

Sensur av hovedoppgaver

Høgskolen i Buskerud og Vestfold

Fakultet for teknologi og maritime fag



Prosjektnummer: **2014-10**

For studieåret: **2013/2014**

Emnekode: **SFHO3201**

Prosjektnavn

Pikerfoss Minikraftverk

Pikerfoss Micro Hydro Power Plant

Utført i samarbeid med: EB Kraftproduksjon AS

Ekstern veileder: Helge Martinsen

Sammendrag: Prosjektering av minikraftverk ved Pikerfoss. Lav fallhøyde og vannføring gjør at tradisjonelle løsninger ikke er lønnsomt.

Stikkord:

- Fornybar energi
- PaT (Pump as Turbine)
- Økonomisk

Tilgjengelig: JA

Prosjekt deltagere og karakter:

Navn	Karakter
Kenneth Myhrvold	
Amund Ruud Hval	
Joachim Ski Torp	
Linn Merete Sandvold	
Thomas Hurwitz Botner	

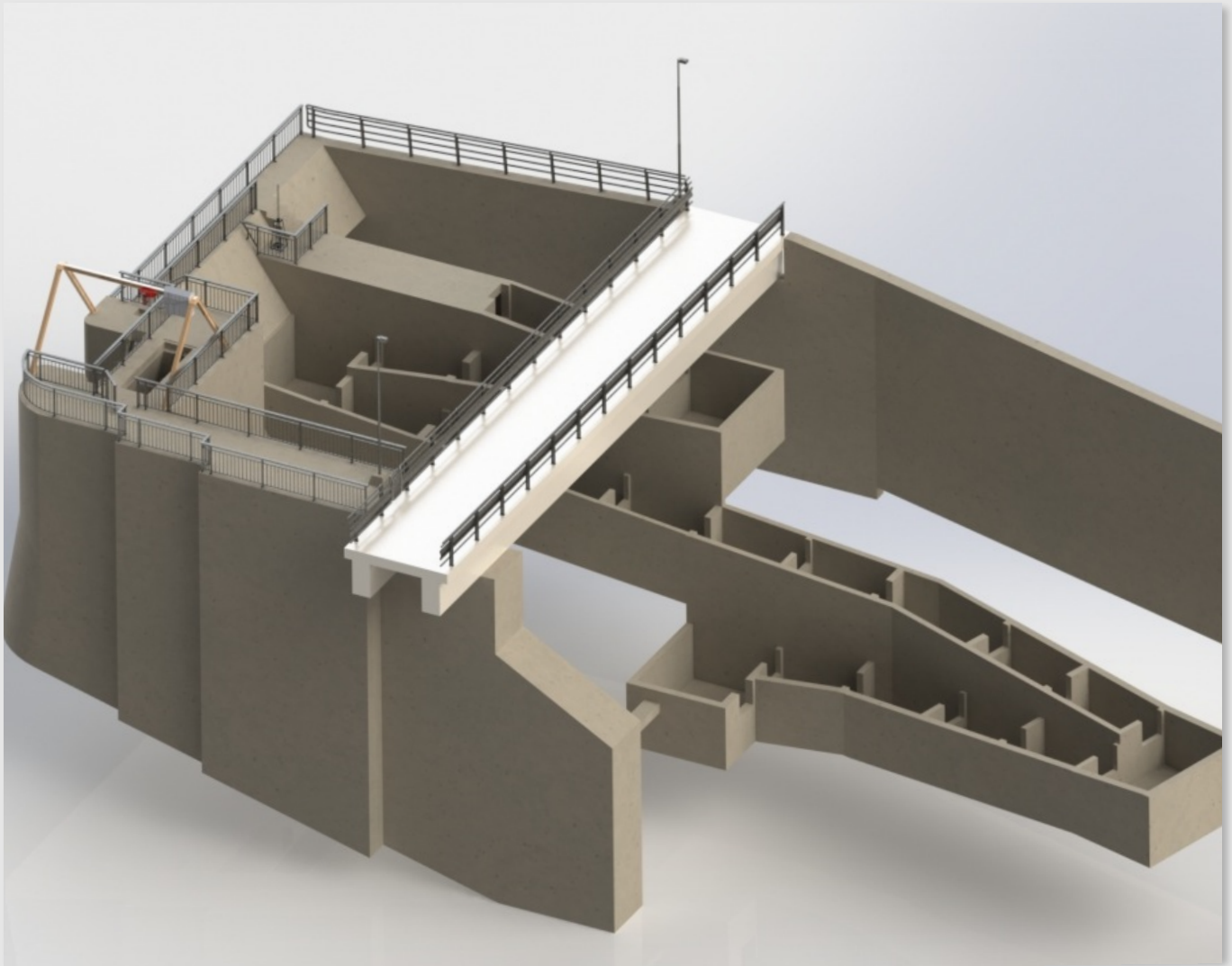
Dato: 12. Juni 2014

Sigmund Gudvangen
Intern Veileder

Karoline Moholth
Intern Sensor

Jonas Hertel
Ekstern Sensor

PIKERFOSS MINIKRAFTVERK



BACHELOR-
PROSJEKT
2014

Gruppe 10:
Kenneth Myhrvold
Joachim Ski Torp
Amund Ruud Hval
Linn Merete Sandvold
Thomas Hurwitz Botner

Pikerfoss Minikraftverk

Gruppe 10

Hovedoppgave



<p><u>Prosjektdeltagere:</u></p>
<p>Kenneth Myhrvold Amund Ruud Hval Linn Merete Sandvold Thomas Hurwitz Botner Joachim Ski Torp</p>
<p><u>Intern veileder:</u></p>
<p>Sigmund Gudvangen</p>
<p><u>Ekstern veileder:</u></p>
<p>Helge Martinsen</p>
<p><u>Dato:</u></p>
<p>23.05.2014</p>

Hovedoppgave

Versjon: 1.0

Linn Merete Sandvold, Thomas H. Botner, Amund Ruud Hval, Kenneth Myhrvold og Joachim Ski Torp

Dokumenthistorie

Versjon nummer	Dato	Endringer
0.1	20.05.2014	Opprettet
1.0	23.05.2014	Frigjort

Sammendrag

Prosjektgruppen Pikerfoss Minikraftverk består av Linn Merete Sandvold, Kenneth Myhrvold, Amund Ruud Hval, Joachim Ski Torp og Thomas H. Botner. Hovedoppgaven er gitt av EB Kraftproduksjon AS og den går ut på å prosjektere et minikraftverk på Pikerfoss i Numedalslågen. Gruppen skulle også utrede om det er økonomisk forsvarlig å sette i gang en utbygging med de ressursene som er tilgjengelig.

Gruppen har valgt å bruke en vannfallsmodell som er en prosjektmodell uten iterasjoner. Prosjektet startet med å finne alle krav, tilgjengelig fallhøyde og vannføringer. Etter en diskusjon og Pugh-matrise av de tilgjengelige konseptene falt valget til slutt på reverserte pumper. Hovedsakelig på grunn av pris og tilgjengelighet. Siden det må brukes flere pumper for å utnytte den maksimale vannføringen vil denne løsningen ha flere forskjellige alternativer. Alternativene er nokså like, så det ble valgt å ta med flere videre i prosessen. Det viktigste regnestykket et vannkraftprosjekt baserer seg på er produksjon delt på kostnader. Ved å bruke reverserte pumper vil produksjonen bli noe lavere, men reduserer kostnadene vesentlig.

Abstract

The bachelor group for Pikerfoss micro power plant consists of Linn Merete Sandvold, Kenneth Myhrvold, Amund Ruud Hval, Joachim Ski Torp and Thomas H. Botner. The assignment is given by EB Kraftproduksjon AS and involves planning a micro power plant at Pikerfoss in Numedalslågen. The group should investigate if it is economically possible to build a power plant at this location.

The group has used the waterfall model as a project model for the assignment, which is a model with no room for iterations. The project started with acquiring requirements, available head and water flow. After discussion and the use of a Pugh-matrix of all available concepts pumps used as turbines was chosen in the end, mostly because of price and availability. To utilise the maximum water flow, multiple pumps will be used. The alternatives are very much equal so it was decided to take more than one to the next phase. The most important part of the project is production versus cost. By using pumps as turbines the production will be less, but the costs will be reduced.

Symbolforklaring

A	Areal – m^2
b	Bredde
D	Diameter - m
e	Absolutt ruhet
F	Krefter – Newton
f	Frekvens – Hertz (Hz)
g	Gravitasjonskonstant – $9,81m/s^2$
H	Høydeforskjell - meter
L	Lengde – m
μ	Dynamisk Viskositet – Ns/m^2
$*\underline{n}$	Omdreiningstall – rpm
η	Effektivitet
P	Effekt - Watt
p	Trykk – Pa
Q	Vannføring - m^3/s eller m^3/h
\underline{Q}	Redusert vannføring – m^2
Re	Reynoldstall
ρ	Massetetthet - kg/m^3
S	Strouhallet
T	Temperatur - celsius
V	Fart - meter per sekund
$\underline{\Omega}$	Fartstall ved fullt pådrag
$*\underline{\omega}$	Redusert vinkelhastighet - m^{-1}

Innholdsfortegnelse

Dokumenthistorie	2
Sammendrag	3
Abstract	3
Symbolforklaring	4
Figuroversikt	8
Tabelloversikt	9
1. Introduksjon	10
2. Prosjektplan	11
2.1. Mål for prosjektet	11
2.1.1. Tekniske mål	11
2.1.2. Resultatmål	11
2.1.3. Læringsmål	11
2.2. Organisering	12
2.2.1. Gruppemedlemmer	12
2.2.2. Oppdragsgiver	13
2.2.3. Veiledere	13
2.2.4. Sensorer	14
2.3. Administrasjon av prosjektet	15
2.3.1. Dokumentasjon.....	15
2.3.2. Møter	16
2.4. Prosjektmodell	16
2.5. Tidsrammer og frister	19
2.5.1. Aktivitetsplan	20
2.6. Risikoanalyse	23
2.6.1. Innvirkning og konsekvens	23
2.6.2. Sannsynlighet og frekvens	23
2.6.3. Analyse	24
2.6.4. Risikomatrise.....	25
3. Interessestudie	26
3.1. Involverte parter	26
3.1.1. Energiselskapet Buskerud (EB).....	26
3.1.2. Høgskolen i Buskerud og Vestfold (HBV)	26
3.1.3. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).....	27
3.1.4. Jakt- og Fiskerforbundet.....	27
3.1.5. Lokalbefolkning	27
4. Kravspesifikasjon	28
4.1. <i>Krav</i>	28

4.1.1.	Kravoppsett	28
4.1.2.	Funksjonelle krav	29
4.1.3.	Ikke-funksjonelle krav	30
4.2.	<i>Kontekstdiagram</i>	31
4.3.	<i>Målsetninger</i>	31
4.3.1.	Målsetninger for prosessen.....	31
4.3.2.	Målsetninger for systemet	31
4.4.	<i>Tester</i>	32
4.4.1.	Testoppsett	32
4.4.2.	Tester	33
5.	Konseptvalg	34
5.1.	<i>Utredelse av konsepter</i>	34
5.1.1.	Ikke egnede konsepter	35
	36
5.1.2.	Egnede konsepter	36
5.1.3.	Turbinens effektivitetsgrad.....	38
5.2.	<i>Utvelgelse av konsept</i>	39
5.2.1.	Konseptene	40
5.3.	<i>Pugh-matrise</i>	42
5.4.	<i>Begrepsforklaring Pugh-matrise</i>	43
5.4.1.	Kostnader (livssyklus).....	43
5.4.2.	Inntektsgrunnlag	44
5.5.	<i>Vekting</i>	45
5.5.1.	Enhetspris	45
5.5.2.	Installasjon	45
5.5.3.	Drift og vedlikehold	46
5.5.4.	Sanering.....	47
5.5.5.	Inntektsgrunnlag.....	47
5.6.	<i>Valg av konsept</i>	48
5.7.	<i>Detaljert kravspesifikasjon</i>	48
5.7.1.	Krav	48
	<i>Pumpe 0,5 m³/s hele året</i>	50
6.	Design	50
6.1.	<i>Turbin</i>	50
6.1.1.	Sentrifugalpumpe som turbin	51
6.1.2.	Aksialpumpe som turbin	52
6.1.3.	Utregninger pumper	52
6.1.4.	Pumpene	57
6.1.5.	Montering	58
6.1.6.	Vedlikehold	59
6.2.	<i>Generator</i>	60
6.3.	<i>Rør</i>	61
6.3.1.	Materialvalg	61

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

6.3.2.	Rørgate	61
6.3.3.	Dimensjonering	62
6.3.4.	Sugerør	66
6.4.	<i>Varegrind og inntaksluke</i>	67
6.4.1.	Varegrind.....	67
6.4.2.	Grindareal.....	68
6.4.3.	Grindmateriale.....	69
6.4.4.	Form på grindstaver	70
6.4.5.	Krefter som påvirker grinda	70
6.4.6.	Vibrasjoner i varegrinda.....	71
6.4.7.	Falltap i grinda	73
6.4.8.	Heving og senking av varegrind og inntaksluke	74
6.4.9.	Grindrensking.....	75
6.4.10.	Is.....	76
6.5.	<i>Inntaksluke</i>	77
6.6.	<i>Byggteknisk</i>	77
6.6.1.	Fundamentering.....	78
6.6.2.	Sikkerhetstiltak.....	78
6.6.3.	Sanering.....	79
7.	Testing	79
7.1.	<i>Tester</i>	79
8.	Risikoanalyse	82
8.1.	<i>Innvirkning og konsekvens</i>	84
8.2.	<i>Sannsynlighet</i>	84
8.3.	<i>Analyse</i>	85
8.4.	<i>Risikomatrise</i>	86
8.5.	<i>Konklusjon av risikoanalysen</i>	86
9.	Drift og vedlikehold	87
9.1.	<i>Drift</i>	87
9.2.	<i>Vedlikehold</i>	87
9.3.	<i>Inspeksjon</i>	87
9.4.	<i>Driftsplan</i>	88
9.4.1.	Daglig	88
9.4.2.	Ukentlig.....	88
9.4.3.	Månedlig.....	88
9.4.4.	Årlig	88
9.4.5.	Hvert 2. år.....	89
9.4.6.	Hvert 4. år.....	89
10.	Økonomi	92
10.1.	<i>Kostnader</i>	92
10.2.	<i>Inntekter</i>	96
10.3.	<i>Samlet budsjett</i>	97

11. Konklusjon	98
Kilder	99
Vedlegg	102
<i>Vedlegg 1</i>	102
<i>Vedlegg 2</i>	103

Figuroversikt

Figur 1: Prosjektmodell.....	17
Figur 2: Utvidet prosjektmodell.....	18
Figur 3: Risikomatrix.....	25
Figur 4: Kontekstdiagram.....	31
Figur 5: Uegne konsepter.....	36
Figur 6: Egnede konsepter.....	38
Figur 7: Effektivitetskurver.....	39
Figur 8: Etanorm RG 300-340.....	51
Figur 9: Allweiler Allpro PPR.....	52
Figur 10: Snittegning av en Allweiler Allpro PPR pumpe med komponenter.....	58
Figur 11: Vannvei gjennom vertikalt oppstilt pumpe som turbin med generator.....	59
Figur 12: Rørgjennomføring i betongvegg.....	62
Figur 13: Kostnader for rørdiametere mellom 400 og 500mm.....	65
Figur 14: Kostnader for rørdiametere mellom 1000 og 1400mm.....	66
Figur 15: Skisse av et albuesugerør.....	66
Figur 16: Varegrind bak/front.....	69
Figur 17: Statisk analyse ved full tetting.....	71
Figur 18: Medsvingende masse per løpemeter.....	73
Figur 19: Elektrotalje.....	74
Figur 20: Grindrensker.....	75

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

Figur 21: Oversiktsbilde Pikerfoss minikraftverk	77
Figur 22: Risikomomenter fordelt i kategorier.....	83
Figur 23: Risikomatrise hvor hendelsene er kategorisert.....	86
Figur 24: Inspeksjon- og vedlikeholdsplan	91

Tabelloversikt

Tabell 1: Aktivitetsplan.....	22
Tabell 2: Innvirkning og konsekvens	23
Tabell 3: Sannsynlighet og frekvens	23
Tabell 4: Analyse	24
Tabell 5: Pugh matrise.....	42
Tabell 6: Kategorier for innvirkning og konsekvens	84
Tabell 7: Kategorier for sannsynlighet.....	84
Tabell 8: Analyse av hendelser med identifikasjonsnummer.....	85
Tabell 9: Vedlikeholdsrutiner.....	90
Tabell 10: Inspeksjonsrutiner	90
Tabell 11: Byggetekniske kostnader	94
Tabell 12: Drift- og vedlikeholdskostnader	95
Tabell 13: Samlet budsjett over 40 år.....	97

1. Introduksjon

Pikerfoss Kraftstasjon er en stor kraftstasjon som ligger ca. 10 km nord for Kongsberg sentrum. Vannet samles der i en demning og vannet til hovedturbinen går gjennom en lang tunnel som ender lenger ned i elva. Det er imidlertid et krav om at en viss vannføring går over demningen slik at elva ikke skal tørke ut nedenfor.

Det er denne vannføringen som dette minikraftverket er tenkt å utnytte. Den er konsesjonsbestemt til $0,5\text{m}^3/\text{s}$ fra 1. september til 31. mai og $4\text{m}^3/\text{s}$ i de resterende 3 månedene. $0,5\text{m}^3/\text{s}$ av sommervannføringen skal ledes gjennom fisketrappa, så det er da $3,5\text{m}^3/\text{s}$ som er tilgjengelig for produksjon. Ved full produksjon (altså utnyttelse av maksimal sommer- og vintervannføring) vil kraftverket ha en potensiell årsproduksjon på ca. 800.000kWh. En gjennomsnittlig husstand i Norge bruker rundt 20.000 kWh i året. Det vil si man kan forsyne 40 husstander med strøm.

Brutto fallhøyde (altså høydeforskjellen mellom vannspeilet over demningen og vannspeilet nedenfor demningen) er normalt 7,5m. Det er imidlertid litt tap i varegrind og rør slik at netto fallhøyde blir noe lavere.

Det er flere forskjellige måter å omgjøre den potensielle energien i høydeforskjellen på, men den vanligste typen er bruk av en turbin. Et turbinaggregat kan ha flere forskjellige utforminger og i denne rapporten har det blitt utført en konseptutvelgelse for å finne den turbinen som passer best. Både i forhold til utnyttelse av vannets energi, og i forhold til kostnader.

Vannets vei på dette kraftverket går først gjennom en varegrind som stopper det som er av rusk og rask som kan ødelegge turbinen, deretter går det inn i rør ned til turbinen. Ut fra turbinen er det et kort rør som kalles sugerør som gjør at man får utnyttet hele høydeforskjellen.

2. Prosjektplan

2.1. Mål for prosjektet

2.1.1. Tekniske mål

- Produsere strøm av tilgjengelig vannføring.
- Sørgе for at systemet har høy driftstid ved hjelp av gode rutiner for vedlikehold og robuste løsninger.

2.1.2. Resultatmål

- Gi oppdragsgiver et godt beslutningsgrunnlag for å avgjøre om bygging av kraftverket er lønnsomt.
- Presentere arbeidet i rapporter og presentasjoner som viser prosessen og hvilke metoder vi har brukt.

2.1.3. Læringsmål

- Få god innsikt i prosjektarbeid og prosjektstyring.
- Få en større teknisk kompetanse innen fagområdet vannkraftmaskiner.

2.2. Organisering

2.2.1. Gruppemedlemmer

Kenneth Myhrvold

Gruppeleder

kenneth.myhrvold@gmail.com

902 30 334

Thomas Hurwitz Botner

Økonomiansvarlig

tbotner@mac.com

455 19 554

Joachim Ski Torp

Dokumentansvarlig

j.s.torp@gmail.com

414 26 807

Linn Merete Sandvold

Designansvarlig

linnmerete@yahoo.com

957 67 305

Amund Ruud Hval

Testansvarlig

amund.hval@gmail.com

950 71 932

Ansvarsområder

- Prosjektleder
Ansvarlig for at fremgangen i prosjektet går som planlagt og tar seg av kommunikasjon med oppdragsgiver og ekstern veileder.
- Økonomiansvarlig
Ansvarlig for prosjektets budsjett og økonomi, samt gruppens materialbudsjett.
- Dokumentansvarlig
Ansvarlig for at alle dokumenter som leveres inn følger gruppens mal og skolens krav, samt at de leveres innen fristen.
- Designansvarlig
Beskrive hvordan systemet skal se ut og sikre at individuelle deler av systemet fungerer tilfredsstillende sammen.
- Testansvarlig
Ansvarlig for at testing av systemet blir foretatt etter oppsatte testspesifikasjoner, samt verifisere disse.

2.2.2. Oppdragsgiver

EB Kraftproduksjon AS
Ing. Rybergsgate 99
Drammen

2.2.3. Veiledere

- Veileder ved HBV:
Sigmund Gudvangen
Førsteamanuensis
Kongsberg institutt for ingeniørfag
E-post: sigmund.gudvangen@hbv.no

- Veileder ved EB Kraftproduksjon AS:
Helge Martinsen
Vassdragsteknisk ansvarlig
E-post: Helge.Martinsen@eb.no

2.2.4. Sensorer

- Intern sensor fra HBV:
Karoline Moholth
Høgskolelektor
Karoline.Moholth@hbv.no
- Ekstern sensor fra EB:
Jonas Hertel
Seksjonsleder
Jonas.Hertel@eb.no

2.3. Administrasjon av prosjektet

2.3.1. Dokumentasjon

Gruppen skal dokumentere alt som gjøres i prosjektet. Det skal skrives møtereferat fra alle møter, det skal skrives ukentlige oppfølgingsdokumenter samt at alle skal føre timer for arbeid som blir gjort. Gruppen har opprettet en mal som skal brukes i alle dokumenter. Dette kontrolleres av dokumentansvarlig.

Timelister

Alle medlemmer fører egne timelister i Excel etter oppsatt mal. Disse timelistene blir eksportert til et PDF-dokument etter endt uke og lastet opp i gruppens Dropbox. Timelistene vil også følge med som vedlegg til innlevert dokumentasjon.

Oppfølgingsdokument

Etter endt uke skal et oppfølgingsdokument skrives. Dette skal inneholde en oversikt over arbeidet som er gjort og hvem som har vært ansvarlig. Det skal også settes opp en plan for hva hver enkelt i gruppen skal jobbe med kommende uke.

Møtereferater

Etter et møte med intern veileder eller oppdragsgiver skal et møtereferat skrives og sendes til alle deltakere fra møtet innen 24 timer.

2.3.2. Møter

Det skal avholdes ukentlige møter med intern veileder. Gruppen er ansvarlig for innkalling og dagsorden på møtene. Møtene skal være korte og konsise.

