

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



FORORD

Denne masteroppgaven representerer slutten av min 2-årige masterutdannelse på Maskin og produktutvikling ved Institutt for matematiske realfag og teknologi, UMB.

Siden jeg var ei lita jente har jeg fasinert meg over sjøen og alt det spennende den har å by på. Denne muligheten til å få kunne kombinere denne fasinasjonen med mitt fagområde har vært utrolig spennende og utfordrende.

Jeg vil passe på å takke min veileder fra UMB, Førsteamanuensis Jan Kåre Bøe for å ha veiledet meg gjennom prosessen og for å ha vært en god støttespiller gjennom mine år på UMB.

Jeg vil takke gjengen FMC, med en spesielltak til veileder på FMC, PhD Knut Roar Braaten for hans hjelp og innspill – og kritiske blikk. I tillegg vil jeg takke min skrivebord nabo, Master Trainee Thomas Eriksen for mye innspill om CIV og elektronikk, Master ingeniør Eirik Martin Stuland for samarbeide med CFD simuleringen av ventilen og en ekstra takk til Borgar Stenseth som har hatt en gjennomlesning og korrektur på oppgave.

Den siste jeg vil takke er min samboer som er like tålmodig og støttende som vanlig, og det selv om han knapt har fått vite hva jeg har skrevet om.

Kongsberg, 10.05.2011

Heidi Berg Sand

SAMMENDRAG

Høsten 2009 ble det gjennomført et forprosjekt på å lage en ny kjemisk injeksjons ventil. Her var fokuset nøyaktigheten i injeksjonen, med andre ord at ventilen skulle klare de små injeksjonsverdiene uten at ventilen tettet seg. Samtidig som forprosjektet ble gjennomført erfarte FMC at erosjon kunne være et vesentlig problem i ventiler for injeksjon av resirkulert MEG.

I Laggan-Tormore, et FMC prosjekt, har oljeselskapet ønsket en ventil som kan injisere opp til 16 m³/h MEG ved et trykkfall opp til 20 MPa. MEG kan potensielt inneholde svært erosiv sand. På bakgrunn av denne problematikken ble hovedmålet til masteroppgaven å utvikle en ny CIV uten erosjonsproblemer ved injeksjon av høye og lave flowrater, som ikke er for kostbar.

Denne masteroppgaven ble på denne bakgrunnen vinklet mot å utvikle og dimensjonere en ny reguleringsventil som klarte de kravene som stilles fra olje- og gasselskapene, med fokus på strømningskarakteristikken igjennom CIV når ventilen injiserer store og små væskeflower for å unngå erosjon.

Enkelte ventiler på markedet i dag klarer å levere slike store volumstrømninger. Det har blitt stilt spørsmålsteget ved disse ventilenes evne til å motstå erosjon. For å kunne utvikle en ny erosjons motstandig CIV har det i denne oppgaven blitt kartlagt hvilke krav og teoretiske grunnlag det finnes for de ulike ventil karakteristikk, erosjons motstandsheten til ulike materialer og erosjon- og strømningslære.

Ulike ventilprinsipper fra ulike leverandører er blitt testet for erosjonsmotstand og FMC sin 2" choke kom best ut av erosjons simulering. Choker som står i selve olje/ gass strømmen, som brukes til å regulere produksjonsstrømmen, er tradisjonelt sett oppfattet som den mest erosjonsmotstandsdyktige regulerbare strupingen som finnes. FMC sin minste produksjonschoke er en 2". Strømningskarakteristikken for en slik choke gjøre den lite egnet for MEG dosering på grunn av at den er for stor og regulerbarheten i det lavere flowområdet blir for dårlig.

Løsningen blir å redesigne FMC sin 2" choke ned til en 1" og lage fire spor i pluggen på den nye ventilen, som nå kalles, FMC 1" CIV. Disse sporene følger samme mønster som fire ganger fire av hullene i buret. Sporene begynner med en bredde på 2,35 mm og en dybde på 0,40 mm, og blir grunnere hvor nærmere kanten på pluggen det kommer. Buret og plugg skal lages i WC, som er det beste materialet mot erosjon.

FMC 1" CIV klarer å injisere 59 m³/h ved differensialtrykk på 6 MPa. Ventilen kan ikke tettes igjen siden det minste hullet i ventilen er på 4,5 mm og det største antatte forurensnings partikkelen er på 0,8 mm. Når ventilen er helt igjen strupet vil den bruke 4,5 min på å åpne seg helt. Ventilen bruker nemlig 4 sekunder på hvert steg, og det er 68 step fra lukket til fullt åpen. CIV vil ha en årlig erosjon på 0,2-0,7 mm ved en væskeflow på 2 m³/h, ved væskeflow på 16 m³/h vil erosjonen årlig være 0,7-1 mm. Dette er lavere en noen av markedets ventiler klarer.

Ventilen er produserbar og har en konkurransedyktig pris, men det gjenstår fortsatt utviklingsarbeid for å utvikle en optimal CIV. Ventilen kan utvikles med innebygd flowmåler og ROV opererbar med lettere styringssystem og mekaniske reguleringsenheten.

Fordelen er at ventilen har utgangspunkt i fra en choke som FMC har brukt 5 år på å bli kvalifisert for undervannsbruk i offshorebransjen, og dette vil bespare FMC utviklingstid av en ny CIV.

SUMMARY

In autumn 2009, it was completed a pilot project on creating a new valve. In this project the focus were put on accuracy of the injection, in other words, the valve would manage the small injection values without valve being clogged up. During the same time the pilot project was implemented, FMC experienced that erosion could be a significant problem in the valves for the injection of recycled MEG.

In the Laggan-Tormore, an FMC project, the oil company wished a valve that could inject up to 16 m³/h MEG at a pressure drop up to 20 MPa. MEG could potentially contain highly erosive sand. Based on this problem was the main goal for the Master thesis was now to develop a new CIV without erosion problems by injection of high and low flow rates, at a low cost.

Based on this background, this thesis was angled towards the development and dimensioning of a new control valve that managed the requirements from the oil and gas companies, with focus on flow characteristics through the CIV when the valve injects large and small fluid flows to avoid erosion.

There are some valves on the market today that can deliver such high-volume flows. However has been questioned the valve's ability to resist erosion. In order to develop a new erosion resistant CIV, it has in this thesis been mapped out the requirements and theoretical basis that exists for the various valve characteristics, erosion resistance of various materials and erosion and fluid dynamics.

Different valve principles from different suppliers were tested for erosion resistance. From this test FMC's 2" choke came best out of the erosion simulation. Choke's placed in the oil / gas stream, which is used to regulate the production flow, is traditionally perceived as the most erosion resistant adjustable restrictor that exists. FMC's smallest production choke is a 2". Flow characteristics of such a choke make it suited for small MEG dosage because it is too large and variable accuracy in size and regularity accuracy in the low flow area to poor.

The solution is to do a redesign by acaling the FMC's 2" choke down to a 1" and create four tracks in the plug of the new valve, which will be called FMC 1" CIV. These tracks follow the same pattern as four times four of the holes in the cage. The tracks start with a width of 2.35 mm and a depth of 0.40 mm, and becomes shallower the closer to the edge of the plug it comes. The cage and the plug shall be made in WC, which is the material most tolerant to erosion.

FMC 1" CIV manages to inject 59 m³/h at differential pressure of 6 MPa. The valve cannot be sealed again since the smallest hole in the valve is 4.5 mm and the largest particle pollution is estimated at 0.8 mm. When the valve is completely choked it will use 4.5 minutes to open fully. The valve uses namely 4 seconds of each step and it is 68 steps from closed to fully open. CIV will have an annual erosion of 0.2 to 0.7 mm at a liquid flow of 2 m³/h, and with a liquid flow of 16 m³/h will be the annual erosion from 0.7 to 1 mm. This is lower than any of the market valves can.

The valve is producible and has a competitive price, but there is still development work to develop an optimized CIV. The valve can be developed with built-in flow meter and ROV operable to lower weight on the management control systems and mechanical control device.

The advantage is that the valve is based from a choke which, FMC has spent 5 years to qualify for subsea use in the offshore industry, and this will save FMC development time of developmet of a new CIV.

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD.....	2
SAMMENDRAG.....	3
SUMMARY.....	4
INNHOLDSFORTEGNELSE.....	5
1. INNLEDNING.....	7
1.1 Bedriftspresentasjon.....	7
1.2 Forkortelse.....	8
1.3 Operasjonelle utfordringer.....	9
1.4 Problemstillinger.....	12
1.5 Målsetning og begrensning.....	12
1.6 Terminologi.....	14
2. FOR PROSJEKT TIL MASTEROPPGAVEN.....	17
3. KONSEPTGJENNOMGANG.....	17
3.1 Kravspesifikasjoner.....	19
3.2 Konseptgjennomgang av eksisterende løsninger.....	20
3.2.1 Gjennomgang av de eksisterende løsningene fra Cameron.....	21
3.2.2 Gjennomgang av de eksisterende løsningene fra Roxar.....	23
3.2.3 Gjennomgang av de eksisterende løsningene fra Rotator.....	25
3.2.4 Gjennomgang av de eksisterende løsningene fra Weir.....	27
3.2.5 Gjennomgang av de eksisterende løsningene fra SkoFlo.....	29
3.2.6 Gjennomgang av de eksisterende løsningene fra FMC sin Choke.....	31
3.3 Sammenligning og konklusjonsdrøfting av de eksisterende løsninger.....	33
4. STRØMNINGSFORHOLD OG EROSJON.....	35
4.1 Strømningsteori.....	35
4.2 Ventilkarakteristikk.....	36
4.3 Erosjonsteori.....	37
4.4 Erosjon i ventilprinsippene.....	39
4.4.1 Seteventil.....	39
4.4.2 M.O.V./ Disk.....	40
4.4.3 Bur med plugg.....	41
4.5 Sammenligning og drøfting rundt erosjonsproblem de ulike ventilprinsippene.....	42
4.6 Erosjonsbestandige material og materialinndata og -hensyn ved CFD simulering.....	42
4.7 Partikkelforurensning.....	46

	Side
5. EROSIJONSANALYSE.....	49
5.1 Oppsetning av CFD analysene.....	49
5.2 Spesifikk inndata og resultat fra CFD simuleringene.....	54
5.2.1 Cameron sin High Flow CIMV med hullformet struping ved 2 m ² /h.....	55
5.2.2 Cameron sin High Flow CIMV med dråpeformet struping ved 2 m ² /h.....	57
5.2.3 Roxar sin High Flow CIV ved 2 m ² /h.....	59
5.2.4 Rotator sin High Flow 1" ved 2 m ² /h.....	61
5.2.5 FMC sin 2" choke ved 2 m ² /h.....	63
5.2.6 Cameron sin High Flow CIMV med hullformet struping ved 16 m ² /h.....	66
5.2.7 Roxar sin High Flow CIV ved 16 m ² /h.....	68
5.2.8 FMC sin 2" choke ved 16 m ² /h.....	70
5.3 Konklusjon av CFD simuleringen.....	73
6. KONSEPTGENERERING.....	74
6.1 Gjennomgang av ide og forbedringsområde.....	74
6.1.1 FMC sin 2" choke.....	74
6.1.2 Utvikling av choken.....	76
6.2 Beregning av væskeflow og innstillinger av choke.....	78
6.2.1 Beregning av FMC sin 2" choke.....	79
6.2.2 Beregning av FMC 1" CIV.....	83
6.3 CFD analyse av FMC 1" CIV.....	84
6.3.1 FMC 1" CIV ved 2 m ² /h.....	87
6.3.1 FMC 1" CIV ved 16 m ² /h.....	90
6.4 Løsningsvalg.....	93
7. KONSEPTKOSTNAD.....	94
8. PROSESS DRØFTING.....	95
9. KONKLUSJON.....	96
9.1 Anbefaling.....	96
9.2 Videre arbeid.....	96
10. REFERANSER.....	97
11. VEDLEGG.....	100

1. INNLEDNING

1.1 Bedriftspresentasjon

Bakgrunnen for denne masteroppgaven er et ønske fra FMC Kongsberg Subsea å utvikle en ny CIV som kan forhindre beleggdanning og tilfrysing i produksjonsrørene.

FMC Kongsberg Subsea startet med offshore industrien i 1974 og het på den tiden Kongsberg Våpenfabrikk/ Olje avdeling. I 1993 ble Kongsberg Offshore som i dag er FMC Kongsberg Subsea solgt til FMC Technologies.



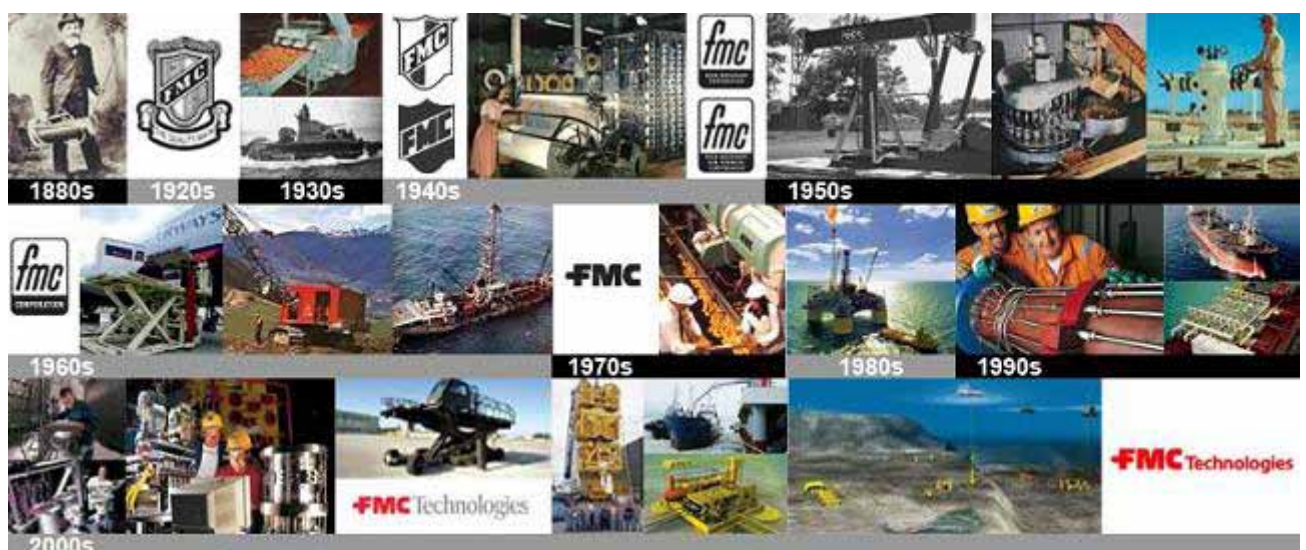
Figur 1: Logoen til FMC Technologies

FMC Technologies har røtter tilbake til 1880-årene hvor en mann med navn John Bean fant opp kontinuerlige spraypumpe for Califoniske frukthager. På 1920 ble var det fusjoner mellom selskapet som da laget landbruksutstyr og San Francisco Exchange. Denne fusjonen skapte Food Machinery Corporation (FMC) og sitrus pakking, frukt håndtering og behandling blir en del av selskapet.

Frem til 1940 utvikler firma seg innen for matindustrien, men i 1940 begynner FMC også å produsere amfibiekjøretøy for forsvaret. Denne endringen fører til navneskiftet - Food Machinery and Chemical Corporation.

På 1950-tallet kjøper FMC Corporation opp en rekke firmaer som jobber med olje. Et av disse firmaene er Oil Center Tool Company (OCT) som er ledende produsent av høytrykks flytkontroll forsamling, som er i dag kjent som juletrær.

På 1970 blir FMC varemerke skapt og lanser. Etter at FMC kjøper opp Kongsberg Offshore i 1993 har FMC vært et av verdens største undervanns ingeniør, anskaffelse og konstruksjons firma. I 2000 blir FMC delt i to separerte børsnoterte selskaper – FMC Technologies og FMC Corporation [1], [2].



Figur 2: FMC Technologies historie vist i en tidslinje med illustrasjonsbilder [1].

I dag er FMC Technologies verdensledende produsent og leverandør av Subsea-produksjonssystem, inkludert havbunns ventiltrær, kontroll manifold og tie-in systemer. På verdensbasis er jobber det 10400 ansatte for FMC Technologies hvorav 2800 jobber på Kongsberg. FMC leverer subsea-systemer til blant annet Petrobras, Chevron, Total, Statoil, BP, Shell, ExxonMobil, og hadde i 2009 en omsetning på 25 milliarder NOK, hvorav 10 milliarder NOK av omsetningen var koblet til Kongsberg.



Figur 3: FMC Technologies mest kjente produkt manifold er med XT [3].

1.2 Forkortelser

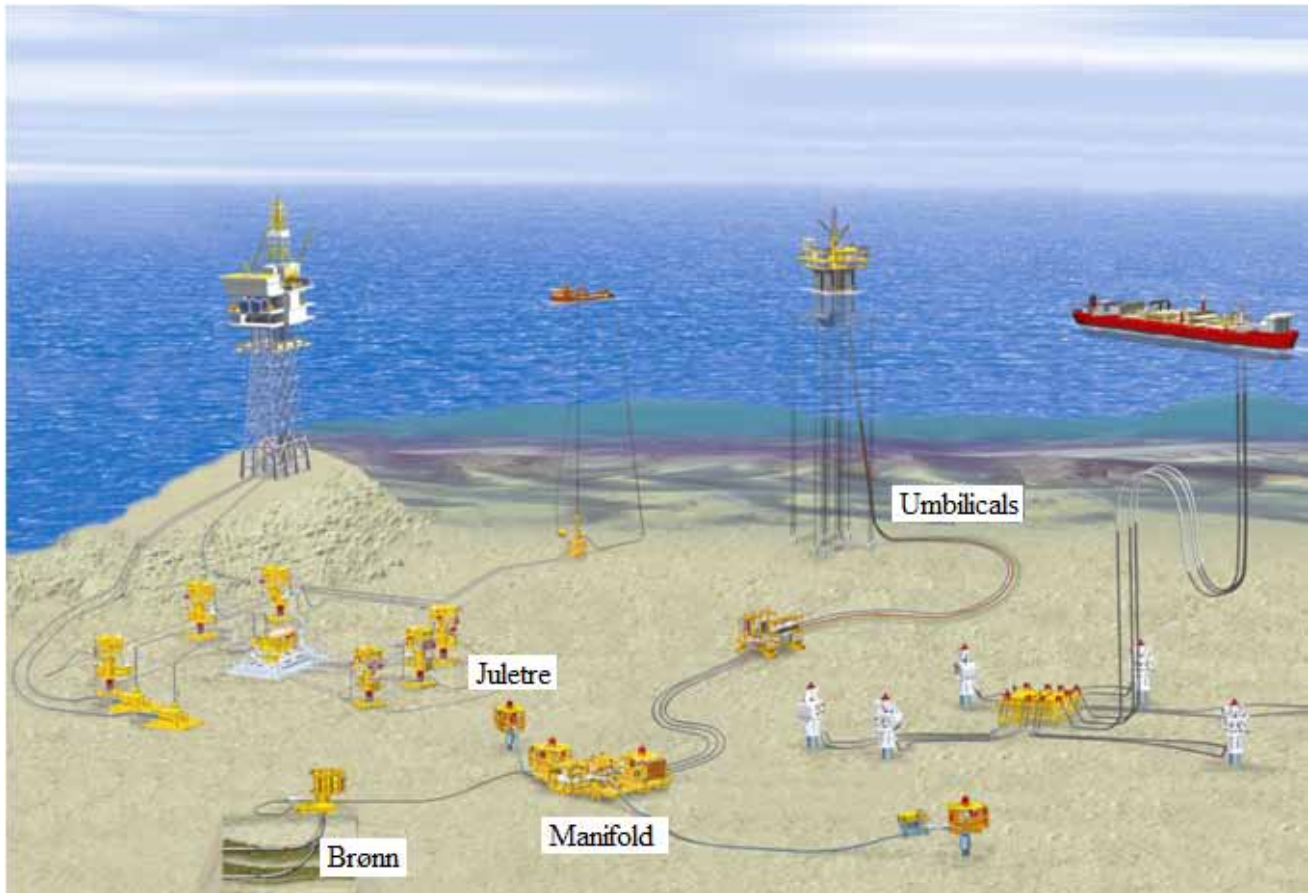
Forkortelser på engelske ord og begreper som benyttes i rapporten.

Tabell 1: Forkortelser på engelske ord og begreper som benyttes i rapporten.

Forkortelser	Engels ord	Norsk beskrivelse
CFD	Computational Fluid Dynamics	Dataprogram for å kjøre fluid simulering
CFX	-	Er den del av ANSYS CFD
CIMV	Chemical Injection Metering Valve	Kjemisk injeksjons måling ventil
CITV	Chemical Injection Throttle Valve	Kjemisk strupe injeksjonsventil
CIV	Chemical Injection Valve	Kjemisk injeksjonsventil (mest brukt)
CTV	Chemical Throttle Valve	Kjemisk strupe injeksjonsventil
FS	Full scale	Full skala målområde
MEG	Mono Ethylene Glycol	Mono etylen glykol
M.O.V.	Multiple orifice valve	En type choke
ppm	Part per million values	Del pr. million verdier
ROV	Remotely Operated Vehicle	Fjernstyrt undervannsfartøy
SCM	Subsea Control Modul	Havbunns kontrollmodul
WC	Tungsten carbide	Tungsten karbide
XT	X-mass tree	Juletrær, ventiltrær på havbunnen

1.3 Operasjonelle utfordringer

For å forstå hvilken viktig rolle en CIV har er det viktig å se på helheten av produksjonsutstyret på havbunnen. CIV sitter på XT. XT er den første enheten brønnstrømmen møter på oversiden av brønnhode på havbunnen.



Figur 4: Havbunnen. Juletre (XT) bringer informasjon (via control modul) og brønnstrømmen videre til manifold, og videre opp til overflaten. Sensor og instrument sender informasjonen umbilicals. XT er den første enheten brønnstrømmen møter på oversiden av havbunnen. XT kan fungere som en "shut-off" ventil på toppen av brønnen og et vertikalreturpunkt for brønnen når det skal utføres vedlikehold av brønnen [4].

XT inneholder ulike sensorer og ventiler. Informasjon fra sensorer på treet og nede i brønnhullet viderefører fra SCM som sitter på XT til plattformen/ skipet/ land gjennom umbilicals. Dette er informasjon om væskeflow, trykk og temperatur, lekkasje og sandmåling, og noen ganger er det også informasjon om erosjon og korrosjon.

Choken

På XT sitter det en choke som har i oppgave og regulerer produksjonsstrømmen slik at det ikke blir ubalanse mellom de forskjellige brønnene. En annen ventil som sitter på XT er CIV som har i oppgave å forhindre ulike tiltetningsproblemer slik som voks, asfaltene, hydrater, avleiring og emulsjoner ved å injisere metanol, MEG, Scale inhibitor og/eller emulsjonsbryter.

En del av problemene skyldes gjennombrudd av formasjonsvann eller når det produseres vann.

Utvikling og dimensjonering av reguleringsventil

Formasjonsvann finnes vanligvis under olje og gass i en petroleumsførende reservoarbergart. Vannet vil ofte produsere sammen med oljen og vil da kalles produsertvann. Mengden med produsert vann kan bli vesentlig større enn olje og gassmengden etterhvert som reservoaret tømmes. Sammensetningen av formasjonsvannet kan være svært ulik. Det kan variere fra å være ferskvann til å være saltere enn sjøvann.

Se figur 5, 6, 7, 8, 9 og tabell 2 for mer informasjon om de ulike tiltetningsproblemene.



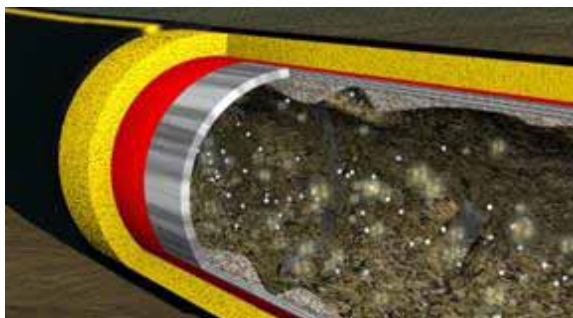
Figur 5: Voks oppstår når produksjonsrør med hydrokarbon utsettes for lav temperatur [6].



Figur 6: Hydratplugg oppstår når vann og gass utsettes for endringer av trykk og temperaturen [6].



Figur 7: Asfaltene aggregerer og utfelles når trykk eller temperaturen endrer seg [6].



Figur 9: Emulsjon og skum oppstår når sammensetning av hydrokarbon blandes med vann [5].



Figur 8: Avleiring/ "Scaling" oppstår når det produseres vann og det skjer en endring i temperatur eller trykk. Det kan også skje når formasjonsvann og sjøvann blandes [6].

Tabell 2: Oversikt over hvordan ulike problemene i produksjonsrør oppstår, hva slags skader dette fører til og hvordan problemene forhindres [5].

Forhold	Oppstår	Skader	Forhindringstiltak
Voks	Voks er en klasse av hydrokarboner som er en naturlig bestanddel i de fleste petroleumsvæsker. Problemene med voks oppstår når produksjonsrør med sammensetning av hydrokarbon utsettes for lav temperatur.	Når det oppstår voks i produksjonsrørene skaper det blokkering i rørene på grunn av redusert indre diameter i rørene og instrumentfeil. Når viskositeten i oljen i tillegg øker og koagulerer, utfelles bunnfall i lagertanker.	Dannelse av voks kan forhindres ved injisering av kjemikaler eller aktiv oppvarming.
Asfaltene	Asfaltene er den tyngste komponenten i råolje. Når trykk eller temperatur endrer seg aggregerer og utfelles asfaltene. Denne utfellingen fører til avsetning i rørledningene.	Når det oppstår asfaltene i produksjonsrørene redusert indre diameter i rørene og skaper blokkering.	Dannelse av asfaltene kan forhindres ved injisering av kjemikaler
Hydrateplugg	Hydrateplugg oppstår når vann og gas utsettes for endring av trykk og temperatur. Ved transportere av gas over lange distanser (Ormen Lange, Snøhvit) vil det oppstå hydrateplugg hvis det ikke blir gjort forebyggingstiltak.	Når det oppstår hydrateplugg i produksjonsrørene skaper det blokkering, feilfunksjon av ventiler og oppstart problemer. Fjerning av hydrateplugg er en stor risiko, og har ført til dødsulykker	Hydrateplugg kan forhindres i å dannes ved temperatur og trykkkontroll, eller ved kjemiskbehandling.
Avleiring/ "Scaling"	Avleiring oppstår når det produseres vann og det skjer en endring i temperatur og trykk. Sulfatavleiring oppstår når det produseres vann. Det er den kjemiske reaksjon mellom det saltholdige formasjonsvann og sulfat rike sjøvann.	Når det oppstår avleiring skaper det blokkering, feilfunksjon av ventiler og instrumentfeil.	Avleiring kan hindres ved kjemisk behandling eller felt design for å unngå innblanding av vann.
Emulsjoner og skum	Emulsjoner oppstår når sammensetning av hydrokarbon blandes med vann.	Når det oppstår emulsjoner fører det til separasjonsproblemer for å skille vann/ olje/ gass/ sand.	Emulsjoner kan hindres ved kjemisk behandling.

1.4 Problemstilling

Problemstilling:

Følgene problemstillinger fins med dagens CIVer:

- a) Kostbare
- b) Regulerer seg for sakte
- c) Klarer ikke å injisere ønskelig forurenset kjemikaler uten å tette seg
- d) De som er selvrensende bruker for lang tid på rensingen av ventilen
- e) Mange bevegelige deler
- f) Unøyaktig flowmåling
- g) Problemer med erosjon

Dagens CIV klarer ikke å møte ønskene fra olje- og gasselskapene.

Kommentar

Høsten 2010 utførte undertegnede et forprosjekt til oppgaven. I dette forprosjektet var fokuset å utvikle en CIV som skulle klare lave flowrater, mindre enn $0,00006 \text{ m}^3/\text{h}$, uten at ventilen tett seg. I løpet av tiden som har gått etter at forprosjektet ble avsluttet har det kommet frem at erosjon i high flow MEG doserings ventiler kan være svært alvorlig problem og langt viktigere å få løst så fort som mulig enn tilstopningsproblet ved lave flow rater.

1.5 Målsetning og begrensinger

Hovedmål

Følgene hovedmål gjelder for prosjektet:

Å utvikle en ny CIV uten erosjonsproblemer ved høye og lave flowrater, som ikke er for kostbar.

Delmål

Følgende delmål inngår i arbeidet med å nå hovedmålsettingen for prosjektet.

1. Kartlegge teoretiske grunnlag og hvilke krav som stilles til CIV.
2. Kartlegge flowtekniske egenskaper hos konkurrerende løsninger.
3. Utvikle konseptløsning, beregne og analysere denne med hensyn til erosjon motstand.

Utvikling og dimensjonering av reguleringsventil

Arbeidsplan

Følgene arbeidsplan er gjeldene for prosjektet

Tabell 3: Arbeidsplan for utviklingsprosjektet. Når prosjektet når kritiske punkter er det langet milepæl (▲)

Aktiviteter:	Tidsplan					
	Jan.	Feb.	Mars	April	Mai	Juni
Innledende arbeid:						
1. Gjennomgang av tidligere arbeid	■					
2. Innledende spesifisering	■					
3. Studere konkurrerende løsninger	■	■				
4. Studere strømningskarakteristikker		■	■			
5. Studere erosjon og materialvalg		■	■			
M6. CFD analyse av de ulike ventilene		■	■	▲		
Konsept arbeid						
7. Konseptdrøfting			■			
8. Idé og konsepttegninger				■		
9. Konseptvalg				■		
M10. Modellering og CFD analyse av konseptet				■	▲	
Avsluttende arbeid og presentasjon av prosjektet:						
11. Konseptkostnadsgjennomgang					■	
M12. Diskusjon og konklusjon					■	
13. Ferdigstille rapporten				■	■	
M14. Levere rapporten					▲	
15. Ferdigstille presentasjonshjelpemidler					■	■

Begrensninger

På grunn av begrenset tid og kostnad til gjennomføringen av denne oppgaven, har det blitt sett bort fra følgende punkter:

- Beregn reel volumflow for 1" CIV som utvikles.
- Utvikling av ROV opererbarhet ved å blant annet å redusere vekten på ventilen.
- Utvikle innebygget flowmåler i CIVen.
- Kjøre flere simuleringer med ulike væsker og differensialtrykk, samt fysiske erosjon- og flowtester.
- Utvikle den mekaniske reguleringsenheten og styresystem i ventilen ved å se på mulighet for elektrisk aktorator.
- Hvilke tiltak som kan gjøres for å produsere ventilen billigere

1.6 Terminologi

Tidligere i rapporten har forkortelser på engelske ord og begreper som benyttes i rapporten blitt definert. I denne delen blir viktige nøkkelbegreper, symboler, enheter og formler som benyttes i rapporten definert.

Tabell 4: Viktige nøkkelbegreper som benyttes i rapporten

Ord	Beskrivelser
Choke	En type strupeventil
Flow	Strømning
High Flow	Høy strømning
Lean MEG	Ferdig resirkulert/ rensset MEG
Low Flow	Lav strømning
Manifold	Samlestokk/ Mange rør samlet til ett.
Medium Flow	Mellom strømning
Mesh	3D maskenett
Node	Punkter meshene kobles sammen i
Piezoelement	Keramisk eller krystall element som vil generer en elektrisk strøm.
Receptacle	Dokking stasjon for CIV
Rik MEG	MEG etter at den har blitt injisert og blandet med vann og gass
Umbilicals	Navlestreng (med elektriske, hydrauliske og kjemiske linjer)

Tabell 5: Viktige symboler og enheter som benyttes i rapporten (SI-enheter).

Symbol	Betydning	Enhet
α	vinkel	-
A	Areal	m ²
C_v	Faktor for volumstrøm (se side 36)	-
d	diameter	m
E	Erosjon verdi	kg/year
F	Kraft, generelt	N
$F(a)$	Funksjon som karakteriserer formbarheten til et material, som er avhenger av vinkelen partikkel treffer materialet med.	-
g	Tyngdeakselerasjon (9,81)	m/s ²
HV	Hardhet	-
K	Konstant som er avhenge av materialet i veggen som blir erodert	(m/s) ⁻ⁿ
M	Masse	kg

Fortsettelse av tabell 5: Viktige symboler og enheter som benyttes i rapporten (SI-enheter).

M_p	Partikkel massestrøm	g/s
m	Masse	kg
\dot{m}_p	Masse strøm av sand	kg/s
n	Eksponenten for hastigheten	-
O	Omkrets	m
ρ	Densitet	kg/ m ³
Δp	Trykkdifferansen	MPa
p	Trykk	MPa
Q	Volumstrøm	m ³ /s
Re	Reynolds tall	-
SG	Forholdstall mellom ulike densiteter	-
μ	Viskositet	Pa·s
U_p	Partikkel støthastighet	m/s
ν	Kinematisk viskositet	m ² /s
V	Volum	m ³
v	Hastighet	m/s
z	Høyde	m
g_i	Masse konsentrasjon	mg/L
-	Flowområde	m ³ /h

Vanlige omregningsfaktorer:

1 poise = 100 centipoise = 0,1 Pa·s

1 bar = 10⁵ Pa = 10⁻¹ MPa

1 L = 1 dm³ = 10⁻³ m³

1 h = 60 min = 3600 s

1 N = 1 kgm/s²

1 m = 10³ mm = 10⁶ μ m

1 kg = 10³ g = 10⁶ mg

1 tommer = 25,4 mm

I del 4.7 *Partikkelforurensning* i rapporten, blir det beregnet forurensningen i MEGen. Standardene oppgir partikkelene i mikrometer, μ m siden partikkelene er små. I rapporten er det for valgt å beholde M_p , partikkel massestrømmen i g/s og g_i , Masse konsentrasjon i mg/L siden CFD analysen krever disse enhetene.

Tabell 6: Viktige beregningsformler som benyttes i rapporten [7], [8], [9].

Navn	Formel	Indekserings nr.
Reynolds tall	$Re = \frac{r v d_h}{h} = \frac{v d_h}{n}$	4.1
Hydrauliske diameter	$d_h = 4 \frac{A}{O}$	4.2
Areal sirkel	$A = \frac{\rho \times d^2}{4}$	4.3
Bernoullis likning, uten tapsledd	$\frac{p_1}{r g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{r g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$	4.4
Bernoullis likning, med tapsledd	$\frac{p_1}{r g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{r g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + tap$	4.5
Kontinentslikningen, for stasjonær strømning	$r_1 A_1 v_1 = r_2 A_2 v_2$	4.6
Volumstrømmen	$Q = Av$	4.7
Forholdstall	$SG = \frac{r_{vann}}{r_{væske}}$	4.8
Faktor volumstrøm	$C_v = 1331951 \times Q \times \sqrt{\frac{SG}{Dp}}$	4.9
Erosjon	$\dot{E} \sim \dot{m}_p \times K \times U_p^n \times F(a)$	4.11
Masse verdi	$\dot{m}_p = \dot{M}_m \times ppm W \times 10^{-6}$	4.12
Likning for beregning av funksjon F(α)	$F(a) = \sum_{i=1}^8 (-1)^{(i+1)} A_i \frac{a^i}{180^{\frac{i}{2}}}$	4.13
Volum pr. partikkel	$V_{partikkel} = \frac{4}{3} \times \rho \times \frac{d_{partikkel}^3}{6}$	5.1
Masse pr. partikkel	$M = V_{partikkel} \times r_{testdust}$	5.2
Masse pr. gruppe	$M_{gruppe} = M_{partikkel} \times antall \ partikler$	5.3

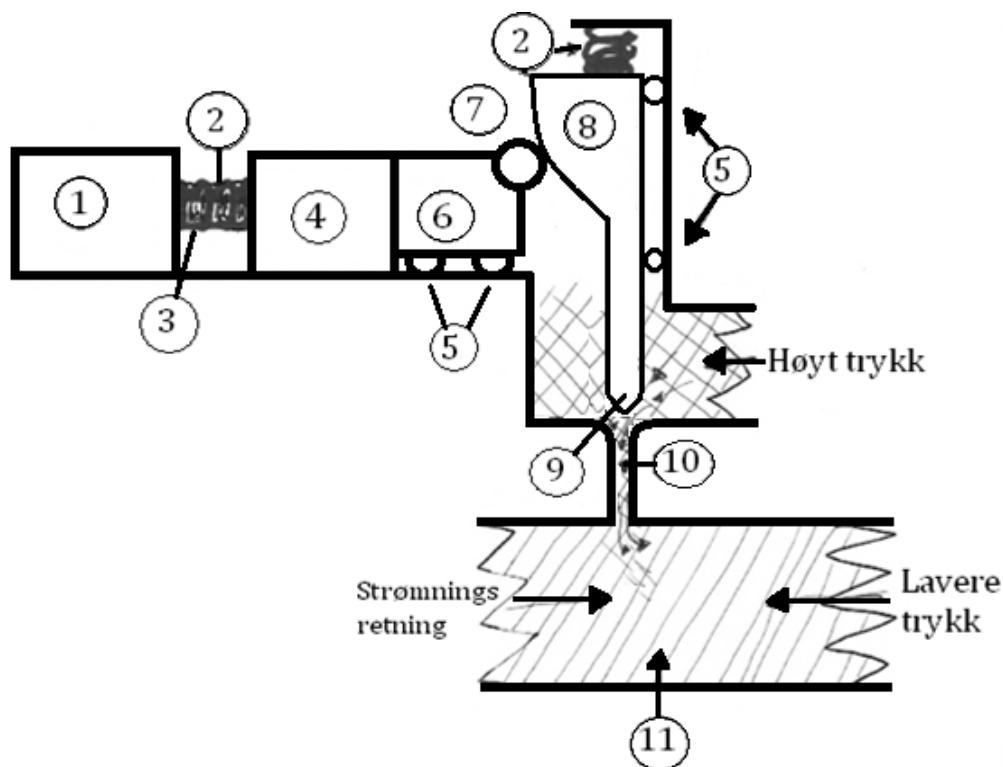
2. FORPROSJEKT TIL MASTEROPPGAVEN

Høsten 2010 ble det gjennomført undertegnede et forprosjekt til masteroppgavene, som gikk ut på å designe den nye typen kjemisk injeksjons ventil, CITV. Denne CITVen som skulle møte de ønskene som stilles fra olje og gasselskapene med hensyn til: høy maks flow, lav minimum flow, liten risiko for tilstopping, nøyaktig flowmåling og minst mulig kompleksitet.

Det ble i oppgaven vektlagt å designe en mekanisk reguleringsenhet med liten kompleksitet som nådde de lave volumsflowene. Dette resulterte i en mekanisk reguleringsenhet basert på piezoelementer som energikilde.

Et generelt problem med piezoelementer er kort slaglengde. Ideen for å øke slaglengden er at piezoelementene dytter på en vogn (se figur 10) som har montert et rullelager øverst i motsatt hjørne. Dette rullelageret løfter da opp en sleid, som ligger mellom rullelageret på vognen og to rullelagre mot ventilveggen. Sleiden har en plugg i enden som passer inn mot et sete. Ventilen kan på denne måten pulsinnjisere inn MEG og eventuelt andre injeksjonskjemikalier

For å kunne finne ut hvor stor kraftoverføringen som må til samt utvikle et optimalt design på sleiden, ble det kjørt flere CFD simuleringer på en modell av pluggen i enden på sleiden.



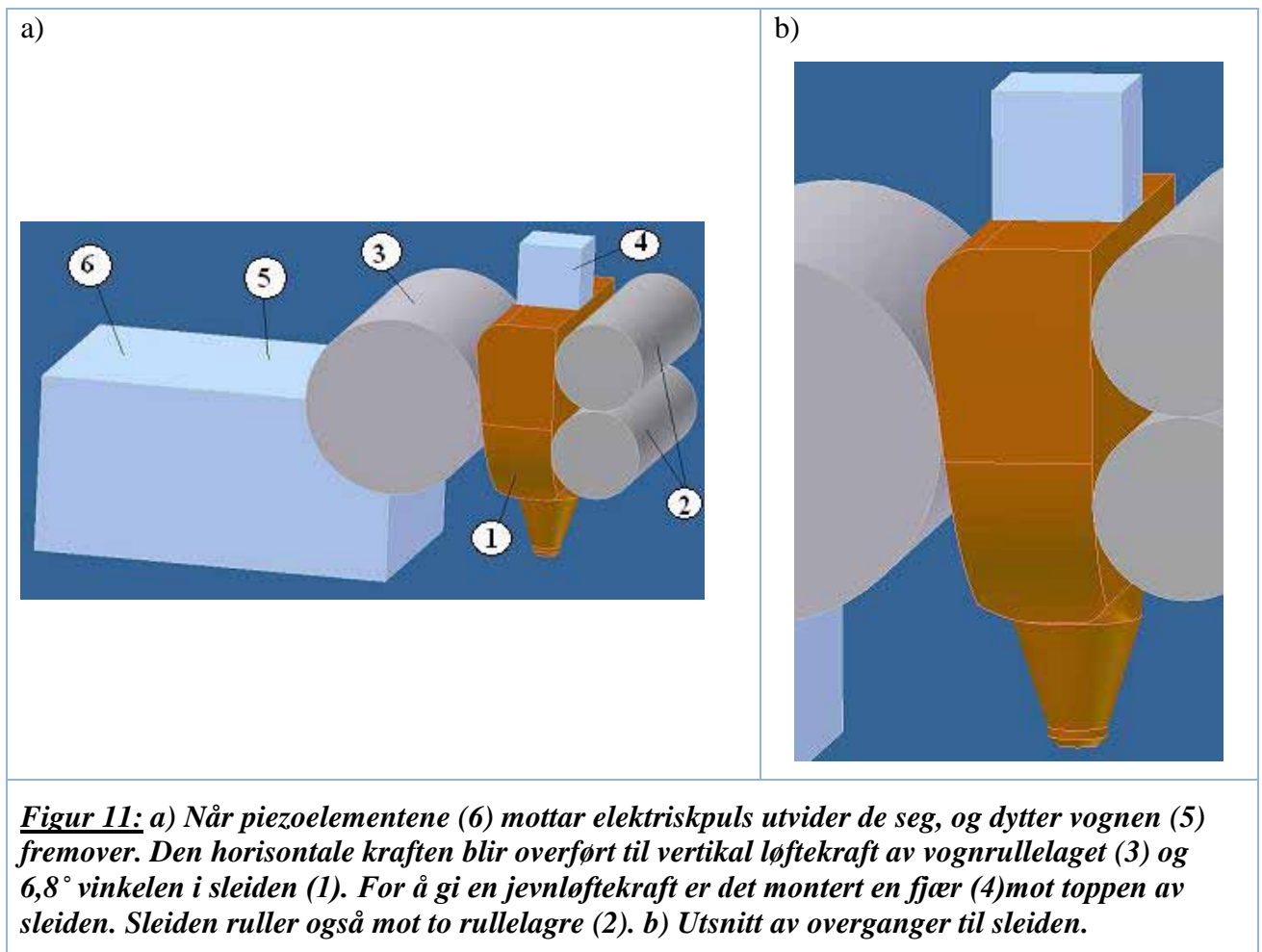
Figur 10: Figuren er hentet fra rapporten til forprosjektet og er et illustrasjonsbilde av hvordan den mekaniske reguleringen skulle foregå. Piezoelementet (4) dytter på en vogn (6) som ligger på hjul (5) når piezoelementet utvider seg. Ved hjelp av vognrullelageret (7) løfter sleiden (8) med pluggen (9) i enden opp og væska kan injiseres gjennom overgangen (10) og inn i røret (11) til brønnstrømmen. Vognen kan manuelt styres ved hjelp av motoren (1) som sitter på akslingen (3). Piezoelementet må hele tiden være spent, dette sørger fjærene (2) på toppen av sleiden for.

Utvikling og dimensjonering av reguleringsventil

CFD simuleringene resulterte i at det ville maksimalt kreve en løftkraft på 450 N når dP er 50 MPa. For å kunne benytte kraftoverføringsprinsippet med piezoelementer krever det at rullelageret fra vognen angriper med en vinkel på $6,8^\circ$ [10].

Tabell 7: Spesifikasjoner for CITV designet til forprosjektet.

Beskrivelse	Verdier	Enhet
Strupingsmekanismer	Sete m. nål	-
Flowområde	0-2,76	m ³ /h



3. KONSEPTGJENNOMGANG

Samtidig som forprosjektet ble gjennomført erfarte FMC at erosjon kunne være et vesentlig problem i ventiler for injeksjon av resirkulert MEG. Denne masteroppgaven ble på denne bakgrunnen vinklet mot å utvikle og dimensjonere en ny reguleringsventil som klare de kravene som stilles fra olje- og gasselskapene, med fokus strømningskarakteristikken igjennom CIV når ventilen injiserer store og små væskeflower for å unngå erosjon.

I denne delen av rapporten blir det de ulike konsptene i de eksisterende løsningen drøftet mot kravspesifikasjonene.



Figur 12: Del av et bur til en plugg og bur choke som er utsatt for erosjon [11]. Mer informasjon om erosjon kommer seinere i oppgaven.

3.1. Kravspesifikasjoner

Kravspesifikasjonene som stilles til CIV konstruksjonene er både funksjonelle- og metriske kravspesifikasjoner.

Funksjonelle kravspesifikasjoner som en CIV vurderes etter er:

- Strupingsmekanisme
- Flowmåler
- ROV opererbarhet
- Materialer i ventilkroppen og strupingsområdet

Metriske kravspesifikasjoner som en CIV vurderes etter er:

- Minimum og maksimum flow
- Målenøyaktighet ved flowmåler
- Vekt og størrelse på ventil og eventuell receptacle
- Pris

3.2. Konseptdrøfting av eksisterende løsninger

På markedet fins det ulike strupingsløsninger. Ventilene fra Cameron, Roxar, Rotator, Weir og SkoFlo, og FMC sin choke blir i dette avsnittet presentert med bilder og strupingsmekanismen. De fleste av leverandørene leverer ventiler for low flow, medium flow og high flow. Se tabell 8.

Tabell 8: Oversikt over hvordan de ulike ventilene struper strømmingen av væske i gjennom ventilene.

Leverandør	Type ventil	Type strupingsmekanismer				
		M.O.V.	Sete med nål	Skrue	Skive med hull	Plugg og bur
Forprosjektet						
Cameron	Low Flow					
Cameron	Medium Flow					
Cameron	High Flow					
Roxar	Low Flow					
Roxar	High Flow					
Rotator	Low Flow					
Rotator	Medium Flow					
Rotator	High Flow					
Weir						
SkoFlo	Low Flow					
SkoFlo	Medium Flow					
SkoFlo	High Flow					
FMC	Choke					

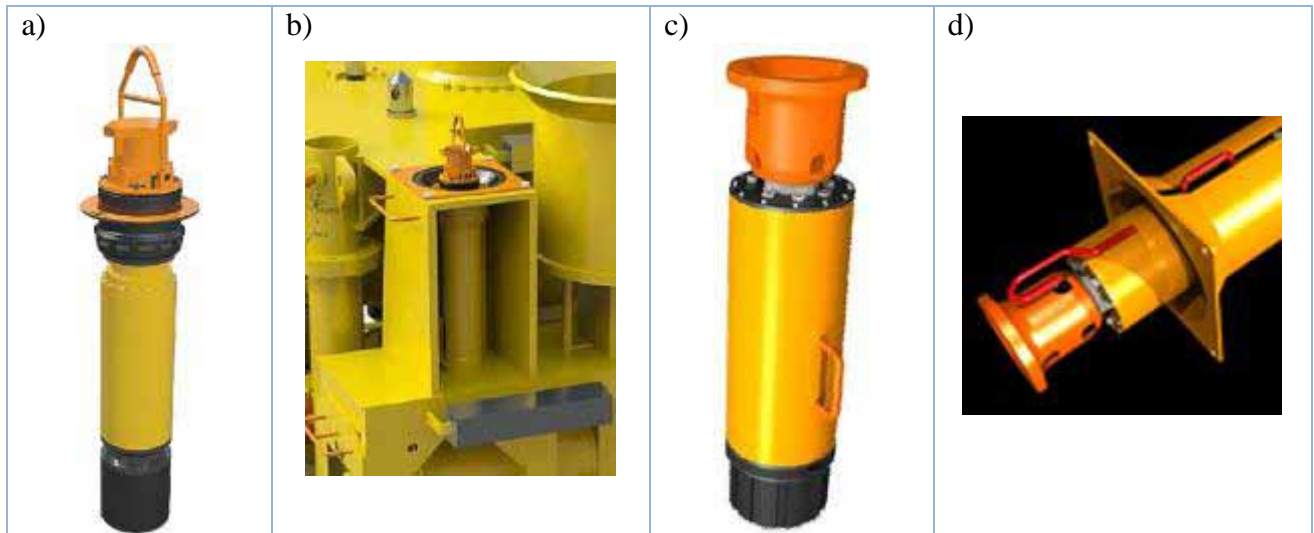
I tillegg til at alle ventilene blir presentert med bilder og strupingsmekanismer blir funksjonelle- og metriske kravspesifikasjoner til high flow løsningene vurdert etter tabell 9. Når ventilene fra alle leverandørene er presentert blir kravspesifikasjonene for forprosjektet og high flow ventiler sammenlignet.

Tabell 9: Tekniske data som benyttes for å vurdere de funksjonelle og metriske kravspesifikasjonene av de eksisterende high flow ventilene.

Beskrivelse	Verdier	Enhet
Strupingsmekanisme		-
C_v		-
Flowområde		m^3/h
Målenøyaktighet		-
Flowmåler		-
Vekt ventil		kg
Vekt receptacle		kg
ROV		-
Material, ventilkroppen:		-
Material, flowstruping:		-
Pris		NOK

3.2.1. Gjennomgang av de eksisterende løsninger fra Cameron

CIMV er CIV levert fra Cameron. Cameron leverer High Flow CIMV, Medium Flow CIMV og Low Flow CIMV. Kravspesifikasjonene for Cameron High Flow CIMV er gitt i tabell 10.



