

# Vannforsyning av Ferskvannsbasseng

Kristoffer Ryland

Sandra Gabrielsen

Stine Kristiansen Halleraker

Bacheloroppgave i Havteknologi  
Bergen, Norge 2022



Høgskulen  
på Vestlandet



# Vannforsyning av Ferskvannsbasseng

Kristoffer Ryland

Sandra Gabrielsen

Stine Kristiansen Halleraker

Institutt for Maskin- og Marinfag  
Høgskulen på Vestlandet  
NO-5063 Bergen, Norge

Høgskulen på Vestlandet  
Fakultet for Ingeniør- og Naturvitskap  
Institutt for Maskin- og Marinfag  
Inndalsveien 28  
NO-5063 Bergen, Norge

Omslag fotografi © Norbert Lümmer

*English title:*

Water Supply of Freshwater Pool

Forfatter(e), studentnummer:

Kristoffer Ryland h247473  
Sandra Gabrielsen h585927  
Stine Kristiansen Halleraker h585928

Studieprogram:

Havteknologi

Dato:

Mai 2022

Rapportnummer:

IMM 2022-M93

Veileder ved HVL:

Boris Balakin HVL Assisterende instituttleder

Oppdragsgiver:

AS Bolaks

Oppdragsgivers referanse:

Mark Ringeling

Antall filer levert digitalt:

3

## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet våren 2022 som en avslutning på 3.årig bachelorutdanning i Havteknologi. Prosjektet er ved Institutt for Maskin- og Marinfag (IMM) ved Høgskulen på Vestlandet. Rapporten er skrevet for AS Bolaks, produsent for atlantisk laks. Gruppen ønsker å takke AS Bolaks for en lærerik og spennende oppgave. Underveis i prosjektet har vi fått mulighet til å delta på møter og diskusjon, samtidig følt oss inkludert.

Med stor hjelp fra Mark Ringeling, Inga Rullestad og Mons Gitle Eikeland fra Bolaks har vi fått god hjelp og veiledning under skrivingen. Vi har blitt involvert i prosjektet fra start med møter, og de har vært til hjelp for mål og standarder til beregninger. Under skrivingen har vi fått besøke bedriften og vært med på befarung av prosjektet. De har bidratt til en detaljert rapport med jevnlig oppdatering under bygging av ferskvannsbassenget.

Vi vil videre takke vår interne veileder ved HVL, Boris Balakin, for god hjelp med problemstilling og beregninger i bacheloroppgaven. Vi vil også takke Tone Helene Bergset Røkenes for god veiledning til skriving og oppbygging av rapporten. De har begge vært hjelpsomme og gitt god veiledning på de ulike spørsmålene knyttet til rapporten.

Prosjektet har vært veldig innholdsrik og spennende. Det som har vært mest givende under prosessen er å kunne være inkludert i et prosjekt fra start til slutt, og kunne bidra som student i en bedrift. Gruppen er fornøyd med resultatene knyttet til problemstillingen, og håper du som leser synes det er en lærerik og spennende oppgave.



Høgskulen  
på Vestlandet

*Stine K. Halleraker*

---

Stine Kristiansen Halleraker

*Sandra Gabrielsen*

---

Sandra Gabrielsen

*Kristoffer Ryland*

---

Kristoffer Ryland



## Sammendrag

Bacheloroppgaven har som mål å beregne volumstrømmen til vannet fra Koldalsfossen til ferskvannsbassenget som skal bli plassert ved AS Bolaks sitt kaianlegg i Eikelandsosen, Lammaneset. Deretter beregnes varmeveksling mellom rør og sjø. Resultatet fra varmeveksling mellom sjø og rør indikerer om det trengs en ekstern krets med varmevekslere for å kjøle vannet ned til ønsket temperatur. Formålet med bacheloroppgaven er også å se på parameter som er viktig i fiskeoppdrett. Det er flere metaller som må tas hensyn til for å skape god fiskehelse, i tillegg til effektivt oppdrett. Aluminium, jern og hydrogensulfid er metall som ikke bør opphøpe seg til store mengder da det kan føre til skade, og verste fall høy dødelighet for laks. Parameter som temperatur og hummus må også være rundt grenseverdiene som er anbefalt for å skape god fiskehelse. Høy temperatur fører til økt sult og kan føre til overfôring av fisk. Det kan også føre til stress og aggressiv fisk.

Lakselus er en av de største problemene innenfor fiskeoppdrett. Det har vært, og kommer til å være et problem videre da det må utvikles nye måter å bli kvitt parasitten på. Et ferskvannsbasseng er en av mulighetene for å oppbevare ferskvann som brønnbåter kan ta nytte av i avlusing på fisk. Det oppbevares ferskvann i et lukket basseng i sjøen som gjør det raskere og lettere å få tilgang til ferskvann. Parasitten har opparbeidet seg resistens mot diverse behandlingsmetoder som gjør at oppdrettere må tenke nytt. En av behandlingsmetodene er behandling med ferskvann med lav temperatur, da lakselusen ikke trives i lav temperatur eller ferskvann. Vannet vil til slutt føre til lammelse og død hos lusen som viser at metoden har gode resultater. Parametere som temperatur, kjemiske stoffer og volumstrømmen av vannet må kontrolleres.

Beregningene i rapporten gir et tilfredsstillende resultat. Vekseleffekten mellom sjø og rør er ikke stor, så det vil være behov for egen kjølesløyfe for å få temperaturen i vannet ned til ønsket temperatur. Forslag til kjølesløyfe er to platevekslere som skal hjelpe å kjøle ned vannet med sjøvann som kjølemedium. Effekten plateveksleren bruker på å kjøle ned vannet er innenfor maksimal effekt plateveksler kan bruke på kjøling. Da prosjektet ikke er ferdigstilt innen slutføring av rapport, er ikke resultat av vannkvalitet med. NIVA (Norsk institutt for vannforskning) skal ta vannprøver over parameterne i ferskvannsbassenget etter ferdigstilling av prosjektet.





## Abstract

The bachelor thesis aims to calculate the volume flow of water from Koldalsfossen to the freshwater pool which will be located at Bolaks' quay facility in Eikelandsosen, Lammaneset. Then the heat exchange between pipe and sea will be calculated. The result from heat exchange between the sea and pipe indicates whether an external circuit with heat exchangers is needed, to cool down the water to a desired temperature. Salmon lice do not thrive in low temperature water. The purpose of the bachelor thesis is also to look at parameters that are important in fish farming. There are several metals that must be considered to create good fish health, in addition to efficient farming. Aluminium, iron, and hydrogen sulfide are metals that should not accumulate in large quantities as it can lead to damage, and worst-case mortality for salmon. Parameters such as temperature and hummus must also be around the certain values that are recommended for good fish health. High temperature leads to increased hunger and can lead to overfeeding of fish. It can also lead to stress and aggressive fish.

Salmon lice are one of the biggest problems in fish farming. It has been, and will continue to be, a problem as new ways of getting rid of the parasite must be developed. A freshwater pool is one of the options for storing freshwater that well boats can take advantage of in de-lice on fish. Fresh water is stored in an enclosed pool in the sea which makes it faster and easier to access fresh water. The parasite has developed resistance to various treatment methods that make breeders have to think new. One of the treatment methods is treatment with fresh water with low temperature, as salmon lice do not thrive in low temperature or fresh water. The water will eventually lead to paralysis and death in the lice which shows that the method has good results. Parameters such as temperature, chemical substances and the volume flow of the water must be controlled.

The calculation in the report gives a satisfactory result. The alternating effect between sea and pipe is not great, so there will be a need for a separate cooling loop to get the temperature in the water down to the desired temperature. Proposed cooling loop are two plate exchangers that will help cool the water with seawater as cooling medium. The power the heat exchanger uses to cool the water is within the maximum power the heat exchanger can use on cooling. As the project has not been completed by the end of the report, the result of water quality is not included. NIVA will take water samples over the parameters in the freshwater pool when the project is completed.



# Innholdsfortegnelse

Forord.....	V
Sammendrag.....	VII
Abstract .....	IX
Forkortelser .....	XIII
Nomenklatur.....	XV
1. Innledning.....	1
1.1 Bedriften.....	1
1.2 Problemstilling .....	2
1.3 Struktur av rapport.....	2
2. Bakgrunn for prosjektet.....	3
2.1 Ferskvannsbassenget .....	3
2.2 Flytekrage.....	4
2.3 Duken .....	5
2.4 Vannkvalitet .....	7
3. Røret.....	10
3.1 Material .....	11
3.2 Beskrivelse av rør.....	11
4. Metodiske verktøy.....	15
4.1 Strømning i rør .....	15
4.2 Varmeveksling.....	18
4.3 Avsides sløyfe med varmeveksler .....	22
4.4 Feilkilder .....	23
5. Resultat.....	24
5.1 Strømning .....	24
5.2 Varmeveksling.....	26
5.3 Sløyfe med varmeveksler .....	28
5.4 Vannkvalitet .....	30
6. Konklusjon .....	34
6.1 Veien videre .....	34

Litteraturliste .....	35
Figurer .....	39
Tabeller.....	40
Formler.....	41
Vedlegg 1: Skisse av rør.....	42
Vedlegg 2: Tapskoeffisienter for sammensatte rørdeler (Brautaset, 1983).....	43
Vedlegg 3: Tapskoeffisient for 90 graders bend (Brautaset, 1983).....	44
Vedlegg 4: Tapskoeffisienter for innløp og utløp (Brautaset, 1983).....	45
Vedlegg 5: Skisse av rør fra elv til Lammaneset (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022) .....	46
Vedlegg 6: Skisse av rør fra meierihuset til Eikelandssosen (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022) .....	47
Vedlegg 7: Standard for PE rør (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022).....	48
Vedlegg 8: Værdata ( <i>Siste målinger - Bergensværet</i> , u.å.).....	49
Vedlegg 9: Teknisk tegning Lammaneset (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022).....	50
Vedlegg 10: 3D-tegning plateveksler (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022).....	51
Vedlegg 11: Teknisk spesifisering plateveksler (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022) .....	52
Vedlegg 12: Rørdimensjon fra 1984. (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022).....	53
Vedlegg 13: Posisjon i sjøkart. (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022).....	54
Vedlegg 14: Utrekninger M93 .....	55

## Forkortelser

AGD	Amøbisk gjellesykdom
Al	Aluminium
Al <sup>3+</sup>	Labilt aluminium
Al(OH) <sup>4-</sup>	Aluminat
E.osen	Eikelandsofen
Fe	Jern
Fe <sup>2+</sup>	Toverdige jern
Fe <sup>3+</sup>	Treverdige jern
H <sub>2</sub> S	Hydrogensulfid
HS <sup>-</sup>	Bisulfid
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Sulfat
S <sup>2-</sup>	Sulfid
O <sub>2</sub>	Oksygen
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
HDPE	High density polyethylene
HVL	Høgskulen på Vestlandet
IMM	Institutt for Marin og Maskin
Moh	Meter over havet
NIVA	Norsk institutt for vannforskning
PE	Polyeten
PEH	Polyethylene
PVC	Polyvinylklorid
Ppt	Parts per thousand
TOC	Total organic carbon
U.å	Uten år



## Nomenklatur

$v$  - Gjennomsnittshastighet [m/s]

$\rho$  - Tetthet [kg/m<sup>3</sup>]

$Z$  - Stedshøyder [m]

$p$  - Manometertrykk [Pa]

$g$  - Tyngdeakselerasjon [m/s<sup>2</sup>]

$\lambda$  - Moody friksjonsfaktor

$\vartheta$  - Tapskoeffisient

$l$  - Rørlengde [m]

$d$  - Indre diameter [m]

$Re$  - Reynolds tall

$\mu$  - Fluidets viskositet [Pa·s]

$A$  - Areal [m<sup>2</sup>]

$V$  - Volum [m<sup>3</sup>]

$Q$  - Volumstrøm [m<sup>3</sup>/h]

$\pi$  - Pi

$C_p$  - Varmekapasitet [J/(K·kg)]

$h$  - Varmeovergangskoeffisient [W/(m<sup>2</sup>·K)]

$T$  - Temperatur [K]

$E$  - Varmestrøm/Effekt [W]

$\Delta p_{\text{Tap}}$  - Trykktap [Pa]

$g_0$  - Solstråling [W/m<sup>2</sup>]

$Ra$  - Rayleigh-tall





## 1. Innledning

I 2021 søkte AS Bolaks om løyve til å utplassere et ferskvannsbasseng ved deres kaianlegg i Eikelandsosen, Lammaneset. Ferskvannsbassenget skal oppbevare behandlingsvann som skal benyttes til avlusnings-operasjoner. Lakselus er en parasitt som finnes i alle havområder på den nordlige halvkule. («Lakselus», 2022) Parasitten gir dårlig fiskevelferd og åpner for andre infeksjoner på laksen da den spiser slim, skinn og blod på laksen. Den er mest aktiv om sommeren når det er varmt i sjøen. Lusen trives dårligere i mindre salt vann, og faller av laksen når den går gjennom ferskvann. (*Fakta om lakselus og lakselusbekjempelse / Mattilsynet, 2016*)

Bassenget består av en flytekrage med 50 m diameter og en 12 m dyp presenning til oppbevaring av ferskvann. Det skal gå en landgang ut til ferskvannsbassenget, i tillegg skal bassenget være fortøyd til land og havbunn. For å forsyne ferskvannsbassenget med vann vil rør som ble lagt i 1984 fra Eikelandsosen til Lammaneset benyttes. Det er PEH-rør (Polyethylene) med 280 mm diameter.

Inne i Eikelandsosen, oppe i Koldalsfossen, skal det hentes ferskvann som skal forsyne ferskvannsbassenget. Vannet filtreres for steiner og sand ved starten av fossen i en komme før det transporteres videre ned i rørene til Eikelandsosen. Det går et rør med 500 mm diameter ned til 400 mm diameter ned til Eikelandsosen. Rørene bort til Lammaneset er to kilometer lange, målt fra starten av vassdraget bort til Lammaneset. Nede i Eikelandsosen er det to kummer ned til rørene med tilgang til skyvespjeldventiler som er montert på.

Videre i rapporten tar gruppen for seg ulike beregninger som strømming, og varmeveksling mellom rør og sjø. Det presenteres også gunstige verdier for behandlingsvannet som bla. temperatur, Al (Aluminium), Fe (Jern) og pH.

### 1.1 Bedriften

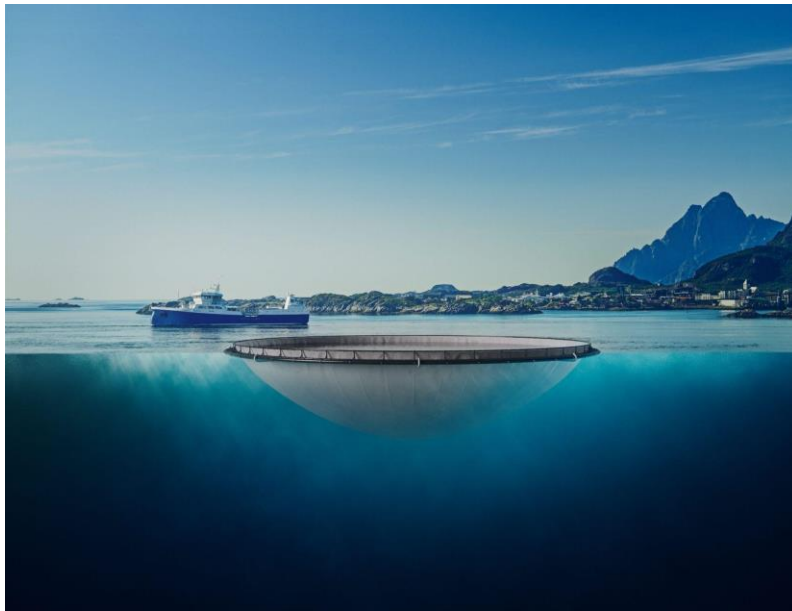
AS Bolaks er en familiebedrift grunnlagt og eid av familien Holmefjord. (admin, u.å.) Bedriften ble stiftet i 1975, og er i dag en helintegrert produsent av atlantisk laks. Familien Holmefjord og deres medarbeidere har gjennom flere generasjoner utviklet og utvidet virksomheten til å bli en solid oppdrettsbedrift i Norge. AS Bolaks er involvert i hele prosessen, fra avlsarbeid til ferdigpakket fisk. Fra deres fasiliteter på Vestlandet leveres det laks til det norske og internasjonale markedet. De har en visjon om å levere produkter etter kundens ønsker, og ha en kostnadseffektiv drift med fokus på fiskehelse og miljøet. (admin, u.å.)

Selskapet har sin hovedvirksomhet i Fusa kommune i Vestland fylke og hovedkontoret er lokalisert i Eikelandsosen, Lammaneset. Alle lokasjonene er i Bjørnafjorden kommune.

## 1.2 Problemstilling

Før oppstart av rapporten ble det gjort grundig planlegging om hvordan oppbyggingen av rapporten skulle være. For å få en helhet i rapporten var det nødvendig å få satt seg skikkelig inn i prosjektet, men også å få presisert problemstillingen slik at det ble bevisstgjort hva som skulle beregnes. Formler og litteratur som kunne være relevant for rapporten ble undersøkt og notert ned.

Problemstillingen i rapporten tar for seg vannforsyning av et nytt, flytende ferskvannsbasseng med søkelys på strømming, temperatur og kjemisk vannkvalitet. Rapporten viser beregninger til om det er behov for egen varmeveksler, eller om varmeeffekten mot rør i sjø vil ha tilsvarende effekt. Om resultatet indikerer at det trengs varmevekslere, vil det beregnes hvilken effekt som må til for å kjøle ned vannet i bassenget. Volumet til strømmingen som kommer ut rørene i bassenget skal beregnes, samt beskrivelse av de kjemiske parameterne som er viktig med tanke på behandling av laks.



*Figur 1: Ferskvannsbasseng i sjø. («Ferskvannsbasseng», u.å.)*

## 1.3 Struktur av rapport

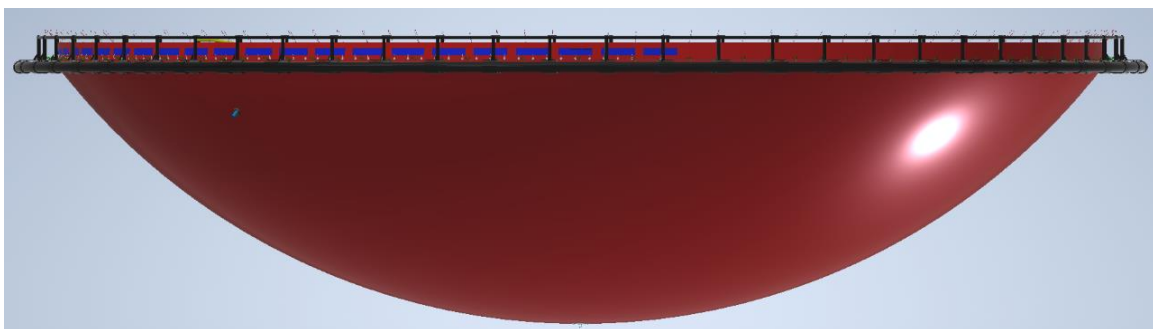
Rapporten viser til bakgrunnen for prosjektet med forklaringer av komponentene til ferskvannsbassenget med teoretiske beskrivelser. Det andre kapittelet i rapporten går gjennom bakgrunnen av prosjektet. Komponentene i konstruksjonen gjennomgås med detaljert informasjon og beskrivelser om mål og standarder. Vannkvalitetsparameter som er viktig å ta hensyn til i forbindelse med oppdrett av laks opplyses i kapittel to. Metaller og viktigheten med temperatur defineres med tanke på god og dårlig fiskehelse. Videre i kapittel 3 beskrives ruten som røret ligger i fra elv til sjø. Her opplyser gruppen rørsesifikasjoner, teori og mål på deler av systemet med bilder og figurer. Resultater og konklusjon til problemstillingen kommer til slutt i rapporten.

