



Förbättring av vattenkraftstationen i Rexed via ökad elproduktion

Improvement of the hydropower station in Rexed through increased production of electricity

Daniel De Matos Lobos

Fakultet för hälsa, natur- och teknikvetenskap

Examensarbete, MSGC17

22.5 HP

Handledare: Anders Wickberg

Examinator: Nils Hallbäck

Juni 2017

Sammanfattning

Detta examensarbete utfördes i samarbete med Arvika Kraft AB och gick ut på att förbättra deras vattenkraftstation som är belägen i Rexed. Denna kraftstation har under de senaste åren haft omfattande mekaniska problem, främst med växellådan, och detta har resulterat i att den blivit stillastående under långa perioder. Samtidigt har detta resulterat i att Rexed kraftstation i dagsläget endast öppnar ledskenorna på sin turbin till max 80% för att försöka undvika de återkommande mekaniska problemen. Ledskenorna påverkar flödet in i anläggningen och att endast öppna dem till 80% resulterar i en lägre elproduktion än vad som annars vore möjligt.

Målet med arbetet var att hitta en mer ekonomisk gynnsam lösning än dagslägets konstruktion. Vidare bör det noteras att turbinen har bortfallit från detta förbättringsarbete och att det endast är växellåda och generator som behandlats.

Historisk- samt hydrologisk data från Rexed kraftstation analyserades för att beräkna verkningsgraden och möjlig ökning av elproduktionen. Detta resultat jämfördes sedan med olika alternativa lösningar som erbjöds av Transmissionservice i Jönköping via investeringskalkyler.

Det koncept som blev mest lönsamt för kraftstationen i Rexed blev byte av växellåda mot den som Transmissionservice i Jönköping erbjudit. Denna lösning resulterade i en ökad elproduktion från dagens 2 100 MWh upp till möjliga 3 000 – 3 400 MWh. Med ett elpris på 300 kr/MWh resulterar detta i en ökning i intäkt på cirka 270 000 – 390 000 kr per år. Investeringen på ungefär 1 510 000 kr, för den nya växellådan samt installation, är lönsam med en internränta på 21 %. Investeringskalkylen visar även att en investering upp till 5 000 000 kr anses vara lönsam, då internräntan är högre än kalkylräntan, för Arvika Kraft AB.

Innan Arvika Kraft AB tar ett beslut angående ifall investeringen skall göras eller ej så bör möjligheten till elcertifikat utredas. Genom att utföra en större ombyggnad av kraftstationen ger det möjlighet till detta elcertifikat, som innebär att elpriset ökas med 50% under 15 år (Eller senast till år 2035 ifall ombyggnaden sker efter 2020). Med en elproduktion på 3 000 – 3 400 MWh samt ett ökat elpris till 450 kr/MWh skulle projektet tåla en investering upp till 8 500 000 kr med en internränta på 5%.

Abstract

This bachelor's thesis was conducted in collaboration with Arvika Kraft AB and its purpose was to improve their hydropower station that is located in Rexed. During the last couple of years this specific hydropower station has had vast amounts of mechanical problems, mainly with their gearbox. The result of this has been that the hydropower station has been stationary over long periods of time. At the same time this has resulted in that the hydropower station only opens their turbine's vanes to 80% of its maximum capability to try to avoid the recurring mechanical problems. By only opening the turbine vanes to 80% the incoming water flow is reduced, which in turn also reduces the amount on electricity that can be produced.

The goal with this bachelor's thesis has been to find a more economically beneficial solution than the one that is present in today's hydropower station. It should also be noted that this thesis will only look into the possibility of changing the hydropower stations gearbox and generator. The turbine will not be dealt with in this thesis.

Historical- and hydrological data has been analyzed so that the efficiency and a possible increase in the production of electricity for the hydropower station in Rexed could be calculated. This result was then compared with alternative solutions that were offered by Transmissionservice in Jönköping through several investment calculations.

The concept that was the most economically beneficial for the hydropower station in Rexed was exchanging the current gearbox for the one that Transmissionservice in Jönköping had offered. This solution resulted in an increase of the produced electricity from 2 100 MWh up to approximately 3 000 – 3 400 MWh. With a price on electricity of 300 kr/MWh it generated an increase of income of 270 000 – 390 000 kr per year. The investment of 1 500 000 kr, for the new gearbox plus installation fees, is beneficial with an IRR of 5%. From the investment calculations it can also be found that an investment up to 5 000 000 kr still is economically beneficial, since the IRR is higher than the cost of capital, for Arvika Kraft AB.

Before Arvika Kraft AB decides if the investment will be made or not they should investigate the possibility of receiving a certificate for their hydropower station. By reconstructing this hydropower station they could receive this certificate, which would increase the income price of the electricity produced by 50% for 15 years (or until the year 2035 if the reconstructed after 2020).

With 3 000 – 3 400 MWh of electricity produced this certificate would allow for an investment up to 8 500 000 kr and still be economically beneficial, with an IRR of 5%, for Arvika Kraft AB.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	2
Abstract.....	3
1. Inledning.....	7
1.1 Bakgrund och problemformulering	7
1.2 Syfte.....	8
1.3 Målsättning	8
1.4 Avgränsning	8
2. Metod och teori.....	9
2.1 Projektplanering	9
2.2 Förstudie	9
2.2.1 Vattenkraftverk.....	10
2.2.2 Verkningsgrad	13
2.3 Intervjuer	15
2.4 Analys av historisk- och hydrologisk data.....	15
2.5 Litteraturstudie	15
2.6 Konceptgenerering och konceptval	15
2.7 Investeringskalkyl.....	15
3. Genomförande	16
3.1 Intervjuer	16
3.2 Analys av historisk- och hydrologisk data.....	16
3.3 Litteraturstudie	17
3.4 Konceptgenerering och konceptval	17
3.5 Investeringskalkyl.....	17
4. Resultat	18
4.1 Analys av historisk- och hydrologisk data.....	18
4.1.1 Analys av historisk data.....	18
4.1.2 Analys av hydrologisk data	21
4.1.3 Analys av flödet.....	22
4.2 Litteraturstudie	23
4.3 Konceptgenerering.....	23
4.4 Investeringskalkyl.....	24
4.5 Konceptval.....	29
5. Diskussion	30
5.1 Projektplan.....	30
5.2 Analys av historisk- och hydrologisk data.....	30
5.3 Konceptgenerering.....	30
5.4 Litteraturstudie	31

5.5 Investeringskalkyl.....	31
5.6 Slutliga valet.....	31
6. Slutsats.....	32
Tackord.....	33
Referenslista	34
Bilagor	35

Bilagor

Bilaga 1: Projektplan	35
Bilaga 2: Hydrologisk data från kraftstationen i Rexed.....	40
Bilaga 3: Internräntekalkyl	41

1. Inledning

Denna rapport är ett examensarbete som bedrivits på Karlstads universitet (på fakulteten för hälsa, natur- och teknikvetenskap) som avslutning av programmet högskoleingenjör inom maskinteknik.

Undersökningen har ägt rum på Karlstads universitet samt hos företaget Arvika Kraft AB.

1.1 Bakgrund och problemformulering

Arvika Kraft AB äger och förvaltar 17 stycken vattenkraftstationer, dessa är belägna i Arvika och Eda kommuner. Stationen som berörs i detta arbete är kraftstationen i Rexed, byggd 1952.

Anläggningen har en historia där den under senare åren haft omfattande mekaniska problem och varit avställd under långa perioder. För att försöka undvika de återkommande mekaniska problemen har Arvika Kraft AB valt att endast öppna turbinens ledskenor till max 80%, vilket påverkar flödet genom stationen. Detta leder även till en lägre elproduktion än vad som annars vore möjligt samt en lägre verkningsgrad då anläggningen arbetar utanför de värden den dimensionerats för. Samtidigt är ljudnivån väldigt hög i anläggningen på grund av oljud från växellådan och störande för omgivningen.

Anläggningen består av en turbin av typen Lawaczeck som till skillnad från Kaplanturbinen har fasta blad på löphjulet (Figur 1). Rotation skapas i turbinen och överförs sedan via en axel till en vinkelvaxellåda och slutligen in till en generator.



Figur 1: Lawaczeck löphjul (Lilla Edets kraftverk).

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att utvärdera olika alternativ för att förbättra den aktuella anläggningens verkningsgrad och elproduktion då den just nu är mycket lägre än vad den konstruerades för.

1.3 Målsättning

Målsättningen är att identifiera en förbättrad lösning, som är mer ekonomiskt gynnsam än dagslägets konstruktion, för Rexeds kraftstation.

1.4 Avgränsning

Efter samtal med handledare på Karlstads Universitet togs beslutet att detta examensarbete endast skulle behandla växellåda och generator. Detta på grund av att man ansåg att inblandning av turbin inte skulle hinnas med på 22.5 HP som detta arbete innefattar.

