



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sergei Vanhanen

PUMPPUVOIMALA OPETUSDEMON  
SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Tekniikka  
2021

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Sergei Vanhanen
Opinnäytetyön nimi	Pumppuvoimalan opetusdemon suunnittelu ja toteutus
Vuosi	2021
Kieli	suomi
Sivumäärä	50 + 6 liitettä
Ohjaaja	Jukka Hautala

---

Opinnäytetyön tavoite oli suunnitella ja toteuttaa pumppuvoimalaitosdemo opetuskäyttöön, jotta oppilaat voisivat tutustua tähän energian varastointimuotoon.

Keskeiset käsitteet ovat pienvesivoima, vesiturbiini, putkisto, generaattori, aktiivisen kloorin vaikutus 3D-turbiinin osiin. Opinnäytetyössä käydään kaikki niin suunnittelun, kuin rakentamisen vaiheet läpi, sekä tarkastellaan, kuinka suunnittelu on toteutunut käytännössä. Lyhyestä teoriaosiesta selviää pumppuvesivoimalan ja Francis-turbiinin toimintaperiaatteet. Projekti on toteutettu erikseen silmällä pitäen sen kestävyyttä vuosien saatossa, sekä mahdollisia muutostöitä hyötysuhteen ja ohjauksen suhteen.

Tämä opinnäytetyö on todiste siitä, että pienvesivoimala on mahdollista toteuttaa suhteellisen pienellä budjetilla. Lisäksi vesivoiman potentiaalisuus tulee esille.

---

Avainsanat	vesivoima, vesiturbiinit, putkisto, generaattori, aktiivinen kloori
------------	---------------------------------------------------------------------

## ABSTRACT

Author	Sergei Vanhanen
Title	Planning and Implementation of the Pumped Power Plant for Teaching Purposes
Year	2021
Language	Finnish
Pages	50 + 6 Appendices
Name of Supervisor	Jukka Hautala

---

The aim of the thesis was to design and construct a model of a pumped hydroelectric energy storage for teaching purposes. The purpose was to design and to build a small pumped hydro storage plant so that students can become familiar with this form of energy storage.

The thesis reviews all the stages of both design and construction and examines how the design has been implemented in practice. A brief theoretical section explains the operating principles of a pumped storage power plant and a Francis-type turbine. The project was implemented with a view to its sustainability over the years, as well as possible changes in terms of efficiency and control.

This thesis is proof that it is possible to implement a small hydropower plant on a relatively small budget. In addition, the potential of hydropower is highlighted.

---

Keywords                      hydropower, water turbines, piping, generator, chlorine

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
	1.1 Esipuhe.....	8
	1.2 Työn rajaus.....	8
	1.3 Aikataulutus .....	9
	1.4 Tilaajan esittely .....	9
2	PUMPPUVOIMALAITOS .....	10
	2.1 FRANCIS-turbiini.....	12
3	PROJEKTIN LÄHESTYMISTAPA, SUUNNITTELU .....	14
	3.1 Francis-turbiinin suunnittelu ja valmistus.....	15
	3.2 Paikan valinta.....	18
	3.3 Toteutunut paikka .....	19
	3.4 Lujuuslaskenta yläsäiliölle.....	22
	3.4.1 Laskenta .....	23
	3.5 Putkiston suunnittelu.....	24
	3.6 Alasäiliö, turbiiniteline .....	28
	3.7 Generaattori.....	30
	3.8 Kemikaalien vaikutus PLA muoviin.....	34
	3.8.1 Kemikaalien vaikutus PLA-muoviin, suunnittelu.....	35
4	PROJEKTIN LÄHESTYMISTAPA, TOTEUTUS .....	36
	4.1.1 Kemikaalien vaikutus PLA-muoviin, toteutus.....	36
	4.2 Yläsäiliö .....	38
	4.3 Putkiston toteutus.....	39
	4.4 Alasäiliö .....	42
5	PROJEKTIN TUOTOKSET .....	43
	5.1 Kemikaalien vaikutus PLA-muoviin, tuotokset.....	43
	5.2 PHES-demon testit.....	44
	5.2.1 Ensimmäinen testi .....	44

5.2.2	Toinen testi.....	44
5.2.3	Kolmas testi.....	45
5.3	Ohjeiden luominen.....	47
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	48
	LÄHTEET.....	49

## LIITTEET

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuvio 1.</b> PHES-laitoksen toimintaperiaate. /13/	12
<b>Kuvio 2.</b> Francis -turbiinin rakenne. /14/	13
<b>Kuvio 3.</b> 3D Francis -turbiini. /15/	15
<b>Kuvio 4.</b> Laakerinpesä ennen muutoksia.	17
<b>Kuvio 5.</b> Laakerinpesä muutosten jälkeen.	17
<b>Kuvio 6.</b> Suunnitelma, joka ei toteutunut.	18
<b>Kuvio 7.</b> Suunnitelma, joka ei toteutunut.	19
<b>Kuvio 8.</b> Rakennuslaboratorion tilat, johon PHES-demo toteutettiin.	20
<b>Kuvio 9.</b> Yläpedin suunnitelma.	21
<b>Kuvio 10.</b> Visuaalinen kuorman jakautuminen.	24
<b>Kuvio 11.</b> Lujuuslaskennan tulokset.	24
<b>Kuvio 12.</b> Putkiston suunnittelu.	25
<b>Kuvio 13.</b> Putkiston suunnittelukaavio.	27
<b>Kuvio 14.</b> Putkiston suunnittelukaavio.	27
<b>Kuvio 15.</b> Alasäiliön suunnitelma, sivulta.	29
<b>Kuvio 16.</b> Alasäiliön suunnitelma, ylhäältä.	29
<b>Kuvio 17.</b> Säättömekanismien toiminta.	30
<b>Kuvio 18.</b> Generaattorin teoreettinen käyttäytyminen.	33
<b>Kuvio 19.</b> Generaattorin käyttäytyminen, oskilloskooppi.	34
<b>Kuvio 20.</b> Yläpedin toteutus.	39
<b>Kuvio 21.</b> Putkiston ylempi osa.	41
<b>Kuvio 22.</b> Alasäiliön toteutus.	42
<b>Kuvio 23.</b> Mikroskooppikuvat näytteestä.	44
<b>Kuvio 24.</b> Sivuttaiset ja poikittaiset lisävahvistukset putkistolle.	46
<b>Taulukko 1.</b> Näytteiden pitoisuudet.....	35
<b>Taulukko 2.</b> Näytteiden punnitus.....	43

**LIITELUETTELO**

- LIITE 1.** Lujuuslaskenta yläpedin hypotenuusapalkille.
- LIITE 2.** Kustannuslaskenta putkistolle.
- LIITE 3.** Putkiston purkamisohje huoltoluukkuun pääsemiseksi.
- LIITE 4.** PHES demon käyttöohje.
- LIITE 5.** Allaskloorin lisääminen veteen.
- LIITE 6.** Lopulliset testit datataulukko.

# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus suunnitella ja myös toteuttaa pumppuvesivoimala testauslaitteiston VAMKin, Novian ja Vaasan Yliopiston yhteistyönä. Opinnäytetyössä käsitellään hieman teoriaa ja keskitytään käytännön toteuttamiseen. Työn aikana demo suunniteltiin, toteutettiin ja toiminta testattiin.

Opinnäytetyössä on esitetty Francis-turbiinin sekä PHES-voimalaitoksen toiminta. Oikeanlaisen ja oikeankokoisen turbiinin valitseminen on tärkeässä roolissa. Myös oheislaitteiston valitseminen ja yhteensovittaminen niin teoria- kuin käytännöntasolla on tärkeää.

Hyvin teoriaosuutta käsitellyt opinnäytetyö (Pumped Hydro Energy Storage Demo Planning, Kaihovirta Joonas, 2020) toimii yhtenä pohjana käytännön toteuttamiselle.

## 1.1 Esipuhe

Haluan kiittää yliopettajaa Ossi Koskista, joka auttoi minua projektin toteuttamisessa.

## 1.2 Työn rajaus

Opinnäytetyössä pyritään käsittelemään vähän teoriaa ja keskitytään käytäntöön. Valitaan turbiini, oheislaitteet. Simulaatio voisi olla hyvä. Sen jälkeen tehdään paikan päällä asennus ja testaus. Johtopäätökset tämän jälkeen.

Tämän työn tarkoitus on raportoida pumppuvoimalaitosdemon suunnittelua ja toteuttamista mahdollisimman selkeästi ja yksityiskohtaisesti.

Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö sisältää työn kohteen/aiheen *teoreettista* tarkastelua ja sen *empiiristä* soveltamista joko tutkimuksellisin keinoin tai esimerkiksi projektituotoksena.

### 1.3 Aikataulutus

Opinnäytetyössä aikataulu on tärkeässä roolissa. Lisäksi tämän projektin on tarkoitus toteuttaa, joten sitä pitää aikatauluttaa. Olen taulukoinut aikataulua seuraavanlaisesti:

Opinnäytetyön aloitus	1 viikko
Teoriaosuuden kirjoittaminen	2 viikkoa
Oikeanlaisten komponenttien valitseminen	4 viikkoa
Komponenttien tilaaminen	4 viikkoa
Komponenttien asentaminen	4 viikkoa
Komponenttien testaus	2 viikkoa
Opinnäytetyön viimeistely	2 viikkoa

### 1.4 Tilaajan esittely

Energilagring-hankkeessa syntyi päätös pumppuvoimalaitoksen demon toteuttamisesta juuri ennen tämän työn aloittamista. Projekti oli tarkoitus toteuttaa VAMK:in, Novian, sekä Vaasan Yliopiston yhteisiin tiloihin, Technobothniaan.

Projektin etenemistä vaikeutti se, että vastaavia demoja ei ole kovin paljon Suomessa. Muutama toki löytyy, mutta ne ovat joko perus vesivoimala demoja tai sitten kalliita tehdasvalmistettuja kokonaisuuksia. Esimerkiksi Tampereen ammattikorkeakoulu toteutti vuonna 2016 Valmetille vesivoimalan demonstraatiolaitteiston /9/.

Projektissa kaikki jouduttiin suunnittelemaan ja keksimään alusta. Olen ollut yhteydessä Tampereen ammattikorkeakoulussa toteutuneen vesivoimalaitosdemon projektinvetäjään puhelimitse ja sain häneltä muutaman tärkeän neuvon demon suunnittelun suhteen.

## 2 PUMPPUVOIMALAITOS

Energianvarastojen ennustetaan yleistyvän tulevaisuudessa. Nopeasti kasvavan uusiutuvan energian tuotanto pakottaa keksimään uusia energian varastointimuotoja. Varsinkin tuuli- ja aurinkoenergian tuotantoon liittyy epävaaka, sääolosuhteista riippuvainen energiantuotanto. Lisäksi energian varastointi auttaa tasaamaan kulutuspiikkejä /8/.

Yksi tapa varastoida energiaa on veden pumppaus yläsäiliöön ja sen tyhjentäminen turbiinin kautta alasäiliöön. Turbiini muuttaa veden potentiaalienergian mekaaniseksi energiaksi, jota johdetaan generaattoriin, jossa sen muutetaan sähköksi. Pumppausvoimalaitoksessa energiaa varastoidaan myöhempää käyttöä varten. Kyseessä on veden pumppaukseen perustuva varastointitapa. /2, s. 10–11/.

Toimintaperiaate sähköä tuottaessa on samanlainen, kuin perinteisessä vesivoimalaitoksessa. PHES-laitos koostuu kahdesta altaasta, joiden välissä on korkeuseroa. Tunnelissa tai putkessa virtaava vesi pyörittää vesiturbiinia ja turbiini tuottaa generaattorin kautta sähköä verkkoon. Lisäksi PHES-voimalaitoksessa on erilaiset säätömekanismit, niin vesivirtaukselle, kuin generaattorille. /2, s. 10–11/.

Tärkein askel, joka mahdollisti tämänlaisten voimalaitosten suosiota ja kasvua on voimalaitosten kytkeminen yhteiseen kantaverkkoon. Kuitenkin ensimmäinen PHES-laitos on demonstroitu jo vuonna 1882 Sveitsin Zurichissa. Pian sen jälkeen, vuonna 1909, ensimmäinen kaupallinen laitos otettiin käyttöön Saksan kaupungissa Heidenheimissä. /2, s. 10/.

Ensimmäiset pumppuvoimalaitokset koostuivat turbiinista ja generaattorista yhdellä akselilla ja pumpusta moottoreineen toisella akselilla. Tämä oli kuitenkin aika kömpelö ja hyötysuhteeltaan huono yhdistelmä. Myöhemmissä kokoonpanoissa käytettiin tandemia, eli yhdellä akselilla oli pumppu, turbiini ja moottori-generaattori. Tämä idea pienensi kustannuksia ja helpotti asennus- ja huoltotoimenpiteitä. /2, s. 11/.

Perusperiaate on ajansaatossa pysynyt samanlaisena, eli pumpataan vettä yläsäiliöön halvan sähkön aikana ja tuotetaan sähköä piikkikulutuksen aikaan. Nykyisin uusiutuvan energiatuotannon aikana, pumppausvoimalaitoksilla pyritään tasamaan esimerkiksi tuuli- ja aurinkoenergian tuottamaa epätasaista energiantuottoa. /2, s. 10/.

Teoreettinen energia, joka on sitoutunut liikkuvaan nesteeseen, lasketaan kaavalla:

$$P_a = \frac{1}{2} \rho A v^3, \text{ jossa} \quad P_a = \text{teoreettinen teho (W)} \quad (1)$$

$\rho$  = veden tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

A = tuloaukon pinta-ala (m<sup>2</sup>)

v = virtauksen nopeus (m/s)

Tätä energiaa ei voida saada käyttöön kokoaan koska se vaatisi sen, että virtaava aine pysähtyisi turbiinin jälkeen kokonaan. Tämähän ei ole mahdollista, koska tällöin uutta ainetta ei pääsisi turbiinin sisään.

Tärkeimmät parametrit pumppausvoimalaitokselle ovat samanlaiset, kuin perinteiselle vesivoimalaitokselle. Eli korkeusputous, tässä tapauksessa ylä- ja alasäiliöiden vesipintojen ero. Tärkeää on myös virtausnopeus, joka syntyy ennen turbiinia ja jatkuu turbiinin jälkeen. /2, s. 13/.

Vesiturbiinin teho lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$P = \eta q_v \rho g H, \text{ jossa} \quad P = \text{teho (W)} \quad (2)$$

$\eta$  = hydraulinen hyötysuhde

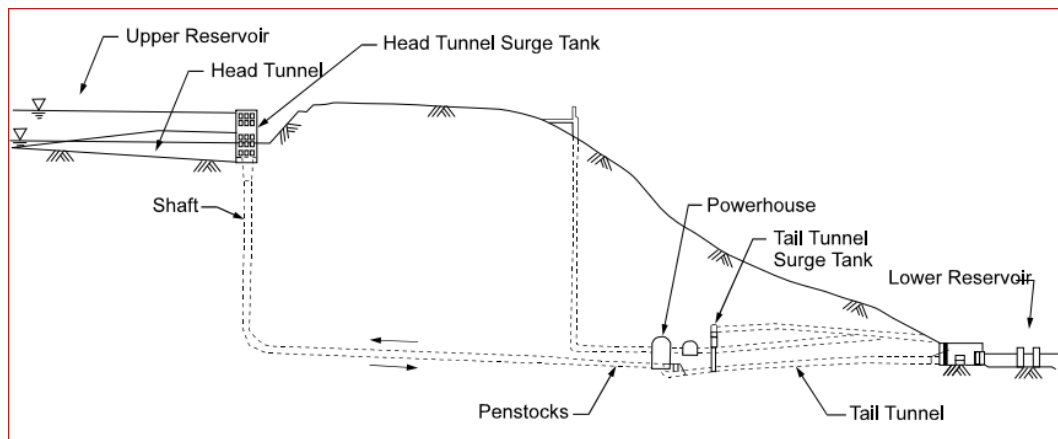
$q_v$  = tilavuusvirta (m<sup>3</sup>/s)

g = putoamiskiihtyvyys (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$H$  = vesipintojen ero (m)

Tämä yhtälö on myös tärkeässä roolissa pumppausvoimalaitoksen suunnittelussa /4, s. 103/.

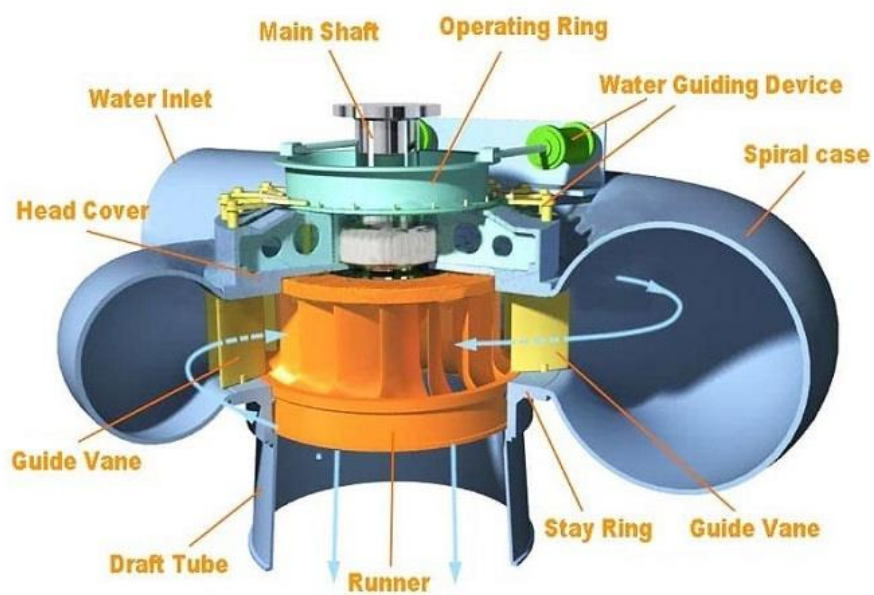
Seuraavasta kuvasta (Kuva 1) selviää PHES-laitoksen toimintaperiaate.



