



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# VESIVOIMALAN HUOLTOKARTOITUS

Valkeakosken vesivoimalaitos

Jarno Nieminen

Opinnäytetyö  
Maaliskuu 2017  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Tuotekehitys

NIEMINEN, JARNO:  
Vesivoimalan huoltokartoitus  
Valkeakosken vesivoimalaitos

Opinnäytetyö 39 sivua, joista liitteitä 4 sivua  
Maaliskuu 2017

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa Valkeakosken vesivoimalaitoksen kuntotilanne. Voimalaitos on ollut toiminnassa 1950 lähtien ilman mainittavia huoltoja ja ongelmia on alkanut ilmetä. Kuntotilannetta selvittämällä voidaan laitokseen tehtävät investoinnit suunnitella paremmin.

Opinnäytetyössä esitellään Kaplan-turpiinivoimalan toimintaa ja keskeisten komponenttien tarkoitus. Lisäksi laitostyön perusteella on kirjattu ongelmia ja ehdotettu korjaus- ja tarkastuskohteita.

Kuntokartoitus toteutettiin tutkimalla alan kirjallisuutta, tutustumalla vastaaviin kunnostusprojekteihin, haastatteleamalla asiantuntijoita ja laitostyön perusteella. Saatavilla olleen tiedon perusteella tehtiin korjaus-, tarkastus- ja modernisointiehdotuksia. Ratkaisujen tarkoituksena oli pidentää laitoksen elinikää ja kannattavuutta. Huollettuja vanhoja komponentteja voidaan hyödyntää tulevaisuuden isommassa revisiossa, mikä tarkoittaa pienempiä investointikustannuksia.

Kuntokartoituksen perusteella saatiin laitoksen nykytilanteesta niin kattava kuva kuin ilman vesiteiden kuivaamista oli mahdollista. Opinnäytetyöhön käytettävä aika toimii kuitenkin rajoitteena työn laajuudelle.

Työn tuloksena kehitettiin muutamia ratkaisuja laitoksen ongelmiin, mitkä eivät kuitenkaan olisi liian suuria investointeja hyötyyn nähden. Tulevat investointiratkaisut ovat hyvin pitkälti kiinni energian hintakehityksestä.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Product Development

NIEMINEN, JARNO:  
Hydro-electric power plants maintenance survey  
Valkeakoski hydro-electric power plant

Bachelor's thesis 39 pages, appendices 4 pages  
March 2017

---

The aim of the thesis was to map the condition of Valkeakoski hydro-electric power plant. The power plant has been running since 1950 without any significant maintenance. Problems have been starting to occur. By figuring out the status of the plant, it will be possible to plan future investments better.

This thesis introduces the operation of the Kaplan-turbine power plant and the functions of its key components. A list of flaws and potential improvements was made on basis of a visit to the power plant.

A maintenance survey was executed studying literature of the subject, investigating similar cases, interviewing experts of the field and by visiting the power plant. Many propositions regarding to modernizations, inspections and improvements were made by using available information. The aim of the solutions was to increase the lifetime and efficiency of the power plant. Maintained components can be utilized in future revisions which means lower investment costs.

Maintenance survey provided as broad a picture of the present situation as it was possible without drying up the water tunnels. The scope of the research was restricted by the time limit set for the thesis.

A few solutions were made to improve the condition of the plant. The solutions were designed so that investments would be in balance with the benefits. Future investments are dependent on the growth rate of electricity.

---

Key words: Kaplan-turbine, maintenance survey, hydro-electric power plant

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	VESIVOIMA SUOMESSA .....	6
3	KAPLAN-TURPIINIVOIMALAITOKSEN KOMPONENTIT .....	7
3.1	Vesitiet.....	7
3.1.1	Tuloputki.....	7
3.1.2	Imuputki .....	8
3.2	Johtopyörä.....	9
3.3	Turpiinin kansi.....	11
3.4	Säätörengas .....	12
3.5	Kammio .....	15
3.6	Kaplan-turpiini.....	16
4	VALKEAKOSKEN VESIVOIMALAITOS.....	19
4.1	Laitoksen tilanne.....	20
5	RATKAISUEHDOTUKSET .....	22
5.1	Kulku laitokselle .....	22
5.2	Laitoksen tärinä.....	23
5.3	Säätäjän ja säätämiseen liittyvien komponenttien korjaus.....	27
5.4	Toimenpiteet vesiteiden ollessa kuivat .....	30
5.5	Muita kriittisiä komponentteja.....	31
6	LAITOKSEN TULEVAISUUS .....	33
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	34
	LÄHTEET.....	35
	LIITTEET .....	36
	Liite 1. Laitoksen tehokäyrä, UPM Kymmene Oy.....	36
	Liite 2. Apian kanavan purkautumiskäyrä, UPM Kymmene Oy .....	37
	Liite 3. Mallasveden virtaamat 1956 lähtien, havainnot noudettu Suomen ympäristökeskuksen järjestelmistä .....	38
	Liite 4. Mallasveden pinnat 1956 lähtien, havainnot noudettu Suomen ympäristökeskuksen järjestelmistä .....	39

## 1 JOHDANTO

Vesivoimalle on ominaista suuret alkuinvestoinnit ja matalat käyttökustannukset. Vaikka vesivoimalaitoksen elinikä on varsin pitkä, on edessä väistämättä paljon pääomaa vaativa peruskorjaus. Energian hinnan alhainen taso vähentää investointihalukkuutta ja vanhat koneen halutaan ajaa käyttöikänsä päähän.

Opinnäytetyössä tutkitaan Valkeakosken vesivoimalaitoksen tilannetta. Voimalaitos on valmistunut 1950 ja sen tekniset ratkaisut ovat vanhentuneet sekä tekniikka on paikoin jo kulunut. Sähkön hinnan ollessa alhaisella tasolla kannattaa isoja investointeja lykätä lähemmäs hinnan noususuhdannetta, jotta tulevasta väistämättömästä vesivoimalan peruskorjauksesta ja modernisoinnista saadaan kaikki hyöty irti. Vaikka peruskorjaus parantaisi laitoksen tuottoa ja lisäisi tehokkuutta, ei se olisi pääoman tehokasta investointia sähkön nykyisen hinnan takia.

Työssä esitellään Kaplan-turpiinivoimalaan liittyvien koneen komponenttien tarkoitus ja selvitetään Valkeakosken vesivoimalan nykyistä kuntoa. Eliniän pidentämiseen kehitetään ratkaisuja ja pohditaan niiden taloudellisuutta. Työ ei ota kantaa siihen, mitä uudistuksia generaattorille ja sen apulaitteille pitäisi tehdä.

## 2 VESIVOIMA SUOMESSA

Vesivoima on merkittävin uusiutuva sähköntuotantomuoto Suomessa yli 220 vesivoimalaitoksella, joiden yhteenlaskettu teho 3100 MW ja 10–20 % osuus Suomen energiantuotannosta riippuen vuosittaisesta vesitilanteesta. Vesivoiman toimiminen säätövoimana tekee siitä kokoistaan tärkeämmän tekijän energiantuotannossa. (Vesivoimalla eniten uusiutuvaa sähköntuotantoa)

Suomen kaikkea vesivoimapotentiaalia ei vielä ole hyödynnetty, mutta loput potentiaalista on taloudellisesti kannattamatonta ottaa käyttöön tai se on suojeltu. Käyttöä taloudellisuuteen vaikuttavat putouskorkeudet, virtaamat ja varastointimahdollisuudet. Kokonaisuudessaan hyödyntämätön potentiaali on 2130 MW/ 9715 GWh/a (Vesivoimatuotannon määrä ja lisääminen suomessa 2005)

”Edullisinta vesivoimakapasiteetin lisäys on, kun olemassa olevien laitosten tehoa kasvatetaan pääkoneistojen peruskorjauksen yhteydessä. Valtaosa jo rakennettujen vesistöjen lisäpotentiaalista saadaan juuri laitosten tehoa kasvattamalla.” (Vesivoima 2016)

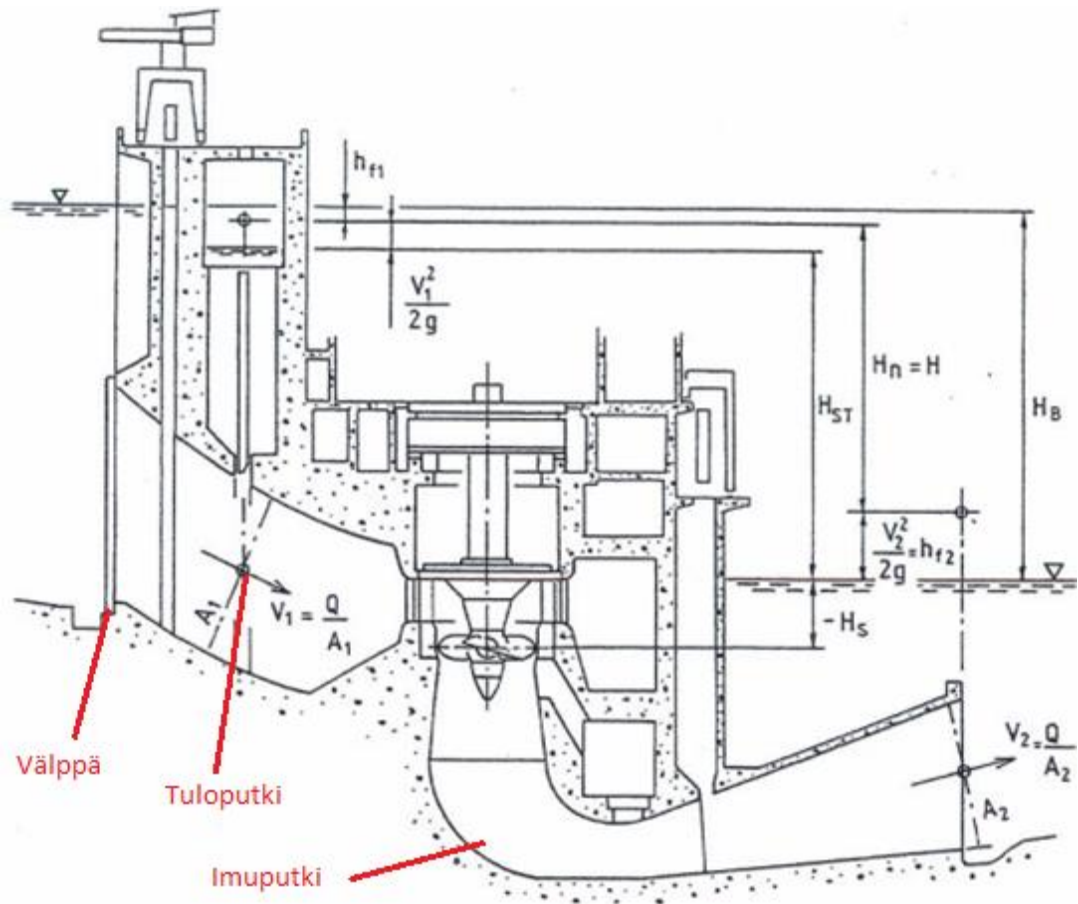
### 3 KAPLAN-TURPIINIVOIMALAITOKSEN KOMPONENTIT