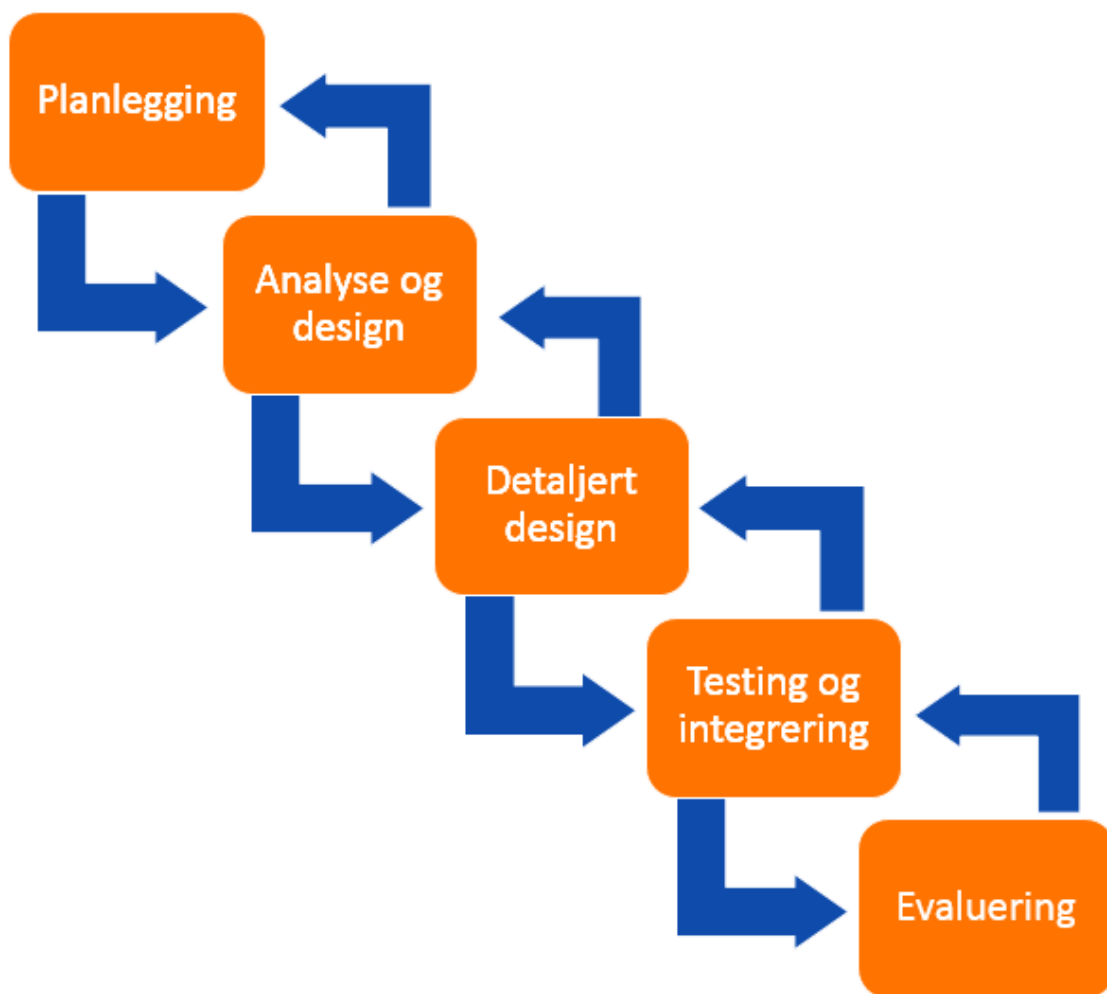
Møter med oppdragsgiver skal avholdes etter behov, enten på oppfordring fra oppdragsgiver eller gruppen.

Gruppen skal i tillegg ha ukentlige møter seg i mellom der det ukentlige arbeidet skal evalueres og det skal legges plan for kommende uke.

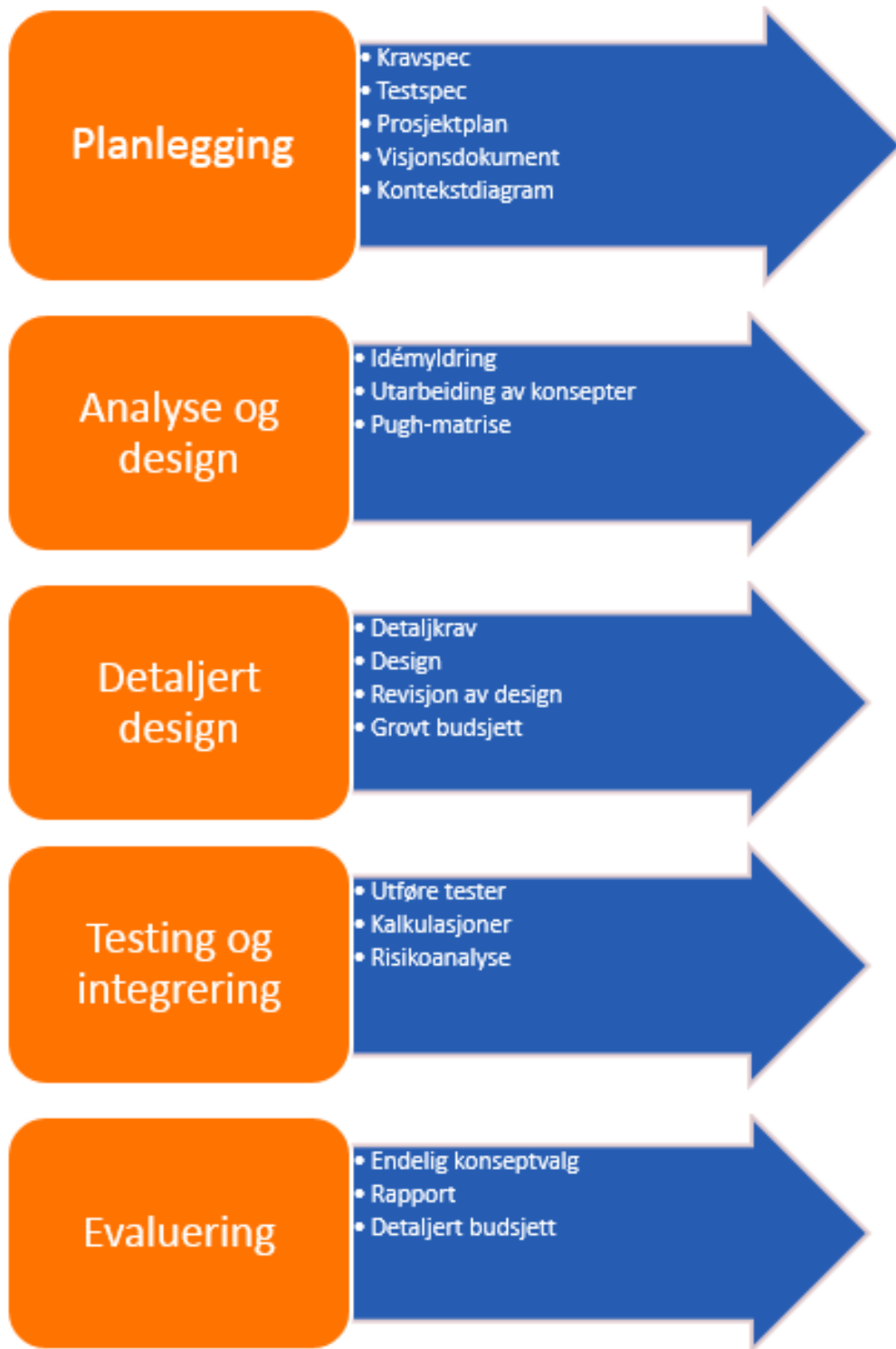
2.4. Prosjektmodell

Vannfallsmodellen er den første systemdesign-modellen som ble laget, og de fleste modeller som har kommet senere er utarbeidet fra denne. Vannfallsmodellen er god for korte prosjekter der det er liten sannsynlighet for endring av krav i løpet av prosjektet og teknologien er godt utarbeidet. Den er dårlig i lange prosjekter der kravene har sjanse for endringer og det behøves innovasjon innenfor fagfeltet for å oppnå ønsket resultat.

På bakgrunn av dette ble vannfallsmodellen ble valgt fordi prosjektet sentrerer seg rundt et fagfelt med mye informasjon og forskning. Minikraftverket skal implementeres i allerede ferdigbygget damanlegg, noe som medfører at kraftverket vil få en fastsatt størrelse. Siden kraftverket skal produsere energi på minstevannføring, vil ikke vannføringen til systemet kunne bli større siden minstevannføringen er konsesjonsstyrt. Gruppen ser det derfor som veldig lite sannsynlig at det vil komme endringer i kravene. Vannfallsmodellen er også lik modellen EB selv bruker ved et slikt prosjekt.



Figur 1: Prosjektmodell



Figur 2: Utvidet prosjektmodell

2.5. Tidsrammer og frister

- Presentasjon 1: 21. februar 2014
En 20 minutters presentasjon der gruppen legger frem prosjektplan, krav- og testspesifikasjon.
- Presentasjon 2: 28. mars 2014
En 20 minutters presentasjon der gruppen legger frem sin fremdrift i prosjektet og presenterer hva prosjektet skal gjøre fremover.
- Eksamen: 9. april 2014
Hele gruppen har eksamen i bruddanalyse denne dagen. Derfor har gruppen satt av 1 uke til eksamenslesing i forkant av denne datoen.
- Påske: 17. til 21. april 2014
Påskehelga er satt av til ferie.
- Innlevering: 26. mai 2014
Innlevering av oppgaven med all dokumentasjon.
- Plakat: 3. juni 2014
Gruppens prosjektplakat skal leveres
- Presentasjon 3: 6. juni 2014
En 40 minutters presentasjon delt inn i to deler med en salgsdel og en teknisk del der gruppen skal presentere hele oppgaven og dens resultat.

2.5.1. Aktivitetsplan

Aktivitets kode	Aktivitet	Sum Timer
Administrativt		640
11000	Møter med EB	50
12000	Veiledermøter	20
13000	Gruppemøter	20
14000	Møtereferater	10
15000	Oppfølgings dokumenter	5
16000	Budsjett	15
17000	Presentasjoner	500
17100	1. Presentasjon	100
17110	PowerPoint	50
17120	Figurer og diagrammer	5
17130	Skriftlig materiell	35
17140	Øving	5
17150	Fremføring	5
17200	2. Presentasjon	100
17210	PowerPoint	50
17220	Figurer og diagrammer	5
17230	Skriftlig materiell	35
17240	Øving	5
17250	Fremføring	5
17300	3. Presentasjon	250
17310	PowerPoint	75
17320	Figurer og diagrammer	40
17330	Skriftlig materiell	75
17340	Øving	50

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

17350		Fremføring	10
18000		Webside	10
19000		Visjonsdokument	10
Planlegging			185
21000		Prosjektplan	105
21100		Prosjektmodell	55
21200		Aktivitetsplan	45
21210		Gantt-diagram	5
21220		Tidsplanlegging	40
21400		Risikoanalyse	10
21500		Innføring	25
21600			
22000		Kravspesifikasjon	60
23000		Testspesifikasjon	20
Analyse og Design			295
31000		Idemyldring	40
32000		Utarbeiding av konsepter	175
32010		Komponentnivå	75
32020		Systemnivå	100
33000		Pugh-matrise	75
Detaljert design			1010
41000		Detaljkrav	10
42000		Design	800
42100		Varegrind	50
42110		Utredning	5
42120		Dimensjonering	20
42130		Design	25
42200		Inntaksluke	50
42210		Utredning	5
42220		Dimensjonering	20
42230		Design	25
42300		Rør	100
42310		Utredning	10
42320		Dimensjonering	40
42330		Design	50

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

42400	Turbin	300
42410	Utredning	30
42420	Dimensjonering	120
42421	Turbinhus	40
42422	Skovler	40
42423	Løpehjul	40
42430	Design	150
42431	Turbinhus	50
42432	Skovler	50
42433	Løpehjul	50
42500	Generator	100
42510	Utredning	10
42520	Dimensjonering	40
42530	Design	40
42600	Systemintegrasjon	200
42610	Integrasjon i byggstruktur	50
42620	Integrasjon mellom subsystemer	75
42630	Slutførelse	75
43000	Revisjon av design	150
44000	Grovt budsjett	50
Testing og integrering		130
51000	Utføre tester	100
52000	Risikoanalyse	30
Evaluering		300
61000	Detaljert budsjett	100
62000	Rapport	200
Diverse		5
70000	Interessedokument	5

Tabell 1: Aktivitetsplan

2.6. Risikoanalyse

Gruppen har utført en risikoanalyse for å få en utredning på hva som kan påvirke prosjektet i en negativ retning. Det ble satt opp en liste over tenkelige scenarioer gruppen så som sannsynlig at kunne inntreffe. Deretter ble disse scenarioene vurdert med tallkarakter både for innvirkning/konsekvens og sannsynligheten for at dette skal inntreffe.

2.6.1. Innvirkning og konsekvens

	Innvirkning på prosjektet	Konsekvens
1.	Svært liten innvirkning	Prosjektet fortsetter uten problemer
2.	Liten innvirkning	Prosjektet fortsetter uten store problemer
3.	Middels innvirkning	Prosjektet stanses, tiltak bør iverksettes
4.	Stor innvirkning	Prosjektet stanses, tiltak iverksettes
5.	Svært stor innvirkning	Prosjektet stanses, kritisk, tiltak iverksettes

Tabell 2: Innvirkning og konsekvens

2.6.2. Sannsynlighet og frekvens

	Sannsynlighet	Frekvens
1.	Svært liten sannsynlighet	Sjeldnere enn 1 gang per 1000 timer
2.	Liten sannsynlighet	Gjennomsnitt 1 gang per 1000 timer
3.	Middels sannsynlighet	Gjennomsnitt 1 gang per 100 timer
4.	Stor sannsynlighet	Gjennomsnitt 1 gang per 10 timer
5.	Svært stor sannsynlighet	Oftere enn 1 gang per 10 timer

Tabell 3: Sannsynlighet og frekvens

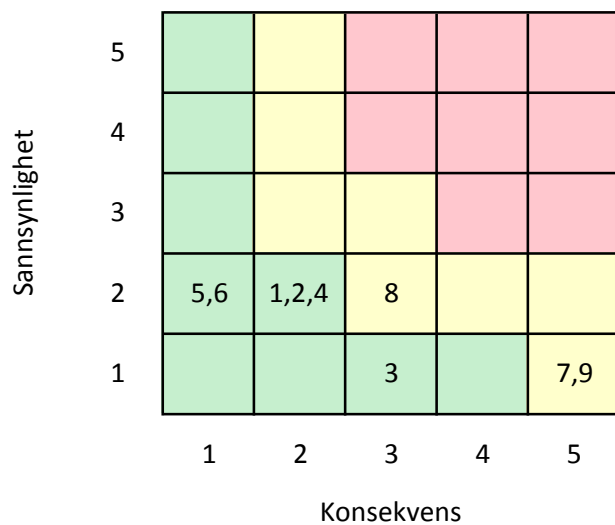
2.6.3. Analyse

ID	Hendelser som kan inntreffe	Mulige årsaker	S*	K*	R*	Tiltak
1.	Manglende engasjement fra gruppemedlemmer	Uinteressant prosjekt, uenigheter.	2	2	4	Møter, vurdere hjelp fra veileder, motivere.
2.	Manglende oppmøte fra gruppemedlemmer	Forsovelse, jobb, velger å ikke delta	2	2	4	Møter, vurdere hjelp fra veileder, motivere.
3.	Manglende engasjement fra ekstern veileder	Nedprioritering av prosjektet, uinteressant.	1	3	3	Møter, vurdere hjelp fra veileder.
4.	Manglende engasjement fra intern veileder	Dårlig kompetanse, uinteressert.	2	2	4	Møter, vurdere hjelp fra tillitsvalgt og/eller dekan
5.	Kommunikasjonssvikt mellom gruppemedlemmer	Uenigheter, frustrasjon, stahet, misforståelser.	2	1	2	Ukemøter, følge oppsatte regler for prosjektet, lage akseptable løsninger.
6.	Kommunikasjonssvikt mellom eksterne parter og gruppen	Nedprioritering, uinteressant, forglemmelse.	2	1	2	Purre på ønsket informasjon, undersøke om eksterne parter kan erstattes.
7.	Deltager(e) i gruppen slutter	Sykdom, personlige årsaker.	1	5	5	Motivere, hjelp fra veileder og/eller dekan.
8.	Ikke overholde frister	Feil prioritering av tid, forglemmelse, misforståelse.	2	3	6	Ukemøter, forbedre kommunikasjon internt i gruppen.
9.	Gruppen mister alt materiale	Feil med Dropbox og PCer.	1	5	5	Jevnlig backup.

Tabell 4: Analyse

* S = sannsynlighet, K = konsekvens, R = risiko ($S * R$)

2.6.4. Risikomatrise



Høy	Ikke akseptabel risiko. Tiltak er nødvendig.
Medium	Akseptabel risiko. Tiltak bør vurderes.
Lav	Akseptabel risiko. Tiltak ikke nødvendig.

Figur 3: Risikomatrise

3. Interessestudie

Interessedokumentet opprettes for å gjøre rede for hvem som berøres av utbyggingen og hvilke påvirkninger disse blir utsatt for. Dette gir en oversikt over hvilke tiltak som kan gjøres for å begrense de negative og fremheve de positive innvirkningene på de berørte.

3.1. Involverte parter

De involverte partene er alle parter som blir direkte eller indirekte berørt av en utbygging av et minikraftverk på Pikerfoss.

3.1.1. Energiselskapet Buskerud (EB)

EB er gruppens oppdragsgiver og vil stå ansvarlig for utbyggingen. De har kommet med krav til systemet som må oppfylles. EB vil stå ansvarlig for den økonomiske delen av prosjektet, som innebærer at alle prosjekterrelaterte kostnader vil dekkes av EB.

3.1.2. Høgskolen i Buskerud og Vestfold (HBV)

Studentgruppen ved HBV, Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk, vil i dette interessedokumentet operere som entreprenører, med oppgave å prosjektere «Pikerfoss minikraftverk» og vurdere om denne prosjekteringen vil være økonomisk forsvarlig.

3.1.3. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

NVE er et kontrollerende organ og har følgende oppgaver:

«NVE kontrollerer at kraftselskapene har beredskap mot havari og sikrer at kraftforsyningens rolle i den sivile beredskapen blir ivaretatt. Vi fører også tilsyn med at eiere av dammer og andre anlegg i vassdragene ivaretar det ansvaret de har for å være forberedt på unormale hendelser, og at de overholder konsesjonsvilkår, manøvreringsreglement og andre regler tilknyttet natur og miljø.» [1]

NVE vil derfor kontrollere at systemet slipper gjennom nok vann med tanke på minstevannføringen, som er konsesjonsstyrt. De vil også kontrollere at systemet er oppført på en sikker og forsvarlig måte.

3.1.4. Jakt- og Fiskerforbundet

Grunnet det lille omfanget et minikraftverk utgjør sammenlignet med hovedkraftverket på Pikerfoss vil det etter alt å dømme ikke påvirke de lokale jakt- og fiskemulighetene.

Utbyggingen av damanlegget på Pikerfoss har medført til svekket ørretbestand, og dette er uavhengig av om det ville blitt produsert elektrisitet av minstevannføring eller ikke. [se vedlegg 1]

3.1.5. Lokalbefolkning

Lokalbefolkningen vil være en interesse i sammenheng med støy. Med støy menes både visuelt støy, samt lydnivå. Utbyggingen kan, spesielt om det skulle være nødvendig med sprengnings- og fundamenteringsarbeid, være sjenerende for de nærmest befolkede områdene. Imidlertid er nærmest befolkede område hele 0,4 km ifra den aktuelle utbyggingslokasjonen med tett skog som skiller dem, og med dette vil disse påvirkes i svært liten grad.

4. Kravspesifikasjon

Kravspesifikasjonen har som hensikt å fremheve de overordnede krav til systemet, der systemets tilgjengelige ressurser, begrensninger og lignende blir definert.

Kravene deles inn i funksjonelle- og ikke-funksjonelle krav. Med funksjonelle krav menes de kravene som direkte påvirker systemet og hva det skal oppnå (inputs og outputs), mens ikke-funksjonelle krav setter føringer for hvordan systemet skal håndtere data. Ved å liste opp disse forskjellige kravene oppnår man bedre oversikt, der man også i testsammenheng kun skal teste de funksjonelle kravene.

4.1. Krav

4.1.1. Kravoppsett

Krav: Her blir kravene nummerert, fra og med «Krav 01», og beskrevet.

Kilde: Hvem satt kravet og når?

Testbart: Kan kravet testes i ettertid eller ikke?

Prioritet: Kravet rangeres på en skala fra A til C, der:

A- Skal oppfylles

B- Bør oppfylles

C- Kan oppfylles

4.1.2. Funksjonelle krav

Krav 01	Systemet skal produsere elektrisk energi.		
Kilde	EB Kraftproduksjon, Helge Martinsen, UKE 4		
Testbart	Ja	Prioritet	A

Krav 02	Vannføringen som kan brukes til strømproduksjon skal, i perioden 01.09-31.05, ikke overstige 0,5m ³ /s.		
Kilde	EB Kraftproduksjon, Helge Martinsen, UKE 4		
Testbart	Ja	Prioritet	A

Krav 03	Vannføringen som kan brukes til strømproduksjon skal, i perioden 01.06-31.08, ikke overstige 3,5 m ³ /s.		
Kilde	EB Kraftproduksjon, Helge Martinsen, UKE 4		
Testbart	Ja	Prioritet	A

Krav 04	Spenningen ut fra systemet skal være 220V med en frekvens på 50Hz.		
Kilde	EB Kraftproduksjon, Helge Martinsen, UKE 4		
Testbart	Ja	Prioritet	A

Krav 12	Vannføringen ut av systemet skal bidra til å lokke fisk opp fisketrappa.		
Kilde	EB Kraftproduksjon, Helge Martinsen, UKE 8		
Testbart	Ja	Prioritet	B

4.1.3. Ikke-funksjonelle krav

Krav 05	Systemet skal integreres i damanleggets nåværende struktur.		
Kilde	EB Kraftproduksjon, Helge Martinsen, UKE 4		
Testbart	Nei	Prioritet	A

Krav 06	Fisketrapp skal være aktiv i perioden 01.06-31.08, med vannføring lik 0,5m ³ /s.		
Kilde	EB Kraftproduksjon, Helge Martinsen, UKE 4		
Testbart	Nei	Prioritet	A

Krav 07	Levetiden på systemet skal være minimum 40 år.		
Kilde	EB Kraftproduksjon, Helge Martinsen, UKE 4		
Testbart	Nei	Prioritet	A

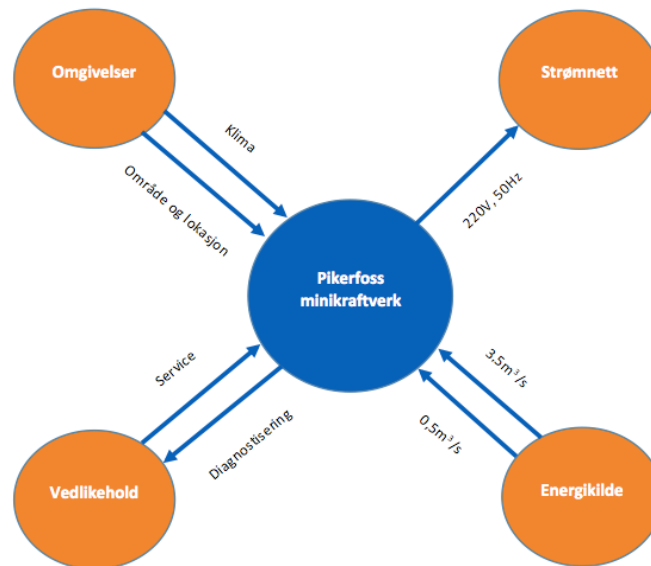
Krav 08	Driftstid på systemet, der systemet produserer elektrisitet, skal være minimum 98 % sett på årlig basis.		
Kilde	EB Kraftproduksjon, Helge Martinsen, UKE 4		
Testbart	Nei	Prioritet	B

Krav 09	Systemet skal ha en grind installert.		
Kilde	EB Kraftproduksjon, Helge Martinsen, UKE 4		
Testbart	Nei	Prioritet	A

Krav 10	Grinden skal ha et rensesystem.		
Kilde	EB Kraftproduksjon, Helge Martinsen, UKE 4		
Testbart	Nei	Prioritet	A

4.2. Kontekstdiagram

Her er de funksjonelle kravene vist i et kontekstdiagram for å lettere å illustrere kravene. Diagrammet viser påvirkning gjort på og av systemet.