**Kuvio 1.** PHES-laitoksen toimintaperiaate. /13/

## 2.1 FRANCIS-turbiini

Francis-turbiiniin (Kuvio 2) vesi tulee spiraalin myöten kiinteille tai säädettäville solukkeille, jotka ympäröivät juoksupyörän koko kehää. Tämän jälkeen solukkeiden lävitse vesi virtaa juoksupyörälle. Francis-turbiineja voidaan käyttää putouksissa, joiden korkeus on 5-700 metriä. Turbiinit tehdään usein pysty akseliksi ja juoksupyörä on kiinteä alapain. Turbiinin erikoisominaisuus muihin verrattuna on, että se pystyy toimimaan pumppuna. Vesikanava on rakennettu spiraalimaiseen muotoon, joka kiertää turbiinin ohjaten veden juoksupyörän ulkokehältä sisäkehälle ja poistuu juoksupyörän keskeltä. Tehoa voidaan säädellä turbiinin ulkokehän läheisyydessä sijaitsevilla solukkeilla, eli johtosiivillä. Turbiinin hyötysuhde on noin 90 %. /3, s 236–237/.



**Francis Turbine**

**Kuvio 2.** Francis -turbiinin rakenne. /14/

### 3 PROJEKTIN LÄHESTYMISTAPA, SUUNNITTELU

Suunnittelu alkoi tiedon keruulla Tritoniasta (Vaasan korkeakoulujen yhteinen kirjasto) lainaamalla, aiheeseen liittyvillä kirjoilla. Lisäksi otin yhteyttä TAMK:in vesivoimaprojektin vetäneeseen henkilöön, Eero Pellikkaan. Hän kertoi puhelimitse heidän projektista ja antoi hyviä vinkkejä projektiin liittyen. Tärkein viesti oli kuitenkin se, että ensin kannattaa valita turbiini ja rakentaa itse laitosta sen ympärille. Alla on lueteltu meidän projektissa olleet turbiinin vaihtoehdot:

#### 1. Kaupallinen mikroturbiini

Vaihtoehtona oli hankkia pieni ( $d = 10$  cm) mikroturbiini. Tämän turbiinin pohjalta on tehty edellinen, aiheeseen liittyvä opinnäytetyö. Ongelmana tuossa turbiinissa on sen pieni koko.

#### 2. Kaplan-tyyppinen potkuriturbiini

Tämä vaihtoehto koostuisi esimerkiksi veneen potkurista, jossa siivet olisivat käänteisiä. Tämä johtuu siitä, että tavallisen potkurin siivet on tarkoitettu luomaan vetoa veneelle ja jos yrittää syöttää vettä tämänlaisen potkurin siiville, hyötysuhde jää todella alhaiseksi. Tämän takia kaupallisissa Kaplan-tyyppisissä turbiineissa on kääntyvät potkurin siivet. /10/.

Yksi vaihtoehto olisi ProPulse-potkuri, jossa siivet voidaan kääntää. Kuitenkin selvisi, että jopa pienimmät veneen potkurit ovat hyvin isoja (pienin 26 cm halkaisija) demokäyttöön ja tämä puolestaan vaatisi suuria virtauksia ja potkurille vievät vesireitit olisivat myös kookkaita. Lisäksi tämä vaihtoehto oli varsin hintava, varsinkin ProPulse-potkureiden hinnat pyörivät 200 euron paikkeilla.

#### 3. Itsetehty turbiini

Tämä vaihtoehto sai alkuun netissä olevista videoista ja muusta materiaalista, jossa maallikot yrittävät rakentaa omaa vesiturbiinia. Alustavasti tämä itsetehty turbiini olisi myös Kaplan-tyyppinen, 75 mm viemäriputkesta ja tietokoneuulettimesta rakennettu. Tämän vaihtoehdon hyvänä puolena oli ainakin sen edullisuus.

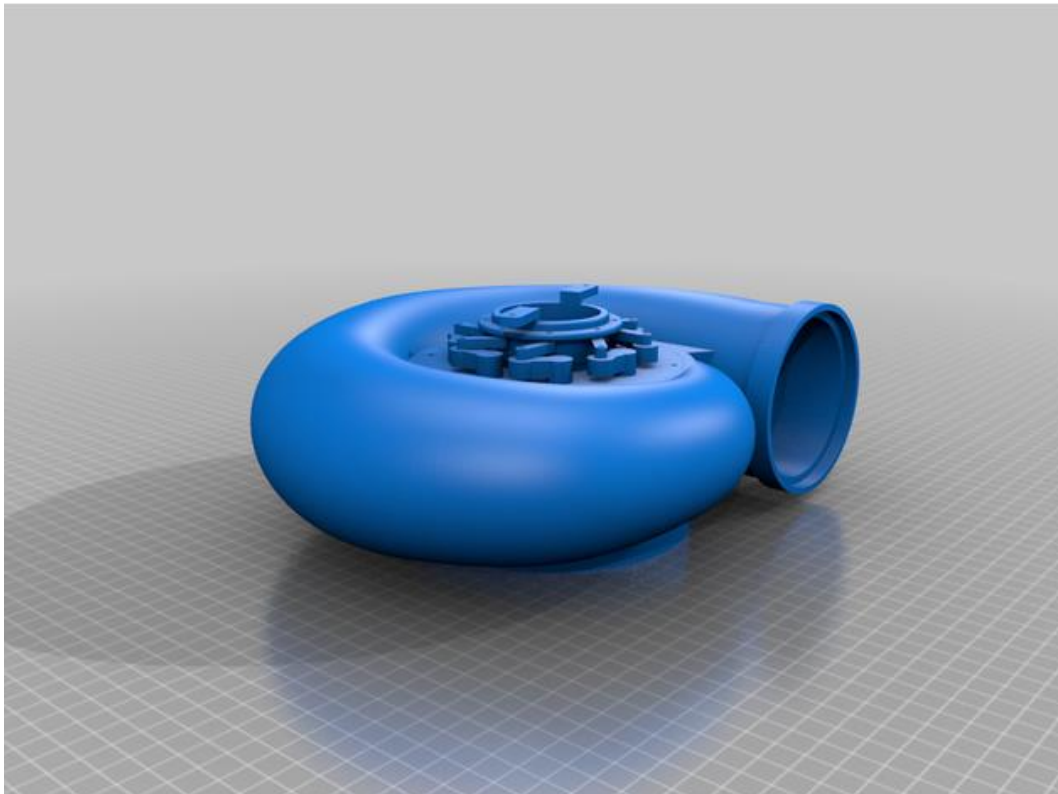
#### 4. 3D-tulostettu Francis-turbiini

Francis-tyyppinen turbiini olisi hyvä vaihtoehto PHES-demokäyttöön myös sen takia, että Francis-tyyppisen turbiinin rakenteen ansiosta, sillä pystyy myös pumppaamaan vettä yläsäiliöön. Lisäksi Technobothniasta löytyy omat 3D-tulostimet.

Tämä vaihtoehto valittiin.

##### 3.1 Francis-turbiinin suunnittelu ja valmistus

Löytämäni turbiini on perinteinen Francis-tyyppinen turbiini. Turbiini (Kuvio 3) koostuu vedenjohtavasta spiraalitunnelista, säädettävistä siivekkeistä ja siipipyörästä. Muut osat ovat erilaisia liittimiä, laakerinpesiä ja ulos- sekä sisääntulot. Eli käytännössä turbiinikokonaisuus sisältää kaikki tarvittavat osat sen oikeanlaiseen toimimiseen.

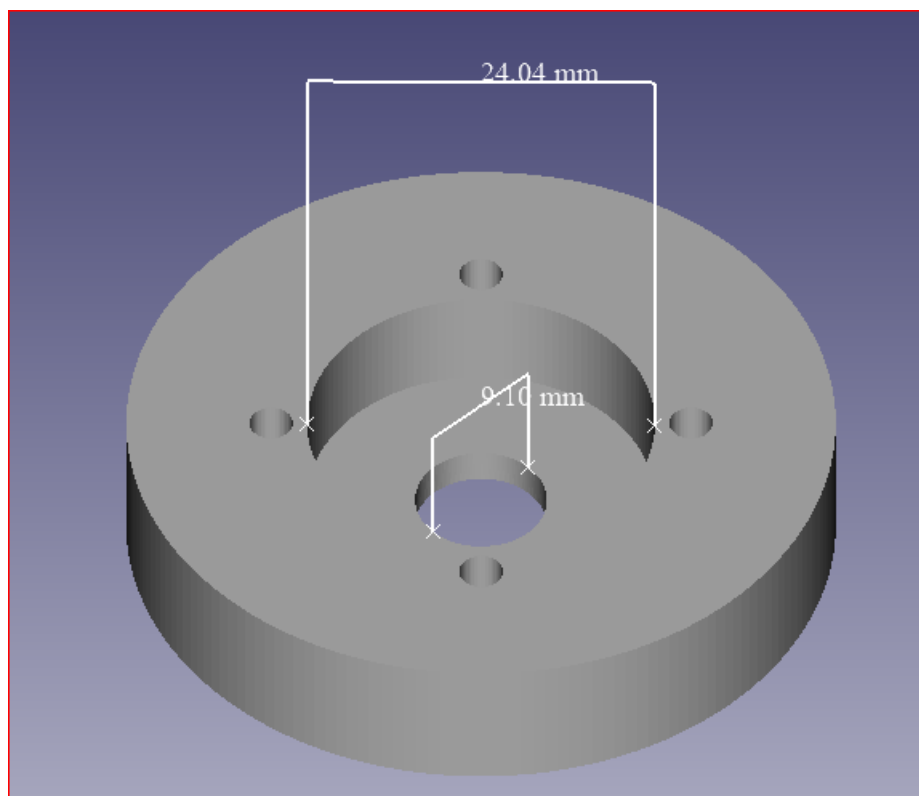


**Kuvio 3.** 3D Francis -turbiini. /15/

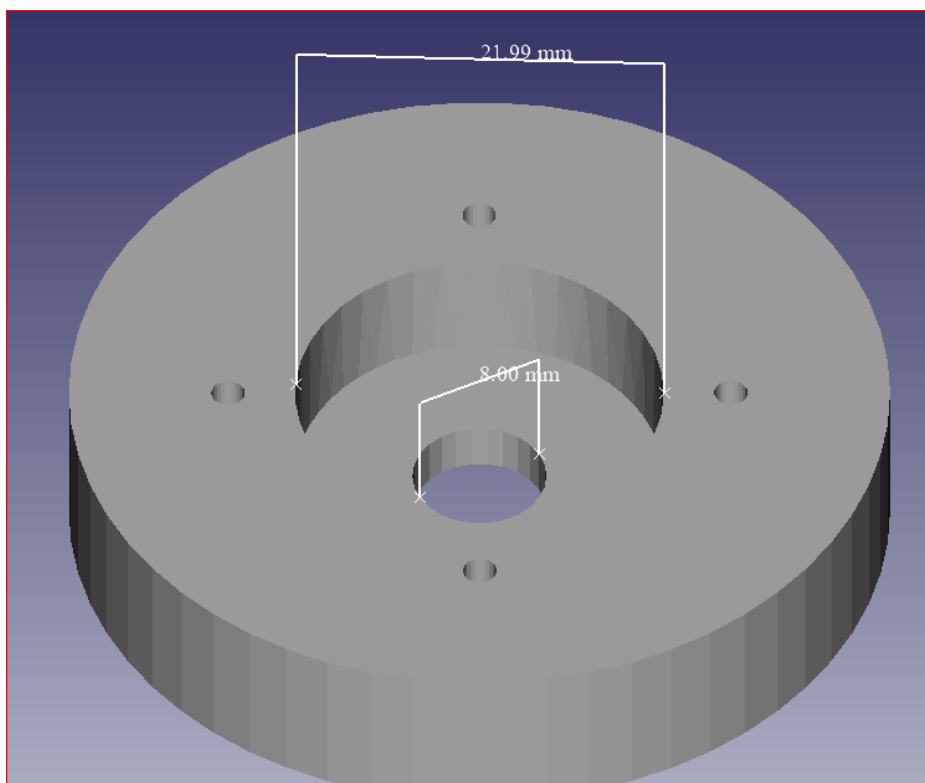
3D Francis -turbiiniin jouduttiin tekemään paljon muutoksia, esimerkiksi leikkaamaan turbiinin kuorta osiin, jotta se mahtuisi tulostimeen. Ottamalla huomioon se seikka, että pumppuvoimalaitosdemon on kestävä muutama vuosi ilman huoltoa ja se, että turbiini tulisi veden alapuolelle, vaatii tämä kaikki hieman muutostöitä. Muutokset tehtiin 3D-suunnitteluohjelmalla (FREECAD).

Koska turbiini tulee olemaan veden alla, vaatii se uudenlaisen akseliston. Alunperin suunniteltu lyhyt, muovinen 9 mm akseli korvattiin 8 mm haponkestävällä kierretangolla. Tämä siksi, että 9 mm kierretankoja ja siihen sopivia laakereita ei löytynyt helposti. Laakeripesät ja turbiinin siipiosa muutettiin vastaamaan 8 mm reikää (Kuvio 4-5).

Kaikki liikkuvat osat ja kiinnitykset tehtiin haponkestävillä ruuveilla ja muttereilla.



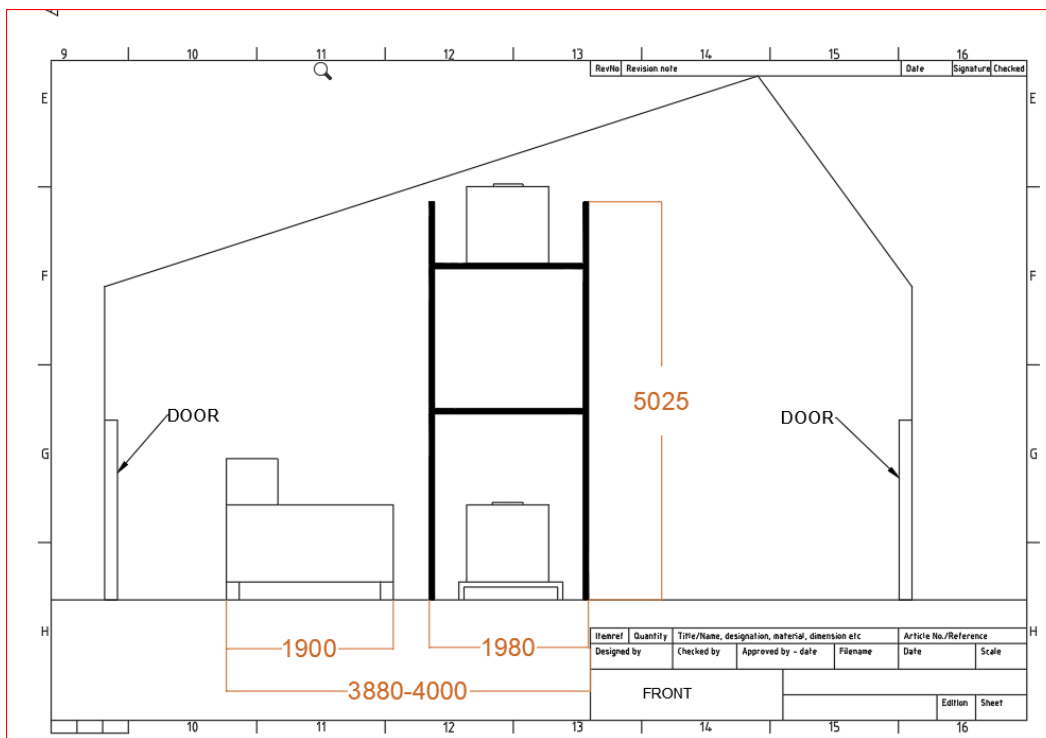
**Kuvio 4.** Laakerinpesä ennen muutoksia.