#### 3.1 Vesitiet

##### 3.1.1 Tuloputki

Tuloputkella (kuva 1) johdatetaan vesi turpiinille. Tuloputken suulla on konetta isomilta roskilta suojaavat välpät. Tuloputki voidaan tarvittaessa sulkea luukulla. Tuloputki muodostuu nielusta ja spiraalista. Spiraali johdattaa veden johtopyörälle. Suurissa pystykoneissa käytetään betonispiraalia noin 30 metrin putouskorkeuteen asti ja tätä ylemmissä putouskorkeuksissa käytetään veden virtausnopeuden kasvun takia teräksestä hitsattuja pyöreäpoikkimaisia levyspiraaleja. (Salovaara 1978, 149)

Betonispiraalin ylä- ja alakartion pyöristysalueet verhoetaan yleensä teräslevyillä, jotka toimivan myös valumuotteina rakennusvaiheessa (Salovaara 1978, 149). Levyspiraalit ovat joko maalattua rakenneterästä tai ruostumatonta terästä. Kapenevalla spiraalimuodolla vesi saadaan virtaamaan mahdollisimman samalla nopeudella jokaisen solukkeen välistä (Kaplan Turbine - A Mammoth in Hydroelectric Power Generation).



KUVA 1. Periaate kuva vesivoimalasta (Småskalig vattenkraft 1998, muokattu)

### 3.1.2 Imuputki

Imuputken (kuva 1) tehtävänä on hidastaa turpiinista poistuvan veden virtausnopeutta hukkaan menevän kineettisen energian minimoimiseksi. Imuputken avulla voidaan turpiini sijoittaa myös alaveden yläpuolelle ilman huomattavia putoustappiota. Turpiineista, jotka on sijoitettu alavesipinnan alapuolelle, imuputki ottaa talteen staattisen imukorkeuden. Vastaavasti alavesipinnan yläpuolella asennetuista turpiineista imuputki ottaa talteen dynaamisen imukorkeuden. (Salovaara 1978, 149)

Suurten turpiinien betonisissa imuputkissa käytetään levyvuorausta kartiossa ja mutkassa suurten virtausnopeusten takia. Pienillä vesimäärillä putouskorkeudesta riippuen käytetään myös hitsattuja teräslevyrakenteita. (Salovaara 1978, 149)



Joihinkin laitoksiin on rakennettu tuloluukkujen lisäksi myös imuputken sulkuluukut, mikä helpottaa laitoksen vesiteiden kuivaamista. Jos imuputken sulkuluukua ei ole, on vesiteiden kuivaamiseksi rakennettava imuputken suulle erillinen settipato. Settipadon urat löytyvät yleensä jokaisesta laitoksesta.

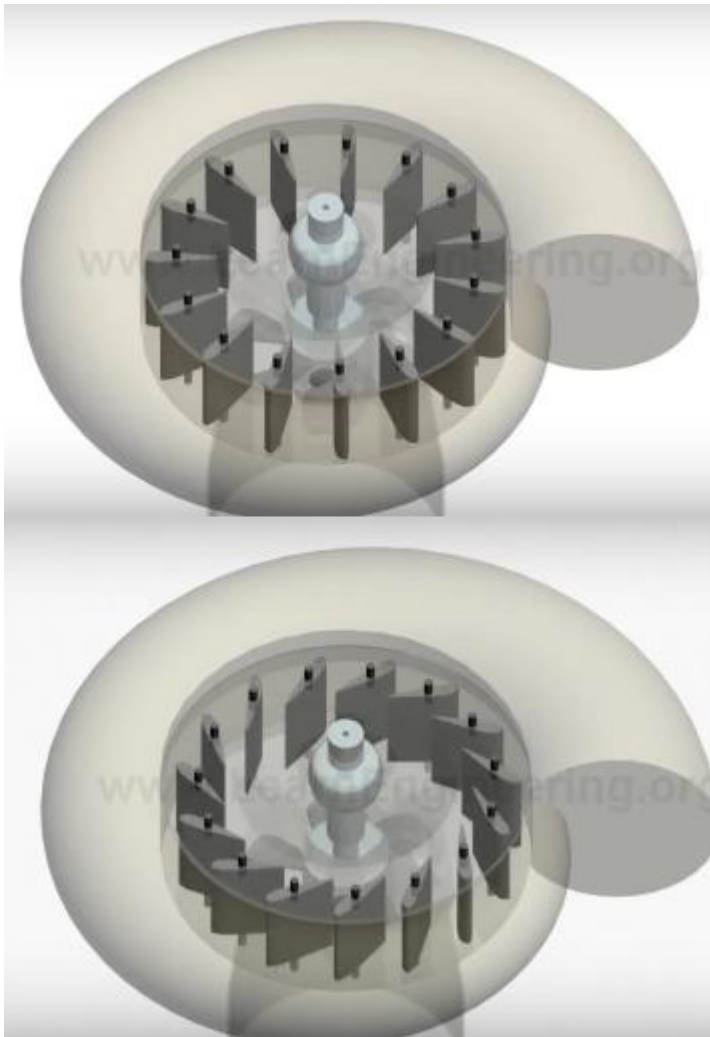
### **3.2 Johtopyörä**

Johtopyörä sijaitsee spiraalin keskellä. Sen tehtävä on säätää tilavuusvirtaa ja toimia hallitun pyörimisliikkeen muodostajana. Johtopyörä muodostuu säädettävistä johtosolukkeista ja betoniin valettavasta tukirenkaasta, jonka yläosaan kiinnitetään turpiinin kansi. Ylä- ja alaosa ovat toisissaan kiinni tukiraudoilla, jotka on asetettu viistoon virtaushäviöiden minimoimiseksi (kuva 2).

Solukkeita avaamalla tai sulkemalla muutetaan tilavuusvirtaa (kuva 3), mutta samalla muuttuu myös pyörimisliike ja tämän takia myös turpiinin siipiä säädetään, jotta veden virtauksen ja turpiinin siiven kohtauskulma olisi optimi. (Kaplan Turbine - A Mammoth in Hydroelectric Power Generation)



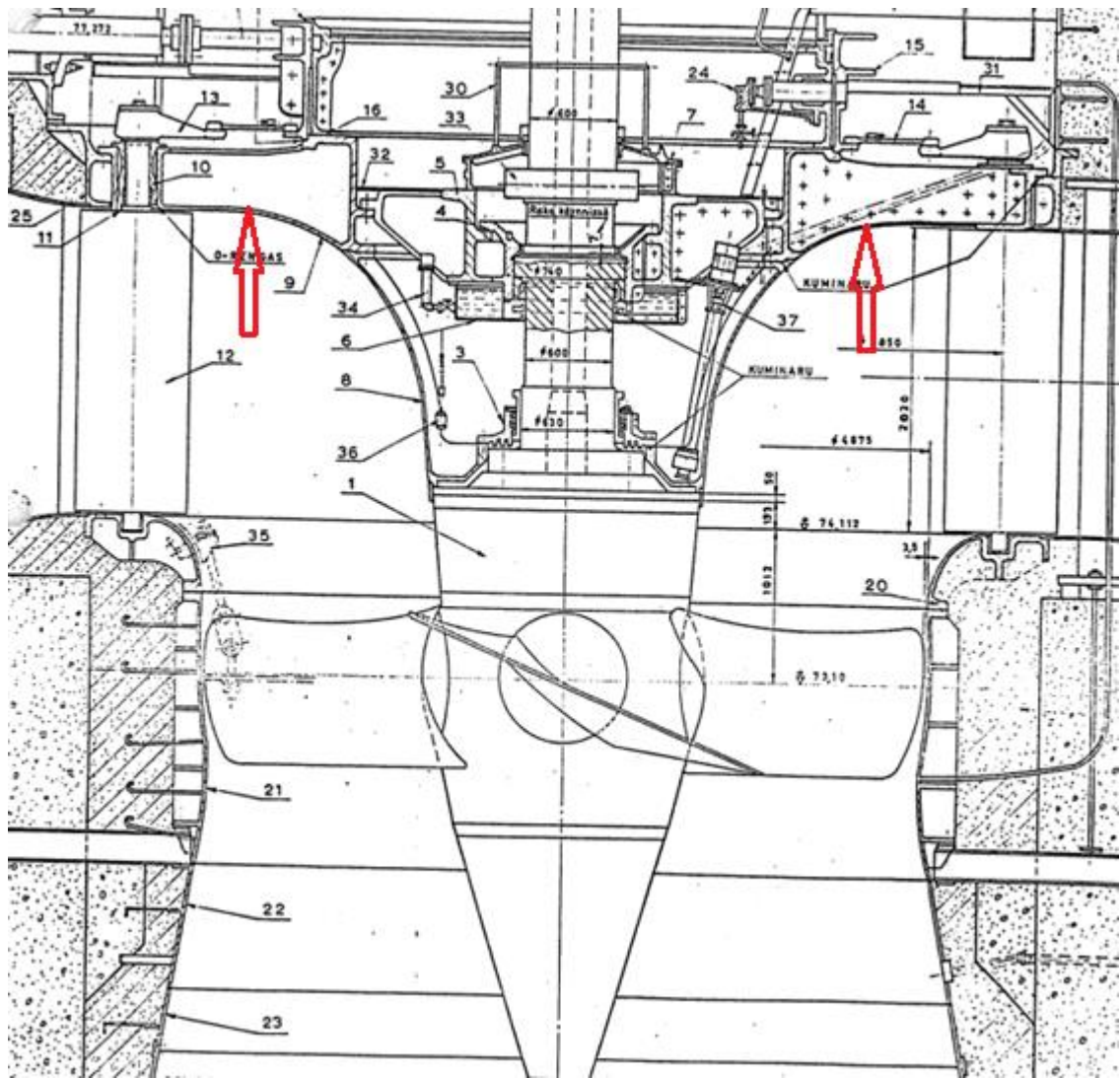
KUVA 2. Johtopyörä solukkeet kiinni. Tukiraudat näkyvät ulkolaidoilla.