2. Metod och teori

För detta arbete har följande metoder använts: projektplanering, förstudie, intervjuer, analys av historisk- och hydrologisk data, litteraturstudie, konceptgenerering, investeringskalkyl och slutligen konceptval.

2.1 Projektplanering

Projektplanens uppgift är att vägleda projektet genom dess genomförandefas så att inte de olika momenten försenas. Utifrån de samtal som hållits med Arvika Kraft AB har projektplanen utformats enligt följande:

- **Bakgrund**
- **Mål**
- **Organisation:** De personer som berörs utav detta projekt.
- **Projektmodell:** Viktiga datum för inlämningar, milstolpar, grindhål samt vem som är ansvarig för varje moment återfinns i denna tabell.
- **Kommentarer till tidsplan och resursplan**
- **Riskbedömning:** Riskbedömningens syfte är att försöka upptäcka potentiella risker i projektet.
- **Tidsplan**

Se *Projektplan Bilaga 1* för fullständig projektplanering.

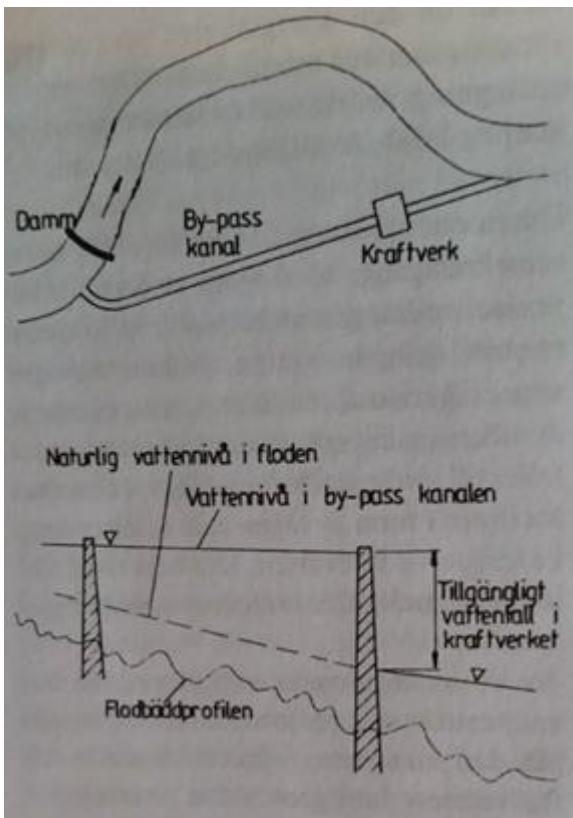
2.2 Förstudie

Nedan följer information kring vattenkraftverk samt begreppet verkningsgrad. Detta moment gjordes för att få djupare insikt i ämnet samt ökad förståelse inom de maskindelar som skulle ses över i anläggningen.

2.2.1 Vattenkraftverk

Det finns en del olika variationer på hur man skulle kunna utvinna energi med hjälp av ett vattenkraftverk, men i grunden är det samma princip för alla. Man vill vanligtvis skapa rotation på en turbin med hjälp av vatten. Denna rotation överförs med hjälp av en axel antingen direkt till en generator eller ifall varvtalet behövs ändras innan den når generatorm så görs detta med hjälp av en växellåda mellan turbin och generator. Strömmen passerar slutligen en transformator, innan den skickas in i elnätet, för att bland annat förstärka strömmen så att den når sin destination. För att kunna koppla upp sig mot elnätet måste man även ha erhållit en viss frekvens hos strömmen (som matchar frekvensen i elnätet).

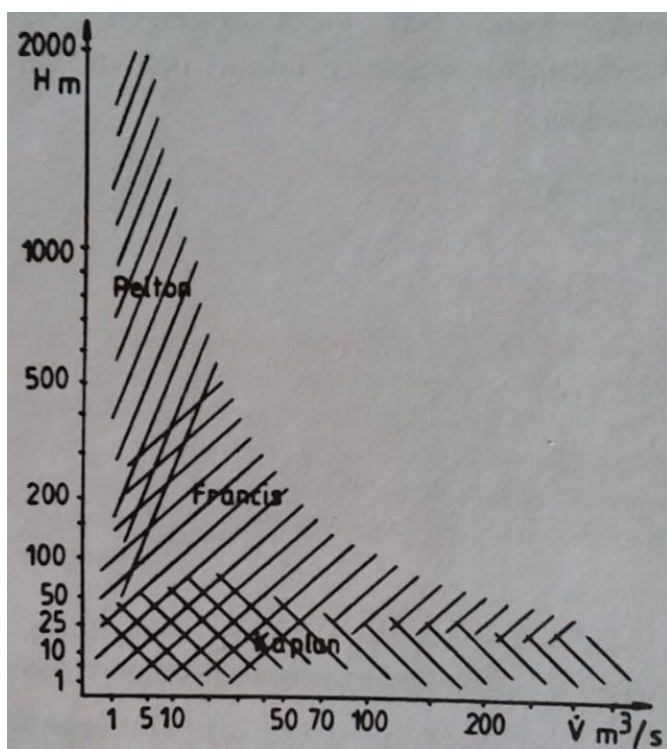
För att vattnet ska klara av att skapa denna rotation krävs en fallhöjd, som ger vattnet en lägesenergi. För att åstadkomma denna fallhöjd kan man göra på olika sätt, till exempel så kan man bygga en ”By-pass kanal” (Figur 2) som har en lägre lutning än floden. Detta resulterar i att det blir en ökande höjdskillnad desto längre denna kanal är. Dock kräver detta självklart att floden har en viss lutning från början (eller en damm). Man kan även erhålla denna fallhöjd med hjälp av en damm, vilket är fallet för stationen i Rexed.



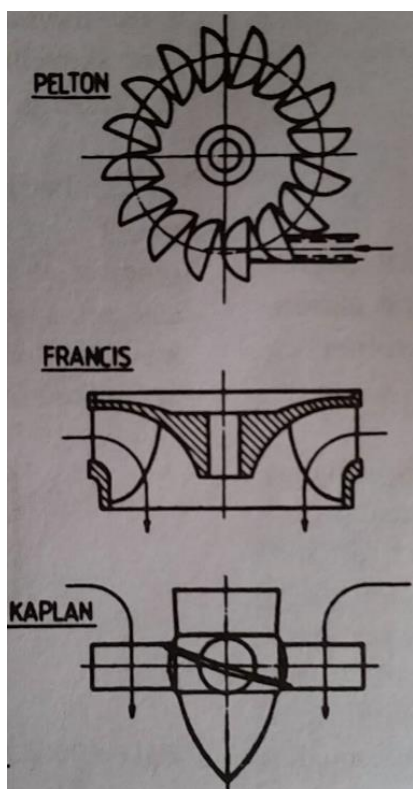
Figur 2: Exempel på By-pass kanal. (Henrik Alvarez, 2014).

När man erhållit en bestämd höjdskillnad på vattnet med hjälp av ”By-pass kanalen” (eller dammen) så byggs vanligtvis en vattenkraftanläggning vid den punkt där vattnet sedan ska falla till det nedre magasinet. De olika vattennivåerna benämns *övre magasinet* respektive *nedre magasinet*.

Beroende på den fallhöjd som erhållits så kan olika typer av turbiner användas (Figur 3). Man talar då om *Pelton*-, *Francis*- och *Kaplanturbiner* (Figur 4). Figuren nedan visar vilken turbintyp som passar bäst för respektive fallhöjd.

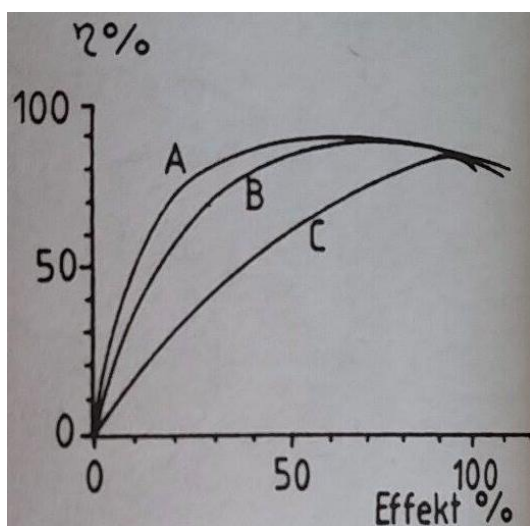


Figur 3: Rekommenderad turbin-typ beroende på fallhöjd. (Henrik Alvarez, 2014).



Figur 4: Illustration av Pelton-, Francis- och Kaplanturbin. (Henrik Alvarez, 2014).

