



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave 2016
30 stp

Evaluering og utvikling av innløpsarrangement for landbasert ventemerd.

Evaluation and Development of Inlet Arrangement
for Land-Based Breeding Tank.

Tarjei Fredrik Ski
Maskin, prosess- og produktutvikling

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som en avslutning på studiet i Maskin, Prosess og Produktutvikling ved Institutt for matematisk realfag og teknologi(IMT) ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven er skrevet våren 2016, med et omfang på 30 studiepoeng.

I dagens lakseoppdrettsanlegg plasseres vanligvis ventemerdene i sjøen, med kort vei til slakteriet. Dette kan medføre stress og store temperaturvariasjoner for laksen som reduserer kjøttkvalitet. For å øke produktivitet og kjøttkvaliteten i dette trinnet, ønsket Bremnes Seashore som en av hovedaktørene i norsk lakseoppdrett å utvikle en landbasert ventemerdd. En betydelig investering har resultert et pilotanlegg. Erfaringene fra denne ventemerdens tilsier at man ikke har de hastighetene eller den uniformiteten i strømningsmønstre og- hastighet som datasimuleringene tilsa. En stor del av oppgaven går derfor ut på å vurdere datasimulerte strømninger opp mot forsøk.

Det har vært spennende og til tider utfordrende å jobbe med tidsriktig og relevant oppgave som kan ha betydning for fremtidig norsk oppdrettsnæring. Det etterlates ingen tvil om at norsk laks er en sterk merkevare i og utenfor Norges landegrensener. I årene som kommer vil nok denne merkevaren ha betydelig større innvirkning på norsk næring enn det man inntil nå har sett.

Jeg vil gi en stor takk til alle som har stilt til disposisjon for samtaler og nødvendig informasjon under arbeid med denne oppgaven. En spesiell takk til hovedveileder førsteamanuensis Carlos Salas, bi-veileder førsteamanuensis Jan Kåre Bøe og førsteamanuensis Odd Ivar Lekang for god veiledning. Ønsker samtidig å si takk til Svein Olav Fjære for en utfordrende og tidsrelevant oppgave. Min kjæreste og samboer Julie Grime Engely fortjener også en stor takk for stor tålmodighet.

Norges miljø- og biovitenskapelige Universitet
Ås, 12.05.2016

Tarjei Fredrik Ski

Sammendrag

Masteravhandlingen tar for seg analysering og utvikling av et nytt innløpsarrangement for en landbaser ventemerid. Målsetningen med oppgaven er å «Vurdere uniformiteten i strømningsmønstre og hastigheter i et kjent forsøk, opp mot en strømningsanalyse under like parametere.»

Teori og teknologi grunnlaget beskriver i starten av oppgaven de ulike teoriene som er relevant for utviklingen.

Det var ønsket å vurdere tidligere forsøk på strømningshastigheten gjennom datasimuleringer, da det er uklart hvor godt disse simuleringen stemmer med den faktiske strømningshastigheten. Et pilotforsøk fra 1991 vurderes derfor opp mot en datasimulering av forsøket. Resultatene fra simuleringen avviker såpass mye fra de resultatene oppnådd i 1991, at det velges å gjennomføre et nytt forsøk. For at forsøket skulle gjennomføres med ønsket presisjon, fulgte en planlegging og gjennomføringsfase. Her ble det dannet et eget forsøksmål: «Vurdere strømningsmønstre og hastigheter i et kjent forsøk, opp mot en strømningsanalyse under like parametere». Alle forsøkene ble gjennomført i fiskelaboratoriet til NMBU, på et kvadratisk kar med avrundede kanter og volum på 2,67 m³. For å vurdere hvordan strømningsmønstre påvirkes av volumstrømmer i ulike områder av karet, tok forsøket for seg tre ulike volumstrømmer og tre ulike radier. Forsøkene ble repetert tre ganger. En liten prøve med lav tetthet ble plassert i vannoverflaten og filmet mens den beveget seg med strømmingen. Dette resulterte i en stor datamengde, der 5 av totalt 27 forsøk ble grundig analysert. Disse representerer situasjonene som ble undersøkt. Sammenligningen mellom resultatene fra datasimuleringen og forsøket, viste at hastigheten i strømningsanalysen i snitt ligger 39% under den målte hastigheten. I enkelte områder er avviket større. Derimot stemte banen som prøven bevegde seg i, i større grad med strømningslinjene fra datasimuleringen.

I produktutviklingsprosessen brukes erfaringene fra sammenligningen og det teoretiske grunnlaget for utviklingen av et nytt innløpsarrangement. Bremnes Seashore, som innløpsarrangementet utvikles for, ønsker å oppnå en primærstrømningshastighet mellom 5-20 cm/s i ventemerden. Med en vekting av ulike produkttegenskaper og vurdering av det gjeldende regelverket, foreslås det tre innløps alternativer, der en er den eksisterende løsningen. Teorien tilsier at ved å øke antall distribusjonsrør fra 1 til 4, oppnås et mer uniformt strømningsbilde. Det er med bakgrunn i dette og en teori om at primærstrømningshastigheten i merden vil være 20% av innløpshastigheten, at løsningsforslag nr.1 med flere distribusjonsrør foreslås. Hastigheten er derimot litt for høy i denne løsningen. I løsningsforslag nr.2 økes diameteren på innløpene for å redusere strømningshastigheten, slik at det er innenfor ønsket hastighet i hele tankvolumet. Løsning nummer to kommer også best ut av en konseptscreening, og ansees derfor som den beste av de tre løsningene. Belastninger som innløpene utsettes for og valg av materiale, dannet grunnlag for videre utvikling av løsningen. En tidlig kostnadskalkyle viser en total kostnad på 1,2 millioner kroner for utvikling og produksjon av prototype.

I diskusjonsdelen kommer det frem at resultatet fra forsøket kan gi en indikasjon på at den faktiske strømningshastigheten i en tank, kan være høyere enn det som fremkommer fra en strømningsanalyse. Mesh og oppsettet på datasimuleringen vil derimot spille en stor rolle på resultatene. Fra resultater og erfaringen konkluderes det med at Bremnes Seashore kan oppnå en mindre variasjon i strømningshastigheter, ved benyttelse av løsningsforslag nr.2. For å slippe unna en eventuelt utviklingskostnad for et nytt innløpsarrangement, anbefales det å benytte seg av samme distribusjonsrør som i den eksisterende løsningen, men at antallet økes fra 1-4. Før en slik utvikling eller implementering av nytt innløpsarrangement gjenstår det derimot en del arbeid. Dette omfatter blant annet at det gjennomføres et forsøk på en nedskalert versjon av ventemerden, med målemetoder som har en mindre usikkerhetsfaktor enn de som ble brukt i forsøket.

Abstract

This master thesis discusses analysis and development of a new inlet arrangement for a land-based breeding tank. The objective of the work is "Designing an inlet arrangement which provides a satisfactorily flow pattern for salmon." In the theory and technology fundament, theories and technologies relevant to development are described.

It was desired to evaluate previous experiments through computer simulations, as it is unclear how well these simulations agree with the actual flow patterns for the given input conditions. A pilot study from 1991 is therefore evaluated up against a computer simulation of the experiment. The results of the simulation differ so much from the results obtained in 1991 that the author decides to develop a new experiment. In order for the experiment to be carried out with desired accuracy, a planning and implementation phase followed. The objective for the experiments was to "Consider flow patterns and velocities in a known experiment, against a flow analysis under the same parameters ."

All experiments were performed in fish laboratory at NMBU, on a square tank with rounded edges and volume of 2.67 m³. To assess how the flow picture is influenced by volume flows in different areas of the tank, the experiment analysed three different flow rates and three different radii. The experiments were repeated three times. A small sample with low density was placed on the water surface and filmed while it was moving with the flow. This resulted in a large amount of data, where 5 of a total of 27 trials were analyzed. These cover all situations that was conducted. The comparison between the results of computer simulation and the experiment showed that the flowrate of the flow analysis on average is 39% below the actual speed, and in some areas the deviation is even greater. However, the observed trajectory corresponded to a greater extent with the flow lines of computer simulation.

In the product development process, experience from the comparison and the theoretical basis, form the background where used to develop a new inlet arrangement. Bremnes Seashore, which the inlet arrangement is developed for, want to achieve a primary flow rate between 5 to 20 cm/s. A weighing of different product characteristics and evaluation of the existing regulations, three inlet configurations are proposed, where one is the existing solution. Theory suggests that by increasing the number of distribution pipes from one to four, more uniform direction and velocity will be achieved. With this background combined with a theory that the primary velocity in the tank will be 20% of the inlet velocity, solution number one with several distribution pipes are proposed. The velocity is however a too great in this solution. In solution number two the diameter of the inlets where increased. As a result of the increased diameter, velocity reduces so that it is within the desired velocity throughout the tank volume. Inlet arrangement solution number two also ranks best in the concept screening, and is therefore regarded as the best of the three solutions. The Stresses that the inlets is exposed to and the choice of material, formed the basis for further development of the solution. An early price estimate shows a total cost of 1.2 million NOK for the development and production of a prototype. The discussion reveals that the result of the test can give an indication that the actual flow rate in a tank can be higher than that which emerges from a flow analysis. Mesh and layout on computer simulations will however play a major role in the results. In addition, the theoretically best solution involves a significantly higher flow rate according to computer simulation than what the theory suggests. Results and experience concluded that Bremnes Seashore can achieve a smaller range of flow rates, by using the second inlet arrangement. To escape an optionally development cost for a new inlet arrangement, it is recommended to use the same distribution pipes as in the existing solution, but increasing the number of pipes from 1 to 4. Before developing or implementing such a new inlet arrangement, there is required some additional work. This includes testing at a scaled down version of the breeding tank with measurement methods which have a higher degree of accuracy than those used in this thesis.

Innholdsfortegnelse

1. Innledning.	1
1.1 Bakgrunn.	1
1.2 Markedsbehov og potensialet.	1
1.3 Oppdragsbeskrivelse.	1
1.4 Mål for masteroppgaven.	2
1.5 Problemstillinger og teknologiske flaskehalsar.	2
1.6 Kvalitetssikring.	2
1.7 Begrensinger ved oppgaven.	3
2. Metodebeskrivelse.	4
2.1 Terminologi og begreper.	4
2.2 Metodebruk og løsningsverktøy.	7
2.2.1 Programvare.	7
2.2.2 Produktutviklingsmetoder.	7
2.2.3 Forsøksutstyr.	7
2.2.4 CFD oppsett.	7
2.3 Prosesstrinn.	9
3. Teori og teknologi beskrivelser.	11
3.1 Trinn i et oppdrettsanlegg.	11
3.2 Landbasert ventemerdd/slaktemerd.	13
3.3 Strømning i tank.	13
3.3.1 Primærstrømmer i tanker og kar.	14
3.3.2 Sekundærstrømmer.	14
3.3.3 Virvelfri sone.	15
3.3.4 Separasjon.	15
3.4 Utforming av fiske tanker.	16
3.5 Strømningsmåling i vann.	17
3.5.1 Pitot rør.	17
3.5.2 Strømningsmåler.	17
3.5.3 Fotografering og optiske metoder.	18
3.6 Utskiftningstid.	18
3.7 Metode for analyse av strømningsmønstre.	18
3.7.1 CFD-analyse.	18
3.7.2 Analytisk metode.	18
3.7.3 Eksperimentelle metoder.	18
3.8 Navier-Stokes ligninger.	19
3.9 Turbulens.	19
3.10 Reynolds tall.	20

3.11 Tap.	20
3.12 Innløpsarrangement.....	22
3.13 Komponenter i ventemerd.....	23
3.14 Fiskeatferd og påvirkning.	23
3.15 CFD oppsett.	24
4. CFD Verifisering av tidligere modeller.....	25
4.1 Pilotforsøk(1991).	25
4.1.1 Konfigurasjon.....	25
4.1.2 Resultat fra pilotforsøk(1991).	26
4.2 CFD Simulering av pilotforsøk (1991).	26
4.2.1 3D Konfigurasjon.....	26
4.2.1 Resultat fra CFD simulering av pilotforsøk (1991)	27
4.3 Ulikheter og likheter mellom simulering og praktisk forsøk av pilotforsøk(1991).....	27
4.3.1 Feilkilder mellom CFD og praktisk forsøk	27
4.4 Bremnes Seashore eksisterende innløpsarrangement (Praxir).....	28
5. Planlegging og gjennomføring av tidlig forsøk.....	32
5.1 Forsøksmål.	32
5.2 Forsøksplan og oppsett.....	32
5.2.1 Definisjon og plan for forsøk.	32
5.2.2 Fysiske mål, datainnhenting og feilkilder.	33
5.2.3 3D- modellering og oppsett av CFD-analyse.....	34
5.2.4 Siste forberedelser før gjennomføring.	35
5.2.5 Vurdering og databehandling.	35
5.2.6 Re vurdering og nytt forsøk.	35
6. Resultat og sammenligning av tidlig forsøk.....	36
6.1 Resultat fra forsøk.	36
6.1.1 Resultat fra strømningsmåling.	36
6.1.2 Forsøk nr. 3.	39
6.1.4 Forsøk nr. 4.	41
6.1.3 Forsøk nr. 6.	42
6.1.5 Forsøk nr. 17.	44
6.1.6 Forsøk nr.22.	45
6.2 Sammenligning mellom resultater.	47
6.2.1 Forsøk nr. 3.	48
6.2.3 Forsøk nr. 4.	49
6.2.2 Forsøk nr. 6.	51
6.2.4 Forsøk nr. 17.	53
6.2.5 Forsøk nr. 22.	55

6.3 Feilkilder og forbedringspotensialet i tidlig forsøk.....	57
6.3.1 Feilkilder.....	57
6.3.2 Forbedringspotensialet.....	58
6.4 Konklusjon fra forsøk og sammenligning.....	58
6.4.1 Hastighet.....	58
6.4.2 Bane.....	59
7. Produktspesifisering og konseptgenerering.....	60
7.1 Produktmålsetning og egenskaper.....	60
7.1.1 Krav og ønsker fra Bremnes Seashore.....	60
7.1.2 Produktegenskaper.....	60
7.2 Metriske spesifikasjoner.....	61
7.3 Gjeldende regelverk.....	61
7.4 Konseptgenerering.....	62
7.4.1 Funksjonsanalyse for innløpsarrangement.....	62
7.5 Løsningsalternativer.....	63
7.5.1 Eksisterende løsning.....	63
7.5.2 Løsningsforslag nr.1.....	69
7.5.3 Løsningsforslag nr.2.....	77
7.6 Tidligvurdering av brukspåkjenninger.....	84
7.6.1 Mekaniske påkjenninger.....	84
7.6.2 Miljø.....	85
7.7 Materialvalg.....	85
8. Vurdering av løsninger.....	87
8.1 Utvikling av seleksjonsmatrise.....	87
8.2 Konseptscreening.....	87
8.3 Foretrukket løsning.....	88
9. Produksjonskostnader, framstilling og miljøaspekter.....	89
9.1 Produksjonsmetoder.....	89
9.2 Tidlig kostnadskalkyle.....	90
9.2.1 Konseptutvikling.....	90
9.2.2 Prototypeframstilling.....	90
9.3 Robusthet, vedlikehold og resirkulering.....	92
9.3.1 Materialeegenskaper, overflatebehandling, styrke og vedlikehold.....	92
9.3.2 Miljøkrav og resirkulering.....	92
10. Prosessevaluering og diskusjon.....	94
10.1 Forsøk og resultater.....	94
10.3 Produktutviklingsprosessen.....	95

11. Konklusjon.....	97
11.1 Anbefalinger.....	98
11.2 Videre arbeid.....	98
Litteraturreferanser.....	99
Vedlegg:.....	104

1. Innledning.

Denne masteravhandlingen er skrevet i samarbeid med Bremnes Seashore. Det er tiltenkt at de skal kunne ta i bruk eventuelle løsninger, ved en fremtidig produksjon. Kapittelet beskriver innledningsvis bakgrunnen for oppgaven og om det er markedsbehov for produktet. I avsnitt 1.3 følger en oppdragsbeskrivelse før hovedmål med delmål defineres. Problemstillinger og teknologiske flaskehalsar som man med stor sannsynlighet vil møte på under arbeidet blir avslutningsvis gjennomgått, før omfanget av oppgaven defineres i begrensinger.

1.1 Bakgrunn.

Bremnes Seashore, som en av hovedaktørene i norsk oppdrettsnæring har valgt å satse stort på landbaserte ventemerder. De siste årene har eksporten av oppdrettslaks eksplodert i Norge, dette har resultert i at oppdrettslaks ved siden av olje er blant de største eksportvarene som Norge har. I 2014 eksporterte Norge 999 000 tonn laks (Seafood.no 2015) mot 342 741 tonn i 2000 (Rolsdorph 2004). En økning på 291 % fordelt på 14 år har medført at de ulike oppdrettsanleggene har måtte øke sin kapasitet kraftig. Dette kommer samtidig som det stadig stilles strengere krav til akvakulturen i og rundt de ulike oppdrettsanleggene. Spredning av lakselus (Mo 2000) og rømming er noen av mange problemer oppdrettsnæringen har måtte ta hensyn til.

For å sikre en høy kjøttkvalitet er det ønskelig at fisken har kort reisevei fra vannet til slakteriet. Det dannes derfor ofte et lager med fisk før slaktning. Lageret er enten en liten merd, eller en landbasert tank i direkte kontakt med slakteriet. Dette mellomlageret beskrives ofte som ventemerder eller slaktemerder. Ventemerdene har som hensikt å stresse ned fisken etter frakten med brønnbåten, frigjøre transportkapasitet og for å ha kontinuerlig og jevn tilgang på slaktefisk (Kristiansen & Samuelsen 2006). Ved å plassere denne ventemerden på land ønsker Bremnes å forbygge smittespredning, redusere rømming, øke produktkvalitet og skape nye markedsmuligheter (Sæverud, W., Bjørn., & Fjæra, S. O. 2013). En betydelig investering har medført at Bremnes Seashore har utviklet en pilotanlegg. Resultater fra dette pilotanlegget gir derimot å ikke den uniformiteten som er ønsket i strømningshastighet og strømningsmønster. Innløpsarrangementet på pilotanlegget ønskes derfor vurdert mot nye og bedre alternativer.

1.2 Markedsbehov og potensialet.

Lykkes man med å utvikle et innløpsarrangement som er tilpasset laksens naturlige strømningsmønstre kan man skape nye markedsmuligheter. Dette åpner opp for oppdrett av ikke bare laks, men også andre fiskearter som man tidligere ikke har lyktes med i oppdrettsanlegg. Et uniformt strømningsbilde i hele tanken medfører også at det ikke vil være like store kvalitetsforskjeller på kjøttet, da alle fiskene har tilfredsstillende forhold under hele oppholdstiden i ventemerden. I et stadig mer miljøbevisst samfunn er det også en betydelig energibesparende faktor knyttet til utviklingen. Et vel fungerende innløpsarrangement er av stegene mot en fullstendig landbasert oppdrettsnæring uten rømming og spredning av lakselus. Innløpsarrangementet utvikles for en sirkulær ventemerde, oppnår man et uniformt strømningsbilde i hele tanken kan denne løsningen implementeres til andre sirkulære kar.

1.3 Oppdragsbeskrivelse.

Masteroppgaven skal ta for seg et allerede utviklet innløpsarrangementet til en landbasert ventemerde, strømningsbilde fra denne skal vurderes før det utvikles en ny og forbedret løsning. Det er ønskelig at strømningsfarten og strømningsmønstre er så likt som mulig i hele tankens volum for å oppnå høy grad av fiskevelferd.

1.4 Mål for masteroppgaven.

Hovedmål:

Design og utvikle et nytt innløpsarrangementet som tilfredsstiller krav til uniform strømningshastighet- og strømningsmønster stilt av Bremnes Seashore.

Delmål:

- Vurdere nøyaktigheten til en strømningsanalyse
- Modellere tidligere bygd innløpsarrangement og analysere strømningsbilde gitt av disse.
- Design et nytt innløpsarrangement, basert på sammenligner mellom datasimuleringer og praktiske forsøk.

1.5 Problemstillinger og teknologiske flaskehalsar.

Dagens ventemerde har problemer med at strømningsbilde i tanken ikke er som ønsket. Fisken er i tanken for å roe seg ned før den skal slaktes. Det er derfor viktig at strømmingen fra innløpsarrangementet designes slik at laksen ikke benytter unødvendig mye energi.

I masteroppgaven skal det vurderes hvorvidt det er noe forskjell på datasimuleringen og praktiske forsøk på strømningsbilde i en tank. For å kunne sammenligne dataresultatene fra en datasimulering opp mot praktiske forsøk, er det viktig at så mange feilkilder som mulig elimineres. Det stilles derfor høye krav til simuleringsmodellen og måleapparatene som skal benyttes.

I et konkurranse utsatt marked som oppdrettsnæringen er, vil prisen på de ulike løsningene spille en kritisk rolle på hvor gjennomførbar løsningene er.

Den største utfordringen blir å få verifisert data fra forsøket med resultatene fra simuleringen. For å kunne lage en ny og forbedret løsning er man avhengig av å kunne stole på de resultatene som kommer fra simuleringen. Simuleringsprogrammene som skal benyttes vil av den grunn være den største problemstillingen og teknologiske flaskehalsen. Det kreves stor datakapasitet for å utføre gode strømningsanalyser og teknologien er fortsatt ung.

1.6 Kvalitetssikring.

For å sikre at oppgaven holder et høyt akademisk språklig nivå, vil den bli kvalitetssikret i flere omganger. Litteraturen som blir benyttet gjennomgås for å sikre at disse holder den akademiske standarden som kreves i en masteravhandling. Dette innebærer at det kun blir benyttet troverdige kilder, som er utstedt av fagpersoner innen de aktuelle fagområdene. I tillegg til de akademiske kravene, blir oppgaven sendt igjennom flere runder med gjennomlesning av forfatter og utenforstående. Dette skal sørge for at oppgaven ikke inneholder språklige feil som kan føre til misforståelser eller forvirring for leseren. En ytterligere gjennomgang har blitt gjort av veileder med bi-veileder. En kvalitetssikring gjennomføres også ved å følge en arbeidsplan som er utformet i starten av prosessen, denne blir justert mens arbeidet pågår og har som hensikt å sikre at man klare å gjennomgå alle trinnene i utviklingen (vedlegg A).

Alt av teknisk utstyr som benyttes er forhåndskalibrert og stilt inn av ansatte ved NMBU.

1.7 Begrensinger ved oppgaven.

Grunnet omfanget på fagfeltet og den begrensede tidsperioden vil ikke alle aspekter i utviklingen bli dekket. Flere av begrensninger kommer som et resultat av at sammenligninger mellom datasimuleringer og forsøk vil være en omfattende del av oppgaven.

Begrensningene for oppgaven omfatter:

- *Enkelte av trinnene i konsept og produktrealiserings prosessen vil bli utelatt, dette er en konsekvens av at datasimuleringer og vurderinger av eksisterende løsninger vil være en omfattende del av masteravhandlingen.*
- *Det vil ikke bli utviklet prototype, dette av hensyn til tid og kostnader.*
- *Alle forsøks resultater blir ikke vurdert. Dette ville resultert i en alt for stor datamengde som hadde tatt for lang tid å analysere.*
- *Ingen av datasimuleringen gjennomføres med fisk.*

2. Metodebeskrivelse.

I dette kapittelet forklares terminologi og begreper som benyttes i oppgaven (Tabell 1 og 2). Deretter beskrives ulike programvare og løsningsverktøy. Masteroppgaven består av flere ulike prosessstrinn, rekkefølgen på disse illustreres avslutningsvis i kapittel 2.3.

2.1 Terminologi og begreper.

Begreper

Tabell 1. Begreper som benyttes i oppgaven.

Begrep:	Forklaring:
CFD	« <i>Computational fluid dynamics</i> », Numerisk metode brukt i datasimuleringer av strømninger.
HRT	« <i>Hydraulic retention time</i> », oppholdstiden til vann.
SI	« <i>Système international d'unités</i> », internasjonalt målesystem for fysiske enheter.
Ventemerd	En tank hvor fisken oppholdes i maksimalt 6 døgn før den sendes til slakteri.
VVS	Varme vann og sanitær
GUP	Glassfiberarmert umettet polyester, glassfiber.
SDR	« <i>Standard Dimension Ratio</i> » Rørets utvendige diameter dividert med godstykkelse. Dimensjonsstandard på PE-rør.
MVA	Merverdiavgift
CPU	« <i>Central Processing Unit</i> ». Prosesseringsenhet i en datamaskin.
CES Edu Pack	Dataprogram, benyttes for å estimere energiforbruket som kreves for produsere og bryte ned materialer.
GJ. Snitt	Gjennomsnittet av et utvalg.
F.eks.	For eksempel
SD	« <i>Standard deviation</i> ». Standardavviket i et utvalg, sier hvor langt de enkelte verdiene i gjennomsnitt ligger fra gjennomsnittsverdien.
Sigar	Perforert rør som plasseres i senter av oppdrettstank
Smoltifiseringsprosess.	Omstillingsprosess lakseyngel gjennomgår for å klare overgangen fra fersk til saltvann.
Anaerobiske metabolismen	Etablering av energi ved fravær av oksygen. Lungene klarer ikke å holde tritt med oksygen behovet til musklene. Fører til økt laktatnivå.

Symboler og enheter

Tabell 2. Symboler og enheter som benyttes i oppgaven.

Symbol	Beskrivelse	Enhet
r	Radius	cm
v	Fart	cm/s
q_m	Massestrøm	kg/s
q_v	Volumstrøm	L/min
β	Vinkel moment	kg * m ² /s
v_s	Strømningshastighet	cm/s
h_u	Høydeforskjell	cm
g	Gravitasjonskonstant	m/s ²
p	Trykk	Pa
L	Lengde	cm
Re	Reynolds tall	
ρ	Tetthet	kg/m ³
μ	Dynamisk viskositet	Pa * s
ν	Kinematiske viskositet	m ² /s
ΔV	Differanse mellom største og minste hastighet i utvalget.	cm/s
τ	Utskiftningstid	min
r_h	Hydraulisk diameter	m
f_k	Kinetisk friksjon	N
μ_k	Kinetisk Friksjonskoeffisient	
F_n	Normalkraft	N
A	Tverrsnittsareal	m ²
P	Våt omkrets	m
d	Indre diameter	mm
D	Ytre diameter	mm
h_M	Darcy-Weisbach friksjonstap	m
V_{maks}	Største hastigheten i et utvalg	cm/s
V_{min}	Minste hastigheten i et utvalg	cm/s
O	Omkrets av sirkel	m
P_o	Atmosfæretrykket	Pa
Δh	Høydeforskjell	mm
μm	Micrometer	10 ⁻⁶ m
F_i	Impulskraft	N

Formler

Tabell 3. Formler som benyttes gjennom oppgaven.

Benevning	Likning	Indeks nr.
Bernoulli likningen	$p_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 = p_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2$	(3.1)
Farten i punkt a, i et Pitot rør	$v_a = \sqrt{2gh_u}$	(3.2)
Utskiftningstid	$\tau = \frac{V}{q}$	(3.3)
Navier stokes ligning for retning u.	$-\frac{\partial \rho}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = \rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right]$	(3.4a)
Navier stokes ligning for retning v.	$-\frac{\partial \rho}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) = \rho \left[\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right]$	(3.4b)
Navier stokes ligning for retning w.	$-\rho g - \frac{\partial \rho}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) = \rho \left[\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right]$	(3.4c)
Reynolds tallet i rør	$Re = \frac{\rho v L}{\mu} = \frac{v L}{\nu}$	(3.5)
Reynolds tallet for åpen strømning	$Re = \frac{4v r_h}{\nu}$	(3.6)
Hydraulisk diameter	$r_h = \frac{A}{P}$	(3.7)
Kinetisk friksjon	$f_k = \mu_k F_n$	(3.8)
Darcy-Weisbach ligningen	$\Delta h_f = f \frac{L v^2}{D 2g}$	(3.9)
Impulskraft	$F_i = p q_v v$	(3.10)
Hastighets spredning i et utvalg	$\Delta V = V_{maks} - V_{min}$	(6.1)
Strømningshastighet i rør	$v = \frac{q}{A} = \frac{4q}{d^2 \pi}$	(8.1)
Tverrsnitts areal av sirkel	$A = \pi r^2$	(8.2)
Omkrets av sirkel	$O = \pi d$	(8.3)
Trykk	$P = P_o + \rho g \Delta h$	(8.4)

2.2 Metodebruk og løsningsverktøy.

2.2.1 Programvare.

Programvare som blir benyttet underveis i oppgaven:

- Dassault Systemes SolidWorks 2014 x 64 Edition SP02 med tilleggspakken flow simulation, benyttes til datasimuleringer og 3D- modellering.
- Adobe Photoshop CC 2015, versjon CS 5, brukt til bilderedigering av dataresultater.
- GoPro studios 2.0.0.285, analysere video av praktiske forsøk.
- CES Edupack, livsløpsanalyser.

2.2.2 Produktutviklingsmetoder.

Integrert produktutvikling (IPD)

Produktutviklingsmetode som øker fokuset på effektiv produksjon, mindre gjennomføringstid og større læringsutbytte. Dette gjøres ved å integrere ulike fagfelt i utviklingsprosessen. For at dette skal fungere forutsetter dette planlegging, samarbeid, empati og kunnskap om kvaliteten som hvert enkelt fagfelt har i seg. (Crow 2002). Disse fagfeltene deles inn i fire bein, økonomi, produktutvikling, produksjonsutvikling og miljøhensyn. Økonomi omfatter også prosjektplanlegging.

Pughs metode

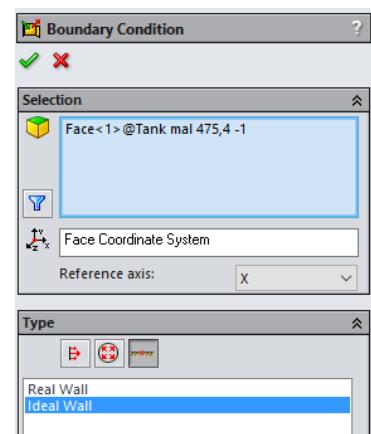
Selekterings verktøy, hvor en rekke løsninger blir sammenlignet opp mot hverandre for å finne den løsningen som tilfredsstillere kriteriene best. Løsningene vurderes opp mot hverandre og mot et eventuelt eksisterende referanse. Stiller en løsning sterkt blir den vurdert med en høy score, stiller løsningen svakt gis en lav score. Pughs metode baseres seg på en matrise, hvor man summerer opp scoren de ulike løsningen har fått. Den løsningen som stiller sterkest blir anset som den beste. En Pughs matrise kan tillegg vektlegge kriteriene etter viktighet, slik at man ender med en løsning som tilfredsstillere kravene best mulig. Pughs metode skal gi et nøytralt svar, som forteller hvilket alternativ som brukeren burde gå videre med (Bøe 2014).

2.2.3 Forsøksutstyr.

- GoPro hero 3+ black edition. Oppløsning: 2716 x 1524 piksler. Bilderate: 30 bilder i sekundet. Filming av prøven.
- Sartorius CP2P, måling av prøve. Vekt for måling av forsøksprøve.
- Pinsett, utplassering av forsøksprøve.
- Kvadratisk sirkulasjonskar med avrundede kanter og distribusjonsrør.
- Kvadratisk ramme, med sektor inndeling.

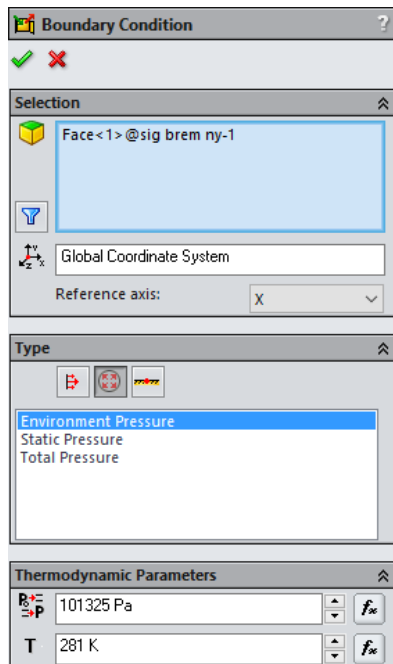
2.2.4 CFD oppsett.

For å kunne gjennomføre en strømningsanalyse i datasimuleringsprogrammet SolidWorks flow simulation kreves det at man setter opp rekke parametere. Oppsettet som er beskrevet her gjelder generelt for alle simuleringer i oppgaven, hvis ikke annet er beskrevet. Oppsettene er definert inne i SolidWorks flow simulation, og utføres innvendig i 3-D modellerte komponenter. Parameter og grenseverdier for simuleringene utført i denne oppgavene omfatter:



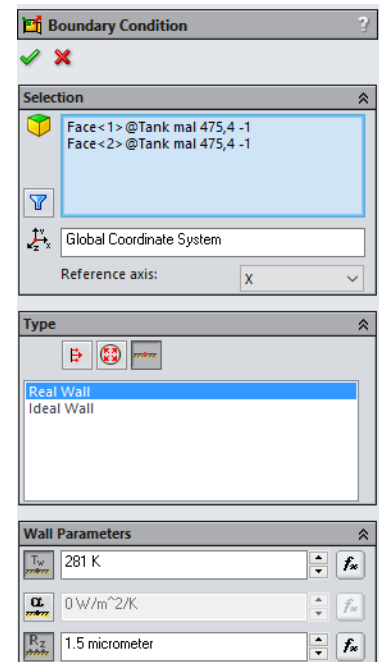
Figur 1. Grensevilkår for tankens «lokk».

- Simuleringsprogrammet krever at det er et lukket volum, det plasseres derfor et lok over alle tanker, dette lokket har ingen innvirkning på resultatene, men kreves for å kunne gjennomføre simuleringen. Lokket defineres som ideell vegg, uten friksjon. Se Figur 1. Under «*Selection*» defineres overflaten.
- Indre vegger i tankene defineres som «*Ekte vegg*», avhengig av materialet bestemmes ruheten og temperaturen til materialoverflaten.
- Innløpene til tanken velges under «*Boundary Condition*». I flere av de vurderte tankene har man flere innløp, i disse situasjonene defineres alle innløp hver for seg. Under «*selection*» bestemmes hvor vannet skal komme inn fra. Under «*type*» velges «*Inlet Volum Flow*» med tilhørende volumstrøm. Vanntemperaturen settes lik 8°C for alle simuleringer. Under «*Turbulence Parameters*» settes en turbulens intensiteten på 2% som en standard for alle simuleringer (figur 4).
- Utløpet og perforerte komponenter defineres som trykk åpning under «*Type*». Her blir trykk åpning valgt lik omgivelser trykket, «*Environment pressure*». Vannet strømmer fritt gjennom. Under «*thermodynamic parameters*» velges igjen temperaturen til 8°C og trykket lik omgivelser trykket (figur 3).

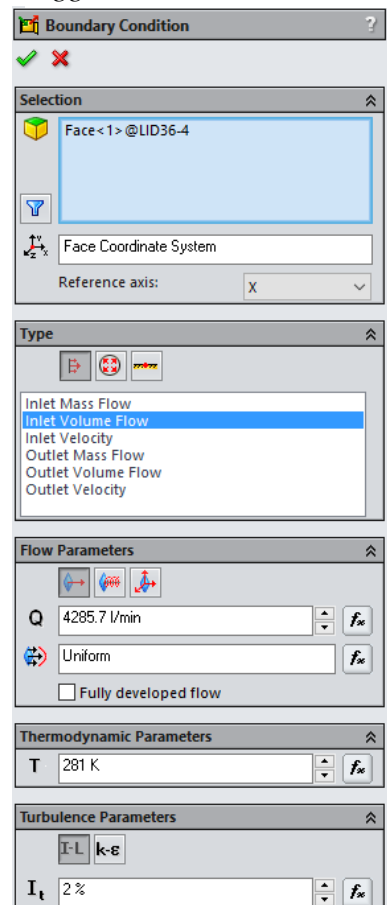


Figur 3. Sigar defineres som trykk åpninger med trykk lik omgivelser trykket. Samme oppsett som for utløpet.

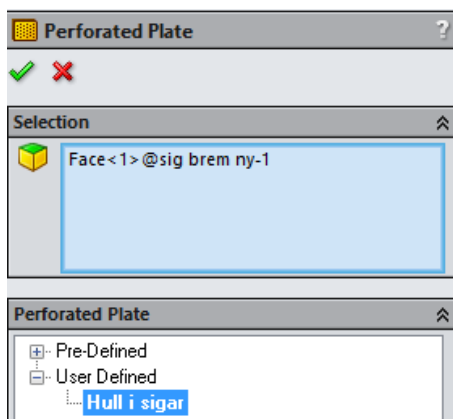
- Perforerte komponenter blir tillagt denne perforeringen under «*Perforated plate*» funksjonen. Under «*selection*» velges overflaten som skal perforeres. For å bestemme hva hvor store hullene i perforeringen skal være, og avstandene mellom de lages en perforering (Figur 5 og 6)



Figur 2. Oppsettet for indre vegger.



Figur 4. Simuleringsoppsett for innløpene. Her en volumstrøm på 4285,7 L/min.



Figur 5. Valg av perforert overflate. Her velges: Face <1> @ sig brem ny-1 under «Selections, den valgte perforeringen er «Hull i sigar»

Property	Value
Name	Hull i sigar
Comments	Hull i sigar
Hole shape	Round
Diameter	0.01 m
Coverage	Pitch
X - pitch	0.015 m
Y - pitch	0.015 m
Free area ratio	0.349065844

Figur 6. Egenskapene til perforeringen i sigar. Hulldiameter på 10mm, avstand på 15mm mellom senter i x og y-retning velges her.



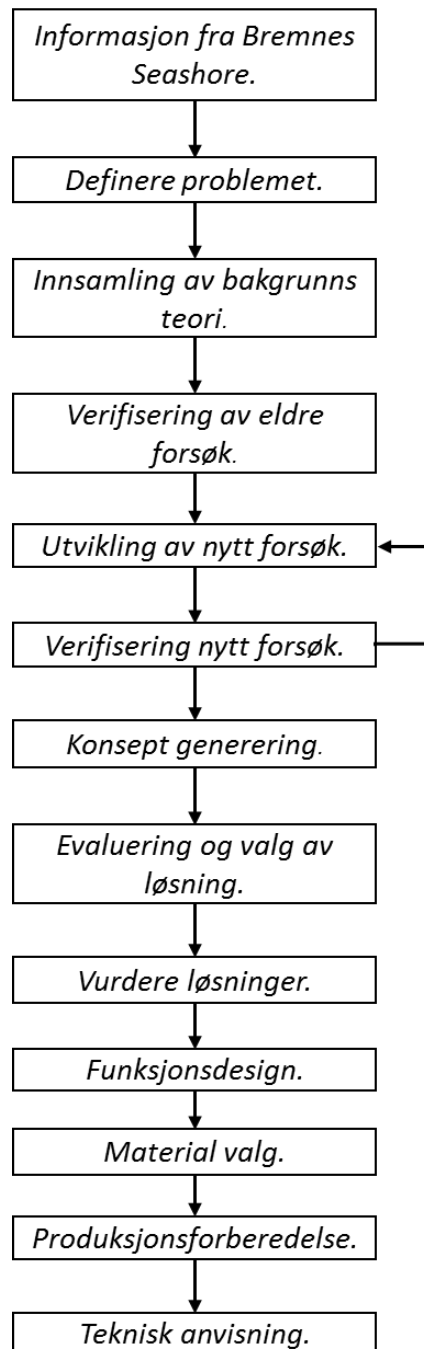
Figur 7. Finheten i meshet rangeres fra 1-8 i SolidWorks flow simulation.

Mesh oppsettet benyttet i alle simuleringer. Programmet generer selv meshen, men finheten bestemmes på en skala fra 1-8. Nivå 7 brukes i simuleringer gjennom hele oppgaven.

2.3 Prosesstrinn.

I figur 7 er de ulike prosesstrinnene i utviklingsprosessen illustrert. Starter med å få informasjon om hvilke problemer Bremnes Seashore har med dagens løsning, deretter gjøres det et litteratursøk på området. For å kunne benytte SolidWorks flow simulation som et pålitelig simuleringsprogram, blir innsamlet data fra tidligere forsøk sammenlignet med en datasimulering. Det utvikles så et nytt forsøk, hvor alle parametere er satt, slik at man med en større sikkerhet kan verifisere data. Verifisering av nytt forsøk og litteratur danner så grunnlaget for et nytt konsept. Løsninger blir evaluert før

et blir valgt. Hvilket materialet som skal bli brukt kommer før en produksjonsforberedelse. I evalueringsprosessen inngår også en styrke vurdering av brukspåkjenninger. I produksjonsforberedelsen dannes konstruksjonstegninger.



Figur 8. Prosesstrinn.

I figur 8 er prosesstrinnene i gradsavhandlingen framstilt. Verifiseringen av nytt forsøk ble gjennomført to ganger.

3. Teori og teknologi beskrivelser.

Teorier og teknologi beskrivelser benyttet i oppgaven redegjøres her.

3.1 Trinn i et oppdrettsanlegg.

Stamfisk:

Oppdrettslaksen starter fra en stamfisk, stamfisken er "forfedrene" til oppdrettslaksen og kommer opprinnelig fra norske elver. Gjennom målrettet avlsarbeid har man fått fram ønskede egenskaper i laksen, vekst, farge og kjøttkvalitet er egenskaper som er ønskelig å ha i en oppdrettslaks (Gladlaks 2015). Bremnes Seashore benytter seg av rogn fra *Salmo Breed*- stammen (Seashore).



Figur 9. Atlanterhavslaks
Salmo salar (Planteland 2015).

Befruktning:

Befruktningen av rogn foregår i ferskvann. Ved å blande rogn og melke fra stamfisk får man befruktede egg. Etter at eggene har blitt befruktet blir de liggende i cirka 60 dager ved 8 °C i før de klekkes. I disse 60 dagene blir rognen nøye overvåket. Denne befruktningen foregår i det man kaller et settfiskeanlegg. Bremnes Seashore plasserer her rognen på en kunstig elvebunn som skal etterligne det naturlige oppvekstmiljøet til laksen (Gladlaks 2015; Salma 2015).

Klekking:

Etter cirka 60 dager klekkes rognen og det som kalles for en plommeseekkyngel kommer til liv, navnet har den fått fordi den har en sekk på magen som den får næring fra. 4-6 uker etter klekking har yngelen vokst så mye at den kan spise tørrfor. Det er da vanlig at man flytter yngelen over i et større kar (Gladlaks 2015; Salma 2015).

Smoltifisering:

I 8-15 måneder er lakse yngelen i ferskvann før den er klar for å bli tatt ut av settfiskeanlegget og over i et matfiskanlegg. Laksen veier nå mellom 60-200 gram. Siden klekkingen har yngelen gått gjennom store forandringer gjennom en smoltifiseringsprosess. Når smoltifiseringen er ferdig kan laksen overleve i saltvann. Smoltifiseringsprosessen ansees som det vanskeligste stadiet av produksjonen, og en dødlighet på 10-15% regnes som bra. Laksen omtales nå som smolt. Før fisken blir overført til et matfiskanlegg vaksineres hvert enkelt individ for kjente laksesykdommer. Befruktning, klekking og smoltifiseringen foregår vanligvis i egne anlegg, ofte omtalt som settfiskanlegg (Gladlaks 2015; Hallenstvedt 2015).

Matfiskoppdrett:

Etter smoltifiseringen blir fisken overført til merder i sjøen (figur 10). Her vokser den i 14-22 måneder og mates med tørrfôr. Det stilles store krav til lokalitet og drift av matfiskoppdrett i sjø.

Fôrspill, forurensing og sykdomsutbrudd påvirkes av vannkvalitet, strømningshastighet, temperaturer m.m. Optimale vannstrømmer og overflod av kaldt vann med godt oksygenivå er derfor avgjørende for at laksen skal ha optimale forhold. Merdene kan ha en diameter på 160 meter, være 55 meter dype og huser omtrent 185 000 laks. Andel fisk i merdene varierer fra anlegg til anlegg, Bremnes Seashore opererer med 1% fisk og 99% vann i merdene. Myndighetskravet er på 2,5% fisk og resten vann. Temperaturen i merden varierer mellom 6 og 14 grader (Gladlaks 2015; Hallenstvedt 2015).



Figur 10. Merd (GROUP 2015).

Transport:

Når laksen veier mellom 4-6 kg, er den klar for å bli høstet. Laksen fraktes fra merden til produksjonsanlegget ved hjelp av en brønnbåt. Brønnbåtene er spesialdesignede med store vanntanker, slik at de kan frakte laksen levende fra matfiskanleggene til slakteanlegg (Olsen 2013).

Ventemerd:

Før laksen skal slaktes, plasseres den i en ventemerd (figur 11). Ventemerdene er merder eller landbaserte tanker plassert like ved slakteriet. Laksen oppholder seg her mellom 1-6 dager. I denne perioden sultes laksen for å sikre best mulig kjøttkvalitet (Sæther 2015).



Figur 11. Ventemerd i sjø, plassert ved slakteanlegg (Sivertsen 2014).

Slakting og frakt.

Før laksen slaktes, bedøves den. Dette med hensyn til fiskevelferd og fordi kjøttkvaliteten blir bedre dersom fisken ikke er stresset under slakting. Etter slakting og eventuelt filetering pakkes fisken i vakuumposer. Fra fisken forlater vannet til den er ferdig pakket kan det ta mellom 3-7 timer. Fisken kjøles deretter ned og fraktes til utsalgssted. Det har nå gått cirka 2.5 år siden rognen klekket til fisken ligger i butikken (Hallenstvedt 2015; Salma 2015).

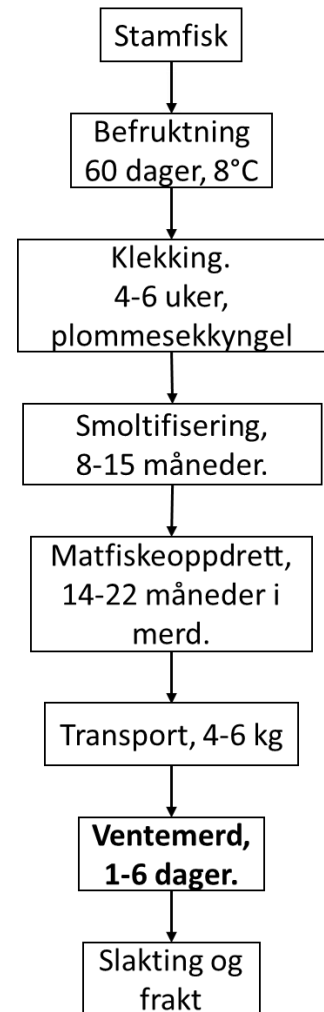
3.2 Landbasert ventemerdd/slaktemerd.

Ventemerden har som hensikt å frigjøre transportkapasitet, å stresse ned fisken etter transport, samt sørge for kontinuerlig tilgang på slaktefisk (Sæther 2015). En landbasert ventemerdd vil i tillegg til å redusere miljøskader også gjøre det mulig å ha fisken et kontrollert område. Som igjen fører til at det er mulig å justere oksygennivå, strømming og temperatur til de ønskede verdiene. Ventemerdd plassert i vann er ikke en optimal løsning, varierende strømmingssituasjon og temperatur forandringer medfører redusert kjøttkvalitet (Sæverud, W., Bjørn., & Fjæra, S. O. 2013). Dette er særlig et problem når vanntemperaturen stiger i sommerhalvåret. Momenter som blir trukket fram som forbedringer i en landbasert ventemerdd er:

- Hindrer at fisken rømmer
- Reduserer risiko for sykdom
- Temperaturen i vannet blir mer stabilt
- Enklere styring av produksjonen
- Muligheten til å rense avløpsvannet (Lekang & Fjæra 1997).

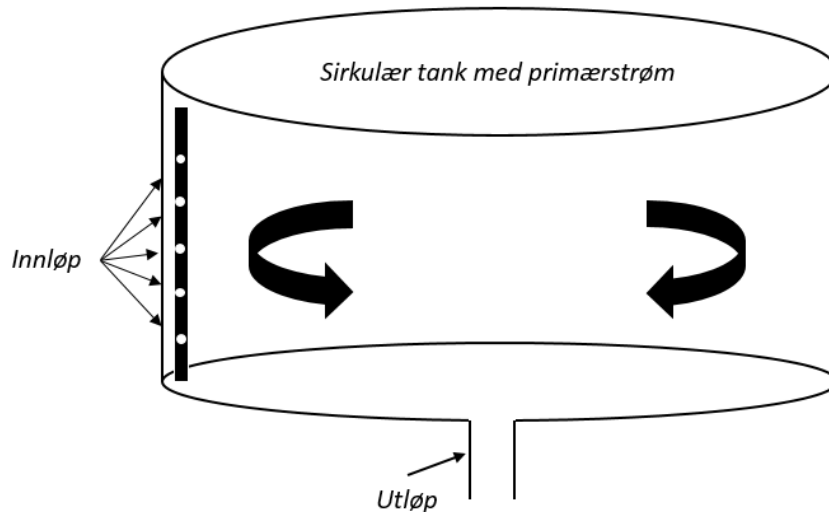
3.3 Strømming i tank.

I en landbasert ventemerdd skal strømningshastigheten i tanken være så uniform som mulig fra tankveggen til senter og fra bunnen til overflaten. Strømningshastighet mellom 5-20 cm/s er ønsket hastighet tilpasset laksens størrelse, på 4-6 kg (Fjæra 2016). Strømningshastigheten sikrer fiskens helse, muskel bygning og respirasjon (Michael & James 2012). Blir strømningshastigheten lavere vil en betydelig del av fiskens energi gå tapt som følge av spontan aktivitet. Er strømningshastigheten høyere risikerer risikeres det at svømmingen blir stressende, den påfølgende anaerobiske metabolismen vil øke laktat nivåene, føre til oksygen mangel og død (Oca & Masalo 2012).



Figur 12. Trinn i et oppdrettsanlegg.

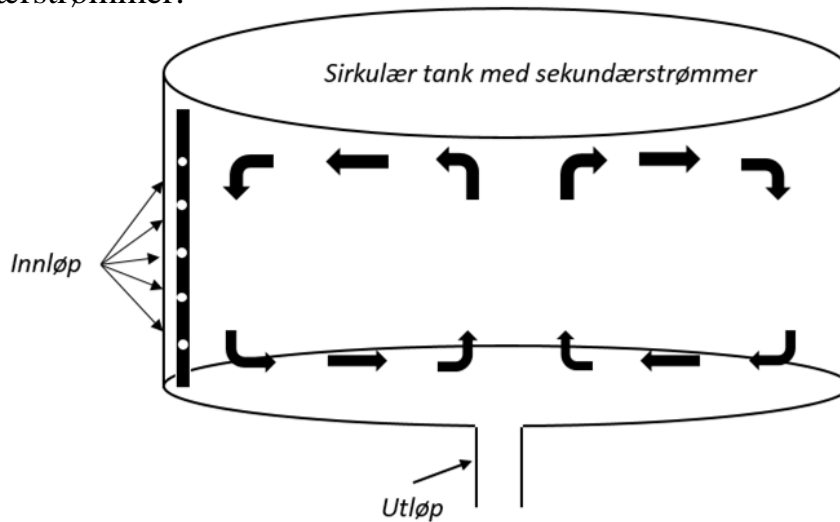
3.3.1 Primærstrømmer i tanker og kar.



Figur 13. Sirkulær tank, primærstrøm.

Primærstrømmen skapes av volumstrømmen fra innløpene, således kan man definere hovedstrømmen som en tvungen strømming (figur 13). I 1991 kom Timmons og Young (Timmons & Youngs 1997) med et estimat som tilsier at en strømningshastighet mellom 0,5 – 2,0 ganger fiskelengden per sekund er optimal strømningshastighet for å opprettholde god fiskehelse. Strømningshastigheten vil være størst ved innløpet og rundt utløpet. Ved veggene reduseres strømmingen, som følge av friksjon fra vegger. Strømningen holder seg forholdsvis konstant i midten av tanken, men risikerer at det oppstår virvelfrie soner hvis ikke innløpet er riktig utformet (Olsen 2015).

3.3.2 Sekundærstrømmer.



Figur 14. Sekundær strømmer.

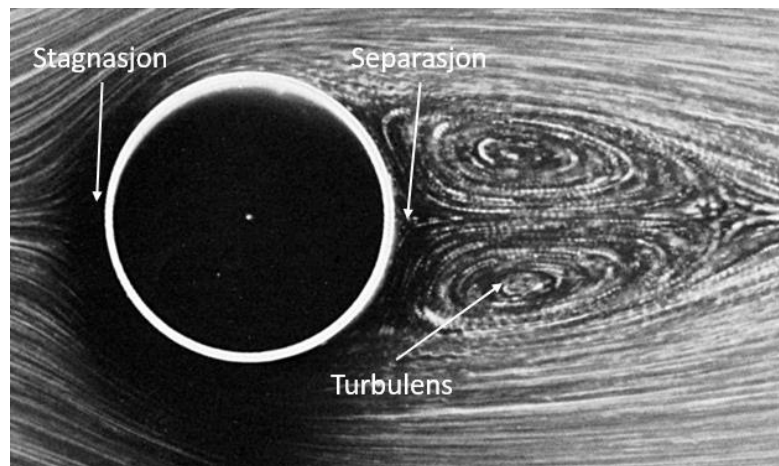
De primære strømmene skaper sekundære strømmer (figur14). Primærstrømmen tilfredsstillter ikke momentligningen i den radielle retningen overallt, så en korreksjon av denne strømmen er nødvendig for å gi en fornuftig approksimasjon. Det er denne korreksjonen som blir omtalt som sekundærstrømmer (Taylor 1965). Robert J Chant (Chant 2009) definerer sekundære strømmer som strømmer normalt på hovedstrømmen. Den typiske strømmingen på sekundære strømmer er <10% av styrken til hovedstrømmen. Sekundære strømmer er frie strømminger, de er ikke skapt av innløpet, men blir dannet av hovedstrømmen (Hem et al. 1987).

