

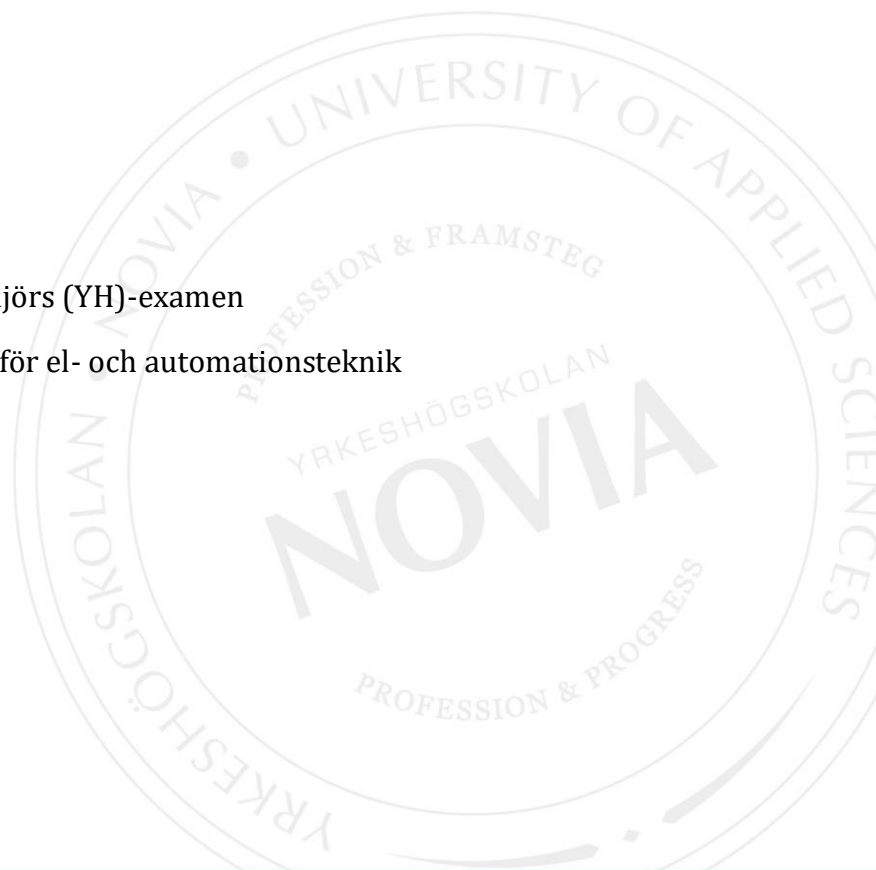
# Undersökning av nödvändiga servicearbeten vid Kaitfors kraftverk

Henrik Damlin

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för el- och automationsteknik

Vasa 2019



## EXAMENSARBETE

Författare: Henrik Damlin  
Utbildning och ort: El- och automationsteknik, Vasa  
Inriktningsalternativ: Elkraftsteknik  
Handledare: Lars Enström, Benjam Wärn

Titel: Undersökning av nödvändiga servicearbeten vid Kaitfors kraftverk

---

Datum 14.4.2019      Sidantal 31

---

### Abstrakt

Detta examensarbete gjordes åt Oy Herrfors Ab och är en undersökning av servicearbeten på generatoren och dess magnetiseringssystem vid Kaitfors kraftverk, vilket är ett vattenkraftverk i Nedervetil. Examensarbetet inleds med allmän teori om elproduktion och -förbrukning, med en betoning på vattenkraft.

Examensarbetets syfte var att göra en undersökning av nödvändiga servicearbeten vid Kaitfors kraftverk. Service som skulle vara aktuella för kraftverket är service på generatoren, magnetiseringssystemet och ett eventuellt förnyande av generatorbrytare. I examensarbetet ingår det även instruktioner på hur man räknar ut en stabilitetskurva för en generator.

Målet var att komma fram till de optimala lösningarna gällande de olika typerna av service. För att kunna förstå möjligheterna med servicen och riskerna med att lämna servicen ogjord har det undersökts relaterad teori om delarna i fråga samt rapporter av konditionsgranskningen. ABB har gjort konditionsgranskning på generatoren och dess magnetiseringssystem.

---

Språk: svenska      Nyckelord: vattenkraft, generator, service

---

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Henrik Damlin  
Koulutus ja paikkakunta: Sähkö- ja automaatiotekniikka, Vaasa  
Suuntautumisvaihtoehto: Sähkövoimatekniikka  
Ohjaajat: Lars Enström, Benjam Wärn

Nimike: Tutkimus tarpeellisista huoltotöistä Kaitforsin voimalaitoksella

---

Päivämäärä 14.4.2019 Sivumäärä 31

---

### Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty Oy Herrfors Ab:lle ja siinä tutkittiin mahdollisia huoltotöitä Kaitforsin voimalaitoksella. Tutkimuksen kohteena olivat voimalaitoksen generaattori sekä siihen liittyvä magnetointilaitteisto. Kaitforsin voimalaitos on vesivoimalaitos, joka sijaitsee Alavetelissä. Opinnäytetyö alkaa teoriaosuudella kertoen Suomen sähköntuotannosta ja -kulutuksesta, painopisteenä vesivoima.

Opinnäytetyön tarkoitus on tehdä tutkimus sekä arvioida kyseisten huoltojen mahdollisuuksia. Kyseessä olevat huollot ovat generaattorin ja magnetisointilaitteiston huollot. Lisäksi generaattorin katkaisijan uusimista on suunniteltu.

Tavoitteena on päätyä optimaalisiin päätöksiin kyseisten huoltojen suhteen. Ymmärtääkseen huoltojen mahdollisuudet ja riskit, on kyseisten laitteiden teoriaa ja huoltotarkastusraportteja tutkittu. ABB teki kuntotarkastuksen generaattorille ja sen magnetisointilaitteistolle.

---

Kieli: ruotsi

Avainsanat: vesivoima, generaattori, huolto

---

## BACHELOR'S THESIS

Author: Henrik Damlin  
Degree Programme: Electrical engineering  
Specialization: Electrical Power  
Supervisors: Lars Enström, Benjam Wärn

Title: Investigation Regarding Necessary Services at Kaitfors Power Plant

---

Date April 14.2019

Number of pages 31

---

### **Abstract**

This thesis was carried out at Oy Herrfors Ab, and describes a study regarding possible future service of the generator and its excitation system at Kaitfors power plant. Kaitfors power plant is a hydropower plant in Alaveteli. The thesis is introduced with theory regarding the production and consumption of electrical energy in Finland, with an emphasis on hydropower.

The purpose of the thesis is to study and evaluate the possibilities regarding the services. The service that is currently planned, is service of the generator and its excitation system. There are also plans for renewing the generator circuit breaker.

The goal is to find the most optimal solutions regarding the different types of services. To be able to understand the benefits of performing the services and the risks associated with not carrying them out, related theory and reports and condition inspection reports of the involved components have been analyzed. The condition inspection of the generator and its excitation system was performed by ABB.

---

Language: swedish

Key words: hydropower, generator, service

---

# Innehållsförteckning

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Inledning.....                                   | 1  |
| 1.1   | Uppdragsgivare.....                              | 1  |
| 1.2   | Projektet.....                                   | 2  |
| 2     | Elproduktionen i Finland.....                    | 2  |
| 2.1   | Elförbrukningen i Finland 2018.....              | 3  |
| 2.2   | Elproduktion med förnybara energikällor .....    | 4  |
| 2.2.1 | Vattenkraft .....                                | 4  |
| 2.2.2 | Vindkraft .....                                  | 5  |
| 2.2.3 | Solenergi.....                                   | 5  |
| 2.2.4 | Bioenergi.....                                   | 5  |
| 2.3   | Vattenkraften i Finland .....                    | 6  |
| 2.3.1 | Olika turbintyper.....                           | 6  |
| 2.3.2 | Vattenkraft vid Herrfors .....                   | 8  |
| 3     | Generatorn.....                                  | 10 |
| 3.1   | Allmänt om generatorer .....                     | 11 |
| 3.2   | Kylning .....                                    | 12 |
| 3.3   | Generatorns stabilitet .....                     | 13 |
| 3.3.1 | Hur man kalkylerar en stabilitetskurva .....     | 13 |
| 3.4   | Negativa faktorer .....                          | 17 |
| 3.5   | Servicerekommendationer på generatorn .....      | 17 |
| 4     | Generatorbrytaren.....                           | 20 |
| 4.1   | Generatorbrytaren i kretsen.....                 | 20 |
| 5     | Magnetiseringen .....                            | 21 |
| 5.1   | Mekanisk uppbyggnad.....                         | 21 |
| 5.2   | Funktion .....                                   | 23 |
| 5.2.1 | Reglering av spänning och ström.....             | 25 |
| 5.2.2 | Start av generator .....                         | 25 |
| 5.2.3 | Alarm.....                                       | 25 |
| 5.2.4 | Fältbrytaren.....                                | 26 |
| 5.2.5 | Manuell användning av magnetiseringen .....      | 27 |
| 5.3   | Servicerekommendationer på magnetiseringen ..... | 27 |
| 6     | Resultat.....                                    | 29 |
| 7     | Diskussion.....                                  | 30 |
| 8     | Referenser.....                                  | 30 |

# 1 Inledning

Examensarbetet kommer att behandla risker och möjligheter med service på generatorbrytare samt magnetisering i generatoren vid Kaitfors vattenkraftverk. ABB gjorde en konditionsgranskning på generatoren sommaren 2018 och fann en hel del koldamm och olja i stator- och rotorlindningarna. En del oljeläckage upptäcktes också från rotorns bärlager. Det kommer att tas upp vad man bör tänka på och överväga innan servicen. Examensarbetet kommer också att innehålla information om elproduktion i Finland, med en betoning på vattenkraft. Det kommer att behandlas både vattenkraftens betydelse för Finland och för Herrfors. Olika typer av turbiner kommer också att jämföras i texten. För att förstå nyttan med servicen behandlas även teori om magnetisering och generatorer i texten.

## 1.1 Uppdragsgivare

Uppdragsgivare till examensarbetet är Oy Herrfors Ab. Den första elgeneratoren installerades redan år 1907 vid Herrfors kraftverk i Kållby. Sedan dess har Herrfors gjort närregionen till en trivsamt plats för dess invånare, gäster och företagare med hjälp av lokala resurser och kunskap.