Figur 13: Ventiler fra Cameron [13]: a) High Flow CIMV og Medium Flow CIMV har samme utvendig utseende. b) High Flow CIMV og Medium Flow CIMV plassert i receptacle. c) Low Flow CIMV. d) Low Flow CIMV plassert i receptacle.

Tabell 10: Tekniske data for Cameron High Flow CIMV [12], [13], [14], [15].

Beskrivelse	Verdier	Enhet
Strupingsmekanisme	M.O.V.	-
C_v	14,5	-
Flowområde	0,16-101,7	m ³ /h
Målenøyaktighet	1,5 % av ¹	-
Flowmåler	Ultralyd strømningsmåler	-
Vekt ventil	300	kg
Vekt receptacle	400	kg
ROV	Nei ²	-
Material, ventilkroppen:	Dupleksstål	-
Material, flowstruping:	WCDC-05	-
Pris	1 100 000	NOK

¹ Prosenten er av flowen som strømmer igjennom når målingen blir gjort.

² Kan flyttes ved hjelp av vaier grunnet vekt begrensning på ROV.

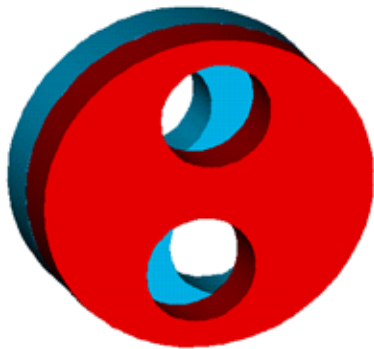
Utvikling og dimensjonering av reguleringsventil

Strupingsmekanismen i Cameron sine ventiler

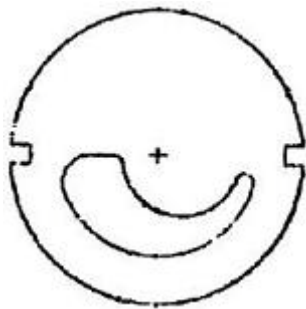
Strupingsmekanismen i Cameron sin Low Flow CIMV er samme prinsipp som en nål ventil, mens High Flow CIMV og Medium Flow CIMV bruker M.O.V. prinsippet som består to like diskene.

M.O.V. er opprinnelig et prinsipp som er blitt brukt på choker. M.O.V. diskene har hver to sirkulære hull som kan justeres ovenfor hverandre for å forandre åpningsgraden.

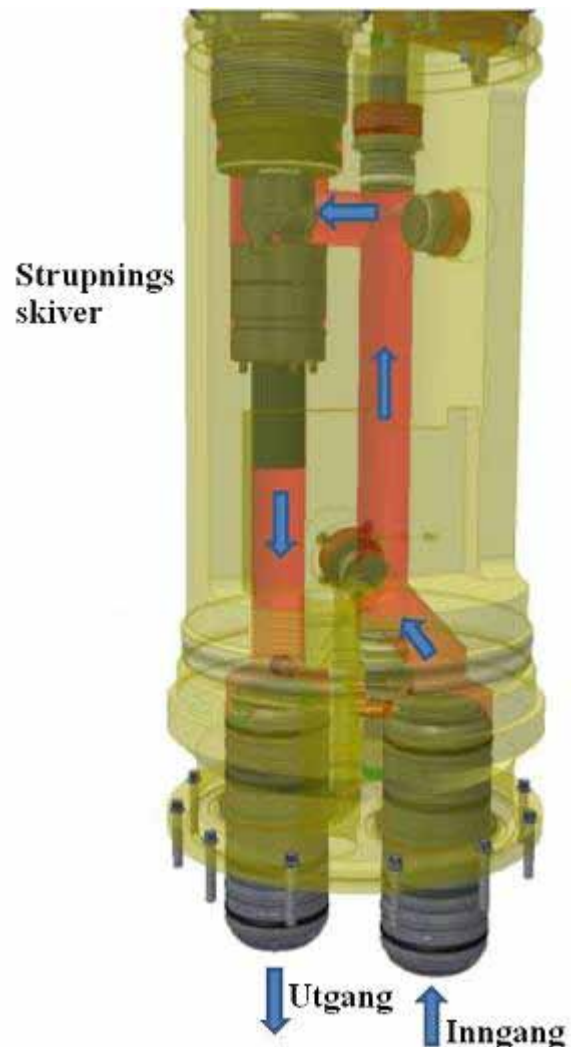
Medium Flow CIMV har en 1" hydrauliskkobler og regulerer strupingen med to like diskene med to sirkulære hull. High Flow CIMV kan regulerer strupingen med to like diskene med to sirkulære hull som Medium Flow CIMV eller har to like diskene med et slags dråpeformet hull. En annen ulikhet mellom High Flow CIMV og Medium Flow CIMV er at High Flow CIMV har en spesialkobler og ikke hydrauliskkobler som Medium Flow CIMV. [14]



Figur 14: M.O.V. prinsippet med hullformet struping. Strupingen foregår ved at to like diskene med to sirkulære hull reguleres i forhold til hverandre. På denne måten økes og reduseres væskeflowen [12].



Figur 16: M.O.V. prinsippet dråpehullformet struping. Strupingen foregår ved at to like diskene med et dråpeformet hull reguleres i forhold til hverandre. På denne måten økes og reduseres væskeflowen [12].



Figur 15: High og Medium Flow CIMV bruker M.O.V. prinsippet til å øke og redusere væskeflowen igjennom ventilene [12].

3.2.2. Gjennomgang av de eksisterende løsninger fra Roxar

Roxar leverer High Flow CIV, Low Flow Manual CIV og Low Flow Remote CIV. Low Flow Manual CIV opereres med bruk av ROV. Kravspesifikasjonene for Roxar High Flow CIV er gitt i tabell 11.



Figur 17: Ventiler fra Roxar: a) Low Flow Manual CIV [16]. b) Low Flow Remote CIV [16]. c) High Flow CIV [17]. d) Roxar sin High Flow CIV er ventilen montert i receptacle [17].

Tabell 11: Tekniske data for Roxar High Flow CIV [14], [15], [17].

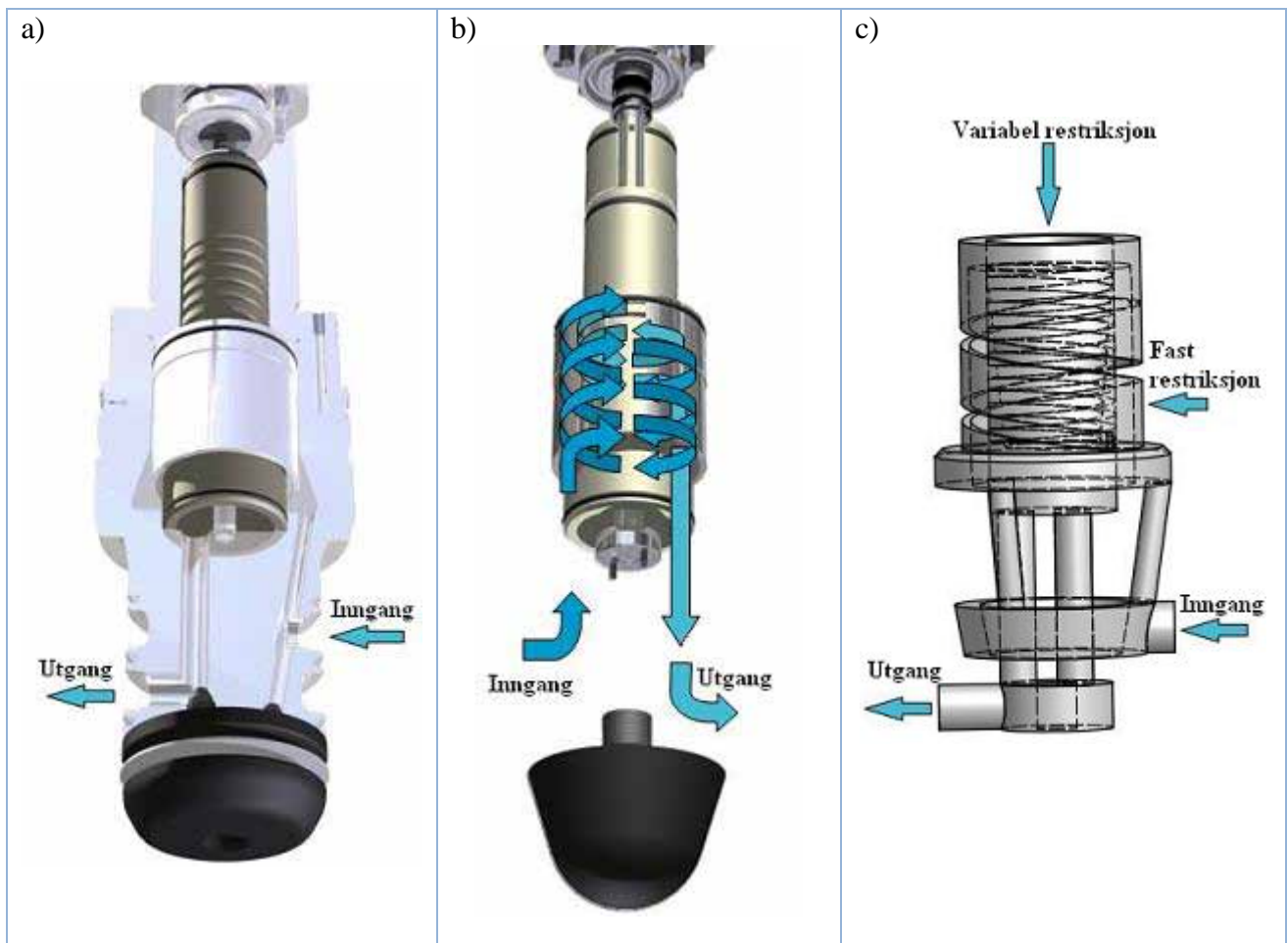
Beskrivelse	Verdier	Enhet
Strupingsmekanisme	Skrue	-
C_v	(Ikke oppgitt)	-
Flowområde	0,06-27	m^3/h
Målenøyaktighet	5 – 10 % av FS ⁴	-
Flowmåler	Trykkfall over en fast restriksjon.	-
Vekt ventil	100	kg
Vekt receptacle	220	kg
ROV	Ja ³	-
Material, ventilkroppen:	Dupleksstål, Super dupleksstål	-
Material, flowstruping:	Keramikk, ZrO ₂ -Y ₃	-
Pris	650 000	NOK

³ ROV opererebar med hjelp fra oppdrift, f.eks. ballong som monteres på ventilen.

⁴ Målenøyaktigheten avhenger av hvor i flowområde målingen blir tatt.

Strupingsmekanismen i Roxar sine ventiler

Roxar sine ventiler bruker det samme strupingsprinsippet, hvor injeksjonsvæska sendes over en fast restriksjon som er utformet som et gjengeparti, før den ledes inn i en variabel skruer. På Low Flow Manual CIV og Low Flow Remote CIV skrues denne variable skruen inn i et gjengeparti, mens på High Flow CIV er det bare en skruer i et glatt hylster [17], [18].

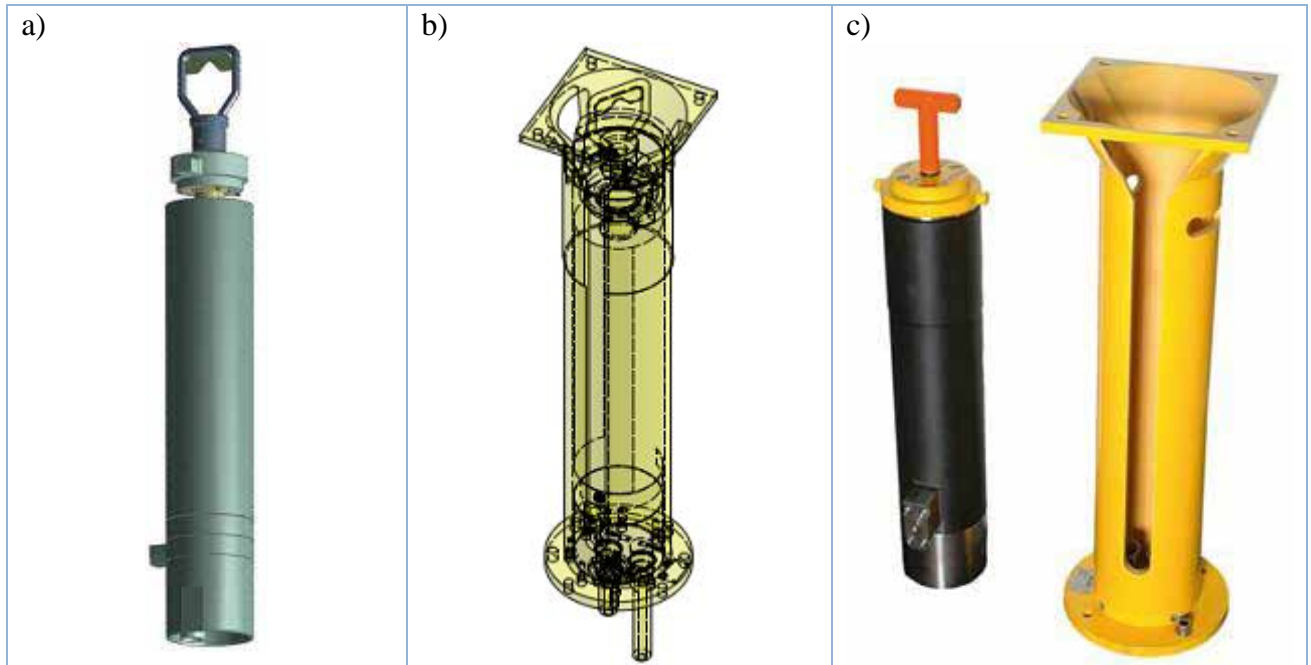


Figur 18: Roxar sin High Flow CIV innvenning:

- Roxar sin High Flow CIV innvendig med inn- og utløp [17].*
- Væskestrømmen igjennom Roxar sin High Flow CIV. Først strømmer over en fast restriksjon og etter på strømmer over den variable restriksjonen (som er en skruer inne i den faste restriksjonen) [17].*
- Strømningsmønsteret gjennom Roxar sin High Flow CIV. Væska strømmer først oppover tre rør og går sammen og inn over en fast restriksjon, og etter på strømmer over den variable restriksjonen (som er en skruer inne i den faste restriksjonen). Før væska strømmer ut gjennom tre rør og går ut utløpet [19].*

3.2.3. Gjennomgang av de eksisterende løsninger fra Rotator

Roxar leverer High Flow 1", Medium Flow ½" og Low Flow CTV ¼". Kravspesifikasjonene for Rotator High Flow 1" er gitt i tabell 12.



Figur 19: Ventiler fra Rotator: a) High Flow ventil. [20] b) High Flow ventil montert i en receptacle [21]. c) Low Flow ventil med receptacle [22].

Tabell 12: Tekniske data for Rotator High Flow 1" [14], [15], [20], [22].

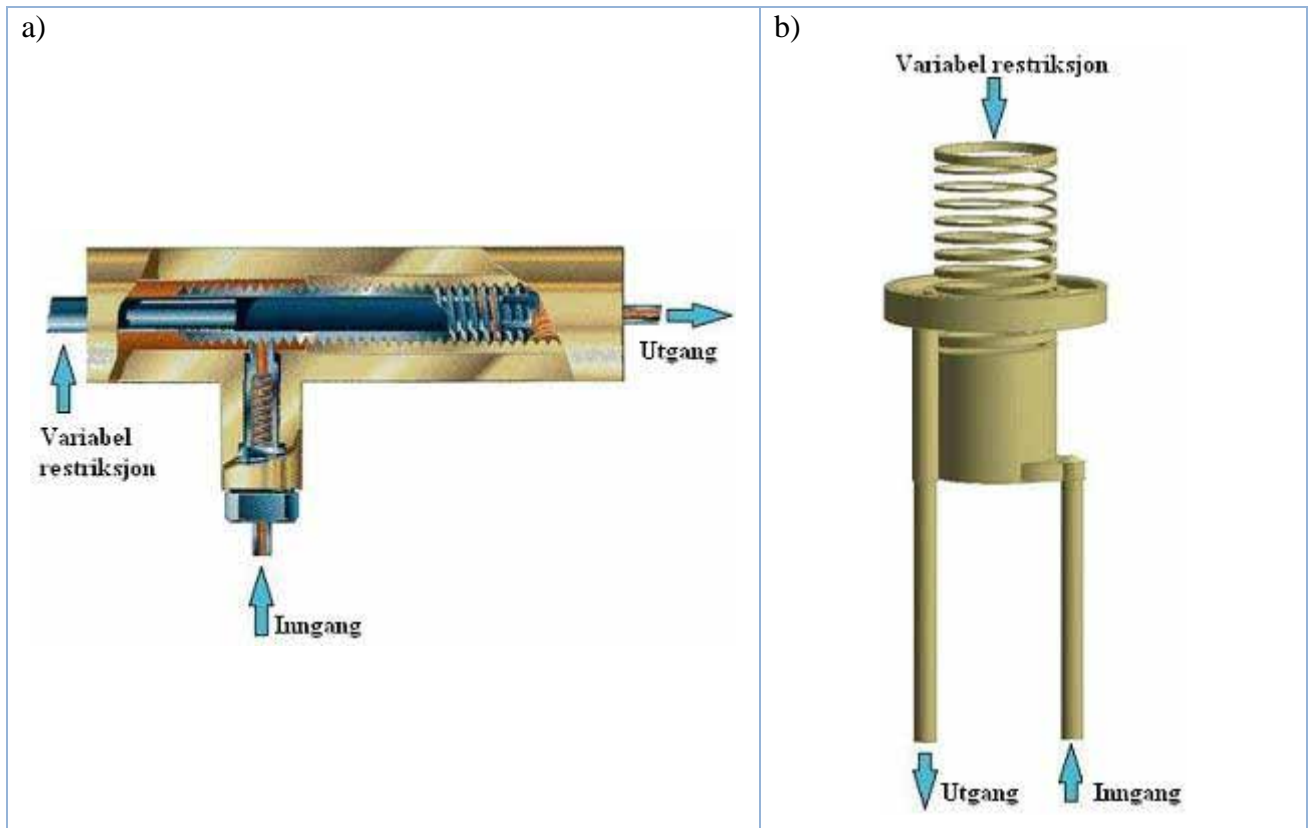
Beskrivelse	Verdier	Enhet
Strupingsmekanisme	Skrue	-
C_v	(Ikke oppgitt)	-
Flowområde	0,18-15	m ³ /h
Målenøyaktighet	5 -10 % av FS ⁴	-
Flowmåler	Trykkfall over den variabel restriksjon hvor strupingen foregår.	-
Vekt ventil	87	kg
Vekt receptacle	100	kg
ROV	Ja ³	-
Material, ventilkroppen:	Dupleksstål	-
Material, flowstruping:	Super dupleksstål	-
Pris	800 000	NOK

³ ROV opererebar med hjelp fra oppdrift, f.eks. ballong som monteres på ventilen.

⁴ Målenøyaktigheten avhenger av hvor i flowområde målingen blir tatt.

Strupingsmekanismen i Rotator sine ventiler

I likhet med Roxar struper Rotator væsken over en skrue. På lavstrømningsventilen blir strømmingen sendt mellom en skrue og en gjenge, mens på den høystrømningsventilen blir strømmen sendt over en skrue mot en glatt vegg [14].

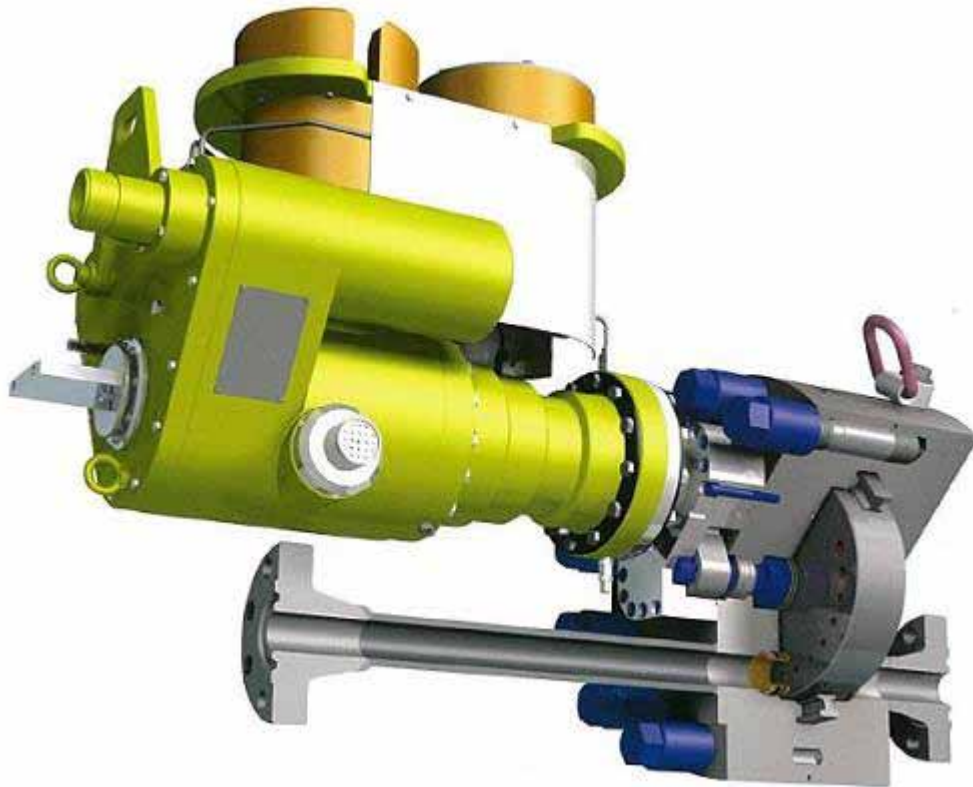


Figur 20: Rotator sine ventiler innvendig:

- Innvendig figur av Low Flow CTV 1/4". Her ser enn hvordan væska strømmer inn og mellom skruen og gjengen [6].*
- Strømningsbanen til væska inne i Rotator sin High Flow 1". Her ser enn hvordan væska strømmer inn gjennom et rør og samles i en "tank" før væska skrues rundt i en skrue også går ut i en ring og så strømmer ut utgangen. Den delen av væskens strømningsbane som er over ringen fungerer som strømningsbane for skruen justeres ned [20].*

3.2.4. Gjennomgang av eksisterende løsninger fra Weir

Weir produserer The Rotary Gate Valve. Kravspesifikasjonene for Weir sin The Rotary Gate Valve er gitt i tabell 13.



Figur 21: Weir sin ventil, The Rotary Gate Valve [23].

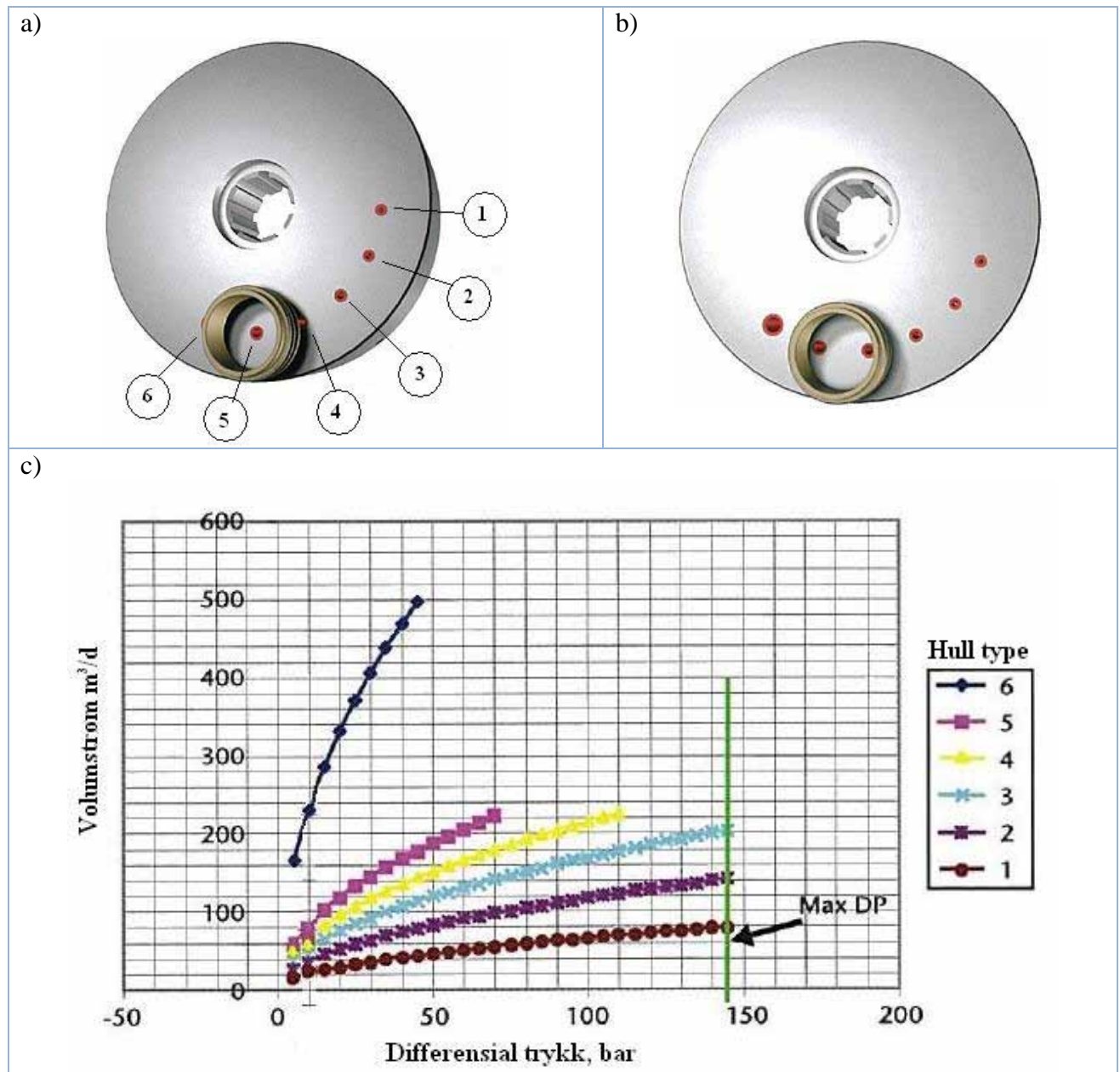
Tabell 13: Tekniske data for Weir ventilen, The Rotary Gate Valve [14], [15], [23].

Beskrivelse	Verdier	Enhet
Strupingsmekanisme	Skive m. hull	-
C_v	(Ikke oppgitt)	-
Flowområde	1-30	m ³ /h
Målenøyaktighet	-	-
Flowmåler	Har ingen strømningsmåler.	-
Vekt ventil	800	kg
Vekt receptacle	-	kg
ROV	Nei	-
Material, ventilkroppen:	Super duplexstål	-
Material, flowstruping:	WC	-
Pris	3 000 0000	NOK

Utvikling og dimensjonering av reguleringsventil

Strupingsmekanismen i Weir sin ventil

Weir sin ventil struper strømmen ved at det er plassert en skive med hull i røret. Skiven har ulike størrelser på hullene, og roteres for å endre væske mengden. Weir opererer med to ulike innløpsringer. Den ene begrenser strømmingen til å strømme igjennom et hull i skiva og den andre innløpsringen åpner for at strømmingen kan skje gjennom igjennom et eller to hull.

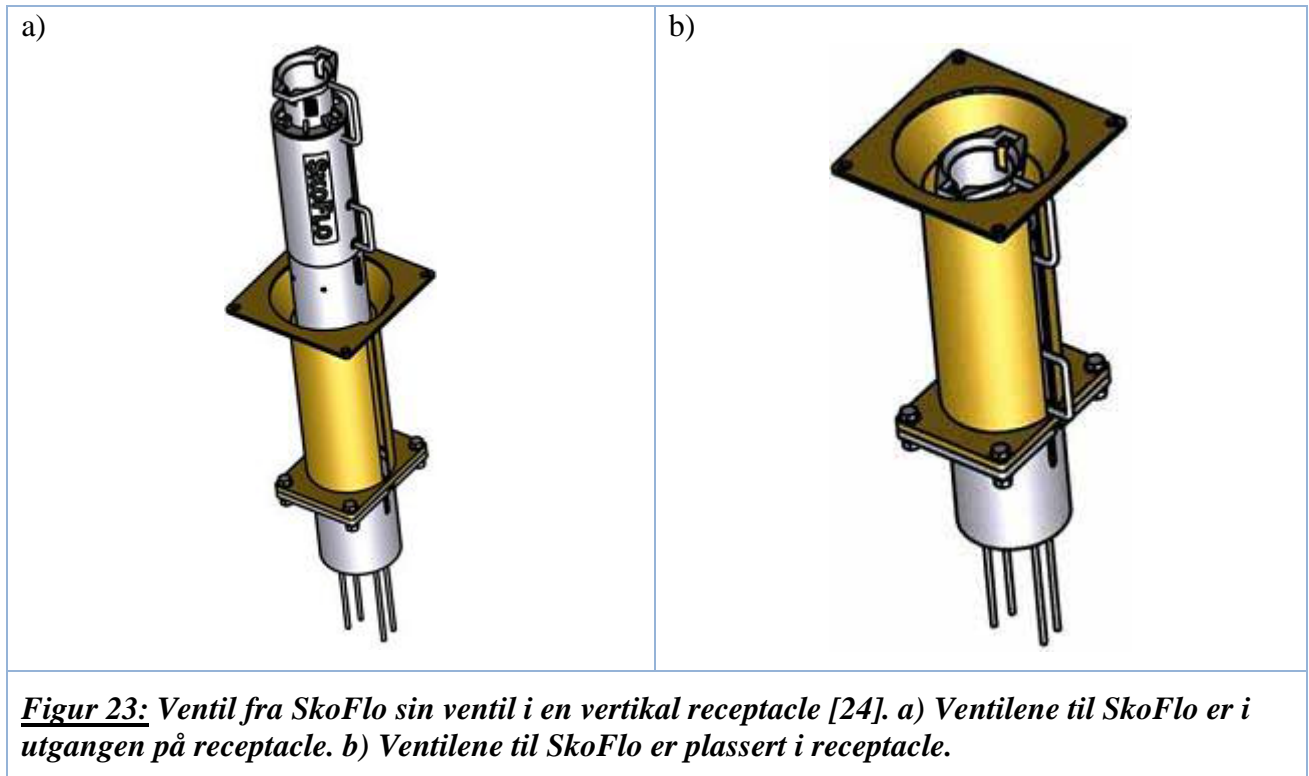


Figur 22: Weir sin struping og strømningsprofil [23]:

- Innløps ring varianten som struper strømmingen gjennom et hull i skiva, i Weir ventil.. Ved å vri skiva skiftes hullstørrelse.*
- Innløps ring varianten som struper strømmingen gjennom et eller to hull i skiva, i Weir ventil.. Ved å vri skiva skiftes hullstørrelse.*
- Typisk strømningsprofil for en 6 hulls Weir ventil, The Rotary Gate Valve når væska strømmer igjennom et hull i skiva.*

3.2.5. Gjennomgang av eksisterende løsninger fra SkoFlo

SkoFlo produserer Low Flow Valve, Medium Flow Valve og High Flow Valve. Kravspesifikasjonene for SkoFlo sin High Flow Valve er gitt i tabell 14.



Tabell 14: Tekniske data for SkoFlo High Flow ventilen [15], [25].

Beskrivelse	Verdier	Enhet
Strupingsmekanisme	Sete m. nål	-
C_v	(Ikke oppgitt)	-
Flowområde	0,23 – 9,08	m ³ /h
Målenøyaktighet	5 % av FS	-
Flowmåler	Trykkfall over en fast restriksjon.	-
Vekt ventil	135	kg
Vekt receptacle	120	kg
ROV	Ja ³	-
Material, ventilkroppen:	Nitronic 50 og 60	-
Material, flowstruping:	Nitronic 50	-
Pris	850 000	NOK

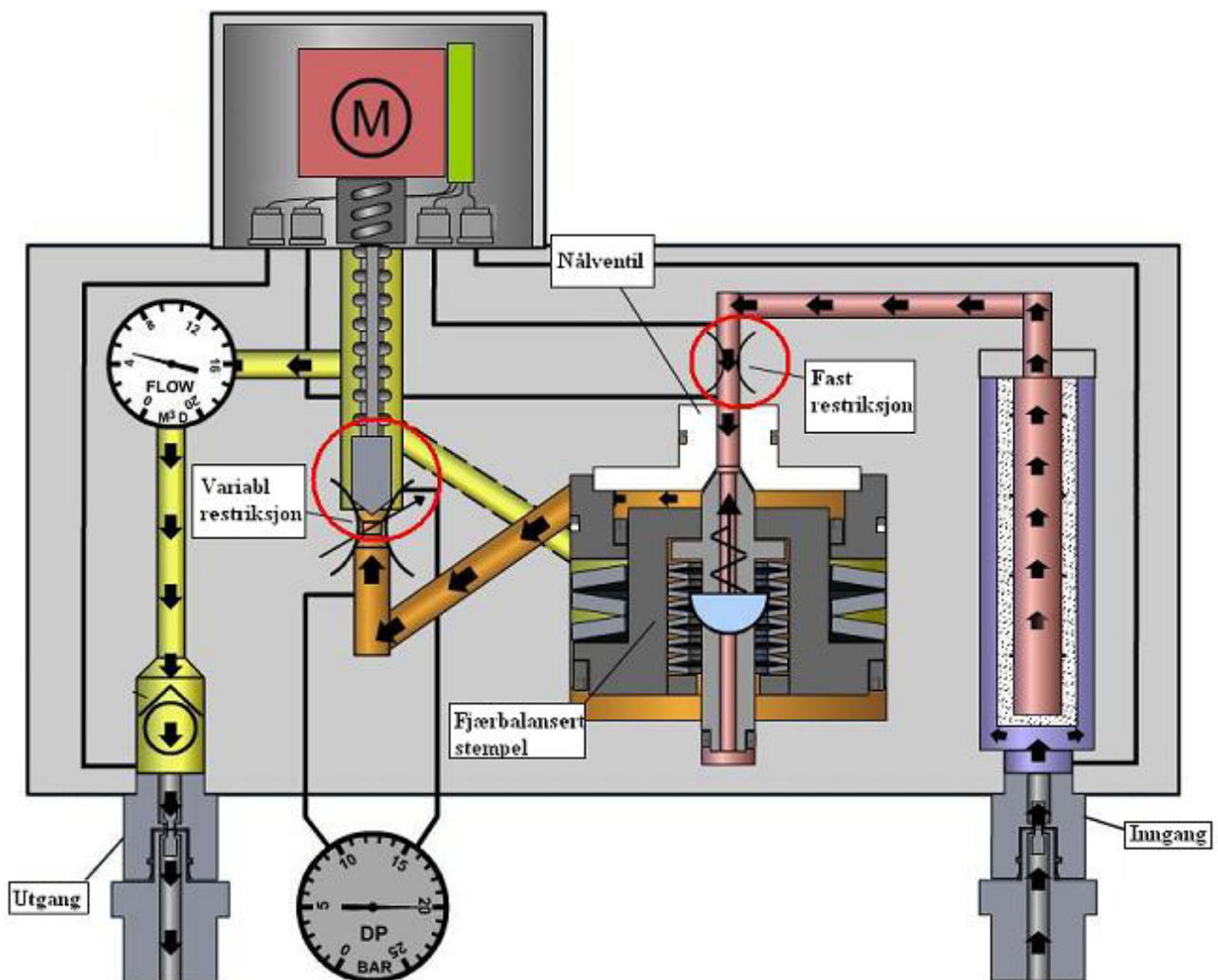
³ ROV opererebar med hjelp fra oppdrift, f.eks. ballong som monteres på ventilen.

Utvikling og dimensjonering av reguleringsventil

Strupingsmekanismen i SkoFlo sine ventiler

SkoFlo sin High Flow Valve og Medium Flow Valve justeres etter samme prinsipp. Ventilene struper strømmen av væske først over en fast restriksjon for deretter å strupe strømmen over en variabel restriksjon, når ventil mot et sete. Ventilen kan ha to faste restriksjoner for å fordele trykkfallet.

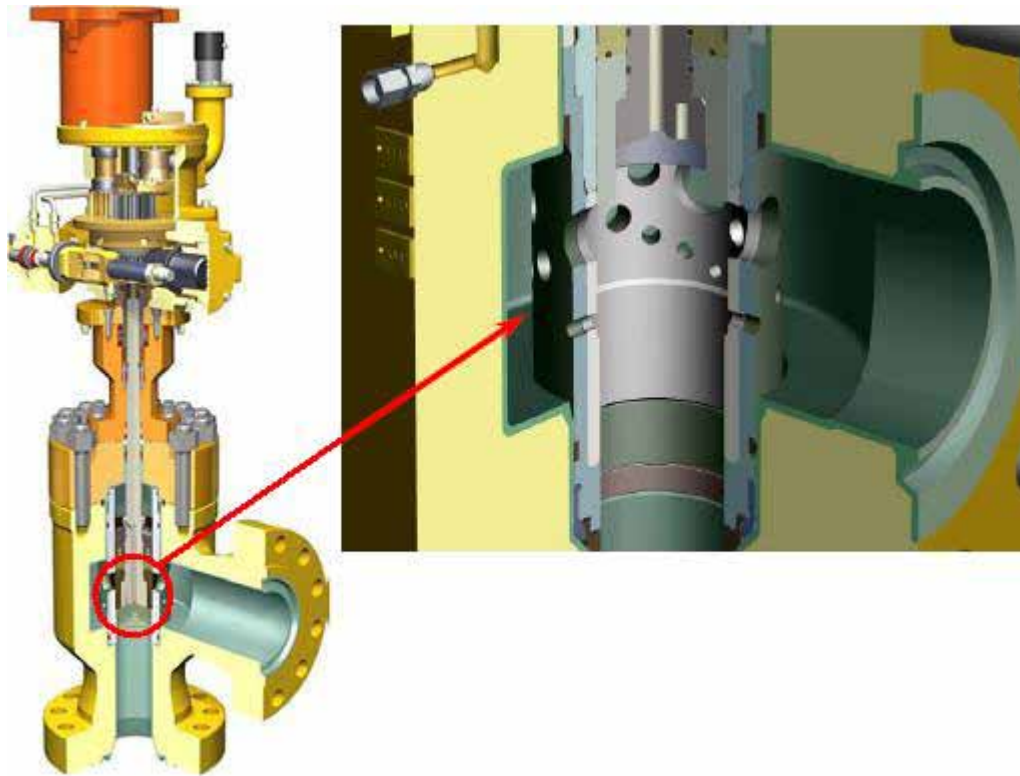
Mellom den faste restriksjonen og variable restriksjonen er det en ventil som justerer seg automatisk ved hjelp av et fjærbalansert stempel når trykkfallet over ventilen øker. Differensial trykket er derfor også uavhengig av systemets trykkforandring [25].



Figur 24: SkoFlo sin High Flow Valve og Medium Flow Valve justeres etter samme prinsipp. Ventilene struper strømmen av væske over den faste restriksjonen for deretter strupes strømmen over den variable restriksjonen som er en nål ventil mot et set [25].

3.2.6. Gjennomgang av eksisterende løsninger fra FMC

FMC har i løpet av de siste 5 årene utviklet sin egen havbunns choke, som har i oppgave er å kontrollere væske og gass i undervannsproduksjonen og injeksjonssystemet. Kravspesifikasjonene for FMC sin choke er gitt i tabell 15.



Figur 25: FMC sin choke med utsnitt av strupeområde [26].

Tabell 15: Tekniske data for FMC choken [26], [27], [28], [29].

Beskrivelse	Verdier	Enhet
Strupingsmekanisme	Plugg og bur	-
C_v	22,3	-
Flow område	0-155,9	m ³ /h
Målenøyaktighet	-	-
Flowmåler	Har ingen strømningsmåler.	-
Vekt ventil	317	kg
Vekt receptacle	-	kg
ROV	Nei	-
Material, ventilkroppen:	Dupleksstål	-
Material, flowstruping:	WC, Sandvik DC05	-
Pris	900.000 ⁵	NOK

⁵ Pris for FMC sin 5" choke. Choken er ganske nyutviklet og prisen ved større opplager og 2" er ikke tilgjengelig.

Strupingsmekanismen i FMC sin choke

FMC sin choke er bygd på plugg og bur prinsippet (plug and cage) som er et velbrukt choke prinsipp. Prinsippet er at strømningsbanen krasjer i midten og der etter kveler seg selv. FMC sin choke stilles inn ved at det er en plugg inne i buret som tetter igjen hullene i buret. Denne type ventil passer best i de 50 % åpne eller høyere områdene. Ved lavere driftsområde har den samme effekten som nål og sete prinsippet [27].



Figur 26: Strømningsprinsipp for FMC sin bur choker når choken delvis er lukket. Væsken strømmer inn gjennom ulike hull i buret og krasjer i midten. Denne krasjen fører til hastighetsreduksjon. Det røde område er det område choken først blir slitt og der etter det gule området [11].

3.3. Sammenligning og drøfting av de eksisterende løsninger

I dette avsnittet blir de eksisterende løsningene sammenlignet og drøftet i forhold til kravspesifikasjonene.

Matrisen med kravspesifikasjonene til de ulike high flow CIV, FMC sin choke og CITV forprosjektet er lagt ved som vedlegg 5. Flowområdene må sees på sammen med dP. Siden forprosjektet ikke ble utviklet så langt, er det ikke mulig å antyde noen pris eller vekt.

Metriske kravspesifikasjoner

Nedenfor er det en matrise for de metriske kravspesifikasjonene for high flow CIVene. Vekt og pris er ønskelig å få så lav som mulig.

Tabell 16: Matrise med metriske kravspesifikasjoner for high flow CIVene.

Beskrivelse	Minimum	Optimalt	Maksimum	SI-enhet
Minimum flow område	0	0,12	1	m ³ /h
Maksimum flow område	2,76	24	155,9	m ³ /h
Måle nøyaktighet	1,5 % av ¹	1,5 %	5 %	-
Vekt ventil	87	Lavest mulig	800	kg
Vekt receptacle	100	Lavest mulig	400	kg
Pris	650.000	Lavest mulig	1 100 000	NOK

¹ Prosenten er av flowen som strømmer igjennom når målingen blir gjort.

Ut i fra de metriske kravspesifikasjonene er Wier sin ventil en stor og kostbar ventil (se figur 27), og er av de grunner svært sjeldent i bruk i havbunnsinstallasjoner. Rotator, SkoFlo og løsningen i fra forprosjektet kan ikke ta de ønskelige flowområder, og vil i utgangspunktet ikke være noe gunstig valg.

SkoFlo, Rotator og Roxar er alle lette og billige løsninger (se figur 27). Cameron og FMC sin 2" choke ligger litt høyere vekt.

Prisen for FMC sin 2" choke var ikke mulig å oppdrive. FMC choken er ganske nyutviklet og prisen ved større opplager er dermed heller ikke kjent.

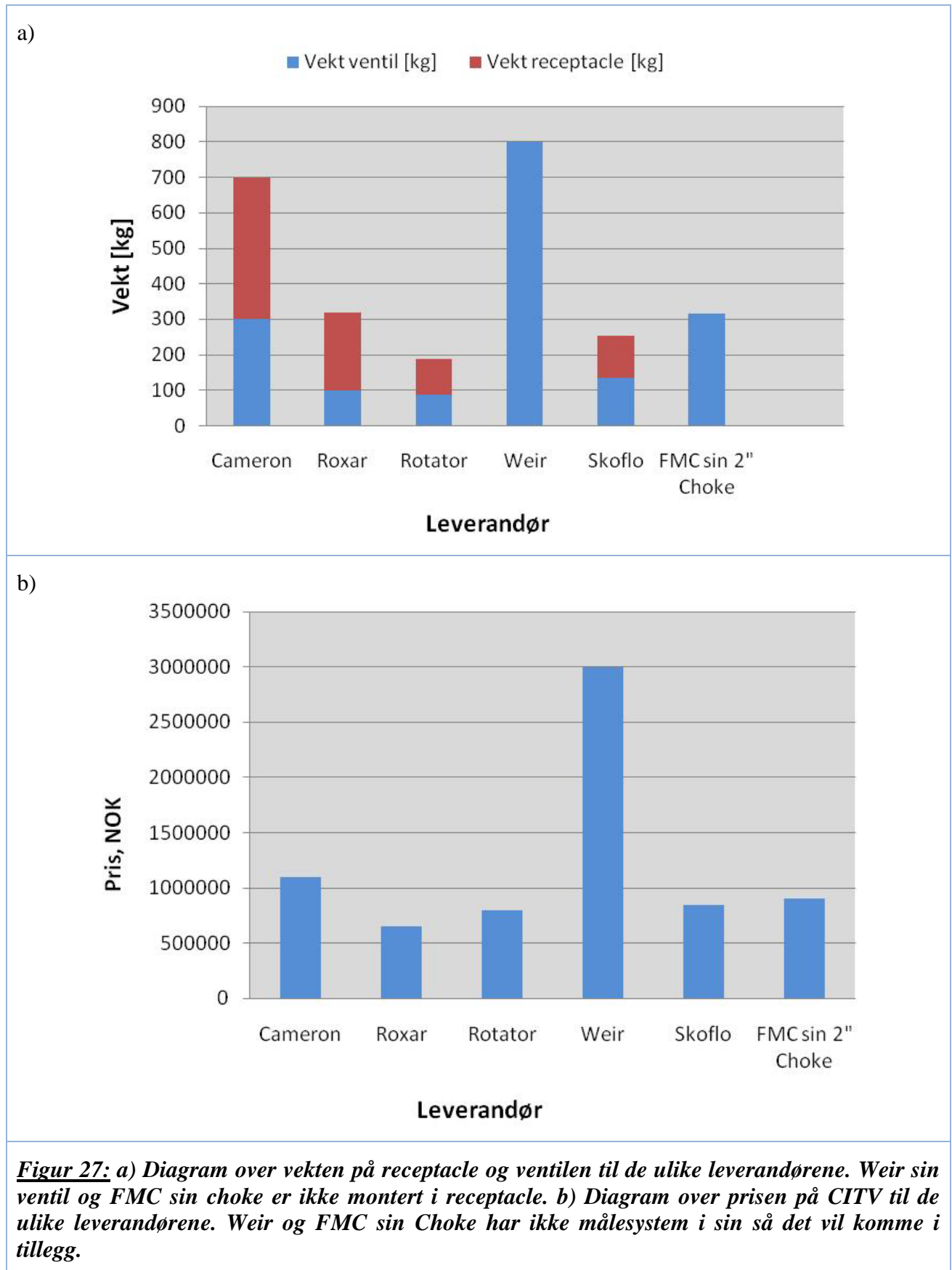
Funksjonelle kravspesifikasjoner

For å kunne vurdere de ulike strupingsmekanismene til ventilene og materialvalgene må det foretas en gjennomgang av de ulike ventilkarakteristikkene og gjøre en vurdering av erosjon motstanden.

Roxar, Rotator og SkoFlo måler trykkfallet over en restriksjon. Om det oppstår erosjon i målområdet kan det gi unøyaktighet i måleresultatene. Cameron har den beste målenøyaktigheten og benytter seg av en ultralyd strømningsmåler. Dette er et bra prinsipp siden målingen ikke blir påvirket av erosjon i ventilen.

For å ha muligheten til raskt å skifte ventilene er det ønskelig at ventilen er ROV trekkbare. Roxar, Rotator og SkoFlo sine high flow CIV er ROV trekkbare, mens Cameron kan trekkes med wier, Weir og choken til FMC ikke kan trekkes med ROV.

Utvikling og dimensjonering av reguleringsventil



4. STRØMNINGSFORHOLD OG EROSJON

På bakgrunn av at Olje- og gasselskapene ønsker å benytte CIV ved lave og høye flower samtidig er det viktig å se de ulike ventilstrupingsprinsippene i forhold til ventilkarakteristikken og erosjon.

4.1. Strømningsteori

Strømning av gass eller væske blir omtalt som turbulent eller laminær. Laminær strømning er når mediet strømmer jevn over tid. I et sirkulært tverrsnitt vil en laminær strøm ha en høyere hastighet i midten som avtar mot kanten. Turbulent strømning kjennetegnes når mediet hele tiden skifter hastighet og strømningsretning over tverrsnittet. Turbulent strømning oppstår når mediet strømmer i høy hastighet, opplever brå endringer i strømningsretning og/ eller tverrsnitts endring.

Det var Reynolds som i 1883 oppdatert at det fantes to typer strømninger, og at denne overgangen skjedde ved en viss kritisk hastighet. Reynolds utviklet et dimensjonsløst tall, som i dag kalles Reynolds tall, som beskriver om en strømning er turbulent eller laminær:

Reynolds tall er gitt ved

$$Re = \frac{rvd_h}{h} = \frac{vd_h}{n} \quad (4.1)$$

Den hydrauliske diameteren er gitt ved

$$d_h = 4 \frac{A}{O} \quad (4.2)$$

Hvor O er den delen av rørets omkrets som har kontakt med væsken. For et fylt sirkulært rør vil den hydrauliske diameteren bli den samme som den ordinære diameteren.

Arealet til en sirkel er:

$$A = \frac{\rho \times d^2}{4} \quad (4.3)$$

Reynolds fant ut av når $Re < 2300$ er strømningen laminær, når $Re > 2300$ er strømningen vanligvis turbulent. I mellom 2000 og 3000 er det en overgang hvor begge strømnings typene kan forekomme.

Laminær strømning gir lavere trykkfall og erosjon enn turbulent strømning. Trykkfall oppstår når tverrsnittet endres og hastigheten dermed øker. Det er derfor umulig å unngå trykkfall i en reguleringsventil. De ulike ventiltypene håndterer strømningen på forskjellig måte det er derfor viktig å se på hvordan ventilkarakteristikken påvirker strømningsbilde.