Som nämnts i inledningen så består Rexeds anläggning av en turbin av typen Lawaczeck. En Lawaczeck turbin är mer eller mindre lik Kaplan, med den stora skillnaden att Lawaczeck istället har fasta löphjulskovlar. Denna skillnad, med inställbara löphjulskovlar, påverkar verkningsgraden enormt vid låg effekt. Figuren nedan visar typiska verkningskurvor för kaplanturbiner. Kurva A visar verkningsgradskurvan hos en turbin med inställbara löpskovlar och ledskenor. Kurva B visar en med inställbara löpskovlar och fasta ledskenor. Och slutligen visar kurva C en med fasta löpskovlar och inställbara ledskenor. I Rexed är det kurva C som erhålls i dagsläget.



Figur 5: Verkningsgradskurvor för olika typer av kaplanturbiner. (Henrik Alvarez, 2014).

2.2.2 Verkningsgrad

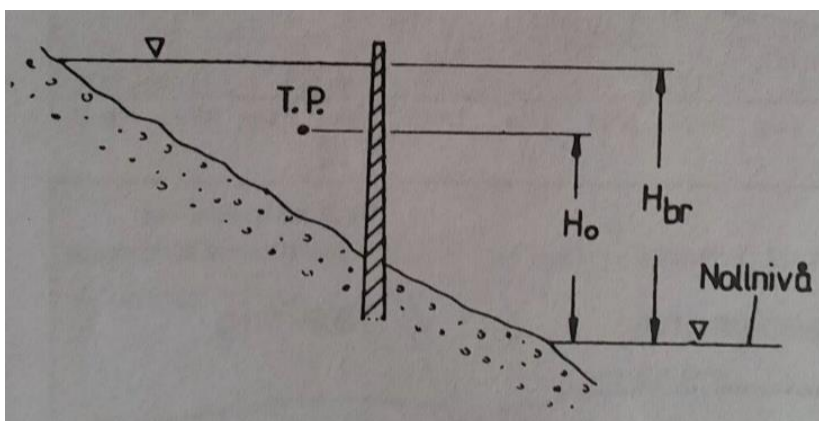
Som nämnts ovan så erhåller vattnet en viss lägesenergi vid ökande nivåskillnad mellan det övre- och undre magasinet. Den energi som vattenmassan, m , erhåller är då:

$$E_0 = m * g * H_0 \quad [1]$$

där,

g = jordaccelerationen

H_0 = höjd av vattenmassans tyngdpunkt ovanför nollnivån (Se Figur 6).



Figur 6: Illustration av en vattenmassas tyngdpunkt. (Henrik Alvarez, 2014).

Utifrån ovanstående formeln kan sedan *nettoeffekten* (P) som kan erhållas hos ett vattenkraftverk uträknas:

$$P = \rho * \dot{V} * g * H * \eta_{tot} \quad [2]$$

$$P = \dot{m} * g * H * \eta_{tot} \quad [3]$$

där,

ρ = vattnets densitet

\dot{V} = volymflödet

g = jordaccelerationen

H = nettofallhöjd

η_{tot} = turbinens totalverkningsgrad

\dot{m} = massflöde = $\rho * \dot{V}$

Ytterligare en anmärkning bör göras och det är att turbinens totalverkningsgrad kan delas upp i följande:

$$\eta_{tot} = \eta_h * \eta_v * \eta_m \quad [4]$$

där,

η_h = hydrauliska verkningsgraden (Vid stora maskiner $\eta_h \approx 0,90 - 0,96$)

η_v = volymetriska verkningsgraden (Vid stora maskiner $\eta_v \approx 0,980 - 0,995$)

η_m = mekaniska verkningsgraden (Vid stora maskiner $\eta_m \approx 0,95 - 0,98$)

Formlerna ovan är tagna ur (Henrik Alvarez, 2014).

2.3 Intervjuer

Driftchefen på Arvika Kraft AB erbjöd att hjälpa till med att svara på frågor, därav hamnar de samtal som hölls under metoden intervju. Även andra personer har erbjudit samma typ av hjälp och blivit intervjuade på samma sätt.

2.4 Analys av historisk- och hydrologisk data

Analys av historisk data är till för att öka förståelsen kring det arbete som kommer utföras. Samtidigt behövs denna analys för att sedan kunna uppvisa ett resultat via jämförelse av dagens situation med en framtida situation. Information kring växellåda, generator och annan nödvändig information som behövs sades finnas tillgänglig hos Arvika Kraft AB.

2.5 Litteraturstudie

Som ovan är även detta ett sätt att öka förståelsen kring det arbete som kommer utföras. Genom en väl utförd litteraturstudie kommer kvaliteten hos resultatet förbättras. Ytterligare en punkt som påverkas av detta är att de genererade koncepten blir mer genomtänkta.

2.6 Konceptgenerering och konceptval

Konceptgenerering är till för att generera en mängd olika lösningar till det problem man ska lösa. Här gäller det att vara kreativ och hitta många variationer på tänkbara lösningar.

Slutligen sker ett konceptval, i det här fallet, med hjälp av investeringskalkyler.

2.7 Investeringskalkyl

Den metod som kommer att användas är internräntemetoden då den används för att fastställa en investerings lönsamhet.

3. Genomförande

Utifrån historisk data ska en förbättrad lösning hittas på kraftstationen i Rexed. Dessa lösningar kan till exempel innebära byte av växellåda, generator eller en kombination av dem. De parametrar som kommer att hållas i åtanke då den nya konstruktionen utvecklas är: kostnaden för den nya kraftstationen samt drifts- och underhållskostnader för den nya respektive nuvarande kraftstationen. De värden som erhålls kommer att vara grovt beräknade och tanken är att de mestadels kommer fungera som stöd vid det slutliga konceptvalet.

3.1 Intervjuer

Intervjuerna skedde genom att frågor ställdes till bland annat driftchef hos Arvika Kraft AB. De samtal som hölls antecknades i ett anteckningsblock och låg till grund för bland annat projektplaneringen. Mycket av den information som erhållits kring Rexed har kommit via intervjuer.

3.2 Analys av historisk- och hydrologisk data

Vid besök hos Arvika Kraft AB erhöles den historiska- samt hydrologiska datan som hörde till Rexed. Syftet med detta var att införskaffa information kring hur det såg ut i dagsläget vid kraftstationen. Samtidigt skulle denna data även vara tillräcklig för att verkningsgraden för dagens anläggning skulle kunna beräknas.

Den hydrologiska datan angav information kring vad turbinen var dimensionerad för. Datan visade i tabeller hur övre- respektive nedre magasin ändrades i höjd per dag och hur stor effekt som stationen producerade per dag. Även hur stort flöde som gick från det övre- till det undre magasinet (både in i turbinen samt runt stationen via dammluckor) erhöles från dessa tabeller. Dock var flödet in i turbinen här beräknat väldigt grovt och Arvika Kraft AB ansåg att det inte kunde användas. Exempel på hur dessa tabeller ser ut kan hittas som Bilaga 2.

Med hjälp av ovanstående data ska verkningsgraden beräknas genom att hitta en tidpunkt i tabellerna där Rexed ej producerade någon elektricitet (inget flöde går då genom stationen) samt då dammluckorna var stängda. Detta betydde då att det nedre magasinet ej fick något flöde från det övre magasinet. Dock tillkommer det alltid en viss tillrinning till sjön från andra ställen som får det nedre magasinet att stiga i nivå. Genom att analysera hur mycket denna tillrinning var, genom att se nivåökningen av undre magasinet i tabellerna, skulle sedan det exakta flödet som gick genom stationen beräknas genom att jämföra nivåökningen av det nedre magasinet då stationen kördes.

Slutligen erhöles även information kring hur flödet varierade genom året.

Utöver det som nämnts ovan så erhöles även viss information kring växellåda och generator som används i dagsläget i Rexed.

3.3 Litteraturstudie

Information har erhållits via internetsökningar och kurslitteratur från tidigare lästa kurser. Speciellt har *Energiteknik* av Henrik Alvarez (2014) använts för att utöka förståelsen kring hur vattenturbinanläggningar fungerar. Ytterligare en bok som använts i projektet är *Kalkyler som beslutsunderlag* av Göran Andersson (2013), denna för att kunna utföra en investeringskalkyl efter konceptgenereringen.

3.4 Konceptgenerering och konceptval

Anläggningen i Rexed består av en turbin, växellåda, generator samt en hel del utrustning kring detta. Utifrån erhållen kunskap inom ingenjörutbildningen (med inriktning maskinteknik) drogs slutsatsen att det är just turbinen, växellådan samt generatoren som påverkar den slutliga elproduktionen mest i detta fall. Störst påverkan har dock växellådan. Då turbinen avgränsats i detta arbete behandlade konceptgenereringen endast byte av växellåda och/eller generator.

För generering av dessa koncept så kontaktades Transmissionservice i Jönköping som valdes som möjlig leverantör efter diskussioner med Arvika Kraft AB. Efter samtal med dem så erhöles olika tänkbara koncept där även omkonstruktion av anläggning i samband med byte av maskindelar nämndes.

