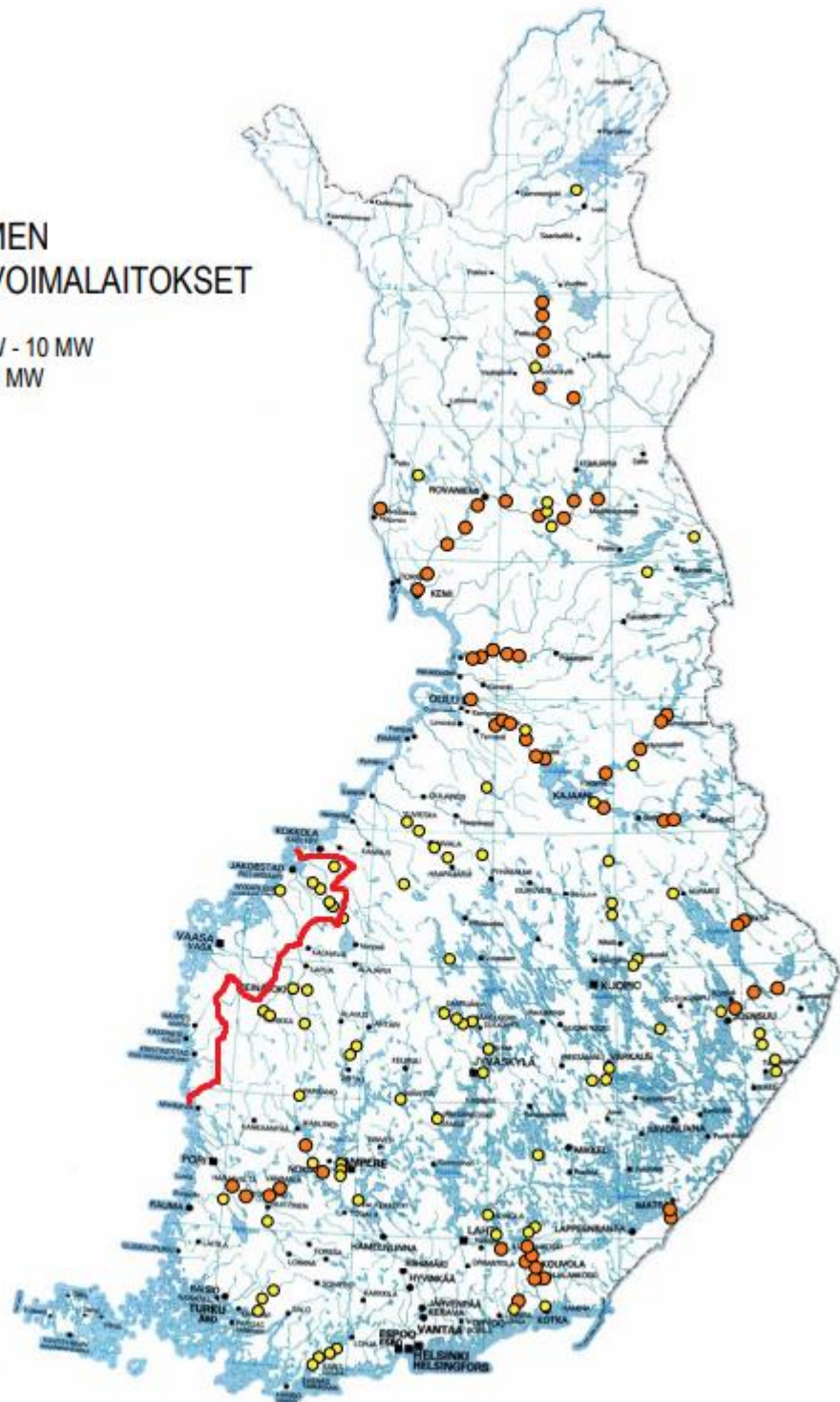
Suurin voimalaitos Pohjanmaan maakunnassa on Kaitforsin voimalaitos, joka sijaitsee Kruunupyyssä, Perhonjoen vesistössä. Laitoksen teho on 5–9 MW.

Neljä voimalaitoista sijaitsee Ähtävänjoen varrella. joiden teho on 1–4 MW. Näistä laitoksista kolme ovat Pedersöressä: Björkforsin vesivoimalaitos, Hattarin vesivoimalaitos sekä Värnumin vesivoimalaitos. Viimeinen Ähtävänjoen laitos on Essee/Ähtävässä, joka on nimeltään Långforsin vesivoimalaitos.

