

Kristian Lyckander

Ammoniakk som energibærer i ombygd forbrenningsmotor.

Temperatursimulering av dobbeltrør og GVU

Bacheloroppgave i Bachelor Maskin ingeniør-Industriell design

Veileder: Per Harald Ninive

Mai 2022

Kristian Lyckander

Ammoniakk som energibærer i ombygd forbrenningsmotor.

Temperatursimulering av dobbeltrør og GVU

Bacheloroppgave i Bachelor Maskin ingeniør-Industriell design
Veileder: Per Harald Ninive
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

Ammoniakk som energibærer i ombygd forbrenningsmotor

Temperatursimulering av dobbeltrør og GVU

Kristian Lyckander

Gradering: Åpen

Bachelor i ingeniørfag - Maskin
Innlevert: 20. mai 2022
Veileder: Per Harald Ninive

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

Oppgavens tittel:	Dato: 20.05-2022		
Ammoniakk som energibærer i ombygd forbrenningsmotor. Temperatursimulering av dobbeltrør og GVU	Antall sider: 61		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn: Kristian Lyckander			
Veileder: Per Harald Ninive			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Egil Hystad, Wartsila Norge. Fredrik Lindfors, Wartsila Finland			

Sammendrag:

I dette prosjektet har jeg 3D modellert et parti av det eksterne gass-tilførsel systemet slik det vil bli konstruert på Demo 2000 prosjektet på Stord, der det vil gjennomføres en testkjøring med ammoniakk, metan, og diesel som brennstoff på en 4-takt forbrenningsmotor type Wartsila 6L34DF, med planlagt oppstart Juni 2022.

Grunnlaget for oppgaven var i hovedsak at deler av ammoniakken kan kondensere i det eksterne tilførsel systemet, i hovedsak i røret, og at kondensert ammoniakk kan gå videre til brennstoff system på motor.

Det er gjennomført ulike temperatursimuleringer av systemet som viser temperaturutviklingen til gass, luft og materialer under en oppstart, når systemet er kaldt. Systemet er type rør i rør, med mekanisk ventilasjon i det ytre røret. Temperatursimulering av ventilasjon i det ytre røret er inkludert i prosjektet.

Dersom man skal forvarme systemet ved oppstart på metan, lokaliserte jeg den mest egnete plasseringen for en eventuell lav temp temperatur giver T1 i systemet, og hvor lang tid det vil ta å varme opp det indre systemet tilstrekkelig før man kan gå over til ammoniakk uten fare for kondensering, med hensyn til til oppgitte betingelser og parametre

Dersom systemet isoleres med 40mm rockwool og forvarmes med den eksisterende ventilasjonen, har jeg funnet hvor lang tid det vil ta å forvarme systemet, og en hensiktsmessig plassering av en lav temperatur giver T2, med hensyn til oppgitte betingelser og parametre. T1 og T2 sensorer kan eventuelt plasseres på Demo 2000 for videre kontroll.

Stikkord:

Ammoniakk
Temperatur simulering
Demo 2000

(sign.

Forord

Denne rapporten er utarbeidet i forbindelse med bachelor oppgave maskin, 3 år ved NTNU Gjøvik, våren 2022. Rapporten tar for seg prosjektets ulike faser og vei mot målet, drøfting av resultater, og konklusjon.

Prosjektets oppdragsgiver er Wartsila Norge AS. Wartsila er en leverandør av løsninger for kraftforsyning til marine og energimarkedene. Wartsilas hovedaktivitet i Norge er utvikling og salg av fremdriftssystemer, elektro og automasjonssystemer og navigasjonssystemer for skip og offshoreinstallasjoner.

Jeg vil rette en takk til CSS gruppen for hjelp til kjøring av simulering. Jeg vil også takke veileder ved NTNU, Per Harald Nivene, samt kontaktperson ved Wartsila Finland, Fredrik Lindfors for informasjon og hjelp til tekniske spørsmål.

Florø, 20. mai 2022

Kristian Lyckander

Abstract

In this project, I have 3D modelled a part of the external gas system as it will be constructed at the Demo 2000 project at Stord Sustainable katapult centre, during the upcoming full scale test of running a 4 stroke combustion engine type Wartsila 6L34DF on ammonia gas with diesel as pilot fuel, start June 2022.

The purpose of this project has been to investigate some of the available solutions to reduce the possibility of condensation of the ammonia gas in the external system during a start up of the engine.

The method that has been used during the investigation has been to perform temperature simulations of the gas and ventilation within the selected system boundaries related to gas consumption and engine load.

If the system should be pre heated with a start on Methane, with a load increase «recommended gas and diesel, warm engine» at $t=0 - 300$ s, and a load of 100% after $t= 300$ s, I found a proper location for eventually integrating a low temp temperature sensor T1 in the system, and how much time it will take to preheat the system with methane before it is safe to change over to ammonia gas without risk of condensation, with respect to listed boundary conditions.

If the system is insulated with 40mm rockwool and preheated with the existing ventilation, I have found how much time it will take to reach a temperature when its safe to start on ammonia, and a proper location for placing a low temp temperature sensor T2 in the system with respect to listed boundary conditions.