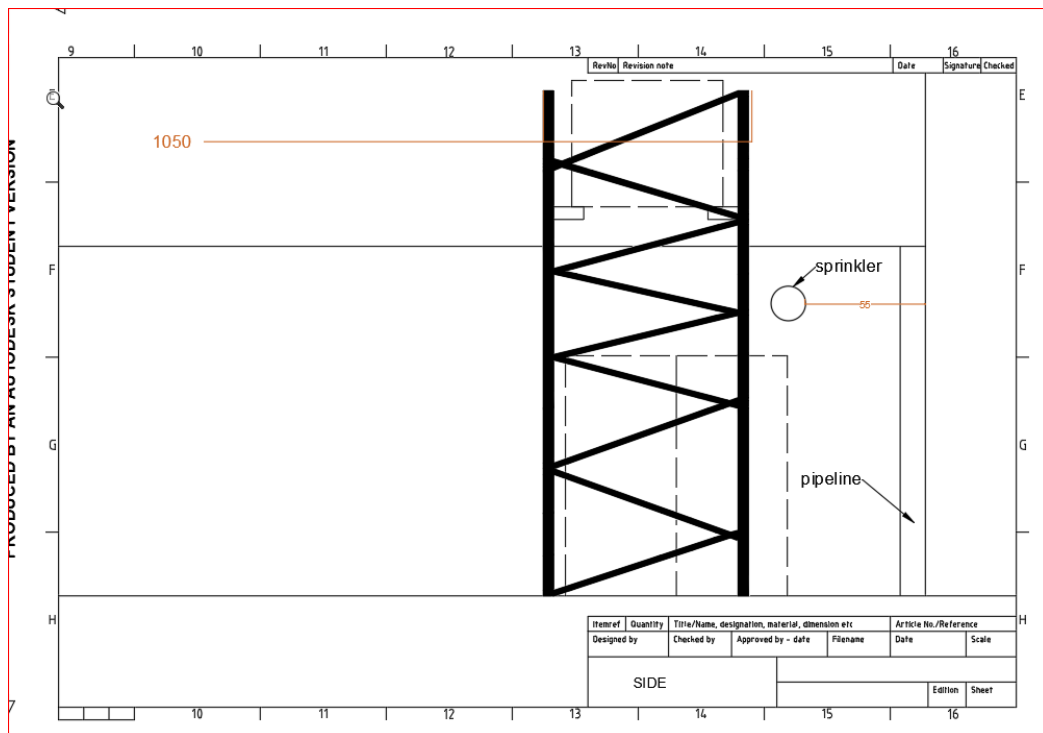
**Kuvio 5.** Laakerinpesä muutosten jälkeen.

### 3.2 Paikan valinta

Suunnittelu eteni paikan valinnalla ja alustavilla suunnittelupiirroksilla. PHES-demo sijoittuisi VAMK:in, NOVIA:n ja Vaasan YO:n yhteistilaan, Technobothniaan (Puuwillakuja 3, Vaasa). Alun perin demoa suunniteltiin energialaboratorioon. Suunnitelmien edetessä, todettiin, että tämä lienee olevan todella vaikeata. Pumpuvoimalaitos vaatii paljon putouskorkeutta ja korkeuden kasvattaminen vaatisi korkeaa telinettä. Lisäksi 1000 litran säiliön asettaminen noihin korkeuksiin (noin 5 metriä) olisi turvallisuudenkin kannalta epäsuotuisaa. Kuvioista 6-7 näkyy alkuperäinen suunnitelma, joka ei toteutunut.



**Kuvio 6.** Suunnitelma, joka ei toteutunut.



**Kuvio 7.** Suunnitelma, joka ei toteutunut.

### 3.3 Toteutunut paikka

Paras paikka löytyi rakennuslaboratorion tiloista, joka on lähellä energialaboratoriota. Rakennuslaboratorio sijaitsee kahdessa kerroksessa, joten saadaan hyvä putouskorkeus.

Yläsäiliö tulisi lisärakennuksen katon päälle (Kuvio 8). Lisärakennus sijaitsee rakennuslaboratorion toisessa kerroksessa. Lisärakennuksella on maanvarainen perustus, joten 1 000 litran säiliön sijoittaminen katolle ei vaadi kovin tarkkaa rakennusteknistä suunnittelua. Putouskorkeus on mitattu etäisyysmittarilla ja mittanauhalla. Pituudeksi saatiin hieman yli 8 metriä (yläsäiliön peti: +30 cm).

Alempi vesisäiliö tulisi vedenotto liittimellä varustetun vesipostin viereen. Tällöin on tärkeää noudattaa paloturvallisuusmääräystä. Helsingin pelastuslaitoksen sammutusjärjestelmän rakentamisohjeessa sanotaan näin:

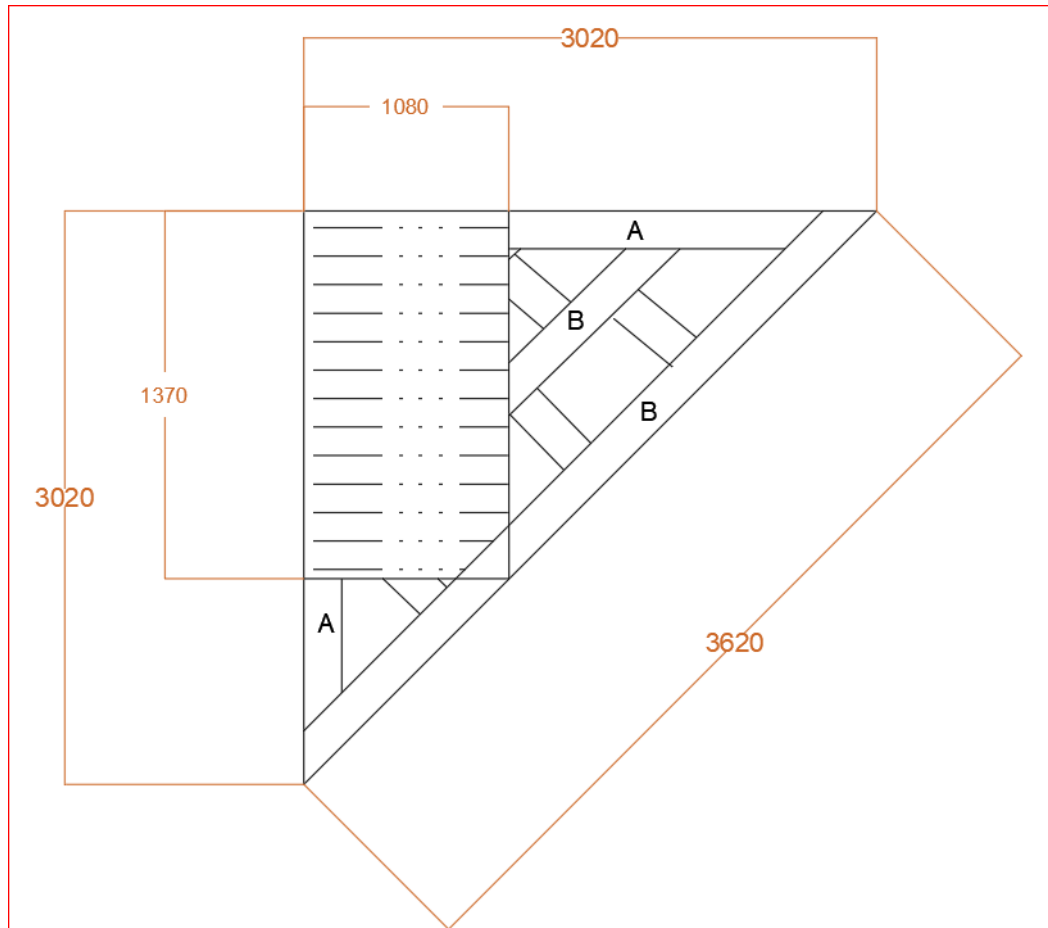
”Vedenottoliittimet (kuiva- ja märkänousuissa) - Vedenottoliittimiä sijoitetaan jokaiseen kerrokseen. Vedenottoliittimien edustalla on oltava vapaata tilaa 1 000 mm, jotta työjohdot saadaan kytkettyä. ” /12/.



**Kuvio 8.** Rakennuslaboratorion tilat, johon PHES-demo toteutettiin.

Rakennuslaboratorion lisärakennuksen kattoa myötäilee I-palkki, joka makaa betoniseinien päällä. Lisärakennuksen sisäkatto on heikko, kipsilevyillä päällystetty puinen kehikko.

PHES-demon yläsäiliölle suunniteltiin peti, joka koostuu I-palkkien päällä maakaavasta puisesta kolmiosta (Kuvio 9).



**Kuvio 9.** Yläpedin suunnitelma.

Yläsäiliön pedin (Kuvio 9) kuvaus, jonka tehtiin kuvaamaan yläsäiliön kokonaisuuden rakennetta:

”Kaksi 90 x 90 liimapuupalkkia (kuvassa A-palkki) myötäilee katon I-palkkia. Kaksi 90 x 225 liimapuupilaria (kuvassa B-palkki) kiinnittyvät A-palkkiin terassiruuveilla. A-palkkeja pitävät paikallaan kulmalevyt ja puukiilat jotka eivät ole kiinnitettynä I-pilariin erikseen. B-palkit menevät hypotenuusan suuntaisesti. Alle pitää jäädä tilaa lisärakennuksen katolla oleville johdoille/putkille vähintään 9 cm korkeutta. Koko objektia on tarkoitus vahvistaa/jakaa kuormaa vanerilla, joka tu-

lee kuvan mukaisesti säiliön alle. Kolmiolle tehdään seinämät valuma-altaalle, jotta mahdollisilta vesivahingoilta vältytään. Palkkien välissä on poikittaiset tukipuut (50 x 100 mm). Yläsäiliön ympärille tulisi valuma-allas mahdollisten vesivahinkojen varalta.”

Kun suunnitelma hyväksyttiin, tehtiin ostoplista.

### 3.4 Lujuuslaskenta yläsäiliölle

#### LÄHTÖARVOT

Yläsäiliön paino: 1 060 kg

OLETUS: Paino jakautuu 4:lle kulmalle, 265 kg per kulma.

Puupalkkiin kohdistuva voima lasketaan kaavalla:

$$F = ma, \text{ jossa} \quad F = \text{voima (N)} \quad (3)$$

$$m = \text{kappaleen massa (kg)}$$

$$a = \text{kiihtyvyys (9,81 m/s}^2\text{)}$$

Hypotenuusapalkin kestävä 265 kg pistekuorma:

$$265 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 2598 \text{ N} = 2,60 \text{ kN}$$

Voimaa kohdistuu uloimmalle hypotenuusapalkille noin 2.6 kN. Luultavasti kohdistuvaa voimaa tulee paljon vähemmän, koska siinä ei synny varsinaista pistekuormaa ja paino jakautuu myös filmivanerin avulla tasaisemmin. Laskuissa käytettiin 2.6 kN arvoa.

Uloimman hypotenuusan pituus: 3 620 mm

Sisemmän hypotenuusan pituus: 1 380 mm

### 3.4.1 Laskenta

Varsinainen laskenta toteutettiin ilmaisella Finnwood 2.4 (2.4.088) -ohjelmalla. Ohjelmaan syötetään lähtöarvot, mm. palkin pituus ja koko, kuormituspaino, pistekuorma. Ohjelma laskee ja antaa tuloksista listan, josta näkee, kuinka kantava kyseinen palkki on annetulle kuormalle. Tulokset tarkisti rakennusinsinööri, joka työskentelee Technobothnialla rakennuslaboratoriossa ja hän myös hyväksyi suunnitelman. Alla on otos laskentatuloksista. Kuvasta 10 näkyy visuaalinen laskelmassa käytetty kuorman jakautuminen. Varsinainen tuloslista löytyy liitteestä (Liite 1):

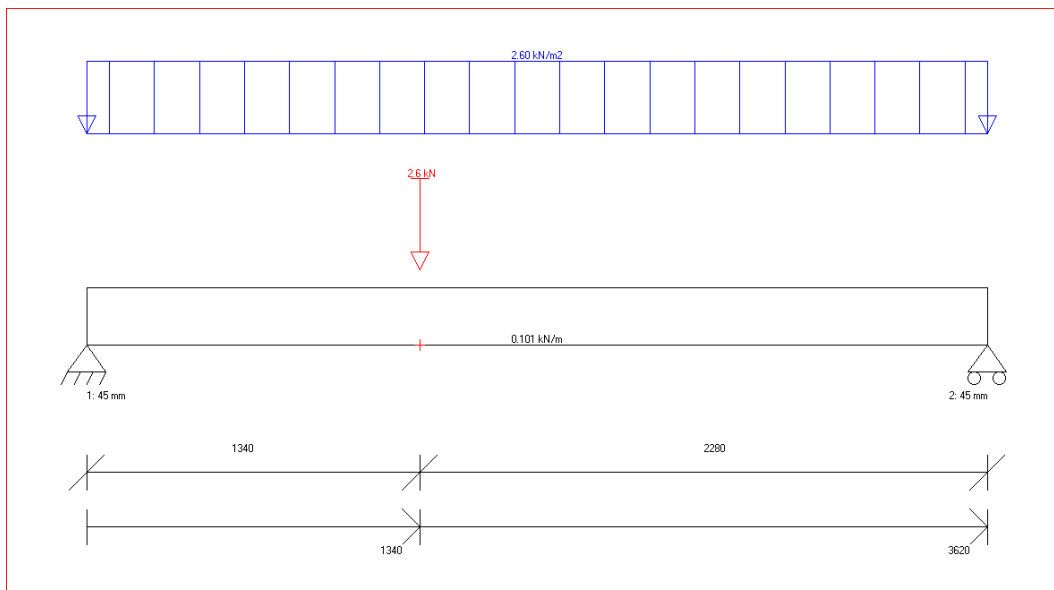
Rakennetyyppi: Lattiapalkki/laatta  
 Materiaali: GL30c  
 Poikkileikkaus: 90x225 (varastokoko)

#### KUORMITUSTIEDOT:

-----  
 Omapaino (Omapaino, Pysyvä):  
 Rakenneosan paino:  $QZ = 0.101 \text{ kN/m}$      $x = 0 - 3620 \text{ mm}$   
 -----

Hyötykuorma (Hyötykuorma A, Keskipitkä, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):  
 Pintakuorma: 1:     $QZ = 2.600 \text{ kN/m}^2$      $x = 0 - 3620 \text{ mm}$   
 -----

Hyötyk. pistekuormatark. (Hyötykuorma, lyhytaikainen, Lyhytaikainen,  
 MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):  
 Pistekuorma: 1:     $FZ = 2.60 \text{ kN}$      $x = 1340.0 \text{ mm}$     ( 2.6 kN)



**Kuvio 10.** Visuaalinen kuorman jakautuminen.

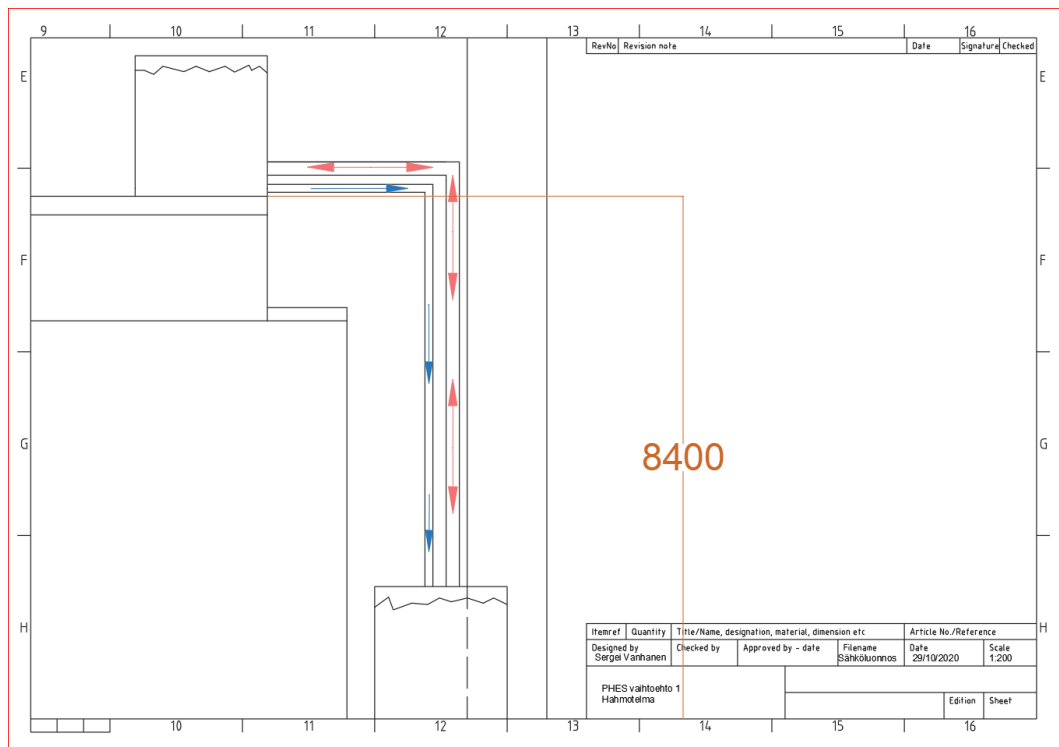
MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:					
Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste %:	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	3.03 kN	30.24 kN	10.0 %	0 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Taivutus (My):	3.47 kNm	18.04 kNm	19.2 %	1340 mm	Yhdistelmä 11/1, Lyhytaikainen
(ilman kiepahdusta):	3.47 kNm	18.04 kNm	19.2 %	1340 mm	Yhdistelmä 11/1, Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 1:	3.03 kN	18.90 kN	16.1 %	0 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 2.92					
Tukipaine, tuki 2:	3.03 kN	18.90 kN	16.1 %	3620 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 2.92					
jänneväli 1, Wz,inst:	2.5 mm	9.1 mm	27.7 %	1629 mm	Yhdistelmä 18/1
jänneväli 1, Wz,net,fin:	3.0 mm	12.1 mm	24.9 %	1810 mm	Yhdistelmä 14/1

**Kuvio 11.** Lujuslaskennan tulokset.

Kuten tuloksista (Kuvio 11) nähdään, hypotenusapalkki on reilusti ylimitoitettu (käyttöaste %). Ainoastaan värähtelytarkastelussa käyttöaste ylittyy, mutta meillä ei synny minkäänlaista värähtelyä yläpedissä.

### 3.5 Putkiston suunnittelu

Kuten alemmasta kuvasta (Kuvio 12) voidaan nähdä, ylä- ja alasäiliöiden välillä on putkitus. Se koostuu kahdessa erillisestä putkilinjasta. Putkiston tehtävä on siirtää nestettä ylä- ja alasäiliöiden välillä.