## 2. Bakgrunn for prosjektet

En av de største utfordringene innen norsk oppdrettsnæring er lakselus. (*Immunsystemet hos berggyllt viste seg å være spesielt*, u.å.) Lakselus er en parasitt som er med å gjøre fiskevelferden betraktelig mye dårligere. Parasitten finnes i saltvann og påfører fisken skade. De spiser skinn, slim og blod av fisken som kan skape infeksjoner og andre sår på fisken. Noe kritisk med lakselusen er at den formerer seg hurtigst ved høyere temperatur, typisk om sommeren. Lakselusens trivsel er dårligere i ferskvann og vann med lav temperatur. (*Fakta om lakselus og lakselusbekjempelse* | Mattilsynet, 2016) I kapittel to forklares komponentene i konstruksjonen og selve funksjonen til ferskvannsbassenget. Kapitlet viser 3D-modell av ferskvannsbassenget, teknisk informasjon om duken til bassenget og de ulike metallene som må overvåkes. Røret som skal forsyne bassenget gjennomgås i et eget kapittel slik at ruten røret ligger i synliggjøres. Kapitlet om røret inneholder bilder og teknisk informasjon om delene koblet på røret fra elv til sjø.

### 2.1 Ferskvannsbassenget

Ferskvannsbasseng er et depot for lagring av ferskvann. I prosjektet til Bolaks skal ferskvannsbassenget brukes som et depot for ferskvann som skal brukes som behandlingsvann for avlusning. Ferskvannsbassenget er bygget opp av en tett duk som skal inneholde ferskvann ute i sjøen. Duken må være slitesterk på grunn av sterke havstrømmer og fordi ferskvann er lettere enn sjøvann. Med et ferskvannsbasseng unngås det å hente vann direkte fra ferskvannskilden som bidrar til at partikler og patogen unngås, og brønnbåter får nok tilgang til ferskvann. Ferskvannsbassenget gjør det lettere for brønnbåtene å fylle båten med ferskvann, det går både raskere å fylle båten, samt at vannkilden er nærmere lokasjonen. Avlusning i brønnbåt er en lettere prosess enn å måtte hente vann fra en vannkilde en viss avstand fra sjøen. Partikler og patogen i ferskvannet filtreres ut, som bidrar til økt biosikkerhet og fiskevelferd under behandling. («Ferskvannsbasseng», u.å.)



Figur 2: 3D-modell av duken til bassenget. (Fiizk, personlig kommunikasjon, 2022)

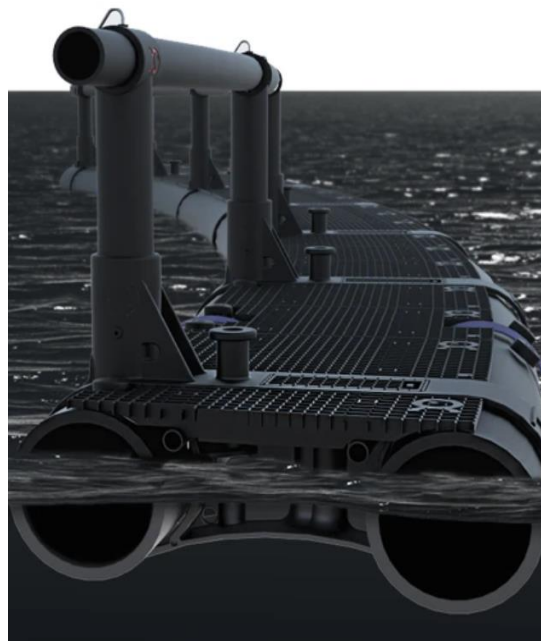
Ferskvannet hentes opp av brønnbåter til parasittbekjempelse og AGD-behandling (Amøbisk gjellesykdom) hos fisken. Som tidligere fastslått er lakselus en vanlig parasitt i oppdrett. Den setter seg på fisken og kan føre til store skader. Lakselus trives ikke i ferskvann som gjør ferskvannsbehandling til en effektiv metode for å fjerne parasitten på, samtidig er det skånsomt mot fisken og miljøet. (Havforskningsinstituttet & Jakobsen, 2019)

Når fisk har fått AGD kan dette ses på gjellene. Gjellene bør sjekkes regelmessig for hvite flekker, og gjellene kan være vokst sammen på grunn av økt slimcelleaktivitet. Symptomer er blant annet dårlig matlyst, redusert svømmeaktivitet og respirasjonsbesvær. (*Amøbegjellesykdom*, u.å.)

## 2.2 Flytekrage

Konstruksjonen til ferskvannsbassenget består av en flytekrage av en eldre modell av Polarsirkel ring fra Akva Group. Akva Group er en bedrift som tilbyr service innenfor både sjøbasert og landbasert oppdrett, og komplette tekniske løsninger som bidrar til en bærekraftig, kostnadseffektiv og sikker havbruksnæring.

Polarcirkel 500R Combi er en kraftig merdmodell som er utviklet for å gi en effektiv, trygg og sikker plattform for oppdretteren. Flytekragen er isoporfri, noe som øker graden av resirkulerbarhet da merden kun består av HDPE (High density polyethylene). Gjennom kraftige flatstropper rundt flyterørene tas kreftene fra fortøyningene opp. Flytekragen passer svært godt til områder som ikke er ekstremt utsatt for store krefter, og krever da lite vedlikehold. (*AKVA Polarcirkel 500R Combi - AKVA group*, u.å.)



Figur 3: Del av flytekrage. (*AKVA Polarcirkel 500R Combi - AKVA group*, u.å.)

Merdmodellen er laget av plastmateriale HDPE100. HDPE er et ofte resirkulert materiale, og har tallet 2 som harpiksidentifikasjonskode. Materiale er kjent for sitt høye styrke-til-tetthetsforhold, og tettheten varierer mellom 930 til 970 kg/m<sup>3</sup>. («High-Density Polyethylene», 2021) HDPE-rør eliminerer korrosjon, har lav vekt og en lang holdbarhet som har bidratt til økende bruk da de også er kostnadseffektive. («HDPE Pipe», 2022)

### 2.3 Duken

Duken som skal oppbevare ferskvannet i bassenget er en Aqua 1550 som er 1,2 mm tykk. Den skal romme 12000 m<sup>3</sup> og ha en diameter på 50 m. Duken er laget av PVC (polyvinylklorid), og vevet i duken er polyester.

I ferskvannsbassenget er det ikke ønskelig å ha en salinitet på over 3. Ferskvannet bør ikke inneholde mye salt da det skal brukes som behandlingsvann, og lakselusen trives i høyere salinitet. Derfor må det være en løsning for fjerning av sjøvannet som kommer inn i bassenget på grunn av vær og vind. Sjøvannet som kommer inn i ferskvannsbassenget synker og legger seg i bunn av duken da det er tyngre enn ferskvannet. Det lages en løsning for avløp i bunnen av bassenget som vil skylle ut sjøvannet i stedet for at hele bassenget må tømmes. På grunn av oppdrift i duken når den er tom, må ikke duken tømmes med mindre været tilsier dette. En konsekvens kan da være at duken tas av vinden og føres opp på land. (Fiizk, personlig kommunikasjon, 2022)

Tabell 1: Teknisk informasjon om duken. (Fiizk, personlig kommunikasjon, 2022)

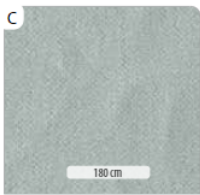
Technical specifications	
Blobrane	
Aqua 1550	
Weight	1500 g/m <sup>2</sup> - EN ISO 2286-2
Tensile strength (warp/weft)	1000/800 daN/5 cm - EN ISO 1421
Tear strength (warp/weft)	200/180 - DIN 53.363
Thickness	1.2 mm - EN ISO 5084
Adhesion	15/15 daN/5 cm
Ecotoxicology	Non toxic coating
Warranty	-
Maximum delivery time	6 working weeks

Provided services


The technical data above are averaged values with a +/- 5% tolerance.

**Precontraint® Technology**

**2 colours**

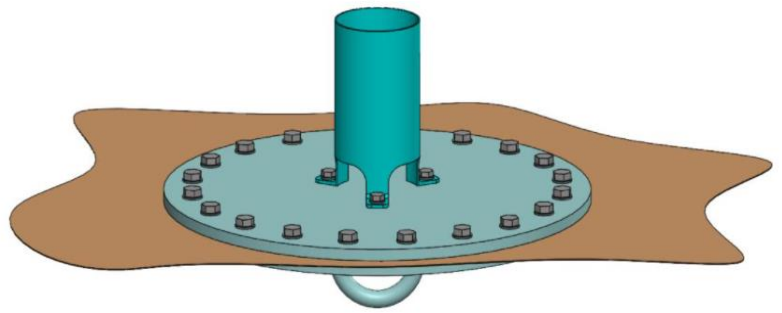


Grey 1550-1071



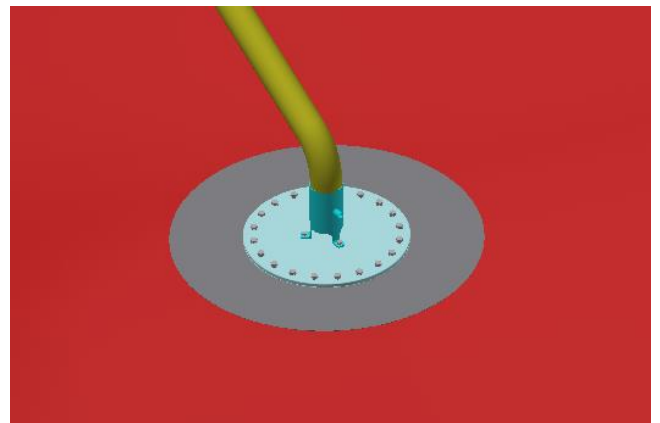
Grey 2050-1071

Nede i bunn av bassenget er det festet en flens. Den er festet ved hjelp av bolter med gjenger slik at det skal være enklere å løsne fra innsiden. Grunnen til flensen er plassert på innsiden av duken er fordi det er bevegelse og bølger på utsiden. Om den hadde vært på utsiden ville den ha blitt ødelagt før eller siden. Materiale til røret i flensen er PE(Polyeten)-rør som er festet til en syrefast plate i stål som er på 800 mm. (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)



Figur 4: Flens i bunn av basseng.

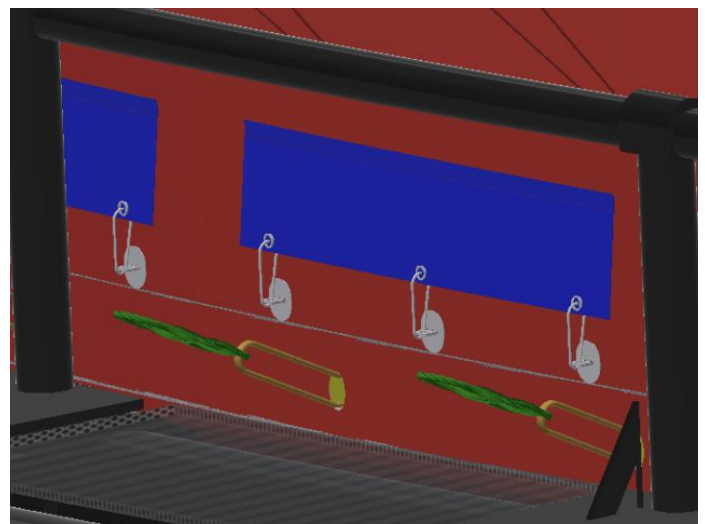
Som vist på 3D-modellen til høyre, figur 6, er det et gult rør som er festet til flensen nede i bunn. Røret skal føre ut slam og sjøvann som synker ned i bunn. For at vannkvaliteten i bassenget skal være gunstig til bruk som behandlingsvann, må alt slam fjernes slik at det ikke opphoper bakterier, høy pH, og oppsamling av uønsket stoffer som kan være farlig for fisken.



Figur 5: Flens med rør ut av basseng.

Siden ferskvann har mindre tetthet enn sjøvann, vil sjøvannet være tyngre enn ferskvannet. Når duken monteres på flytekragen, vil den være 10 cm over havets overflate. Dette er på grunn av at sjøvannet vil prøve å presse ferskvannet opp og derfor må ferskvannet ha en overflate over sjøvannets overflate. (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)

Øverst på duken er det flere blå luker for å hindre overfylling. Lukene er laget på en måte slik at vannet renner ut, men ikke trenger inn.



Figur 6: Luker øverst ved duken i ferskvannsbassenget.

## 2.4 Vannkvalitet

I rapporten er vannkvalitet et mål for det biologiske og kjemiske innholdet i vann som påvirker fisken. For å ha god fiskehelse er det viktig med god vannkvalitet som tilfredsstiller fiskens behov. For at det ferdige produktet skal være best mulig bør fisken ha det bra gjennom hele syklusen fra rogn til slakt. Gjennom syklusen til laks, gjennomgår fisken flere stadier, men også innom mange områder med ulike vannkvaliteter. Fra smolt til postsmolt går laksen fra ferskvann i kar til saltvann i sjø. Når laksen vokser og flyttes fra lokasjon til lokasjon utsettes den for ulike vannkvaliteter, og kan bli stresset. Stress kan føre til at fisken blir mer sårbar mot sykdom, samtidig vil kvaliteten og holdbarheten av det ferdige produktet bli dårligere. (Diesen Hosfeld, 2020b). Det er mange parameter som må holdes under kontroll og i gunstige forhold for laksen. Nedenfor tar gruppen for seg ulike metaller og organiske materiale som kan oppstå i Koldalselva, og hvordan fisken påvirkes av temperatur.



Figur 7: Oppdrettslaks. (Hvor frisk er oppdrettslaksen?, u.å.)

pH er målet for surhetsgrad og kan variere med nedbør. Sur nedbør er nedbør som har en lavere pH-verdi enn 5,6. Det kan være risikabelt for fisken på grunn av giftigheten til metaller varierer med pH og sur nedbør medfører at mer Al løses opp. (Diesen Hosfeld, 2020a)

Al er kjemisk ustabil og er avhengig av mengde løst organisk stoff og endringer i pH. Derfor er en stabil pH veldig viktig for en stabil vannkvalitet. Ved lav pH på under 5,0 øker konsentrasjonen av  $Al^{3+}$  (labilt aluminium). Konsentrasjonen av labilt, uorganisk Al er gjellereaktiv og vil dermed være problematisk for fisk. (Sammenhengen mellom labilt aluminium og pH i kalkede laksevassdrag, u.å.) Det kan føre til problemer med saltbalanse, kvelning og akutt dødelighet. Ved høy pH på over 7,0 vil Al foreligge på formen  $Al(OH)^4-$  (aluminat) som også kan være skadelig for fisken. (Bjerknes, 2007)

Når aluminiumholdig ferskvann blandes med sjøvann endrer Al tilstanden og kan være ekstremt giftig for fisk. Al i ferskvann mobiliseres til en bioreaktiv form ved kontakt med sjøvann. Det akkumulerer mer Al på gjellene i brakkvann enn i ferskvann med en promille mellom 4-5. Samtidig minker gjellealuminium konsentrasjonene ved høy salinitet, 10-12 ppt, på grunn av fortykning av Al ved tilførsel av sjøvann. (Diesen Hosfeld, 2020a) (*Påvirkes laksesmolt av aluminium i brakkvann?*, u.å.) "Ugiftig" Al i kontakt med sjøvann vil bli forbigående "giftig". (Bjerknes, 2007)

Fe er viktig for fisken på grunn av at det bistår i blodets hemoglobin. Hemoglobin har i oppgave å oppta og transportere O<sub>2</sub> (oksygen) i blodet samtidig regulere surhetsgraden i blodet. (Evensen, 2021) Høye jernkonsentrasjoner i vannet derimot, kan forårsake skader eller dødelighet hos fisken. Fe finnes i oksygenfattig vann som grunnvann og vann fra myrområder. (Diesen Hosfeld, 2020a) Giftigheten av Fe bestemmes ved hvor stor andel av Fe som er organisk bundet. Forskning har vist at giftigheten kan minke med økende hummuskonsentrasjon. Ved ugunstige forhold har det blitt vist at fisken kan få skader ved en jernkonsentrasjon på over 50 µg/l i vannet. (*Mattilsynet - Rapport om vannkvalitet og fiskevelferd (2004).pdf*, u.å.)

Fe<sup>2+</sup> (Toverdige jern) er løselig i vann. I kontakt med luft/O<sub>2</sub> vil Fe<sup>2+</sup> oksideres til Fe<sup>3+</sup> (Treverdige jern). Hastigheten av oksidasjonen vil øke med pH, temperatur og reduserende ionestyrke. Fe<sup>3+</sup> kan felle ut og legge seg på fiskens gjeller. Høye konsentrasjoner kan gi akutt dødelighet, og lavere konsentrasjoner kan gi kronisk skader. Fe<sup>2+</sup> er også giftig fordi det hemmer fiskens kalsiumopptak, og vil medføre lipidperoksidering som er harskning av fett og dannelse av frie radikaler i fisken. I likhet til Al kan reversibelt bundet Fe i kontakt med sjøvann bli mobilisert og danne gjellereaktive Fe-tilstander. (Bjerknes, 2007) Fe og Al er rapportert å kunne forsterke de giftige effektene av hverandre. (Diesen Hosfeld, 2020a)



Figur 8: Bilde av gjeller med jernutfelling. Grønnfargen indikerer tilstedeværelse av jern. (Bjerknes, 2007)

H<sub>2</sub>S (hydrogensulfid) er en fargeløs, giftig og brannfarlig gass med en karakteristisk, stikkende lukt av råtne egg. (*Å lukte på stinkende promp, kan beskytte deg mot en rekke dødelige sykdommer*, 2020) Gassen dannes ved bakteriell, anaerob nedbryting av sulfat. Sjøvann inneholder mye SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (sulfat) og risikoen for produksjon av H<sub>2</sub>S er derfor stor i stillestående sjøvann. Et oksygenfritt miljø kan oppstå, og kan forårsake høy dødelighet. H<sub>2</sub>S er også avhengig av pH. Ved en lav pH vil giftvirkningen bli større enn ved en nøytral pH. (Diesen Hosfeld, 2020a)



Giftig nivå for fisk er utfordrende å måle, men NIVA anbefaler å holde seg under 2 µg/L. Det er viktig å måle nivået ved bunnen av bassenget, der en finn tungt sjøvann og det kan oppstå anoksiske forhold.

Humus er organisk materiale som legger seg på overflaten av vannet og gir en økt farge på vannet. Ved flom vil råvann som er påvirket av humus bidra til stor transport av metaller, særlig Al og Fe som er bundet til partikler eller kolloider. (Bjerknes, 2007) Humus kan påvirke hvor giftig Al er, og ved høy konsentrasjon av humus vil en stor andel av Al være organisk bundet og derfor være mindre toksisk. TOC (Total organic carbon) er mengden av karbon som er i en organisk forbindelse. (Vedlegg til høringsbrev - vurdering av vannkvalitet etter § 22.pdf, u.å.)

Fisk er vekselvarme dyr, som betyr at kroppstemperaturen er den samme som i omgivende vannmasse. De har en evne til å tilpasse seg både høye og lave temperaturer over tid, men optimal temperatur er mellom 8 og 14 °C. (Diesen Hosfeld, 2020a) Ved denne temperaturen spiser og vokser fisken godt.

Ved høyere temperatur blir fisken stresset, appetitten øker og fisken vokser fortere, men om temperaturen overstiger 23 °C kan fisken dø. (Berge, 2019) Høy intensiv drift kan føre til raskere modning og deformasjoner hos fisk. (Handeland, 2021) Derfor vil høyere temperatur og intensiv drift være en definisjon på dårlig fiskehelse.