Herrfors är en del av Katternögruppen, vilket är ett kraftbolag vars verksamhet sträcker sig från Vörå i söder till Alavieska i norr. Katternö Ab är en lokalt ägd energikoncern, som ser till att hela kedjan från kraftproduktionen vid energikällan till slutleveransen hos kunden fungerar. Idag har Herrfors kontor i Jakobstad, Kållby och Ylivieska. Det finns också kontor i Terjärv och Oravais, men de är inte bemannade numera. Idag har Herrfors cirka 85 anställda. (Oy Herrfors Ab, u.d.)



Figur 1. Herrfors logo.

## 1.2 Projektet

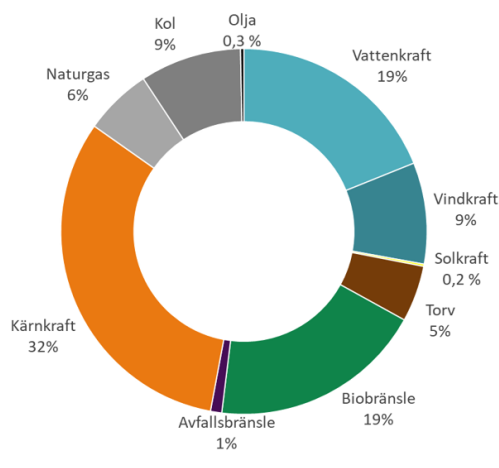
Sedan maj 2018 har jag arbetat vid Oy Herrfors Ab med drift och underhåll av vattenkraftverk. Examensarbetet handlar om att analysera de möjligheter och risker som finns med service på generatoren vid Kaitfors kraftverk. Det är planerat att installera ytterligare en generatorbrytare samt förnya magnetiseringssystemet.

Min roll i detta projekt är att ta fram all information som behövs samt överväga möjligheterna med de nya systemen och de eventuella riskerna med att fortsätta med de gamla.

ABB gjorde en granskning av generatoren sommaren 2018 och då skall jag uppskatta nyttan med de rekommendationer de kom med. Jag ska även undersöka om det finns ett verkligt behov av service och vad det finns för risker med att inte göra något. Jag har också som uppgift att komma på en lösning för att minimera de negativa effekterna av oljedimma och koldamm i generatoren. Från företagets sida fungerar Benjam Wärn som min handledare och från Yrkes högskolan Novias sida är det Lars Enström.

## 2 Elproduktionen i Finland

Finland har en mångsidig elproduktion med många olika energikällor. De viktigaste energikällorna för Finland är kärnkraft, vattenkraft och biobränslen. Deras andelar för totalproduktionen 67 TWh år 2018 var 32 % (21,4 TWh) för kärnkraft och 19 % (12,7 TWh) för både vattenkraften och biobränslen. Vindkraftens andel var 2018 9 % av totalproduktionen, vilket motsvarar en effekt på 6,0 TWh. Vindkraftens andel var endast 3,5 % år 2015 av en totalproduktion på 66,1 TWh. Det vill säga att elenergin producerat med vindkraft har ökat med 160 % de senaste tre åren. (Kostama, u.d.)



Figur 2. Finlands energiproduktion 2018 (Finsk Energiindustri, 2019)

## 2.1 Elförbrukningen i Finland 2018

Vart tar då all energi vägen? Största delen av elenergin används av industrierna, varav det mesta, 23 %, går till skogsindustrin. Industriernas andel stiger ända upp till 47 % av den totala förbrukningen. Den totala elförbrukningen år 2018 var 87 TWh, vilket är 20 TWh mindre än vad som producerades i Finland. Detta betyder att allt som överskred 67 TWh importerades, till exempel från Sverige och Norge. Boende och jordbruk stod för 28 % av den totala förbrukningen och service och konstruktion för 22 %.

$$100 \% - 47 \% - 28 \% - 22 \% = 3 \%$$

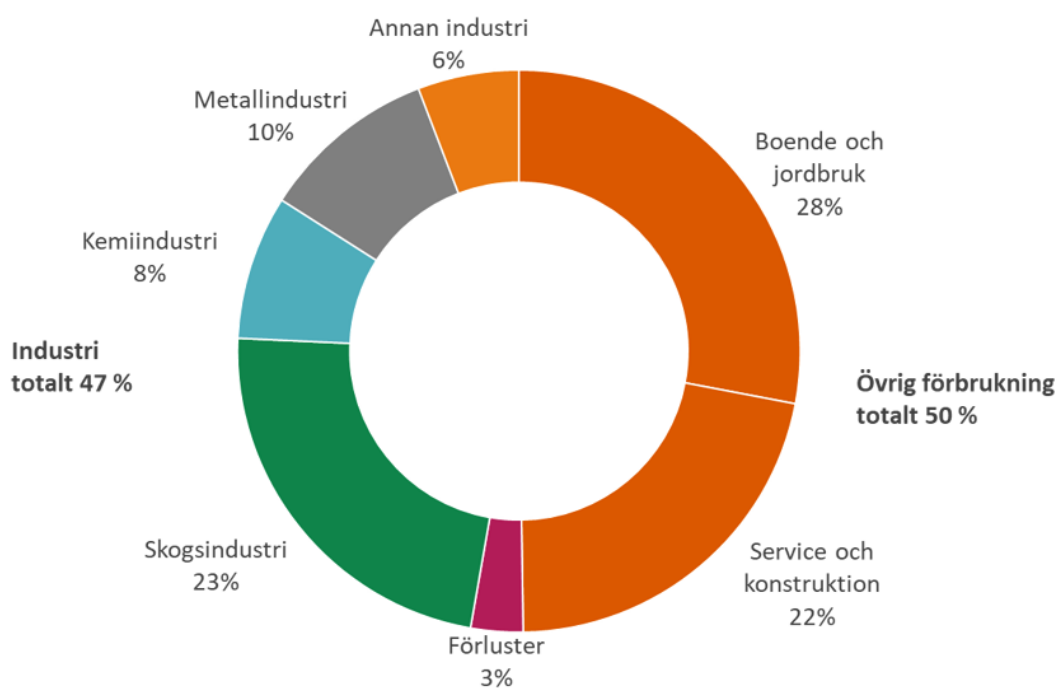
De övriga 3 % är den elenergi som inte kunde dras nytta av, alltså förlusterna. I figur 3 kan det ses hur de olika elkonsumenterna är uppdelade. För att göra en förenkling:

Industri – 47 %

Övrigt – 50 %

Förluster – 3 %

(Finsk Energiindustri, 2019)



Figur 3. Finlands elförbrukning 2018. (Finsk Energiindustri, 2019)



## 2.2 Elproduktion med förnybara energikällor

De vanligaste formerna av förnybar energi är vattenkraft, vindkraft, solenergi och bioenergi. Efter installation av kraftverk som drivs av förnybara energikällor är underhållskostnaderna låga, eftersom ”bränslet” är gratis. Eftersom dessa energikällor är så väderberoende, är det viktigt att ändå ha tillgång till andra energiproduktionsmetoder också, som till exempel kärnkraft. Skulle vi använda oss enbart av energikällor vilka är beroende av väder, skulle importen av elenergi öka drastiskt ifall det hände sig att vädret inte gynnar elproduktionen.

EU har som mål att år 2020 ska 20 % av energiförbrukningen produceras med förnybara energikällor och att andelen biodrivmedel ska vara 10 %. (Jordbruksverket, 2018)

### 2.2.1 Vattenkraft

Med vattenkraft utnyttjas höjdskillnaden mellan två vattennivåer. Genom att låta vattnet forsa genom en vattenturbin får man en mekanisk kraft som driver en generator, som sedan omvandlar mekaniska energin till elenergi. Med dammar samlar man vattnet och skapar därmed ett vattenmagasin, vilket leder till högre fallhöjd. Den teoretiska effekten vid ett vattenkraftverk kan räknas på följande vis:

$$P = Qgh$$

$P$  = aktiv effekt (W)

$Q$  = vattenflöde, vattenmassa/tid ( $m^3/s$ )

$g$  = tyngdacceleration ( $m/s^2$ )

$h$  = vattnets fallhöjd (m)

För att beräkna den verkliga effekten, bör man även ta med bland annat verkningsgraderna för turbin och generator i beräkningarna. Ett vattenkraftverk är en dyr investering som relativt snabbt betalar tillbaka sig på grund av låga driftkostnader. Detta är dock beroende av kraftverkets storlek, små kraftverk har en längre återbetalningstid än större kraftverk. Vattenkraftverken har även en väldigt lång livstid. Vattenkraftverken är lätta att reglera, det vill säga att det går lätt att styra mängden energi som produceras. En annan viktigt fördel är

att det går snabbt att starta produktionen, det krävs inga långa och komplicerade startprocesser. Vattenkraften är en av de äldre formerna av förnybar energi, det började användas i bland annat kvarnar för länge sedan. (Ekologistas, u.d.) (Vattenfall, 2013)

### **2.2.2 Vindkraft**

Vindkraften är den mest ökande energiproduktionsmetoden för tillfället. Processen fungerar på det viset, att vinden får vingarna i vindkraftverket att rotera och driver turbinen som i sin tur får generatoren att alstra elenergi. Vindkraften har också använts under en lång tid, bland annat i kvarnar. Vindkraftverken är igång endast då det blåser, men ett vindkraftverk producerar energi i genomsnitt 90 % av tiden. Produktionseffekten är inte den samma hela tiden, utan med kraftigare vind produceras det mera energi. Vindkraftverken och vindkraftsparkerna placeras ofta vid öppna fält, på bergen eller vid kusten. (Ekologistas, u.d.)

### **2.2.3 Solenergi**

Med solenergi menas energi som man utvinnet från strålningen i solljuset. Det finns två olika huvudtyper av användning av solenergi, man kan använda energin som värmeenergi till uppvärmning eller varmvatten, eller så kan strålningsenergin omvandlas till elenergi genom solceller. I Finland används det en del solenergi, men det är vanligare och mera användbart söderut. Solenergin, såsom vindkraft, har växt snabbt under de senare åren. Det blir allt vanligare för husägare och fastighetsägare att installera solceller, eftersom priset hela tiden sjunker. (Ekologistas, u.d.)

### **2.2.4 Bioenergi**

Bioenergi är energi som framställs av biomassa. Biomassa kan bestå till exempel av olika växter och deras delar. Bioenergi räknas som en förnybar energi eftersom biomassan förnyas kontinuerligt. Bioenergi används främst i fjärrvärmeanläggningar och inom transporter används det som biodiesel. I u-länderna används bioenergi främst till uppvärmning och matlagning. Finland är en föregångare i CHP (Combined Heat and Power) anläggningar, vilket innebär kraftverk där den energin som inte kan genereras till elenergi används som värmeenergi. (Jordbruksverket, 2018) (Ekologistas, u.d.) (Energiateollisuus, u.d.)