Kuudes pienvesivoimalaitos Pohjanmaan maakunnassa sijaitsee Uusikaarlepyyssä, joka on teholtaan myös 1–4 MW. Laitoksen nimi on Stadsforsenin vesivoimalaitos ja se on Uusikaarlepyynjoen varressa. /8/

## SUOMEN VESIVOIMALAITOKSET

- 1 MW - 10 MW
- yli 10 MW



Kuva 5. Suomen vesivoimalaitokset, Pohjanmaan maakunta /7/.

## 4.2 Jokien potentiaali

Perhonjoki: Potentiaalia lisätä vesivoimaa 15 MW, joista suojeltua vesistöä 7 MW ja suojelematonta 8 MW. Perhonjoen muut voimalaitokset, jotka eivät sijaitse Pohjanmaan maakunnassa, ovat teholtaan alle 1 MW. Pohjanmaan maakunnassa Perhonjoen potentiaalisin paikka on Kaitforsissa, jossa sijaitseekin Kaitforsin voimalaitos. Virtaama on  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  ja putouskorkeus 15 metriä. Pohjanmaan maakunnassa Perhonjoen virtaama on hyvällä tasolla, mutta putouskorkeutta jouduttaiisiin rakentamaan keinotekoisesti tarvittavan potentiaaliin saamiseksi. /9, 7, 14/

Ähtävänjoki: Potentiaalia lisätä vesivoimaa 8 MW, joista suojeltua vesistöä 7 MW ja suojelematonta 1 MW. Ähtävänjoen paras kohde Pohjanmaan maakunnassa on Pedersören Lamasjönissä, jossa sijaitsee Björkforsin voimalaitos. Virtaama on  $24 \text{ m}^3/\text{s}$  ja putouskorkeus 7,2 metriä. /7, 14/

Kyrönjoki: Vesilain nojalla Kyrönjoessa kielletty rakentaminen uusille voimalaitoksille keski- ja alajuoksuilla. Potentiaalia kuitenkin saada 20 MW teho joesta. Yksi minivesivoimala entuudestaan: Hiirikosken vesivoimala 0,5 MW. Hiirikosken voimalan arvot ovat parhaat Kyrönjoella Pohjanmaan maakunnassa, jossa virtaama on  $39 \text{ m}^3/\text{s}$  ja putouskorkeus 4,2 metriä. Toinen potentiaalinen kohde on Båskforsissa, jossa virtaama on  $41 \text{ m}^3/\text{s}$  ja putouskorkeus 2,5 metriä. Pohjanmaan maakunnassa Kyrönjoen virtaama on potentiaalisemmalla tasolla, kuin Etelä-Pohjanmaalle siirryttäessä. /7, 14/

Lapuanjoki: Lisättävää potentiaalia Lapuanjoelle on laskettu 7 MW. Näistä ei ole suojeltua vesistöä yhtään vaan kaikki ovat suojelematonta. Pohjanmaan maakunnassa Lapuanjoki sijoittuu Uusikaarlepyyn alueelle, jossa sijaitseekin Stadforsin voimalaitos. Virtaamaa tällä alueella on  $31 \text{ m}^3/\text{s}$  ja putouskorkeutta parhaimmillaan neljä metriä. Toinen potentiaalinen kohde sijaitsee Gunnarsforsissa, jossa virtaama on  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  ja putouskorkeus 3,6 metriä. /7, 14/

## 5 PIENVESIVOIMAN RAKENTAMINEN

### 5.1 Laki

Vesivoimalaitoksen rakentaminen on aina luvanvarainen hanke. Hankkeiden käsittelyssä perehdytään edunsaajaan, tai edun menettäjään. Etu on oltava huomattava, jotta tappiot, joita rakentamiseen sisältyy ovat minimaalisia. Hyödyn tai menetyksen suuruus voidaan laskea raha-arvona tässä projektissa, kun rakennetaan vesivoimaa. Rakentaminen ei saa kuitenkaan vaarantaa ihmisten turvallisuutta tai ympäristön oloja. Jos vesivoimalassa rakennetaan patoa, täytyy selvittää tulvariskit ja niiden hallinta. Luvan saatua hanke on aloitettava neljässä vuodessa ja päättyvä kymmenessä vuodessa. Veden seisottaminen ja määrättyjen korkeuserojen rikkominen ovat kiellettyjä asioita. Kun rakennetaan pienvesivoimaa, voidaan todeta, että patoaminen ei ole välttämätöntä, joten veden seisottamisriskiä ei synny. Rakentamista ei välttämättä saada hoidettua niin, että kalastojen ekolokeerot säilyisivät. Tällöin hankkeen edustaja on velvoitettu ehkäisemään, tai vähentämään negatiivisia tekijöitä kalojen kannalta. Jos negatiivisia tekijöitä ei saada poistettua, täytyy edustajan maksaa kalatalousmaksu viranomaisille. Kalatalousveloitteena voidaan pitää rakennettua kalatietä tai kalojen istuttamista altaisiin.