For å beskrive flowbilde i et rørsystem og enkle ventiler kan Bernoullis likning benyttes. Bernoullis likning ble utledet under den forutsetningen at energien var bevart, og den uttrykker at energitettheten i væsken er den samme overalt. Dette er selvfølgelig ikke helt reelt, siden det vil være friksjon mot vegg, indre friksjon i væsken og turbulens som gjør at energitettheten i væskeflowen vil avta.

Bernoullis likning uten tapsledd er gitt ved

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (4.4)$$

Bernoullis likning med tapsledd er gitt ved

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \text{tap} \quad (4.5)$$

Ved valg av ulike ventiler er ofte differensialtrykket, tverrsnittsareal og væskens densitet. Bernoullis likning benyttes som oftest sammen med kontinuitetslikningen for å beregne de ukjente elementene som væskens hastigheter.

Kontinuitetslikning for stasjonær strømning er gitt ved

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (4.6)$$

Når væskehastigheten er kjent kan volumstrømmen gjennom tverrsnittet beregnes. Volumstrøm gjennom tverrsnittet er gitt ved

$$Q = Av \quad (4.7)$$

I USA er det ikke vanlig å oppgi maksimal volumstrøm gjennom ventiler og choker ved et gitt trykk der brukes C_v -faktor. C_v -faktor er et dimensjonsløst tall for antall amerikanske gallon (tilsvarende 3,7853 liter) med vann ved 60 F (tilsvarende 16°C) som vil kunne strømme igjennom ventilen i løpet av et minutt når differensialtrykket er 1psi (6894,7 Pa).

C_v er gitt ved

$$C_v = Q \times \sqrt{\frac{SG}{Dp}}$$

Hvor Q er US gallons per min og Dp er i psi og SG er

$$SG = \frac{\rho_{\text{vann}}}{\rho_{\text{væske}}} \quad (4.8)$$

C_v beregnes med SI-enheter

$$C_v = 1331951 \times Q \times \sqrt{\frac{SG}{Dp}} \quad (4.9)$$

Ved å gjøre om formelen 4.9 kan volumstrømmen beregnes hvis C_v er gitt

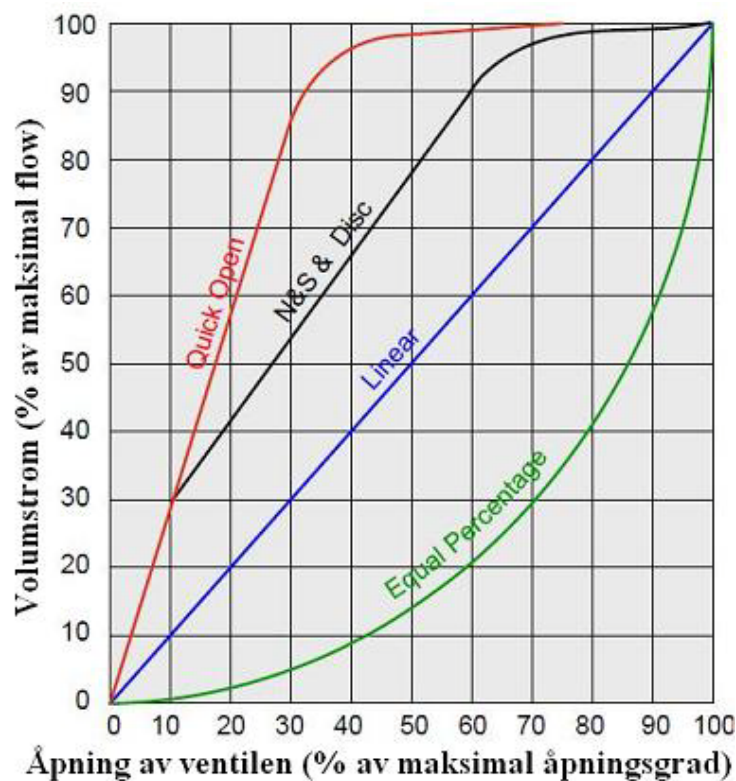
$$Q = \frac{C_v}{1331951 \times \sqrt{\frac{SG}{Dp}}} \quad (4.10)$$

4.2. Ventilkarakteristikk

Definisjonen på en ventilkarakteristikk er sammenhengen mellom hvordan ventilene beveger seg og kapasiteten gjennom ventilen når trykkfallet over ventilen holdes konstant. Ventilkarakteristikken kan fremstilles i et diagram over kapasiteten av volumstrømmen avsettes langs den vertikale aksene og åpningsgraden av ventilen langs den horisontale aksene. Enhetene langs aksene er i prosenter av maksimal kapasitet og maksimal åpning.

Tabell 17: Oversikt over forklaring på ventilkarateristikken for til de ulike strupingsmekanismene

Ventil-karakteristikker	Bevegelsesmønster	Strupingsmekanismer
Quick Open	Når en Quick Open ventil begynner å åpne med en liten bevegelse fører det til en stor strømning. Når ventilen er 35 % åpen strømmer 90 % av maksimal flow igjennom.	Seteventil Bur og Plugg
N&S & Disc	Når N&S & Disc ventilen begynner og åpnes med en liten bevegelse fører det til en stor strømning. Strømningen mengden vil etterhvert som ventilen åpnes mer og mer øke saktere. Når ventilen er 60 % åpen strømmer 90 % av maksimal flow igjennom.	Disk/ M.O.V.
Linear	Når en Linear/ Lineær ventil justeres øker strømningen tilnærmede med justeringen i ventilen. Når ventilen er 90 % åpen strømmer 90 % av maksimal flow igjennom.	Bur og Plugg
Equal Percentage	Når en Equal Percentage (like prosentlign/ logaritmisk) ventil begynner å åpne gir det en liten strømning i starten. Denne strømningen øker etterhvert som ventilen åpnes mer og mer. Tilsvarende åpning i som i starten gir på slutten en stor gjennomstrømning. Når ventilen er 58 % åpen strømmer 90 % av maksimal flow igjennom.	Bur og Plugg



Figur 28: Ventilkarakteristikker for ulike ventiler [11].

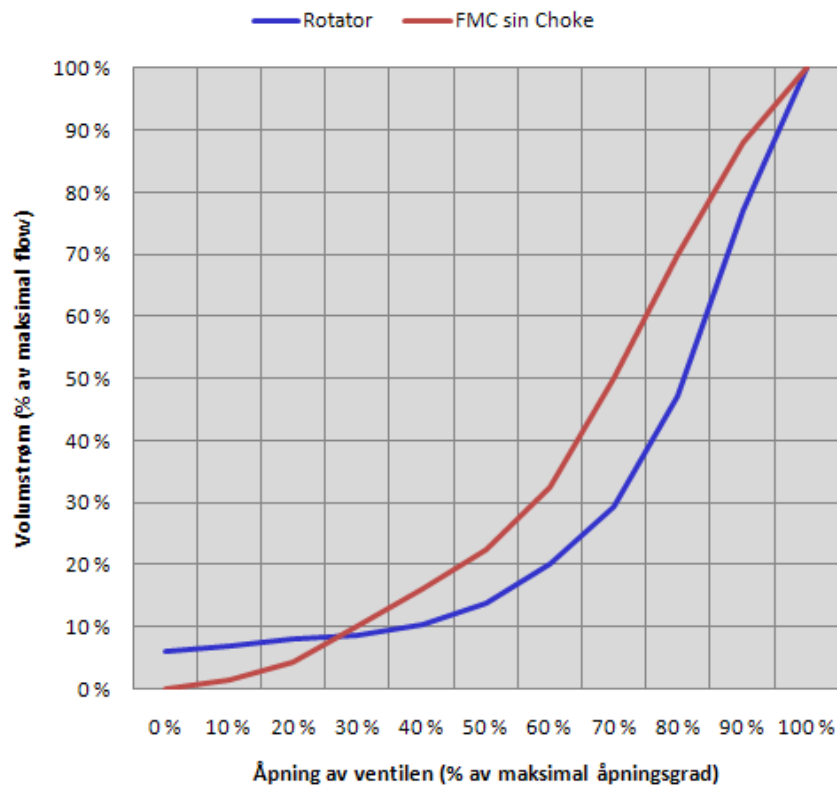
Utvikling og dimensjonering av reguleringsventil



Figur 29: Bur og plugg kan ha forskjellige ventilkarakteristikker avhenge av buret [30]:

- Bur og plugg med ventilkarakteristikk Quick open. En liten bevegelse i starten gir stor strømning.*
- Bur og plugg med ventilkarakteristikk lineær. Økt bevegelse er tilnærmede lik økning av gjennomstrømningen.*
- Bur og plugg med ventilkarakteristikk lineær. En bevegelse i starten gir en liten økning i gjennomstrømningen. Når en tilsvarende bevegelse skjer mot fullt åpen ventil gir det en stor økning i gjennomstrømningen.*

Rotator og Roxar leverer ventiler med et skruerprinsipp. Strømningskarakteristikken for disse ventilene ligger nære Equal Percentage, men har litt mindre stigning i begynnelsen. FMC sin choke strupes som tidligere nevnt etter bur og plugg prinsippet. Strømningskarakteristikken for FMC sin choke ligger også nære Equal Percentage ventilkarakteristikken.



Figur 30: Strømningskarakteristikken for Rotator og Roxar skruerprinsipp og FMC sin Choke ligger nære Equal Percentage [29], [31].

4.3. Erosjonsteori

Partikler i væsken som blir injisert i brønnstrømmen kan påføre CIV erosjonsskader hvis disse partiklene treffer ventil overflaten i stor hastighet. Partiklene vil normalt ha høyere egenvekt enn væsken de strømmer i. De vil derfor bli konsentrert i ytterkanten ved retningsendring eller stor tykkreduksjonsendring [9].

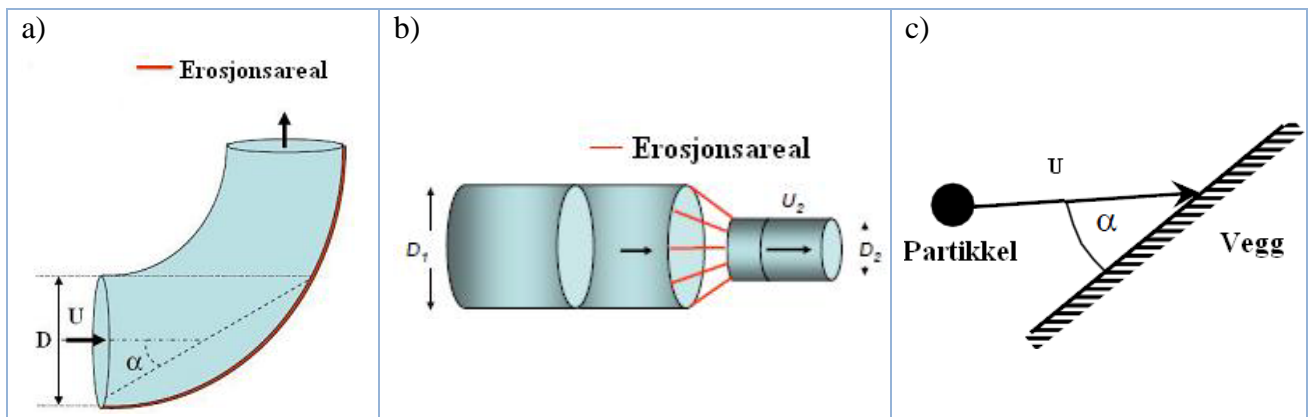
Erosjonsinnvirkningen på vegger er gitt ved

$$\dot{E} \sim \dot{m}_p \times K \times U_p^n \times F(\alpha) \quad (4.11)$$

Formelen avhenger av α , ~~stt~~ vinkelen mellom partikkelen og veggen, U_p , partikkel hastigheten mot veggen, materialet i veggen og masse mengden av partikler.

Masse mengden av partikler blir beregnet etter formelen:

$$\dot{m}_p = \dot{M}_m \times ppmW \times 10^{-6} \quad (4.12)$$



Figur 31: a) Erosjonsinnvirkning på et buet rør [9]. b) Erosjonsinnvirkningen på en rør med dyse [9]. c) Parameter som karakteriserer erosjon innvirkningen på en overflate, se formel 4.11

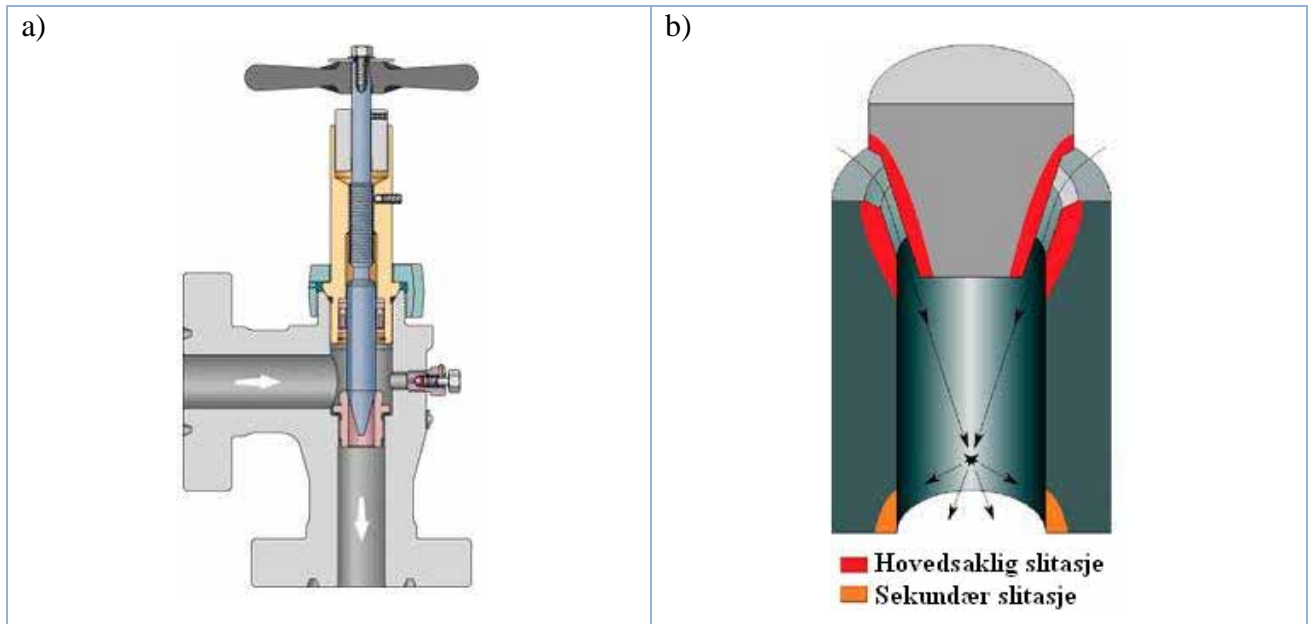
4.4. Erosjon i ventilprinsippene

I denne delen blir det tatt for seg hvor de ulike ventilprinsippene (seteventil med nål, M.O. V og bur med plugg prinsippene) er mest utsatt for erosjon og hvordan væsken vil strømme igjennom ventilen.

4.4.1. Seteventil

Ventil med nål mot et sete har når væska strømmer fra oversiden av pluggen og ned, en hastighetsøkning mellom sete og nåla. Retningsendringen som skjer fører til at ventilen er utsatt for erosjon i området mellom sete og nåla. Sekundært vil det oppstå erosjon i et område som under strømmingen vil treffe litt under nåla.

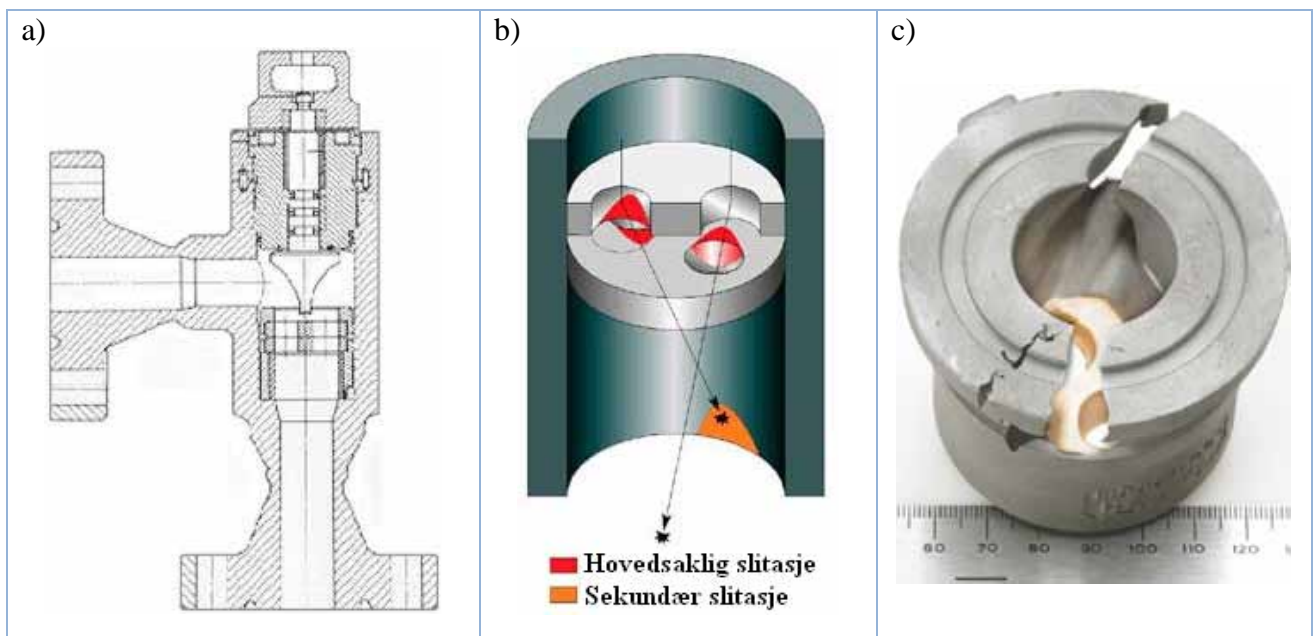
Seteventil med strømming fra undersiden av pluggen gir en mer fordelt strømming i område med stor hastighet og retningsendring. Dette vil føre til at erosjonen fordeles på et større område, men den totale erosjonen vil være like stor.



Figur 32: a) Setaventil med strømning fra oversiden av pluggen [11]. b) Oversikt over hvor retningsendringene gjennom nål og sete ventilen er, og der nåla og setet er rødt er ventilen mest utsatt for erosjon [11].

4.4.2. M.O.V./ Disk

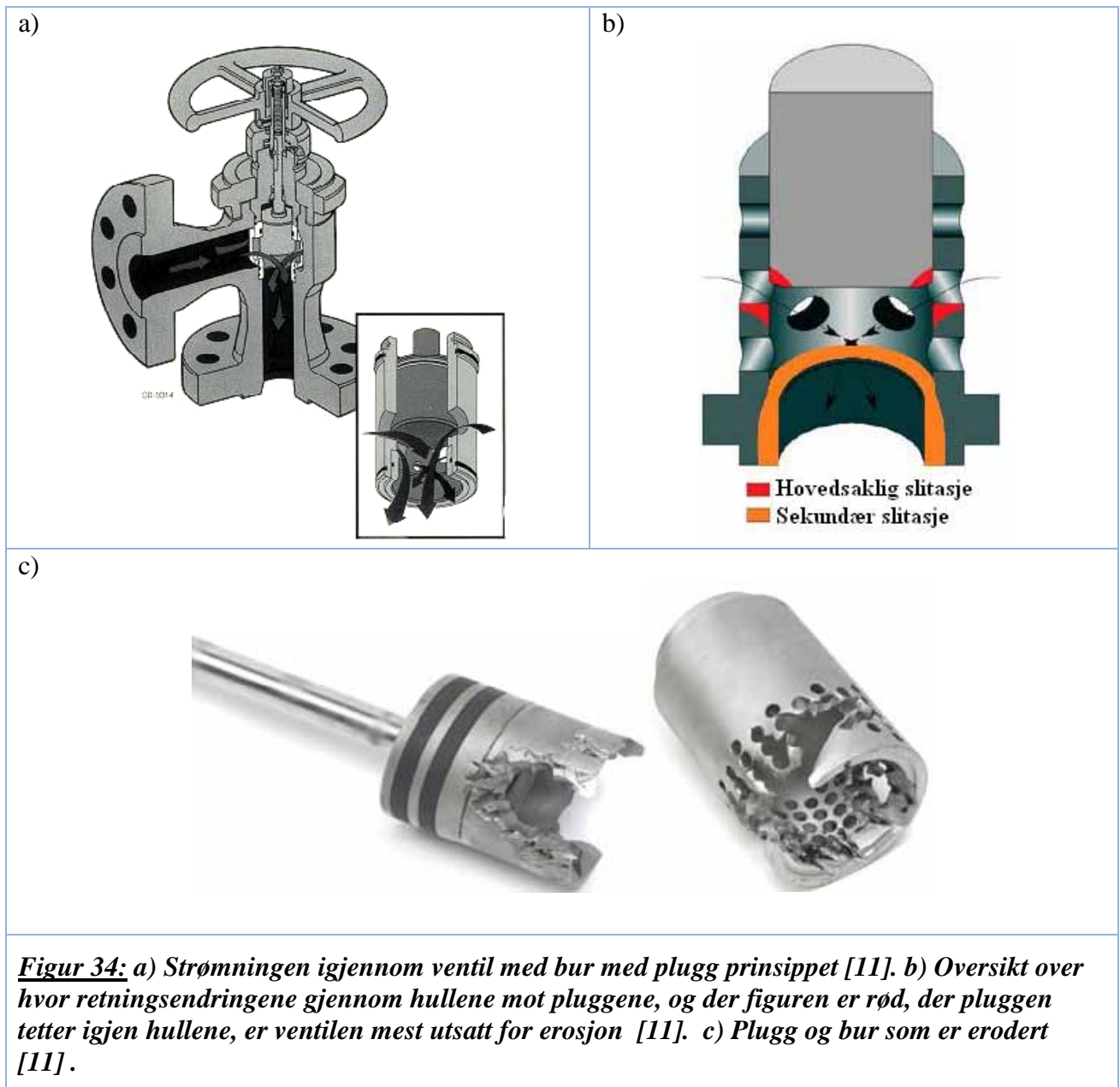
I M.O.V. prinsippet får strømningene en hastighetsøkning mellom hullene i skivene. Hastigheten i strupingshullene blir høyere når ventilen strupes. Dette fører til større retningsendring og erosjon i skivene. Sekundær erosjon vil oppstå på veggen nedenfor skivene.



Figur 33: a) Ventil med M.V.O. hvor væskestrømning vil være fra oversiden [11]. b) Oversikt over hvor retningsendringene gjennom skiven. Der skivene er rødt er ventilen mest utsatt for erosjon [11]. c) En M.O.V. ventil sett under i fra som har blitt erodert langs veggen [11].

4.4.3. Bur med plugg

Strupingen av strømmingen gjennom en ventil med bur og plugg foregår ved at pluggen tetter igjen hullene i buret. I overgangen mellom hullene i buret og pluggen skjer det en retningsendring og hastighets økning. Kanten på enden av pluggen og de hullene som pluggen delvis dekker vil derfor være utsatt for erosjon. Sekundært vil det kunne oppstå erosjon overgangen som oppstår mellom røret ut fra strupingsområdet og pluggen da ventilen strupes igjen.



4.5. Sammenligning og drøfting rundt erosjonsproblemet de ulike ventilprinsippene

SkoFlo er den eneste av de alt eksisterende løsningene som struper flowen med nål og seteprinsippet, men de benytter seg av struping over flere trinn som muligens er en god løsning. SkoFlo har aldri gjort noen fysiske erosjonstester eller simulerte erosjons analyser.

Ut i fra fysiske tester Rotator og Roxar har gjort på sine ventiler ser det ut som at skrueprinsippet fordeler erosjonen over et større område, og dermed gir lavere erosjon på enkelt områder. De fleste erosjonstestene lar seg dessverre ikke sammenlignes med hverandre eller andre tester siden de ikke er utført etter samme prosedyre.

Roxar har foreløpig gjort den erosjonstesten som er best kontrollert og hadde best kontroll over mengde forurensning som er kjørt igjennom ventilen. Ut i fra denne testen kan en konkludere med at selv om det oppstår erosjon i skruprinsipp ventiler vil de fortsatt kunne strupe flowen, men de kan slite med at skruen kjører seg fast når væsken er veldig forurenset.

Cameron har på lik linje med SkoFlo aldri gjort noen fysisk erosjons test av sin ventil, men M.O.V. prinsippet er blitt brukt på choker i lengre tid. Det har vist seg at ved lav struping vil det oppstå erosjon mellom skivene og skjæres hull i veggen under for strupingsområdet. Dette kan skyldes strømningskarakteristikken for M.O.V. prinsippet som gir en høy flow på en liten åpning.

Strupingsprinsippet bur med plugg har hatt en del erosjon i seg. FMC sin 5" Choke har gjort en del erosjonsanalyser og prøvd å redusere erosjonen med å plassere hullene i buret på bestemte plasser. Dette ser ut som har gitt gode resultater.

Konklusjonen på konseptdrøftingen er at de eksisterende ventilprinsippene er så ulike at det er vanskelig å si hvilket prinsipp som er det beste med tanke på erosjon.

4.6. Erosjonsbestandige material og materialinndata og -hensyn ved CFD simulering

I dette avsnittet blir det tatt for seg hvilke materialer som tåler erosjon best ved ulike design. Informasjonen som blir brukt er en rapport fra en eksperimentell studie som DNV utførte i 1995 og erosjonstest og erosjonsanalyse FMC har fått utført i forbindelse med utvikling av sin egen choke.

DNV utførte i 1995 en eksperimentell studie. Hensikten var å fastslå en empirisk modell likning og erosjonsmotstanden for 25 ulike materialer når det er strømming med sandpartikkel effekt.

De 25 ulike materialer som ble testet var 6 standarstål, 3 WC, 7 legerte materialer og 9 keramiske materialer. I tabell 19 er de 25 materialene presentert med densitet og hardhet. De ble testet for erosjonsmotstand mot sandpartikler ved angrepsvinklene, 22,5 og 90° og hastighetene, 45 m/s og 200 m/s.

C-stålet ble brukt som referansemateriale i testen og ble derfor underlagt mer omfattende undersøkelser enn de andre materialene. Det ble blant annet testet ved angreps vinkel 15°, 22,5°, 30°, 45° og 90°.

Utvikling og dimensjonering av reguleringsventil

Basert på C-stål resultatene fra studien, har funksjon $F(\alpha)$ og formel 4.13, blitt fastsatt ved forholdet:

$$F(\alpha) = \sum_{i=1}^8 (-1)^{(i+1)} A_i \frac{\rho \cdot \delta^i}{180 \cdot \delta} \quad (4.13)$$

Hvor A_i er gitt i tabell 18:

Tabell 18: Konstanter som blir brukt i formel 4.13

A_i	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
Konstant	9,370	42,295	110,864	175,804	170,137	98,298	31,211	4,170

Siden alle de andre materialene kun er blitt testet med angrepsvinkel på 22,5 og 90°, er ikke $F(\alpha)$ mulig å beskrive tilfredsstillende for andre materialer enn C-stål, men i vedlegg 6 er diagrammet med REF som vertikalakse og materialene som horisontalaksen, som viser typisk oppførsel av F-kurven med alle 25 materialene.

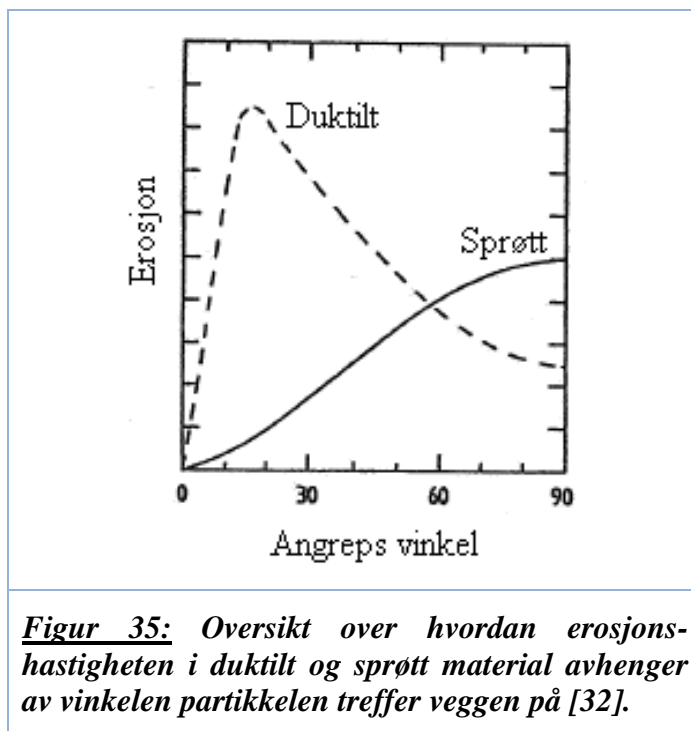
Basert på erosjons motstanden de ulike materialene (gitt i tabell 20), har REF blitt definert som

$$REF = \frac{Vekttap_{material}}{Vekttap_{C-stål}} \quad (4.14)$$

For sprø materialer viser det seg at avhengigheten for angrepsvinkelen er tilnærmet lineær i oppførsel. Ved å bruke dette som en grov antagelse har modell koeffisientene K og n blitt utviklet.

Sammenligning med analysen og laboratorieforsøk kan det konkluderes med at dagens modelleringsteknikk ved CFD analyse kan forutsi erosjon mengde og plassering, og dermed brukes til design formål.

Sprøe materialer vil egne seg i designet der angrepsvinkelen er mindre enn 55 mens duktile materialer bør brukes i design-områder hvor angrepsvinkelen treffer med en vinkel mellom 55° og 90°. Se figur 35.



Figur 35: Oversikt over hvordan erosjonshastigheten i duktilt og sprøtt material avhenger av vinkelen partikkelen treffer veggen på [32].

De materialene som DNV fant ut at var mest erosjons resistente var de tre WC materialene og de to keramiske materialene Si_3N_4 og B_4C

Utvikling og dimensjonering av reguleringsventil

Tabell 19: Densitet og hardhet for materialer [32].

Material	Densitet [kg/m ³]	Hardhet [HV]	Material	Densitet [kg/m ³]	Hardhet [HV]
C-stål	7800	240	WC, DC-05	15200	1800
316L-stål	8000	300	WC, CS-10	14800	1750
Rustfritt duplexstål	7850	350	WC, CR-37	14600	1350
SMO	8000	330	95 Al ₂ O ₃	3700	1960
Stellite 6	8400	400	99,5 Al ₂ O ₃	3700	1960
Bor Stellite 6	8400	1500	PSZ	5700	1120
Elektrokjemisk nikkel, Ni-250	8850	250	Zr95O ₂ -Y ₃	6070	1330
Elektrokjemisk nikkel, Ni-500	8850	500	SiC	3100	2100
Varmestøpt WC-60 % Ni	12000	800	Si ₃ N ₄	3200	2000
Varmestøpt WC-40 % Ni	12000	700	TiB ₂	4520	2400
Skuddsikker WC, tyn lag	13500	1200	B ₄ C	2500	2600
Kobolt-basert dekkmiddel	7600	600	SiSiC	3100	2400
Degun WC, 0,25 mm tykk	15000	-	-	-	-

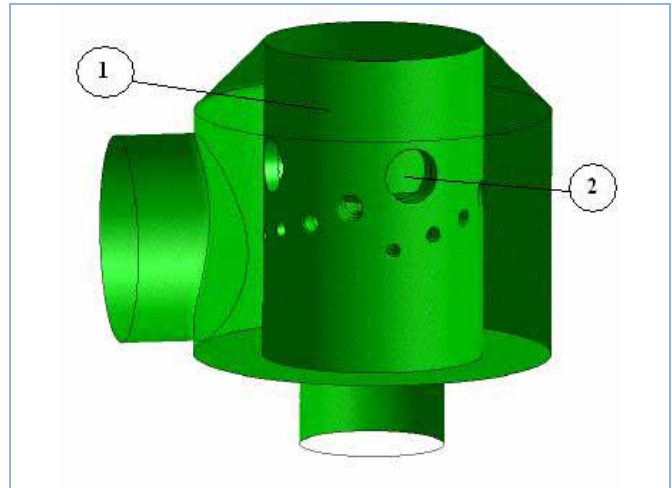
Tabell 20: Erosjonsmotstands faktorer til materialene [32].

Material	K x 10 ⁹	n	Vekttap [mg per kg sand] som funksjon av partikkel strømhastighet og angrepsvinkel			
			45 m/s, 90°	45 m/s, 22,5°	200 m/s, 90°	200 m/s, 22,5°
C-stål	2,0	2,6	14	23	1085	1700
316L-stål	2,0	2,6	16	20	1770	1845
Rustfritt duplexstål	2,0	2,6	13	23	1400	1825
SMO	2,0	2,6	12	20	2170	1690
Stellite 6	2,0	2,6	17	13	1870	1030
Bor Stellite 6	2,0	2,6	1,7	1,7	860	265
Elektrokjemisk nikkel, Ni-250	-	-	15	27	1070	1930
Elektrokjemisk nikkel, Ni-500	-	-	17	22	1460	1460
Varmestøpt WC-60 % Ni	0,052	3,4	27	13	4670	1145
Varmestøpt WC-40 % Ni	0,012	3,2	32	17	4070	1470
Skuddsikker WC, tyn lag	0,53	3,2	70	33	13000	2700
Kobolt-basert dekkmiddel	0,53	3,1	16	50	7100	4200
Degun WC, 0,25 mm tykk	0,61	2,7	108	4	860	265
WC, DC-05	0,11	2,3	0,7	0,58	22	11
WC, CS-10	0,32	2,2	1,6	1,0	45	17
WC, CR-37	0,088	2,5	1,2	0,83	50	17
95 Al ₂ O ₃	68	2,0	130	20	2500	700
99,5 Al ₂ O ₃	950	1,2	100	25	620	360
PSZ	4,1	2,5	48	6	1880	360
Zr95O ₂ -Y ₃	0,04	2,7	1,2	0,8	68	30
SiC	6,5	1,9	8,9	1,5	150	22
Si ₃ N ₄	0,2	2,0	0,37	0,17	7	1,1
TiB ₂	9,3	1,9	15	2,4	270	48
B ₄ C	30	0,9	0,97	0,37	3,7	2,0
SiSiC	0,072	2,7	2,5	0,5	150	27

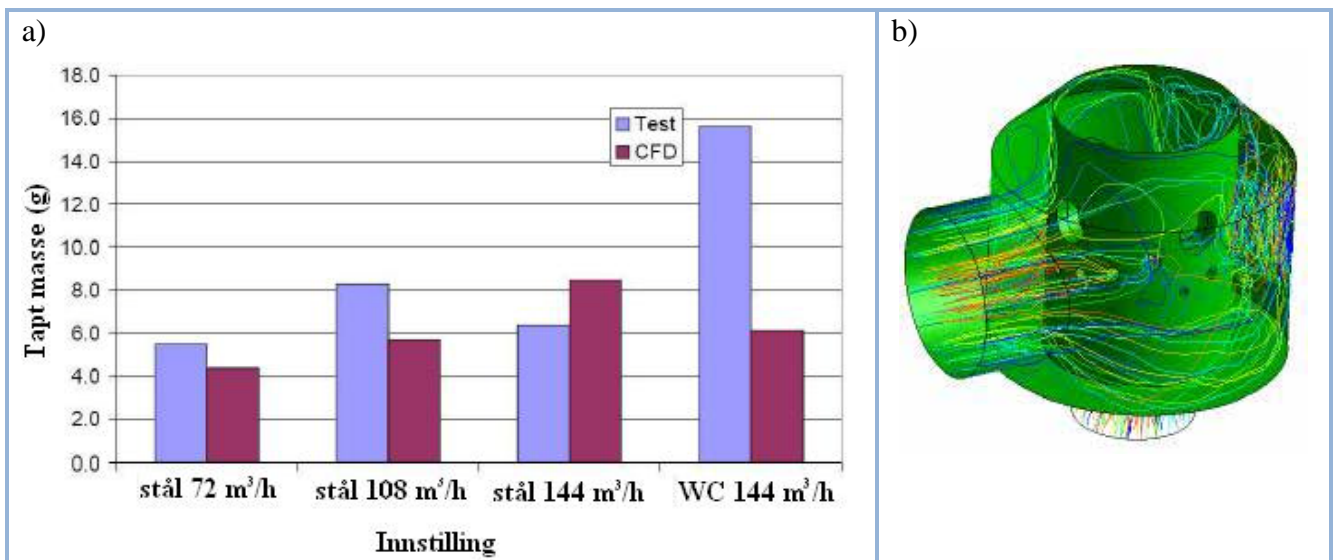
I forbindelse med at FMC utviklet sin egen choke ble det gjort en del erosjonstester og CFD simuleringer av buret og pluggen til 5" choken. Siden modellene hadde samme innstillinger kan disse resultatene sammenlignet.

Diagrammene på neste siden viser tydelig at CFD simuleringen ser lavere erosjon når angrepsvinkelen på duktilt material er høyere enn 55° og for sprøtt material er lavere enn 55° .

Det velges ikke å gå videre med teorien på at stål er bedre egnet enn WC som ytterbur til choken på bakgrunn av at denne infoen ikke kan bekreftes av noen andre, og at testen kun er kjørt en gang.

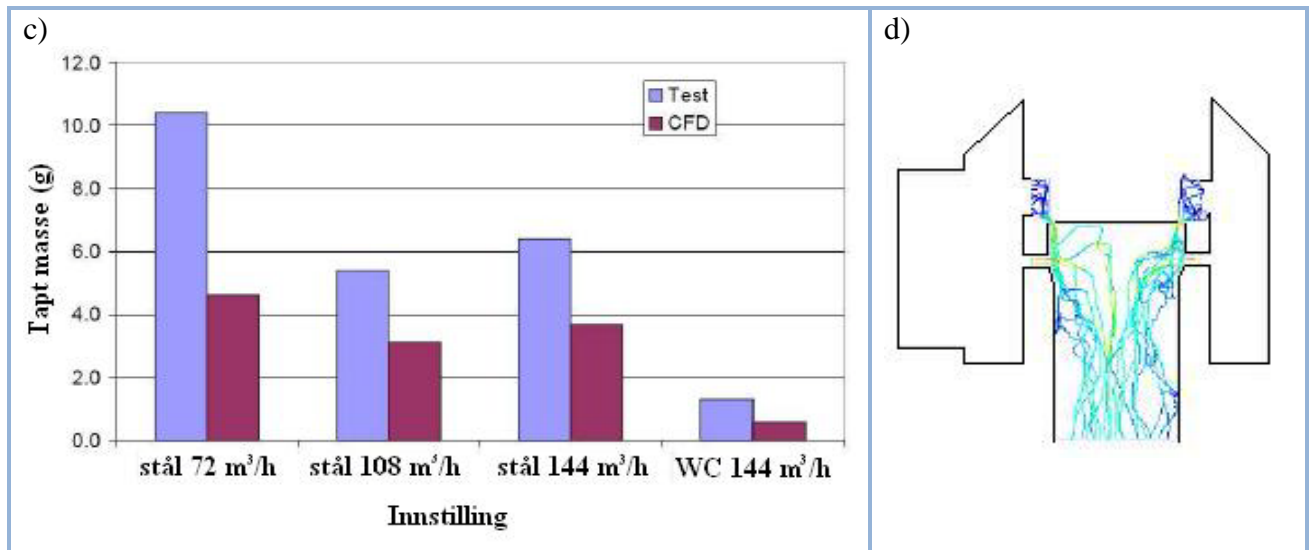


Figur 36: Modellen av FMC sin choke som CFD simuleringen ble kjørt på. Modellen inneholder et bur (1) og en plugg (2) [33].



Figur 37: Resultater etter erosjonstester og simuleringer av buret til FMC sin 5" choke [34]:

- Sammenligning av tapt masse på buret i FMC sin 5" choke ved erosjonstest og CFX analyse. Angrepsvinkelen treffer buret med en vinkel som stort sett er større en 55° . Det fører til et avvik mellom resultatene i den erosjonstesten og CFD analysen på det duktile materialet, WC.
- Væskeflowen treffer rett på buret og har dermed en høy angrepsvinkel.



Figur 38: Resultater etter erosjonstester og simuleringer av pluggen til FMC sin 5" choke [34]:

- Sammenligning av tapt masse på pluggen i FMC sin 5" choke ved erosjonstest og CFX analyse. Angrepsvinkelen treffer buret med en vinkel som er lavere enn 55°. Det fører til et avvik mellom resultatene i den erosjonstesten og CFD analysen på det duktile materialet, WC.
- Væskeflowen strømmer mellom pluggen og buret, og treffer dermed pluggen med en lav angrepsvinkel.

4.7. Partikkelforurensning

Som tidligere nevnt i oppgaven tilsettes ulike kjemikaler for å forhindre problemer i produksjon rør og tilhørende produksjonsutstyr. Lean MEG (90 % MEG og 10 % vann) blir i gassproduksjon injisert i store mengder. Dette gjør at det er injisering av denne væska det er størst interesse rundt.

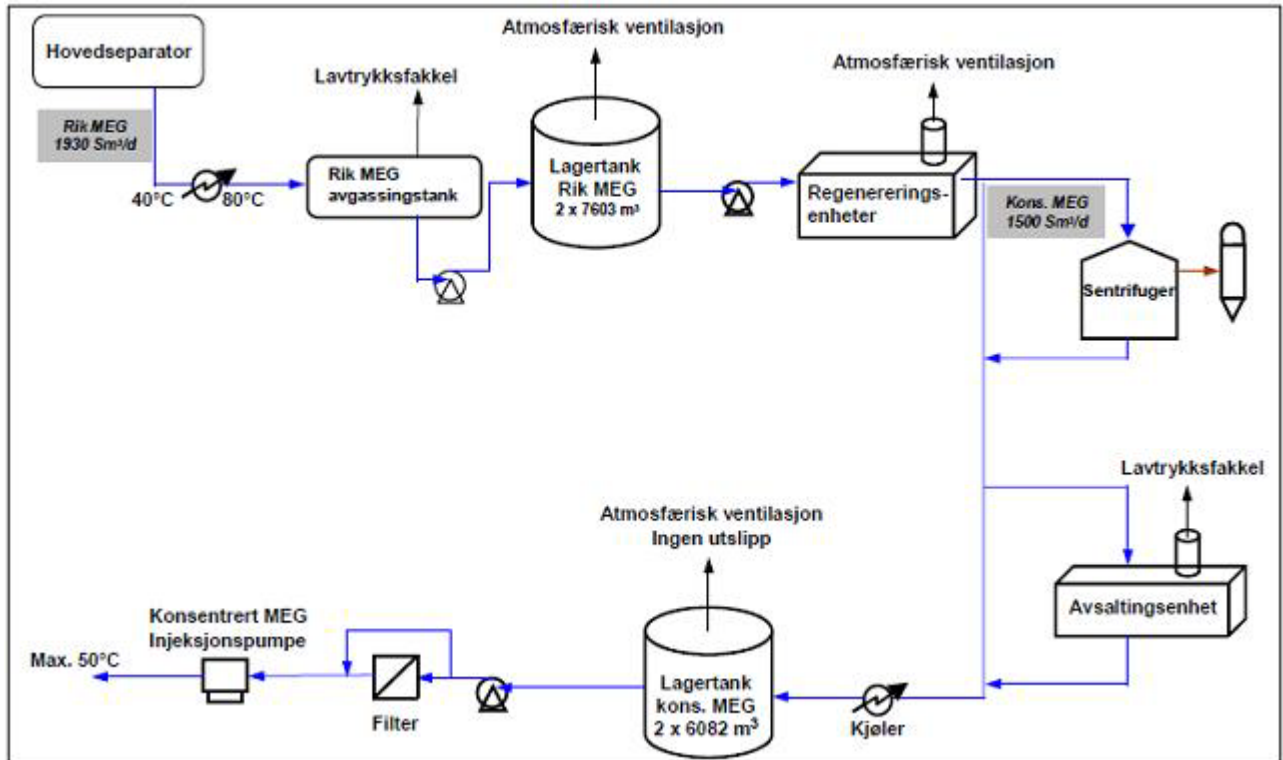
Lean MEG som injiseres inn i brønnstrømmen er regenerert MEG. Hvordan MEGen blir regenerert har lenge vært vanskelig og få vite fra olje- og gasselskapene. Dette har ført til at det har vært stor usikkerhet rundt spørsmålene om hva slags type partikkelforurensningen i væska og dermed erosjon omfanget.

Regenereringen på Ormen Lange

Regenereringen på Ormen Lange foregår ved at rik MEG fra brønnstrømmen blir kjørt igjennom avgassingstank for rik MEG, lagertanker for rik MEG, regeneringsenhet, sentrifuger, avsaltingsenhet, før den blir transportert til lagertanker for lean MEG [35]. Se figur 39.

Partikler som sand blir fjernet med sentrifuger og bunnfelling av partikler i lagertankene for rik og lean MEG. MEGen vil ha en oppholdstid der på to dager. I tillegg er det installert filtre i systemet for å beskytte prosessutstyret [35].

Selv om MEGen blir sentrifuger og filtrert, er det umulig å få fjernet alle den erosive sanden og lean MEGen vil inneholde forurensning.



Figur 39: MEG gjenvinningsanlegget på Ormen Lange [35].

Partikkel mengde

Olje- og gasselskapene ønsker at alle CIV skal klare en forurensning etter klasse 12B-F. Etter tabell 1 i SAE AS4059 Rev. E, vedlegg 7, vil det i klasse 12B-F være 1024000 partikler i størrelse klasse 6-14 μm , 182400 partikler i størrelse klasse 14-21 μm , 32400 partikler i størrelse klasse 21-38 μm , 5760 partikler i størrelse klasse 38-70 μm og 1024 partikler i størrelse klasse over 70 μm , i per 100 ml væske.

Tabell 21: Partikkels størrelses fordeling i klasse 12B-F, utdrag fra vedlegg 7.

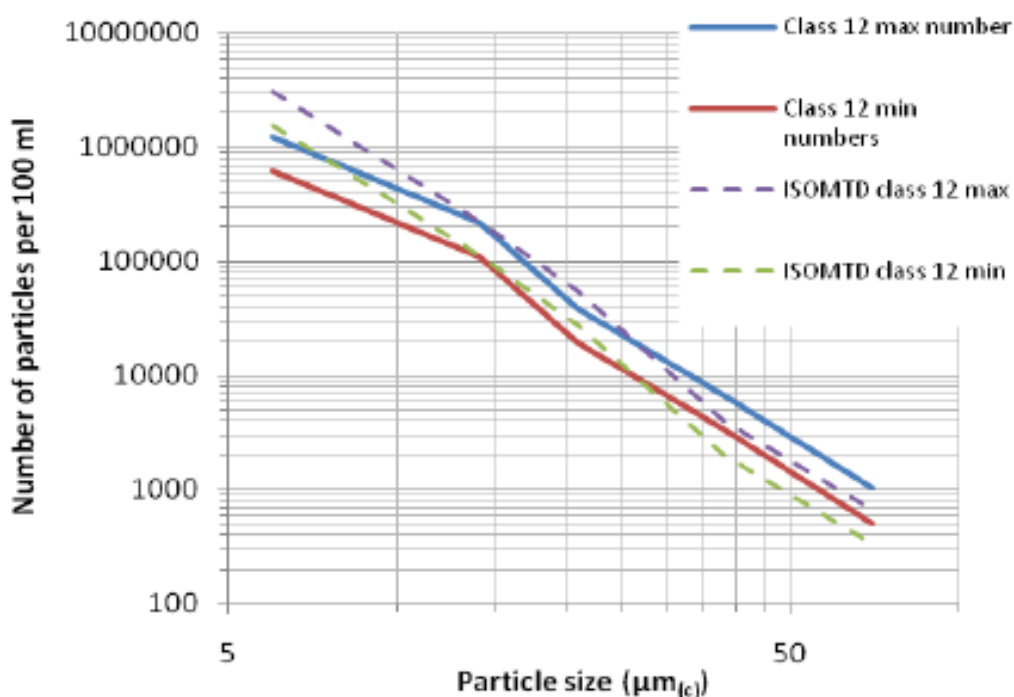
Størrelse intervall	6-14 μm	14-21 μm	21-38 μm	38-70 μm	>70 μm
Størrelse kode	B	C	D	E	F
Klasse 12	1024000	182400	32400	5760	1024

Ut i fra SAE AS4059 Rev. E, NISTs SRM 2806 datert 10/12-97 og Svein Lilleland sin spesifikaasjon på testing av hydraulikutstyr subsea, Doc No: SPC60065579 kan det beregnes en partikkelstørrelse i de ulike størrelses intervallene, hvor stor andel masse (mass fraction) og hvor stor andel partikler (number fraction) der er med de ulike partiklene.

Svein Lilleland har i sin spesifikaasjon på testing av hydraulikutstyr subsea, sammenlignet testdust ISO MTD i klasse 12C. Ut i fra diagrammet, figur 40 og tabell 22 kan en lese at AS4059 12C og ISO MTD 12C har tilnærmede lik partikler mengde ved 14 μm . Denne informasjonen kan benyttes for å beregne ut hvor mange milligram partikler det er pr. 1 L væske.

Tabell 22: Klasse 12C og testdust ISO MTD tilnærmede like ved partikkel størrelse 14µm. Testdustet veier 36,4 mg/L [36].

Description \ size µm(c)	Number of particles/100 ml > size:					Mg/liter
	>6	>14	>21	>38	>70	
AS 4059 class 12C min	633793	110793	19593	3393	513	n/a
AS 4059 class 12C max	1245584	221584	39184	6784	1024	n/a
ISO MTD 12C min	1557392	110806	27572	2016	337	18.2
ISO MTD 12C max	3114783	221611	55143	4032	674	36.4
Concentration "X" required to achieve AS4059 class 12C based on ISOMTD						36.4



Figur 40: Diagram som viser at klasse 12C og testdust ISO MTD har like stor partikler mengde ved partikkelstørrelse 14µm [36].

NIST's SRM 2806 datert 10/12-97 , vedlegg 8 viser oversikten over tettheten med testdust per mg/L. Tabellen viser at ved partikkelstørrelse 14 µm er konsentrasjonen på 60,86 mg/L ved 1 mL, som gir en konsentrasjon på 6086 mg/L ved 100 mL. 6086 mg/L tilsvarer 221584 partikler etter AS4059 klasse 12 C.