T1 and T2 sensors can eventually be placed at the Demo 2000 for further investigation and realibility

Innholdsfortegnelse

Innhold

Forord	iv
Abstract	v
Innholdsfortegnelse	vi
Tabelliste	x
1 Innledning.....	1
1.1 Organisering av rapporten	1
1.1.1 Ammoniakk som energibærer i ombygd forbrenningsmotor.....	1
1.1.2 Problemstilling	2
1.1.3 Prosjektmål.....	2
1.1.4 Omfang og avgrensning	3
1.1.5 Mål og mottaker	3
1.1.6 Faglig bakgrunn.....	4
1.1.7 Arbeidsformer	4
1.1.8 Terminologi og enheter i alfabetisk rekkefølge	5
2 Teori	7
2.1 Termodynamikk.....	7
3 Case	10
3.1 Dobbeltrør og GVU generelt	10
3.1.1 GVU og dobbeltrørets funksjon	10
3.1.2 Systemgrenser	14
4 Metode.....	23
4.1 Flytskjema over arbeidsmetode	23
4.1.1 3D modellering av system A-C ved hjelp av DAK.....	24
4.1.2 Ammoniakk.....	26
4.1.3 Metan.....	28
4.1.4 Blandingsforhold, motorens pådrag og brennverdier.....	29
4.1.5 Dobbeltrørets temperaturutvikling, testsimuleringer 1-5	31
4.1.6 Parameter setting og formål med hver fase av simuleringene	33
5 Resultater.....	35

5.1	Testsimuleringer 1-5. L rør =1000mm	35
5.1.1	Oppstart med Ammoniakk, intern.....	35
5.1.2	Oppstart med Metan, intern.....	39
5.1.3	Forvarming med ventilasjon uisolert, intern	40
5.1.4	Forvarming via ventilasjon, 20 mm isolasjon,ekstern.....	43
5.1.5	Forvarming ventilasjon med isolasjon på tid, ekstern.....	44
5.2	Simuleringer av eksisterende system.....	45
5.2.1	Systemgrense A-C Oppstart med metan, ventilasjon u/varme.....	45
5.2.2	Systemgrense A-C Forvarming med ventilasjon uisolert	50
5.2.3	Systemgrense A-C Forvarming med ventilasjon	52
6	Diskusjon og analyse.....	56
6.1	Resultater fra utvalgte simuleringer	56
6.1.1	Resultater fra test simuleringer	56
6.1.2	Resultater fra simuleringer av eksisterende system	57
7	Konklusjon	58
	Litteraturliste	59
	Referanser.....	59

Figurliste

Figur 1, av dobbeltrøret snitt som viser varmeutviklingen.	7
Figur 2, snitt av dobbeltrøret som viser varmeutviklingen.	7
Figur 3, snitt av dobbeltrøret som viser varmeutviklingen.	8
Figur 4, Generell oversikt som viser GVU, tankområde og motor.	10
Figur 5, GVU «enclosed design»	11
Figur 6, GVU størrelser for 4-takt motorer.	12
Figur 7, GVU og motor systemoversikt, detalj. (Wartsila, 2020).....	13
Figur 8, Oversikt over leverte og bestilte GVU «enclosed design» til type fartøy.....	14
Figur 9, Fuel system som det vil bli montert på Demo 2000.	14
Figur 10, Dobbeltør.	15
Figur 11 ,forhold mellom global og local mesh som er satt.....	16
Figur 12, Fullstendig oversikt over dobbeltør slik det vil bli montert på Demo 2000.	17
Figur 13, Ferdig modell som viser fysisk systemgrense innenfor domenet.....	18
Figur 14, Trykk simulering for å vise systemets funksjon.....	18
Figur 15, Mesh	19
Figur 16, System A1-B1.....	19
Figur 17, GVU DN80 ED Main flow diagram.....	20
Figur 18, Minimum trykk ved innløp GVU	20
Figur 19, Størrelsen på rommet som er inkludert.	21
Figur 20, System grense A-C	21
Figur 21, Et mer realistisk bilde på ulike temperaturkilder i et typisk maskinrom.....	22
Figur 22, 3D modell systemgrense . A1 – C (+D ,utløp ventilasjon).....	24
Figur 23, «Exploded view» og snitt som viser innvendig geometri GVU.....	25
Figur 24, utsnitt av tegning fra sammenstilling.....	25
Figur 25.Fasediagram ammoniakk.	26
Figur 26, Amagat diagram for ammoniakk.....	26
Figur 27, . fasediagram metan.	28
Figur 28, W34DF loading curve	29
Figur 29, Setpunkt ammoniakk parameter	30
Figur 30, Setpunkt metan parameter	31
Figur 31 oversikt over målepunkt plassering og plan 1 og 2.	32
Figur 32, trykk/luftmengde for vifte.	34
Figur 33, Temperaturutvikling etter 5,62 s	36
Figur 34, Temperaturutvikling etter 5,62 s	36
Figur 35, Temperaturutvikling etter 1,16 s	36
Figur 36, Temperaturutvikling etter 1,16 sek.....	37
Figur 37. Snitt av røret “Volume fraction ammonia” c ved t=1,16 s	37
Figur 38. Snitt av røret “Volume fraction ammonia” ved t=1,13 s.....	37
Figur 39, snitt av dobbeltør, som viser temperatur på metan gass i DN80 rør etter t = 2,88 s39	
Figur 40, snitt av dobbeltør, som viser temperatur på luften i DN 125 rør ved t=0,06 s.....	40
Figur 41, Snitt av plan 1.Temperaturer etter 300 sek.....	40