/12/

### 5.2 Vesivoima ja ympäristö

Vesistö ja luonnonolosuhteet muuttuvat, kun rakennetaan vesivoimaa. Rytmitys vedessä muuttuu säännöstelyn yhteydessä. Rytmien muutos vaikuttaa veden virtaukseen sekä korkeuteen. Rytmitys voi kuitenkin myös olla hyvä asia tulvien kannalta, kun vettä voidaan säännöstellä tiettyihin paikkoihin. Kalojen liikehdintä estyy padon, tai vesivoimalan seurauksena. Tätä voidaan pitää kaikkein negatiivisimpana asiana ympäristön suhteen, kun puhutaan vesivoimasta. Liikehdinnän estäminen tuottaa vaelluskaloille ongelmia palata kutupaikoilleen, joten kanta vähenee. Hyvänä pelastuksena vesivoimaloiden viereen on rakennettu kalateitä, joita

pitkin kalat voivat palata tuttuun ympäristöönsä hedelmöittymään. Kalateihin täytyy kuitenkin panostaa keräämällä kokemuksia kalojen toimenpiteistä ennen vesivoimalan rakentamista, jotta kalat sopeutuisivat uuteen reittiin ongelmitta. Kalatiet eivät kuitenkaan ratkaise yksin ongelmaa, vaan tarvitaan myös kala-altaita, joihin istutetaan tarvittavia lajeja sekä kalastukseen on oltava rajoituksia. /10, 11/

## 6 POTENTIAALIN LASKENTA

### 6.1 Teho

Vesivoimalaitoksien tehon laskemiselle löytyy yleinen laskukaava, jossa tunnetaan joki, sekä komponenttien hyötysuhde entuudestaan. Laskentakaava löytyy myös suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa oleville vesivoimalaitoksille, kun hyötysuhdekertoimista ei olla täysin varmoja. Tätä laskentakaavaa käytetään tässä opinnäytetyössä ja käytän siitä nimeä ”Potentiaalisen tehon laskentakaava”. Keskivirtaama ja putouskorkeus ovat tällöin otettu laskukaavaan koskiluettelosta. Hyötysuhteiden kertoimeen vaikuttaa tällöin joen arvioitu tehokokoluokka. /7/

Hyötysuhdekertoimet suunnittelemattomille laitoksille joen potentiaalisen tehokokoluokan mukaan, kuten taulukossa 1 on esitetty.

**Taulukko 1.** Joen tehokertoimet. /7/

| Kerroin | Joen tehokokoluokka |
|---------|---------------------|
| 8,6     | yli 1 MW            |
| 8,2     | 500–1000 kW         |
| 7,2     | 0–500 kW            |

Tehon laskentaan vaikuttavia arvoja:

$\eta_{\text{kok}}$  = komponenttien hyötysuhteiden tulo

$P$  = laitoksen teho [kW]

$\rho$  = veden tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  = maan vetovoiman kiihtyvyys [ $m/s^2$ ]

$Q$  = veden virtausmäärä [ $m^3/s$ ]

$h$  = putouskorkeus [m]

Yleinen tehon laskentakaava:  $P = \eta_{\text{kok}} * \rho * g * Q * h$

Potentiaalisen tehon laskentakaava:  $P = \text{Hyötysuhdekerroin} * Q * h$  /7/

## 6.2 Laitoksen investointihinta

Rakentamattomille ja jo rakennetuille vesivoimalaitoksille investointihinta on eri. Rakennetuilla laitoksilla kiinteät rakennelmat ovat jo olemassa, kuten pato ja koneasema, tästä syystä investointi hinta on pienempi. Hinta molemmissa tapauksissa perustuu siihen, kuinka paljon yhden kilowatin rakentamisen on arvioitu kuskantavan. Hajonta hinnoissa on suuri, kun putouskorkeus on alle viisi metriä. Investointiarvio perustuu pitkälti putouskorkeuteen. Hinta alkaa tasaantumaan, kun ylitetään 20 metrin putouskorkeus. Pohjanmaan maakunnassa ei kuitenkaan tällaisia laitoksia ole. Käytän keskiarvoa suurempaa investointikustannusarviota, koska Pohjanmaan maakunnassa virtaamat ovat suuria ja putouskorkeudet matalia. Tällöin vaaditaan suuret virtaustiet ja turbiinit ovat kalliimpia. Hypoteesini on, että rakentamattomien ja uudistettujen laitosten tehokokoluokka tässä opinnäytetyössä tulee olemaan 100–1000 kW, tai 1000–10 000 kW. Käyttöönoton jälkeen vesivoimalaitoksissa tulee olemaan käyttöönotto- ja huoltokustannuksia, jotka otetaan huomioon opinnäytetyössä. Vuosittaisten kustannusten hinta määritellään samalla tavalla kuin investointihinta, eli lasketaan kustannus kilowattia kohden. Kustannukset ovat keskiarvallisesti 2,5 % pienvesivoimaloiden investointihinnasta per vuosi. Kustannukset lasketaan tässä opinnäytetyössä viidenkymmenen vuoden ajalta. /13, 19, 23/