Konceptvalet skedde efter en analys, på varje koncept, med hjälp av en investeringskalkyl. Det koncept som var mest ekonomiskt lönsamt för Arvika Kraft AB valdes.

3.5 Investeringskalkyl

För att bestämma lönsamheten hos koncepten användes en investeringskalkyl. Den indata som använts i dessa kalkyler kommer från Arvika Kraft AB samt Transmissionservice i Jönköping. Dessa kalkyler kommer vara grundläggande för konceptvalet.

4. Resultat

4.1 Analys av historisk- och hydrologisk data

4.1.1 Analys av historisk data

Efter noga läsning av den historiska datan för stationen så hittades följande:

”Diagonal-propeller-turbin nr 1164, år 1950 levererad till Billeruds Aktiebolag i Säffle för Rexeds vkr

Turbinen är konstruerad för följande data:

	Normal fallhöjd	Högsta fallhöjd
	5,7 m	6,1 m
Vattenmängd	14.300 l/s	14.650 l/s
Effekt	918 hk (676 kW)	1.000 hk (736 kW)
Varvtal	132 r/m	132 r/m

Turbinen har en ledskenearrangerad med 20 st vridbara skovlar och ett löphjul med 8 diagonalpropellerskovlar. Turbinens effekt överföres över den lodrättmonterade turbinaxeln, som gör 132 rpm, och en kuggväxel till den horisontella generatoraxeln, som gör 750 rpm. För reglering av turbinen finns en turbingenerator, som över en servomotor påverkar ledskenorna.”

Ytterligare hittades följande:

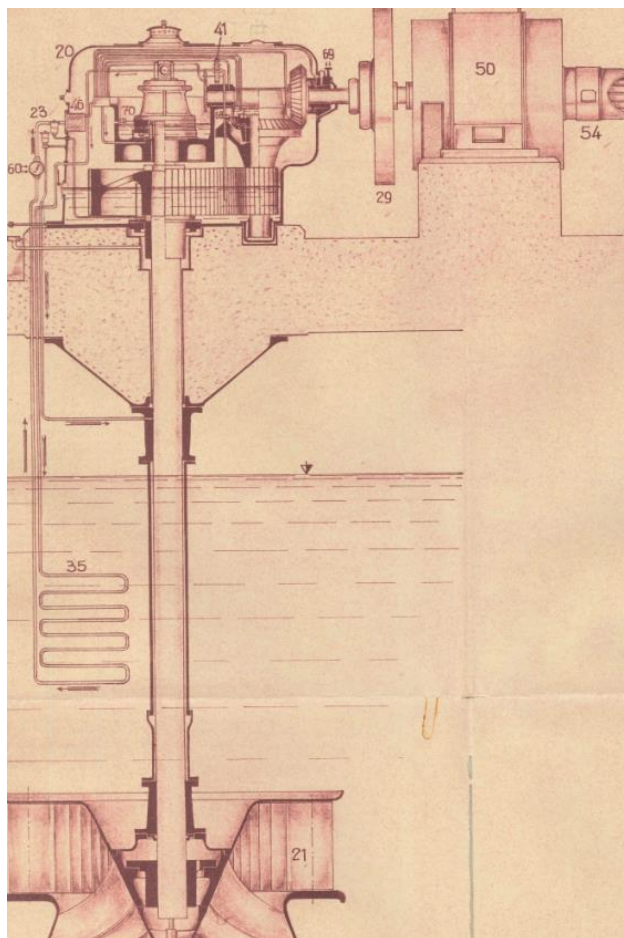
REXED

Samband mellan optimal generatoreffekt, nettofallhöjd och vattenförbrukning (enl. sökandens bil. 17.)

Nettofallhöjd	Vattenföring	Generatoreffekt
m	l/s	kW
6,00	11,8-13,1	560 - 620
5,75	11,4-13,15	515 - 590
5,50	11,2-13,2	480 - 565
5,25	11,0-13,3	440 - 535
5,00	10,8-13,2	410 - 500
4,75	10,7-13,15	380 - 465
4,50	10,6-13,1	350 - 430
4,25	10,4-12,6	320 - 390
4,00	10,3-12,1	295 - 345

Figur 7: Samband mellan optimal generatoreffekt, nettofallhöjd och vattenförbrukning för kraftstationen i Rexed.

En gammal ritning (figur 7) som visar turbin, växellåda samt generator i genomskärning hittades även. Denna ritning är mest till för att illustrera hur turbin, växellåda samt generator är kopplade till varandra.



Figur 8: Genomskärbild av turbin, växellåda samt generator i Rexed.

Vidare fanns ingen information kring växellådan bland den data som Arvika Kraft AB hade tillgänglig, förutom att den genomgått flera reparationer. Dock har driftchefen på Arvika Kraft AB meddelat att det är koniska snedkugg i dagens växellådan (vilket syns på figuren ovan). I figur 9 nedan kan man se hur växellådan ser ut i dagsläget (utsidan).



Figur 9: Bild på växellådan som i dagsläget sitter i Rexeds kraftstation.

Den information som fanns tillgänglig kring generatoren var följande:

- Fabrikat: AEG
- Typ: DG 134/8
- Effekt: 850 kVA (= 680 kW)
- $\cos \varphi$: 0.8
- RPM: 750
- Spänning: 400 V
- Ström: 1230 A

All denna information ovan lades undan för att senare användas då konceptgenereringen skulle ske.

4.1.2 Analys av hydrologisk data

Den hydrologiska datan som hade samlats av Arvika Kraft AB under åren hade mätts i meter istället för millimeter vilket resulterade i att man ej kunde se någon nivåskillnad i det nedre magasinet på grund av tillrinningen. På grund av detta kunde ej verkningsgraden beräknas på det sätt som det ursprungligen var tänkt. Istället utförs en approximerad gissning via användandet av formel [2].

Enligt den historiska datan som nämndes ovan så gäller att vid normal fallhöjd 5,7 m och ett flöde på $14,3 \text{ m}^3/\text{s}$ så avger turbinen 918 hk (676 kW). Detta skulle i så fall ge en verkningsgrad på:

$$P = \rho * \dot{V} * g * H * \eta_{tot} \quad [2]$$

$$\eta_{tot} = \frac{P}{\rho * \dot{V} * g * H} \quad [5]$$

$$\eta_{tot} = \frac{676000}{1000 * 14,3 * 9,81 * 5,7} = 84,5 \%$$

För att beräkna en approximativ verkningsgrad hos anläggningen som den körs idag så har delar av den hydrologiska datan från Rexed använts. Ur tabellerna kunde den genererade effekten utläsas för varje dag på året. Samtidigt har Arvika Kraft AB nämnt att de endast öppnar ledskenorna i anläggningen till max 80% och att man då erhåller ungefär 400 – 450 kW under de årstider som tillåter fullt flöde (under sommaren då det är torrare så erhåller man en lägre effekt). Att inte öppna ledskenorna till 100% påverkar självklart flödet in i turbinen, men då mätutrustning saknas i anläggningen kan inte ett exakt flöde mätas då ledskenorna är öppna till 80%. Istället görs en approximerad gissning på att flödet in i turbinen kommer att variera mellan 9 – $12 \text{ m}^3/\text{s}$. Utifrån denna gissning kunde följande verkningsgrader erhållas med hjälp av ekvation [5] ovan:

Verkningsgrad med flödet $9 \text{ m}^3/\text{s}$, effekten 425 kW och fallhöjden 5,7 m:

$$\eta_{tot} = \frac{425000}{1000 * 9 * 9,81 * 5,7} = 84,5 \%$$

Verkningsgrad med flödet $12 \text{ m}^3/\text{s}$, effekten 425 kW och fallhöjden 5,7 m:

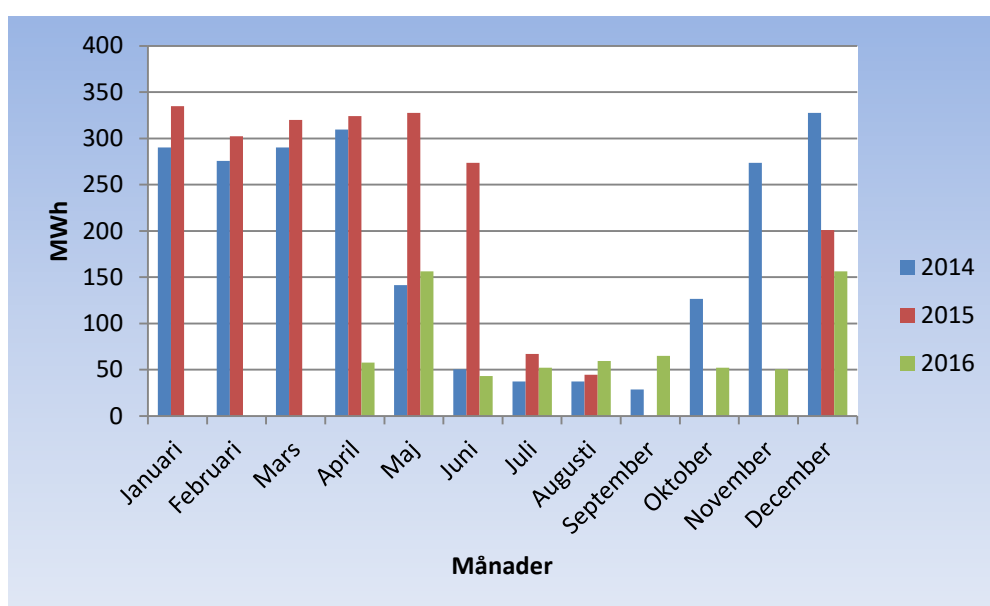
$$\eta_{tot} = \frac{425000}{1000 * 12 * 9,81 * 5,7} = 63,3 \%$$

Detta ger en verkningsgrad som ligger mellan 63,3 – 84,5 % beroende på vad det riktiga flödet är. För en mer exakt verkningsgrad måste det exakta flödet genom turbinen mätas.