Figur 42, Høyeste temperatur på DN 80 rør er 27,7 C etter 300 sek.	41
Figur 43, temperatur begge rør etter 300 sek.	41
Figur 44, temperatur ved slutt simulering	43
Figur 45, temperatur luft ved slutt simulering.....	44
Figur 46, luft temp t=8 s, Skala 5-50°C	44
Figur 47, Material temp t=8 s, skala 5-7°C	44
Figur 48, Temperaturutvikling på indre rør og komponenter, samt gass og luft t=300 s	46
Figur 49, Temperaturutvikling på indre rør og komponenter, samt gass og luft t=1800 s	46
Figur 50, Temperaturutvikling på indre rør og komponenter, t=1800 s	47
Figur 51, Det kaldeste området, t=1800 s	47
Figur 52 , t=2100 s	48
Figur 53 t=3000 s	48
Figur 54, Temperaturutvikling på indre rør og komponenter.	50
Figur 55, Temperaturutvikling på ytre rør og kapsel uisolert	51
Figur 56, snitt av System isolert med Rockwool 40mm isolasjon.	52
Figur 57 ,Luftens temperatur etter 100 sekunder	53
Figur 58 ,Luftens temperatur etter 782 sekunder	53
Figur 59, material temperatur etter 782 sekunder	54
Figur 60 , material temperatur etter 782 sekunder	54

Tabelliste

Parameter simulering 1.....	35
Parameter simulering 2.....	39
Parameter simulering 3.....	40
Parameter simulering 4.....	43
Parameter simulering 5.....	44
Parameter simulering 6.....	45
Parameter simulering 7.....	50
Parameter simulering 8.....	52
Varmetap isolert/uisolert.....	55

1 Innledning

1.1 Organisering av rapporten

1.1.1 Ammoniakk som energibærer i ombygd forbrenningsmotor

Wartsila skal starte fullskala testing av ammoniakk drift på en forbrenningsmotor type 6L34DF på «Sustainable energy katapult centre på Stord». Testingen skal startes i Juni 2022 (Wartsila, 2020).

Dette vil bli verdens første langtidstest av ammoniakk som drivstoff i en marin 4- takts forbrenningsmotor, og regnes som et viktig skritt mot karbonfri skipsfart. Testingen gjennomføres i nært samarbeid med Knutsen OAS shipping , Repsol og Sustainable energy katapult centre. Testingen er muliggjort av et tilskudd på 20 millioner NOK fra Norges forskningsråd, gjennom Demo 2000 programmet (Wartsila, 2020). Wartsila har bidratt med 80millioner NOK. (Wartsila, u.d.)

Ammoniakk (NH_3) er en fargeløs gass som har et høyt innhold av hydrogen og er egnet som energibærer. Som en del av «Det grønne skiftet» er det planlagt å ta i bruk ammoniakk som drivstoff til fremdrift av skip (Hofstad, 2021).

Ammoniakk kan ikke brukes som energibærer alene i forbrenningsmotor. Det vil mikses med diesel eller biodiesel for å antenne. Under testingen vil det testes ulike blandingsforhold mellom diesel, ammoniakk og biogass. Videre vil det gjennomføres et blandingsforhold på Diesel 10%, Ammoniakk 90%. (Wartsila, u.d.)

Wartsila har allerede undersøkt hvordan ammoniakk kan benyttes som et fremtidig karbonfritt brensel gjennom ZEEDS-initiativet, og startet sine første forbrenningstester med ammoniakk i testlaboratoriet i Vasa, Finland, vinter 2020 (Wartsila, 2020).

1.1.2 Problemstilling

GVU, (Gas valve unit) før konvensjonell forbrenningsmotor er et eksisterende produkt Wartsila har brukt til multifuel motorer tidligere. Nå skal den brukes til ammoniakk drift. GVU brukes i dette tilfellet til å blande forholdet mellom ammoniakk gass og metangass før blandingen går videre inn på motor. Planen er å gradvis gå over til blandingsforhold ammoniakk, 90 % / Diesel 10%.

Under Teams møte med Wartsila, gjennomført den 10.10.21 mellom Kristian Lyckander (NTNU), Egil Hystad (Wartsila Norge) og Fredrik Lindfors (Wartsila Finland), ble det opplyst om at det kan oppstå kondens i dobbeltrøret under ammoniakk drift.

Det er særlig i tilfeller når røret er kaldt, eksempelvis ved oppstart av motor at det kan forekomme kondens innvendig i gass rør, ved at noe av ammoniakken kjøles ned langs røret, og da kondenserer fra gass til væske, som kan gå videre til fuel system på motor.

På Demo 2000 vil det være tilgang på metan gass, som har vært mye brukt tidligere. Et alternativ er å starte opp på metan gass (som har en helt annen skala på fase diagram) for å forvarme systemet før man går over til ammoniakk.

Det ytterste røret, som er sveiset til GVU kapsel (DN 125) er i vanlig karbonstål, og det kan oppstå ordinær kondens fra luften i røret over tid, og dette kan føre til korrosjon på karbonstålet. I DN 125 røret er det mekanisk ventilasjon med luft.

I dette prosjektet er det kondenseringen av ammoniakk i DN 80 røret det fokuseres på. Det vil da involvere ventilasjonen i DN 125 røret ettersom luft temperaturen påvirker temperaturen på DN 80 røret.