**Taulukko 2.** Investointihinta rakentamattomille ja jo rakennetuille laitoksille. /13, 19, 23/

| <b>Tehokokoluokka (kW)</b> | <b>Investointikustannus rakentamattomille laitoksille (€/kW)</b> | <b>Investointikustannus rakennetuille laitoksille (€/kW)</b> |
|----------------------------|--|--|
| 100–1000 kW                | 6000 €   | 3000 €   |
| 1000–10 000 kW             | 4000 €   | 2200 €   |

### 6.3 Energia

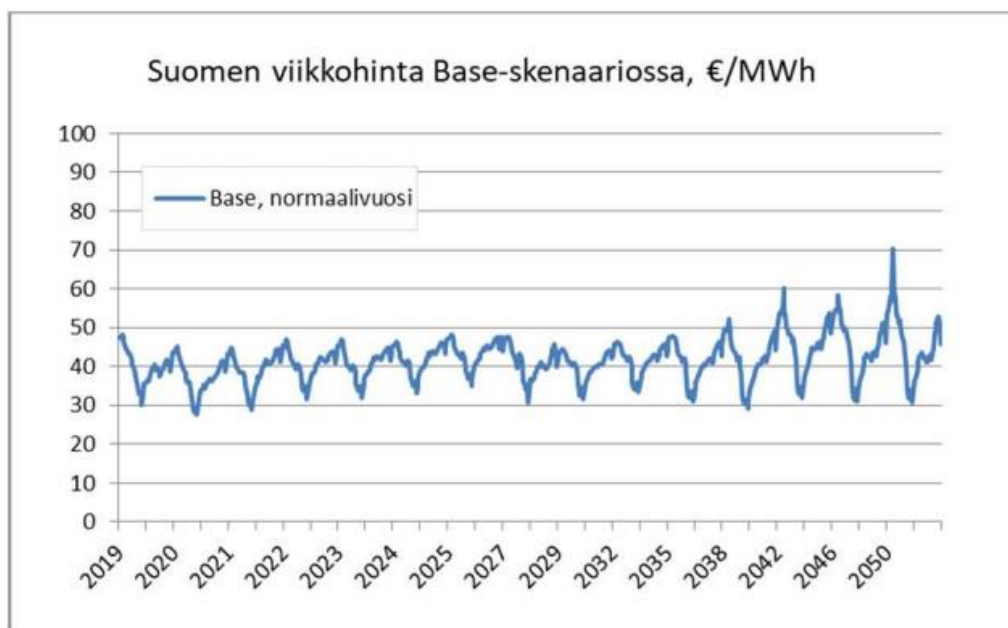
Energian hintaennusteeksi tässä opinnäytetyössä lasketaan seuraavan kymmenen vuoden ennuste. Normaalivuotisessa skenaariossa ei ole huomioitu sääolosuhteita mukaan, jotka vaikuttaisivat sähkön hintaan. Sääolosuhteet kuitenkin vaikuttavat huomattavasti sähkön hintaan. Kun vuosi on kuiva, kylmä ja heikkotuulinen, nousee sähkön hinta. Kun taas sääolosuhteet ovat kosteita, lämpimiä ja tuulisia, laskee sähkön vuosihinta. Silmämääräisellä katselmuksella voidaan todeta, että sähkön hinta nousee hieman kymmenen vuoden aikana. Energiantuotanto lasketaan opinnäytetyössä viidenkymmenen vuoden ajalta kannattavuuslaskelmissa. Aika perustuu siihen, että yleensä laitoksen käyttöikä tehdään uusintainvestointeja, joita ei oteta huomioon. /20/

Vuosienergiatuotannon laskemisessa tässä opinnäytetyössä käytän seuraavaa laskukaavaa:

teho (kW) \* teholliset vuosikäyttötunnit (h)