4.1.3 Analys av flödet

Slutligen har även en graf skapats (Figur 10) som visar hur mycket elektricitet kraftstationen producerat månadsvis under de senaste tre åren. Denna elproduktion speglar det flöde som finns tillgängligt de olika månaderna på året. I grafen nedan ser man hur man under sommaren har producerat mycket mindre elektricitet än exempelvis under våren. Skälet till detta är för att all den snö som lagts på under vintern smälter på våren vilket resulterar i ett stort flöde vatten in i sjön som kraftstationen utnyttjar. Under sommaren är det betydligt mycket torrare väder än på våren vilket förklarar den stora skillnaden av producerad elektricitet.

Då sjön fylls måste man tömma den så att inte översvämning sker. Kraftstationen har en min- samt max vattennivå i sjön som de måste hålla sig inom. Kraftstationen har även ett begränsat maxflöde som den kan ta in genom turbinen och allt över det skickas ut genom dammluckor som är belägna precis bredvid anläggningen.



Figur 10: Elproduktionen (i MWh) de senaste tre åren för Rexeds kraftstation.

Här ska det dock noteras att kraftstationen var stillastående från början av september (2015) till slutet av november (2015) samt från början av januari (2016) till slutet av mars (2016). Dessa stillestånd har skett på grund av haverier av växellådan och i sin tur då producerat noll MWh. Samtidigt har man under april (2016) och oktober – december (2016) inte kört kraftstationen på full effekt vilket har resulterat i ett max värde av elproduktionen på 156.24 MWh per månad. Dock har det tillgängliga flödet under sommaren 2016 ej tillåtit mer än ~60 MWh per månad.

4.2 Litteraturstudie

En väldigt intressant rapport delades med mig av driftchefen på Arvika Kraft AB. Denna rapport behandlade något som kallas för "Variable Speed Permanent Magnet Generator" (Kinloch 2015) och publicerades 10 November 2015 i USA. Denna generator är vanlig hos vindkraftverk och har, med viss modifikation, visat sig kunna prestera bättre än de vanliga generatorerna som används i dagens vattenkraftverk vid låga fallhöjder och flöden. Det som sker i denna konstruktion är att det finns ett externt PLC system som skickar order till turbin om att den ska byta varvtal utifrån den hydrologiska datan den erhåller från kraftstationen. Detta resulterar i en mycket högre elproduktion då utrustningen anpassar sig efter omgivningen och kan hamna på en mycket högre verkningsgrad än vanligt. Ytterligare bör det noteras att denna rapport utfördes med en likströmgenerator och att man måste ha en omvandlare så att växelström kan erhållas. Sedan så faller även växellådan bort i denna konstruktion.

Denna rapport togs med i diskussionerna som hölls med Transmissionservice vid konceptgenereringen.

4.3 Konceptgenerering

All den information som hade samlats i analyserna ovan skickades till Transmissionservice och följande koncept föreslogs av dem. Här nämnde de även att generatoren som nämns ovan (Variable Speed Permanent Magnet Generator) inte finns tillgängligt hos dem. Koncepten blev:

Koncept 1

Anläggningen körs som den gör idag och växellådan underhålls allteftersom det behövs.

Koncept 2

Byte av växellåda. Detta skulle resultera i en förbättrad verkningsgrad och ökning av elproduktion då den nuvarande växellådan havererar ofta. Turbinen kan köras på full effekt.

Koncept 3

Byte av generator mot en nyare av samma typ. Detta koncept kommer att ge liten skillnad i verkningsgrad samt liten ökning av elproduktion. Skälet till att ökningen i elproduktionen inte blir större är för att växellådan behålls, vilket resulterar i att problemen fortsätter samt att ledskenorna behålls vid 80 % öppning.

Koncept 4

Byte av växellåda och generator. Detta skulle resultera i störst ökning av verkningsgrad och elproduktion.

4.4 Investeringskalkyl

Nedan följer investeringskalkyler för de koncept som genererats ovan. På de ställen som antaganden har utförts så har driftchefen på Arvika Kraft AB tagit del av dem och godkänt dem som rimliga. I alla kalkyler nedan har även hänsyn tagits till att elproduktionen varierar beroende på det flödet som finns tillgängligt under de olika månaderna på året.

KONCEPT 1 – Dagens situation utan förändringar

Intäkter

De intäkter från elproduktionen i Rexed har uppskattats till 630 000 kr per år (utifrån data från 2014 och 2015). Denna siffra erhålls genom att multiplicera årsproduktionens nuvarande status (2 100 MWh) med elpriset (300 kr/MWh).

Utgifter

Arvika Kraft AB delade med sig av följande data. Utgifterna nedan är beräknade att vara per år.

- Drift och underhåll: 227 907 kr
- Fördelade kostnader*: 200 000 kr
- Fastighetsskatt: 110 000 kr
- Dammbesiktning: 4 311 kr
- Dammunderhåll: 5 000 kr
- El + elnät: 6 000 kr
- Fastighetsunderhåll: 5 000 kr
- Telefon och data: 5 000 kr

*Då Arvika Kraft AB betalar hyra för lokaler, leasing av bilar osv. som en klump summa så kan man fördela dessa kostnader mellan alla kraftstationer. Detta medför till att kraftstationen i Rexed får stå för 200 000 kr av dessa kostnader.

Detta summeras och utgifterna blir då 563 218 kr per år.

Resultat

Genom att subtrahera utgifterna från intäkterna får vi ett resultat på 66 782 kr. Denna siffra varierar till stor del beroende på ifall det uppstått haverier och anläggningen blivit stillastående under en längre tid. Ur figur 10 kunde man till exempel se att Arvika Kraft AB gick minus år 2016. Samtidigt så kan även elpriset variera.

KONCEPT 2

Detta koncept kommer att innebära byte av växellåda. Genom att göra detta byte kommer verkningsgraden att bli högre och effekten kommer gå mot den effekt som turbinen är dimensionerad för under normal fallhöjd (676 kW). Självklart tillkommer även mekaniska förluster i denna maskin, men ett rimligt antagande är att man i alla fall lyckas producera ungefär 500 – 600 kW. Jämfört med att de i dagsläget genererar 425 kW med endast 80 % öppning av ledskenorna.

Intäkter

Med dessa antaganden och med hänsyn tagen till det varierande flödet under de olika årstiderna skulle elproduktionen bli emot 2945 – 3379 MWh per år. Multiplieras detta med elpriset, som i koncept 1, erhålls en intäkt på 883 500 – 1 013 700 kr per år.

Utgifter

Kostnadsförslag för växellådan: 510 000 kr.

Kostnadsförslag för installation, demontering av befintliga växellådan osv: 1 000 000 kr

Total investering på ungefär 1 510 000 kr.

Den enda utgiften som kommer genomgå förändring är ”Drift och underhåll”. Denna utgift kommer att gå ner då denna växellåda antas fungera korrekt och kräva mindre underhåll jämfört med dagens växellåda.

Arvika Kraft AB delade med sig av följande data. Utgifterna nedan är beräknade att vara per år:

- Drift och underhåll: 221 240 kr
- Fördelade kostnader*: 200 000 kr
- Fastighetsskatt: 110 000 kr
- Dammbesiktning: 4 311 kr
- Dammunderhåll: 5 000 kr
- El + elnät: 6 000 kr
- Fastighetsunderhåll: 5 000 kr
- Telefon och data: 5 000 kr

Detta summeras och utgifterna blir då 556 551 kr per år.

Investeringskalkyl

Då detta förs in i en investeringskalkyl så erhålls en internränta på 21 – 30 %, beroende på elproduktionens storlek. Arvika Kraft AB räknar med att kalkylräntan är 5% och med en kalkyltid på 25 år. Då internräntan är större än kalkylräntan anses denna investering vara lönsam. Fullständig kalkyl finns som Bilaga 3.