1.1.3 Prosjektmål

Prosjektmålet er å 3D modellere en del av det eksterne gass systemet til motor på Demo2000 prosjektet på Stord, i et scenario man har tilgang på diesel, metan og ammoniakk. Videre gjennomføre flow simuleringer som viser temperaturutviklingen på gass, luft, og materialer i systemet ved en oppstart av motor.

- Dersom man ved simulering forsøker å provosere frem en kondensering med ammoniakk: Hvor i systemet har temperaturen på ammoniakken falt tilstrekkelig til at den vil begynne å kondensere i henhold til fase diagram? Er det mulig å identifisere selve kondenseringen og nøyaktig mengde med simulering eller når det er forhold for kondensering?
- Dersom man skal forvarme systemet med å starte opp på metan, med en belastning på motor ved oppstart, i hht product guide, «recommended gas and diesel, warm engine», i perioden $t=0$ s til $t=300$ s og videre 100% belastning etter $t=300$ s hvor lang tid tar det å forvarme systemet slik at man kan gå over til ammoniakk uten fare for kondensering, og hvor er det kaldeste området, som kan være best egnet å plassere en temperaturgiver, eksempelvis lav temp alarm T1?

- Dersom man skal ha konstant forvarme på systemet med varme på eksisterende ventilasjon i dobbeltrøret, hvordan er temperaturutviklingen på oppvarmingen med hensyn til tiden, og hvor kan man plassere en eventuell temperaturgiver lav temp T2?

1.1.4 Omfang og avgrensning

Dette prosjektet er basert på mottatt informasjon fra Wartsila, med en del begrensninger i forhold til konfidensiell informasjon i forhold til design. 3D modellering er basert på en modell fra Wartsila som har en del forenklinger i forhold til realiteten.

De modellerte komponentene internt i GVU har dermed noen vesentlige avvik og mangler, som riktig godstykkelse, interne komponenter mangler, gjenger på muffen til givere, overflatekrav og toleranser på aktuelle anleggsflater som skal tette. Med tanke på formålet komponentene har i dette prosjektet, er det i hovedsak de manglende indre komponentene og avvik på godstykkelse som vil føre til merkbare avvik, med hensyn til på strømming gjennom systemet, og oppvarming av materialer i forhold til tid.

Det er ikke tatt hensyn til luftfuktighet i simuleringene.

Det er ikke tatt hensyn til ulike purging og inert gass sekvenser som vil føre til temperatursvingninger i systemet.

Simuleringene har vist seg å være veldig tid og ressurskrevende for PC hardware, og dette har ført til at simuleringene kan gjennomføres med et finere mesh-nett for å få mer presise resultater enn i dette prosjektet.

1.1.5 Mål og mottaker

Målgruppe for rapporten er NTNU Gjøvik, institutt for vareproduksjon og byggeteknikk og Wartsila Norge AS. Rapporten kan fungere som et supplement for videre studentarbeid etter hvert som data kan logges fra testkjøring, eventuelt videreutvikles som et hjelpemiddel når man skal prosjektere lignende system på skip.

1.1.6 Faglig bakgrunn

Jeg er student ved NTNU Gjøvik, maskiningeniør, deltid. Jeg hadde ingen erfaring eller kunnskap med flow og temperatur simulering ved oppstart av dette prosjektet. Min bakgrunn er teknisk fagskole, fordypning i skipsteknisk drift, med maskinoffiser M1 sertifikat. Jeg arbeider i Norled som Maskinsjef, og har i hovedsak erfaring fra konvensjonelle fremdriftssystem. Tidligere har jeg noen års erfaring med innregulering av behovsstyrt ventilasjon på skip og i næringsbygg.

1.1.7 Arbeidsformer

Arbeidsformen som er benyttet har bestått i kommunikasjon via telefon, teams, og epost med Fredrik Lindfors, Wartsila Finland. Det var planlagt 1-2 besøk til testsenter på Stord for logging av monitorerte driftsdata. Dette har utgått ettersom oppstart er utsatt til juni 2022.

Jeg har videre hatt kontakt via telefon og epost med Alltec service AS, som er ansvarlig for drift på prosjektet. Jeg har mottatt tegninger av rørsystemet og enkelte parametre fra dem. Jeg har også fått gode tips og hjelp av CSS teknikk som arbeider med solidworks og flowsimulering for kjøre 1 simulering av system A-C, da denne simuleringen var veldig krevende for HW. Videre har det vært teams møter med veileder, som har kjørt enkelte simuleringer via NTNU programfarm.

1.1.8 Terminologi og enheter i alfabetisk rekkefølge

Adiabatisk=En prosess der varmeutveksling til omgivelser ikke er tilstede.

Amagat= antall ideell gass molekyler pr volum enhet ved 1 atm trykk 101325Pa

Aksel effekt $P_c = \text{KW}$

Brenselforbruk $M_b = \text{kg/s}$

Brennoljens varmeinnhold $h = \text{kJ/kg}$

CH_4 =Metan

Computal domain- størrelse på domene/rom på systemgrense

Domene- valgt rom/systemgrense

Demo 2000 -Navnet på prosjektet som skal gjennomføres på Stord

Diabatisk=En prosess der varmeutveksling til omgivelser finner sted.