3.3.3 Virvelfri sone.

I sirkulære tanker vil det oppstå et område rundt senter av tanken (utløpet) hvor det er en virvelfri sone, med lavere strømningshastighet. Størrelsen på dette området er avhengig av innløpet, hvor denne er plassert og retningen i forhold til tankveggen. Virvelfrie soner omtales som frie virvler, da disse ikke er tvungne men kommer som et resultat av hovedstrømmen, slik som sekundærstrømmer. I virvelfrie soner blir ikke noe moment tilført, og det er ikke noe energi forbruk fra noen ekstern kilde. I følge newtons 2 lov, når det ikke er påført noe moment på en ikke-viskøs væske så må vinkel momentet per enhet masse være identisk for alle radier. Dette impliserer også at den tangentielle hastigheten langs med strømmingen må være omvendt proporsjonal med radiusen (r) til strømmingen (Oca & Masalo 2012). I rotasjonsfrie soner er hvirvlingen null.

3.3.4 Separasjon.

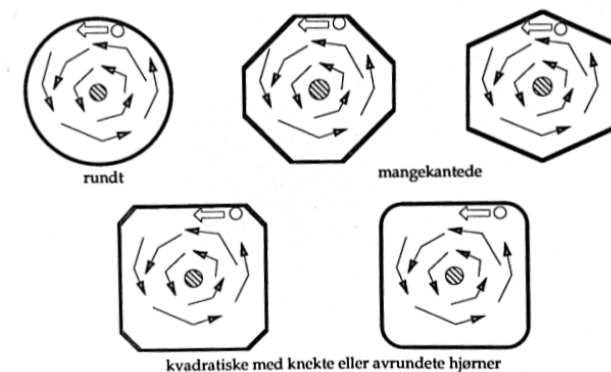
Når strømmingen treffer et fast objekt, slik som en sylinder (figur 14), vil det dannes en stagnasjonsone foran sylindren. På sidene vil hastigheten økes. Rett bak sylindren dannes det en separasjonssone. Denne sonen er ustabil, og danner en virvelavløsning som svinger fra side til side. Dette gjør at en kan få induisert svingkrefter i sylindren. Etter separasjonssonen går strømming over i en turbulent strømming. Denne turbulente strømmingen påvirker strømmingene utover i volumet (Douglas et al. 2000).



Figur 15. Strømming forbi en sylinder (Taneda 2009).

3.4 Utforming av fiske tanker.

Sirkulære kar med et innløp tangensialt på og utløp plassert i midten, er blant de vanligste konfigurasjonene brukt i akvakultur. Den runde tankgeometrien tillater et stabilt strømnings mønster og kan operere under et bredt spekter av rotasjons hastigheter (Hem et al. 1987). I tillegg til at den sirkulære utformingen gir et stabilt strømningsbilde, finnes det en rekke andre fordeler ved å benytte seg av denne utformingen. De er enkle å vedlikeholde og gir en uniform vannkvalitet. Injeksjonsmetoden for vann og strømningshastigheten er faktorer som påvirker ensartetheten i tanken mest. Dagens trend går mot større sirkulære tanker (diameter >10m).



Figur 16. Sirkulasjonskar med ulik utforming, heltrukket pil indikerer primærstrøm, hul pil indikerer innløp (Lekang & Fjæra 1997).

Ventemerden Bremnes Seashore benytter er av typen rundt sirkulasjonskar, presentert øverst til venstre i figur 16.

Oppdrettsnæringen opplever en kostnadsreduksjon ved å benytte seg av store tanker som fører til større flyt og en mindre stress for fisken. Ved å øke mengden fisk i en tank vil også den økonomiske konsekvensen ved en eventuell svikt øke.

I følge Burrows og Chenoweth (Burrows & Chenoweth 1995) anbefales en høyde til diameter forhold på mellom 5:1 til 10:1, uavhengig av dette benytter flere oppdrettsanlegg et forhold så lavt som 3:1. Hvilket forhold som egner seg best avhenger av utformingen på innløpsarrangement, utløpsmetode og hvilken fiskeart anlegget skal benyttes til. Tilgjengelig gulvareal vil i de fleste oppdrettsanlegg også være en avgjørende faktor for valg av diameter høyde forhold.

I tanker hvor fisken mates, og de skal oppholde seg over en lengre periode er det den viktigste argumentene for bruk av sirkulære tanker, det at tanken er selvrensende. Avføring og matrester vil bli sugd ut gjennom avløpet. Det er derfor vanlig at bunnen er skråstilt, i tillegg til at avføring og matrester blir med vannet ut, vil det også være mulig å få fjernet død fisk gjennom samme utløp. I ventemerder blir derimot ikke fiskene matet. I sirkulære tanker reduseres hastigheten noe utfra vegg. Dette forhindrer at man kan oppnå et uniformt strømningsbilde, men tillater at fisken kan velge mellom ulike vann hastigheter (Michael et al. 1998).

3.5 Strømningsmåling i vann.

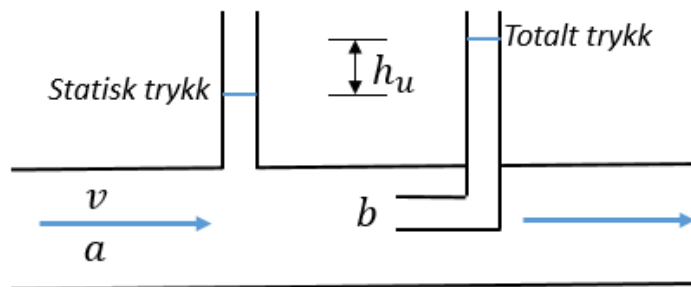
Det finnes i dag en rekke måter å måle strømningshastigheten til vann på, de ulike metodene benytter ulike prinsipper.

3.5.1 Pitot rør.

Bernoulli likningen beskriver forholdet mellom trykket i og farten til en væske som strømmer i et rør. For en stasjonær strøm der en væske med trykket p og tettheten ρ strømmer med farten v har vi at :

$$p_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 = p_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 \quad (3.1)$$

g er tyngdeakselerasjonen og h høyden på væsken. Likningen gjelder under forutsetning av at væsken ikke kan presses sammen (er inkompressibel), ikke har friksjonsløs (viskøs), at bevegelsen ikke er turbulent og at farten i et ethvert punkt ikke endres under observasjonen (Guttormsen 2007).



Figur 17. Pitot rør.

Fra Bernoulli likningen utledes en likning som beskriver hastigheten i et rør som følge av trykkforskjell, slike rør omtales som Pitot rør (figur 17). v_a er farten til væsken ved a , h_u er høydeforskjellen i røret som et resultat av trykkforskjellen mellom punkt a og b .

$$v_a = \sqrt{2gh_u} \quad (3.2)$$

3.5.2 Strømningsmåler.

Elektroniske strømningsmålere bestemmer hastigheten i vannet som en funksjon av farten. Disse består av en akse påmontert skovler eller propeller plassert enten parallelt eller normalt på strømmen. Disse omtales ofte som propellmålere. Væskestrømmen driver propellene rundt med en hastighet som øker med strømningshastigheten.

Det finnes i dag en rekke leverandører av ulike strømningsmålere, som med høy grad av nøyaktighet kan estimere strømningshastigheten. Avhengig av leverandør leveres de ferdig kalibrert for hastighetsområde de skal benyttes i.



Figur. 18 Houm strømningsmåler (Messtechnik 2015).

3.5.3 Fotografering og optiske metoder.

Kameraet er blant de mest brukte og verdifulle verktøyene brukt i strømningsanalyser. Runde prøver plasseres i vannet. Ved å fotografere med et fast tidsintervall kan man vurdere hvor langt prøven har beveget på seg innen et gitt tidsintervall. For å undersøke strømninger i overflaten er det nødvendig med en prøve som har mindre tetthet enn vannet. På denne måten vil prøven holde seg flytende på overflaten. Undersøkelser av strømninger under overflaten utføres med prøver som har nøytral oppdrift. For å vite banelengden prøven har beveget seg i løpet av tidsintervallet deles ofte målområdet inn i sektorer. Denne oppdeling gjør det enklere å estimere hvor langt prøven har beveget seg innen det gitte tidsintervallet (Franzini & Finnemore 1997).

3.6 Utskiftningstid.

For å opprettholde oksygenivået i en fisketank kreves det at vannet skiftes ut jevnlig. Utskiftningstiden defineres som den gjennomsnittlige tiden det tar fra en vannpartikkel kommer inn i tanken, den samme partikkelen har rent ut (oppholdstiden). Utskiftningstiden beskrives også som hydraulisk retensjonstid (HRT, hydraulic retention time). Uttrykket for utskiftningstiden er gitt ved likning (Franzini & Finnemore 1997) :

$$\tau = \frac{V}{q} \quad (3.3)$$

Hvor τ benyttes som en variabel for oppholdstiden, V er volumkapasiteten til tanken og q er den inngående volumstrømmen. Utskiftningstiden oppgis i timer eller minutter.

Prosentandel fisk i tank avgjør i stor grad hvor lang utskiftningstiden skal være, er prosentandelen fisk høy kreves det en kortere utskiftningstid.

3.7 Metode for analyse av strømningsmønstre.

3.7.1 CFD-analyse.

Computational fluid dynamics (CFD) er en numerisk metode for å analysere strømningsmønstre. En CFD-analyse deler vanngeometrien inn i celler, og løser ligninger for vannhastighetene, trykk og turbulens i hver celle. Ligningene som løses heter Navier-Stokes ligninger.

CFD-analyser kan i prinsippet beregne strømming i en generell geometri og derfor benyttes på meget komplekse strømmingssituasjoner. Metoden krever derimot mye regnekraft, og har derfor blitt mer populær de senere årene, i tilknytning til økt kapasitet på datamaskiner (Olsen 2015).

En CFD-analyse er den beste måten å analysere en situasjon på hvis man ikke har mulighet for undersøke gjennom forsøk. Det er viktig å bemerke seg at selv om en CFD-analyse deler strømningsbilde i små celler, kreves det fortsatt veldig stor kapasitet for å få frem et nøyaktig strømningsbilde (Olsen 2015).

3.7.2 Analytisk metode.

Ved analytiske metoder lager man forenklinger, slik at en kan løse ligninger i en dimensjon. Så lenge strømmingssituasjonen kan forenkles, er dette den hurtigste metode for å få en oversikt over strømningsbilde på. Er strømningsbilde komplekst vil det være bedre å benytte seg av en CFD-analyse eller et forsøk for å fastslå strømningsmønstrene (Olsen 2015).

3.7.3 Eksperimentelle metoder.

Eksperimentelle metoder er en praktisk tilnærming for å analysere strømningsmønstre. Ved å gjen-skape den aktuelle situasjonen kan man studere strømningsbilde, dette gjøres som regel ved å lage en

modell av strømningsstasjonen. Modellen er ofte nedskalert, men må inneholde alle elementer som kan påvirke resultatene. Utfordringen med denne tilnærmingen er at man ikke klarer å gjenskape alle elementer slik det er i virkeligheten.

En annen utfordring med denne tilnærmingen er også at det er knyttet mange feilkilder til målinger og observasjoner, det er derfor nødvendig at man vurderer kvaliteten på de eksperimentelle resultatene (Olsen 2015).

3.8 Navier-Stokes ligninger.

Navier-Stokes ligninger brukes i dag av de fleste CFD-analyse programmene og kommer etter den franske forskeren, Claude Louis Navier (1785-1836) og George Gabriel Stokes (1819-1903), som var de første som deriverte ligningene (Franzini & Finnemore 1997).

Ved å derivere et sett med differensial ligninger som beskriver bevegelsen av en væske i et generelt tilfelle, kan man betrakte de krefter som virker på en liten del eller volumet av en fluid (Olsen 2015). Et avansert simuleringsprogram deler strømmingen inn i mange små celler og løser liknings settet for hver enkelt celle (mesh). På denne måten danner simuleringsprogrammet et bilde av strømmingen. Kraftene som er inkludert i Navier-Stokes likningene er, gravitasjon, viskositet og trykkrefter.

$$-\frac{\partial \rho}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = \rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right] \quad (3.4a)$$

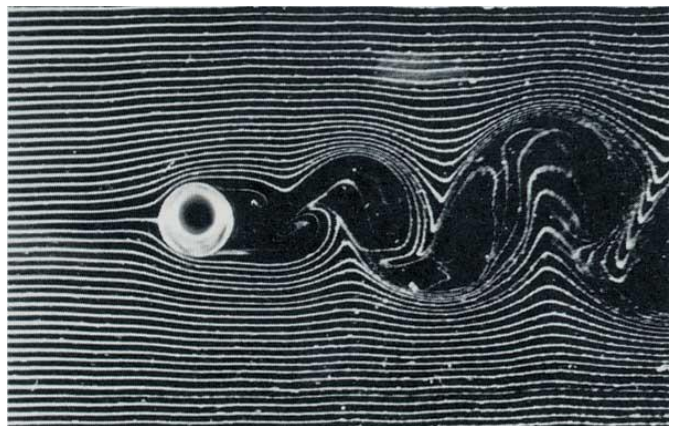
$$-\frac{\partial \rho}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) = \rho \left[\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right] \quad (3.4b)$$

$$-\rho g - \frac{\partial \rho}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) = \rho \left[\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right] \quad (3.4c)$$

På venstre side av likningene har vi at g er gravitasjonskonstanten(g), overflate kraften per volumenheter er representert med ρ , viskosekraften er μ . Venstre side er lik endringstakten for fart på høyre side. Ligningene oppgis som kraft pr. volumenheter.

3.9 Turbulens.

Turbulens er strømninger hvor væsken endrer retning og hastighet uregelmessig. Ved en kritisk hastighet blir strømmingen turbulent. Ved denne hastigheten dannes virvler og uforutsigbare strømminger. Virvlene er ikke-stasjonære og danner nye mindre virvler. Ettersom det dannes nye virvler minsker de i størrelse, helt til de viskøse kreftene blir relativt store. Viskositeten demper da ut virvlene, slik at det ikke dannes nye virvler. I et fluid med en høy viskositet vil virvlene dempes ut med en gang. Det vil alltid dannes turbulens når fluider møter et fast objekt som er i strømmingen. Turbulensen danner også friksjon om veggene (Gjevik 2009).



Figur 19. Laminær og turbulent strømming(Hill 2012).

Strømming uten turbulens er laminær. Laminær strømming er karakterisert med jevne forutsigbare strømnings linjer, her dannes ingen virvler og strømmingen går konstant med strømningsretningen.

I figur 19. kan man se at man har en laminær strømning før strømningen treffer objektet. Rett etter at strømningen har truffet objektet dannes det små virvler, som gradvis forsvinner ettersom de viskøse kreftene relativt sett blir større (Barnard et al. 2002). Reynoldstallet er en analytisk tilnærming for å sjekke om det er turbulent eller laminær strømning.

3.10 Reynolds tall.

Reynolds tall beskriver strømningen i en væske eller gass. En strømning er enten laminær, transient eller turbulent. For å avgjøre hvilken strømning man har benyttes Reynolds tall. Reynolds fant ut at det er turbulent strømning for $Re > 4000$, laminær strømning for $Re < 2000$. I området mellom 2000 og 4000 er det ikke mulig å definere strømningen som hverken laminær eller turbulent (transient). For $Re > 10^5$ vil det som regel være en fullt utviklet turbulent strøm. Reynolds tall variere over mange flere størrelses ordner, avhengig av hvilken tilfelle som blir betraktet. Reynolds tallene fremstilt her gjelder for strømning i rør og åpne kar (Jeong et al. 2004).

Den generelle likningen for Reynolds tall er gitt ved (Barnard et al. 2002; Lekang & Fjæra 1997):

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} = \frac{v L}{\nu} \quad (3.5)$$

L er en karakteristisk lengde, slik som vanndybde i en elv, eller diameter på et rør. v er gjennomsnittshastigheten i det gitte tverrsnittet. ν kinematiske viskositeten, hentes fra tabell og er temperatur avhengig. ρ er tettheten til væsken og μ er den dynamiske viskositet. Den kinematiske viskositeten for vann med en temperatur på 8°C er på $1,38 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ tilsvarende er den dynamiske viskositeten $1,38 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (Kestin et al. 1978).

For en strømning med fri overflate slik som i en åpent kar endres likning 3.6 til

$$Re = \frac{4vr_h}{\nu} \quad (3.6)$$

Den hydrauliske diameteren (r_h) er definert som tverrsnitts arealet (A) til strømningen dividert på våt omkrets(P) (Olsen 2015).

$$r_h = \frac{A}{P} \quad (3.7)$$

3.11 Tap.

Friksjonstap

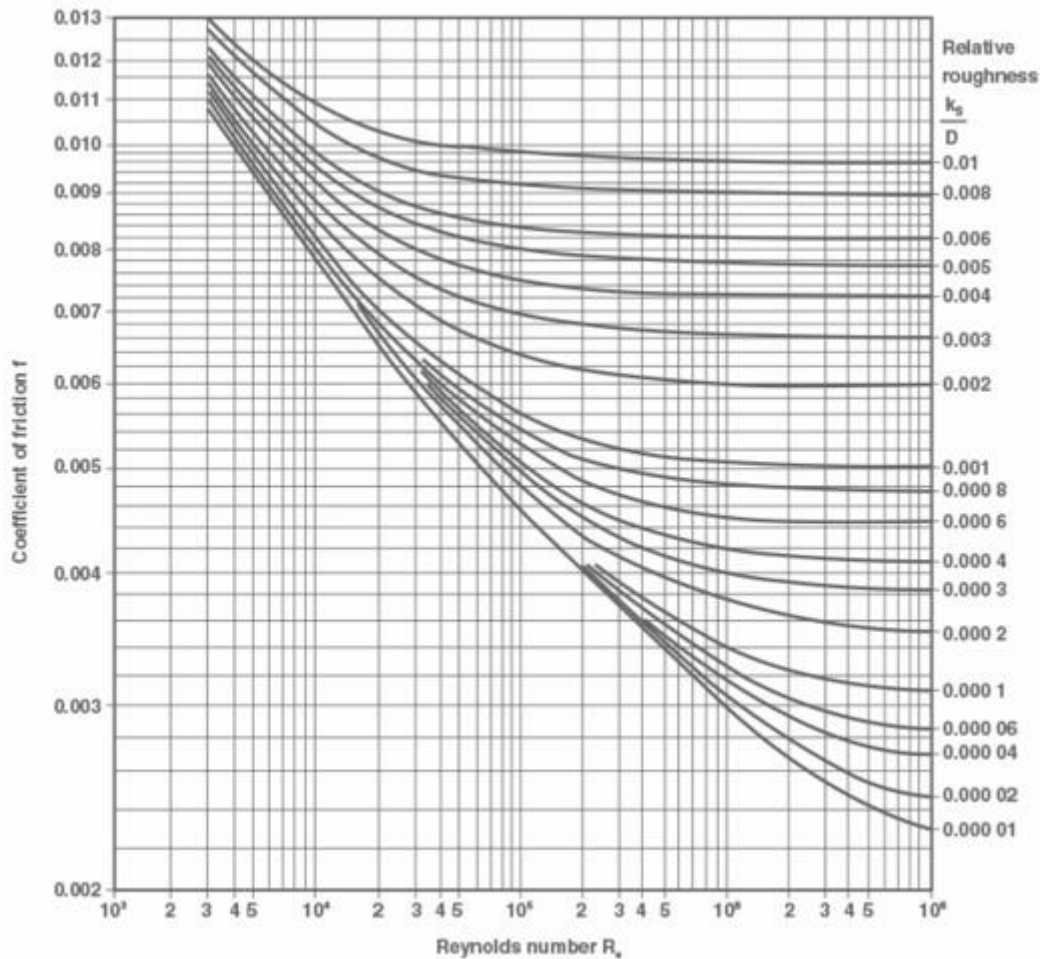
Kinetisk friksjon defineres som motstanden som oppstår når to eller flere flater sklir i forhold til hverandre. Den generelle likning for den kinetiske friksjonskraften er:

$$f_k = \mu_k F_n \quad (3.8)$$

Der μ_k er friksjonskoeffesienten for kinetisk friksjon avhengige av overflateruheten til materialet. Desto grovere overflate, jo høyere er fiksjonskoeffesienten. F_n er normalkraften fra underlaget på flatene (Tipler & Mosca 2008). Likning nr. 3.9 egner seg ikke til å beregne friksjonstapet i et rør fylt med vann. Strømningstap(h_M) i et rør med turbulent strømning er gitt av Darcy-Weisbach ligningen (Brown 2002).

$$h_M = f \frac{Lv^2}{d2g} \quad (3.9)$$

Der f er Darcy-Weisbachs friksjonskoeffesient, L lengden til røret, d den indre diameteren, v hastigheten til fluidet og g er gravitasjons konstanten. Darcy-Weisbachs friksjonskoeffesient for turbulente strømninger kan estimeres fra moody diagramet (Engineering 2009).



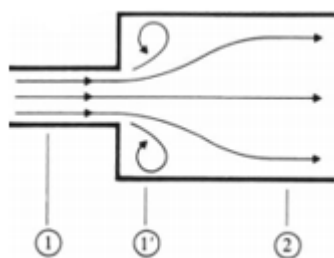
Figur 20. Moody diagram((API) 2016).

Ved å beregne Reynolds tallet (Re) og den relative ruheten for tilfelle kan man lese av Darcy-Weisbachs friksjonskoeffesient(f). Den relative ruheten defineres som overflateruheten(k) dividert med indre diameter (d).

Friksjonskoeffesienten er avhengig av friksjonen mellom røret og det strømmende vannet. Er friksjonskoeffesienten lav, betyr det at røret er glatt. Sammenføyningen av rør og begroing vil øke friksjonen i røret.

Tap grunnet økning av diameter.

Vurderer situasjonen illustrert i figur 21, vann i et smalt rør renner fra seksjon nr.1 til seksjon nr.2 med mye større diameter. Ettersom strømmingen går fra et område med høy hastighet og lavt trykk må strømningshastigheten reduseres og trykket øke i seksjon 2 (følge Bernoulli ligningen). Det vil da oppstå turbulente virvler ved $1'$ som skaper et lokalt friksjonstap. Etter økningen stabiliseres strømmingen, med en lavere hastighet og høyere trykk enn ved utgangspunktet (Goodwill & Sleigh 2007).



Figur 21. Økning av diameter (Goodwill & Sleigh 2007).

3.12 Innløpsarrangement.

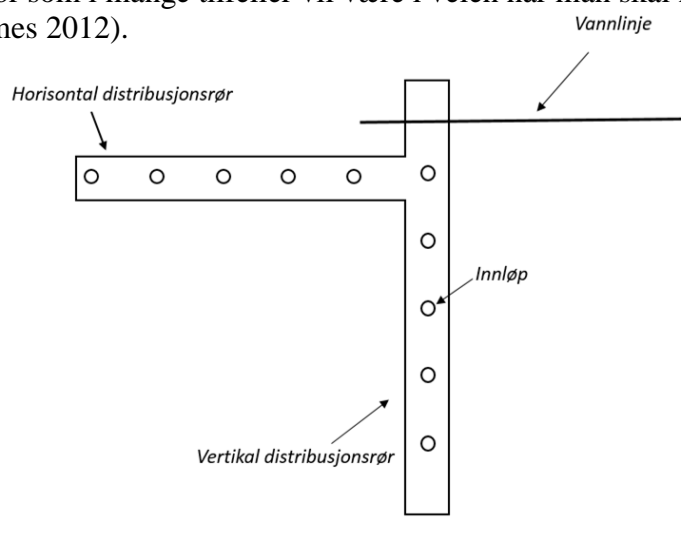
I 1989 utarbeidet Skybakmoen (Skybakmoen 1989), Tvinnereim og Skybakmoen (Tvinnereim & Skybakmoen 1989) to rapporter som sammenlignet forskjellige innløpsarrangement. Her så de på 4 ulike metoder for å sprøyte inn vann, hvor de ulike metodene tok utgangspunkt tangensialt på karveggen ytterkant.

Innløp gjennom et nedsunket vertikal distribusjonsrør med innløp vertikalt på veggen resulterer i et strømningsbilde som var bedre enn å benytte seg av kun et stort utløp eller et horisontalt distribusjonsrør. Derimot resulterte denne injeksjonsmetoden i at den virvelfrie sonen ble unødvendig stor, oksygennivået i dette området var derfor lavere enn ellers i karet. Det vertikale innløpsmetoden resulterte også i korte strømninger, som førte til en lengre utskiftningstid.

Injeksjon gjennom et horisontalt og vertikal distribusjonsrør plassert med en viss avstand fra veggen (figur 22), slik at fisken kan svømme mellom røret og veggen viste seg å være det mest effektive injeksjonsmetoden. Dette resulterte i et uniformt strømningsbilde i hele karetets brede, dybde og forhindret korte strømninger.

For større sirkulære tanker eller firkantete tanker, med diameter over 6 meter, anbefales det å benytte seg av flere distribusjons rør, ved forskjellige plasser i tanken. Dette skaper et uniformt strømningsbilde og vannkvalitet.

Distribusjonsrørene kan derimot være i veien når fisken skal ut av tanken, eller når det skal utføres vedlikehold. Løsningen på dette kan være å implementere innløpene i tankveggen (Michael et al. 1998). Senere forsøk viser at vertikale innløp, som er rettet 45 grader ut fra tankveggen er effektivt alternativ. På denne måten oppnås et relativt uniformt strømningsbilde, uten å måtte bruke et horisontalt distribusjons rør som i mange tilfeller vil være i veien når man skal håndtere fisken (Michael & James 2012).



Figur 22. Vertikal og horisontal spredningsrør/distribusjonsrør.

Impulskraft ved innløp

Ved innløpet har vannet en gitt impulskraft som avhenger av farten og volumstrømmen til strømmingen. For vann med tetthet p , volumstrøm q_v og fart v er impulskraften gitt av likning 3.10. Impulskraften oppgis i Newton.

$$F = pq_v v \quad (3.10)$$

Hvis volumstrømmen i et innløp holdes konstant, vil impulskraften kun være avhengig av farten vannet strømmer med (Tipler & Mosca 2008).

3.13 Komponenter i ventemerde.

Sigar

En sigar er et perforert rør som plasseres i tankens sentrum. Sigaren har som hensikt å forhindre at det oppstår store virvler rundt sentrum av tanken. Den forhindrer samtidig at fisk ikke går ut igjennom utløpet.

Senkeskott

Inne i en sirkulær fisketank plasseres det ofte et heve- og senkeskott. Skottet er en tynn vegg som plasseres i tanken og som heves og senkes etter ønske. Denne komponenten har som funksjon å forenkle prosessen med å tømme fisketanken. Ved å senke skottet presser man fisken ut av tanken, ettersom oppholdsvolumet til fisken reduseres.

3.14 Fiskeatferd og påvirkning.

Lakseatferd

Forskningsresultater (Gibson 1978; Ross et al. 1993) viser at laks beveger seg i liten grad i ventemerden. Etter at fisken har blitt transportert fra brønnbåt og til ventemerde bruker laksen en periode på å roe seg ned igjen så plasserer laksen seg dermed i et område og blir stående her. Dette stemmer godt overens med laksen naturlige atferd i elver, der de kan bli stående stille i områder med lav strømningshastighet over en lengre periode. Resultatene viser at hvis temperatur og oksygenivået i vannet endres, så vil laksen begynne å bevege på seg. Det er derfor viktig at man har riktig vanntemperatur og oksygen nivå i fisketanken, slik at fisken ikke beveger seg unødvendig mye. Resultatene viser også at ved å ha en sort bunn i fisketanken, blir fisken mindre aggressiv enn om det er en lysere bunn (Miles 1962 ; Ross et al. 1993).

Fiskens turbulens

Turbulensen generert av fiskens bevegelser påvirker tankens hydrodynamikk (figur 23). Studier har blitt gjennomført for å analysere effekten av fiske aktivitet og hvordan dette påvirker homogeniteten i vannfordelingen (Davidson, J. & Summerfelt, S. 2004; Lungera & Rasmussen 2003). Fiskeaktivitet kan ha en betydelig effekt på homogeniteten til miksing av oksygen og turbulens i tanken. Dette gjelder spesielt i ventemerder hvor fisketettheten er høy. Høy fisketetthet generer mer turbulens (Lungera & Rasmussen 2006) som kan påvirke strømningsbilde og oksygen fordelingen i tanken, spesielt når strømningshastigheten er lav.

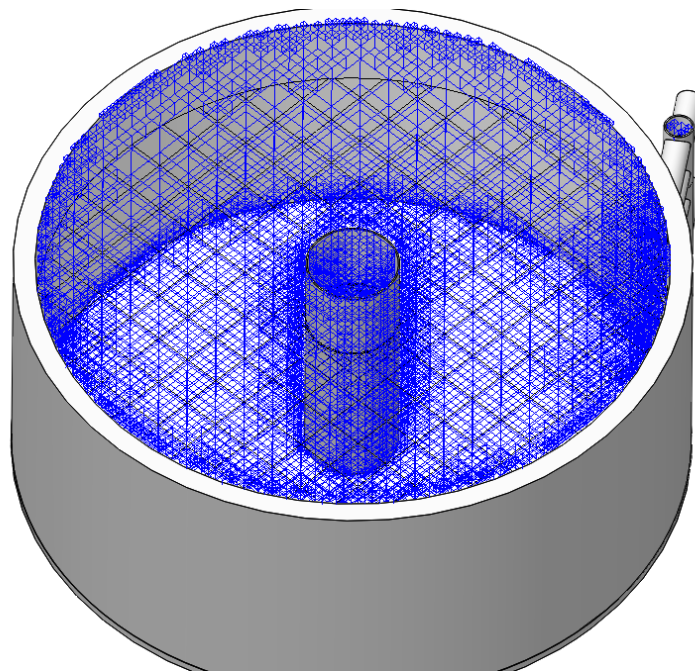
Aktivitetsnivået har blitt studert ved flere anledninger (Bauer & Schlottb 2004; Be'gout & Lagarde' re 1997; Fitzsimmons & Warburton 1992; Schurmann et al. 1998; Stéphane G. Contia. et al. 2005). Men ingen av disse studiene har resultert i en målbar parameter for turbulensen som fremkommer av fiskeaktivitet. Alle studiene har også en rekke begrensninger. De fleste har kun blitt utført på et fåtall fisker, og enkelte benytter subjektive metoder. Videre så vet man ikke hvordan fiskeatferden endres når fisketettheten økes, ettersom de fleste studiene er gjennomført med lav fisketetthet



Figur 23. Turbulens forårsaket av fiskens bevegelser (Masaló 2008).

3.15 CFD oppsett.

Når dataprogrammet utfører en CFD-analyse, tar programmet utgangspunkt i en rutenettverk som definerer de cellene og elementene hvor strømmingen beveger seg. Et slikt rutenettverk kalles for meshing (figur 24). Meshingen definerer hvor fint eller nøyaktig analysen blir. Ønskes det en høy grad av nøyaktighet på resultatene defineres et fint rutenettverk. Det er derimot ofte slik at dataprogrammet selv velger en finere mesh i kritiske områder. Dette vil si i områder der det er stor variasjon i strømningshastighet, eller at man har raske endringer i strømningsmønstre. Rutenettet eller meshingen dekker hele volumet og går over flere lag. En kan si at meshingen er en diskret representasjon av geometrien av problemet. Ved å øke antall celler i rutenettet øker man også tiden det tar å gjennomføre analysen. Det kreves stor datakapasitet for å gjennomføre analyser med en høy nøyaktighet. Det er derfor en vurderingssak mellom finheten på meshen og CPU tid (Bakker 2002).



Figur 24. Mesh av en tank med vann. I senter av tanken er det en sigar.

I figur 24 har SolidWorks dannet et mesh. Ved innløpet, langs tankveggen og sigaren har dataprogrammet dannet en finere fordeling av cellene.

4. CFD Verifisering av tidligere modeller.

Pilotforsøket fra 1991 ser på strømningshastigheten fordelt over hele karvolumet.

4.1 Pilotforsøk(1991).

I 1991 utførte Svein Olav Fjære, Odd- Ivar Lekang og Per Olav Skjervold et pilot forsøk (Fjære et al. 1991). Her ble det utført forsøk på to ulike oppdretts kar. Forsøket hadde som hensikt å undersøke om det var mulig å få en tilfredsstillende selvrensing i disse karene. Forsøket ble utført høsten 1991 ved Institutt for tekniske fag(ITF) ved Norges Landbrukshøgskole. Kar nr.1 har flere likhetsstrekk med den som innløpsarrangementet skal utvikles til (sirkulasjonsstrømning). Resultatene fra disse forsøkene blir derfor brukt opp mot en datasimulering av forsøket.

4.1.1 Konfigurasjon.

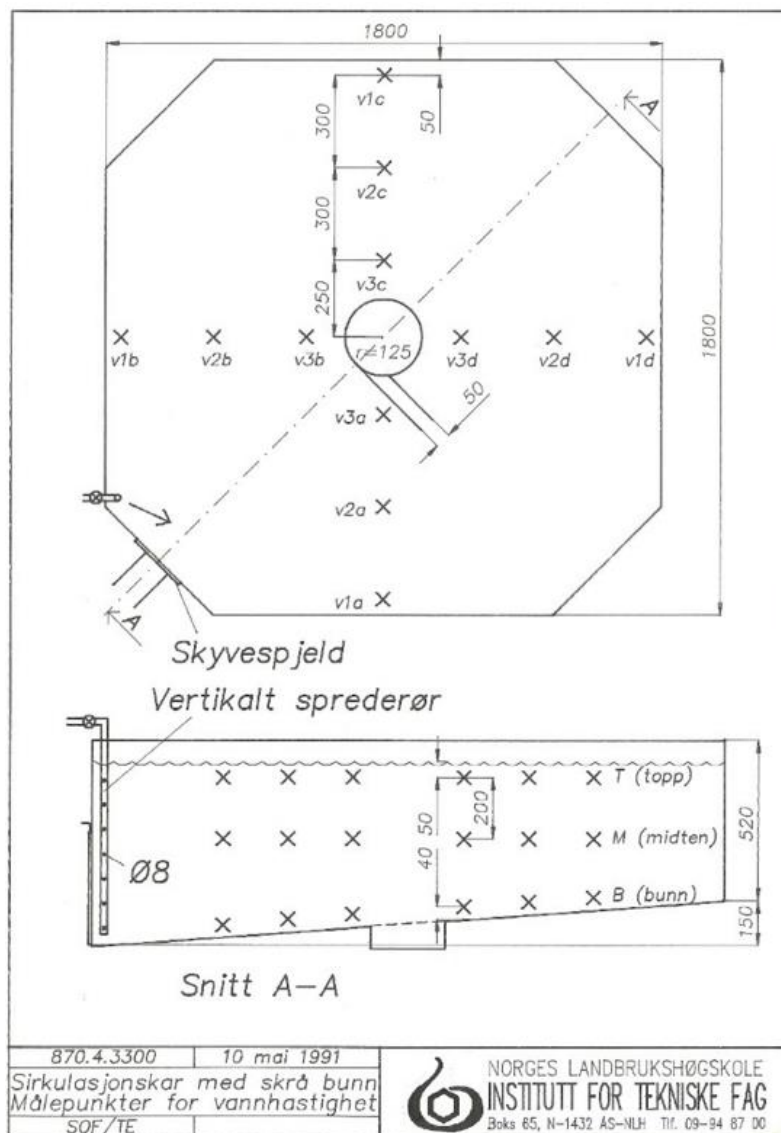
Kar1: Kvadratisk kar med knekte hjørner (sirkulasjonsstrøm) med skrå bunn og sentersluk.

I forsøket var det 36 ulike målepunkter, ved disse punktene ble hastigheten målt i cm/s.

Målene på karet med de ulike målepunktene er fremvist i figur 25.

Vanntilførselen var på 18 L/min.

Dette ga en teoretisk oppholdstid i karet på rundt 90 minutter. Tilløpet var av typen vertikalt distribusjonsrør med 7 stk. innløp med diameter på 8 mm.



Figur 25. Konstruksjonstegning av kar fra pilotforsøk (1991)(Fjære et al. 1991). X indikerer målepunkter.

4.1.2 Resultat fra pilotforsøk(1991).

Tabell 4. Resultater fra tidligere pilotforsøk(1991)(Fjære et al. 1991), V representere avstanden fra senter, a,b,c,d, er linjen punktet ligger på. B,M,T(Bunn,Midt,Topp) representere hvor dypt punktet ligger i karet.

Kar 1	a			b			c			d			Gjennomsnitt
	B	M	T	B	M	T	B	M	T	B	M	T	
V_1	15	14	11	12	13	12	11	12	11	12	12	12	12,0
V_2	7	9	9	8	8	8	8	9	8	9	8	9	8,3
V_3	7	8	8	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7
Gjennomsnitt	9,7	10,3	9,3	8,7	9	9	8,7	9,3	8,7	9,3	9	9,3	9,2
Standardavvik	4,6	3,2	1,5	3,0	3,6	2,6	2,1	2,5	2,1	2,5	2,6	2,5	2,4

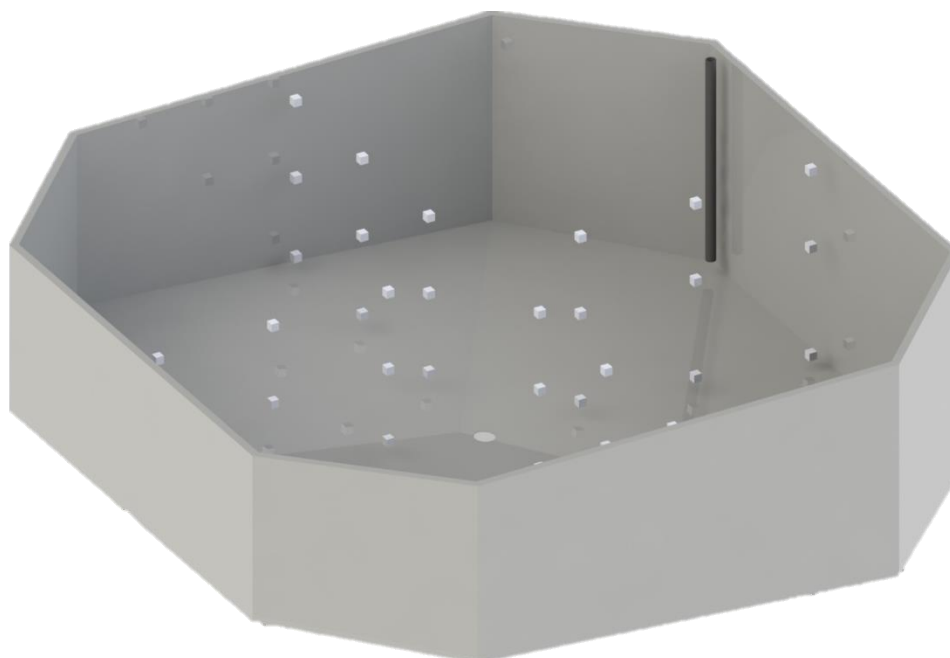
Den gjennomsnittlige primærstrømmen i karet ble målt til 9,2 cm/s. Vannhastigheten avtok fra karkanten og inn mot senter. Ytterligere resultater er vist i tabell 4. Alle målinger er i cm/s. Se figur 25 for avlesning av målepunktene plassering i karet.

4.2 CFD Simulering av pilotforsøk (1991).

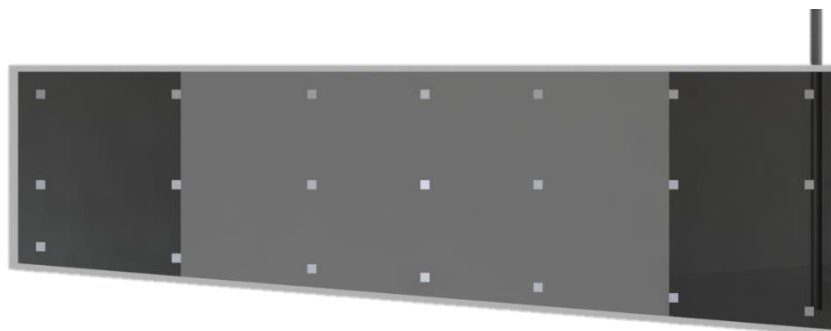
4.2.1 3D Konfigurasjon.

Det ble bygd en 3D-modell i SolidWorks basert målinger fra figur 25.

Volumstrømmen inn i karet ble satt tilsvarende det som ble brukt når forsøket ble gjennomført i 1991. Får å kunne gjøre målinger på samme plasseringer som de gjorde under forsøket, ble det modellert en liten kube. Denne kuben ble plassert i hvert målepunkt, totalt 36 stk. For at disse ikke skulle virke inn på CFD-analysen ble de fysiske egenskapene til disse fjernet. På denne måten strømmer vannet i karet som om de ikke skulle vært der, samtidig som de tillater at det gjøres målinger på de.



Figur 26. 3D-modell av kar brukt i pilotforsøket. Kubiske objekter representerer målepunktene.



Figur 27. Illustrasjon av målepunkter i 3D-modell.

4.2.1 Resultat fra CFD simulering av pilotforsøk (1991)

Tabell 5. Resultater fra CFD-analyse av pilotforsøk. V representere avstanden fra senter, a, b, c, d , er linjen punktet ligger på. og B, M, T (Bunn, Midt, Topp) representere hvor dypt punktet ligger i karet.

Kar 1	a			b			c			d			Gjennomsnitt
	B	M	T	B	M	T	B	M	T	B	M	T	
V_1	0,9	0,9	0,7	0,4	0,5	0,5	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6
V_2	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,6	0,5
V_3	0,5	0,5	0,4	0,6	1,0	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5
Gjennomsnitt	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5
Standardavvik	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,01	0,1	0	0	0,01	0,01	0	0,15

I tabell 5 er det fremvist resultatene fra CFD-analysen til pilotforsøket.

4.3 Ulikheter og likheter mellom simulering og praktisk forsøk av pilotforsøk(1991).

Det er store forskjeller mellom den strømningshastigheten som ble målt i 1991 (tabell 4) og den hastigheten som CFD-analysen viser i tabell 5. Til tross for at alle kjente parametere skal være like, blir det store forskjeller. I 1991 fikk de en gjennomsnittlig strømningshastighet på 9,2 cm/s mot 0,5 fra CFD-analysen. Den målte hastigheten er i gjennomsnitt 18,4 ganger så stor som den fra CFD-analysen. Ettersom dataen er så forskjellige er det vanskelig å si noe om eventuelle likheter. Dette viser at man må være veldig nøyaktig i oppsettet av CFD-analyser, i dette forsøket hadde man ikke nok kjente parametere til å kunne utføre en tilfredsstillende analyse.

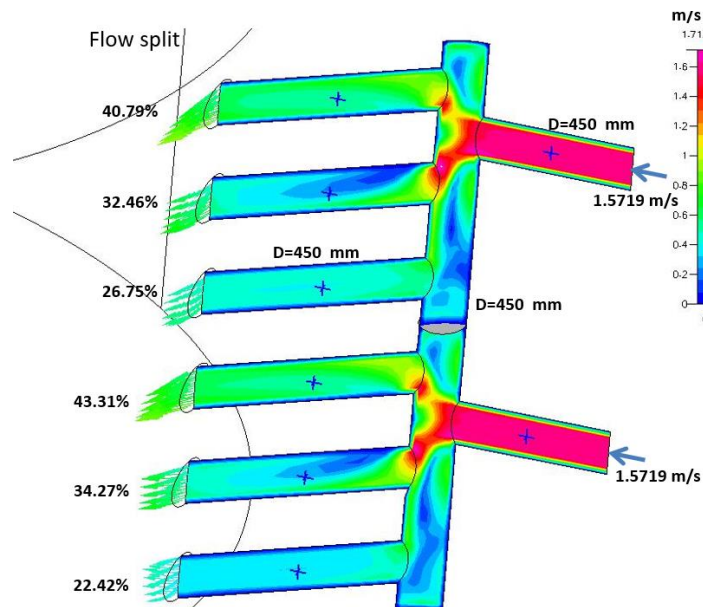
4.3.1 Feilkilder mellom CFD og praktisk forsøk .

Ettersom forsøket er såpass gammelt (1991) vil det være vanskelig å vite hva årsaken til differansen kan være. Ettersom det er så store forskjeller mellom de to forskjellige analysene er det naturlig å anta at det er en måle eller oppsetts feil på den ene eller andre siden. Videre er det heller ikke klart hvordan målingene ble utført i 1991, ettersom dette ikke fremkommer av rapporten (Fjære et al. 1991). Konstruksjonstegningene som ble brukt for å danne 3D-Modellen hadde enkelte mangler, som medfører en usikkerhetsfaktor.

Resultatene fra sammenligningen mellom analysemetodene viser at det kreves at alle parametere settes opp likt. Små ulikheter resulterer i store ulikheter i analysene.

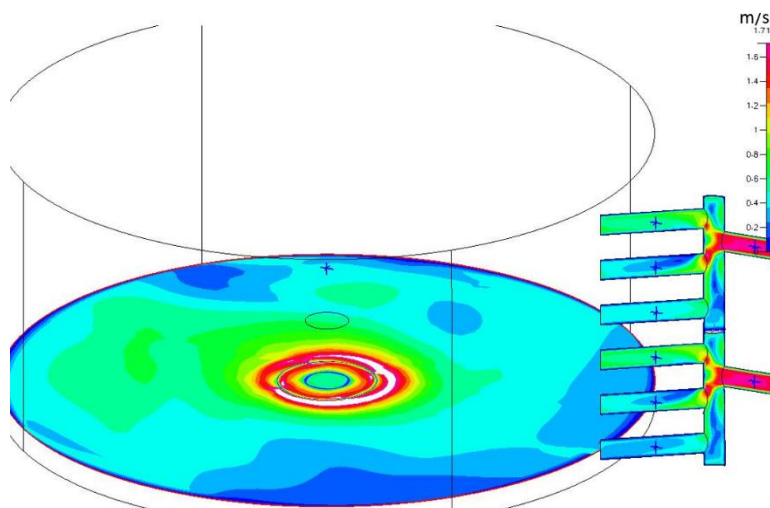
4.4 Bremnes Seashore eksisterende innløpsarrangement (Praxir).

Bremnes Seashore har allerede utviklet en landbasert ventemerd. Etter å ha benyttet denne i en periode erfarte de at strømningsmønstre og- hastighet i denne ikke stemte med de analysene som har blitt gjennomført. Analysene har blitt gjennomført av Praxir i USA, for Bremnes Seashore.



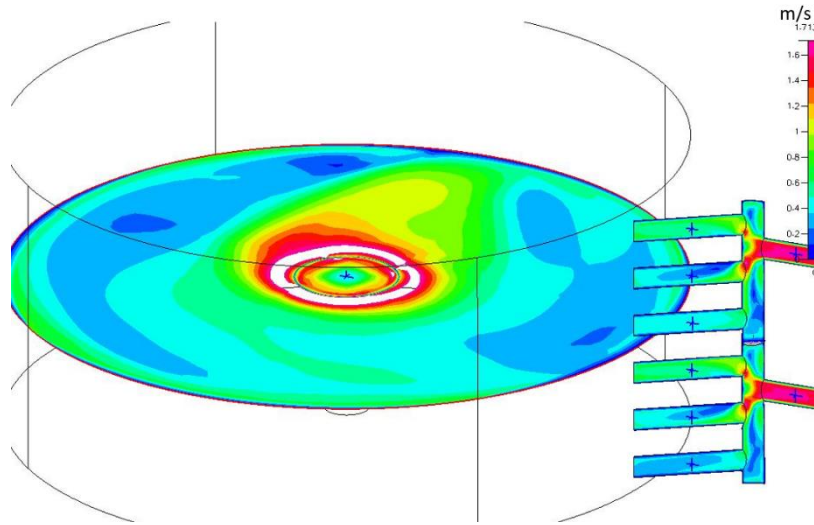
Figur 28. Innløpsarrangement, Bremnes Tank(Praxir 2015).

Strømningshastigheten inn i de to tilløpene er på 157,2 cm/s (1,57 m/s). Disse forgreiner seg til 6 stk. innløp i distribusjonsrøret og er vinklet 45° med tankveggen. Diameter på innløpene er på 450 mm. Hvordan strømmingen fordeles seg ut til hvert enkelt innløp fremkommer i figur 28. Denne fordelingen holdes konstant gjennom hele simuleringen. Legg merket til fargeskalaen her strekker seg fra 0-171 cm/s.



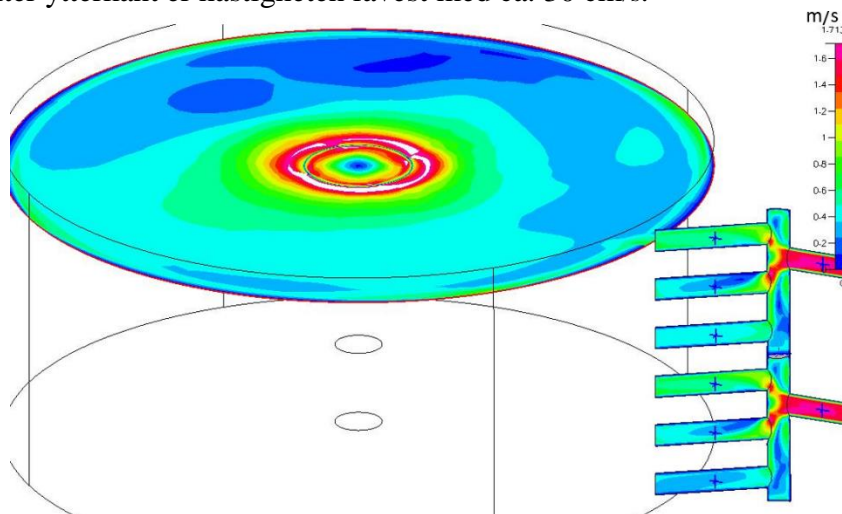
Figur29.Strømningshastighet nærme bunnen av tanken. Bremnes Tank (Praxir 2015).

I figur 29 er strømningshastigheten ved tankbunnen fremvist. Strømningshastigheten er størst ved senter. Hastigheten synker gradvis utfra tankveggen med enkelte «dø» punkter der hastigheten er lavere enn området rundt. Hastigheten i tanken varierer her mellom 0-170 cm/s fra ytterkant til senter.



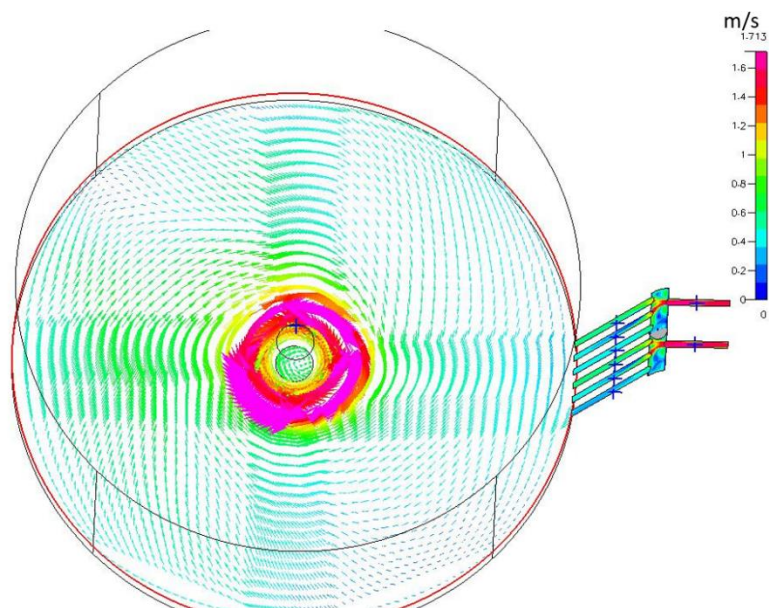
Figur 30. Strømningshastighet midten av tanken. Bremnes Tank (Praxir 2015)

I figur 30 er strømningshastigheten i midten av tanken fremvist. Hastigheten er størst i senter av tank, slik som i figur 29. Stor variasjon i strømningshastigheten, noe større hastighet langs tankveggen enn rundt senter. Strømningshastigheten varierer her mellom 30-170 cm/s fra ytterkant til senter av tank, midt mellom senter ytterkant er hastigheten lavest med ca. 30 cm/s.



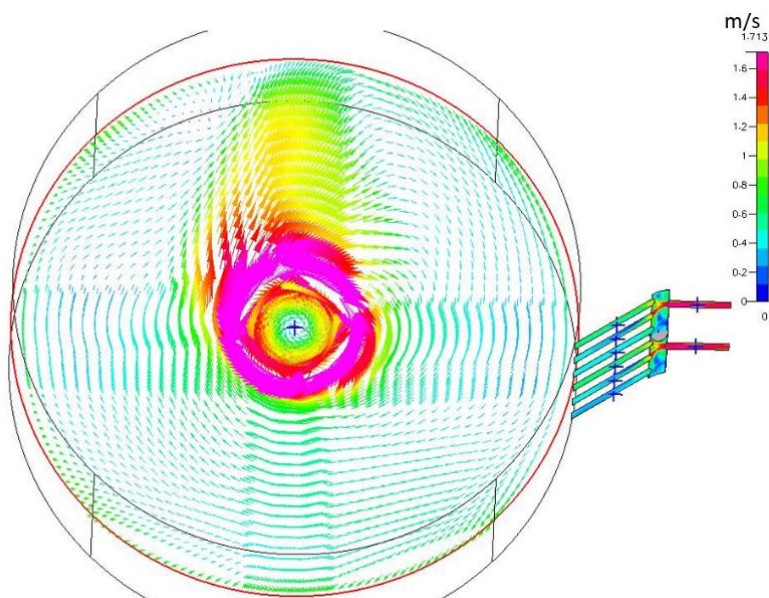
Figur 31. Strømningshastighet nærme toppen av tanken(Praxir 2015).

I figur 31 er strømningshastigheten i toppen av tanken fremvist. Hastigheten er størst ved senter av tank, slik som i figur 29 og 30. Er en gjennomgående lavere strømningshastighet her enn i de to foregående figurene. Store områder med hastigheter under 40 cm/s, også her har man hastigheter på ca. 170 cm/s ved senter av tank.