**Kuvio 12.** Putkiston suunnittelu.

Kuviossa 12 sininen linja on mahdollisen vesivahingon varalta passiivinen valumisputkisto, joka toteutetaan jätevesiputkena. Sininen putkisto on liitetty yläsäiliön ympärillä olevaan valuma-altaaseen lattian läpivedolla. Valuma-allas on pienessä kulmassa putkistoon nähden, eli jos yläsäiliö jostain syystä päästäisi vettä, vesi valuisi sinistä putkistoa pitkin alasäiliöön.

Punainen putkisto on varsinaista demon ajoa varten. Putkiston läpi ajetaan vettä yläsäiliöstä turbiinin läpi alasäiliöön ja yläsäiliötä täytetään alasäiliön vedellä. Sitä varten alasäiliön viereen asennetaan painevesiautomaatti. Vesi ajetaan ylös ja alas kahdella erillisellä venttiilillä: yksi turbiinille, yksi pumpulle. Mieleissä on mahdollinen ylösajo turbiinilla, mutta suunnitteluvaiheessa emme tiedä, riittääkö turbiinissa tehoa pumpata vettä 8,4 metrin korkeuteen. Alla olevista kuvista selviää (Kuviot 13-15), miten putkitus on suunniteltu ja tämän suunnitelman pohjalta on tilattu tähän tarkoitukseen tarvittavat materiaalit. Liitteessä olevasta Taulukosta (LIITE 2) selviää putkiston ostoslista ja suuntaa antavat hinnat.

Molemmat putkistot ovat halkaisijaltaan 50 mm, koska tämä on asennuksen kannalta kätevä koko ja sillä saadaan jo hyvän tilavuusvirran. Lisäksi molempien säiliöiden ulostulot ovat 50 mm.

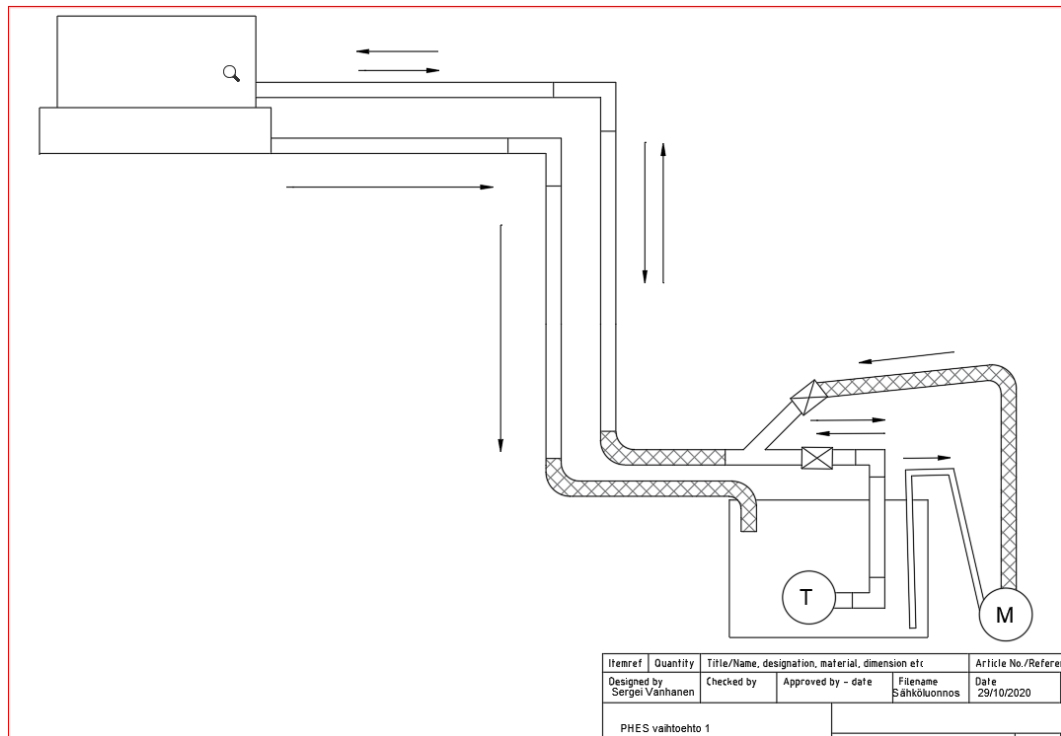
Suunnitteluvaiheessa piti muistaa, että ajoputkiston on kestettävä painetta, joten putkistoa ei voida tehdä jätevedelle tarkoitetuista putkista. Putkiston tulee kestää veden aiheuttama hydrostaattinen paine. Paine voidaan laskea yhtälöllä 4. /1, s 127/.

Paine alasäiliön putkistossa:

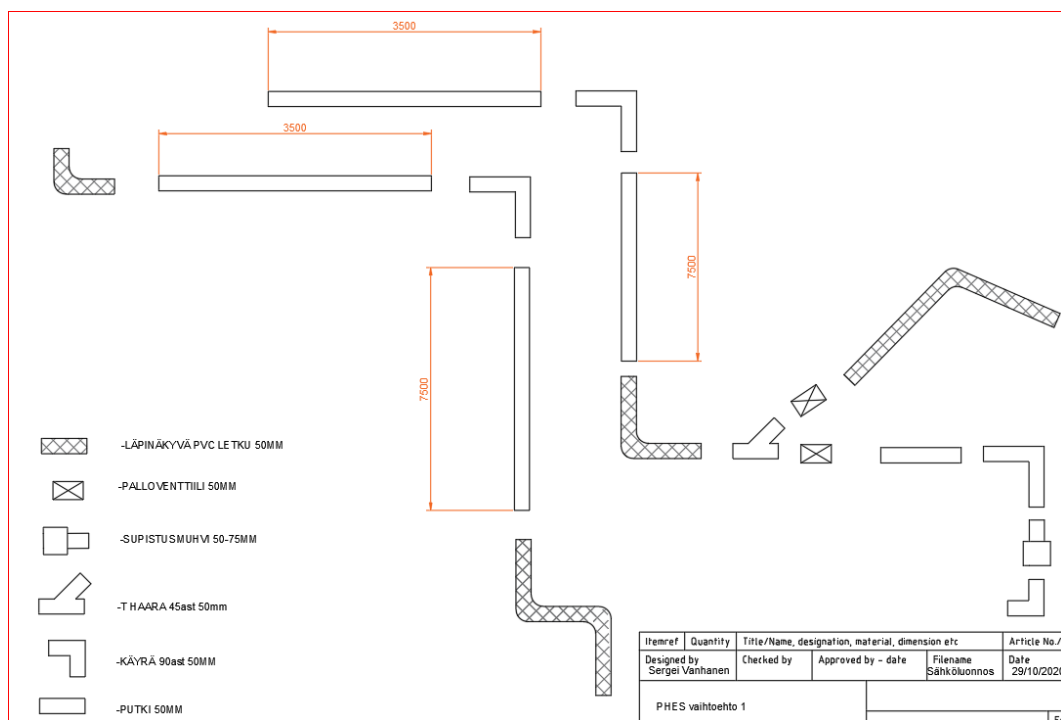
$$P = \rho g H, \text{ jossa} \quad \begin{array}{l} P = \text{paine (Pa)} \\ \rho = \text{nesteen tiheys (kg/m}^3\text{)} \\ g = \text{putoamiskiihtyvyys (9,81 m/s}^2\text{)} \\ H = \text{nostokorkeus (m)} \end{array} \quad (4)$$

$$999 \text{ kg/m}^3 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 8,4 \text{ m} = 82321 \text{ Pa} \rightarrow 0,82 \text{ bar}$$

Materiaaliksi valikoitui vesiallasputkiston liike, joka tarjoaa putkituksia kotialtaille. Nämä putket kestävät hyvin erilaisia kemikaaleja ja ne liitetään yhteen liimamalla.



**Kuvio 13.** Putkiston suunnittelukaavio.



**Kuvio 14.** Putkiston suunnittelukaavio.

Putkisto tulisi kiinni seinään putkinpidikkeillä, jotka ovat kiinni kierretangolla asennuskiskossa. Asennuskisko on kiinni seinässä betoniruuveilla.

### 3.6 Alasäiliö, turbiiniteline

Turbiini suunniteltiin alasäiliön pohjalle veden alle. Tällöin saataisiin hyödynnettyä säiliöiden välinen korkeus parhaalla mahdollisella tavalla. Tämä asetti haastavuutta turbiinin ja sen kiinnitysosien suunnitteluun, sillä kaikkien veden alle tulevien komponenttien pitäisi olla vedenkestävää.

Alasäiliö tulee olemaan täynnä vettä suurimman osan ajasta. Joten liikkuviin akselihin suunniteltiin erikoislaakerit. Laakeri on myös itse turbiinikorissa. Laakerin tyyppi on Xirodur B180, ruostumattomilla kuulilla ja muovisella kuorella:

Suurin staattinen kuormitus: 165 N (16,82 kg)

Staattinen kuormitus: 60 N (6,11 kg)

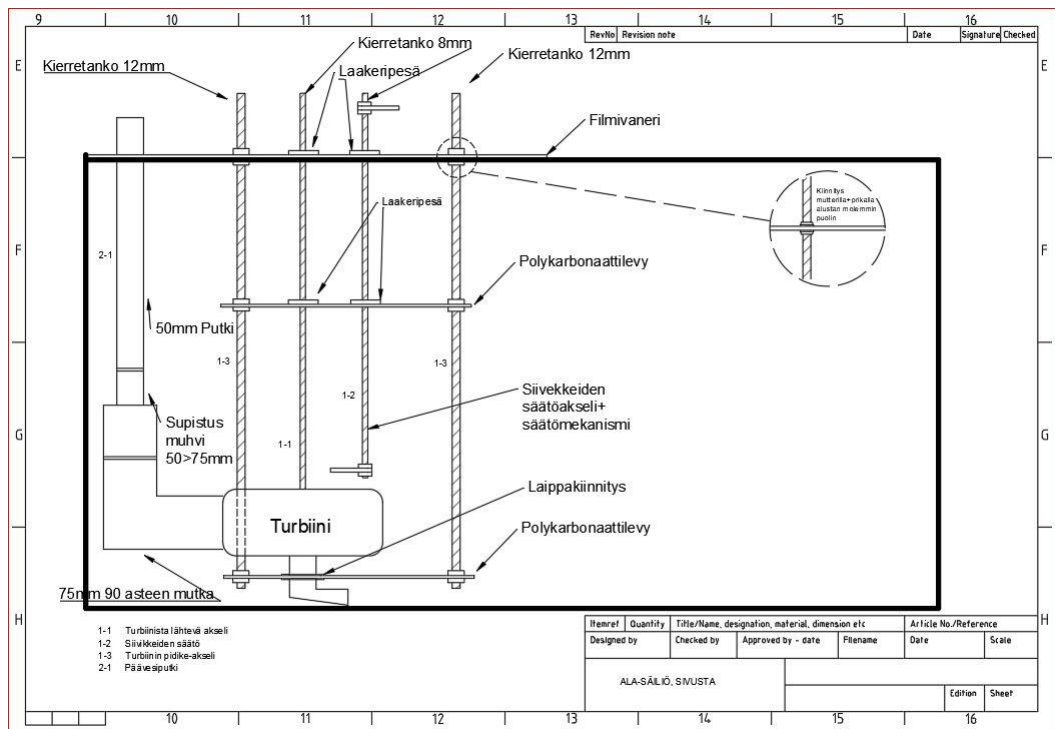
Dynaaminen kuormitus: 84 N (8,56 kg)

Suurin pyörimisnopeus: 2200 RPM

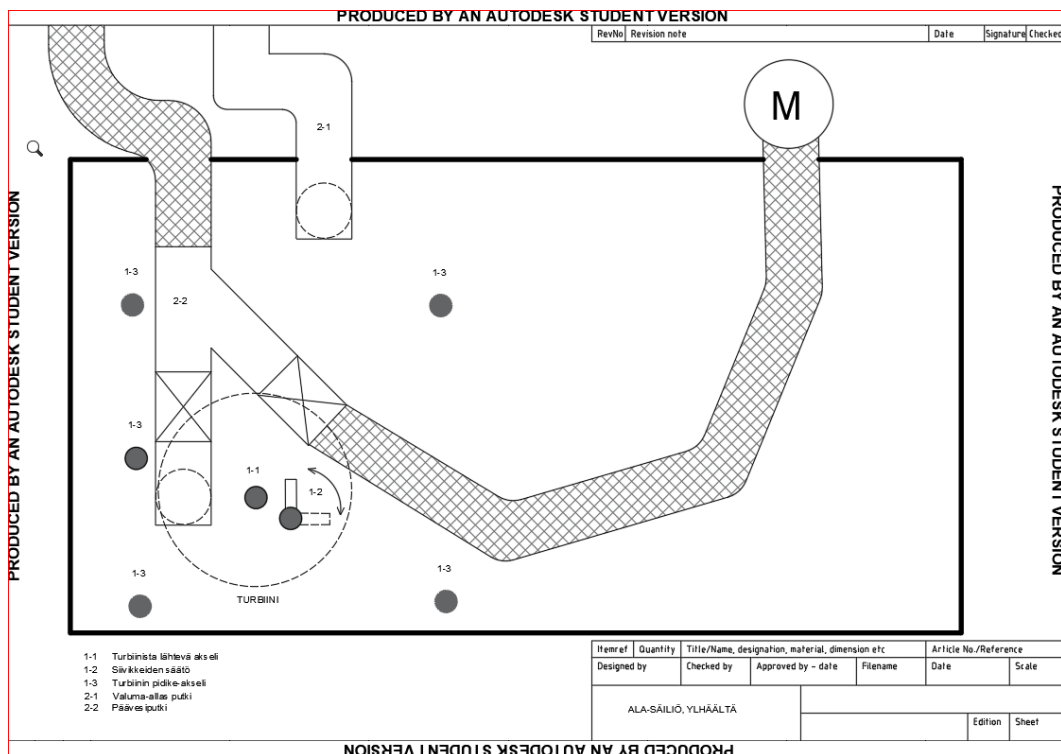
Paino: 3,9 g

Nämä laakerit soveltuvat vedenalaisiin asennuksiin ja kestävät kemikaaleja. /6/. Xirodur B180- tyyppisiä laakereita tulee 3 kpl alavesisäiliöön.

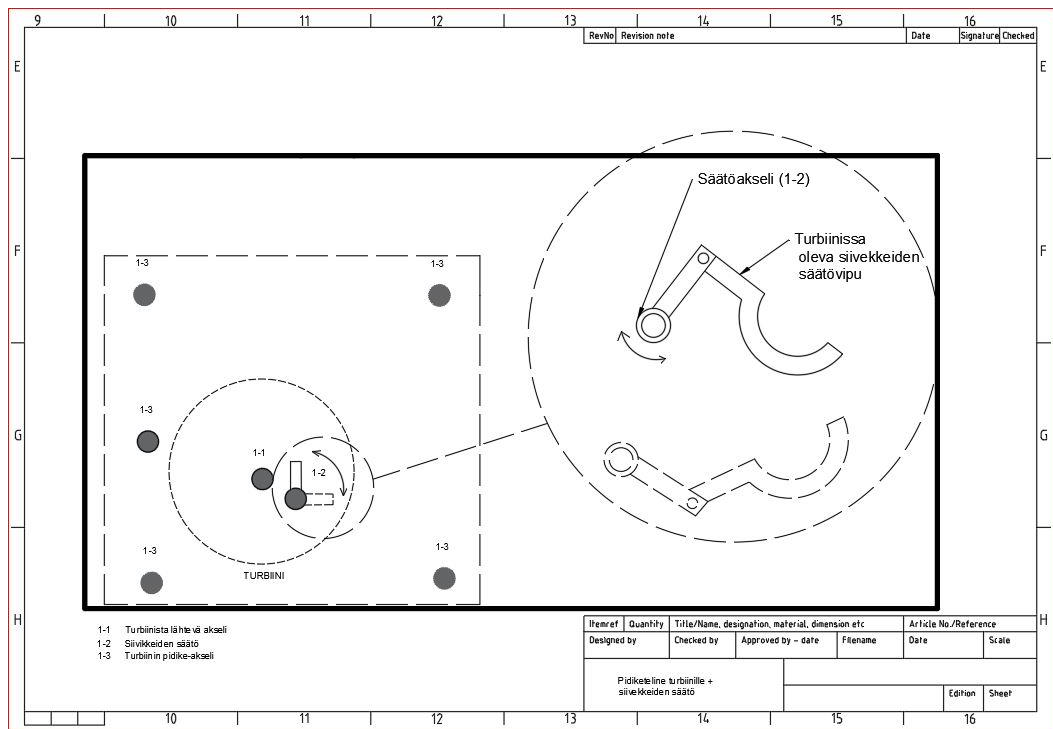
Kaksi muuta laakeria, jotka ovat vedenpinnan yläpuolella, ovat tavallisia teollisuuslaakereita, koolla 8 x 22 x 7.



Kuvio 15. Alasäiliön suunnitelma, sivulta.



Kuvio 16. Alasäiliön suunnitelma, ylhäältä.



**Kuvio 17.** Säättömekanismin toiminta.

Alasäiliöön tuleva kokonaisuus ( Kuviot 15-16) on 12 mm kierretankojen varassa makaava, kolmikerroksinen teline, johon turbiini kiinnittyy. Säättömekanismi (Kuva 17) tulee olemaan erillisellä askelilla oleva kääntövipu, jolla säädetään turbiinin johtosiivekkeiden asentoa. Lisäksi 5 mm polykarbonaattilevyyn kiinniteytyillä laakereilla saadaan vakavuutta pyörimisakselille ja säätöakselille. Kokonaisuuden paino jakautuu alasäiliön päälle tulevaan vesivaneriin. Vesivanerin päälle tulee putkisto venttiileineen, sekä generaattori. Painevesiautomaatilla pumpataan vettä alasäiliöstä yläsäiliöön demon ajon nopeuttamiseksi.