Ekstern simulering-valgt domene som er innenfor systemgrense

Effektiv spesifikt brenselforbruk (SFC =Specific fuel consumption) b_e

GVU= Gas valve unit

HW-Hardware

HVM-=Hovedmotor

HT=Høy temperatur kjølevann på motor

Intern simulering- domene /ytte omgivelser er ikke inkludert.

Indikert termisk virkningsgrad η_i

Inert= Nøytral gass som er tilført et system for å hindre en reaksjon. Eksempelvis eksos eller nitrogen.

Kelvin= SI enheten for temperatur.

Kritisk trykk P_c = Det trykket som må utøves for å bringe en spesifisert gass over i væskeform ved dens kritiske temperatur

Kritisk temperatur T_c = Maksimaltemperatur for væske

Kritisk tilstand= Når stoffet har dets spesifiserte kritiske temperatur og kritiske trykk

Kompressibilitet faktor = Z faktor

M= Molar masse (Massen av et mol atomer eller molekyler.Den molare massen for et stoff angis i g/mol.

Mesh- element størrelse

Mixing unit-=mixer modul som mixer ammoniakk gass /bio gass.

Motstand= Måle enhet for elektrisk resistans $R = \Omega$ ohm

NH₃ =Ammoniakk

Pa=Pascal. 1 Bar =100000Pa

Purge= gass utskiftning til inert gass

PT 100=Temperaturmåler (platinatråd) som endrer Ω etter en skala ved temperatur endringer

Rockwool- Steinull isolasjon.Brannsikker

Solidworks= Software program til dataassistert design og simulering

STP- Standard trykk og temperatur til en gass ved P=1 Bar og T= 0 °C (273 K)

spesifikk varmekapasitet c= kJ/kg K

Temperatur koeffisient/ Termisk konduktivitet $k=W m^2/K$

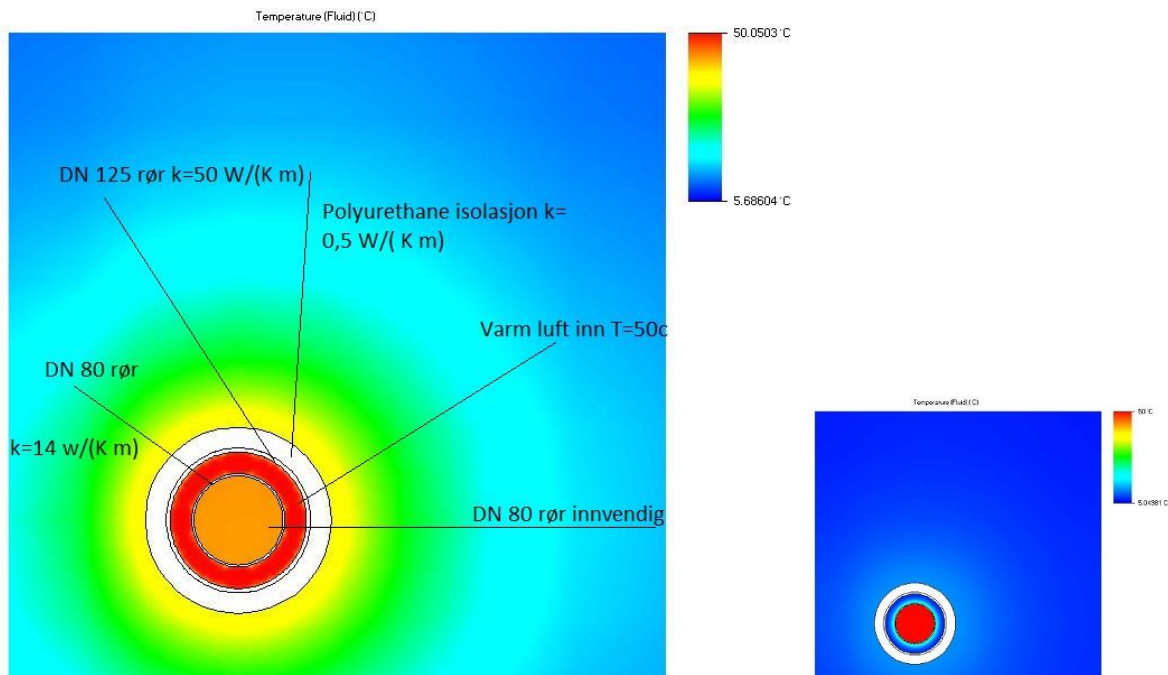
Volum fraksjon=Et uttrykk for komposisjonen av en mikstur med et tall uten benevning.