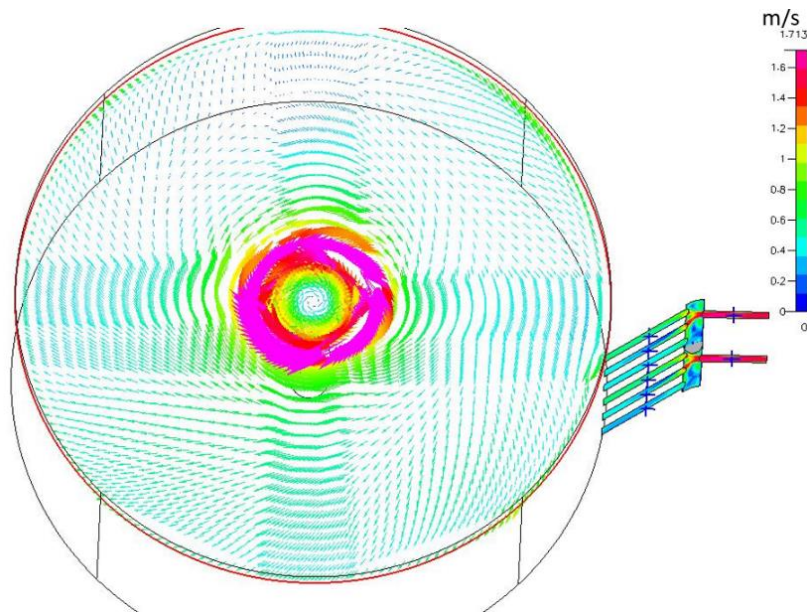
Figur 32. Strømningsmønster av Bremnes tank, ved tank bunn (Praxir 2015).

Figur 32 viser strømningsmønster i bunnen av tanken. Små piler indikerer hvilken retning strømminger har. Fargen indikerer farten. I de områdene dere pilene er plassert tettere er det retningsforandring i strømmingen. Strømningsmønstre følger tankens radius, men det er enkelte områder med turbulens rundt senter, strømningshastigheten er veldig mye større rundt senter.



Figur 33. Strømningslinjer av Bremnes tank, i midten av tanken (Praxir 2015).

I figur 33 er strømningsmønstre i midten av tanken illustrert fra CFD-analysen. Flere av de samme likhetstrekkene som ved figur 33, men er et stort område ovenfor senter hvor strømmingen brer seg utover i tankvolumet med stor hastighet.



Figur 34. Strømning linjer av Bremnes tank, i toppen av tanken (Praxir 2015).

Figur 34 ser man mye av det samme som i figur 32, strømningsmønstre følger en sirkulær form om senter med en tilhørende økning i strømningshastighet. Dette er gjennomgående for figur 32,33 og 34.

Erfarte problemer

Som nevnt har Bremnes Seashore erfart at strømningshastighet og- mønstre i tanken ikke er slik de ønsker at det skal være. I tillegg til dette viser CFD-analysen utført av eksternt firma at hastigheten i tanken er mye høyere enn den de ønsker, ønskelig hastighet er på 5- 20 cm/s. CFD-analysene viser en hastighet mellom 0-170 cm/s, dette medfører store variasjoner over hele tankvolumet.

5. Planlegging og gjennomføring av tidlig forsøk.

Resultatene fra datasimuleringen av pilotforsøket danner grunnlag for et egenutviklet forsøk. Resultatene som hittil har blitt analysert viser store forskjeller mellom det som har blitt målt i forsøk og det som kommer fram av strømningsanalyser. Derfor ble det ansett som nødvendig å utvikle et forsøk i et kontrollert miljø hvor man kjente alle de nødvendige parameterne.

5.1 Forsøksmål.

Forsøket hadde som hensikt å vise at strømningshastighet og mønsteret i et praktisk forsøk, gjenspeiles i en CFD-analyse. Resultatene fra et eget utviklet tidlig forsøk, sammenlignes derfor opp mot CFD-analysen av samme situasjon. Dette gjøres med bakgrunn i delmålet for oppgaven «*Vurdere nøyaktigheten til en strømningsanalyse*». For å ha en mer konkret målsetning å utarbeide forsøket mot ble det dannet en hovedmålsetning med tilhørende delmål for forsøket.

Målsetning for tidlig forsøk:

Vurdere uniformiteten i strømningsmønstre og- hastigheter i et kjent forsøk, opp mot en strømningsanalyse under like parametre.

Delmål:

- Utvikle et forsøk hvor man kan sammenligne resultater fra en CFD opp mot praktiske forsøk.
- Gjennomføre forsøket med høy grad av nøyaktighet
- Minimere påvirkningen av feilkilder i alle ledd

5.2 Forsøksplan og oppsett.

De ulike leddene som inngikk i forsøket er fremvist i figur 35.

5.2.1 Definisjon og plan for forsøk.

Startet med å definerer hva som er ønsket oppnådd med forsøket her inngår hovedmålet, med delmål for forsøket. Deretter ble det utarbeidet en forsøksplan for hvordan forsøket skulle gjennomføres i praksis. Her ble det også satt begrensninger for forsøket.

De parameterne som var ønsket vurdert var strømningshastighet og strømningsmønster. Disse parameterne er det forholdsvis enkelt å bygge opp forsøk mot. Påvirkningsfaktoren fra ikke menneskeskapt faktorer ble utelatt, deriblant Corioliseffekten (Pettersen 2010).

Økonomiske- og tids begrensninger førte til at man ikke kunne ta i bruk elektroniske strømningsmålere, beskrevet under kapittel 3.5.2. Et forsøk utført med fotografering og optiske metoder

1. Definere forsøksmål.

2. Utarbeide plan for forsøket, bestemme måleparametere med begrensninger.

3. Vurdere mulige forsøkstanker.

4. Utføre målinger av komponenter og utføre tilpasninger for forsøket.

5. Innhente informasjon fra tank leverandør.

6. Bestemme målemetode og programbruk.

7. Vurdere eventuelle feilkilder.

8. 3D- Modellere tank, med relevante komponenter.

9. Vurdere 3D-modell opp mot fysisk modell.

10. Utføre eventuelle justeringer på 3D-modell, settet parametere for CFD analyse.

11. Siste forberedelser for forsøk, gjennomføringsplan.

12. Gjennomføre forsøk.

13. Vurdere resultater fra eksperimentelt opp mot CFD analyse.

14. Databehandling.

15. Re vurdere eventuelle feilkilder.

16. Gjennomfør nytt forsøk hvis det blir funnet signifikante feilkilder

Figur 35. Forsøksledd, 1-16.

(kapittel 3.5.3) ble derfor ansett som et godt alternativ. Disse begrensningene førte igjen til at man kun vurderte strømmingen i vannoverflaten. Ved å følge en prøves bane i en strømming. For at resultatene skal være statistikk gode, måtte alle målinger og forsøk repeteres minimum tre ganger.

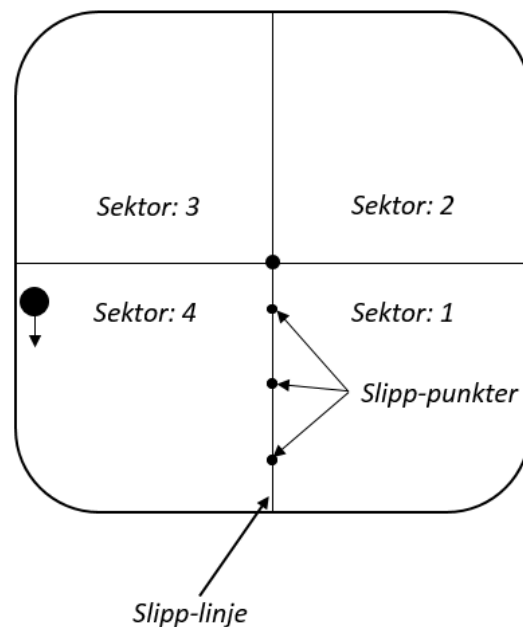
5.2.2 Fysiske mål, datainnhenting og feilkilder.

Forsøket ble utført ved å plassere en forsøksprøve med lav tetthet i vannoverflaten av et kvadratisk sirkulasjonskar med avrundede kanter. Høyde/ diameter forholdet i tanken, beskrevet under kapittel 3.7 tilnærmet den sammen som i ventemerden.

Et filmkamera plassert vertikalt over senter av karet filmet prøven mens den beveget seg med strømmingen. Filmingen ble gjennomført med en GoPro hero 3+, med en oppløsning på 2716 x 1524 piksler, og en bilderate på 30 bilder i sekundet. Alle forsøk ble filmet.

Det ble benyttet tre ulike slipp-punkter, 20,50 og 80 cm fra sentrum. Langs slipp-linjen. (figur 36).

Prøven ble dannet med en 5 mm diameter stor sirkulær biopsi prøve av ekstrudert polystyren(XPS). Et isolasjonsmaterialet med veldig lav egenvekt og fuktopptak. Prøven holder seg på den måten alltid i overflaten. målinger utført med Sartorius CP2P mikrovækt viste en vekt på 4,785mg. Nøyaktighet på $\pm 0,001$ g og standardavvik på $\pm 0,001$ mg.



Figur 36. Figur av kar med sektorer og slipp- punkter langs slipp-linjen.

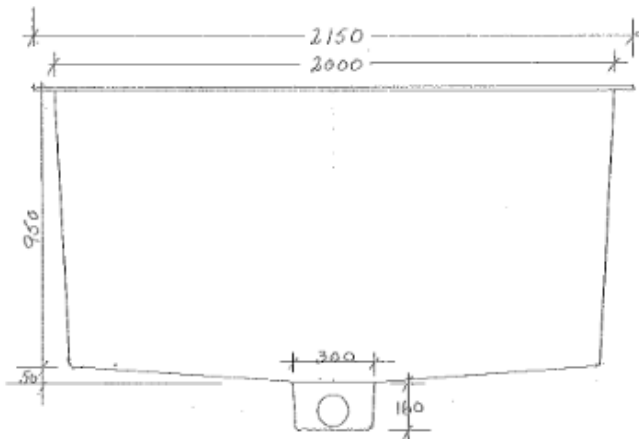
Små ulikheter mellom den fysiske modellen og 3D-modellen kunne resultert i store utslag på CFD-analysen.

Effekten av en eventuell turbulens, slik som beskrevet

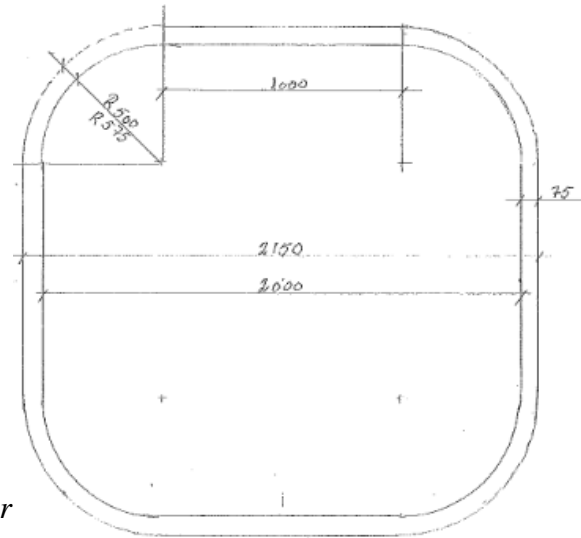
under kapittel 3.14 kan gi store utslag på strømningsbilde. Det ble derfor vurdert ulike feilkilder før forsøket ble gjennomført. På denne måten kan man minimere effekten av disse før gjennomføring.

Det ble lagt ned betydelig med arbeid på innstrøm konfigurasjonen som var av typen vertikalt distribusjonsrør. Denne var av HDPE plast med en indre diameter på 43mm og en ytre diameter på 63 mm. Vannet kom ut i tanken gjennom 5 innløp à 6mm. Distribusjonsrøret var plassert 4 cm fra veggen og 20 cm fra senter av den ene langsiden. Røret ble i likhet med tanken målt, det ble også sett på hvor i karet denne var plassert og i hvilken retning vannet strømmet ut. Størrelsen på innløpene ble målt, senere justert noe, ettersom de ikke ga en jevn innstrømming av vann. Sett bort fra utløp er karet symmetrisk om sentrum, den er 2 meter bred/lang og 950 mm dyp.

Konstruksjonstegninger fra leverandør, figur 37 og 38, samt egne målinger dannet grunnlaget for en 3D- modell av karet.



Figur 38. a-plast, mål av forsøkskar, side (Vidhammer 2016).



Figur 37. a-plast, mål av forsøkskar, ovenfra (Vidhammer 2016).

5.2.3 3D- modellering og oppsett av CFD-analyse.

Etter at 3D-modellen var oppbygd, gikk den igjennom en vurderingsrunde, der eventuelle forskjeller ble luket bort. For å utføre en CFD-analyse på karet, er det nødvendig å sette like parametere.

Målinger på volumstrømmen ble utført ved å måle hvor lang tid det tok å fylle opp en 10 liters bøtte ved utløpet. Vannstanden holdt seg stabil under alle målinger, 72,5 cm. Innløpet er koblet til det kommunale VVS anlegget. Av hensyn til eventuelle variasjoner i volumstrømmer ble alle forsøkene gjennomført på samme dag, 01.03.2016. Volumet til karet er på 2,67 m³, ved en vannstand på 72,5 cm (hentet fra 3D-tegninger).

Volumstrømmen inn i det vertikale distribusjonsrøret ble justert med en membranventil plassert før distribusjonsrøret. Første forsøk ble gjennomført med helt åpen ventil. Deretter ble samme forsøk repetert etter en innsnevring, en siste innsnevring ble utført helt avslutningsvis. Ventet 30 min etter hver innsnevring før nye forsøk ble gjennomført slik at strømningsbilde fikk stabilisert seg.



Figur 39. Illustrasjon av 3D-modell. Sett skrått ovenfra. Kubiske former viser sektor inndelingen.

5.2.4 Siste forberedelser før gjennomføring.

Hele karet med innløp ble vasket og spylt før forsøken, slik at ingen fremmedlegemer påvirket resultatene. Gjennomføringsplanen skulle sørge for at alle forsøkene ble utført med samme presisjonsnivå, og at ingenting ble utelatt. Forsøk som av ulike årsaker ble avbrutt eller ikke gikk som ønsket, ble de gjennomført på nytt.

Gjennomføring:

- Delte karet i 4 like store sektorer med en ramme.
- Målte volumstrømmen i distribusjonsrøret.
- Startet filmingen
- Plasserte prøven ved et slipp-punkt langs slipp-linjen med pinsett.
- Lot prøven bevege seg to runder, 720° .
- Repeterte alle forsøk tre ganger.
- Tok opp prøven og repeterte forsøket 2 ganger til. Endret dermed radien.
- Når alle forsøk for en volumstrømm var gjennomført, ble volumstrømmen endret og målt på nytt, før forsøkene ble gjentatt.
- Volumstrømmene inn i karet ble målt fire ganger hver.
- Totalt 27 forsøk ble gjennomført. Tre radier, tre volumstrømmer og tre repetisjoner.
- Forsøket tok kun utgangspunkt i strømningshastigheten i vannoverflaten

5.2.5 Vurdering og databehandling.

Resultatene fra forsøket ble vurdert opp mot resultatene fra CFD-analysene. Her ble programvare bestemt under punkt 6. benyttet for å undersøke resultatene, samtidig som en visuell undersøkelse sjekket om det var store forskjeller. Resultatene fra hvert forsøk dannet grunnlag for et bilde av måleprøven som viser bevegelsen i forsøket. Dette bilde ble sett opp mot CFD-analysen av samme situasjon

5.2.6 Re vurdering og nytt forsøk.

Selv om det ble lagt stor vekt på å fjerne feilkilder under hele prosessen, er det ikke mulig å komme unna alle. Etter at forsøket ble gjennomført, ble det vurdert om det var feilkilder som kan ha påvirket resultatene i betydelig grad. Ble det funnet feilkilder som påvirket resultatene i stor grad, måtte hele eller deler av forsøket gjennomføres på ny. Som et resultat av dette, ble forsøket gjennomført to ganger 18.02.2015 og 01.03.2016.



Figur 40. Fotografi av kar med ramme, sektorer og slipp punkter. Punkter med nedhengte snorer er slipp-punktene.

6. Resultat og sammenligning av tidlig forsøk.

Her presenteres resultatene som har kommet fram av forsøket som ble utført i fiskelaboratoriet. Disse sees opp mot resultatene fra CFD-analysen av de samme forsøkene.

6.1 Resultat fra forsøk.

Resultatene fra forsøket er presentert nedenfor. Den store datamengden har ført til at ikke alle forsøkene har blitt analysert.

6.1.1 Resultat fra strømningsmåling.

Før forsøkene ble utført, ble det gjort en volumstrømsmåling. Målingene ble gjentatt fire ganger for de tre ulike volumstrømmene.

Vannstanden ble holdt konstant på 72,5 cm ved hjelp av en vannlås. Volumstrøm inn er dermed den samme som volumstrøm ut. Målingen ble utført ved å måle hvor lang tid det tok å fylle en 10 liters bøtte med vann. Bøtte og stoppeklokke var på forhånd kalibrert.

Volumstrøm nr.1

Tabell 6. Måling av volumstrøm nr. 1.

Forsøk nr.	Målt tid(s)	q _v (L/min)
1	16,9	35,5
2	17,0	35,3
3	16,8	35,7
4	17,1	35,0
Snitt	16,9	35,4 ± 0,2*

*Tallet representerer standardavviket.

Gjennomsnittlig 16,9 s på 10 liter. Resultere i en volumstrøm på 35,4 liter i minuttet. Simuleringer utført på strømningsstasjon nr.1 blir gjort med volumstrøm inn på 35,4 liter i minuttet.

Volumstrøm nr.2

Tabell 7. Måling av volumstrøm nr. 2.

Forsøk nr.	Målt tid(s)	q _v (L/min)
1	18,1	33,1
2	18,5	32,4
3	18,2	33,0
4	18,3	32,8
Snitt	18,3	32,8 ± 0,3*

*Tallet representerer standardavviket.

Gjennomsnittlig 18,33 s på 10 liter. Tilsvarende i 32,7 liter i minuttet. Simuleringer utført på strømningsstasjon nr.1 blir gjort med volumstrøm inn på 32,7 liter i minuttet.

Volumstrøm nr.3

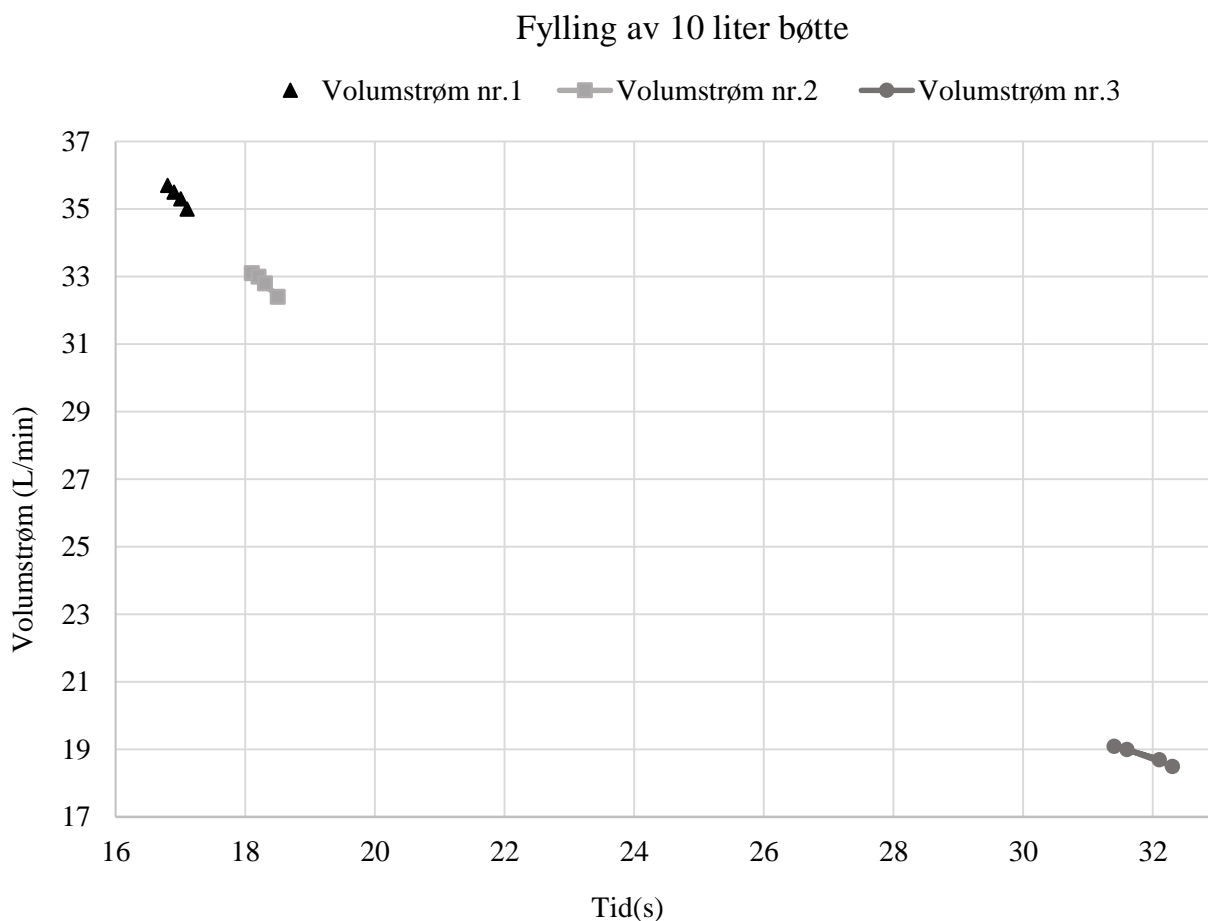
Tabell 8. Måling av volumstrøm nr. 3.

Forsøk nr.	Målt tid(s)	q _v (L/min)
1	31,4	19,1
2	32,1	18,7
3	31,6	19,0
4	32,3	18,5
Snitt	31,8	18,8 ± 0,3*

*Tallet representerer standardavviket i utvalget.

Gjennomsnittlig 31,8 s på 10 liter. Tilsvarende i 18,8 liter i minuttet. Simuleringer utført på strømnings-sitasjon nr.1 blir gjort med volumstrøm inn på 18,8 liter i minuttet.

Volumstrømmen i strømming en og to ansees å ha så like verdier at det ble vurdert hvorvidt det skulle gjennomføres en kji- kvadrat test for målingene. En slik test avgjør hvorvidt det er en statistisk signifikant forskjell mellom målingen. Ettersom det ikke er noen overlappende målinger, ble det ikke gjennomført en slik test. Se figur 42.



Figur 41. Målinger av volumstrømmen inn i karet..

Volumstrøm nr.2 ligger veldig tett opptil volumstrøm nr.1. Det hadde vært ønskelig om volumstrøm nr.2 lå midt mellom nr. 1 og 3.

Tabell 9. Oversikt over volumstrøm og slipp radius for de enkelte forsøkene. 3 forsøk pr situasjoner. Markerte forsøk blir analysert nærmere.

Forsøk nr.	q_v (L/min)	Radius(cm)
1	35,4	20
2	35,4	20
3	35,4	20
4	35,4	50
5	35,4	50
6	35,4	50
7	35,4	80
8	35,4	80
9	35,4	80
10	32,8	20
11	32,8	20
12	32,8	20
13	32,8	50
14	32,8	50
15	32,8	50
16	32,8	80
17	32,8	80
18	32,8	80
19	18,8	20
20	18,8	20
21	18,8	20
22	18,8	50
23	18,8	50
24	18,8	50
25	18,8	80
26	18,8	80
27	18,8	80

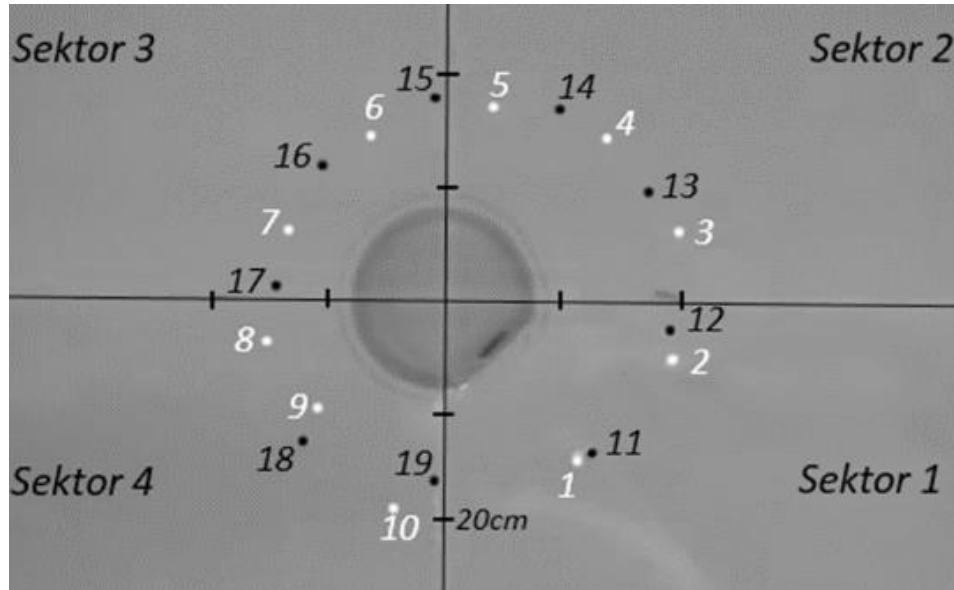
For å kunne ha en kontroll over volumstrømmen (q_v) og slipp-radien(slipp-punkt) prøven har blitt sluppet fra henvises det til tabell 9. I oppgaven refereres det til forsøks nr. F.eks. så er forsøk nr. 4 utført med en volumstrøm 35,4 L/min og prøven ble sluppet 50 cm fra senter, langs slipp-linjen. 5 utvalgte forsøk som gir en god representasjon av forsøket som helet blir analysert. Forsøk nr.4 og 6 ble utført med samme radius og volumstrøm i tanken og vurderes opp mot hverandre for å undersøke reproduserbarheten i forsøkene.

Tolkning av forsøksresultater:

For å gi et overblikk over hvordan prøven bevegde seg med strømmingen ble forsøksfilmene delt opp i bilder med 1 sekunds intervall. I hvert bilde fremkommer punktet prøven er på. Ved å legge alle bildene fra forsøkene oppå hverandre i bildebehandlingsprogrammet photoshop cs5 fremkommer alle plasseringene til prøven i forsøket. Alle punkter som er hvite er registrert på den første runden, alle sorte punkter er på andre runde. Strømmingsretningen er mot klokken, prøven bevegde seg dermed fra punkt 1. til punkt 2. osv.

Annenhver avstand blir vurdert, 2-3, 5-6, 8-9.

6.1.2 Forsøk nr. 3.



Figur 42. Resultater fra forsøk nr.3. Det er her zoomet inn på resultatene for å kunne gi et tydeligere bilde. Prøven ble sluppet ved 20 cm merket.

Ved tolkning av forsøksbilder er alle punkter merket i hvitt registrert på første runde, i forsøk nr.3 vil det si at punkt 1-10 er første runden og punkt 11-19 er andre runden.

Benyttet programvaren SolidWorks for å måle banelengde mellom målepunktene, ved å skalere opp bildet slik at dimensjonen ble riktige. Vet at tidsrommet mellom hvert punkt er 1 sekund. Dette medfører at avstanden er tilsvarende som hastigheten. F.eks. er avstanden mellom to punkter 11,4 cm, dette tilsvarer 11,4 cm/s. Hvert punkt tilsvarer 1 bilde.

Tabell 10. Målinger av fart og avstand i forsøk 3.

Startpunkt	Sluttpunkt	Snitt fart (cm/s)
2	3	11,4
5	6	10,0
8	9	7,4
11	12	12,1
14	15	10,5
17	18	12,5
Gj.Snitt ± SD		10,6 ± 1,8*
Maks (star-sluttpunkt), Sektor		12,5 (17-18), 3/4
Min (star-sluttpunkt), Sektor		7,4 (8-9), 4

* Tallet representerer standardavviket i utvalget.

Største hastighet ble registrert i sektor 3/4 med 12,5 cm/s og laveste med 7,4 cm/s i sektor 4. Gjennomsnittshastighet mellom utvalgte punkter er 10,6 cm/s

Ser av resultatene fra forsøk nr.3 at både den største og laveste hastigheten er registrert i samme sektor. Prøven beveger seg i en sirkulær formasjon om senter. Denne store variasjonen mellom hastighetene i samme område medfører at man må undersøke hvorvidt det er turbulent strømning i karet.

Fra likning 3.6 og 3.7 bestemmes Reynoldstallet for volumstrøm nr.1. Forsøksstanken har et

tverrsnittets areal(A) på $3,6 \text{ m}^2$ i øvre vannsjikte og en våt omkrets på $7,0 \text{ m}$ (P). Gitt likning 3.7 gir dette.

$$r_h = \frac{A}{P} = \frac{3,6 \text{ m}^2}{7,0 \text{ m}} = 0,51 \text{ m}$$

Ved innsetting i likning 3.6 benyttes den kinematiske viskositeten for ferskvann med temperatur på 9°C . Dette var vanntemperaturen den dagen forsøkene ble gjennomført. Gjennomsnittlig strømningshastighet i tverrsnittet er gitt fra tabell 10, og er på $10,6 \text{ cm/s}$.

$$R_e = \frac{4vr_h}{\nu} = \frac{4 * 0,106 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,51 \text{ m}}{1,34 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 161373$$

Reynoldstallet viser at man har en fullt utviklet turbulent strømning. Strømningen beveger seg derfor fremover i virvlende urolig strøm. Reynoldstallet stemmer godt overens med observasjoner som ble gjort under forsøket. Man så her at små virvler ble dannet, for så å forsvinne igjen etter kort tid.

En økning i strømningshastighet medfører et enda større Reynoldstall (Chase et al. 2002) .

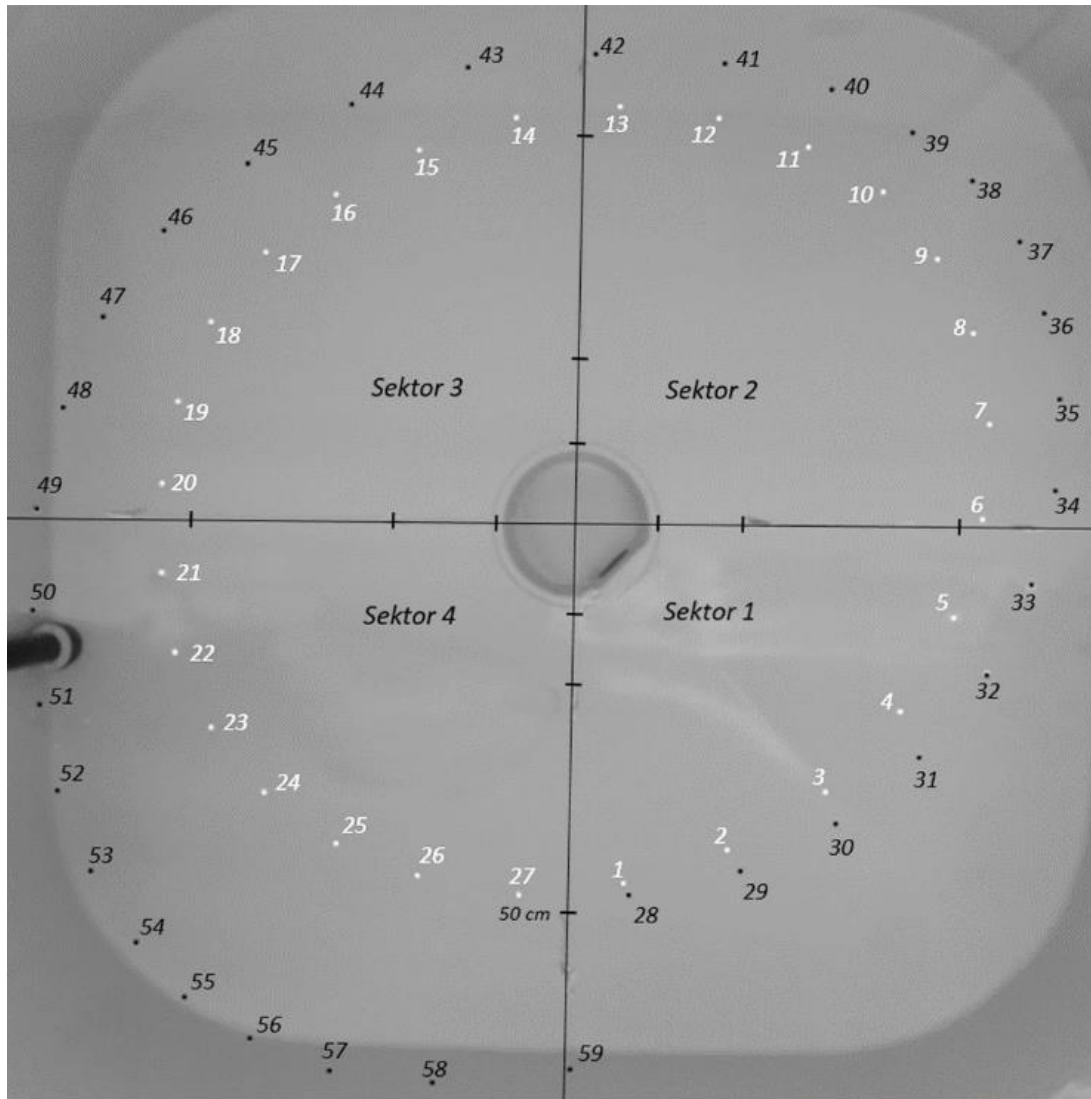
Denne observasjonen kan forklare ujevnheter i forsøksprøvens hastigheter, da den enkelt vil bli påvirket av turbulente strømninger i volumet på grunn av sin lave vekt.



Figur 43. Et av bildene fra forsøk nr.3.

I figur 43 er det samme bilde som er i punkt 16 i figur 42, prøven er plassert i sektor tre. Figur 43 består av 19 slike bilder, disse er gjort om til svart-hvitt og slått sammen. Hvite område i sektor en er gjenskinns fra en lampe plassert over karet.

6.1.4 Forsøk nr. 4.



Figur 44. Resultat fra forsøk 4.

Tabell 11. Målinger av fart og avstand i forsøk 4.

Start punkt	Slutt punkt	Snitt fart (cm/s)
2	3	14,8
5	6	13,1
8	9	10,5
11	12	12,1
14	15	13,2
17	18	11,4
20	21	11,6
23	24	10,8
26	27	13,4
29	30	13,7
32	33	13,2
35	36	11,2
38	39	9,9
41	42	16,7
44	45	15,4
47	48	12,7

Tabell 11. Forts

Start punkt	Slutt punkt	Snitt fart (cm/s)
50	51	12,3
53	54	10,9
56	57	10,9
Gj.Snitt ± SD		12,5 ± 1,8*
Maks (star-sluttpunkt), Sektor		16,7 (41-42), 2
Min(star-sluttpunkt), Sektor		9,9 (38-39), 2

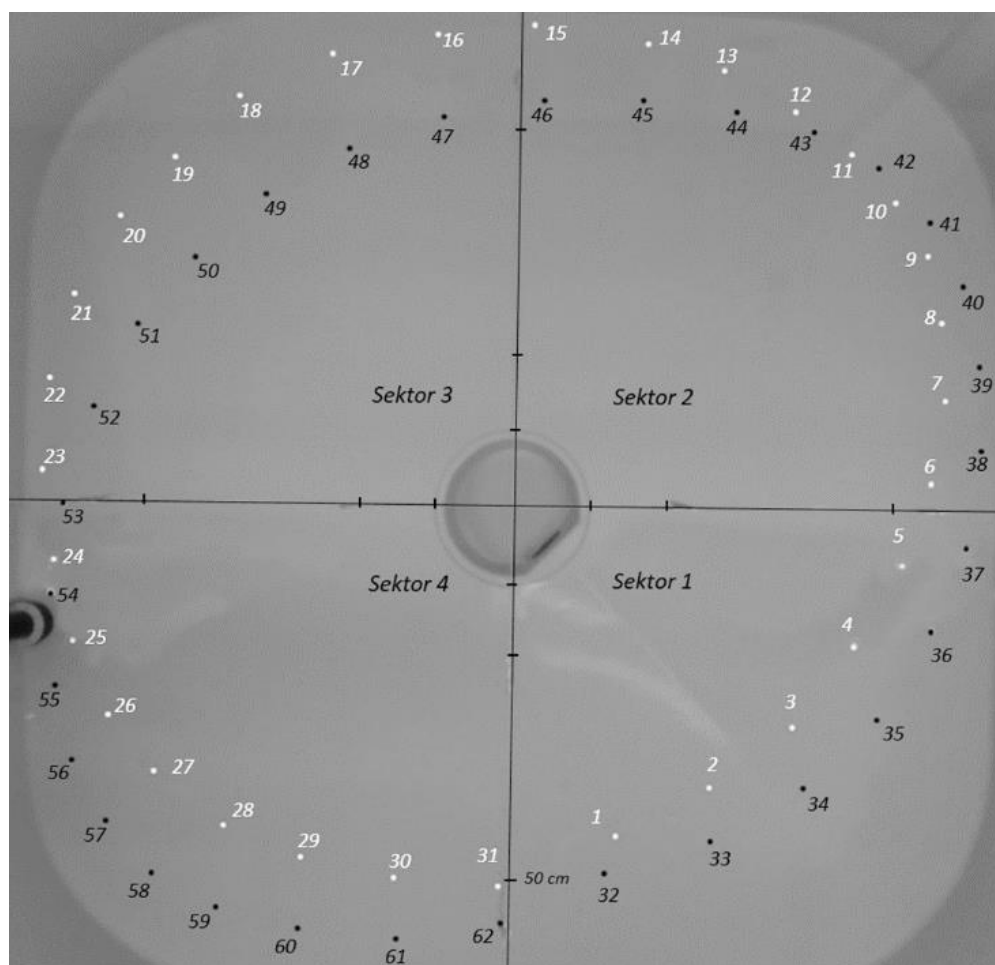
* Tallet representerer standardavviket i utvalget.

Største hastighet ble registrert i sektor 2 med 16,7 cm/s og laveste med 9,9 cm/s i sektor 2. Gjennomsnittshastighet mellom utvalgte punkter er 10,51 cm/s

Gjennomsnittligstrømningshastighet har i forsøk nr. 4 økt i forhold til forsøk nr. 3. Reynoldstallet vil dermed stige, og man har fortsatt en fullt utviklet turbulent strømming. I praksis vil man ha en fullt utviklet strømming for alle relevante strømningshastigheter i dette forsøksoppsettet. Standardavviket i forsøk fire tilsier at man strømningshastigheten i gjennomsnitt ligger 1,8 cm/s fra gjennomsnittshastigheten.

Observerer at største og laveste strømningshastighet fremtrer i samme sektor i forsøk nr.4. Sektor nr.2. Prøven beveger seg ikke en fullt utviklet sirkulær form om senter i dette forsøket, man ser tendenser til at prøven beveger seg i en elliptisk fasong. Radien fra senter har også økt betraktelig i løpet av de to rundene prøven tok. I målepunkt nr. 59 som er siste registrerte målepunkt, har radien økt med ca. 20 cm fra startpunktet, nr.1.

6.1.3 Forsøk nr. 6.



Figur 45. Resultat fra forsøk 6.

Tabell 12. Målinger av fart og avstand i forsøk 6.

Startpunkt	Sluttpunkt	Snitt fart (cm/s)
2	3	12,1
5	6	10,4
8	9	8,2
11	12	8,1
14	15	14,5
17	18	12,1
20	21	10,4
23	24	10,0
26	27	10,5
29	30	12,2
32	33	12,6
35	36	10,7
38	39	9,7
41	42	8,6
44	45	11,7
47	48	11,2
50	51	11,2
53	54	10,8
56	57	8,2
59	60	12,6
Gj.Snitt ± SD		10,8 ± 1,7*
Maks (star-sluttpunkt), Sektor		14,5 (14-15),2
Min(star-sluttpunkt), Sektor		8,1 (11-12),2

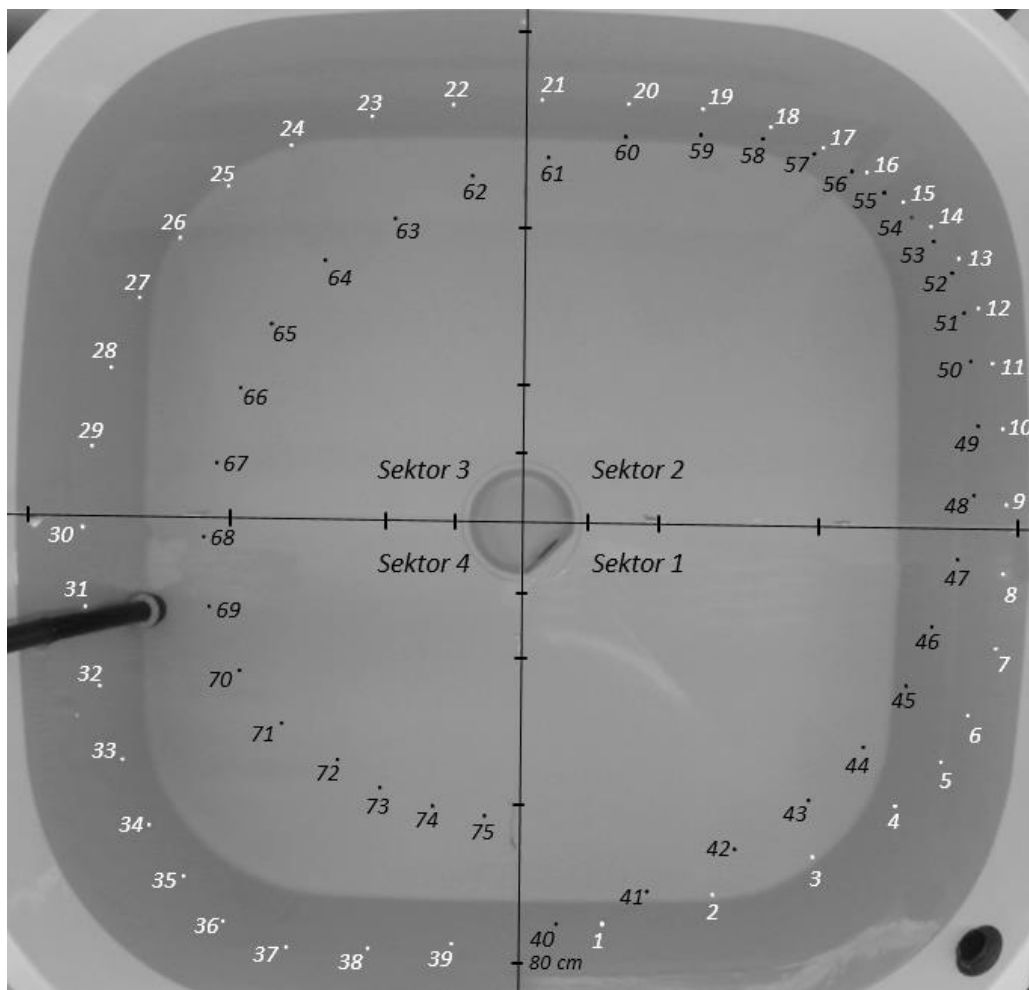
* Tallet representerer standardavviket i utvalget.

Største hastighet ble registrert i sektor 2 med 14,5 cm/s og laveste med 8,1 cm/s i sektor 2. Gjennomsnittshastighet mellom utvalgte målepunkter er 10,8 cm/s

Forsøk nr.6 er utført under samme betingelser som forsøk nr.4. Se tabell 12. Største og minste hastighet fremtrer i samme sektor som for forsøk nr. 6. Avvik på 2,2 cm/s mellom største estimerte hastighet i forsøkene, tilsvarende er avviket på 1,8 cm/s for laveste hastighet.

Standardavviket i forsøk 4 tilser at man strømningshastigheten i gjennomsnitt ligger 1,7 cm/s fra gjennomsnittshastigheten. En reduksjon på 0,1 cm/s i standardavvik. Noe avvik i banen prøven tar mellom forsøkene, radien øker ikke med like mye i forsøk nr.6.

6.1.5 Forsøk nr. 17.



Figur 46. Resultat fra forsøk 17.

Tabell 13 Målinger av fart og avstand i forsøk 17.

Startpunkt	Sluttpunkt	Snitt fart (cm/s)
2	3	17,3
5	6	8,6
8	9	11,0
11	12	9,1
14	15	5,9
17	18	9,1
20	21	13,9
23	24	13,6
26	27	11,5
29	30	13,0
32	33	12,2
35	36	9,6
38	39	13,5
41	42	15,8
44	45	12,1
47	48	10,7
50	51	7,9
53	54	5,2
56	57	5,8

Tabell 13. Forts

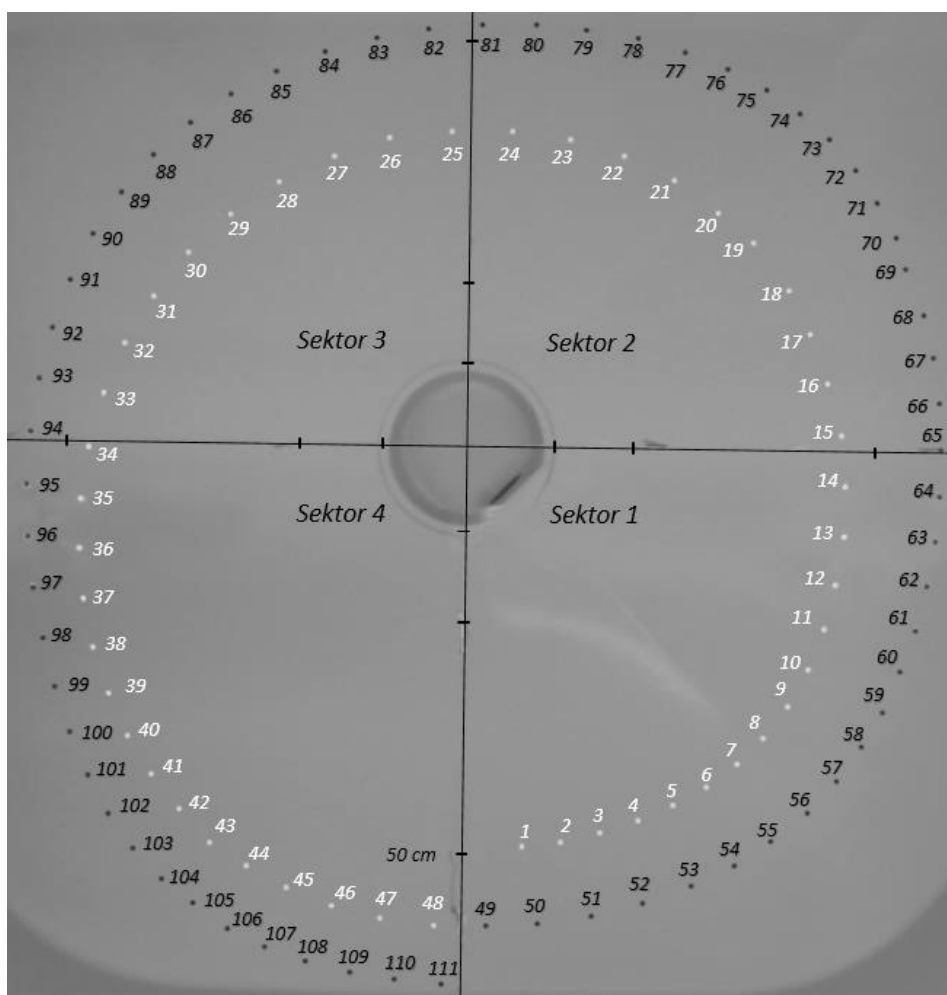
Startpunkt	Sluttpunkt	Snitt fart (cm/s)
59	60	12,1
62	63	14,2
65	66	11,4
68	69	11,2
71	72	10,8
74	75	8,4
GJ.Snitt ± SD		10,9 ± 3,0*
Maks (star-sluttpunkt), Sektor		15,8 (41-42), 1
Min(star-sluttpunkt), Sektor		5,2 (53-54), 2

* Tallet representerer standardavviket i utvalget.

Største hastighet ble registrert i sektor 1 med 15,8 cm/s og laveste med 5,2 cm/s i sektor 2. Gjennomsnittshastighet mellom utvalgte punkter er 10,9 cm/s

I forsøk nr. 17 har man redusert volumstrømmen (tabell 13). Ser derimot ingen klare indikasjoner på at dette gjør noen store utslag på resultatene. Gjennomsnittlig hastighet er 0,1 cm/s høyere enn forsøk nr. 6. Høyeste registrerte fart er også høyere enn hva som ble registrert for forsøk 6. Den laveste hastigheten er derimot noe lavere. I sektor 2 ser man det må ha dannet seg et område med lavere strømningshastighet enn ellers i karet. Mellom punktene 68, 69 og 70 har prøven en bane som ikke følger en sirkulær form. Volumstrømmen i dette forsøket medfører en fullt utviklet turbulent strøming, som forklare den unaturlige banen til prøven.

6.1.6 Forsøk nr.22.



Figur 47. Resultat fra forsøk 22.

I forsøk nr.22 har volumstrømmen blitt redusert betydelig (se tabell 9). Dette resulterte i en økning av antall punkter. Figur 47 består i totalt 111 bilder som er formatert og redigert oppå hverandre for å få denne fremstillingen. Prøven ble her sluppet 50 cm fra senter og etter to runder har prøven økt radien med ca 15 cm. Banen mellom punktene viser at prøven har mye jevnere bevegelse mellom punktene i dette forsøket enn hva som har vært tilfelle for tidligere forsøk.

Tabell 14. Målinger av fart og avstand i forsøk 22.

Startpunkt	Sluttpunkt	Snitt fart (cm/s)
2	3	4,9
5	6	4,6
8	9	4,9
11	12	5,5
14	15	6,2
17	18	5,9
20	21	6,8
23	24	7,1
26	27	7,2
29	30	6,9
32	33	6,7
35	36	6
38	39	5,9
41	42	5,5
44	45	5,6
47	48	6,8
50	51	6,7
53	54	5,8
56	57	5,2
59	60	5,4
62	63	5,5
65	66	5,7
68	69	6,1
71	72	4,8
74	75	5
77	78	6
80	81	6,6
83	84	6,6
86	87	6,1
89	90	6,2
92	93	6,4
95	96	6,4
98	99	6,1
101	102	5,4
104	105	4,8
107	108	5,4
110	111	5,8
GJ.Snitt ± SD		5,9 ± 0,7*
Maks (star-sluttpunkt), Sektor		7,2 (26-27), 3
Min(star-sluttpunkt), Sektor		4,8 (38-39), 4

* Tallet representerer standardavviket i utvalget.

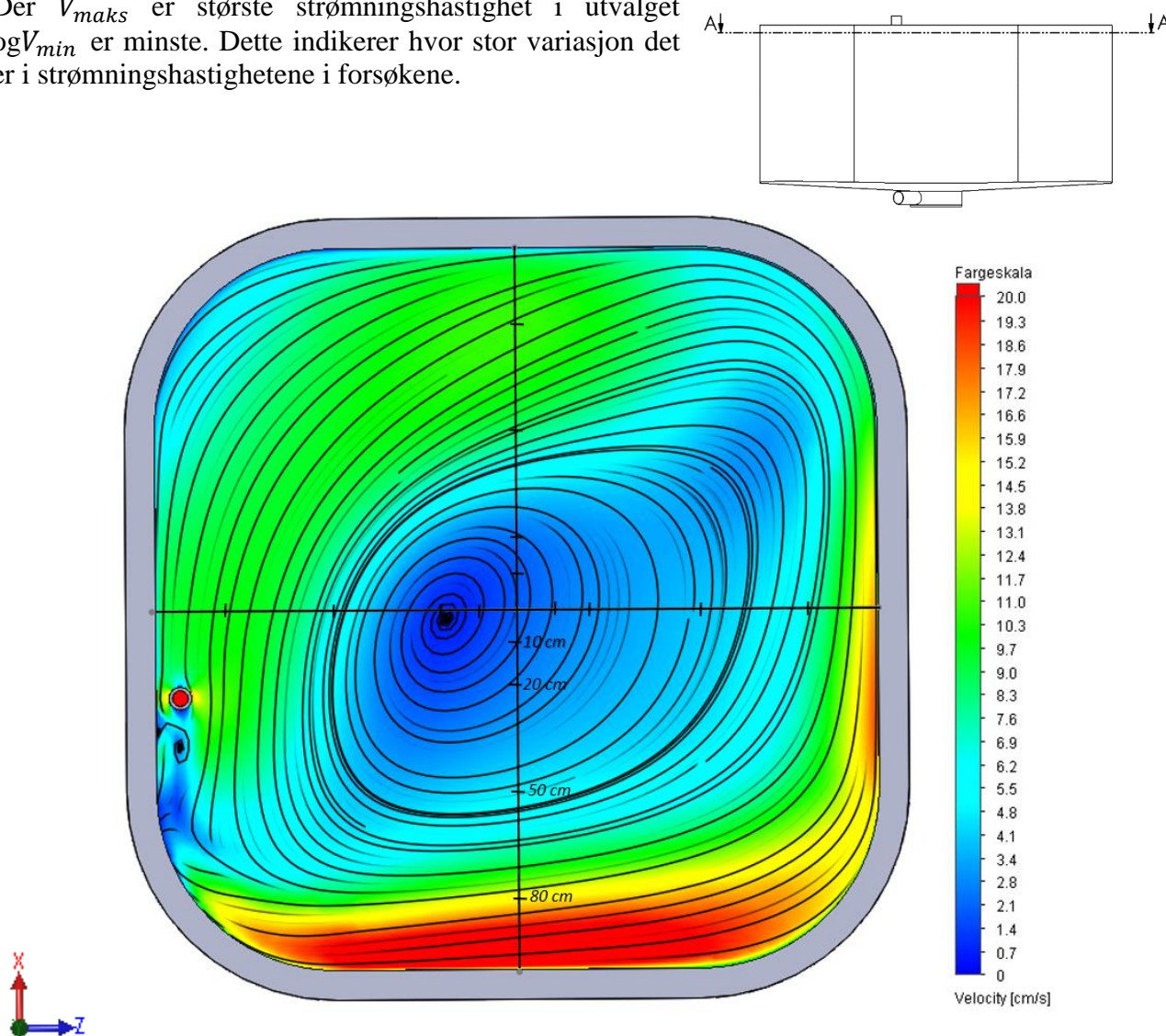
Resultatene fra tabell 14 viser at man har klar reduksjon i strømningshastighet. I tillegg til dette har standardavviket blitt redusert kraftig fra tidligere. Største hastighet ble registrert i sektor 3 med 7,2 cm/s og laveste med 4,8 cm/s i sektor 4. Gjennomsnittshastighet mellom utvalgte punkter er 5,9 cm/s.