### 3.7 Generaattori

Turbiini tarvitsee generaattorin, jolla tuotetaan sähköä. Tämä on tärkeä osa PHES-demoa, jotta voidaan näyttää, miten pumppausvarasto toimii käytännössä.

Koska me emme tienneet turbiinin lähtöarvoja, tehoja, eikä pyörimisnopeuksia etukäteen, niin generaattorin tyyppin ja koon valinta oli arvuuttelua. Päätimme hankkia käytetyn sähköisen 2 x 350 W tasapainolaudan, josta voidaan ottaa moottorin irti ja käyttää sitä generaattorina.

Tasapainolauta purettiin ja irrotettiin siitä moottorin, joka toimii samalla laudan renkaana. Tasapainolaudan moottori on askelmoottori. Moottorissa on ulkoroottori ja kestopagneetit. Generaattorikäytössä kone toimii yksivaiheisena tahti-generaattorina.

Generaattorin toimintaa tutkittiin pyörittämällä sitä käsin ja mittaamalla samalla generaattorin tuottama jännite oskilloskoopilla (Kuva 19). Pyörittämällä roottoria yksi täysi kierros ja laskemalla oskilloskoopissa näkyvästä sinikäyrästä sen huip-pukohdat, saatiin napapariluvuksi 15.

Pyörittämällä generaattoria hitaasti, oskilloskoopista luettiin 5 V jännite, kun jaksonaika oli 50 ms. Kun generaattoria pyöritettiin voimakkaasti, saatiin lukemaksi 19,5 V jaksonajalla 12 ms. Napapariluvun avulla saadaan laskettua, kuinka kovaa moottorin on pyörittävä, jotta se tuottaisi verkkoon sopivan 50 Hz taajuuden. Kaavasta:

$$f = \frac{np}{60}, \text{ jossa} \quad f = \text{taajuus (Hz)} \quad (4)$$

p = napapariluku

n = kierroksia minuutissa (rpm)

$$n = (50 / 15) * 60 \rightarrow 200 \text{ rpm.}$$

Kun meillä on tiedossa generaattorin tuottama jännite ja jaksonaika, siitä saadaan laskettua taajuus ja pyörimisnopeus. Taajuus lasketaan seuraavasta kaavasta /1, s 124/.

$$f = \frac{1}{t}, \text{ jossa} \quad f = \text{taajuus (Hz)} \quad (5)$$

$$t = \text{aika (s)}$$

Kun jännite on 19,5 V ja jaksonaika on 12 ms, kaavasta (5) taajuudeksi saadaan:  $1 / 0,012 \text{ s} = 83 \text{ Hz}$

Kun taajuus on laskettu, saadaan kaavasta (4) kierrosnopeuden:  $n = 83 \text{ Hz} / 15 * 60 = 333 \text{ rpm}$

Piti ottaa huomioon, että oppilaitoksen tiloissa pitää noudattaa turvallisuusmääräyksiä. Generaattori ei saisi tuottaa yli 50V jännitettä, koska tämän yli menevä jännite luokitellaan vaaralliseksi. SFS-standardissa sanotaan näin:

” SELV- ja PELV-järjestelmän jännite rajoitetaan jännitealueen 1 ylärajalle 50 V vaihtojännitettä tai 120 V tasajännitettä ”

(SFS 6000, 414.1.1.)

Lisäksi Kodin sähköturvallisuuden oppaassa kerrotaan:

” Tavallinen sähkönkäyttäjä saa tehdä enintään 50 V:n vaihtojännitteellä ja enintään 120 V:n tasajännitteellä toimivien sähkölaitteistojen asennus- ja korjaustöitä, jos hän on näihin tehtäviin sekä niitä koskeviin turvallisuusvaatimuksiin perehtynyt tai opastettu. ” /11/.

Laskimme, kuinka nopeasti generaattorin on pyörittävä, jotta asetettu turvallisuusraja ylittyisi:

Tehollisarvo, jota ei saa ylittää, on 50 V. Tämä jännite on keskimääräinen tehollinen vaihejännite. Eli  $U_{\text{max}} = 50 \text{ rms}$ .

Kertomalla jännitteen tehollisarvo neliöjuuri 2, saadaan jännitteen huippuarvo. Neliöjuuri 2 on tehollisarvon ja huippuarvon välinen suhde sinimuotoisella jännitteellä /1, s 133/.

$$U_{\max} = 50\text{V} * \sqrt{2} = 70,7\text{ V}$$

Seuraavaksi oletetaan, että generaattorin jännite ja kierrosnopeus on lineaarinen,

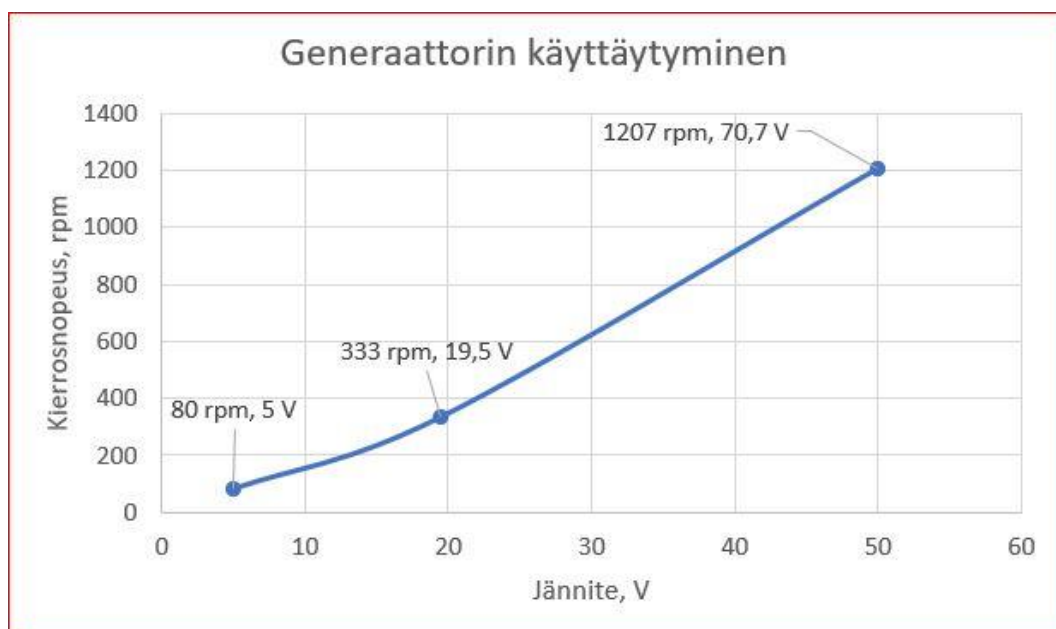
$$\text{niin saadaan yhtälöksi: } \frac{U_1}{\text{rpm}_1} = \frac{U_2}{\text{rpm}_2}$$

Jos yhtälöä sovelletaan kierrosnopeuden laskentaan:  $\text{rpm}_2 = \frac{U_2}{U_1} * \text{rpm}_1$

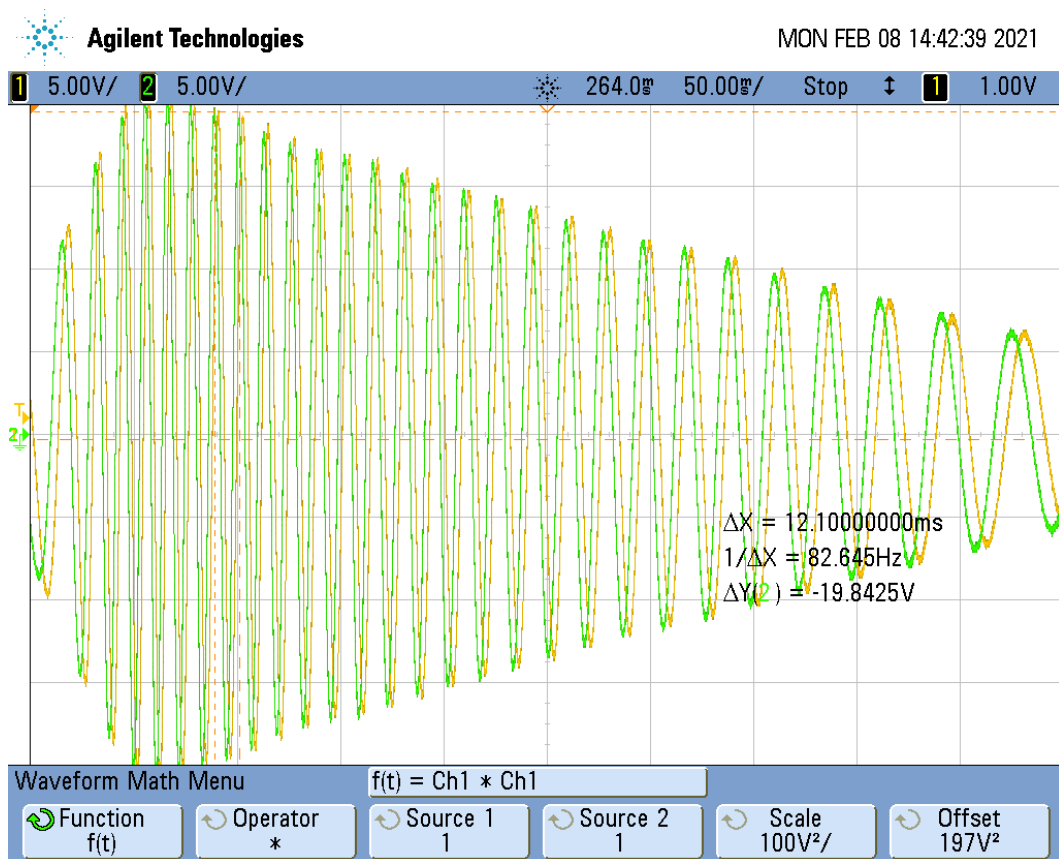
Käytetään aikaisemmin saatuja generaattorin testituloksia: jännite 19,5 V ja pyörimisnopeus 333 rpm.

Lasketaan, kuinka nopeasti generaattorin on pyörittävä, jotta turvallinen jännitтеріа ylittyisi:  $70,7\text{ V} / 19,5\text{ V} * 333\text{ rpm} = 1207\text{ rpm}$

Seuraavasta kuvaajasta näkee generaattorin käyttäytymisen (Kuvio 18).



**Kuvio 18.** Generaattorin teoreettinen käyttäytyminen.



**Kuvio 19.** Generaattorin käyttäytyminen, oskilloskooppi.

### 3.8 Kemikaalien vaikutus PLA muoviin

Projektiin tulevan Francis-turbiinin tulostus tapahtuu PLA-muovilla, eli polylaktidi muovilla.

Polylaktidi on luonnon raaka-aineisiin perustuva biopolymeeri, jonka valmistuksessa käytetään sokeria, selluloosaa tai tärkkelystä. Polylaktidi luokitellaan termoplastisiin polyestereihin, ja se on osittain kiteinen kestumuovi, joka hajoaa luonnossa hiilidioksidiksi, vedeksi ja humukseksi. /5, s 43/.

Vaikka PLA-muovi kestää vettä /7/, kloorin kestävydestä emme tiennet. Päätimme tehdä kemialliset testit kyseiselle materiaalille. Tämä päätös syntyi sen takia, että veden rasitus muoville on suhteellisen kova ja veteen tullaan lisäämään allasklooria mahdollisen vesikasviston ja sameuden estämiseksi.

Turbiinin pitää kestää kauan ilman korjauksia. Lisäksi PHES-demon vesimäärä tulee olemaan alasäiliössä pitkiä aikoja ilman tyhjennystä, jotta demo saadaan nopeasti käyntiin. Turbiini tulee olemaan alasäiliön pohjalla veden alla.

### 3.8.1 Kemikaalien vaikutus PLA-muoviin, suunnittelu

Ennen varsinaista kokeen alkua, tehtiin suunnitelma, miten toimitaan.

Koe koostuu kolmesta näytteestä, jotka sisältävät 3 koekappaletta jokainen (Taulukko 1). Koekappaleita on tarkoitus altistaa kloorille suhteellisen pitkäksi aikaa ja seurata prosessia koepunnituksilla ja mikroskooppikuvauksilla.

**Taulukko 1.** Näytteiden pitoisuudet.

	Sisältö	Pitoisuus	Kommentit
<b>1. Näyte</b>	Vesi	-	Hanavesi
<b>2. Näyte</b>	Kloori	3 g/m <sup>3</sup>	Tavallinen pitoisuus
<b>3. Näyte</b>	Kloori	30 g/m <sup>3</sup>	x10 Pitoisuus

## 4 PROJEKTIN LÄHESTYMISTAPA, TOTEUTUS

### 4.1.1 Kemikaalien vaikutus PLA-muoviin, toteutus

Toteutus tehtiin kahdella eri testillä. Jotta nähdään 3D-muovin kloorikestävyys, päätettiin tarkkailla koekappaleiden painoa ja kuvata kappaleet mikroskoopilla. Ennen punnitsemista kappaleet kuivattiin uunissa 80 °C ja eksikaattorissa.

#### **Koekappaleiden valmistelu, kokeen käynnistys**

Tehtiin laskelmat, jossa määritettiin pitoisuudet. Allaskloori, jota tullaan käyttämään valmiissa demossa, on natriumdikloori-isosyanuraatti. Purkin kyljessä lukee seuraavat tiedot:

Sodium dichloroisocyanurate, Allaskloori.

Ensiannostelu n. 4 g / m<sup>3</sup> (40 g / 10 m<sup>3</sup>)

Jatkokäsittelyyn 0-2 g / m<sup>3</sup> altaan kuormituksesta riippuen

Shokkiklooraus 4-8 g / m<sup>3</sup> tulee suorittaa 3-4 kertaa vuodessa

Vapaan kloorin määräksi suositellaan 0,4 – 1,2 mg / l

Veden pH arvo tulee olla välillä 6,9 – 7,6

Vapaa kloori tarkoittaa aktiivista klooria, joka on kemiassa käytetty laskennallinen käsite. Vapaan kloorin avulla voidaan verrata erilaisia kloorikemikaaleja.

Näytepullojen tilavuudeksi valittiin 1 l.

Päätettiin, että klooria lisätään demon veteen 3 g / m<sup>3</sup>. Seuraavaksi suoritettiin näytepullojen pitoisuuksien laskenta:

Näytepullojen ominaisuudet:

1. Hanavesi
2. 1 x liuos 3 g / m<sup>3</sup>
3. 10 x liuos 30 g / m<sup>3</sup>

Ensin laskettiin sekoitussuhteet näytepulloon:

1 x lioksen pitoisuus: 3 g / m<sup>3</sup>

Kaavasta:

$$C_1 V_1 = C_2 V_2, \text{ jossa } C_1 = \text{alkuperäinen kloorin massa (5)}$$

$V_1 = \text{alkuperäinen tilavuus}$

$C_2 = \text{tarvittava kloorin massa}$

$V_2 = \text{tarvittava tilavuus}$

lasketaan:

$$3 \text{ g} * 1000 \text{ l} = X \text{ g} * 1 \text{ l} \rightarrow X = 3 \text{ g} * 1 \text{ l} / 1000 \text{ l} = 0,003 \text{ g}$$

Tuloksen perusteella näkee, että kyseisen pitoisuuden saavuttaminen olisi hyvin vaikeaa (0,003 g/l). Päätettiin tehdä perusliuos, josta valmistettaisiin näytteiden tarvittavat pitoisuudet.

### Perusliuos

Päätettiin valmistaa 25-kertainen perusliuos 2. liokseen nähden. Liuos tehtiin 5 litran pulloon. Otettiin 2. liuos (10x kertainen) ja kerrottiin kloorin määrä 25:llä:

$$10x \text{ liuos: } 0,03 \text{ g / l} \rightarrow 0,03 \text{ g} \times 25 = 0,75 \text{ g / l}$$

Valmiista 25-kertaisesta liuksesta valmistettiin tarvittavat 1 litran perusliuokset:

1x liuos:  $0,003 \text{ g} / 1 / 0,75 \text{ g} / 1 = 0,004 \text{ l} \rightarrow 4 \text{ ml}$

10x liuos:  $0,03 \text{ g} / 1 / 0,75 \text{ g} / 1 = 0,04 \text{ l} \rightarrow 40 \text{ ml}$

Liuokset valmistettiin 1 litran pulloihin ja asennettiin sekoittimien päälle. Välillä tehtiin koetarkistukset (punnitus, mikroskooppi).

## 4.2 Yläsäiliö

Yläpedin (Kuvio 20) rakentaminen sujui suunnitellusti. Hypotenuusan ja kateettien välille tehtiin suunnitelmasta poiketen lisää tukea. Lisäksi valuma-sallas kasvatti korkeutta (40 cm) vesivahingon parhaaksi välttämiseksi. Valuma-altaan vedenpitävyyttä testattiin kaatamalla siihen noin 300 l vettä.