## 2.3 Vattenkraften i Finland

Av Finlands cirka 400 kraftverk är ungefär hälften vattenkraftverk. Vattenkraften är väldigt beroende av årstid. Effekten är som högst under vårflödet då snön håller på att smälta. Under somrarna är effekten oftast som lägst, för då är vädret som torrast och vattenflödet genom turbinen som lägst. Detta syntes tydligt under sommaren 2018, då klimatet var riktigt torrt. Under de varmaste månaderna var bara ett fåtal kraftverk igång för att vattenflödet helt enkelt inte räckte till. I figur 4 syns det hur mycket elenergi i TWh det har producerats i Finland med vattenkraft de senaste åren. Som bilden berättar, var produktionen aningen lägre jämfört med åren 2015, 2016 och 2017, men ändå hölls nivån ungefär på det normala.



Figur 4. Finlands elproduktion med vattenkraft. (Finsk Energiindustri, 2019)

### 2.3.1 Olika turbin typer

I vattenkraftverken är det viktigt att välja rätt typ av turbin för att få maximal nytta av den. Olika turbiner är designade för olika fallhöjder. De vanligaste turbin typerna är Pelton turbinen, Francisturbinen och Kaplan turbinen.

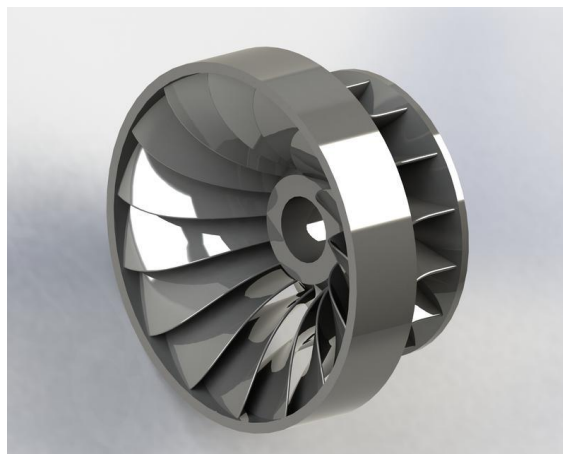
Pelton turbinen används oftast vid fallhöjder över 300 meter. Den första Pelton turbinen konstruerades av Lester Pelton år 1880. På grund av dess design är Pelton turbinen det mest populära alternativet vid höga fallhöjder. Man låter en vattenstråle med hög hastighet spruta på turbinen, och därmed åstadkomma en rotation. Vattenstrålen leds genom ett munstycke.

Peltonturbiner används bland annat i Alperna och i Norge. I figur 5 presenteras designen av en Peltonturbin. (Energy Education, u.d.)



*Figur 5. Peltonturbinen.*

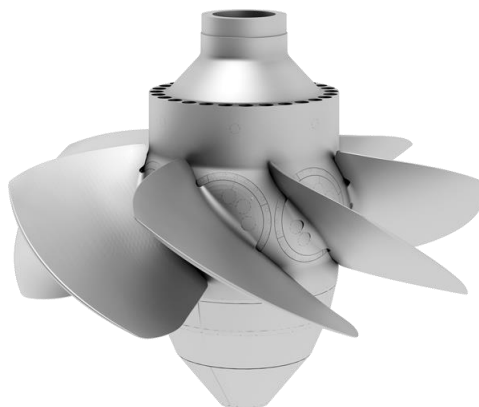
Francisturbinen används vid mellanstora och stora kraftverk, med fallhöjder mellan 2 och 300 meter. Fördelen med denna turbintyp är att den fungerar lika bra i både horisontell och vertikal position. Vattnet leds in genom ett spiralformat rör för att sedan flöda på turbinen genom styrskovlar, vilka styr vattnet i optimala vinklar mot löphjulets blad. Francisturbinen designades av den amerikanska vetenskapsmannen James Francis. I figur 6 presenteras designen av en Francisturbin. (Energy Education, u.d.)



*Figur 6. Francisturbinen.*

Kaplanturbinen är en propellerturbin som har som egenskap att rotera propellerbladen, för att uppnå maximal verkningsgrad vid olika fallhöjder och flöden. Vid Kaitfors kraftverk gjordes ett indexprov 2013 för att få optimal vinkel på propellerbladen. Kaplanturbinen används ofta vid höga vattenflöden, men vattnets fallhöjd kan ändå vara lågt. Detta är för att intaget till turbinen är stort. Då vattnet flödar genom turbinen kommer dess kraft då att träffa

propellerbladen, vilket ger upphov till rotation. Denna turbintyp uppfanns av Viktor Kaplan. I figur 7 presenteras designen av en Kaplanturbin. (Energy education, u.d.)



*Figur 7. Kaplanturbinen.*

### **2.3.2 Vattenkraft vid Herrfors**

Vattenkraften är en betydande del av Herrfors elproduktion. Vattenkraften är även en förnybar energikälla, vilket är den typen av energiproduktion som elbolagen idag måste prioritera. Herrfors har tio olika vattenturbiner vid sju olika kraftverk, med en nominell effekt på allt mellan 0,1 MW och 7,5 MW. Fem av kraftverken är vid Esse å, ett vid Perhonjoki och ett vid Kimo å. Den turbintyp som används vid samtliga Herrfors kraftverk är Kaplan. Det finns dock olika typer av Kaplanturbin, vilka är uppdelade enligt följande:

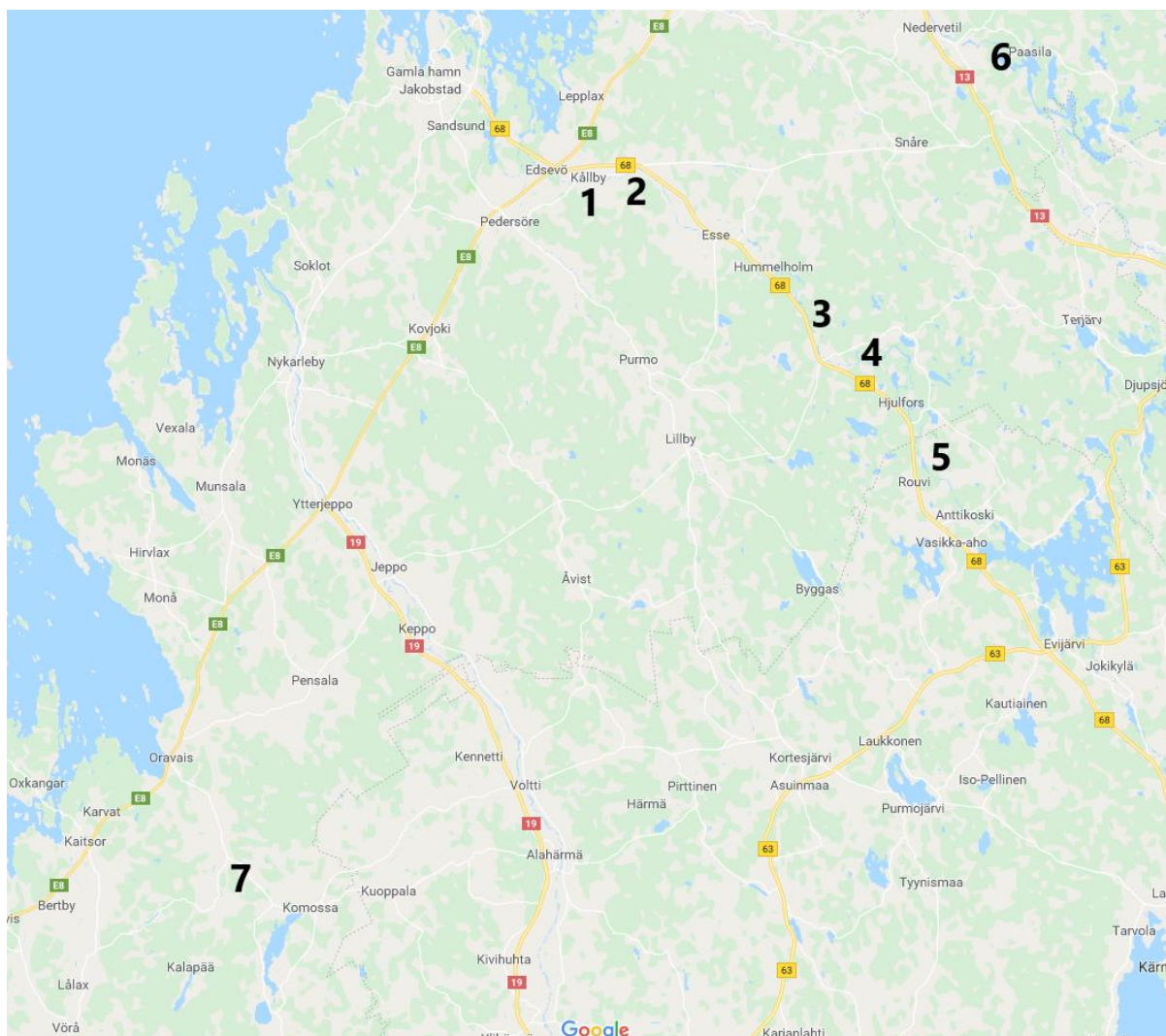
Vertikalkaplan med spiral – Kaitfors, Kimo

Vertikalkaplan utan spiral – Björkfors 1 & 2

S-turbin med horisontell kaplanturbin – Herrfors 2, Finnholm 1, Kattilakoski

Horisontell kaplan med vinkelväxel – Herrfors 1, Långfors, Finnholm 2.

Generatoren som examensarbetet handlar om är vid Kaitfors kraftverk, som är märkt som "6" i figur 8.



Figur 8. Karta över kraftverken.

År 2018 hade man tre stycken torrläggningar vid två olika kraftverk. Torrläggningarna ägde rum vid ena turbinen vid Finnholms kraftverk och båda turbinerna vid Björkfors kraftverk. Med torrläggning menas att man tappar ner torrläggningssluckorna framför kraftverket, så att man fysiskt kan klättra ner till turbinen och undersöka den och göra de åtgärder som behövs. En torrläggning kan räcka allt från en vecka upp till ett halvår, beroende på hur grundlig service det är i fråga. Torrläggningarna är enklast och mest ekonomiskt att utföra under sommaren, då vattenflödet är som lägst. Utifrån figur 8 ser man att fastän kraftverken är utspridda över flera orter, ligger de flesta i samma å. De befinner sig i kommunerna Pedersöre, Evijärvi, Kronoby och Vörå. Figur 9 visar allmän information av Herrfors alla turbiner.