6.2 Sammenligning mellom resultater.

Her sees resultatene fra forsøket opp mot CFD-analysen. Ser på strømningshastigheten og banen prøven beveget seg i forhold til strømningslinjene mellom målepunktene. Differansen mellom ytterpunktene i hastigheten i hvert forsøk, er gitt ved:

$$\Delta V = V_{maks} - V_{min} \quad (6.1)$$

Der V_{maks} er største strømningshastighet i utvalget og V_{min} er minste. Dette indikerer hvor stor variasjon det er i strømningshastighetene i forsøkene.

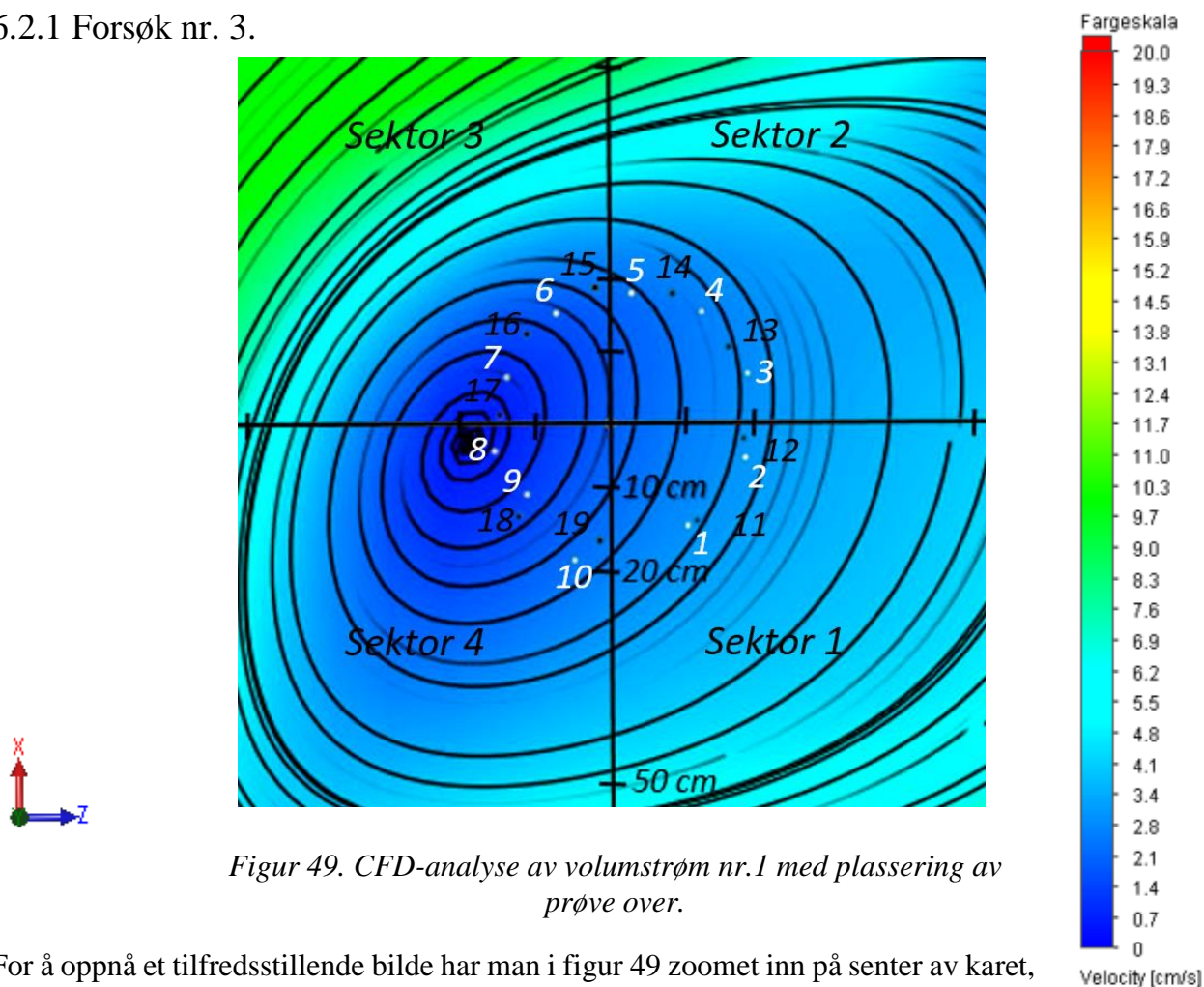


Figur 48. Illustrasjon av CFD resultat fra volumstrøm nr. 1, snittet i A-A.

Tolkning av CFD-analyser

Figur 48 viser hvordan resultatet fra CFD-analyse av strømnings situasjon nr. 1 ser ut. Slike strømningsbilder fremkommer på alle simuleringer. De sorte vertikale og horisontale strekene med avstandsmarkeringer er sektorer indelinger. De andre linjene er strømningslinjer som viser hvordan vannet strømmer i tverrsnittet, alle strømningslinjene sammen strømningsmønstre i CFD analysen. Fargen indikerer hastigheten på vannet. Benytt fargeskalaen på høyre side til å lese av hastigheten (0-20 cm/s). Nederst til venstre vises koordineringen av karet. Ved sammenligning av resultatene plasseres punktene fra det praktiske forsøket «over» CFD bildet. Alle forsøkene er vurdert i snitt A-A.

6.2.1 Forsøk nr. 3.



Figur 49. CFD-analyse av volumstrøm nr.1 med plassering av prøve over.

For å oppnå et tilfredsstillende bilde har man i figur 49 zoomet inn på senter av karet, for å få en oversikt over dimensjonene i karet, se figur 48.

Tabell 15. Sammenligning mellom CFD og estimert hastighet. Volumstrøm nr.1 radius 20 cm. Forsøk 3.

Start-sluttpunkt, (sektor)	Estimert Hastighet (cm/s)	Hastighet CFD (cm/s)	Differanse (cm/s)
2-3 (1/2)	11,4	4,5	6,9
5-6 (2/3)	10,0	4,0	6,0
8-9 (4)	7,4	1,5	5,9
11-12 (1)	12,1	5,0	7,1
14-15 (2/3)	10,5	4,0	6,5
17-18(3/4)	12,5	1,0	11,5
GJ.Snitt	10,6	3,3	7,3(68%*)
SD	± 1,8	± 1,8	± 2,1
ΔV	4,0	2,5	5,6

*Prosentuelle gjennomsnittdifferanse mellom CFD og estimert hastighet.

Den største målte hastigheten fra forsøket er mellom punkt 17 og 18, som beveget seg fra sektor 3 til 4. Her ble det estimert en hastighet på hele 12,5 cm/s. En hastighet som er 12 ganger så stor som hastigheten CFD-analysen viser i samme område. Målingene fra forsøket resulterte i en nedre hastighet på 7,4 og en øvre hastighet på 12,1. Differensen mellom disse to ytterpunktene resulterte i en ΔV_m lik 4,0 cm/s. Tilsvarende differanse i CFD-analysen gir en $\Delta V_{CFD} = 2,5 \text{ cm/s}$

Hastighet

Med en gjennomsnittlig hastighet på 10,6 cm/s i forsøket mot 3,3 i CFD-analysen er det en klar forskjell mellom CFD og det som har kommet fram av forsøket.

I figur 49 kan man se at det ikke er store variasjoner i strømningshastigheten i det vurderte området fra CFD-analysen. Strømningshastigheten overstiger aldri 5,0 cm/s i CFDen, mens den største estimerte hastigheten er på 12,5cm/s. En gjennomsnittlig differanse på 7,3 mellom CFD og forsøk er statistikk signifikant.

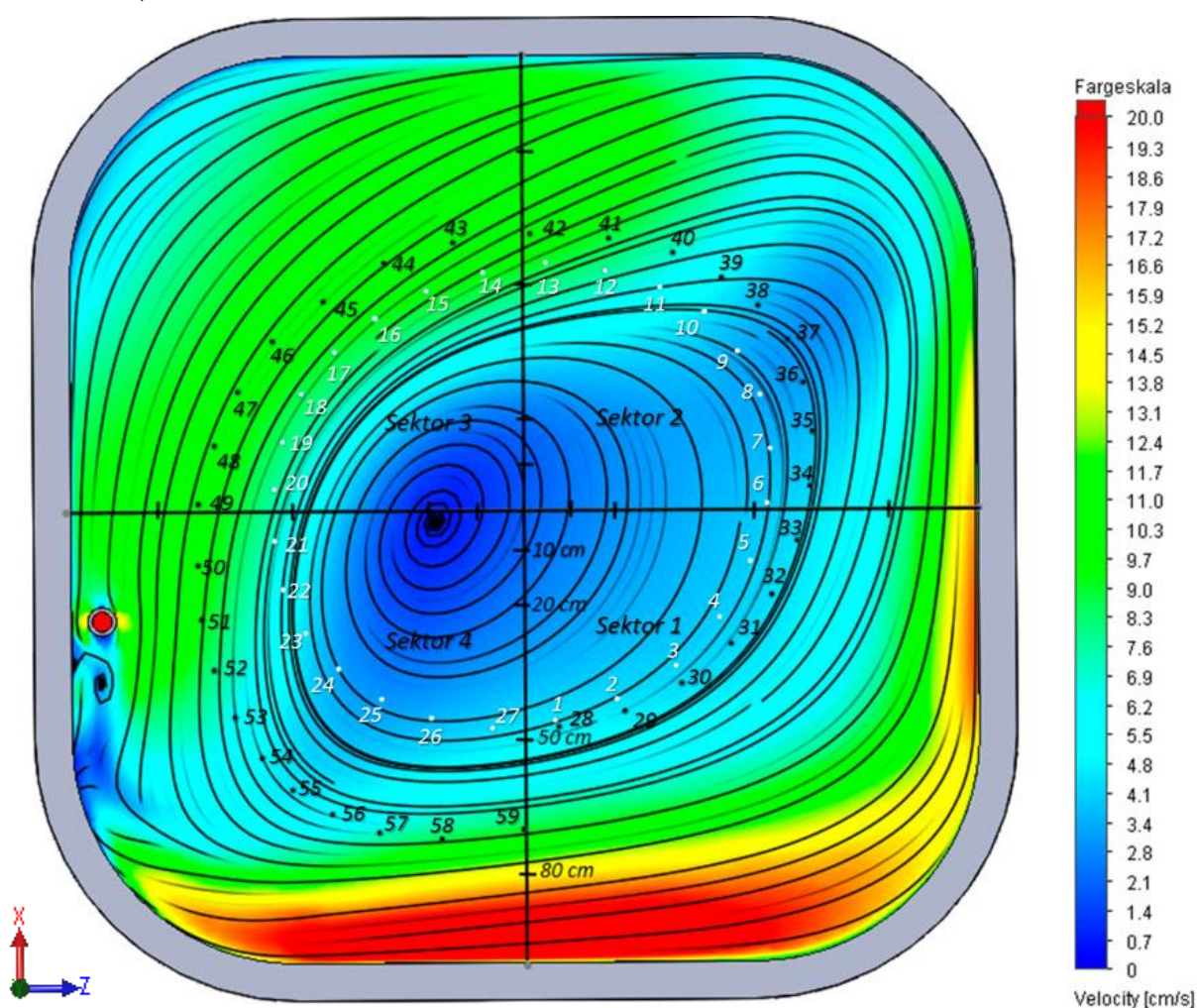
Standardavviket angitt i tabell 15 beskriver den gjennomsnittlige spredningen i utvalget, den estimerte hastigheten og CFD-analysen har samme spredning. Spredningen til differansen som er på 2,1 cm/s er ganske høy, dette som et resultat av den store forskjellen mellom hastighetene i forsøket og CFDen. Gjennomsnittlig differanse på 68% mellom CFD og forsøket er betydelig.

Bane

CFD-analysen viser at det oppstår en virvel ca. 20 cm til venstre for sentrum. Slike virvler dannet turbulens som ikke er konstant, beskrevet i kapittel 3.14. Denne turbulensen kan føre til at prøven i forsøket har en større hastighet enn det som kommer frem fra CFD-analysen. De sekundære strømmene kan også ha påvirket prøven, noe som kan forklare den ujevne bevegelsen mellom punkt 18 og 19.

Strømningslinjene i figur 49 beveger seg elliptisk om av en virvel som har senter ca. 20 cm til venstre for senter av karet. Prøven viser ingen indikasjon på at den beveger seg i denne elliptiske formen, da den beveger seg i en sirkulær formasjon om senter.

6.2.3 Forsøk nr. 4.



Figur 50. CFD-analyse av volumstrømning nr.1 med plassering av prøven over. Forsøk nr.4.

Tabell 16. Sammenligning mellom CFD og estimert hastighet. Volumstrøm nr.1 radius 50 cm. Forsøk 4.

Start-sluttpunkt, (sektor)	Estimert Hastighet (cm/s)	Hastighet CFD (cm/s)	Differanse (cm/s)
2-3 (1)	14,8	5,5	9,3
5-6 (1/2)	13,1	4,8	8,3
8-9 (2)	10,5	4,5	6
11-12 (2)	12,1	7,6	4,5
14-15 (3)	13,2	11,7	1,5
17-18(3)	11,4	11,0	0,4
20-21 (3/4)	11,6	7,2	4,4
23-24(4)	10,8	5,0	5,8
26-27(4)	13,4	5,0	8,4
29-30(1)	13,7	5,5	8,2
32-33(1)	13,2	6,0	7,2
35-36(2)	11,2	4,2	7
38-39(2)	9,9	4,5	5,4
41-42(2)	16,7	10,3	6,4
44-45(3)	15,4	11,7	3,7
47-48(3)	12,7	11,7	1
50-51(4)	12,3	11,0	1,3
53-54(4)	10,9	9,7	1,2
56-57(4)	10,9	7,4	3,5
GJ.Snitt	12,5	7,6	4,9(39%*)
SD	± 1,8	± 2,9	± 2,9
ΔV	6,8	7,5	8,9

*Prosentuelle gjennomsnittforskjellen mellom CFD og estimert hastighet.

Strømningssituasjon nr.1, prøven ble sluppet 50 cm fra senter av karet.

Hastighet

Den gjennomsnittlige differansen mellom CFD og forsøk er på 4,9 cm/s. Nesten halvparten av hva som kom fra forsøk nr.3. Dette til tross for at det er over tre ganger så mange målte lengder. Viser en mindre spredning i dette utvalget. Strømningen i forsøk nr.3 og 4 er den samme, 35,5 L/min. Strømningssituasjon nr.1. Den eneste forskjellen er at prøven har blitt sluppet 50 cm fra sentrum i forsøk nr.4 mot 20 cm fra sentrum i forsøk nr.3.

Den største hastigheten fra forsøket fremkommer i sektor 2, med en hastighet på 16,7 cm/s. Største hastighet fra CFD-analysen er i sektor 3 på 11,7 cm/s. Den gjennomsnittlige hastigheten til prøven gitt fra forsøket er på 12,5 cm/s, mot 7,6 cm/s i CFD-analysen.

De områdene hvor man ser best sammenheng mellom resultatene fra forsøket og CFDen er ved sektor 2 og 3. Spesielt mellom punkt 17-18 og 47-48 er avvikene små. Standardavviket for den estimerte hastigheten er på ±1,7 cm/s og ± 2,8 cm/s for CFD. Det er dermed en større variasjon i hastighetene fra CFD-analysen enn det som er estimert fra forsøket.

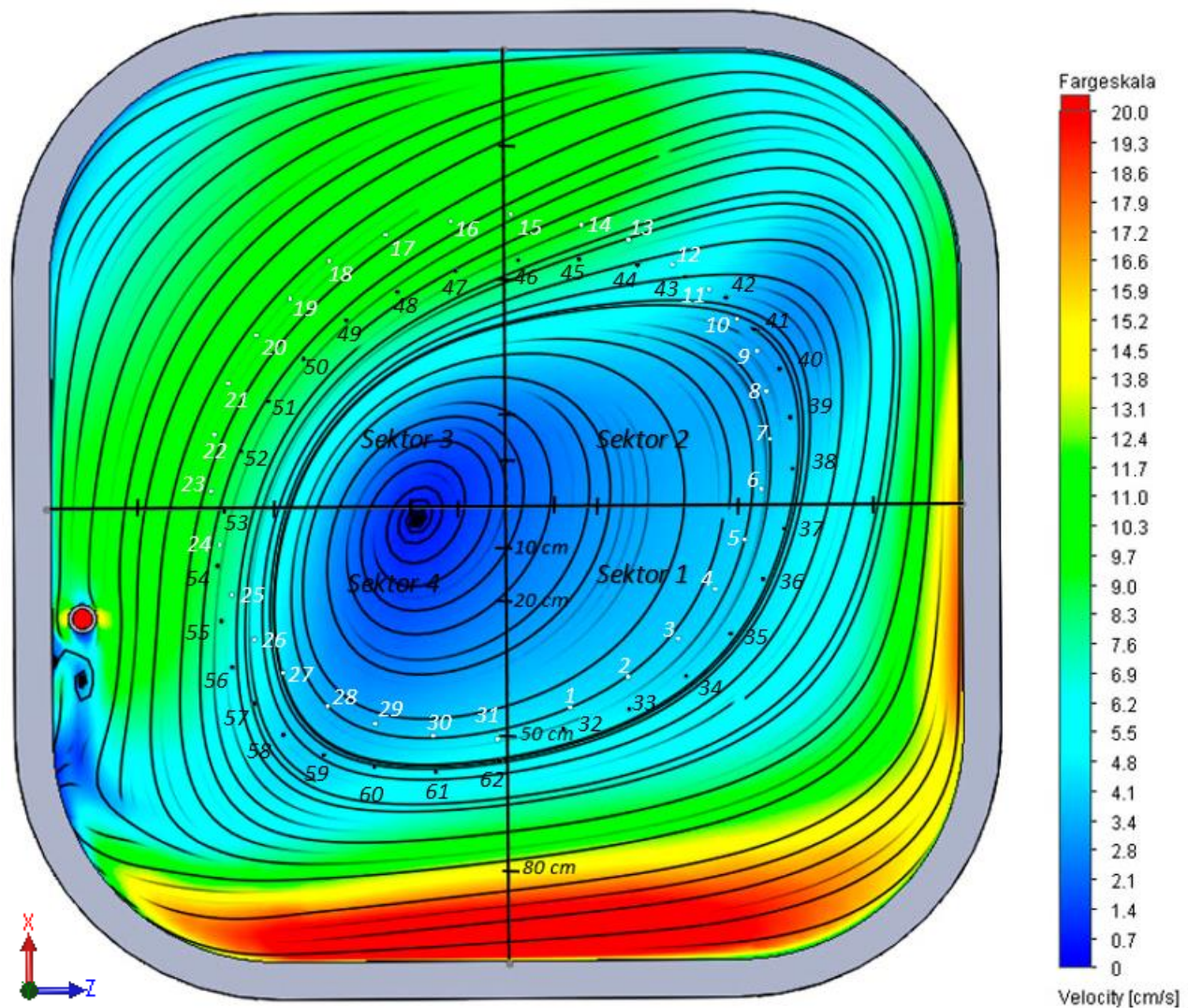
Standardavviket på differansen er på ± 2,7 cm/s, ± 0,6 cm/s høyere enn for forsøk 3.

Bane

Av figur nr.50, kan man også se at prøven følger en strømningslinje fra start til halvveis gjennom sektor 2. Her bryter den ut, før den igjen følger en strømningslinje fra starten av sektor 3. Herfra følger prøven strømningen og danner en mer elliptisk form i runde 2 (sorte punkter).

Prøven blir sluppet 50 cm fra senter og etter to runder har radien økt med ca.20 cm.

6.2.2 Forsøk nr. 6.



Figur 51. CFD-analyse av volumstrøm nr.1 med plassering til prøver over. Forsøk nr. 6.

Tabell 17. Sammenligning mellom CFD og estimert hastighet. Volumstrøm nr.1 radius 50 cm. Forsøk 6

Start-sluttpunkt, (sektor)	Estimert Hastighet (cm/s)	Hastighet CFD (cm/s)	Differanse (cm/s)
2-3 (1)	12,1	5,5	6,6
5-6 (1/2)	10,4	4,8	5,6
8-9 (2)	8,2	4,5	3,7
11-12 (2)	8,1	6,1	2
14-15 (2)	14,5	11,0	3,5
17-18(3)	12,1	11,7	0,4
20-21 (3)	10,4	11,7	-1,3
23-24(4)	10,0	10,3	-0,3
26-27(4)	10,5	6,2	4,3
29-30(4)	12,2	4,8	7,4
32-33(1)	12,6	6,2	6,4

Tabell 17. Forts

Start-sluttpunkt, (sektor)	Estimert Hastighet (cm/s)	Hastighet CFD (cm/s)	Differanse (cm/s)
35-36(1)	10,7	5,5	5,2
38-39(2)	9,7	4,8	4,9
41-42(2)	8,6	3,4	5,2
44-45(2)	11,7	6,9	4,8
47-48(3)	11,2	10,3	0,9
50-51(3)	11,2	11,0	0,2
53-54(4)	10,8	8,3	2,5
56-57(4)	8,2	6,0	2,2
59-60(4)	12,6	5,2	7,4
GJ. Snitt	10,8	7,2	3,6(33%*)
SD	± 1,7	± 2,8	± 2,7
ΔV	4,5	8,3	8,7

*Prosentuelle gjennomsnittforskjellen mellom CFD og estimert hastighet.

For å kunne undersøke reproduserbarheten i forsøket, har det blitt tatt med to forsøk av samme situasjon. Forsøk 4 og 6 sees derfor opp mot hverandre. Prøven ble sluppet 50 cm fra senter i dette tilfellet også.

Hastighet

Den estimerte gjennomsnittshastigheten fra forsøk nr. 6 er på 10,8 cm/s, mot 7,2 i CFD-analysen. Gjennomsnittlig differanse mellom CFD og forsøk på 3,6 cm/s. Prøven beveger seg i en annen bane, så hastighetene noe av dette forskjellig. Det er ingen sektorer i forsøk nr.4 eller nr.6 som klart skiller seg ut fra hverandre.

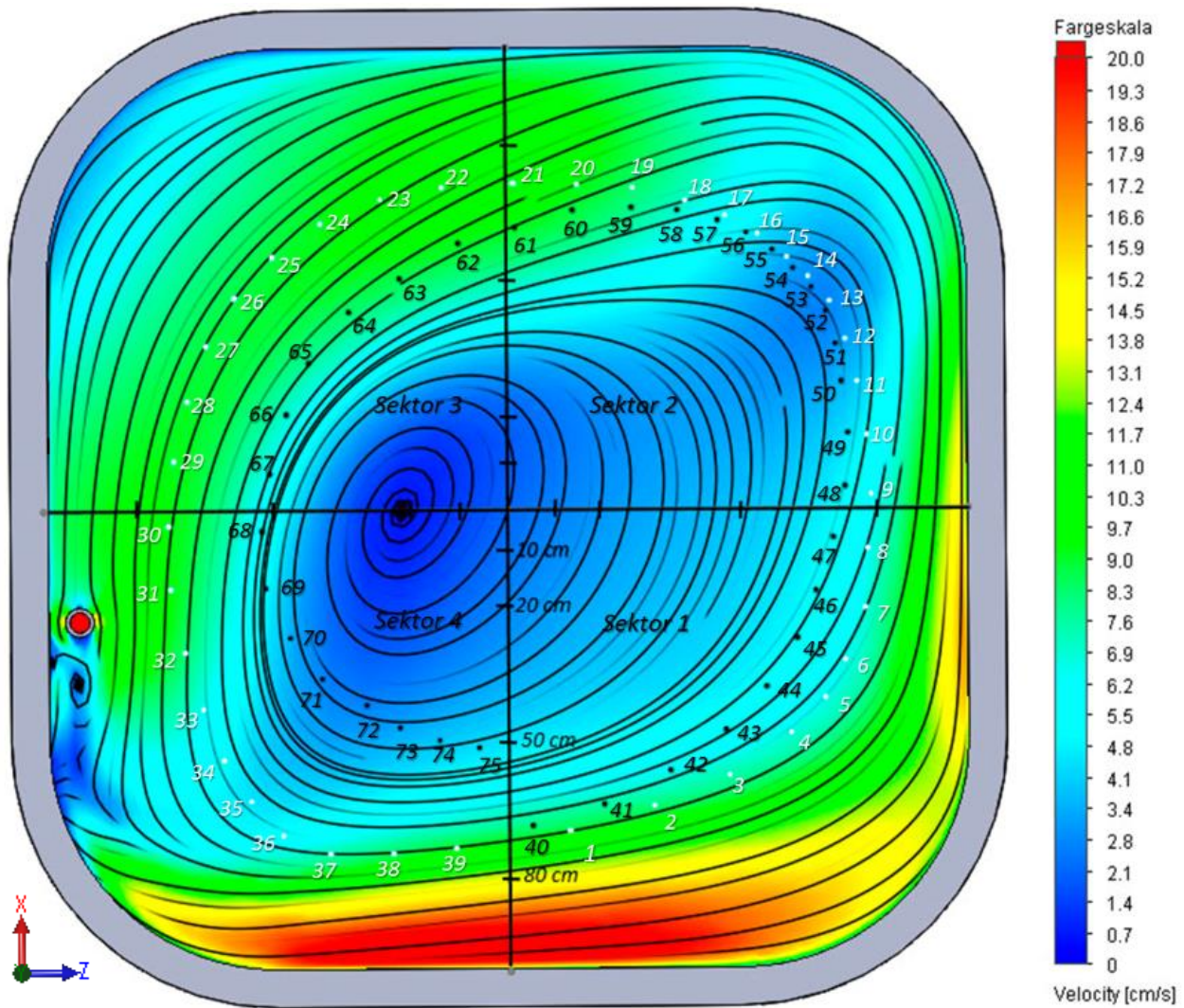
Standardavviket i til den estimerte hastigheten i forsøk 4 og 6 er meget likt, det skiller kun $\pm 0,1$ cm/s. Det samme gjelder for hastighetene fra CFD-analysen. Det skiller 1,7 cm/s mellom de gjennomsnittlige hastighetene fra forsøkene og 0,4 cm/s skiller fra CFD-analysene.

Selv om de gjennomsnittlige hastigheten avviker noe mellom forsøkene, er det stor likhet i spredningen til utvalgene.

Bane

I likhet med forsøk nr. 4 følger prøven en strømningslinje fra start til midten av sektor 2 (vist i figur 51.) Her bryter prøven ut, men ikke like stor grad som i forsøk nr.4. I midten av sektor 3 følger den igjen en strømningslinje til starten av sektor 4. I det prøven passerer sektor 4, følger den på ny en strømningslinje til midten av sektor 2. Deretter går den i likhet med første runde ut av strømningslinjen, før den følger en strømningslinje til midten av sektor 4. Banen prøven beveger seg i andre runde, har stor likhet med den banen som prøven beveger seg i på første runde i forsøk nr. 4. Videre kan man se av figur 50 og 51 at prøven beveger seg i en fasong som likner mye den elliptiske fasongen strømningslinjene har.

6.2.4 Forsøk nr. 17.



Figur 52. CFD-analyse av volumstrøm nr.2 med plassering av prøven over. Forsøk nr.17.

Tabell 18. Sammenligning mellom CFD og estimert hastighet. Strømning nr.2 radius 80 cm. Forsøk 17.

Start-sluttpunkt, (sektor)	Estimert Hastighet (cm/s)	Hastighet CFD (cm/s)	Differanse (cm/s)
2-3 (1)	17,3	7,6	9,7
5-6 (1)	8,6	6,5	2,1
8-9 (1/2)	11,0	6,5	4,5
11-12 (2)	9,1	4,0	5,1
14-15 (2)	5,9	3,7	2,2
17-18(2)	9,1	6,5	2,6
20-21 (2)	13,9	11,0	2,9
23-24(3)	13,6	11,5	2,1
26-27(3)	11,5	10,3	1,2
29-30(3/4)	13,0	11,0	2
32-33(4)	12,2	6,9	5,3
35-36(4)	9,6	5,5	4,1
38-39(4)	13,5	9,0	4,5
41-42(1)	15,8	7,0	8,8
44-45(1)	12,1	5,6	6,5

Tabell 18. Forts

Start-sluttunkt, (sektor)	Estimert Hastighet (cm/s)	Hastighet CFD (cm/s)	Differanse (cm/s)
50-51(2)	7,9	4,1	3,8
53-54(2)	5,2	3,4	1,8
56-57(2)	5,8	4,8	1
59-60(2)	12,1	9,0	3,1
62-63(3)	14,2	10,3	3,9
65-66(3)	11,4	8,3	3,1
68-69(4)	11,2	6,9	4,3
71-72(4)	10,8	3,4	7,4
74-75(4)	8,4	4,1	4,3
GJ.Snitt	10,9	6,9	4,0 (36%*)
SD	± 3,0	± 2,6	± 2,2
ΔV	12,1	7,6	8,7

*Prosentuelle gjennomsnittforskjellen mellom CFD og estimert hastighet.

I dette forsøket har volumstrømmen inn blitt redusert fra 35,3 L/min til 32,8 L/min. 7% reduksjon fra strømnings situasjon nr.1. Prøven ble sluppet 80 cm fra senter. Se figur 52.

Hastighet

Gjennomsnittlig estimert hastighet i forsøket er på 10,9 cm/s, mot 6,9 cm/s i tilsvarende CFD-analyse. Differanse på 4,0 cm/s. Differansen mellom forsøk og CFD er minst fra punkt 56-57 i sektor to, med en differanse på 1 cm/s. Større likhet i sektor to og tre enn i sektor en og fire.

Volumstrømmen er redusert med 7% i forhold til forsøk nr. 4 og 6. Selv om volumstrømmen har blitt redusert, har ikke den gjennomsnittlige hastighet sunket tilsvarende mye. Dette kan forklares med at radien ved slipp-linjen økte fra 50 til 80 cm.

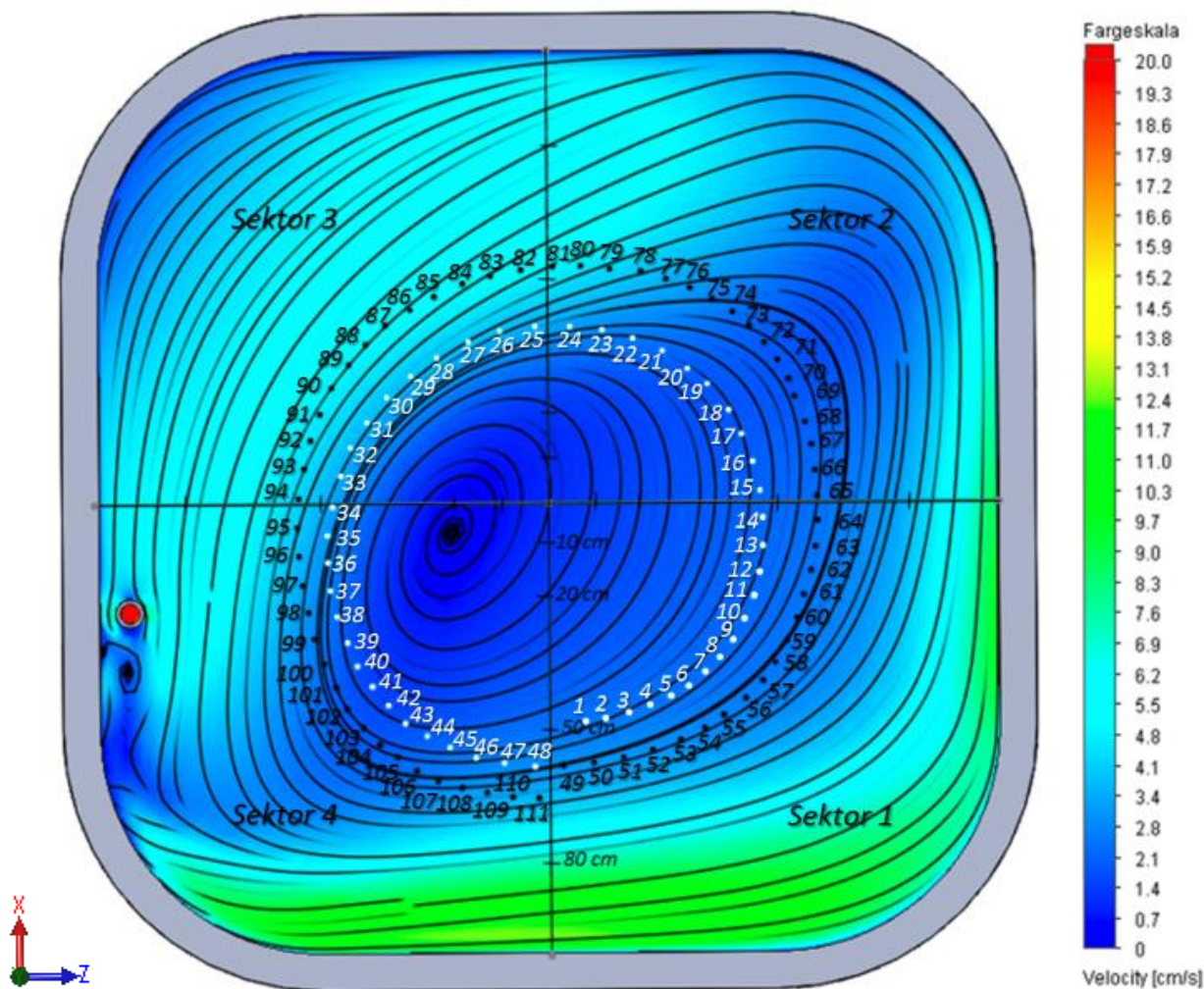
Standardavviket til de estimerte hastighetene fra forsøket er på $\pm 3,0$ cm/s og $\pm 2,6$ cm/s for CFD-analysene. Det er i forsøk nr.17 størst spredning i de estimerte hastighetene av de vurderte situasjonene, mens for CFD-analysene er det større spredning i forsøk 4 og 6.

I enkelte av punktene er den estimerte hastigheten fra forsøket over det dobbelte av hva som kommer fram av CFD-analysen. Dette gjelder blant annet fra punkt 2-3,11-12, 71-72(tabell 18).

Bane

Fra slippunktet ved 80 cm beveger prøven seg mot senter, før den blir tatt av strømmingen, den følger deretter strømningslinjene noenlunde bra i første sektor. Midtveis i andre sektor beveger prøven seg ut fra strømningslinjene fra CFD-analysen, se figur 52. Tidlig i sektor 3, fra punkt 24 til punkt 31 i sektor 4, følger prøven strømningslinjen godt. Den beveger seg derfra bort før den igjen kommer inn på en strømningslinje ved punkt 37. Når den igjen kommer inn i sektor nr.1 på andre runde (sorte punkter) beveger prøven seg med en mindre radius, og følger ikke strømningslinjen så godt som i første runde. I sektor 3 på andre runde følger prøven igjen bevegelsen til en strømningslinje, men ligger i grenseland mellom to hastighetssoner. I sektor 4 er det ingen klar indikasjon på at prøven følger en fast strømningslinje. I andre runde reduseres radien fra ca. 80 cm til 50 cm. En reduksjon på hele 30 cm i radius, i løpet av to runder.

6.2.5 Forsøk nr. 22.



Figur 53. CFD-analyse av volumstrøm nr.3 med plassering av prøven over. Forsøk nr.22.

Tabell 19. Sammenligning mellom CFD og estimert hastighet. Strømning nr.3 radius 50 cm. Forsøk 22.

Start-sluttpunkt(sektor)	Estimert Hastighet (cm/s)	Hastighet CFD (cm/s)	Differanse (cm/s)
2-3(1)	4,9	2,7	2,2
5-6(1)	4,6	2,7	1,9
8-9(1)	4,9	2,7	2,2
11-12(1)	5,5	2,4	3,1
14-15(1/2)	6,2	2,4	3,8
17-18(2)	5,9	2,2	3,7
20-21(2)	6,8	1,8	5
23-24(2)	7,1	2,8	4,3
26-27(3)	7,2	4,1	3,1
29-30(3)	6,9	4,5	2,4
32-33(3)	6,7	4,5	2,2
35-36(4)	6	4,1	1,9
38-39(4)	5,9	3,8	2,1
41-42(4)	5,5	3,4	2,1
44-45(4)	5,6	3,4	2,2

Tabell 19. Forts

Start-sluttpunkt, (sektor)	Estimert Hastighet (cm/s)	Hastighet CFD (cm/s)	Differanse (cm/s)
50-51(1)	6,7	3,2	3,5
53-54(1)	5,8	3,2	2,6
56-57(1)	5,2	3	2,2
59-60(1)	5,4	3,7	1,7
62-63(1)	5,5	3,7	1,8
65-66(2)	5,7	3,4	2,3
68-69(2)	6,1	2,1	4
71-72(2)	4,8	2,8	2
74-75(2)	5	3,4	1,6
77-78(2)	6	4	2
80-81(2)	6,6	4,8	1,8
83-84(3)	6,6	5,5	1,1
86-87(3)	6,1	5,5	0,6
89-90(3)	6,2	5,2	1
92-93(3)	6,4	4,8	1,6
95-96(4)	6,4	4,3	2,1
98-99(4)	6,1	4	2,1
101-102(4)	5,4	3,1	2,3
104-105(4)	4,8	2,9	1,9
107-108(4)	5,4	3,6	1,8
110-111(4)	5,8	4,2	1,6
GJ.Snitt	5,9	3,5	2,3(40%*)
SD	± 0,7	± 0,9	± 0,9
ΔV	2,4	3,7	3,7

*Prosentuelle gjennomsnittforskjellen mellom CFD og estimert hastighet.

I forsøk nr.22 var volumstrømmen inn på 18,8 L/min. 48% reduksjon fra volumstrøm nr.1 og 42% reduksjon fra volumstrøm nr.2. Utvalget i forsøket består av 37 avstander, 74 punkter.

Hastighet

Gjennomsnittlig estimert hastighet i forsøket er på 5,9 cm/s, mot 3,5 cm/s i tilsvarende CFD-analyse. Differanse på 2,3 cm/s. Differansen mellom forsøk og CFD er minst fra punkt 86-87, sektor 3, med en differanse på 0,6 cm/s. Det er ingen gjennomgående indikasjon på at differansen er større eller mindre i enkelte sektorer i dette forsøket, i motsetning til tidligere, der sektor 2 og 3 har pekt seg ut med liten differanse.

Volumstrømmen er redusert betraktelig i forhold til volumstrøm nr. 1. Fra forsøk nr.4 og 6 ble den gjennomsnittlige hastigheten fra CFD på henholdsvis 8,3 cm/s og 7,6 cm/s, noe som er 2,4 og 2,1 ganger så stor som den målt i forsøk nr.22. Reduksjonen i den gjennomsnittlige hastigheten fra forsøket følger reduksjonen i volumstrømmen, hastighetene fra CFD-analysen reduseres derimot ikke like mye.

Standardavviket til de estimerte hastighetene fra forsøket er på $\pm 0,7$ og $\pm 0,9$ for CFD-analysene. Selv om det er et tallmessig lavt standardavvik for differansen ($\pm 0,9$), så er den prosentuelle standardavviket på lik linje med de tidligere forsøkene.

I enkelte av punktene er den estimerte hastigheten fra forsøket over det dobbelte av hva som kommer fram av CFD-analysen. Dette gjelder blant annet fra punkt 8-9,11-12, 14-15, 68-69 (tabell 19).

Differanse på 2,4 cm/s (ΔV) mellom ytterpunktene fra forsøket og 3,7 cm/s (ΔV) i CFD-analysen. Det er mindre spredning i dette forsøket, enn de foregående.

Bane

Fra slippunktet ved 50 cm beveger prøven seg mot senter, før den blir tatt av strømmen, den følger deretter strømmingen fra første til tredje sektor. Men i fjerde sektor beveger prøven seg ut fra strømningslinjene fra CFD-analysen, se figur 53. Gjennom fjerde sektor krysser prøven 7 strømningslinjer. Når den igjen kommer inn i sektor nr.1 på andre runde (sorte punkter) beveger prøven seg med en større radius og følger strømningslinjen godt gjennom første sektor. I sektor 2 på andre runde går prøven ut av strømningsbanen, slik som sett på tidligere forsøk, før den igjen kommer inn på en linje i midten av sektor 3. I sektor 4 bryter prøven 9 strømningslinjer før den passerer slipp-linjen med radius på ca. 65 cm.

6.3 Feilkilder og forbedringspotensialet i tidlig forsøk.

Tids- og kostnadsbegrensinger førte til at man ikke kunne utvikle forsøket med frie tøyler. Det er derfor forbundet en rekke feilkilder til forsøket, flere av disse kunne blitt redusert ved en eventuell videre utvikling av forsøket. Det er ikke stor påvirkning som skal til for å gjøre store utslag på resultatene.

6.3.1 Feilkilder.

Når kameraet filmet forsøkene over senter av karet, oppsto det en liten forskyvning mellom målingene. Denne forskyvningen har blitt korrigert for i alle resultater og målinger, men kan ha påvirket resultatene noe.

Ved plassering av prøven ved slipp punktet ble en pinsett benyttet, slik at man kunne ha en så lik utplassering som mulig. Det hendte at prøven ble litt hengende igjen på tuppen av pinsetten, noe som kan ha hatt en liten innvirkning på den videre banen til prøven.

Adobe Photoshop CS5 har blitt benyttet til å danne et bilde av hvordan prøven beveger seg i de enkelte forsøk. Dette gjøres ved å «legge» et og et bilde oppå hverandre, for så å slå sammen disse til et enkelt bilde. I denne prosessen kan det hende at det har oppstått forskyvninger mellom de ulike bildene.

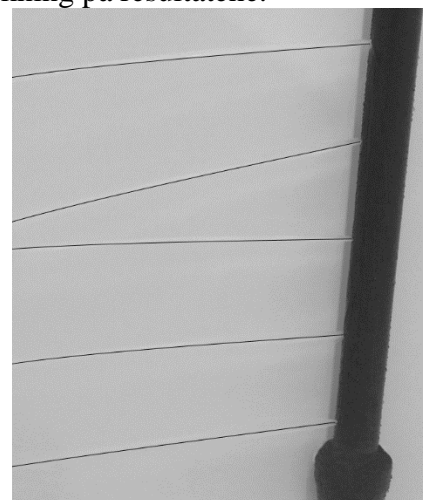
Farten som er avlest fra CFD-analysen er gjort ut fra en fargeskala, denne skalaen påvirkes av ulike innstillinger på pc og skjerm. De ulike fargene kan også tolkes forskjellig fra person til person, hastigheten blir derfor en subjektiv vurdering.

Det har blitt lagt stor vekt på at det fysiske karet og 3D-modellen skal være identiske. Derfor har det blitt gjort en rekke målinger på karetets dimensjoner, de fleste er gjentatt tre ganger eller flere. Uavhengig av dette kan det ha oppstått en feil i målingene som har ført til en eller flere forskjeller. Avhengig av størrelsen på disse ulikhetene så vil dette ha en vis innvirkning på resultatene.

Distribusjonsrøret til karet har 5 stk. innløp som er boret ut. Forsøket ble først utført 18.02.2016, men bilder fra innløpsarrangementet viste at utboringene ikke var utført ordentlig. Dette resulterte i en ujevn vanntilførsel (figur 54). På bakgrunn av dette måte innløpet bores opp på ny, slik at innstrømningen ble jevn. Alle forsøk ble deretter utført på ny 01.03.2016.

Strømningsmønstre er under konstant endring som følge av turbulens og ujevnheter i utformingen. Dette kan man se fra Reynoldstallet, som viser en fullt utviklet turbulent strømning. Hadde det vært mulig å få CFD og forsøket til å være på nøyaktig samme tidspunkt under hele prosessen ville dette vært optimalt. Det vil si at man startet å fylle opp vannet likt, sliper prøven ved samme tidspunkt osv.

Målingene har som tidligere nevnt blitt fotografert, deretter har bildene blitt analysert i 3D-Modelerings programmet SolidWorks.



Figur 54. Bilde av innløp før korleksjon. Strømlinjene er fremhevet med sorte linjer.

Her ble avstandene mellom hvert enkelt punkt målt med utgangspunkt i senter av forsøksprøven. Det kan ha oppstått feil eller forskyvninger i enkelte av disse målingene.

Distribusjonsrøret er tilkoblet det lokale VVS anlegget til Ås kommune, dette kan har resultert i av volumstrømmen inn varierte noe under forsøkene.

Det største usikkerhetsfaktoren i forsøket kommer som følge av meshen. Meshen angir oppdelingen av antall celler i volumet. En fin mesh medfører en mer realistisk CFD-analyse. Når meshen blir grov klarer ikke strømningsanalysen og fremstille alle små virvler. Hadde Reynoldstallet for forsøkssituasjonene vist at strømmingen er laminær ville man ikke sett like store forskjeller, ettersom det ikke vill være ustabile virvler som påvirket resultatene i like stor grad. Meshen som blir brukt har da ikke klart fange opp alle de turbulente virvlene i karet, og har således vært for grov.

6.3.2 Forbedringspotensialet.

Ettersom dette var et tidlig forsøk finnes det mange rom for forbedringer. Kostnadsbegrensingene ført til at det ikke ble brukt en digital strømningsmåler som beskrevet i kapittel 3.5.2. Med en slik måler kunne man ha målt strømmingen i hele karet, dette ville også redusert usikkerhetsmomentet knyttet til målingene.

Ventemerden innløpsarrangementet skal plasseres i er sirkulær og har en diameter på 13,5 meter, mens forsøket ble utført på en mye mindre, ikke sirkulært kar. Optimalt skulle forsøkene ha blitt utført på en tank med lignende utforming og innløpsarrangement.

For at det ikke skulle bli noen forskyvning mellom målingene, kunne det ha blitt benyttet en annen linse på filmkameraet.

I utgangspunktet burde alle analyser bli gjennomført med så fin mesh som mulig, men dette medfører at CPU-tiden økes drastisk. Derfor ble ikke det fineste meshen valgt.

6.4 Konklusjon fra forsøk og sammenligning.

6.4.1 Hastighet.

Det er gjennomgående stor forskjell mellom hastighetene som er målt fra forsøket og den strømningshastigheten som kommer fram av CFD-analysene med enkelte områder der differansen er mindre. Kan se ut som om differansen blir mindre ettersom volumstrømmen senkes, men det er vurdert for få situasjoner til å gi en klar indikasjon på dette. I gjennomsnitt er de målte hastighetene 39,0% høyere enn hastighetene fra CFD-analysene, dette gjelder for alle vurderte forsøk.

Det er de samme områdene hvor det stor forskjell og likhet. Sektor to og tre har en tendens til å ha en mindre differanse enn sektor 1 og 4. Dette kan forklares med at sektor fire og en er mer utsatt for turbulens, som følge av innløpsarrangementet i karet. Mens sektor to og tre ikke påvirkes av turbulens i like stor grad.

CFD-analysen viser at det er størst hastighet langs veggen ved sektor fire og on. Deretter synker den gradvis ettersom avstanden øker. Ved senter er det en veldig lav strømningshastighet, med en virvel plassert til venstre for senter, denne danner en turbulens utover i karet. Rundt distribusjonsrøret dannes det også turbulens. Det oppstår en stagnasjon i det strømmingen treffer røret, deretter oppstår en separasjonssone med påfølgende turbulens på baksiden av innløpet

(kapittel 3.3.4). Den mest stabile strømmingen oppstår i en radius på ca. 75 cm fra senter, her blir ikke strømmingen i like stor grad påvirket av virvelen til venstre for senter, eller av turbulensen fra innløpet. I flere av de analyserte segmentene er hastigheten fra forsøket godt over det dobbelte av hva som kommer fram av CFD-analysen. Det er store variasjoner mellom de to analysemetodene, men resultatene viser klare sammenhenger i ulike områdene. Bakgrunnen for den store forskjellen i de enkelte områdene kan forklares av turbulens i flere områder og en noe ujevn tilstrømning ved innløpene.

Spredningen er minst når volumstrømmen er minst, dette er også i dette tilfelle at strømningshastigheten er på det laveste.

6.4.2 Bane.

Av de utvalgte forsøkene, er det som ved hastighetsmålingene store variasjoner mellom strømningslinjene og banen prøver beveger seg i. Forsøk nr.3 skiller seg mest ut av de valgte forsøkene, ettersom prøven ikke viser noen tegn til å følge den elliptiske formen som strømningslinjene har. Sett bort fra dette forsøket viser alle de resterende forsøk at prøven følger strømningslinjene i større eller mindre grad. Tendenser som går igjen i alle forsøkene er at prøven følger strømningslinjen meget godt i sektor 1 og halvveis gjennom sektor to, før den bryter ut for så å komme inn på en ny strømningslinje i sektor tre. Denne følges til sektor fire der den nok en gang bryter ut og kommer inn igjen på ny strømningslinje rett før slipp-linjen.

Det er de samme indikasjonene på alle tre volumstrømmene.

I enkelte seksjoner beveger prøven seg helt klart bort fra strømmingen, dette oppstår blant annet mellom punkt 18-19 i forsøk nr. 3. Denne situasjonen sammen med enkelte andre lignende situasjoner kan komme som et resultat av turbulens fra innløpet og sekundære strømmer eller en kort forandring i volumstrømmen ved innløpet.

Totalt kan man si at prøven bevegde seg i en bane som stemte godt overens med de strømningslinjene som CFD-analysene viser, men at det er områder der banen skiller seg noe ut.

7. Produktspesifisering og konseptgenerering.

Med bakgrunn i resultatene fra tidlig forsøket og CFD-analysene som er utført vil det foreslåes nytt innløpsarrangementet. Først blir egenskapene til innløpsarrangementet gjennomgått og vektlagt, før man ser på det gjeldende regelverket. I en konseptgenereringsfase vurderes ulike funksjoner for innløpsarrangementet. Vurderingen danner grunnlaget for de ulike løsningene som blir presentert.

7.1 Produktmålsetning og egenskaper.

Hovedmål for produktutviklingsprosessen:

Implementere erfaringer fra tidlig forsøk og CFD-analyser inn i utviklingen og design av et nytt innløpsarrangement

7.1.1 Krav og ønsker fra Bremnes Seashore.

Krav

Kravene som er satt fra Bremnes Seashore er et resultat av erfaring fra lignende produkter, samt krav til fiskehelse. Kravene omfatter:

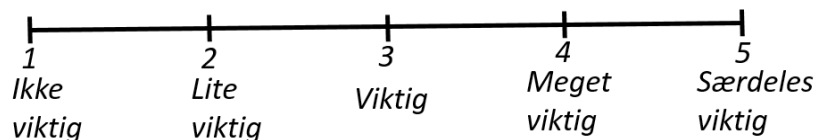
- Volumstrøm inn i tanken på totalt 30000 L/min.
- Innløpsarrangementet kan ikke plasseres inne i tanken, den vil da være i veien for senkeskottet.

Ønsket oppnådd

- En strømningshastighet mellom 5-20 cm/s i hele tankvolumet.
- Høy grad uniformitet i strømningshastighet
- Høy grad av uniformitet i strømningsmønster

7.1.2 Produktegenskaper.

Bremnes Seashore ønsker at innløpet skal bli utviklet med tanke på funksjonalitet. Egenskapene blir vektet etter følgende skala.



Figur 55. Vektskala for produktegenskaper.

Tabell 20. Rangering av produktegenskaper.

Egenskap	Beskrivelse	Vekting
Uniformt strømningsmønster	Strømningsmønster er så likt som mulig i hele tankens volum.	5
Uniform strømningshastighet	Strømningshastigheten er så likt som mulig i tankens volum	5
Fiskevelferd	At produktet ikke fører til unødvendig stress eller noen form for skade på fisken.	4
Drift	Enkel å drifte.	2
Vedlikehold og rensing	Krever lite vedlikehold, enkelt å utføre. Kommer lett til ved vask.	2
Produksjonskostnad	Lave kostnader knyttet produksjon.	3
Design	Produktet har et tiltalende design.	2

Av rangeringen i tabell 20 kan man se at innløpsarrangementet vil bli designet slik at man oppnår et så uniformt strømningshastighet og- mønster som mulig. Dette er hovedmålsettingen for utviklingen av produktet og vektet derfor tyngst med 5. Fiskevelferd er viktig for å oppnå høy kvalitet på fiskekjøttet og vektet med 4. Drift av tanken bør være så enkel som mulig, men ettersom produktet stor grad er selvstyrt allerede, vektlegges 2.

Vedlikehold og vask gjennomføres regelmessig, dette må kunne gjøres hurtig og effektivt for å forhindre unødvendig nedetid i produksjonen, vektet med 2. Kostnadene knyttet til produksjon er betydelige, da det snakkes om et innløpsarrangement av stor skala. Kostnadene ønskes minimert, uten at det går for mye utover konseptet. En god løsning sørger for at man kan redusere kostnadene i andre produksjonsledd og produsere mer. Kostnadene knyttet til en nytt innløp vil derfor fort bli tjent inn. Av denne grunn vektlegges produksjonskostnadene med 3.

Designet er i utgangspunktet ikke avgjørende for at løsningen skal fungere godt, men Bremnes Seashore har regelmessig besøk av personer som ønsker å se på de ulike løsningene som har blitt brukt i oppdrettsanlegget, vektet 2.

7.2 Metriske spesifikasjoner.

Innløpsarrangementet må tilfredsstillere kravet om volumstrøm inn i tanken og utskiftningstid for å opprettholde oksygenivået i tanken, samt sørge for god fiskevelferd.

Tabell 21. Grovspesifikasjoner for tank med innløpsarrangementet.

Spesifikasjon	Mål	Enhet
- Mål på tank		
Høyde på tank	8	m
Innvending diameter	13,5	m
Diameter utløp	1,0	m
Diameter sigar	2,0	m
Lysåpning sigar	30	%
Høyde sigar	6	m
- Mål på innløpsarrangement		
Volumstrøm inn i ventemerden	30000	L/min
Utskiftningstid	30	min

I tabell 21 vises de ulike målene på tanken med innløpsarrangementet. Målene på tank og andre komponenter er tatt med slik at man kan ta de med i en CFD-analyse. Viktig at alle komponenter som påvirker strømningsanalysen medbringes i simuleringen.