Løseligheten til O<sub>2</sub> i vann reduseres både med økt temperatur og økt salinitet. Oksygenopptaket til fisken blir mindre effektiv på grunn av at fisk kun kan benytte seg av O<sub>2</sub> som er oppløst. (Diesen Hosfeld, 2020a)

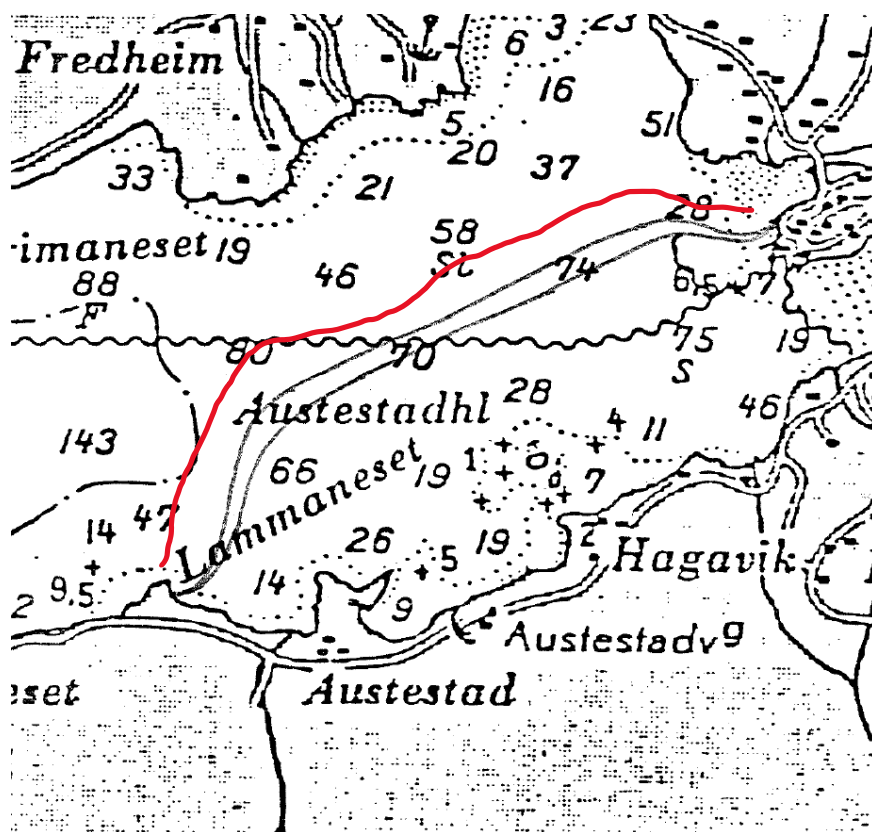
Tabell 2: Målparametere for ferskvannsbassenget. (Vedlegg til høringsbrev - vurdering av vannkvalitet etter § 22.pdf, u.å.)

Grenseverdier	Optimum
Surhetsgrad [pH]	6,2-7,8
Salinitet [‰]	< 3
Aluminium(labilt) [µg/l]	< 5
Jern [µg/l]	< 50
Temperatur [°C]	1 - 18

I kapittel 3 beskrives røret som skal forsyne bassenget med ferskvann. Her legges det ved bilder som viser hvor røret ligger, samt ulike rør- og ventilspesifikasjoner. Gruppen har valgt å ha et eget kapittel til røret og dens deler slik at det fås et fysisk bilde på ruten røret ligger i. Her opplyses ulike mål og dimensjoner, og valg av ventiler med tanke på de ulike rørstørrelsene.

### 3. Røret

Fra Koldalselva til Lammaneset går det to rør som er to km lange, som skal forsyne ferskvannsbassenget med ferskvann. Rørene ble lagt i 1984, og skal nå tas i bruk for å forsyne ferskvann til et lukket depot i sjøen. I vedlegg 12 viser det dokument fra 1984 som indikerer rørdimensjonene til rørene som ligger i sjøbunnen bort til Lammaneset fra Eikelandsosen. Da det er lenge siden rørene ble lagt ned er mye av informasjonen manglende. I vedlegg 13 viser posisjonen rørene ligger i et sjøkart. Det har krevd befarings og analyse av hele systemet for å kunne beregne strømming i rør og varmeveksling mellom rør og sjø. Nedenfor ligger et gammelt kart over rørene som ble lagt fra Eikelandsosen til Lammaneset med tall for ulike dybder i sjøen. Den røde streken som er tegnet over kartet er ruten røret ligger i fra Eikelandsosen til Lammaneset. I tabell 3 oppgis alle målene over lengdene til røret. Det er også analysert to andre kart for å få en visuell forståelse på hvor røret ligger. Kartene med markert rør ligger i vedlegg 5 og 6. Før beregningene i rapporten ble alle mål og dimensjoner målt. I rapporten skal strømming i røret fra Koldalselva til Lammaneset beregnes, og alle parameter for beregningene ble målt og organisert på en oversiktlig måte før beregningene, for å få nøyaktige svar til strømmingen.



Figur 9: Kart over Eikelandsosen. (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)

### 3.1 Material

Rørene som ligger fra Eikelandssosen til Lammaneset er PE-rør. PE-rør er robuste, fleksible, korrosjonsbestandig og har strekkfaste skjøter. Denne type rør egner seg godt til vann- og avløpsledninger i sjø, innsjø, elv og i grøft på land. PE er en termoplast. Kjemisk består rør-materialet av karbon- og hydrogenatomer. PE-rør har slett overflate og regnes som tilnærmet glatt. Det betyr lite friksjon som reduserer faren for avleiringer og algevekst innvendig i røret. («HDPE Pipe», 2022)

### 3.2 Beskrivelse av rør



Figur 10: Komme ved Koldalselven.

Rørledningen som skal forsyne ferskvannsbassenget ligger i Koldalselva, og ligger med 500 mm diameter åpent rør rett ut i elven. Vannet renner inn i røråpningen, og videre til en komme som er 2 m i indre diameter, bestående av to filter og et utløp i bunn. Vannet renner først gjennom et grovfilter og deretter et finfilter. Grovfilteret fjerner det største av slammet, og finfilteret tar restene av dette. Slammet stoppet av filtrene renner ut i bunn og ut i elven igjen.

Før beregning ble høyden over havet målt ved Koldalselven. Målingene ble gjort ved grovfilterlokket, vannstand i elv og referansepunkt ved toppen av demning. Nøyaktigheten til målingene er innenfor 30 mm, med unntak av måling ved grovfilteret som er innenfor 400 mm. Trykket i røret kan variere med vannstanden i elv og sjø. Trykket i røret kan variere med vannstanden i elv og sjø. Grunnen til begrenset signalkontakt til satellitter var på grunn av trær i området. Første måling var ved toppen av demningen ved elven. Det ble målt 26,5 m over havet 20.02.22, kl: 11:45. Målingen ble tatt 1,55 m over vannstanden i elven. Meter over havet i beregningene er rundet opp til 25 moh. (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)

Til å måle høyden benyttes en høydemåler. Høydemåler Leica GS14 er en GNSS-mottaker (Global Navigation Satellite Systems). Mobilkommunikasjon er integrert i utstyret og egnes for enhver måleoppgave. For å få et endelig og nøyaktig resultat, importeres og kombineres Leica data fra GNSS og nivåinstrumenter. («GS14 3.75G UHF Performance & CS15», u.å.). Instrumentelt avvik for måleren er 250 mm. (Gs, u.å.)



*Figur 13: Måleapparat til høydemåling.*

Videre renner vannet nedover i en 500 mm diameter rørledning og kommer så til en ventil med 90 graders bend. Her går røret over i en 400 mm diameter rørledning, og videre ned til Eikelandsosen. I Eikelandsosen går røret over i to rør med 280 mm diameter. Det er montert på skyveventiler på begge rørene. Ventilene er skiftet og erstattet med nye.



*Figur 11: Gammel ventil.*

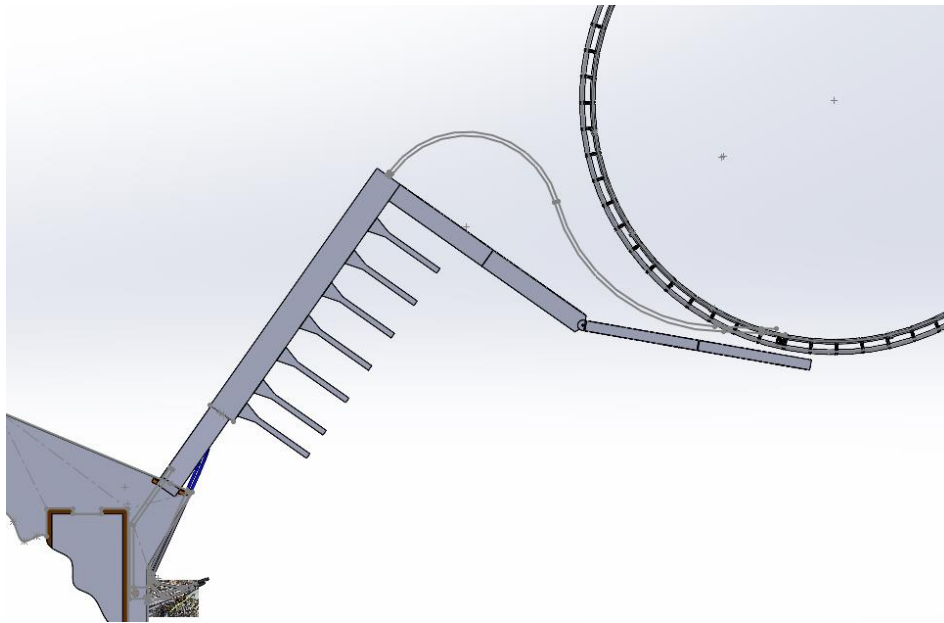


*Figur 12: Nye ventiler.*

Skyvespjeldventil er en ventil med fullt og glatt gjennomløp. Ventilen er i hovedsak designet for åpne/stenge operasjoner. I åpen posisjon er det minimert trykkfall. Det er høy materialkvalitet noe som gir lang levetid. I rørsystemet er det valgt en ventil som passer et rør med 280 mm diameter og tillatt maks arbeidstrykk på 10 bar.

Rørene går videre langs havbunn bort til Lammaneset og kommer opp ved pumpehuset til Bolaks. Det er to PEH Ø280 mm – NT6 rør fra begge landtak og 300 m utover og NT4 resten av distansen bort til Lammaneset. Det ene røret vil gå direkte inn i bassenget, og det andre røret vil få satt på en Y-bend slik at det også kan gå vann opp på tomten til Bolaks som kan brukes til spylevann etc.

Rørene skal legges langs bryggen og vinkles inn i bassenget. Av naturlige grunner vet man at på den nordlige halvkule dreier vann og vind mot høyre. Grunnen til dette er at jorden roterer. På den nordlige halvkule vil vinden ha større fart østover enn jordoverflaten under den har. Det vil være motsatt effekt på den sørlige halvkule, der vil havstrømmen rotere mot venstre. På grunn av Coriolis-effekten kan det være hensiktsmessig at vannet i ferskvannsbassenget roterer mot høyre, altså med klokken. Dette er for å utnytte strømmingen i røret mest mulig, for å skape bevegelse i vannet. Likevel vil det ikke ha så mye å si i dette tilfellet, det hadde betydd mer om det skulle vært fisk som svømte rundt i bassenget. («corioliskraften», 2021)



Figur 13: 3D-tegning over brygge ut til ferskvannsbasseng. (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)

Her er 3D-tegning over rør som kommer opp ved pumpehuset og skal legges ut til ferskvannsbasseng. Rør vil føres opp under plattingen ved pumpehuset. Der kommer det sperreventiler, anboringsklemmer med manometer og en kuleventil for prøvetaking. Det kommer også anboringsklammer som gir en visuell indikasjon om det er trykkvann der. Videre ned mot bassenget skal rør henges under flytebryggen. I enden av bryggen skal en slange festes som skal føres videre mot bassenget. Ved ringen kobles slangen til et rør som festes i ytterrøret av flytekragen. Rør går i en 90 graders vinkel vertikalt opp, og knekkes tilbake under rekkverk og inn i bassenget.

Hele rørsystemet består av en allerede eksisterende rørledning fra elv, via Eikelandsosen langs havbunn til Lammaneset. Det er gjort oppgraderinger på ventiler og kum, og sjekket at eksisterende rør ikke har skader. Det legges nytt rørsystem fra inntaket på Lammaneset og ut til nytt basseng, som inkluderer nye ventiler og utstyr for regulering. Noen av ventilene som brukes i rørsystemet ut mot ferskvannsbassenget er kuleventil og stengeventil.

Kuleventil er en ventil som består av en hullet kule som regulerer flyten igjennom. Ved fullt gjennomløp er kanalen gjennom kulen åpen. En kvart omdreining av kulen vil åpne eller stenge ventilen. (Nesse, 2018)

Kuleventilen har mulighet for avtapping, slik at det enkelt kan tas vannprøver. (Nesse, 2018) Stengeventiler er nødvendige hvis det er behov for å avlede eller stenge vannføringen. Teknisk tegning av rørsystemet fra inntaket og ut til bassenget finner man i vedlegg 9. Der står mål og dimensjoner på rørsystemet som skal kobles på kaien og ut til bassenget.

*Tabell 3: Oversikt over lengdene av røret de ulike stedene fra elven til Lammaneset.*

<b>Lengde rør</b>	<b>meter</b>
Rør til demning	20
Rør fra demning til komme	22
Komme til utspylingsventil	105
Utspylingsventil til komme i E.osen	440
E.osen til Lammaneset	1413
Total lengde til Lammaneset	2000
På land Lammaneset	102

## 4. Metodiske verktøy

I dette kapittelet vil det redegjøres hvilke metoder som brukes for å besvare problemstillingen, som videre legger grunnlag for arbeidet i rapporten. Metodiske verktøy benyttes til å skaffe, samle og analysere data. For å svare på problemstillingen brukes det en triangulær tilnærming, som betyr at flere metoder anvendes. Det tas i bruk både induktiv og deduktiv design. Deduktiv design for å kalkulere strømmingen i røret, og kvantitativt inneholder rapporten statistiske teknikker som vil si data i form av tall i beregningene. Målinger og kalkulasjoner legges inn i Excel. Induktiv design brukes med tanke på vannkvalitet og eventuelle tiltak med hensyn på det. Kvalitativt tar rapporten i bruk data og informasjon ved hjelp av intervju, observasjon og dokumentanalyse. Problemstillingen i rapporten er å beregne strømming i røret fra elv til ferskvannsbasseng, beregne varmeveksling mellom sjø og rør, og beskrive viktige vannkvalitetsparametere i ferskvannsbassenget.

### 4.1 Strømning i rør

Rapporten viser til beregning av strømning i et to km langt rør. Til beregning brukes Bernoullis ligning. Langs en strømlinje beskriver Bernoullis ligning væskens tilstand. Ligningen brukes til å beregne for eksempel hastigheten  $v$  eller trykket  $p$  i en væske. I rapporten ses ligningen på som en energiligning. Potensiell energi per volum assosieres med  $\rho gZ$ , hvor  $\rho$  er tettheten til væsken,  $g$  er tyngdeakselerasjonen og  $Z$  er høyden over havet ved de to tilstandene 1 og 2. Kinetisk energi per volum assosieres med  $\frac{1}{2}\rho v^2$ , hvor  $v$  er hastigheten til strømmingen ved 1 og 2. Tap av trykk gjennom rørledningen uttrykkes i trykkform,  $\Delta p_{tap}$ . Vannet som strømmer gjennom røret har konstant tetthet og antas som inkompressibel væske. I et rør har vann lavere fart i rør med større diameter, enn i rør med lavere diameter. For hvilken som helst diameter, vil vannets volum som transporteres i røret være konstant over en tidsperiode.

*Formel 1: Bernoullis ligning. (Brautaset, 1983, s. 55)*

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gZ_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gZ_2 + \Delta p_{tap}$$

*Tabell 4: Konstanter brukt i beregning.*

$v_1$  og  $v_2$  neglisjeres da hastigheten av væsken ved innløp og utløp av rørene er nærmere null. Da begge trykkene ved innløp og utløp antas å være lik atmosfæretrykket, blir differansen mellom disse lik null. Formelen for trykktap blir:

*Formel 2: Bernoullis ligning med hensyn på trykktap.*

$$\rho g \Delta Z = \Delta p_{tap}$$

<b>Tetthet vann</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
$\rho$	1000
<b>Viskositet</b>	<b>Pa·s</b>
$\mu$	0,001
<b>Gravitasjon</b>	<b>m/s<sup>2</sup></b>
$g$	9,81

I lukkede kanaler er de vanligste strømningsstapene uttrykt som trykktap. Videre behandles tapsleddene hver for seg. Tap i rette rør, tap i rørbend, overganger ved innløp og utløp, og tap i retningsventiler, filtre og kjølere summeres.

*Formel 3: Tap ved strømming i lukkede kanaler. (Brautaset, 1983, s. 61)*

$$\sum \Delta p_{tap} = \sum \Delta p_A + \sum \Delta p_B + \sum \Delta p_C$$

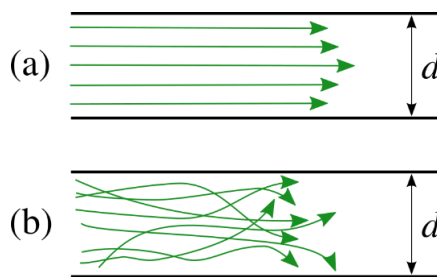
a) Tap i rette rør:

*Formel 4: Trykktap i rette rør.*

$$\Delta p_{tap A} = \sum \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{v_m^2}{2}$$

Tap a) summerer alle tap i rette rør. For å finne tapet, multipliseres Moodys friksjonsfaktor  $\lambda$  med lengde  $l$  og dividert på rørets indre diameter  $d$ . De multipliseres med den kinetiske energien i røret. Hvis farten  $v_m$  er konstant i en væske som strømmer i et rør, kan det sies at strømmen er stasjonær. I motsetning til laminær strømming som har jevne og glatte strømlinjer, har turbulent strømming partikler som vil flyte på kryss og tvers. Når strømningshastigheten er stor eller når strømninger passerer legemer med skarpe kanter oppstår turbulens. (*Fluidmekanikk.pdf*, u.å.) En indikator som viser om det er laminær eller turbulent strømming er Reynolds tall. (*Fluidmekanikk.pdf*, u.å.)

I en væske eller gass er Reynolds tall forholdet mellom friksjonskrefter og væskens akselerasjon. Reynolds tall kan også uttrykkes som forholdet mellom friksjonsarbeidet og den kinetiske energien inne i gassen eller væsken. (Helseth, 2021) Figur 16 viser forskjellen på turbulent og laminær strømming.



*Figur 14: Laminær strømming (a) og turbulent strømming (b). (Helseth, 2021)*

*Tabell 5: Reynolds tall ved turbulent og laminær strømming.*

<b>Re &gt;&gt; 2300</b>	<b>Turbulent strømming</b>
<b>Re ≤ 2300</b>	<b>Laminær strømming</b>



Hvis Reynolds tall er større enn 2300 er strømmingen turbulent, og hvis det er under 2300 er det laminær strømming. Reynolds tall beregnes ved å fylle inn parameter som tetthet  $\rho$  og viskositeten  $\mu$  av fluidet, gjennomsnittshastigheten  $v_m$  og diameteren  $d$  av røret. (Brautaset, 1983)

Friksjonskoeffisienten beregnes med tanke på turbulent strømming da det antas stor hastighet i røret. Som formelen viser er Reynolds tall proporsjonal med hastigheten, som vil si de øker og minker med hverandre i samme forhold. (Brautaset, 1983)

*Formel 5: Moody friksjonsfaktor.*

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

Hvor:

*Formel 6: Reynolds tall.*

$$Re = \rho v \frac{d}{\mu}$$

De forskjellige målene for diameter som brukes i beregningene er funnet ved hjelp av standarder i vedlegg 9. Tykkelsen til det første røret ble funnet ved hjelp av fysisk inspeksjon. Rør nummer to antas å være samme tykkelse da det ikke er mulig å måle tykkelsen fysisk til dette røret, og trykklassen ikke er kjent. Ytre diameter til det siste røret er kjent, og tykkelsen kan leses av i tabell med ulik trykkklasse. Distansen på rørene skisseres med mål på lengder og diameter som viser i vedlegg 1. Målene er målt opp fysisk av bedrift, og brukes deretter i beregningen av strømming.

b) Tap i rørbend, overganger, innløp og utløp osv.:

*Formel 7: Trykktap i rørbend, overganger, innløp og utløp osv.*

$$\Delta p_{tap B} = \sum \vartheta \rho \frac{v_m^2}{2}$$

Systemet har forskjellige lengder med ulik diameter, og i tillegg forskjellige bender og vinkler på forskjellige steder av røret. Derfor deles systemet opp i de ulike målene for diameter av røret. Først beregnes tap på diameter 0,43 m, deretter 0,33 m og til slutt 0,2482 m. Røret analyseres i forhold til hvor ventiler, vinkler og bender er plassert. Informasjon til beregning hentes i vedlegg 2.