KUVA 3. Solukkeet täysin auki ja vähän suljettuina (Kaplan Turbine Working and Design, kuvat poimittu videolta)

### 3.3 Turpiinin kansi

Turpiinin kansi (kuva 4) kiinnitetään johtopyörän yläosaan. Se toimii veden virtaussuunnan ohjaajana ja siihen kiinnitetään solukkeiden ylälaakeripesät. Niissä tapauksissa, joissa säätörenkaan laakerointia ei ole hoidettu säätörenkaan tukirenkaalla, toimii turpiinin kansi laakeripintana. Joissakin tapauksissa turpiinin kansi toimii aksiaalilaakeripintana ja tukirengas säteislaakeripintana.



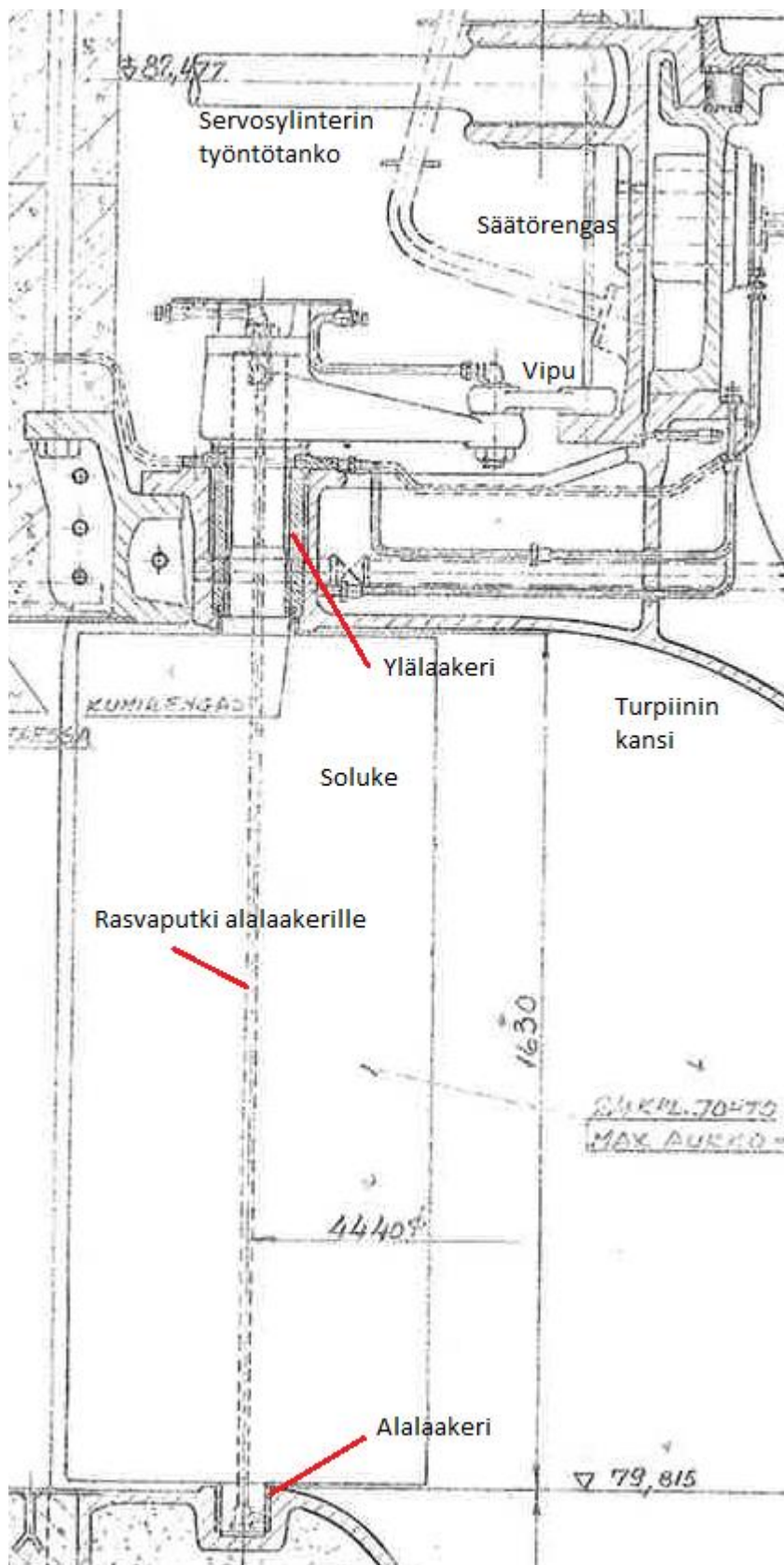
KUVA 4. Turpiinin kansi punaisilla nuolilla osoitettuna (Andritz Hydro Oy, muokattu)

### 3.4 Säätörengas

Säätörengaan (kuva 5) tehtävä on säätää solukkeita. Solukkeet ovat kiinnitetty säätörengäisiin vivuille (kuvat 5 ja 6). Solukkeita avataan tai suljetaan pyörittämällä säätörengasta, jota pyörittää servosylinteri (kuva 7). Säätörengas on laitoksesta riippuen tuettu ja laakeroitu säätörengaan tukirenkaaseen tai suoraan turpiinin kanteen (Nieminen 2017).



KUVA 5. Säätörengas ja vivusto



KUVA 6. Solukkeen liikuttamiseen liittyvät mekanismit (Andritz Hydro Oy, muokattu)



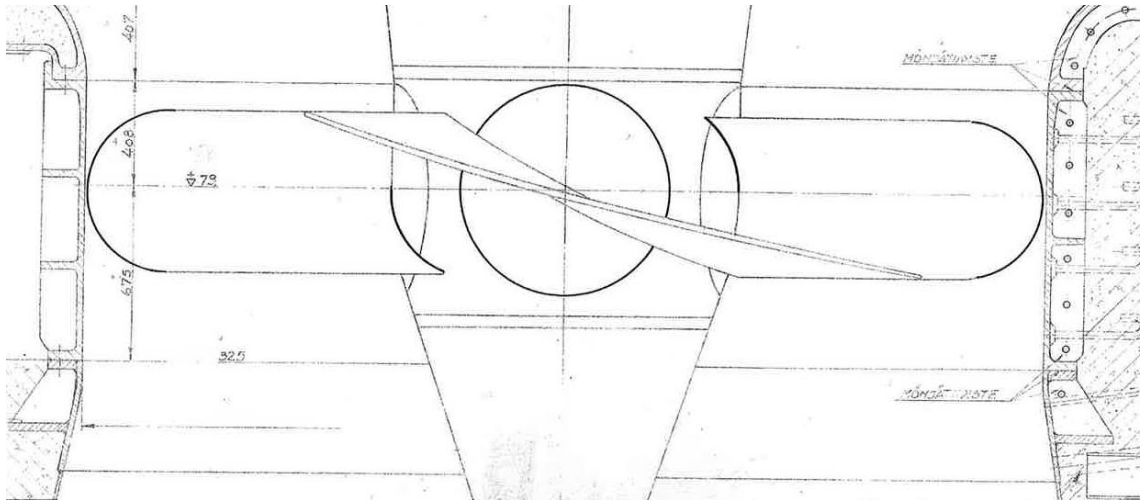
KUVA 7. Servosylinteri, servosylinterin työntötanko ja vivusto

### 3.5 Kammio

Kammio on Kaplan-turpiinikoneiden rakenneosa, joka on tärkeä koneen toiminnan ja hyötysuhteen kannalta ja joka on alttiina varsin suurille rasituksille (Salovaara 1978, 148). Kammiot valmistetaan ruostumattomasta teräksestä. Teräslaatu valitaan hitsattavuuden ja kavitaatio keston perusteella. Ulkomailla kammion segmentit valetaan, mutta Suomessa kammio valmistetaan hitsaamalla. Ennen vanhaan kammiot valettiin joko valuraudasta tai valuteräksestä. Tapauksesta riippuen kammio kuitenkin saatettiin päällystää ruostumattomalla teräslevyllä kestävyuden parantamiseksi tai vanhan kammion korjaamiseksi. (Nieminen 2017)

Kammio yleensä muotoillaan rakohäviöiden vähentämiseksi pallomaiseksi juoksupyörän keskiökorkeuden alapuolelta ja jossain tapauksissa myös yläpuolelta (Timo Salovaara 1978, 149). Yksinkertaisia suoraseinäisiä kammioita käytetään myös (kuva 8). Välys

kammion ja juoksupyörän siipien välillä on 0,5-1,0 promillea juoksupyörän halkaisijasta (Salovaara 1978, 148).