Figur 4: Kontekstdiagram

4.3. Målsetninger

4.3.1. Målsetninger for prosessen

- Det er ønskelig å tilnærme seg EB Kraftproduksjon sin modell for tilsvarende prosjekter, for å oppnå en så virkelighetsnær prosjektering som mulig.

4.3.2. Målsetninger for systemet

- Det er ønskelig å bruke vannføringene i begge tidsperioder for å øke strømproduksjonspotensialet.

- Systemets driftstid, avhengig av valg av system, ønskes å være tett opp imot 100 %. Med driftstid menes det når systemet produserer elektrisitet, der både planlagte og ikke-planlagte stopp av systemet trekkes fra.
- Det er ønsket at systemets levetid vil være minimum 60 år.
- Det er ønskelig å skape så optimale forhold for fiskens vandring oppover elva som mulig.
- Systemet ønskes å være brukervennlig og sikkert for operatører og servicepersonell.

4.4. Tester

Testspesifikasjonens hensikt er å vise hva, hvorfor og hvordan vi tester. Dette gjøres for å forsikre at kravspesifikasjonene blir oppfylt. I og med at prosjektet er en teoretisk prosjektering av et minivannkraftverk, vil testene bære preg av kalkulasjoner og god planlegging, fremfor fysiske målinger og tester. Dette vil også medføre at noen krav som i utgangspunktet ville vært testbare ved den fysiske utbyggingen, ikke vil kunne testes i denne teoretiske prosjekteringen.

4.4.1. Testoppsett

Test: Her blir testene nummerert, fra og med «Test 01», og beskrevet.

Utførelse: Viser hvordan testene skal utføres.

Viser til: Her vises det til kravet som skal testes.

Ressurser: Viser hvilke ressurser som trengs for å utføre testen.

4.4.2. Tester

Test 01	Tester om systemet vil produsere energi.		
Utførelse	Teoretisk drøfting med utregninger.		
Viser til	Krav 01	Ressurser	Kalkulator

Test 02	Tester bruk av vannføring, $0,5m^3/s$.		
Utførelse	Teoretisk drøfting med utregninger.		
Viser til	Krav 02	Ressurser	Kalkulator

Test 03	Tester bruk av vannføring, $3,5m^3/s$.		
Utførelse	Teoretisk drøfting med utregninger.		
Viser til	Krav 03	Ressurser	Kalkulator

Test 04	Tester spenningen ut fra systemet.		
Utførelse	Velge riktig generator.		
Viser til	Krav 04	Ressurser	Ingen

Test 05	Tester spenningsfrekvensen ut fra systemet.		
Utførelse	Velge riktig generator.		
Viser til	Krav 04	Ressurser	Ingen

Test 06	Tester plassering og arealbegrensninger for systemet.		
Utførelse	Måle opp tilgjengelig plass, begrense komponentstørrelser.		
Viser til	Krav 05	Ressurser	Ingen

Test 07	Tester om vannføringen ut av systemet kan bidra til å lokke fisk opp fisketrappa.		
Utførelse	Teoretisk drøfting, planlegging og kalkulasjoner.		
Viser til	Krav 12	Ressurser	Ingen

Test 08	Tester for riktig vannmengde i fisketrappa.		
Utførelse	Teoretiske kalkulasjoner.		
Viser til	Krav 06	Ressurser	Kalkulator

Test 09	Tester om prosjekteringen er i henhold til HMS-forskrifter.		
Utførelse	Teoretisk drøfting og planlegging.		
Viser til	Krav 11	Ressurser	Ingen

5. Konseptvalg

En idemyldring gjennomføres for å få oversikt over ulike konsepter og gi mulighet for å kunne velge det beste konseptet for systemet. Gruppen foreslo i felleskap ulike konsepter for design av vannkraftverket ved muntlig å legge frem så mange konseptforslag som mulig. Aktiviteten utføres uten å vektlegge validiteten på konseptene, slik at alle konseptene er likestilte. Det legges fokus på fri flyt av ideer hvor kvantitet gjelder fremfor kvalitet slik at ingen forslag utelates. Dette gir muligheter for at ulike ideer kan kombineres, endres eller bygges videre på. Vannfallsmodellen brukt i dette prosjektet gjør at konseptutvelgelsesfasen er veldig viktig, da muligheter for iterasjon er svært begrenset senere i prosjektfasen.

5.1. Utredelse av konsepter

Under idemyldringen ble det satt opp et utvalg konsepter som ble delt opp i to kategorier, ikke egnede og egnede. De ikke egnede konseptene ble ekskludert fra konseptutvelgelsen fordi de

ligger langt utenfor vårt bruksområde (se figur 5). De egnede konseptene ble det gjort en grundigere evaluering av, da de faller innenfor bruksområdet (se figur 6).

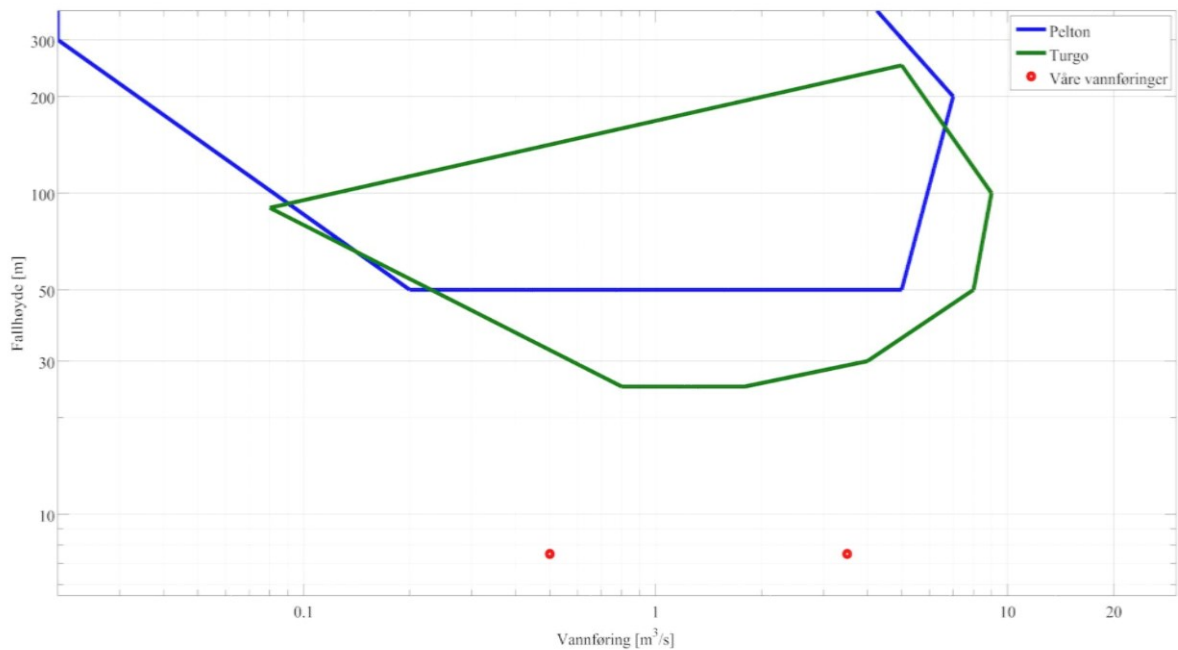
5.1.1. Ikke egnede konsepter

Peltonturbin

Peltonturbinen er en impulsturbin, som vil si at vannets potensielle energi (høydeforskjellen) omgjøres til kinetisk energi før det sendes gjennom en dyse. Fra dysen blir vannet rettet inn på kurvede turbinblader som konverterer vannets energi til mekanisk arbeid. I motsetning til tradisjonelle turbiner, som er fullstendig dykket i vann, så går peltonturbinens løpehjul i friluft. Dette gjør at man ikke har mulighet til å ta i bruk et sugerør under turbinen og man vil derfor miste noe fallhøyde. Peltonturbinen brukes primært ved store fallhøyder og liten vannføring. [2]

Turgoturbin

Turgoturbinen er også en impulsturbin og er en videreutvikling av peltonturbinen. Dens fordeler sammenlignet med peltonturbinen, er at den er rimeligere å produsere og at den kan utnytte større vannmengder. Den brukes ved store fallhøyder og liten vannføring, dog er den ikke like godt egnet som Pelton ved de største fallhøydene. Den blir ofte brukt i bruksområdet der Francis- og peltonturbinene overlapper hverandre. [4]



Figur 5: Uegnede konsepter

5.1.2. Egnede konsepter

Tverrstrømturbin

En tverrstrømturbin har flere kammer som gjør at den har særdeles gode egenskaper ved varierende vannføring. Vanlig bruksområde for denne typen turbin er ved liten vannføring og ved lav til middels fallhøyde. I en tverrstrømturbin passerer vannet gjennom hjulet to ganger, som medfører selvrensende egenskaper. Turbinen har forholdsvis lav enhetskostnad. [3]

Francisturbin

Francisturbinen er den mest brukte vannturbinen, da den dekker et stort område hva gjelder fallhøyde og vannføring. Francisturbinen kan leveres med både vertikal og horisontal aksel. På større kraftverk brukes som oftest vertikal, mens på mindre kraftverk brukes både vertikal og horisontal. [2]

Kaplanturbin

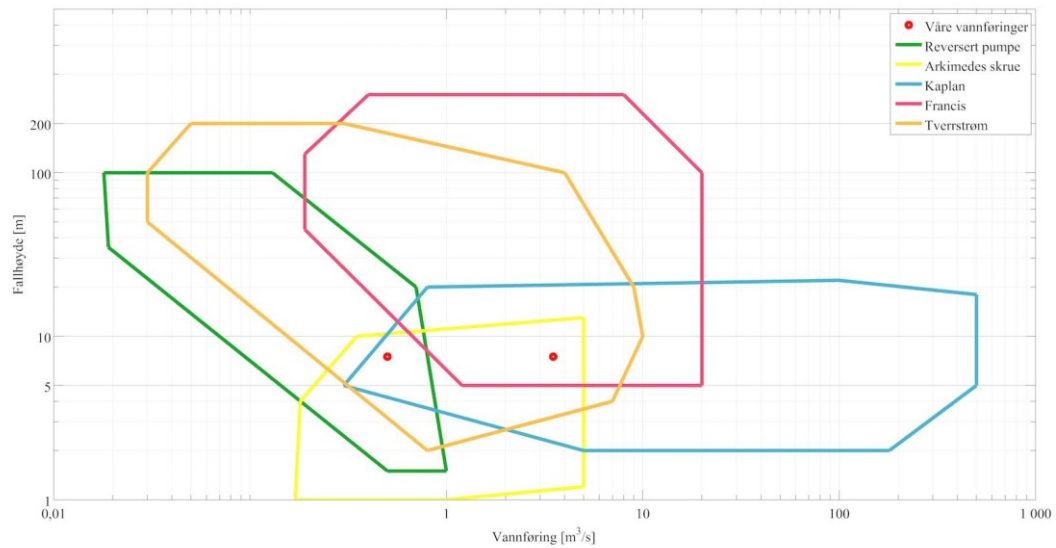
I en kaplanturbinen strømmer vannet aksielt gjennom turbinhjulet. I likhet med francisturbinen har også kaplanturbinen et ledeapparat som kontrollerer vannføringen inn til turbinhjulet. Turbinhjulet har utforming som en båtpropell og har normalt 4 til 7 blader. I en tradisjonell kaplanturbin kan ledeapparat og propellblader justeres, men man kan også ha en turbin der kun ledeapparatet eller propellen er justerbar. Dette kalles en semi-kaplanturbin. Ved fast vannføring kan man bruke en turbin uten justeringsmuligheter, som da kalles en propellturbin. Kaplanturbinen er godt egnet for elvekraftverk, da den passer best for lave fallhøyder og stor vannføring. [2] [5]

Reversert pumpe

En pumpe og en turbin har i utgangspunktet lik oppbygging. En tradisjonell pumpe er utstyrt med en elektrisk motor som driver pumpen rundt. Derimot vil en reversert pumpe drives av vannet, hvor motoren brukes som generator for så å produsere elektrisitet. Den store fordelene ved å bruke pumper som turbiner, er at det produseres vesentlig flere pumper enn turbiner, og de er derfor rimeligere. Reversert pumpe er best egnet ved lave fallhøyder og liten vannføring, men den har et begrenset reguleringsområde.

Arkimedes skrue

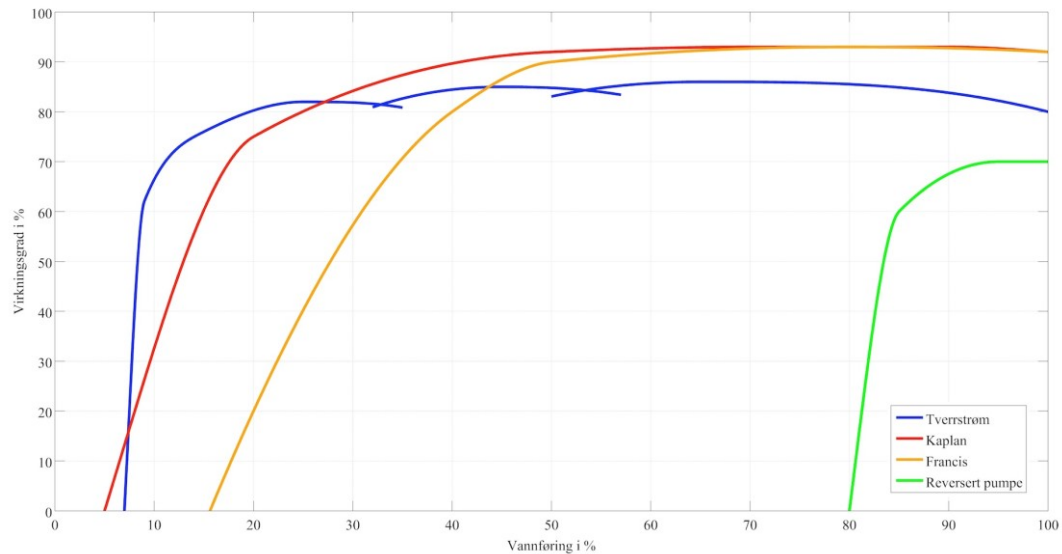
Den greske vitenskapsmannen Arkimedes (287f.kr-212f.kr) fant opp en pumpe som flyttet vann oppover ved hjelp av en skrue. De siste årene har flere selskaper brukt dette prinsippet til å produsere elektrisitet. Arkimedes skrue kan egentlig ikke kalles en turbin da det kun er vannets vekt som flytter skruen, ikke trykket eller farten. Den fungerer best ved lave fallhøyder og liten vannføring. [4]



Figur 6: Egnede konsepter

5.1.3. Turbinens effektivitetsgrad

Turbinens effektivitetsgrad defineres som; hvor mye av den potensielle energien tilgjengelig som turbinen klarer å utnytte. En turbin vil aldri kunne utnytte 100% av energien, mest på grunn av tap i form av friksjon og utformingen av skovlene. Siden effektivitetsgraden varierer fra turbin til turbin, ble det laget et diagram over de forskjellige turbinenes effektivitetsgrad, for å kunne se de opp mot hverandre.



Figur 7: Effektivitetskurver

Forklaring av kurvene

- I effektivitetsdiagrammet tilsvarer $3,5\text{m}^3/\text{s}$ 100% og $0,5\text{m}^3/\text{s}$ 14% av vannføringen.
- Tverrstrøm: Kurven vil få denne spesielle formen grunnet de forskjellige kamrene.
- Kaplan: Denne kurven går ut fra at justerbare skovler brukes og den får derfor et bredt bruksområde.
- Francis: Denne turbinen har et smalt bruksområde og kan derfor bare brukes effektivt ved sommervannføringen
- Reversert pumpe: Kurven viser effektivitetsgraden til en enkelt pumpe, optimalisert til en av systemets vannføringer.

5.2. Utvalgelse av konsept

Ved utvalgelse av mulige konsepter, ble det benyttet en Pugh-matrise. Her vil de forskjellige konseptene vurderes opp mot hverandre, basert på innsamlet data. Hvert punkt vil få en poengsum mellom 1 og 5, som deretter ganges med et vektall. Produktet av disse vil gi en total poengsum som gir en indikasjon på hvor godt turbinen vil fungere, basert på de valgte kriteriene. Konseptene med de høyeste poengsummene vil vurderes som de mest egnede.

Ikke alle de egnede konseptene er med i Pugh-matrisen, selv om de tekniske data samsvarer med data satt for systemet tidligere i prosjekteringen. Dette er basert på andre, viktige faktorer som for eksempel kostnader, plass og vedlikehold.

Det finnes flere typer kaplanturbiner som kan velges, men kum-turbin med kun justerbare skovler ville være den kaplanturbinen som passer best for systemet. Grunnet prosjektets strenge kostnadsrammer vil fulljusterbare kaplanturbiner ekskluderes. Propellturbiner vil også ekskluderes grunnet manglende evne til å utnytte begge vannføringer. De resterende semi-kaplanturbinene, s-turbin og bulb-turbin, vil bli ekskludert på grunnlag av kostnader sett opp mot kum-turbinen, samt at ved denne turbinstørrelsen vil vedlikehold vise seg betydelig mer komplisert for bulb-turbin.[6] Derfor er kum-turbinen, med kun justerbare skovler, den eneste kaplan løsningen som tas med i Pugh-matrisen.

Arkimedes skrue er også et passende alternativ for systemet, men denne ville krevd store modifikasjoner på damstrukturen, samt at det ville ført til plassproblemer. Det foreligger ingen dokumentasjon for Arkimedes skrue ved kalde klimaer, og dermed vises det stor skepsis til at den vil kunne takle det nordiske klimaet.

5.2.1. Konseptene

Tverrstrømturbin

Tverrstrømturbinen har et bredt arbeidsområde og vil kunne brukes på begge vannføringer. Den har ikke fullt så høy virkningsgrad, men er tilfredsstillende ved både sommervannføring og vintervannføring.

Francis vertikal

Den vertikale francisturbinen har god virkningsgrad, men har ikke et bredt arbeidsområde. Derfor vil dette konseptet bare bli brukt på sommervannføringen.

Francis horisontal

Egenskapene til den horisontale francisturbinen kan sammenlignes med den vertikale. Forskjellen er at den horisontale har noe lavere kostnad og den vertikale er mindre utsatt for flom. I likhet med den vertikale vil denne kun brukes ved sommervannføring.

Kum-turbin (Kaplan)

Kum-turbinen har justerbare skovler, og har derfor god virkningsgrad både ved sommer- og vintervannføring. Normalt er skovlene i kum-turbinen hydraulisk justert, men ettersom dette systemet kun har 2 faste vannføringer å ta hensyn til, vil det her bli brukt en mekanisk justering som vil senke kostnadene.

Reversert pumpe, 3,5m³/s

Denne reverserte pumpeløsningen er kun tiltenkt å utnytte sommervannføringen. Systemet vil bestå av flere reverserte pumper, da leverandører av slike reverserte pumper ikke leverer dimensjoner for 3,5m³/s. [7] Dette medfører da at man derfor kan unngå nedetid hvis én reversert pumpe får driftsstans.

Reversert pumpe, 0,5m³/s

Dette konseptet har kun en reversert pumpe som utnytter 0,5m³/s vannføring gjennom hele året. Dette er den mest økonomiske løsningen men den har det minste produksjonspotensialet av alle konseptene

Reversert pumpe, 0,5m³/s + 3,0m³/s

Dette konseptet har flere reverserte pumper som utnytter begge vannføringene. Dette er den dyreste av de reverserbare pumpeløsningene, men den vil også produsere mer enn de andre.

5.3. Pugh-matrise

Turbiner															
Kriterier	Vekt	Tverrstrøm		Francis Vertikal		Francis Horisontal		Kum-turbin (Kaplan)		Reversert pumpe 3,5m³/s		Reversert pumpe 0,5m³/s		Reversert pumpe 0,5m³/s + 3,0m³/s	
		Poeng	Total	Poeng	Total	Poeng	Total	Poeng	Total	Poeng	Total	Poeng	Total	Poeng	Total
Kostnader (Livssyklus)	70														
Enhetspris	25	3	75	2	50	2	50	2	50	4	100	5	125	4	100
Installasjonskostnader	15	4	60	2	30	3	45	2	30	4	60	5	75	4	60
Drift- og vedlikehold	25														
<i>Reparasjonskostnader</i>	10	3	30	4	40	4	40	4	40	3	30	5	50	3	30
<i>Delekostnader</i>	10	4	40	3	30	3	30	3	30	5	50	5	50	5	50
<i>Tapt produksjon/nedetid</i>	5	2	10	3	15	3	15	3	15	5	25	3	15	5	25
Sanering	5	4	20	2	10	4	20	2	10	3	15	5	25	3	15
Delsum			235		175		200		175		280		340		280
Inntektgrunnlag	30														
Potensiell produksjon	15	5	75	3	45	3	45	5	75	3	45	2	30	5	75
Effektivitet	15	3	45	5	75	5	75	4	60	2	30	2	30	2	30
Delsum			120		120		120		135		75		60		105
Sum poeng	100		355		295		320		310		355		400		385

Tabell 5: Pugh matrise

5.4. Begrepsforklaring Pugh-matrise

5.4.1. Kostnader (livssyklus)

Enhetspris

Innkjøpskostnad for turbin iberegnet de turbinspesifikke komponentene som er nødvendig, fra innkobling på inntaksluke, til utslippsrør.

1 beskrives som svært høy enhetspris og 5 beskrives som svært lav.

Installasjon

Kostnader for installasjon av komplett turbinoppsett, der frakt og grunnarbeid er inkludert i vurderingen.

1 beskrives som svært høy installasjonskostnad og 5 beskrives som svært lav.