Summen av en mixtur er lik 1

R= kJ/kg K

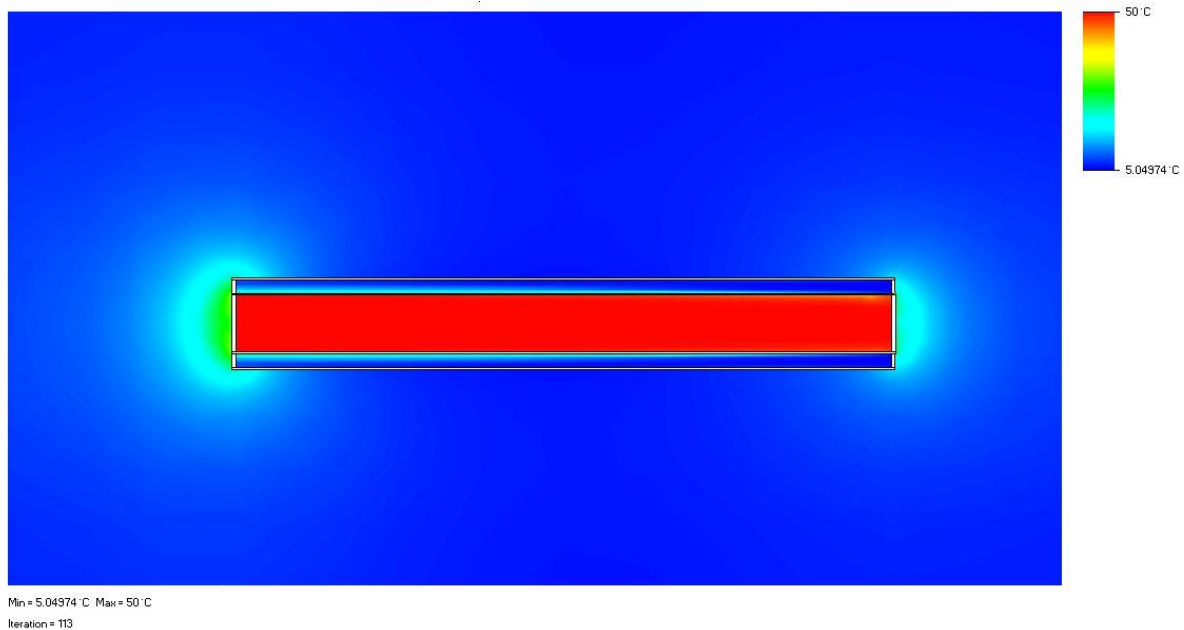
2 Teori

2.1 Termodynamikk



Figur 1 og 2, av dobbeltrøret snitt som viser varmeutviklingen. Kristian Lyckander

På bildet ser man en situasjon fra temperatursimulering 3 i dette prosjektet, forvarming med ventilasjon, isolert dobbeltrør. Alle materialer og medier har en temperatur på $T=5\text{ °C}$ ved tid $t=0$ sek. Varm luft kommer inn i DN 125 rør, via tvungen konveksjon, ved at varmen flyttes fra en ekstern varmeveksler med hjelp av en vifte i dette tilfellet. Varmen overføres via stråling til indre rør (DN 80, 316L stål, temperaturkoeffisient $14\text{ W}/(\text{K m})$). Varmen overføres via konduksjon gjennom røret, og overføres videre inn mot senter via stråling. Det stråles samtidig varme ut til DN 125 rør, som er i karbonstål, med en høyere temperaturkoeffisient. Dermed vil dette røret varmes raskere, men det økte arealet, og volum av materialets gods vil påvirke motsatt. Når varmen er overført gjennom DN 125 rør, vil den fortsette overføringen med konduksjon gjennom isolasjonen, men mye tregere siden materialet har en så lav temperaturkoeffisient, og at arealet er enda større. Varmen som slipper gjennom isolasjonen overføres videre ut i luften i domenet (rommets definerte systemgrense i dette prosjektet), via stråling.



Figur 3, Snitt av dobbeltrøret..Eksempel på en adiabatisk prosess med stråling til omgivelser. Kristian Lyckander

Konduksjon: I en solid gjenstand/ materiale energien som overføres fra en høy temperatur region til en lav temperatur region. Graden av varmeoverføringsevne pr overflate enhet er proporsjonal til materialets termiske konduktivitet k i $W/m^2 K$

Det er 3 måter varme kan overføres på, med konduksjon, konveksjon, og stråling. (Kurowski, 2019) Termodynamikkens 1 lov og 2 lov er sentral gjennom dette prosjektet: «*Energi kan ikke forsvinne, bare gå over fra en form til en annen*» Termodynamikkens 2 lov: «*Overføring av varme skjer alltid fra et sted med høyere temperatur til et sted med lavere temperatur*» (Store Norske leksikon, 2022) 2 Et annet viktig begrep er en adiabatisk prosess, som er en prosess der det ikke forekommer varmeutveksling til omgivelser, eksempelvis via stråling. (Store norske leksikon, 2021) Dersom man har en adiabatisk prosess, vil det ofte være enklere å utføre beregninger, ettersom det er et lukket system, men det innebærer ofte en forenkling, i forhold til realiteteten, som er motsetningen, en adiabatisk prosess som ikke er lukket. Alle eksterne temperatursimuleringer i dette prosjektet er innenfor et avgrenset domene, som fungerer som adiabatisk vegger, men volumet er så stort i forhold til tilført varme, og tiden så kort at det i praksis ikke utgjør en stor forskjell, i tillegg til at det kontinuerlig tilføres og fjernes varme fra domenet via innløpene og utløpene.