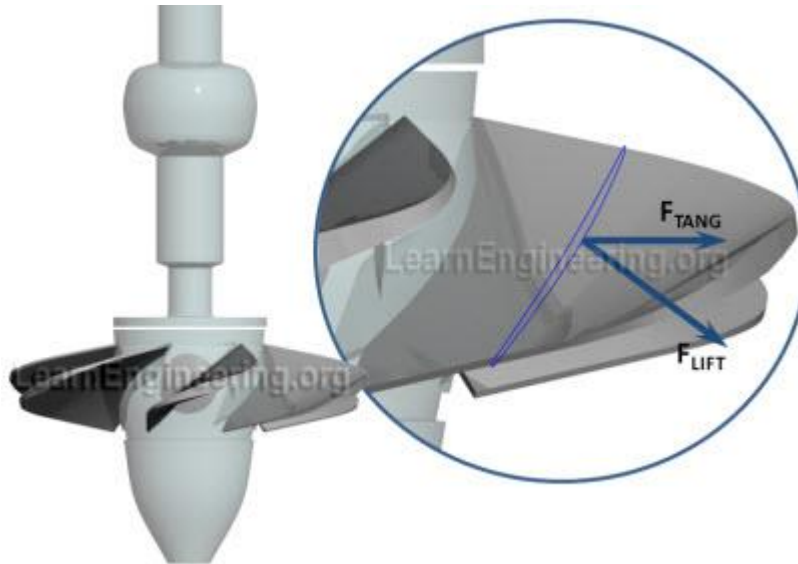
KUVA 8. Kuva kammioista kokoonpanopiirustuksessa. Kyseessä on Valkeakosken voimalaitoksen suoraseinämainen valuteräskammio irrotettavalla segmentillä. (Andritz Hydro Oy)

### 3.6 Kaplan-turpiini

Turpiinin tehtävä on muuttaa veden potentiaalienergia vääntömomentiksi. Kaplan-turpiini kuuluu reaktiiturpiineihin, jolle ominaista on se, että vain osa veden energiasta muutetaan johtopyörässä liike-energiaksi, hallituksi pyörimisliikkeeksi. (Keskinen 1978, 81) Paine-ero turpiinin ylä- ja alapuolella antaa nostetta siivelle ja siiven profiilin takia noste pyörittää turpiinia (kuva 9). Kaplan-turpiinissa siipikulmat ovat säädettävät, jotta kohtauskulma pysyisi optimaana johtopyörän solukkeiden aiheuttamissa veden määrän ja pyörimisliikkeen muutoksissa. Lisäksi Kaplanin siipien muotoilulla on suuri merkitys siihen, onko kohtauskulma optimi koko siiven pinta-alalla. (Kaplan Turbine - A Mammoth in Hydroelectric Power Generation) Kombinaatiokäyrät mahdollistavat siipien säätämisen optimaaliseen asentoon johtopyörän solukkeiden asentoon nähden (Salovaara 1978, 151).



Vanhat turpiinit (kuva 10) ovat säädön paluuöljyllä voideltuja, mikä aiheuttaa vesistölle öljyvahinkovaaran. Nykyisin turpiinit ovat ns. vesinapoja, joidenka laakerit ovat itsevoideltuja ja navan sisusta täytetty napanesteellä. Vanhoja turpiineja voidaan päivittää vesinavoiksi peruskorjausten yhteydessä.



KUVA 9.  $F_{lift}$  voiman  $F_{tang}$  osuus tuottaa vääntömomenttia, joka pyörittää turpiinia. (Kaplan Turbine - A Mammoth in Hydroelectric Power Generation)



#### 4 VALKEAKOSKEN VESIVOIMALAITOS

Valkeakosken vesivoimalaitos sijaitsee Valkeakoskella Tervasaaren tehdasalueelle ja se valmistui vuonna 1950. Mallasveden vedet laskevan laitoksen kautta Vanajaveteen. Laitoksen rakennusvirtaama on 80 m<sup>3</sup>/s. Mallasveden menovirtaamia on rekisterissä vuodesta 1956 lähtien. Keski virtaama on ollut 35 m<sup>3</sup>/s, keskiylivirtaama 67 m<sup>3</sup>/s ja keskialivirtaama 15,5 m<sup>3</sup>/s. Koko jakson suurin virtaama on ollut 109 m<sup>3</sup>/s ja pienin virtaama 3,0 m<sup>3</sup>/s (Mallasvesi (35.711.1.001)). Rakennusvirtaaman ja keskivirtaaman suhteeksi eli rakennusasteeksi saadaan 2,29. Laitoksen valuma-alueen koko on 4430 neliökilometriä, josta vettä on (järvisyysaste) 18.8 %. Putouskorkeus vaihtelee 4,5 metrin ja 5 metrin välillä 4,6 metrin ollessa tällä hetkellä reilun kahden vuoden keskiarvo. Turpiinin maksimiteho on 3980 hevosvoimaa 4,8 metrin putouskorkeudella ja 80 m<sup>3</sup>/s virtauksella. Generaattorin teho on tällöin 3 MW. Voimalan tehokäyrä löytyy liitteestä 1. Laitoksen turpiinin on valmistanut Tampella ja generaattorin on valmistanut Allie-Chalmers.

Laitoksen vieressä ylävirran puolelta katsottuna vasemmalla on Merenkulkulaitoksen omistama kanava. Kanava on valmistunut vesivoimalaitoksen jälkeen ja se tukkii reitin laitoksen pääoville (kuva 11).

Laitoksen läpivirtaama vesi on tarkoin säännelty. Se noudattaa niin sanottua luonnollista purkaumakäyrää (liite 2). Käyrä perustuu 1900-luvun alkupuolella tehtyihin laskuihin ja mittauksiin (Mallasvesi (35.711.1.001)). Tämä vanha vesioikeuden myöntämä lupa vähentää laitoksen taloudellisuutta, koska laitoksen virtaamaa ei voi säännöstellä sähkön hinnan mukaan. Lupa antaa juoksuttaa luonnonpurkaumaa pienemmän määrän, jos Mallasveden pinta uhkaa laskea liian alhaiseksi.



KUVA 11. Valkeakosken vesivoimalaitosrakennus oikealla ja vasemmalla kanava

#### 4.1 Laitoksen tilanne

Laitos on toiminnassa ja mitään toimintaa välittömästi uhkaavaa ei ole näköpiirissä. Laitteisto on suurimmilta osin 1950-luvulta. Toiminnan kannalta välttämättömät huollot ovat aina suoritettu ja laitoksen laitteiden voiteluhuollosta on huolehdittu. Generaattorin käämitys ja apulaiset ovat vanhentuneita ja varaosia ei ole, mutta generaattoriin on tiedossa magnetoinnin uusinta. Valmistajat suosittelevat 30-40 vuoden korjausvälejä generaattoreille, mutta Valkeakosken laitos on selvinnyt jo 61 vuotta ilman mainittavia korjauksia. Kone ja konesali tärisivät turpiinin käydessä suurilla tehoilla, joten laitos on tehorajoitettu tällä hetkellä. Säätörenkaan servosylinteri ja kombinaattoria säättävä kaarilaite on tehnyt tahatonta ja haitallista edestakaisin liikettä perimätiedon mukaan jo 70-luvulta lähtien. Liitteen 3 virtaamista näkee, että koneen ajotyöliä on muutettu radikaalisti ongelmien ilmaantumisen myötä. Konea ajettiin vain päivisin sähkönhinnan huippuaikoina ja pidettiin kiinni, kun sähkönhinta oli alhainen. Tämä ajotyöli on erittäin kuluttavaa koneelle jatkuvien ylös- ja alasajojen takia.

Laitoksen patorakenteet on aikoinaan rakennettu huolimattomasti ja korjauksia on tehty 2003 alkaen ja valmistuivat betonirakenteiden osalta 2011. Vettä kuitenkin tihkuu patorakenteiden ja kallioiden välistä alaveteen. Vuotoja on paikattu injektoimalla paikka-ainetta pahimpiin vuotokohtiin.

2011 tehtyjen sukelluskuvausten perusteella laitoksen sulku- ja ohjuoksutusluukku ovat huollon tarpeessa. Juoksutusluukun pintakäsittely on irronnut aikaa sitten ja ruoste on tehnyt luukkuun pahoja vaurioita. Takeita siitä, että se kestäisi nostamista ja laskemista ei ole. Luukku on rakennettu kahdesta osasta ja osat ovat toisissaan kiinni pultiliitoksella, joka on kuitenkin vielä kunnossa. Luukun tiivisteet ovat kunnossa ja se ei vuoda. Jos juoksutustarvetta tulee, se olisi tällä hetkellä tehtävä kanavan kautta. Tuloluukku on toimintakuntoinen, mutta sen alatiiviste on irronnut puolittain ja kumitiiviste ja kiinnitysrauta roikkuvat. Luukkuaukon tiivistyspinnat ovat ruostumatonta metallia ja ovat hyvässä kunnossa. Huonokuntoiset luukut ovat turvallisuusriski, kun vesiteissä tehdään korjauksia. Luukkujen kunnostukset ovat edellytys vesiteissä sijaitsevien osien kunnostuksien/tarkastuksien aloittamiselle.