7.3 Gjeldende regelverk.

I forskrift om drift av akvakulturanlegg (akvakulturdriftsforskriften) fra 2008 blir det beskrevet en rekke krav for oppdrettsnæring. I kapittel 2 §5 først avsnitt heter det at driften skal være teknisk, biologisk og miljømessig forsvarlig. Videre heter det i tredje avsnitt at «*Driften skal være helsemessig og fiskvelferdsmessig forsvarlig*».

I kapittel 4 §54. første avsnitt heter det at fisk kan oppbevares maksimalt 6 døgn i slaktemerd. Syk og skadet fisk skal avlives så raskt som mulige. I andre avsnitt «*Fisk skal ikke plasseres i slaktemerd med miljøforhold som er særlig belastende for fisken, herunder temperaturer som overskrider fiskens toleransegrense.*»

Kapittel 3 § 24. Står det at «Innløps- og avløpssystem i landbaserte akvakulturanlegg skal utformes og vedlikeholdes på en måte som sikrer tilstrekkelig vanngjennomstrømning.

Akvakulturanlegget skal ha et reservesystem som ved svikt kan sikre fiskens grunnleggende fysiologiske behov med hensyn til oksygen og metabolitter.

Det skal foretas systematiske målinger av vannkvalitetsparametrene O_2 , pH, salinitet og temperatur. Kravet om måling av salinitet gjelder ikke når vannet utelukkende er fra en ferskvannskilde. Måling av pH gjelder ikke når vannet utelukkende er fra sjøen.»

I forbindelse med tankens utforming finnes en rekke krav, disse kravene går under kapittel 3. Særskilte krav ved produksjon av fisk. I §19. Installasjoner og produksjonsenheter står følgende:

«Installasjoner og produksjonsenheter skal:

- Være slik at fiskene har god mulighet for bevegelse og annen naturlig adferd, og eventuelt ha egnet substrat til støtte og skjul,
- Ikke ha skarpe kanter og fremspring eller bestå av et materiale som kan være skadelig for fisken.
- Medføre minimal risiko for skade og unødige påkjenninger, herunder ved utsett og innfangning.
- Være slik at det er enkelt å foreta inspeksjon av fiskene.
- Være slik at det er mulig å gi fiskene godt stell og god behandling, herunder effektiv medisinsk behandling for alle affiserte individer.
- Være tilrettelagt for godt renhold.
- Være godt egnet for stedet de skal brukes, under hensyn til bl.a. værforholdene.»

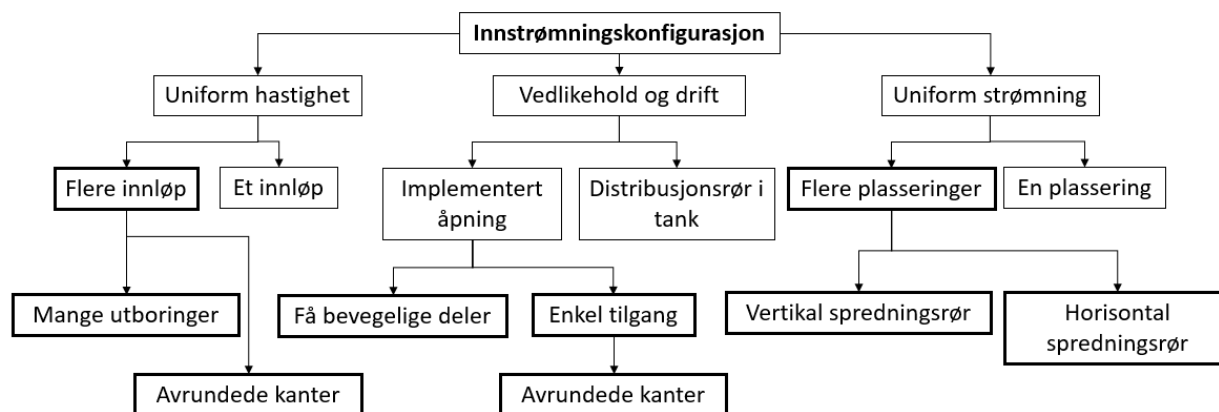
Lover og forskrifter er hentet fra lovdata sin sider(Lovdata 2008).

7.4 Konseptgenerering.

Her presenteres en funksjonsanalyse for innstrømningskonfigurasjonen. Denne dannet grunnlaget for tre ulike løsninger som blir presentert. For å ha en referanse, vil den eksisterende løsningen være en av disse. Benytter erfaring fra tidlig forsøket, pilotforsøk og litteraturstudiet som bakgrunn for utviklingen av ny innløpsarrangementet.

7.4.1 Funksjonsanalyse for innløpsarrangement.

Innløpsarrangementet må tilfredsstillere kravene fra Bremnes og kan ikke bryte med noen av paragrafene fra akvakulturdriftsforskriften, som beskrevet under kapittel 7.3. I funksjonsanalysen deles funksjonene for produktet opp for å gi et overblikk over de ønskede funksjoner.



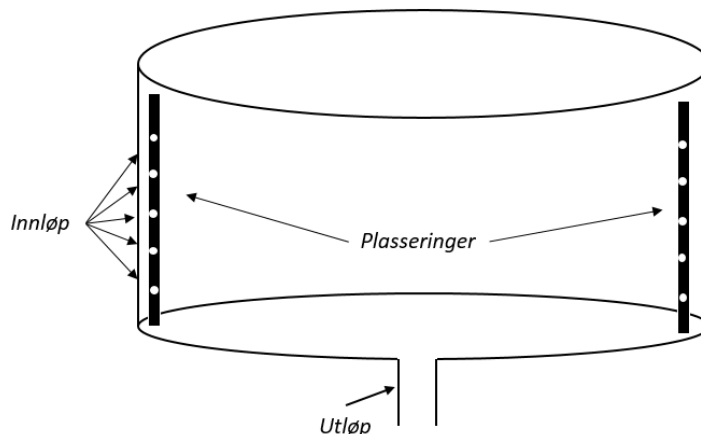
Figur 56. Funksjonsanalyse for innstrømningskonfigurasjon.

I kapittel 3.17 innløpsarrangement, anbefales det å benytte seg av flere distribusjonsrør ved flere plasseringer i tanken. Dette skaper et uniformt strømningsmønster og vannkvalitet. Fleire innløp fører til at strømningshastigheten reduseres ved hvert innløp og gir en lavere hastighet ved hvert innløp.

Resultater fra tidlig forsøket tilsier at spredningen i strømningshastigheten blir lavere når innløpshastigheten reduseres.

Senkeskottet beveger seg inn i tanken, det er derfor ikke egnet å ha distribusjonsrør plassert i tankvolumet implementerer derfor disse i tankveggen. Fra tidlig forsøket ble det også erfart at det er veldig små forandringer eller ujevnheter som skal til før det oppstår en turbulens. Ved å avrunde kanter forhindrer man at eventuell turbulens oppstår som følge av skarpe og ujevne kanter.

En kombinasjon av horisontal og vertikal distribusjonsrør, sørger for at man best uniformitet i dybden og utover i tankens diameter.



Figur 57. Tank med 2 stk. distribusjonsrør i tank. 5 stk. innløp per rør.
Kun vertikal distribusjonsrør.

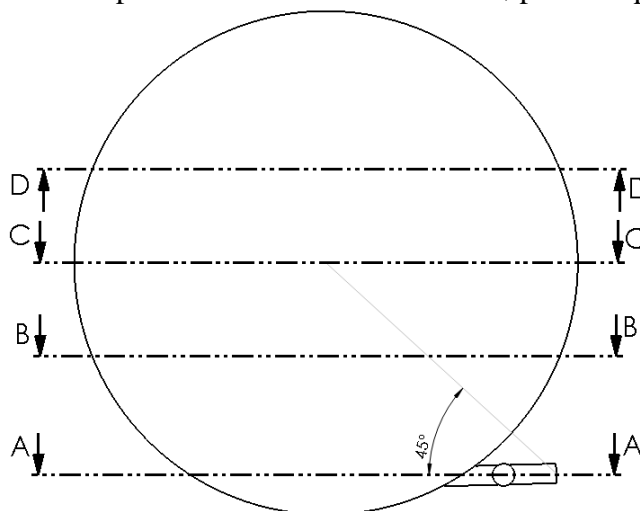
7.5 Løsningsalternativer

I utviklingen har det blitt lagt mest vekt på at de ulike alternativene fører til et så uniformt strømningsmønster og- hastigheter i hele tankvolumet.

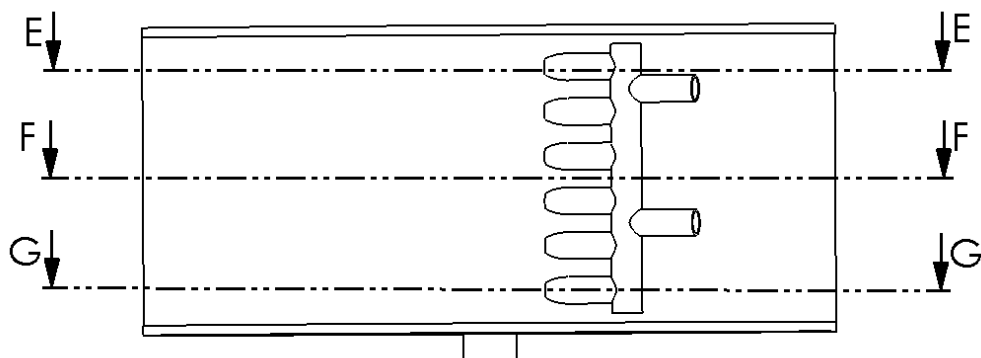
7.5.1 Eksisterende løsning

Tegning

Den eksisterende innløpsarrangementet består av 6 innløp med en diameter på 450 mm. Disse er skråstilt, slik at de har en vinkel på 45° fra senter av tank. Innløpet er implementert i tankveggen.

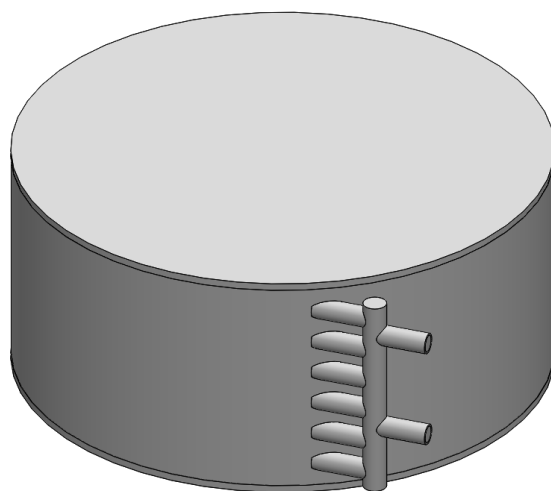


Figur 58. Tegning av eksisterende tank, sett ovenfra med snitt A-A, B-B, C-C og D-D.
Snittene benyttes til analysering senere.

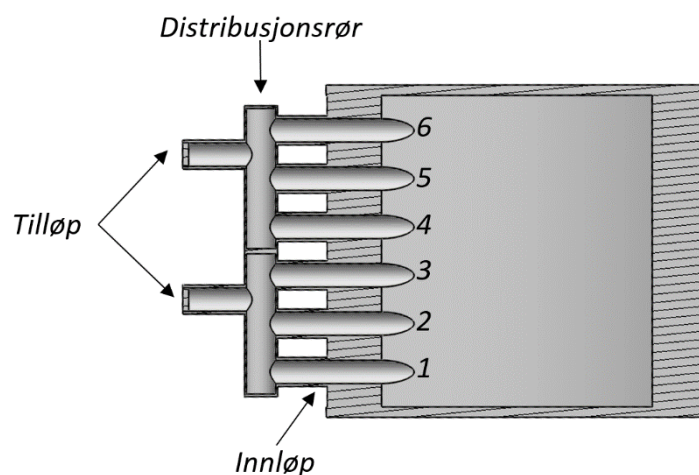


Figur 59. Tegning av eksisterende tank, snitt E-E, F-F og G-G benyttes videre for å analysere resultater.

Snittene benyttet i den eksisterende løsningen benyttes også i foreslåtte løsningsforslag. Like avstander mellom snitt og avstand til kanter, slik at man kan sammenligne snittene mot hverandre. Snittene benyttet i den eksisterende løsningen benyttes også i foreslåtte løsningsforslag. Like avstander mellom snitt og avstand til kanter, slik at man kan sammenligne snittene mot hverandre.

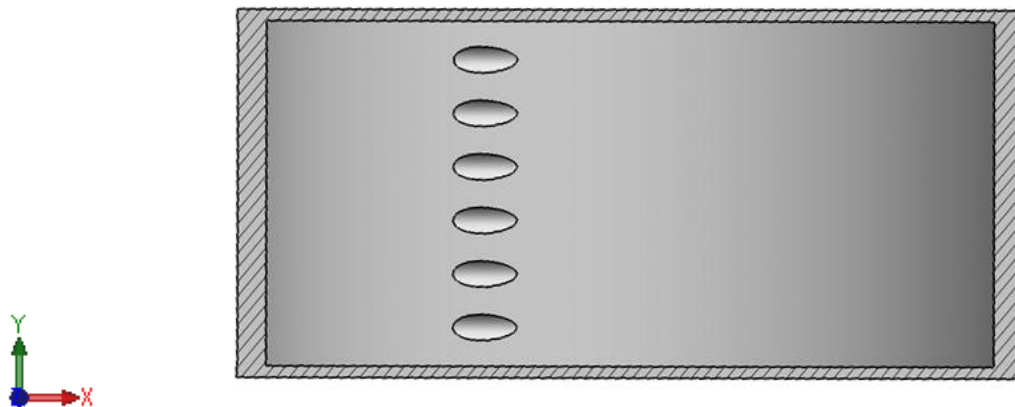


Figur 60. Eksisterende tank. Rendrert framstilling.



Figur 61. Tanken kuttet i snitt A-A. Tall viser nummering av innløpene fra 1-6.

Vannet tilføres i tilløpene og renner derfra inn i distribusjonsrøret, her fordeler vannet seg til innløpene (figur 61). Innløp har en indre diameter på 450 mm. Distribusjonsrøret er delt i to mellom innløp 3 og 4, slik at vannet skal fordele seg bedre. Tykkelsen på tanken er ikke skalerbar, da man har satt en ekstra tykk vegg i simuleringene.

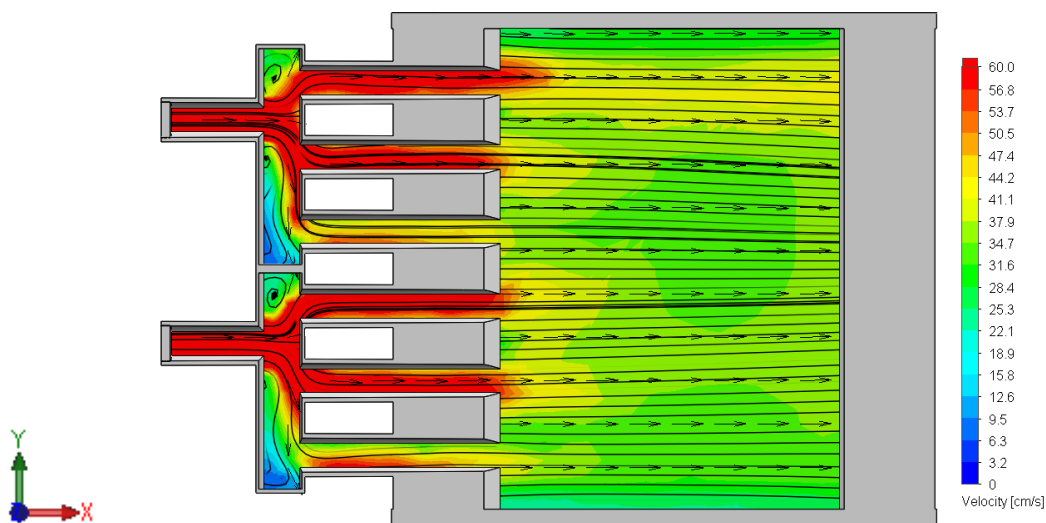


Figur 62. Tanken kuttet i snitt B-B.

Figur 62 viser hvordan innløpene ser ut fra innsiden av tanken, ettersom innløpet er vinklet 45° med tankveggen, får man et ovalt innløp som er i flukt med veggen.

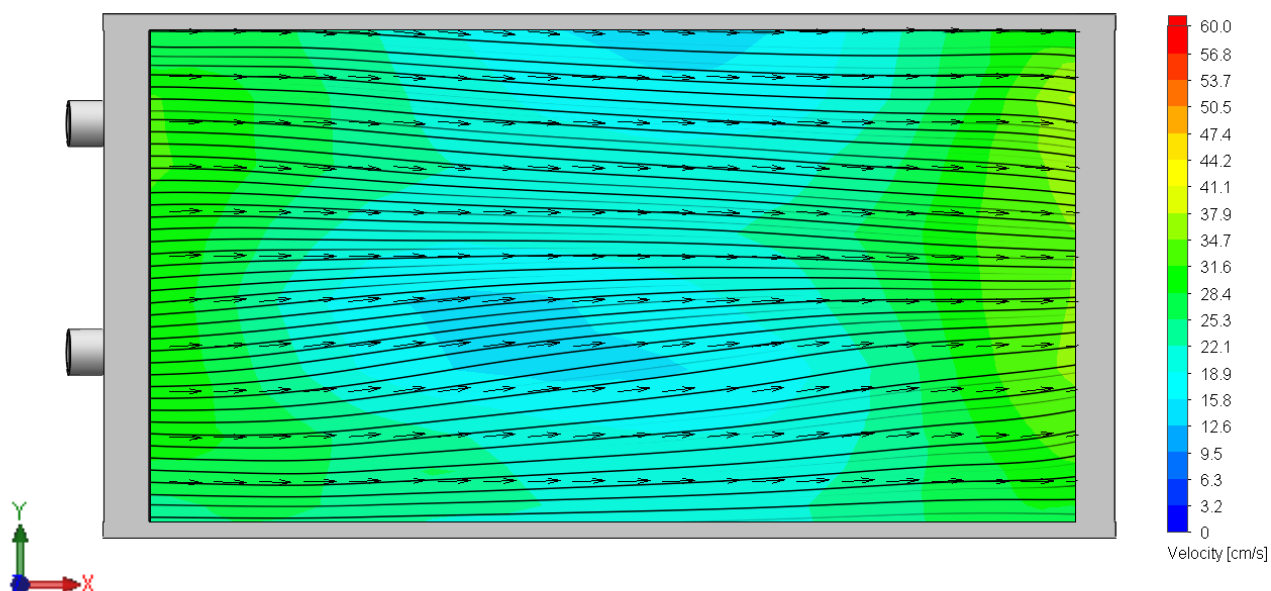
CFD-analyse

Resultatene fra CFD-analysen til den eksisterende tanken er framvist i figur 60.



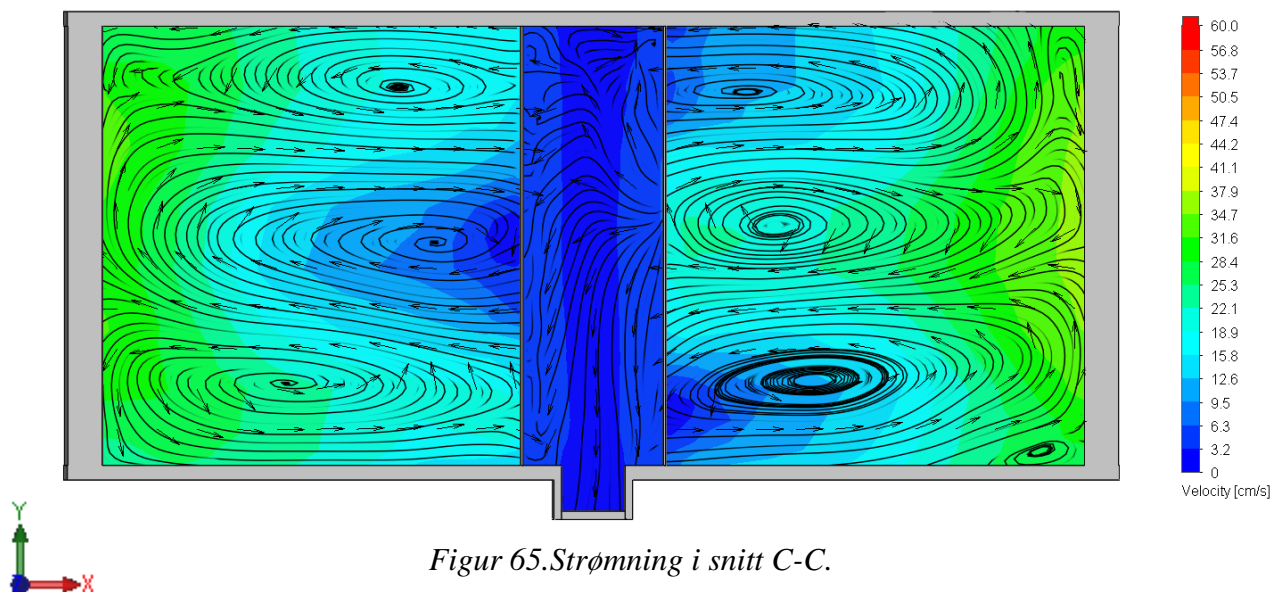
Figur 63. Strømning i snitt A-A. Fargeskala til høyre. Piler indikerer strømningsretning.

I figur 63 ser man vannet fra tilløpene og ut i tanken, snittet i A-A. Pilene indikerer strømningsretningen. Når vannet renner ut i distribusjonsrøret ser man at det oppstår turbulens. Det er litt variasjon på hastighetene i innløpene, vannet tar den veien med minst motstand. Den største opptredende strømningshastigheten i snitt A-A er ved tilløpene, her er hastigheten hele 182 cm/s. Den minste hastigheten er i distribusjonsrøret og er på 5,6 cm/s. Ser at hastigheten i tankvolumet varierer mellom 25 og 51 cm/s, med en høyere hastighet ved innløpene. Ved vurdering av løsningen, benyttes 25 cm/s som nedre grense i snittet, referert til som V_{\min} , øvre grense som er på 51 cm/s (V_{\max}) i tverrsnittet. Differansen mellom V_{\max} og V_{\min} indikerer spredningen i snittet ΔV . For avlesning av høyeste og laveste hastigheter i tverrsnittene benyttes programvaren SolidWorks, denne fremgangsmetodene gjelder for alle vurderte snitt.



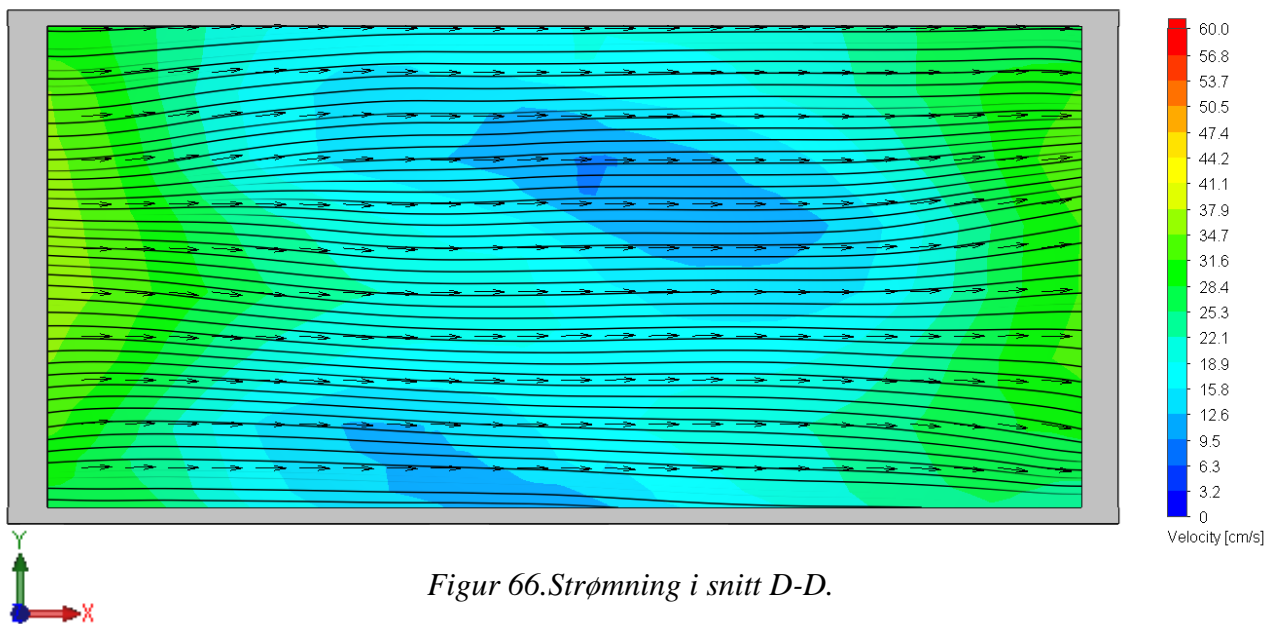
Figur 64. Strømning i snitt B-B.

I figur 64 har man en større variasjonsspredning i strømningshastigheten, største strømningshastighet på 37,5 i høyre ytterkantkant og minste på 12,4 cm/s i senter av snitt B-B. Pilene som indikerer strømningsretningen indikerer ikke at det er noe turbulens, de følger retningen ut fra innløpet i en tilnærmet rett linje. Hastigheten er noe redusert langs tankbunnen.



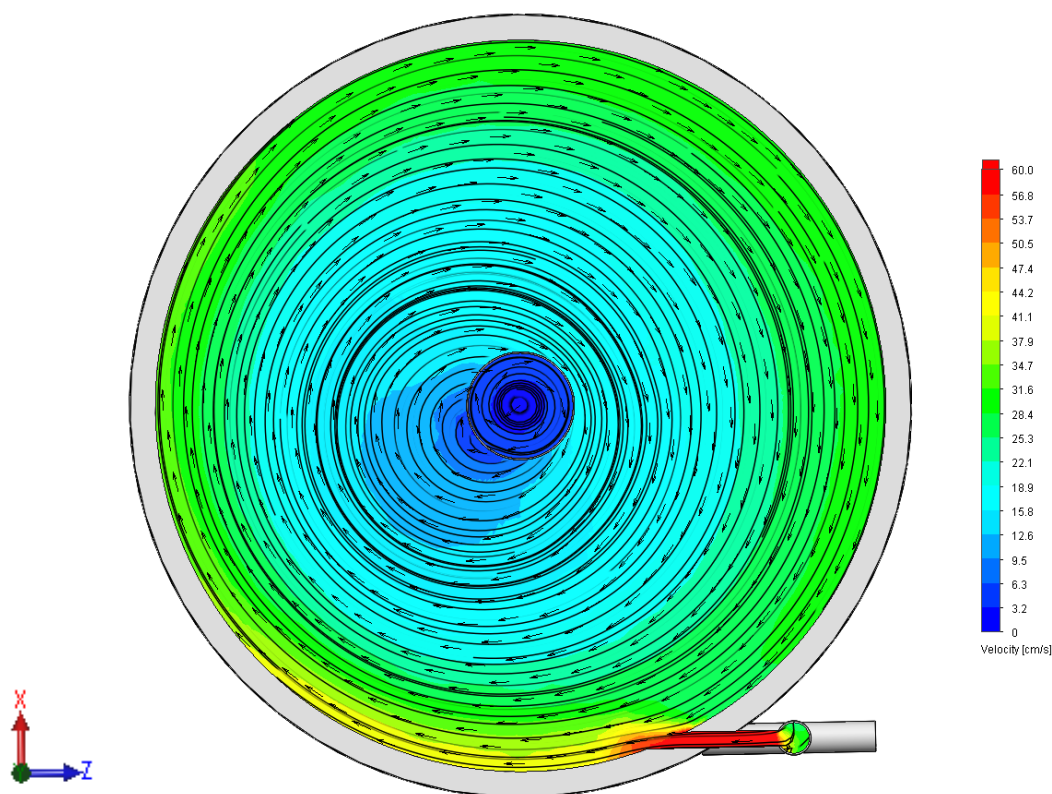
Figur 65. Strømning i snitt C-C.

I figur 65 dominerer de sekundære strømmene strømningsbilde. Det har dannet seg en s formet virvel rundt sigaren. Det er store variasjoner i hastigheten, i enkelte områder er hastigheten nede i 0,8 cm/s og i andre områder er hastigheten på 34,4 cm/s. De laveste hastighetene opptrer inne i sigaren hvor laksen ikke skal oppholdes, og er således ikke relevant for bruken, minste hastigheten utenfor sigaren er på 6,3 cm/s. Under kapittel 3.3.2 beskrives de sekundære strømmene, som fremtrer i snitt C-C. Det har blitt dannet 6 stk. virvler med tilhørende strømning rundt.



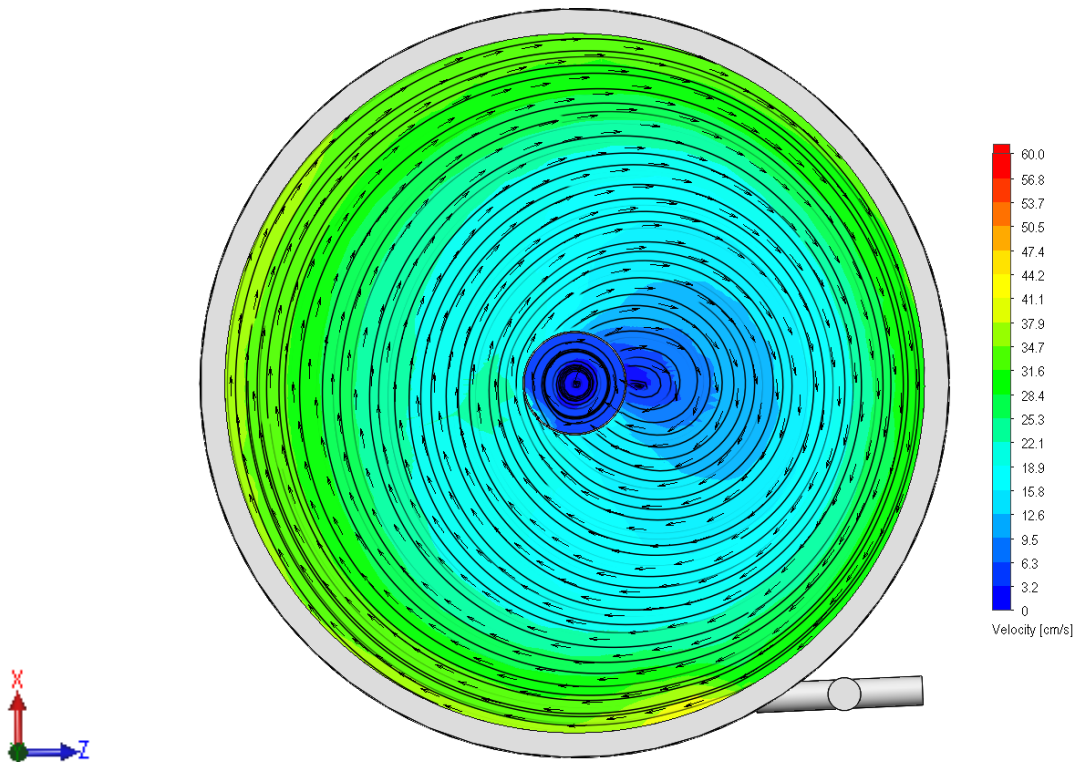
Figur 66. Strømning i snitt D-D.

I figur 66 er den eksisterende løsningen snittet i D-D, ser mange av de samme likhetstrekkene i dette snittet som i figur 65 (Snitt B-B). Store variasjoner i hastighet, med en strømning som går tilnærmet rett gjennom volumet. Største opptrædende strømningshastighet 37,8 cm/s, laveste 9,5 cm/s.



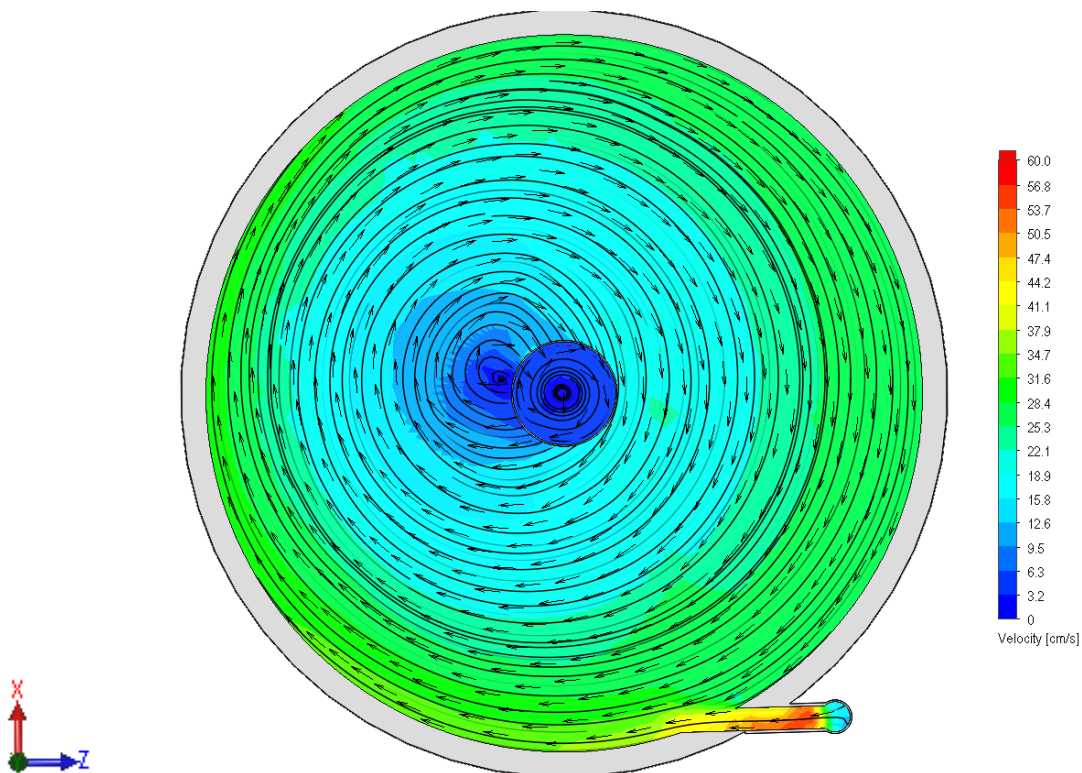
Figur 67. Strømning i snitt E-E.

Strømningspilene i figur 67 viser at vannet sirkulerer om senter av tanken, samtidig er det en stor variasjon i hastigheten her også. Strømningshastigheten er størst ved innløpet og langs tankveggen. Ser man bort fra hastigheten inne i sigaren og i distribusjonsrøret er største og minste hastighet i snittet 47 cm/s og 9,5 cm/s. Pilene og strømningslinjene i tanken viser derimot et veldig uniformt strømningsmønster uten turbulens.



Figur 68. Strømning i snitt F-F.

I figur 68 er det mange av de samme tendensene som i figur 67. I et område til høyre for sigaren er strømningshastigheten sunket noe, dette er et resultat av virvelen om sigaren, som ble observert i figur 65. Største strømningshastighet er på 42,3 cm/s, laveste 5,4 cm/s.



Figur 69. Strømning i snitt G-G.

I bunnen av tanken, snitt G-G er like ved utløpet som ligger i senter av sigaren. Strømningslinjene og pilene viser et uniformt strømningsbilde, det er noe turbulens til venstre for sigaren, men strømnings-hastigheten i området er såpass lav at det ikke går utover strømningsmønstre i særlig grad. Størst strømningshastighet sett bort fra distribusjonsrøret er på 41,1 cm/s. Laveste strømningshastighet er på 6,3 cm/s.

Tabell 22. Oversikt over differansen mellom største og minste strømningshastigheter i vurderte snitt. For eksisterende løsning.

Snitt	V _{maks} (cm/s)	V _{min} (cm/s)	ΔV(cm/s)
A-A	51	25	26
B-B	37,5	12,4	25,1
C-C	34,4	6,3	28,1
D-D	37,8	9,8	28
E-E	47	9,5	37,5
F-F	42,3	5,4	36,9
G-G	41,1	6,3	34,8
Gj.Snitt	41,6	10,7	31

Tabell 22. viser differansen mellom største og minste strømningshastighet i snittene. Disse resultatene vurderes opp mot tilsvarende resultater fra nye løsninger.

En sammenligning mellom egne resultater av den eksisterende tanken og tilsvarende resultater utført av Praxir presentert i kapittel 4.4, viser at det er klare forskjeller mellom analysen.

Praxir sine analyser viser en mye større strømningshastighet om senter av tanken en hva som framkommer av den egenutviklede analysen. I analysene fra Praxir viser ser også at det store områder i tanken der hastighetene er lave. Ellers så er det vanskelig å vurdere noen ytterligere forskjeller, da analysene fra Praxir benytter en såpass grov fargeskala at det vanskelig å se hastighetene eller strømningspilene. Når man heller ikke vet hvilket oppsett Praxir har benyttet seg av blir det vanskelig å utale seg om bakgrunnen for forskjellen. Det kan være store forskjeller i oppsettet som medfører avvikene.

7.5.2 Løsningsforslag nr.1

Før det foreslåes et nytt innløpsarrangement, gjøres det noen vurderinger basert på teorigrunnlaget og erfaringene fra tidlig forsøket. Bremnes Seashore ønsker en volumstrøm på 30 000 L/min inn i ventemerden som har et volum på 858,3 m³. I følge likning 3.3 fra kapittel 3.6 gir dette en teoretisk oppholdstid på 38 minutter og 36 sekunder. Det er ingen mulighet for å endre på dette, etter som dette er en av de fastsatte kravene og skal sørge for god vannkvalitet i ventemerden.

I dagens innløpsarrangement benytter Bremnes Seashore et vertikal innløp med en vinkel på 45° ut fra tankveggen. Dette er et effektivt alternativ mot det å benytte seg av et vertikalt og horisontalt distribusjonsrør (Michael & James 2012). Vurdering av vendbare innløp som kan justere vinkelen inn i tanken blir ansett som en heller dårlig løsning. En slik løsning vil medføre at man får en dyse inn i tanken som blir i veien for senkeskottet eller skaper turbulens.

Teorigrunnlaget viser at for større sirkulære tanker, med diameter over 6 meter, anbefales det å benytte seg av flere distribusjonsrør, ved forskjellige plasser i tanken. Dette skaper et uniformt strømningsbilde og vannkvalitet (Skybakmoen 1989; Tvinnerheim & Skybakmoen 1989)

Dette medfører at i løsningsforslag nr.1 økes antall distribusjonsrør fra et i den eksisterende løsningen til fire, som er symmetriske plasser rundt tanken. Samtidig økes antall innløp i hvert enkelt distribusjonsrør fra 6 til 7, på bakgrunn av strømningsanalysen fra den eksisterende løsningen. Totalt blir det

i løsning nr.1 28 innløp ($7 \cdot 4 = 28$ stk.). Antall innløp økes for å gi et mer uniformt strømningshastighet og- mønstre.

Strømningshastigheten i rør beregnes ut fra likningen:

$$v = \frac{4q}{d^2\pi} \quad (8.1)$$

Der q er volumstrøm i m^3/s og d er den indre rør diameteren. Likningen tar ikke hensyn til turbulens i røret, og gir et gjennomsnittlig estimat av strømningshastighet.

Ved øke antall innløp fra 6 til 28, reduseres volumstrømmen i hvert innløp fra 5000 L/min (30000 L/min /6 stk.) til 1071,4 L/min (30000 L/min /28 stk.), dette gjelder hvis det er en uniform fordeling av volumstrømmen og det ikke er turbulens i røret. 1071,4 L/min tilsvarer $0,0178 m^3/s$

Bremnes Seashore ønsker en strømningshastighet mellom 5-20 cm/s. Tar hensyn til eventuelle variasjoner i tanken og dimensjonerer rører slik at man oppnår en primær strømningshastighet på 12,5 cm/s, som er midt i mellom ytterpunktene på 5 og 20 cm/s.

I følge John Davidson, Steven Summerfelt (Davidson, John. & Summerfelt, Steven 2004), Masaló (Masaló 2008) og Odd Ivar Lekang (Lekang. 2016) er primærstrømningshastighet i tanken 20% av innløpshastigheten. En innløpshastighet på 62,5 cm/s skal resultere i følge teorien gi en primær strømningshastighet på 12,5 cm/s.

Tar denne informasjonen inn i likning 8.1. Og beregner den teoretisk beste rørdiameteren, gitt uniform fordeling uten turbulens.

$$d = \sqrt{\frac{4q}{v\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,0178 \frac{m^3}{s}}{0,625 \frac{m}{s} * \pi}} = 0,190 m$$

En indre rørdiameter på 190 mm vil teoretisk medføre en gjennomsnittlig primærstrømningshastighet på 12,5 cm/s. Ettersom 190 mm i diameter er ugunstig i forhold til valg av rør, økes diameteren til 200 mm. Dette vil gi en liten reduksjon i primærstrømningshastighet i tanken, men er til gjengjeld billigere i innkjøp, kontra en spesialbestilling av rør diameter.

For å bestemme om strømmingen i tanken er turbulent beregnes Reynoldstallet for situasjonen. Benytter likning 3.6 og 3.7 fra kapittel 3.10.

$$Re = \frac{4vr_h}{\nu}$$

v er gjennomsnittshastigheten i det gitte tverrsnittet. ν er kinematiske viskositeten, på $1,38 * 10^{-6} m^2/s$, r_h er definert som hydraulisk diameter, lik tverrsnitts arealet A , til strømmingen dividert på våt omkrets (P) (Olsen 2015)).

$$r_h = \frac{A}{P}$$

Tverrsnitts arealet og omkretsen til tanken er gitt ved:

$$A = \pi r^2 = \pi * 6,75^2 m = 143,14 m^2 \quad (8.2)$$

$$O = \pi d = \pi * 13,5 m = 42,4 m = P \quad (8.3)$$

Den indre omkretsen O, tilsvarer den våte omkretsen P. Innsatt i likning 3.7:

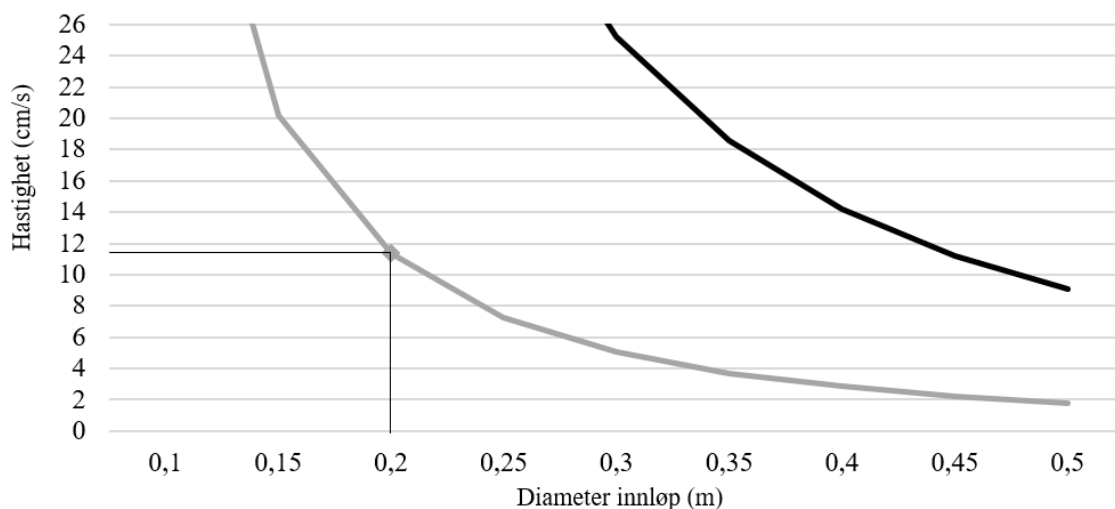
$$r_h = \frac{A}{P} = \frac{143,14 \text{ m}^2}{42,4 \text{ m}} = 3,37 \text{ m}$$

Reynoldstallet for situasjonen blir dermed:

$$R_e = \frac{4vr_h}{\nu} = \frac{4 * 0,125 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 3,37\text{m}}{1,38 * 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 1221014,5$$

Resultatet viser at man har en fullt utviklet turbulent strømning, $R_e > 10^5$. Relevante endringer i hastigheten vil ikke gjøre store nok utslag på reynoldstallet til at man kommer under 4000.

Figur 70 viser teoretisk primærstrømningshastighet i tank (grå linje) gitt av innstrømningshastigheten (sort linje). I henhold til ligning 8.1 og teorien om at primærstrømningshastigheten er 20% av innløpshastigheten (Davidson, John. & Summerfelt, Steven 2004).



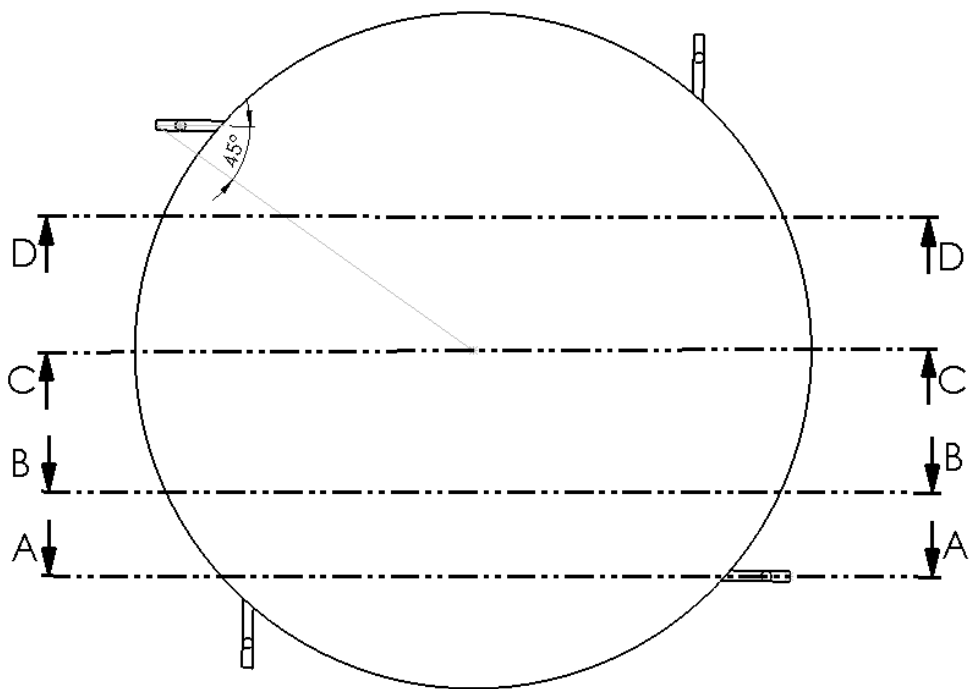
Figur 70. Hastigheten(y-akse) synker gradvis ettersom diameteren øker(x-akse). Oppmerket teoretisk primærstrømningshastighet ved en indre rørdiameter på 200mm.

Fra likning 3.10 beregnes tilhørende impuls kraft ved hvert innløp i løsningsforslag nr.1.

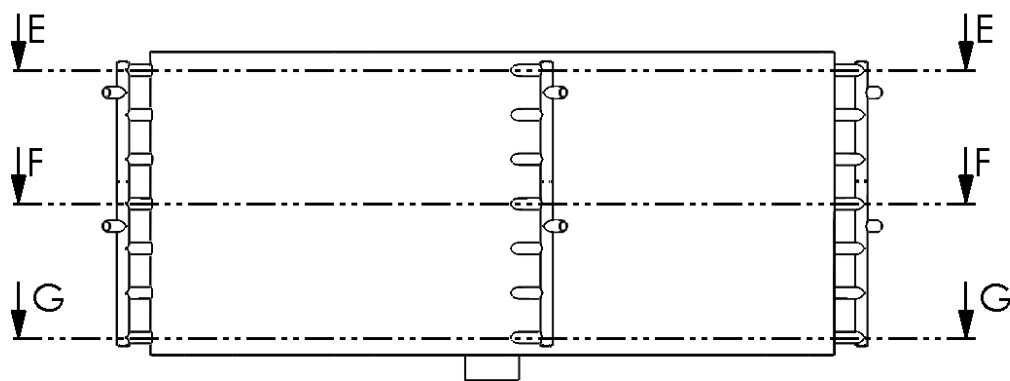
$$F = pq_v v = 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,01785 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 0,625 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 11,15 \text{ N} \quad 3.11$$

Impulskraft på 11,15 N ut fra hvert innløp. Totalt 312,4 N for alle 28 innløp. Gjelder hvis det er en normal fordeling mellom alle innløpene uten turbulens.

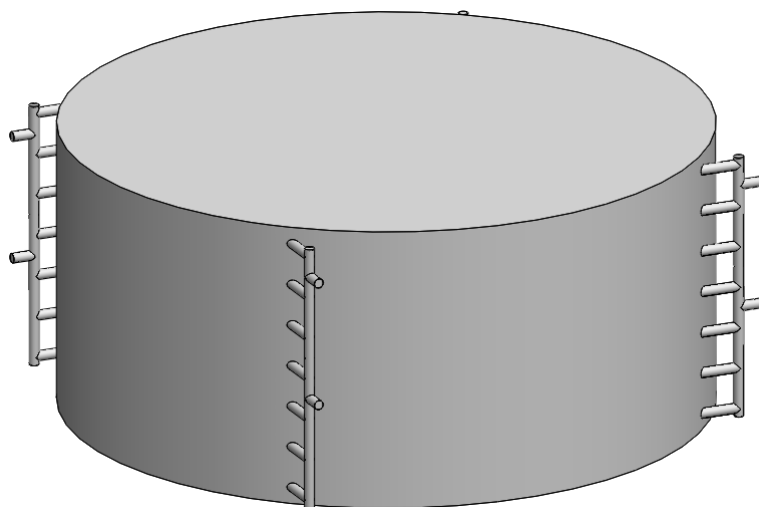
I den eksisterende løsningen har man delt distribusjonsrøret i to. Ettersom antall innløp økes fra 6 til 7 i hvert distribusjonsrør velges det å beholde en slik deling av distribusjonsrøret. Øvre del får da tre innløp og nedre del fire innløp. Deler distribusjonsrøret midt mellom 4 og 5 innløp, talt nedenfra. Hensikten med denne delingen er å fordele vannet bedre mellom innløpene, samt å gjøre bygningsarbeid enklere.



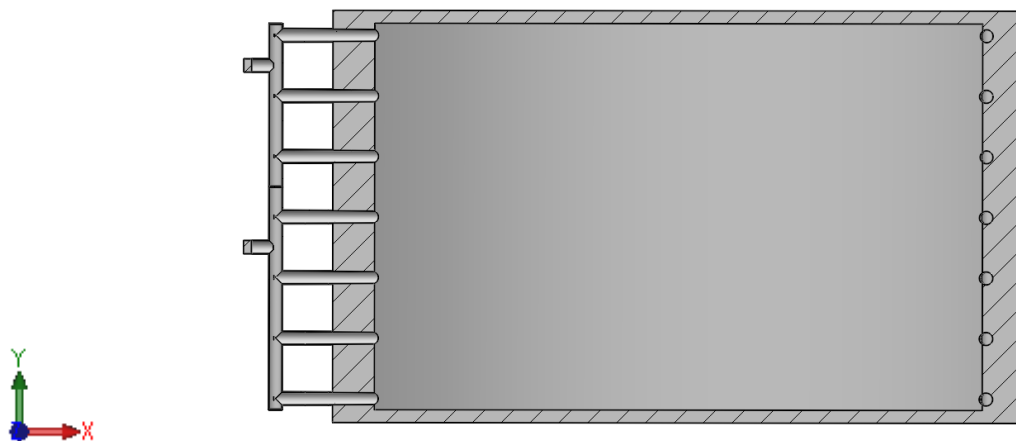
Figur 71. Tegning av løsning nr.1 med oversikt over de snittene som brukes ovenfra.



Figur 72. Løsning nr.1 snitt rett på, med oversikt over de snittene som brukes vinkelrett på.

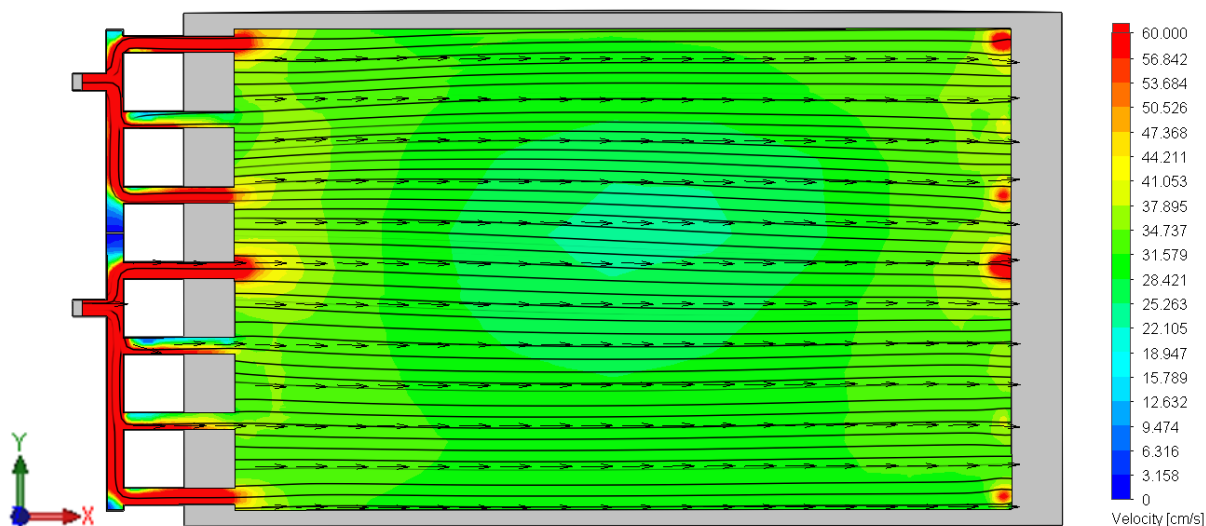


Figur 73. Løsningsforslag nr.1 rendrert framstilling.