Tapskoeffisientene  $\vartheta$  i rapporten er hentet fra tabeller og standardverdier vist i vedlegg 2, 3 og 4. Her analyseres systemet som skal beregnes i forhold til hva slags bender og vinkler, innløp og utløp som eksisterer i systemet vist i vedlegg 5, 6 og 9. Dette adderes sammen til en total tapskoeffisient.

Tabell 6: Verdier for tapskoeffisienter i vinkler og bender.

Bend (grader)	Tapskoeffisient
180	1,5
90	1,2
60	0,5
45	0,3
30	0,1
Innløp	0,8
Innsnevring 0,5 m til 0,4 m	0,25
Innsnevring 0,4 m til 0,28 m	0,2
Utløp	1,0

c) Tap i retningsventiler, filtre, kjølere osv.:

Formel 8: Trykktap i retningsventiler, filtre, kjølere osv.

$$\sum \Delta p_{tap c}$$

Del c) av formelen neglisjeres i beregningene. Filtrene i systemet vil ikke gi noe friksjonstap.

Siden hastigheten til fluidet er ukjent vil hastighet  $v$  gjøres om slik at volumstrømmen  $Q$  står som ukjent, der  $A$  er tverrsnittet av røret. Tverrsnittet beregnes på nytt for hver ny diameter  $d$  i røret.

Formel 9: Strømningshastighet.

$$v = \frac{Q}{A}$$

Hvor:

Formel 10: Tverrsnittsareal.

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

## 4.2 Varmeveksling

En del av problemstillingen i rapporten er å beregne varmeveksling mellom rør og sjø, og mellom duken i ferskvannsbassenget og sjøen. I ferskvannsbassenget er det ønskelig å ha så lav temperatur som mulig, da vannet skal brukes som behandlingsvann for lakselus. Som konstatert tidligere trives ikke lakselus i ferskvann og heller ikke i lav temperatur.

Til beregningene er det derfor behov for å bruke den måneden med høyest gjennomsnittlig temperatur i elven, i sjø og på sjøbunn der rørledning ligger. For å kunne se hva som må gjøres en varm sommerdag med høye temperaturer og høy solstråling, må det beregnes hva temperaturen i bassenget kommer til å bli med tanke på parameterne temperatur  $T$  og solstråling  $g_0$ . Formler og teoretisk informasjon knyttet til rapporten presenteres i delkapittel 4.2. Først beregnes varmeveksling mellom sjø og rør. Formlene utledes nedenfor.

Energioverføring er energi som overføres mellom ulike gjenstander eller systemer. Varme er termisk energi. På grunn av temperaturforskjeller vil varme overføres mot den kalde siden til temperaturforskjellen er utlignet. Varmeeffekt kan også omtales som varmestrøm. Varmebalansen kan settes opp slik at den totale endringen av energi  $E$  er lik differansen mellom varmestrøm inn,  $E^{Varme}$  og varmestrøm ut,  $E^{Kjøle}$ . (Bøe, 2021)

*Formel 11: Varmebalansen.*

$$E^{Varme\ elv-basseng} = E^{Varme} - E^{Kjøle}$$

Den totale endringen av energi kan også forklares med at tettheten  $\rho$  multipliseres med den spesifikke varmekapasiteten  $C_p$ , volumstrømmen  $Q$  og differansen mellom temperaturene til væsken i bassenget  $T_B$  og elven  $T_E$ .

*Formel 12: Totale endingen av energi.*

$$E^{Varme\ elv-basseng} = \rho C_p Q (T_B - T_E)$$

Varmestrøm inn er tilførsel av varmeenergi til ferskvannet, og er en del av effekttapet,  $\Delta p_{tap}$  som tilføres vannet. (Brautaset, 1983) Varmestrøm inn inneholder også varmeenergi fra solstråling og luftens temperatur. Varmeenergi fra luften finner man ved å multiplisere varmeovergangskoeffisient  $h_L$ , overflatearealet  $A_T$  og temperaturdifferansen mellom luft  $T_L$  og væsken i bassenget  $T_B$ . Mens varmeenergien fra solstrålingen blir funnet med å multiplisere strålingsenergien  $g_0$  den varmeste dagen med arealet  $A_T$  til vannoverflaten i ferskvannsbassenget.

*Formel 13: Varmestrøm inn.*

$$E^{Varme} = \Delta p_{tap} Q + g_0 A_T + h_L A_T (T_L - T_B)$$

Varmestrøm ut er tap av varmeenergi til omgivelsene rundt, som i dette tilfellet er sjøen rundt rør og basseng. (Brautaset, 1983) For å finne tap av varmeenergi gjennom rørene multipliseres overflatearealer  $A_R$  med rørene med varmeovergangskoeffisient  $h_{R-S}$ , differansetemperaturen mellom gjennomsnittstemperaturen i rørene  $\bar{T}_{rør}$  og temperaturen i sjøbunnen  $T_{SB}$ . Det samme gjøres for å finne tap av varmeenergi gjennom duken til bassenget, men her brukes varmeovergangskoeffisienten  $h_{B-S}$  mellom ferskvannet i bassenget og sjøoverflaten. Overflatearealet  $A_D$  til duken brukes og temperaturdifferansen mellom sjøoverflaten  $T_S$  og ferskvannet i bassenget  $T_B$ .

*Formel 14: Varmestrøm ut.*

$$E^{Kjøles} = A_R h_{R-S} (\bar{T}_{rør} - T_{SB}) + h_{B-S} A_D (T_B - T_S)$$

Gjennomsnittstemperaturen i rørene blir funnet ved å summere temperaturen i bassenget  $T_B$  med temperaturen i elven  $T_E$ , og deretter dividere på to.

*Formel 15: Gjennomsnittstemperatur.*

$$\bar{T}_{rør} = \frac{T_B + T_E}{2}$$

Formelen for endring av energi brukes for å finne temperaturen i ferskvannsbassenget. Da omformuleres formelen slik:

*Formel 16: Temperatur i ferskvannsbasseng.*

$$T_B = \frac{\Delta p_{tap} Q + g_0 A_T + h_L A_T T_L - A_R h_{R-S} (0,5T_E - T_{SB}) + h_{B-S} A_D T_S + C_p Q \rho T_E}{(C_p Q \rho + h_L A_T + 0,5A_R h_{R-S} + h_{B-S} A_D)}$$

For å finne overflatearealet til duken til bassenget brukes formelen for overflateareal til en del av en kule som heter kulekalott. (Polyanin & Manzhurov, 2006) Her er  $R$  radiusen til en kule, mens  $r$  er radiusen til bassenget og  $h$  er dybden til bassenget.

*Formel 17: Overflateareal til kulekalott.*

$$A = 2\pi R h$$

Hvor:

*Formel 18: Radius til kule.*

$$R = \frac{r^2 + h^2}{2h}$$

Når luft strømmer forbi overflaten til en væske, vil det avhengig av væskens temperatur kunne forekomme fordunstning eller dugging. ((+) *Fordunstning*, 2018) Varmeoverføringskoeffisienten mellom luft og vannoverflaten i ferskvannsbassenget er avhengig av vindhastigheten  $v$ . (B. Balakin, personlig kommunikasjon, u.å.)

*Formel 19: Varmeoverføringskoeffisienten mellom luften og vann.*

$$h_{Luft} = 5,5 + 3,3v$$

For å finne varmeoverføringskoeffisienten mellom sjøbunn og ferskvann i rør, og mellom sjø og ferskvann i basseng, brukes formelen for varmeoverføringskoeffisient ved ekstern strømming i en horisontal sylinder. («Heat transfer coefficient», 2022)

*Formel 20: Varmeoverføringskoeffisient, ekstern strømming, horisontal sylinder.*

$$h = \frac{k}{D} \left( 0,6 + \frac{0,387Ra^{\frac{1}{6}}}{\left( 1 + \left( \frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right)^2$$

Varmeledning  $k$ , også kjent konduksjon og termisk konduktivitet, er et mål på hvor godt et materiale kan transportere varme fra høy til lav temperatur. Varmeledning går gjennom direkte kontakt mellom samme stoff, men også forskjellige stoffer. (Lümmen, 2020)

$Ra$  (Rayleigh-tall) beskriver oppførselen til væsker når massetettheten  $\rho$  til væsken er ujevn som vanligvis er forårsaket av temperaturforskjeller. Vanligvis utvider væsken seg og blir mindre tett når den varmes opp som gjør at tyngdekraften  $g$  får tettere deler av væsken til å synke, som kjennetegnes som konveksjon. («Rayleigh number», 2021) Formelen for  $Ra$  med hensyn på diameteren  $d$  brukes for varmeoverføringskoeffisienten mellom sjøbunn og ferskvann er gitt som:

*Formel 21: Rayleigh-tallet med hensyn på diameter.*

$$Ra_d = \frac{\Delta\rho d^3 g}{\mu \alpha}$$

Formelen for  $Ra$  med hensyn på dybden  $D$  brukes for varmeoverføringskoeffisienten mellom sjø og ferskvannet i bassenget, og er gitt som:

*Formel 22: Rayleigh-tallet med hensyn på dybde.*

$$Ra_D = \frac{\Delta\rho D^3 g}{\mu \alpha}$$

Termisk diffusivitet  $\alpha$  måler hastigheten av varmeoverføring fra den varme siden til den kalde. («Thermal Diffusivity», 2021) Termisk diffusivitet er gitt som:

*Formel 23: Termisk diffusivitet.*

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

Pr (Prandtl-tallet) er definert som forholdet mellom momentumdiffusivitet og termisk diffusivitet, og er kun avhengig av væsken og væsketilstanden. («Prandtl number», 2022) Pr er gitt som:

*Formel 24: Prandtl-tall.*

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k}$$

For å finne hvor lang tid det tar for at vannet i bassenget når den beregnede temperaturen, brukes formel for termisk responstid. Tiden er avhengig av væskens tilstand, volumet  $V$  til væsken og arealet  $A$  som varmestrømmen går i inn eller ut fra.

*Formel 25: Termisk responstid*

$$\tau = \frac{\rho V C_p}{kA}$$

Det siste som beregnes i rapporten er effekten varmeveksleren vil bruke på å kjøle ned vannet i ferskvannsbassenget. Formler og utredelser for dette presenteres i neste delkapittel, 4.3.

### 4.3 Avsides sløyfe med varmeveksler

En varmeveksler gjør det mulig for varmeoverføring mellom to gass- eller væskestrømmer med forskjellig temperatur. Ved å lede den ene strømmen gjennom ett eller flere parallelle rør som omstrømmes av den andre enten på tvers eller på langs, skjer varmeoverføringen. (Pedersen, 2017) I industrien brukes varmevekslere til generering av damp i varmekraftverk og oppvarming av hus.

Dersom et system ikke kjøles nok ned gjennom systemet, kan det plasseres varmevekslere for at det ønskede resultatet skal oppfylles. I rapportens system vil det ikke være nok kjøling fra sjøen gjennom røret som transporterer behandlingsvannet til ferskvannsbassenget. I den anledning vil det være behov for en avsides krets med varmeveksling til ekstra kjøling av vannet. Systemet får en platevarmeveksler koblet opp i et system ved siden av bassenget som vil kjøle. En platevarmeveksler er en type varmeveksler som er beregnet til å bruke metallplater som er montert parallelle. (*Hva er en platevarmeveksler?*, u.å.)

For å finne effekten det kreves for å kjøle ned vannet adderes effekt av varme fra pumpen med kjøleeffekten det trengs for å få den ønskede temperaturen. Konstanter og tall brukt til beregning hentes fra vedlegg 10 og 11. Den totale effekten er summen av varmeeffekten  $E^{Varme}$  og kjøleeffekten  $E^{Kjøle}$ . Effekten  $E^{Effekt}$  forteller hvor stor effekt varmeveksleren må ha for å få kjølt ned vannet til ønsket temperatur. Varmeeffekten er varmeenergi fra pumpen som pumper opp vannet til varmeveksleren. Varmeeffekten gir 70% effekt til varme. Kjøleeffekten forteller hvor mye effekt det trengs for å få den ønskede temperaturen. I varmeveksleren kommer det inn en temperatur  $T_{inn}$ , og ut kommer den ønskede temperaturen  $T_{ut}$ . (B. Balakin, personlig kommunikasjon, u.å.)

*Formel 26: Total effekt.*

$$E^{Effekt} = E^{Varme} + E^{Kjøle}$$

*Formel 27: Varmeeffekt.*

$$E^{Varme} = \frac{Q * \Delta p}{0,7}$$

*Formel 28: Kjøleeffekt.*

$$E^{Kjøle} = \rho * C_p * Q * (T_{inn} - T_{ut})$$

#### 4.4 Feilkilder

Det er noen usikkerheter knyttet til beregningene i oppgaven. Den ene usikkerheten er om lengden på røret fra Eikelandsosen til Lammaneset er nøyaktig. Det ble en utfordring siden røret ligger nede på havbunn på ca. 70 m dyp. Bøyninger på røret under jord og ved havbunn er også en usikkerhet i beregningene. Rørene som ligger nede på havbunn kan også ha sjøgress utpå rørene som sperrer for varmevekslingen mellom sjø og rør. Det ble gjort undersøkning ved hjelp av kamera noen meter inn ene veien i rørene, men ikke hele. Derfor er det ikke helt sikkert hva som ligger i resten av rørene. Veien til røret fra Koldalselva og ned til Eikelandsosen inneholder noen antagelser siden røret ligger under jorden fra skiftet mellom 500 mm rør til 400 mm diameter. Det ble nødvendig med antagelser, noe som opplyses og som presiseres i beregningene.

I beregningene for varmevekslingen ble det laget tabeller og oversikter til de ulike temperaturene som skulle inkluderes. Det er ikke værstasjoner i nærheten av Eikelandsosen som gjør temperaturene i beregningene noe nøyaktig i forhold til området. I tillegg er temperaturen på havbunn en usikkerhet da den ikke er målt på en varm sommerdag og ikke er helt konstant gjennom året, og det er varierende dybde under havet som gir forskjellige temperaturer. Solstrålingskonstanten er heller ikke å finne nøyaktig i Eikelandsosen som gjorde til at det brukes en gjennomsnittlig solstråling et stykke unna.

Når ferskvannsbassenget tas i bruk, er det usikkert hvor lenge ferskvannet oppbevares i bassenget mellom hvert bruk. Noe som opplyses er at bassenget aldri skal være tomt, og det skal fylles vann i bassenget kontinuerlig ved tapping av vann fra brønnbåt.

Videre tar rapporten for seg resultatene knyttet til alle beregningene som er gjort. Det vil komme som et avsluttende kapittel med begrunnelser knyttet opp mot beregningene. Innledningsvis i rapporten ble problemstillingen presisert, og det var å beregne strømmingen i røret som skal forsyne ferskvannsbassenget, beregne varmeveksling mellom sjø og rør og ha med informasjon om metaller og parameter som er viktig å ta hensyn til med tanke på god fiskehelse.

## 5. Resultat

I siste del av rapporten kommer svarene til beregningene som er gjort. Resultatdelen inneholder verdier og besvarelser i form av tall, tabeller og grafer. Alle beregninger er ført opp og beregnet i Excel, og ligger som vedlegg 14. Vedlegg 14 leveres som PDF sammen med rapporten. Formler og utledninger som brukes i resultatdelen presenteres og forklares i kapittel 4. Formålet med rapporten er å beregne hastigheten til vannet, og hva volumstrømmen er gjennom røret fra elven til ferskvannbassenget. Deretter er det å beregne varmeveksling mellom sjø og rør i sjø, og undersøke om det trengs en ekstern sløyfe med varmeveksler for å kjøle vannet ned til ønsket temperatur. Til sist presenteres grenseverdier for vannkvaliteten som kreves i bassenget og hvilke verdier det er i røret.

### 5.1 Strømning

Første beregning som gjøres i rapporten er strømningen gjennom røret fra elven og ned til ferskvannbassenget. Tall og verdier til beregningene er lagt inn i Excel for å føre beregningene på en mer oversiktlig måte. Bernoullis ligning brukes til beregning av strømningen og brukes til å beregne trykktapet langs røret. Det antas turbulent strømning før beregningene fordi hastigheten inne i røret antas å være stor. Reynolds tall står derfor som ukjent gjennom beregningene, og beregnes etter strømningen er funnet for å se om antagelsen er rett.  $v_1$  og  $v_2$  neglisjeres da hastigheten ved innløp og utløp av rørene er nærmere null.

I lukkede systemer, som for eksempel rør, er de vanligste tapene gjennom røret uttrykt som trykktap. Gjennom rørsystemet i rapporten analyseres det hvor det kan være trykktap langs systemet fra elv til ferskvannbasseng. Fra elven og bort til Lammaneset går diameteren i røret over fra 500 mm til 400 mm til 280 mm. På grunn av ulik diameter i de ulike rørene i systemet er røret delt opp i rør 1, rør 2 og rør 3. Ulike rørtykkelser er funnet ved hjelp av standarder i tabell som står i vedlegg 7. Noen er også funnet ved fysisk inspeksjon. Lengdene av rørene med de ulike diameterne ble målt opp ved fysisk inspeksjon, og er tatt hensyn til i beregningene av tap i de ulike rørene. Summen av tapskoeffisientene i de ulike rørene listes opp i tabellen nedfor.

Tabell 7: Summen av tapskoeffisienter til de ulike delene av rørene.

	Indre diameter rør [m]	Tykkelse rør [mm]	Tverrsnitts areal [m <sup>2</sup> ]	Tapkoeffisient sum
<b>Rør 1</b>	0,4	70	0,15	1,1
<b>Rør 2</b>	0,3	70	0,09	3,2
<b>Rør 3</b>	0,3	32	0,05	6,3



Videre er tap i rørbend, overganger som forskjellige ventiler, innløp og utløp ført opp i beregningene for tap. Alle tap antas eller finnes gjennom fysisk inspeksjon av røret, samt skisser over rørledningen. Her deles også rørene opp i rør 1, rør 2 og rør 3 på grunn av ulike diametere. Tapene for hver rørdiameter summeres sammen på slutten etter at de beregnes separat.

Tap i retningsventiler, filtre og kjølere neglisjeres. Dette fordi ventilene som eksisterer i systemet kan neglisjeres da de ikke gir noe ekstra tap fordi de antas som glatte og fullt åpne.

I tabell 7 er målet å få høyre siden til å bli ca. det samme som på venstre side. På venstre side multipliseres tetthet av fluidet med gravitasjon og høyde over havet.