Laitoksen siltanosturi on ollut käyttämättä vuosia ja se on tarkastuksen tarpeessa. Siltanosturi on tarpeellinen, kun laitosta puretaan kunnostusta varten. Nosturi on vanhanaikainen ja siinä ei ole radio-ohjausta. Päivitys radio-ohjattavaksi parantaisi nosturin käyttöturvallisuutta.

Turpiinin akselin ohjauslaakeri ja hiilitiiviste ovat vaihdettu tällä vuosituhannella ja ohjauslaakerin öljykierto on tarkastettu 2017. Turpiinin siipitiivisteet ovat pitäneet päätellen vähäisestä öljyn lisäämisen tarpeesta.

Laitoksen vesitiet ovat paikoin kuluneet, mutta laitoksen toimintaan sillä ei ole suurempaa merkitystä. Välppien pintakäsittely on kulunut pois ja teräsprofiilit ovat korroosion muokkaamat. Imuputken suun settipatojen urat ovat kuluneet veden virtauksen takia ja vaativat tarkempaa tarkastelua. Urien pitää olla kunnossa ennen settipadon rakentamista.

## 5 RATKAISUEHDOTUKSET

### 5.1 Kulku laitokselle

Laitoksella käynnin tarkoituksena oli tarkastella etukäteen selvitettyjen ongelmien syitä. Ensimmäiseksi kiinnitettiin huomioita laitokselle johtaviin reitteihin. Kanava tukkii suoran pääsyn pääoville (kuva 12). Jos laitokselle täytyy jotain isompaa remonttia tehdä, osia täytyy pystyä kuljettamaan konepajoille kunnostettavaksi. Vaihtoehtoja osien kuljettamiselle on näillä näkymin kaksi. Ensimmäinen vaihtoehto olisi rakentaa väliaikainen silta kanavan yli osien kuljettamiseen. Toinen vaihtoehto olisi nostaa osat sisään autonosturilla rakennuksen toisella puolella olevan ikkunan kautta (kuva 13). Väliaikaisen silta kanavan yli lienee parempi vaihtoehto osien kuljettamiseen, vaikka se tarkoittaisi kanavan väliaikaista sulkemista. Autonosturin käyttö on epävarmaa, koska maaperä ikkunan puolella on epävarmaa maan alla kulkevien raakavesiputkien takia. Lisäksi nostomatka on hyvin pitkä ilman maanmuokkausta.



KUVA 12. Näkymä laitoksen pääovista kanavan toiselta puolelta.



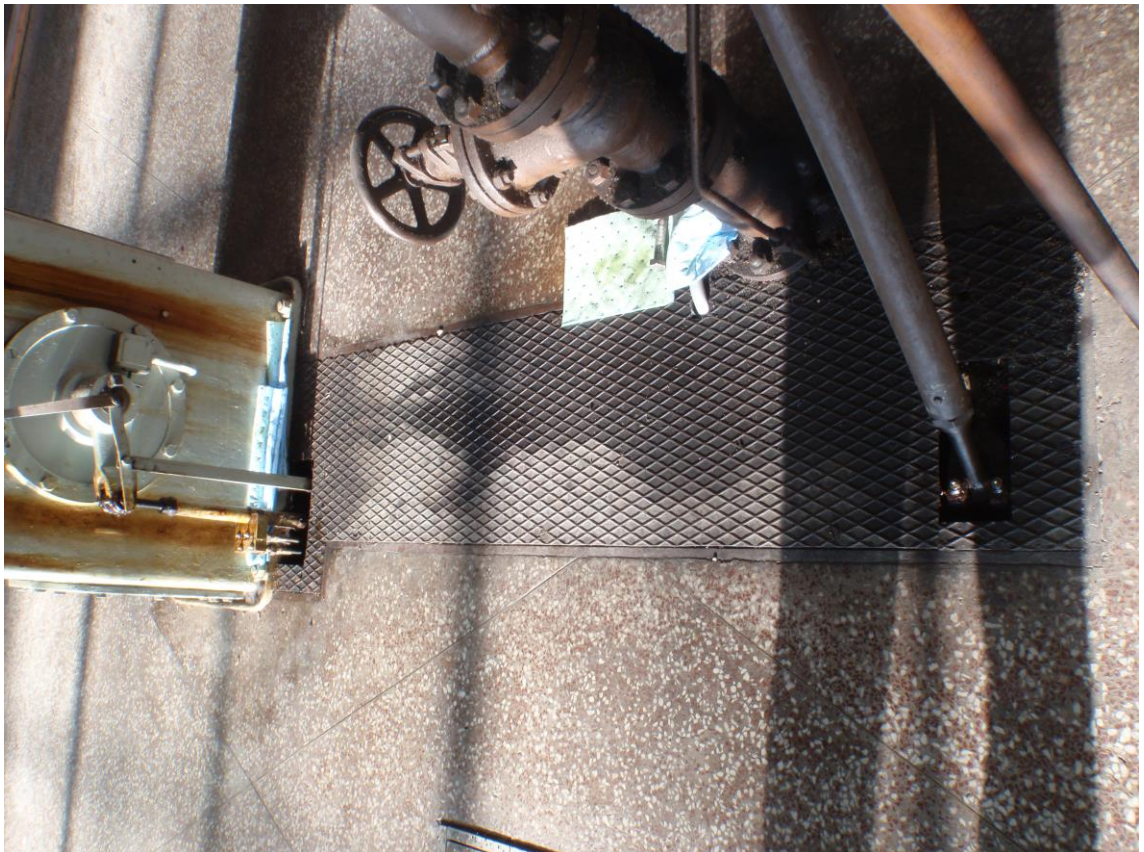
KUVA 13. Näkymä laitoksen paperitehtaan puolelta. Rinteen keskikohdassa näkyy iso ikkuna, jonka kautta voi mahdollisesti kuljettaa osia laitoksen sisään.

## 5.2 Laitoksen tärinä

Seuraavaksi tutkittiin mahdollisia syitä laitoksen tärinään isoilla tehoilla. Laitoksen kombinaatiokäyrien epäiltiin olevan epäkunnossa säädön edestakaisen liikkeen takia. Laitoksen turpiinin- ja johtopyöränsäätö on hoidettu mekaanis-hydraulisesti. Säätörengasta ja kaarilaitteen asemaa ohjaa säätäjä (kuvat 14 ja 16). Säätäjä on kiinni akselissa (kuva 15), joka välittää säätäjät liikkeen kaarilaitteelle ja säätörenkaan servosylinterille. Kombinaattorin tehtävänä on toimia paineöljypesänä, joka säätää karaputken asemaa turpiinin sisällä (kuva 10 ja 17). Karaputken asemasta riippuen öljy liikuttaa turpiinin sisällä olevaa männää ylös tai alas. Männän liike välitetään siipiin. Turpiinin siivet siis säätyvät sen mukaan, miten kaarilaitte työntää kombinaattorin säätötankoa (kuva 17)



KUVA 14. Säättäjä kahdelta puolelta kuvattuna.



KUVA 15. Säättäjän kääntämä akseli on suojapellin alla.





KUVA 16. Säättäjä ja generaattorirunko, jonka huipulla on kombinaattori.



Kaarilaitteen kosketuspinta on vaihdettava, joten korjaustoimenpide on helppo ja olisi pieni taloudellinen investointi, mutta parantaisi laitoksen tuottoa ja hyötysuhdetta. Ongelman ilmentymisen tulevaisuudessa voi estää poistamalla säädön edestakaisin liike.



KUVA 18. Kombinaattorin säätötanko on kuluttanut kaarilaitteen profiilin pilalle.

### 5.3 Säätäjän ja säätämiseen liittyvien komponenttien korjaus

Säätäjän turha edestakainen liike on ilmeisesti jatkunut hyvinkin kauan, koska kaarilaitteen kosketuspinta oli kulunut montulle. Edestakainen liike rasittaa myös muitakin laitoksen kone-elimä. Kaikki solukkeiden liikuttamiseen liittyvät laakerit ja tiivisteet kuluvat aiheuttaen välyksiä ja heikentäen säädön nopeutta ja tarkkuutta. Säätäjän ylimääräinen liike kuluttaa myös siipien kääntämiseen liittyvää laitteistoa. Kun kombinaattorin ja turpiinin sisällä olevan karaputken liukupinnat kuluvat, säätäminen hidastuu öljyn hukkaantuessa vuotoihin. Myös turpiinin siivet kääntyilevät kuluttaen siiven laakereita, mikä voi lopulta johtaa siipien aksiaalitiivisteiden vuotamiseen, koska välykset kasvavat laakerien kuluessa.

Säädön ei toivottava edestakainen liike voi johtua monesta syystä ja aiheuttavia syitä täytyy sulkea pois yksitellen kokeilemalla. Osa vioista voi olla vesiteissäkin, joten viat, jotka voidaan korjata ilman vesiteiden kuivaamista kannattaa paikantaa ensin. (Yliruka 2017)

Laitoksella käynnin aikana säädön edestakaisin liikettä ei esiintynyt, koska konetta ajettiin lähestulkoon johtopyörä kiinni-asennossa. Tämä huomio antaa jo osviittaa siitä, mikä vika voisi olla, mutta mitään päätelmiä on hyvin vaikea tehdä ennen kuin edestakaisin liikkeen pääsee toteamaan.

Vika voi olla säätäjässä, joka (kuva 14) on monimutkainen mekaaninen laite. Se sisältää jousia ja kaarilaitteen tapaisia kosketuspintoja. Kuluvien mekaanisten osien, kuoleentuneiden jousien ja vähäisen tietotaidon takia säätäjän korjaaminen voi osoittautua haastavaksi. Suomessa on tällä hetkellä yksi ihminen, joka osaa korjata tätä vanhan mallin säätäjää. Jos vika löytyy säätäjistä, on varaosat teetettävä erikseen.