KONCEPT 3

Detta koncept innebär byte av generator med bibehållen växellåda. Detta skulle resultera i en liten ökning av verkningsgrad då nuvarande generator har körts i ett antal år. Då växellådan behålls så kommer problemen fortfarande att uppstå och det resulterar i att ledskenorna behålls vid 80 % öppning. Jämfört med den tidigare elproduktionen på 425 kW så kommer denna rimligtvis att öka lite. Denna ökning kommer inte att vara lika hög som vid koncept 2, därav kan vi anta att den ligger mellan 450 – 475 kW.

Intäkter

Vid en effekt på ungefär 450 – 475 kW skulle elproduktionen bli emot 2 728 – 2 836 MWh per år. Detta ger en intäkt på 818 400 – 850 800 kr per år. Denna intäkt stämmer dock endast ifall växellådan fungerar felfritt, vilket den inte gör i dagsläget. I verkligheten skulle elproduktionen närma sig den som produceras i dagsläget (2 100 MWh). Räkna man dock med att en nyare generator bidrar till en ökad verkningsgrad så kommer elproduktionen rimligtvis hamna strax ovanför 2 100 MWh. Låt oss anta att den hamnar runt 2 200 – 2400 MWh för att kunna utföra en väldigt grov kalkyl. Denna elproduktion skulle i så fall generera en intäkt på 660 000 – 720 000 kr per år.

Utgifter

Kostnadsförslag för generatören: 55 700 € ≈ 540 000 kr.

Kostnadsförslag för installation, demontering osv: 200 000 kr

Total investering på ungefär 740 000 kr.

Här är det återigen endast ”Drift och underhåll” som kommer att variera. Dock blev det billigare än koncept 2. Detta på grund av att generatören ej kommer behöva omlindning på ytterligare 50 år jämfört med att dagens generator skulle behöva omlindning om 10 – 15 år.

Resterande utgifter beräknade att vara per år:

- Drift och underhåll: 204 574 kr
- Fördelade kostnader*: 200 000 kr
- Fastighetsskatt: 110 000 kr
- Dammbesiktning: 4 311 kr
- Dammunderhåll: 5 000 kr
- El + elnät: 6 000 kr
- Fastighetsunderhåll: 5 000 kr
- Telefon och data: 5 000 kr

Detta summeras och utgifterna blir då 539 885 kr per år.

Investeringskalkyl

Då detta förs in i en investeringskalkyl så erhålls en internränta på 16 – 24 %, beroende på elproduktionens storlek. Arvika Kraft AB räknar med att kalkylräntan är 5% och med en kalkyltid på 25 år. Då internräntan är större än kalkylräntan anses även denna investering vara lönsam.

KONCEPT 4

Detta koncept skulle innebära byte av både växellåda och generator. Detta skulle medföra störst ökning av både verkningsgrad och elproduktion. Utifrån de antaganden som gjorts under koncept 2 och koncept 3 så kommer detta koncept att generera en effekt på ungefär 525 – 650 kW. Observera att turbinen är dimensionerad att generera en effekt på 676 kW, under normal fallhöjd på 5.7 m, så att dessa antaganden är rimliga.

Intäkter

Vid en effekt på ungefär 525 – 650 kW och med hänsyn tagen till det varierande flödet under de olika årstiderna skulle elproduktionen bli emot 3 053 – 3 596 MWh per år. Multiplicerar detta med elpriset, som i koncept 1, erhålls en intäkt på 915 900 – 1 078 800 kr per år.

Utgifter

Kostnadsförslag för växellådan: 510 000 kr.

Kostnadsförslag för generatoren: 55 700 € \approx 540 000 kr.

Kostnadsförslag för installation, demontering osv: 1 200 000 kr

Total investering på ungefär 2 250 000 kr.

Här har ”Drift och underhåll” räknats med samma antaganden som i koncept 2 och koncept 3.

Resterande utgifter beräknade att vara per år:

- Drift och underhåll: 197 907 kr
- Fördelade kostnader*: 200 000 kr
- Fastighetsskatt: 110 000 kr
- Dammbesiktning: 4 311 kr
- Dammunderhåll: 5 000 kr
- El + elnät: 6 000 kr
- Fastighetsunderhåll: 5 000 kr
- Telefon och data: 5 000 kr

Detta summeras och utgifterna blir då 533 218 kr per år.

Investeringskalkyl

Då detta förs in i en investeringskalkyl så erhålls en internränta på 12 – 14 %, beroende på elproduktionens storlek. Arvika Kraft AB räknar med att kalkylräntan är 5% och med en kalkyltid på 25 år. Då internräntan är större än kalkylräntan anses även denna investering vara lönsam.

4.5 Konceptval

Utifrån investeringskalkylerna ovan kan man se att alla tre förslagen till åtgärden är lönsamma och att koncept 2 erhöll högst internränta. Detta resulterar i att byte av växellåda är det mest lönsamma, av de studerade koncepten, för Arvika Kraft AB och därför att rekommendera.

Avslutningsvis kan alla koncept återses i tabellen nedan för en överblick av de resultat som erhållits.

Tabell 1: Sammanfattning av ovanstående koncept med ekonomisk data samt elproduktion.

Koncept	Elproduktion (MWh)	Intäkt (SEK)	Årliga kostnader (SEK)	Resultat (SEK)	Investering (SEK)	Internränta (%)
1 – Dagens situation	2 100	630 000	563 218	66 782	0	-
2 – Byte av växellåda	2 945 – 3 379	883 500 – 1 013 700	556 551	326 949 – 457 149	1 510 000	21 – 30
3 – Byte av generator	2 200 – 2 400	660 000 – 720 000	539 885	120 115 – 180 115	740 000	16 – 24
4 – Byte av både växellåda och generator	3 053 – 3 596	915 900 – 1 078 800	533 218	382 682 – 545 582	2 250 000	12 – 14

5. Diskussion

5.1 Projektplan

Projektplanen har uppfyllt sitt syfte och har fungerat som ett stöd genom detta projekt. Vissa ändringar har fått göras i samband med bland annat sjukdomar, förseningar samt utökning av informationsökning. Dock har detta ej påverkat projektet alltför mycket då den första projektplanen skapats med god marginal för ändringar genom att bland annat involvera en riskanalys. Uppdateringar skedde kontinuerligt under projektets gång.

5.2 Analys av historisk- och hydrologisk data

Tanken med detta steg var att analysera dagens anläggning för att lättare kunna lösa problemet. Olyckligtvis så fanns inte all den information jag sökte tillgänglig hos Arvika Kraft AB och detta resulterade i att verkningsgraden bland annat inte kunde beräknas mer exakt. Mitt förslag på att införskaffa ett mätinstrument för beräkning av verkningsgraden nekades då priset ansågs vara för högt och detta resulterade i att en approximativ verkningsgrad beräknades istället. Vill man räkna ut en mer exakt verkningsgrad måste det exakta flödet mätas. Samtidigt erhöles nästan ingen information alls kring dagens växellåda från den historiska datan. Denna brist på information resulterade i att stora delar av analysen ej kunde utföras som det var tänkt från början.

Mycket av den information som erhöles kring generator och växellåda kommer istället via samtal med driftchefen på Arvika Kraft AB.

5.3 Konceptgenerering

Konceptgenereringen för detta projekt var ganska begränsat då jag tidsmässigt omöjligt skulle kunna lära mig att optimera växellådor och generatorer för olika ändamål. Istället skedde genereringen utifrån de växellådor och generatorer som Transmissionsservice i Jönköping kunde erbjuda.

Vid de samtal som hölls med Transmissionsservice så nämnde de att turbinen även borde bytas ut. Genom att införskaffa en turbin med ett högre varvtal skulle växellådan kunna tas bort helt. Samtidigt skulle det resultera i att generatoren skulle bli mindre än i fallet då turbinens varvtal är som i dagsläget. Detta examensarbete har dock inte behandlat turbinen, men utifrån den information som jag tagit del av via litteratur och telefonsamtal så låter byte av turbin som en bra idé.

5.4 Litteraturstudie

Angående ”Variable Speed Permanent Magnet Generator” (Kinloch 2015) som nämndes tidigare så hade Transmissionsservice inte tillgång till en sådan generator. Teknologin kanske är för modern just nu och behöver mogna lite innan leverantörer börjar sälja den. Annars anser jag att denna typ av utrustning skulle fungera utmärkt tillsammans med en ny turbin med högre varvtal och direkt driven generator samt borttagen växellåda (utifrån den litteratur jag tagit del utav).

5.5 Investeringskalkyl

Väldigt grova beräkningar har utförts i dessa investeringskalkyler. Dock anser jag att de är tillräckligt noggranna för att visa lönsamheten för de olika koncepten för Arvika Kraft AB.