**Kuvio 20.** Yläpedin toteutus.

### **4.3 Putkiston toteutus**

Putkiston toteutuksessa (Kuvio 21) kaikki meni suunnitellusti. Yläsäiliön ja betonipilarin väliin jouduttiin tekemään tuen puulaudasta, jotta putkisto ei roikkuisi

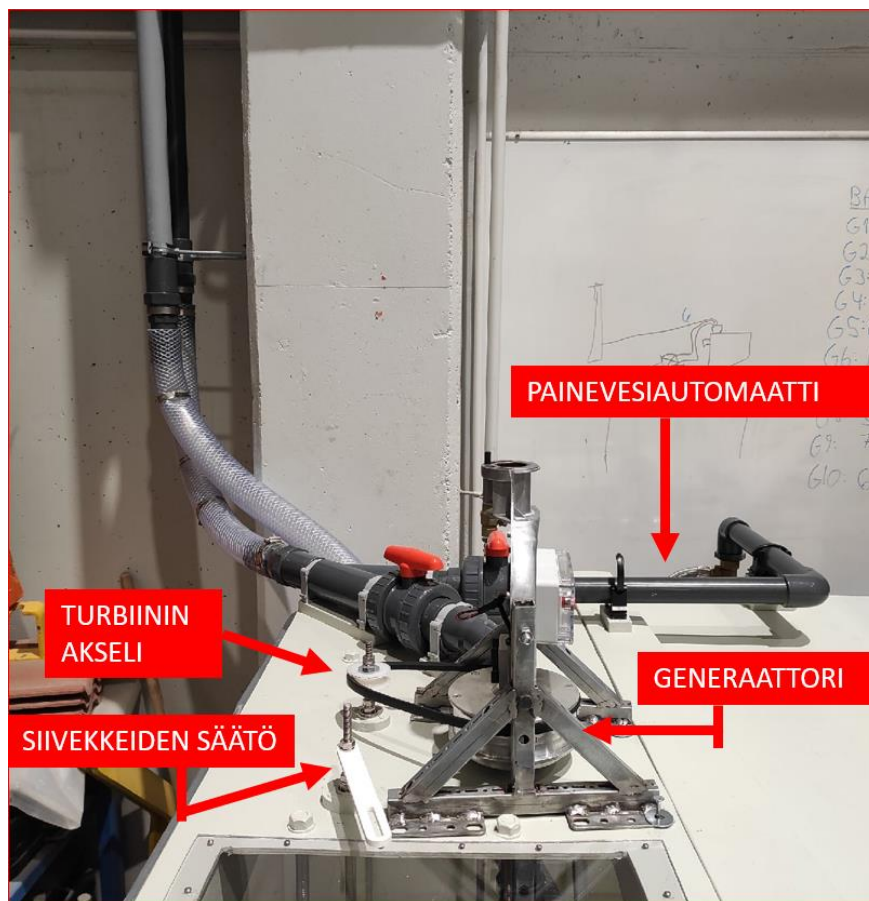
ilmassa. Yläsäiliön kiinnitys putkistoon suoritettiin 50 mm letkulla ja 50 mm putken palalla. Suoritettiin koeajo ja pumpattiin 900 l vettä alasäiliöstä yläsäiliöön, mitään vuotoja ei ilmennyt. Kuvassa 20 näkyvä punainen putki ei kuulu projektiin.



**Kuvio 21.** Putkiston ylempi osa.

#### 4.4 Alasäiliö

Alasäiliön teko sujui suunnitellusti (kuva 22). Demoa ohjataan kahdella venttiilillä ja turbiinin solukkeiden asennolla. Generaattorille on rakennettu oma teline, jossa on paikat banaaniliittimille. Turbiini on kiinni generaattorissa hihnavälityksellä ja hihnan saa tarvittaessa irti. Vettä pumpataan yläsäiliöön vesiautomaatin avulla, jonka imupuolella on karkea vesisuodatin. Alasäiliön ja vesipisteen välinen etäisyys on tarvittava metri. Alasäiliön voi tyhjentää tarvittaessa vieressä sijaitsevaan kaivon tyhjennysletkun ja alasäiliössä sijaitsevan poistoventtiilin avulla. Jos valmista työtä vertaa suunnitteluvaiheeseen (Kuva 17) niin huomataan, että pystyttiin hyvin toteuttamaan suunnitelmaa. Painevesiautomaatin putkisto toteutettiin 40 mm putkilla, koska valikoimasta ei löytynyt sovitinta 50 mm putkiston ja pumpun väliin.



**Kuvio 22.** Alasäiliön toteutus.

## 5 PROJEKTIN TUOTOKSET

### 5.1 Kemikaalien vaikutus PLA-muoviin, tuotokset

Niin kuin punnitustuloksista nähdään (Taulukko 2), kloorin vaikutus 3D-muoviin on olematon. Koekappaleiden painon muutokset ovat prosentin sadasosien luokkaa, mikä voikin selittyä vaa'an tarkkuudella.

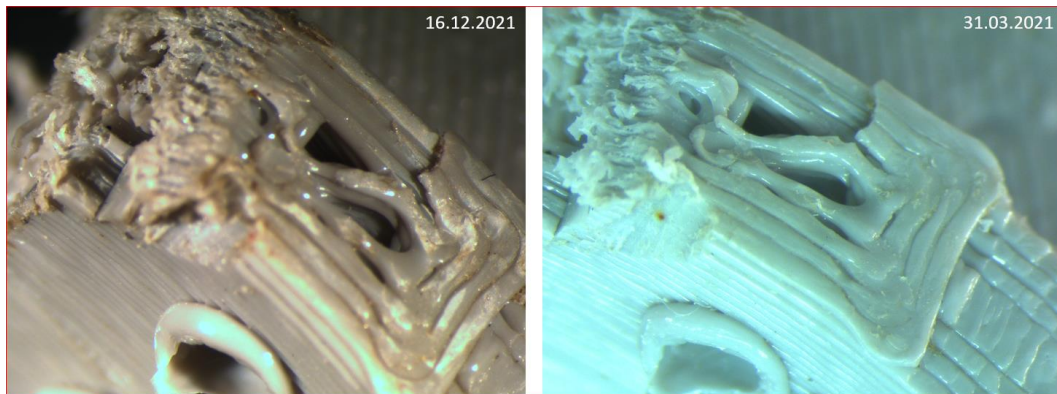
Mikroskooppikuvista (Kuvio 23) voi nähdä, että jopa 10-kertainen kloorin pitoisuus ei liuota PLA-muovia edes pitkällä (3,5 kk) aikavälillä.

**Taulukko 2.** Näytteiden punnitus.

1. Näyte (Vesi)				
	Kappaleen numero	1.	2.	3.
17.12.20	Paino (g)	1,4233	1,3185	0,7425
22.12.20	Paino (g)			0,7423
19.01.21	Paino (g)		1,3180	
31.03.21	Paino (g)	1,4227	1.3178	0,7423

2. Näyte (3g/m3)				
	Kappaleen numero	1.	2.	3.
17.12.20	Paino (g)	0.9152	1,0573	0.7459
22.12.20	Paino (g)			0,7456
19.01.21	Paino (g)		1,0567	
31.03.21	Paino (g)	0,9146	1,0567	0,7456

3. Näyte (30g/m3)				
	Kappaleen numero	1.	2.	3.
17.12.20	Paino (g)	1,0370	1,1248	0,6693
22.12.20	Paino (g)			0,6691
19.01.21	Paino (g)		1,1244	
31.03.21	Paino (g)	1,0334	1,1244	0,6691



**Kuvio 23.** Mikroskooppikuvat näytteestä.

## 5.2 PHES-demon testit

Varsinaisten toimivuustestien lisäksi pumppuvoimalaitosta testattiin todellisenä energianvarastona, taulukoimalla tulokset ja johtamalla tuloksista erilaisia johtopäätöksiä. Testejä suoritettiin kolme kertaa.

### 5.2.1 Ensimmäinen testi

Ensimmäisellä kerralla turbiinin akseli ja säätösolukkeet jäivät jostain syystä jumiin. Alasäiliön purkamisen jälkeen turbiinikuoren kantta on vahvistettu pidemmillä kiinnitysruuveilla, akselia on uudestaan tasapainotettu ja koko alasäiliön turbiinikokonaisuudelle on annettu myös pitkittäistukea 8 mm kierretangolla. Tuloksia ei taulukoitu, koska jumiutuneen turbiinin ajo oli mahdotonta.

### 5.2.2 Toinen testi

Seuraavissa testeissä turbiinikuoren ja putkiston välinen muovinen osa petti liitoksesta ja turbiini muuttui ajokelvottomaksi, koska ei pitänyt enää painetta. Lisäksi molemmissa testeissä demoa piti ohjata venttiilistä, eikä johtosolukkeista. Johtosolukkeet eivät estäneet veden tuloa siipipyörälle: siipipyörä oli pyörinyt, vaikka

solukkeet olivat kiinni. Tämä johtuu epätarkasta rakennesuunnittelusta ja sen huomasi jo turbiinin kokoamisvaiheessa.

Painevesiautomaatin hyötysuhteen laskemiseksi oli erikseen hankittu pistorasiaan kytkettävä energiamittari. Lisäksi testeissä oli keinokuorma, teho/energiamittari ja erillinen jännitemittari, jotka olivat kytketty generaattoriin. Testiajo suoritettiin turbiinin johtosolukkeiden olleessa auki ja venttiilin olleessa täysin auki.

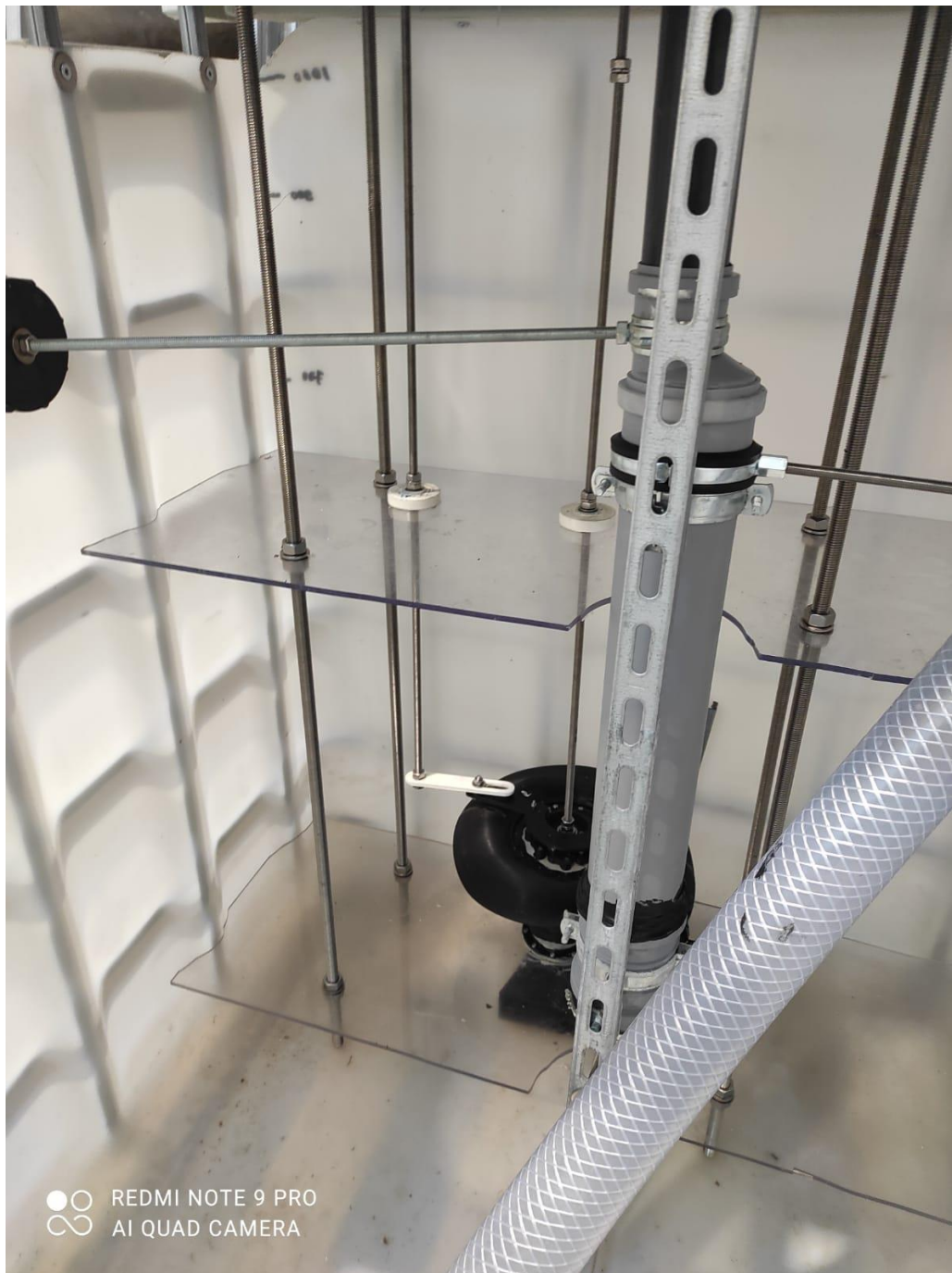
Painevesiautomaatin hyötysuhde jäi hyvin alhaiseksi (noin 10,5 %) josta seurasi osittain voimalaitos demon alhainen hyötysuhde.

Turbiinin hyötysuhde jäi myös alhaiseksi (2,47 %), jos sitä verrataan oikeisiin vesivoimalaitoksissa oleviin Francis-turbiineihin, joiden hyötysuhde on noin 90 %.  
*/3, s. 237/.*

Kokonaishyötysuhteeksi saatiin 0,25 %, joka on todella alhainen. Erilaisilla säädöillä, esimerkiksi keinokuorman muutoksilla, sitä voidaan ehkä hieman nostaa, mutta hyötysuhde jää hyvin alhaiseksi kuitenkin.

### **5.2.3 Kolmas testi**

Purin alasäiliön kannen uudestaan, jotta pääsisin tutkimaan alasäiliön sisällä olevaa turbiinia. Osoittautui, että turbiini ja sen putkisto pääsee liikkumaan veden aikaansaaman paineen nousun ansiosta, vaikka siihen on tehty vahvistuksia aikaisemmin. Tein lisävahvistuksia niin putkistolle, kuin turbiinillekin. Lisäksi putkien liitososat on tiivistetty erikoissilikonilla (Sikaflex 291i). Turbiinin menevä liitospala on otettu pois ja putki on liitetty suoraan turbiinin sisääntuloon.



**Kuvio 24.** Sivutaiset ja poikittaiset lisävahvistukset putkistolle.

Testit menivät hyvin eikä turbiinin akseli jumiutunut. Ajoin 200 litran vesimäärää muutaman kerran yläsäiliöstä alasäiliöön ja lopuksi 700 litraa kerralla. Mitään jumiumista ei esiintynyt: sähkön tuotto oli tasaista. Viimeisillä vahvistusmuutok-

silla turbiinin ja generaattorin yhdistetty hyötysuhde nousi 2,47 prosentista 4,09 prosenttiin. PHES-demon kokonaishyötysuhde nousi 0,25 prosentista 0,42 prosenttiin. Liitteessä 4 löytyy testitulokset taulukoituna.

### **5.3 Ohjeiden luominen**

PHES-demon suunniteltiin erilaisia ohjeita, kuten käyttöohje, huolto-ohje ja al-laskloorin lisäämiseen tarkoitettu seurauslista. Nämä dokumentit löytyvät liitteissä 3, 4, ja 5.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Projekti oli hyvin haastava ja kesti pitkään. Projektin aikana tuli opittua, että ihan kaikkea ei voi suunnitella etukäteen ja että suunnitelmat muuttuvat projektin edetessä. Haastavuudesta huolimatta PHES-demon rakentaminen oli todella kiinnostavaa ja monipuolinen. Rakentamisen aikana piti muun muassa pysyä budjetissa, suorittaa jonkin verran kustannuslaskentaa ja tutustua generaattorin toimintaan syvällisemmin.

PHES-demon valmistuessa huomasin, että sillä on iso potentiaali. Seuraava askel olisi laatia työohje opiskelijoille. Tulevaisuudessa siihen voidaan asentaa sähköhjattuja venttiilejä. Asentamalla PHES-demoon painemittareita saadaan demosta lisää dataa irti, jota voidaan verrata oikeanlaisiin PHES-voimalaitoksiin. Demon hyötysuhteen kasvattaminen on myös mahdollinen. Minun mielestäni valmistunut PHES-demo soveltuu hyvin opetuskäyttöön.

3D-tulostettu Francis-turbiini osoittautui ongelmakohtaksi, niin kuin aikaisemmin mainitsin. Johtuen ehkä siitä, että Francis-turbiinin rakenne on aika monimutkainen ja se, että se on valmistettu muovista, se tuotti ongelmia eikä toiminut niin kuin sen pitäisi. Tulevaisuudessa turbiini voisi vaihtua metalliseen, mikä kasvattaisi niin hyötysuhdetta, kuin yleiskestävyyttä. Lisäksi alun perin suunniteltu ja toteutettu alasäiliön peti turbiinille tuotti ongelmia, koska peti pääsi kuitenkin liikkumaan veden aikaansaaman paineen ansiosta. Vasta kunnollisen lisävahvistuksen jälkeen saatiin pysymään sen paikoillaan. Jälkeenpäin mietittynä kierretankojen ja muovilevyjen tilalle olisi pitänyt tehdä metallisen laatikon, joka olisi paljon vakaampi.

## LÄHTEET

/1/. MAOL-Taulukot. Seppänen, R., Mannila, L., Kervinen, M., Konttinen, P., Karkela, L., Yli-Kokko, T., . . . Kairinen, K. 2013. MAOL-tilutkot: Matematiikka, fysiikka, kemia. [Uud. laitos], 1. p. Helsingissä: Otava.