Vastaava säätäjä on 30 vuotta sitten korvattu digitalisoinnilla Keltin voimalaitoksella. Mekaaninen säätäjä on näin saatu poistettua käytöstä ja johtopyörän ja turpiinien siipien asema tunnistettaisiin antureilla. Systemi ei tosin enää ole toiminnassa, koska Keltin voimalaitos modernisoitiin vuonna 2010. Tällä tavalla mahdollisesti säätö saataisiin digitalisoitua kustannustehokkaasti ja säätäjän kuluva mekaniikasta päästäisiin eroon. Jos Keltissä tehdystä toimenpiteestä on jäänyt dokumentteja talteen, voi toteutus olla hyvin nopea.

Vaikka mekaaninen säätäjä poistuisikin käytöstä, saattavat säätötangot jäädä. Säätötangoille välitetään säätöliike varmemmalla digitaalisäätäjällä. Kuvista 19 ja 20 saa käsityksen säätöprosessista. Jos tankojen kytkennöissä ilmenee välyksiä, ne voidaan laakerien vaihdoilla poistaa.



KUVA 19. Kaarilaite on kiinni säätötangossa, joka kiinnittyy suoja Pellin alla olevaan akseliin, joka saa voimansa säätäjältä.



KUVA 20. Servosylinteri ja sen perässä oleva öljynjakopesä, josta lähtee säätötangot akselille, joka on kiinni säätäjässä.

#### 5.4 Toimenpiteet vesiteiden ollessa kuivat

Luukkujen ollessa kunnossa ja kun imuputken eteen on saatu tiivis settipato, voidaan aloittaa vesiteissä olevien komponenttien tarkastukset ja tarvittaessa korjaukset. Vesitiet tarkistetaan visuaalisesti ja tarvittaessa voidaan porata betonista koepaloja, joista saadaan varma tieto betonin lujuusarvoista. Vesiteissä pahimmat betonissa olevat vauriot tasoitetaan.

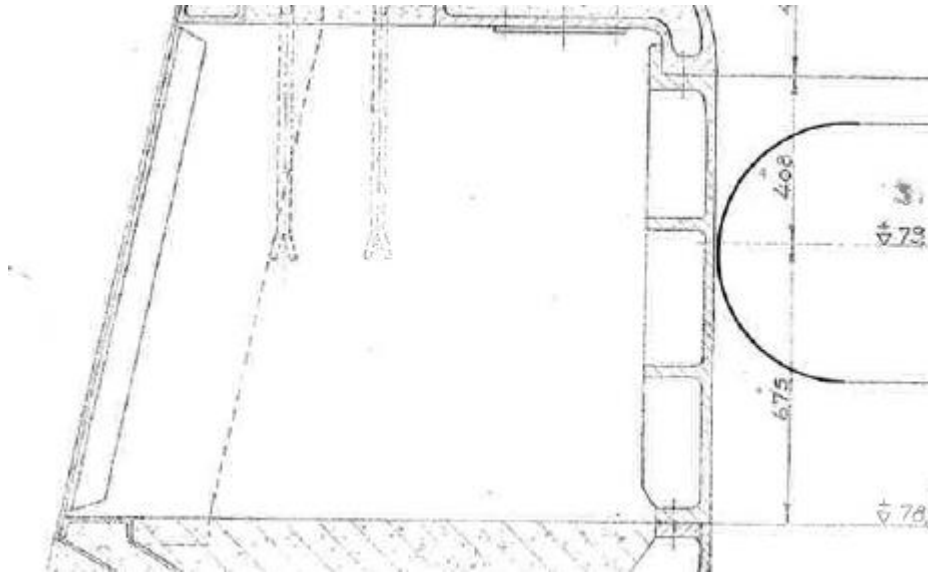
Kammion ja sen alapuolella olevan metallilevystä tehdyn kartion kiinnitys betoniin varmistetaan ja tarpeen vaatiessa kiinnitetään uudelleen ankkuroimalla ja injektiovalamalla. Betonista irtonaisella kammiolla on vaarana osua turpiinin siipiin aiheuttaen vahinkoja sekä turpiinille että kammiolle. Kartio maalataan korroosion estämiseksi.

Solukkeet ja turpiinin kansi tarkastetaan ja ne puhdistetaan veden aiheuttamasta kuonasta. Osat maalataan uudelleen mahdollisuuksien mukaan. Tällä saavutetaan komponenteille pidempi elinikä ja pienemmät virtaushäviöt. Solukkeiden keskinäisellä tiiveydellä suljetuna ei ole väliä, koska Valkeakosken vesivoimakonetta ei pysäytetä kuin huoltoja varten. Solukkeiden ylä- ja alalaakeripesien väljyydet on syytä tarkistaa. Väljät laakeripesät saavat solukkeet värisemään virtauksessa, mikä voi pahimmillaan aiheuttaa solukkeen katkeamisen ja irtonaisen solukkeen osumisen turpiinin siipiin aiheuttaen täystuhon. Solukkeiden laakerien vaihtaminen edellyttää koneen purkamista. Välyksiä testattaessa kannattaa rasvaprässillä painaa rasvaa alalaakerille niin paljon, että näkee sen tursuavan solukkeen alapäästä. Jos ei tursua, on voiteluputki alalaakerille katkennut. Tiedoilla voidaan paremmin arvioida tulevan pakollisen peruskorjauksen ajankohtaa. Ilman voitelua laakerit eivät kauaa kestä.

Turpiinin siipien ja kammion kavitaatiovauriot hitsataan. Alkavat syöpymät ovat syytä heti korjata, etteivät osat kulu korjauskelvottomiksi. Kammio on valuterästä ja siivet ruostumatonta terästä, joten molemmat ovat hitsattavissa.

Jos siipitiivisteissä tässä vaiheessa kuitenkin huomataan merkittäviä vuotoja, voidaan kammiosta ottaa segmentti irti siipitiivisteen vaihtoa varten (kuva 21). Siipi irrotetaan ja

vedetään kammion seinämässä olevaan koloon, jotta aksiaalitiivisteiden vaihto onnistuu. Koneetta tulee pyörittää sen verran, että siipi osuu irrotetun segmentin kohdalle. Tiivisteiden vaihto on toimenpiteenä tosin vaativa ja kallis, eikä tiiveydestä voi olla edes varma.



KUVA 21. Irrotettava segmentti ja tila, johon siipi vedetään.

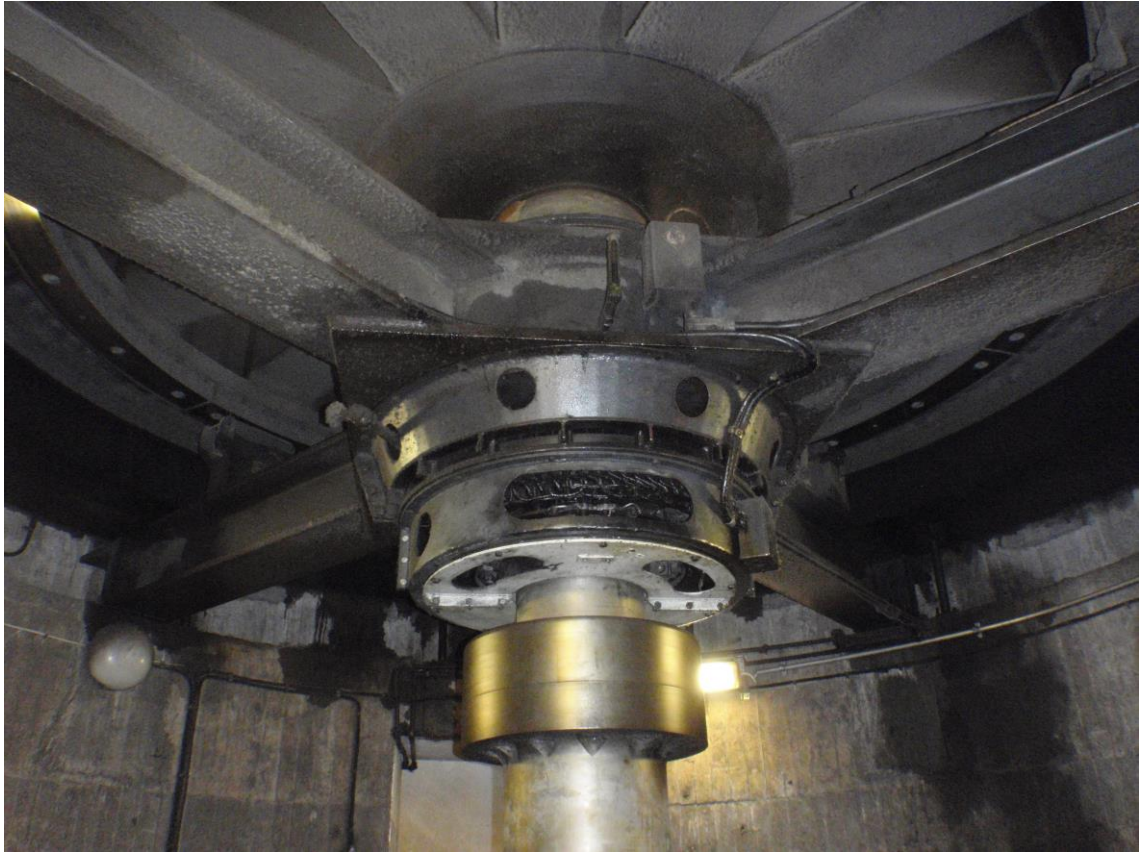
## 5.5 Muita kriittisiä komponentteja

Vesiteissä tehtävien toimenpiteiden aikana on syytä tehdä tarkistuksia muille koneen komponenteille. Säätörenkaan laakereiden välöksellä on merkitystä johtopyörän säätämisen tarkkuuteen ja koko laitoksen elinikään, joten välökset on syytä mitata. Säätörenkaan välökset saadaan selville tunkkaamalla sitä betoniseinää vasten mittakellon mitatessa vällyksen.