5.6 Slutliga valet

Att byte av växellåda var det som skulle ge störst skillnad i elproduktionen blev jag inte alls förvånad över då den har varit så problematisk under de senare åren. Dock blev jag väldigt förvånad över den information som jag fann kring turbinen i Rexed. Dagens anläggning består av ett löphjul med fasta löpskovlar och inställbara ledskenor. Skulle man istället byta till en turbin med högre varvtal och inställbara löpskovlar skulle det inte bara resultera i att växellådan bortfaller utan även att en högre verkningsgrad över ett bredare omfång av effekt skulle erhållas (Figur 5). Samt att generatorn blir mindre och billigare än i fallet ovan (Koncept 3).

En sak som bör hållas i åtanke i fallet då turbinen byts (och växellådan bortfaller) är att stor ombyggnad av anläggning kommer behövas. Sker en stor ombyggnad av anläggningen så har Arvika Kraft AB nämnt att det finns en chans till att få bidrag från staten. Detta bidrag kallas för elcertifikat och gäller i 15 år, dock längst till år 2035 (Energimyndigheten 2014). Genom att erhålla detta bidrag så påverkas investeringskalkylerna genom att elpriset ökar från ~300 kr/MWh till ~450 kr/MWh. Med en kalkylränta på 5 % och en elproduktion på 3 000 – 3 400 MWh skulle det ökade elpriset tillåta projektet tåla en investering på 8 500 000 kr. Den verkliga elproduktionen skulle dock hamna en bit ovanför detta, så en ännu högre investering skulle även tillåtas.

Jag anser därför att byte av turbin är något som Arvika Kraft AB borde undersöka vidare då det verkar vara en ännu bättre lösning på problemet.

6. Slutsats

Min rekommendation till Arvika Kraft AB är att införskaffa den nya växellådan som Transmissionservice erbjudit. Dock inte före en ny investeringskalkyl på ny turbin och generator (med bortfallen växellåda) erhållits då denna kanske till och med är mer lönsam.

Ytterligare en rekommendation är att undersöka vidare om ”Variable Speed Permanent Magnet Generator”. Det kanske är så att det finns andra leverantörer som kan tänka sig erbjuda en vattenkraftsanpassad lösning med en sådan typ av generator.

Tackord

Ett stort tack till Fredrik Gund, driftchef på Arvika Kraft AB, som både ställt upp med att svara på frågor och bidragit med idéer och information. Jag vill även tacka Thomas Malmstedt, VD på Arvika Kraft AB.

Tack till Jan Thell från Transmissionservice som bidrog genom att svara på frågor samt kom med kostnadsförslag.

Ytterligare skulle jag vilja tacka Anders Wickberg, från Karlstads Universitet, som hjälp till med projektet både genom handledning, idéer och vägledning.

Avslutningsvis vill jag även tacka vänner och familj som stött mig genom detta projekt.

Referenslista

<http://kraftverk.vattenfall.se/lilla-edet> [2017-04-25]

Eriksson, M & Lilliesköld, J (2004) *Handbok för mindre projekt*. Stockholm: Liber.

Henrik Alvarez (2014) *Energiteknik, Del 1*. Lund: Studentlitteratur AB.

Göran Andersson (2013) *Kalkyler som beslutsunderlag*. Lund: Studentlitteratur AB.

Kinloch, D. (2015). *Demonstration of variable speed permanent magnet generator at small, low-head hydro site*. USA.

Energimyndigheten (2014). *Om elcertifikatsystemet*. [Elektronisk]. Tillgänglig:
<http://www.energimyndigheten.se/fornybart/elcertifikatsystemet/om-elcertifikatsystemet/> [2017-06-03]

Bilaga 1: Projektplan med uppdaterad tidsplan

Projektplan

Examensarbete våren 2017

1. Bakgrund

Projektet startade i samband med högskoleingenjörsexamen i maskinteknik.

Arvika Kraft AB äger och förvaltar 17 stycken vattenkraftstationer, dessa är belägna i Arvika och Eda kommuner. En av dessa anläggningar är Rexeds kraftstation från 1952. Anläggningen har en historia där den under långa perioder haft omfattande mekaniska problem och den har varit avställd under långa perioder. Anläggningen består av en turbin av typen Lawaczek med fasta löphjulskolvar där kraften från turbinen överförs via en vinkelväxel in till en generator. Av flera skäl är detta inte en optimal kombination. Turbinen har som resultat låg verkningsgrad och växellådan har vållat många problem under åren.

Det som ligger till grund för projektplanen är kurs-PM, examensblanketten (som fylldes i av både uppdragsgivare och elev) samt slutligen de samtal som hafts med uppdragsgivare och VD på företaget.

2. Mål

Målet för projektet innefattar bland annat utvärdering av nuvarande konstruktion, inklusive approximerad beräkning av nuvarande verkningsgrad av kraftstationen. Utifrån historisk data ska sedan en optimal lösning hittas på kraftstationen. De parametrar som kommer att förbättras är driftkostnaden för den nya lösningen samt verkningsgraden.

Projektet ska vara färdigt och avslutas den 9 juni 2017 där en slutlig rapport lämnas in till examinator på Karlstads universitet för bedömning. Slutredovisning och opponering kommer att ske mellan den 31 maj och 1 juni.

3. Organisation

Personer som är knutna till detta projekt är Daniel De Matos Lobos (som examineras), Fredrik Gund (uppdragsgivare från Arvika Kraft AB) samt Anders Wickberg (handledare från Karlstads universitet).

Daniel De Matos Lobos:

Mobil: 072 250 92 57
E-mail: El_Mallorquin_89@hotmail.com

Fredrik Gund:

Mobil: 070 332 01 47
Adress: fredrik.gund@arvika.se

Anders Wickberg:

Mobil: 070 672 43 08
Adress: anders.wickberg@kau.se

4. Projektmodell

Nedan återfinns en tabell som visar de olika moment som ingår i detta projekt samt vilket datum de ska vara färdiga på.

Tabell 1. Projektmodell med viktiga datum för inlämningar, milstolpar och grindhål.

Projektfas	Milstolpar	Grindhål	Färdigdatum	Ansvarig
Planering	Projektplanen klar		2017-02-01	Daniel Lobos
		Projektplanen godkänd Mål 1 bedöms	2017-02-23	Anders Wickberg
Redovisning	Muntlig redovisning av exjobbet, mål och syfte samt projektplan		2017-02-02	Daniel Lobos
		Obligatorisk närvaro på redovisningen	2017-02-02	Anders Wickberg
Datainsamling	Inhämtning av hydrologisk data		2017-02-12	Daniel Lobos
	Utvärdering/Beräkning av insamlad hydrologisk data		2017-02-26	Daniel Lobos
	Inhämtning av historisk data		2017-03-05	Daniel Lobos

	Sammanfattning av relevant historisk data för detta projekt		2017-03-19	Daniel Lobos
	Utvärdering av nuvarande konstruktion och verkningsgrad.		2017-04-02	Daniel Lobos
	Life Cycle Cost (LCC)		2017-04-09	Daniel Lobos
Delredovisning	Muntlig redovisning av arbetets status, särskilt uppdaterad projektplan och metodval		2017-04-04	Daniel Lobos
		Obligatorisk närvaro på redovisningen	2017-04-04	Anders Wickberg
	Inlämning av preliminär rapport kapitel metodval		2017-04-04	Daniel Lobos
		Preliminär rapport godkänd Mål 2a och 2b bedöms	2017-04-25	Anders Wickberg
Konceptgenerering	Konceptgenerering klar		2017-04-11	Daniel Lobos
	Presentation av konceptgenerering för uppdragsgivare		2017-04-13	Daniel Lobos
	Kostnadsförslag för de olika genererade koncepten		2017-04-20	Daniel Lobos
Konceptval	Koncept väljs ihop med uppdragsgivare		2017-04-28	Daniel Lobos
	Kostnadsförslag för det valda konceptet		2017-05-10	Daniel Lobos
Rapport	Rapport redo för opponering		2017-05-14	Daniel Lobos
		Rapport inlämnad till opponenter och handledare	2017-05-16	Daniel Lobos
		Rapport godkänd	2017-06-01	Anders Wickberg
Slutredovisning	Muntlig redovisning av färdigt exjobb samt opponering		2017-05-31 eller 2017-06-01	Daniel Lobos
		Slutredovisning godkänd Mål 4a, 4b och 4c bedöms	2017-06-22	Anders Wickberg

Slutrapport	Klar med reviderad slutrapport		2017-06-09	Daniel Lobos
		Slutrapport godkänd Mål 3a och 3b bedöms	2017-06-30	Anders Wickberg

5. Kommentarer till tidsplan och resursplan

Tidsplanen kommer att ändras genom projektets gång vid behov.

Resurserna till detta projekt är i timmar, som motsvarar 22.5 HP.