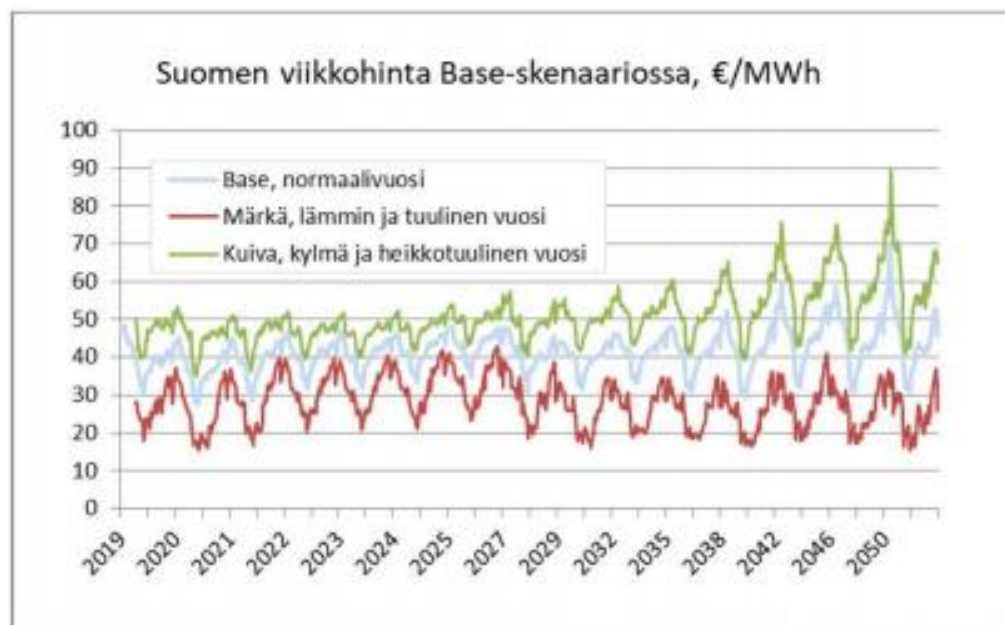
Tehollisia käyttötunteja on vuodessa arvioltaan 4000–5000 tuntia. Teholliset käyttötunnit perustuvat turbiinin osittaiseen käyttöön. Käytän opinnäytetyössä käyttötuntien keskiarvoa, joka on 4500 tuntia. /13/





**Kuva 6.** Sähkön hinta normaalivuosina. /20/

Kuvan 6 perusteella sähkön hintaennusteeksi 2020–2030, saadaan 39,5 €/MWh, jota käytetään opinnäytetyössä potentiaalista kannattavuutta laskettaessa.



**Kuva 7.** Sähkön hinta eri sääolosuhteissa. /20/

## 6.4 Rakentamattomat kohteet

Rakentamattomia vesivoimakohteita on Suomessa edelleen, vaikka suurin osa potentiaalisista voimaloista on jo rakennettu. Rakentamattomien kohteiden rakentamisen esteenä on ympäristönsuojelulliset syyt. /22/

### 6.4.1 Båskfors

Båskfors on kohde Kyrönjoella, jossa ei ole rakennettuna vesivoimalaa, joten puhutaan potentiaalisesta kohteesta. Båskforsissa virtaama on  $41 \text{ m}^3/\text{s}$  ja putouskorkeus 2,5 metriä. Kyrönjoen entuudestaan olevassa voimalassa Hiirikoskella teho on 0,5 MW. Tästä syystä valitsen joen tehokertoimeksi 8,2. /14, 8/

**Taulukko 3.** Båskforsin laskelmat.

| Laskentakaava   | Tulos          |
|---|----------------|
| Potentiaalinen teho<br>$8,2 * 41 \text{ m}^3/\text{s} * 2.5 \text{ m}$                                | 840,5 kW       |
| Vuosienergiatuotanto<br>$840.5 \text{ kW} * 4500 \text{ h}$   | 3782,25 MWh    |
| Energiasta saatava vuosituotto<br>$3782,25 \text{ MWh} * 39,5 \text{ €/MWh}$                          | 149 398,875 €  |
| Energiasta saatava tuotto 50 vuoden ajalta<br>$50 * 149 398,875 \text{ €}$                            | 7 469 943.75 € |
| Laitoksen investointikustannus<br>$6000 \text{ €} * 840.5 \text{ kW}$                                 | 5 043 000 €    |
| Laitoksen käyttöönotto- ja huoltokustannukset 50 vuoden ajalta<br>$5 043 000 \text{ €} * 2.5 \% * 50$ | 6 303 750 €    |

Kuten taulukosta 3 saadaan selville, Båskforsin vesivoimalaitoksen kustannukset ylittävät energiasta saatavan tuoton 50 vuoden ajalta. Rakentaminen ei olisi taloudellisesti kannattavaa tältä ajalta.