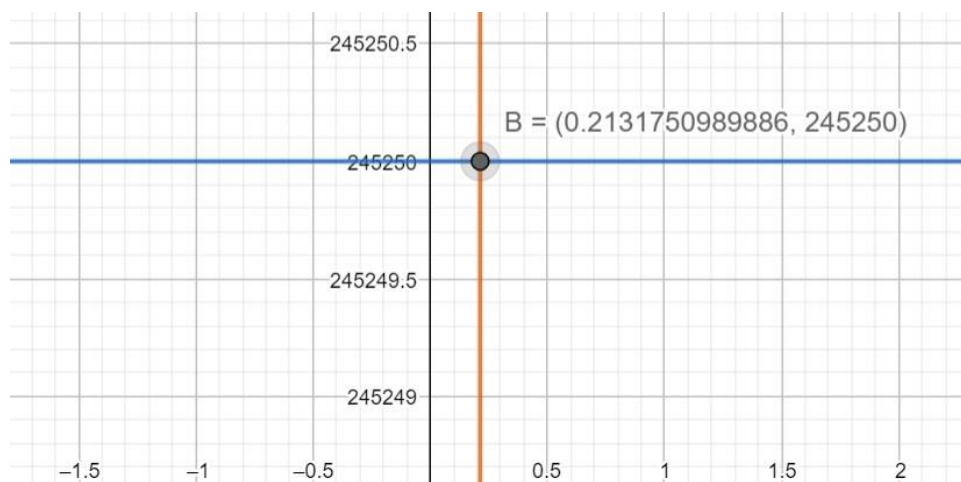
Tabell 8: Sum av tap i hvert rør.

	tap a	tap b
<b>Rør 1</b>	44141,7	26 106,6
<b>Rør 2</b>	650349,3	219 317,3
<b>Rør 3</b>	2576383,8	337 664,4
<b>Sum</b>	3 270 874,7	583 088,3

Tabell 9: Trykktap på hver side av er lik tegnet.

<b>p<sub>tap a</sub> + p<sub>tap b</sub></b>	=	<b>ρgΔZ</b>
245300,9		245250

Formelen for tap i rørene er en andregrads ligning, og plottes derfor i Geogebra for å finne skjæringspunktet med ρgΔZ. Skjæringspunktet viser volumstrømmen i røret.



Figur 15: Skjæringspunkt viser volumstrøm i Geogebra i sekunder.

For å finne volumstrømmen i kubikk per time multipliseres svaret i Geogebra med 3600 s og divideres på to for å finne volumstrømmen for hver av rørene da det er to rør.

Tabell 10: Volumstrøm i røret.

Volumstrøm	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /h
Q	0,2132	383,76

Det ble antatt turbulent strømming før beregningene startet. Resultatene sammenlignes deretter med avgrensingene i forhold til om de er innfor grensene til turbulent eller laminær strømming. Hvis Reynolds tall er større enn 2300 er strømmingen turbulent, og hvis det er under 2300 er det laminær strømming. I resultatene nedfor viser det at for både rør 1, 2 og 3 er Reynolds tall langt over 2300, og antagelsene er rett. Strømmingen er turbulent.

Tabell 11: Reynolds tall i rør 1.

Rør 1	
Hastighet [m/s]	Reynolds tall
1,5	635787,3

Tabell 12: Reynolds tall i rør 2.

Rør 2	
Hastighet [m/s]	Reynolds tall
2,5	828450,1

Tabell 13: Reynolds tall i rør 3.

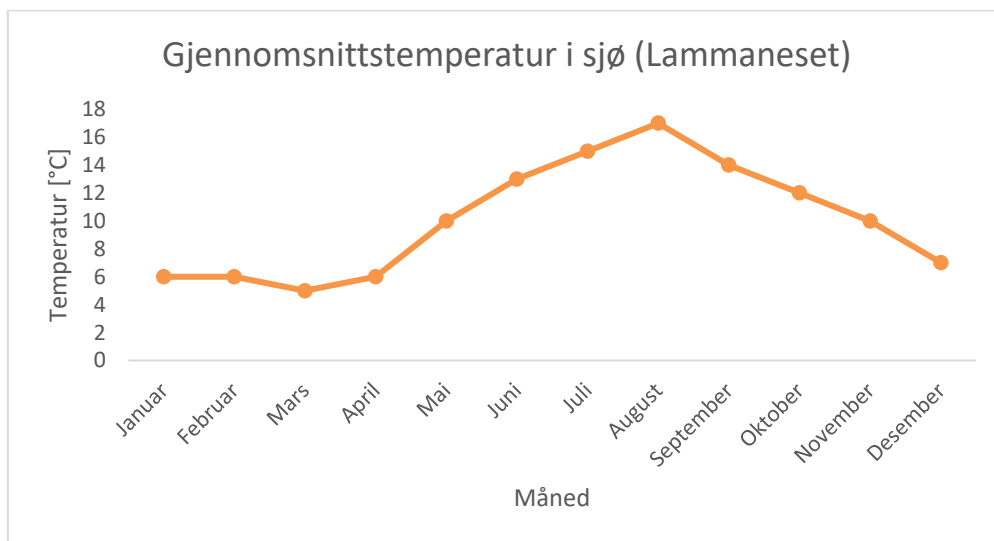
Rør 3	
Hastighet [m/s]	Reynolds tall
4,4	1101484,8

## 5.2 Varmeveksling

Den andre delen av problemstillingen i rapporten er å beregne varmeveksling mellom rør og sjø, og se hvor mye sjøen kan kjøle ned vannet i røret på veien til ferskvannbassenget. Målet er å ha en så lav temperatur som mulig i ferskvannbassenget da det er ønskelig for behandlingsvannet til lakselus. Som tidligere konstatert trives ikke lakselus i kaldt ferskvann. Beregningene viser om sjøen kjøler ned vannet nok selv, eller om det trengs en sløyfe med varmeveksler til kjøling på siden av systemet.

Før beregningene ble alle temperaturer i de forskjellige årstidene funnet. Det er laget ulike oversikter over temperaturer i elv, sjø, sjøbunn og luft. Det som er mest relevant å finne ut, er hvor mye sjøen klarer å kjøle ned vannet en varm sommer dag med høy temperatur i både sjø, luft og elv.

Om vinteren er temperaturen relativt lav alle disse plassene, da kreves det ikke så mye av en brønnbåt å kjøle ned temperaturen. Temperaturen nede ved sjøbunnen er 8 °C nesten konstant gjennom året, men her brukes det en estimert temperatur på 12 °C da rørene ligger på forskjellige høyder under sjøoverflaten. En varm sommerdag kan sjøen oppe ved overflaten være mellom 15-17 °C og vannet i elven opp mot 24 °C, og dette er for høy temperatur å bruke som behandlingsvann for lakselus.



Figur 16: Gjennomsnittstemperatur i sjøen ved Lammaneset.



Figur 17: Graf med solstråling en varm dag.

Solstrålingen brukes for å finne et konservativt estimat av gjennomsnittlig solstråling på en varm sommerdag. Ut ifra grafen er den gjennomsnittlige solstråling  $500 \text{ W/m}^2$  fra solen går opp til den går ned. Grafen brukes videre for å finne ut hvor mye solen varmer opp ferskvannet i bassenget.

Temperaturene som er relevante å finne er temperaturen på ferskvannet som kommer ut av rørene og temperaturen i bassenget etter solen har varmet det. Her brukes formelen for varmebalanse for å finne de forskjellige temperaturene. I tabellene under vises det at ferskvannet kjøles ned fra  $24 \text{ }^\circ\text{C}$  til  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Dette er fordi temperaturen nede ved sjøbunnen er en del lavere enn temperaturen i elven, og rørene er ikke isolert som vil si de leder varme godt.

Tabell 14: Temperatur på vann i utløp av rør til basseng.

Temperatur rør	
Temperatur [K]	Temperatur [ $^\circ\text{C}$ ]
291,1	17,9

Tabell 15: Temperatur på vann i basseng etter 50 timer.

Temperatur basseng	
Temperatur [K]	Temperatur [ $^\circ\text{C}$ ]
291,7	18,5

Temperaturen i bassenget vist i tabell 13, er  $18,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , som vil si at ferskvannet vil varmes opp med  $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$  etter 50 timer i bassenget, vist i tabell 14 som termisk responstid. Vannet i bassenget varmes opp da solen varmer det, samtidig kjøles vannet ned av sjøen rundt bassenget, som gjør at temperaturen ikke øker så mye. Temperaturene som er beregnet er høyere enn ønsket temperatur,  $8\text{-}9 \text{ }^\circ\text{C}$ . Det vil si at det trengs å bli koblet til en eller flere varmevekslere i egen sløyfe for å få ned temperaturen.

Tabell 16: Termisk responstid på ferskvann i basseng.

Termisk responstid	s	h
t	178418,9	49,56

### 5.3 Sløyfe med varmeveksler

Resultatet beregnet for varmeveksling mellom sjø og rør tilsier at det kommer til å være behov for en krets med varmeveksler for å kjøle ned vannet i ferskvannsbassenget enda mer. Det er ønskelig å ha så lav temperatur som mulig, helst  $8\text{-}9 \text{ }^\circ\text{C}$ , og vil derfor være behov for ekstra kjøling for vannet ned til ønsket temperatur. Resultatene beregnet fra solstråling og varmeveksling mellom rør og sjø indikerer at vannet i bassenget en varm sommerdag vil være rundt  $18\text{-}19 \text{ }^\circ\text{C}$ . Fra elv til basseng vil sjøen kjøle ned vannet fra  $24 \text{ }^\circ\text{C}$  til  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Når vannet ankommer bassenget, vil det ligge i sjøen og påvirkes av solstråling. Solstrålingen vil varme opp vannet  $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$  på 50 timer når sjøen er ca.  $17 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Allerede før oppstart av prosjektet ble det vurdert om det var behov for et eksternt system med varmeveksling til ferskvannsbassenget. I dette systemet vil det benyttes en plateveksler med sjø som kjølemedium. Det brukes sjøvann med 8 °C som er hentet fra sjøbunn. Konstanter og tall som brukes i beregningene hentes fra platevekslerens spesifikasjoner i vedlegg 11. For bedriften er det viktig å vite hva maksimal effekt plateveksleren kan bruke på å kjøle ned vannet da ønsket temperatur er 8-9 °C. Da temperaturen nede i sjøbunnen er 8 °C, vil det ikke være mulig å få den ønskede temperaturen. Det er nødvendig med en temperaturdifferanse på 2-3 °C for en varmeveksler. Derfor beregnes det hvilken effekt varmeveksleren trenger for å kjøle ned vannet til 10 °C. (B. Balakin, personlig kommunikasjon, u.å.)

For å beregne effekten varmeveksleren bruker til å kjøle ned vannet i ferskvannsbassenget, brukes formelen for effekt. Varmeeffekten fra pumpen og kjøleeffekten summeres.

*Tabell 17: Effekt som brukes på å kjøle ned vannet.*

Effekt kjøle	KW
E_kjøle	1836,02

*Tabell 18: Effekt fra pumpen.*

Effekt varme	KW
E_varme	4,85

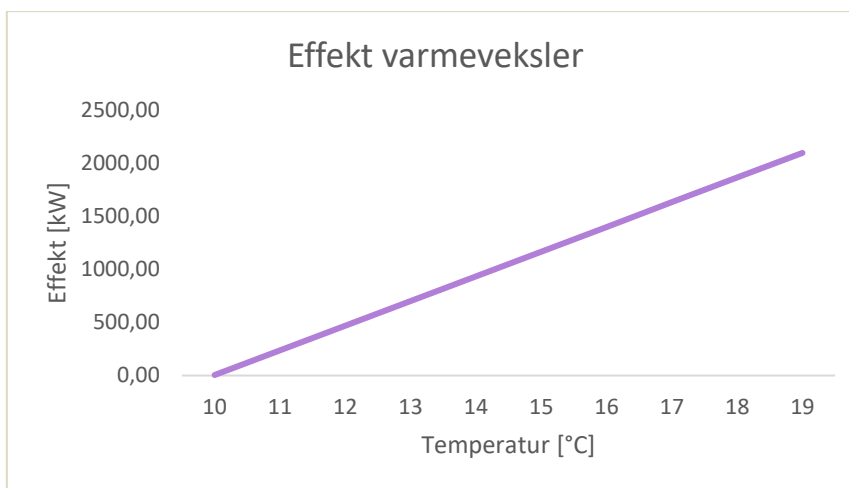
*Tabell 19: Effekt varmeveksler trenger for å kjøle ned vannet.*

Effekt total	KW
E_effekt	1840,87

Den maksimale effekten plateveksleren trenger å bruke er 1840 kW. På en varm dag kjøler plateveksleren ned vannet fra 18 °C til 10 °C som er maksimal differanse på temperaturen. Det vil si at ut fra vedlegg 11 at plateveksler som er valgt er innenfor det behovet som trengs for nedkjøling, og har en maks effekt på høyere enn 1840 kW. Maksimal effekt tillat i valgt plateveksler er 2791,8 kW.

Fordelen med valgt plateveksler er at den har et bredt spekter av bruksområder. Plateveksleren er designet slik at den har enkelt vedlikehold, og er utformet slik at den sikrer optimal ytelse og oppetid. Den har lave driftskostnader og er enkel å installere. Om det skulle oppstå komplikasjoner er den enkel å åpne for inspeksjon og rengjøring. (T15-BFM-95 - Cooling - Alfa Laval ES, u.å.)

Grafen under viser at effekt endrer seg med temperatur. Jo lavere temperatur som kommer inn i plateveksleren, jo mindre effekt trenger den å bruke på å kjøle ned vannet. Når vannet som går ut fra plateveksleren blandes med vannet i ferskvannsbassenge,t vil temperaturen i bassenget sakte men sikkert synke. Det vil si at temperaturen som kommer inn i plateveksleren også vil synke da det er vannet fra bassenget som pumpes inn i plateveksleren.



Figur 18: Graf over effekten varmeveksler bruker for å nedkjøle strømning på 200 m<sup>3</sup>.

Ferskvannsbassenget skal brukes til oppbevaring av ferskvann som skal brukes til behandlingsvann for lakselus. Brønnbåter vil kunne benytte bassenget ved å tappe vann der fra, og det er som tidligere nevnt ønskelig å ha så lav temperatur som mulig på grunn av at lakselus ikke trives i lav temperatur. En ekstern krets med varmeveksling vil bli nødvendig, og en varmeveksler med strømning på 200 m<sup>3</sup>/t vil i 24 timer kjøle ned 4800 m<sup>3</sup>. Det vil ikke tappes mer enn maks 8000 m<sup>3</sup> vann fra bassenget, og derfor vil det bli nødvendig med to platevekslere for nedkjøling av bassenget.

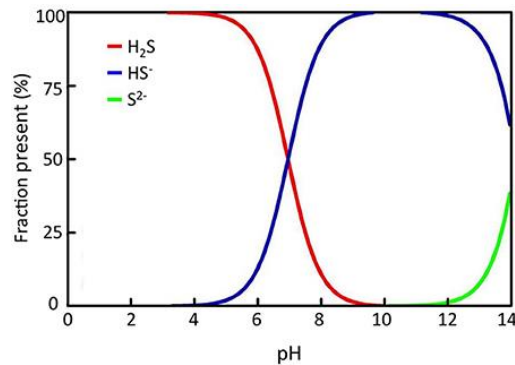
Bassenget bør ikke gå tomt for vann da dette kan være skadelig for området rundt ferskvannsbassenget. Duken kan bli fanget av vinden og ført videre langs sjøen eller opp på land. I tillegg bør det heller ikke tappes helt fordi ferskvann er lettere enn saltvann, da sjøen vil presse duken opp om den ikke er helt fylt opp.

## 5.4 Vannkvalitet

Innledningsvis presenteres grenseverdier som er anbefalt å ha i vannet som skal brukes i ferskvannsbassenget, og hva som er anbefalt vannkvalitet for fisk. Det er viktig å ta hensyn til parameter som kan være skadelige for fisken. For å ha god fiskehelse er det viktig å ha god vannkvalitet, og for at prosess fra rogn til matfisk skal være effektiv bør ikke fisken utsettes for unødvendig stress. Parameter som temperatur, pH og forskjellige metaller bør holdes rundt anbefalte grenseverdier.

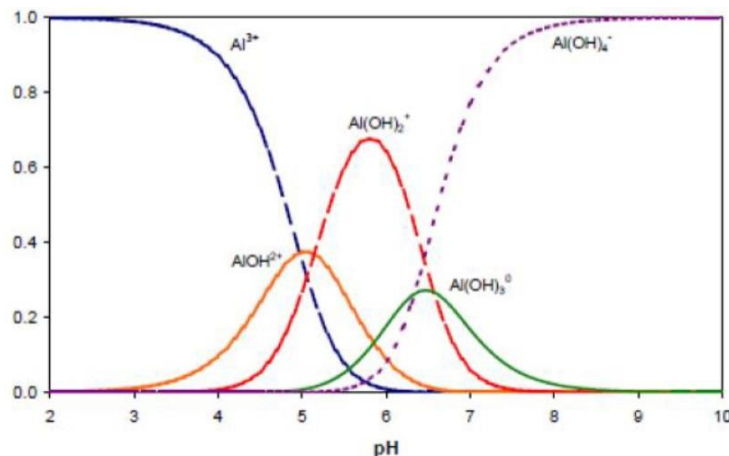
Når ferskvann blandes med sjøvann, er det fare for H<sub>2</sub>S-gass. Siden saltvann er tyngre enn ferskvann vil sjøvann legge seg i bunnen av bassenget. Inntaksvannet kan føre med seg løv og slam, som også vil samles i bunn. For å unngå dannelse av H<sub>2</sub>S er det viktig å fjerne slam fra bunnen av bassenget. H<sub>2</sub>S dannes ved bakteriell, anaerob nedbryting av sulfat, og sjøvann inneholder mye sulfat. Risikoen er stor i stillestående sjøvann. Det må derfor unngås å skape oksygenfrie miljø i ferskvannsbassenget da det kan forårsake høy dødelighet, i tillegg ha en form for rotasjon i vannet for å unngå å skape oksygenfrie områder. H<sub>2</sub>S er også avhengig av pH, og ved lav pH vil giftigheten være større enn ved nøytral pH.

Nedfor viser figur 21 en graf over hvordan pH påvirker giftigheten av  $\text{H}_2\text{S}$ .  $\text{H}_2\text{S}$  og  $\text{HS}^-$  (Bisulfid) er de aktuelle forbindelsene, men  $\text{S}^{2-}$  (Sulfid) ikke vil oppstå før rundt en pH på 12 som er et uaktuelt nivå i fiskeproduksjon.  $\text{HS}^-$  er mindre giftig sammenlignet med  $\text{H}_2\text{S}$ .  $\text{H}_2\text{S}$  er svært løselig i vann og luftes ikke så lett ut. (*no.ntnuinspera2455654.pdf*, u.å.) Det er sulfatverdien i en vannprøve som brukes til å beregne  $\text{H}_2\text{S}$ , men da må informasjon som temperatur, pH og salinitet være oppgitt ved prøvetakingstidspunkt for at det skal være nøyaktig. Det vil tas målinger av sulfat når ferskvannsbassenget er på plass da prøvene må tas fra bunnen av bassenget. (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)



Figur 19: Graf over  $\text{H}_2\text{S}$  ved ulike konsentrasjoner ved ulike pH. (Åtland, 2017)

Figur 22 viser er en graf av konsentrasjonen av Al og hvordan giftigheten endrer seg med påvirkning av pH. Med en pH på under 5,0 øker konsentrasjonen av  $\text{Al}^{3+}$  og er gjellereaktiv og vil dermed være problematisk for fisk. Dette kan føre til problemer med saltbalanse, kvelning og akutt dødelighet. Med en pH på over 7,0 vil Al foreligge på formen  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  som også kan være skadelig for fisken.



Figur 20: Graf over konsentrasjon av aluminium avhengig av pH. (Diesen Hosfeld, 2020a)

Det er gjort tre målinger på vannkvaliteten ved elva fra Skjelbreidvatnet og to målinger ved inntaket på Lammaneset. Tabellene viser at pH er stabil gjennom alle målingene, både ved elv og ved inntaket, og at det er innenfor ønsket verdi. Mengden Al var høyest på høsten og har minnet ut over året. Sur nedbør løser ut Al fra berggrunnen og surt vann vil nesten alltid ha høyt innhold av Al.