Drift- og vedlikehold

Reparasjonskostnader

Kostnader for reparasjoner som må utføres på anlegget. Under dette punktet er også innhenting av eksperthjelp fra inn- og utland iberegnet.

1 beskrives som svært høye reparasjonskostnader og 5 beskrives som svært lave.

Delekostnader

Kostnader for selve delene som må skiftes ved vedlikehold og reparasjoner av anlegget.

1 beskrives som svært høye delekostnader og 5 beskrives som svært lave.

Tapt produksjon/nedetid

Tapte inntekter grunnet nedetid, der anlegget ikke produserer elektrisitet.

1 beskrives som svært høyt forventet tap av produksjon, mens 5 beskrives som svært lavt.

Sanering

Kostnader for å tilbake stille området til opprinnelig stand.

1 beskrives som svært høy saneringskostnad, mens 5 beskrives som svært lav.

5.4.2. Inntektsgrunnlag

Potensiell produksjon

Den totale, potensielle produksjonen de forskjellige systemene kan ha, der det tas i betraktning hvilke vannføringer og fallhøyder de forskjellige systemene er designet for å utnytte.

1 beskrives som svært lav potensiell produksjon og 5 beskrives som svært høy.

Effektivitet

Her blir systemene vurdert opp mot sitt respektive formål, der det allerede er definert hvilken/hvilke vannføring(er) systemet skal utnytte. Faktorer som utnyttelse av fallhøyde og effektivitetsgrad ved systemenes bruksområder er vurdert.

1 beskrives som svært lav virkningsgrad og 5 beskrives som svært høy.

5.5. Vekting

Før karakterer gis i de forskjellige kategoriene, må det bestemmes hvor mye hver kategori skal vektlegges. Det ble bestemt at kostnader skulle vektlegges 70% og inntektsgrunnlag 30%. Dette fordi det lave produksjonsgrunnlaget vil gjøre kostnader viktigere enn inntektsgrunnlag.

- Enhetsprisen er vektet høyest ettersom dette er den største kostnaden ved systemet.
- Installasjonskostnader er en lavere utgift enn enhetspris og er derfor vektet lavere.
- Grunnet systemets lave produksjon vil ikke uforutsett nedetid medføre store kostnadmessige tap, og er derfor vektet lavere enn reparasjonskostnader og delekostnader. Reparasjonskostnader, delekostnader og tapt produksjon er vektet med 10%, 10% og 5% respektivt.
- Potensiell produksjon og effektivitet er kriteriene som beskriver inntektsgrunnlaget for systemet. De vektet med 15 prosent hver.

5.5.1. Enhetspris

I denne kategorien fikk reversert pumpe 0,5m³/s høyest karakter. Dette er fordi løsningen med en enkelt reversert pumpe vil bli rimeligst. De andre pumpeløsningene fikk lavere karakterer da disse krever flere pumper for å fungere tilfredsstillende på ulike vannføringer. Grunnet mekanisk justering på skovlene i kaplan-løsningen, vil denne kunne sammenlignes med Francis-løsningene i enhetspris.

5.5.2. Installasjon

Her fikk reversert pumpe 0,5m³/s høyeste karakter siden denne krever minst utbygging. De andre reverserte pumpeløsningene er større og mer kompliserte og har derfor fått noe lavere karakter. Både horisontal Francis og kaplanturbinen vil kreve en større betongkonstruksjon enn de andre løsningene. Tverrstrømturbinen er i likhet med pumpene en enkel turbin å installere og har derfor fått høy karakter.

5.5.3. Drift og vedlikehold

Reparasjonskostnader

Her får reversert pumpe 0,5m³/s høyeste karakter. Kostnadene av arbeidet som utføres i forbindelse med reparasjon er antatt å være lave for alle reversert pumpe-løsningene. Flerpumpe-løsningene får lavere karakter enn singelløsningen ettersom flere pumper antas å kreve mer reparasjon. Francis- og kaplan-løsningene får også relativt høye karakterer da disse er godt etablerte løsninger og forventes derfor å ha lavere feilrate. Tverrstrøm får karakteren 3, da det etter samtale med Erik Nilsen ved Fadum tekniske kom frem at tverrstrømturbinene som har vært installert i Norge har hatt problemer, og mange har blitt byttet ut etter bare 10 år.

Delekostnader

Alle tre reversert pumpe-løsningene er tildelt karakteren 5 grunnet lett tilgang på komponenter, og disse er rimelige. Tverrstrømturbinen har i likhet med reversert pumpe-løsningene rimelige komponenter, men disse må bestilles fra utlandet. Komponenter til kaplan- og francisturbinene må spesialbestilles, og disse løsningene får dermed lavere karakterer.

Tapt produksjon/nedetid

Flerpumpeløsningene får høyeste karakter ettersom disse kan opprettholde produksjonen ved stans av en eller flere pumper. Dette kan ikke reversert pumpe 0,5m³/s, Francis eller kaplan og disse får derfor karakteren 3. Tverrstrømturbin gis karakteren 2 grunnet lenger ventetid ved visse reparasjoner der det er nødvendig med eksperthjelp fra utlandet.

5.5.4. Sanering

Vertikal Francis og kaplan-turbinen krever mer omfattende fundamentering enn de andre løsningene, som fører til økte saneringskostnader. Disse får derfor karakteren 2.

Flerpumpeløsningene inneholder fler komponenter og blir trukket noe i karakter på grunn av dette.

5.5.5. Inntektsgrunnlag

Potensiell produksjon

Her blir karakter gitt etter hvor mye potensiell effekt som kan utnyttes. Løsninger som utnytter begge vannføringene (803 450kWh/år) er tildelt høyest karakter. Francisturbinene og reversert pumpeløsningen som kun utnytter sommervannføring (562 402kWh/år) fikk karakter 3. Singelpumpeløsningen som kun går på vintervannføring hele året (321 398kWh/år), ble gitt karakteren 2.

Effektivitet

Francisturbinene får her høyeste karakter grunnet høy virkningsgrad ved vannføringen som skal utnyttes. Kaplanturbinen får karakteren 4 da den har høy virkningsgrad ved sommervannføring og akseptabel virkningsgrad ved vintervannføring. Tverrstrømturbinen har høyest virkningsgrad av alle turbinene ved vintervannføring, men har noe lavere virkningsgrad enn andre turbiner ved sommervannføring. Denne får derfor karakteren 3. Reversert pumpe-løsningene får karakteren 2 da de har lavest virkningsgrad.

5.6. Valg av konsept

I en intern diskusjon ble det gjort en sammenligning av resultatene i Pugh-matrisen for å avgjøre hvilke konsepter som skulle vurderes videre i detaljert design. Her ble det avgjort at de tre reversert pumpe-løsningene anses som de beste konseptene for systemet. Reversert pumpe $0,5\text{m}^3/\text{s}$ fikk høyest totalsum i Pugh-matrisen, og ettersom denne har mange fellestrekk de to andre reversert pumpe-løsningene, blir disse også vurdert med videre.

5.7. Detaljert kravspesifikasjon

Detaljerte krav opprettes for å få en oversikt over krav som er avhengige av det valgte konseptet. Dette er krav som ikke ville vært gjeldene for alle mulige konsepter og disse kunne derfor ikke settes opp som kravspesifikasjon tidligere i prosjektet. De detaljerte kravene vil kunne gi gode retningslinjer til konseptet skal designes, ved å gi en enda bedre klarhet på hvordan systemet skal fungere.

5.7.1. Krav

De forskjellige løsningene for pumpene, enten om man bruker alt vannet hele året, bare sommervannføring eller fast vintervannføring hele året, vil gjøre at noen av de detaljerte kravene bare vil gjelde for enkelte av løsningene vi har, og er derfor satt opp hver for seg.

Pumpe helårsløsning ($0,5\text{ m}^3/\text{s}+3,0\text{ m}^3/\text{s}$)

Krav 11	Systemet skal ha mulighet til å stenge av de turbiner som ikke er i bruk ved forskjellige vannføringer.		
Kilde	Gruppen, Uke 12	Prioritet	A

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

Krav 12	Ved sommervannføring skal systemet ha mulighet til å fortsette å produsere elektrisitet dersom en av turbinene bryter ned.		
Kilde	Gruppen, Uke 12	Prioritet	B

Krav 13	Systemet skal bruke en enkelt turbin ved 0,5 m ³ /s vannføring		
Kilde	Gruppen, Uke 12	Prioritet	A

Krav 14	Systemet skal bruke flere turbiner ved 3,5 m ³ /s vannføring		
Kilde	Gruppen, Uke 12	Prioritet	A

Pumpe kun sommervannføring (3,5 m³/s)

Krav 11	Systemet skal ha mulighet til å stenge av de turbiner som ikke er i bruk ved forskjellige vannføringer.		
Kilde	Gruppen, Uke 12	Prioritet	A

Krav 12	Ved sommervannføring skal systemet ha mulighet til å fortsette å produsere elektrisitet dersom en av turbinene bryter ned.		
Kilde	Gruppen, Uke 12	Prioritet	B

Krav 14	Systemet skal bruke flere turbiner ved 3,5 m ³ /s vannføring		
Kilde	Gruppen, Uke 12	Prioritet	A

Pumpe 0,5 m³/s hele året

Krav 13	Systemet skal bruke en enkel turbin ved 0,5 m ³ /s vannføring		
Kilde	Gruppen, Uke 12	Prioritet	

6. Design

Etter en gjennomgang av de valgte konseptene har gruppen valgt å kun gå videre med helårsløsningen. Det vil si at det brukes en turbin som utnytter vintervannføringen (0,5m³/s) hele året, samt en turbin som i de tre sommermånedene utnytter de resterende 3m³/s. Merkostnadene med full utnyttelse av vannføringene er et ekstra rør, en turbin og en generator. Det byggetekniske, luke og varegrind vil være det samme uansett valgt løsning.

6.1. Turbin

Ved å bruke en pumpe som turbin får man en rekke fordeler. Lav enhetspris grunnet enkelt design og masseproduksjon fører til lavere installasjonsutgifter, som kombinert resulterer i et prisgunstig konsept. Masseproduksjon gir i tillegg stor tilgang på reservedeler og kort leveringstid, og det enkle designet gjør at en pumpe krever minimalt med vedlikehold. Selv med noe lavere effektivitet, gir de lave kostnadene likevel muligheter for at små kraftverk med begrenset produksjon kan bli profitable.

Ved valg av egnede pumper ble det lagt til grunne hydrauliske data, som eliminerte flere pumpetyper. De gjenstående, egnede pumpene var av typen sentrifugalpumpe og aksialpumpe. Disse pumpetyperne kan utseendemessig sammenlignes med Francis- og kaplanturbiner. Med dette støttes det også oppunder vurderingene i Pugh-matrisen tidligere i oppgaven, se kapittel 5.3, der begge disse turbinene var aktuelle og egnede konsepter. Her var den avgjørende faktoren for at disse ikke ble med videre i utvelgelsesprosessen de høye kostnadene.

6.1.1. Sentrifugalpumpe som turbin

En type sentrifugalpumpe som er egnet, er Etanorm RG 300-340, fra KSB. Denne oppfyller kravene om de hydrauliske data ved helårsvannføringen på $0,5\text{m}^3/\text{s}$.



Figur 8: Etanorm RG 300-340

Som turbin har denne pumpen en slukeevne på $0,25\text{m}^3/\text{s}$ ved 7,5 meters fallhøyde, som betyr at man trenger 2 slike pumper for å kunne utnytte helårsvannføringen. Dersom disse pumpene skulle utnyttet sommervannføringen på $3,5\text{m}^3/\text{s}$ ville det vært behov for 14 pumper, noe som ville komplisert og fordyret systemet betraktelig.

Sentrifugalpumper som turbiner egnest bedre ved høyere fallhøyder og lavere vannføringer enn det som er på Pikerfoss, og dette er grunnen til det begrensede utvalget.

6.1.2. Aksialpumpe som turbin

Den mer gunstige løsningen er en propellpumpe fra Allweiler, Allweiler Allpro PPR. Denne tillater at totalvolumet ved sommervannføringen kan fordeles på to pumper, en som utnytter 0,5m³/s vannføring og en som utnytter 3,0m³/s vannføring. Den minste pumpen vil være i drift hele året mens den største pumpen vil kun være i drift mellom 1.juni og 31. august.



Figur 9: Allweiler Allpro PPR

6.1.3. Utregninger pumper

Som nevnt i innledningen er en aksialpumpe og en kaplanturbin (propellturbin uten justerbart ledeapparat) i prinsippet samme maskinen. Derfor er det, ved dimensjonering av turbinen, blitt valgt ligninger som opprinnelig er tilpasset kaplanturbiner. Disse ligningene vil ikke være helt nøyaktige, men gi en tilnærmet verdi for nødvendig størrelse for bladene.

Etter tilbakemeldinger fra Allweiler sin tekniske avdeling i Tyskland, ble det presentert to pumper som mulige løsninger for utnyttelse av fallhøyden og vannføringene som er til rådighet på Pikerfoss. Det ønskes å bevise ved kalkulasjoner, at disse anbefalingene stemmer.

Omregning fra pumpe til turbin

Ettersom en pumpe hydrauliske data ikke blir de samme når den brukes som turbin, må det, ved valg av passende pumpe, regnes om noen verdier. Da brukes det gitte faktorer for omregning av vannføringen til pumpekapasitet, og fra fallhøyde til pumpehøyde. [8]
Fallhøyden er inkludert tap i varegrind og rør (kapittel 6.3.3 og 6.4.7)

Pumpehøyde:

$$h_{p0,5m^3/s} = \frac{H_e - H_{tap}}{1,2} = \frac{7,5m - 0,385m}{1,2} = 5,92m$$

$$h_{p3,0m^3/s} = \frac{H_e - H_{tap}}{1,2} = \frac{7,5m - 0,161m}{1,2} = 6,12m$$

Pumpekapasitet:

$$Q_{0,5m^3/s} = \frac{0,5 m^3/s}{1,1} = 0,45 m^3/s = 1620m^3/h$$

$$Q_{3,0m^3/s} = \frac{3,0m^3/s}{1,1} = 2,73 m^3/s = 9828m^3/h$$

Det trengs derfor pumper som har pumpehøyde nær 6m som mulig og pumpekapasitet nær 1620m³/h og 9828m³/h.

Vannføring 0,5m³/s

Basert på omregningene, vil i teorien en pumpe med pumpekapasitet tilsvarende 0,45 m³/s (1620 m³/h) og pumpehøyde tilsvarende 5,92m være ideell. Allweiler har en passende aksialpumpe med kapasitet på 0,44 m³/s (1600 m³/h) ved fallhøyde 6,0m. [9]

Beregner natureffekt:

$$P_{nat} = \frac{\rho g H_e Q}{1000} = \frac{1000 kg/m^3 \cdot 9,81 m/s^2 \cdot 7,5 m \cdot 0,5 m^3/s}{1000} = 36,79kW$$

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

Beregner fallhøydetap fra grind og rør:

$$H_n = H_e - H_{tap}$$

$$H_n = 7,5m - 0,385m = 7,115m$$

Beregner redusert vinkelhastighet:

$$\underline{\omega} = \frac{\pi \cdot n}{30 \cdot \sqrt{(2 \cdot g \cdot H_n)}}$$

$$\underline{\omega} = \frac{\pi \cdot 1500\text{rpm}}{30 \cdot \sqrt{(2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 7,115\text{m})}} = 13,295\text{m}^{-1}$$

Beregner fartstall ved 1500rpm:

$$\underline{\Omega} = \underline{\omega} \cdot \sqrt{Q}$$

$$\underline{\Omega} = 13,295\text{m}^{-1} \cdot \sqrt{\frac{0,5 \text{ m}^3/\text{s}}{\sqrt{(2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 7,115\text{m})}}} = 2,735$$

Beregner løpehjulsdiameter:

$$D_1 = \frac{2 \cdot u_1}{\underline{\omega}} = \frac{2 \cdot \frac{u_1}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_n}}}{\underline{\omega}} \quad [9]$$

$$D_1 = \frac{2 \cdot \frac{25,03 \text{ m/s}}{\sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 7,115\text{m}}}}{13,295 \text{ m}^{-1}} = 319\text{mm} \quad [9]$$

Produsent anbefalingen av løpehjulsdiameteren D_1 er 350mm ved gitte hydrauliske data. Ved bruk av kaplanligninger for utregninger på pumpen i reversert tilstand, anses denne utregningen for å være et troverdig estimat.

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

Beregner netto levert effekt:

$$P_{netto} = \frac{\rho g H_n Q}{1000} \cdot \eta_{turbin} \cdot \eta_{overføring} \cdot \eta_{generator} [kW]$$

$$P_{netto} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 7,115 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m}^3/\text{s}}{1000} \cdot 0,7374 \cdot 0,98 \cdot 0,92 = 23,2 \text{ kW}$$

Beregner netto produksjon pr år:

$$\begin{aligned} &= P_{netto} \cdot (\eta_{oppetid} \cdot 8760 \text{ timer}) [kWh] \\ &= 23,2 \text{ kW} \cdot (0,98 \cdot 8760) = 199\,187,1 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Beregner budsjettgrunnlag for prosjektering:

$$\begin{aligned} &= \text{Årsproduksjon} \cdot \text{utbyggingsgrunnlag} \\ &= 199\,187,1 \text{ kWh} \cdot 5 \text{ kr/kWh} = \mathbf{995\,935,50 \text{ kr}} \end{aligned}$$

Vannføring 3,0 m³/s

Basert på omregningene, vil i teorien en pumpe med pumpekapasitet tilsvarende 2,73 m³/s (9828 m³/h) og pumpehøyde tilsvarende 6,12m være ideell. Allweiler anbefalte en pumpe med pumpekapasitet på 2,72 m³/s (9800m³/h) ved fallhøyde 6,0m.

Beregner natureffekt:

$$P_{nat} = \frac{\rho g H_e Q}{1000} [kW]$$

$$\frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 7,5 \text{ m} \cdot 3,0 \text{ m}^3/\text{s}}{1000} = 220,73 \text{ kW}$$

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

Beregner fallhøydetap fra grind og rør:

$$H_n = H_e - H_{tap}$$

$$H_n = 7,5m - 0,161m = 7,339m$$

Beregner redusert vinkelhastighet:

$$\underline{\omega} = \frac{\pi \cdot n}{30 \cdot \sqrt{(2 \cdot g \cdot H_n)}}$$

$$\underline{\omega} = \frac{\pi \cdot 500\text{rpm}}{30 \cdot \sqrt{(2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 7,339\text{m})}} = 4,363\text{m}^{-1}$$

Beregner fartstall ved 500rpm:

$$\underline{\Omega} = \underline{\omega} \cdot \sqrt{Q}$$

$$\underline{\Omega} = 4,363\text{m}^{-1} \cdot \sqrt{\frac{3,0 \text{ m}^3/\text{s}}{\sqrt{(2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 7,339\text{m})}}} = 2,181$$

Beregner løpehjulsdiameter:

$$D_1 = \frac{2 \cdot u_1}{\underline{\omega}} = \frac{2 \cdot \frac{u_1}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_n}}}{\underline{\omega}} \quad [10]$$

$$D_1 = \frac{2 \cdot \frac{24,34 \text{ m/s}}{\sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 7,339\text{m}}}}{4,363 \text{ m}^{-1}} = 930\text{mm} \quad [10]$$

Produsentanbefalingen av løpehjulsdiameteren D_1 er 900mm ved gitte hydrauliske data. Ved bruk av kaplanligninger for utregninger på pumpen i reversert tilstand, anses også denne utregningen for å være et troverdig estimat.

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

Beregner netto levert effekt:

$$P_{netto} = \frac{\rho g H_n Q}{1000} \cdot \eta_{turbin} \cdot \eta_{overføring} \cdot \eta_{generator}$$

$$P_{netto} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 7,339 \text{ m} \cdot 3,0 \text{ m}^3/\text{s}}{1000} \cdot 0,7701 \cdot 0,98 \cdot 0,92 = 149,96 \text{ kW}$$

Beregner netto produksjon pr år (delt på 4 grunnet drift kun i et kvartal):

$$\begin{aligned} &= P_{netto} \cdot \left(\eta_{oppetid} \cdot \frac{8760}{4} \right) [\text{kWh}] \\ &= 149,96 \text{ kW} \cdot \left(0,98 \cdot \frac{8760}{4} \right) = 321\,853,6 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Beregner budsjettgrunnlag for prosjektering:

$$\begin{aligned} &= \text{Årsproduksjon} \cdot \text{utbyggingsgrunnlag} \\ &= 321\,853,6 \text{ kWh} \cdot 5 \text{ kr/kWh} = \mathbf{1\,609\,268 \text{ kr}} \end{aligned}$$

Pumpekarakteristikk

Allweiler har sendt noen karakteristikkurver for de to turbinene [9][10]. Fra disse kurvene er det mulig å se ved hvilken fallhøyde og vannføring hvor pumpene har best effektivitet. Ved å bruke omregningene gjort tidligere i dette delkapittelet og setter inn i kurvene, ligger disse veldig nære pumpenes beste effektivitet (Best Efficiency Point) ved vannføringen og høyden som systemet skal utnytte.

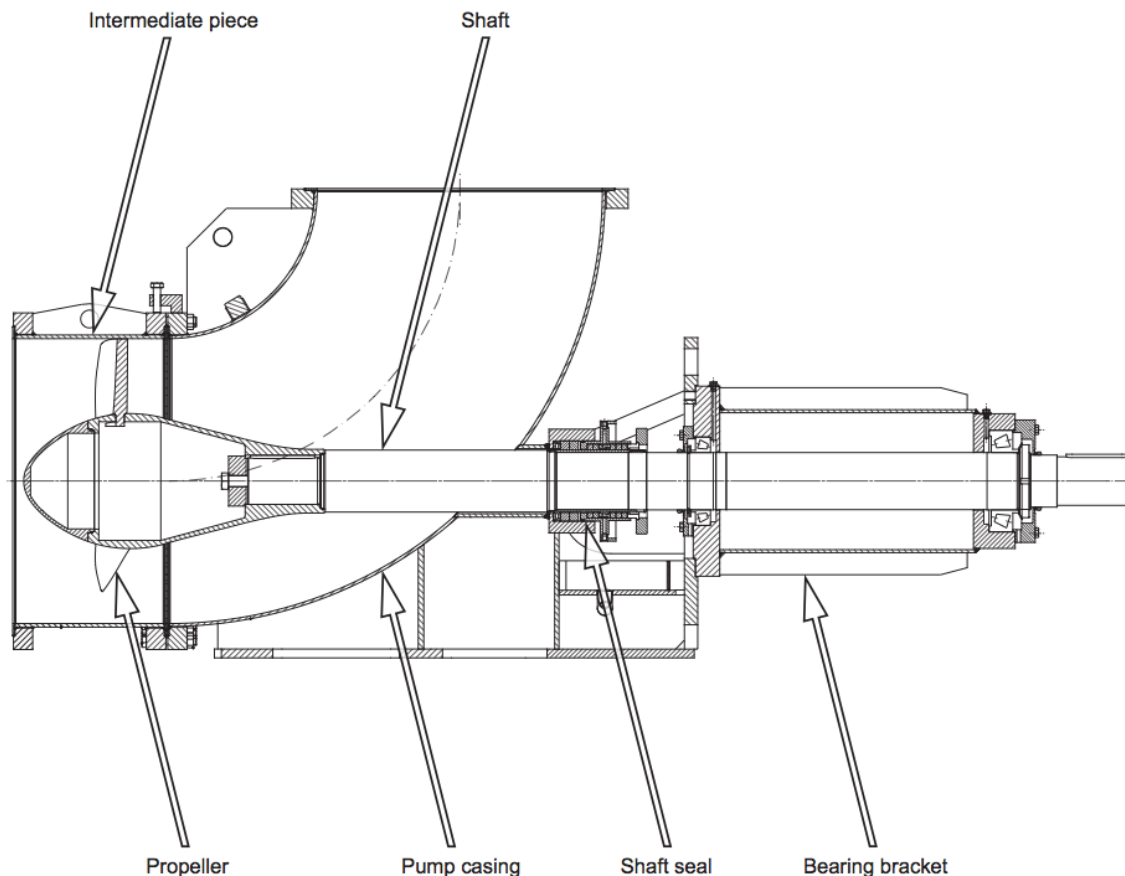
6.1.4. Pumpene

Begge pumpene skal være permanent montert i kraftverket. Pumpen som ikke skal benyttes fra 1. september til 31. mai må derfor tåle å stå stille i denne perioden, som krever at pumpen må være tørr for å forhindre frost. Akselen i denne pumpen må også vendes en gang i

måneden for å forhindre at lagrene setter seg, og disse må smøres før igangsetting.