Det gir for følgene forurensning pr. liter.:

$$M = \frac{211584}{6086} = \underline{\underline{36,4 \text{ mg} / \text{L}}}$$

Med andre ord vil det si at det skal være 36,4 mg/L med forurensning i 1 L med forurenset væske i forurensningsklasse 12B-F.

5. EROSJONSANALYSE

For å kunne sammenligne erosjonsmotstanden i de ulike CIV løsningene har det blitt gjort CFD analyse på high flow ventilmodeller som FMC har fått tilgang til. De ventilmodellene det er snakk om er high flow ventiler fra Roxar, Rotator, Cameron dråpeformet variabelstruping og hullformet variabelstruping, og FMC sin 2" Choke.

Erosjonssimuleringene blir analysert av CFD. Erosjonssimuleringene av high flow ventiler fra Roxar, Rotator, Cameron dråpeformet variabelstruping og hullformet variabelstruping, er utført i samarbeid med Eirik Martin Stuland, som jobber på FMC sin avdeling i Asker, Flow Assurance Competence Center.

CFD er en numerisk strømningsmekanikk som bruker Navier-Stokes-likningene for å beskrive fluidbevegelser i en generell tredimensjonal geometri. Standarden k- ϵ -modell av turbulens brukes til å lukke likningen, og dermed oppnås de lokale flytegenskapene i igjennom modellen.

Sandpartiklene blir deretter behandlet på Lagranges metode. Lagranges metode foreslår den lokale hastigheten og banen til hvert enkelt partikkel basert på en kraftbalanse, som tar hensyn til virkningene av drag, gravitasjon og masse. På denne måten kan programmet produsere informasjon om sandpartikkelens fart og angrepsvinkel for hvert enkelt partikkel [32].

I del 4.1 blir oppsettingen av CFD analysen presentert med fremgangsmetoden, formler, oppsett og felles inndata til programmet. I del 4.2 blir de spesifikke inndataene til hver enkelt simulering og resultatet presentert.

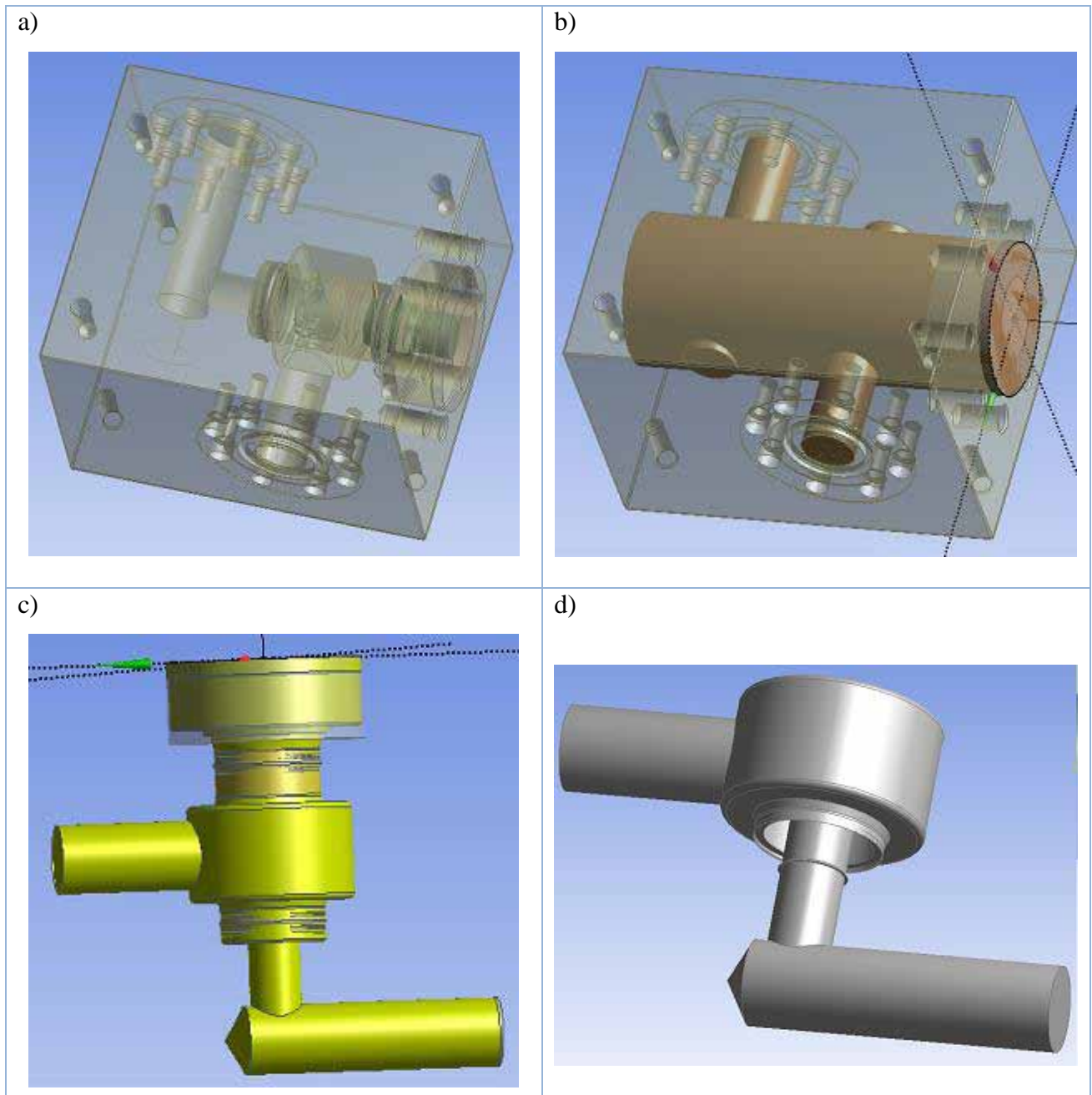
5.1. Oppsetting av CFD analysen

CFD analysen kjøres på det indre væskevolumet inne i ventilene. For å modulere væskevolumet blir det tatt utgangspunkt i 2D ventiltegninger eller 3D modeller av ventiler fra leverandører. Den variable restriksjonen må justeres inn så riktig flow mengde kan strømme igjennom. Til dette arbeidet benyttes Inventor.

ANSYS CFD analysen består av ulike programvarer. For å skape det indre væskevolumet benyttes ANSYS DesignModeler. Det indre væskevolumet blir så meshet opp i ANSYS Mesher. I ANSYS CFX settes analysen opp i CFX-Pre og kjøres i CFX-Solver Manager. Resultatene fra simulering blir bearbeidet i CFD-Post. Mer detaljert informasjon om oppsettingen av CFD analysen er gitt på etterfulgte sider.

ANSYS DesignModeler

Da modellene er justert inn riktig blir alle innganger og utganger lukket. .stp-filen overføres der etter til ANSYS DesignModeler. I ANSYS DesignModeler blir det indre væskevolumet utformet ved at først alt området hvor det indrevæskevolumet inngår blir ekstrudert, før det overflødig volumet og utvendige materialer til ventilen blir klippet bort ved hjelp av funksjonen Boolean i ANSYS DesignModeler.



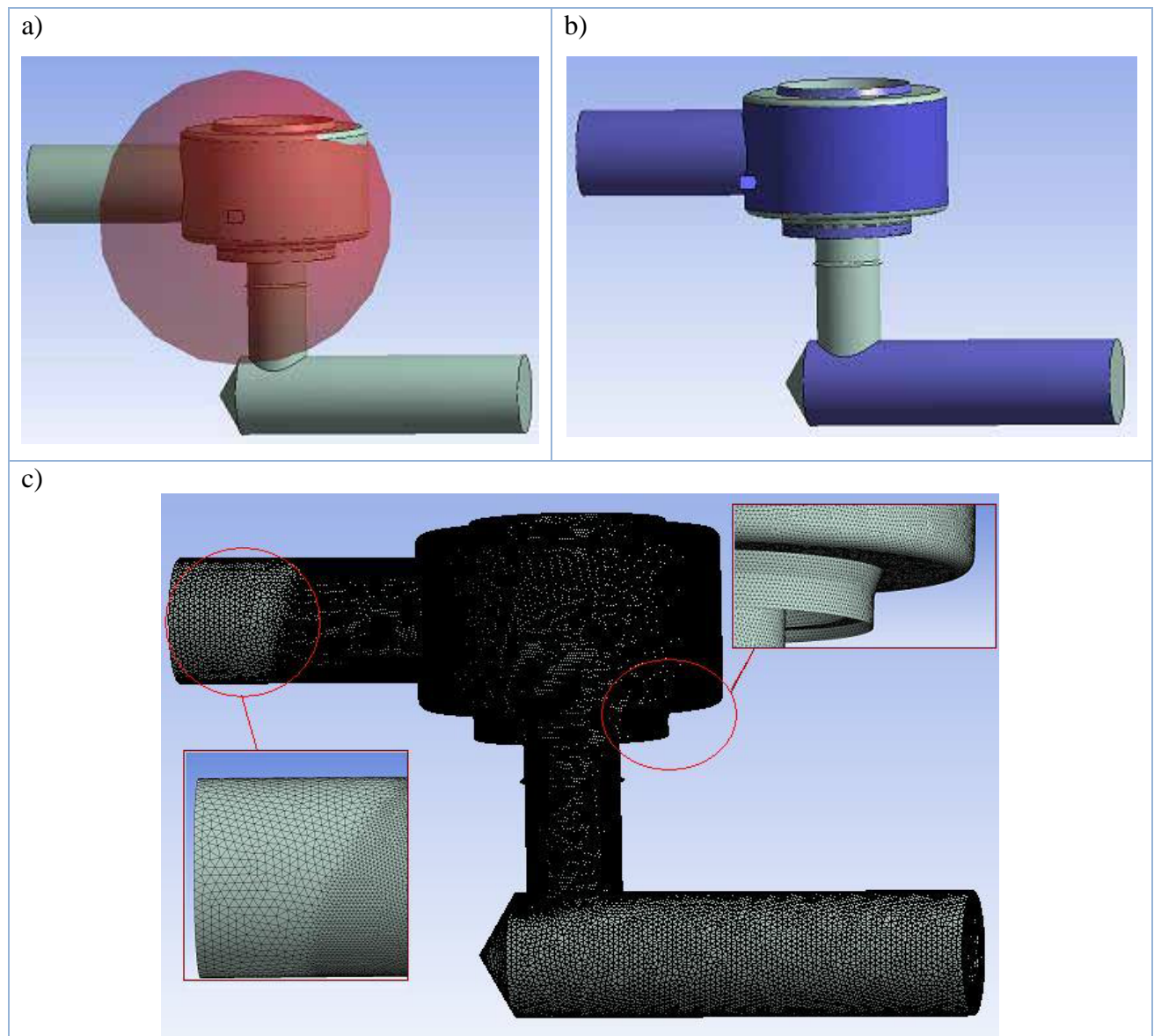
Figur 41: Oversikt over stegene som blir gjort for å modulere indre væskevolum til FMC choken i ANSYS DesignModeler.

- a) Uendret .stp-filen av FMC sin 2" choke som blir overført fra Inventor til ANSYS DesignModeler.
- b) Alt område hvor det indrevæskevolumet i choken inngår har på dette bilde blir ekstrudert.
- c) Det indrevæskevolumet til choken snart ferdig modulert.
- d) Ferdig resultat av det indrevæskevolumet til FMC sin 2" Choke. Denne modellen brukes videre i CFD analysen.

ANSYS Mesher

Modellen av det indrevæskevolumet overføres deretter inn i ANSYS Mesher. Hvor modellen blir meshet opp. Funksjonen Vertex Sizing med fint mesh benyttes i området hvor den variable restriksjonen er og det ellers er stor fare for erosjon. Se figur 42a. Face Sizing med litt grovere mesh benyttes på alle veggflatene på modellen. Se figur 42b.

Det er viktig å merke seg at minste nett skal være største partikkel, som i disse simuleringen er 78 μm , gange med 3-5. Hvis minste nett er mindre kan partikler mistes i simuleringen



Figur 42: I ANSYS Mesher blir det innvendige væskevolumet meshet opp:

- Vertex Sizing funksjonen benyttes for å lage et riktig mesh i områder det er ønskelig å få mye informasjon om.*
- Face Sizing funksjonen benyttes for å lage et riktig mesh bilde på alle veggflatene på det indrevæskevolumet modellen.*
- Endelige meshbilde på indrevæskevolumet. Her er meshbilde bygd opp av 902059 noder og 5061923 elementer.*

ANSYS CFX

Den ferdige mesh modellen blir overført til ANSYS CFX. Det er i denne programvaren at selve CFD analysen blir gjort. Modellen settes opp i CFX-Pre før simuleringen blir kjørt i CFX-Solver Manager og resultatene fra simuleringen blir bearbeidet i CFD-Post.

Simuleringen blir kjørt med en væske med 90 % MEG og 10 % vann hvor den dynamiske viskositeten er 0,048 Pa·s og dP er på 6 MPa. Alle ventilene blir i første omgang kjørt på 2 m³/h for å kunne sammenligne erosjon som oppstår i de ulike typene. Utvalgte ventiler blir siden kjørt på 16 m³/h.

Forurensningen med partikler skal være etter klasse 12B-F med 36,4 mg/L per. liter MEG. Siden partikkelstørrelsene i SAE AS4059 er oppgitt i intervaller, som for eksempel 6-14 µm, og CFX-Pre må ha definerte partikkelstørrelser må partikkelstørrelsene defineres.

For å definere partikkelstørrelsene lages et regneark i Microsoft Excel hvor det er mulig å endre partikkel diameter, og dermed testet ut hvilke partikkelstørrelser innenfor de gitte intervallene som gir riktigs total mengde masse pr. 100 ml.

Det endelige resultatet er gitt i tabell 23. Videre nedover siden er det forklart hvordan de ulike faktorene blir beregnet ut. Densiteten til partiklene er, $r_{testdust} = 2800 \text{ kg/m}^3$.

Tabell 23: Regnearket som er laget for å beregne partikkelstørrelsene, number fraction og mass fraction, hentet ut fra Microsoft Excel.

Classe 12						Mass part. in volum 36,4 mg/l			
Size code	Part./ 100ml	Part. interval	µm	d [m]	Volum pr. part. [m3]	Mass pr. part. [kg]	Mass pr. group [kg/dl]	Number Fraction	Mass Fraction
B	1024000	6-14µm	7	0,000007	1,795E-16	5,0286E-13	5,149E-07	0,82210	0,14104
C	182400	14-21µm	16	0,000016	2,144E-15	6,005E-12	1,095E-06	0,14643	0,30002
D	32400	21-38µm	24	0,000024	7,238E-15	2,0267E-11	6,566E-07	0,02601	0,17986
E	5760	38-70µm	43	0,000043	4,162E-14	1,1656E-10	6,714E-07	0,00462	0,18390
F	1024	>70µm	78	0,000078	2,484E-13	6,9573E-10	7,124E-07	0,00082	0,19514
SUM	1245584						3,650E-06	1	1

Volum pr. partikkel blir beregnet av formelen:

$$V_{partikkel} = \frac{4}{3} \times \pi \times \left(\frac{d_{partikkel}}{2}\right)^3 \quad (5.1)$$

Masse pr. partikkel blir beregnet av formelen:

$$M = V_{partikkel} \times r_{testdust} \quad (5.2)$$

Masse pr. gruppe blir beregnet av formelen:

$$M_{gruppe} = M_{partikkel} \times \text{antall partikler} \quad (5.3)$$

Utvikling og dimensjonering av reguleringsventil

For å finne hvor stor andel partikler (number fraction) der er av de ulike partiklene blir hver partikkel gruppe delt på det totale antallet av partikler pr. 0,1 L. For å beregne andelen masse (mass fraction) der er av de ulike partiklene blir hver partikkel gruppe delt på den totale massen av alle partiklene pr. 0,1 L

I tabell 24 er det gitt andre inndata som er felles for alle simuleringene i CFX-Pre.

Tabell 24: Oversikt over like inndata som brukes i alle CFX-Pre.

Parameter	Settpunkt	Enhet
Væske	MEG/Vann miks (90 % MEG, 10 % vann)	-
Væske densitet	1114,8	kg/m ³
Væske viskositet	0,0236757	Pa·s
Partikkel densitet	2800	kg/m ³
Partikkel konsentrasjon	32,745	ppm
Turbulens modell	Shear Stress Transport	-

En CFD erosjons analyse i ANSYS kan kun gjøres på en type materiell. Siden det område rundt den variable restriksjonen i ventilene antas å være mest utsatt er det dette materiellet analysen blir kjørt på. De ulike K-verdien og densitet for de ulike materialene Cameron, FMC, Roxar og Rotator bruker er oppgitt i tabell 25.

Tabell 25: Oversikt over hvilke materialer som brukes på de ulike High Flow ventilene i CFX analysene. [32]

Leverandør	Material brukt i analysene	K x 10 ⁹	Densitet [kg/m ³]
Cameron M.O.V med to sirkulære hull	WCDC-05	0,11	15250
Cameron M.O.V med dråpeformet hull	WCDC-05	0,11	15250
FMC sin 2" Choke	WCDC-05	0,11	15250
Roxar	ZrO ₂ -Y ₃	0,04	6070
Rotator	Stål	2,0	7800

Da simuleringene er ferdig kjørte brukes CFD-Post til å bearbeide resultatene. Erosjonen blir i CFD-Post oppgitt *Sand.ErosionRateDensity*, kg/m²s.

For å regne om til mm pr. år brukes formelen:

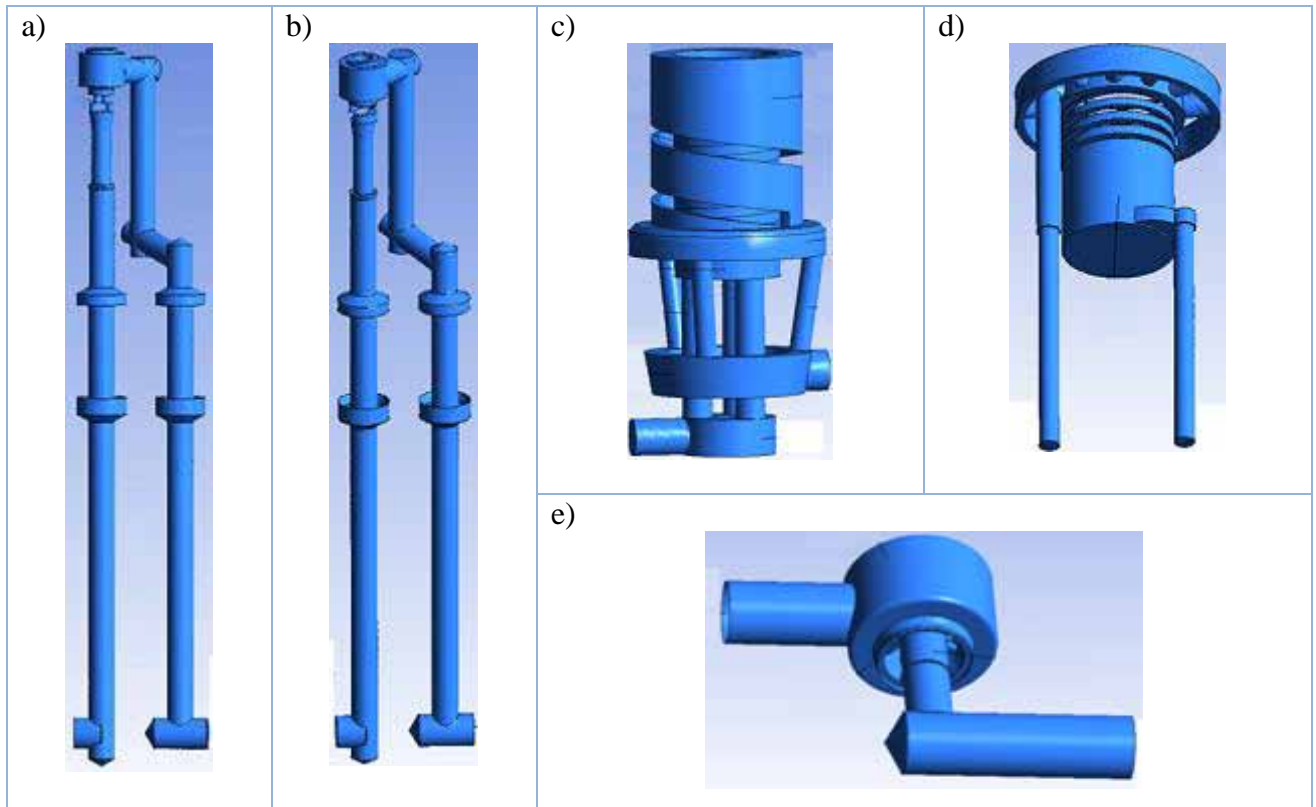
$$Erosjon[mm/årlig] = 1[s/m] \times K \times 3,15576 \times 10^{10} \times Sand.ErosionRateDensity / r_{material} [kg/m^3]$$

Formelen avhenger av de ulike materialene og $3,15576 \times 10^{10}$ er omregning fra m/s til mm/årlig når det regnes med 365,25 dager i året.

5.2. Spesifikke inndata og resultater fra CFD simuleringen

Modellene fra Cameron, Roxar, Rotator og FMC sin 2" Choke blir først kjørt på 2 m³/h for å kunne sammenligne de opp mot hverandre. Cameron sin dråpeformete struping, Roxar, FMC sin 2" Choke blir i tillegg kjørt på 16 m³/h.

Cameron sin ventil blir analysert ved 2 m³/h både med hull skiver og dråpeformet hull skiver. Cameron selv mener selv at ventilen med dråpeformet hull er best erosjonsbestandig, og leverer kun hull skivene til medium flow ventilene sine. Denne teorien ønskes og testes.



Figur 43: Oversikt over modellen som testet for erosjon. Større bilder er presentert seinere i rapporten. a) Cameron High Flow CIMV med hullformet struping. b) Cameron High Flow CIMV med dråpeformet struping. c) Roxar sin High Flow CIV. d) Rotator sin High Flow 1". e) FMC sin 2" Choke.

Oppsette av spesifikk inndata og resultat

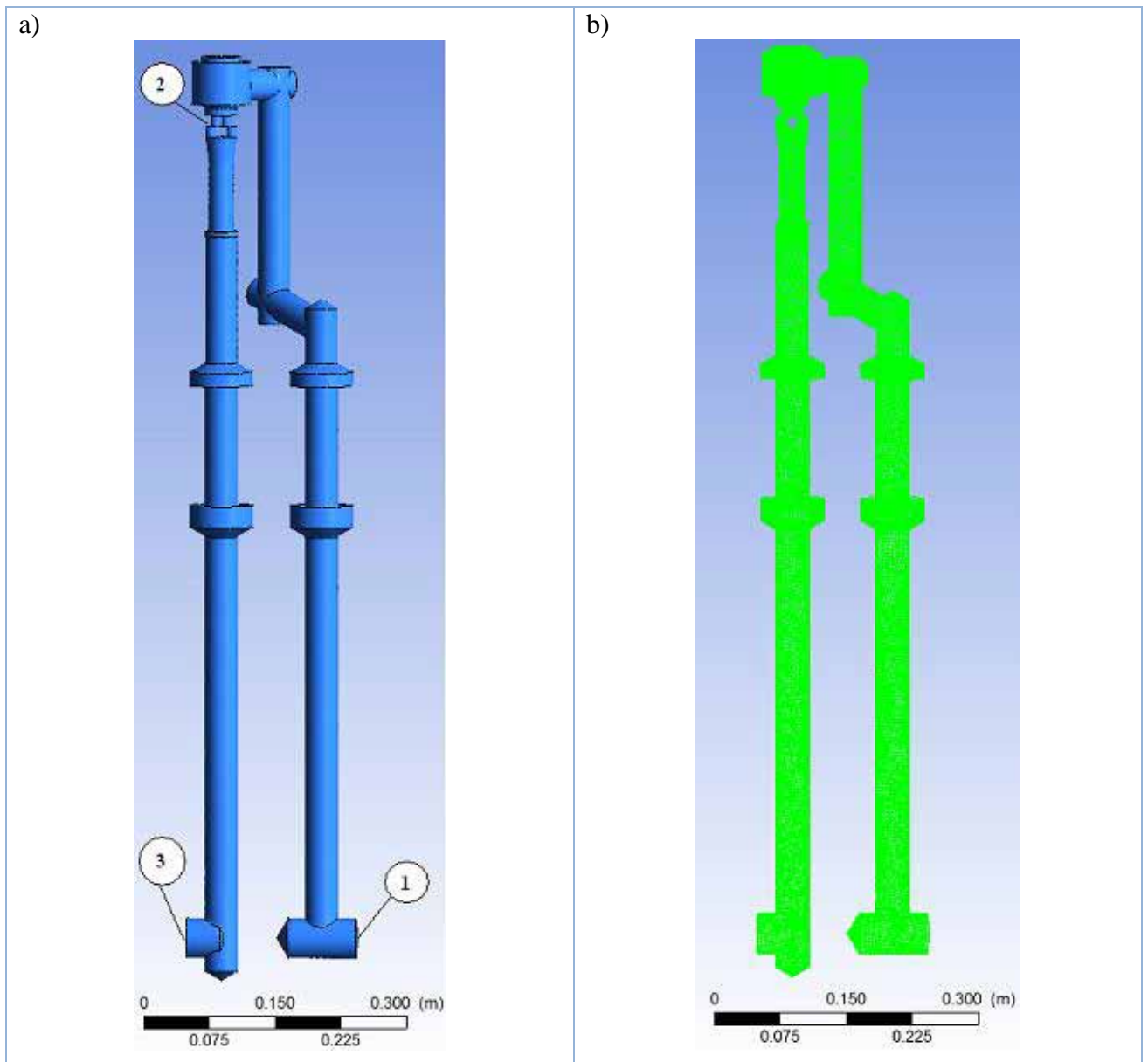
For hver enkelt ventil er det brukt en side til å legge frem spesifikk inndata for 2 m³/h, hvordan flowen strømmer igjennom ventilen og meshplotet. Resultatene fra simuleringene med hastighetsstrømningsbilde igjennom ventilen og erosjonen blir presenter på siden etter. For FMC blir sin choke det brukt to sider på resultatene. All informasjon er gitt i bildetekstene.

Når alle ventilene er presentert ved strømming ved 2 m³/h blir Cameron sin dråpeformete struping, Roxar, FMC sin 2" Choke gjennomgått på samme måte for strømming på 16 m³/h.

5.2.1. Cameron sin High Flow CIMV med hullformet struping ved 2 m³/h

Tabell 26: Inndata til simulering av Cameron sin ventil med hull skiver, når flowen er på 2 m³/h.

Parameter	Settpunkt	Enhet
Inngang: Volumstrøm	2,0	m ³ /h
Væske massestrøm	0,61927	kg/s
Partikkel massestrøm	0,020282	g/s
Inngang: Vækehastighet	0,3292	m/s



Figur 44: Cameron sin High Flow CIMV med hullformet struping ved 2 m³/h:

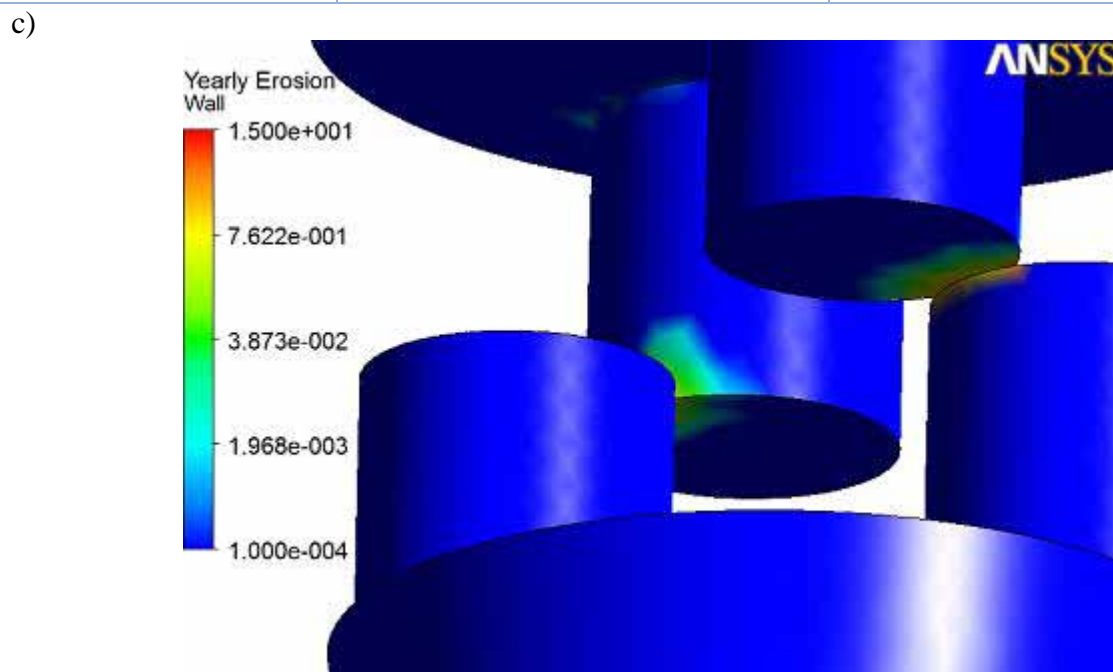
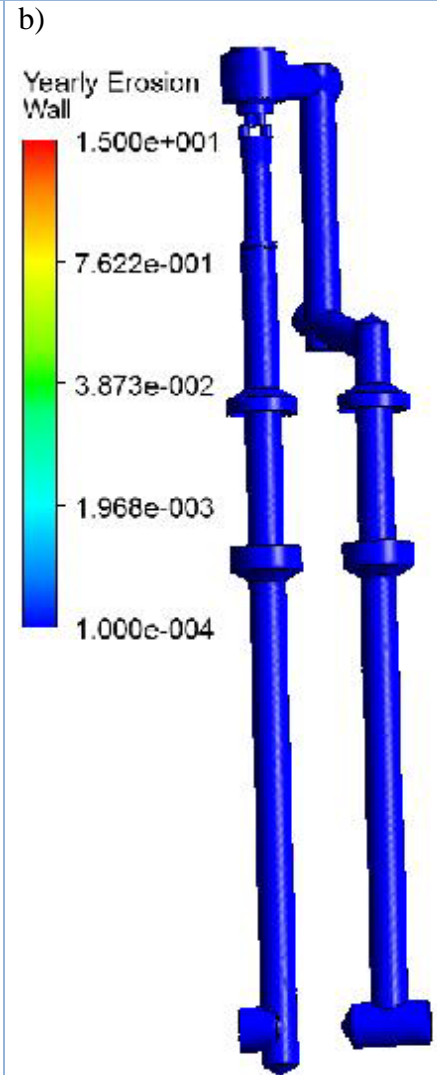
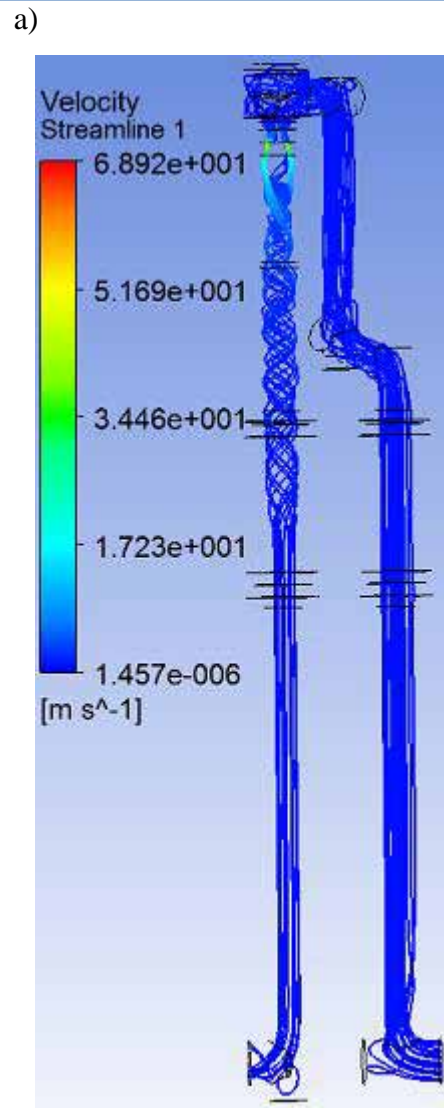
- a) Flowen strømmer inn gjennom inngangen (1) og ut gjennom utgangen (3). Strupingen foregår ved å endre på den variable strupingen (2). Den variable strupingen er to skiver med to hull i som struper strømmingen da skivene blir vridd på.
- b) Oversikt over meshing plotet. Det er oppbygd av 536104 noder og 2110344 elementer.

Figur 45:

a) Strømningsbildet i gjennom Cameron sin ventil da det strømmer $2 \text{ m}^3/\text{h}$. Hastigheten øker igjennom den variable restriksjonen.

b) Erosjonen oppstår i den variable strupingen. Se figur c. Resten av modellen blir ikke erodert.

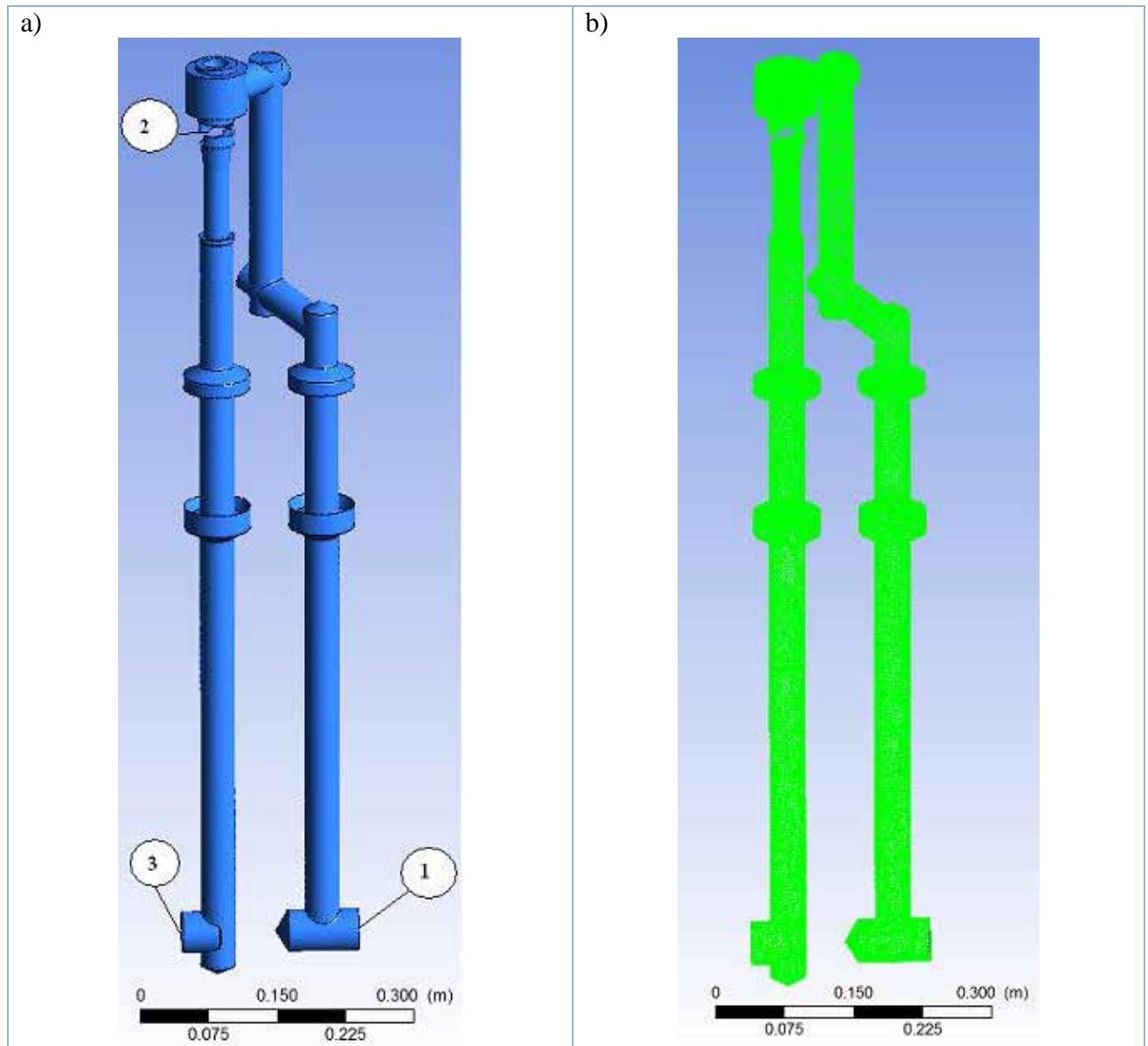
c) Utsnitt av figur b. I den variable restriksjonen vil det være mellom $0,1-0,5 \text{ mm}$ erosjon årlig, når det strømmer en forurenset flowmengde på $2 \text{ m}^3/\text{h}$.



5.2.2. Cameron sin High Flow CIMV med dråpeformet struping ved 2 m³/h

Tabell 27: Inndata til simulering av Cameron sin ventil med dråpeformet hull skiver, når flowen er på 2 m³/h.

Parameter	Settpunkt	Enhet
Inngang: Volumstrøm	2,0	m ³ /h
Væske massestrøm	0,61927	kg/s
Partikkel massestrøm	0,020282	g/s
Inngang: Vækehastighet	0,3292	m/s



Figur 46: Cameron sin High Flow CIMV med dråpeformet struping ved 2 m³/h:

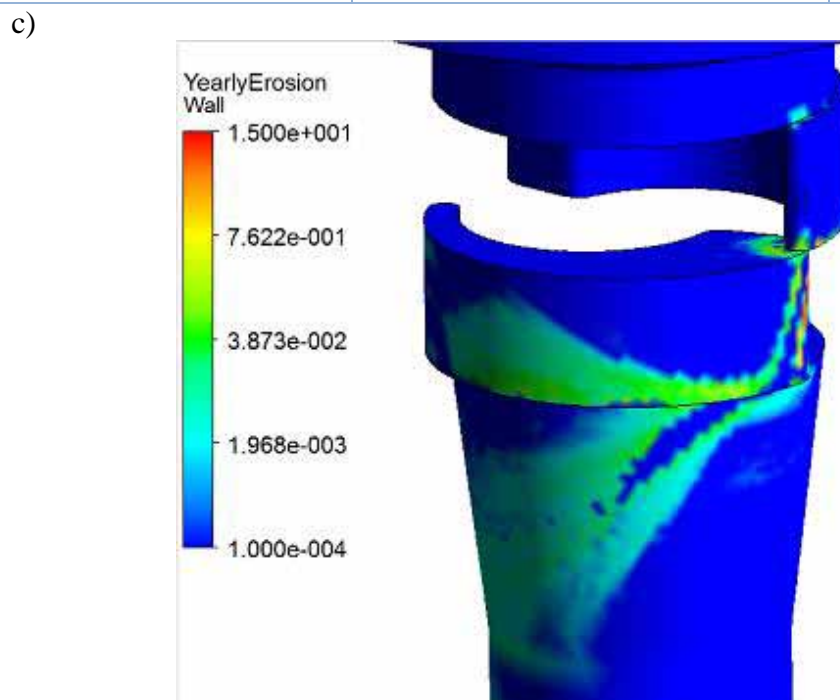
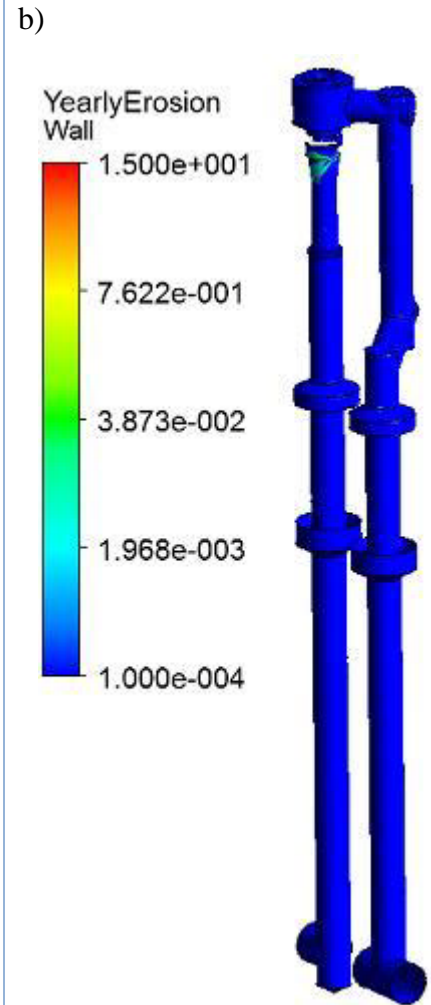
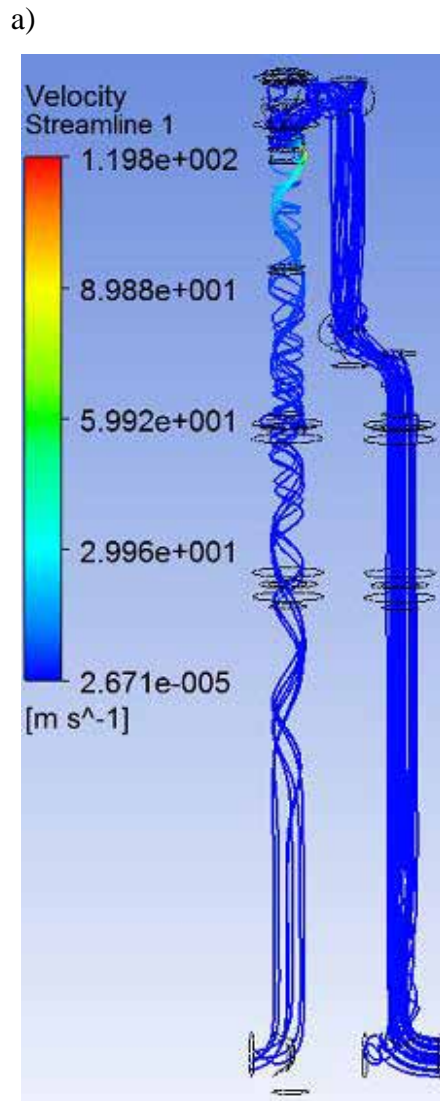
- a) Flowen strømmer inn gjennom inngangen (1) og ut gjennom utgangen (3). Strupingen foregår ved å endre på den variable strupingen (2). Den variable strupingen er to skiver med et dråpeformet hull i som struper strømmingen da skivene blir vridd på.
- b) Oversikt over meshing plotet. Det er oppbygd av 536132 noder og 2244332 elementer.

Figur 47:

a) Strømningsbildet i gjennom Cameron sin ventil da det strømmer $2 \text{ m}^3/\text{h}$. Hastigheten øker igjennom den variable restriksjonen.

b) Erosjonen oppstår i underkanten av den variable strupingen. Se figur c. Resten av modellen blir ikke erodert.

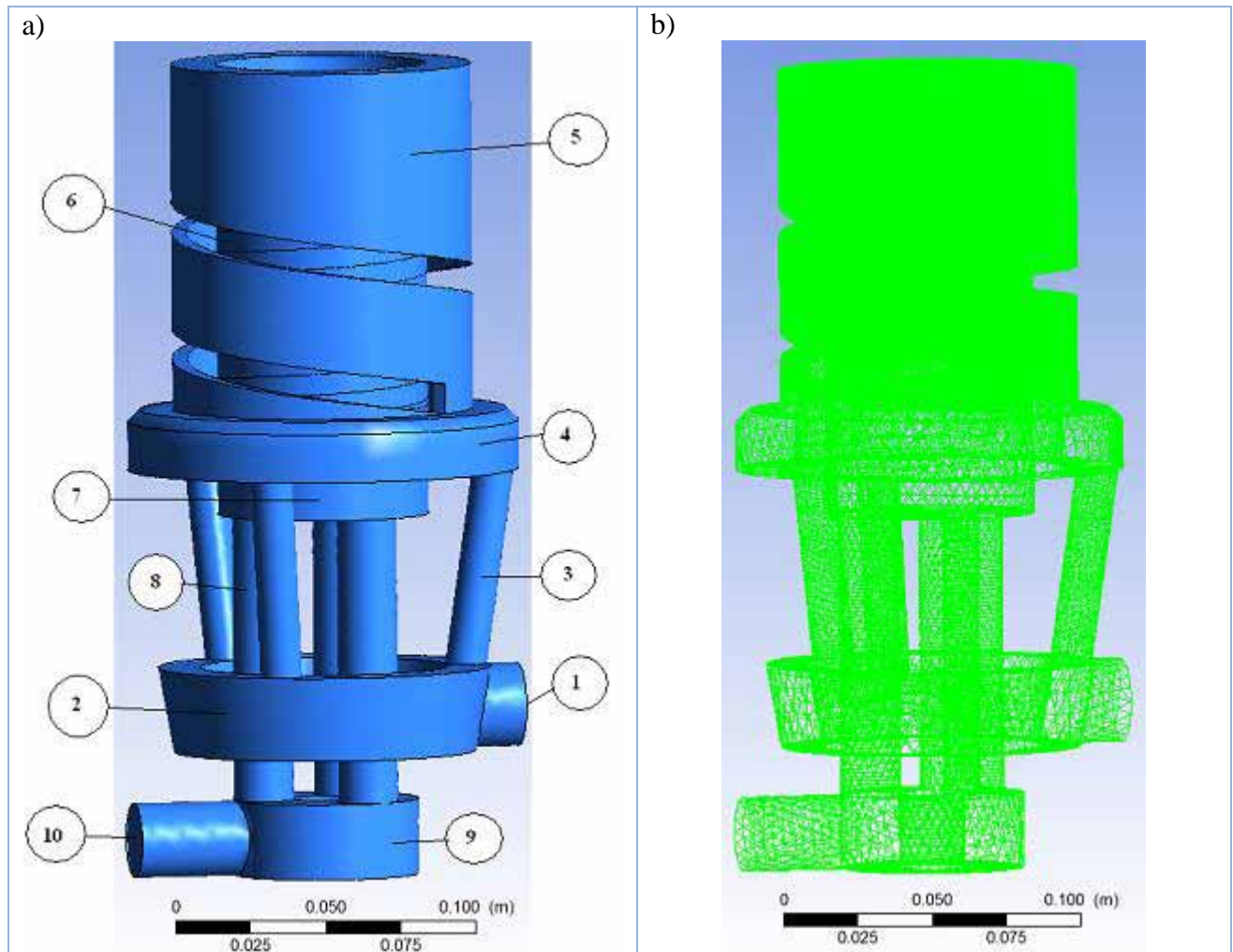
c) Utsnitt av figur b. I den variable restriksjonen vil det være mellom 1-3 mm erosjon årlig, når det strømmer en forurenset flowmengde på $2 \text{ m}^3/\text{h}$.



5.2.3. Roxar sin High Flow CIV ved 2 m³/h

Tabell 28: Inndata til simulering av Roxar sin ventil, når flowen er på 2 m³/h.

Parameter	Settpunkt	Enhet
Inngang: Volumstrøm	2,0	m ³ /h
Væske massestrøm	0,61927	kg/s
Partikkel massestrøm	0,020282	g/s
Inngang: Vækehastighet	0,9022	m/s



Figur 48: Roxar sin High Flow CIV ved 2 m³/h:

- a) *Flowen strømmer inn gjennom inngangen (1) og ut i en ring (2) hvor flowen deler seg og strømmer videre opp gjennom tre rør (3). Flowen samles igjen i en ny ring (4) før den strømmer gjennom den faste restriksjonen (5). Innvendig i den faste restriksjonen ligger den variable skrueformede restriksjonen (6) som flowen strømmer gjennom før den samler seg i en rom (7). Videre strømmer flowen igjennom tre nye rør (8) før flowen samler seg i en ring (9) og strøm gjennom utgangen (10).*
- b) *Oversikt over meshing plotet. Det er oppbygd av 476454 noder og 2372385 elementer.*

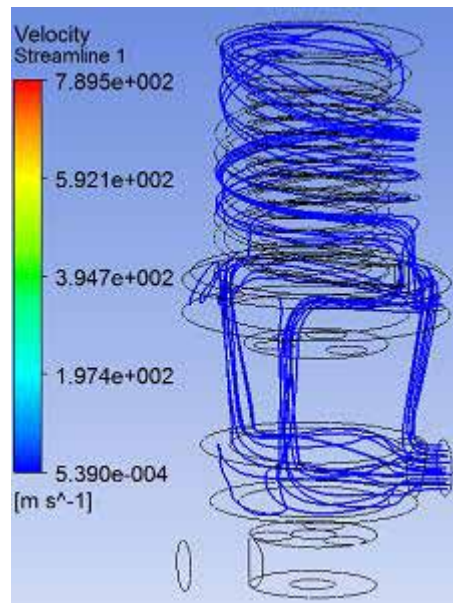
Figur 49:

a) Strømningsbilde er i gjennom Roxar sin ventil da det strømmer $2 \text{ m}^3/\text{h}$. Det er minimalt med hastighetsøkning igjennom ventilen.

b) Erosjonen oppstår i underkanten av den variable strupingen. Se figur c. Resten av modellen blir ikke erodert.

c) Utsnitt av figur b. I den variable restriksjonen vil det være mellom $0,5\text{-}1 \text{ mm}$ erosjon årlig, når det strømmer en forurenset flowmengde på $2 \text{ m}^3/\text{h}$.