Mengden TOC påvirker hvor giftig Al er, ved høy TOC vil en stor andel av Al være organisk bundet og derfor være mindre toksisk. Mengden Fe er også høyest på høsten og minker utover våren, mengden er innenfor ønsket verdi.

Tabell 20: Prøvetaking elv 10.11.2021.

Prøvenr	439-2021-11110012			Prøvetakingsdato	10.11.2021
<b>Prøvetype</b>	Overflatevann			Prøvetaker	Inga Rullestad
<b>Prøvemerkning</b>	Elv, Skjelbreidvatnet			Analysedato	11.11.2021
<b>Analyse</b>	Resultat	Enhet	LQQ	MU	Metode
<b>pH målt ved 23+/-2°C</b>	6.7		1	0.2	NS-EN ISO 10523
<b>Aluminium (Al) filtrert</b>	84	µg/l	1	15%	NS-EN ISO 17294-2:2016
<b>Jern (Fe) filtrert</b>	45	µg/l	0.3	15%	NS-EN ISO 17294-2:2016

Tabell 21: Prøvetaking elv 12.01.2022.

Prøvenr	439-2022-01130006			Prøvetakingsdato	12.01.2022
<b>Prøvetype</b>	Overflatevann			Prøvetaker	Inga Rullestad
<b>Prøvemerkning</b>	Elv, Skjelbreidvatnet			Analysedato	13.01.2022
<b>Analyse</b>	Resultat	Enhet	LQQ	MU	Metode
<b>pH målt ved 23+/-2°C</b>	6.4		1	0.2	NS-EN ISO 10523
<b>Aluminium (Al) filtrert</b>	69	µg/l	1	15%	NS-EN ISO 17294-2:2016
<b>Jern (Fe) filtrert</b>	53	µg/l	0.3	15%	NS-EN ISO 17294-2:2016

Tabell 22: Prøvetaking elv 24.03.2022.

Prøvenr	439-2022-03280008			Prøvetakingsdato	24.03.2022
<b>Prøvetype</b>	Overflatevann			Prøvetaker	Inga Rullestad
<b>Prøvemerkning</b>	Elv, Skjelbreidvatnet			Analysedato	28.03.2022
<b>Analyse</b>	Resultat	Enhet	LQQ	MU	Metode
<b>pH målt ved 23+/-2°C</b>	6.6		1	0.2	NS-EN ISO 10523
<b>Aluminium (Al) filtrert</b>	53	µg/l	1	15%	NS-EN ISO 17294-2:2016
<b>Jern (Fe) filtrert</b>	26	µg/l	0.3	15%	NS-EN ISO 17294-2:2016



Tabell 23: Prøvetaking inntak 12.01.2022.

Prøvenr	439-2022-01130007			Prøvetakingsdato	12.01.2022
<b>Prøvetype</b>	Overflatevann			Prøvetaker	Inga Rullestad
<b>Prøvemerkning</b>	Inntak, Lammaneset			Analysedato	13.01.22
<b>Analyse</b>	Resultat	Enhet	LQQ	MU	Metode
<b>pH målt ved 23+/-2°C</b>	6.6		1	0.2	NS-EN ISO 10523
<b>Aluminium (Al) filtrert</b>	59	µg/l	1	15%	NS-EN ISO 17294-2:2016
<b>Jern (Fe) filtrert</b>	40	µg/l	0.3	15%	NS-EN ISO 17294-2:2016

Tabell 24: Prøvetaking inntak 24.03.2022.

Prøvenr	439-2022-03280009			Prøvetakingsdato	24.03.2022
<b>Prøvetype</b>	Overflatevann			Prøvetaker	Inga Rullestad
<b>Prøvemerkning</b>	Inntak, Lammaneset			Analysedato	28.03.2022
<b>Analyse</b>	Resultat	Enhet	LQQ	MU	Metode
<b>pH målt ved 23+/-2°C</b>	6.3		1	0.2	NS-EN ISO 10523
<b>Aluminium (Al) filtrert</b>	54	µg/l	1	15%	NS-EN ISO 17294-2:2016
<b>Jern (Fe) filtrert</b>	22	µg/l	0.3	15%	NS-EN ISO 17294-2:2016

Tabell 23 og 25, og tabell 24 og 26 er prøver som er tatt på samme dag, og viser mengden av de forskjellige kjemiske parametere i elven ved Skjelbreidvatnet og i rørinntaket ved Lammaneset. De forskjellige prøvene viser en endring fra elven til inntaket. Endringene er små, dvs. at det ikke har noe å si for vannkvaliteten.

Da pH er lav, under 8, vil oksidasjonstiden fra toverdige til  $\text{Fe}^{3+}$  være lang. Det vil si man unngår at Fe oksiderer. For å redusere konsentrasjonen av Fe i vannet kan man øke konsentrasjonen av anioner som vil redusere oksidasjonshastigheten som oppnås med sjøvannstilsetning. Dette er ikke mulig da saliniteten bør være minst mulig for at lusebehandlingen skal være effektiv. Prøvene viser at jernmengden er 50 µg/l eller under som er innenfor mengde Fe fisken tåler.

Prøvene spesifiserer ikke Al-fraksjoner som vil si det er vanskelig å vite mengden av de forskjellige aluminiumforbindelsene. Med en pH på over 5,5 kan man se bort ifra labilt Al som har en større konsentrasjon jo lavere pH er. Samtidig viser prøvetakingene at pH-en er under 7 som vil si man kan anta en lav konsentrasjon av  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ . En eventuell brønnbåt vil regulere pH i brønnen til ca. 7, og tilsetter bikarbonat for å øke pH dersom den er lav. Båten tilsetter også silikat for å binde Al.

## 6. Konklusjon

*«Vannforsyning av nytt, flytende ferskvannsbasseng med søkelys på strømming, temperatur og kjemisk vannkvalitet».*

Formålet med rapporten er å beregne hva strømming det kommer til å bli i røret som skal forsyne nytt ferskvannsbasseng med vann. Rapporten tar også for seg varmeveksling mellom rør og sjø, om det er behov for varmevekslere og effekten varmevekslerne trenger for å kjøle ned hele bassenget til en temperatur på 10 °C. Ferskvannsbassenget brukes som et depot for brønnbåter som skal behandle fisk, derfor er kjemisk vannkvalitet en viktig del av oppgaven.

Strømningen er av en tilfredsstillende verdi, noe som betyr at det ikke er behov for ekstra pumper per dags dato. Varmevekslingen mellom rør og sjø kjøler ikke ned nok for å få lavest mulig temperatur i bassenget, i tillegg vil solen varme opp vannet noe på de varmeste sommerdagene. Dermed er det behov for en egen kjølesløyfe for å kjøle ned vannet til ønsket temperatur. Med ønske om å kjøle ned hele bassenget på 24 timer trengs det to varmevekslere. Der har Bolaks forslag til plateveksler som skal brukes. Resultatene fra beregningene viser at effekten plateveksleren bruker på å kjøle ned vannet til ønsket temperatur er innenfor maks effekt til plateveksleren.

Prosjektet knyttet til nytt ferskvannsbasseng er ikke ferdigstilt innen slutføringen av rapporten. Når prosjektet er ferdigstilt skal NIVA analysere vannkvaliteten. Målet da er at målingene er innfor grenseverdiene som er anbefalt. På bakgrunn av de vannmålingene som er gjort, og de målingene vi har tilgjengelig, er vannkvaliteten innenfor et akseptabelt nivå.

### 6.1 Veien videre

Veien videre for dette prosjektet er ferdigstilling av konstruksjonen, og ta vannprøver av vannet som skal brukes som behandlingsvann for lakselus.

## Litteraturliste

- (+) *Fordunstning*. (2018, desember 10). <https://stensaasventtek.nemitek.no/23-artikkel-stensaas-leif-i-ventilasjonsteknikk-del-i-grunnlaget-og-systemer-1998/fordunstning/161922>
- admin. (u.å.). Hjem. *Bolaks*. Hentet 21. februar 2022, fra <https://bolaks.no/>
- AKVA Polarcirkel 500R Combi—AKVA group. (u.å.). Hentet 21. februar 2022, fra <https://www.akvagroup.com/sj%c3%b8basert-oppdrett/merder-og-notposer/plastmerder/akva-polarcirkel-500r-combi->
- Amøbegjellesykdom*. (u.å.). Hentet 2. mars 2022, fra <https://www.vetinst.no/sykdom-og-agens/amobegjellesykdom>
- Balakin, B. (u.å.). *Personlig kommunikasjon* [Personlig kommunikasjon].
- Berge, A. (2019, november 11). Varmere hav er dårlig nytt for oppdrettslaksen. *iLaks*. <https://ilaks.no/varmere-hav-er-darlig-nytt-for-oppdrettslaksen/>
- Bjerknes, V. (2007). *Vannkvalitet og smoltproduksjon* (1. utg.). Juul forlag.
- Bolaks. (2022). *Personlig kommunikasjon* [Personlig kommunikasjon].
- Brautaset, K. (1983). *Innføring i oljehydraulikk* (1. utg.). Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Bøe, M. V. (2021). Energi. I *Store norske leksikon*. <http://snl.no/energi>
- Corioliskraften. (2021). I *Store norske leksikon*. <http://snl.no/corioliskraften>
- Diesen Hosfeld, A.-C. (2020a, februar 4). *Havbruk-Vannkvalitet* [Power-point]. Upublisert
- Diesen Hosfeld, A.-C. (2020b, april 30). *Havbruk- Velferd* [Power-point]. Upublisert
- Evensen, S. A. (2021). Hemoglobin. I *Store medisinske leksikon*. <http://sml.snl.no/hemoglobin>
- Fakta om lakselus og lakselusbekjempelse | Mattilsynet*. (2016, september 20). [https://www.mattilsynet.no/fisk\\_og\\_akvakultur/fiskehelse/fiske\\_og\\_skjellsykdommer/lakselus/fakta\\_om\\_lakselus\\_og\\_lakselusbekjempelse.23766](https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskehelse/fiske_og_skjellsykdommer/lakselus/fakta_om_lakselus_og_lakselusbekjempelse.23766)
- Ferskvannsbasseng. (u.å.). *FiiZK*. Hentet 21. februar 2022, fra <https://fiizk.com/no/product/ferskvannsbasseng/>
- FiiZk. (2022). *Personlig kommunikasjon* [Personlig kommunikasjon].

Kristoffer Ryland, Sandra Gabrielsen, Stine Kristiansen Halleraker

*Fluidmekanikk.pdf*. (u.å.). Hentet 10. mars 2022, fra

<https://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/nedlagte-emner/FYS1000/v11/Fluidmekanikk.pdf>

Gs, L. (u.å.). *Measurement Performance & Accuracy*. 4.

GS14 3.75G UHF Performance & CS15. (u.å.). *Geoprema*. Hentet 21. mars 2022, fra

<https://geoprema.com/products/used-equipment/used-survey-gps-gnss/gs14-3-75g-uhf-performance-cs15-3/>

Handeland, S. (2021, august 30). *Laksebiologi* [Power-point]. Upublisert

Havforskningsinstituttet, & Jakobsen, A. (2019, mai 16). *Hva er ei lakselus?*

<https://forskning.no/fiskehelse-havforskningsinstituttet-partner/hva-er-ei-lakselus/1335992>

HDPE pipe. (2022). I *Wikipedia*.

[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=HDPE\\_pipe&oldid=1069694361](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=HDPE_pipe&oldid=1069694361)

Heat transfer coefficient. (2022). I *Wikipedia*.

[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Heat\\_transfer\\_coefficient&oldid=1077825894](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Heat_transfer_coefficient&oldid=1077825894)

Helseth, L. E. (2021). Reynolds' tall. I *Store norske leksikon*. [http://snl.no/Reynolds'\\_tall](http://snl.no/Reynolds'_tall)

High-density polyethylene. (2021). I *Wikipedia*. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=High-](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=High-density_polyethylene&oldid=1062233377)

[density\\_polyethylene&oldid=1062233377](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=High-density_polyethylene&oldid=1062233377)

*Hva er en platevarmeveksler?* (u.å.). Hentet 4. april 2022, fra [http://www.vaillant.no/privatkunder/rad-](http://www.vaillant.no/privatkunder/rad-og-veiledning/varmeordbok/plate-heat-exchanger-1920542.html)

[og-veiledning/varmeordbok/plate-heat-exchanger-1920542.html](http://www.vaillant.no/privatkunder/rad-og-veiledning/varmeordbok/plate-heat-exchanger-1920542.html)

*Hvor frisk er oppdrettslaksen?* (u.å.). Hentet 1. mars 2022, fra [https://laksefakta.no/lakseoppdrett-i-](https://laksefakta.no/lakseoppdrett-i-norge/hvor-frisk-er-oppdrettslaksen/)

[norge/hvor-frisk-er-oppdrettslaksen/](https://laksefakta.no/lakseoppdrett-i-norge/hvor-frisk-er-oppdrettslaksen/)

*Immunsystemet hos berggylt viste seg å være spesielt*. (u.å.). Universitetet i Bergen. Hentet 27. april

2022, fra <https://www.uib.no/nye-doktorgrader/124288/immunsystemet-hos-berggylt-viste-seg-a-vare-spesielt>

Lakselus. (2022). I *Wikipedia*. <https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Lakselus&oldid=22328573>

Lümmen, N. (2020). *Termodynamikk: Kort og godt*. Universitetsforlaget.

*Mattilsynet—Rapport om vannkvalitet og fiskevelferd (2004).pdf*. (u.å.). Hentet 2. mars 2022, fra

[https://www.mattilsynet.no/fisk\\_og\\_akvakultur/fiskevelferd/mattilsynet\\_\\_rapport\\_om\\_vannkv](https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskevelferd/mattilsynet__rapport_om_vannkv)

alitet\_og\_fiskevelferd\_2004.5943/binary/Mattilsynet%20-%20Rapport%20om%20vannkvalitet%20og%20fiskevelferd%20(2004)

Nesse, N. (2018). Kuleventil. I *Store norske leksikon*. <http://snl.no/kuleventil>  
*No.ntnuinspera2455654.pdf*. (u.å.). Hentet 27. april 2022, fra <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2618086/no.ntnu%3Ainspera%3A2455654.pdf?sequence=1>

Pedersen, B. (2017). Varmeveksler. I *Store norske leksikon*. <http://snl.no/varmeveksler>

Polyanin, A. D., & Manzhirov, A. V. (2006). *Handbook of Mathematics for Engineers and Scientists*. CRC Press.

Prandtl number. (2022). I *Wikipedia*.

[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Prandtl\\_number&oldid=1081450337](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Prandtl_number&oldid=1081450337)

*Påvirkes laksesmolt av aluminium i brakkvann?* (u.å.). Hentet 1. mars 2022, fra

<https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/bitstream/handle/11250/2378727/6245-2011.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Rayleigh number. (2021). I *Wikipedia*.

[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Rayleigh\\_number&oldid=1050976059](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Rayleigh_number&oldid=1050976059)

*Sammenhengen mellom labilt aluminium og pH i kalkede laksevassdrag*. (u.å.). Hentet 1. mars 2022,

fra [https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/bitstream/handle/11250/301408/6872-2015\\_200dpi.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/bitstream/handle/11250/301408/6872-2015_200dpi.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

*Siste målinger—Bergensværet*. (u.å.). Hentet 24. mars 2022, fra <https://www.bergensveret.no/>

*T15-BFM-95—Cooling—Alfa Laval ES*. (u.å.). Alfa Laval Webshop. Hentet 11. mai 2022, fra

<http://shop.alfalaval.com/en-es/cooling--c007/t15-bfm-95--1628769->

Thermal diffusivity. (2021). I *Wikipedia*.

[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Thermal\\_diffusivity&oldid=1062007291](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Thermal_diffusivity&oldid=1062007291)

*Vedlegg til høringsbrev—Vurdering av vannkvalitet etter § 22.pdf*. (u.å.). Hentet 2. mars 2022, fra

[https://www.mattilsynet.no/fisk\\_og\\_akvakultur/akvakultur/drift\\_av\\_akvakulturanlegg/vedlegg\\_\\_til\\_horingsbrev\\_\\_vurdering\\_av\\_vannkvalitet\\_etter\\_\\_22.22205/binary/Vedlegg%20til%20h%C3%B8ringsbrev%20-%20vurdering%20av%20vannkvalitet%20etter%20C2%A7%2022](https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/akvakultur/drift_av_akvakulturanlegg/vedlegg__til_horingsbrev__vurdering_av_vannkvalitet_etter__22.22205/binary/Vedlegg%20til%20h%C3%B8ringsbrev%20-%20vurdering%20av%20vannkvalitet%20etter%20C2%A7%2022)

*Å lukte på stinkende promp, kan beskytte deg mot en rekke dødelige sykdommer.* (2020, oktober 2).

Sosialnytt.com. <https://sosialnytt.com/a-lukte-pa-stinkende-promp-kan-beskytte-deg-mot-en-rekke-dodelige-sykdommer/>

Åtland, Å. (2017). *Snikskyteren – H2S i RAS systemer*. 17.