/2/. Modelling and controlling hydropower plants. Munoz-Hernandez, G. A., Mansoor, S. P. & Jones, D. I. 2013. Modelling and controlling hydropower plants. New York: Springer.

/3/. Turbiinitekniikka. Kauppinen, J. 2018. Turbiinitekniikka: Käyttö, huolto ja kunnossapito. 1. painos. Tampere: Tammertekniikka.

/4/. Energiatekniikka. Perttula J. Energiatekniikka. 2000. Energiatekniikka. 1.painos. WSOY. Helsinki

/5/. Muovitekniikan perusteet. Opetushallitus, Kurri, V., Malén, T., Sandell, R., Virtanen, M., Pohjanpelto, K. & Pohjanpelto, K. 2008. Muovitekniikan perusteet.

/6/. Laakereiden ominaisuudet. Viitattu 13.01.2021.

<https://www.tme.eu/Document/b8d0fc5c471e4b9330c6b20d3e5d0428/xiros-B180-EN.pdf>

/7/. PLA muovi. Viitattu 16.11.2020.

<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/pla/>

/8/. Energian varastointi

<https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/pumped-hydropower/>

/9/. Tampereen pienisvoimala. Viitattu 16.11.2020

<https://tamk-blogi.tamk.fi/tag/pienoisvesivoimala/>

/10/. Kaplan-turbiinin toiminta

<https://www.brighthubengineering.com/fluid-mechanics-hydraulics/27426-hydraulic-turbines-kaplan-turbine/>

/11/. Kodin sähköturvallisuus. Viitattu 15.02.2021.

<https://tukes.fi/documents/5470659/6406815/Kodin-sahkoturvallisuus.pdf/ff40eb43-a4e5-4a71-afd7-666f941483da/Kodin-sahkoturvallisuus.pdf>

/12/. Ohje kiinteiden sammutusvesiputkistojen suunnittelusta ja toteutuksesta. /2/18/PELT, s 7 Viitattu 15.02.2021.

[https://www.hel.fi/static/liitteet/pela/Rakenteellinen%20paloturvallisuus/Ohje%20kiinteiden%20sammutusveiputkistojen%20suunnittelusta%20ja%20toteutuksesta\\_2\\_18PELT.pdf](https://www.hel.fi/static/liitteet/pela/Rakenteellinen%20paloturvallisuus/Ohje%20kiinteiden%20sammutusveiputkistojen%20suunnittelusta%20ja%20toteutuksesta_2_18PELT.pdf)

/13/. PHES-laitoksen toimintaperiaate. Viitattu 06.12.2020.

<https://publications.anl.gov/anlpubs/2014/12/106380.pdf>

/14/. Francis -turbiinin toimintaperiaate. Viitattu 06.12.2020.

<https://www.linquip.com/blog/what-is-francis-turbine/>

/15/. 3D-tulostettavan turbiinin kokonaisuus. Viitattu 21.12.2020.

<https://www.thingiverse.com/thing:4129534>



## LIITE 1

## Lujuuslaskenta yläpedin hypotenuusapalkille

Finnwood 2.4.3 (2.4.088)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

?

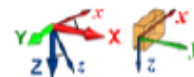
9.4.2021

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

Finnwood 2.4.3 (2.4.088)

RIL 205-1-2017 (04.12.2019)

Rakennemitoitus ilman onnettomuus-/palotilannetta



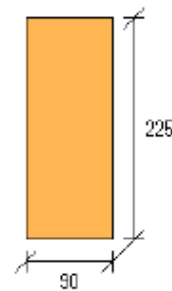
## PROJEKTITIEDOT:

Nimi: ?

C:\Users\free\_\OneDrive\Desktop\DIPLOM\kuvia oppariin\laskentakorjattu2,6N.s01

## RAKENNETIEDOT:

Rakennetyyppi: Lattiapalkki/laatta  
 Materiaali: GL30c  
 Poikkileikkaus: 90x225 (varastokoko, Kuningaspalkki)  
 (B=90 mm, H=225 mm, A=20250 mm<sup>2</sup>, I<sub>y</sub>=85429688 mm<sup>4</sup>, W<sub>y</sub>=759375 mm<sup>3</sup>)  
 Käyttöluokka: 1  
 Seuraamusluokka: CC2 (KFI=1.0)  
 Jako/kuormituslev.: 400 mm (pintakuormille)



## Uloke-/jännevälipituudet:

Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:  
 Jänneväli 1: 3620.0  
 Yhteensä: 3620.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	0	45	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	3620	45	Liukutuki (Z)

f <sub>m,k</sub> (M <sub>y</sub> ):	33.00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>m,k</sub> (M <sub>z</sub> ):	30.00 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>c,0,k</sub> :	24.50 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>c,90,k</sub> :	2.50 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>t,0,k</sub> :	21.45 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>t,90,k</sub> :	0.50 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>v,k</sub> (V <sub>z</sub> ):	3.50 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>v,k</sub> (V <sub>y</sub> ):	3.50 N/mm <sup>2</sup>
E <sub>mean</sub> :	13000 N/mm <sup>2</sup>
G <sub>mean</sub> :	650 N/mm <sup>2</sup>
E 0.05:	10800 N/mm <sup>2</sup>
G 0.05:	540 N/mm <sup>2</sup>
Tilavuuspaino:	5.00 kN/m <sup>3</sup> (omapainon laskentaa varten)

## LIITE 1

## Lujuuslaskenta yläpedin hypotenuusapalkille

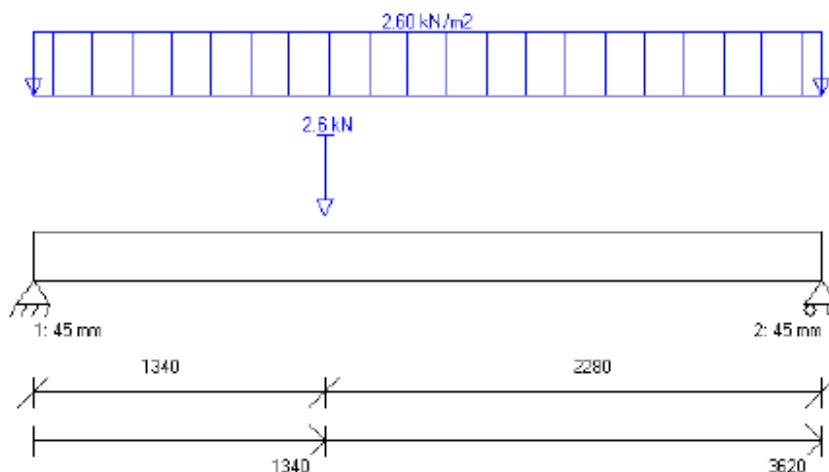
Finnwood 2.4.3 (2.4.088)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

?

9.4.2021

km-kerroin:	0.70
kcr-kerroin:	1.00
<hr/>	
Osavamuusluku:	1.25
<hr/>	
Aikaluokka:	kmod:
Pysyvä:	0.600
Pitkäaikainen:	0.700
Keskipitkä:	0.800
Lyhytaikainen:	0.900
Hetkellinen:	1.100
<hr/>	
kdef:	0.600

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Rakenneosan paino:  $QZ = 0.101 \text{ kN/m}$   $x = 0 - 3620 \text{ mm}$ 

Hyötykuorma (Hyötykuorma A, Keskipitkä, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):

Pintakuorma: 1:  $QZ = 2.600 \text{ kN/m}^2$   $x = 0 - 3620 \text{ mm}$ 

Hyötyk. pistekuormatark. (Hyötykuorma, lyhytaikainen, Lyhytaikainen, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):

Pistekuorma: 1:  $FZ = 2.60 \text{ kN}$   $x = 1340.0 \text{ mm}$  (2.6 kN)**KUORMITUSYHDISTELMÄT:**

## LIITE 1

## Lujuuslaskenta yläpedin hypotenuusapalkille

Finnwood 2.4.3 (2.4.088)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

?

9.4.2021

Yhdistelmä 1 (MRT, Pysyvä)

1.00\*1.35\*Omapaino

Yhdistelmä 2 (MRT, Keskipitkä)

1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*Hyötykuorma

Yhdistelmä 3 (MRT, Keskipitkä)

0.90\*Omapaino + 1.00\*1.50\*Hyötykuorma

Yhdistelmä 5 (MRT, Keskipitkä)

1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*0.70\*Hyötykuorma

Yhdistelmä 9 (MRT, Pysyvä)

1.00\*1.15\*Omapaino

Yhdistelmä 10 (MRT, Pysyvä)

0.90\*Omapaino

Yhdistelmä 11 (MRT, Lyhytaikainen)

1.00\*1.15\*Omapaino + 1.00\*1.50\*Hyötyk. pistekuormatark.

Yhdistelmä 12 (MRT, Lyhytaikainen)

0.90\*Omapaino + 1.00\*1.50\*Hyötyk. pistekuormatark.

Yhdistelmä 13 (KRT)

1.00\*Omapaino

Yhdistelmä 14 (KRT)

1.00\*Omapaino + 1.00\*Hyötykuorma

Yhdistelmä 16 (KRT)

1.00\*Omapaino + 1.00\*0.70\*Hyötykuorma

Yhdistelmä 18 (KRT)

1.00\*Omapaino + 1.00\*Hyötyk. pistekuormatark.

**MITOITUS:**

Mitoitusstandardi:

EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + A2:2014 + RIL 205-1-2017

Kokonaiskäyttöaste:

27.7 %

**MITOITUSPARAMETRIT:**

Taipumaraja Winst: L/400

Taipumaraja Wnet,fin: L/300

Korotuskerroin, vasen uloke: 2.00

## LIITE 1

## Lujuuslaskenta yläpedin hypotenuusapalkille

Finnwood 2.4.3 (2.4.088)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

?

9.4.2021

Korotuskerroin, oikea uloke: 2.00  
 Nurjahdus z-suuntaan:  $L_c = 1.00 \cdot L$   
 Nurjahdus y-suuntaan:  $L_c = 1.00 \cdot L$

Kiepahdus taivutuksesta  $M_y$  (y-askelin suhteen):Kiepahdustukiväli rakenteen yläpuolella:  $L_{k1} = 300.00$  mmKiepahdustukiväli rakenteen alapuolella:  $L_{k2} =$  Päätukien välimatka $L_{ef1} = L_{k1}$  ja  $L_{ef2} = L_{k2}$  (Esim. kuormitus neutraaliakselilla/kiepahdustukien kautta)HUOM!  $L_{k1}$ :ta käytetään, kun  $M_y > 0$  ja  $L_{k2}$ :ta, kun  $M_y < 0$ 

Värähtelymitoitusta ei ole tehty

## MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	3.03 kN	30.24 kN	10.0 %	0 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Taivutus ( $M_y$ ):	3.47 kNm	18.04 kNm	19.2 %	1340 mm	Yhdistelmä 11/1, Lyhytaikainen
(ilman kiepahdusta):	3.47 kNm	18.04 kNm	19.2 %	1340 mm	Yhdistelmä 11/1, Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 1:	3.03 kN	18.90 kN	16.1 %	0 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipaine kerroin = 2.92					
Tukipaine, tuki 2:	3.03 kN	18.90 kN	16.1 %	3620 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipaine kerroin = 2.92					
jänneväli 1, $W_{z,inst}$ :	2.5 mm	9.1 mm	27.7 %	1629 mm	Yhdistelmä 18/1
jänneväli 1, $W_{z,net,fin}$ :	3.0 mm	12.1 mm	24.9 %	1810 mm	Yhdistelmä 14/1

## ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT

Yhdistelmä 2/1 (Keskipitkä):

1.15\*Omapaino + 1.50\*Hyötykuorma

Yhdistelmä 11/1 (Lyhytaikainen):

1.15\*Omapaino + 1.50\*Hyötyk. pistekuomatark.

Yhdistelmä 18/1 :

1.00\*Omapaino + 1.00\*Hyötyk. pistekuomatark.

Yhdistelmä 14/1 :

1.00\*Omapaino + 1.00\*Hyötykuorma

## VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
$V_{z,max}$	3.03 kN	0 mm
$M_{y,max}$	3.47 kNm	1340 mm

## TUKIREAKTIOT:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	3.03 kN	0.16 kN	2.07 kN	0.18 kN
2:	3.03 kN	0.16 kN	2.07 kN	0.18 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

## TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):

## LIITE 1

## Lujuuslaskenta yläpedin hypotenuusapalkille

Finnwood 2.4.3 (2.4.088)

© Copyright 2019 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

?

9.4.2021

Korotuskerroin, oikea uloke: 2.00  
 Nurjahdus z-suuntaan:  $L_c = 1.00 \cdot L$   
 Nurjahdus y-suuntaan:  $L_c = 1.00 \cdot L$

Kiepahdus taivutuksesta  $M_y$  (y-askelin suhteen):Kiepahdustukiväli rakenteen yläpuolella:  $L_{k1} = 300.00$  mmKiepahdustukiväli rakenteen alapuolella:  $L_{k2} =$  Päätukien välimatka $L_{ef1} = L_{k1}$  ja  $L_{ef2} = L_{k2}$  (Esim. kuormitus neutraaliakselilla/kiepahdustukien kautta)HUOM!  $L_{k1}$ :ta käytetään, kun  $M_y > 0$  ja  $L_{k2}$ :ta, kun  $M_y < 0$ 

Värähtelymitoitusta ei ole tehty

## MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	3.03 kN	30.24 kN	10.0 %	0 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Taivutus ( $M_y$ ):	3.47 kNm	18.04 kNm	19.2 %	1340 mm	Yhdistelmä 11/1, Lyhytaikainen
(ilman kiepahdusta):	3.47 kNm	18.04 kNm	19.2 %	1340 mm	Yhdistelmä 11/1, Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 1:	3.03 kN	18.90 kN	16.1 %	0 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 2.92					
Tukipaine, tuki 2:	3.03 kN	18.90 kN	16.1 %	3620 mm	Yhdistelmä 2/1, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 2.92					
jänneväli 1, $W_z, inst$ :	2.5 mm	9.1 mm	27.7 %	1629 mm	Yhdistelmä 18/1
jänneväli 1, $W_z, net, fin$ :	3.0 mm	12.1 mm	24.9 %	1810 mm	Yhdistelmä 14/1

## ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT

Yhdistelmä 2/1 (Keskipitkä):

1.15\*Omapaino + 1.50\*Hyötykuorma

Yhdistelmä 11/1 (Lyhytaikainen):

1.15\*Omapaino + 1.50\*Hyötyk. pistekuomatark.

Yhdistelmä 18/1 :

1.00\*Omapaino + 1.00\*Hyötyk. pistekuomatark.

Yhdistelmä 14/1 :

1.00\*Omapaino + 1.00\*Hyötykuorma

## VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
$V_z, max$	3.03 kN	0 mm
$M_y, max$	3.47 kNm	1340 mm

## TUKIREAKTIOT:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	3.03 kN	0.16 kN	2.07 kN	0.18 kN
2:	3.03 kN	0.16 kN	2.07 kN	0.18 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

## TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):

## LIITE 2

## Kustannuslaskenta putkistolle

PUTKISTON SUUNNITTELU					
NIMI	LINKKI	kpl	metri	Kommentit	Hinta €
Putki 50mm PN 16	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/putki-50mm-pn-10/09910050/">https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/putki-50mm-pn-10/09910050/</a>		13	Pääputkisto	5,75
Palloventtiili 50mm PN 16	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/palloventtiili-50mm-pn-16/6.15.050/">https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/palloventtiili-50mm-pn-16/6.15.050/</a>	2		Pääputkisto	36,9
T-haara 45° 50mm PN 16	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/t-haara-45-50mm-pn-16/2.08.050/">https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/t-haara-45-50mm-pn-16/2.08.050/</a>	1		Pääputkisto	11
Käyrä 90° 50mm PN 16	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/kayra-90-50mm-pn-16/2.20.050/">https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/kayra-90-50mm-pn-16/2.20.050/</a>	2		Pääputkisto	7,85
Käyrä 45° 50mm PN 16	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/kayra-45-50mm-pn-16/1.16.050/">https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/kayra-45-50mm-pn-16/1.16.050/</a>	2		Pääputkisto	6,29
Tankin läpivienti 50-63mm x 2"	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/tankin-lapivienti-50-63mm-x-2-5.16.048/">https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/tankin-lapivienti-50-63mm-x-2-5.16.048/</a>	1		Valuma-allas, pääputkisto	21,1
Jatkosuhvi 50mm PN 16	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/jatkosuhvi-50mm-pn-16/3.90.050/">https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/jatkosuhvi-50mm-pn-16/3.90.050/</a>	10		Riippuu putkien pituudesta	1,8
Jatkosnipa sisäkierre 40/50mm x 1 1/2"sk	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/jatkosnipa-sisakierre-40-50mm-x-1-1-2-2.08.050/">https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/jatkosnipa-sisakierre-40-50mm-x-1-1-2-2.08.050/</a>	7		Putken ja letkun yhdistys	11,55
Letkuliitin ulkokierre 1 1/2"uk x 53-50mm	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/letkuliitin-ulkokierre-1-1-2-uk-x-53-50mm-1.16.050/">https://www.kotielaintarvike.fi/tuote/letkuliitin-ulkokierre-1-1-2-uk-x-53-50mm-1.16.050/</a>	7		Putken ja letkun yhdistys	5
LÄPINÄKYVÄ PVC LETKU 50mm	<a href="https://www.etra.fi/fi/toppclear-kudosvahvisteinen-lapinakyva-pvc-letku-50mm-1.16.050/">https://www.etra.fi/fi/toppclear-kudosvahvisteinen-lapinakyva-pvc-letku-50mm-1.16.050/</a>		4	Letku	10
Letkunkiristin 32->50mm	<a href="https://m.motonet.fi/fi/tuote/450050/Letkunkiristin-32-50mm-1.16.050/">https://m.motonet.fi/fi/tuote/450050/Letkunkiristin-32-50mm-1.16.050/</a>	7		Letku	1
<b>Yhteensä</b>					<b>389,78</b>