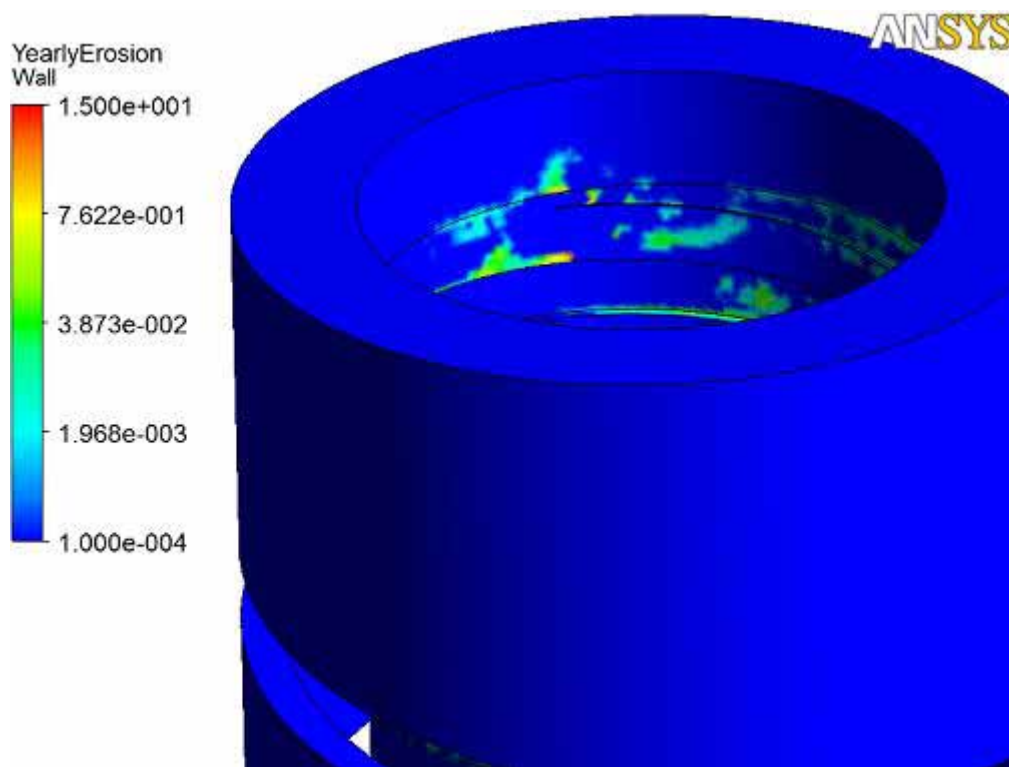
a)



b)



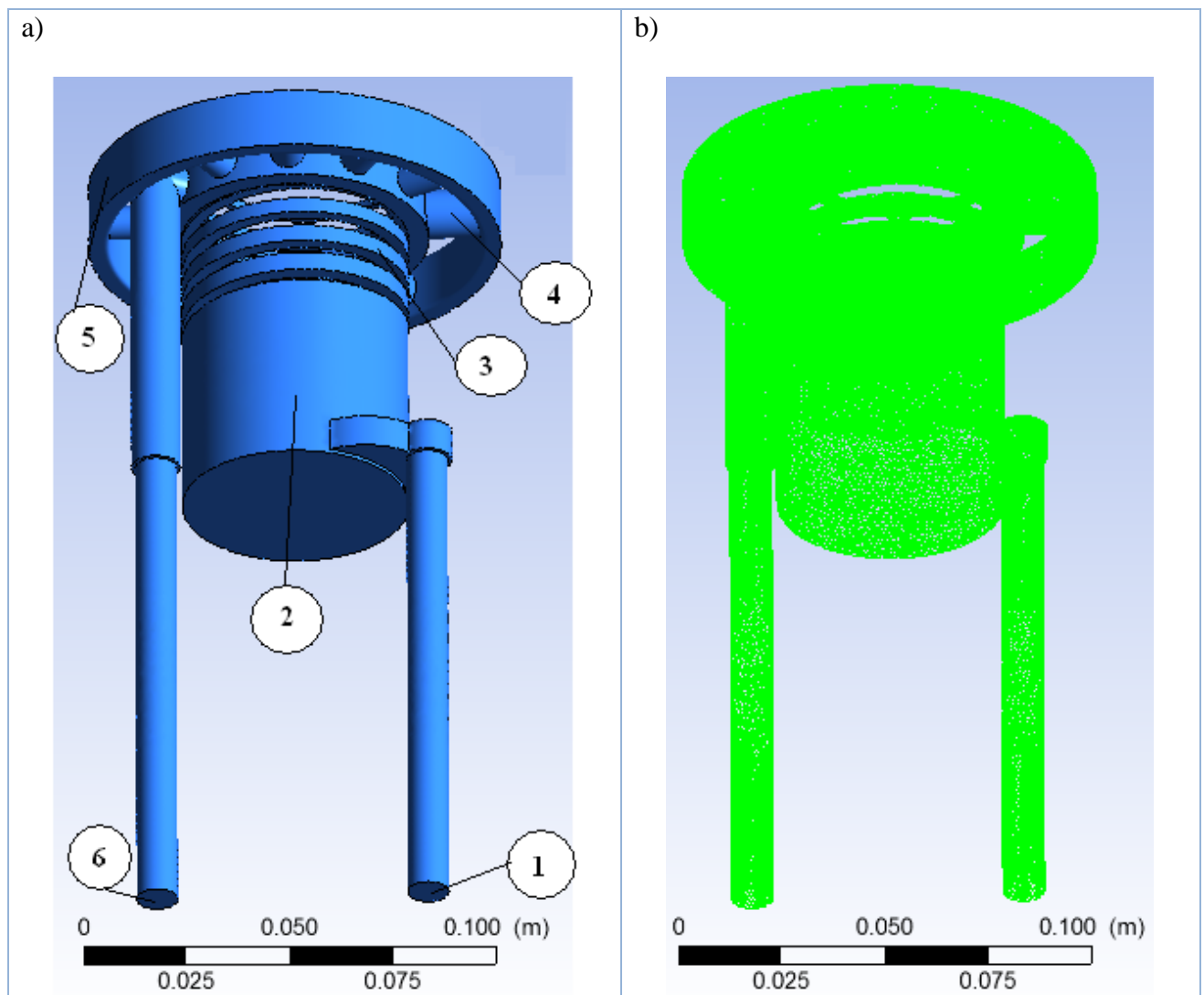
c)



5.2.4. Rotator sin High Flow 1" ved 2 m³/h

Tabell 29: Inndata til simulering av Rotator sin ventil, når flowen er på 2 m³/h.

Parameter	Settpunkt	Enhet
Inngang: Volumstrøm	2,0	m ³ /h
Væske massestrøm	0,61927	kg/s
Partikkel massestrøm	0,020282	g/s
Inngang: Vækehastighet	7,0735	m/s



Figur 50: Rotator sin High Flow 1" ved 2 m³/h:

- a) Flowen strømmer inn gjennom inngangen (1) og inn i et rom (2) før flowen strømmer igjennom den variable restriksjonen (3). Videre strømmer flowen gjennom ulike ganger (4) og ut i en felles ring (5) før flowen strømmer ut igjennom utgangen(6).
- b) Oversikt over meshing plotet. Det er oppbygd av 11255660 noder og 6304935 elementer.

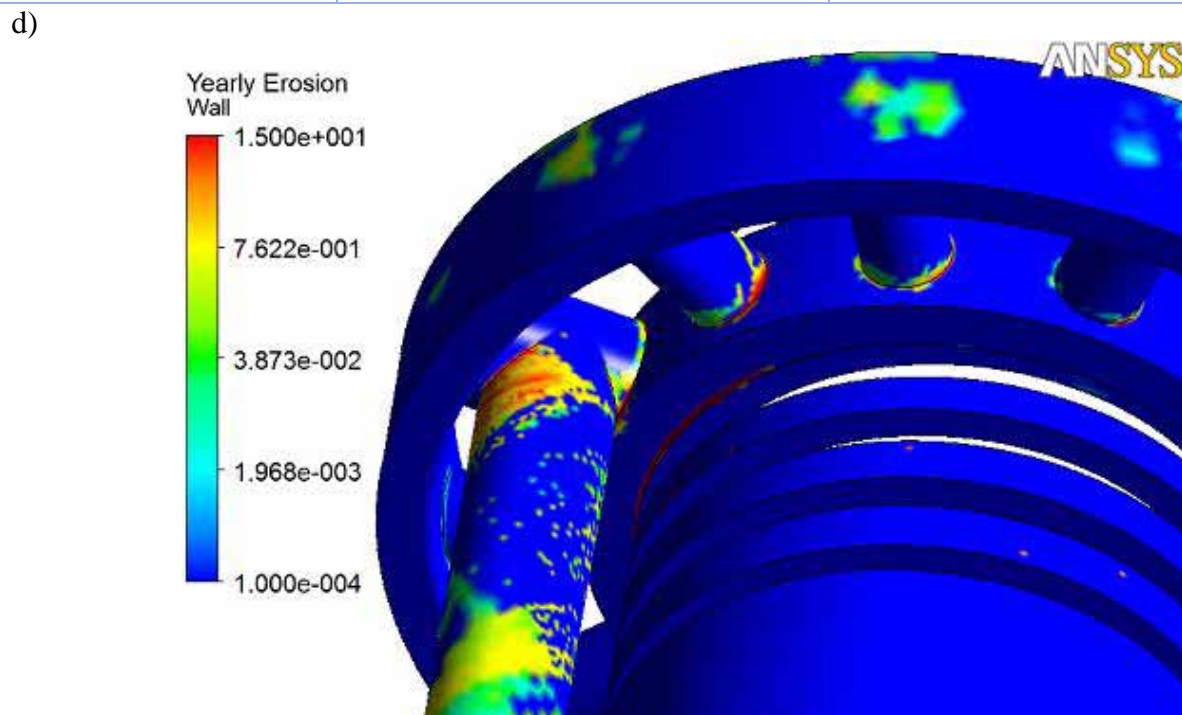
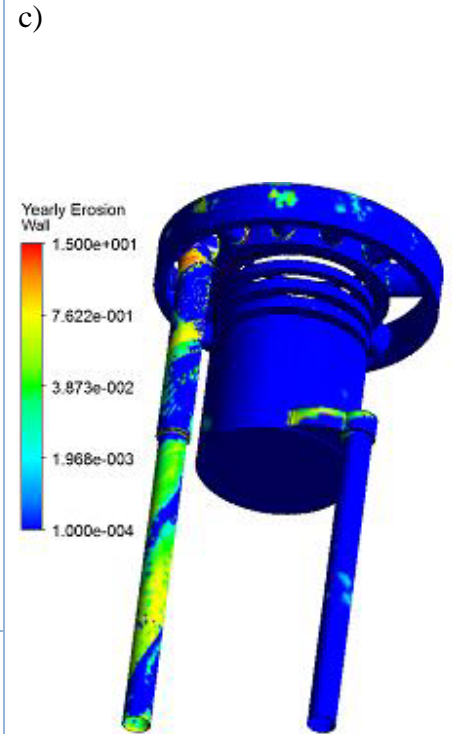
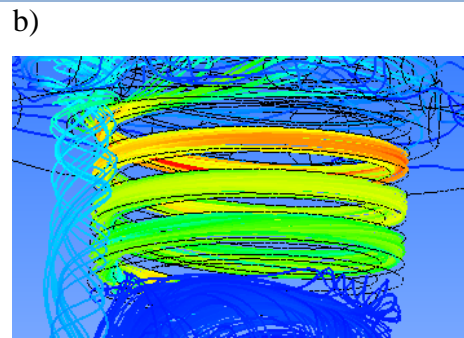
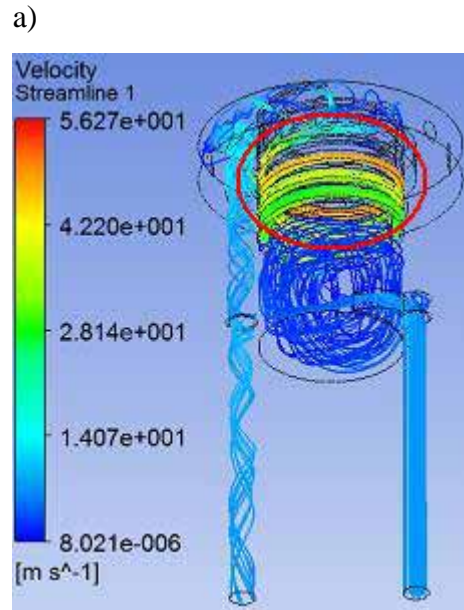
Figur 51:

a) Strømningsbilde er i gjennom Rotator sin ventil da det strømmer $2 \text{ m}^3/\text{h}$. Gjennom den variable restriksjonen øker flowen fra 28 m/s til 50 m/s .

b) Utsnitt av strømningsbilde i a.

c) Erosjonen oppstår i underkanten av den variable strupingen. Se figur c.

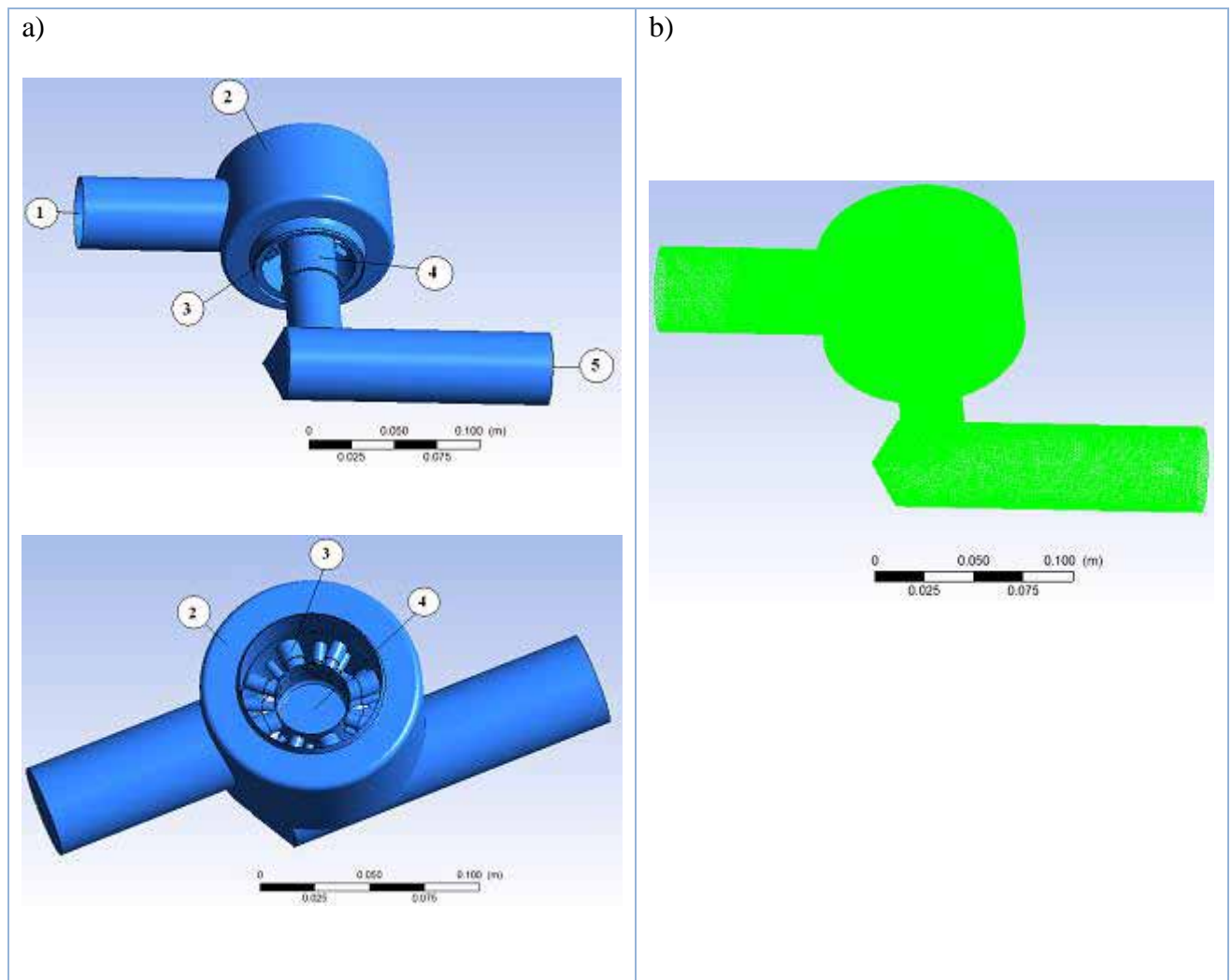
d) Utsnitt av figur b. I den variable restriksjonen vil det være mellom $50\text{-}100 \text{ mm}$ erosjon årlig, når det strømmer en forurenset flowmengde på $2 \text{ m}^3/\text{h}$. Skalaen er ikke justert opp, figuren kan derfor sammenlignes mot de andre analysene.



5.2.5. FMC sin 2" choke ved 2 m³/h

Tabell 30: Inndata til simulering av FMC sin 2" Choke, når flowen er på 2 m³/h.

Parameter	Settpunkt	Enhet
Inngang: Volumstrøm	2,0	m ³ /h
Væske massestrøm	0,61927	kg/s
Partikkel massestrøm	0,020282	g/s
Inngang: Vækehastighet	0,382561	m/s



Figur 52: FMC sin 2" choke ved 2 m³/h:

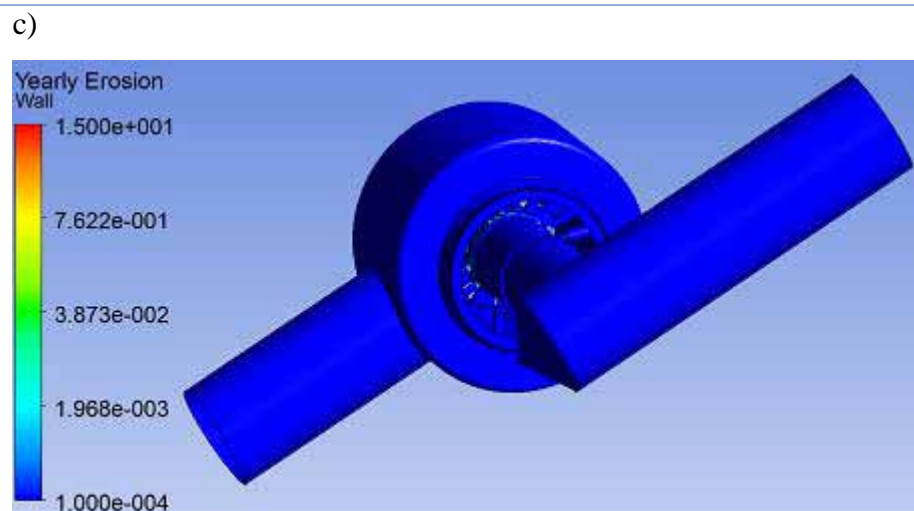
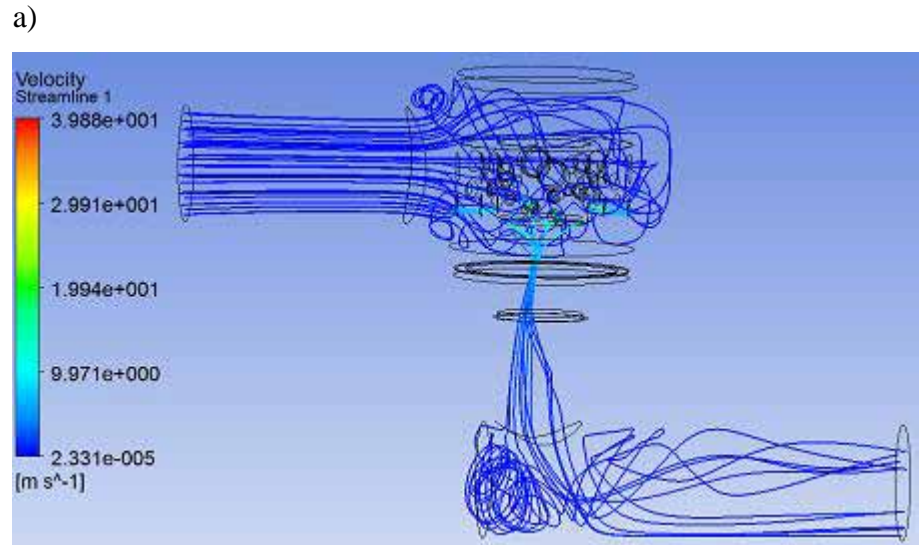
- a) *Flowen strømmer inn gjennom inngangen (1) og ut i en ring (2) hvor flowen deler seg og strømmer videre opp gjennom den variable restriksjonen. Den variable restriksjonen er ulike hull (3) som strupes igjen av en plugg. Flowen samles igjen i et rør (4) under pluggen før den strømmer gjennom utgangen (5).*
- b) *Oversikt over meshing plotet. Det er oppbygd av 886492 noder og 4978231 elementer.*

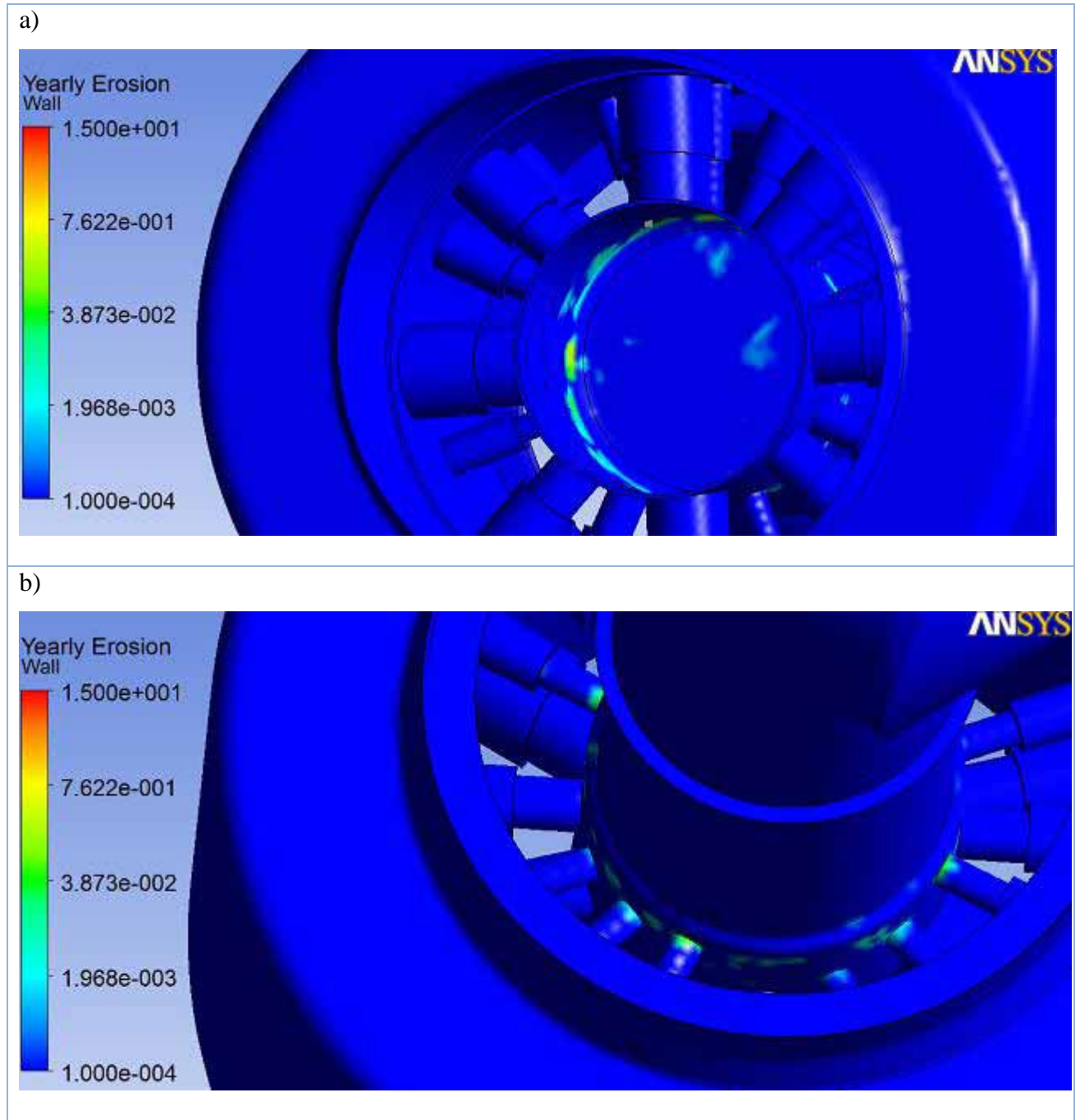
Figur 53:

a) Strømningsbilde er i gjennom FMC sin 2" choker da det strømmer $2 \text{ m}^3/\text{h}$. Gjennom den variable restriksjonen øker flowen fra 10 m/s til 40 m/s .

b) Choken sett oven i fra. Erosjonen er i den variable restriksjonen. Se figur 54a.

c) Choken sett under i fra. Erosjonen er i den variable restriksjonen. Se figur 54a.





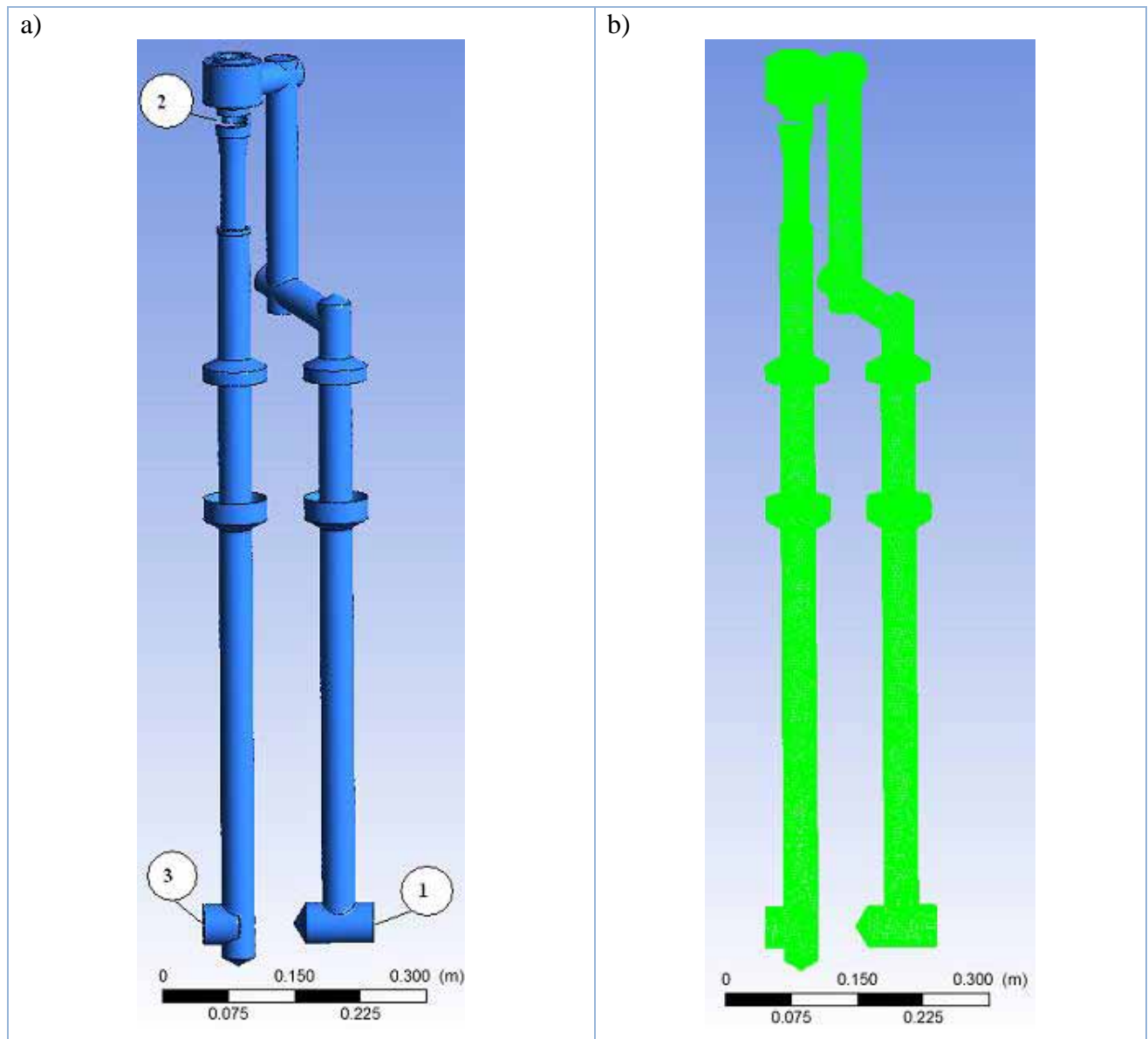
Figur 54: Utsnitt av erosjonen i FMC sin 2" choke ved 2 m³/h:

- a) Utsnitt av figur 53b. Det er mellom 0,2-0,7 mm erosjon årlig der væskeflowen blir strupt, når det strømmer en forurenset flow mengde på 2 m³/h.
- b) Utsnitt av figur 53c. Det er mellom 0,2-0,7 mm erosjon årlig der væskeflowen blir strupt, når det strømmer en forurenset flow mengde på 2 m³/h.

5.2.6. Cameron High Flow CIMV med dråpeformet struping ved 16 m³/h

Tabell 31: Inndata til simulering av Cameron sin ventil med dråpeformet hull skiver, når flowen er på 16 m³/h.

Parameter	Settpunkt	Enhet
Inngang: Volumstrøm	16,0	m ³ /h
Væske massestrøm	4,95484	kg/s
Partikkel massestrøm	0,162255	g/s
Inngang: Væskehastighet	2,6335	m/s



Figur 55: Cameron High Flow CIMV ved 2 m³/h:

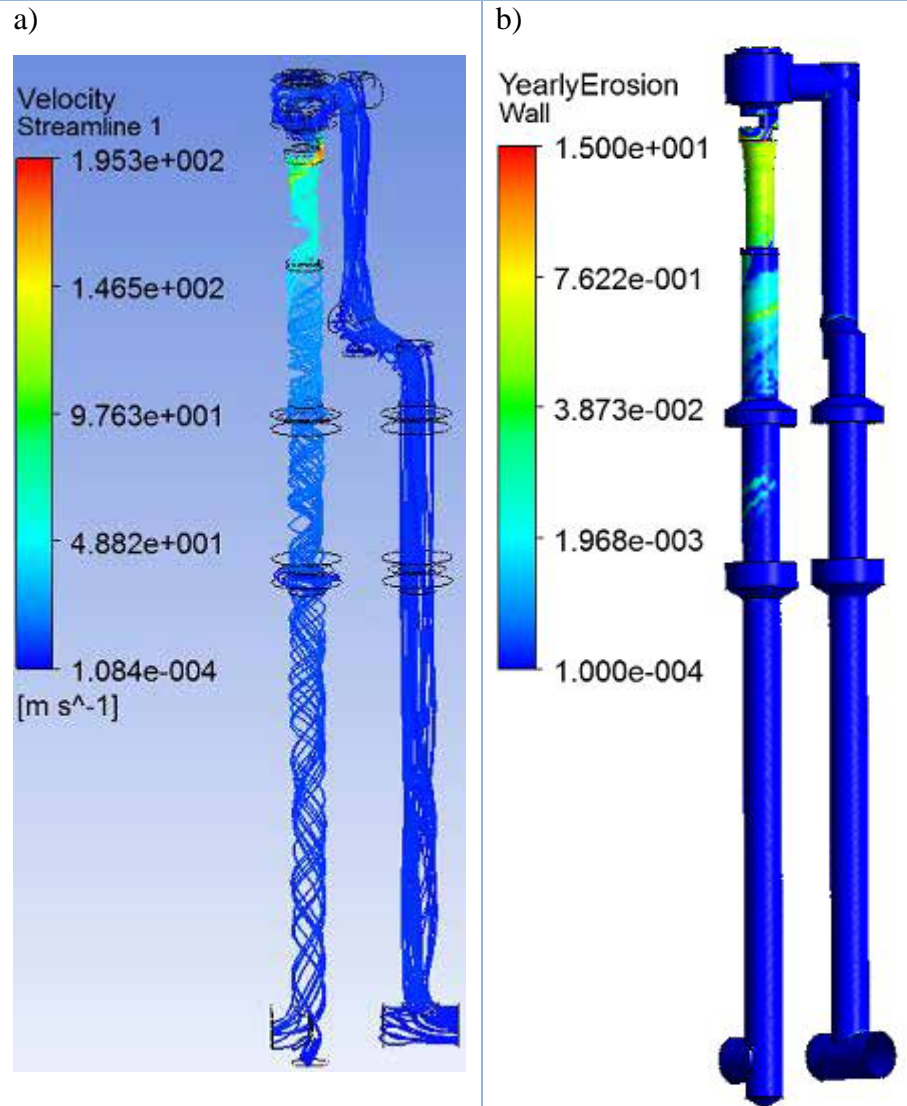
- Flowen strømmer inn gjennom inngangen (1) og ut gjennom utgangen (3). Strupingen foregår ved å endre på den variable strupingen (2). Den variable strupingen er to skiver med et dråpeformet hull i som struper strømmingen da disse blir vridd på.
- Oversikt over meshing plotet. Det er oppbygd av 563471 noder og 2242367 elementer.

Figur 56:

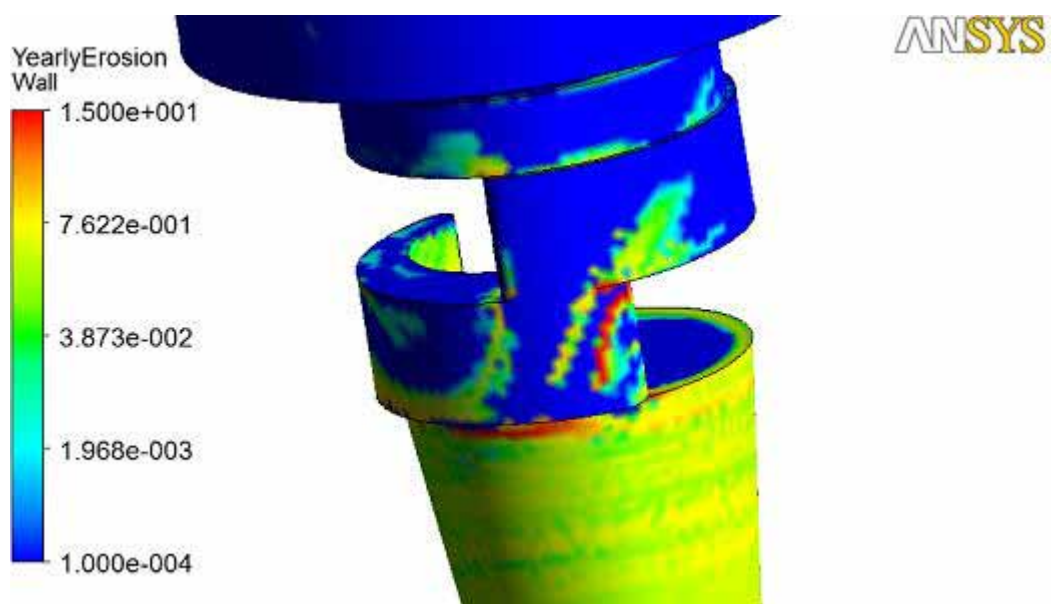
a) Figuren viser hvordan strømningsbilde er igjennom Cameron sin ventil da det strømmer $16 \text{ m}^3/\text{h}$, og hvordan hastigheten øker igjennom den variable restriksjonen.

b) Figuren viser at den betydelige erosjonen i vegg i underkanten av den variable strupingen. Se figur c.

c) Figuren er et utsnitt av figur b, og viser at det vil være mellom 5-10 mm erosjon årlig, når det strømmer en forurenset flow mengde på $16 \text{ m}^3/\text{h}$.



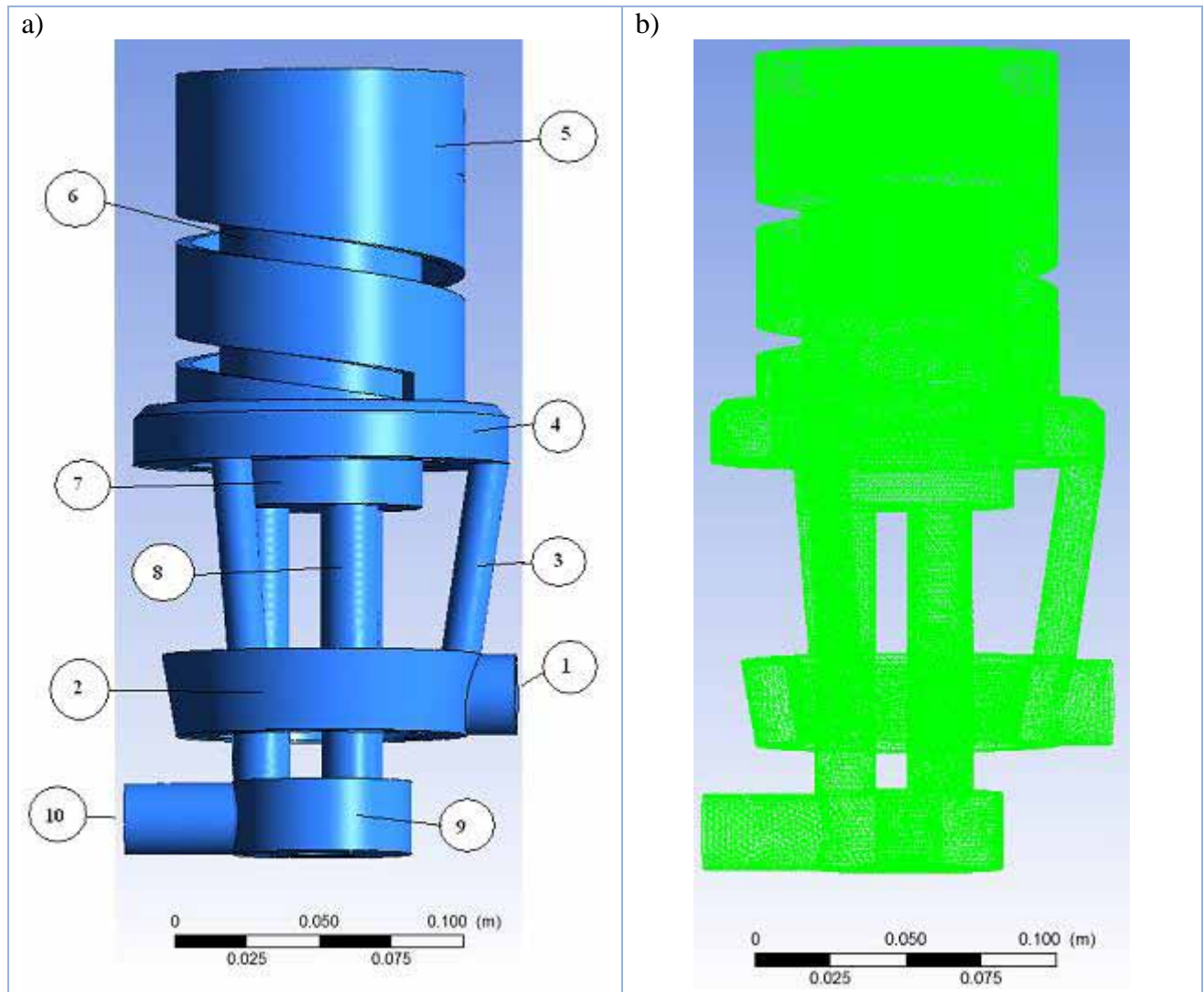
c)



5.2.7. Roxar sin High Flow CIV ved 16 m³/h

Tabell 32: Inndata til simulering av Roxar sin ventil, når flowen er på 16 m³/h.

Parameter	Settpunkt	Enhet
Inngang: Volumstrøm	16,0	m ³ /h
Væske massestrøm	4,95484	kg/s
Partikkel massestrøm	0,162255	g/s
Inngang: Væskehastighet	7,2179	m/s



Figur 57: Roxar sin High Flow CIV ved 16 m³/h:

- a) Flowen strømmer inn gjennom inngangen (1) og ut i en ring (2) hvor flowen deler seg og strømmer videre opp gjennom tre rør (3). Flowen samles igjen i en ny ring (4) før den strømmer gjennom den faste restriksjonen (5). Innvendig i den faste restriksjonen ligger den variable skruedeformede restriksjonen (6) som flowen strømmer gjennom før den samler seg i en rom (7). Videre strømmer flowen igjennom tre nye rør (8) før flowen samler seg i en ring (9) og strømmer gjennom utgangen (10).
- b) Oversikt over meshing plotet. Det er oppbygd av 836467 noder og 4631118 elementer.

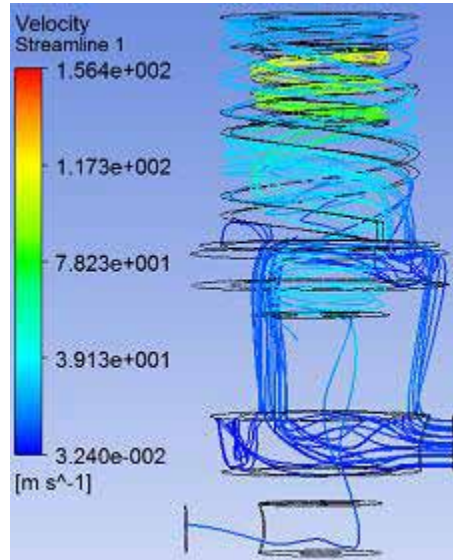
Figur 58:

a) Strømningsbilde er i gjennom Roxar sin ventil da det strømmer $16 \text{ m}^3/\text{h}$. Fra den faste restriksjonen og til variable restriksjonen øker flowen fra 39 m/s til 117 m/s .

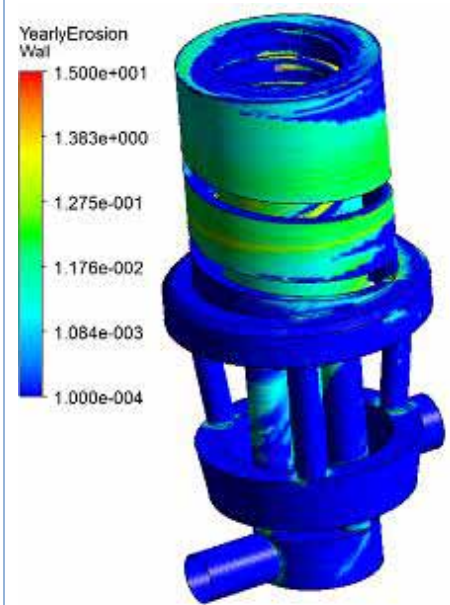
b) Den skadelige erosjonen oppstår i den variable strupingen. Se figur c. Det vil også forekomme erosjon i den fasterestriksjonen.

c) Utsnitt av figur b. I den variable restriksjonen vil det være mellom $2\text{-}5 \text{ mm}$ erosjon årlig, når det strømmer en forurenset flow mengde på $16 \text{ m}^3/\text{h}$. Det er noen hotspotter på figuren, men disse vil raskt avta, og er dermed ubetydelige.

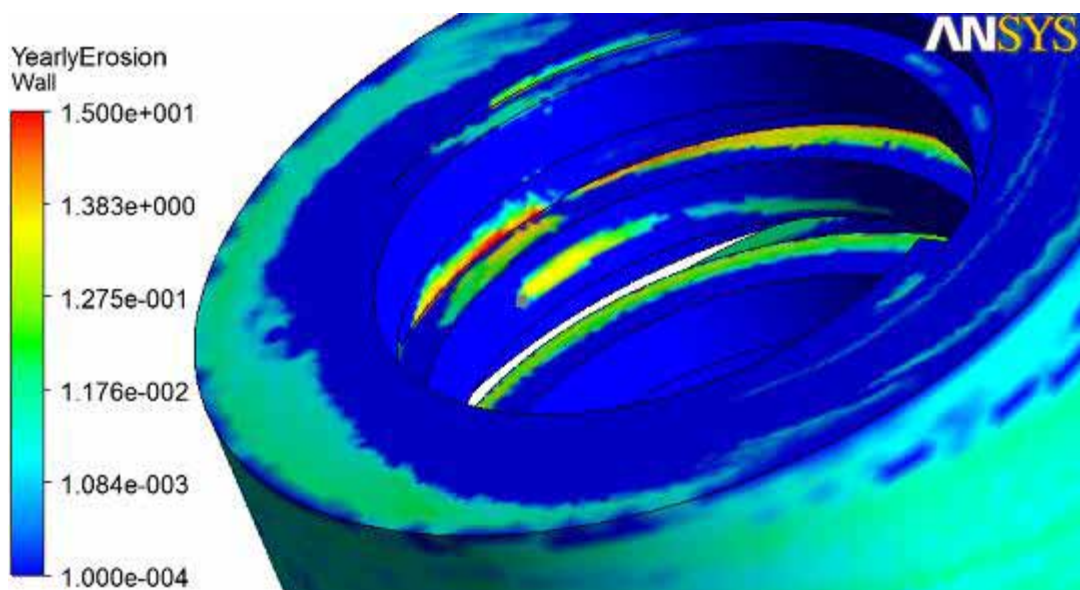
a)



b)



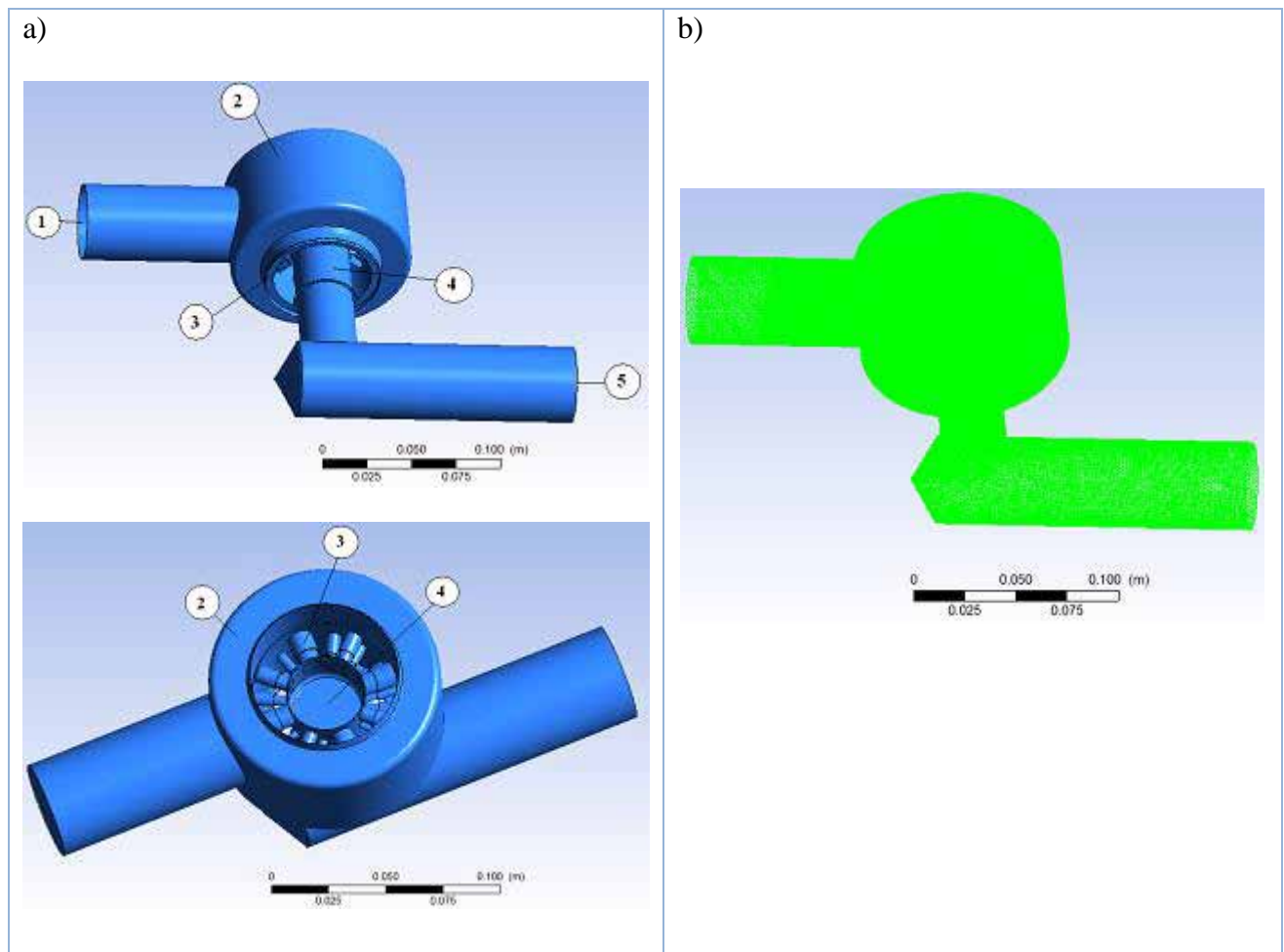
c)



5.2.8. FMC sin 2" choke ved 16 m³/h

Tabell 33: Inndata til simulering av FMC sin 2" Choke, når flowen er på 16 m³/h.