Tabell 1. Herrfors turbinlista.

| Nummer | Namn         | Byggnadsår | Fallhöjd (m) | Effekt (MW) |
|--------|--------------|------------|--------------|-------------|
| 1      | Herrfors 1   | 2008       | 3,6          | 0,4         |
| 1      | Herrfors 2   | 1981       | 3,6          | 0,4         |
| 2      | Långfors     | 1993       | 5            | 1,1         |
| 3      | Finnholm 1   | 1981       | 4,7          | 0,55        |
| 3      | Finnholm 2   | 2009       | 4,7          | 0,75        |
| 4      | Björkfors 1  | 1932       | 7,1          | 0,5         |
| 4      | Björkfors 2  | 1965       | 7,1          | 0,5         |
| 5      | Kattilakoski | 1979       | 9,5          | 2,3         |
| 6      | Kaitfors     | 1980       | 21           | 7,5         |
| 7      | Kimo         | 2010       | 10,5         | 0,115       |

### 3 Generatorn

Generatorn vid Kaitfors kraftverk är en Strömberg HSSJ 32/7010. Viktigaste informationen om generatorn framkommer i tabell 2 nedan. Generatorn är en synkronmaskin. I kapitlet om generatorer kommer det att behandlas allmän teori om elgeneratorer, det vill säga hur en generator fungerar, vilka olika kylningsmetoder det finns och vilka rekommendationer ABB har kommit med gällande eventuell service. I detta kapitel tas det även upp hur man gör en stabilitetskurva för en synkrogenerator.

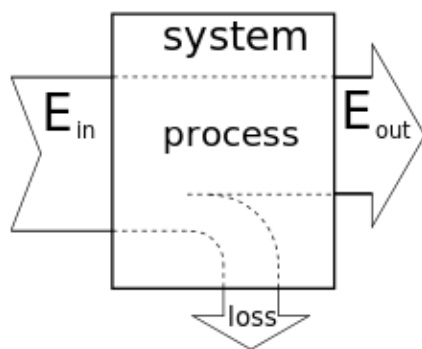
Tabell 2. Elektriska värden på generatorn.

|              |                        |
|--------------|------------------------|
| Tillverkare  | Oy Strömberg Ab        |
| Typ          | HSSJ 32/7010           |
| Effekt       | 9000 kVA               |
| Spänning     | 6300 V $\pm$ 5%, 50 Hz |
| Ström        | 825 A $\pm$ 5%         |
| Effektfaktor | 0,75                   |
| Varvtal      | 300 r/min              |

### 3.1 Allmänt om generatorer

En elgenerator är en maskin som omvandlar mekanisk energi till elenergi. Vid vattenkraftverk är det vattenturbinens rotation som driver generatorns rotor och därmed ger upphov till energi i form av elektricitet. Ifall man har behov att installera en mindre generator med färre poler än vad man skulle kunna, kan man ha en växellåda mellan turbinen och generatorn, vilken omvandlar turbinens rotationshastighet till en större rotationshastighet till generatorn. Generatorn har två huvuddelar; rotorn och statorn. Rotorn är den roterande delen i generatorn och det är till rotorns lindningar som magnetiseringsströmmen matas från magnetiseringssystemet. Statorn är den del som står stilla i generatorn. Utan magnetfält bildas ingen elektricitet och därför skulle inte generatorn fungera ifall det inte fanns magnetisering. (Deziel, 2018)

All mekanisk energi blir inte till elenergi, för att övergångsprocessen innebär förluster. Förluster i en generator är till exempel strömvärmeförluster i lindningar, mekaniska förluster och järnförluster. Figur 9 ger en visuell presentation av förvandling av mekanisk energi till elenergi ur ett energieffektivt perspektiv.



Figur 9. Omvandling från en energiform till en annan innebär förluster.



Statorn är uppbyggd av många tunna plåtskivor, som sammanhålls av en stålkonstruktion. I plåtarna finns det spår för placering av statorlindningarna, och mellan plåtarna finns ett tunt lager med värmebeständig lack som fungerar som isolering. Ju större generatoren är, desto större är statorn, och då är det vanligt att tillverka statorn i delar. Delarna monteras sedan ihop på plats där den ska vara i drift. Detta är för att minska på de enskilda delarnas storlek för att inte få problem med transport av statorn. Detta är vanligt med stora vattenkraftsgeneratorer, där måtten på generatoren kan vara stora.

Den rotortyp som ofta används i vattenkraftsgeneratorer är rotorn med utpräglade poler. Den sinusformade flödesfördelningen kan optimeras genom att justera luftmellanrummet från pol-plattans mitt. Magnetiseringslindningarna är lindade runt polerna.

Maskineffekten på en synkronmaskin bestäms av tre faktorer; lindningarnas ledararea, maximal flödestäthet i stator- och rotorjärnet och elektriska hållfastheten i isoleringen. Medelvärde på fältstyrkan i isoleringen brukar ligga runt 3 kV/mm, men isolationsmaterialet tål ändå mycket högre fältstyrkor. Arean på lindningarna bestäms däremot av strömstyrkan och kylmetoden. (Alfredsson, Jacobsson, Rejminger, & Sinner, 2008)

### **3.2 Kylning**

Stator- och rotorlindningarna blir varma vid generering av elenergi, och behövs därmed kylas ner för att inte temperaturen skall skada lindningarna. Ett sätt att få ner lindningstemperaturen är luftkylning, där lindningarna kyls ner med hjälp av genomströmmande kylsluft. Denna luft kan vara luft från generatorns omgivning, ifall effekten är under 1 MW. Vid högre effekter används ofta ett slutet kylsystem med värmeväxlare av luft-luft eller vatten-luft.

Ett annat sätt att kyla ner generatoren är vätgaskylning. Vätgaskylningen fungerar med liknande principer som luftkylda versionen, men istället för luft fungerar vätgasen som kylmedium. Fördelen med denna kylningsmetod är att vätgasen har bättre kylförmåga än luft, det vill säga att vätgasen har förmågan att absorbera mera värme än luft har. En annan fördel är att vätgas även ger låga friktionsförluster. Vätkgasen sägs vara den mest effektiva kylmetoden, men denna metod innebär mera risker. Kylmetoden bör ha extremt bra tätningar, så inte vätkgasen kommer i kontakt med luft. Skulle detta ske så kunde generatoren i värsta fall explodera, och därför kräver systemet övervakning så möjliga läckage upptäcks omedelbart.

Den tredje kylmetoden är vattenkylning, vilket vanligtvis används vid stora generatorer, till exempel i generatorer vid kärnkraftverk. Stator- och rotorlindningarna kyls ned med vatten som rinner genom rostfria rör. Vattnet pumpas in via generatortillväxlaren, där det kyls ner för att sedan igen kunna pumpa kallvatten till generatortillväxlaren. (Alfredsson, Jacobsson, Rejminger, & Sinner, 2008)

I Kaitfors kraftverk kyls generatortillväxlaren med inströmmande luft från utsidan av kraftverket. På rotorn finns det fläktvingar, vilka skapar ett sug i luftkanalen med hjälp av rotorns rotation. Därmed sugas kalluften in utifrån genom luftfilter till generatortillväxlaren. Den varma luften leds sedan från generatortillväxlaren vidare till övriga kraftverket och därmed utnyttjas den varma luften från generatortillväxlaren som uppvärmning av kraftverket. Luftkylningen är ett effektivt kylningssystem i generatorer av denna storleksklass.

### 3.3 Generatorns stabilitet

Med en generators stabilitet menas de gränser inom vilka en synkrongenerator kan arbeta och vara driftsäker. Man framställer en kurva i vilken de olika gränserna kan ses. På engelska kallas kurvan för "capability curve".

Man kan säga att stabilitetskurvan är de gränser inom vilka inget borde överhettas. Det finns vissa krav på värden som inte får överskridas för att kunna hålla generatortillväxlaren inom lämpliga temperaturer under drift. Följande krav måste uppnås för att upprätthålla en säker generatordrift:

- Belastningen i MVA bör inte överskrida generatortillväxlarens nominella värden.
- Belastningen i MW bör inte överskrida nominella effekten.
- Fältströmmen bör inte överskrida ett specifikt värde som bestäms av uppvärmningen.
- I stabil drift bör belastningsvinkeln vara under 90 grader.

#### 3.3.1 Hur man kalkylerar en stabilitetskurva

Överhettning begränsningarna bestäms av tre olika faktorer; statorströmmen, magnetiseringsströmmen, och övrig uppvärmning. För att bestämma gränserna gör man kalkyler med hjälp av generatortillväxlarens elektriska värden.

$P$  = aktiv effekt

$Q$  = reaktiv effekt

$V$  = spänningen i nätet

$E$  = generatorns e.m.f.

$I$  = ström

$X_s$  = impedans (reaktans, resistansen är försumbar)

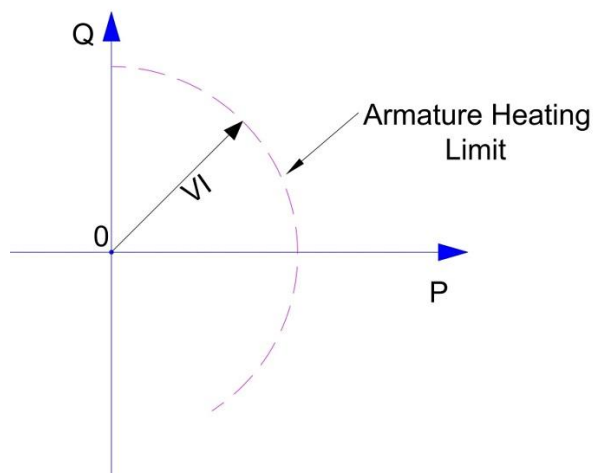
Den maximala statorströmmen uträknas med hjälp av sambandet:

$$P + jQ = VI(\cos\theta + j \sin\theta) \quad (1)$$

En halvcirkel konstrueras med hjälp av sambandet:

$$P^2 + Q^2 = (VI)^2 \quad (2)$$

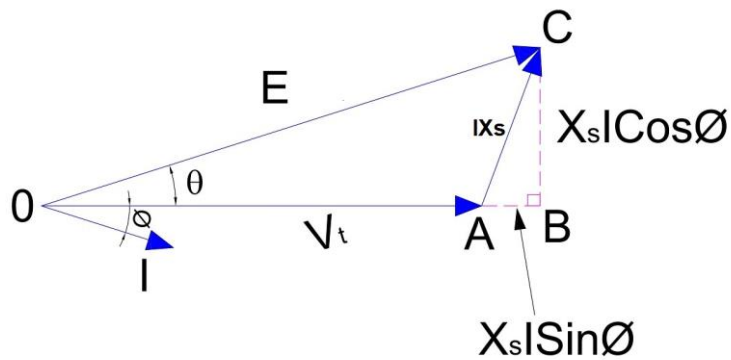
Denna ekvation är en ekvation för en cirkel med radien  $VI$ . Då kan man rita halvcirkeln i ekvationssystemet:



Denna halvcirkel anger gränserna för statorströmmen. För magnetiseringsströmmen behöver man följande formel:

$$E = V + jIX_s \quad (3)$$

Denna formel kan ritas som vektorer:



Från grafen ovan får vi att:

$$X_s I \cos \phi = E \sin \theta$$

$$\Rightarrow I \cos \phi = \frac{E \sin \theta}{X_s} \quad (4)$$

och

$$X_s I \sin \phi = E \cos \theta - V$$

$$\Rightarrow I \sin \phi = \frac{E \cos \theta}{X_s} - V \quad (5)$$

Aktiva och reaktiva effekten kan då beräknas enligt följande:

$$P = V I \cos \phi = \frac{(E V \sin \theta)}{X_s}$$

$$\Rightarrow P = \frac{(E V \sin \theta)}{X_s} \quad (6)$$

Sedan för reaktiva effekten:

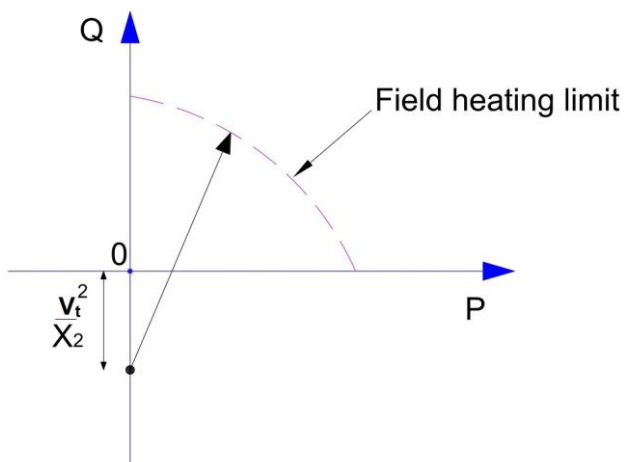
$$Q = V I \sin \phi = \frac{(E V \cos \theta)}{X_s} - \frac{V^2}{X_s}$$

$$\Rightarrow Q + \frac{V^2}{X_s} = \frac{E V \cos \theta}{X_s} \quad (7)$$

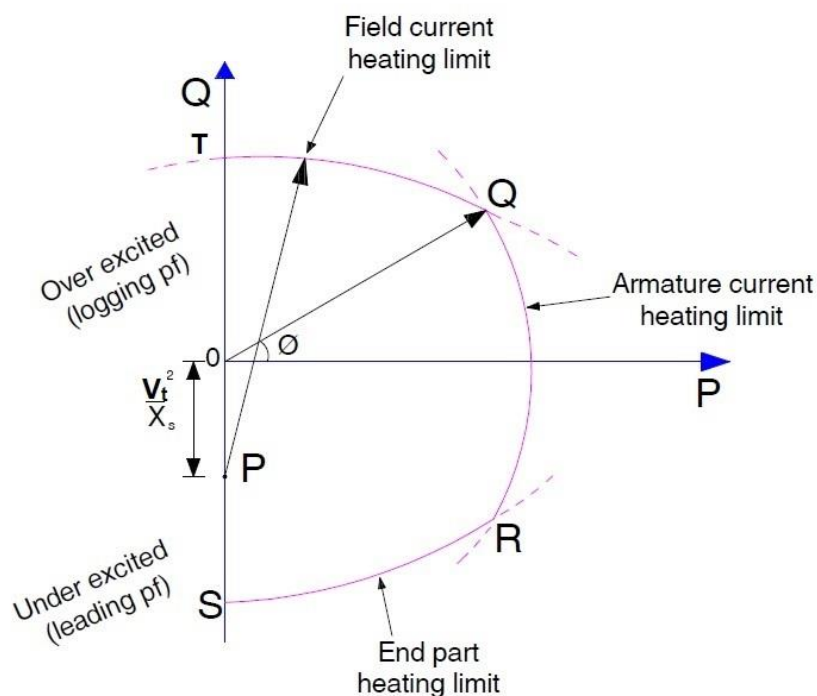
Sedan kvadrerar man (6) och (7) och adderar uttrycken så får man:

$$P^2 + \left(\frac{Q + V^2}{X_s}\right)^2 = \left(\frac{E V}{X_s}\right)^2 \quad (8)$$

Från denna ekvation får man ut att cirkelns mittpunkt är  $(0, -V^2/X_s)$ , och radien blir då  $(EV / X_s)$ . Cirkeln som begränsar magnetiseringsströmmen syns i ekvationssystemet nedan:



Det finns även risk för överhettning ifall generatoren är undermagnetiserad, för då kommer magnetiseringsströmmen att ökas vilket leder till att det kan uppstå så kallade virvelströmmar. Även överhettning av detta beaktas i stabilitetskurvan. Då man tagit alla faktorer i beaktan kan slutresultatet se ut som i grafen nedan.



Ifall generatoren är i drift inom de givna gränserna borde inga komponenter överhettas. Nyttan att ha uträknad stabilitetskurva är att veta hur nära gränserna generatoren arbetar. Grafen är inte sann till 100 %, för att olika bra kylningsmetoder kan göra kurvan lite

annorlunda, eftersom temperaturen då inte ändrar lika snabbt i komponenterna. (Electrical Concepts, 2017)

### 3.4 Negativa faktorer

Under långa tider av drift börjar det bildas smuts på generatorns rotor och stator. Generatorns producerade effekt i form av elenergi påverkas negativt då det finns rikliga mängder av främmande partiklar på rotor- och statorlindningarna. Ämnen som kan förekomma i sådana situationer är koldamm och olja. Detta fås bort genom att säkra spänningslösheten i systemet och sedan dammsuga och putsa bort orenheterna. Vid Kaitfors kraftverk har oljan troligtvis kommit från läckande packningar i bärlagret. Utifrån figur 10 ser man tydligt hur det börjar se ut då koldammet har samlats under en tid.

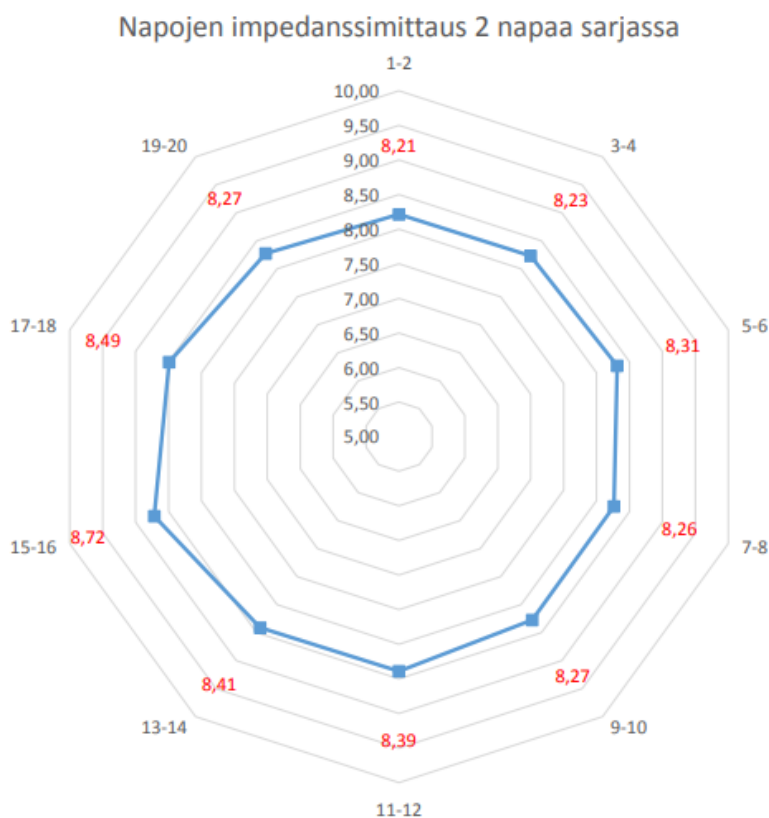


Figur 10. Koldamm vid rotorns poler. (Kivelä & Piekkola, 2018)

### 3.5 Servicerekommendationer på generatorm

ABB utförde elmätningar, konditionsgranskning på statorisoleringen och en visuell granskning för generatorm. Vid impedansmätning av rotorn matades polerna av en spänning i klass av magnetiseringsspänningen, 195 V.

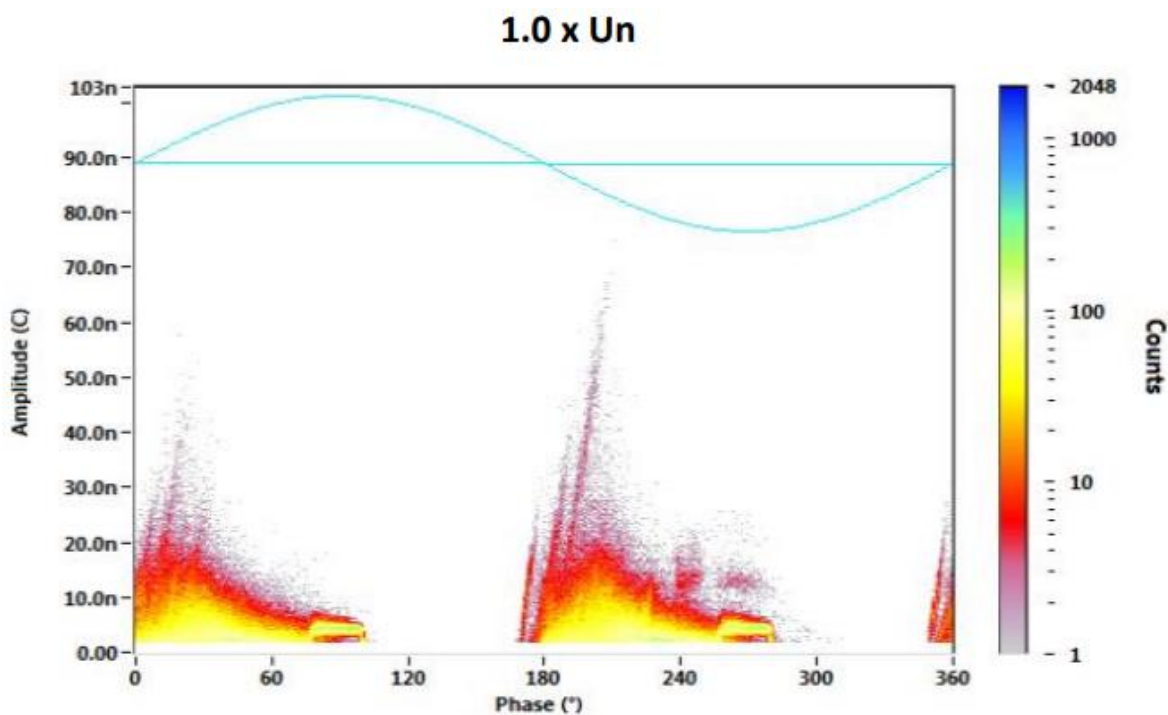
I impedansmätningen mäts spänningen över polerna, och mätningarna utfördes i tre olika uppsättningar. Först mättes spänningen över två poler, sedan över fyra poler och till sist över tio poler. Rotorpolerna är totalt 20 till antalet. I tabell 11 nedan presenteras mätresultaten av impedansmätningarna. Som man kan se i figuren, är impedanserna högre av någon orsak i polerna 13 till 18.