#### 6.4.2 Gunnarsfors

Gunnarsfors on kohde Uusikaarlepyyssä, jossa virtaama on heikompi, kuin muualla Pohjanmaalla, mutta putouskorkeutta löytyy enemmän. Kohteessa virtaama on 15 m<sup>3</sup>/s ja putouskorkeus 3,6 metriä. Lähellä Gunnarsforsia sijaitsee Stadforsin voimalaitos, jonka teho on 1–4 MW, täten valitsen joen tehokertoimeksi 8,6. /14, 8/

**Taulukko 4.** Gunnarsforsin laskelmat.

| Laskentakaava   | Tulos       |
|---|-------------|
| Potentiaalinen teho<br>8,6*15 m <sup>3</sup> /s*3,6 m                                     | 464.4 kW    |
| Vuosienergiatuotanto<br>464.4 kW * 4500 h   | 2089,8 MWh  |
| Energiasta saatava vuosituotto<br>2089,8MWh* 39,5 €/MWh                                   | 82 547.1 €  |
| Energiasta saatava tuotto 50 vuoden ajalta<br>50 * 82 547.1 €                             | 4 127 355 € |
| Laitoksen investointikustannus<br>6000 € *464.4kW   | 2 786 400 € |
| Laitoksen käyttöönotto- ja huoltokustannukset 50 vuoden ajalta<br>2 786 400 €* 2.5 % * 50 | 3 483 000 € |

Kuten taulukosta 4 saadaan selville, Gunnarsforsin vesivoimalaitoksen kustannukset ylittävät energiasta saatavan tuoton 50 vuoden ajalta. Rakentaminen ei olisi taloudellisesti kannattavaa tältä ajalta.

## **6.5 Rakennettujen kohteiden uudistaminen**

Rakennettujen kohteiden uudistaminen on edullisempaa vesivoiman lisäystä, kuin rakentamattomien kohteiden rakentaminen. Suurin osa vesistöjen potentiaaleista Suomessa piileekin valmiiksi rakennetuissa laitoksissa. Uudistamisessa laitoksen tehoa lisätään. Vesivoiman pitkän käyttöiän myötä jo valmiiksi rakennetuissa laitoksissa suurin osa investointihinnasta alkaa olemaan jo maksettuna. Maksettavana on siis vain käyttö- ja huoltokuluja, tai mahdollinen uusintainvestointi, kun tehoa lisätään. Pienemmän investointihinnan takia uudistamisprojektit ovat käytännön läheisempiä ja saattavat tuntua realistisilta sijoittajien mielestä. /22/

### **6.5.1 Hiirikoski**

Hiirikosken vesivoimalaitos sijaitsee Vähässäkyrössä Kyrönjoen vesistössä. Voimala on otettu käyttöön vuonna 1921. Tehoa voimalalla on 0,5 MW. Kohde vaikuttaa potentiaaliselta uudistamiskohteelta, koska virtaamaa on 39 m<sup>3</sup>/s ja putouskorkeutta 4,2 metriä. Joen tehokertoimeksi valitsen taulukosta 8,2, johtuen laitoksen olemassa olevasta tehokokoluokasta. /14, 8/

**Taulukko 5.** Hiirikosken laskelmat.

| Laskentakaava   | Tulos           |
|---|-----------------|
| Potentiaalinen teho<br>$8,2 \cdot 39 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 4.1 \text{ m}$                                | 1311,18 kW      |
| Vuosienergiatuotanto<br>$1311.18 \text{ kW} \cdot 4500 \text{ h}$   | 5900,31 MWh     |
| Energiasta saatava vuosituotto<br>$5900,31 \text{ MWh} \cdot 39,5 \text{ €/MWh}$                              | 233 062,245 €   |
| Energiasta saatava tuotto 50 vuoden ajalta<br>$50 \cdot 233 062,245 \text{ €}$                                | 11 653 112,25 € |
| Laitoksen investointikustannus<br>$2200 \text{ €} \cdot 1311.18 \text{ kW}$                                   | 2 884 596 €     |
| Laitoksen käyttöönotto- ja huoltokustannukset 50 vuoden ajalta<br>$2 884 596 \text{ €} \cdot 2.5 \% \cdot 50$ | 3 605 745 €     |

Kuten taulukosta 5 käy ilmi potentiaalista tehoa laskiessa, että Hiirikosken voimalaitoksen teho olisi nostettavissa uudistamisella. Myös katsastaessa energiasta saatavaa tuottoa sekä kustannuksia, huomataan että voimalaitoksen uudistaminen olisi potentiaalisesti kannattavaa.

### 6.5.2 Stadsfors

Stadsforsin voimalaitos sijaitsee Uusikaarlepyyssä Lapuanjoen vesistössä. Voimalaitoksen teho entuudestaan on 1–4 MW. Voimala on otettu käyttöön vuonna 1922. Virtaamaa alueella on  $31 \text{ m}^3/\text{s}$  ja putouskorkeutta 4 metriä. Joen tehoker-toimeksi valitsen taulukosta 8,6, koska laitoksen teho on suurempi kuin 1 MW.