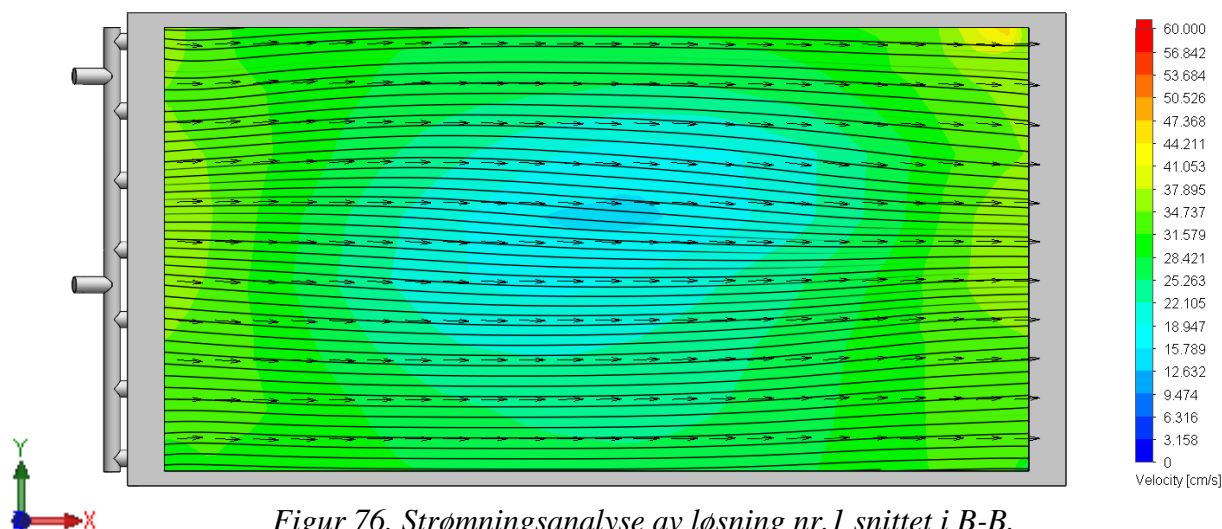
Figur 74. Løsningsforslag nr.1 snittet i A-A

r i figur 74 hvor distribusjonsrøret er delt mellom innløp 4 og 5, talt nedenfra. Tilsvarende som for den eksisterende løsningen. Etter som den nedre delen av distribusjonsrøret fordeler seg i fire innløp og øvre del deler seg i tre, blir dette tatt i betraktning i oppsettet av CFD analysen. Volumstrøm inn i nedre tilløp blir på 4285 L/min, i øvre tilløp blir volumstrømmen 3214 L/min.

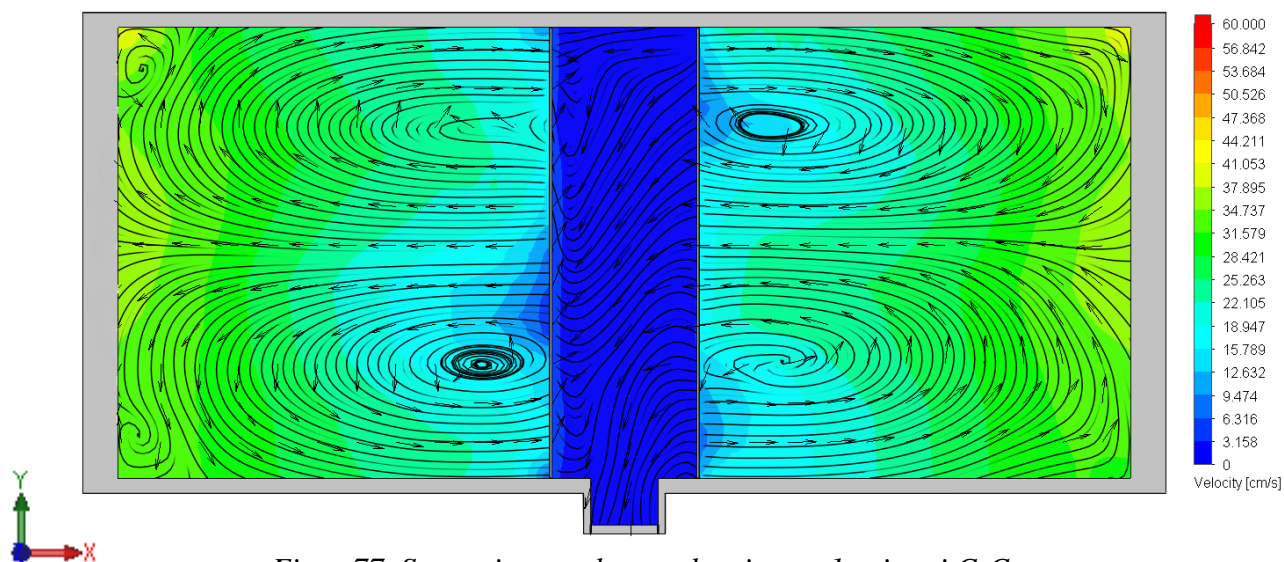


Figur 75. Strømningsanalyse av løsning nr.1 snittet i A-A.

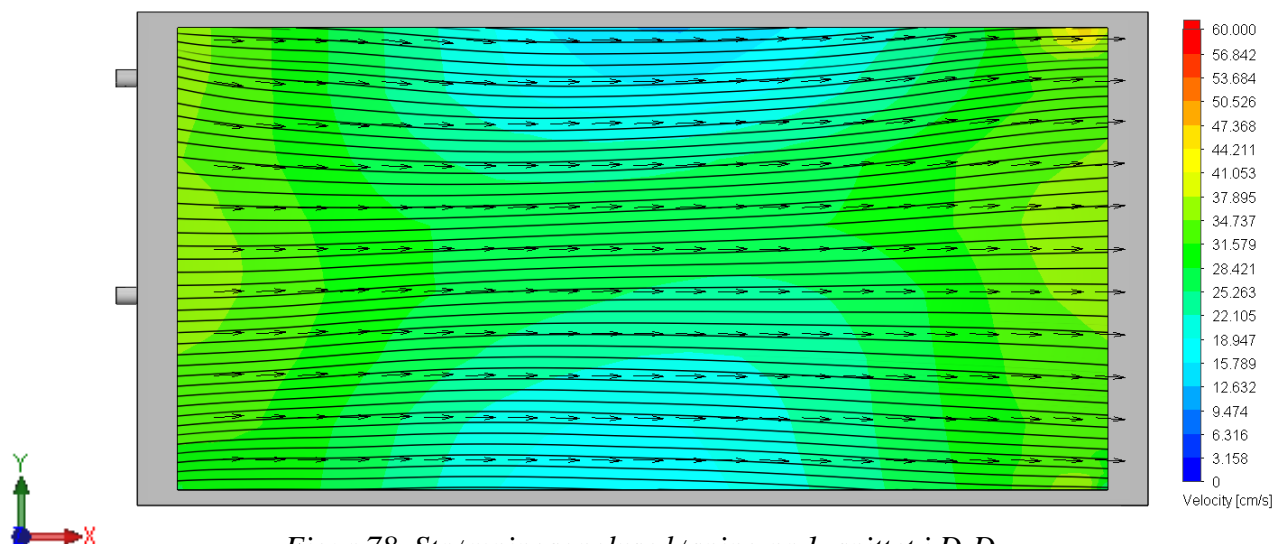
Av figur 75 ser man hvordan vannet fordeler seg mellom de ulike innløpene. Det oppstår turbulens inne i distribusjonsrøret, og at fordelingen ikke er helt symmetrisk. Strømningshastigheten i tanken ligger på omkring 30 cm/s. Med enkelte områder rundt innløpene som overstiger 60 cm/s. Dette er motstridene i forhold til teoretisk primærstrømningshastighet som er beregnet til 12,5 cm/s. Primærstrømningshastigheten er dermed omkring 2,4 ganger så høy som det man ønsker. Største opptredende strømningshastighet i snittet, sett bort fra innløpene, distribusjonsrøret og tilløpene er på 53 cm/s. Laveste er på 19,0 cm/s.



Ser av figur 76. at det er et jevnt strømningsmønster i tanken, hastigheten er noe lavere i senter av tanken enn ellers, på det laveste er hastigheten 15,5 cm/s. Kan forklares av at snittet B-B er i nærheten av sigaren, som er plassert i senter av tank. Strømningspilene viser ingen turbulens i snittet. Høyeste strømningshastighet er på 39 cm/s.

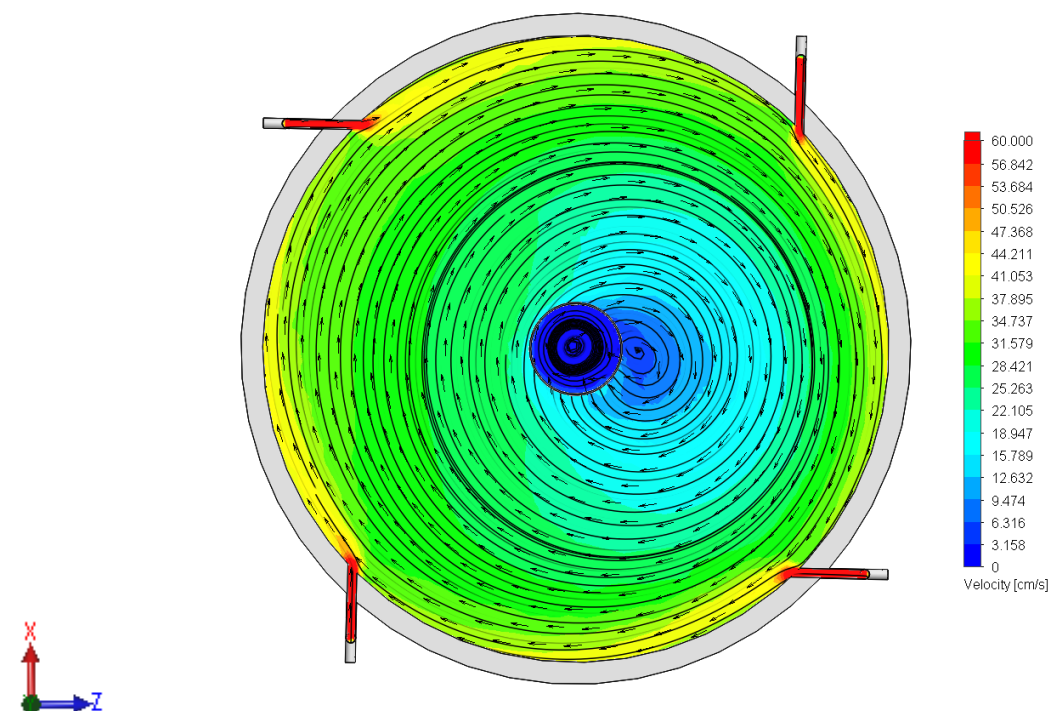


Snitt C-C er i senter av tank. I sigaren er strømningshastigheten redusert markant mot utenfor, dette medfører også at hastigheten om sigaren reduseres. De sekundære strømmene har delt seg i to, dette ser man av at det er dannet 4 stk. virvler, med påfølgende strømmer. Disse sekundærstrømningene danner turbulens i øvre og nedre del av tank. Laveste strømningshastighet utenfor sigaren er på 9,5 cm/s. Høyeste strømningshastighet i snittet er på 38,0 cm/s. Tilsvarende som for den eksisterende løsningen ser man her at det danner seg en s formet virvel om sigaren, her er hastigheten redusert betydelig sammenlignet med resten av tanken.



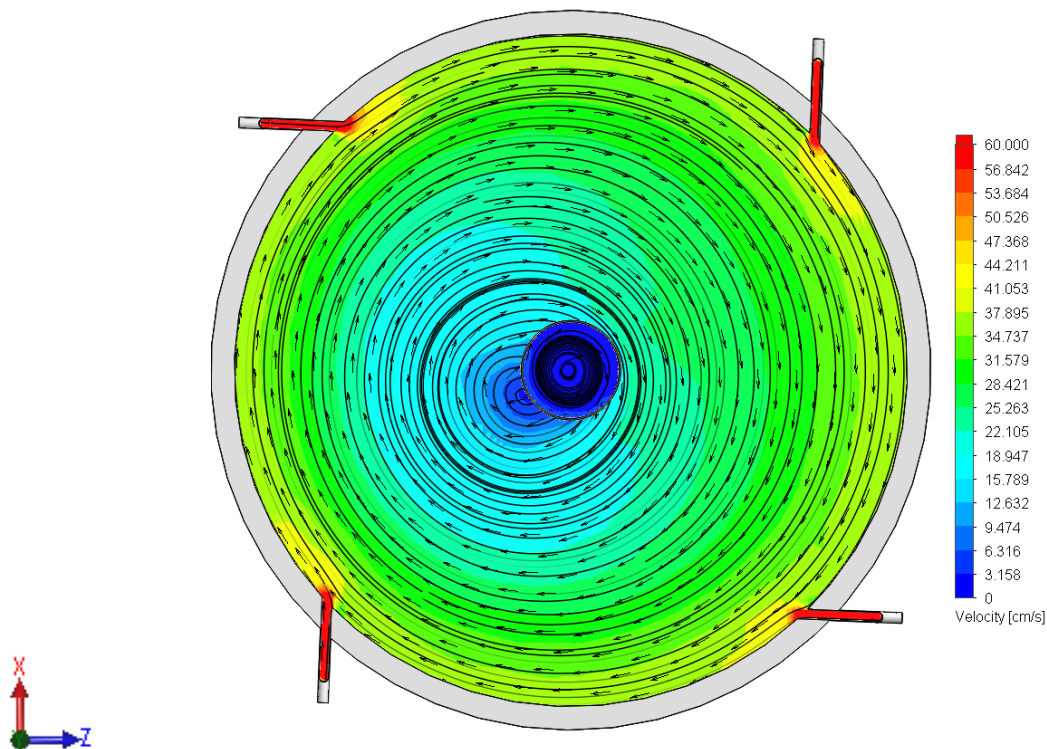
Figur 78. Strømningsanalyse løsning nr.1, snittet i D-D.

Største strømningshastighet i snitt D-D er på 40 cm/s. Laveste på 12,0 cm/s. I høyre og venstre ytterkant av tanken er farten noe høyere enn resten av snittet. Som resultat av det er plassert to innløp i bakkant av snittet. Områdene i midten av tanken hvor farten redusert, er ytterkantene av den s-formede virvelen som fremkommer i snitt C-C.



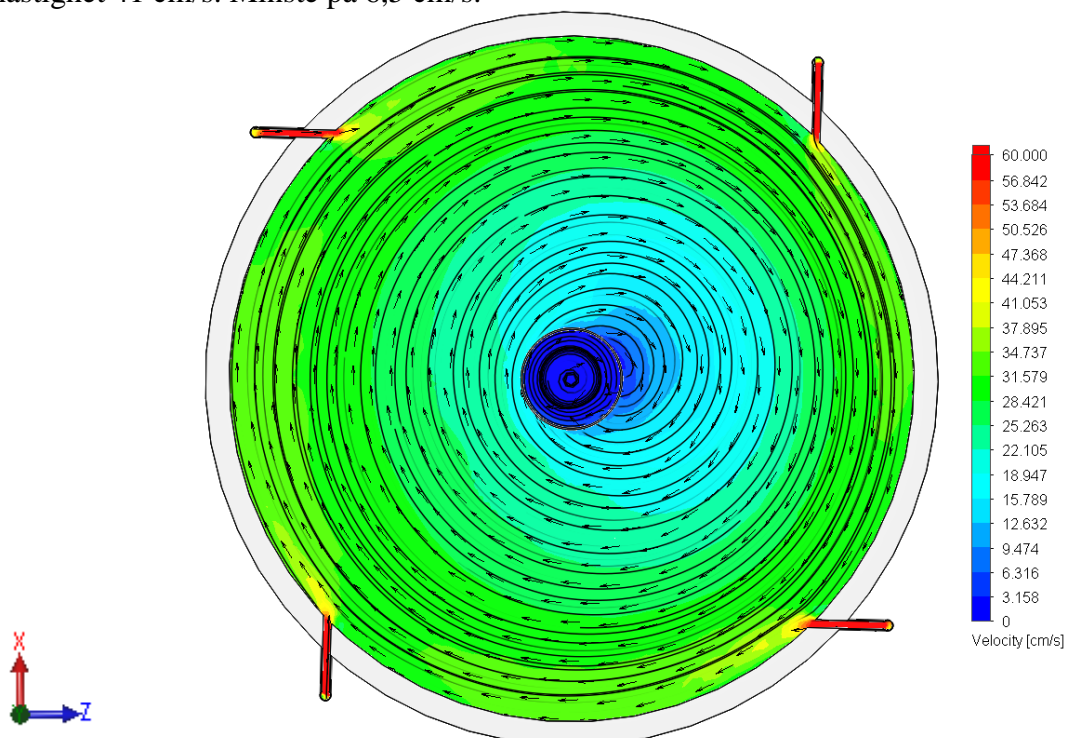
Figur 79. Strømningsanalyse av løsning nr.1 snittet i E-E.

I øvre del av vannsjikte illustrert i figur 79 er det mange av de samme likhetstrekkene som for tidligere snitt. Hastigheten er størst ved innløpene, med hastigheter over 60 cm/s. Strømningshastigheten rett etter innløpene, langs kanten er høyere enn for resten av tanken, med strømningshastigheter på omkring 40 cm/s. Ettersom strømmingen går innover mot tankes sentrum reduseres hastigheten, men store deler av tanken har strømningshastighet på rundt 30 cm/s. Rundt sigaren reduseres hastigheten og det har dannet seg en virvel til høyre for senter av tank, som kjennes igjen fra analysene til tidlig forsøket. Største strømningshastighet i snittet, sett bort fra innløpet er på 41 cm/s langs tankveggen, laveste strømningshastighet er på 11,6 cm/s.



Figur 80. Strømningsanalyse av løsning nr.1 snittet i F-F.

Virvelen som er beskrevet under figur 79 har i figur 80 beveget seg til venstre for senter. Bortsett fra dette er det få endringer i strømningsbilde eller strømningshastighet. Største opptrædende strømningshastighet 41 cm/s. Minste på 6,5 cm/s.



Figur 81. Strømningsanalyse i løsning nr.1 snittet i G-G.

Snittet G-G er helt nederst i tanken. Virvelen har forflyttet seg nærmere senter av tank, ettersom utløpet er nedenfor, ellers opprettholdes strømningshastigheten. Største opptrædende strømningshastighet i snitt G-G er 37 cm/s og laveste på 6,2 cm/s.

Tabell 23. Oversikt over differansen mellom største og minste strømningshastigheter i vurderte snitt. For løsningsforslag nr.1.

Snitt	V _{maks} (cm/s)	V _{min} (cm/s)	ΔV(cm/s)
A-A	55	19	36
B-B	39	15,5	23,5
C-C	34,4	6,3	28,1
D-D	40	12	28
E-E	41	11,6	29,4
F-F	41	6,5	34,5
G-G	37	6,2	30,8
Gj.Snitt	41,0	11,0	30,0

Vurdert opp mot tilsvarende resultater fra den eksisterende løsningen er det små forskjeller i spredningen, gjennomsnittlig V_{maks} har steget med 0,6 cm/s, gjennomsnittlig V_{min} har sunket med 0,3 cm/s. Den gjennomsnittlige spredningen i strømningshastighet har steget med 1 cm/s.

På generelt grunnlag kan man si at strømningsmønstre i løsning nr. 1 og i den eksisterende løsningen er veldig likt. Strømningshastighetene er derimot fortsatt for høye. Når man i tillegg tar hensyn til at CFD-analysene viste en hastighet som er 39,0 % lavere enn det som kom fram av forsøksresultatene kan det medføre at den faktiske strømningshastigheten er enda høyere.

7.5.3 Løsningsforslag nr.2

Beregningene for løsningsforslag nr.1 tilsa at man skulle få en primærstrøm som lå på 12,5 cm/s. Dette stemmer derimot ikke med resultatene fra CFD-analysen av løsningsforslag nr.1.

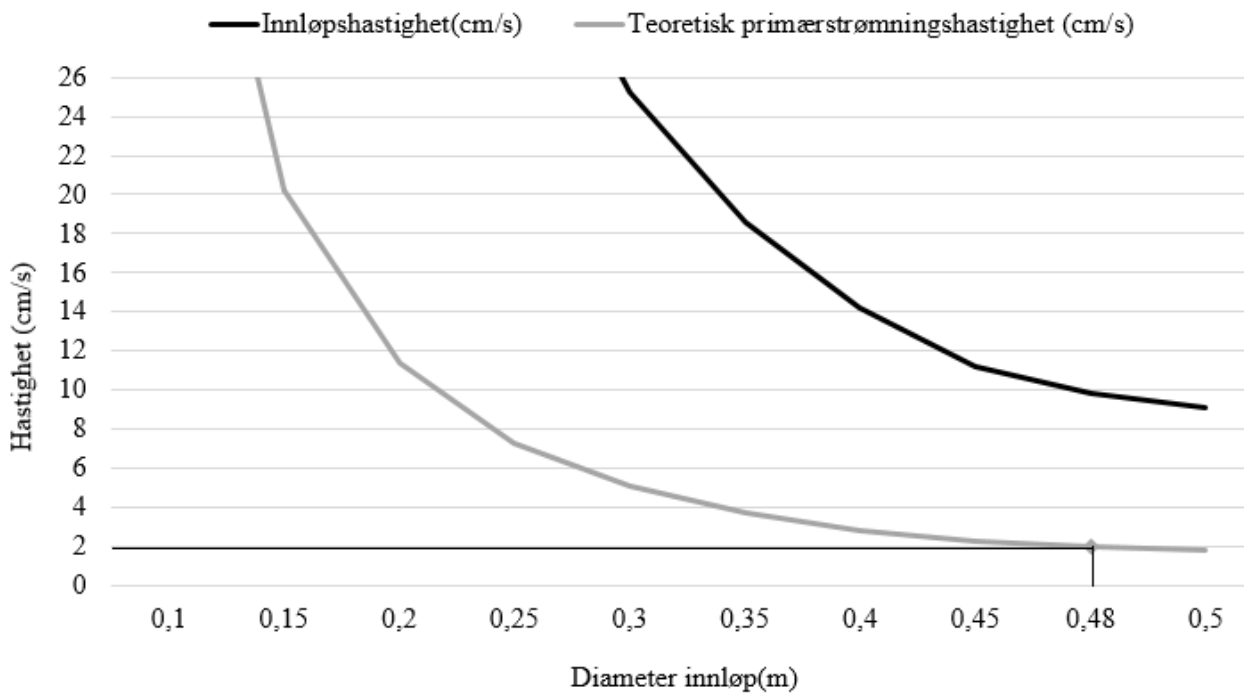
I løsning nr.1 ble diameteren på innløpet redusert fra 450 mm i den eksisterende løsningen til 200mm. Samtidig økte antall innløp fra 6 til 28. Dette totalt tverrsnittsarealet fra 0,95 m² til 0,87 m² i løsning nr.1. Volumstrømmen inn i tanken var den samme i begge situasjoner (30 000 L/min).

Volumstrømmen i hvert innløp er på 5000 L/min(teoretisk) i den eksisterende løsningen. I løsningsforslag nr.1 er volumstrømmen i hvert innløp på 1071 L/min.

Ettersom teoriene ikke stemmer med resultatene fra CFD-analysen, ser en seg nødt til å prøve seg fram med en ny løsning. Primærstrømningshastigheten i løsning nr.1 var omtrent 2,4 ganger høyere enn ønskelig. For å få ned hastigheten til ønskelig beholdes antall innløp og distribusjonsrør, men diameteren på innløpene økes tilsvarende den ønskede hastighetsreduksjonen. Diameter i løsning nr.1 var på 200 mm, multiplisert med 2,4 får man en indre rør diameter på 480 mm i løsningsforslag nr.2.

Etter en vurdering av ulike rør alternativer, har PE- rør kommet fram som det beste alternative så langt i utviklingsprosessen. PE-rør leveres i SDR format. For å få en indre diameter omkring 480 mm, benyttes PE 500, med SDR verdi på 41. Godstykkelse er på 12,3 mm, indre diameter 475,4mm. Dette medfører et total tverrsnitts areal på 4,85 m² i innløpene. 5,1 ganger så stort areal som det eksisterende og 5,5 ganger så stort som i løsningsforslag nr.1.

I henhold til likning 8.1 og 20% regelen gir dette en teoretisk strømningshastighet på 1,9 cm/s. Som fremvist i figur 82.



Figur 82. Hastigheten(y-akse) synker gradvis ettersom diameteren øker(x-akse). Oppmerket strømningshastighet ved en indre rørdiameter på 480mm.

Distribusjonsrøret endres ikke fra løsningsforslag nr.1 utenom økningen i diameter på innløpene. Opprettholder deling mellom innløp 4 og 5. Fra løsningsforslag nr.1 og den eksisterende løsningen kan man se at det oppstår turbulens inne i distribusjonsrøret, og at fordelingen ikke er uniform mellom innløpene. Det er derimot ingen indikasjon på at dette gir et store utslag på uniformiteten i strømningsbildet. En grundigere diskusjon rundt dette gjøres avslutningsvis

For avgjøre om man har en laminær eller turbulent strømning i innløpene benyttes likning 3.6 for bestemme Reynoldstallet for løsning nr.1. Benytter den teoretiske innløpshastigheten på 10,64 cm/s.

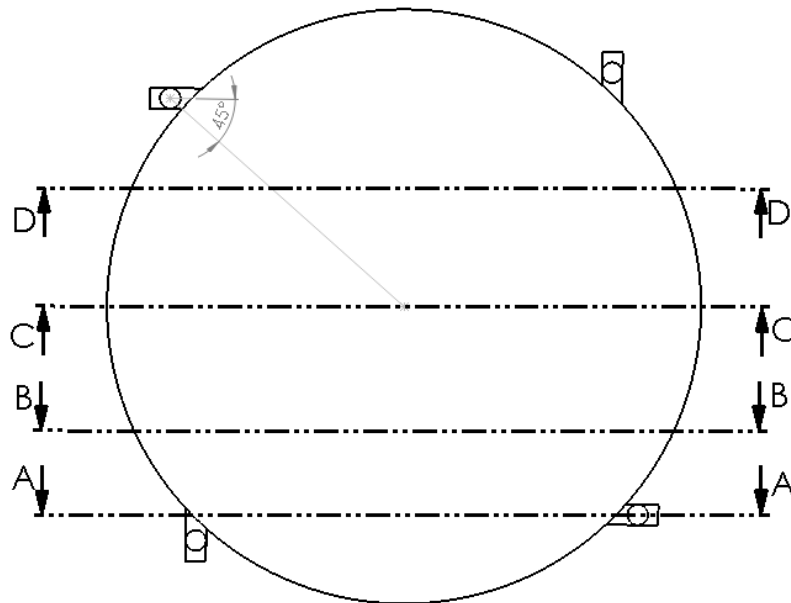
$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} = \frac{v L}{\nu} = \frac{\frac{0,10 \text{ m}}{\text{s}} * 0,475 \text{ m}}{1,38 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 34420$$

Reynoldstall på 34420 vil si at det er turbulent strømning i rørene. Vannpartiklene strømmer dermed framover i en virvlende, urolig strøm. Strømningen er ikke fult utviklet turbulent.

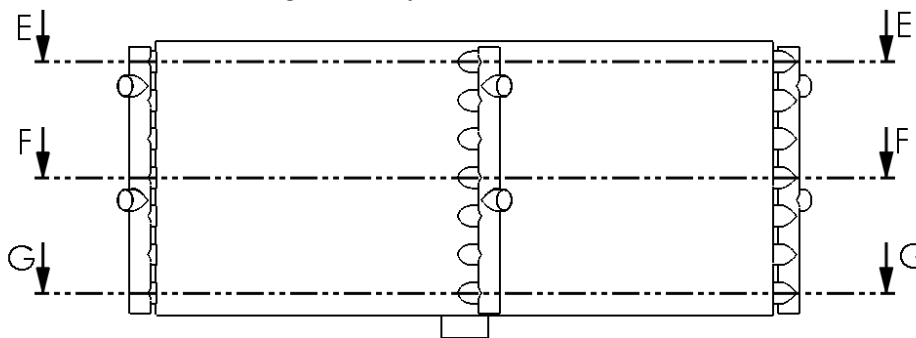
Fra likning 3.10 beregnes tilhørende impuls kraft ved hvert innløp i løsningsforslag nr.2. Bruker tettheten til saltvann som er på 1025 kg/m³ og strømningshastigheten i innløpet på 10,64 cm/s.

$$F = p q_v v = 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,01785 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 0,106 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,93 \text{ N} \quad 3.11$$

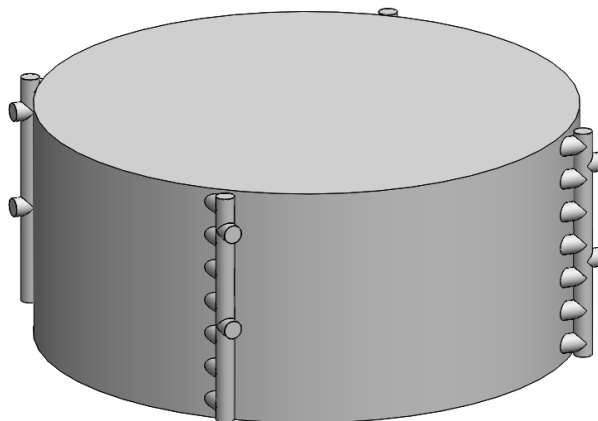
Impulskraft på 1,93 N ut fra hvert innløp. Totalt 54,3 N for alle 28 innløp. Volumstrøm i hvert enkelt holdes tilsvarende som i løsningsforslag nr.1 Kraftig reduksjon i impuls kraften. Man antar også her jevn fordeling mellom innløpene uten turbulens.



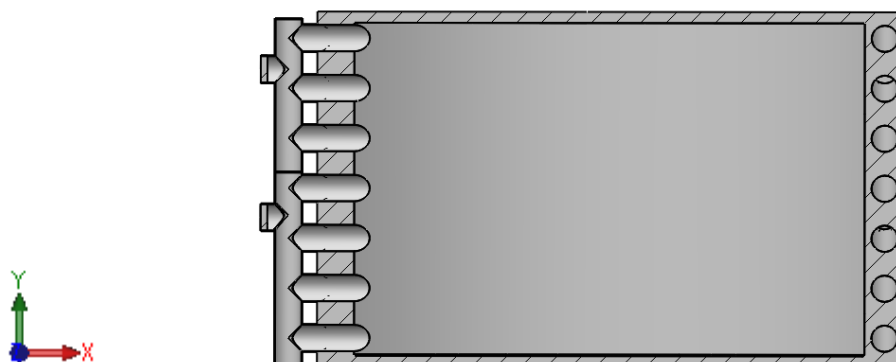
Figur 83. Tegning av løsningsforslag nr.2 med oversikt over snitt ovenfra. Innløpene er vinklet 45 grader ut fra senter av tanken.



Figur 84. Tegning av løsningsforslag nr.2 snitt vinkelrett på.

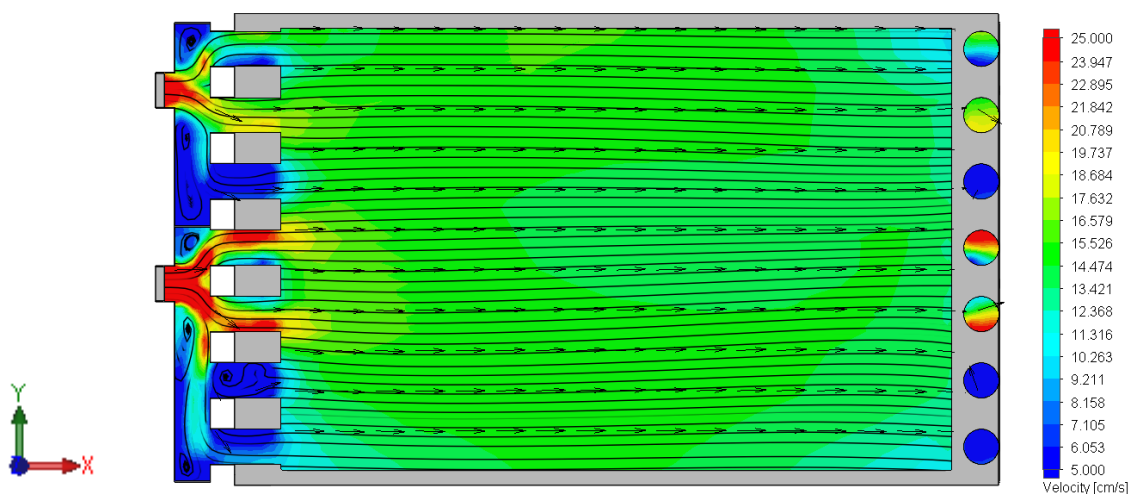


Figur 85. Rendrert framstilling av løsningsforslag nr.2.



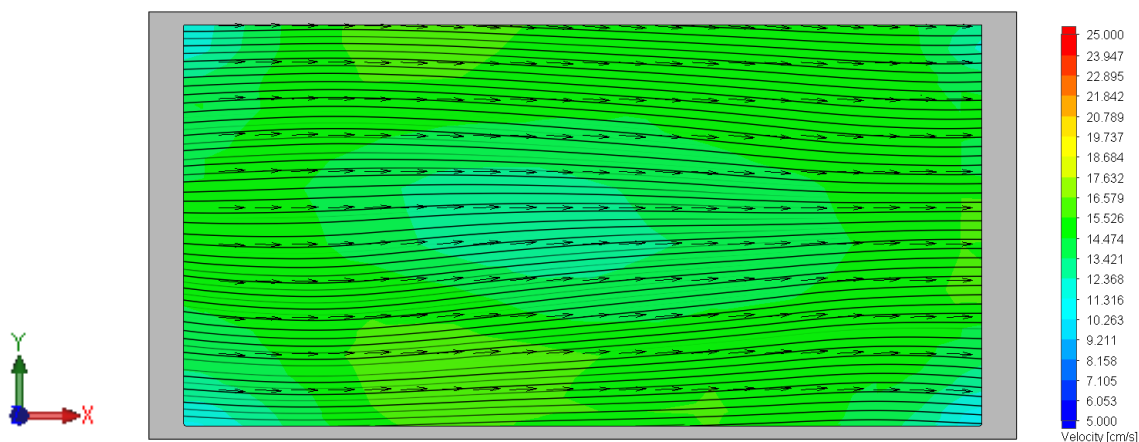
Figur 86. Løsningsforslag nr.2 snittet i A-A.

Opprettholder delingen mellom innløp 4 og 5 talt nedenfra.



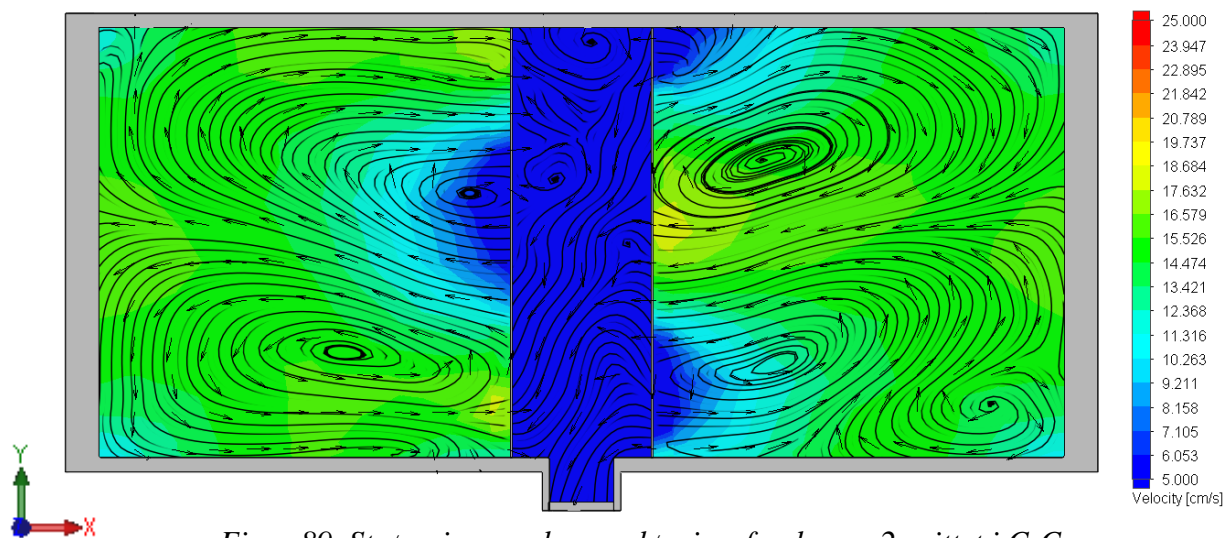
Figur 87. Løsningsforslag nr.2 snittet i A-A. Fargeskalaen er her endret fra løsningsforslag nr.1 og eksisterende løsning, strekker seg fra 5-25 cm/s.

I Figur 87 er innløpsarrangementet i løsning nr.2 fremvist. I likhet med eksisterende løsning og løsning nr.1 oppstår det turbulens inne i distribusjonsrøret. Spesielt i områdene som ligger tett inntil topp, bunn og delingen. Det er ingen uniform fordeling av vannet ut i de ulike innløpsrørene. Av dette ser man at hastigheten er noe større i tanken, etter innløp 3,4 og 5,6. Inne i tanken er største strømningshastigheten på 14,4 cm/s, og den laveste på 11,2 cm/s.



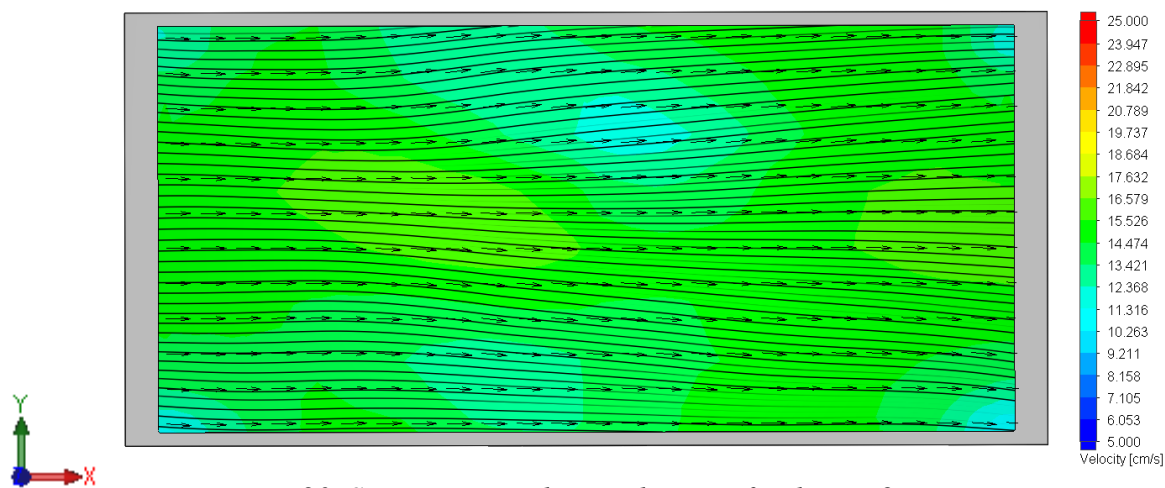
Figur 88. Strømningsanalyse av løsningsforslag nr.2 snittet i B-B.

Strømningshastigheten i figur 88 ser ikke ut til å være påvirket av den store variasjonen i innløpshastighet. Gjennomsnittlig hastighet på omkring 14 cm/s i snittet, mye nærmere den ønskede hastigheten. Ingen turbulens i snitt B-B, meget likt tilsvarende snitt i den eksisterende løsningen og løsningsforslag nr.1. Høyeste strømningshastighet i snitte er på 16,0 cm/s, laveste er på 12,1 cm/s.



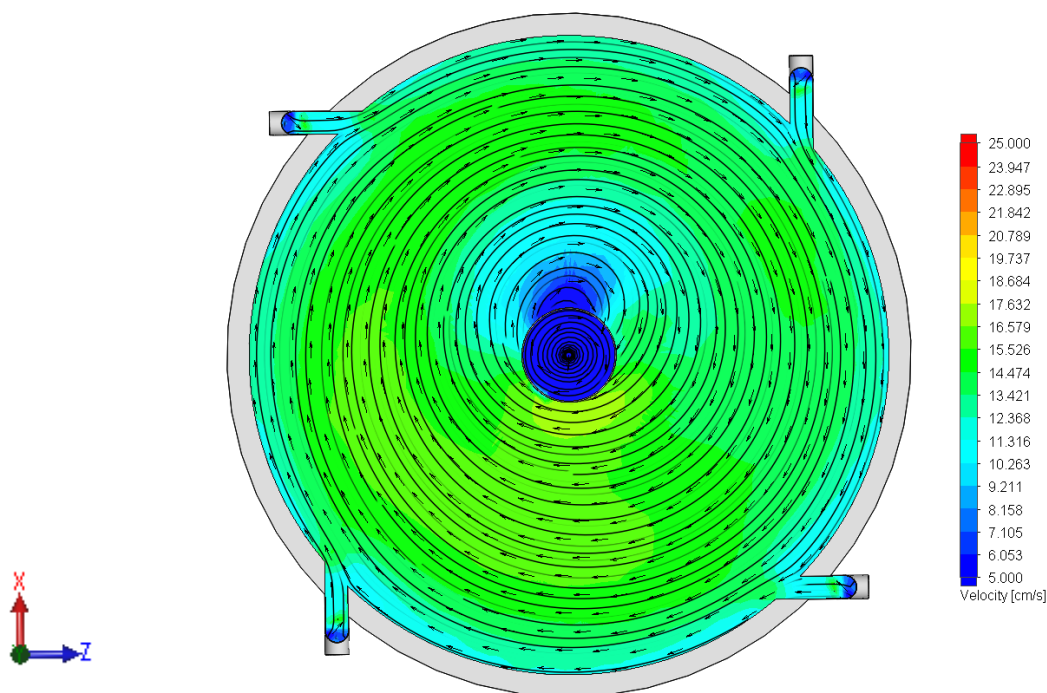
Figur 89. Strømningsanalyse av løsningsforslag nr.2 snittet i C-C.

Det er mange likhetstrekk mellom løsningsforslag nr.1 og 2, i snitt C-C. Strømningsmønstre domineres av sekundære strømnings. Det er turbulens nede i høyre hjørnet, og inn i sigaren. Slik som tidligere har det også her dannet seg en virvel med en s-form om sigaren. Denne s-formasjonen preges av veldig lav strømningshastighet, dette stemmer derimot godt med beskrivelsen av virvelfrie soner i kapittel 3.3.3. Største strømningshastighet i snitt C-C er på 17,8 cm/s, laveste er på 6,3 cm/s.



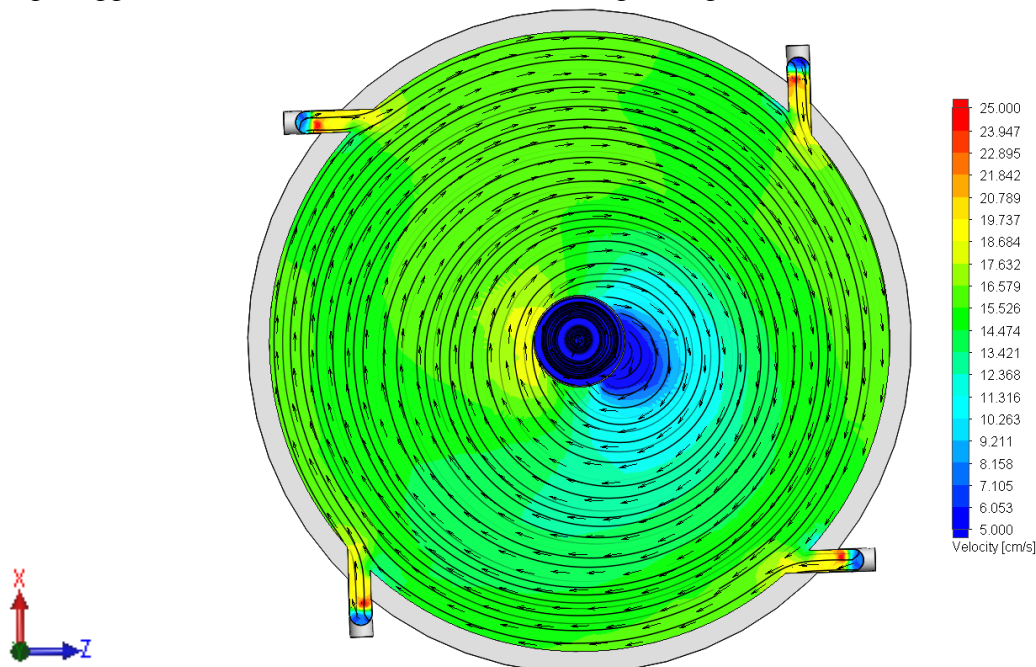
Figur 90. Strømningsanalyse av løsningsforslag nr.2 snittet i D-D.

I snitt D-D er største strømningshastighet på 16 cm/s. Laveste er på 10,1 cm/s. Ingen turbulens og strømningspilene viser en tilnærmet rett strømnings gjennom volumet.



Figur 91. Strømningsanalyse av løsningsforslag nr.2 snittet i E-E.

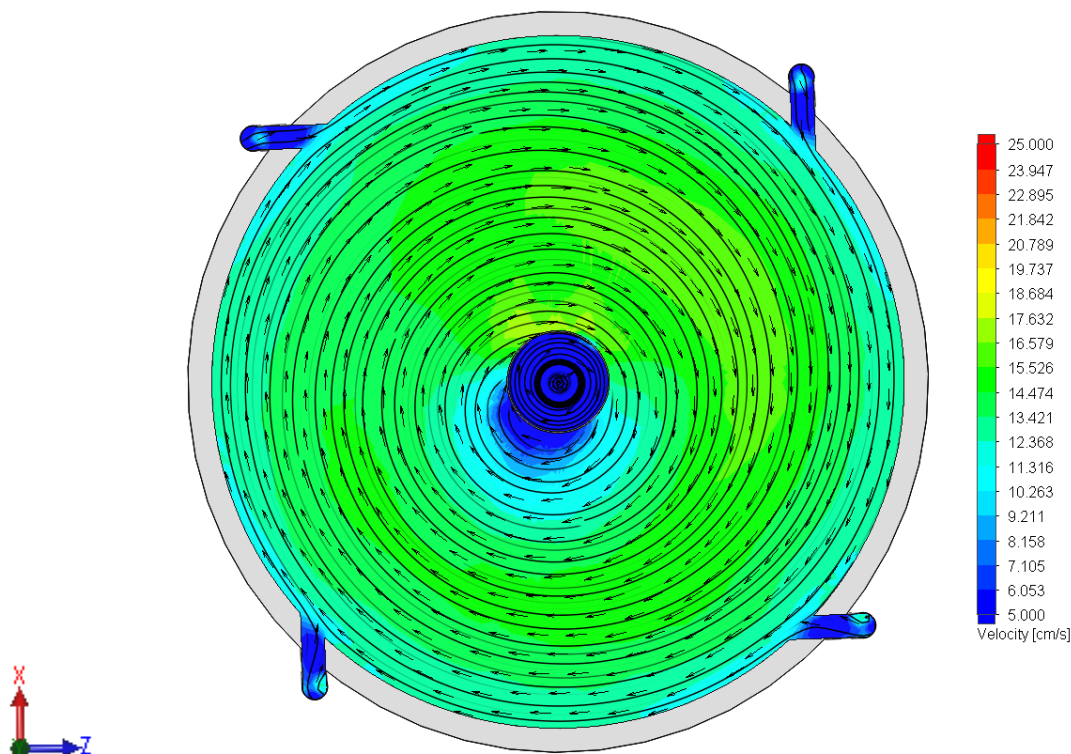
Hastigheten i øvre del av vannsjikte (Snitt E-E) er lavere i områdene etter innløpene enn gjennomsnittet. I store deler av tanken holder strømming en sirkulær form om senter, små variasjoner i strømningshastighet, med hastigheter rundt 13 cm/s. I et område ovenfor sigaren har det oppstått et lite område der hastigheten er noe redusert. Dette er på oversiden av den s formede virvelen som man ser i snitt C-C. I motsetning til tilsvarende snitt i løsningsforslag nr.1 er farten lavere etter innløpene og langs veggen enn ellers i tanken. Største strømningshastighet i snittet er 17,2 cm/s, laveste er 6,3 cm/s.



Figur 92. Strømningsanalyse av løsningsforslag nr.2 snittet i F-F.

Snitt F-F til løsningsforslag nr.2 viser et veldig uniformt strømningsmønstre i nesten hele tankens tverrsnitt. Sett bort fra innløpene og område rundt sigaren, er hastigheten omkring 14 cm/s i store deler av volumet. En liten økning i hastigheten i forhold til hastigheten i øvre sikte (

Figur 91). Største hastighet i tankvolumet er på 18,6 cm/s, laveste er på 8,2 cm/s i virvelen til høyre for sigaren.



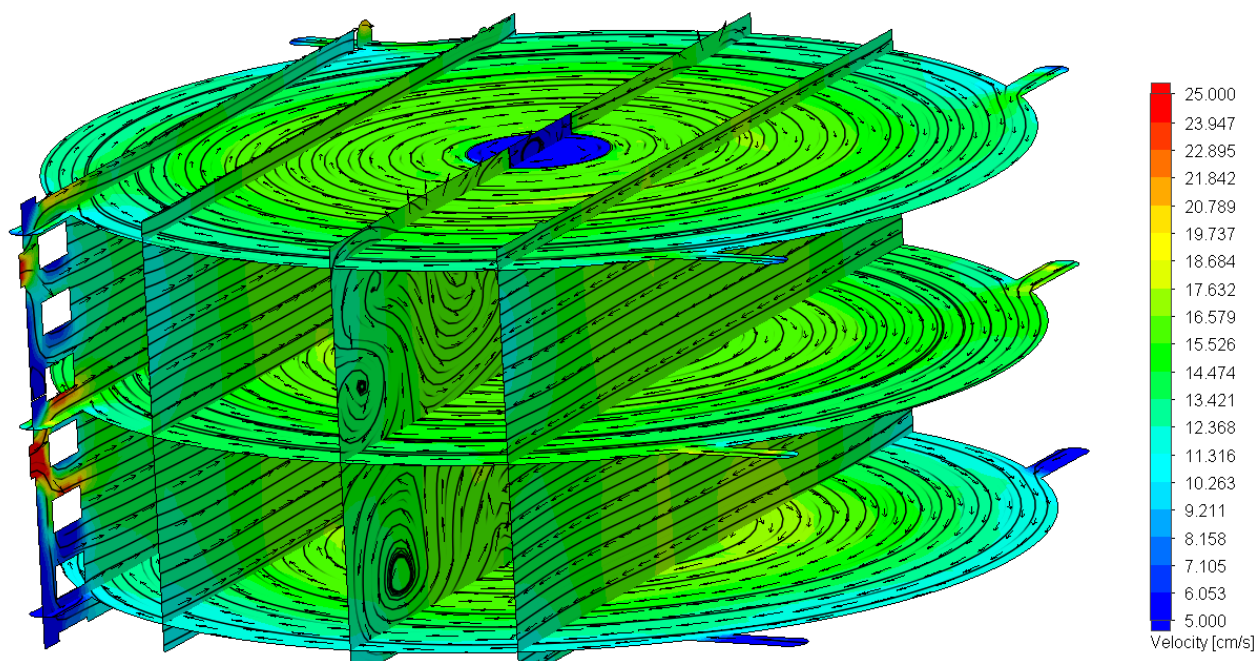
Figur 93. Strømningsanalyse av løsningsforslag nr.2 snittet i G-G.

I snitt G-G ser man det samme ved innløpene som man så i Figur 87, der innløpshastigheten reduseres nedover i distribusjonsrøret. Som et resultat av dette er også hastigheten i tverrsnittet noe lavere, med ca. 13 cm/s. Hastigheten er også noe lavere langs tankveggen enn ellers i snittet, dette er karakteristikk for denne løsningen. I dette snittet og de to foregående er strømmingen veldig uniform. Strømningspilene viser at vannet beveger seg sirkulært om senter av tanken. Største strømningshastighet i snittet er på 16,7 cm/s laveste er på 7,1 cm/s.

Tabell 24 Oversikt over differansen mellom største og minste strømningshastigheter i vurderte snitt. For løsningsforslag nr.2.

Snitt	V _{maks} (cm/s)	V _{min} (cm/s)	ΔV(cm/s)
A-A	14,4	11,2	3,2
B-B	16,0	12,1	3,9
C-C	17,8	6,3	11,5
D-D	16	10,1	5,9
E-E	17,2	6,3	10,9
F-F	18,6	8,2	34,5
G-G	16,7	7,2	9,5
Gj.Snitt	16,7	8,8	11,3

Ettersom ingen grenseverdier ligger under 5 cm/s, eller over 20 cm/s i løsningsforslag nr.2 tilsier det at strømningshastighetene er innenfor kravene stilt av Bremnes i hele tankens volum. Dette er en klar forbedring fra den eksisterende løsningen og løsningsforslag nr.1. Spredningen(ΔV) er også betydelig mindre i løsningen. Spredningen er derimot ikke så liten at fisken ikke kan velge mellom ulike hastigheter i tanken(Michael et al. 1998).



Figur 94. Hvordan alle snittene henger sammen.

For å få bedre innblikk i hvordan de vurderte snittene henger sammen, fremvises alle de vurderte snittene i løsningsforslag nr.2 i en figur.

7.6 Tidligvurdering av brukspåkjenninger

Innløpsarrangementet blir utsatt for en rekke påkjenninger, en vurdering av disse danner grunnlag for materialvalg.

Mekanisk påkjenning:

- Trykk

Miljø:

- Korrosjon
- Temperaturvariasjon

Det gjøres ingen vurdering som følge av fiskbestanden i tanken. Laksen har en tetthet tilnærmet lik vannet (Fänge 1983). Sikkerhetsfaktor i beregninger blir satt til 1,25 (Terjesen 2015).

7.6.1 Mekaniske påkjenninger

Trykk

Ventemerden er et rundt sirkulasjonskar med en diameter på 13,5 meter og er 6 m dyp. Totalt 858,8 kubikkmeter med vann. Trykket i bunn av tanken er gitt av likningen:

$$P = P_o + \rho g \Delta h \quad (8.4)$$

Der P_o er atmosfære trykket, ρ er tettheten til saltvannet, g er gravitasjonskonstanten og Δh er høydeforskjellen. Innsatt i likningen over får man en et trykk på 161 kPa, 1,6 ganger atmosfæretrykket. Medregnet sikkerhetsfaktor blir trykket på 201,2 kPa. Dette trykket er det største opptredende trykket i innløpene.