## Figurer

<i>Figur 1: Ferskvannsbasseng i sjø. («Ferskvannsbasseng», u.å.)</i> .....	2
<i>Figur 2: 3D-modell av duken til bassenget. (Fiizk, personlig kommunikasjon, 2022)</i> .....	3
<i>Figur 3: Del av flytekrage. (AKVA Polarcirkel 500R Combi - AKVA group, u.å.)</i> .....	4
<i>Figur 4: Flens i bunn av basseng.</i> .....	6
<i>Figur 5: Flens med rør ut av basseng.</i> .....	6
<i>Figur 6: Luker øverst ved duken i ferskvannsbassenget.</i> .....	6
<i>Figur 7: Oppdrettslaks. (Hvor frisk er oppdrettslaksen?, u.å.)</i> .....	7
<i>Figur 8: Bilde av gjeller med jernutfelling. Grønnfargen indikerer tilstedeværelse av jern. (Bjerknes, 2007)</i> .....	8
<i>Figur 9: Kart over Eikelandsosen. (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)</i> .....	10
<i>Figur 10: Komme ved Koldalselven.</i> .....	11
<i>Figur 11: Gammel ventil.</i> .....	12
<i>Figur 12: Nye ventiler.</i> .....	12
<i>Figur 13: 3D-tegning over brygge ut til ferskvannsbasseng. (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)</i> .....	13
<i>Figur 14: Laminær strømning (a) og turbulent strømning (b). (Helseth, 2021)</i> .....	16
<i>Figur 15: Skjæringspunkt viser volumstrøm i Geogebra i sekunder.</i> .....	25
<i>Figur 16: Gjennomsnittstemperatur i sjøen ved Lammaneset.</i> .....	27
<i>Figur 17: Graf med solstråling en varm dag.</i> .....	27
<i>Figur 18: Graf over effekten varmeveksler bruker for å nedkjøle strømning på 200 m<sup>3</sup>.</i> .....	30
<i>Figur 19: Graf over H<sub>2</sub>S ved ulik konsentrasjon ved ulik pH. (Åtland, 2017)</i> .....	31
<i>Figur 20: Graf over konsentrasjon av aluminium avhengig av pH. (Diesen Hosfeld, 2020a)</i> .....	31

## Tabeller

<i>Tabell 1: Teknisk informasjon om duken. (Fizk, personlig kommunikasjon, 2022).....</i>	5
<i>Tabell 2: MåLPARAMETERE for ferskvannsbassenget. (Vedlegg til høringsbrev - vurdering av vannkvalitet etter § 22.pdf, u.å.) .....</i>	9
<i>Tabell 3: Oversikt over lengdene av røret de ulike stedene fra elven til Lammaneset.....</i>	14
<i>Tabell 4:Konstanter brukt i beregning. ....</i>	15
<i>Tabell 5: Reynolds tall ved turbulent og laminær strøMning.....</i>	16
<i>Tabell 6: Verdier for tapskoeffisienter i vinkler og bender. ....</i>	18
<i>Tabell 7: Summen av tapskoeffisienter til de ulike delene av rørene. ....</i>	24
<i>Tabell 8: Sum av tap i hvert rør. ....</i>	25
<i>Tabell 9: Trykktap på hver side av er lik tegnet. ....</i>	25
<i>Tabell 10: Volumstrøm i røret.....</i>	26
<i>Tabell 11: Reynolds tall i rør 1. ....</i>	26
<i>Tabell 12: Reynolds tall i rør 2. ....</i>	26
<i>Tabell 13: Reynolds tall i rør 3. ....</i>	26
<i>Tabell 14: Temperatur på vann i utløp av rør til basseng. ....</i>	28
<i>Tabell 15: Temperatur på vann i basseng etter 50 timer. ....</i>	28
<i>Tabell 16: Termisk responstid på ferskvann i basseng. ....</i>	28
<i>Tabell 17: Effekt som brukes på å kjøle ned vannet.....</i>	29
<i>Tabell 18: Effekt fra pumpen.....</i>	29
<i>Tabell 19: Effekt varmeveksler trenger for å kjøle ned vannet. ....</i>	29
<i>Tabell 20: Prøvetaking elv 10.11.2021. ....</i>	32
<i>Tabell 21: Prøvetaking elv 12.01.2022. ....</i>	32
<i>Tabell 22: Prøvetaking elv 24.03.2022. ....</i>	32
<i>Tabell 23: Prøvetaking inntak 12.01.2022. ....</i>	33
<i>Tabell 24: Prøvetaking inntak 24.03.2022. ....</i>	33

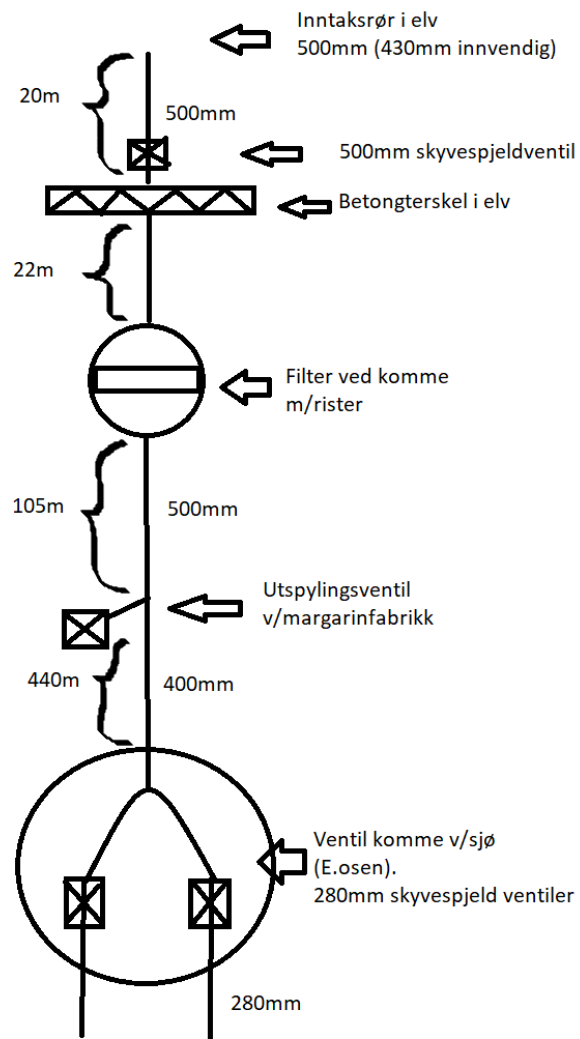


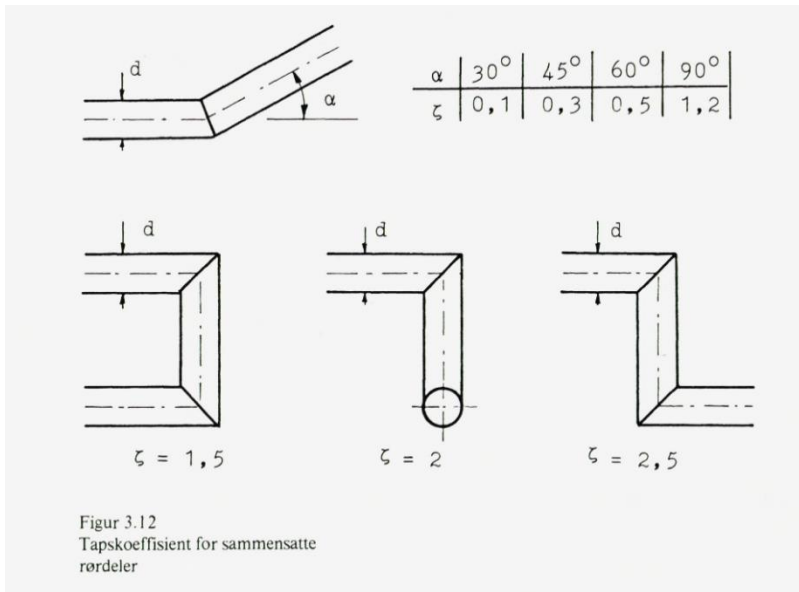
## Formler

<i>Formel 1: Bernoullis ligning. (Brautaset, 1983, s. 55)</i> .....	15
<i>Formel 2: Bernoullis ligning med hensyn på trykktap.</i> .....	15
<i>Formel 3: Tap ved strømming i lukkede kanaler. (Brautaset, 1983, s. 61)</i> .....	16
<i>Formel 4: Trykktap i rette rør.</i> .....	16
<i>Formel 5: Moody friksjonsfaktor.</i> .....	17
<i>Formel 6: Reynolds tall.</i> .....	17
<i>Formel 7: Trykktap i rørbend, overganger, innløp og utløp osv.</i> .....	17
<i>Formel 8: Trykktap i retningsventiler, filtre, kjølere osv.</i> .....	18
<i>Formel 9: Strømningshastighet.</i> .....	18
<i>Formel 10: Tverrsnittsareal.</i> .....	18
<i>Formel 11: Varmebalansen.</i> .....	19
<i>Formel 12: Totale endingen av energi.</i> .....	19
<i>Formel 13: Varmestrøm inn.</i> .....	19
<i>Formel 14: Varmestrøm ut.</i> .....	20
<i>Formel 15: Gjennomsnittstemperatur.</i> .....	20
<i>Formel 16: Temperatur i ferskvannsbasseng.</i> .....	20
<i>Formel 17: Overflateareal til kulekalott.</i> .....	20
<i>Formel 18: Radius til kule.</i> .....	20
<i>Formel 19: Varmeoverføringskoeffisienten mellom luften og vann.</i> .....	20
<i>Formel 20: Varmeoverføringskoeffisient, ekstern strømming, horisontal sylinder.</i> .....	21
<i>Formel 21: Rayleigh-tallet med hensyn på diameter.</i> .....	21
<i>Formel 22: Rayleigh-tallet med hensyn på dybde.</i> .....	21
<i>Formel 23: Termisk diffusivitet.</i> .....	21
<i>Formel 24: Prandtl-tall.</i> .....	21
<i>Formel 25: Termisk responstid</i> .....	22
<i>Formel 26: Total effekt.</i> .....	22
<i>Formel 27: Varmeeffekt.</i> .....	22
<i>Formel 28: Kjøleeffekt.</i> .....	23

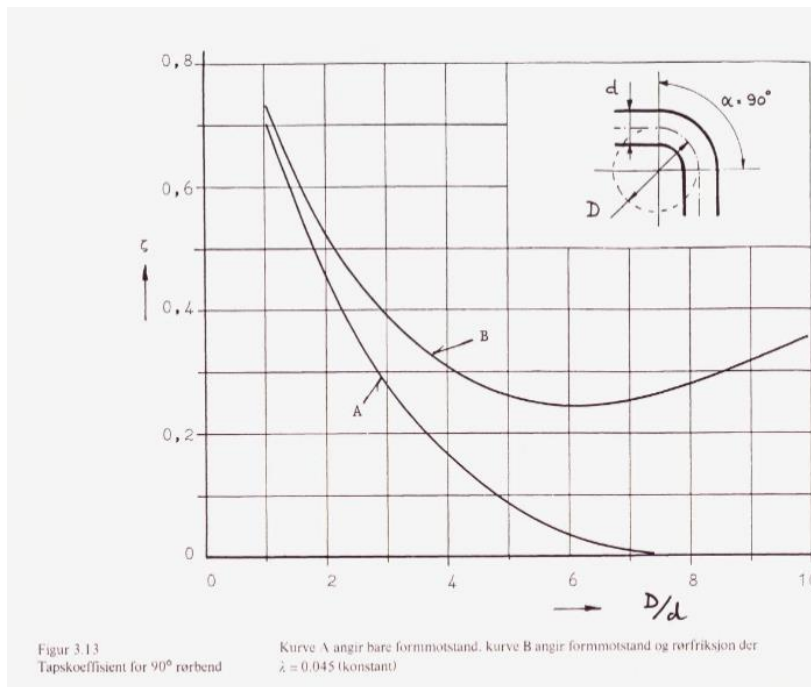
## Vedlegg 1: Skisse av rør

Skisse over rør

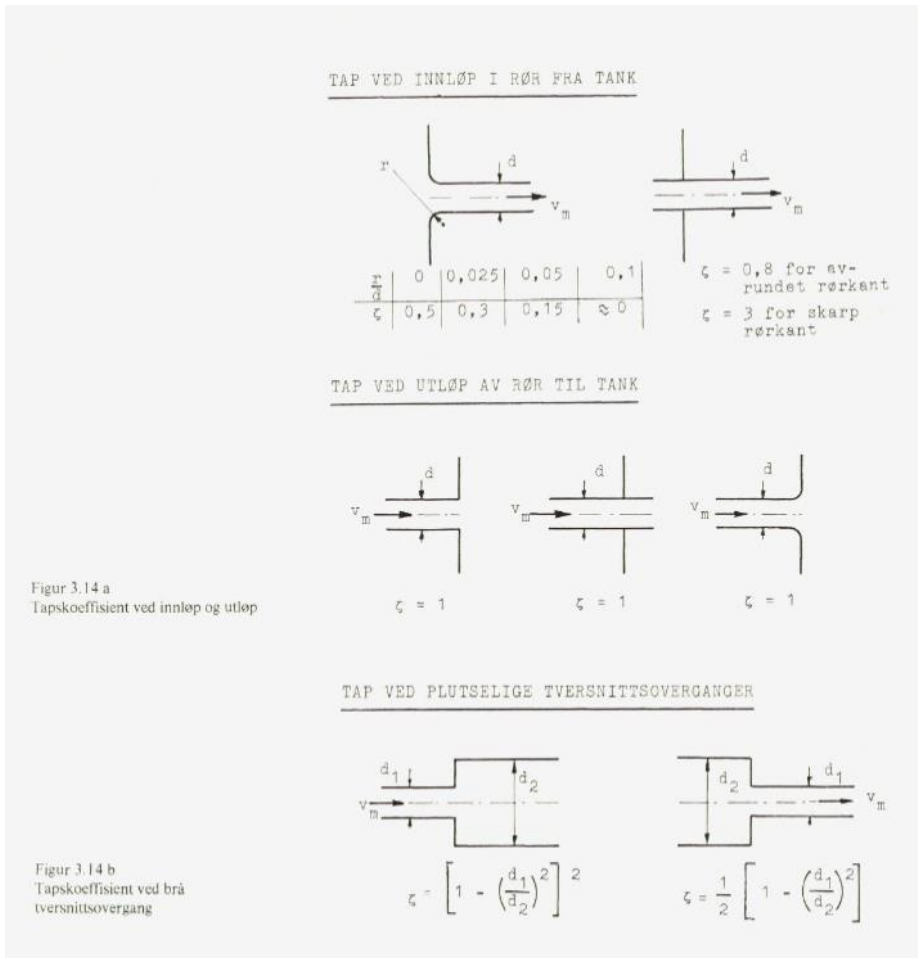


**Vedlegg 2: Tapskoeffisienter for sammensatte rørdeler (Brautaset, 1983)**

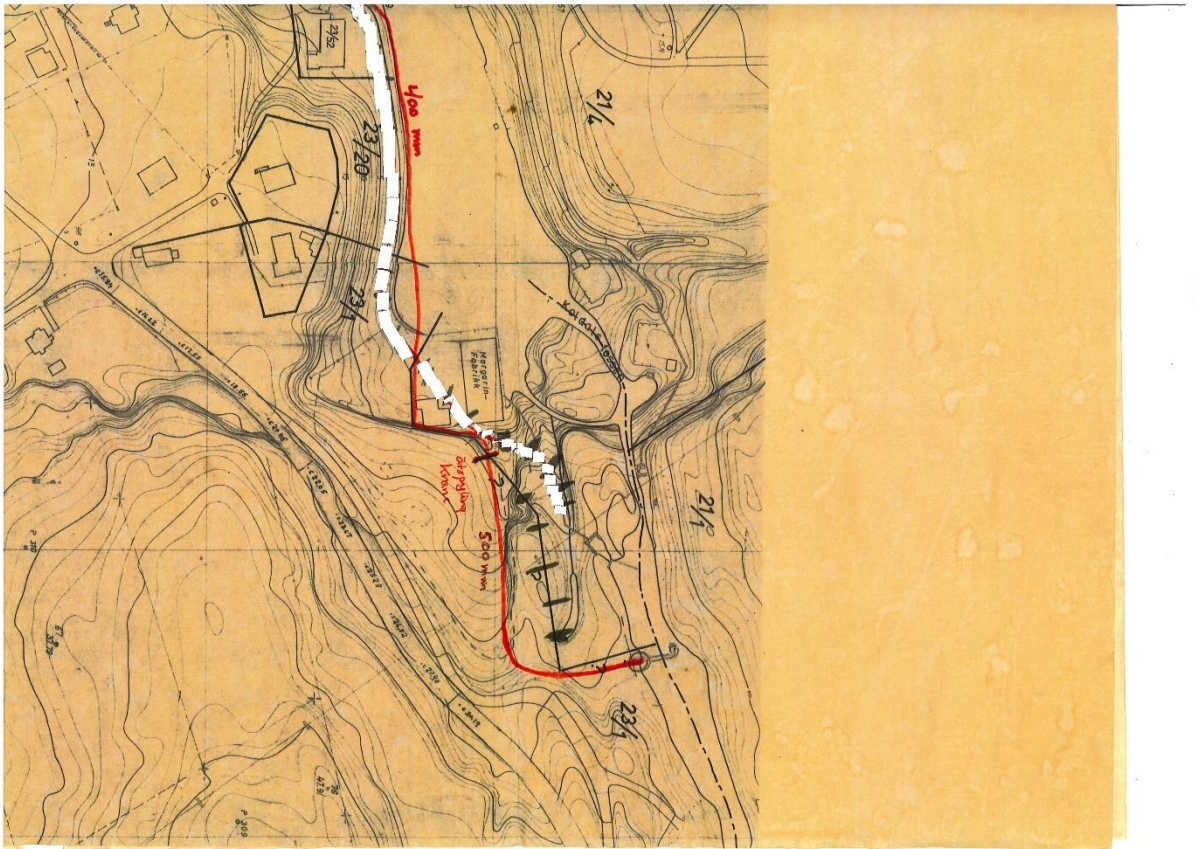
### Vedlegg 3: Tapskoeffisient for 90 graders bend (Brautaset, 1983)



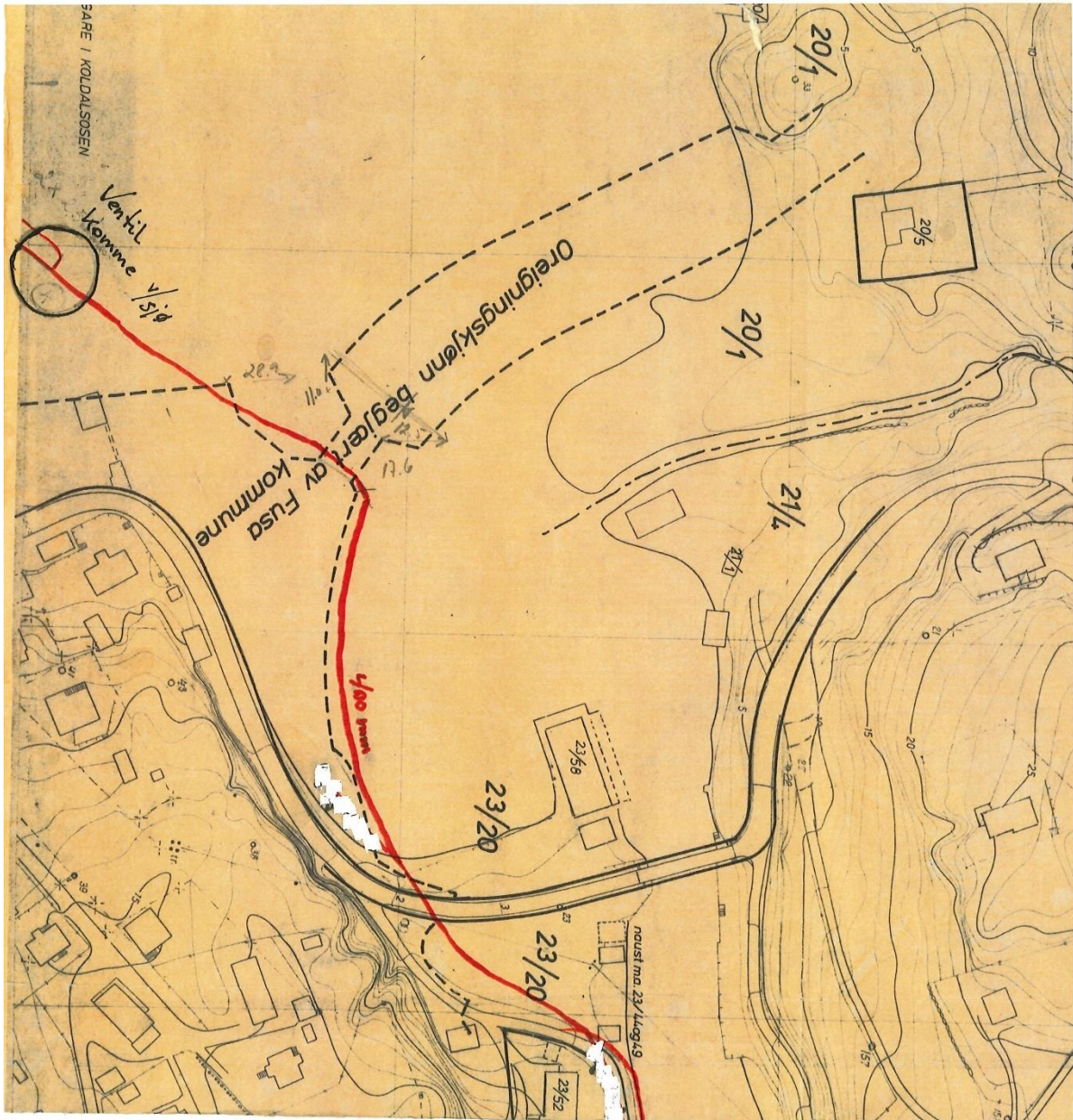
## Vedlegg 4: Tapskoeffisienter for innløp og utløp (Brautaset, 1983)