Figur 11. Mätresultat av ABB impedansmätning på rotorpolerna. (Kivelä & Piekkola, 2018)

Vid den visuella granskningen upptäcktes det rikligt med koldamm och olja i statorlindningarna och rotorpolerna. Det upptäcktes även ett oljeläckage från rotorns bärlager. ABB utförde även en PD-mätning och en  $\tan\delta$ -mätning.

Med PD-mätning menas att man mäter partiella urladdningar i roterande högspänningsmaskiner, i vilka den nominella spänningen är flera kV. Förkortningen PD kommer från engelskans partial discharges. I roterande elmaskiner, i det här fallet generator, är isolationen i lindningarna oftast relativt tunt, vilket leder till att styrkan i isolationens elfält är relativt högt. Då kan det hända att det uppstår genomslag i isolationen, alltså en gnista i gasen. Genom att utföra en PD-mätning, får man reda på i vilket skick isolationen är. Höga värden i PD-mätningen innebär ofta, att isolationen börjar vara dålig. Höjda värden i mätningen kan även bero på att isolationsytan är smutsig. Höga värden på urladdningarna sliter på isolationen. I praktiken innebär mätningen att man mäter signaler och pulser som uppstår vid urladdningarna. Kraftigare puls innebär kraftigare urladdning. Figur 12 visar hur det grafiskt ser ut då urladdning sker i isolationen. Denna graf är resultatet för fas W vid spänningen  $1.0 \times U_n$ , nominell spänning.



Figur 12. PD-mätning.

ABB uppskattar att isolationen har en tredjedel kvar av sin livslängd, men att livslängden kan ökas genom service på isolationen.

Tan $\delta$ -mätning innebär att man mäter förhållandet mellan de resistiva och kapacitiva läckströmmarna i isolationen. I en ideal isolation är resistiva läckströmmen 0, vilket innebär att tan $\delta$  också skulle vara 0. I verkligheten kan man inte hindra dessa läckströmmar i en isolation. I en trefasig elmaskin bör tan $\delta$ -värden för faserna vara ganska nära varandra. I samband med tan $\delta$ -mätningen mättes även kapacitanserna för de enskilda faserna. Skillnaden mellan faserna var små. Att skillnaderna är små innebär att isolationen ännu är i OK skick, men den föråldras i ojäm takt. Resultatet i tan $\delta$ -mätningen var att förlusterna i isolationen är stora och att tecken på slitage också framkom. (Kivelä & Piekkola, 2018) (ABB, 2018b)

ABB rekommenderar service på generatorn så fort som möjligt. Graferna visar att isolationen är i behov av service. Isolationen skulle löna sig att servas så länge den fungerar. Det skulle vara onödigt att satsa på en helt ny, om man genom service kunde få en ökad livstid på den befintliga. Oljeläckaget i rotorns bärlager bör även servas i skick, så inte olja hamnar i lindningarna.



## 4 Generatorbrytaren

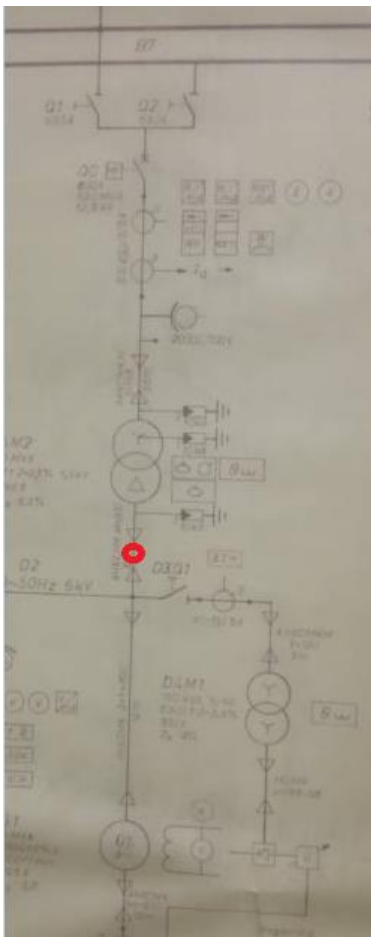
Syftet med att lägga till en generatorbrytare är främst för att skydda transformatorn vid fel och att spara på den nuvarande brytaren. Ifall transformatorn skulle råka ut för fel skulle generatorn då kunna mata felet och detta förhindras genom att installera en brytare före transformatorn. Den nuvarande generatorbrytaren ligger efter transformatorn mot nätet. Den nuvarande brytaren har även varit i användning en lång tid och dess kondition börjar vara dålig.

I höstas blev generatorskyddet förnyat av ABB, och i den ingår det ett differentialskydd. Differentialskydd fungerar som skydd för statorlindningarna mot jordfel och fel mellan två faser. Användning av differentialskydd är ett bra sätt att skydda generatorn mot fel i statorlindningarna, för att den typ av fel kan göra allvarlig skada för generatorn. Transformatorn har även ett skyddsrelä, där också ett differentialskydd ingår. (Circuit globe, 2017)

Även fast generatorn har ett differentialskydd, skulle det vara säkrast att installera den nya generatorbrytaren. Detta för att ifall differentialskyddet skulle ge upp, skulle den nya brytaren fungera som backup, och minimera skadorna vid möjliga fel. Kaitfors kraftverk körs en stor tid av året på etappdrift, vilket betyder att brytaren måste bryta kretsen flera gånger om dagen, vilket leder till att den blir fort i sämre skick.

### 4.1 Generatorbrytaren i kretsen

Som tidigare nämnts finns det planer på att placera den nya brytaren mellan generatorn och transformatorn. I elschemat kommer det att se ut ungefär som figur 13 visar nedan. Förslaget till den nya brytarens plats är markerat med rött i figur 13, och generatorn är märkt som G1. Skulle brytaren placeras enligt figuren nedan, kommer möjliga överströmmar att brytas i ett tidigare skede.



Figur 13. Den nya generatorbrytarens position.

## 5 Magnetiseringen

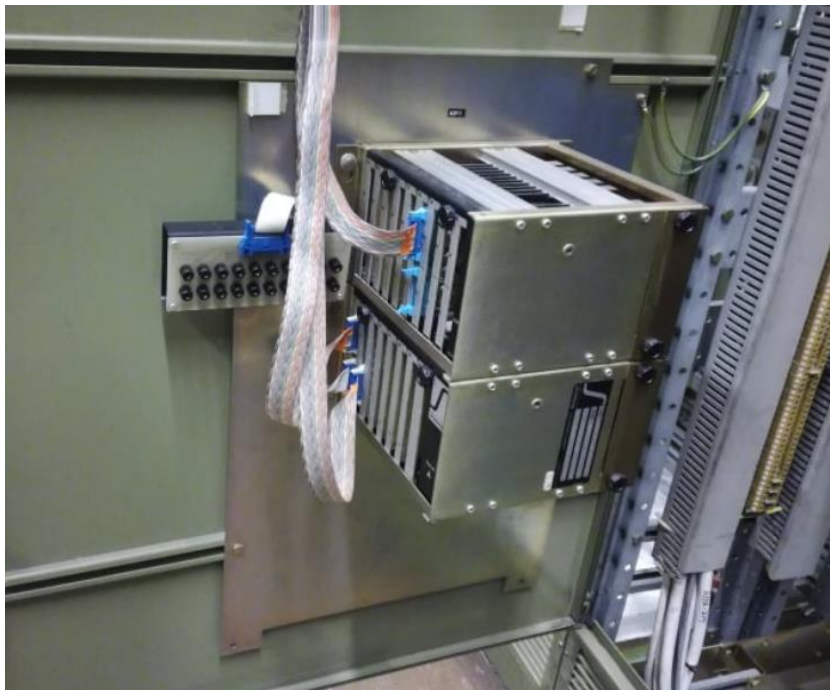
En elgenerator kan inte producera någon energi i form av elektricitet, ifall inte rotorn får en strömmatning. Denna strömmatning kallas för magnetisering, vilken är en av nyckeldelarna i generatorns produktion av elektricitet. I detta kapitel tas det upp de viktigaste delarna gällande magnetiseringssystemet vid Kaitfors kraftverk, såsom uppbyggnad, funktion och manuell styrning av systemet.

### 5.1 Mekanisk uppbyggnad

Magnetiseringskomponenterna är uppdelade i tre olika MX-skåp. Den mest centrala komponenten är styrkortet. I styrkortet finns elektronikkorten, reläer, potentiometrar och mätpunkter för kontrollmätningar. I styrkortet är kortplatserna numrerade.

Elektronikkorten kan lättast undersökas då systemet är i gång. Ifall man av någon orsak måste ta bort något av korten måste man naturligtvis se till att generatorn inte är spänningsförande.

Skåpen är numrerade som NA1, NA2 och NA3, där bokstäverna är systemets förkortningsnamn och siffrorna anger numret på skåpen. Styrkortet heter A1F3 och detta betyder att komponenten heter F3 och befinner sig i skåp A1. Kontrollramen presenteras nedan i figur 14.