Nedstengning- og oppstartprosedyre skal følges i forbindelse med dette.

Nedenfor ser man et snitt av pumpenes utførelse, med en enkel komponentbeskrivelse:

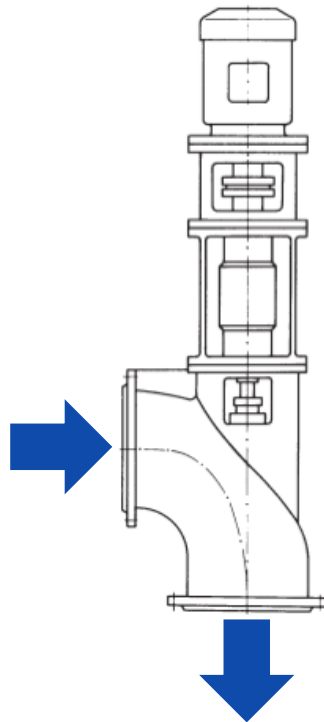


Figur 10: Snittegning av en Allweiler Allpro PPR pumpe med komponenter

6.1.5. Montering

Pumpene må monteres på plant underlag, der de ved denne prosjekteringen bør stå vertikalt oppstilt. Betong kan brukes som fundament, men da av styrkeklasse B 25 som ikke krymper over tid. Det er også viktig at fundamentet er armert og solid nok, slik at vibrasjoner fra pumpene og generatoren ikke forplanter seg og skader utstyr og fundamentet. Pumpene må være tilgjengelig fra alle sider for montering, demontering, vedlikehold og reparasjoner.

Leverandørens monteringsprosedyre må følges. Ved tilkobling til rørene må ingen urenheter ligge i rørene eller pumpen.



Figur 11: Vannvei gjennom vertikalt oppstilt pumpe som turbin med generator

6.1.6. Vedlikehold

Jevnlig inspeksjon av lekkasje, ulyder, korrosjon og vibrasjoner må utføres. Levetiden på utvendige pakninger bestemmes i stor grad av omgivelsene. Allweiler har bestemte intervaller for utskifting av komponenter i pumpene [11].

6.2. Generator

Generatorer gjør den mekaniske energien om til elektrisk energi, når turbinen roterer. Dette skjer ved at en magnet festet til akselen dreies rundt på innsiden av to eller flere (kun partall) poler. Polene er som oftest kobberkabler kveilet sammen som spoler. Farten på rotasjonen og antall poler bestemmer spenningsfrekvensen, der ønsket frekvens er 50Hz.

Beregner antall poler for generator til Allweiler PPR 350:

$$P_{350} = \frac{120 \cdot f}{*n}$$
$$P_{350} = \frac{120 \cdot 50\text{Hz}}{1500\text{rpm}} = 4 \text{ poler}$$

Beregner antall poler for generator til Allweiler PPR 900:

$$P_{900} = \frac{120 \cdot f}{*n}$$
$$P_{900} = \frac{120 \cdot 50\text{Hz}}{500\text{rpm}} = 12 \text{ poler}$$

Pumpene fra Allweiler kommer ferdig levert med motor, som i dette systemet blir brukt som generator. Ved å reversere vannveien vil generatorakselen dreies motsatt vei og dermed produsere elektrisk energi. Disse motorene er tilpasset pumpenes turtall, slik at spenningen og frekvensen man kan forvente å få ut, er 230V og 50Hz. Ved en slik løsning kan man forvente helt opp mot 98,5% virkningsgrad, men motoren har luftkjøling med en luftfiltersats, som gjør at virkningsgraden vil kunne synke med 5-6%. Derfor antas det at effektiviteten, med alle faktorer iberegnet, vil ligge nær 92%. Denne motoren skal tåle pumpens rusetall, som er 1,5 ganger større en driftsturtallet, dvs. 2250rpm ved 0,5m³/s og 750rpm ved 3,0m³/s.

6.3. Rør

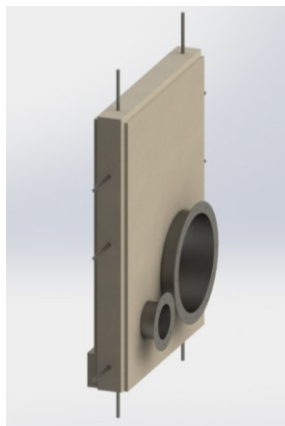
Når væsker skal fraktes mellom punkt A og B er rør den mest brukte transportmetoden. I vannkraftverk er rør brukt for å frakte vannet fra inntaket og frem til turbinen. Rør er brukt for å bevare mest mulig av vannets potensielle energi slik at det har høyest mulig kinetisk energi når det kommer til turbinen.

6.3.1. Materialvalg

For disse rørene stod valget mellom GRP-rør (Glass Reinforced Polymer) og stålrør. GRP rør er rimeligere, men å levere så små mengder som skal til på dette systemet er kostbart. I tillegg er man avhengig av å bruke stålrør på starten av rørgaten, samt en reduksjon som skal brukes på slutten av rørgaten. Den vil bli for lang med bruk av GRP-rør og man må også her bruke stålrør. Det ble derfor valgt å gå for duktile støpejernsrør for hele rørgaten.[12]

6.3.2. Rørgate

Ved luken er det laget fortanninger i demningen som er 300mm brede og 100mm dype. Disse skal brukes til å bygge en vegg av betong hvor rørene skal festes. Det brukes da to flenser som er festet på den delen av røret som ligger inne i betongen. Dette sikrer et tett og godt festet rør. I tillegg vil det bli brukt armeringsjern som er sveiset til røret for bedre feste i betongen.



Figur 12: Rørgjennomføring i betongvegg

Der røret kommer ut fra betongveggen vil rørene festes sammen med en flens og skruer. Røret vil så gå rett frem mot turbinen. Før det blir festet til turbinen må rørdiameteren reduseres til 350mm ved en vannføring på $0,5\text{m}^3/\text{s}$ og 900mm ved $3,0\text{m}^3/\text{s}$. På toppen av rørgaten festes det på en automatisk ventil som skal brukes dersom det blir nødvendig å stenge vannet til turbinene ved nødstands og vedlikehold. Ventilene ble satt på toppen grunnet at undervinterhalvåret er det nødvendig å holde hele systemet tomt for vann grunnet at vann i dette systemet vil da fryse, og siden rørgaten er såpass kort ble det ikke sett på som nødvendig å ha ventil både på toppen og på bunnen av rørgaten. Ved lavere trykk, som i dette systemet, er en dreiespjeldventil det mest passende. [13]

6.3.3. Dimensjonering

Reynoldstall

Det første som må gjøres i design av rørgate er å finne reynoldstallet for vannføringen. Vannet kan flyte gjennom røret som en turbulent eller en laminær strøm. Laminær strøm kjennetegnes ved at vannet har høyest fart midt i røret langs aksen og denne farten avtar til den er null ved veggene i røret. Strømmen går da lagvis langs røret uten å blandes. Turbulent strøm kjennetegnes ved at farten er lik gjennom hele tverrsnittet av røret og partiklene i strømmen har tilfeldig bevegelse tverrgående i røret. Reynoldstall under 2000 indikerer laminær strøm. Reynoldstall mellom 2000 og 4000 er kjent som «transition region» hvor strømmen kan være både laminær eller turbulent. Reynoldstall over 4000 vil si at strømmen er turbulent. Da Reynolds gjorde sine eksperimenter på strømminger oppdaget han at skiftet

mellom laminær og turbulent strøm kunne skje ved reynoldstall så lave som 1200 og høyere enn 40.000, men dette er ved veldig spesielle konstruksjoner[14]. Reynoldstallet regnes ut ved:

$$Re = \frac{DV\rho}{\mu}$$

Hva slags strømming vannet har, laminær eller turbulent, bestemmer hvordan man går frem ved beregning av de fysiske egenskapene til vannet i røret og dermed selve røret.

For massetetthet og dynamisk viskositet er det valgt å bruke verdier for vann ved 5°C, som er $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ og $\mu=0,001519 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$. Farten og diameteren for røret er enda ikke bestemt, men etter optimalisering vil farten ligge et sted mellom 2 og 4 m/s[15]. I beregninger er det derfor mulig å bruke den minste farten på 2,0 m/s og den minste vannføringen på 0,5 m³/s. Dersom strømmingen da er turbulent, vil alle strømmingene i systemet over denne farten også være turbulente.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,5 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 2 \text{ m/s}}} = 0,5641 \text{ m}$$

$$Re = \frac{DV\rho}{\mu} = \frac{0,5641 \text{ m} \cdot 2 \text{ m/s} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3}{0,001519 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2} = 742725,48$$

Strømmingene i dette røret er turbulente, og dersom farten ikke senkes vil strømmingene forholde seg turbulente.

Optimalisering

Ved dimensjonering av rørgata er det to faktorer som må vurderes; når størrelsen øker blir røret dyrere, men ved økt størrelse blir også falltapet redusert grunnet mindre friksjon i røret. Dette fører til høyere inntekter. På grunn av dette må forholdet mellom falltapet i røret og økende kostnader vurderes. Dette ble gjort ved å sette formler inn i et Excel dokument [vedlegg 2] for å sammenligne de forskjellige diameterne.

Først velges det ut noen diameterer. Det ble tatt utgangspunkt i standarddiameterne fra ISO 2531. [16] Deretter ble det regnet på diameterne som lå innenfor når farten ble satt til mellom

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

2 og 4 m/s for de respektive vannføringene. For en vannføring på 0,5 m³/s ble dette 400, 450 og 500mm og for 3,0m³/s ble det 1000, 1100, 1200 og 1400 mm.

Før priser og indre diameter for rørene kan bli funnet, må trykklassen for røret være bestemt. Man finner da trykket som oppstår ved en nødstengning av systemet. Dette kalles et trykkstøt og skjer når en ventil stenges raskt, og vannet som slår tilbake skaper trykk når dette vannet beveger seg oppover røret samtidig som resten av vannet prøver å bevege seg nedover. Dette trykkstøtet finner man ved formelen:

$$\Delta h = \frac{\Delta Q \cdot L}{g \cdot T \cdot A}$$

Det blir her brukt T=1 sek som betyr at ventilen stenger i løpet av 1 sek. Får så ut trykket fra stenging av ventil i meter vannsøyle og regner det om til kPa. Legger deretter til trykket som vannet utøver på røret ved 6m dybde som er det laveste punktet i røret, og får da ut det maksimale trykket som vannet i dette systemet kan utøve på røret.

Stålrør leveres fra trykkklasse C25 som minste trykkklasse for rør mellom 300mm og 700mm og fra trykkklasse C20 som minste trykkklasse for rør over 700mm diameter. C20 denoterer at røret kan tåle 20 bar og C25 betyr at røret kan tåle 25bar. Siden det maksimale trykket i rørene vil ligge på rundt 1 bar for alle diameterne kan vi velge den minste trykklassen for alle rørene. Fra ISO 2531 kan vi da finne veggtykkelsen for rørene og dermed den indre diameteren. [16]

For å finne falltapet i røret grunnet friksjon må først friksjonsfaktoren være kjent.

Friksjonsfaktoren i rør med turbulent strøm finner vi med formelen:

$$f = 0,0055 + 0,0055 \sqrt[3]{20000 \frac{e}{D} + \frac{10^6}{Re}}$$

Denne formelen ble publisert av L. F. Moody i 1947 og selv om den ikke er like nøyaktig som Stanton-diagrammet som Moody publiserte i 1944, er den likevel nøyaktig nok for denne dimensjoneringen[14]. Konstanten e er absolutt ruhet og er avhengig av materialet til røret. For støpejern er denne 0,00085[14]. Etter å ha funnet friksjonsfaktoren kan vi bruke Darcy-Weisbach formelen for å finne falltapet i meter grunnet friksjon:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

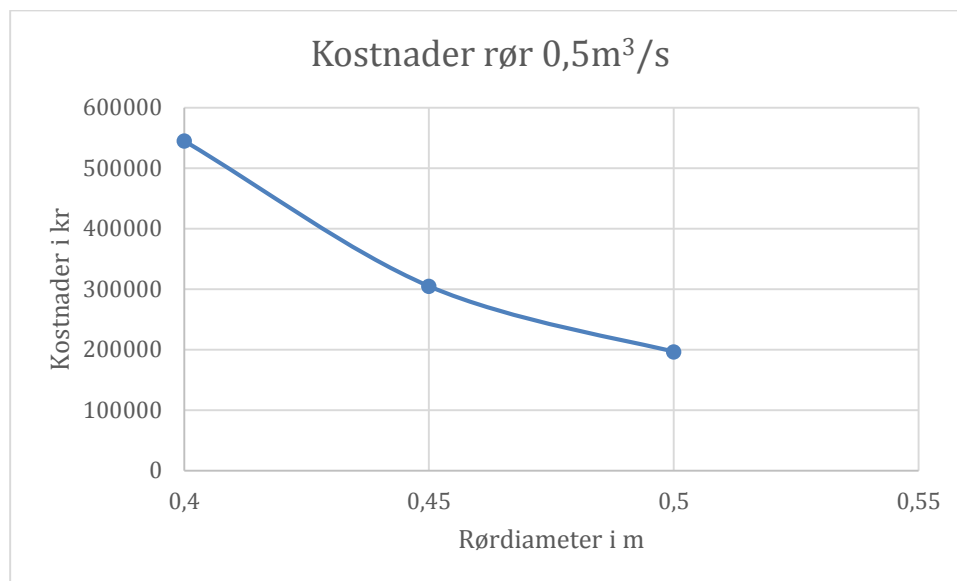
Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

Det er også to andre falltap som må tas med i betraktningen, gjennom ventil og fra rørintaket:

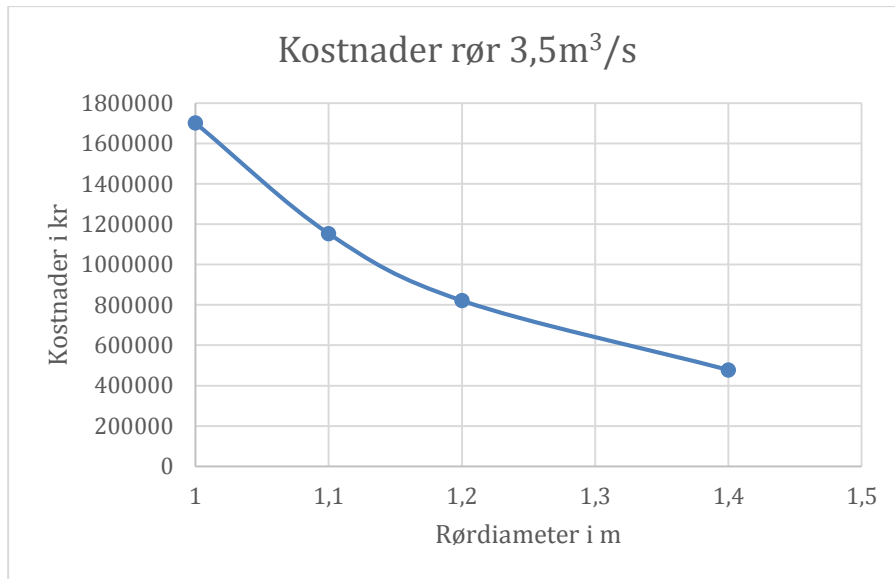
$$h = k \frac{v^2}{2g}$$

Her er k friksjonskonstanten og vil for inntaket være 0.5. For ventilen er k avhengig av diameteren til røret, og ligger mellom 0,35 og 0,18. [14]

Etter å ha funnet falltapedet i røret kan vi regne om dette til hvor mange kWh dette vil tilsvare over 40 år, og ved å multiplisere med strømprisen kan vi finne ut hvor stort tapet er i løpet av systemets levetid. Det er dessverre ikke mulig å si med sikkerhet hva strømprisen vil være om 40 år, derfor vil dette kun være et tilnærmet resultat. Det ble regnet ut et gjennomsnitt av forventede strømpriser i de nordiske landene for de neste 10 årene fra NASDAQ OMX. Ut ifra dette ble det funnet det forventet økonomiske tapet fra friksjon for hver respektive diameter. Priser på rør per meter ble tatt ut ifra NVEs kostnadsgrunnlag for små vannkraftanlegg [17], og ble deretter ganget med lengden på rørgaten.



Figur 13: Kostnader for rørdiameterer mellom 400 og 500mm

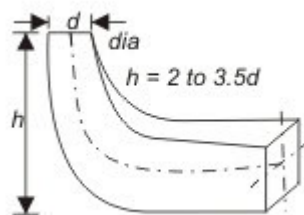


Figur 14: Kostnader for rørdiameterer mellom 1000 og 1400mm

Fra de to grafene hentet fra Excel dokumentet kan vi se at de rimeligste rørene for dette systemet blir 550mm for 0,5m³/s og 1400mm for 3,0m³/s.

6.3.4. Sugerør

Etter turbinen skal det sitte et sugerør for å utnytte den resterende høydeforskjellen mellom turbinen og undervannsspeilet.



Figur 15: Skisse av et albuesugerør [18]

Fra turbinen til undervannsspeilet er det ved vanlig vannstand en avstand på 1,5m. Det er da mulig å se om høyden blir stor nok ved de respektive diameterne, 350mm og 900mm.

$$h_{0,5} = 3.5 \cdot 0,35m = 1,225m$$

$$h_3 = 2 \cdot 0,9m = 1,8m$$

Turbinen som bruker $0,5\text{m}^3/\text{s}$ får da ikke høyt nok sugerør ved bruk av denne typen. Det er da mulig å bruke en type sugerør som er kjegleformet og går rett ned. Ved lave fallhøyder og små vannføringer er denne også effektiv. [19] Lengden på denne regnes ut med formelen:

$$L = 5(D_{\text{utløp}} - D_{\text{innløp}})$$

Her trenger man utgangsdiameteren på sugerøret for å regne ut lengden. Farten ut av et sugerør er til vanlig 1m/s . [19] Diameteren finner man ved:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,5\text{m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 1\text{m/s}}} = 0,79\text{m}$$

Lengden på sugerøret blir da:

$$L = 5(0,79\text{m} - 0,35\text{m}) = 2,2\text{m}$$

6.4. Varegrind og inntaksluke

Både for varegrind og luke er det hovedsakelig NVE-Inntakshåndboken [20] som er brukt som kilde. Der annen kilde er brukt, er dette merket med [x].

6.4.1. Varegrind

Varegrindas funksjon er å hindre større gjenstander som steiner, kvister og greiner å komme inn i aggregatets inntaksrør. Jo større vannhastigheten er gjennom grinda, jo mer rusk og rask samler det seg på den. Den må allikevel dimensjoneres for et gitt differansetrykk slik at den ikke tettes. Det er også viktig at den designes på en slik måte at det ikke oppstår resonans og vibrasjoner som kan forårsake skader på grinda. Hvis grinda tettes og vannet forsvinner på innsiden, vil den måtte kunne motstå det totale vanntrykket som da vil virke på den.

På Pikerfoss er varegrinda godt dykket ($2,553\text{m}$) under vannspeilet og er i så måte godt plassert for å unngå is problemer og sarrdannelse.

6.4.2. Grindareal

Grindas bruttoareal regnes som det totale arealet inkludert stavene og lysåpningene mellom de. På Pikerfoss er dette arealet:

$$A_{brutto} = h * b = 3m * 3,5m = 10,5m^2$$

Lysåpning

Lysåpningen (avstanden mellom grindstavene) må ikke være større enn det som kan passere gjennom turbinen. Altså må alt som kan passere grinda også kunne passere gjennom turbinen. For liten lysåpning gjør at grinda lett kan tettes og dermed må den også renskes oftere. Vannets nettofart øker med mindre lysåpning ($v=Q/a$), noe som gjør at større grindareal er å foretrekke. Både på grunn av at større grind gir mindre falltap, men også fordi mindre hastighet gjør at kreftene som drar ned drivgods blir mindre. Da blir det også lettere å renske. Når drivgods tetter deler av grinda blir øker vannhastigheten gjennom den resterende åpningen og det øker faren for vibrasjoner og utmattingsbrudd.

Vannet bør ha en hastighet gjennom grinda på under 0,6m/s, så for å unngå tiltetting så settes ønsket fart til dette.