Parameter	Settpunkt	Enhet
Inngang: Volumstrøm	16,0	m ³ /h
Væske massestrøm	4,95484	kg/s
Partikkel massestrøm	0,162255	g/s
Inngang: Vækehastighet	3,060488	m/s



Figur 59: FMC sin 2" choke ved 16 m³/h:

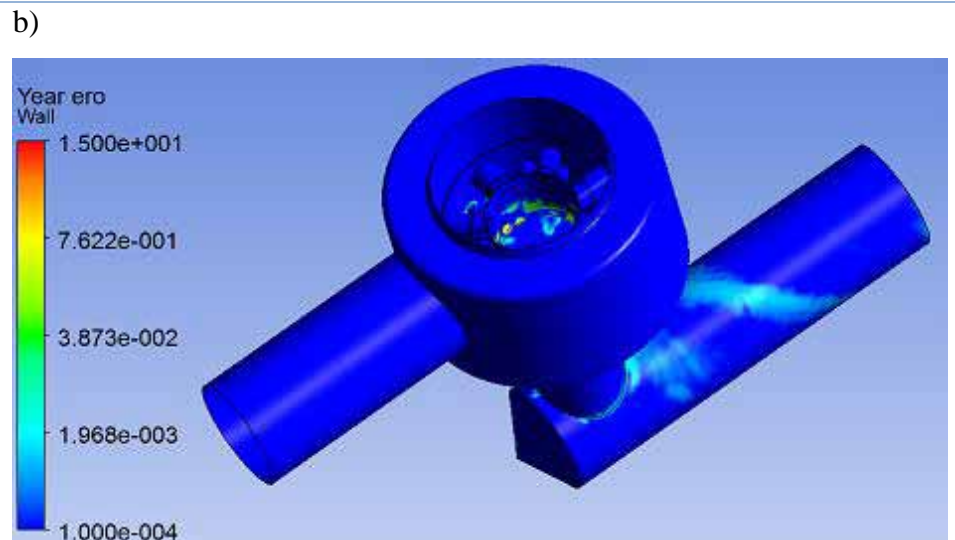
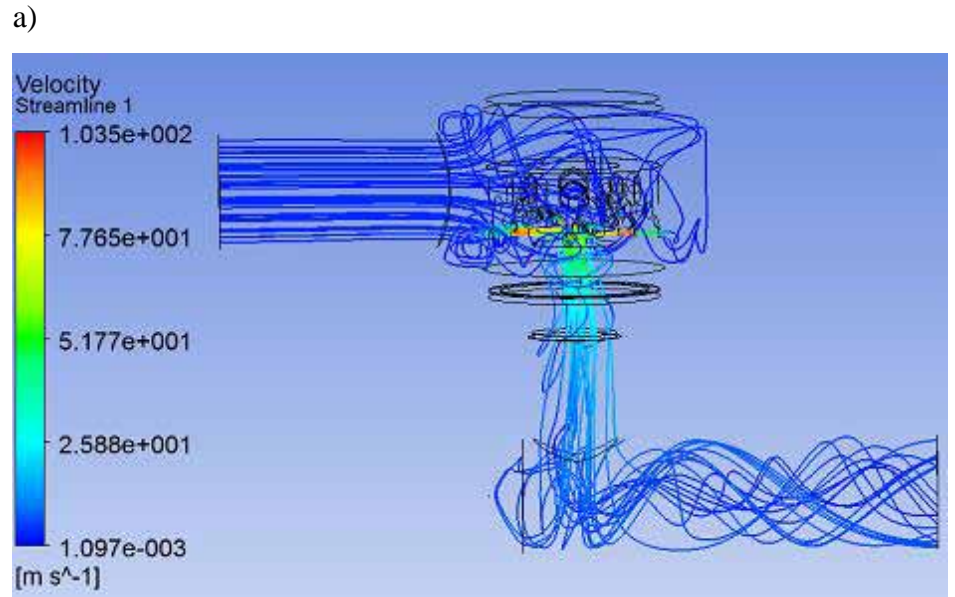
- Flowen strømmer inn gjennom inngangen (1) og ut i en ring (2) hvor flowen deler seg og strømmer videre opp gjennom den variable restriksjonen. Den variable restriksjonen er ulike hull (3) som strupes igjen av en plugg. Flowen samles igjen i et rør (4) under pluggen før den strømmer gjennom utgangen (5).
- Oversikt over meshing plotet. Det er oppbygd av 902059 noder og 5061923 elementer.

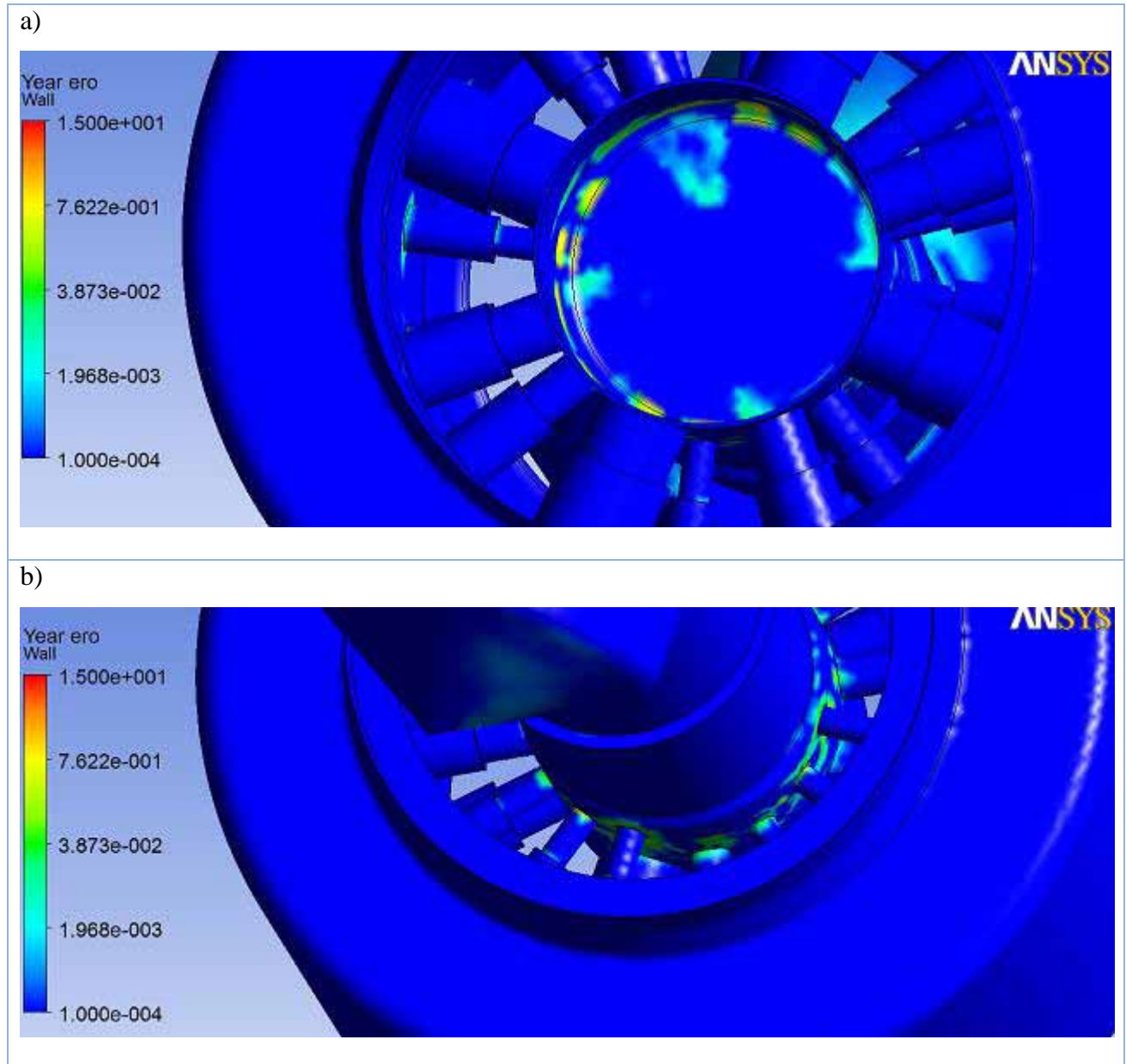
Figur 60:

a) Strømningsbilde er i gjennom FMC sin 2" choker da det strømmer $16 \text{ m}^3/\text{h}$. Gjennom den variable restriksjonen øker flowen fra 50 m/s til 100 m/s .

b) Choken sett oven i fra. Erosjonen er i den variable restriksjonen. Se figur 61a.

c) Choken sett under i fra. Erosjonen er i den variable restriksjonen. Se figur 61a.





Figur 61: Utsnitt av erosjonen i FMC sin 2" choke ved $16 \text{ m}^3/\text{h}$:

- a) Utsnitt av figur 60b. Det er mellom 0,7-1 mm erosjon årlig der væskeflowen blir strupt, når det strømmer en forurenset flow mengde på $16 \text{ m}^3/\text{h}$.
- b) Utsnitt av figur 60c. Det er mellom 0,7-1 mm erosjon årlig der væskeflowen blir strupt, når det strømmer en forurenset flow mengde på $16 \text{ m}^3/\text{h}$.

5.3. Konklusjon av CFD simulering

Resultatene av CFD simuleringene er at Rotator sin ventil kommer desidert dårligst ut. Roxar, Cameron med dråpeformet hullstruping og FMC sin 2" choke kom best ut av analysen.

Hovedgrunnen til at Rotator kommer dårligst ut er at det er valgt feil material på den variable restriksjonen. Stål er et duktilt material og angrepsvinkelen til sandpartiklene kommer i en vinkel lavere enn 55°. I tillegg er flowbanen i skruprinsippet som skal strupe strømminger er for kort til å klare å redusere hastigheten på partiklene.

Roxar har klart gjennom sitt skruprinsipp og strupe strømmingen over et langt område, samtidig som ventilen kan lages liten og kort.

Cameron har et prinsipp som er lett og justere selv om væskeflowen er høy og forurenset, men prinsippet krever en fysisk stor konstruksjon for å kunne kontrollere væska.

Ut i fra de laver erosjons resultatene fra CFD simuleringene og tidligere drøftinger i rapporten velges det å gå videre med FMC sin choke.

Tabell 34: Sammenligning av mengde erosjon på de ulike ventilene ved ulike volumstrømmer.

Leverandør	mm erosjon pr. år ved ulike volumstrømmer	
	2 m ³ /h	16 m ³ /h
Cameron M.O.V med to sirkulære hull	0,1-0,5	-
Cameron M.O.V med dråpeformet hull	1-3	5-10
Roxar	0,5-1	2-5
Rotator	50-100	-
FMC sin 2" choke	0,2-0,7	0,7-1

6. KONSEPTGENERERING

6.1. Gjennomgang av ide og forbedringsområder

Den opprinnelige 2" choke designet fra FMC er beregnet for væskeflow som er større enn det som trengs for MEG injeksjon, og vil dermed gi dårlig kontrollerbarhet i væskeflow området. Choken må derfor redesignes til en mindre størrelse og om mulig gjøres enda mer erosjonsmotstandsdyktig.

6.1.1. FMC sin 2" choke

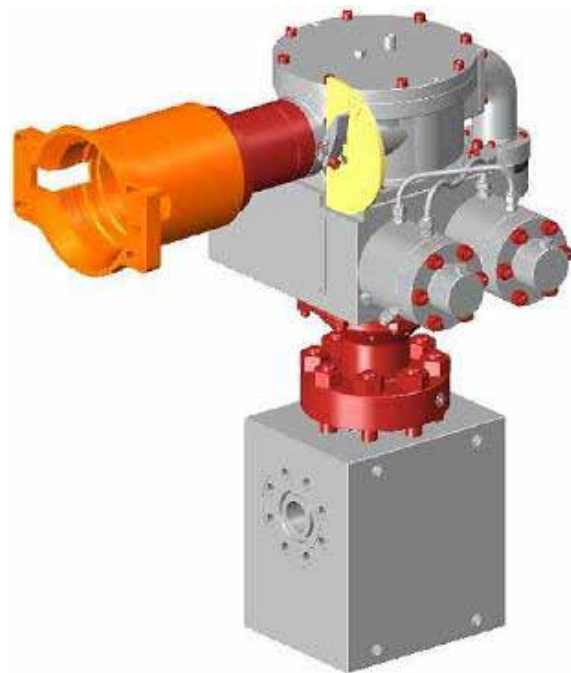
FMC leverer choker i ulike størrelser og med hydraulisk trinnvirkende aktorator med horisontalt og vertikal ROV manuell overstyringspanel. Ideen er å beholde styringssystemet for choken med redusere 2" choken ned til 1" choke.

Figur 62:

a) Eksisterende choke fra FMC, med hydraulisk aktorator med horisontalt ROV overstyringspanel [28].

b) Eksisterende choke fra FMC, med hydraulisk aktorator med vertikal ROV overstyringspanel. Den delen som injeksjonsvæska strømmer igjennom er maskinert ut for at choken skal være så lett som mulig [28].

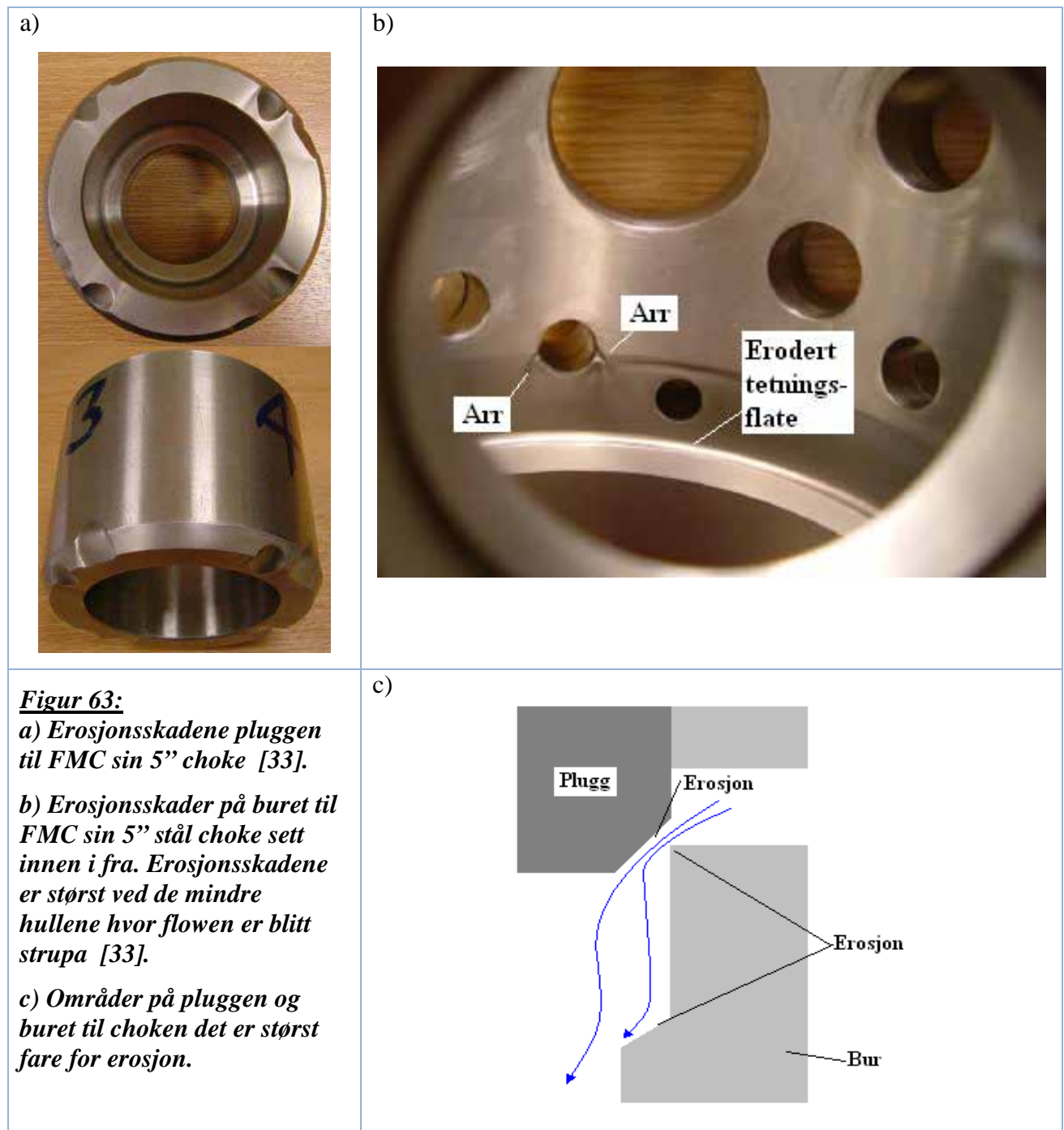
a)



b)

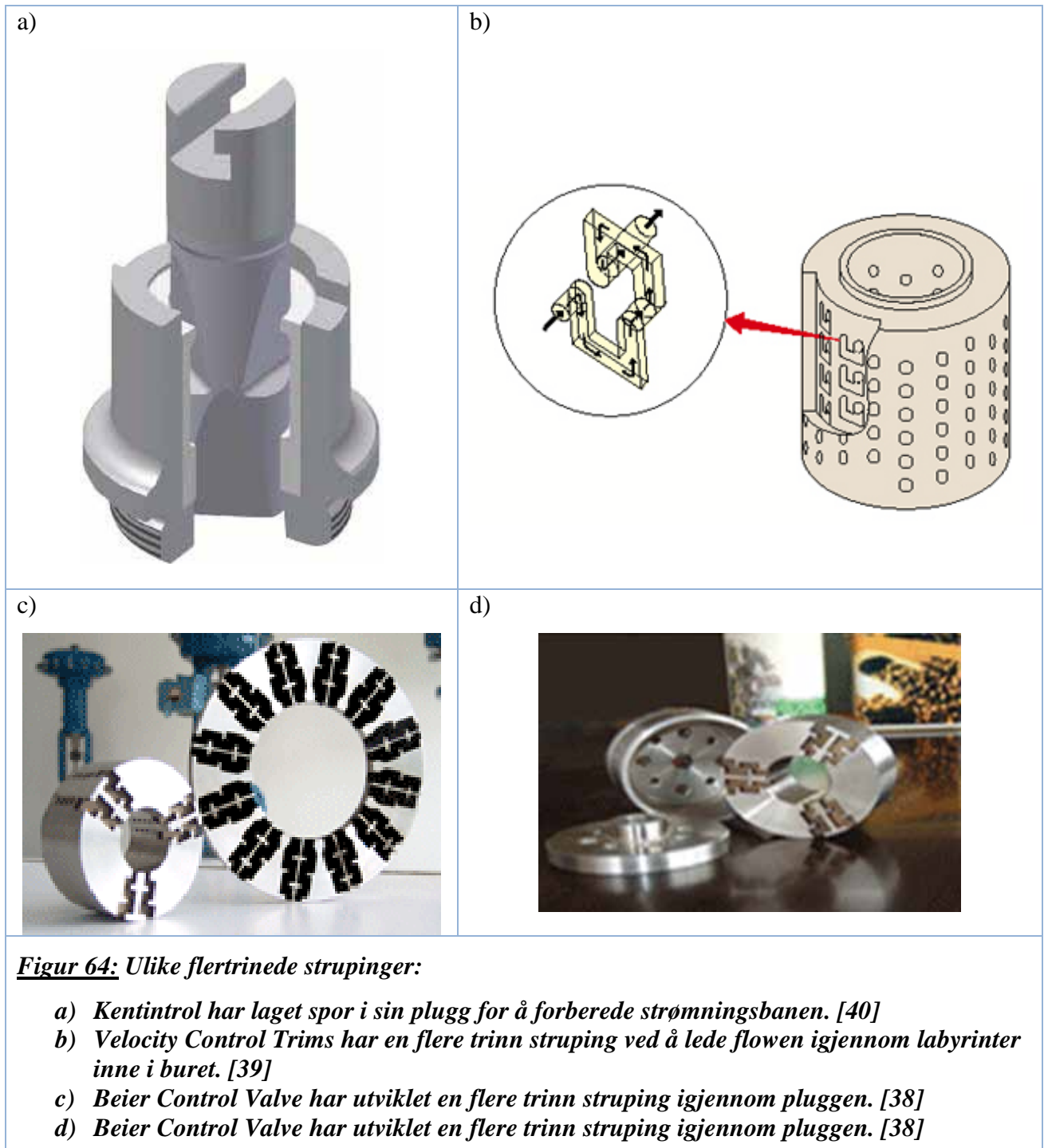


Tidligere har det blitt gjort erosjonstester og CFD analyser på FMC sin 5" choke. Ut i fra disse testene og analysene ble det funnet ut at erosjonsskadene blir størst når ventilen strupes. Erosjonen skjer hovedsakelig på pluggen og inne hullet kanten på buret, der væska strupes i mellom, og i tetningsflaten i nederste kant av buret. Se figur neden for, 63c.



6.1.2. Utvikling av choken

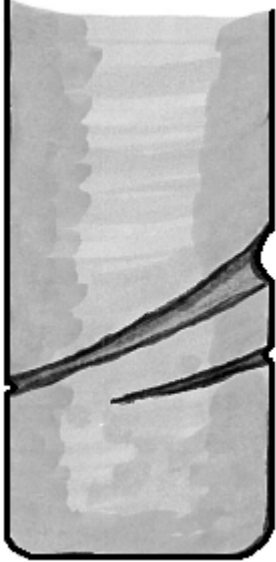
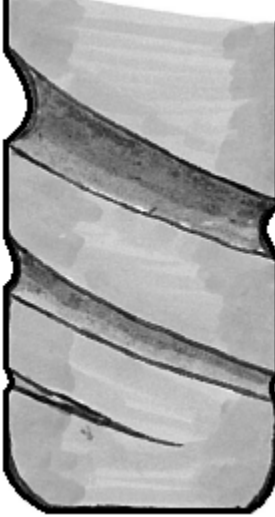


For å redusere erosjonsskadene kan det være en ide og skape en flertrinnsstruping igjennom ventilen. Den flertrinede strupingen kan enten skje gjennom buret etter over pluggen. I figur 64 er det presentert ulike eksisterende løsninger.



Ut i fra erosjonsanalysene som er gjort har det vist seg at det har en positiv virkning på flowen og la væska strømme langs en skrue, slik som Rotator og Roxar har gjort.

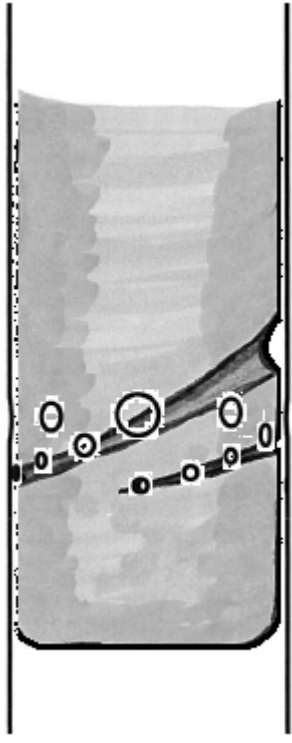
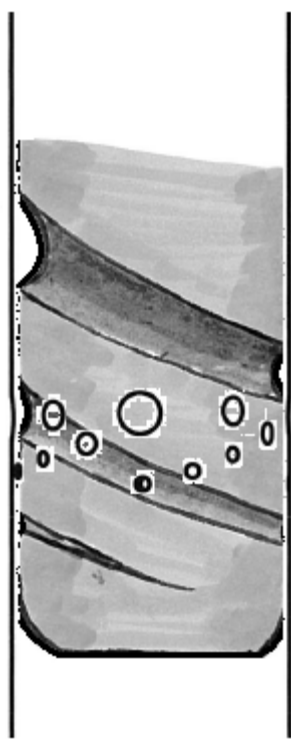
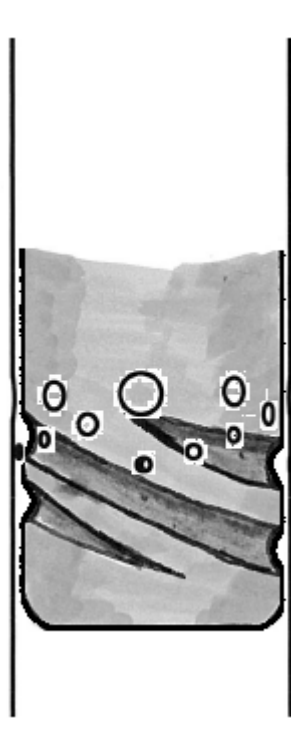
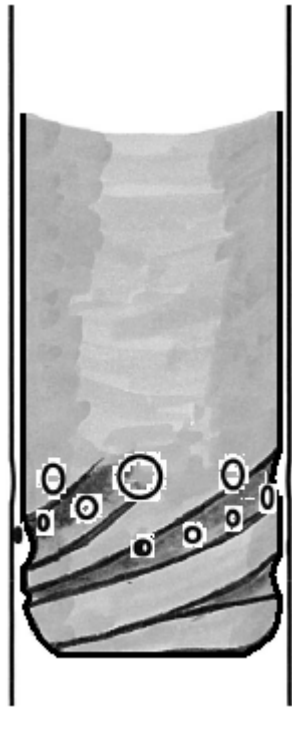
For å gjøre choken bedre erosjonsbestandig skisseres fire ulike konsepter av en plugg med skrue restriksjon. Se tabell 35.

Tabell 35: Skisser av ulike konsepter av plugger med skru restriksjon.

<p>Konsept 1</p> 	<p>Første konsept går ut på å lage to kort spor som går rundt hele skruen før flowen strømmer langs den gjenværende pluggen.</p> <p>Dette blir gjort for å minske erosjonen på skruen.</p>	<p>Konsept 2</p> 	<p>Andre konsept går ut på å lage et langt spor som går rundt hele pluggen.</p> <p>Dette blir gjort for å minske erosjonen på tetningsflateten i buret.</p>
<p>Konsept 3</p> 	<p>Tredje konsept går ut på å lage et kort og grov spor langt nede på pluggen for å la flowen langsomt få lavere flow hastighet før den strømmer over den resterende delen av pluggen.</p> <p>Dette blir gjort for å minske erosjonen på tetningsflateten i buret og på pluggen.</p>	<p>Konsept 4</p> 	<p>Fjerde konsept går ut på å lage fire kort spor nederst på pluggen for og langsomt få dempet strømningshastigheten.</p> <p>Dette blir gjort for å minske erosjonen på tetningsflateten i buret og på pluggen.</p>

For å avgjøre hvem av de ulike prinsippene som er den beste løsningen blir alle fire løsningene montert inne i chokeburet. På denne måten vil det komme frem hvordan strømmingen fra hullene vil treffe inn i sporene. Se tabell 36.

Tabell 36: Skisser av ulike konsepter av plugg med skru restriksjon innsatt i bur.

Konsept 1	Konsept 2	Konsept 3	Konsept 4
			
<p>I første konsept vil litt under halvparten av flowen fra hullene treffe sporene.</p>	<p>I andre konsept er det veldig tilfeldig hvilke hull som treffer sporet.</p>	<p>I tredje konsept er det veldig tilfeldig hvilke hull som treffer sporet.</p>	<p>I fjerde konsept vil alle de fire sporene treffe hver sitt hull rekke, og dermed vil det kun være fire av hullene som ikke strømmer rett i et spor.</p>

Ut i fra refleksjoner og vurderinger blir konsept 4 gått videre med. Dette skyldes av flowen blir fordelt ut i fire forskjellige spor og det antas at denne vil gi flowen et strømningsbilde som gir minst mulig erosjon på pluggen og buret.

6.2. Beregning av væskeflowen og innstilling av choke

En annen endringene som gjøres med FMC sin Choke i denne oppgaven er og redusert choken fra 2" til 1". Det innebærer at hele ventilen reduseres ned i størrelse. I dette avsnittet blir det beregnet hvor stor volumflow en 1" choke vil ha, kontra 2" choken, og hvilken trinn på spindelen den nye 1" choken må stå i for å kunne levere 2 m³/h og 16 m³/h. Tanken er i første omgang og bruke samme aktorator på den nye 1" som er brukt på FMC sin 2".

Det er viktig å registrere at en 1" choke vil ha en innløpsdiameter som er lavere enn 1", siden tommestørrelsen i denne sammenheng kun definerer hvilken flensstørrelse choken er kompatibel med.

Fra nå av blir den nedskalerte 2" FMC choken omtalt som FMC 1" CIV.

6.2.1. Beregning av FMC sin 2" choke

FMC sin 2" choke leverer en volumstrøm, $Q = 2 \text{ m}^3/\text{h}$ når C_v er:

$$C_v = 1331951 \times Q \times \sqrt{\frac{SG}{D_p}} = 1331951 \times \frac{2}{(60 \times 60)} \times \sqrt{\frac{0,897}{60 \times 10^5}} = 0,29$$

En C_v på 0,29 tilsvarer uti fra C_v -kurven for FMC sin 2" choke, vedlegg 9 at pluggen er løftet 1,9 mm, steg nummer 9 på vandringsen til løftesteget.

En volumstrøm, $Q = 16 \text{ m}^3/\text{h}$ tilsvarer

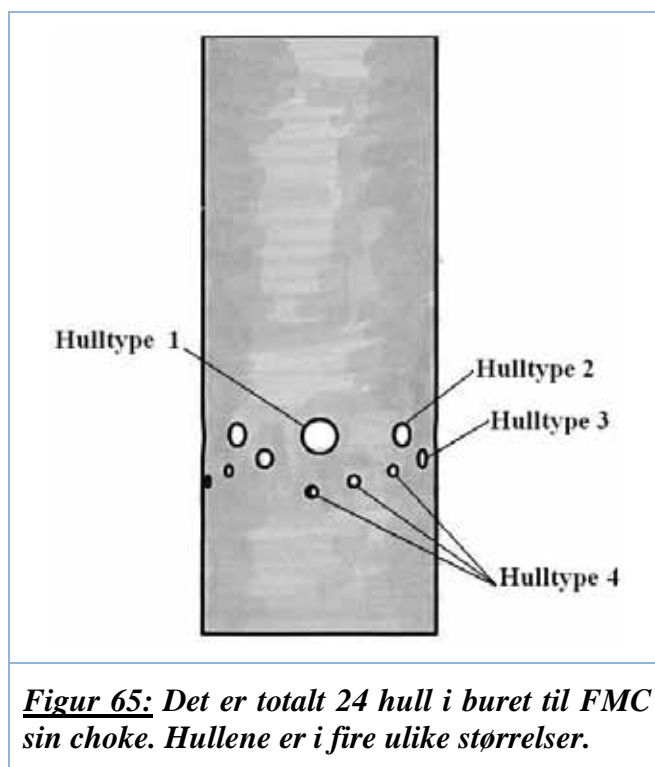
$$C_v = 1331951 \times Q \times \sqrt{\frac{SG}{D_p}} = 1331951 \times \frac{16}{(60 \times 60)} \times \sqrt{\frac{0,897}{60 \times 10^5}} = 2,29$$

En C_v på 2,29 tilsvarer ut ifra C_v -kurven for FMC sin 2" choke, vedlegg 9, at pluggen er løftet 5,9 mm, steg nummer 28 på vandringsen til løftesteget.

FMC sin 2" choke har en innløpsdiameter på 0,042672 m, som gir arealet, $A_{2-1} = 1,430131 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

Arealet, $A_{2-2} = 5,78338 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ oppnås når væska strømmer igjennom alle 24 hullene i chokens bur. For mer detaljert utregning av A_{2-2} . Se tabell 37.

Kalkuleringen videre blir gjort med hensyn på at fluiden har en densitet, $\rho = 1114,86 \text{ kg}/\text{m}^3$ og trykktapet, $\Delta p = 6 \text{ MPa}$.

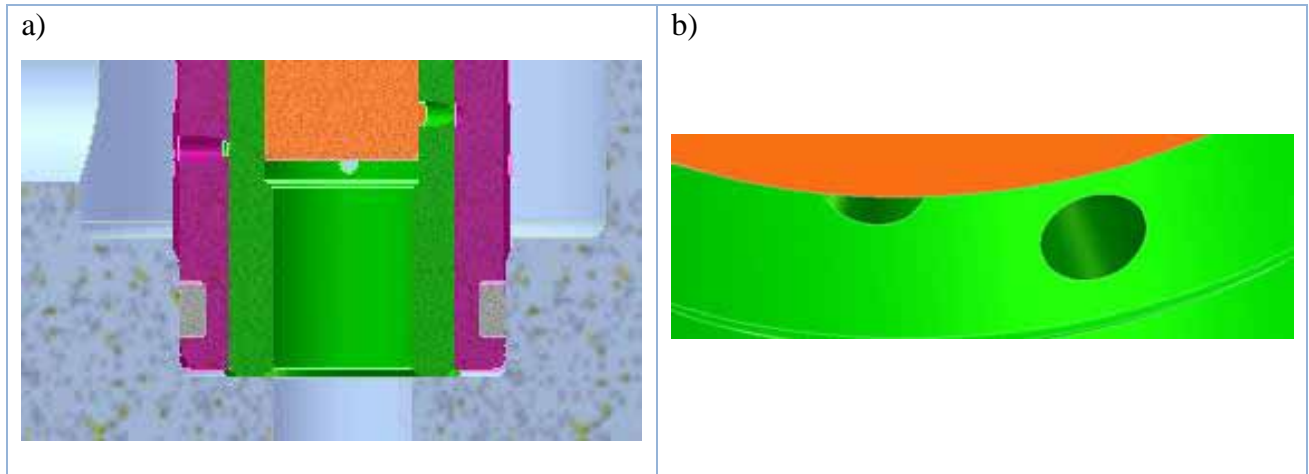


Tabell 37: Oversikt over de ulike hullene i buret på FMC sin 2" choken og beregning av A_{2-2} .

Hulltype	Diameter [m]	Antall hull	Areal [m^2]	Total areal [m^2]
1	0,009525	4	$7,12557 \times 10^{-5}$	0,000285023
2	0,006350	4	$3,16692 \times 10^{-5}$	0,000126677
3	0,004775	4	$1,79076 \times 10^{-5}$	0,000071630
4	0,003175	4x3	$7,9173 \times 10^{-6}$	0,000095008
24 hull			SUM:	0,000578338

Verifisering av Bernoullis likning

Når FMC sin 2" choke er stilt inn på volumstrøm $16 \text{ m}^3/\text{h}$, steg nummer 28 er det de fire hullene av hulltype 4 på nederste rekke åpne og fire av hullene av hulltype 4 på nestnederste rekke er ca. 36 % åpne. Se figur 66a og 66b.



Figur 66: FMC sin 2" choke innstilt på $16 \text{ m}^3/\text{h}$

- a) For å oppnå en volumstrøm på $16 \text{ m}^3/\text{h}$ vil løftesteget beveges 5,9 mm fra nullpunktet.
 b) Når FMC sin 2" choke innstilt for en volumstrøm på $16 \text{ m}^3/\text{h}$ er det fire av hulltype 4 (diameter på 9,525 mm) som er helt åpne og fire av hulltype 4 er ca. 36 % åpne.

For å verifisere at Bernoullis likning kan brukes til å beregne hvilken volumstrøm som slippes igjennom choken, kontroll regnes innstillingen FMC sin 2" choke for volumstrøm $16 \text{ m}^3/\text{h}$ ved å benyttes Bernoullis likning, uten tapsledd og kontinuitetslikningen. Siden det ikke er noen høyde forskjell utgår z-leddene i Bernoullis likning.

Bernoullis likning 4.4, uten z-leddene gir

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Formel over skrives om til

$$\frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_1 - p_2 \quad (6.1)$$

Kontinuitetslikning 4.6 skrives om til

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 \quad (6.2)$$

Den omskrevne kontinuitetslikningen, 6.2 settes inn i og den omskrevne Bernoullis likning, 6.1. Dette gir:

$$\frac{1}{2} \rho \left(\frac{A_1}{A_2} v_1 \right)^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \Delta p \quad (6.3)$$

Utvikling og dimensjonering av reguleringsventil

Som kan skrives som

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - \rho \Delta p = Dp \quad (6.4)$$

For å oppnå volumstrøm 16 m³/h de åpne hullene ha et areal A₂₋₁₆₋₂, som er 4x hulltype 4 helt åpent og 4 x hulltype 4 36 % åpent:

$$A_{2-16-2} = A \times 4 \times 1,36 = \frac{d^2 \times \rho}{4} \times 5,44 = \frac{0,003175^2 \times \rho}{4} \times 5,44 = 7,92 \times 10^{-6} \times 5,44 = 4,307 \times 10^{-5}$$

Ved å løse ut v₁ fra formel 6.4 kan hastigheten inn FMC sin 2" choke beregnes til:

$$v_{2-16-1} = \sqrt{\frac{2Dp}{\rho \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}} = \sqrt{\frac{2 \times 60 \times 10^5}{1114,86 \times \left(\frac{1,430131 \times 10^{-3}}{4,307 \times 10^{-5}} \right)^2 - 1}} = 3,13 \text{ m/s}$$

Ved å sette inn de gitte verdiene inn i den omskrevne kontinuitetslikningen, formelen 6.2, blir:

$$v_{2-16-2} = \frac{1,430131 \times 10^{-3}}{4,307 \times 10^{-4}} \times 3,13 = 113,80 \text{ m/s}$$

Volumstrømmen kan da beregnes til

$$Q_{2-16} = v \times A = 3,13 \times 1,430131 \times 10^{-3} = 0,00447 \text{ m}^3/\text{s} = 16,09 \text{ m}^3/\text{h}$$

Kontrollregningen kan bekrefte at Bernoullis likning kan brukes til å beregne hvilken volumstrøm som slippes igjennom choken. Bernoullis likning er for tapsfrie strømnings og kan egentlig ikke brukes i denne sammenheng, siden det vil være friksjonstap og tap på grunn av strømningsretnings skifte, men siden det blir gjort en overgangen fra volumstrøm og C_v-verdien kan Bernoullis likning brukes.

Maksimal strømning igjennom FMC sin 2" choke

Den gitte maksimale C_v verdi for FMC sin 2" choke er oppgitt som 22,3 i produkt data bladet, vedlegg 9. For å beregne volumstrømmen brukes formelen 4.10 omgjort. Q₂ beregnes da til å være:

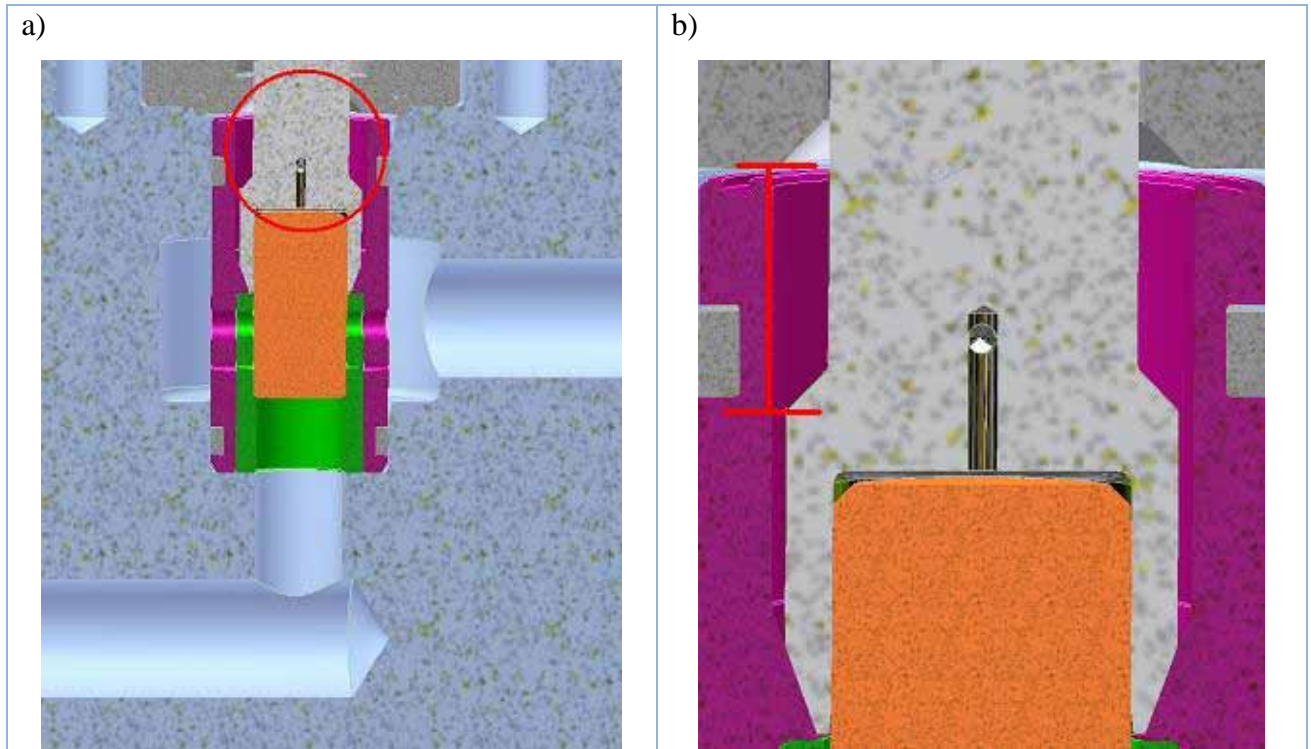
$$Q_2 = \frac{C_v}{1331951 \times \sqrt{\frac{SG}{Dp}}} = \frac{22,3}{1331951 \times \sqrt{\frac{0,897}{60 \times 10^5}}} = 0,0433 \text{ m}^3/\text{s} = 155,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

SG som brukes i formel ovenfor er beregnet til

$$SG = \frac{r_{vann}}{r_{væske}} = \frac{1000}{1114,86} = 0,897$$

Utvikling og dimensjonering av reguleringsventil

Vandringen på løftesteget til choken er kun 22 mm og dermed vil pluggen dekke for noen av hullene. Se figur 67a og 67b. Hvis løftesteget hadde hatt lengre vandring kunne choken ha gitt større volumstrøm. For å beregne hvor FMC sin 2" choke kunne ha gitt med lengre vandring beregnes volumstrøm Q_3 .



Figur 67: FMC sin 2" choke helt stengt igjen.

a) Innvendig bilde av den variable restriksjonen i FMC sin 2" choke.

b) Utsnitt av det merkede område i a. Vandringen løftesteget til FMC sin 2" choke er kun på 22 mm. Dette gir en begrensning på maksimal væskeflow på 155,9 m³/h.

For å beregne Q_3 må v_{3-1} beregnes:

$$v_{3-1} = \sqrt{\frac{2Dp}{\rho \left(\frac{A_{3-1}}{A_{3-2}} \right)^2 - 1}} = \sqrt{\frac{2 \times 60 \times 10^5}{1114,86 \times \left(\frac{1,430131 \times 10^{-3}}{5,78338 \times 10^{-4}} \right)^2 - 1}} = 45,87 \text{ m/s}$$

Ved å sette inn de gitte verdiene i kontinuitetslikningen blir:

$$v_{3-2} = \frac{1,430131 \times 10^{-3}}{5,78338 \times 10^{-4}} \times 45,87 = 113,43 \text{ m/s}$$

Volumstrømmen kan da beregnes til:

$$Q_3 = v \times A = 45,87 \times 1,430131 \times 10^{-3} = 0,65605 \text{ m}^3/\text{s} = 236,18 \text{ m}^3/\text{h}$$

Volumstrømmen, Q_3 som er beregnet for FMC sin 2" chokene gir 33 % større maksimal volumstrøm.

6.2.2. Beregning av FMC 1" CIV

FMC 1" CIV har en innløpsdiameter på 0,02133 m, som gir et areal, $A_{1-1} = 3,57533 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Når FMC 1" CIV er fullt åpen vil væska kunne strømme igjennom alle 24 hullene. Dette gir arealet, $A_{1-2} = 1,44622 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. For mer detaljert utregning av A_{1-2} . Se tabell 38. Kalkuleringen videre blir gjort med hensyn på at fluiden har en densitet, $\rho = 1114,86 \text{ kg/m}^3$ og trykktapet, $\Delta p = 60 \times 10^5 \text{ Pa}$.

Tabell 38: Oversikt over de ulike hullene i buret på den nye 1" choken og beregning av A_{1-2} .

Hulltype	Diameter [m]	Antall hull	Areal [m ²]	Total areal [m ²]
1	0,004763	4	$1,78177 \times 10^{-5}$	0,000071271
2	0,003175	4	$7,9173 \times 10^{-6}$	0,000031669
3	0,002388	4	$4,47877 \times 10^{-6}$	0,000017915
4	0,001588	4x3	$1,98057 \times 10^{-6}$	0,000023767
24 hull			SUM:	<u>0,000144622</u>

Ved å løse ut v_1 kan hastigheten inn i FMC 1" CIV beregnes til

$$v_{1-1} = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho \left(\frac{A_{1-1}}{A_{1-2}} \right)^2 - 1}} = \sqrt{\frac{2 \times 60 \times 10^5}{1114,86 \times \left(\frac{3,57533 \times 10^{-4}}{1,44622 \times 10^{-4}} \right)^2 - 1}} = 45,89 \text{ m/s}$$

Ved å sette inn de gitte verdiene i kontinuitetslikningen blir

$$v_{1-2} = \frac{3,57533 \times 10^{-4}}{1,44622 \times 10^{-4}} \times 45,89 = 113,44 \text{ m/s}$$

Volumstrømmen kan da beregnes til

$$Q_1 = v \times A = 45,89 \times 3,57533 \times 10^{-4} = 0,016407 \text{ m}^3/\text{s} = 59 \text{ m}^3/\text{h}$$

Volumstrøm, $Q = 59 \text{ m}^3/\text{h}$ tilsvarer en C_v

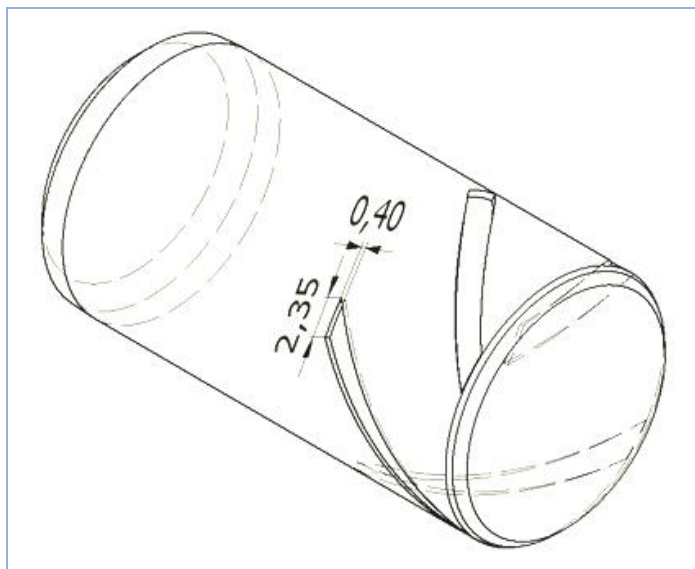
$$C_v = 1331951 \times Q \times \sqrt{\frac{SG}{\Delta p}} = 1331951 \times \frac{59}{(60 \times 60)} \times \sqrt{\frac{0,897}{60 \times 10^5}} = 8,44$$

6.3. CFD analyse av FMC 1" CIV

CFD analysen av FMC 1" CIV blir kjørt som beskrevet i 5.1 Oppsetting av CFD analysen. Inndata for væsken og partikler til CFX-Pre i fra tabell 24 vil også gjelde for simuleringene til FMC 1" CIV.

Modellen til FMC 1" CIV

FMC 1" CIV vil som tidligere nevnt i rapporten være redusert ned til halve størrelsen av FMC sin 2" choke. For å skape mindre punkt erosjon i buret og på pluggen vil det lages fire spor i pluggen, som starter med en bredde på 2,35mm og en dybde på 0,40 mm. Sporet blir grunnere mens det følger hullmønsteret som buret på FMC sin choke. Sporet ender tilslutt kant i kant på pluggkanten. Se figur xx.



Figur 68: Pluggen i FMC 1" CIV lages med fire spor som starter med en bredde på 2,35 mm og en dybde på 0,40 mm. Sporet følger samme mønster som fire av hullene i buret mens det blir grunnere. Tilslutt ende sporet opp kant i kant med pluggkanten.

Innstilling av pluggen av FMC 1" CIV for 16 m³/h og 2 m³/h

For å kunne sammenligne FMC 1" CIV opp mot den eksisterende løsningen må det kjøres CFD simulering hvor CIVen er stilt inn på 16 m³/h og 2 m³/h. For å kunne få til dette må plugg innstillingen i forhold til hullene i buret beregnes.

For å beregne hvor stort areal de åpne hullene skal danne for å kunne slippe igjennom 16 m³/h. Skrives formel 6.4 om til:

$$A_2 = \frac{A_1}{\sqrt{\frac{2Dp}{rv_1^2} + 1}} \quad (6.5)$$

Siden Q og A₁₋₁₆₋₁ er kjent kan v₁₋₁₆₋₁ beregnes

$$v_{1-16-1} = \frac{Q}{A_{1-2-1}} = \frac{16/(60 \times 60)}{3,35753 \times 10^{-4}} = 12,4308 \text{ m/s}$$

Setter verdiene inn i formel 6.5 som gir

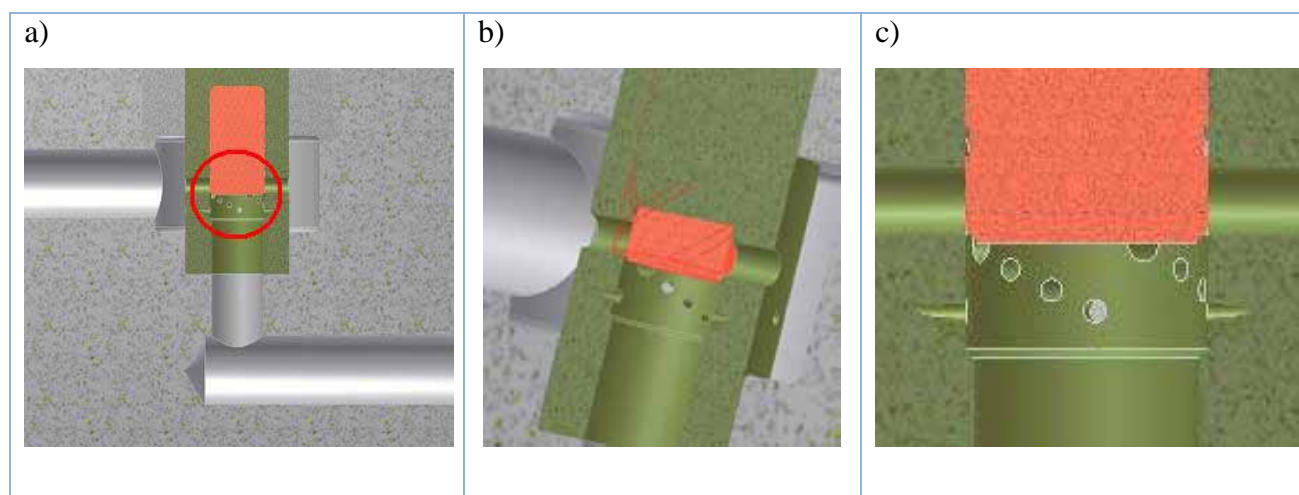
$$A_{1-16-2} = \frac{A_{1-16-1}}{\sqrt{\frac{2Dp}{rv_{1-16-1}^2} + 1}} = \frac{3,35753 \times 10^{-4}}{\sqrt{\frac{2 \times 60 \times 10^5}{1114,86 \times 12,4308^2} + 1}} = 4,25 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Utvikling og dimensjonering av reguleringsventil

For å oppnå volumstrøm $16 \text{ m}^3/\text{h}$ de åpne hullene ha et areal, $A_{1-16-2} = 4,25 \times 10^{-5} \text{ m}^2$. Dette oppnås ved å løfte pluggen $8,05 \text{ mm}$ som tilsvarer steg nummer 38 på vandringsen til løftesteget, se C_V -kurven i vedlegg 9. Se tabell 39 for detaljert info om hvor mye av de ulike hulltypene som ikke dekkes av pluggen.