## Vedlegg 5: Skisse av rør fra elv til Lammaneset (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)



**Vedlegg 6: Skisse av rør fra meierihuset til Eikelandsoen  
(Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)**



## Vedlegg 7: Standard for PE rør (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)

16-02-01 13:29 HALLINGPLAST AS

ID=32095594

S. 02 / 02

32095594

### HALLINGPLAST PE 50 / PE 80 RØR, PRODUSERT I HENHOLD TIL NS3622, DS2119, SS3362 OG SFS 2336-37.

#### MÅL OG VEKT:

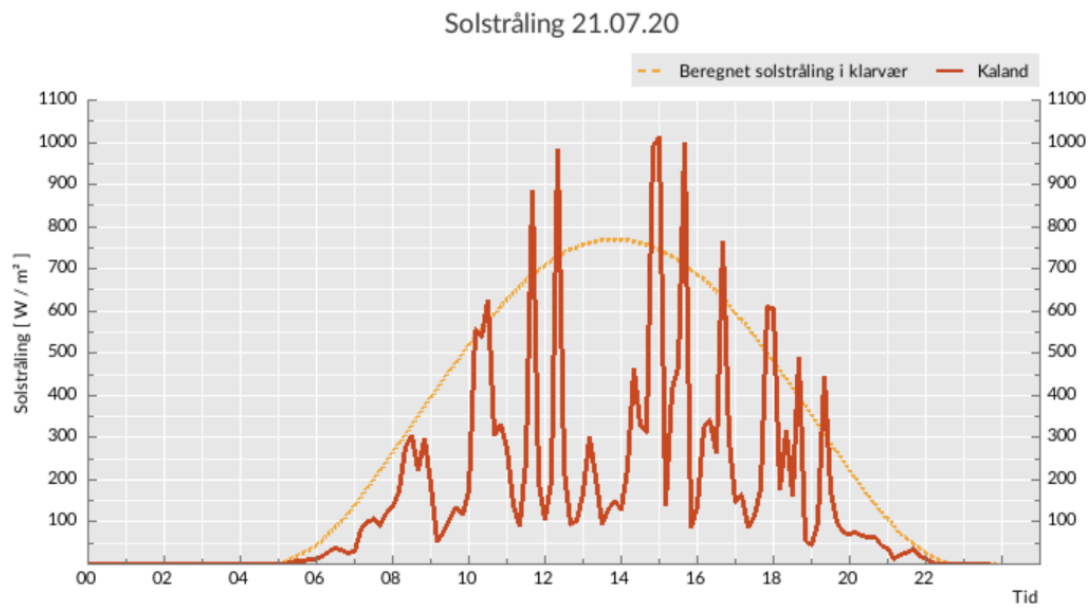
YTTER- DLA mm	PN 2.5 e mm	kg/m	PN 3.2 e mm	kg/m	PN 4 e mm	kg/m	PN 6 e mm	kg/m	PN 6.5 e mm	kg/m	PN 10 e mm	kg/m	PN 16 e mm	kg/m
20											2,00	0,118	2,80	0,158
25											2,30	0,172	3,50	0,243
32											2,80	0,274	4,40	0,387
40							2,30	0,288	2,40	0,299	3,70	0,434	5,50	0,607
50							2,90	0,445	3,00	0,458	4,80	0,672	6,90	0,945
63							3,60	0,695	3,80	0,728	5,80	1,06	8,60	1,50
75							4,30	0,888	4,50	1,03	6,80	1,48	10,30	2,11
90					3,50	0,98	5,10	1,40	5,40	1,47	8,20	2,14	12,30	3,04
110					4,20	1,45	6,30	2,10	6,60	2,19	10,00	3,18	15,10	4,55
125					4,80	1,86	7,10	2,69	7,40	2,79	11,40	4,09	17,10	5,85
140					5,40	2,35	8,00	3,37	8,30	3,50	12,70	5,13	19,20	7,34
160					6,20	3,08	9,10	4,40	9,50	4,57	14,60	6,74	21,90	9,61
180					6,90	3,69	10,20	5,54	10,70	5,77	16,40	8,51	24,60	12,13
200			6,20	3,85	7,70	4,74	11,40	6,86	11,90	7,10	18,20	10,50	27,20	15,00
225			6,90	4,89	8,60	5,96	12,80	8,64	13,40	9,03	20,5	13,30	30,80	18,90
250			7,70	6,09	9,60	7,38	14,20	10,70	14,80	11,10	22,70	16,30	34,20	23,40
280			8,60	7,55	10,70	9,20	15,90	13,30	16,60	13,80	25,40	20,40	38,30	29,30
315	7,70	7,60	9,70	9,70	12,10	11,70	17,90	16,90	18,70	17,20	28,60	25,90	43,00	37,20
355	8,70	9,60	10,90	12,10	13,60	14,80	20,10	21,40	21,10	22,40	32,30	33,00	48,50	47,20
400	9,80	12,50	12,30	15,70	15,30	19,10	22,70	27,80	23,70	28,90	36,40	42,70	54,70	61,60
450	11,00	15,80	13,80	19,90	17,20	24,20	25,50	35,10	28,70	36,60	41,00	54,10		
500	12,30	19,40	15,30	24,40	19,10	29,90	28,30	43,30	29,60	45,10	45,50	66,70		
560	13,70	24,40	17,20	30,70	21,40	37,50	31,70	54,20	33,20	56,60	51,00	83,70		
630	15,40	30,80	19,30	38,70	24,10	47,30	35,70	68,70	37,40	71,80	57,30	106,00		
710	17,40	39,00	21,80	49,20	27,20	60,20	40,20	87,20						
800	19,80	49,50	24,50	62,40	30,60	76,30	45,30	111,00						
900	22,00	62,80	27,60	79,00	34,70	97,40	51,00	140,00						
1000	24,50	77,00	30,60	98,00	38,50	120,00	56,50	173,00						
1200	29,40	111,00	38,70	140,00	46,20	173,00								

e mm = tykkelse i millimeter

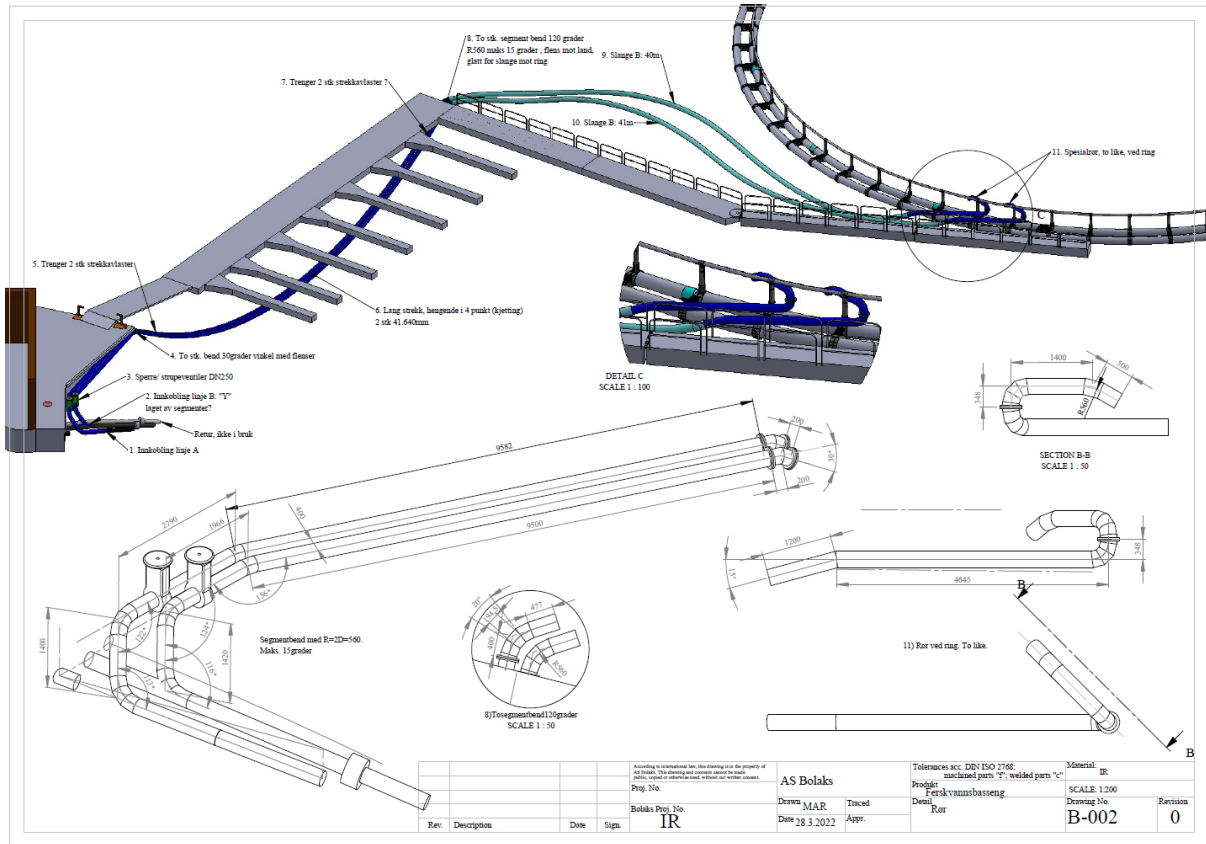
PE rør i andre trykklasser produseres på ordre.  
 Dimensjoner med uthevet skrift er normalt lagervare,  
 øvrige dimensjoner produseres/skaffes på ordre.  
 PN 10 rør er standard sort m/blå langsgående striper.  
 20 - 110 mm leveres på kveiler og i rette lengder.  
 110-1200 mm leveres i standard lengder a 6 / 12 meter.  
 På prosjekter leveres rør i lengder opp til 18 meter.



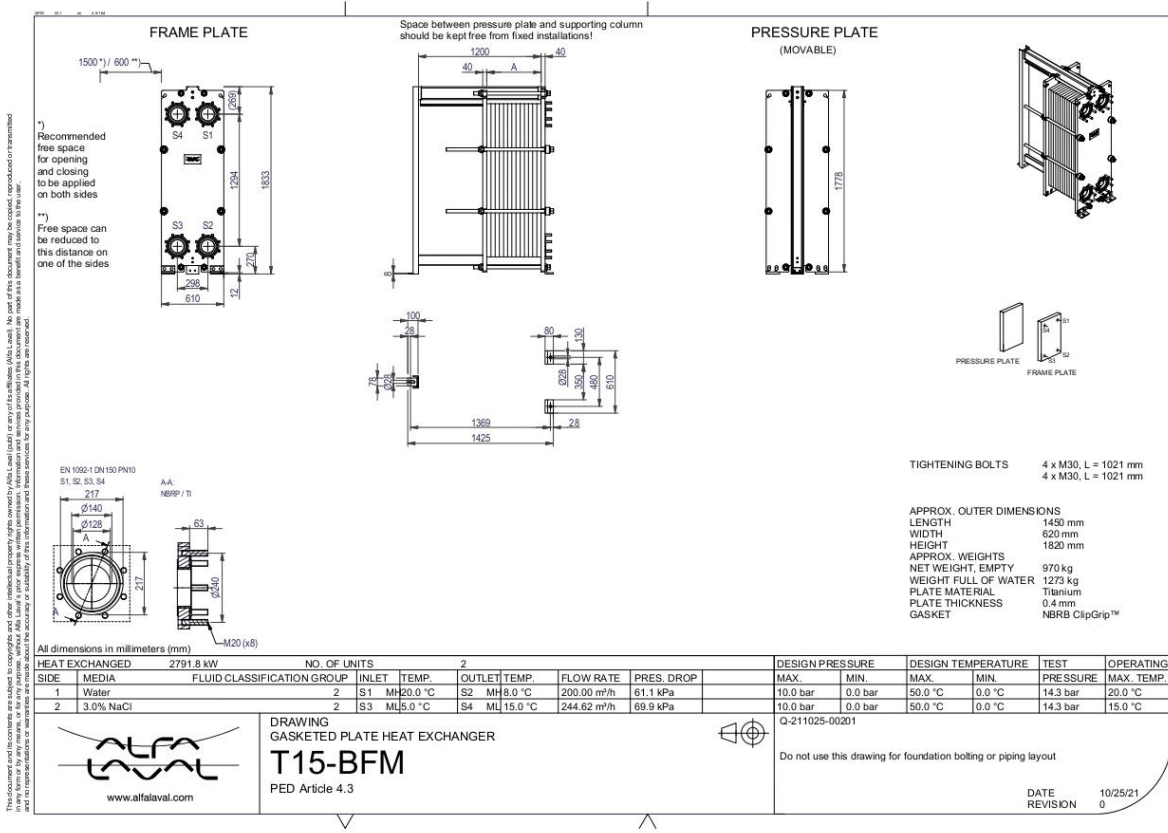


**Vedlegg 8: Værddata (Siste målinger - Bergensværet, u.å.)**

# Vedlegg 9: Teknisk tegning Lammaneset (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)



# Vedlegg 10: 3D-tegning plateveksler (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)



## Vedlegg 11: Teknisk spesifikasjon plateveksler (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)

### Technical specification

#### Gasketed Plate Heat Exchanger

Customer: AHLSELL AS VVS

Project ref: Q-211025-00201

Line ref:

Model: T15-BFM

No of units: 2

Page: 1(1)

Date: 25.10.2021

Specification of 1 exchanger out of 2 Connected In Parallel.



		Hot side	Cold Side
Fluid:		Water	3.0% NaCl
Density:	kg/m <sup>3</sup>	998,9	1 020,9
Specific heat capacity:	kJ/(kg·K)	4,2	4,02
Thermal conductivity:	W/(m·K)	0,593	0,574
Viscosity inlet:	cP	1,01	1,55
Viscosity outlet:	cP	1,39	1,18
Volume flow rate:	m <sup>3</sup> /h	200,00	244,62
Inlet temperature:	°C	20,0	5,0
Outlet temperature:	°C	8,0	15,0
Pressure drop:	kPa	61,1	69,9
Heat exchanged:	kW		2 791,8
LMTD:	K		3,9
Heat transfer area:	m <sup>2</sup>		129,87
Relative directions of fluids:		Countercurrent	
Connection positions and flow directions:		S1->S2	S3->S4
Connections: S1,S2,S3,S4		Flange EN 1092-1 PN10 DN150 lining NBRP/TI	
Design pressure (MAWP):	bar	10,0	10,0
Test pressure:	bar	14,3	14,3
Design temperature max:	°C	50,0	50,0
Design temperature min (MDMT):	°C	0,0	0,0
Pressure vessel approval:		PED Article 4.3	
Fluid danger group:		No Danger	No Danger
Has risky vapour pressure:		No	No
Number of plates:		197	
Plate material/thickness:		Titanium/0,4 mm	
Gasket material and attachment:		NBRB ClipGrip™	NBRB ClipGrip™
Approx. outer dimensions (L x W x H)	mm	1 450 x 620 x 1 820	
Approx. weight, empty / operating:	kg	970 / 1 276	
Approx. weight, full of water:	kg	1 273	
Type of package:		Skid base	
Approx. packed weight:	kg	1 051	

The performance of the equipment is conditioned by the process media and process parameters being consistent with the provided customer data. Data, specifications, and other kind of information of technological nature set out in this document and submitted by Alfa Laval to you (Proprietary Information) are intellectual proprietary rights of Alfa Laval. The Proprietary Information shall remain the exclusive property of Alfa Laval and shall only be used for the purpose of evaluating Alfa Laval's quotation. The Proprietary Information may not, without the written consent of Alfa Laval, be used or copied, reproduced, transmitted or communicated or disclosed in any other way to a third party.

## Vedlegg 12: Rørdimensjon fra 1984. (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)



KYSTKARTVERKET DISTRIKT 2

5500 HAUGESUND

Bergen, 08/10-84

Etter oppdrag fra Bolaks A/S, Eikelandsosen har vi lagt 2 stk. PEH-ledninger  $\varnothing$  280 mm - NT 6 fra begge landtak 300 m utover, resten NT 4, fra Eikelandsosen til Lammaneset.

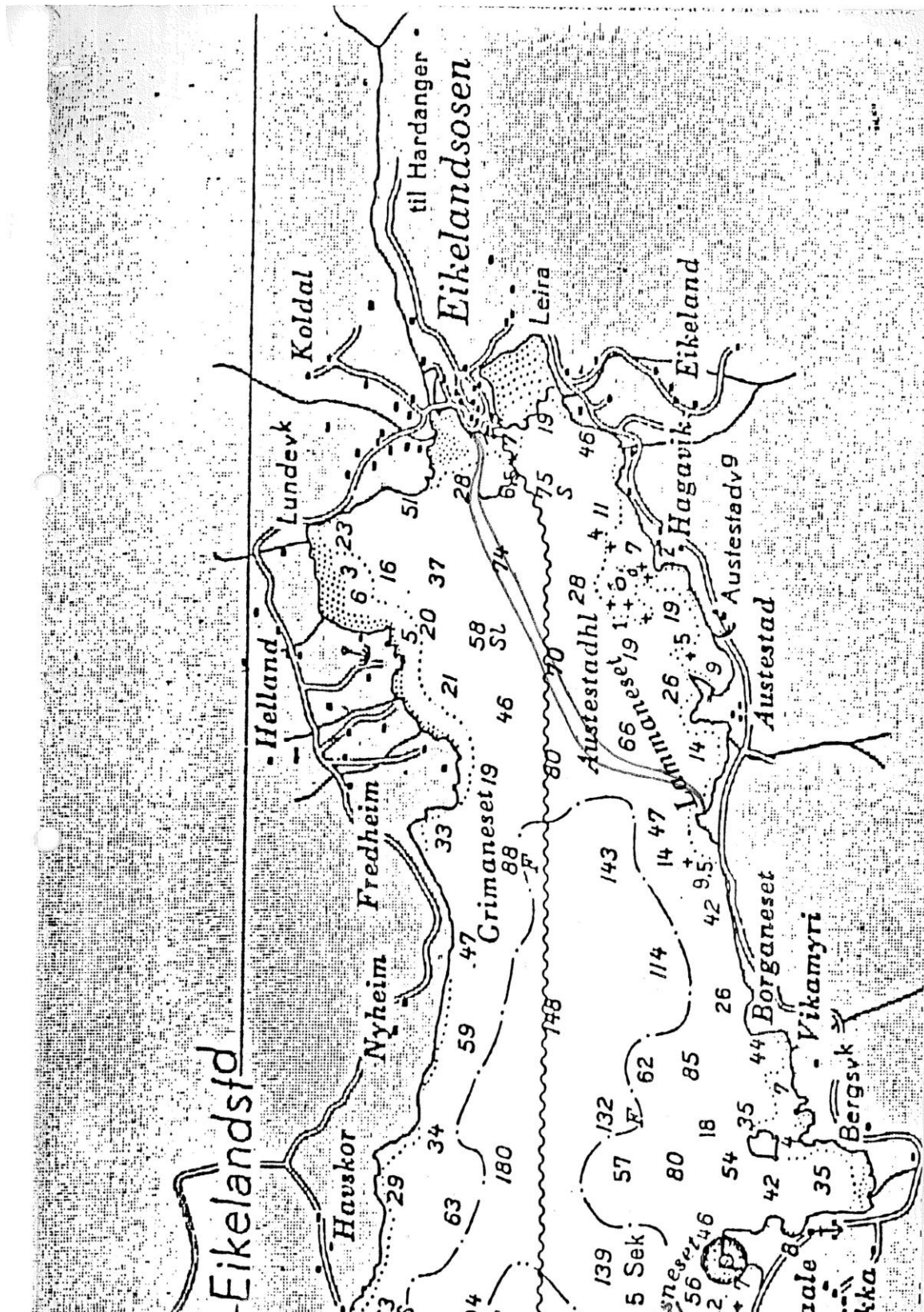
Vedlagt følger utdrag av sjøkart med ledningene inntegnet. Begge landtak vil bli merket med reglementære skilt.

Vedlegg: Utdrag fra sjøkart nr. 22.

Vennlig hilsen  
IMC Diving A/S

\_\_\_\_\_  
Oddvar Sandal

**Vedlegg 13: Posisjon i sjøkart. (Bolaks, personlig kommunikasjon, 2022)**



## **Vedlegg 14: Utregninger M93**