Det gir et lysåpningsareal på: $A_{VG3,5} = \frac{Q}{V} = \frac{3,5m^3/s}{0,5m/s} = 5,84m^2$

Ved bruk av en vannføring på 0,5m³/s hele året vil det holde med et lysåpningsareal på:

$$A_{VG0,5} = \frac{Q}{V} = \frac{0,5m^3/s}{0,6m/s} = 0,84m^2$$

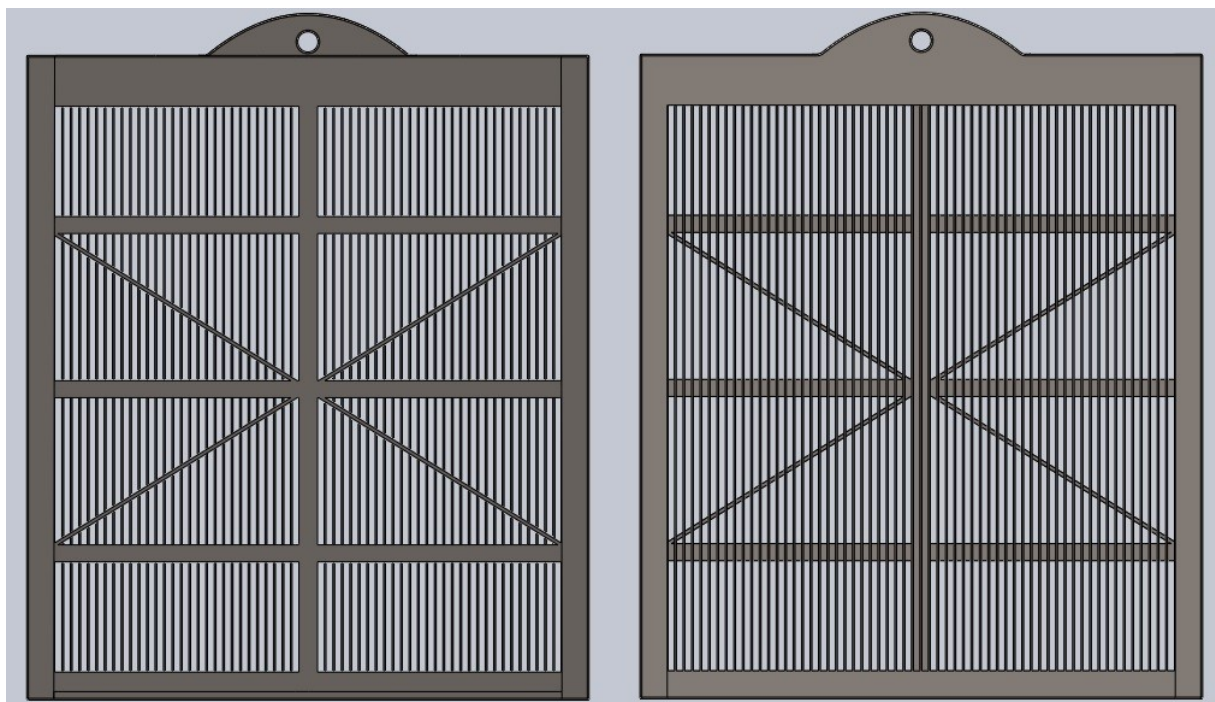
Uansett hvilken løsning som blir valgt, blir et lysåpningsareal på 5,84m² valgt. Dette er på grunn av to ting: 1) Hvis det blir valgt en løsning med 0,5m³/s og man velger å bygge om til en 3,5m³/s løsning så slipper man å bytte ut grinda og 2) Vannfarten gjennom grinda ved 5,84m² lysåpning og 0,5m³/s vannføring blir veldig lav, noe som kun er positivt.

6.4.3. Grindmateriale

Grinder av stål er mest vanlig. Stålgrindene varmforsinkes og males og det er da viktig at vannhastigheten ikke blir for høy og dermed sliter av dette belegget. Denne slitasjen vil starte ved en vannfart på 0,6-0,7m/s. Grinder laget i komposittmateriale skal være en del billigere enn grinder laget i stål, men de har mindre styrke og krever mindre lysåpning enn stålgrinder. Fordelene med en komposittgrind er at de hverken iser eller ruster. I tillegg vil vekten på en komposittgrind være 25-30% av vekten på en som er laget i stål. Det er et moment som er viktig å tenke på ved oppheising av grinda. Ved bruk av komposittgrind må man også være litt forsiktig med grindrenskeren da den kan ødelegge komposittstavene.

Aluminium er også et materiale som kan være aktuelt for grinda. Aluminium har den fordelen at det ikke ruster, samt at det har lavere egenvekt enn stål. Det er dog en del dyrere, både materialmessig og produksjonsmessig.

På Pikerfoss blir en grind i stål valgt. Dette er på grunn av at det den er solid med tanke på slag fra fremmedlegemer og at vekten vil holde den stabilt nede på bunnen. Siden inntaksluka er tung, og både den og grinda skal løftes med samme elektrotalje så er ikke grindas vekt så veldig viktig med tanke på dette.



Figur 16: Varegrind bak/front

6.4.4. Form på grindstaver

Formen på grindstavene kan både være firkantet, runde eller dråpeformet. Firkantede staver gir litt mer falltap, men drivgods kiler seg ikke så lett fast som ved runde staver. Ved firkantede staver brukes normalt et høyde-breddeforhold på 10:1.

På Pikerfoss har vi valgt å gå for firkantede staver med en stavbredde på 10mm og en lengde på 100mm. Ved å ha en lysåpning på 40mm vil det gi et lysåpningsareal på rett i overkant av $7m^2$, men på grunn av at grinda skal tåle til dels store spenninger, trengs noen støttestag som reduserer lysåpningsarealet til $6,8m^2$. Dette gir da en vannfart på 0,515m/s.

6.4.5. Krefter som påvirker grinda

Grinda blir hele tiden utsatt for et trykk fra vannet. De største spenningene som påføres grinda er hvis den blir helt tett av løv eller annet avfall og tettes 100%. I utgangspunktet skal den renses såpass ofte at dette ikke skal skje, men det er viktig at den er dimensjonert for det. Hvis grinda blir helt tett og det blir et stort differansetrykk (vannet blir borte på baksiden) vil det virke store krefter på grinda.

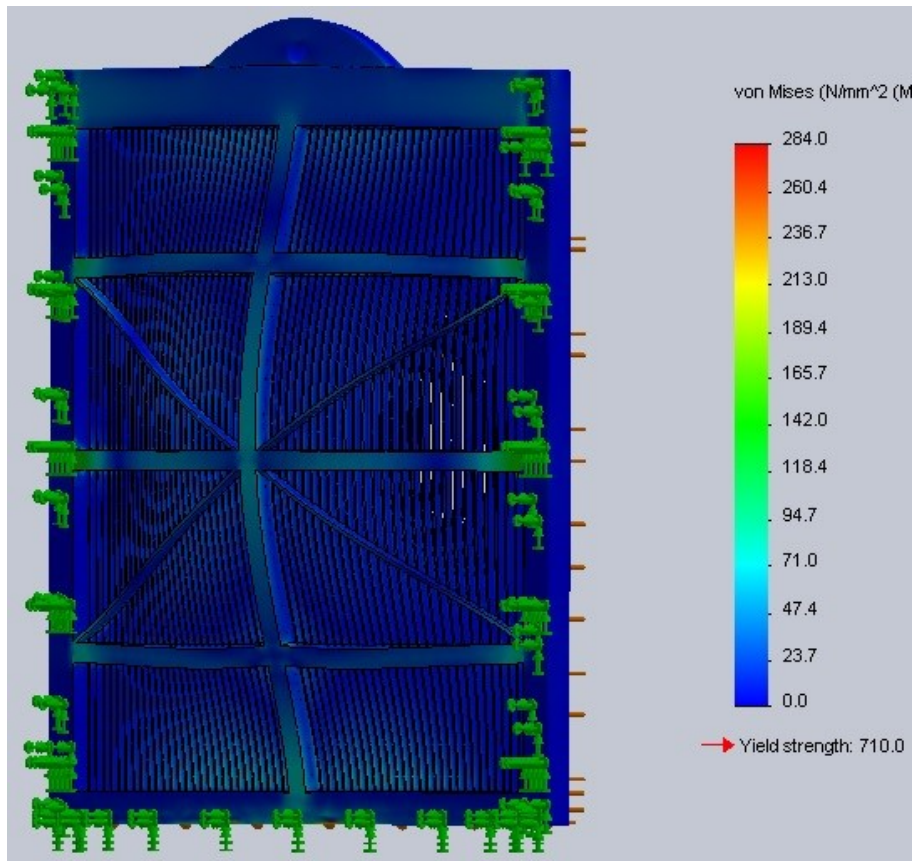
$$p = \rho * g * h = 1000kg/m^3 * 9,81m/s^2 * 7,5m = 73,58kPa$$

I regnestykket blir det brukt en dybde på 5,5m som er bunnen av grinda pluss 2 meter som vannet kan stige ved flom. Trykket er mindre lenger opp, men som en forenkling og en sikkerhetsfaktor brukes denne dybden for utregningen.

Brutto grindareal er $10,5m^2$ og ut ifra dette kan man regne ut kreftene som virker på grinda ved full tetting:

$$F = p * A = 53,95kN/m^2 * 10,5m^2 = 772,6kN$$

Disse tallene ble så brukt i en SolidWorks-analyse av spenningene i grinda.



Figur 17: Statisk analyse ved full tetting

Grinda ble låst i sporene langs siden og et tynt belte langs bunnen (siden grinda heller 10 grader bakover vil den ligge litt an mot bunnbjelken) og en kraft på 773kN ble påsatt på arealet som er vendt mot vann. I analysen ble det også satt på bevegelse på +/-10mm på innfestningen siden den sitter løst i sporene og kan dermed bevege seg litt.

Analysen ga spenninger 287 MPa og ved å bruke for eksempel normalisert 4340 stål som har en flytegrense på 710 MPa vil grinda da ha en sikkerhetsfaktor på ca. 2,5 ved full tetting.

6.4.6. Vibrasjoner i varegrinda

Når vannets passerer de rektangulære grindstavene dannes det en virvel i bakkant av hver stav. Etter et lite stykke slipper virvelen staven og det dannes da en ny virvel i motsatt rotasjonsretning. Disse virvlene kalles von Karman virvler.

Disse virvlene vil påføre en sideveis kraft på grindstavene som forandrer retning i takt med rotasjonsretningene. Denne påførte frekvensen vil kunne føre til brudd, hvis grinda har en

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

egenfrekvens i dette området. Kraftig resonans vil oppstå og det fører som oftest til utmattingsbrudd. For å unngå dette utregnes påtrykt frekvens fra vannet. Det er da ønskelig at egenfrekvensen til grinda er 2,5 ganger høyere enn den påtrykte frekvensen.

Påtrykt frekvens:

$$f_f = \frac{S * V}{b}$$

Der:

S = Strouhallet (-)

V = Vannhastighet (m/s)

b = Grindstavens tykkelse (m)

Strouhallet bestemmes ut ifra stavens form, for eksempel om den er firkantet, oval, etc. For rektangulære grindstaver med 90° vinkel og parallell strømretning, som brukes på den valgte grinda, ligger Strouhallet på ca. 0,15.

Hvis grinda tettes delvis vil vannets fart øke og i denne utregningen brukes en fart som er 2 ganger større enn nettohastigheten.

Påført frekvens blir da:

$$f_f = \frac{0,15 * (0,6 * 2)}{0,01} = 18Hz$$

Det er da ønskelig med en egenfrekvens som ligger over 45 Hz.

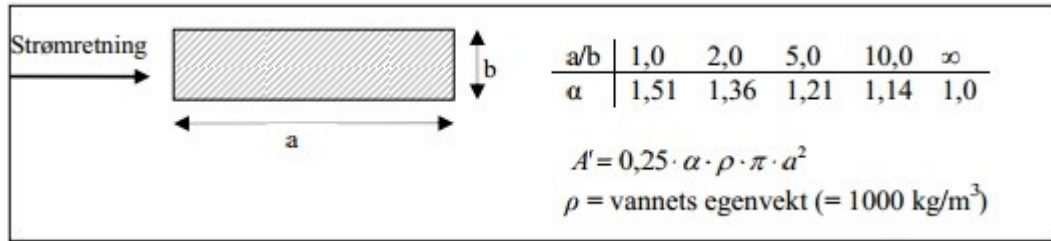
Etter å ha kjørt en frekvensanalyse av grinda i SolidWorks ble resultatet en egenfrekvens på 50Hz. Dette er i luft, derfor må egenfrekvensen i vann beregnes med følgende formel:

$$f_{vann} = f_{luft} * \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{A}{\mu} \right)} \right)^{1/2}$$

Der:

A` = Medsvingende masse per løpemeter stav (kg/m)

μ = Stavens masse per løpemeter (kg/m)



Figur 18: Medsvingende masse per løpemeter

$$f_{\text{vann}} = 50 \text{ Hz} \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{8,954}{1000}} \right)^{1/2} = 49,77 \text{ Hz}$$

Som formelen over sier, så er egenfrekvensen i vann nesten lik som egenfrekvensen i luft. Påført frekvens er 18Hz og den laveste egenfrekvensen er 50Hz, altså 2,78 ganger høyere. Grinda vil derfor motstå den påførte frekvensen uten at det oppstår utmattingsbrudd pga. vibrasjoner.

6.4.7. Falltap i grinda

For å beregne falltaptet i varegrinda blir Kirschmer-Mosonyis formel (Mosonyis 1966) brukt. Den beregner falltap som en funksjon av brutto vannhastighet, stavenes form og avstanden mellom dem.

$$\Delta H = k_f \cdot \left(\frac{t}{b} \right)^{4/3} \cdot \frac{V_R^2}{2g} \cdot \sin \alpha$$

der:

k_f = Koeffisient som avhenger av formen på stavene = 2,42

t = Grindstavens tykkelse = 0,01m

b = Lysåpning mellom stavene = 0,04m

V_R = Brutto vannhastighet = 0,33m/s

g = 9,81 m/s^2

$\sin \alpha$ = Sinus til vinkel på varegrinda = $\sin 80^\circ$

Dette blir da:

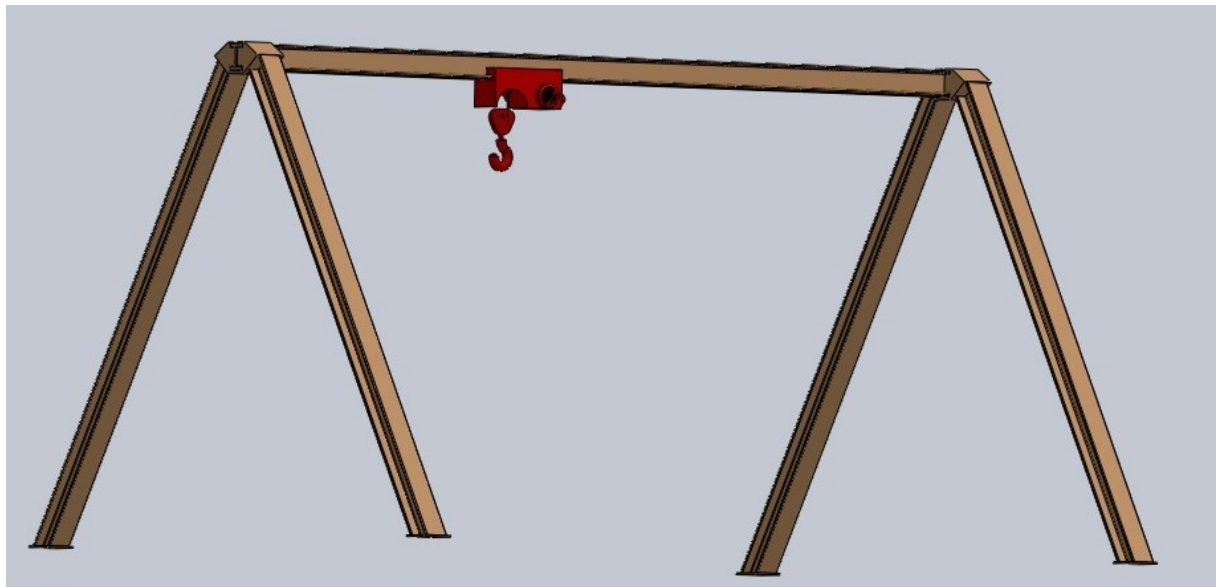
$$\Delta H = 2,42 \cdot \left(\frac{0,01}{0,04}\right)^{4/3} \cdot \frac{0,33^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 0,985 = 0,00208m$$

Falltapet i grinda er veldig lite (2,08mm) og kan derfor bli ansett som ubetydelig.

6.4.8. Heving og senking av varegrind og inntaksluke

For å kunne løfte varegrinda og inntaksluka er det valgt å bruke en elektrotalje. Dette ble valgt fordi innkjøpskostnader på en elektrotalje er mye lavere enn en vinsj. Ved samme løftekapasitet er elektrotaljen ca. 3,5 ganger billigere. (90.000,- vs. 350.000,-) [21]

Selve installasjonen vil være en H-bjelke på langs over både varegrind og inntaksluke (se figur 19).

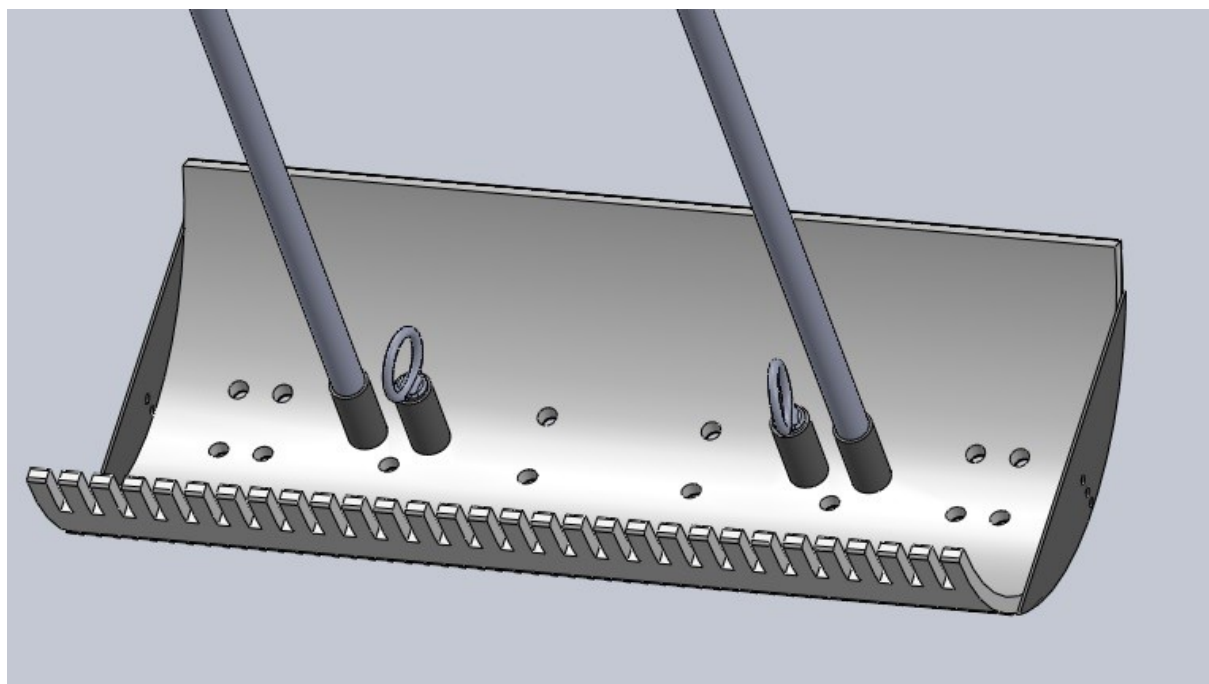


Figur 19: Elektrotalje

Det vil bli brukt en elektrotalje av typen HadeF 66/04 AKE som har en løftekapasitet på 6 tonn. Den er elektrisk og den har elektrisk motor også på løpekatten (frem og tilbake). Når den ikke er i bruk vil den kjøres til enden av toppbjelken der den vil bli lagret inne i et lite hus.

6.4.9. Grindrensking

For dette prosjektet er det i utgangspunktet ikke aktuelt med en helautomatisk grindrensker. Dette ville blitt alt for dyrt i forhold til budsjett. Det anbefales å bruke en manuell grindrensker, altså en rive som blir håndtert av en person. Dette kan gjøres ved faste tidsintervaller eller det monteres en falltapsmåler som gir et signal når grinda er for tett. Riven vil være laget i plastmateriale som ikke skraper opp galvaniseringen eller lakken på grinda. En underplate i stål gjør renskeren mer solid, samtidig som at den kan synke ned til grinda. Riven vil ha to håndtak slik at den kan styres ned, og den løftes opp av elektrotaljen som brukes til å løfte grind og luke. Grindrenskeren vil være 1480mm bred slik at det i utgangspunktet skal være nødvendig med 2 sveip.



Figur 20: Grindrensker

6.4.10. Is

Halve året kan is forårsake problemer for vannkraftverk. Det er to typer is som kan skape problemer på kraftverket:

Isgang

Dette er når isen løsner og blir ført med vannet langs elva. Ved flom eller mildvær kan flodbølger av vann og is bevege seg raskt nedover elva og deretter tette til inntaket.

Sarr

Sarr er dynamisk isproduksjon i vannet grunnet underkjøling. Vannet i elver er som regel i bevegelse og da vil det som regel ikke dannes et statisk lag med is på overflaten. I løpet av vinteren er kan kuldeperiodene være lange og da blir hele vannmassen avkjølt til nesten 0 grader. Et tynt overflatelag blir etter hvert underkjølt og når dette tynne laget kommer i kontakt med faste gjenstander, for eksempel bunnen eller varegrinda blir det dannet is i form av bunnis eller sarr. [22]

Egenskapene til sarret er noe forskjellige, avhengig av vanntemperatur:

- Underkjølt vann $T_w < 0c$, gir aktivt sarr som er klebelig
- Vanntemperatur på $T_w = 0c$ eller høyere gir passivt sarr som ikke er klebelig.

I tillegg har man noe som heter statisk isdannelse. Dette er rett og slett is som fryser overflaten. Det er positivt for kraftverket da det isolerer vannet lenger ned og man unngår en del sarrdannelse.

På Pikerfoss er inntaket godt dykket i forholdsvis stille vann, vannhastigheten gjennom grinda er lav, og det vil derfor ikke være nødvendig med noen ekstraordinære tiltak.

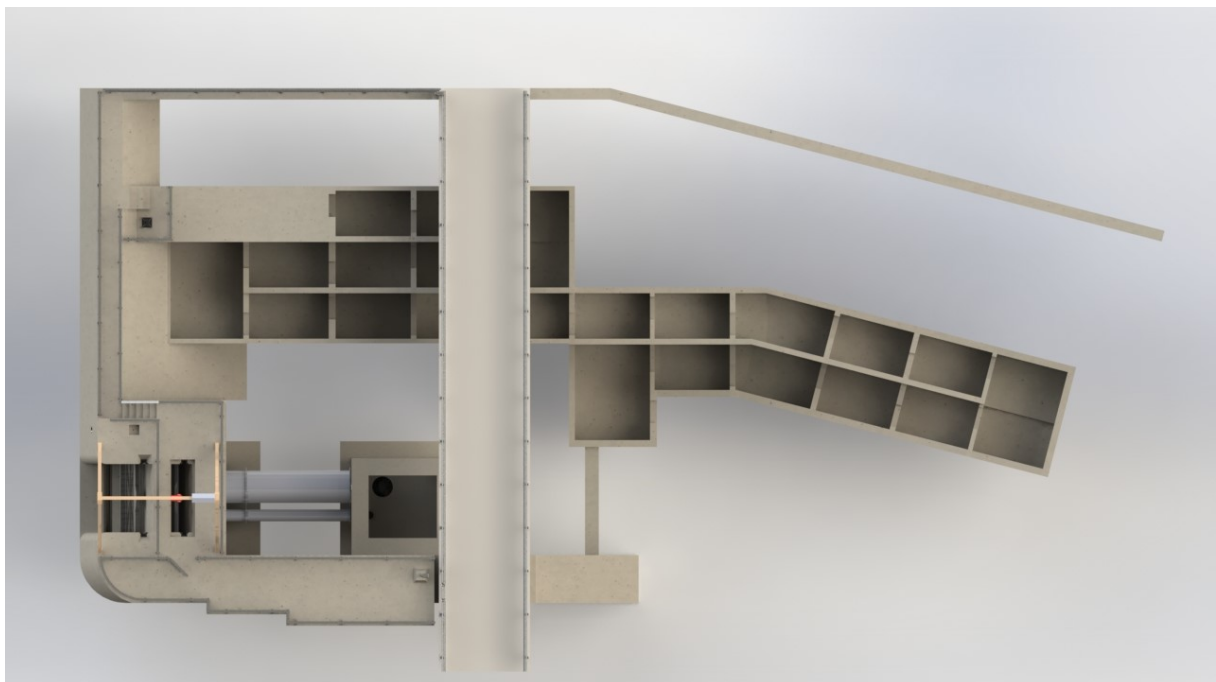
6.5. Inntaksluke

På Pikerfoss er det montert en glideluke. Glideluker blir ofte brukt som inntaksluker for avstengning av vannet. Glideluker er godt egnet som tappeluker da de kan stå i mellomstillinger. Det er uansett ikke aktuelt for dette kraftverket, da turbinen regulerer vannmengden.