Kuluneet välppien rakenteet on syytä uusia. Kuluneet välpät eivät välttämättä kestä enää koko yläveden painetta tilanteissa, joissa välpät menee tukkoon. Välpillä on erityisesti vaara mennä tukkoon talvisin jäästä ja veden hyytymisilmioista. Välppien pettäessä hyytymä ja jää pääsevät johtopyörällä ja turpiinille tekemään tuhoja.

Säätörenkaan voiman solukkeille välittävät vivut toimivat murtolenkkeinä eli varolaitteina, jotka katkeavat, jos solukkeiden väliin menee jotain. Vivut kannattaa tarkastaa sääron varalta ja vaihtaa niiden laakerit, jos ne tuntuvat väljiltä. Välökset heikentävät säädön tarkkuutta heikentäen kombinaatiokäyrää.

Kannatuslaakeri (kuva 22) on merkittävä vesivoimakoneen laakeri turpiinin ohjauslaakerin lisäksi. Se kantaa koneen pyörivien osien painon. Asianmukaisen tahon kannattaa tutkia laakerin kunto, koska se on ratkaiseva tekijä laitoksen eliniän määrittämisessä.



KUVA 22. Ristikon keskellä sijaitsee kannatuslaakeri. Kuvassa näkyy myös turpiinin akselin ja staattorin akselin kiinnityskohta.



## 6 LAITOKSEN TULEVAISUUS

Laitoksen läpi virtaama vesimäärä on pysynyt vakaana (liite 3). Viime vuosikymmeninä vesitilanne on kuitenkin keväisin ollut tavallista huonompi vähäisten sulamisvesien takia. Voimalaitoksen rakennusaste on tarpeeksi korkea, vaikka käytettäisiin keskivirtaaman sijasta keskiylivirtaamaa. Äärimmäisen korkeita virtausmääriä ei ole esiintynyt enää pitkään aikaan. Mahdolliset tehon nostot eivät ainakaan rakennusvirtaamaa kasvattamalla ole mahdollisia.

Laitoksen putouskorkeus on pääosin kiinni Mallasveden pinnan korkeudesta. Vanajaveden pinta on säännöstelty keväisiä tulvavahinkoja ajatellen. Pinnankorkeus on vakiintunut ja vaihteluväli hyvin pieni. Mallasveden korkeus on taas hyvin riippuvainen vuosittaisista sateista ja lumien sulamismääristä (liite 4). Mallasveden säännöstelyä on myös tutkittu, mutta sitäkin on esitetty lähinnä virkistyskäytön näkökulmasta ja nykyinen lupa voi olla edukkaampi laitoksen toiminnan kannalta kuin säännöstellä vedenpintaa virkistyskäyttö mielessä. Pahin uhkakuva olisi, että konetta täytyisi pysäyttää veden pinnan korkeuden kasvattamiseksi, koska laitoksen pysäyttäminen ja käyntiin laitto kuluttavat konetta erityisen paljon.

Laitoksen vuosittain tuottama energiamäärä 2014, 2015 ja 2016 vuosien keskiarvona on 8200 MWh. Laitos tuottaa siis noin 246 000€ vuodessa sähkön hinnan ollessa 30€/MWh. Sähkön hinta, korkotaso ja haluttu takaisinmaksuaika antavat raamit sille, minkälaisia investointeja kannatta tehdä. Ehdotettujen korjauskohteiden takaisinmaksuaika ei pitäisi venyä niin pitkiksi, että ne kannattaisi jättää tekemättä, koska riskinä on koneen hajoamisesta johtuva tuotannon pitkä keskeytys tai loppuminen.

Täydellisessä modernisoinnissa ja kunnostuksesta saatava tuotantolisäyksen voi olla 10 % luokkaa, mutta laitoksen ollessa näin moniongelmainen ja investointihalun ollessa alhainen, voi olla viisasta tehdä ensimmäiseksi elvytyskorjaus, jonka aikana voidaan osien kuntoa tutkimalla arvioida tulevan peruskorjauksen hinta.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Valkeakosken vesivoimalaitos on huoltotoimenpiteiden tarpeessa. On epätavallista, että laitos kestää näinkin hyvin ilman suurempia huoltotoimenpiteitä. Laitoksella on kuitenkin kohteita, joihin olisi syytä alkaa kiinnittää huomiota.

Vesiteissä olevien osien kunto voitiin arvioida vain teoreettisen tiedon ja säätöjärjestelmän ongelmien perusteella. Luukut ovat huoltojen tarpeessa. Niiden kunnostus ja vesiteiden kuivaus ovat edellytys vesiteissä olevien ongelmien selvittämiseksi. 2011 tehtyjen sukelluskuvien perusteella laitoksen vesiteiden kunto ei pitäisi olla este laitoksen toiminnalle tulevaisuudessa.

Laitoksen maanpäälliset osat, joita oli mahdollista tarkastella, olivat kuluneita mutta toimivia kaarilaitetta lukuun ottamatta. Säättäjän käyttötunnit ovat luultavasti tulleet täyteen ja se kannattaa korvata nykyaikaisemmalla teknologialla. Järjestelmän ei tarvitse olla edes edistynyt, koska Valkeakosken vesivoimalaitosta ei käytetä säätövoimana, joten verkontaajuutta ei tarvitse ottaa huomioon säädössä.

Esitetyt ehdotukset perustuvat alan kirjallisuuteen, asiantuntijoiden haastatteluihin ja kokemuksiin. Korjauskohteiden määrä ja laatu paljastuvat parhaiten vesiteiden kuivauksen jälkeen tehtävässä perusteellisessa tarkastuksessa. Tarkastuksen jälkeen saa tehtyä luotettavat taloudelliset laskelmat siitä, minkälaisia investointeja laitokselle kannattaa tehdä. Lopputulemana voi olla myös laitoksen käytöstä poisto, mikä ei kuitenkaan ole toivottavaa ajatellen vesivoiman kuitenkin olevan puhdasta uusiutuvaa energiaa.

## LÄHTEET

Energiateollisuus ry, Vesivoimalla eniten uusiutuvaa sähköntuotantoa, luettu 13.2.2017  
[http://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/vesivoima](http://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/vesivoima)

Järvi&meriwiki, Mallasvesi (35.711.1.001), luettu 20.2.2017  
[https://www.jarviwiki.fi/wiki/Mallasvesi\\_\(35.711.1.001\)](https://www.jarviwiki.fi/wiki/Mallasvesi_(35.711.1.001))

Lauri Nieminen, asentaja, haastattelu 14.2.2017, kammion materiaalit

Learn Engineering, Kaplan Turbine - A Mammoth in Hydroelectric Power Generation, luettu 13.2.2017  
<http://www.learnengineering.org/2013/08/kaplan-turbine-hydroelectric-power-generation.html>

Learn Engineering, Kaplan Turbine Working and Design, katsottu 13.2.2017  
<https://www.youtube.com/watch?v=0p03UTgpnDU>

Motiva, Vesivoimatuotannon määrä ja lisääminen Suomessa, 2005  
<http://www.motiva.fi/files/700/vesivoimatuotannon-maara-ja-lisaamismahdollisuudet-suomessa.pdf>

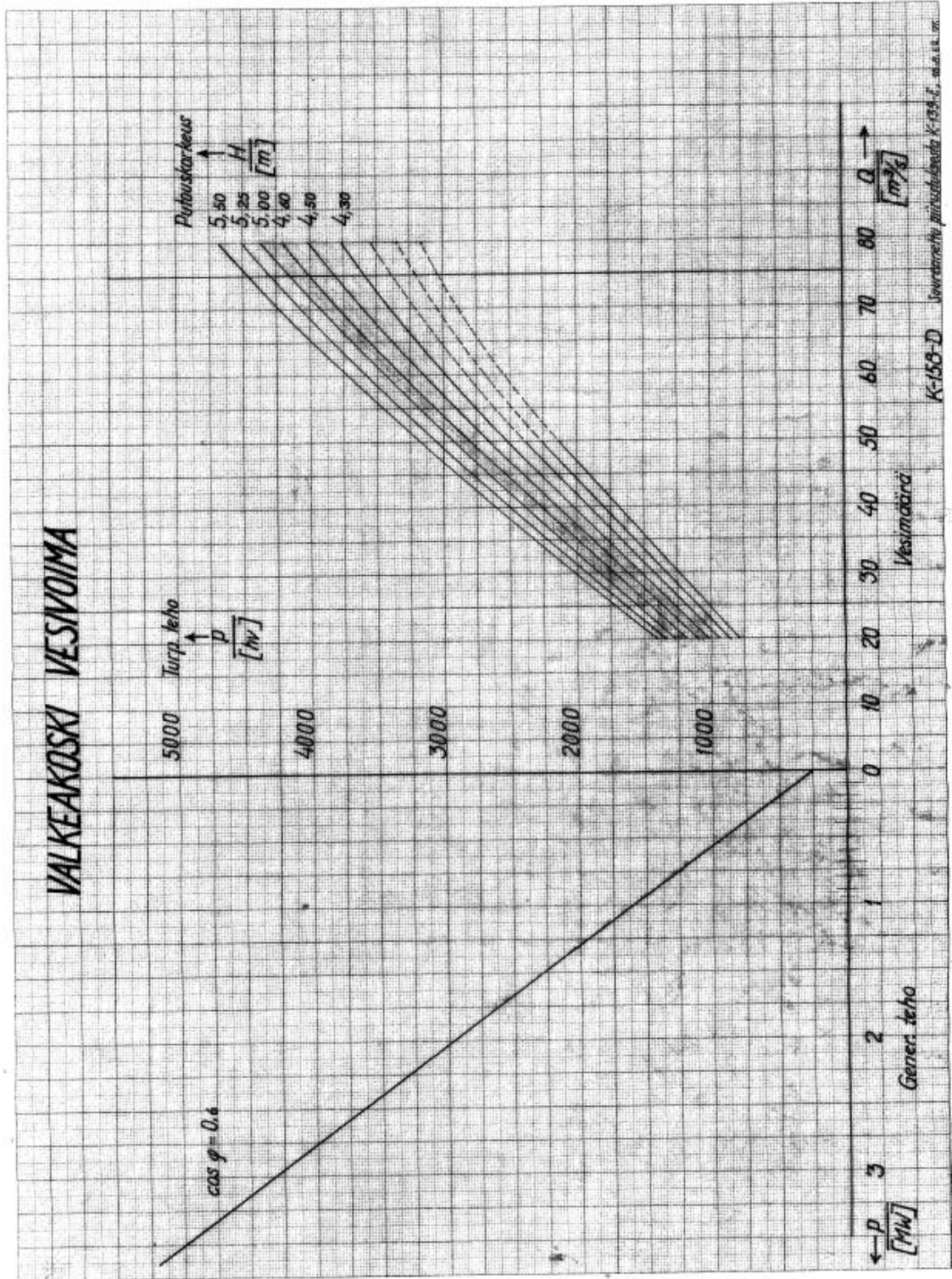
Motiva, Vesivoima, luettu 13.2.2017  
[http://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/vesivoima](http://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima)