**Taulukko 6.** Stadsforsin laskelmat.

| Laskentakaava   | Tulos       |
|---|-------------|
| Potentiaalinen teho<br>$8,6 \cdot 31 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 4 \text{ m}$                                  | 1066,4 kW   |
| Vuosienergiatuotanto<br>$1066.4 \text{ kW} \cdot 4500 \text{ h}$  | 4798,8 MWh  |
| Energiasta saatava vuosituotto<br>$4798,8 \text{ MWh} \cdot 39,5 \text{ €/MWh}$                               | 189 552,6 € |
| Energiasta saatava tuotto 50 vuoden ajalta<br>$50 \cdot 189 552.6 \text{ €}$                                  | 9 477 630 € |
| Laitoksen investointikustannus<br>$2200 \text{ €} \cdot 1066.4 \text{ kW}$                                    | 2 346 080 € |
| Laitoksen käyttöönotto- ja huoltokustannukset 50 vuoden ajalta<br>$2 346 080 \text{ €} \cdot 2.5 \% \cdot 50$ | 2 932 600 € |

Stadsforsin voimalaitoksen potentiaalista tehoa tutkiessa huomataan, että saatava teho on jo tällä hetkellä käytössä, ja tulos on realistinen (ks. Taulukko 6). Laitoksen uudistamisessa turbiinien määrää voitaisiin toki nostaa, koska potentiaalista kannattavuutta ajatellen vesivoimalaitos on taloudellisesti hyvä sijoitus, sillä tuotot kattavat kustannukset.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Parhaaksi kohteeksi kannattavuudeltaan tässä opinnäytetyössä nousi Hiirikoskelle uudistettava voimalaitos, jossa tehoa voitaisiin nostaa ja jäätäisiin taloudellisesti voitolle. Ei ole yllätys, että paras kohde on rakennetun kohteen uudistaminen, sillä uudistamisen investointi on halvempaa. Valmiiksi rakennetuissa kohteissa on myös hyvä virtaama ja putouskorkeus, koska potentiaali on jo huomattu aiemmin ja tästä syystä alueelle on rakennettu. Uudistuneen teknologian myötä kuitenkin näissä kohteissa tehoa voidaan nostaa joillain voimalaitoksilla, kuten Hiirikosken potentiaalisen tehon laskennassa todettiin.

Uusien laitosten rakentaminen ei kuitenkaan ole huono ajatus, jos ajatellaan puhdasta energiansaantia. Fossiilisia polttoaineita voidaan korvata mahdollisesti nol-latappiolla uusissa laitoksissa, joka on hyvä asia ilmastonmuutoksen kannalta. Tämä tarvitsisi kuitenkin valtion suoman tuen laitosten rakentamiselle, joka on parhaimmillaan 40 % investointihinnasta. Uudet laitokset tuottavat kuitenkin parhaakin potentiaalisesti tulevaisuudessa, kuten opinnäytetyössä todettiin laitosten uudistamisella. Teknologia kehittyy vuosien saatossa, ja uusintainvestointi tuottaa varmasti enemmän tehoa laitoksilla tulevaisuudessa, kun perusrakennelmat ovat jo kunnossa. Sähkön tarve kuitenkin lisääntyy tulevaisuudessa ihmisten lisääntyessä, joten rakentaminen ja investoiminen vesivoimalaitoksille ei ole turhaa.

Opinnäytetyössä kannattavuuslaskelmissa ei otettu huomioon sääolosuhteita, tai mahdollista valtion antamaa tukea uusiutuvalla energialle, kun rakennetaan tai uudistetaan vesivoimalaitoksia. Myöskään mahdollisia lainojen korkoja, tai maksettavia veroja ei oteta huomioon. Opinnäytetyö antaa kuitenkin realistisen pohjan kannattavuudelle tämänhetkisillä tekijöillään, jos rakentamista tai uudistamista aletaan suunnittelemaan. Sääolosuhteet voivat olla kuitenkin kriittisiä tekijöitä uusille voimalaitoksille, jotka on vasta rakennettu, koska liikevoitot eivät ole välttämättä kovin suuria normaaleillakaan sääolosuhteilla. Uudistettujen laitosten liikevoiton kannalta sääolosuhteet eivät kuitenkaan ole kriittisiä. Jotta valtio tukisi

vesivoimalaitosta, täytyy teknologian olla uutta. Uusien laitosten rakentaminen voisi potentiaalisesti saada valtion tuen, jolloin investointihinta laskisi huomattavasti liikevoittoa ajatellen. Mahdollisuuksia parempaan kannattavuuteen siis on olemassa.