Dersom man vet volumet på en gass og massen ved STP, kan man finne den molekylære massen til gassen. Ved at densiteten er målt ved STP, kan man finne T,P og V, og beregne n. (C.Fay, 2012)

Molare masser, og dermed molekylære masser kan beregnes ved hjelp av den ideelle gass lov:

$$n = \frac{PV}{RT}$$

Dersom man skal finne densitet basert på gass lovene: $V_{STP} = \left(\frac{PV}{T}\right)M_{\text{målt}} \times \left(\frac{T}{P}\right)_{STP}$

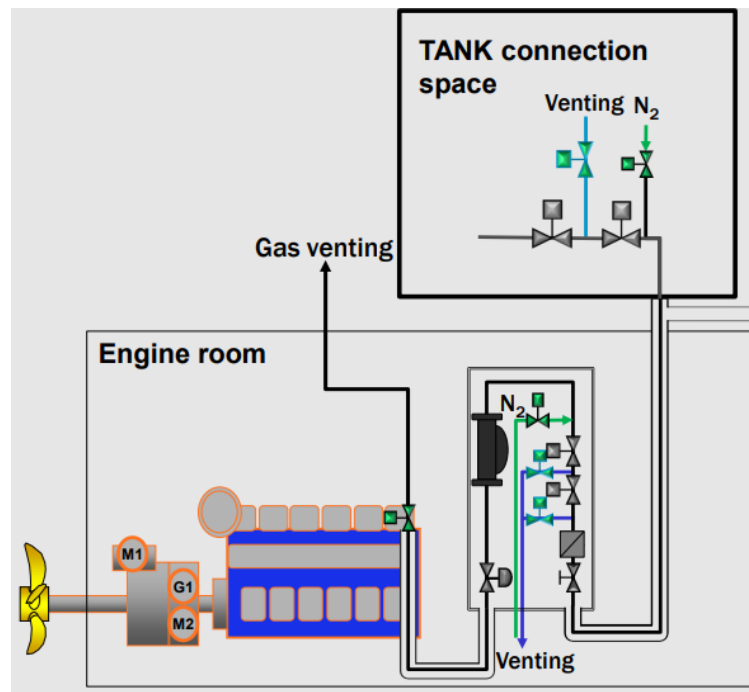
$$\text{Densitet} = \frac{\text{Masse}}{V_{STP}} = \text{g/L}$$

Elementmetoden:

Elementmetoden har vært en del av dette prosjektet, ettersom simuleringene er gjennomført i solidworks, som bruker elementmetoden til simulering av varme overføring, men dette gjelder kun via konduksjon, som er modellert direkte. (Kurowski, 2019) Konveksjon og stråling settes som grensebetingelser ved at det settes ulike koeffisienter på overflater som er eksponerte mellom modell og omgivelser. Modellene diskretiseres til solid elementer, overflater til skall elementer. I temperatur simuleringer brukes det i hovedsak andreordens solide tetraedriske elementer, som har flere noder sammenlignet med første ordens elementer, som kun har noder i hjørner. (Kurowski, 2020)

3 Case

3.1 Dobbeltrør og GVU generelt



Figur 2, Generell oversikt som viser GVU, tankområde og motor. (Wartsila, 2020)

3.1.1 GVU og dobbeltrørets funksjon

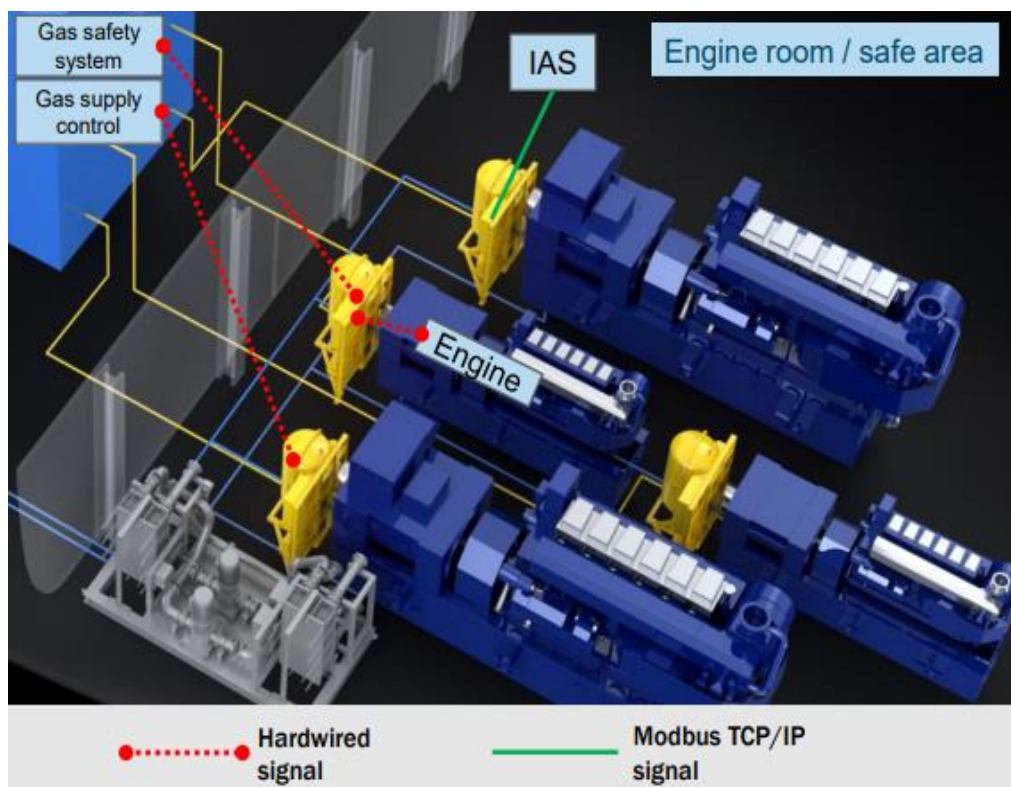
GVU har i hovedsak 3 funksjoner:

- Gass trykk regulering før motor: Trykk regulering følger belastning på motor, og motorens kontrollsystem gir trykkregulator i GVU signal om riktig leveringsnivå
- Gas line purge(rensing) og ventilering(sikkerhet): GVU automatikk har inerting og ventilering sekvenser, som ivaretar sikkerheten i tilfeller forstyrrelser i gass systemet
- Lekkasje test sekvens(sikkerhet): Sekvensen gjennomføres før motoren går over til gass modus. Sekvensen kontrollerer at ventiler fungerer som de skal, og at det ikke er noen indre lekkasjer i ventiler.