Luka skal kunne lukkes ved vedlikehold eller andre ting der vannmengden trenger å stenges før røret. Luka er såpass tung at den vil gå ned for egen kraft. For å løfte den brukes den samme elektrotaljen som brukes for å løfte grinda. Når luken er åpen henges den i kjetting i allerede monterte kroker øverst i demningen.

Det er fra før montert et påfyllingsrør slik at det blir mulig å åpne luka igjen etter at den har vært stengt.

6.6. Byggteknisk



Figur 21: Oversiktsbilde Pikerfoss minikraftverk

En viktig del av prosjekteringen er fundamenteringsarbeid og de resterende, byggtkniske løsningene for montering av utstyr som turbin, grind, rørgate etc. Dette innebærer også

tilrettelegging for fremkommelighet til og beskyttelse av utstyret, samt sikkerhet for operatører og vedlikeholdspersonell.

Fundamenteringen består tradisjonelt av en armert betongkonstruksjon, der utstyr enten boltes, spennes eller støpes fast i konstruksjonen.

Arbeid som innebærer betong utføres ved å avgrense det ønskede området med forskaling. Forskalingen er for å lage en form for betongen, men også for å isolere det avgrensede området, selv om det teknisk sett ligger unger vannoverflaten. Når forskalingen er montert vil man om nødvendig kunne pumpe ut vannet fra området, og begynne forankrings- og armeringsarbeid. Bunnen av fundamentet blir forankret i bakken med fjellbolter. Selve fundamentet vil stives opp med armeringer, slik at fundamentet blir sterkere og mer motstandsdyktig mot vibrasjoner.

6.6.1. Fundamentering

Viktigheten av et solid fundament for turbin og generator, er svært stor. Man ønsker å forhindre vibrasjoner forårsaket av turbinene og generatorene, som fører til unødvendig slitasje på utstyret. I tillegg må fundamentet stå så høyt over undervannspeilet at det ikke drukner ved flom. Her kan det kompenseres med tette, opphøyde sidevegger som forhindrer drukning av turbiner og generatorer ved forhøyet undervannspeil.

6.6.2. Sikkerhetstiltak

Ved å følge retningslinjer for HMS, vil dette påvirke løsninger av det byggetekniske. Det er viktig å sikre trapper og gangveier da man kan utsettes for moderat til større skader ved å falle, snuble eller liknende. Trapper skal også ha en standardisert trinnhøyde, slik at det ikke fremprovoserer uhell. Det bør også skiltes med godt synlige skilt der farlige situasjoner kan oppstå.

6.6.3. Sanering

Når systemet skal legges ned og saneres, er ønsket at området skal se ut som før utbyggingen. Det er spesielt viktig at metalliske komponenter som er direkte eksponerer omgivelsene trekkes, da eksponering av metaller i miljøet vil føre til uregelmessige konsentrasjoner av jern. Om det skulle vise seg at minikraftverket skal saneres før resten av hovedkraftverket, vil det innebære en viss risiko å fjerne grunnfundamentet, da dette er forankret i den langsgående pilaren mot kraftstasjonen. Dette vil stå frem til hele damkonstruksjonen skal saneres. Sanering innebærer fjerning av elementer, frakt og gjenvinning.

7. Testing

Testspesifikasjonens hensikt er å vise hva, hvorfor og hvordan vi tester. Dette gjøres for å forsikre at kravspesifikasjonene blir oppfylt. I og med at prosjektet er en teoretisk prosjektering av et minivannkraftverk, vil testene bære preg av kalkulasjoner og god planlegging, fremfor fysiske målinger og tester. Dette vil også medføre at noen krav som i utgangspunktet ville vært testbare ved den fysiske utbyggingen, ikke vil kunne testes i denne teoretiske prosjekteringen.

7.1. Tester

Test 01	Tester om systemet vil produsere energi.		
Utførelse	Teoretisk drøfting med utregninger.		
Viser til	Krav 01	Ressurser	Kalkulator

Systemet er utstyrt med en generator koblet til en turbin, hvorav denne får tilført vann. Dette vil produsere energi.

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

Test 02	Tester bruk av vannføring, $0,5m^3/s$.		
Utførelse	Teoretisk drøfting med utregninger.		
Viser til	Krav 02	Ressurser	Kalkulator

Bruk av vannføring vil bli kontrollert i turbinen. Vannstanden ved overvannspeil og undervannspeil er kjent. Når effektivitet for systemet er kjent er det mulig å se på produserte kWh og dermed kontrollere at vannføringen er riktig.

Test 03	Tester bruk av vannføring, $3,5m^3/s$.		
Utførelse	Teoretisk drøfting med utregninger.		
Viser til	Krav 03	Ressurser	Kalkulator

Se test 02.

Test 04	Tester spenningen ut fra systemet.		
Utførelse	Velge riktig generator.		
Viser til	Krav 04	Ressurser	Ingen

Det er valgt en generator for hver vannføring som genererer 220V.

Test 05	Tester spenningsfrekvensen ut fra systemet.		
Utførelse	Velge riktig generator.		
Viser til	Krav 04	Ressurser	Ingen

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

Spenningsfrekvensen er avhengig av turbinenes turtall og antall poler på generatoren. Ved en vannføring på $0,5\text{m}^3/\text{s}$ vil turbinen operere på 1500 omdreininger per minutt. Med en generator med 4 poler får vi da:

$$f = \frac{x_{\text{polpar}} * n}{60} = \frac{2 * 1500}{60} = 50\text{Hz}$$

Ved vannføring på $3\text{m}^3/\text{s}$ vil turbinen operere på 500 omdreininger per minutt. Med en generator med 12 poler får vi da:

$$f = \frac{x_{\text{polpar}} * n}{60} = \frac{6 * 500}{60} = 50\text{Hz}$$

Test 06	Tester plassering og arealbegrensninger for systemet.		
Utførelse	Måle opp tilgjengelig plass, begrense komponentstørrelser.		
Viser til	Krav 05	Ressurser	Ingen

Viser til kapittel 6.6 der det er vist hvordan systemet skal plasseres i demningen.

Test 07	Tester om vannføringen ut av systemet kan bidra til å lokke fisk opp fisketrappa.		
Utførelse	Teoretisk drøfting, planlegging og kalkulasjoner.		
Viser til	Krav 12	Ressurser	Ingen

Utløpet fra aggregatet skal vinkles på en slik måte at det lager strømminger ved inngangen til fisketrappen for å lokke fisken.

Test 08	Tester for riktig vannmengde i fisketrappa.		
Utførelse	Teoretiske kalkulasjoner.		
Viser til	Krav 06	Ressurser	Kalkulator

System for å kontrollere fisketrapp er allerede på plass.

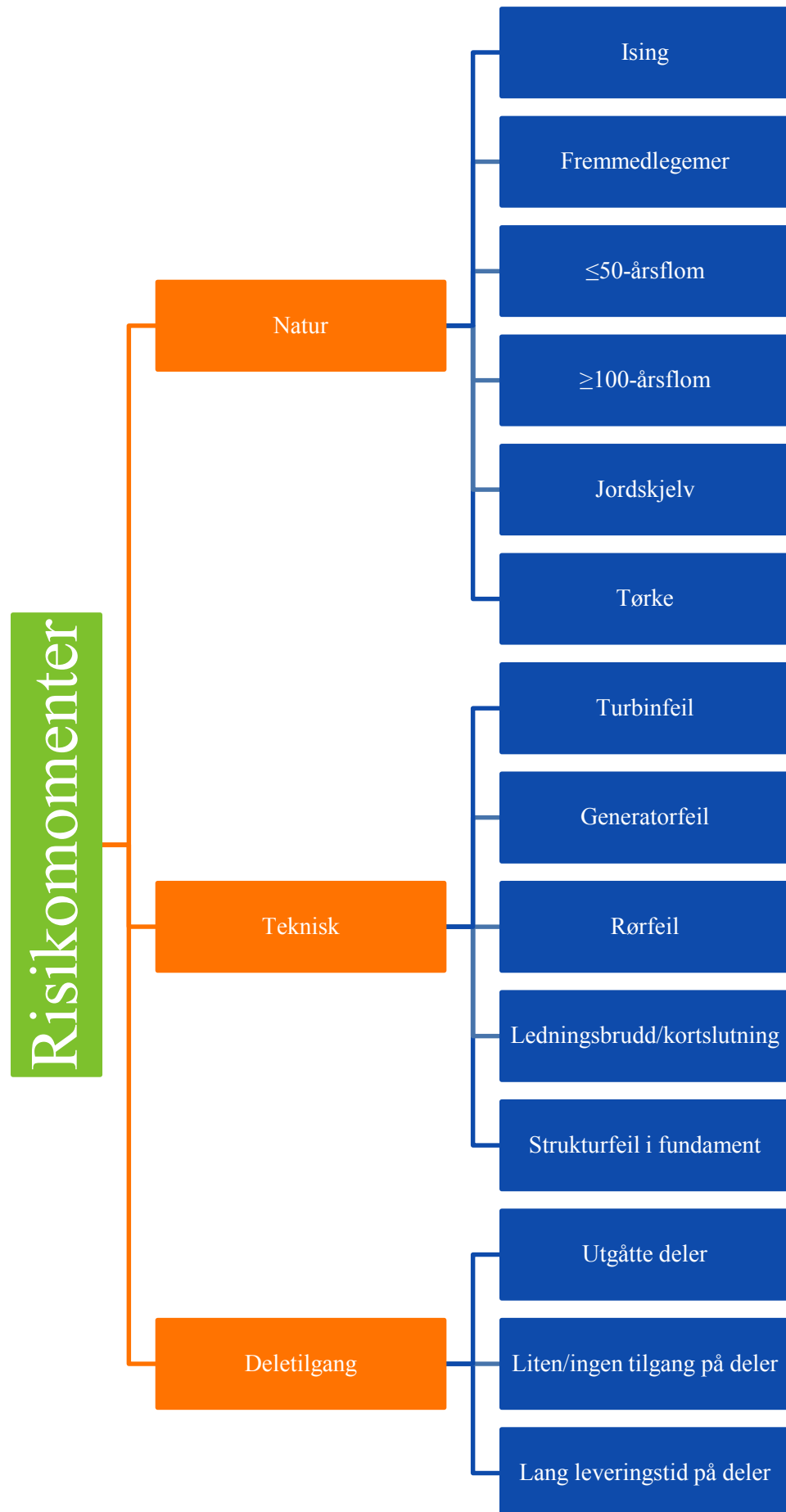
Test 09	Tester om prosjekteringen er i henhold til HMS-forskrifter.		
Utførelse	Teoretisk drøfting og planlegging.		
Viser til	Krav 11	Ressurser	Ingen

Viser her til kapittel 6.6 der HMS for systemet er forklart i detalj.

8. Risikoanalyse

Risikoanalysen brukes for å kartlegge hvilke hendelser som negativt kan påvirke kraftverket i løpet av dets levetid, og risikoen disse utgjør. Hendelsenes sannsynlighet for å inntreffe er vurdert, samt hvilken konsekvens de medfører. Produktet av disse tilsvarer risikoen for hendelsen. En hendelse kan derfor ha en lav sannsynlighet men likevel utgjøre en stor risiko dersom konsekvensen er stor. Analysen beskriver også mulige utfall og tiltak for å forebygge at hendelsene inntreffer.

I en risikoanalyse forsøker man prøver å forutse fremtiden og den er i stor grad basert på antagelser. Den kan derfor ikke leses med nøyaktighet og presisjon, men brukes som et verktøy i vurderingen av risiko.



Figur 22: Risikomomenter fordelt i kategorier

8.1. Innvirkning og konsekvens

Innvirkning		Konsekvens
1.	Ubetydelig	Ingen skade på personell og/eller utstyr utover normal slitasje. Ingen utgifter eller tap i produksjon.
2.	Begrenset	Enkel førstehjelp. Minimal skade på personell og/eller damstruktur. Små utgifter som ikke medfører nedstengning av kraftverket. Minimalt produksjonstap.
3.	Moderat	Mindre alvorlig skade på personell og/eller damstruktur. Betydelige utgifter som ikke medfører nedstengning av kraftverket. Lite produksjonstap.
4.	Kritisk	Alvorlig skade på personell. Betydelige skader på damstruktur. Store utgifter som ikke medfører nedstengning av kraftverket. Stort produksjonstap.
5.	Katastrofal	Død eller invaliditet. Stor ødeleggelse av damstruktur og/eller tap av viktige systemer. Utgifter som medfører nedstengning av kraftverket. Ingen produksjon.

Tabell 6: Kategorier for innvirkning og konsekvens

8.2. Sannsynlighet

Sannsynlighet		
1.	Svært liten sannsynlighet	0-20%
2.	Liten sannsynlighet	20-40%
3.	Middels sannsynlighet	40-60%
4.	Stor sannsynlighet	60-80%
5.	Svært stor sannsynlighet	80-100%

Tabell 7: Kategorier for sannsynlighet

8.3. Analyse

ID	Hendelser som kan inntreffe	Mulige utfall	S *	K *	R *	Tiltak
1.	Ising	Tetting av grind.	2	2	4	Korrekt dimensjonering av grind.
2.	Fremmedlegemer	Tetting av grind, skader på rør og/eller turbin.	2	3	6	Jevnlig rensing av grind. Korrekt dimensjonering av grind.
3.	≤50 års-flom	Oversvømmelse. Ødeleggelse av damstruktur og/eller skade på komponenter.	3	1	3	Dimensjonere damstruktur og komponenter med sikkerhetsfaktor.
4.	≥100 års-flom	Oversvømmelse. Ødeleggelse av damstruktur og/eller skade på komponenter.	2	2	4	Dimensjonere damstruktur og komponenter med sikkerhetsfaktor.
5.	Jordskjelv	Ødeleggelse av damstruktur og/eller skade på komponenter.	1	4	4	Dimensjonere damstruktur og komponenter med sikkerhetsfaktor.
6.	Tørke	Produksjonsstans.	1	2	2	Ingen.
7.	Turbinfeil	Produksjons- tap eller stans. Skade på komponenter.	1	3	3	Dimensjonere komponenter korrekt. Riktig materialvalg.
8.	Generatorfeil	Produksjons- tap eller stans.	1	3	3	Dimensjonere komponenter korrekt. Riktig materialvalg.
9.	Rørfeil	Produksjons- tap eller stans. Skade på komponenter.	1	3	3	Dimensjonere komponenter korrekt. Riktig materialvalg.
10.	Ledningsbrudd/ kortslutning	Produksjons- tap eller stans. Brann. Personskade og/eller dødsfall.	1	5	5	Skjerming av kabler. Tilsyn.
11.	Strukturfeil i fundament	Skade på damstruktur og/eller skade på komponenter. Personskade og/eller dødsfall.	1	5	5	Dimensjonere damstruktur korrekt. Tilsyn.
12.	Utgåtte deler	Produksjons- tap eller stans.	2	2	4	Bevisst valg av komponenter.
13.	Liten/ingen tilgang på deler	Produksjons- tap eller stans.	2	3	6	Bevisst valg av komponenter.
14.	Lang leveringstid på deler	Produksjons-tap eller stans.	3	2	6	Bevisst valg av komponenter.

Tabell 8: Analyse av hendelser med identifikasjonsnummer

* S = sannsynlighet, K = konsekvens, R = risiko (S * R)

8.4. Risikomatrise

Sannsynlighet	5					
	4					
	3	3	14			
	2		1,4,12	2,13		
	1		6	7,8,9	5	10,11
		1	2	3	4	5
		Konsekvens				

Høy	Ikke akseptabel risiko. Tiltak er nødvendig.
Medium	Akseptabel risiko. Tiltak bør vurderes.
Lav	Akseptabel risiko. Tiltak ikke nødvendig.

Figur 23: Risikomatrise hvor hendelsene er kategorisert

8.5. Konklusjon av risikoanalysen

De fleste av systemets risikomomenter kategoriseres i matrisen i det grønne området. Dette anses som en akseptabel risiko og tiltak er derfor ikke nødvendig.

I det gule området, med akseptabel risiko hvor tiltak bør vurderes, inngår fem hendelser. ID 14, lang leveringstid på deler, har høyere sannsynlighet, men lavere konsekvens. ID 2, fremmedlegemer og ID 13, liten/ingen tilgang på deler har begge middels sannsynlighet og konsekvens. ID 10, ledningsbrudd/kortslutning og ID 11, strukturfeil i fundament har lav sannsynlighet, men på grunn av faren for personskaade og dødsfall kategoriseres disse med høyeste konsekvens.

Det røde området hvor risikoen ikke er akseptabel og tiltak er nødvendig, befinner det seg ingen hendelser.

9. Drift og vedlikehold

I et omfattende prosjekt er det viktig å ha en plan for drift og vedlikehold for å oppnå best mulig struktur vedrørende driften av minikraftverket, forebygge unødvendige utlegg grunnet manglende rutiner, samt og få en fast rutine for utførelse av de forskjellige vedlikeholds og inspeksjonspunkter som systemet måtte kreve. Dette vil gjøre hverdagen enklere og mer oversiktlig for operatører og arbeidere, og gi en reell og nøyaktig kostnadsoversikt. Ved periodisk vedlikehold og inspeksjon vil man kunne avverge unødvendig slitasje på utstyr og komponenter, og dermed forlenge levetiden på disse.

9.1. Drift

Driften i dag er blitt forandret vesentlig med årene. Med dagens teknologi ønskes det at så mange aspekter ved kraftverket som mulig skal kunne fjernstyres fra en driftssentral. Dette gjelder spesielt for større selskaper som har flere aktive kraftverk, der det er fokus på effektivisering, sikkerhet og personellkostnader. Dette betyr imidlertid større kostnader og dermed vil mindre viktige komponenter være manuelt styrte.

9.2. Vedlikehold

Som nevnt tidligere er vedlikehold en viktig del av prosjekteringen. Ved å sette vedlikehold inn i en systematisk plan vil man kunne begrense systemets nedetid, redusere slitasje på utstyret og sørge for optimal produksjon til enhver tid.

9.3. Inspeksjon

I tillegg til vedlikehold vil inspeksjoner være nødvendig. Ved rutinemessige inspeksjoner vil man kunne avdekke problemer som utvendig slitasje, lekkasje, feil i koblingspunkter og lignende.

9.4. Driftsplan

9.4.1. Daglig

Driftssentralen må kontrollere sanntidsinformasjon fra kraftverket flere ganger om dagen. Hvis dette avviker fra normalproduksjon må det iverksettes en inspeksjon utenom det som er planlagt, til feilen er identifisert og rettet.

9.4.2. Ukentlig

Grinden må renskes for gress, kvist og andre fremmedlegemer som er med på å tette åpningene i grinda. En tett grind vil føre til at det ikke slipper gjennom tilstrekkelig vann for å opprettholde optimal strømproduksjon. Om den tettes helt, vil den også utsettes for store krefter som nevnt tidligere i kapittel 6.4, Varegrind og inntaksluke.

9.4.3. Månedlig

Utvendig inspeksjon av turbin og generator er et viktig punkt. Lekkasje, ulyder, vibrasjoner og varmeutvikling er noen av elementene som må inspiseres månedlig. Aksler som ikke er i drift må roteres en gang i måneden.

Enkel, visuell inspeksjon av hele systemet, der en kraftstasjonsarbeider vil se og lytte etter uregelmessigheter.

9.4.4. Årlig

Etter anbefaling fra leverandør, må turbinen som kun skal brukes i de tre månedene med sommervannføring, belegges med et rust- og korrosjonsbeskyttende middel innvendig og utvendig før lagring. Det best egnede middelet for denne lagringen vil være Eureka Fluid Film, da den beskytter godt. Den er ikke skadelig for organismer i vann, og den kan tørkes lett av før turbinen settes i gang igjen.

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

Taljen som brukes til heising av luke og grind vil kunne trenge smøring etter lengre stillestående perioder. Likevel er dette en robust maskin, og da den lagres i et hus, er det kun nødvendig å smøre den en gang i året.

Det vil være mulig å oppdage større skader ved den ukentlige kontrollen, men mindre sprekkdannelser vil være vanskelig å se når grinda er dykket. Derfor skal en grundigere kontroll av grinda utføres minst en gang i året. Det vil være hensiktsmessig å kombinere kontrollen(e) i forbindelse med driftsstans, der den kan heises og inspiseres uten å påvirke strømproduksjonen.

Det finnes flere koblingspunkter i den prosjekterte rørgaten, bestående av mange bolter. Det anbefales å ha en årlig inspeksjon av disse boltene der disse etterstrammes om nødvendig.

9.4.5. Hvert 2. år

Leverandøren anbefaler utskiftning av deler på pumpen hvert annet år (kapittel 6.1.7.). Det anbefales samtidig smøring av deler som krever dette samt bytte av luftfilteret på generatoren.

Rørgate og turbin må inspiseres innvendig for å se etter skader, korrosjonsangrep, algevekst og lignende.

Det må utføres en kontroll av kabler fra systemet og inn til koblingstavlen på hovedkraftverket.