7.6.2 Miljø

Innløpsarrangementet er en del av ventemerden som plasseres i hardføre omgivelser. For at innløpsarrangementet skal tåle disse påkjenningen er det viktig at materialene er designet med tanke på dette.

Korrosjon

Alle komponenter som benyttes må velges med tanke på korrosjonsbestandighet. Stål ruster fort i områder med høy luftighet og høyt saltinnhold. Aluminium som utsettes for sjøvann vil det tæres groper i materialet, og man vil få korrosjon(Callister 1994). Det anbefales derfor at man ikke benytter noen komponenter av stål eller aluminium. Plast eller ulike komposittmaterier som er sterke og korrosjonsbestandige er bedre alternativer. Komponenter som bolter og skiver som ikke egner seg like godt i kompositt og plast bør være laget av en aluminiumslegering eller rustfritt stål (Callister 1994).

Temperaturvariasjon

Ventemerden skal plasseres i et område med store temperaturvariasjoner, på sommeren kan temperaturen komme over 30° og på vinteren kan temperaturen synke under -20° grader. Innvendig skal temperaturen holdes på rundt 8 C° (Metrologisk 2016). For at temperaturen skal holdes så konstant som mulig er det ønskelig at innløpsarrangementet er laget av et materialet som isolerer mot omgivelsene.

7.7 Materialvalg

Med bakgrunn i beregninger og vurderinger gjort under kapittel 7.6 velges det her materialer for de ulike komponentene til produktet. Ved valg av materialer er det viktig at de tilfredsstillt det gjeldende regelverket, belyst i kapittel 7.3.

Rør

Rørene må motstå trykket fra tanken og være korrosjonsbestandig. I tabell 25 blir fire ulike materialet vurdert. Korrosjonsbestandigheten blir rangert fra 1-5, der 1 liten korrosjonsbestandighet og 5 er ikke utsatt for korrosjon.

Tabell 25. Vurdering av materialet for tilløpsrør.

Materialet	Tetthet(kg/l)	Korrosjonsbestandig (1-5)
PE(HDPE)	0,97	5
PVC	1,4	5
Aluminium, AlMgSi 6082	2,7	2
Stål,galvanisert S355	7,9	3

High density polyethylene (HDPE) og Poly vinyl klorid(PVC) er to forskjellige plastmaterialer. Disse har en lav tetthet og er korrosjonsbestandig.

Av de fire materialene ansees PE og PVC som best egnet, uavhengig av behandlingen vil det alltid være en risiko for korrosjon/rust i metaller. Metaller har heller ikke den isolasjonseffekten som plast har. Av PVC og PE er PE plast best egnet. PVC er lettere å montere og billigere i innkjøp, men studier viser at farlige kjemikaler kan lekke ut fra PVC og inn i vanntilførselen(Callister 1994). Bruk av PVC rør bryter med det kapittel 4 §54 i akvakulturdriftsforskriften (Lovdata 2008). Som et resultat av dette velges PE som materialet i rørene.

Tap i rør

Strømningstapet i løsning nr.2 beregnes ut fra likning 3.10:

$$h_M = f \frac{Lv^2}{D2g}$$

Den relative ruheten for et HDPE rør med indre diameter på 475 mm(d) og overflate overflateruhet på 0,4 mm(k) er $8,4 * 10^{-4}$. k-verdi gjelder for rørstrekninger med tilknytninger og bend. (Pipelife 2007)

Teoretisk Reynoldstallet i innløpsrørene for løsningsforslag nr.2 ble beregnet til 34420. Avlesning i Moody diagrammet gitt i figur 18 gir en Darcy-Weisbachs friksjonskoeffesient (f) på 0,032.

Innsatt i likning 3.10 gir dette:

$$h_M = f \frac{Lv^2}{D2g} = 0,032 * \frac{6m * \frac{0,1m}{s^2}}{0,475 * 2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 2,0 * 10^{-4}m.$$

Et friksjonstap på 0,2 mm over en lengde på 6 m ansees som så liten at det ikke vil påvirke strømmingen i særlig grad. Lengden på de enkelte rørene vil variere noe, det vil også hastigheten. Inne i distribusjonsrøret vil man ha en mye høyere strømningshastighet. Økes strømningshastigheten fra 10 cm/s til 30 cm/s øker friksjonstapet til 0,6 cm som heller ikke blir anset som vesentlig.

Ruheten til rørene påvirkes av alderen til rørmaterialet. Etter noen år med bruk øker ruheten på innsiden og det kan bli begroing (Lekang & Fjæra 1997). For å beregne den absolutte ruheten medregnes ruhetstilvekst og antall år røret har vært i bruk. Denne absolutte ruheten er derimot vanskelig å anslå ettersom den i stor grad er avhengig av bruk og miljøet røret benyttes i.

8. Vurdering av løsninger

I dette kapittelet vurderes de ulike innløpsarrangementet gjennom en konseptscreenings prosess, løsningen som kommer best videre utvikles.

8.1 Utvikling av seleksjonsmatrise

For å komme fram til det mest egnede innløpsarrangementet benyttes Pughs metode med produktenskapene fra tabell 20. Vektingen blir gitt med bakgrunn i hvor godt de ulike løsningene utfyller kriteriene relativt til hverandre. Rangeringen blir gjort på en skala fra 1-10, hvor 1 ikke tilfredsstillende og 10 tilfredsstillende kravene godt. Vektingen av de ulike kriteriene er utført i samarbeid med Bremnes Seashore.

8.2 Konseptscreening

Tabell 26.Konseptscreening av løsninger, vektet fra 1-10. Høyeste mulig vektet sum er 290.

Kriteriet	Vekt	Løsningsalternativer		
		Eksisterende	Løsning nr.1	Løsning nr.2
Uniformt strømningsbilde	5	8	8	8
Uniform hastighet	5	4	5	9
Tilfredsstillende krav om hastighet	6	1	2	8
Fiskevelferd	4	5	5	8
Drift	2	4	3	3
Vedlikehold og rensing	2	7	3	3
Produksjonskostnader	3	7	6	5
Design	2	6	7	7
Totalt		42	38	51
Totalt vektet		141	141	206

Alle de tre løsningene som er framstilt vil gi uniforme strømningsmønstre. I løsningsforslag nr.2 er derimot strømningshastigheten innenfor det intervallet som var ønsket oppnådd. Dette fører også til bedre fiskevelferd med løsning nr.2 sett imot de to andre alternativene. Drift av løsning nr.1 og 2 vil være noe mer krevende enn hva som er tilfelle for den eksisterende. Dette kommer av at det er flere innløp og varierende volumstrømmer inn i de ulike tilløpene. Når det kommer til vedlikehold og rensing av anlegget er den eksisterende løsningen best egnet, ettersom den består av færre komponenter. I løsningsforslag nr.1 er det flere komponenter samt at innløpsrørene har såpass liten diameter at det kan være vanskelig å komme til. I løsning nr.2 er det like mange komponenter som i løsning nr.1, men diameter har økt på innløpene.

Ekstra kostnader vil løpe som følge av at antall komponenter øker, samtidig som man benytter seg av løsninger som ikke har blitt benyttet før.

Designmessig er det ingen forskjell mellom løsning nr. 1 og 2. Den eksisterende løsningen ansees som mindre estetisk fin, det er lettere å vise fram til andre hvordan løsningene fungerer i praksis med de nye løsningene.

8.3 Foretrukket løsning

Fra konseptscreeningen kommer løsning nr.2 sterkest ut. Vektleggingen av uniformitet i strømningsbilde og hastighet førte til at denne løsningen er best egnet. På bakgrunn av denne vurderingen blir denne løsningen utviklet videre.

Vurdering av nytt distribusjonsrør

I vedlegg B er det gjort en vurdering av distribusjonsrøret benyttet i tidlig forsøket. Beregningene herfra viser at volumstrømmen og middelhastigheten ut fra alle innløpene er den samme. Volumstrømmen ut av hver åpning var 7 liter/min for volumstrøm nr.1, og middelhastigheten var 413 cm/s. En slik uniform fordelingen mellom innløpene har man ikke i de vurderte løsningene. Som følge av variasjonene vurderes en ny løsning for distribusjonsrøret med innløp. For å oppnå en lik fordeling mellom innløpene er det viktig at hastigheten i innløpene er atskillig større enn i distribusjonsrøret. Dette medfører at man må ha en mindre diameter på innløpene en distribusjonsrøret, slik som i tidlig forsøket. Innløpene hadde en diameter som var 7,1 ganger så liten som distribusjonsrøret. Et forhold på 7,1 er derimot ikke nødvendig, innløp med en diameter lik $\frac{1}{4}$ av distribusjonsrøret vil medføre at transporten ut av hvert innløp er tilnærmet likt (Tyvand 2016).

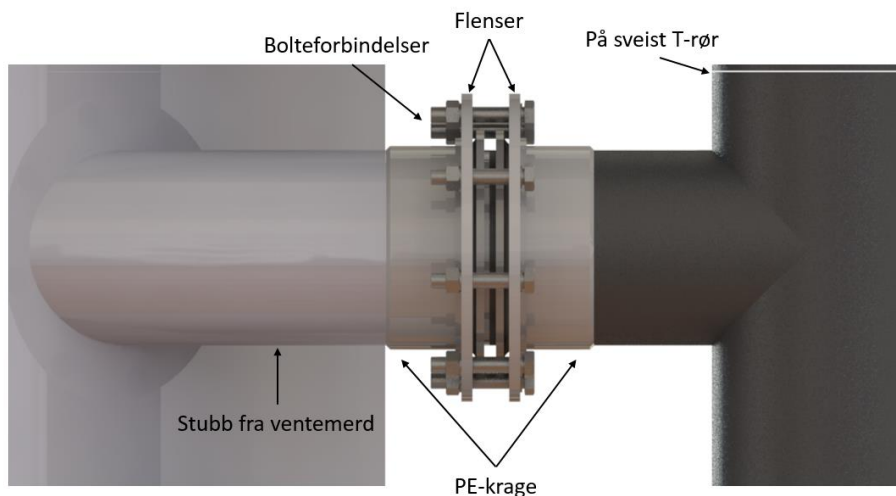
Ved benyttelse av en mindre diameter på innløpene, økes innløpshastigheten inn i tanken og impuls-kraften. Løsningsforslag nr.2 resulterte i at strømningshastigheten alltid holdt seg innenfor ønsket strømningshastighet. I løsningsforslag nr.1 ble hastighetene derimot alt for stor. En løsning som kan medføre lik strømningshastighet ut av alle innløp, uten å måtte ha en ulik diameter på distribusjonsrør og innløpsrør er å benytte spjeld. På denne måten kan man justere strømmingen gjennom alle innløpene, spjeldene må plasseres mellom distribusjonsrøret og tankvolumet, på innløpene. Ettersom strømningshastigheten i løsningsforslag nr.2 holder seg innenfor kravene i hele volumet ansees det ikke som nødvendig med et nytt distribusjonsrør. Selv om dette medfører en uniform fordeling mellom innløpene, vil det også være et kostnadsspørsmål.

9. Produksjonskostnader, framstilling og miljøaspekter

Her framstilles en kalkyle for konseptet. Innløpsarrangementet ikke er ferdigstilt på dette stadiet så det er vanskelig å gi et godt estimat for kostnadene. Bremnes Seashore har som tidligere nevnt utviklet en landbasert ventemerde med tilhørende innløpsarrangementet. Denne har blitt satt i drift og den totale kostnaden ble på 54 millioner. Denne summen inkluderer derimot en rekke kostnader som ikke blir vurdert her. Den foreslåtte løsningen medfører at man i utgangspunktet ikke trenger å utvikle en ny tank, men det kreves det en rekke modifikasjoner på den eksisterende. Montering og produksjon av eksisterende løsning vil være veldig likt det som må gjennomføres på det foreslåtte løsningsforslaget.

9.1 Produksjonsmetoder

Selve ventemerden er produsert i GUP. For at innløpene skal ha en rund kant inn i tanken anbefales det at en liten del av innløpene støpes ut fra tanken(stubb). I ytterkant av denne stubben føres det inn en flens med påfølgende PE-krage som påsveises stubben med en but sveis, speilsveising anbefales(Bartolo 2016). Selve distribusjonsrøret kan deles opp i T-forbindelser som sveises sammen. Det er her viktig at alle sveisene utføres med høy nøyaktighet og ikke medfører unødvendig friksjon i rørene, følg sveiseanvisning for PE-rør. T-forbindelsen kobles til stubben med påfølgende PE-krage og flens. Disse monteres deretter sammen med en stubben med en boltforbindelse(Vedlegg: E). Ønsker enn å montere inn et regulerings spjeld, anbefales det at det gjøres innenfor denne sammenkoblingen. Se figur 95 for visualisering. Viktig å klargjøre plastdelen tilstrekkelig før de monteres sammen. I boltflensen må det monteres en pakning. Alt av rør som benyttes i produktet har standardmål og kjøpes inn ferdigprodusert. Innløpsarrangementet er stort og må tåle så store krefter at det bør forankres i bakken. Innløpene bør også dekkes til, slik at en forhindrer at laksen svømmer inn i de.



Figur 95. Sammenkobling og sveising av komponenter.

9.2 Tidlig kostnadskalkyle

9.2.1 Konseptutvikling

Tabell 27. Kostnader knyttet til konseptutviklingsprosessen.

I. Konseptutvikling	Timer	Pris(kr/t)*	Sum(kr)
Utredningsarbeid	72	600	43 200
Utarbeide forsøk	45	600	27 000
Gjennomføring av forsøk	20	600	12 000
Databehandling og visualisering	210	600	126 000
Analyser	214	600	128 400
Sammenligning mellom data	190	600	114 000
Design utvikling	150	600	90 000
Rapportering	201	600	120 600
Delsum konseptutvikling	1102	600	661 200

* Timepris etter oppfordring fra veileder, basert på utdanningsnivå (Bøe 2016).

9.2.2 Prototyp fremstilling

Tabell 28. Kostnadskalkyle for materialer.

II. Materiale	Kvanta	Pris	Sum(kr)
PE 100 (HDPE) SDR 41, 500 Rør	42 m	3000 kr/m	126 000
PE-Krage, PE 100	16	4100 kr/stk	65 600
Flens, Rusfritt stål,	16	3120 kr/stk	49 920
Bolter (ISO 4014- M42*240*109)	128	133 kr/stk	17 024
Mutter (ISO 4034- M42)	128	40 kr/st	5 120
Skiver (ISO 7092)	256	36 kr/stk	9 216
Delsum materiale			272 880*

*Priser er hentet fra leverandører av de ulike komponentene (Martinsen 2016).

Tar utgangspunkt i at man kjøper inn hele rørlengder som man lager T-forbindelser av hvis det er ønskelig. Totalt 45m for alle fire distribusjonsrør inkludert innløp, tilløp og overlapping. I tillegg kreves det rør til forbindelse på vannpumpe, men lengden er ukjent. I kalkylen fra tabell 28 tar man forbehold om at distribusjonsrøret deles i 2, ved splitterten illustrert tidligere (figur 86).

Tabell 29. Kostnadskalkyle for arbeidet.

III. Arbeid	Timer	Pris(time)	Sum(kr)
Montere innløpskonfigurasjon	100	400	40 000
Modifisering av tank	200	400	80 000
Sveising og rør tilpasning	100	400	40 000
Delsum arbeid	400	400	160 000*

* Timesprisen tar utgangspunkt i at arbeidet utføres i Norge.

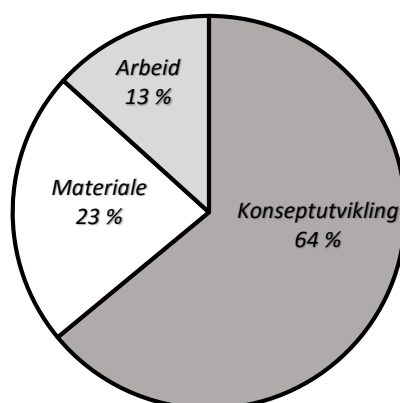
Tanken må modifiseres for å tilpasses det nye innløpsarrangementet. Modifisering av støpt GUP kan være en tidkrevende prosess, det må utføres en vurdering om resultatet vil bli tilfredsstillende.

Tabell 30. Totalkalkyle for utviklingen av prototype.

Utviklingsdel	Delsum(kr)
Konseptutvikling	769 800
Materiale	272 880
Arbeid	160 000
Totalsum	1 202 680

Totalt kommer utviklingskostnadene på 1,2 millioner kroner. I tillegg til disse kostnadene kommer eventuelle forankringer. Totalt har Bremnes Seashore estimert en kostnad på omkring 15 millioner hvis de skulle ha bestilt en ny ventemerd. Hvis en slik bestilling utføres, vil det være naturlig og legge inn endringer på tankens utforming som følge av nytt innløpsarrangement i konstruksjonstegningene.

Slik det er illustrert i figur 96 fremkommer det at konseptutviklingsprosessen står for hele 61% av kostnadene. Arbeids og material kostnadene er på henholdsvis 13 % og 23% av total kostnadene.



Figur 96. Kostnadsfordeling i utviklingsprosessen.

9.3 Robusthet, vedlikehold og resirkulering.

Her vurderes egenskapene til konseptet. Det vurderes eventuell behandling som burde utføres på innløpsarrangementet og vedlikeholdstiltak. Deretter belyses ulike miljøkrav som løsningen må tilfredsstille, levetiden som kan forventes og hvordan resirkulering burde utføres.

9.3.1 Materialelegenskaper, overflatebehandling, styrke og vedlikehold

Materialelegenskaper

PE-rørene som er tiltenkt benyttet i innløpsarrangementet har en ytre diameter på 500 mm, godstykkelsen er oppgitt til 12,3 mm og en egenvekt på 19,4 kg/m (SDR verdi på 41) (Pipelife 2007). Oppgitt maksimalt arbeidstrykk er på 3,2 bar. Under kapittel 7.6.1 kom man fram til at trykket vil være på 201,2 kPa som tilsvarer 2,0 bar. Dette trykket er godt under tillatt trykk for røret, medregnet sikkerhetsfaktor (Pipelife 2008).

Tanken skal plasseres på vestlandet, mellom Bergen og Stavanger i Bømlo kommune (Hordaland). Historiske tall fra metrologisk institutt (Metrologisk 2016) viser at i løpet av de siste 96 årene har temperaturen variert mellom 30°C og -25°C grader. Rørene som er av høy tetthets polyethylene har en smeltetemperatur på 137 °C og en nedre brukstemperatur på -90°C. Under denne temperaturen går plastikken inn i sprø tilstand eller en glasstilstand. Den nedre grensen omtales også som glasstemperaturen (Callister 1994).

Overflatebehandling

PE rørene krever ingen form for funksjonell behandling, men ultrafiolett stråling fra sola kan over tid føre til en degradering av overflaten. Degradering av overflaten misfarger rørene og i verste fall utvikles det sprekker i overflaten. Dagens PE rør er derimot såpass godt behandlet fra fabrikk at det ikke vil være nødvendig med noen tiltak. Inne i rørene kan det oppstå begroing, dette kan forhindres ved å male innsiden av rørene med bunnstoff. Denne type maling fester seg derimot ikke til innsiden. Det trengs derfor ikke å utføre noen form behandling av rørene.

9.3.2 Miljøkrav og resirkulering

Miljøkrav

Det er en rekke miljøkrav som stilles til oppdrettsnæringen, kravene går først og fremst på fiskeveivferd. Det finnes derimot ingen særskilte krav til materialbruk utover de kravene som går under akvakulturdriftforskriften (kapittel 7.3). I kapittel 4 § 54 heter det at «Fisk skal ikke plasseres i slaktemerd med miljøforhold som er særlig belastende for fisken». I kapittel 3 § 19 nevnes det også at produksjonsheneten ikke skal ha skarpe kanter og fremspring eller bestå av materiale som kan være skadelig for fisken. Med bakgrunn i dette har man kan valgt materialer som ikke skal være skadelig for fisken eller har skarpe utstående kanter, da alle deler er i flukt med tankveggen (Lovdata 2008).

Resirkulering

Konseptet består i all hovedsak av HDPE. HDPE rør er egner seg veldig godt til resirkulering, ved oppvarming kan man reformere designet til komponenten, gjenvinningsgrad på 100%. Andre komponenter er tiltenkt i rustfritt stål.



Figur 97. Resirkuleringssymbol for høy tetthets PE (HDPE).

Data for innløpsarrangementet ble satt inn i CES edupack 2015. Programmet benytter vekt, materialet og produksjonsmetode til å beregne energi forbruk og CO2 avtrykk for de ulike stegene i produktets levetid(figur98).

Component	Process	Amount processed	Energy (MJ)	%
Krage PE 100, Innerdiameter 500	Polymer extrusion	3,8e+02 kg	2,4e+03	14,8
Rør PE 100, 500 SDR 41	Polymer extrusion	8,4e+02 kg	5,2e+03	32,2
Flens. Innerdiameter 526	Casting	3,8e+02 kg	4,4e+03	27,4
Bolt M42. 200 mm	Casting	2e+02 kg	2,4e+03	14,6
Mutter M42	Casting	79 kg	8,8e+02	5,5
Skiver. M42	Casting	77 kg	8,8e+02	5,5
Total			1,6e+04	100

Figur 98. Energi krevet for å produsere komponentene.

I konfigurasjonen til programmet ble det gitt at 25% av stålet og 20 % av PE plasten kommer fra gjenbruk. Programmet tar utgangspunkt i en brukstid på 25 år. Detaljert energirapport er vedlagt (vedlegg D).

10. Prosessevaluering og diskusjon

Her evalueres de ulike prosessene i gradsavhandlingen, hvilke problemer som oppstod underveis og hva som kunne blitt utført annerledes diskuteres.

10.1 Forsøk og resultater

Resultater i denne oppgaven viser at CFD-analyser med enkelhet kan fremstille komplekse strømningssituasjoner som er vanskelige og tidkrevende å få frem med analytiske metoder. Resultatene som fremkommer i flere av forsøkene viser at det kreves en kritisk vurdering av datasimulerte strømninganalyser. Dette fremheves tidlig, avvikene i vurdering av pilotforsøket utført i 1991 tilsier at det må være en feil i CFD-oppsettet. Å kartlegge hvor feilen ligger er en tidkrevende prosess, det kreves at alle parametere er kjente, som ikke er tilfelle i dette forsøket. Analysen Praxir har utført for Bremnes Seashore på det eksisterende innløpsarrangementet stemmer heller ikke med det de har erfart. Dette dannet grunnlaget for oppgaven og utviklingen av forsøket.

Siden resultatene fra pilotforsøket i 1991 avvirket såpass mye fra CFD-analysen, ble det ansett som nødvendig å utvikle et kontrollert forsøk. I planleggingsfasen ble det klart at ikke kunne benyttes elektronisk måleutstyr, ettersom dette var for kostbart og hadde en lang leveringstid. Som følge av dette måtte man ta i bruk en enklere metode, som hadde en rekke begrensinger og flere usikkerhetsfaktorer. Det ble valgt å bruke en fotografisk og optiske metode, som filmet en prøve mens den fulgte strømmingen i vannoverflaten. Strømningshastigheten og strømningsbilde ble derfor ikke analysert i andre deler av karvolumet enn i overflaten, CFD-analysen vurderes av denne grunn heller ikke i andre områder enn i overflaten.

Materialet som var tiltenkt benyttet i forsøket holdt ikke den standarden som var ønskelig for å gjennomføre et forsøk med høy grad av nøyaktighet som var et av delmålene satt i planleggingsprosessen. Dette så man da innløpene i distribusjonsrøret ikke var utboret med tilstrekkelig nøyaktighet. Forsøkene ble derfor gjennomført to ganger, før og etter korrigerings disse utboringene.

Sammenligninger mellom resultater før og etter korrigeringen viste at små forskjeller i oppsettet utgjør en stor forskjell i strømningsmønstrene. Forsøkene vurderte tre ulike slipp-radier og tre ulike volumstrømmer. Målinger utført på volumstrømmene viste at volumstrøm en og to lå veldig tett opptil hverandre, det hadde vært ønskelig om volumstrøm to lå midt mellom en og tre. Målinger av volumstrømmen inn i distribusjonsrøret ble gjennomført ved å måle hvor lang tid det tok å fylle en 10 liters bøtte. Stoppeklokken stoppet når vannet passerte et markert punkt. Med denne målemetoden er det knyttet et stort usikkerhetsmoment, da det enkelt kan enkelt forekomme avlesningsfeil. I så henseende hadde det medført at CFD-analysene ble gjennomført med feil volumstrømmer. Standardavvikene fra målingene viser derimot at det ikke er store forskjeller mellom de ulike målingene, standardavviket for volumstrøm nummer en er på 0,2 L/min og 0,3 L/min for volumstrøm nummer to og tre.

Forsøkene ble utført med vann fra det lokale VVS anlegget, dette medførte at volumstrømmen inn i karet varierer noe. Under oppsettet for CFD-simuleringen ble det valgt en variasjon på 2% ved innløpene, det ble ikke utført forsøk som kan vise at den faktiske variasjonen er større. Prøven som ble brukt i forsøket var ikke 100% sirkulær, ved senere vurdering så kunne man ha brukt mer tid i planleggingsfasen på denne komponenten. For å sammenligne forsøksresultater opp mot CFD-analyser ble 5 forsøk utplukket. Disse 5 forsøkene gir en god representasjon av de totalt 27 forsøkene, et forsøk for alle slipp-radier og volumstrømmer. I tillegg ble to forsøk fra samme slipp-radie og volumstrøm vurdert opp mot hverandre, slik at en kunne vurdere reproduserbarheten i forsøket. Beregning på forsøkskaret viser at man har en turbulentstrømning, dette var også noe som ble observert under gjennomføringen.

Sammenligning mellom resultatene i forsøket og CFD-analysene viste klare forskjeller. Dette gjelder spesielt for hastigheten som forsøksprøven har mellom de ulike målepunktene. En gjennomsnittlig

hastighets forskjell på 39%, i enkelte områder var hastigheten fra forsøket over det dobbelte av hva strømningshastigheten fra CFD-analysen skulle tilsi.

Når det gjelder strømningslinjer og banen prøven bevegde seg i, ser man en mye større grad av likhet. Men her er det også områder der likheten er større enn andre. En vurdering mellom to like forsøk (forsøk 4 og 6) viste at reproduserbarheten er god, men ettersom prøven har såpass liten egenvekt og at de turbulente virvelen i karet er relativt kraftige så vil det alltid være en viss forskjell i hvordan prøven blir påvirket av strømmingen. Variasjonen mellom de ulike forsøkene kan forklares med at meshingen i CFD-analysen ikke har vært fin nok. En for grov mesh klarer ikke å fremstille alle turbulente virvler som oppstår, når prøven i tillegg var så lett (4,78 mg), vil den lett bli tatt av slike ustabile virvler. I CFD-oppsettet, ble en overflateruhet på 1,5 micrometer valgt for forsøket, i virkeligheten har tanken en ruhet på $3,0 \mu\text{m} \pm 0,3\mu\text{m}$ (Palanikumar 2006). En grovere overflate vil skape mer friksjon, og strømningshastigheten vil dermed senkes (Michael et al. 1998). Hadde forsøket blitt utført med digitale strømningsmålere kan det være at man hadde fått bedre resultater, samtidig som man kunne ha analysert hele karetets volum.

Resultatene som kom fram CFD-analysene stemmer derimot godt med tidligere sammenligninger (Skye et al. 2006; Strachan et al. 2011).

Forbedringspotensialer i forsøk:

- *Burde ha benyttet elektroniske målere av volumstrøm og strømningshastighet.*
- *Forsøkene burde ha blitt utført på en tank som hadde en utforming lik den som utvikles.*
- *Meshen kunne ha vært finere i CFD.*
- *Kunne ha utført sammenligninger på flere forsøk.*
- *Utført simuleringer med en grovere overflatruhet.*

10.3 Produktutviklingsprosessen

Med bakgrunn i teori, forsøksresultater og ønskede produkttegenskaper ble tre ulike innløpsarrangementer vurdert. En av disse var den eksisterende løsningen som Bremnes benytter i dagens ventemerd. Etter en vurdering mellom CFD-analysen Praxair har utført og CFD-analysen som ble gjennomført i denne oppgaven, er det klare forskjeller mellom resultatene fra simuleringene. Praxair har ikke benyttet seg av samme simuleringprogram, og oppsettet er ikke kjent for simuleringen. I løsningsforslag nr.1 økes antall distribusjonsrør fra en til fire og etter teorien skal løsningen gi hastigheter som er ønskelig, men dette stemmer ikke med CFD-analysen. Disse resultatene er verdt å merke seg da strømningshastighetene fra strømningsanalysen avviker med en faktor på 2,4 fra den teoretiske. Det er heller ingen klare forskjeller i spredningen mellom hastighetene fra den eksisterende løsningen til løsningsforslag nr.1

Diameteren på innløpene og distribusjonsrøret økte med en faktor på 2,4 i løsning nr.2. Med bakgrunn i resultater fra løsningsforslag nummer 1, dette medførte en økning i tverrnittsarealet med en faktor på fra den 5,1 eksisterende løsningen. Denne løsningen skal i teorien gi en primærstrømningshastighet på 1,9 cm/s. CFD-analysene viser derimot at hastighetene kom godt innenfor kravene satt av Bremnes Seashore. Spredningen i strømningshastigheten er også mye mindre i de vurderte snittene, etter økningen av diameteren på distribusjonsrørene. I forhold spredningen i løsningsforslag nr.1 og den eksisterende løsningen. I utviklingen av nytt innløpsarrangement ble det belyst hvorvidt utviklingen av nytt innløpsarrangement skulle ta utgangspunkt i at den reelle strømningshastigheten ville ligge omkring 39% over det som kommer fra av CFDen. Forsøket hadde flere begrensinger som medførte at dette ikke ble gjort. For å kunne ha en slik tilnærming er det ønskelig å analysere en større datamengde i et forsøk som bruker målemetoder med mindre usikkerhet.

Materialvurderinger og styrkeberegninger viste at det ikke er knyttet store problemer til produktet. I konseptscreeningen kommer løsningsforslag nr.2 best ut av Pughs matrisen. Den eksisterende løsningen består av færre komponenter og har en enklere utforming, men uniformitet i strømningshastighet og strømningsbilde veier såpass tungt at denne løsningen kommer best ut av vurderingen.

Pughs metode er i utgangspunktet en veldig subjektiv metode. Vektingen og poengene som alternativene får baserer seg på en subjektiv vurdering. Ved å la Bremnes Seashore være med å bestemme vektingen av kriteriene ble ikke denne metoden vurdert subjektivt, hvor mange poeng hvert enkelt kriteriet oppnår er fortsatt basert på en subjektiv vurdering. Det er derfor ikke sikkert at løsningsforslag nummer to er den samme som Bremnes Seashore anser som best egnet for deres behov.

CFD-analysene av den valgte løsningen viste at det oppstår turbulens i distribusjonsrøret, og at fordelingen mellom de ulike innløpene ikke er uniform. Det ble derfor vurdert om man skulle re-designe denne. En eventuell re-design ville medført at Bremnes måtte ha gjort om på rørsystemet før distribusjonsrøret, som er utenfor oppgavens omfang. En slik re-designing ville også ha medført en betydelig kostnad. Når man ikke kan se at denne ujevne fordelingen mellom innløpene resulterer i en ujevn strømningshastighet i volumet, kan ikke denne kostnaden forsvares. Denne vurderingen gjorde at det ikke ble utviklet en nytt distribusjonsrør, som kunne ha redusert ulikhetene mellom innløpene.

Produsering og bygging av innløpsarrangementet er noe Bremnes Seashore har utført på den eksisterende løsningen. Det anbefales at PE rørene speilsveises, og at man benytter en bolt-forbindelse som kobler innløpene til tanken. Alle kanter og hjørner burde avrundes.

En tidlig kostnadskalkyle viser en total kostnad på 1,2 millioner kroner inkluderer utvikling og implementering av løsningsforslag nummer to, i ventemerden. Denne kalkylen omfatter derimot ikke komponenter utenfor oppgavens omfang. Kalkylen baseres på katalogpriser, og et overslag gitt fra Brødrene Dahl. Den reelle kostanden kan derfor være større enn det som fremkommer i denne oppgaven.

Forbedringspunkter i konseptutviklingsarbeidet:

- *Kostnadskalkylene baseres seg på katalogpriser og oppgitt pris fra leverandør, kan være litt misvisende ved en produksjon*
- *Kunne ha utviklet et nytt distribusjonsrør, som hadde medført en jevnere fordeling mellom innløpene.*
- *Simuleringer inkluderer ikke laks. Laksen vil påvirke strømningsbilde i tanken i større eller mindre grad (Lungera & Rasmussen 2006).*

11. Konklusjon

I denne gradsavhandlingen har det blitt designet og utviklet et nytt innløpsarrangementet som tilfredsstillende krav til strømningshastighet og strømningsmønster stilt av Bremnes Seashore. Nøyaktigheten til en datasimulert strømningsanalyse ble i denne utviklingsprosessen vurdert gjennom forsøk, før eksisterende innløpsarrangement ble 3-D modellert og analysert. Resultatene fra forsøkene og erfaringene fra det eksisterende innløpsarrangementet sammen med en teoretisk bakgrunn, dannet grunnlaget for utvikling og design av to nye innløpsarrangement.

Det endelige resultatet viser gjennom CFD-analyser at det oppnås et uniformt strømningsmønster og liten spredning i strømningshastighet. Som ligger innenfor den ønskede strømningshastigheten gitt av Bremnes Seashore. Sammenligninger mellom analyse metodene tilsier at det må gjøres ytterligere vurderinger før en produksjon settes i gang, ettersom det er klare avvik mellom datasimuleringer og praktiske forsøk. Teoretiske beregninger viser at løsningsforslag nummer en vil gi ønskede strømningshastigheter og uniformitet i strømningsbilde. Hvilken av de forslåtte løsningsforslagene som er best i praksis er ikke enkelt å forutsi uten ytterligere undersøkelser. Teoretisk skal primærstrømningshastigheten i et rundt sirkulasjonskar være 20% av innløpshastigheten (Davidson, John. & Summerfelt, Steven 2004; Masaló 2008). Det er etter denne påstanden løsningsforslag nummer en ble utviklet fra. Hvorfor datasimuleringene ikke stemmer med denne teorien, eller hva som kan forklare den store forskjellen mellom analysemetodene, kan grunne i at meshen som har blitt benyttet kan ha vært for grov. Alle beregninger utført på Reynoldstall viser i tillegg at alle strømningslinjene er turbulente, både i distribusjonsrør og de ulike tankene. Denne turbulensen gjør det vanskeligere for en datasimulering å estimere hastighet og strømningslinjer, da de er under konstant forandring.

I all hovedsak består løsningen som kom best ut av konseptscreeningen ved at man øker antall innløp i distribusjonsrøret fra 6 til 7 og øker den indre diameteren fra 450 mm til 475,4 mm. For å oppnå et uniformt strømningsbilde i hele ventemerdens volum ble antall distribusjonsrør økt til fire, disse ble plassert symmetrisk rundt ventemerden. Dette følger teorien om at flere distribusjonsrør skal resultere i et mer uniformt strømningsbilde (Skybakmoen 1989; Tvinnereim & Skybakmoen 1989). Utfra strømningsanalysene påvises det en klar endring i hastighetsspredningen i de ulike snittene.

Innløpsarrangementet fremstilt i oppgaven kan skaleres opp og ned, slik at den passer til runde sirkulasjonskar med sirkulær strømning i ulike størrelser. Høyde/diameter forhold (0,44) må være tilnærmet lik, men størrelsen på karene påvirker ikke uniformiteten i strømningsbildet så lenge alle komponenter skaleres likt.

Det kreves ytterligere forsøksresultater som sammenlignes mot strømningsanalyser for å kunne gi noen gode prediksjoner på hvor store forskjellene er mellom datasimuleringer og forsøksresultater, men forsøket utført i denne masteroppgaven støtter studier som er utført på lignende situasjoner.

11.1 Anbefalinger

For Bremnes Seashore kan det være aktuelt å benytte seg av samme distribusjonsrør som i dagens løsning, men at antallet distribusjonsrør økes fra et til fire. Disse monteres symmetrisk rundt tanken, slik som man har gjort i løsningsforslag nummer en og to. Ved benyttelse av en slik løsning, kan Bremnes Seashore unngå kostnader knyttet til en nyutvikling av nytt innløpsarrangement, samtidig som de oppnår et uniformt strømningsmønster og-hastigheter.

11.2 Videre arbeid

Før en eventuell implementering av det anbefalte innløpsarrangementet løsningsforslagene gjenstår det en god del arbeid. Dette arbeidet omfatter:

- Gjennomføring av forsøk med færre usikkerhetsmomenter.
- Gjennomføring av CFD-analysen med en finere mesh.
- Re-design av distribusjonsrøret som medfører en uniform fordeling mellom de ulike innløpene.
- Utvikling av prototype
- Gjennomgå den resterende datamengden fra tidlig forsøket og sammenligne disse resultatene.

Litteraturreferanser

Skriftlige kilder

- Bakker, A. (2002). *Applied Computational Fluid Dynamics*. Lecture 7 - Meshing. Dartmouth College: Fluent Inc.
- Barnard, T., Durrans, R., Lowry, S., Meadows, M., Walski, T. & Whitman, B. (2002). *Computer Applications in Hydraulic Engineering*, b. 8. 7 Brookside Rd., Waterbury, CT 06708: Bentley Institute. 110-112 s.
- Bauera, C. & Schlottb, G. (2004). *Overwintering of farmed common carp (Cyprinus carpio L.) in the ponds of a central European aquaculture facility—measurement of activity by radio telemetry*. Aquaculture. Ökologische Station Waldviertel, 3943 Gebharts 33, Austria: University of Veterinary Medicine.
- Be'gout, M., L., & Lagarde' re, J., P. (1997). *Swimming and feeding behavior of sea bream and seabass raised in ponds*. First workshop(COST827) on voluntary food intake in fisk Aberdeen: The University of Aberdeen.
- Brown, G., O. (2002). *The History of the Darcy-Weisbach Equation for Pipe Flow Resistance*. Enviromental and water resources history Oklahoma State University, Stillwater: Oklahoma State University. 10 s.
- Burrows, R. & Chenoweth, H. (1995). Evaluatuin of Three Types of Fish Rearing Ponds. Whasington, DC, : US Department of the Interior, Fish abd Wildlife Service. 29 s.
- Bøe, J., K. . (2014). *TIP300 Konsept og produktrealisering: Industriell økologi og produktplanlegging*, 13.10. 1430 Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, NMBU. 32 s.
- Callister, W. D. (1994). *Materials science and engineering : an introduction*. 3rd ed. utg. New York: Wiley.
- Chant, R., J. . (2009). *Estuarine Secondary Circulation*. Rutgers University 2s.
- Chase, D., V., , Dragan A. Savic & Thomas M, W. (2002). *General Flow Characteristics Basic Hydraulic Principles* 37 Brookside Rd., Waterbury, CT 06708: Haestad Methods, Inc.
- Crow, K. (2002). *The principles of ingrated product development* Palos Verdes, CA 90274USA: DRM Associates. 1 s.
- Davidson, J. & Summerfelt, S. (2004). *Solids flushing, mixing, and water velocity profiles within large(10 and 150 m3) circular "Cornell-type" dual-drain tanks*. Aquacultural engineering 32.
- Davidson, J. & Summerfelt, S. (2004). *Solids flushing, mixing, and water velocity profileswithin large (10 and 150 m3) circular 'Cornell-type' dual-drain tanks*. Turner Road, Shepherdstown, WV 25443, USA: Sciencedirect.
- Douglas, J., F., , Gasiorek, J., M., & Swaffield, J., A. (2000). *Fluid Mechanics*. Essex England: Prentice Hall. 327-332 s.
- Fitzsimmons, S., D., & Warburton, K. (1992). *Fish movement behaviour: variability within and between groups*. Behavioural Processes. Department of Zoology, University of Queensland, St. Lucia, Australia: Elsevier Science Publishers
- Fjære, S. O., Lekang, O.-I. & Skjervold, P. O. (1991). *Selvresingskapaistet i fiskeoppdretts kar med skrå bunn; Resultater fra pilotforsøk*. Norges Landbrukshøgskole: Institutt for tekniske fag. 6 s.

- Franzini, J. B. & Finnemore, E. J. (1997). *Fluid mechanics with engineering applications*. 9th ed. utg., b. 10. New York: McGraw-Hill.
- Fänge, R. (1983). *Gas exchange in fish swim bladder*. Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology. University of Göteborg: Springer Berlin Heidelberg.
- Gibson, R., John. (1978). *The Behavior of Juvenile Atlantic Salmon (Salmo salar) and Brook Trout (Salvelinus fontinalis) with Regard to Temperature and to Water Velocity*. Woods Hole, Massachusetts: American Fisheries Society.
- Gjevik, B. (2009). *Innføring i fluidmekanikk* Universitetet i Oslo: Matematisk Institutt. 150-180 s.
- Goodwill, D. & Sleigh, F. (2007). *CIVE2400 Fluid Mechanics*. Leeds University of Leeds.
- Hem, L., J., Skybakmoen, S. & Tvinnereim, K. (1987). *Strømningsteknisk utprøving av fiskeoppdrettskar*. NHL rapport (trykt utg.), b. STF60 A87019. Trondheim: Norsk hydroteknisk laboratorium. A2-4 s.
- Jeong, H., Min., Han, S., Chung., Se, H., Kim., Seuk, C., Choi., & Kang, Y., Bae. (2004). *Fluid flow characteristics in the aquaculture tank for a breeding fish*. School of Mechanical & Aerospace Engineering, Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Gyeongnam 650-160, Korea KSME International Journal.
- Kestin, J., Mordechai, S. & Wakeham, W., A. . (1978). *Viscosity of Liquid Water in the Range -8 °C to 150 °C*. Brown University, Providence, Rhode Island Brown University. 8 s.
- Kristiansen, T., S., & Samuelsen, O., B. . (2006). *Fiskevelferd ved bruk av slatemerd for oppdrettsfisk* Ullevålsveien 76, 0454 Oslo: Havforskningsinstituttet. 20 s.
- Lekang, O.-I. & Fjæra, S. O. (1997). *Teknologi for akvakultur*. [Oslo]: Landbruksforlaget. 419 s. ill. s.
- Lungera, A. & Rasmussen, M., R. . (2003). Fish stocking density impacts tank hydrodynamics. *Aquaculture*. Plantation Road, Blacksburg, VA 24061, USA: Virginia Tech Aquaculture Center.
- Lungera, A. & Rasmussen, M., R. . (2006). Fish stocking density impacts tank hydrodynamics. *Aquaculture*. 1 Plantation Road, Blacksburg, VA 24061, USA: Virginia Tech Aquaculture Center. 370-375 s.
- Masaló, L., Ingrid. (2008). *Hydrodynamic characterisation of aquaculture tanks and design criteria for improving self-cleaning properties*. Universitat Politècnica de Catalunya: Departament d'Enginyeria Agroalimentària i Biotecnologia.
- Michael, B., Timmons., & James, M., Ebling. (2012). *Culture Tank Design*. Aquaculture Education, Extension, and Technology College of Agriculture and Life Sciences Arizona: The University of Arizona. 1-24 s.
- Michael, B., Timmons., , Steven, T., Summerfelt., & Brian, J., Vinci. (1998). *Review of circular tank technology and management*. Cornell University, Ithaca, NY 14853, USA: Department of Agricultural and Biological Engineering. 51-69 s.
- Miles, H., A, Keenleyside., Fred, T, Yamamoto. (1962). *Territorial Behaviour of Juvenile Atlantic Salmon (Salmo Salar L.)*. Behaviour. St. Andrews Canada: Fisheries Research.
- Mo, T., Atle. (2000). *Spredning av lakselus fra oppdrettsanlegg*. Drammensveien 288, 0283 Oslo: Norges Forskningsråd. 2 s.
- Oca, B., Joan., & Masalo, I. (2012). Flow pattern in aquaculture circular tanks: Influence of flow rate, water depth, and water inlet & outlet features. *Aquacultural Engineering*: 8.
- Olsen, M., Langmoen. (2013). *Vannkvalitet ved slakting*. Masteroppgave. Ås: NMBU, IMT 106 s.

- Olsen, N. R. B. (2015). Kompendium del 2 og 4 I: b. 1 *TVM 4116 Hydromekaniks*. 104. Norges Tekniske Naturvitenskapelig Universitet (NTNU): NTNU.
- Palanikumar, K. (2006). *Application of Taguchi and response surface methodologies for surface roughness in machining glass fiber reinforced plastics by PCD tooling*. Department of Mechanical and Production Engineering, Sathyabama Institute of Science and Technology, Deemed University, Chennai-119, Tamilnadu, India: International Journal of Advanced Manufacturing Technology.
- Pettersen, D. M. B. (2010). *Havrommet og havmiljøet*. Havromsteknologier. NTNU Trondheim: Institutt for marin teknikk.
- Pipelife. (2007). *Trykkrørsystemer* Teknisk håndbok: Pipelife Norge AS.
- Pipelife. (2008). *PE trykkrør*. Pipelife: PE41,DY500.
- Praxir. (2015). *CFD Fremstilling Ventemerdd*: Bremnes Seshore.
- Ross, R., M., Barnaby, J., Watten., William, F. & Krise, M., N. (1993). *Influence of Tank Design and Hydraulic Loading on the Behavior, Growth, and Metabolism of Rainbow Trout* Department of Biology. Mansfield University, Mansfield, Pennsylvania 16933. USA Elsevier Science Limited
- Schurmann, H., Guy, C. & Hervé, C. (1998). *Change in vertical distribution of sea bass (Dicentrarchus labrax L.) during a hypoxic episode*. Hydrobiologia. Centre de Recherche en Ecologie Marine et Aquaculture de L' Houmeau, B.P.5, 17137 L' Houmeau, France: Kluwer Academic Publishers.
- Skybakmoen, S. (1989). *Impact of water hydraulics on water quality in fish rearing units* Water Treatment and Quality Trondheim, Norway: AquaNor.
- Skye, H., M., Nellis, G., F., & Klein, S., A. . (2006). *Comparison of CFD analysis to empirical data in a commercial vortex tube*. International Journal of Refrigeration. Department of Mechanical Engineering, University of Wisconsin-Madison: Elsevier.
- Stéphane G. Contia., Philippe, R., Fauvelc, C., Benjamin, D. & Maurera, D., A. D. (2005). *Acoustical monitoring of fish density, behavior, and growth rate in a tank* Aquaculture Southwest Fisheries Science Center, 8604 La Jolla Shores Drive, La Jolla, CA 92037, United States Elsevier B.V.
- Strachan, R., Knowles, N. & Lawson, N. (2011). *Comparisons between CFD and experimental results for a simplified car model in wall proximity* Cranfield University, RMCS, Shrivenham,
- Swindon, Wiltshire, SN6 8LA Department of Aerospace, Power and Sensors 13 s.
- Sæverud, W., Bjørn., & Fjæra, S. O. (2013). *Pilotanlegg for opptak og avliving av laks, Landbasert lukket ventemerdd/tank før slakting*. Drammensveien 288, 0283 Oslo: Forskningsradet. 9 s.
- Sæverud, W., Bjørn., & Fjæra, S. O. (2013). *Pilotanlegg for opptak og avliving av laks Landbasert lukket ventemerdd/tank før slakting; Støtte fra Miljøteknologiordningen*. Prosjekt: Bremnes Seashore.
- Taylor, S., Edward. . (1965). *Secondary flow*. Film notes, b. 1. IMT: National Committee for Fluid Mechanics Films. 1 s.
- Terjesen, G. (2015). *Bruk av standarder ved utmattingsberegninger* Fokus: DNV-RP C203.

- Timmons, M. & Youngs, B. (1997). Considerations on the design of raceways *Aquacultural Systems Engineering*. San Juan: American Society of Agricultural Engineers. 4-20 s.
- Tipler, P., A. & Mosca, G. (2008). *Physics for scientists and engineers : with modern physics*. 6th ed. utg. New York: Freeman.
- Tvinnereim, K. & Skybakmoen, S. (1989). *Water exchange and self-cleaning in fish rearing tanks*. . Bredena, Belgium: European Aquaculture Society.
- Vidhammer, G. (2016). *Skisse på kar fra a-plast: a-plast*.

Personlige meddelelser

- Bartolo, J. K. (2016). *Rør forbindelser*. Ski, T. (red.). Veiledning vedrørende PE Pipelife.
- Bøe, J. K. (2016). *Masterveiledning, økonomi*. Ski, T. F. (red.). IMT, ÅS: NMBU.
- Fjæra, S. O. (2016). *Veiledningsmøte*. Ski, T. (red.).
- Lekang., O.-I. (2016). *Strømningshastighet*. Ski, T. (red.). Master veiledning.
- Martinsen, F. (2016). *Prisoverslag innløpsarrangement*. Ski, T. (red.): Brødrene Dahl.
- Tyvand, P. A. (2016). *Veiledning vedrørende vannfordeling*. Ski, T. F. (red.). NMBU.

Nettkilder

- (API), A. P. I. (2016). *Pipes and Pipe Sizing*. <http://www.spiraxsarco.com/>: spirax sarco. Tilgjengelig fra: <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/steam-distribution/pipes-and-pipe-sizing.aspx> (lest 24.04).
- Engineering, F. o. E. a. A. S. M. a. M. (2009). *Losses in Pipes*. <http://me.queensu.ca>: Queens University. Tilgjengelig fra: <http://me.queensu.ca/People/Sellens/LossesinPipes.html> (lest 24.04).
- Gladlaks. (2015). *EN GLADLAKS BLIR TIL*. <http://www.gladlaks.no>: Lerøy. Tilgjengelig fra: <http://www.gladlaks.no/wp/> (lest 04.02.2016).
- GROUP, E. (2015). *HAVBRUK*. Egersund net. www.egersundnet.no: Egersund group. Tilgjengelig fra: <http://www.egersundgroup.no/havbruk/egersund-net> (lest 10.02).
- Guttormsen, M. (2007). *Bernoulliligningen*. <https://snl.no>: Store Norske leksikpn. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/Bernoulliligningen> (lest 16.02).
- Hallenstvedt, A. (2015). *Fiskeoppdrett*. Havbruk. <https://snl.no>: STORE NORSKE LEKSIKON. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fiskeoppdrett> (lest 04.02).
- Hill, K. (2012). *Turbulence created behind an object in a laminar fluid.*: Science-Based Life Tilgjengelig fra: <https://sciencebasedlife.wordpress.com/2012/10/17/food-coloring-fluid-dynamics-and-an-awesome-lab-demo/> (lest 10.03).
- Lovdata. (2008). *Forskrift om drift av akvakulturanlegg (akvakulturdriftsforskriften)*. 4 utg. FOR-2008-06-17-822. <https://lovdata.no>: Lovdata. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-822>.
- Messtechnik, S. (2015). *Strømningmåler, håndholdt*. <http://www.houm.no/Str%C3%B8mningsm%C3%A5ler,+h%C3%A5ndholdt.9UFRvIXD.ips>: Houm (lest 02-03).
- Metrologisk, i. (2016). *Klimastatistikk for Vestlandet*. Været som var (klima). <http://www.yr.no/>: Metrologisk Institutt. Tilgjengelig fra: <http://www.yr.no/sted/Norge/Hordaland/B%C3%B8mlø/Svortland/klima.m%C3%A5ned01.html> (lest 21.04).

- Planteland. (2015). *Sjømat*. LAKS, SALMON (Salmo Salar). <http://www.royaltrade.no/>: Norwegian royal trad. Tilgjengelig fra: <http://www.royaltrade.no/sjomat/laks.html> (lest 10.02.2016).
- Rolsdorph, N. (2004). *Mot bedre tider for lakseeksporten?* ssb.no: Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/utenriksokonomi/artikler-og-publikasjoner/mot-bedre-tider-for-lakseeksporten> (lest 28.02.2016).
- Salma. (2015). *Fra rogn til SALMA*. <http://www.salma.no/>: Bremnes Seashre. Tilgjengelig fra: <http://www.salma.no/fisk-til-disk/> (lest 04.02.2016).
- Seafood.no. (2015). *Rekordhøy lakseeksport i 2014*. <http://www.seafood.no/>: Norges Sjømatråd. Tilgjengelig fra: <http://www.seafood.no/Nyheter-og-media/Nyhetsarkiv/Pressemeldinger/%E2%80%8BRekordh%C3%B8y-lakseeksport-i-2014> (lest 28.01.2016).
- Seashore, B. *Vekst i takt med naturen*. Øklandsvegen 90, 5430 Bremnes: Bremnes Seashore. Tilgjengelig fra: <http://www.seashore.no/produksjon/oppdrett/> (lest 09.05.).
- Sivertsen, S. O. (2014). *Fisker etter rømt laks ved Kverva*. Fiskeridirektoratet ble tirsdag varslet om rømt oppdrettsfisk ved Salmars ventemerde på Kverva. <http://www.hitra-froya.no/>: Hitra-frøya. Tilgjengelig fra: <http://www.hitra-froya.no/havbruk/article10019134.ece> (lest 10.02.2016).
- Sæther, J. M. (2015). *Hva sier laksen?* Dagsavisen. <http://www.dagsavisen.no/>: Dagsavisen. Tilgjengelig fra: <http://www.dagsavisen.no/helg-nye-inntrykk/reportasjer/hva-sier-laksen-1.386403> (lest 04.02.2016).
- Taneda, S. (2009). *Circular Cylinder flow*. Tilgjengelig fra: <http://iandallas.com/blog/main/wp-content/uploads/2009/03/cylinder.jpg> (lest 02.02).

Vedlegg:

- A. Arbeidsplan for oppgaven.
- B. Beregninger utført på innløpsarrangement i forsøkskaret. Undersøker om det er jevn volumstrøm og hastighet ut av hvert enkelt innløp.
- C. Ventemerden med foreslått innløpsarrangement, rendrert på lokalitet.
- D. Livsløpsanalyse av innløpsarrangementet.
- E. Sammenstilt design av innløpsarrangementet.
- F. Konstruksjonstegning av distribusjonsrør.