*Figur 14. Styrkortet.*

Komponenterna är uppdelade enligt följande:

Skåp NA1:

- Fältbrytaren
- Fältförsvagningsmotstånd
- Överspänningsskydd
- Startmagnetiseringsutrustning
- Förbindningsskena, likström

Skåp NA2:

- Tyristorbrygga
- Fläkt

- Förbindningskena, växelström

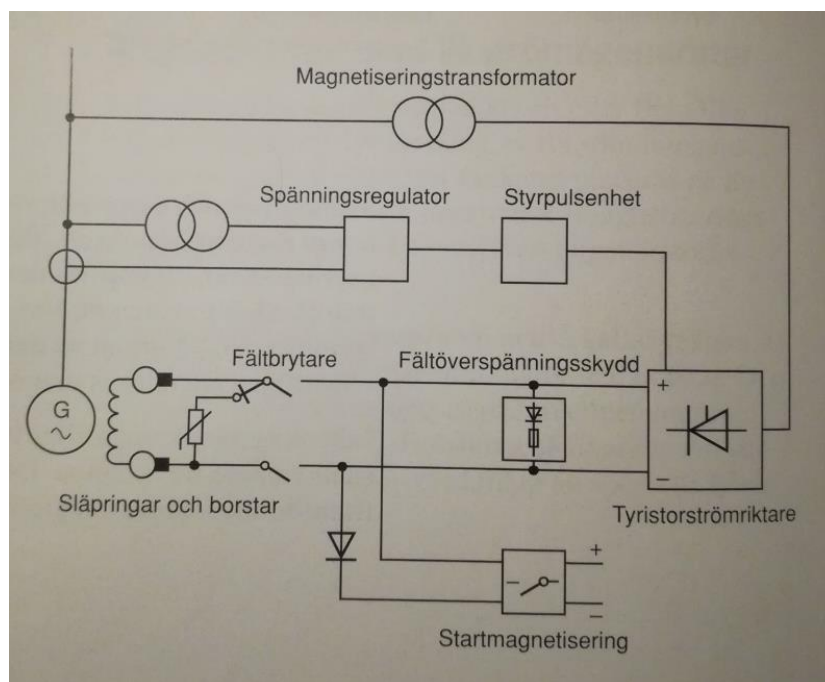
Skåp NA3:

- Styrreläer
- Styrkrets
- Alarmcentral

Majoriteten av magnetiseringskomponenterna behövs inte granskas eller servas. Komponenter som dock behöver granskas då och då är främst fältbrytaren, fläkten till tyristorbryggan och elektromekaniska reläer.

## 5.2 Funktion

Magnetiseringsströmmen tas från generatorns stator och leds via en transformator till tyristorbryggan, där strömmen likriktas. Efter tyristorbryggan leds likströmmen via fältbrytaren till generatorns hjulnav. Generatoren matar spänningsregulatorn, som ser till att spänningen hålls inom de givna ramarna. Ifall generatorspänningen blir för låg ser regulatorn till att tyristorbryggan avger en större magnetiseringsspänning och därmed också en högre magnetiseringsström. Figur 15 presenterar magnetiseringens funktion. (Alfredsson, Jacobsson, Rejminger, & Sinner, 2008)



Figur 15. Magnetiseringens funktion.

### Magnetiseringstransformator

Spänning:  $6300 \pm 2 \cdot 2,5\%$  / 300 V, 50 Hz

Effekt: 150 kVA

Typ: KTMU7 XA 3445

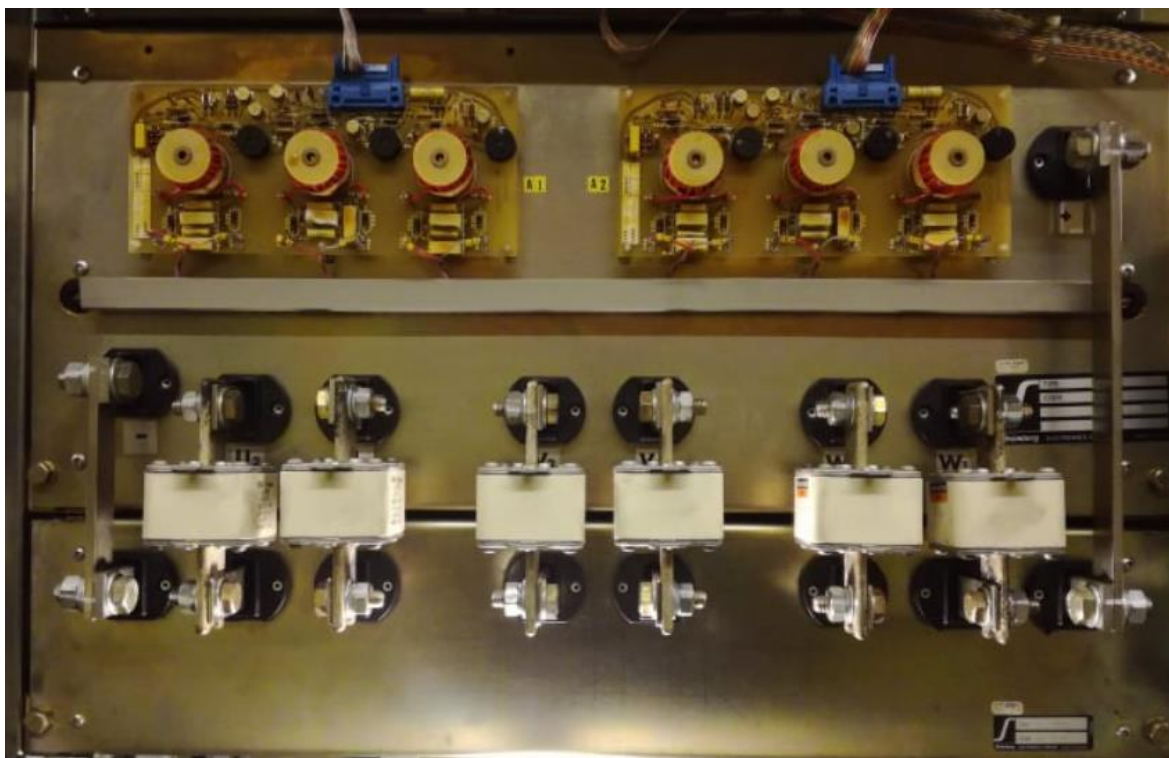
### Tyristorbrygga

Typ: SLJF 354 G 11 600 A

Tyristorer: DCR 705 SM 1313 1300 V (eller motsvarande)

Säkringar: 170 E 8023 Knudsen 400 A 800 A (eller motsvarande)

Tyristorbryggan, tyristorerna och generatorns rotor skyddas från överspänningar med hjälp av tyristorkopplare. Då spänningen över en tyristor överskrider 430 V aktiveras tyristorkopplaren och då laddas strömmen ur genom ett strömrelä. Genom att strömreläet aktiveras får fältbrytaren signalen att bryta kretsen. En ytterligare tyristorkopplare skyddar tyristorbryggan från överspänningar. I figur 16 visas hur tyristorbryggan ser ut.



*Figur 16. Tyristorbryggan.*

Styrkretsen håller spänningen i generatorns stator stabil. Vanligtvis kan även polspänningen fås att stiga eller sjunka automatiskt beroende på generatorns reaktiva ström. I styrkretsen finns även begränsningar, som skyddar rotorn och tyristorbryggan för kontinuerlig överström. Begränsningskretsen tillåter överströmmar i några sekunders tid.

### **5.2.1 Reglering av spänning och ström**

Syftet med automatisk reglering är att reglera strömmen i rotorn så att spänningen i statorn hålls stabil. Ärvärdet på statorspänningen ges av ett elektronisk kort, och skickas sedan vidare till operationsförstärkaren. Börvärdet kommer från integratorn. Integratorn har som uppgift att försiktigt höja på börvärdet då generatorn startas.

Strömbegränsningen för magnetiseringsströmmen har som uppgift att begränsa strömmen till ett sådant värde, som lindningarna i rotorn klarar av utan att överhettas. Magnetiseringsströmmen mäts med strömtransformatorer på växelströmssidan i tyristorbryggan.

### **5.2.2 Start av generator**

Generatorn kan inte starta utan magnetisering, och därför måste rotorn matas med kraftverkets 110 V från reservbatteri så att magnetiseringssystemet ska fungera. Detta sker automatiskt vid start. Då fältbrytaren slår fast styrs startmagnetiseringskontaktorn också fast, vilket betyder att startmagnetiseringen då är i gång. Detta innebär i praktiken att kraftverkets 110 V är kopplat till rotorns poler. Startmagnetiseringen håller på så länge som man ställt in i tidsreläet för startmagnetiseringen. Magnetiseringsströmmen stiger ända tills statorspänningen har nått sitt börvärde. Då startprocessen är färdig kopplas 110 V bort, för då klarar generatorn av att mata magnetiseringssystemet. Man kan säga att startmagnetiseringen fungerar som starthjälp för generatorn.

### **5.2.3 Alarm**

Alarmskretsarna för magnetiseringssystemet är kopplade till ett Allen Bradley PLC, vilket befinner sig på kraftverkets generatorplan. Alarmen som har med magnetiseringen att göra är listade i tabell 3.

Tabell 3. Lista över alarmen.

| Kod        | Alarm                                 |
|------------|---------------------------------------|
| NA3F1      | Skyddsbrytare för spänningens ärvärde |
| NA3K6      | Spänningsövervakning                  |
| NA3F3      | Överbelastning i fläkten              |
| NA3F2      | Infasingsspänning                     |
| NA1F9      | Överspänningsskydd, tyristorbrygga    |
| NA1F10     | Överspänningsskydd, rotor             |
| NA3F7, -F4 | Styrspänning/startmagnetisering       |
| NA3F5      | Hjälpspänning för reglerenhet         |
| NA3K4      | Styrspänningsövervakning              |
| NA3K5.2    | Magnetisering löser ut                |

#### 5.2.4 Fältbrytaren

Styrspänningen till fältbrytarens öppnings- och stängningsfunktioner matas från kraftverkets batterirum. Brytaren öppnas då styrreläerna för magnetiseringen aktiveras. Följande händelser får reläerna att aktiveras:

- nödstopp
- styrspänning för hög
- övervakningsrelä för spänning
- värmerelä för fläkt
- infasingsspänning för hög/låg
- överspänningsskydd för tyristorbrygga
- överspänningsskydd för rotor
- ärvärde för spänning för högt
- skyddsbrytare för startmagnetiseringsutrustningen
- skyddsbrytare för övervakningsrelä
- skyddsbrytare för alarmlenhet

- utomstående skyddsreläer.

Då reläerna aktiveras så måste det kvitteras före nästa start.

### **5.2.5 Manuell användning av magnetiseringen**

Användning av magnetisering bör ske enligt följande anvisningar:

#### Start

1. Starta turbinen och höj rotationshastigheten till det nominella.
2. Se till att det inte finns några okvitterade alarm i magnetiseringssystemet.
3. Stäng fältbrytaren med ”Kenttäkatkaisija”.
4. Ställ in spänningsnivån med ”Automaattisäätö”.
5. Fasa in generatoren till nätet.
6. Höjning av effekt. Generatorns reaktiva effekt regleras med ”Automaattisäätö”.