Paulsson S.E, Holmén E, Alfredson S, Hägglund S. 1998. Småskalig vattenkraft Nr 3767:02

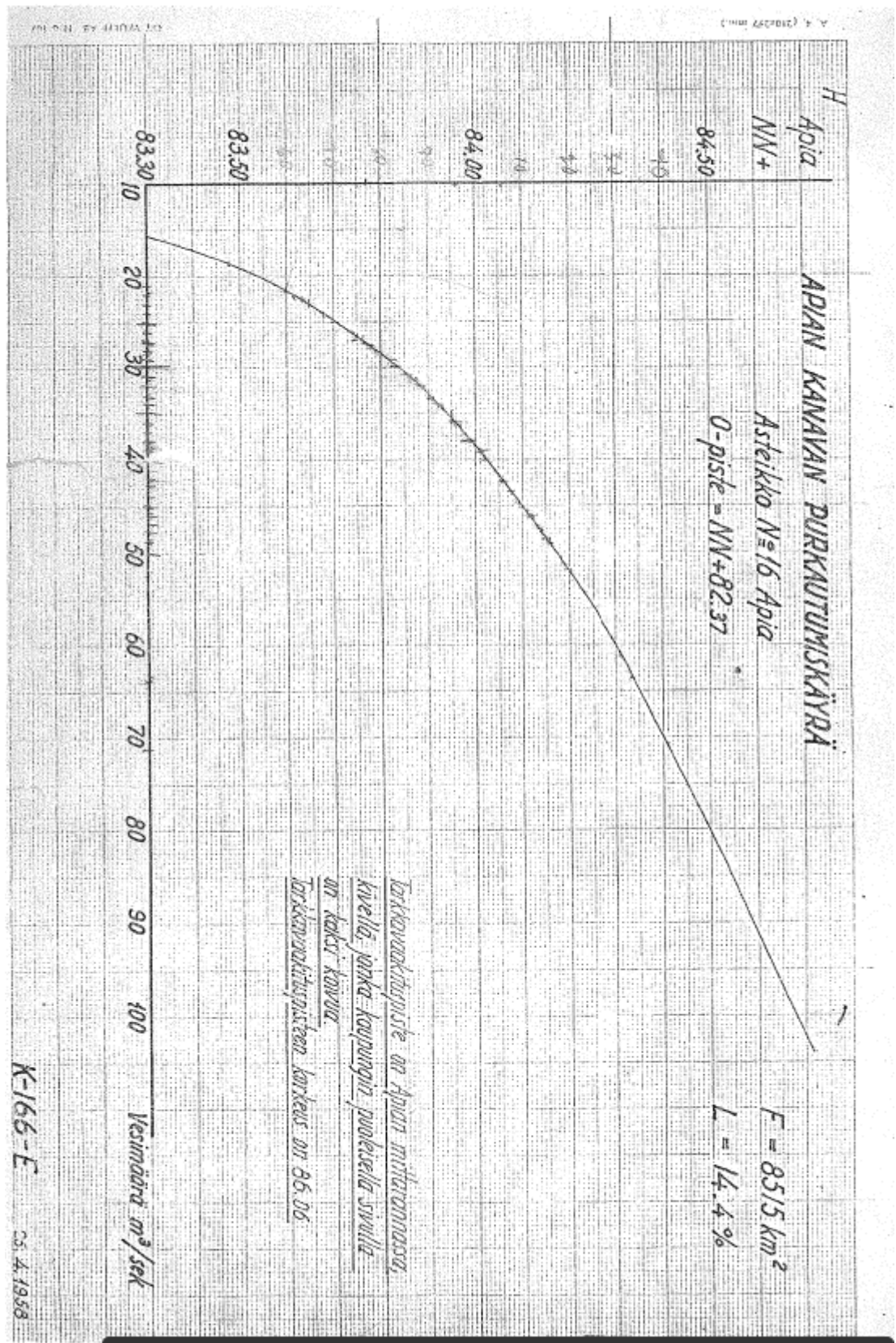
Pekka Yliruka, säätötekniikan asiantuntija, puhelinkeskustelu 22.2.2017, säätötekniikan ongelmat

LIITTEET

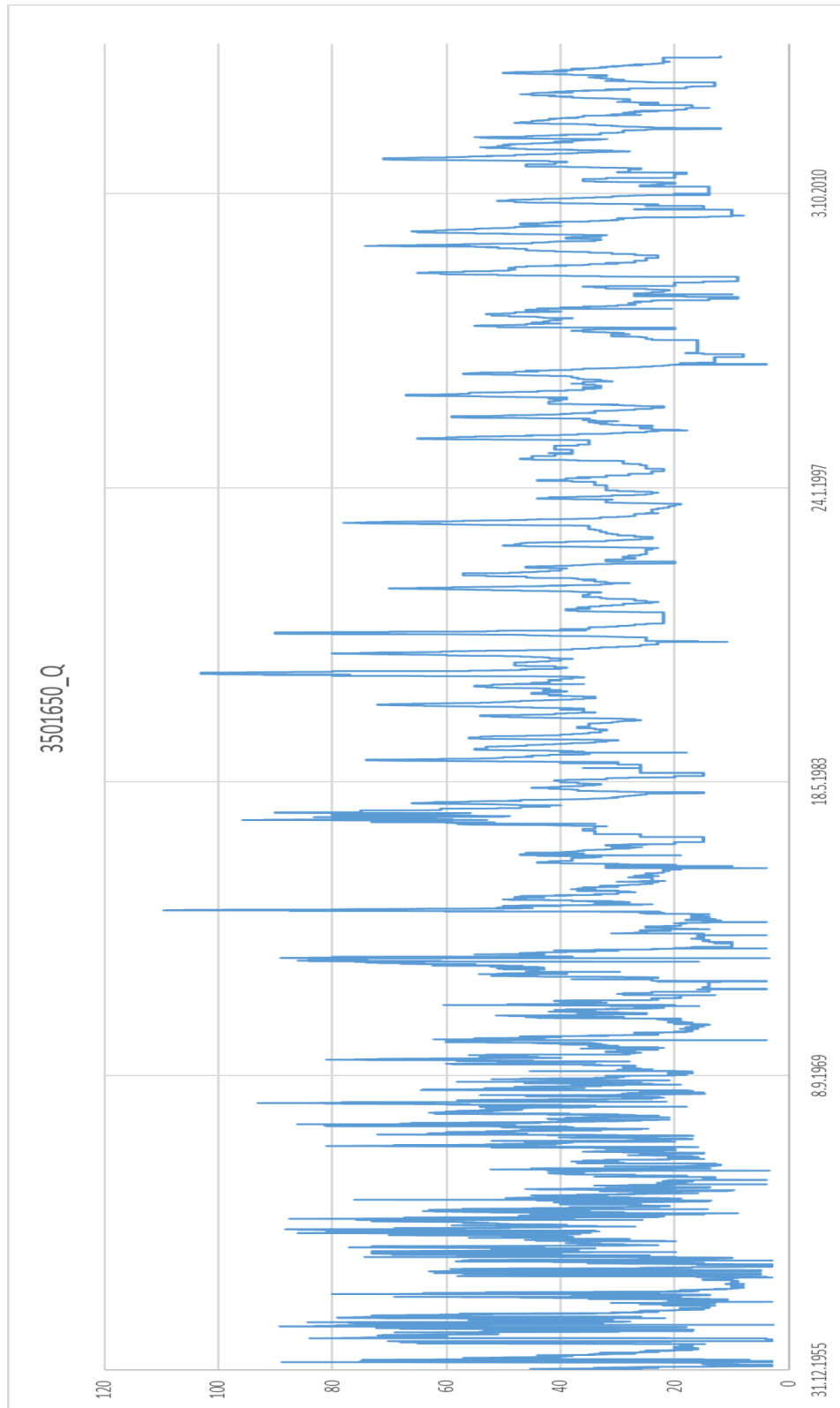
Liite 1. Laitoksen tehokäyrä, UPM Kymmene Oy



Liite 2. Apian kanavan purkautumiskäyrä, UPM Kymmene Oy



Liite 3. Mallasveden virtaamat 1956 lähtien, havainnot noudettu Suomen ympäristökeskuksen järjestelmistä



Liite 4. Mallasveden pinnat 1956 lähtien, havainnot noudettu Suomen ympäristökeskuk-  
sen järjestelmistä