Tabell 39: Oversikt over de ulike hullene i buret på FMC 1" CIV og beregning av A_{1-16-2} for volumstrøm på $16 \text{ m}^3/\text{h}$.

Hulltype	Diameter [m]	Antall hull	Areal [m^2]	Total areal [m^2]
1	0,004763	4×0,06	$1,78177 \times 10^{-5}$	0,000004276
2	0,003175	0	$7,9173 \times 10^{-6}$	-
3	0,002388	4×0,81	$4,47877 \times 10^{-6}$	0,000014511
4	0,001588	4×3	$1,98057 \times 10^{-6}$	0,000023767
			SUM:	<u>0,000042554</u>



Figur 69: a) Innvendig bilde av den variable restriksjonen til FMC 1" CIV innstilt på $16 \text{ m}^3/\text{h}$. b) Samme bilde som a fra skrå vinkel. Pluggen vist med flowsporene. c) Utsnitt av det merkede område i a. Pluggen dekker hulltype 2, 94 % av hulltype 1 og 19 % av hulltype 3.

For å beregne hvor stort areal de åpne hullene skal danne for å kunne slippe igjennom $2 \text{ m}^3/\text{h}$. Beregnes v_{1-2-1} beregnes

$$v_{1-2-1} = \frac{Q}{A_{1-2-1}} = \frac{2/(60 \times 60)}{3,35753 \times 10^{-4}} = 1,5589 \text{ m/s}$$

Setter verdiene inn i formel 6.5 som gir

$$A_{1-2-2} = \frac{A_{1-2-1}}{\sqrt{\frac{2Dp}{r v_{1-2-1}^2} + 1}} = \frac{3,35753 \times 10^{-4}}{\sqrt{\frac{2 \times 60 \times 10^5}{1114,86 \times 1,5589^2} + 1}} = 5,35 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Utvikling og dimensjonering av reguleringsventil

For å oppnå volumstrøm $2 \text{ m}^3/\text{h}$ de åpne hullene ha et areal, $A_{1-2-2} = 5,35 \times 10^{-6} \text{ m}^2$. Dette oppnås ved å løfte pluggen 2,55 mm, steg nummer 12 på vandringen til løftesteget, se C_v -kurven i vedlegg 9. Se tabell 40 for detaljert info om hvor mye av de ulike hulltypene som ikke dekkes av pluggen.

Tabell 40: Oversikt over de ulike hullene i buret på FMC 1" CIV og beregning av A_{1-2-2} .

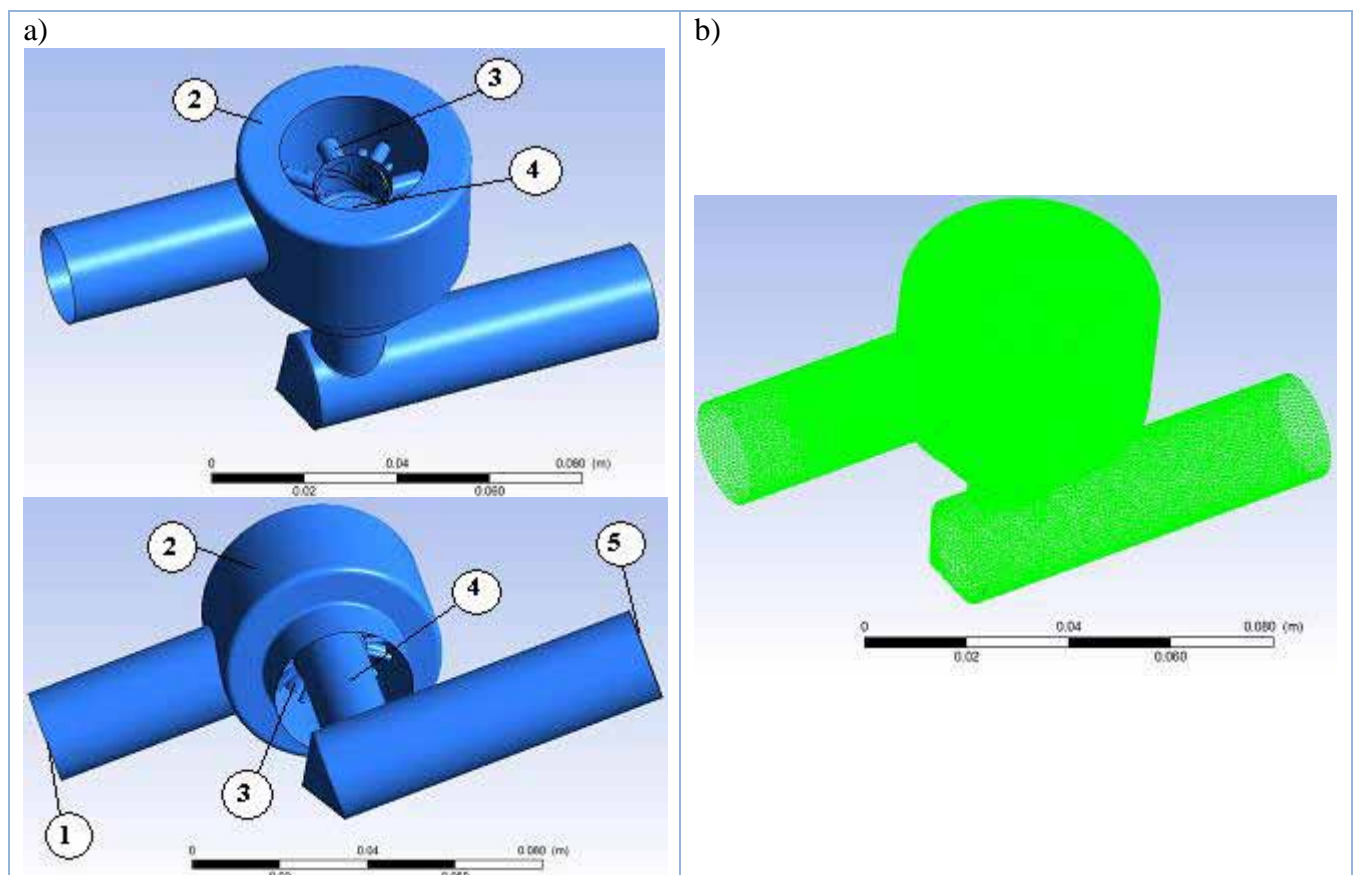
Hulltype	Diameter [m]	Antall hull	Areal [m^2]	Total areal [m^2]
1	0,004763	0	$1,78177 \times 10^{-5}$	-
2	0,003175	0	$7,9173 \times 10^{-6}$	-
3	0,002388	0	$4,47877 \times 10^{-6}$	-
4	0,001588	4×0,675	$1,98057 \times 10^{-6}$	0,000005348
			SUM:	<u>0,000005348</u>

På grunn av begrenset tid er innstillingene for FMC 1" CIV ved $16 \text{ m}^3/\text{h}$ og $2 \text{ m}^3/\text{h}$ kun beregnet, og ikke simulert. Det er derfor heller ikke beregnet hvor mye væskeflowen blir påvirket av sporene i pluggen. Innstillingene kan derfor avvike noe og ventilen kan levere for mye eller for lite volumflow.

6.3.1. FMC 1" CIV ved 2 m³/h

Tabell 41: Inndata til simulering av FMC 1" CIV, når flowen er på 2 m³/h.

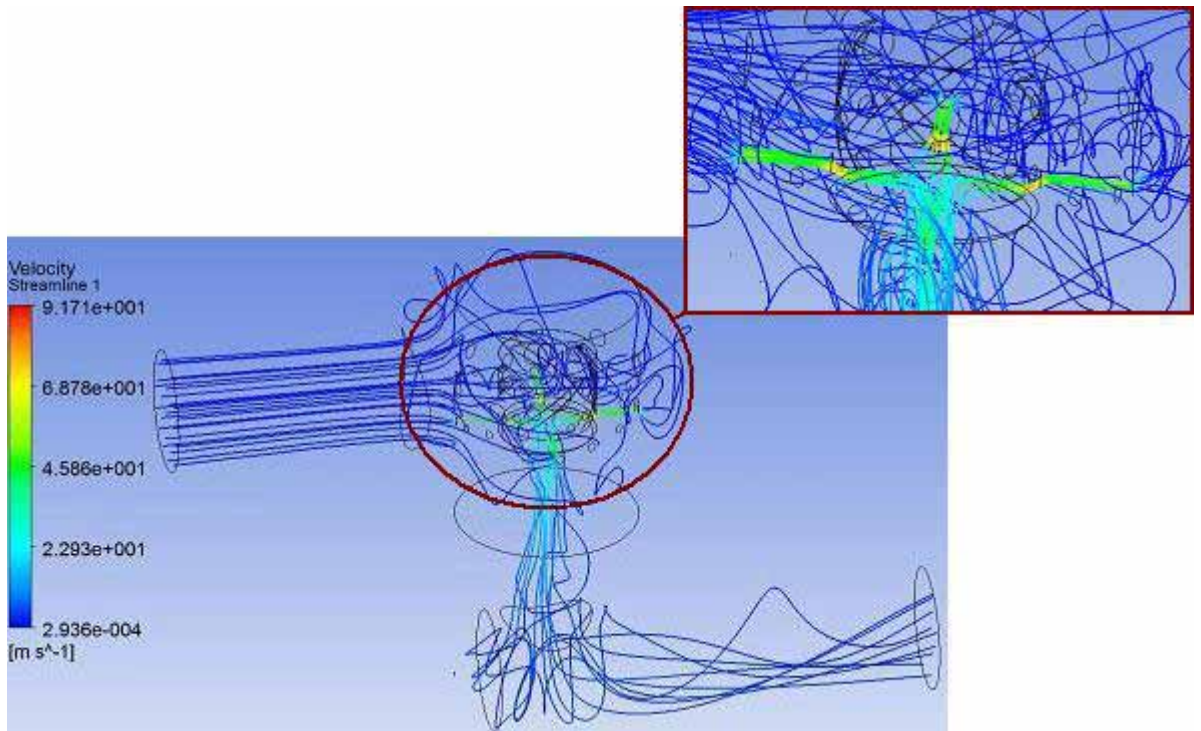
Parameter	Settpunkt	Enhet
Inngang: Volumstrøm	2,0	m ³ /h
Væske massestrøm	0,61927	kg/s
Partikkel massestrøm	0,020282	g/s
Inngang: Vækehastighet	0,155386	m/s



Figur 70: FMC 1" CIV ved 2 m³/h:

- Flowen strømmer inn gjennom inngangen (1) og ut i en ring (2) hvor flowen deler seg og strømmer videre opp gjennom den variable restriksjonen. Den variable restriksjonen er ulike hull (3) som strupes igjen av en plugg. Flowen samles igjen i et rør (4) under pluggen før den strømmer gjennom utgangen (5).
- Oversikt over meshing plotet. Det er oppbygd av 1217925 noder og 6843943 elementer.

a)



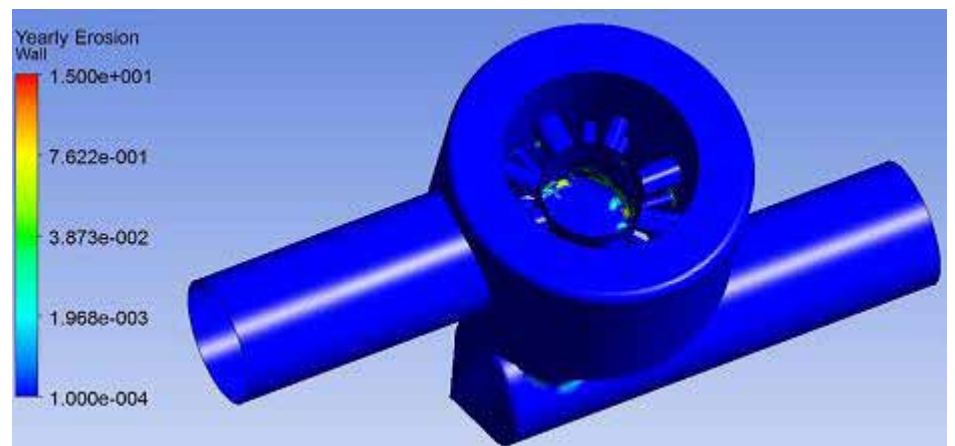
Figur 71:

a) Strømningsbilde er i gjennom FMC 1" CIV da det strømmer 2 m³/h. Gjennom den variable restriksjonen øker flowen fra 10 m/s til 70 m/s.

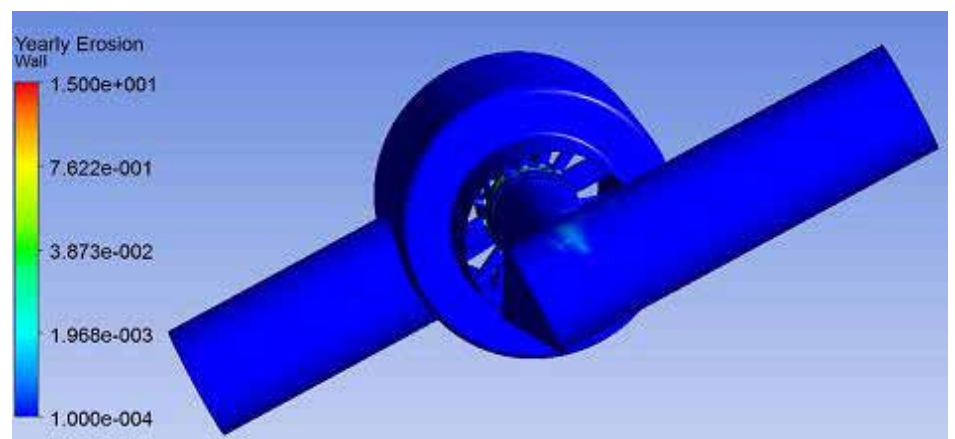
b) CIV sett oven i fra. Erosjonen er i den variable restriksjonen. Se figur 72a.

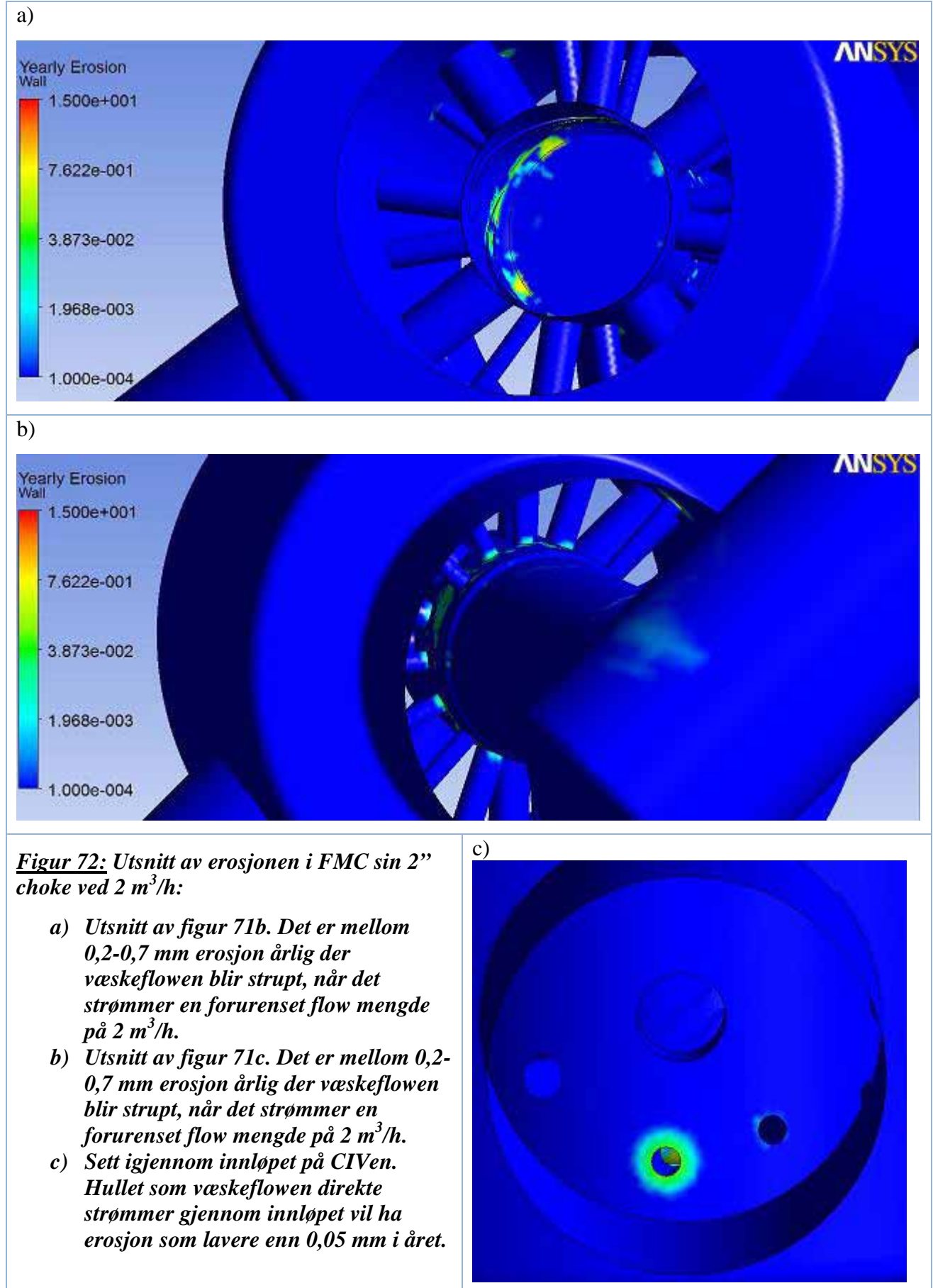
c) CIV sett under i fra. Erosjonen er i den variable restriksjonen. Se figur 72b.

b)



c)

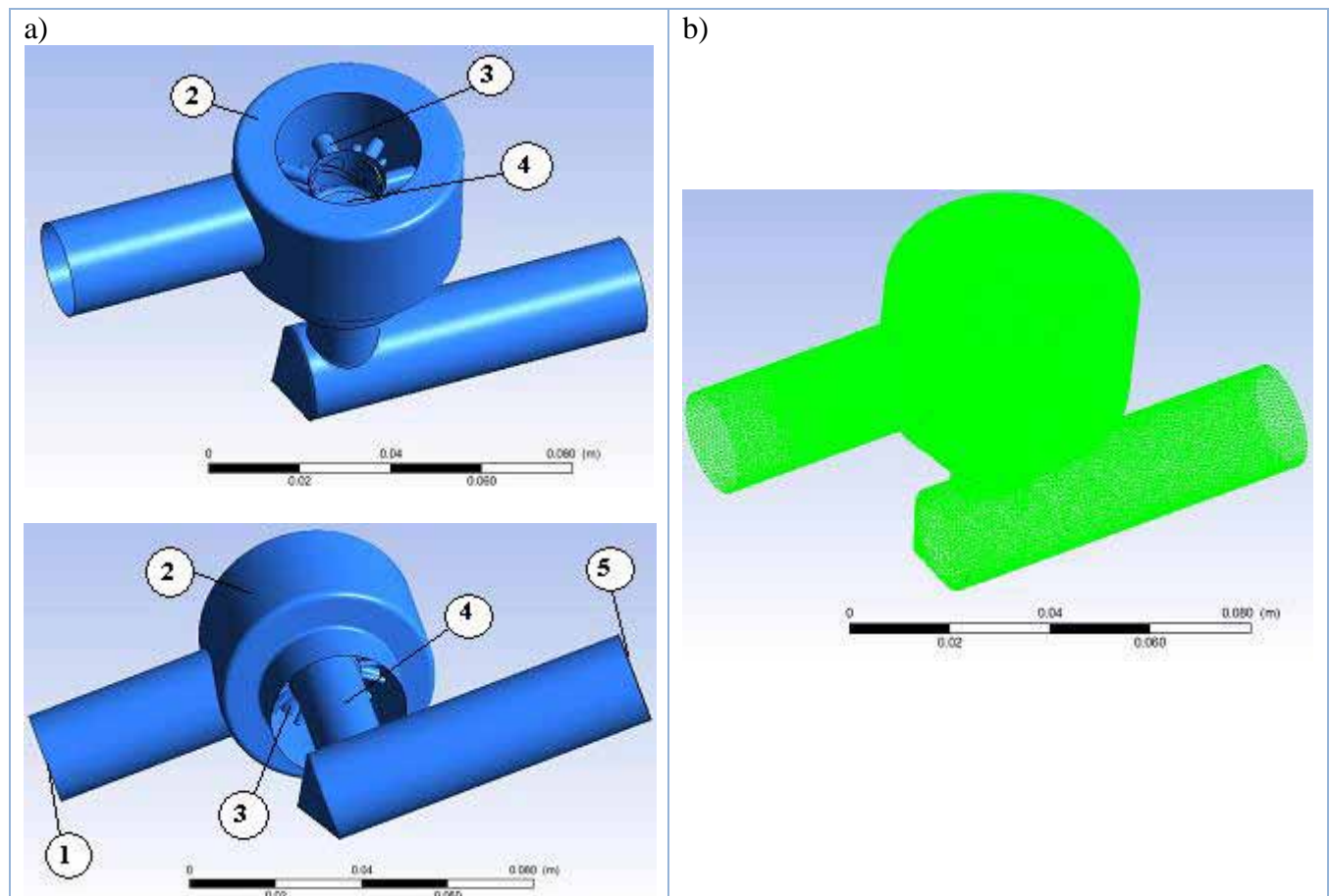




6.3.2. FMC 1" CIV ved 16 m³/h

Tabell 42: Inndata til simulering av FMC 1" CIV, når flowen er på 16 m³/h.

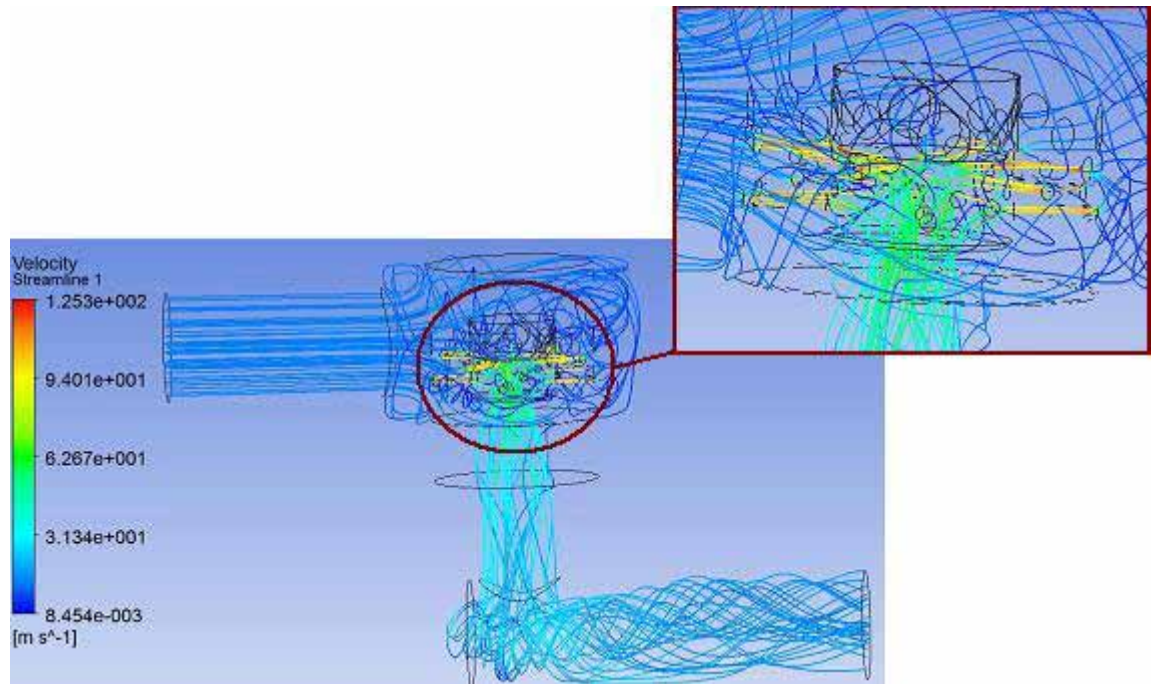
Parameter	Settpunkt	Enhet
Inngang: Volumstrøm	16,0	m ³ /h
Væske massestrøm	4,95484	kg/s
Partikkel massestrøm	0,162255	g/s
Inngang: Vækehastighet	12,43087	m/s



Figur 73: FMC 1" CIV ved 16 m³/h:

- a) *Flowen strømmer inn gjennom inngangen (1) og ut i en ring (2) hvor flowen deler seg og strømmer videre opp gjennom den variable restriksjonen. Den variable restriksjonen er ulike hull (3) som strupes igjen av en plugg. Flowen samles igjen i et rør (4) under pluggen før den strømmer gjennom utgangen (5).*
- b) *Oversikt over meshing plotet. Det er oppbygd av 678891 noder og 3780218 elementer.*

a)



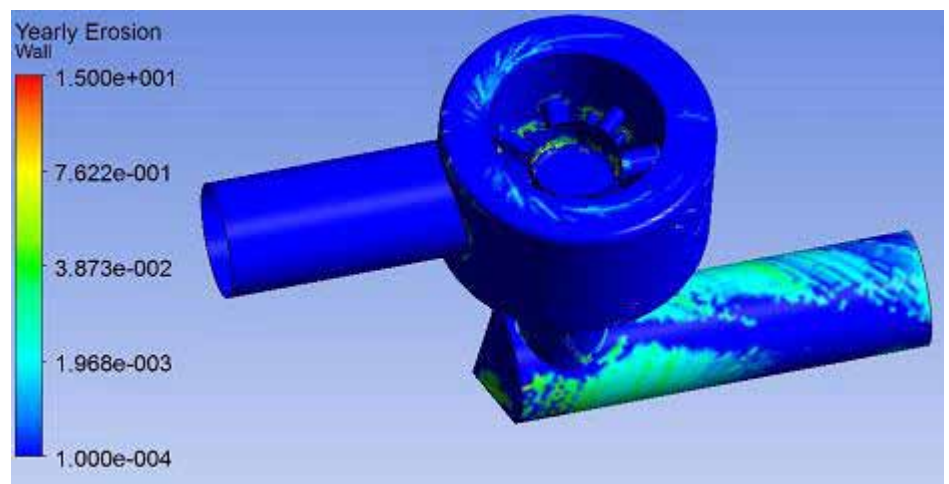
Figur 74:

a) Strømningsbilde er i gjennom FMC 1" CIV da det strømmer 16 m³/h. Gjennom den variable restriksjonen øker flowen fra 80 m/s til 120 m/s.

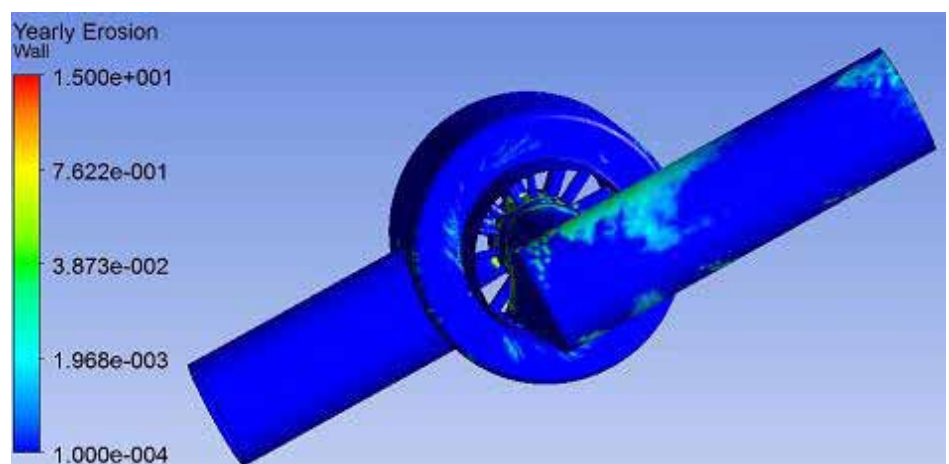
b) CIV sett oven i fra. Erosjonen er i den variable restriksjonen. Se figur 75a.

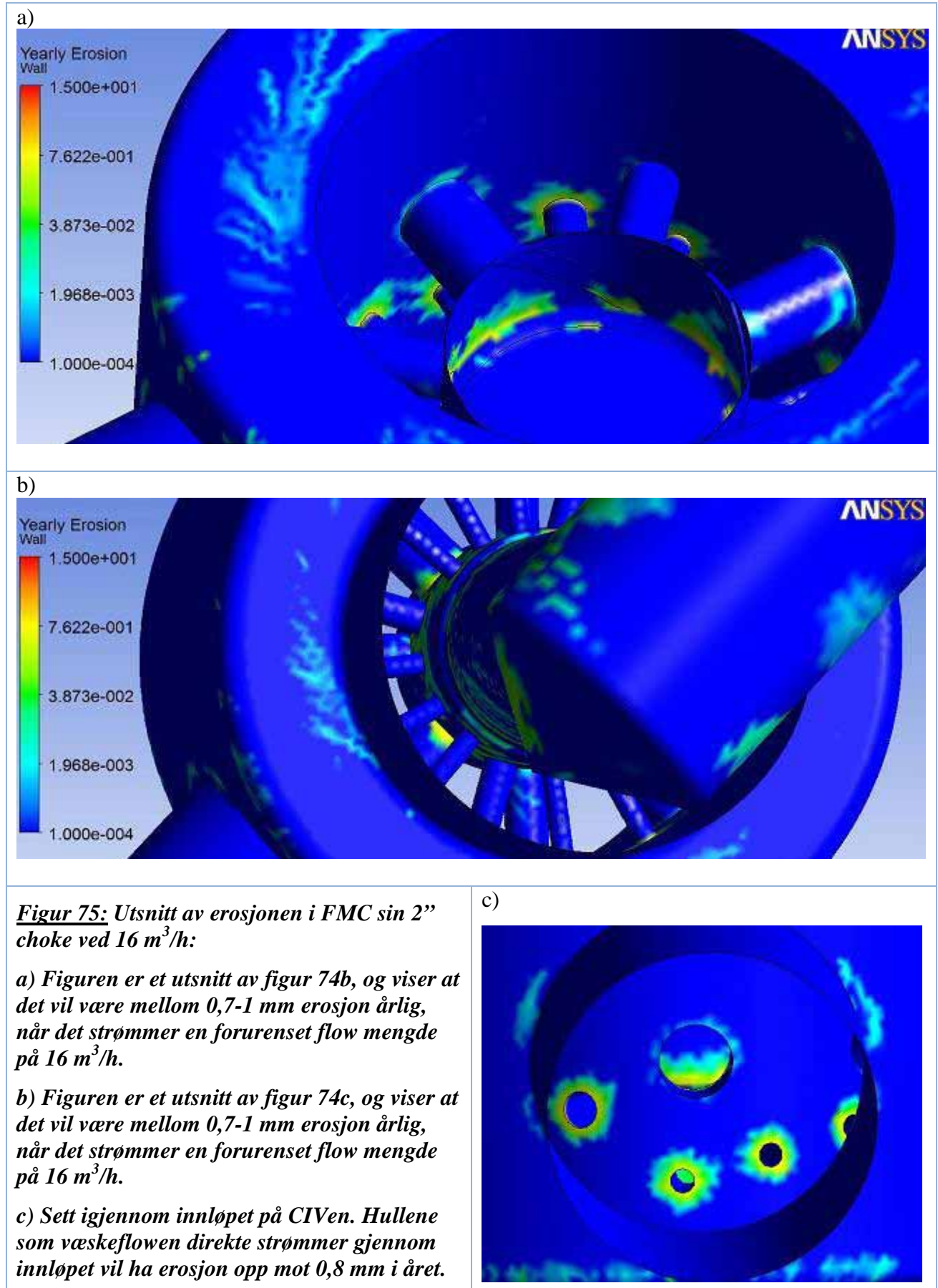
c) CIV sett under i fra. Erosjonen er i den variable restriksjonen. Se figur 75b.

b)



c)





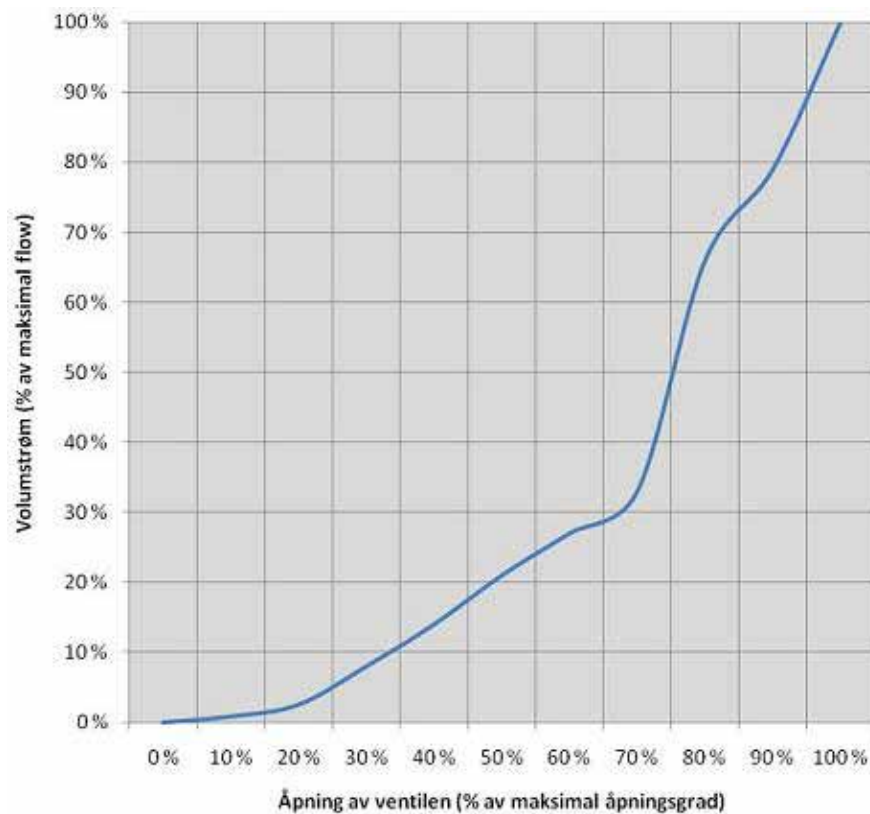
6.4. Løsningsvalg

Ved å redusere FMC sin 2" choke til 1" kan FMC 1" CIV levere en væskeflow opp til 59 m³/h ved 6 MPa trykk.

Erosjonen i FMC 1" CIV vil ved estimert 2 m³/h og 16 m³/h være på 0,2-0,7 mm og 0,7-1 mm. Dette er tilnærmede lik erosjon som var i 2" choken til FMC.

Pluggen i FMC 1" CIV vil lages med fire spor som starter med en bredde på 2,35 mm og en dybde på 0,40mm. Sporet følger samme mønster som fire små hull i buret. Sporet blir grunnere når det går mot kanten på pluggen. Se vedlegg 1-4 for mer detaljer rundt utformingen av FMC 1" CIV.

Det oppstår en del erosjonen i sporene i pluggen. Denne erosjonen avtar for erosjon i endekanten på pluggen. Erosjonen i endekanten på pluggen vil har negativ innvirkning på strømningskarakteristikken ved liten åpning av ventilen.



Figur 76: Estimert strømningskarakteristikken for FMC 1" CIV

7. KONSEPT KOSTNAD

Det har i prosessene blitt valgt å gjøre en grundig studie i alt eksisterende løsninger med hensyn på ventilkarakteristikk og erosjon. Det har derfor kun blitt sett på konseptutviklingskostnader.

Tabell 43: Kostnadstabell for konseptutvikling.

KONSEPTUTVIKLING				
Utforming og utredningsarbeid	Timer	Kvanta	Pris	Sum, NOK
1. Utredningsarbeid	230	-	650,-	149.500,-
2. Kommunikasjon	150			97.500,-
3. Formgiving og design	100	-	650,-	65.000,-
4. 3D fremstilling	80	-	650,-	52.000,-
5. Prosjektrapport	350	-	650,-	227.500,-
Sum konseptutvikling	910			<u>591.500,-</u>

8. PROSESS DRØFTING

I denne delen drøfter undertegnede prosessen og underlaget til konklusjonen.

Siden erosjons problematikken hadde blitt observert i eksisterende produkter er det valgt å gå dypere inn å drøfte de alt eksisterende løsningene enn det som var gjort i forprosjektet, og se på strømningsforholdene og erosjon i de ulike ventilprinsippene. Denne delen synes undertegnede er blitt presenter ryddig og systematisk, og bygde et godt grunnlag og forståelse av ventilenes strupningsprinsipp.

For å kunne sammenligne de ulike eksisterende løsningen opp mot hverandre, og finne svakheter og styrker de ulike ventilene har mot erosjon, ble det gjort erosjons simulering av de modellene det var mulig å få tilgang til. Dette var en lang prosess, siden det er veldig sensitiv informasjon som leverandørene ønsker ikke å dele. Roxar ønsket for eksempel ikke å dele tegninger, men aksepterte at undertegnede tegnet av 2D tegninger i et møte, og tegnet en 3D modell på bakgrunn av denne informasjonen og løpene dialog Roxar sin Subsea Manager, Rolf Wium.

Erosjons simuleringene av Camerons sine ventiler og Rotator og Roxar sine ventiler ble gjort i ANSYS CFD i samarbeid med Eirik Martin Stuland. Dette skyltes at FMC ønsket resultatene fra erosjons simuleringene raskt, for å kunne ta avgjørelser i forbindelse med prosjekter, og at undertegnede aldri hadde brukt ANSYS CFD. Undertegnede har tidligere brukt andre deler av ANSYS sin programpakke og SolidWorks CFD, som sitt arbeidsverktøy. Overgangen ble dermed ikke så stor med Eirik Martin Stuland som samarbeidspartner.

Ut i fra resultatene fra prosessen valgte undertegnede å gå videre med FMC sin 2" choke, og redesignet og nedskalert den til en 1" CIV med fire spor i pluggen.

På grunn av begrenset tid er innstillingene for FMC 1" CIV ved 16 m³/h og 2 m³/h kun beregnet og ikke simulert. Det er derfor heller ikke beregnet hvor mye væskeflowen blir påvirket av sporene i pluggen. Innstillingene kan derfor avvike noe og ventilen kan levere for mye eller for lite volumflow. Dette kan føre til at erosjonen kan bli redusert eller øke. CIV vil ha en årlig erosjon på 0,2-0,7 mm og 0,7-1 mm erosjonen årlig ved en estimert væskeflow på 2 m³/h og 16 m³/h. Undertegnede mener at avviket av erosjonen ikke kan ha for store påvirkninger siden mengde material som blir erodert bort ved 16 m³/h ikke er så mye høyere enn erosjonen ved 2 m³/h.

Undertegnede mener selv at hovedmålet er nådd ved å skape en ventil som er bedre erosjon bestandig enn konkurrentene. Ventilen antas at kan bli enda mer erosjonsbestandig om pluggen på ventilen hadde blitt laget lengre og sporene bredere. På denne måten ville det ha blitt skapt et større trykkfall og hastigheten på væsken og partiklene ville ha gått ned.

Ventilene er enda ikke blant de billigste, men de ventilene som er billigere er mindre erosjonsbestandig. Prisen som er oppgitt på ventilen er på en 5" FMC choke, og prisen vil være lavere på en 1" CIV. Andre punkter som kan belyses er prisen ved produksjon av flere antall og ved å utvikle mekaniske reguleringsenheten og styresystemet for ventilen. Dette er punkter som gjerne skulle ha vært belyst, men har blitt satt som begrensninger på grunn av tid som er til rådighet.

9. KONKLUSJON

Konklusjonen på denne masteroppgaven er at det er mulig å konstruere en 1" FMC CIV som kan bli blant markedets best erosjonsbestandige CIV. Ventilløsningen har en konkurransedyktig pris, men kan med fordel bli rimeligere. Det gjenstår fortsatt utviklingsarbeid for å utvikle en optimal CIV. Ventilen kan utvikles med innebygd flowmåler og ROV opererbar med lettere styringssystem styringssystem og mekaniske reguleringsenheten.

Fordelen er at ventilen har utgangspunkt i fra en choke som FMC har brukt 5 år på å bli kvalifisert for undervannsbruk i offshorebransjen, og dette vil bespare FMC utviklingstid av en ny CIV.

9.1. Anbefaling

Ventilen anbefales på bakgrunn av at:

- Ventilen klarer å injisere 59 m³/h væske ved differensialtrykk på 60 MPa. Det er en høy maksimal injeksjonflow.
- Det er ikke problemer med at ventilen tetter seg. Det minste hullet i ventilen er på 4,5 mm og største antatt forurensnings partikkel 0,8 mm. Når ventilen er helt strupt igjen bruker den 4,5 min på å åpne seg helt. (Ventilen bruker 4 sekunder på hvert steg)
- CIV vil ha en årlig erosjon på 0,2-0,7 mm ved en estimert væskeflow på 2 m³/h, og ved en estimert væskeflow på 16 m³/h vil erosjonen årlig være 0,7-1 mm. Dette er lavere enn noen av markedets ventiler klarer.

9.2. Videre arbeid

Det ligger fortsatt en god del arbeid for å produsere en optimal CIV.

Videre arbeid som må gjøres er:

- Utvikle den mekaniske reguleringsenheten og styresystemet for ventilen, og på den måten å gjøre CIV lettere og ROV opererbar.
- Utvikle en innebygd flowmåler til ventilen.
- Beregn reel volumflow for 1" CIV som utvikles samt kjøre flere simuleringer med ulike væsker og differensialtrykk, og fysiske erosjon- og flowtester.
- Få ned produksjonskostnaden.

10. REFERANSER

Skriftelige kilder

- (4) **Jens Grendstad**, *Reservoar and wells.pptx*, FMC Teknologi, 10.02.2011, Interndokument
- (5) **Jens Grendstad**, *Introduction to reservoir managment.pptx*, FMC Teknologi, 01.02.2011, Interndokument
- (6) **Knut Roar Braaten**, *Product Course – Chemical Injection Valves*, FMC Teknologi, 29.04.2010, Interndokument
- (7) **Jarle Johannessen**, *Tekniske tabeller*, 2002, J. W. Cappelen Forlag AS, ISBN 82-02-16822-8
- (8) **John Haugan**, *Formler og tabeller*, 1992, NIK Forlag, ISBN 82-562-2483-5
- (9) **Det Norske Veritas**, *Recommended Patrice RP O501 – Erosive Wear in Piping Systems*, DNV, Revision 4.2 – 2007
- (10) **Heidi Berg Sand**, *TMP 301 - Prosjektrapport - Heidi Berg Sand - Konfidensielt.pdf*, 01.12.2010
- (11) **Master Flo**, *FMC Presentation.pdf*, Master Flo, 15.12.2008
- (12) **David Simpson**, *High Flow CIMV Presentation Nov 2010.pdf*, Cameron, Jan. 2011
- (13) **David Simpson**, *High Flow CIMV Technical Datasheet.pdf*, Cameron, 06.11.10
- (17) **Roxar**, *Roxar subsea CIV HF – technical overview Rev 8.ppt*, Roxar, 25.01.2011
- (20) **Eirik Martin Stuland**, *RPT60066199.pdf*, FMC Teknologi, 06.12.2011, Interndokument
- (23) **Weir**, *Power & Industrial Division – RGV 1-1109*, Weir, Juli 2010
- (26) **Frode Tronrud**, *Subsea Choke Product Update Jan 20011.pdf*, FMC Teknologi, 05.01.2011, Interndokument
- (28) **FMC**, *PDS10034552-B.pdf*, FMC Teknologi, 26.04.2010, Interndokument
- (29) **FMC**, *PDS10021439-A.pdf*, FMC Teknologi, 08.12.2008, Interndokument
- (31) **Rotator**, *QTR-230666_05.pdf*, Rotator, 23.01.2009
- (32) **K. Haugen, O. Kvenvold, A. Ronold, R.Sandberg**, *Sand erosion of wear-resistant materials: Erosion in choke valves*, DNV, 1995

- (33) **Nel Technology for life**, *RPT10009027-PLUG_AND_CAGE.pdf*, FMC, 06.01.2011
- (34) **FMC**, *RPT10009027.pdf*, FMC, 06.01.2011
- (36) **Svein Lilleland**, *SPC60065579.pdf*, FMC, 23.12.2010
- (40) **Kent introl**, *Technical Bulletin T10/71/20/30-1205.pdf*, Kent introl, 21.03.2011

Nettadresser

- (1) **FMC Technologi**, *Bilde og histore*, <http://www.fmctechnologies.com/en/AboutUs/History.aspx>, 06.05.2011
- (2) **FMC Technologi**, *Historie*, <http://www.fmctechnologies.com/en/AboutUs/History/FMCtimeline.aspx>, , 06.05.2011
- (3) **FMC Technologi**, *Bilde*, <http://www.fmctechnologies.com/en/SubseaSystems/GlobalProjects/Europe/Norway/StatOilTrollO2.aspx>, 06.05.2011
- (16) **Roxar**, *Bilder*, <http://www2.emersonprocess.com/en-US/brands/roxar/controlvalves/chemicalinjectionvalves/Pages/RoxarSubseaChemicalInjectionValves.aspx>, 24.03.2011
- (22) **Rotator**, *Info*, <http://dynamic.protu.no/pictures/124/files/CTV/Datasheet%20CTV-MEG1%200408.pdf>, 25.03.2011
- (25) **SkoFlo**, *Bilde og info*, <http://www.skoflo.com/Animation/>, 06.05.2011
- (30) **Oljeindustriens Landsforening**, *Ventil karakteristikk, Bilde side 93*, <http://www.olf.no/PageFiles/1230/119%20-%20OLF%20Retningslinje%20i%20ventilteknikk.pdf?epslanguage=en>, 06.05.2011
- (35) **Statens forurensningstilsyn**, *Bilde side 25 og info side 82*, http://www.klif.no/nyheter/dokumenter/ormenlange_land_soknad061005.pdf, 06.05.2011
- (38) **Beier control valve**, *Bilder av multistage*, <http://www.controlvalves.cn/3pro.htm>, 07.04.2011
- (39) **J. Koch Associates**, *Bilder av multistage*, <http://www.jkoch.com/Hammel%20Dahl/main.htm>, 07.04.2011