Pohjanmaan maakunta tämän opinnäytetyön valossa ei näyttäisi huonolta vaihtoehdolta kannattavuutensa kannalta pienvesivoimalle, vaikka maa onkin tasaista eikä vesistöjä ole niin paljoa kuin muualla Suomessa. Etenkin molemmat uudistetut kohteet eli Hiirikoski sekä Stadsfors vaikuttavat erittäin potentiaalisilta. Mahdollisia paikkoja uusien laitostenkin rakentamiselle löytyi, eikä kannattavuus näisäkään ole huono, jos ajatellaan tulevaisuutta ja uusiutuvan energian lisäämistä.



## LÄHTEET

- /1/ Energiayrittäjyys. 2016. Pienvesivoima. Viitattu 29.9.2020. Saatavilla: <https://energiayrittajyys.fi/?q=content/pienvesivoima>
- /2/ Kosnik. L. 2010. The potential for small scale hydropower development in the US. Energy Policy. 38, 10, 5512-5519. <https://doi-org.proxy.uwasa.fi/10.1016/j.enpol.2010.04.049>
- /3/ Motiva 2020. Pienvesivoima. Viitattu 29.9.2020 Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/vesivoima/pienvesivoima](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima/pienvesivoima)
- /4/ Energy.Gov Types of hydropower turbines. Viitattu 3.10.2020 Saatavilla: <https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-turbines>
- /5/ Renewables first 2015. Pelton and Turgo turbines. Viitattu 3.10 Saatavilla: <https://www.renewablesfirst.co.uk/hydropower/hydropower-learning-centre/pelton-and-turgo-turbines/>
- /6/ HTE Engineering 2016. Bulb turbines. Viitattu 4.10 Saatavilla:  
<http://www.hydrotech-eng.com/equipment/turbines/bulb-turbines/>
- /7/ Motiva 2005. Vesivoimatuotannon määrä ja lisäämismahdollisuudet Suomessa. Viitattu 5.10. Saatavilla: <https://www.motiva.fi/files/700/vesivoimatuotannon-maara-ja-lisaamismahdollisuudet-suomessa.pdf>
- /8/ Puntanen. J. 2013. Suomen vesivoimalat. Viitattu 5.10. Saatavilla:  
<https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1Rjh-CoHy-qhd39OR-HZfAlTT2KS4&ie=UTF&msa=0&ll=63.28366147623145%2C23.112105500495712&z=9>
- /9/ ELY 2016. Perhonjoen ja Kälviänjoen vesistöalueen vesienhoidon toimenpideohjelma 2016-2021. Viitattu 6.10 Saatavilla: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/124452/Raportteja%2047%202016.pdf?sequence=2>
- /10/ Pohjolan Voima. 2019. Vesivoima ja ympäristö Viitattu 8.10.2020 Saatavilla: <https://www.pohjolanvoima.fi/vastuullisuus/vesivoima-ja-ymparisto/kalatiet>
- /11/ Fortum. 2020. Vesivoima ja ympäristö Viitattu 8.10.2020 Saatavilla: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/vesivoima-uusiutuva-joustavaa-energiaa/vesivoima-ja-ymparisto>
- /12/ Finlex. 2011. Vesilaki Viitattu 7.10.2020 Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587#L3>

/13/ Energiayrittäjyys. 2019. Maaseudun energiayrittäjyys pienvesivoima-tekniikka. Saatavilla: <https://energiayrittajyys.fi/sites/energiatehokkaasti/files/pienvesivoima-tekniikka.pdf>

/14/ Vesihallitus - national board of waters, Finland. 1980. Koski-inventointi.

/15/Renewables first. 2015. Kaplan turbines. Saatavilla: <https://www.renewables-first.co.uk/hydropower/hydropower-learning-centre/kaplan-turbines/>

/16/ Breeze. P. 2018. Bulb turbines. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bulb-turbines>

/17/ Breeze. P. 2018. Francis turbines. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/francis-turbines>

/18/ Energiamaailma. 2018. Vesivoima. Saatavilla: <https://energiamaailma.fi/mista-virtaa/uusiutuvat-energiالاhteet/vesivoima/>

/19/CLEANLEAP. 2016. Operation and Maintenance Costs. Saatavilla:

<https://cleanleap.com/4-current-cost-hydropower/43-operation-and-maintenance-costs>

/20/ Työ- ja elinkeinoministeriö. 2019. Sähkötuotannon skenaariolaskelmat vuoteen 2050.

/21/ Getai Hydropower. 2019. Pelton Turbine. Saatavilla: <https://www.gthec.cn/pelton-turbine/pelton-wheel-turbine.html>

/22/ Motiva. 2020. Vesivoima. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/vesivoima](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima)

/23/ Ogayar. B. 2009. Analysis of the cost for the refurbishment of small hydro-power plants. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148109001268?via%3Dihub>