6. Riskbedömning

Tabell 2. Riskbedömning i projektet. S = Sannolikhet, K = Konsekvens och Resultat = S*K.

Nr.	Risker	S	K	R
1	Sjukdom	2	3	6
2	Tidsplan hålls ej	4	3	12
3	Resursbrist (timmar)	2	4	8
4	Kommunikationsbrist	2	4	8
5	Avbrott av projekt	1	5	5
6	Borttappade papper	3	4	8

Tabell 3. Åtgärder för de risker med högst resultat från tabellen ovan.

Nr.	Åtgärd	Förväntat utfall	Ansvarig	Deadline
2	Varje söndag ses tidsplanen över	Tidsplanen håller	Daniel	Varje söndag
3	Strukturerad tidsplan	Timmarna räcker	Daniel	Vecka 7
4	Mail- och telefonkontakt	Ingen kommunikationsbrist	Alla	Vecka 5
6	Lägg in allt på extern hårddisk	All info finns tillgänglig	Daniel	---

Bilagor

Uppdaterad tidsplan

		Grön = Klar		Gul = Pågående		Röd = Problem																	
Uppdaterad	Vecka	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
		1, 3, 4	5		2, 6	7				10, 11	8, 9, 12		15	13, 14		16	17		18, 19	21		20	22
1-Feb-17		M och G	M		M och G	M				G	M och G		M	M och G		M	G		G	G		G	G
19-Feb-17		1,3,4	5		2																		
12-Mar-17					6	7																	
21-Mar-17					6	7																	
13-Maj-17					6	7				10, 11	8, 9, 12		15	13, 14		16							
16-Maj-17												15					17						
1-Juni-17																		18, 19				20	
8-Juni-17																				21			22

- | | |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Projektplanen klar 2. Projektplanen godkänd. (Mål 1 bedöms) 3. Muntlig redovisning av exjobbet, mål och syfte samt projektplan 4. Obligatorisk närvaro på redovisningen 5. Inhämtning av hydrologisk data 6. Utvärdering/Beräkning av insamlad hydrologisk data 7. Inhämtning av historisk data 8. Sammanfattning av relevant historisk data för detta projekt 9. Utvärdering av nuvarande konstruktion och verkkningsgrad 10. Muntlig redovisning av arbetets status, särskilt uppdaterad projektplan och metodval 11. Obligatorisk närvaro på redovisningen | <ol style="list-style-type: none"> 12. Inlämning av preliminär rapport kapitel metodval 13. Preliminär rapport godkänd (Mål 2a och 2b bedöms) 14. Konzeptgenerering klar 15. Kostnadsförslag för de olika genererade koncepten 16. Rapport redo för opponering 17. Rapport inlämnad till opponent och handledare 18. Färdig med kommentarer till opponent 19. Muntlig redovisning av färdigt exjobb samt opponering 20. Slutredovisning godkänd (Mål 4a, 4b och 4c bedöms) 21. Klar med reviderad slutrapport 22. Slutrapport godkänd (Mål 3a och 3b bedöms) |
|--|---|

Figur 1. Tidsplan för projektet. M = Milstolpe och G = Grindhål

Källor

Eriksson & Lillesköld, 2005: *Handbok för mindre projekt*. Malmö

Johannesson et al: *Produktutveckling – effektiva metoder för konstruktion och design*

Bilaga 2: Hydrologisk data från kraftstationen i Rexed

1	Flödesrapport månad REX Januari 2015									
2	REX månadsrapport									
3										
4		ÖVY		Effekt G1		Flöde G1		Flöde luckor		NVY
5		möh		MW		m3/s		m3/s		möh
6	00-00	98,22		0,46		9,5		0,9		92,48
7	00-00	98,22		0,46		9		2,8		92,46
8	00-00	98,21		0,46		9,1		1,7		92,45
9	00-00	98,2		0,46		8,6		1,9		92,45
10	00-00	98,21		0,45		8,8		3		92,44
11	00-00	98,19		0,46		8,9		2		92,44
12	00-00	98,22		0,46		8,9		2		92,43
13	00-00	98,2		0,45		8,7		3,5		92,44
14	00-00	98,19		0,45		9		3,5		92,46
15	00-00	98,2		0,45		8,5		3,5		92,48
16	00-00	98,2		0,45		9,1		0		92,49
17	00-00	98,19		0,45		8,6		2,4		92,51
18	00-00	98,19		0,44		8,6		7,5		92,51
19	00-00	98,2		0,45		8,8		0		92,51
20	00-00	98,2 ?		0,45 ?		8,9		2,5		92,5
21	00-00	98,19		0,44		8,9		5,6		92,49
22	00-00	98,19		0,43		8,8		8,2		92,5
23	00-00	98,2		0,44		8,7		6,6		92,54
24	00-00	98,2		0,44		8,7		4,3		92,57
25	00-00	98,2		0,44		8,9		5,5		92,59
26	00-00	98,19		0,44		8,5		4,2		92,59
27	00-00	98,2		0,44		8,8		3,9		92,58
28	00-00	98,2		0,44		8,7		3,9		92,57
29	00-00	98,2		0,44		8,4		3,9		92,55
30	00-00	98,2		0,44		8,8		3,6		92,53
31	00-00	98,18		0,44		8,9		3,3		92,52
32	00-00	98,2 ?		0,45 ?		8,8		3,3		92,51
33	00-00	98,19		0,45		8,8		3,2		92,49
34	00-00	98,21		0,45		9,1		2,9		92,48
35	00-00	98,19		0,44		8,8		5,9		92,49
36	00-00	98,21		0,44		8,4		7,6		92,54
37	Min	98,18		0,43		8,4		0		92,43
38	Max	98,22		0,46		9,5		8,2		92,59
39	Avg	98,2 ?		0,45 ?		8,8		3,7		92,5

Bilden ovan visar en flödesrapport som fyllts i av driftschefen på Arvika Kraft AB. I rapporten kan man utläsa den övre vattenytan (ÖVY) i meter över havsnivå (möh) samt den nedre vattenytan (NVY) i meter över havsnivå. ”Effekt G1” står för den effekt som genererats. ”Flöde G1” står för det flöde som beräknats passera genom stationen och ”flöde luckor” är det flöde som passerat genom dammluckorna. Dessa flöden är grovt beräknade och sades ej kunna användas i mina beräkningar. Kolumnen med ”00-00” står för dagarna, där rad 6 motsvarar 1:a Januari från klockan 00:00 – 00:00. Rad 7 motsvarar 2:a Januari från klockan 00:00 – 00:00, osv.

Längst ner kan man utläsa ”Min”, ”Max” och ”Avg” för respektive kolumn denna månad.

Sammanlagt erhöles flödesrapporter för hela 2014, 2015 och 2016.

Bilaga 3: Internräntekalkyl

6	Investeringsbedömning Rexeds kraftstation											
7	Om internräntan är högre än kalkylräntan så är investeringen lönsam											
8												
9												
10	År	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	Investering	1,510,000										
12	Intäkter		883,500	883,500	883,500	883,500	883,500	883,500	883,500	883,500	883,500	883,500
13	Drift och underhåll		-221,240	-221,240	-221,240	-221,240	-221,240	-221,240	-221,240	-221,240	-221,240	-221,240
14	Dammbesiktning		-4,311	-4,311	-4,311	-4,311	-4,311	-4,311	-4,311	-4,311	-4,311	-4,311
15	Dammunderhåll		-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000
16	El + elnät		-6,000	-6,000	-6,000	-6,000	-6,000	-6,000	-6,000	-6,000	-6,000	-6,000
17	Fastighetsunderhåll		-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000
18	Telefon och data		-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000	-5,000
19	Fördelade kostnader		-200,000	-200,000	-200,000	-200,000	-200,000	-200,000	-200,000	-200,000	-200,000	-200,000
20	Fastighetsskatt		-110,000	-110,000	-110,000	-110,000	-110,000	-110,000	-110,000	-110,000	-110,000	-110,000
21	Summa utgifter		-556,551	-556,551	-556,551	-556,551	-556,551	-556,551	-556,551	-556,551	-556,551	-556,551
22	Resultat	-1,510,000	326,949	326,949	326,949	326,949	326,949	326,949	326,949	326,949	326,949	326,949
23												
24	Internränta IRR	21%										
25												
26	Indata					Årligt underhåll						
27												
28	Kalkyltid antal år			25								
29	Kalkylränta %			5 %								
30	Årsproduktion nuvarande status			2945 MWh								
31	Arbetskostnad egen personal			437 kr/h								
32	Arbetskostnad extern ingenjör			1000 kr/h								
33	Arbetskostnad besiktningsman			1000 kr/h								
34	Elpris			300 kr/MWh								
35	Elcertifikat			150 kr/MWh								
											221240	kr

Bilden ovan investeringskalkylen för koncept 2 (med 500 kW) där de 10 första åren (av 25) visas, detta för läsbarhetens skull.