Filer

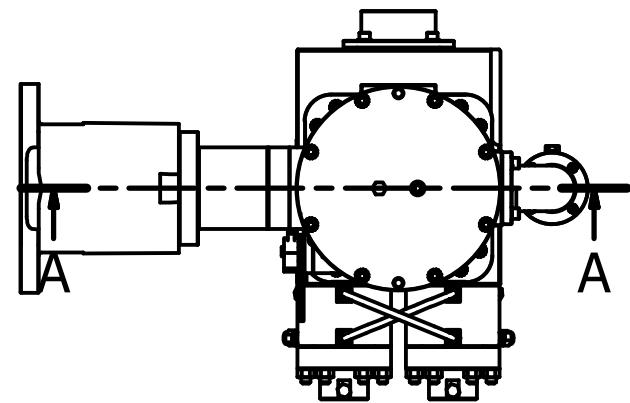
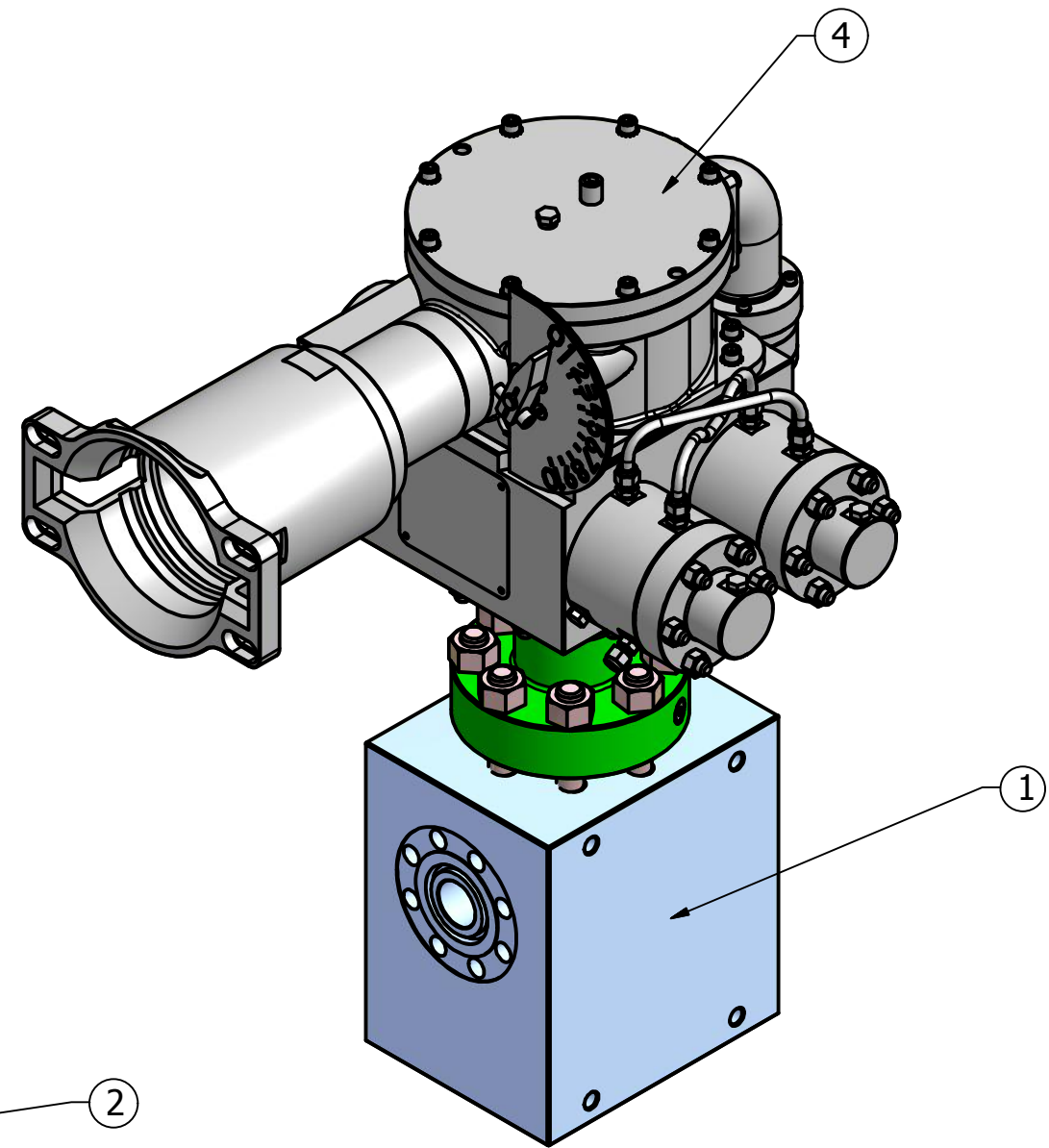
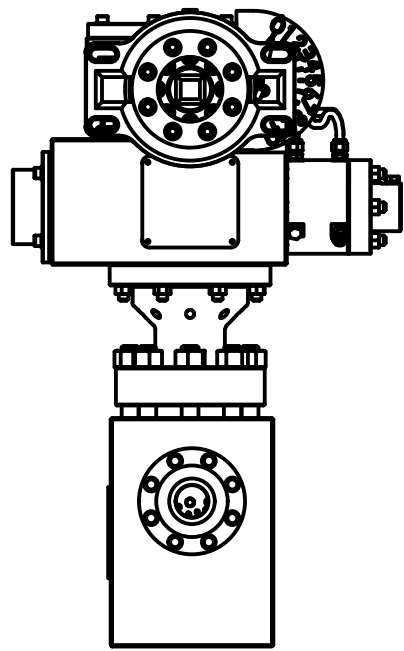
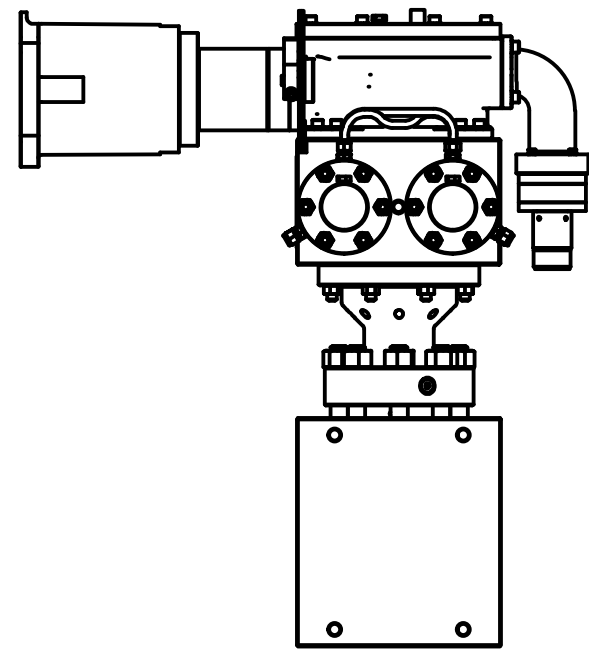
- (19) **3D modell av Roxar sin high flow ventil** (tegnet av Heidi Berg Sand på bakgrunn av Roxar sine tegninger), FMC, 31.01.20119
- (21) **3D modell av Rotator sin high flow ventil**, Rotator High Flow with receptacle.ipt, 14.01.2011
- (24) **3D modell av SkoFlo sin high flow ventil**, SkoFlo – Dual Core.stp, 16.12.2010

Personer

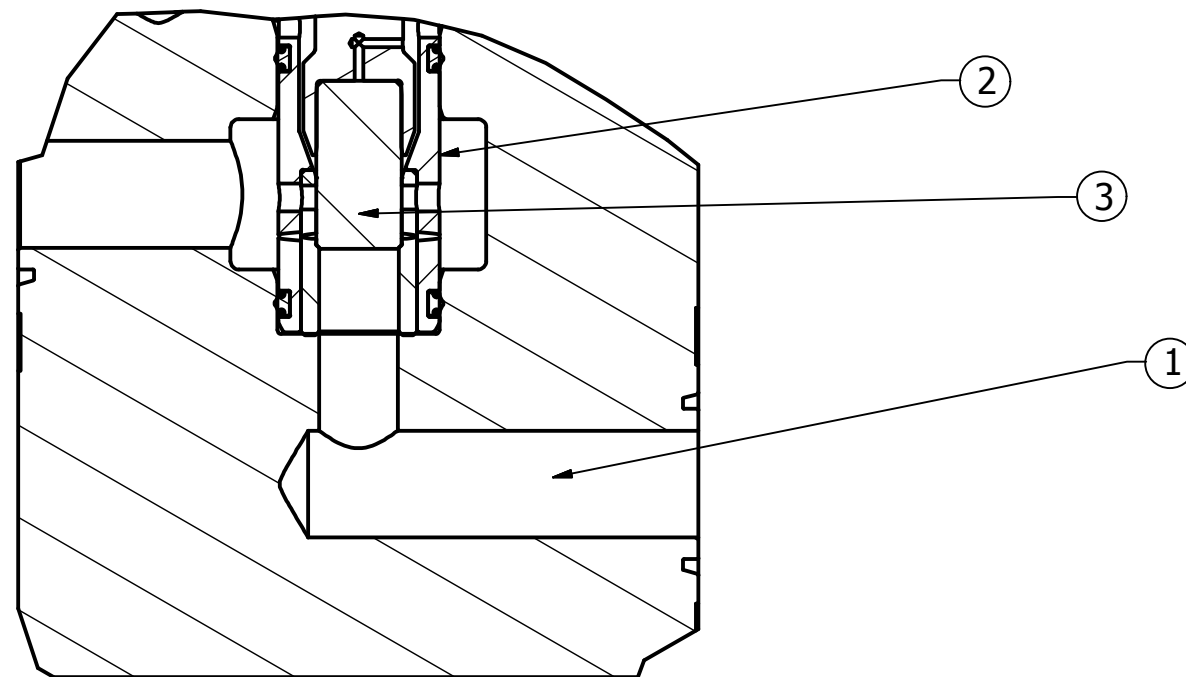
- (14) **PhD Knut Roar Braaten**, Product Manager CIV, FMC Technology, Jan. 2011- Mai 2011
- (15) **Master Trainee Thomas Eriksen**, Product Engineer CIV, FMC Technology, Jan. 2011- Mai.2011
- (18) **Rolf Wium**, Manager Subsea, Roxar, Jan 20011
- (27) **Frode Tronrud**, Product Responsible Engineer, FMC , Feb. 2011 – Mai 2011
- (37) **Svein Lilleland**, Global SME for Hydraulics, FMC, Des. 2010 – Jan. 2011

11. VEDLEGG

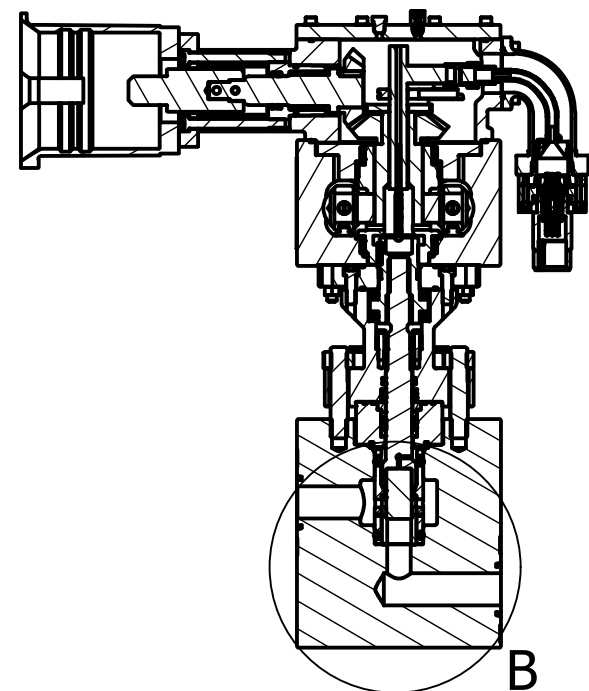
Vedleggs nummer	Vedleggs navn
1	Tegning T-001 Sammenstillingstegning
2	Tegning T-002 Konstruksjonstegning av væskeområde
3	Tegning T-003 Konstruksjonstegning av buret
4	Tegning T-004 Konstruksjonstegning av pluggen
5	Kravspesifikasjonene til de eksisterende løsningene av high flow CIV
6	F-kurven for erosjonsmotstand for alle de 25 materialene med C-stålet som referansematerial
7	SAE AS4059 Rev. E
8	NIST No's SRM 28060 datert 10/12-97
9	C _v -kurve, deler av; <i>PDS10034552-B</i> , Produkt dataarket for 2" choken



B (1 : 3)

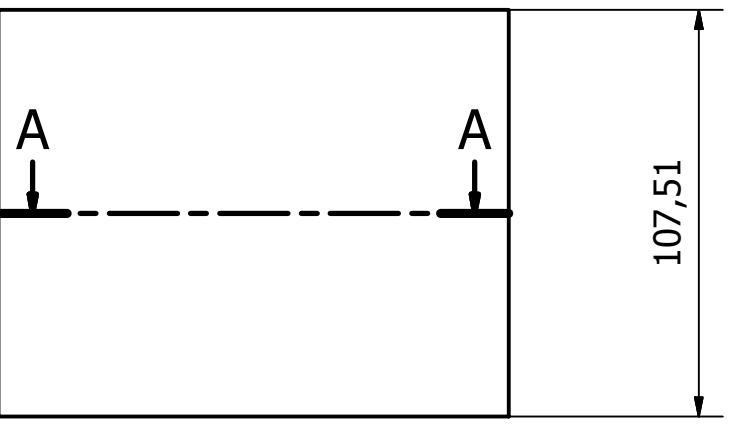
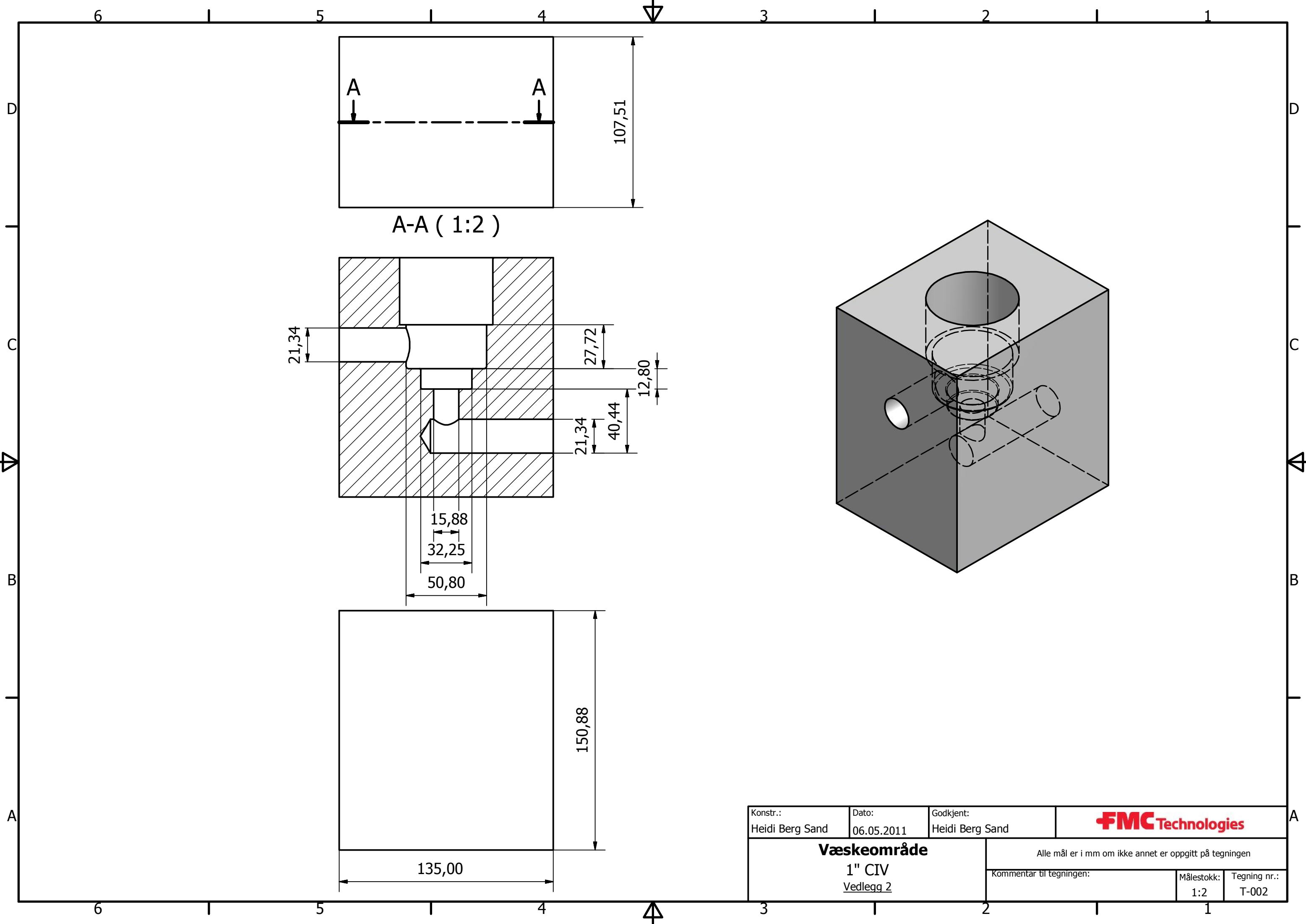


A-A (1:10)

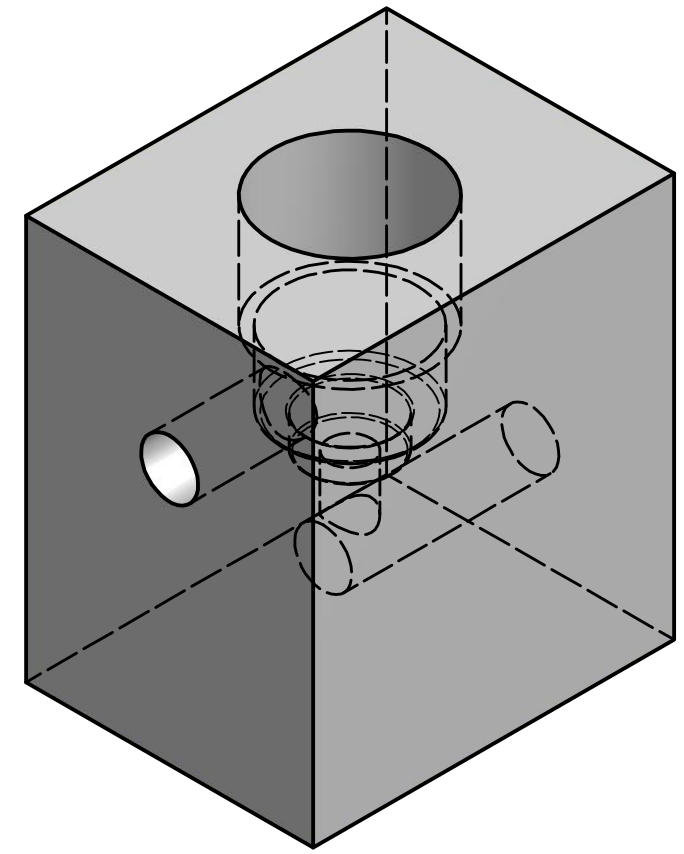
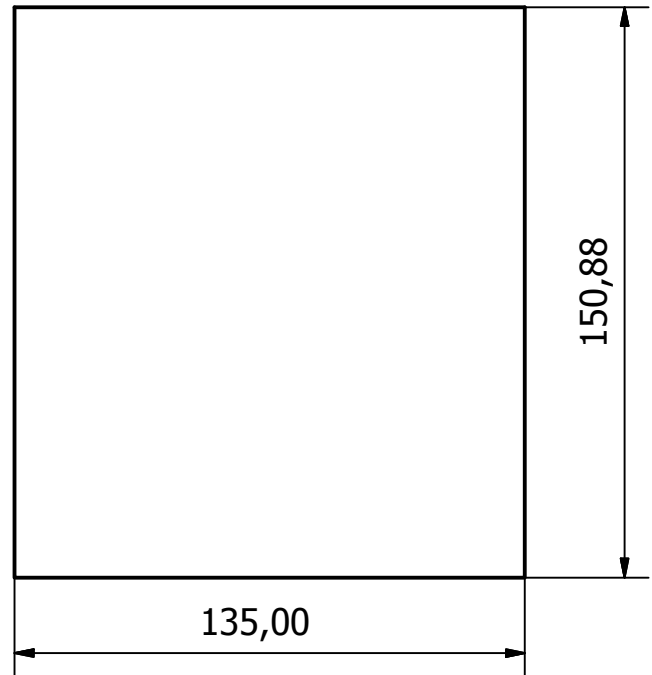
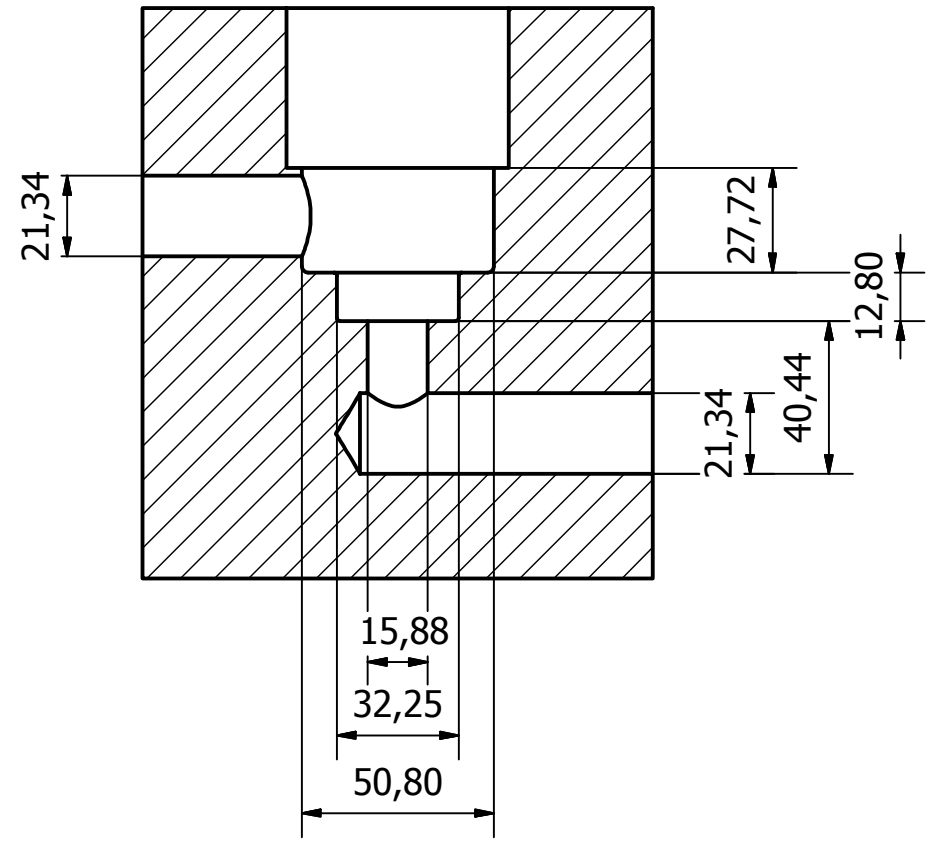


Delenummer	Delenavn	Antall	Tegning nr.
1	Væskeområde	1	T-002
2	Bur	1	T-003
3	Plug	1	T-004
4	Actuator	1	-

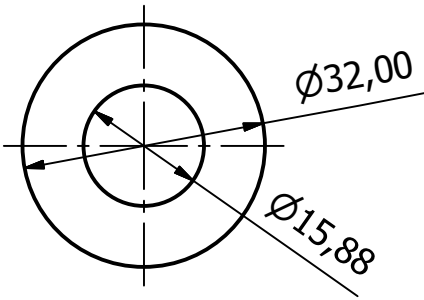
Konstr.: Heidi Berg Sand	Dato: 06.05.2011	Godkjent: Heidi Berg Sand	FMC Technologies	
Tittel: Sammenstilling 1" CIV Vedlegg 1			Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen	
			Kommentar til tegningen:	Tegning nr.: T-001
			Målestokk: 1:2	



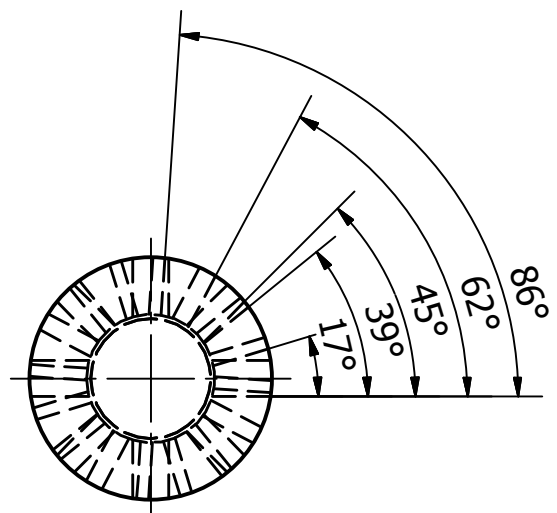
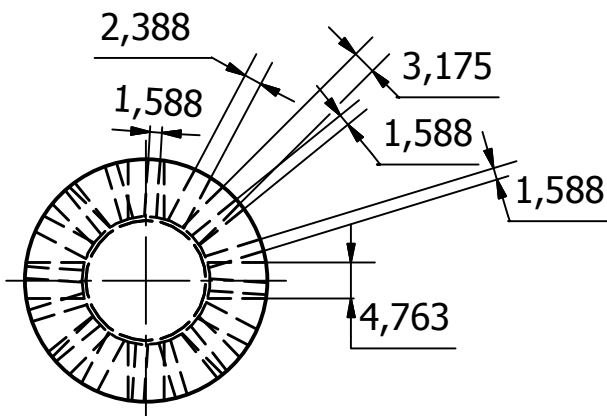
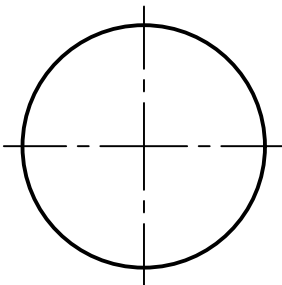
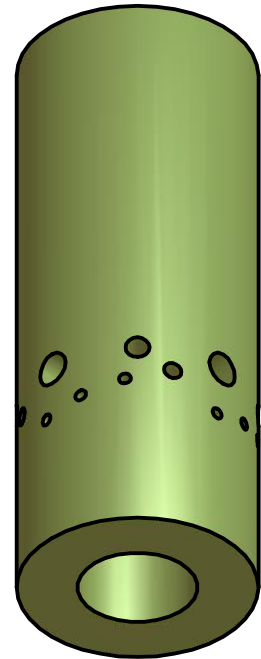
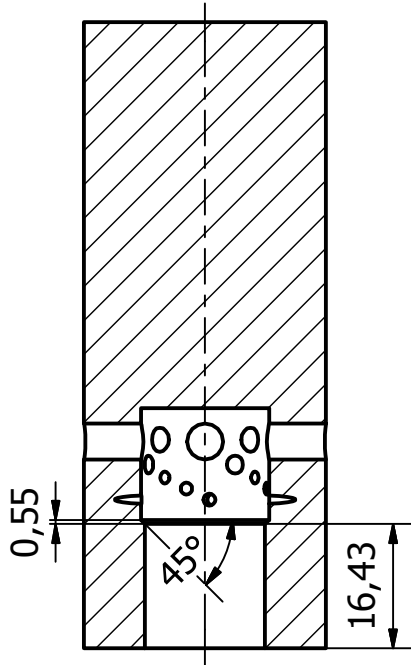
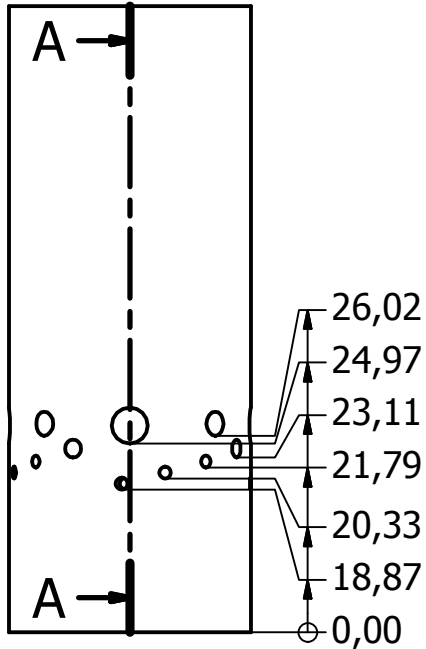
A-A (1:2)



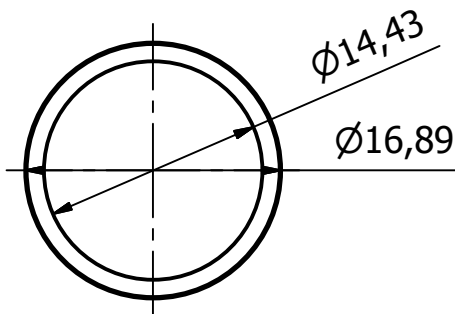
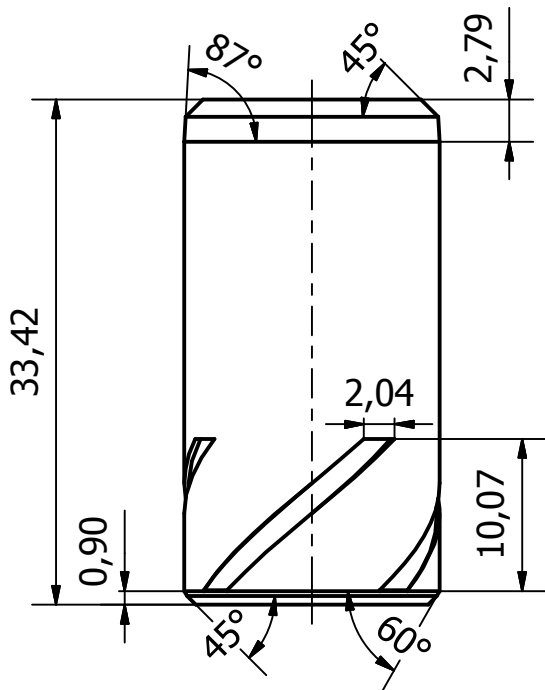
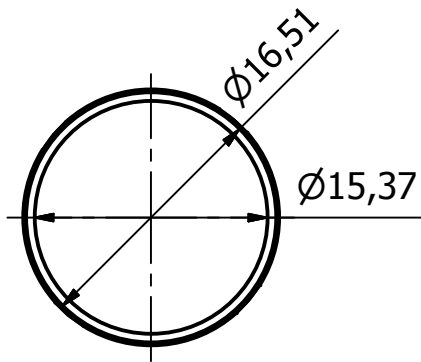
Konstr.: Heidi Berg Sand	Dato: 06.05.2011	Godkjent: Heidi Berg Sand	FMC Technologies	
Væskeområde			Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen	
1" CIV Vedlegg 2			Kommentar til tegningen:	Tegning nr.:
			Målestokk: 1:2	T-002



A-A (1 : 1)



Konstr.: Heidi Berg Sand	Dato: 06.05.2011	Godkjent: Heidi Berg Sand	FMC Technologies	
Bur CIV 1" Vedlegg 3		Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen		
Kommentar til tegningen:		Målestokk: 1:1	Tegning nr.: T-003	



Konstr.: Heidi Berg Sand	Dato: 06.05.2011	Godkjent: Heidi Berg Sand	FMC Technologies	
Tittel: Plugg 1" CIV Vedlegg: 4			Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen	
			Kommentar til tegningen:	Målestokk: 2:1
				Tegning nr.: T-004

Tabell 1: Kravspesifikasjonene til de eksisterende løsningene av high flow CIV

Beskrivelse	Leverandør						
	Cameron	Roxar	Rotator	Weir	SkoFlo	FMC sin choke	CITV forprosjektet
Strupingsmekanisme	M.O.V.	Skrue	Skrue	Skive m. hull	Sete m. nål	Plugg og bur	Sete m. nål
Cv	14,5	ukjent	ukjent	ukjent	ukjent	22,3	ukjent
Flow område [m ³ /h]	0,16-101,7	0,06-27	0,18-16	1-30	0,23-9,08	0-155,9	0-2,76
dP [bar] for flow området	60	ukjent	60	40	ukjent	60	50
Målenøyaktighet	1,5 % av ¹	5-10 % av FS ⁴	5-10 % av FS ⁴	-	5 % av FS	-	-
Strømningsmåler	Ultralyd strømningsmåler	Trykkfall over en fast restriksjon.	Trykkfall over den variabel restriksjon hvor strupingen foregår.	Har ingen strømningsmåler.	Trykkfall over en fast restriksjon.	Har ingen strømningsmåler.	-
Vekt ventil [kg]	300	100	87	800	135	317	-
Vekt receptacle [kg]	400	220	100	-	120	-	-
ROV	Nei ²	Ja ³	Ja ³	Nei	Ja ³	Nei	-
Material, ventilkroppen:	Dupleks-stål	Dupleksstål, Super dupleksstål	Dupleksstål	Super dupleksstål	Nitronic 50 og 60	Dupleksstål	-
Material, flowstruping:	WCDC-05	Keramikk, ZrO ₂ -Y ₃	Super dupleksstål	WC	Nitronic 50	WC, Inconel 718	-
Pris, NOK	1 100 000	650 000	800 000	3 000 000	850 000	900 000 ⁵	-

¹ Prosenten er av flowen som strømmer igjennom når målingen blir gjort.

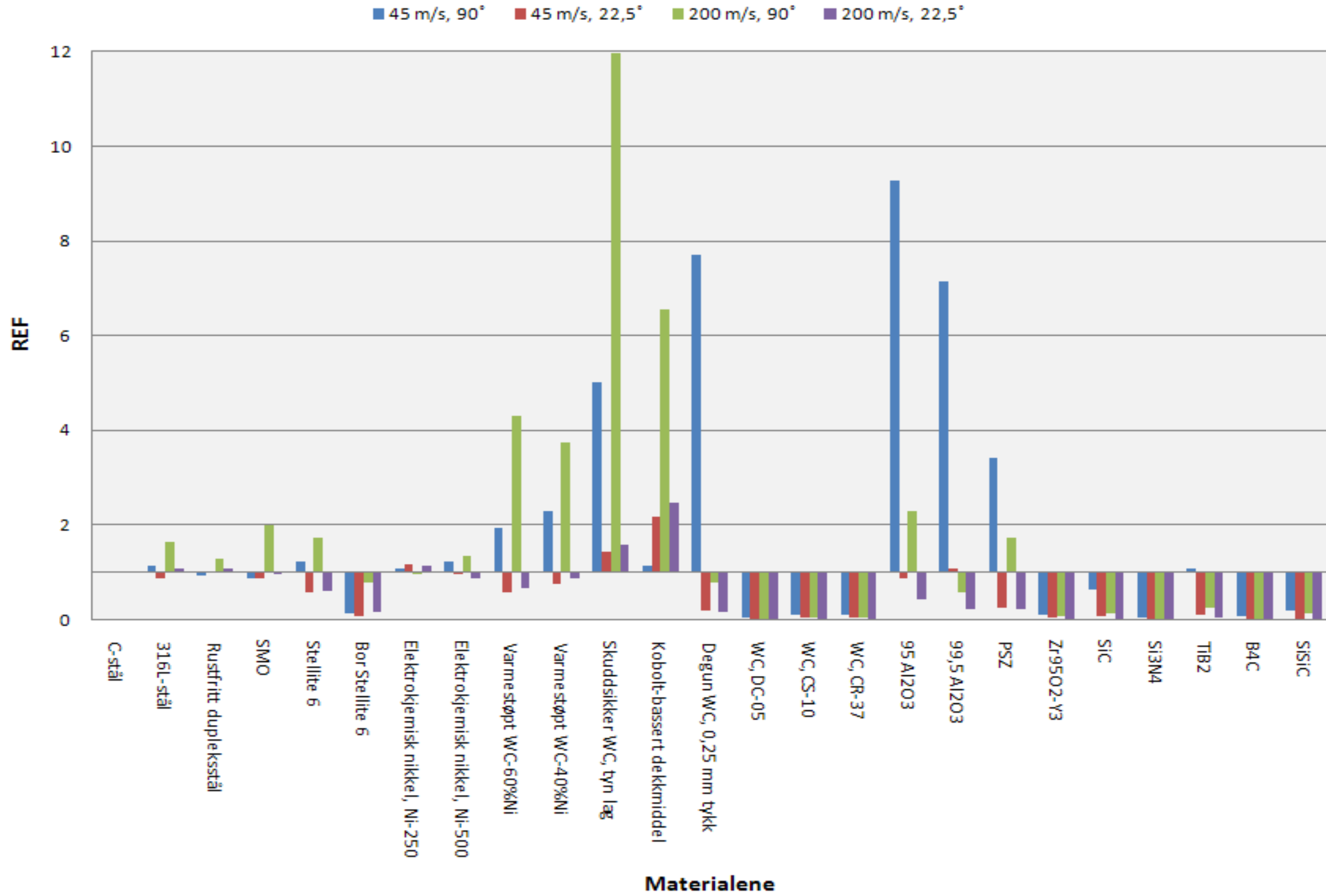
² Kan flyttes ved hjelp av vaier grunnet vekt begrensning på ROV.

³ ROV opererebar med hjelp fra oppdrift, f.eks. ballong som monteres på ventilen.

⁴ Målenøyaktigheten avhanger av hvor i flowområde målingen blir tatt.

⁵ Pris for FMC sin 5" choke. Choken er ganske nyutviklet og prisen ved større opplager og 2" er ikke tilgjengelig.

Tabell 2: F-kurven for erosjonsmotstand for alle de 25 materialene med C-stålet som referansematerial. Siden alle de andre materialene uten om C-stålet, er blitt testet med angrepvinkel på 22,5° og 90°, er ikke $F(\alpha)$ mulig å beskrive tilfredsstillende for andre materialer enn C-stål. Basert på erosjons motstanden de ulike materialene (se tabell xx i rapporten), har REF blitt definert som $REF = \text{Vekttap}_{\text{material}} / \text{Vekttap}_{\text{C-stål}}$



SAE AS4059 Rev. E Table 1 (For differential Particle Counts)(Particles per 100 ml)

(1) 5-15µm 15-25µm 25-50µm 50-100µm >100µm (3)

Classes

(2) 6-14µm(c) 14-21µm(c) 21-38µm(c) 38-70µm(c) >70µm(c)

00		125	22	4	1	0
0		250	44	8	2	0
1		500	89	16	3	1
2		1000	178	32	6	1
3		2000	356	63	11	2
4		4000	712	126	22	4
5		8000	1425	253	45	8
6		16000	2850	506	90	16
7		32000	5700	1012	180	32
8		64000	11400	2025	360	64
9		128000	22800	4050	720	128
10		256000	45600	8100	1440	256
11		512000	91200	16200	2880	512
12		1024000	182400	32400	5760	1024

SAE AS4059 Rev. E Table 2 (Cleanliness Classes for Cumulative Counts)(Particles per 100 ml)

(1) >1µm >5µm >15µm >25µm >50µm >100µm

(2) >4µm(c) >6µm(c) >14µm(c) >21µm(c) >38µm(c) >70µm(c)

Size code

A

B

C

D

E

F

Classes

000	195	76	14	3	1	0
00	390	152	27	5	1	0
0	780	304	54	10	2	0
1	1560	609	109	20	4	1
2	3120	1217	217	39	7	1
3	6250	2432	432	76	13	2
4	12500	4864	864	152	26	4
5	25000	9731	1731	306	53	8
6	50000	19462	3462	612	106	16
7	100000	38924	6924	1224	212	32
8	200000	77849	13849	2449	424	64
9	400000	155698	27698	4898	848	128
10	800000	311396	55396	9796	1696	256
11	1600000	622792	110792	19592	3392	512
12	3200000	1245584	221584	39184	6784	1024

(1) Size range, Optical microscope, based on longest dimension as measured per ARP598 or APC Calibrated per ISO 4402:1991

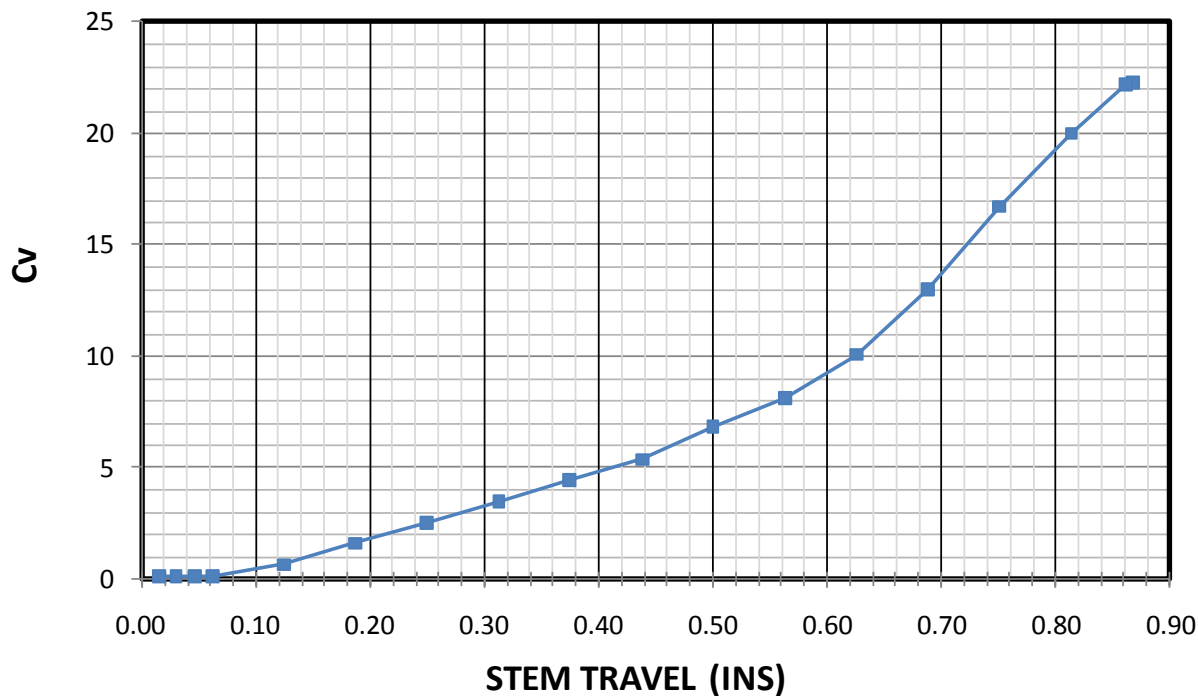
(2) Size range, APC Calibrated per ISO 11171 or Electron Microscope, based on projected area equivalent diameter.

(3) Classes and contamination limits identical to NAS 1638

Invicta AS
NorwayComplete standard available from www.sae.org

NIST No's Particle size (μm)	Concentration Levels /mL							mg/L
	2,80	3,00	1,00	0,50	2,50	5	10	
0,00								
1,00	108400,00	116142,86	38714,29	19357,14	96785,71	193571,43	387142,9	
2,00	27035,00	28966,07	9655,36	4827,68	24138,39	48276,79	96553,6	
3,00	11209,00	12009,64	4003,21	2001,61	10008,04	20016,07	40032,1	
4,00	6095,00	6530,36	2176,79	1088,39	5441,96	10883,93	21767,9	
5,00	3737,00	4003,93	1334,64	667,32	3336,61	6673,21	13346,4	
6,00	2395,00	2566,07	855,36	427,68	2138,39	4276,79	8553,6	
7,00	1573,00	1685,36	561,79	280,89	1404,46	2808,93	5617,9	
8,00	1055,00	1130,36	376,79	188,39	941,96	1883,93	3767,9	
9,00	725,80	777,64	259,21	129,61	648,04	1296,07	2592,1	
10,00	513,70	550,39	183,46	91,73	458,66	917,32	1834,6	
11,00	374,60	401,36	133,79	66,89	334,46	668,93	1337,9	
12,00	281,00	301,07	100,36	50,18	250,89	501,79	1003,6	
13,00	216,40	231,86	77,29	38,64	193,21	386,43	772,9	
14,00	170,40	182,57	60,86	30,43	152,14	304,29	608,6	
15,00	136,80	146,57	48,86	24,43	122,14	244,29	488,6	
16,00	111,30	119,25	39,75	19,88	99,38	198,75	397,5	
17,00	91,33	97,85	32,62	16,31	81,54	163,09	326,2	
18,00	75,29	80,67	26,89	13,44	67,22	134,45	268,9	
19,00	62,17	66,61	22,20	11,10	55,51	111,02	222,0	
20,00	51,35	55,02	18,34	9,17	45,85	91,70	183,4	
21,00	42,40	45,43	15,14	7,57	37,86	75,71	151,4	
22,00	35,01	37,51	12,50	6,25	31,26	62,52	125,0	
23,00	28,95	31,02	10,34	5,17	25,85	51,70	103,4	
24,00	23,99	25,70	8,57	4,28	21,42	42,84	85,7	
25,00	19,95	21,38	7,13	3,56	17,81	35,63	71,3	
26,00	16,66	17,85	5,95	2,98	14,88	29,75	59,5	
27,00	13,98	14,98	4,99	2,50	12,48	24,96	49,9	
28,00	11,80	12,64	4,21	2,11	10,54	21,07	42,1	
29,00	10,02	10,74	3,58	1,79	8,95	17,89	35,8	
30,00	8,57	9,18	3,06	1,53	7,65	15,30	30,6	
31,00	7,40	7,93	2,64	1,32	6,61	13,21	26,4	
32,00	6,40	6,86	2,29	1,14	5,71	11,43	22,9	
33,00	5,60	6,00	2,00	1,00	5,00	10,00	20,0	
34,00	4,90	5,25	1,75	0,88	4,38	8,75	17,5	
35,00	4,40	4,71	1,57	0,79	3,93	7,86	15,7	
36,00	3,90	4,18	1,39	0,70	3,48	6,96	13,9	
37,00	3,50	3,75	1,25	0,63	3,13	6,25	12,5	
38,00	3,10	3,32	1,11	0,55	2,77	5,54	11,1	
39,00	2,80	3,00	1,00	0,50	2,50	5,00	10,0	
40,00	2,60	2,79	0,93	0,46	2,32	4,64	9,3	
41,00	2,30	2,46	0,82	0,41	2,05	4,11	8,2	
42,00	2,20	2,36	0,79	0,39	1,96	3,93	7,9	
43,00	2,00	2,14	0,71	0,36	1,79	3,57	7,1	
44,00	1,80	1,93	0,64	0,32	1,61	3,21	6,4	
45,00	1,70	1,82	0,61	0,30	1,52	3,04	6,1	
46,00	1,60	1,71	0,57	0,29	1,43	2,86	5,7	
47,00	1,50	1,61	0,54	0,27	1,34	2,68	5,4	
48,00	1,40	1,50	0,50	0,25	1,25	2,50	5,0	
49,00	1,30	1,39	0,46	0,23	1,16	2,32	4,6	
50,00	1,20	1,29	0,43	0,21	1,07	2,14	4,3	

FLOW CURVE FOR F200 PLUG AND CAGE TRIM CHOKE, Cv = 22



Travel (in)	0.016	0.031	0.047	0.063	0.125	0.188	0.250	0.313	0.375
% Travel	1.8	3.6	5.4	7.3	14.4	21.7	28.8	36.1	43.3
Cv	0.15	0.16	0.16	0.18	0.68	1.63	2.56	3.52	4.45

Travel (in)	0.438	0.500	0.563	0.625	0.688	0.750	0.813	0.860	0.867
% Travel	50.5	57.7	65.0	72.1	79.4	86.5	93.8	99.2	100.0
Cv	5.39	6.83	8.15	10.1	13.0	16.7	20.0	22.2	22.3

PDS10034552 - B

Step No.	Stem Travel (in)	% Travel	Cv	Equivalent Orifice in 1/64ths	Equivalent Orifice in mm
0	0.000	0.0	0.00	0	0.0
1	0.008	1.0	0.13	0	0.0
2	0.017	1.9	0.15	0	0.0
3	0.025	2.9	0.15	0	0.0
4	0.033	3.8	0.16	0	0.0
5	0.042	4.8	0.16	0	0.0
6	0.050	5.8	0.16	0	0.0
7	0.058	6.7	0.18	0	0.0
8	0.067	7.7	0.21	0	0.0
9	0.075	8.7	0.28	0	0.0
10	0.083	9.6	0.35	0	0.2
11	0.092	10.6	0.41	3	1.2
12	0.100	11.5	0.48	5	1.9
13	0.108	12.5	0.55	6	2.5
14	0.117	13.5	0.62	8	3.0
15	0.125	14.4	0.68	9	3.5
16	0.133	15.4	0.81	10	4.0
17	0.142	16.3	0.93	11	4.3
18	0.150	17.3	1.06	12	4.7
19	0.158	18.3	1.18	13	5.0
20	0.167	19.2	1.31	14	5.4
21	0.175	20.2	1.43	14	5.7
22	0.183	21.2	1.56	15	5.9
23	0.192	22.1	1.68	15	6.1
24	0.200	23.1	1.81	16	6.3
25	0.208	24.0	1.93	16	6.5
26	0.217	25.0	2.06	17	6.7
27	0.225	26.0	2.18	17	6.8
28	0.233	26.9	2.31	18	7.1
29	0.242	27.9	2.43	18	7.3
30	0.250	28.8	2.56	19	7.5
31	0.258	29.8	2.69	20	7.7
32	0.267	30.8	2.81	20	8.0
33	0.275	31.7	2.94	21	8.2
34	0.283	32.7	3.07	21	8.4

PDS10034552 - B

Step No.	Stem Travel (in)	% Travel	Cv	Equivalent Orifice in 1/64ths	Equivalent Orifice in mm
35	0.292	33.7	3.19	22	8.6
36	0.300	34.6	3.32	22	8.7
37	0.308	35.6	3.45	22	8.8
38	0.317	36.5	3.57	23	9.0
39	0.325	37.5	3.70	23	9.2
40	0.333	38.5	3.82	23	9.3
41	0.342	39.4	3.95	24	9.5
42	0.350	40.4	4.07	24	9.6
43	0.358	41.3	4.20	25	9.8
44	0.367	42.3	4.32	25	10.0
45	0.375	43.3	4.45	26	10.1
46	0.383	44.2	4.57	26	10.3
47	0.392	45.2	4.70	26	10.5
48	0.400	46.2	4.82	27	10.6
49	0.408	47.1	4.94	27	10.8
50	0.417	48.1	5.07	27	10.9
51	0.425	49.0	5.19	28	11.0
52	0.433	50.0	5.32	28	11.2
53	0.442	51.0	5.47	29	11.3
54	0.450	51.9	5.66	29	11.5
55	0.458	52.9	5.86	29	11.7
56	0.467	53.8	6.05	30	11.9
57	0.475	54.8	6.25	30	12.1
58	0.483	55.8	6.44	31	12.3
59	0.492	56.7	6.64	31	12.5
60	0.500	57.7	6.83	32	12.7
61	0.508	58.7	7.00	32	12.8
62	0.517	59.6	7.18	33	13.0
63	0.525	60.6	7.35	33	13.3
64	0.533	61.5	7.53	34	13.4
65	0.542	62.5	7.70	34	13.6
66	0.550	63.5	7.88	35	13.8
67	0.558	64.4	8.05	35	14.0
68	0.567	65.4	8.26	36	14.1
69	0.575	66.3	8.52	36	14.4
70	0.583	67.3	8.78	37	14.6
71	0.592	68.3	9.04	38	14.9

PDS10034552 - B

Step No.	Stem Travel (in)	% Travel	Cv	Equivalent Orifice in 1/64ths	Equivalent Orifice in mm
72	0.600	69.2	9.30	38	15.2
73	0.608	70.2	9.56	39	15.4
74	0.617	71.2	9.82	39	15.6
75	0.625	72.1	10.1	40	15.9
76	0.633	73.1	10.5	41	16.1
77	0.642	74.0	10.9	41	16.4
78	0.650	75.0	11.2	42	16.6
79	0.658	76.0	11.6	43	17.0
80	0.667	76.9	12.0	44	17.3
81	0.675	77.9	12.4	45	17.7
82	0.683	78.8	12.8	46	18.1
83	0.692	79.8	13.2	47	18.5
84	0.700	80.8	13.7	48	18.9
85	0.708	81.7	14.2	49	19.4
86	0.717	82.7	14.7	50	19.8
87	0.725	83.7	15.2	51	20.2
88	0.733	84.6	15.7	52	20.6
89	0.742	85.6	16.2	53	21.0
90	0.750	86.5	16.7	54	21.4
91	0.758	87.5	17.1	55	21.8
92	0.767	88.5	17.6	56	22.2
93	0.775	89.4	18.0	57	22.5
94	0.783	90.4	18.4	58	22.9
95	0.792	91.3	18.9	59	23.3
96	0.800	92.3	19.3	60	23.7
97	0.808	93.3	19.7	60	24.0
98	0.817	94.2	20.1	61	24.3
99	0.825	95.2	20.5	62	24.6
100	0.833	96.2	20.9	63	25.0
101	0.842	97.1	21.3	64	25.2
102	0.850	98.1	21.7	64	25.5
103	0.858	99.0	22.1	65	25.8
104	0.867	100.0	22.3	66	26.0