#### Stopp

1. Sakta ner turbinen.
2. Se till att det inte finns några okvitterade alarm i magnetiseringssystemet.
3. Sänk generatorns aktiva och reaktiva effekt till 0.
4. Öppna generatorbrytaren
5. Öppna fältbrytaren.

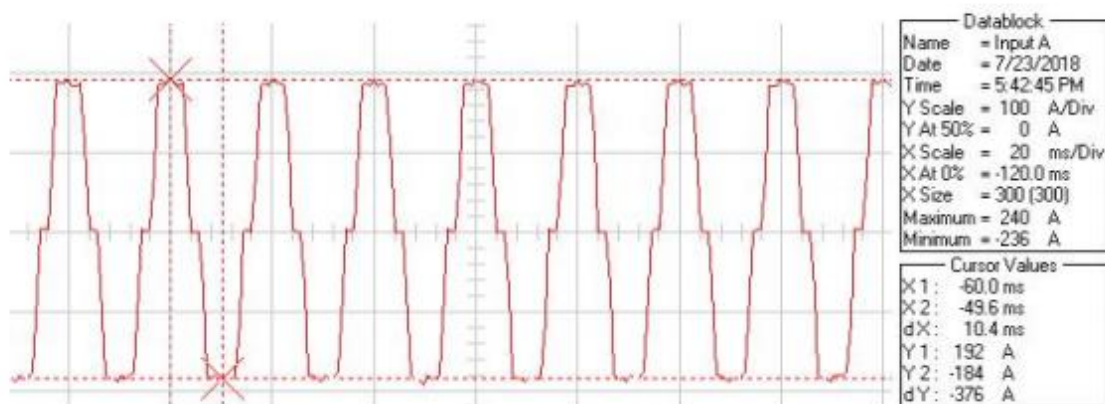
### **5.3 Servicerekommendationer på magnetiseringen**

Magnetiseringen passerade ABB:s konditionsgranskning med goda resultat. ABB utförde en dammsugning av magnetiseringsskåp och komponenter, varefter elektriska mätningar gjordes på tyristorbryggan. Tyristorbryggan lösgjordes och rengjordes, eftersom den var täckt med olja och koldamm. Vid mätningar av tyristorbryggans funktion mättes



matningsströmmen, vars pulser var klara och jämna. Kurvorna av matningsströmmens pulser presenteras i figur 17.

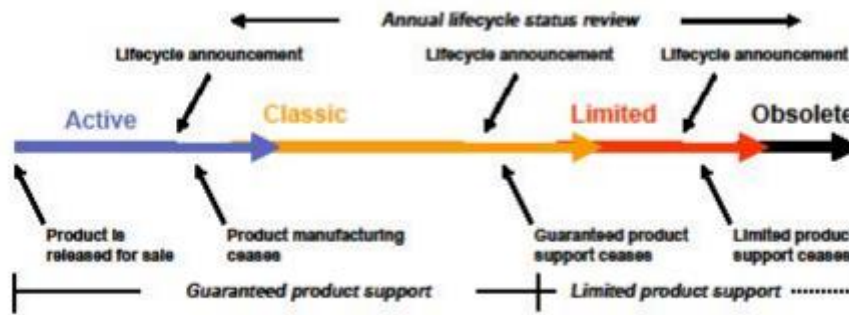
## Tasasuuntaajan toiminta testi



Figur 17. Pulserna av tyristorbryggans matningsström. (ABB, 2018a)

ABB rekommenderar ingen egentlig service på magnetiseringssystemet, eftersom resultaten av mätningarna var goda. Däremot har tyristorbryggan och dess styrsystem år 2004 klassificerats som ”obsolete”, vilket betyder att inga reservdelar eller ingen support finns till förfogande numera. Herrfors har en hel del reservdelar i lager för systemet, så det är inte aktuellt ännu med något förnyande av magnetiseringen. ABB rekommenderar dock att inskaffa ett puls förstärkningskort, SGCP 6 FI, och en takfläkt för magnetiseringskåpet, SZTK 1 G1 (400 V/1,1 A/1340 rpm). Nyttan med det är, att ifall någon komponent ger upp, skulle den då snabbt kunna bytas. Därmed skulle kraftverket då inte stå utan produktion en lång tid, vilket är ekonomiskt för företaget.

ABB:s livscykelmodell för komponenterna kallas ”SELE 200 control electronics and SGEA boards”. Den anger livstiden på en komponent med tanke på tillgång till reservdelar och support. ABB:s livscykelmodell visas nedan i figur 18. Då en produkt är i stadiet ”Active”, börjar den tillverkas. ”Active” stadiet upphör då produkten slutar tillverkas. I ”Classic” stadiet har produkten slutats att tillverka, men produktsupporten är ändå då ännu garanterad. ”Limited”-stadiet betyder att produkten nu har en begränsad kundsupport. I stadiet ”Obsolete”, vilket tyristorbryggan och dess styrsystem hör till, har supporten för produkten upphört. (ABB, 2018a)



Figur 18. ABB:s livscykelmodell för deras produkter. (ABB, 2018a)

## 6 Resultat

Servicearbeten som ABB har gett rekommendationer om bör utföras. Konditionsgranskningarna på generatorm gav tydliga resultat på generatorisolationens dåliga skick. Isolationen bör servas så fort som möjligt, för att öka på dess livslängd. Resultaten av PD-mätningen och tan $\delta$ -mätningen tyder på att isolationen är i sådant skick, att service på den skulle vara det bästa alternativet för tillfället. De övriga alternativen är att lämna servicen ogjord eller förnya isolationen helt, och då är det mest rimliga beslutet att serva den befintliga isolationen. Oljeläckaget från rotorans bärlager ska också åtgärdas, för att förhindra olja från att lägga sig på lindningarna.

Den nya generatorbrytaren ska installeras. Eftersom kraftverket en stor del av året är i etappdrift, innebär det att den befintliga brytaren råkar ut för slitage. Den nya brytaren skulle minska på detta slitage. Trots att det finns ett differentialskydd i kretsen bör den nya generatorbrytaren installeras. Installation av generatorbrytaren är inte ett måste, utan det skulle vara i förebyggande syfte.

Konditionsgranskningen för generatorns magnetiseringssystem gav så goda resultat, att ingen egentlig service behöver utföras. Istället bör det inskaffas ett puls förstärkningskort och en takfläkt till det ena magnetiseringskåpet. Kraftverket har en hel del reservdelar i lager för magnetiseringssystemet, men problemet är att systemet är så gammalt att nya reservdelar kan vara svårt att få tag i.

## 7 Diskussion

Examensarbetet har varit utmanande, men intressant och lärorikt. Jag har lärt mig mycket om vattenkraft i allmänhet då jag jobbat vid Herrfors och speciellt om generatorer och dess funktion i samband med examensarbetet. Det var intressant att läsa och studera servicereporterna för PD- och tanδ-mätningarna, för där såg man i graferna hur systemet betedde sig då inte allt var i skick. Det ska bli intressant att se nya graferna av samma mätningar efter servicen och jämföra med de gamla.

Att ha fått arbeta vid Herrfors har minsann varit lärorikt. Jag har fått lära mig hur det går till då man omvandlar forsende vatten till elektrisk energi. Arbetet jag gör känns viktigt, för att elektricitet är något som vi alla använder dagligen. Att dessutom utföra energiproduktionen med förnybar energi gör det extra viktigt för mig.

## 8 Referenser

- ABB. (2018a). *Huoltoraportti Kaitforssin generaattorin magnetointi*.
- ABB. (2018b). *Tand-mittaus sekä PD –mittaus koneelle 4532668, 10.07.2018, Kaitfors*.
- Alfredsson, A., Jacobsson, K. A., Rejminger, A., & Sinner, B. (2008). *Elkraftshandboken. Elmaskiner*. Malmö: Elanders Sverige.
- Circuit globe. (2017). *Differential Protection of a Generator*. Hämtat från Circuit globe: <https://circuitglobe.com/differential-protection-of-a-generator.html>
- Deziel, C. (den 17 April 2018). *How cto Convert Mechanical Energy Into Electrical Energy*. Hämtat från sciencnig.com: <https://sciencing.com/convert-mechanical-energy-electric-energy-7561716.html>
- Ekologistas*. (u.d.). Hämtat från <http://ekologistas.se/vart-fokus/fornybar-energi/> den 18 Februari 2019
- Electrical Concepts. (den 3 November 2017). *Capability Curve of Generator*. Hämtat från Electrical Concepts: <https://electricalbaba.com/capability-curve-of-generator/>
- Energiateollisuus. (u.d.). *Combined heat and power generation is energy-efficient*. Hämtat från [https://energia.fi/en/energy\\_sector\\_in\\_finland/energy\\_production/combined\\_heat\\_and\\_power\\_generation](https://energia.fi/en/energy_sector_in_finland/energy_production/combined_heat_and_power_generation)
- Energy Education. (u.d.). *Francis turbine*. Hämtat från [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Francis\\_turbine](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Francis_turbine) den 19 Februari 2019

- Energy education. (u.d.). *Kaplan turbine*. Hämtat från [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Kaplan\\_turbine](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Kaplan_turbine) den 19 Februari 2019
- Energy Education. (u.d.). *Pelton turbine*. Hämtat från [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Pelton\\_turbine](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Pelton_turbine) den 19 Februari 2019
- Finsk Energiindustri. (2019). *Elåret 2018*.
- GE Energy. (den 11 Augusti 2017). Maintenance Schedule Checklist for Hydro Generators. USA.
- Jordbruksverket. (den 11 April 2018). *Vad är förnybar energi?* Hämtat från Jordbruksverket: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/miljoklimat/begransadklimatpaverkan/fornybarenergi/vadarfornybarenergi.4.2a19d05112133800c8b800089.html> den 18 Februari 2019
- Kivelä, T., & Piekkola, J. (2018). *Generaattorin tarkastusraportti*. Uleåborg: ABB.
- Kostama. (u.d.). *Finsk Energiindustri*. Hämtat från [https://energia.fi/sv/basfakta\\_om\\_energibranschen/energiproduktion/elproduktion](https://energia.fi/sv/basfakta_om_energibranschen/energiproduktion/elproduktion) den 11 Januari 2019
- Oy Herrfors Ab. (u.d.). *Om oss*. Hämtat från <https://www.herrfors.fi/om-oss/> den 15 Januari 2019
- Vattenfall. (den 16 Oktober 2013). *Så fungerar vattenkraft*. Hämtat från <https://corporate.vattenfall.se/om-energi/el-och-varmeproduktion/vattenkraft/sa-fungerar-vattenkraft/> den 19 Februari 2019