NIMI	LINKKI	kpl	metri	Kommentit	Hinta €
VIEMÄRIKANNAKE 1/2 47-51MM	<a href="https://www.verkkokauppa.sejo.fi/tuote/v6260403/3215637/asennuskisko-27-15-1-25-1.16.050/">https://www.verkkokauppa.sejo.fi/tuote/v6260403/3215637/asennuskisko-27-15-1-25-1.16.050/</a>	8		Putkiston kiinnitys	3,65
Asennuskisko 27/15/1,25 mm L=2m	<a href="https://www.onninen.fi/lampo-ja-vesi-seka-1.16.050/">https://www.onninen.fi/lampo-ja-vesi-seka-1.16.050/</a>	1		Putkiston kiinnitys	10,59
Asennuskiskon tarvikkeet	<a href="https://www.taloon.com/kiila-ankkuri-m10x45x120-1.16.050/">https://www.taloon.com/kiila-ankkuri-m10x45x120-1.16.050/</a>	??		Putkiston kiinnitys	??
Kiila ankkuri M10	<a href="https://www.taloon.com/kiila-ankkuri-m10x45x120-1.16.050/">https://www.taloon.com/kiila-ankkuri-m10x45x120-1.16.050/</a>	10		Putkiston kiinnitys	1,5
<b>Yhteensä</b>					<b>70</b>

NIMI	LINKKI	kpl	metri	Kommentit	Hinta €
Putki 40mm PN10	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/putki-40mm-pn-10/p/09910040/">https://www.kotielaintarvike.fi/putki-40mm-pn-10/p/09910040/</a>		3	Pumpun putkitus	4,45
Kulma 90° 40mm PN 16	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/kulma-90-40mm-pn-16/p/2.25.040/">https://www.kotielaintarvike.fi/kulma-90-40mm-pn-16/p/2.25.040/</a>	4		Pumpun putkitus	2,05
Supistusuhvi 50/40x40mm PN 16	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/supistuhvi-50-40x40mm-pn-16/p/3.92.053/">https://www.kotielaintarvike.fi/supistuhvi-50-40x40mm-pn-16/p/3.92.053/</a>	2		Pumpun putkitus	1,89
Jatkosnipa ulkokierre 40mm x 1"uk	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/jatkosnipa-ulkokierre-40mm-x-1-1.16.050/">https://www.kotielaintarvike.fi/jatkosnipa-ulkokierre-40mm-x-1-1.16.050/</a>	4		Pumpun putkitus	1,89
Putkikiinnike 40mm lukitus 10kpl	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/putkikiinnike-40mm-lukitus-10kpl/p/5.25.040/">https://www.kotielaintarvike.fi/putkikiinnike-40mm-lukitus-10kpl/p/5.25.040/</a>	1		Pumpun putkitus	16,34
Putkikiinnike 50mm lukitus 10kpl	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/putkikiinnike-50mm-lukitus-10kpl/p/5.25.050/">https://www.kotielaintarvike.fi/putkikiinnike-50mm-lukitus-10kpl/p/5.25.050/</a>	1		Pumpun putkitus	18,17
Jatkosuhvi 40mm PN 16	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/jatkosuhvi-40mm-pn-16/3.90.050/">https://www.kotielaintarvike.fi/jatkosuhvi-40mm-pn-16/3.90.050/</a>	6		Pumpun putkitus	1,35
Kulma 45° 40mm PN 16	<a href="https://www.kotielaintarvike.fi/kulma-45-40mm-pn-16/2.25.040/">https://www.kotielaintarvike.fi/kulma-45-40mm-pn-16/2.25.040/</a>	1		Pumpun putkitus	3,2
<b>Yhteensä</b>					<b>78,7</b>

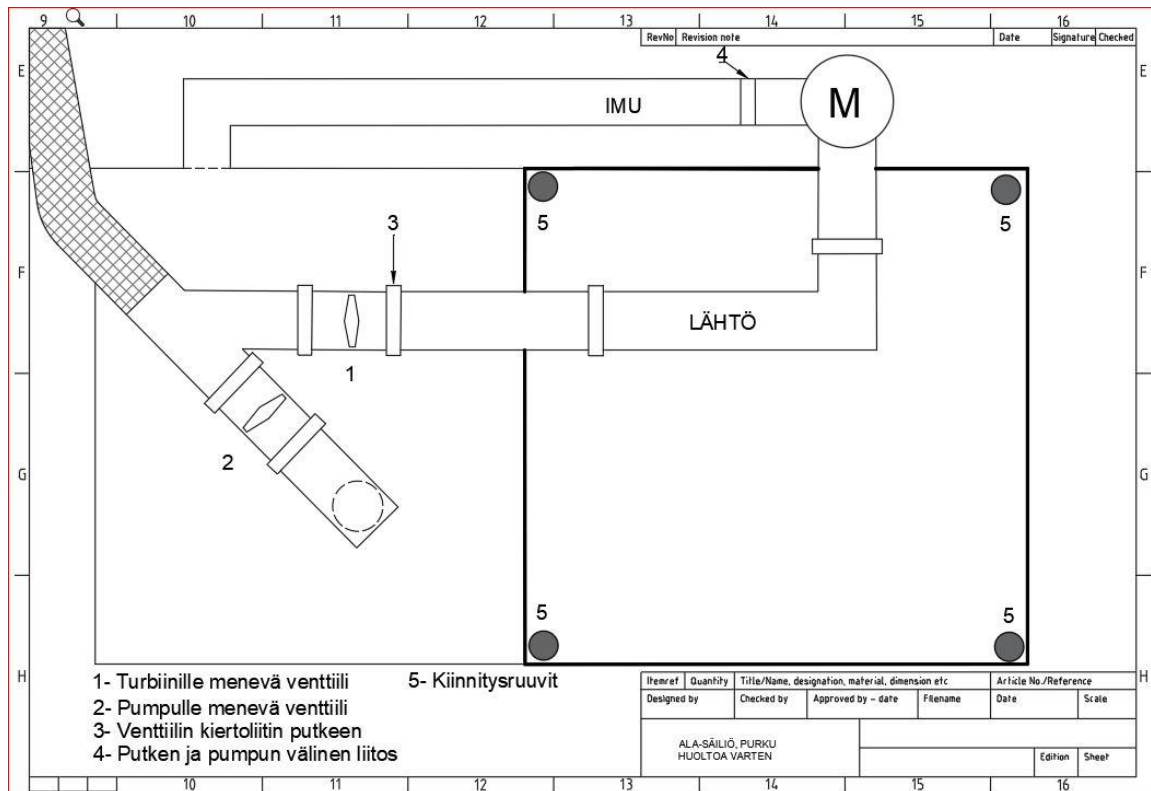
## LIITE 2

## Kustannuslaskenta putkistolle

	NIMI	LINKKI	kpl	metri	Kommentit	Hinta €
	Viemäriputki 50mm	<a href="https://www.biltema.fi/rakentaminen/ivi/putkistot/viemariputket/viemariputk">https://www.biltema.fi/rakentaminen/ivi/putkistot/viemariputket/viemariputk</a>		13	Valumaputkisto	4,5
	Viemäriputki, käyrä 87° 75mm	<a href="https://www.biltema.fi/rakentaminen/ivi/putkistot/viemariputket/viemariputk">https://www.biltema.fi/rakentaminen/ivi/putkistot/viemariputket/viemariputk</a>	1		Pääputkisto, turbiini	36,9
	VIEMÄRIPUTKI, PIENENNYS 75-50	<a href="https://www.biltema.fi/rakentaminen/ivi/putkistot/viemariputket/viemariputk">https://www.biltema.fi/rakentaminen/ivi/putkistot/viemariputket/viemariputk</a>	1		Pääputkisto, turbiini	3,9
	Viemäriputki, käyrä 45° 50mm	<a href="https://www.biltema.fi/rakentaminen/ivi/putkistot/viemariputket/viemariputk">https://www.biltema.fi/rakentaminen/ivi/putkistot/viemariputket/viemariputk</a>	2		Valumaputkisto	3,9
	Viemäriputki, käyrä 90° 50mm	<a href="https://www.biltema.fi/rakentaminen/ivi/putkistot/viemariputket/viemariputk">https://www.biltema.fi/rakentaminen/ivi/putkistot/viemariputket/viemariputk</a>	2		Valumaputkisto	2,9
Yhteensä						112,9
	NIMI	LINKKI	kpl	metri	Kommentit	Hinta €
	VIEMÄRIKANNAKE 1/2 47-51MM	<a href="#">VIEMÄRIKANNAKE PROF 1 1/2 47-51MM</a>	8		Putkiston kiinnitys	3,65
	Asennuskisko 27/15/1,25 mm L=2m	<a href="https://verkkokauppa.sejo.fi/tuote/v6260403/3215637/asennuskisko-27-15-1-25-">https://verkkokauppa.sejo.fi/tuote/v6260403/3215637/asennuskisko-27-15-1-25-</a>	1		Putkiston kiinnitys	10,59
	Asennuskiskon tarvikkeet	<a href="https://www.onninen.fi/lampo-ja-vesi-seka-">https://www.onninen.fi/lampo-ja-vesi-seka-</a>	??		Putkiston kiinnitys	??
	Kiila ankkuri M10	<a href="https://www.taloon.com/kiila-ankkuri-m10x45x120">https://www.taloon.com/kiila-ankkuri-m10x45x120</a>	10		Putkiston kiinnitys	1,5
Yhteensä						70

## LIITE 3

## Putkiston purkamisohje huoltoluukkuun pääsemiseksi

TURBIININ HUOLTO-OHJE

Kuva 1, Pumppuputkisto.

Putkiston purkamisohje huoltoluukkuun pääsemiseksi.

1. Päästä paineet LÄHTÖ putkistossa kääntämällä molemmat venttiilit (1, 2) AUKI-asentoon.
2. Irrota putkenpidikkeet putkesta, nostamalla pidikkeiden korvat taltapääruuvi-meisselillä.
3. Avaa venttiilin kiertoliitin (3) LÄHTÖ putkiston irrottamiseksi.
4. IMU putkiston ja pumpun (M) välissä (4) on takaiskuventtiili (Kuva 2), jossa on kierreltiittimet. Siitä pääsee irrottamaan imuputken pumpusta.
5. Nosta pumppu hyllyineen ja LÄHTÖ putkistoineen sivulle.
6. Irrota vanerilevyn kiinnitysruuvit (5) ja nosta vanerilevy sivuun.

## LIITE 3

**Putkiston purkamisohje huoltoluukkuun pääsemiseksi**

Kuva 2, Imuputken irtoamiskohta.

## LIITE 4

**PHES demon käyttöohje**PHES DEMON KÄYTTÖ-OHJEETYleiset ohjeet ja huomautukset

1. Alasäiliön veteen lisätään allasklooria vesikasvuston estämiseksi. Varmista klooraustaulukosta, että klooraus on suoritettu ajallaan. Merkkää taulukkoon, jos tyhjennät alasäiliön veden viemäriin, sekä varmista tuoreen veden klooraus taulukossa annettujen ohjeiden mukaan. Allaskloori sijaitsee ympäristölaboratoriossa, ovesta vasemmalla olevassa kaapissa.
2. Demon ajon aikana varmista, että henkilökohtaisia tavaroita ei pääse tippumaan alasäiliöön.
3. Ole tarkkana demon ajon aikana, että kiilahihnan väliin ei jää tavaroita, hiuksia tai sormia.

Demon valmistelu testikäyttöön

1. Demon alasäiliö on täytetty valmiiksi vedellä, 800-900 litraa. Jos alasäiliö on tyhjä, täytä sen vesipostista, joka sijaitsee alasäiliön luona.
2. Kytke jatkojohto pistorasiaan, joka sijaitsee vesipostin vasemmalla puolella.
3. Varmista, että molemmat alasäiliön päällä sijaitsevat putkiston venttiilit ovat kiinni- asennossa.
4. Paina nappia jatkojohdon ja painevesiautomaatin johdon välissä olevasta energiamittarista. Painevesiautomaatti lähtee päälle ja tekee painetta pumpausputkistoon. Muutaman sekunnin päästä painevesiautomaatin pitäisi sammua. Jos näin ei tapahdu ja painevesiautomaatti käy yli 1 min, sammuta painevesiautomaatti energiamittarissa olevasta napista ja täytä pumpussa sijaitseva vesisäiliö vedellä (Katso ohjeet painevesiautomaatin manuaalista).
5. Kun painevesiautomaatin putkistoon on luotu paine, avaa pumpausputkiston venttiili auki- asentoon. Vesi alkaa virtaamaan yläsäiliöön. Varmista, että turbiiniputkiston venttiili on kiinni- asennossa.

## LIITE 4

**PHES demon käyttöohje**

6. Veden pumppaus pitäisi lopettaa, kun alasäiliössä on noin 100 litraa vettä jäljellä, ettei imuputkistoon pääse ilmaa. Sammuta painevesiautomaatti kääntämällä pumppausputkiston venttiili kiinni- asentoon. Painevesiautomaatin pitäisi sammua, kun pumppausputkistossa on tarpeeksi painetta.
7. Yhdistä generaattori turbiinin akseliin kiilahihnalla. Generaattorin telineessä on kiinnitysruuvit, joilla teline on kiinni alasäiliön kannessa. Säättämällä kiinnitysruuveja, luo tarpeeksi kireyttä kiilahihnalle. Kiilahihna ei saa olla liian kireä, ettei turbiinin akseli väänny.

LIITE 4

Demon testiajo

8. Suorita tarvittavat testit, ohjaamalla demoa pumppausputkiston ja turbiiniputkiston venttiileillä, turbiinin siivekkeiden säädöllä ja generaattoriin kytkettävällä laitteistolla.

Demon testiajon lopetus

9. Palauta demo alkuperäiseen tilaan. Yläsäiliössä ei saa olla vettä demon seisontan ajan, joten päästä kaikki vesi alasäiliöön avaamalla turbiiniputkiston venttiili auki- asentoon.
10. Päästä paineistettu vesi pumppausputkistosta säättämällä sekä turbiini- että pumppausputkiston venttiilit auki- asentoon.
11. Irrota generaattorin ja turbiinin akselin välissä oleva kiilahihna tai löysää sitä.
12. Irrota jatkojohto pistorasiasta.
13. Varmista, että klooraus on ajantasalla.



## LIITE 6

## Lopulliset testit datataulukko

## Veden pumppaus yläsäiliöön

Alasäiliön tilavuus / l (mitattu)	Pinnan korkeus lattian suhteen, alasäiliö (mm) (mitattu)	Yläsäiliön pinnan korkeus (mm) (laskettu)	Pinnan korkeuksien erotus (mm) (laskettu)	Kulunut aika (min) (mitattu)	Kulunut aika (s) (laskettu)	Sähköteho (W) (mitattu)	Energia (Wh) (laskettu)	Virtaus (l/s) (laskettu)	Paine-ero (Pa) (laskettu)	Hydraulinen teho (W) (laskettu)	Pumpun hyötysuhde ylös pumpattaessa (%) (laskettu)
900	972	8430	7458	0:00:00	0	618	24,03	0,71	73090	52	8,45
800	879	8523	7644	2:20:00	140	607	19,73	0,85	74913	64	10,55
700	786	8616	7830	4:17:00	257	600	22,83	0,73	76735	56	9,34
600	693	8709	8016	6:34:00	394	595	19,83	0,83	78558	65	11,00
500	600	8802	8202	8:34:00	514	596	23,18	0,71	80381	57	9,63
400	507	8895	8388	10:54:00	654	594	20,46	0,81	82204	66	11,16
300	414	8988	8574	12:58:00	778	595	22,81	0,72	84027	61	10,23
200	321	9081	8760	15:16:00	916	594			85850		

## Yläsäiliöstä alasäiliöön

Pinnan korkeuden vaihtelu (l) (mitattu)	Kuorma (ohm) (mitattu)	Aika (s) (mitattu)	Virtaus (l/s) (laskettu)	Korkeusero (mm) (mitattu)	Hydraulinen teho (W) (laskettu)	Sähköteho (W) (mitattu)	Turbiinin ja generaattorin yhdistetty hyötysuhde (%) (laskettu)	Pumpun hyötysuhde pumpattaessa ylös (%) (laskettu)	PHES demon kokonaishyötysuhde (%) (mitattu)
200-300	20	18	5,56	8760	476,94	11,8	2,47	10,23	0,25

## Yläsäiliöstä alasäiliöön, parannuksien jälkeen

Pinnan korkeuden vaihtelu (l) (mitattu)	Kuorma (ohm) (mitattu)	Aika (s) (mitattu)	Virtaus (l/s) (laskettu)	Korkeusero (mm) (mitattu)	Hydraulinen teho (W) (laskettu)	Sähköteho (W) (mitattu)	Turbiinin ja generaattorin yhdistetty hyötysuhde (%) (laskettu)	Pumpun hyötysuhde pumpattaessa ylös (%) (laskettu)	PHES demon kokonaishyötysuhde (%) (mitattu)
200-300	20	18	5,56	8760	476,94	19,5	4,09	10,23	0,42