A

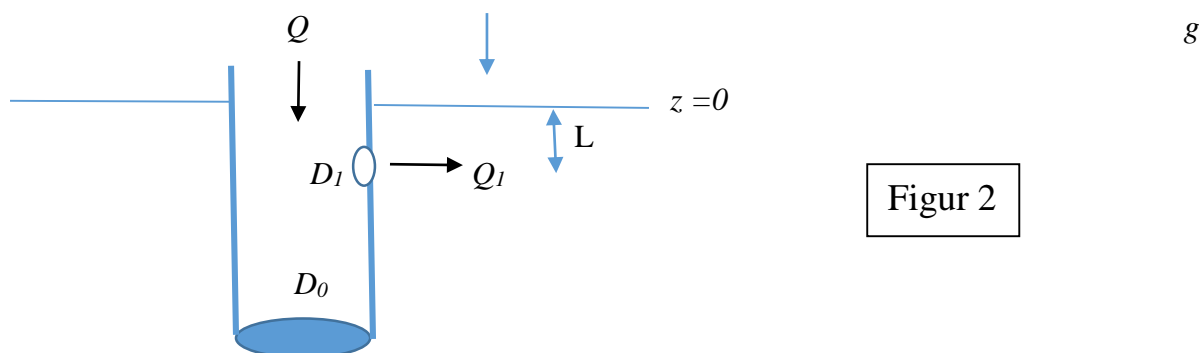
Vedlegg: A

Oppgave	Varighet	Start	Slutt	Jan			Feb				Mar				Apr				May					
				Jan 4	Jan 11	Jan 18	Jan 25	Feb 1	Feb 8	Feb 15	Feb 22	Feb 29	Mar 7	Mar 14	Mar 21	Mar 28	Apr 4	Apr 11	Apr 18	Apr 25	May 2	May 9	May 16	
Valg av oppgave	5d	04.01.16	08.01.16																					
Målsetninger og problemstillinger	5d	06.01.16	10.01.16																					
<input checked="" type="checkbox"/> Teknologi og teori bakgrunn	23d	11.01.16	02.02.16																					
Bakgrunns teori	11d	11.01.16	21.01.16																					
Tank utforming	6d	22.01.16	27.01.16																					
Fiskevelferd	8d	26.01.16	02.02.16																					
Vurdering av tidligere forsøk	11d	02.02.16	12.02.16																					
<input checked="" type="checkbox"/> Forsøk	32d	09.02.16	11.03.16																					
Planlegging og utstyrvurdering	8d	09.02.16	16.02.16																					
Gjennomføring	3d	18.02.16	20.02.16																					
Databelhandling og analysering	21d	20.02.16	11.03.16																					
3-D modellering og strømningsanalyse av forsøk	10d	15.03.16	24.03.16																					
Vurdering av resultater fra fra strømningsanalyse og forsøk	15d	25.03.16	08.04.16																					
3-D modellering og strømnings analyse av eksisterende løsning	4d	11.04.16	14.04.16																					
Vurdering av resultater fra eksisterende løsning	4d	14.04.16	17.04.16																					
<input checked="" type="checkbox"/> Konseptutvikling	24d	17.04.16	10.05.16																					
Utvikling av nye løsninger	7d	17.04.16	23.04.16																					
Strømnings analyse av løsninger	10d	23.04.16	02.05.16																					
Materialvalg og styrke beregninger	3d	04.05.16	06.05.16																					
Valg av løsning	2d	06.05.16	07.05.16																					
Kostnad og fremstillings vurdering	4d	07.05.16	10.05.16																					
Rapportframstilling	107d	10.01.16	25.04.16																					
Gjennomlesning	8d	04.05.16	11.05.16																					
Print	1d	12.05.16	12.05.16																					
Forsvaring	1d	20.05.16	20.05.16																					

Vedlegg: B

En gitt volumfluks Q blir transportert nedover i et vertikalt rør med indre diameter D_0 . Dette røret ender under vannspeilet i et stort reservoar. Vannspeilet er gitt ved $z=0$. Den totale energihøyden inne i røret ved $z=0$ er H , og er summen av trykkehøyden H_p (relativt til atmosfæretrykket) og hastighetshøyden, som vi setter lik $V^2/(2g)$, hvor V er middelhastigheten og g er tyngdens akselerasjon. Vannets tetthet ρ regnes for konstant.

Dette store vertikale røret skal ha en rekke med små sirkulære sideåpninger plassert rett under hverandre. Alle disse sideåpningene befinner seg under vann (neddykket). Selve det store røret ender blindt, i en tett endevegg. Den øverste sideåpningen (1) med diameter D_1 befinner seg ved $z=-L$. Det er en konstant avstand L mellom midten av hver røråpning, slik at sideåpning (2) med diameter D_2 befinner seg ved $z=-2L$. Vi betrakter først tilfellet med kun en sideåpning (1), se figur 2.



- a) Vil energihøyden H holde seg konstant langs røret, eller vil den variere med z ? Vi skal her se bort fra det viskøse tapet langs røret. Sett opp et uttrykk for effekten P (energi per tid) som blir transportert gjennom røret ved $z=0$. Vil denne effekten holde seg konstant langs røret eller vil den variere med z ?

Vi ser bort fra viskøst tap langs det store røret, og da vil det ikke være noen endring i energihøyden fra $z=0$ og ned til området rett omkring utløpet. De to energihøydene vil da være trykkehøyden pluss hastighetshøyden. Ved $z=0$ har vi:

$H = H_p(0) + \alpha V_{rør}^2/(2g) = H_p(0) + (4Q/(\pi D_0)^2)^2/(2g) = H_p(0) + 8Q^2/(\pi^2 D_0^4 g)$, hvor vi nå har satt korreksjonsfaktoren $\alpha=1$. $H = \text{konstant}$, for $0 < z < -L$, siden trykkehøyden i røret som funksjon av z blir

$$H_p(z) = H_p(0) - \rho g z, \quad (-L < z < 0),$$

slik at trykkehøyden pluss potensiell energihøyde er konstant: $H_p(z) + \rho g z = H_p(0) = \text{konstant}$.

En nyttig visualisering for å besvare disse spørsmålene er at vi tenker oss tynne vertikale siderør med statiske trykksøyler, og Pitot-rør som peker oppover for å vise hastighetshøyden.

Et Pitot-rør viser den totale energihøyden, og vi innser derfor at den er konstant i området $-L < z < 0$, hvor vi neglisjerer viskøse tap. Trykkvariasjonen i dette området er hydrostatisk. Ved å flytte Pitot-røret nedover, innser vi at det hydrostatiske trykke vil øke akkurat like mye som z avtar, siden den totale energihøyden er konstant.

- b) Sett opp Bernoullis ligning fra posisjonen $z=0$ inne i det store røret og til etter utløpet. Forklar at vi kan regne med at strålen mister hele sin kinetiske energi på veien ut

av sideåpningen. Utled en formel for trykkhøyden H_p som kreves (ved $z=0$) for å skape den ønskede volumfluks Q gjennom og ut av røret. Vannets tetthet er $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$. Sett inn oppgitte tallverdier i formelen for H_p , og beregn den totale effekten P i rørstrømningen. I resten av oppgaven er det lovlig å gjøre tilnærmelser ut fra at sideåpningens areal er mye mindre enn hovedrørets tverrsnittsareal.

Talleksempel: $Q = 35 \text{ liter/min} = 0,583 \text{ liter/s}$, $D_0 = 43 \text{ mm}$, $D_1 = 6 \text{ mm}$, $g = 9,82 \text{ m/s}^2$. Vi regner at $L=10 \text{ cm}$, men denne lengden har ingen betydning for utregningen. Forklar hvorfor.

Bernoullis ligning fra $z=0$ til et punkt langt ute i karet (med hydrostatisk trykk) gir

$$H_p(0) + V_{\text{rør}}^2/(2g) = 0 + h_L = V_1^2/(2g)$$

Vi innfører volumfluks Q og får relasjonen

$$H_p(0) + Q^2/(2gA_0^2) = Q^2/(2gA_1^2), \text{ hvor vi har innført tverrsnittsarealene for hovedrøret og røråpningen.}$$

$$H_p(0) = (Q^2/(2g)) (A_1^{-2} - A_0^{-2}) = (Q^2/(2g)) (A_1^{-2} - A_0^{-2})$$

Arealene A i denne formelen uttrykkes ved diameter D : $A^{-2} = (\pi D^2/4)^{-2} = (16/\pi^2)\pi D^{-4}$ og gir formelen

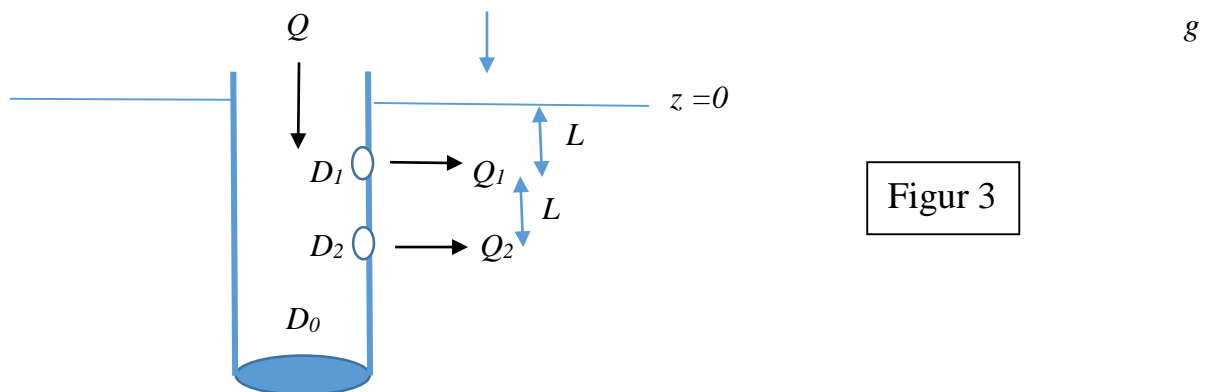
$$H_p(0) = (8Q^2/(\pi^2 g)) (D_1^{-4} - D_0^{-4}) = ((8 \times 0,000583^2)/(\pi^2 \times 9,82))(0,006^{-4} - 0,043^{-4}) \text{ m} = 21,65 \text{ m.}$$

Et overtrykk på rundt to atmosfærer trengs for å presse denne fluks gjennom den lille åpningen. Utregningen viser at diameteren D_0 til røret ikke betyr noe for resultatet. Avstanden L fra sidehulllet og opp til overflaten inngår ikke i formelen i det hele tatt. Effekten i denne rørstrømningen får verdien

$$P = \rho g Q H_p = 1000 \times 9,82 \times (0,035/60) \times 21,65 \text{ W} = 124 \text{ W.}$$

Denne effekten skal gå tapt etter utløpet. Dette er en helt grei verdi som svarer til to kraftige gammeldage lyspærer.

Vi betrakter nå det litt mer kompliserte tilfellet med to røråpninger, se figur 3.



- c) Sett opp Bernoullis ligning fra posisjonen $z=0$ inne i det store røret og til etter hvert utløp (1) og (2). Forklar at vi kan regne med at hele den kinetiske energien i strømmingen ut av hver sideåpning går tapt. Utled en formel for trykkhøyden H_p som kreves (ved $z=0$) for å skape den ønskede totale volumfluks Q i hovedrøret. Utrykk volumfluksene Q_1 og Q_2 ut av sideåpningene ved Q og diametrene D_1 og D_2 til sideåpningene. Bruk talleksemplet til å beregne trykkhøyden H_p og den totale effekten P som nå kreves ved $z=0$ for å drive strømmingen. Forklar hvordan effekten i rørstrømmen varierer nedover langs røret. Vi neglisjerer fortsatt de viskøse tapene i hovedrøret.
- Talleksempel:** $Q = 35 \text{ liter/min} = 0,583 \text{ liter/s}$, $D_0 = 43 \text{ mm}$, $D_1 = D_2 = 6 \text{ mm}$, $g = 9,82 \text{ m/s}^2$.

B

Bernoullis ligning fra $z=0$ og gjennom det øverste hullllet til et punkt langt ute i karet (med hydrostatisk trykk) gir

$$H_p(0) + V_{r\phi r}^2/(2g) = V_1^2/(2g)$$

Bernoullis ligning fra $z=0$ og gjennom det nederste hullllet til et punkt langt ute i karet (med hydrostatisk trykk) gir

$$H_p(0) + V_{r\phi r}^2/(2g) = V_2^2/(2g)$$

Men dette er akkurat samme formelen, hvor vi bytter ut V_1 med V_2 . Ved å sette disse to uttrykkene for trykkehøyden lik hverandre, får vi umiddelbart at $V_1 = V_2 = V$. Men da kan vi uttrykke volumfluksene veldig enkelt

$$Q_1 = V A_1, \quad Q_2 = V A_2$$

hvor vi har innført arealene til røråpningene. Altså er $Q_2/Q_1 = A_2/A_1$

som vi kombinerer med prinsippet om massebevaring:

$$Q = Q_1 + Q_2 = Q_1(1 + A_2/A_1)$$

$$\text{Herav følger det at } Q_1 = Q A_1 / (A_1 + A_2), \quad Q_2 = Q A_2 / (A_1 + A_2)$$

som betyr at fluksen ut av hver åpning vektet med åpningens areal, naturlig nok.

Videre regner vi med like arealer, $A_1 = A_2$.

Formlene i forrige spørsmål med bare en åpning gjelder fortsatt, når vi halverer verdien til fluksen. Dette svarer til å dividere med 4 resultatene for trykkehøyde, og vi får

$$H_p(0) = (2Q^2/(\pi^2 g)) D^{-4} = ((2 \times 0,000583^2)/(\pi^2 \times 9,82))(0,006^{-4}) \text{ m} = 5,41 \text{ m}$$

Den totale effekten i rørstrømningen (som er lik effektetapet) vil fortsatt bli gitt ved formelen

$$P = \rho g Q H_p(0)$$

Den blir altså redusert med en faktor fire til verdien 31 W.

Heretter antar vi at alle sideåpningene har den samme diameteren D , og vi vil se spesielt på fem sideåpninger, som vår masterstudent jobber med. Vi neglisjerer alle viskøse tap i hovedrøret.

- d) Vi regner med N sideåpninger på det store røret. Alle disse utløpene skal ha samme diameter D . Den totale volumfluksen er Q . Sett opp Bernoullis ligning for strømmingen gjennom hvert utløp, og vis at vi får en meget enkel formel for hver volumfluks Q_1, Q_2, \dots, Q_N . Bestem trykkehøyden H_p og effekten P som kreves (ved $z=0$) for å drive strømmingen. Forklar hvordan H_p og P varierer med N når Q er konstant. Beregn $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, H_p$ og P når $N=5$. Regn ut et par verdier for Reynoldstallet i hovedrøret for å undersøke om strømmingen er turbulent. Anta vanlig romtemperatur for å bestemme viskositeten fra en tabell.

Talleksempel: $Q = 35 \text{ liter/min} = 0.583 \text{ liter/s}$, $D_0 = 43 \text{ mm}$, $D = 6 \text{ mm}$, $g = 9,82 \text{ m/s}^2$.

Bernoullis ligning fra $z=0$ og gjennom det øverste hullllet til et punkt langt ute i karet (med hydrostatisk trykk) gir

$$H_p(0) = V_1^2/(2g)$$

hvor vi nå har neglisjert hastighetshøyden i tilførselsrøret. Men vi får akkurat den samme ligningen for alle de andre hullllene, noe som umiddelbart gir at alle utløpshastighetene får den samme verdien V . Men vi regner nå med den samme diameteren D på alle rørene, og det medfører at volumfluksen også blir den samme for alle rørene. Dermed fordeler volumfluksen seg likt slik at hvert av de N rørene får volumfluksen Q/N . Vi setter dette inn i Bernoullis ligning og får

$$H_p(0) = V^2/(2g) = (Q/N)^2/(2gA^2) = Q^2/(2gA^2N^2)$$

Trykkehøyden er omvendt proporsjonal med kvadratet av antall røråpninger. Den totale effekten i rørstrømningen er

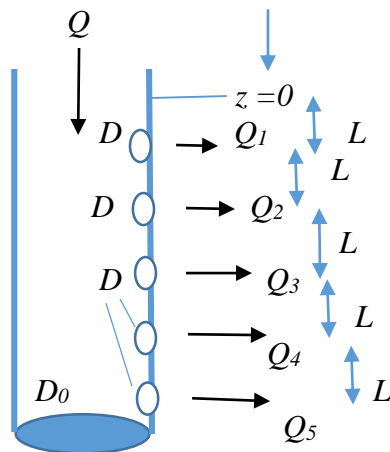
$$P = \rho g Q H_p = \rho g Q^3/(2gA^2N^2)$$

Effekten (og effekt-tapet) er også omvendt proporsjonal med antall røråpninger, når alle disse røråpningene har samme diameter. Når vi har fem åpninger, kan vi altså redusere verdiene som vi opprinnelig fant for trykkhøyden og effekt-tapet gjennom ett rør med en faktor på 25.

Trykkhøyden når vi har fem sideåpninger blir på 87 cm , og effekten som trengs for å drive strømmingen blir knapt 5 W . Volumfluksen ut av hver åpning blir 7 liter/min , og middelhastigheten ut av hver åpning vil være $(0,007/60)/(0,25 \pi 0,006^2) \text{ m/s} = 4,13 \text{ m/s}$.

La oss foreta en kontrollberegning av Reynoldstallet. Vi bruker $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ for den kinematiske viskositeten, og siden diameteren er 43 mm , vil Reynoldstallet for hastigheten 1 m/s i hovedrøret være 43000 . Vi trenger altså over 5 cm/s strømningshastighet for å kunne regne med turbulent strømming i røret. Vår beregning viser at hastigheten i røret blir atskillig større, nemlig $V_{\text{rør}} = 40 \text{ cm/s}$. Reynoldstallet vil ligge rundt 20000 , som viser at denne strømmingen alltid vil være turbulent.

Vi fortsetter med å studere røret som har fem sideåpninger, se figur 4.



g

Figur 4

- e) Vi løfter hele røret med fem sideåpninger ($N=5$) ut av vannet. Vi vil opprettholde den samme vannstrømmen gjennom det, slik at Q skal ha den samme verdien som tidligere. De fem sideåpningene går nå ut mot luft, med fem ulike frie stråler ut av disse åpningene. Se figur 4. Tapshøyden gjennom hver åpning er $K V^2/(2g)$, hvor V er middelhastigheten, og vi setter $K=1/2$. Merk motsetningen til de neddykkede strålene hvor vi hadde $K=1$.

Talleksempel: $Q = 35 \text{ liter/min} = 0,583 \text{ liter/s}$, $D_0 = 43 \text{ mm}$, $D = 6 \text{ mm}$, $g = 9,82 \text{ m/s}^2$. Høydeforskjellen $L=10 \text{ cm}$ mellom hver sideåpning blir nå av stor betydning. Beregn Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 , Q_5 , H_p og P . Dette må gjøres med innsetting av tall, da det medfører tunge numeriske evalueringer som med fordel kan gjøres ved WolframAlpha (wolfram-alpha.com). Sammenlign resultatene med forrige spørsmål hvor alle disse strålene var neddykket. Diskuter frie stråler kontra neddykkede stråler, og forklar da uten å regne hvordan alle resultatene vil endre seg dersom vi tar hensyn til viskøse tap i hovedrøret, fra $z=0$ og videre nedover.

Bernoullis ligning settes opp fra $z=0$ og ut til åpning nummer N :

$$H_p(0) + V_{\text{rør}}^2/(2g) = V_N^2/(2g) - N L + h_L$$

B

På venstre side har vi de to leddene som utgjør energihøyden inne i røret ved $z=0$. På høyre side har vi hastighetshøyden til den frie strålen pluss posisjonen $z=-NL$, pluss tapshøyden for strømmingen på veien fra røret og ut til den frie strålen. Her kan vi sløyfe hastighetshøyden i røret, og vi setter inn $h_L = K V_N^2 / (2g)$.

$$H_p(0) = (1+K) V_N^2 / (2g) - NL$$

$$V_N = ((H_p(0) + NL) 2g / (1+K))^{1/2}$$

Her setter vi inn tall og får (uttrykt i SI-enheter)

$$V_N = ((H_p(0) + N/10) 19,64 / 1,5)^{1/2} = 3,62 \text{ sqrt}(H_p(0) + N/10).$$

Den totale volumfluksen blir

$$Q = (\pi D^2 / 4) \sum_{n=1}^5 V_n = (\pi 0,006^2 / 4) 3,62 \sum_{n=1}^5 \text{sqrt}(H_p(0) + N/10).$$

$$Q = 0,000102 \sum_{n=1}^5 \text{sqrt}(H_p(0) + n/10).$$

Her vil vi prøve oss fram numerisk på WolframAlpha for å finne verdien til $H_p(0)$. Parameteren som vi varierer, er da $H_p(0)$, som vi kaller for h , slik at vi finner nullpunktet for funksjonen

$$F(h) = Q(h) - 0,000583 = 0,000102 \sum_{n=1}^5 \text{sqrt}(H_p(0) + n/10).$$

Dette nullpunktet opptrer ved verdien $h = 1,002 \text{ m}$, som da blir trykkehøyden ved $z=0$. Vi kan avrunder dette til akkurat en meter, slik at vi får $H_p(0) = 1,00 \text{ m}$. Akkurat en meter vannsøyle er det som skal til for å drive denne oppgitte fluksen ut av de fem åpningene. Dette er bare litt større trykkehøyde enn 87 cm vannsøyle som skulle til for å drive den samme fluksen når røret var neddykket. Vi kan nå regne ut hastighetene

$V_n = 3,62 \text{ sqrt}(H_p(0) + n/10) = 3,62 \text{ sqrt}(1 + n/10)$, gitt i SI-enheter. Det vil ikke bli så veldig stor variasjon i disse hastighetene. Vi setter $n=1, 2, 3, 4, 5$ og får:

$$V_1 = 3,80 \text{ m/s}, V_2 = 3,96 \text{ m/s}, V_3 = 4,13 \text{ m/s}, V_4 = 4,28 \text{ m/s}, V_5 = 4,43 \text{ m/s}.$$

Her legger vi merke til at det midterste røret får akkurat den samme hastigheten som ved neddykket rør, og volumfluksen $Q_3 = 0,117 \text{ liter/s}$ vil da nødvendigvis være totalfluksen $0,583 \text{ liter/s}$ dividert med 5. Alle volumfluksene blir

$$Q_1 = 0,1073 \text{ liter/s}, Q_2 = 0,1121 \text{ liter/s}, Q_3 = 0,1167 \text{ liter/s}, Q_4 = 0,1211 \text{ liter/s}, Q_5 = 0,1253 \text{ liter/s}.$$

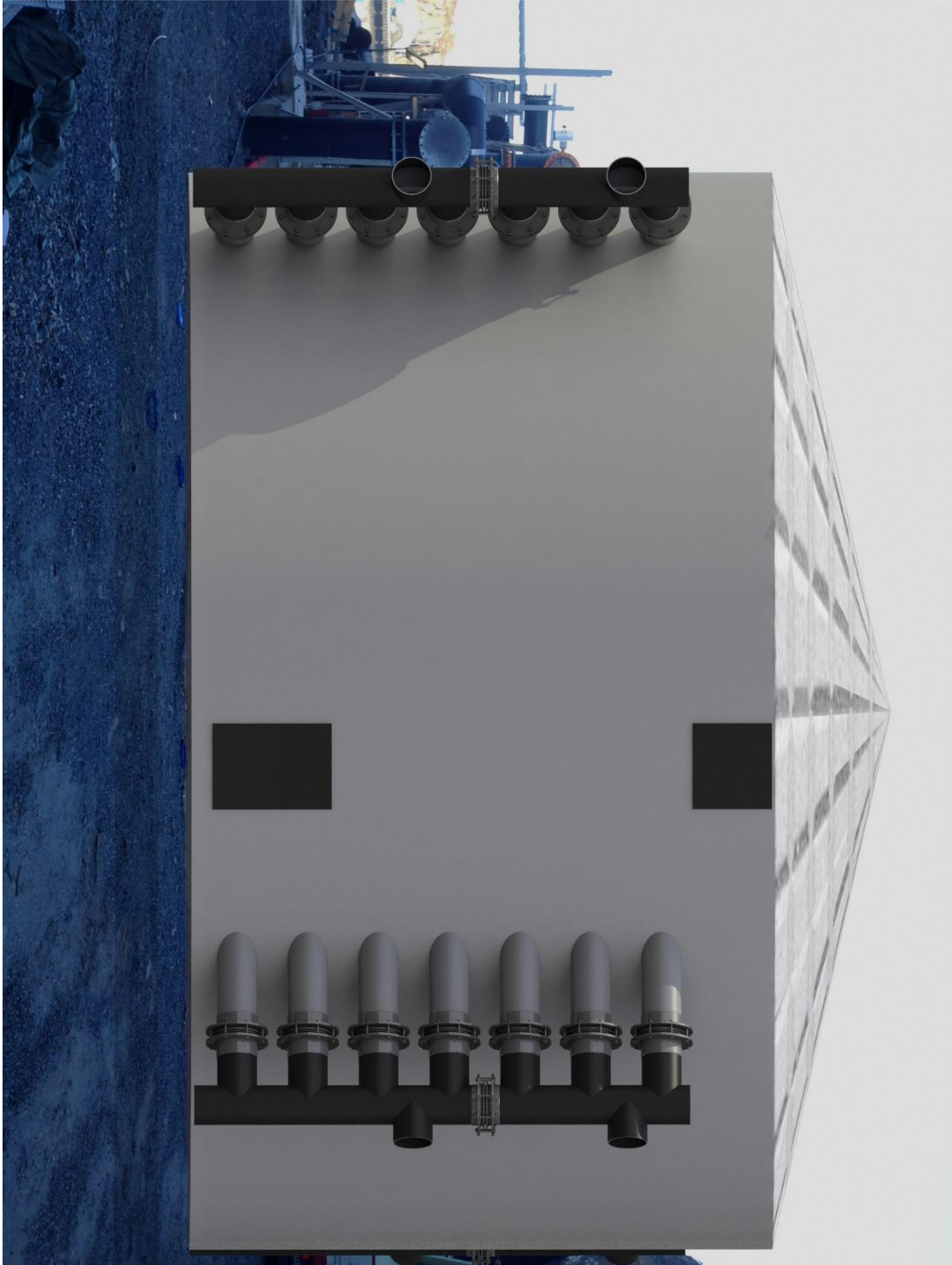
To flukser er litt mindre og to flukser litt større enn for neddykket rør.

Den totale effekten i rørstrømmingen er

$$P = \rho g Q H_p = 1000 \times 9,82 \times 0,000583 \times 1 \text{ W} = 5,72 \text{ W}.$$

C

Vedlegg: C

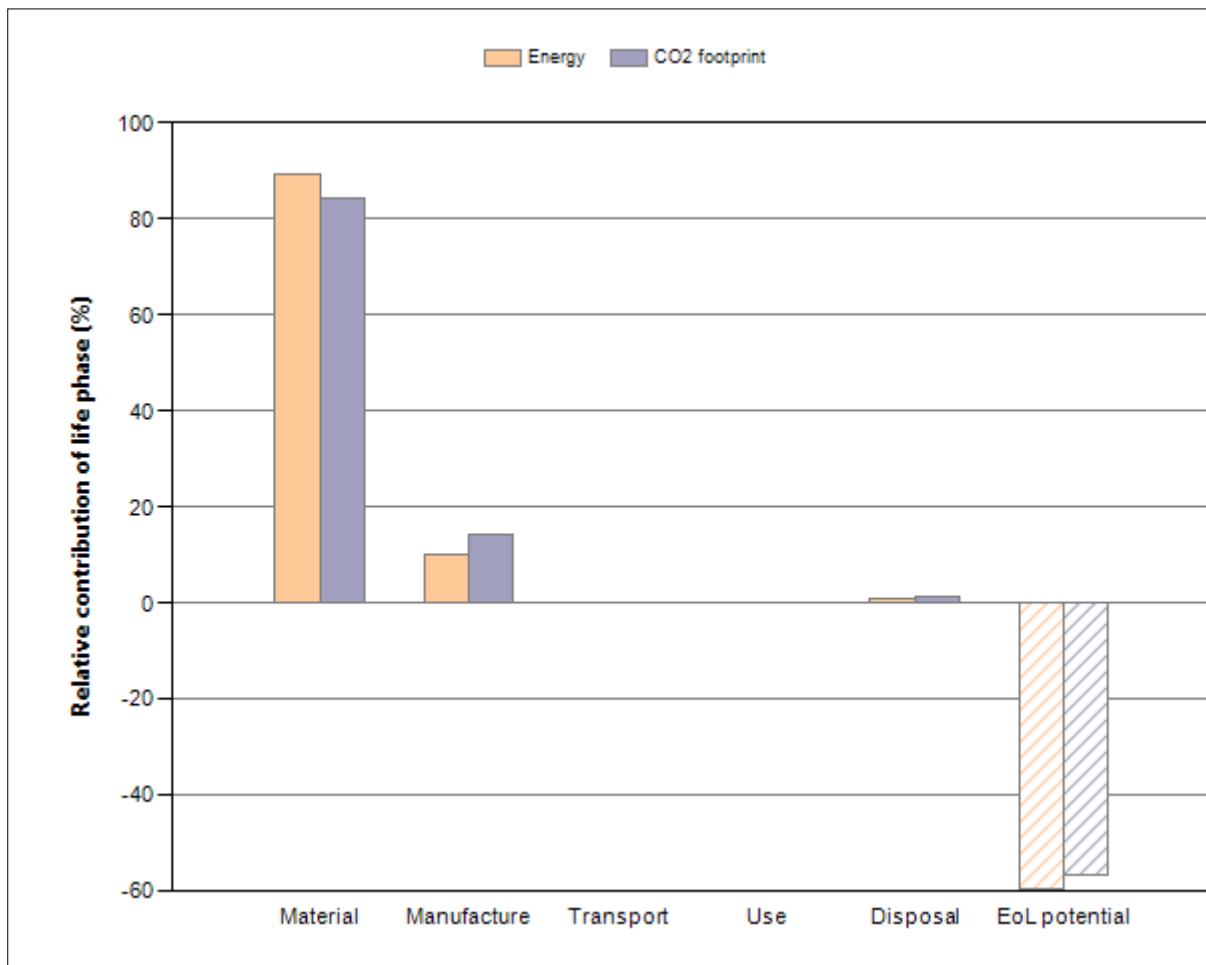


Vedlegg: D

Eco Audit Report



Product name Innløpsarrangement
 Country of use Norway
 Product life (years) 25

Summary:

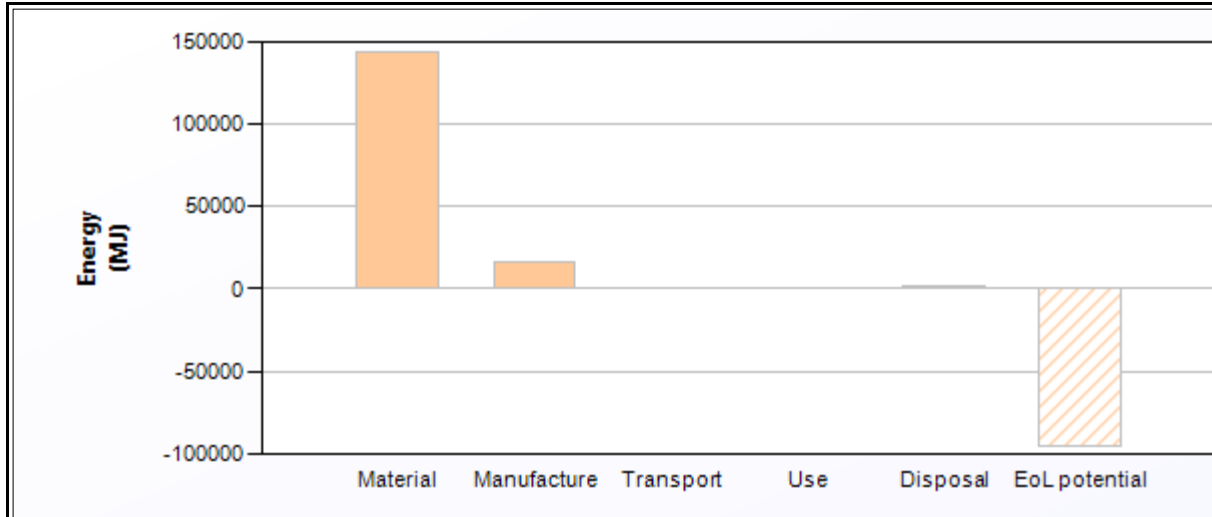
[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	1,43e+05	89,1	7,09e+03	84,5
Manufacture	1,61e+04	10,0	1,21e+03	14,4
Disposal	1,37e+03	0,9	96,2	1,1
Total (for first life)	1,61e+05	100	8,39e+03	100
End of life potential	-9,55e+04		-4,76e+03	

Eco Audit Report

Energy Analysis

[Summary](#)


	Energy (MJ/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 25 year product life):	6,43e+03

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

[Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass (kg)	Energy (MJ)	%
Krage PE 100, Innerdiameter 500	PE-HD (general purpose, molding & extrusion)	20,0%	6	64	3,8e+02	2,6e+04	18,3
Rør PE 100, 500 SDR 41	PE-HD (general purpose, molding & extrusion)	20,0%	8,4e+02	1	8,4e+02	5,7e+04	39,8
Flens. Innerdiameter 526	Stainless steel, austenitic, ASTM CK-20, cast	25,0%	6	64	3,8e+02	3,1e+04	21,7
Bolt M42. 200 mm	Stainless steel, austenitic, ASTM CK-20, cast	25,0%	0,8	256	2e+02	1,7e+04	11,5
Mutter M42	Stainless steel, austenitic, ASTM CK-20, cast	25,0%	0,3	256	77	6,2e+03	4,3
Skiver. M42	Stainless steel, austenitic, ASTM CK-20, cast	25,0%	0,15	512	77	6,2e+03	4,3
Total				1153	2e+03	1,4e+05	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

Manufacture:

D

Component	Process	Amount processed	Energy (MJ)	%
Krage PE 100, Innerdiameter 500	Polymer extrusion	3,8e+02 kg	2,4e+03	14,8
Rør PE 100, 500 SDR 41	Polymer extrusion	8,4e+02 kg	5,2e+03	32,2
Flens. Innerdiameter 526	Casting	3,8e+02 kg	4,4e+03	27,4
Bolt M42. 200 mm	Casting	2e+02 kg	2,4e+03	14,6
Mutter M42	Casting	79 kg	8,8e+02	5,5
Skiver. M42	Casting	77 kg	8,8e+02	5,5
Total			1,6e+04	100

Disposal:

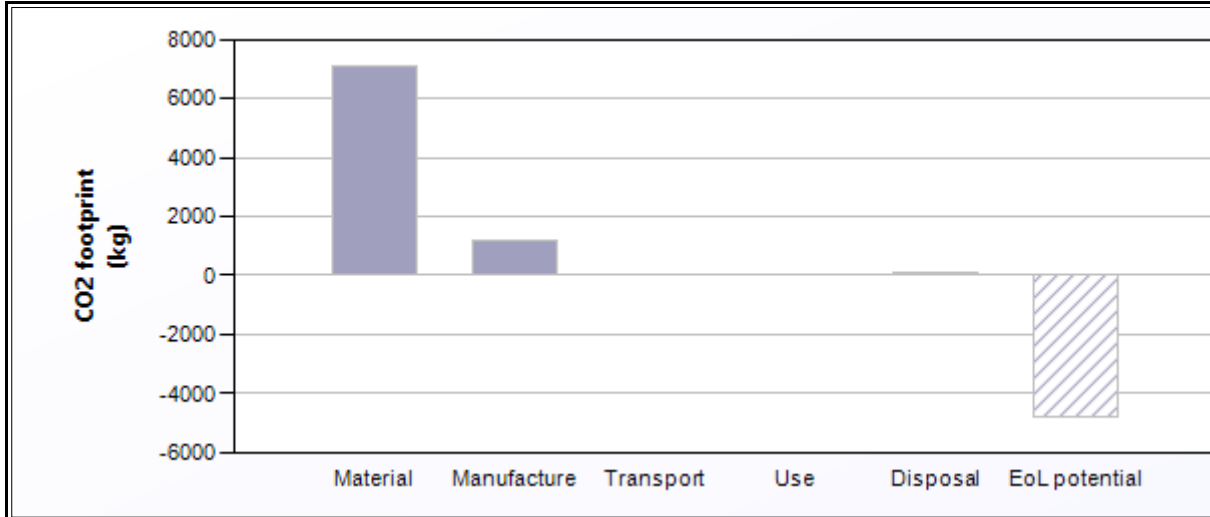
Component	End of life option	Energy (MJ)	%
Krage PE 100, Innerdiameter 500	Recycle	2,7e+02	19,6
Rør PE 100, 500 SDR 41	Recycle	5,9e+02	42,6
Flens. Innerdiameter 526	Recycle	2,7e+02	19,6
Bolt M42. 200 mm	Recycle	1,4e+02	10,4
Mutter M42	Recycle	54	3,9
Skiver. M42	Recycle	54	3,9
Total		1,4e+03	100

EoL potential:

Component	End of life option	Energy (MJ)	%
Krage PE 100, Innerdiameter 500	Recycle	-1,6e+04	16,7
Rør PE 100, 500 SDR 41	Recycle	-3,5e+04	36,3
Flens. Innerdiameter 526	Recycle	-2,3e+04	24,3
Bolt M42. 200 mm	Recycle	-1,2e+04	13,0
Mutter M42	Recycle	-4,6e+03	4,9
Skiver. M42	Recycle	-4,6e+03	4,9
Total		-9,6e+04	100

Eco Audit Report

CO2 Footprint Analysis



	CO2 (kg/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 25 year product life):	336

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
Krage PE 100, Innerdiameter 500	PE-HD (general purpose, molding & extrusion)	20,0%	6	64	3,8e+02	9,3e+02	13,1
Rør PE 100, 500 SDR 41	PE-HD (general purpose, molding & extrusion)	20,0%	8,4e+02	1	8,4e+02	2e+03	28,5
Flens. Innerdiameter 526	Stainless steel, austenitic, ASTM CK-20, cast	25,0%	6	64	3,8e+02	2,1e+03	30,2
Bolt M42. 200 mm	Stainless steel, austenitic, ASTM CK-20, cast	25,0%	0,8	256	2e+02	1,1e+03	16,1
Mutter M42	Stainless steel, austenitic, ASTM CK-20, cast	25,0%	0,3	256	77	4,3e+02	6,0
Skiver. M42	Stainless steel, austenitic, ASTM CK-20, cast	25,0%	0,15	512	77	4,3e+02	6,0
Total				1153	2e+03	7,1e+03	100

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

Manufacture:

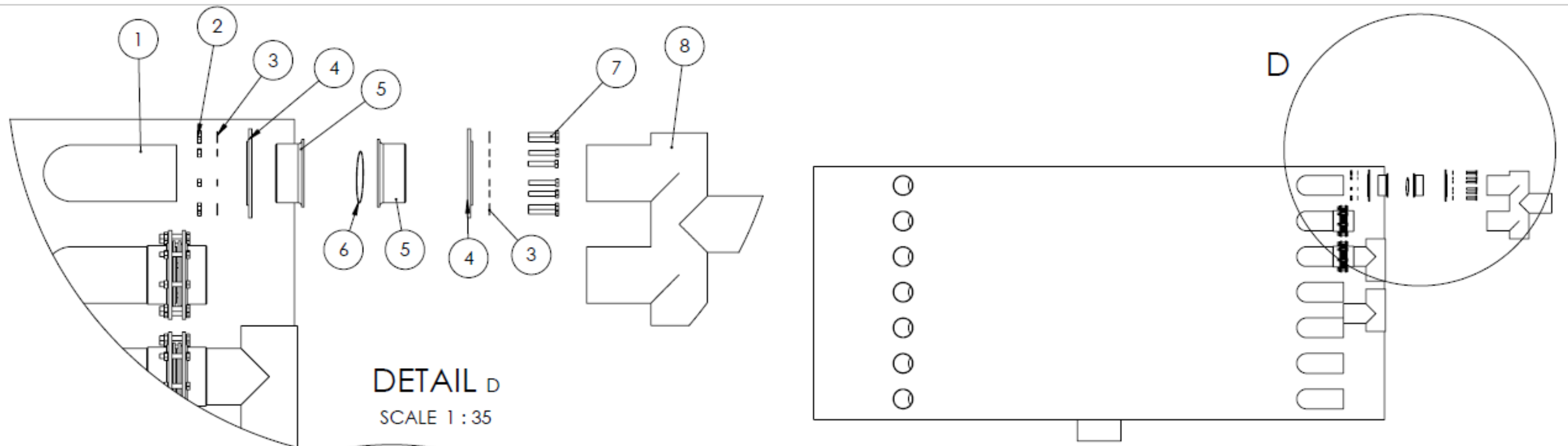
Component	Process	Amount processed	CO2 foot-print (kg)	%
Krage PE 100, Innerdiameter 500	Polymer extrusion	3,8e+02 kg	1,8e+02	14,8
Rør PE 100, 500 SDR 41	Polymer extrusion	8,4e+02 kg	3,9e+02	32,2
Flens. Innerdiameter 526	Casting	3,8e+02 kg	3,3e+02	27,4
Bolt M42. 200 mm	Casting	2e+02 kg	1,8e+02	14,6
Mutter M42	Casting	77 kg	66	5,5
Skiver. M42	Casting	77 kg	66	5,5
Total			1,2e+03	100

Disposal:

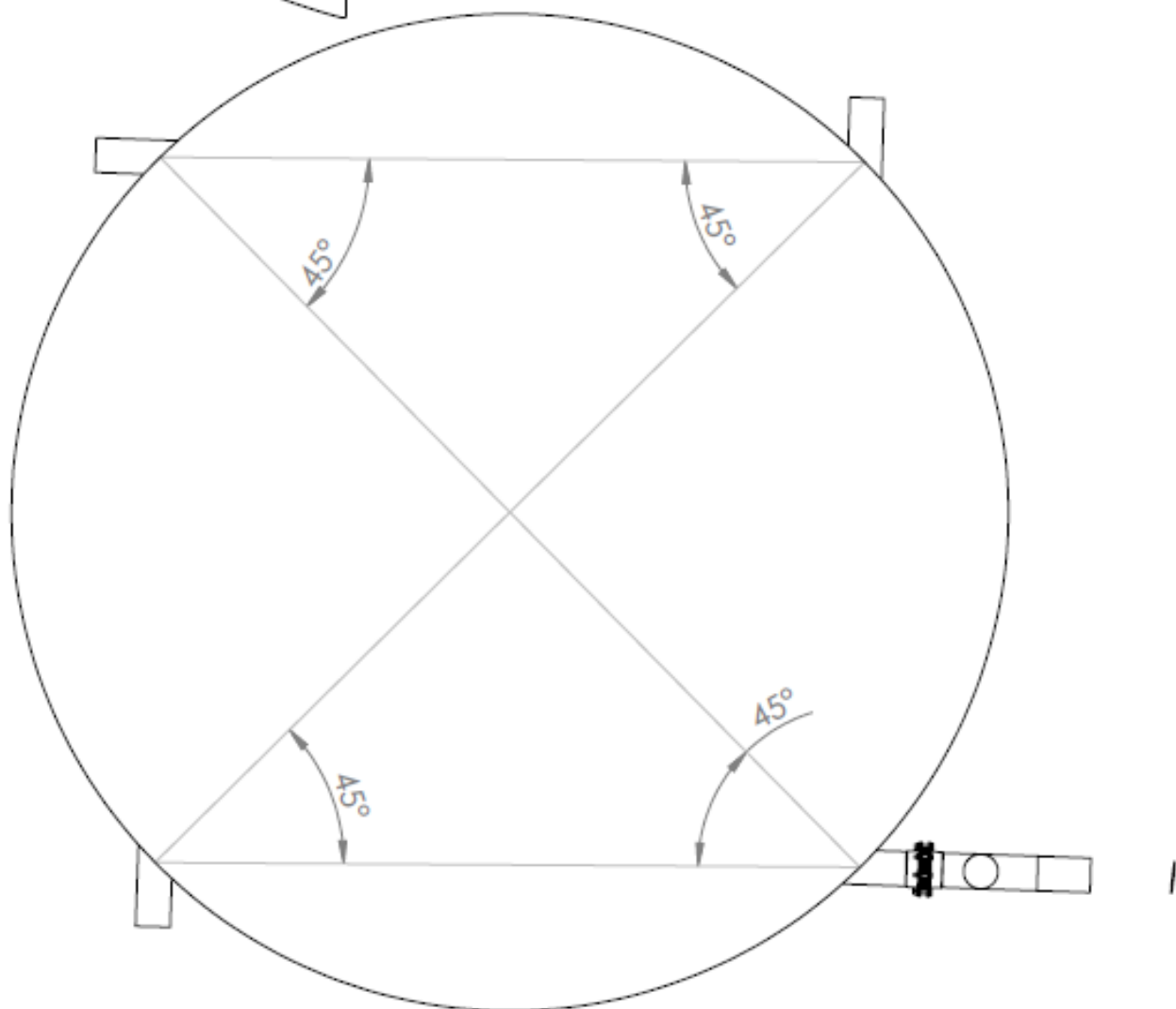
Component	End of life option	CO2 foot-print (kg)	%
Krage PE 100, Innerdiameter 500	Recycle	19	19,6
Rør PE 100, 500 SDR 41	Recycle	41	42,6
Flens. Innerdiameter 526	Recycle	19	19,6
Bolt M42. 200 mm	Recycle	10	10,4
Mutter M42	Recycle	3,8	3,9
Skiver. M42	Recycle	3,8	3,9
Total		96	100

EoL potential:

Component	End of life option	CO2 foot-print (kg)	%
Krage PE 100, Innerdiameter 500	Recycle	-5,6e+02	11,9
Rør PE 100, 500 SDR 41	Recycle	-1,2e+03	25,8
Flens. Innerdiameter 526	Recycle	-1,5e+03	32,2
Bolt M42. 200 mm	Recycle	-8,2e+02	17,2
Mutter M42	Recycle	-3,1e+02	6,4
Skiver. M42	Recycle	-3,1e+02	6,4
Total		-4,8e+03	100

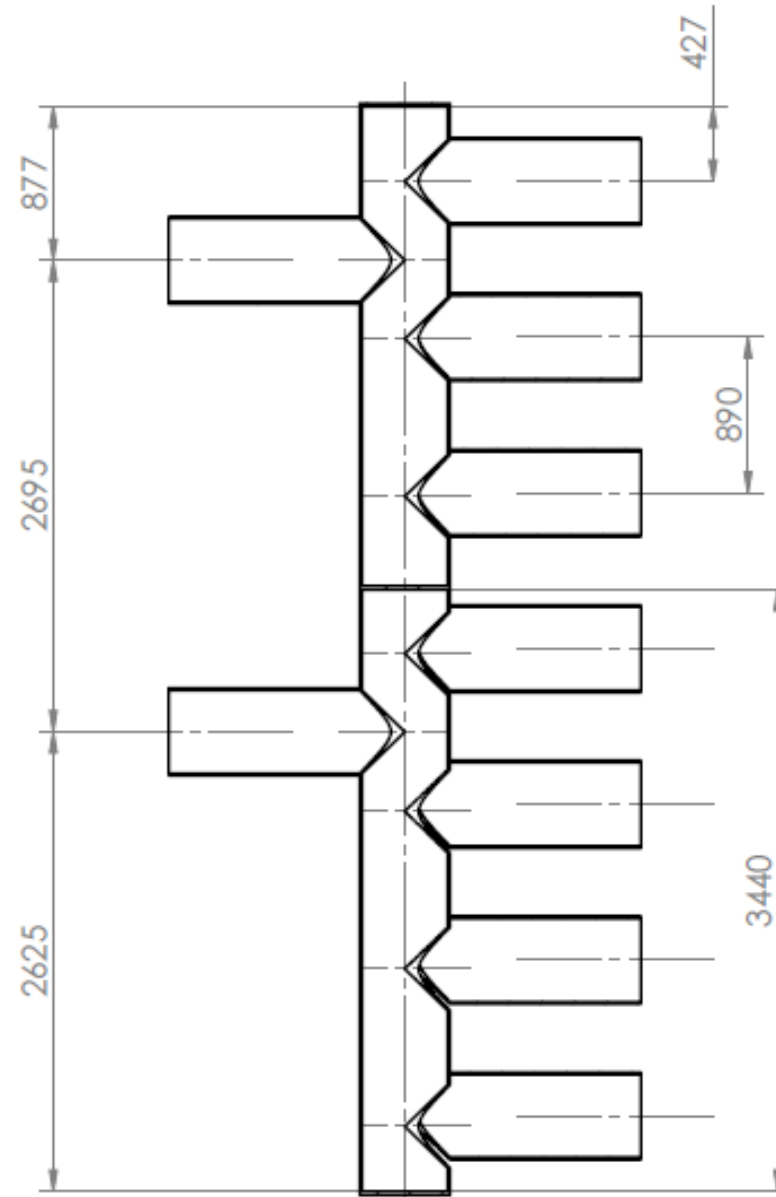
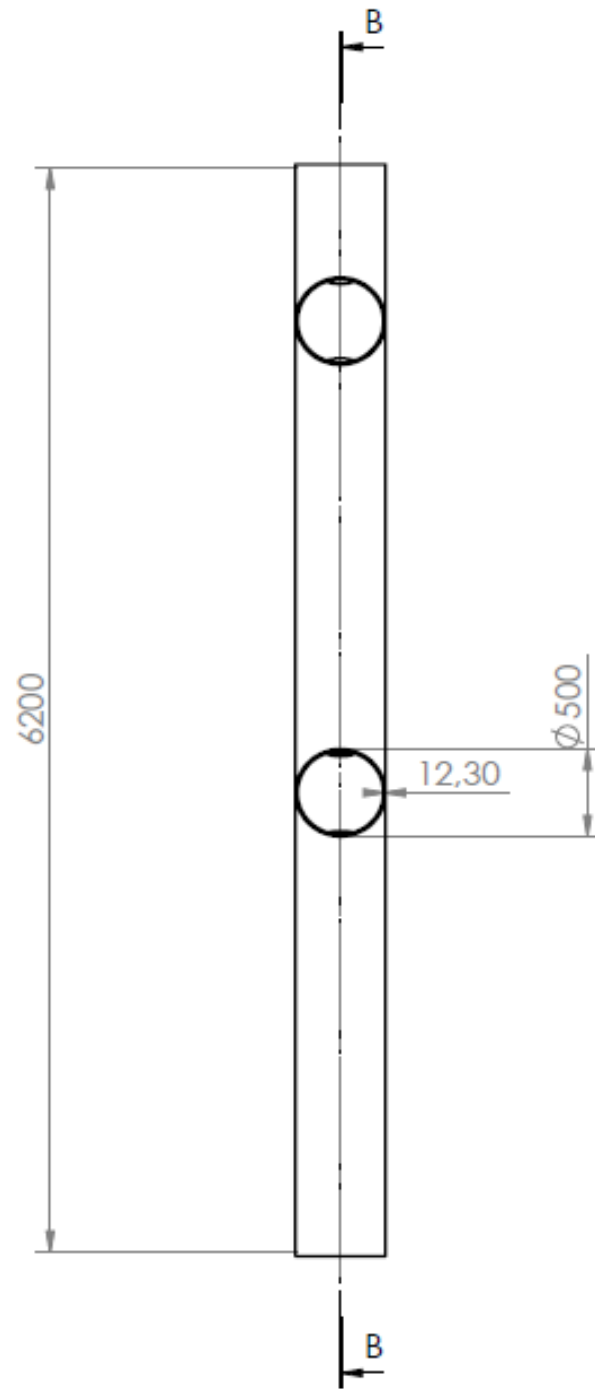


DETAIL D
SCALE 1 : 35

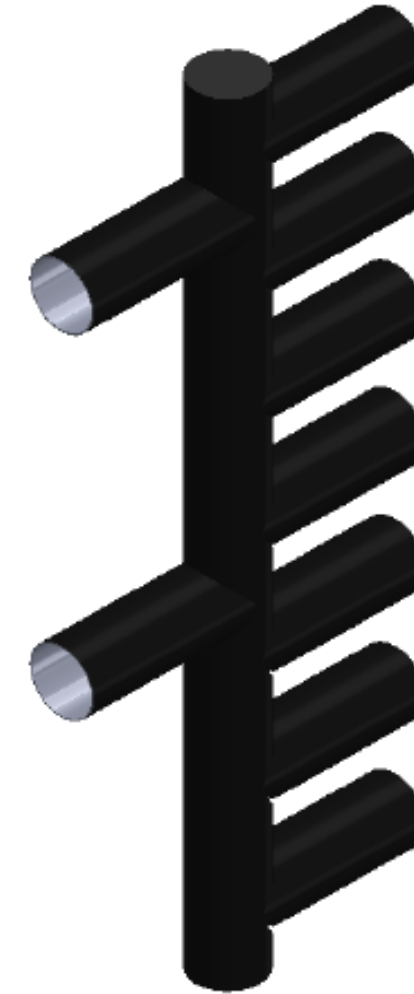


Del nr..	Dimensjon	Beskrivelse
1	GUP Ventemerd. D13500MM	Ventemerden(Stubb)
2	Hexagon Nut ISO - 4034 - M42 - N Stainless steel, austenitic, ASTM CK-20, cast	Mutter
3	Washer ISO 7092 - 42.Stainless steel, austenitic, ASTM CK-20, cast	Skive
4	Flens, (D560,d515) Stainless steel, austenitic, ASTM CK-20, cast	Flens
5	Pe 100-Krage(D520 d502)	Krage
6	O-RING(D456MM)	O-RING
7	ISO 4014 - M42 x 240 x 109-C45° Stainless steel, austenitic, ASTM CK-20, cast	Bolt
8	HDPE 500, SDR 41, D500 d47545°	Distribusjonsrør


Dato: 04.05.2016	Konstr./Tegnet: Tarjei F. Ski	Projeksjon:	Målestokk: 1:100	NMBU
Innløpsarrangement				
Henvising:				Beregning:



SECTION B-B
SCALE 1 : 40



**SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.**

Dato: 04.05.16	Konstr./Tegnet: Tarjei F. SKI	Projeksjon: 	Målestokk: 1:40	<h1>NMBU</h1>	
<h2>Distribusjonsrør</h2>					
Henvisning:		Beregning:			



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no