9.4.6. Hvert 4. år

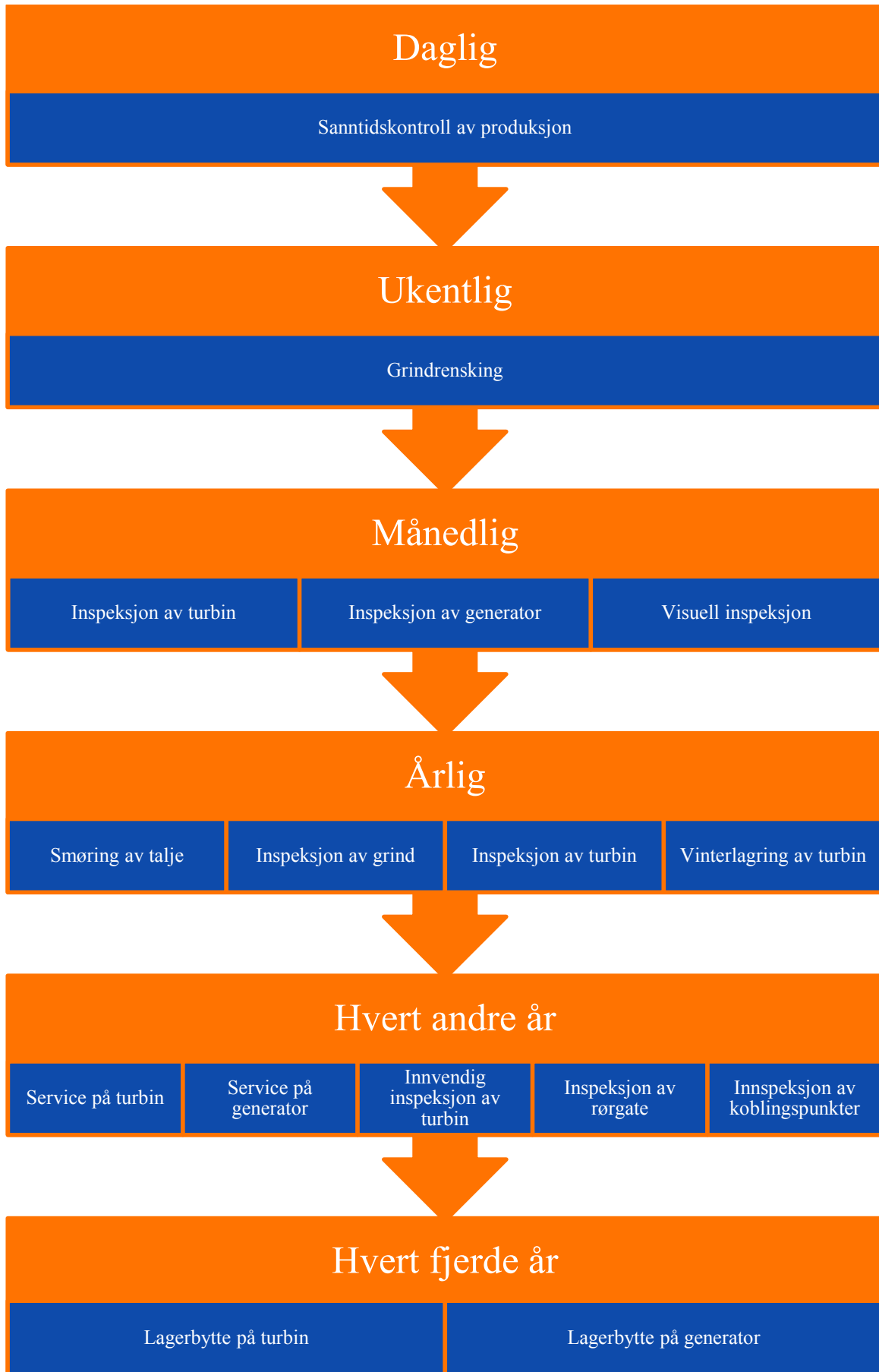
Lagrene til akslingene på turbin og generator bør byttes innen 4 års drift. Dette vil gjøres i sammenheng med servicen som er hvert 2. år. Den månedlige inspeksjonen av turbinene vil også avsløre om det vil være nødvendig med et lagerbytte før de gitte 4 årene, da lagrene vil avgi ulyd og/eller vibrasjoner.

Vedlikeholdsrutiner		
Hendelser	Hyppighet	Prioritet
Rensning av grind	Hver uke	A
Vinterlagring av turbin (beskyttelsesbelegg)	Hvert år	A
Smøring av talje	Hvert år	B
Service på turbin	Hvert 2. år	A
Service på generator	Hvert 2. år	A
Lagerbytte på turbin	Hvert 4. år	A
Lagerbytte på generator	Hvert 4. år	A

Tabell 9: Vedlikeholdsrutiner

Inspeksjonsrutiner		
Hendelser	Hyppighet	Prioritet
Kontrollere sanntidstall av strømproduksjon	Hver dag	A
Kontrollere turbin utvendig for lekkasje og slitasje	Hver måned	A
Kontrollere generator utvendig for lekkasje og slitasje	Hver måned	B
Visuell, enkel inspeksjon av systemet	Hver måned	B
Kontrollere grind grundig for skader	Hvert år	A
Kontrollere bolter på rørgate	Hvert år	A
Innvendig inspeksjon av turbin	Hvert 2. år	A
Inspisere koblingspunkter på generator	Hvert 2. år	B
Innvendig inspeksjon av rørgate	Hvert 2. år	B
Inspeksjon av lukepakning	Ved stans	B

Tabell 10: Inspeksjonsrutiner



Figur 24: Inspeksjon- og vedlikeholdsplan

10.Økonomi

For å få en oversikt om prosjektet kan realiseres, settes det opp et budsjett. Kostnadsrammen for prosjektet er lav og det er dermed små marginer. Budsjettet vil veie kostnader mot potensielle inntekter basert på strømproduksjon og fremtidige strømpriser, samt grønne sertifikater.

10.1. Kostnader

De største kostnadene i kraftverket er kapitalkostnadene for komponenter og konstruksjoner disse trenger. Dette gjelder turbiner, rør, generatorer, grind med utstyr, oppkobling mot hovedkraftverk, samt fundament, festeinnretninger og sanering av disse. Prosjektledelse og engineering inneholder kostnader i forbindelse med teknisk design, planlegging og styring av prosjektet, og antas å være 15% av kapitalkostnadene. Budsjettet inneholder også en utgift for usikkerhet, som antas å være 10% av kapitalkostnadene.

Turbin og generator

For de to pumpene fikk vi ikke tilbakemelding fra Allweiler på kostnader for pumpene med motor og vi har derfor sett oss nødt til å gjøre et overslag over forventet pris, så håper vi det er mulig å oppdrive disse prisene før foredraget. Vi går da ut ifra at Allweiler Allpro PPR 350 med motor koster 200 000kr og Allweiler Allpro PPR 900 koster 500 000kr, dette ser vi på som et overslag som nok er høyere enn hva de faktiske prisene er, men dette er bedre enn å gjøre et overslag som er for lavt.

Rør og ventiler

Priser for rør hentet vi ut ifra vedlegg 2 og disse ble 15 000 kr for røret som skal frakte $0,5\text{m}^3/\text{s}$ og for røret som skal frakte $3,0\text{m}^3/\text{s}$ ble prisen 83 750 kr. Kostnadene for ventilene ble 220 000 kr for nødstengingsventilen på røret som er 1400mm og 50 000 kr for nødstengingsventilen på røret som er 500mm.

Varegrind og luke

Pris for grindrensker er basert på materialkostnader og verkstedkostnader for en relativt enkel konstruksjon. (1020 stål – 15 kr/kg + Polyetylen – 75 kr/kg + Aluminium – 75 kr/kg + 20 verkstedtimer á 1200 kr) til sammen blir dette 27 510 kr.

Varegrinden vil koste 140 000kr [17], elektrotaljen vil koste 105 000kr mens oppheng og fester til elektrotaljen vil komme på 30 000kr. [21]

Byggtekniske kostnader

Priser for de byggtekniske kostnadene er hentet ut ifra NVEs kostnadsgrunnlag for små kraftverk [17], mens mengden materialer er hentet ut ifra 3D-modellen over kraftverket.

Kostnader			
Kategori	Stykkpris	Antall	Totalpris
Hoved fundament med hus			
Betong	2500 kr/m ³	100 m ³	250 000kr
Fjellbolter	1000 kr/stk	20 stk	20 000kr
Armering	16 kr/kg	2000 kg	32 000kr
Forskaling	1200 kr/m ²	108,6 m ²	130 320 kr
Fundamentpreparering	120 kr/m ²	34 m ²	4080kr
Riggkostnader	20%		87 280kr
Fundament for rørgate			
Betong	3500 kr/m ³	1 m ³	3500kr
Forankringsbolter	1000 kr/stk	4 stk	4000kr
Forskaling	1200 kr/m ²	4,5 m ²	5400kr
Riggkostnader	20%		2580kr
Sum			539160

Tabell 11: Byggtekniske kostnader

Oppkobling mot hovedkraftverk

Dette er kostnadene for å koble generatorene opp mot eksisterende infrastruktur i kraftstasjonen. Dette ble antatt å være 30 000kr.

Sanering

Det å tilbakestille området tilbake til original tilstand. Dette ble antatt å være 20% av det byggtekniske kostnadene. Saneringskostnadene ble da 107 832kr.

Drift- og vedlikeholdskostnader

Andre utgifter er drift- og vedlikeholdskostnader, som gjelder reservedeler og arbeidskraft i forbindelse med vedlikehold. Denne posten er beregnet som en samlet utgift for hele kraftverkets levetid. Nedetiden i produksjonen som følge av vedlikehold er tatt i betraktning ved utregning av produksjonsgrunnlag og inntjening, og er derfor neglisjert. Det ble regnet med 500 kr i timen for arbeid som ble utført og for deler og antall timer ble det gjort et anslag.

	Antall timer	Antall ganger i året	Pris deler	Sum
Grindrensing	0,33	36	0	5940
Lagring	3	1	500	2000
Inspeksjon	0,5	12	0	3000
Inspeksjon grind og turbin	5	1	0	2500
Service hvert andre år	10	0,5	5000	5000
Inspeksjon koblinger	2	0,5	0	500
Lagerbytte	2	0,25	5000	1500
Sum				20440

Tabell 12: Drift- og vedlikeholdskostnader

Renter

Ettersom verdien i ett vannkraftverk ansees å ikke være knyttet til selve utvinningsprosessen, men til vannet i seg selv, kan det argumenteres at denne verdien tilhører fellesskapet.

Grunnrenteskatt er pålagt som en metode for å sikre at disse verdiene gis tilbake til fellesskapet. Innslagspunktet er i dag 5500kVa, og skattesatsen er 31%.

Vannkraftverk som betaler grunnrenteskatt, må også betale naturressursskatt. [24]

Ettersom produksjonen ligger under innslagspunktet, er disse skatteordningene ekskludert i budsjettet.

Bedriftskatt tilsvarer 28% av alminnelig inntekt, altså overskuddet. Inntekter som følge av grønne sertifikater pålegges brutto salgsinntekt inntekt. [25]

Bedriftskatt i løpet av kraftverkets levetid beregnes å være:

$$(Inntekter \text{ fra produksjon} + \text{Grønne sertifikater i 15 år}) \cdot \text{skattesats}$$
$$(4.585.128kr + 1.563.122kr) \cdot 0,28 = 1.721.510kr$$

10.2. Inntekter

Produksjon

Forventet inntekt fra produksjonen antas å være ett gjennomsnitt på 22øre per kWh i løpet av kraftverkets levetid.

Inntekter i form av produksjon i løpet av kraftverkets levetid beregnes derfor å være:

$$\text{Årlig produksjon} \cdot 40 \text{ år} \cdot \text{gjennomsnittlig kraftpris per kWh}$$
$$521.040,7kWh \cdot 40 \text{ år} \cdot 0,22kr = 4.585.128kr$$

Grønne sertifikater

Grønne sertifikater er en støtteanordning som gis til kraftprodusenter som bygger ut ny fornybar energi innen 31.12.2020. Ordningen er et samarbeid mellom Norge og Sverige, og har til hensikt å øke produksjon basert på fornybar energi ved å gjøre produksjonen mer lønnsom. Grønne sertifikater gir et tilskudd på 20 øre per kWh produsert, og kraftprodusentene vil få disse i inntil 15 år. [23]

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

Inntekter fra grønne sertifikater i løpet av kraftverkets levetid beregnes derfor å være:

Årlig produksjon · 15 år · Grønne sertifikater

$$521.040,7kWh \cdot 15 \text{ år} \cdot 0,20kr = 1.563.122kr$$

10.3. Samlet budsjett

	Totalt over 40 år	
	Utgift	Inntekt
Engangsutgifter		
Bygg og installasjon	kr 539 160,00	
Turbin 0,5m ³ /s med generator	kr 200 000,00	
Turbin 3,0m ³ /s med generator	kr 500 000,00	
Rør	kr 98 750,00	
Ventiler	kr 270 000,00	
Varegrind, grindrensker, talje og fester	kr 302 510,00	
Oppkobling mot hovedkraftverk	kr 30 000,00	
Sanering	kr 107 832,00	
Sum engangsutgifter	kr 2 048 252,00	
Drift og vedlikehold	kr 817 600,00	
Prosjektledelse og engineering	kr 307 237,80	
Usikkerhetsfaktor	kr 204 825,20	
Produksjon		kr 4 585 128,00
Grønne sertifikater		kr 1 563 120,00
Bedriftskatt	kr 1 721 509,44	
Sum	kr 5 099 424,44	kr 6 148 248,00

Tabell 13: Samlet budsjett over 40 år

11. Konklusjon

Selve oppgaven gikk ut på å prosjektere et minikraftverk på Pikerfoss og deretter konkludere med om det er økonomisk forsvarlig å starte en utbygging. I konseptutvelgelsesfasen ble det klart at en reversert pumpeløsning er den eneste løsningen som er økonomisk akseptabel for dette kraftverket. Kraftverket har både lav fallhøyde og liten vannføring, som gjør at selv små kostnader kan gjøre at prosjektet vipper mot ikke-økonomisk gjennomførbart.

Det ble valgt en helårsløsning med 2 reverserte aksialpumper fra Allweiler. Etter å ha regnet med tap i de ulike komponentene, vil årlig produksjon være 521.040,7 kWh.

Kapitalkostnadene ved bygging, inkludert engineering og en usikkerhetsfaktor på 10%, er på 2.560.315kr. I tillegg kommer årlige drifts- og vedlikeholdskostnader som, over 40 år, er beregnet til 817.600kr. Totalt 3.377.915kr.

De totale inntektene etter skatt, er beregnet til 4.426.738,56kr over 40 år, og det vil si at kraftverket alt i alt vil kunne gå med overskudd. Imidlertid er det usikkerhetsmomenter knyttet til strømprisene i fremtiden. Det vil også ha store konsekvenser for kraftverkets økonomi, hvis noen av hendelsene med stor konsekvens i risikoanalysen inntreffer. Vi mener at om kraftverket skal bygges så er reverserte pumper den beste løsningen.

På bakgrunn av usikkerhetsmomentene forbundet med inntekter, utgifter og strømpriser, har vi konkludert med at utbygging av Pikerfoss minikraftverk ikke kan anses som økonomisk forsvarlig på dette tidspunktet. Skulle imidlertid strømprisene øke, åpner dette for at en utbygging kan være økonomisk forsvarlig.

Kilder

- [1] NVE (2009) *Sikkerhet, tilsyn og beredskap*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Sikkerhet-og-tilsyn1/> (Hentet: 14.03.2014).
- [2] Ving, Leif og Elstad, Ivar. *Hydropower Development Volume 12: Mechanical Equipment*. Trondheim. NTNU Department of Hydraulic and Environmental Engineering. 2003.
- [3] (2014) *The OSSBERGER Turbine for asynchronous and synchronous water plants*, tilgjengelig fra: <http://www.ossberger.de/cms/en/hydro/the-ossberger-turbine-for-asynchronous-and-synchronous-water-plants/> (Hentet: 07.03.2014)
- [4] Hartmann, Ragnar W. (2011) *Småkraftverk – vannkraftmaskiner*, tilgjengelig fra: <http://www.sunnfjordenergi.no/wp-content/uploads/2011/12/Br-Dahl-Vannkraftmaskiner.pdf> (Hentet: 07.03.2014)
- [5] *Kaplan Turbines - Renewables First*, tilgjengelig fra: <http://www.renewablesfirst.co.uk/hydro-learning-centre/kaplan-turbines/> . (Hentet: 11.03.2014)
- [6] J. L. Gordon, P. Eng., *Turbine selection for small low-head hydro developments*. Buffalo, New York, U.S.A. NATURAL RESOURCES CANADA, July 29, 2003,
- [7] Samtale med Håvard Andresen, Salgssjef, KSB, 21.03.2014
- [8] Tung, T (1989) *Canadian Small Hydropower Handbook: British Columbia Region*. Utgiver: Efficiency and Alternative Energy Technology Branch, Energy, Mines and Resources Canada
- [9] Coolfax (2014) *Characteristic Curve for Propeller Pumps, PP 350*
Utgiver: Allweiler GmbH Germany
- [10] Coolfax (2014) *Characteristic Curve for Propeller Pumps, PP 900*
Utgiver: Allweiler GmbH Germany

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

- [11] Allweiler (2014) Propeller Pump Original Operating Manual ALLPRO PPR Series, versjon BA-2014.01
- [12] Samtale med Rune Amundsen hos APS Norway AS. 16.05.2014
- [13] *Ventiler Vasskraft*. Tilgjengelig fra:
http://www.dahl.no/Documents/Kataloger/Vannkraft/Ventiler_vasskraft_2013.pdf
(hentet 15.05.2014)
- [14] Granet, I. 1989. *Fluid Mechanics for Engineering Technology*. Third Edition. Prentice-Hall, Inc.
- [15] Slagord, J. 2010. *Veileder i Planlegging, bygging og drift av små kraftverk*. NVEs hustrykkeri.
- [16] ISO standard 2351. 2009. *Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water applications*.
- [17] Slapsgård, J. 2010. *Kostnadsgrunnlag for små vannkraftanlegg*. NVEs hustrykkeri
- [18] *Fluid Machinery Lecture 30*. Tilgjengelig fra:
http://nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/machine/chapter_7/7_11.html
(hentet 20.05.2014)
- [19] *French river land company's design of draft tube page*. Tilgjengelig fra:
http://www.frenchriverland.com/draft_tubes.htm (hentet 20.05.2014)
- [20] Jensen L, Tresaker E, Lund S, Huber D. 2006 *Inntakshåndboken - Rettledning og utforming av inntak til små kraftverk i Norge*. NVEs hustrykkeri
- [21] Etter samtale med Jan Erik Kalvsjøhagen hos LM Maskin AS. 08.05.2014

Gruppe 10 – Pikerfoss Minikraftverk

- [22] Pytter Asvall, R (2010) *Hvordan is i vassdrag dannes – og hvordan vassdragsreguleringer påvirker isen i norske vassdrag*. Utgave 1. Norges Vassdrags- og energidirektorat
- [23] Olje- og energidepartementet (2014) *Elsertifikatordningen*. Tilgjengelig fra: http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/tema/energi_og_vannsressurser/elsertifikater.html?id=517462 (Hentet 20.05.2014)
- [24] Hjorteland, K. (2011) *Grunnrenteskatt på kraftverk*. Universitetet i Oslo.
- [25] Lovdata, *Lov om skatt av formue og inntekt (skatteloven)*, § 18-2 og § 18-3. Tilgjengelig fra: http://lovdata.no/dokument/NL/lov/1999-03-26-14/KAPITTEL_19?q=elsertifikat+vannkraft#KAPITTEL_19 (Hentet 22.05.2014)
- [26] Samtale med Jonny Eriksen hos Fagerberg Norge AS, 22.05.2014

Vedlegg

Vedlegg 1



Kenneth Myhrvold <kenneth.myhrvold@gmail.com>

Minikraftverk i pikerfoss

Sekretær KJFF <post@kongsbergjff.no>

6. mars 2014 kl. 15.01

Svar til: Sekretær KJFF <post@kongsbergjff.no>

Til: kenneth.myhrvold@gmail.com, Per Kristian Enget <per.kristian.enget@kongsberg.com>

Hei Kenneth

Jeg har blitt bedt om å svare på din henvendelse om utbygging av minikraftverk i Pikerfoss siden jeg husker sånn noenlunde de vurderingene som ble gjort angående sportsfiske ved hovedutbyggingen.

KONKLUSJON

Jeg tror denne tilleggsutbyggingen i Pikerfoss vil ha svært liten påvirkning på sportsfiske i Lågen i Pikerfossområdet.

BEGRUNNELSE

De fiskbare bestandene av Gjedde, Sik og Abbor var uendret eller muligens litt i oppgang grunnet dåligere ørretbestand etter hovedutbyggingen. Det ble registrert en klar nedgang i ørretbestanden fra Pikerfoss og nedover grunnet stans (kraftig reduksjon) i tilgang på ørret som kom nedover elven. Problemet er altså ikke at ørreten må oppover elven for å reproducere, det klarer den fint på sandbanker i Lågen eller i de eksisterende sidebekker.

Vi forsøkte noen år å sette ut ørret av forskjellige årsklasser i Lågen mellom Pikerfoss og Nybrufoss, men fikk ikke de forventede resultater. (Fisken vandret tydeligvis nedover elven)

Kraftutbygger kompenserte det reduserte ørretfiske med en årlig erstatningssum som kan brukes til generelt fiskestell i Kongsberg kommune.

NB! Jeg er ikke sikker på hvordan utbyggingen har påvirket fiskebestandene i lågen mellom Svene og Pikerfoss, men det er ingenting som tyder på at det har blitt et sportsfisker eldorado.

Mvh

Arne V. Sommerstad

(sekretær i Kongsberg JFF)

Vedlegg 2

Vannføring	0,5	0,5	0,5	3	3	3
Nominell Rørdiameter	0,4	0,45	0,5	1	1,1	1,2
Vegtykkelse	0,0055	0,0061	0,0065	0,0098	0,0106	0,0114
Indre diameter	0,3945	0,4439	0,4935	0,9902	1,0894	1,1886
Tversnittareal	0,1222	0,1590	0,1963	0,7854	0,9503	1,1310
Fart	4,0906	3,1438	2,5465	3,8197	3,1568	2,6526
Reynoldstall	1,06E+06	9,31E+05	8,38E+05	2,51E+06	2,29E+06	2,10E+06

Trykkstøt i meter vannsøyle	5,2123	4,0059	3,2447	4,8671	4,0224	3,3799
Trykkstøt i kPa	51,1324	39,2975	31,8310	47,7465	39,4599	33,1573
Maximum trykk i kPa	109,992	98,158	90,691	106,606	98,320	92,017

Friksjonskoeffisient	2,49E-02	2,41E-02	2,35E-02	1,98E-02	1,93E-02	1,90E-02
Falltap fra friksjon i rørgaten	0,6735	0,3376	0,1944	0,1836	0,1116	0,0708
Falltap fra rørringgang	0,4264	0,2519	0,1653	0,3718	0,2540	0,1793
Friksjonskoeffisient Ventil	0,35	0,325	0,3	0,225	0,2	0,19
Falltap fra Ventil	0,2985	0,1637	0,0992	0,1673	0,1016	0,0681
Sum Falltap	1,3984	0,7532	0,4588	0,7227	0,4671	0,3183

Tap grunnet friksjon i NOK	533562,06	287390,68	175047,98	1654587,407	1069339,96	728607,88
Pris rør i NOK	11250	12500	15000	46875	55000	63750

Sum kostnader	544812,055	299890,68	190047,98	1701462,4	1124339,96	792357,88
---------------	------------	-----------	-----------	-----------	------------	-----------

Konstanter for vann ved 5 grader Celsius	
Massetetthet	1000
Dynamisk viskositet	1,52E-03

Absolutt ruhet	8,50E-04
----------------	----------

Rørlengde	12,5
Friksjonskoeffisient rørringgang	0,5
Gjennomsnittlig strømpris neste 10 år	0,222
Trykk på 6m	58,86