Hovedkomponenter GVU består av:

- Manuell stengeventil
- Gass filter
- «Block and bleed» ventil arrangement
- Flowmeter (alternativt)
- Trykk reguleringsventil
- Nitrogen inert ventiler
- Ventilasjon ventiler

Wartsila leverer 2 typer GVU, «open design», og «enclosed design»



Figur 3, GVU «enclosed design» (Wartsila, 2020)

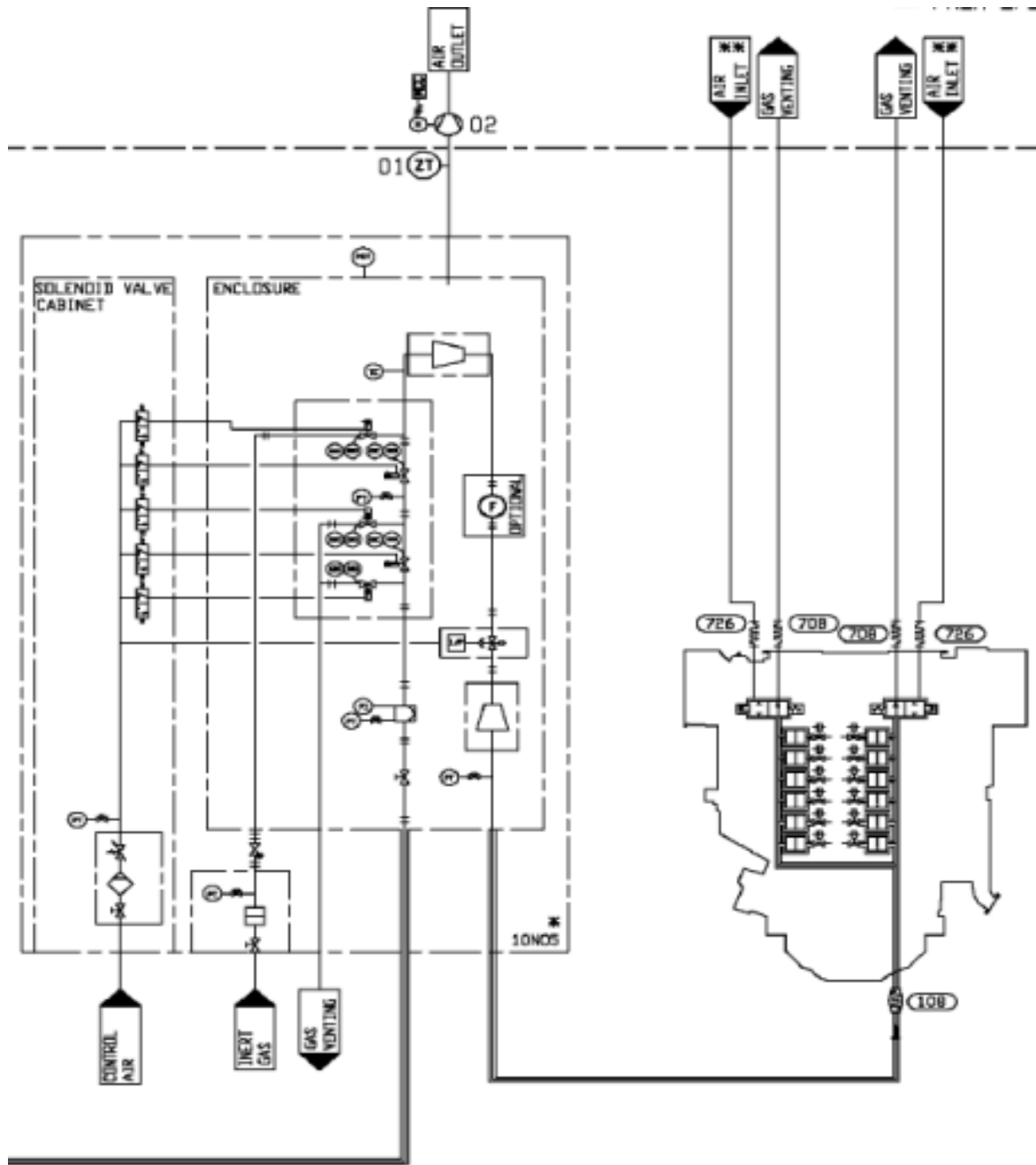
«Enclosed design» er aktuell i dette prosjektet. GUV “enclosed design” leveres i 3 størrelseordener, type DN 50,80 og 100. GUV-ED DN 80 Er aktuell i dette prosjektet

GVU-ED DN 80:

- Kapselen fungerer som en del av dobbeltrøret og fungerer som en del av dobbelvegg ventilasjonssystemet
- De interne komponentene kan leveres i enten karbonstål eller rustfritt stål. I dette prosjektet er materialet rustfritt
- Under testkjøring på Stord er det en 6L34DF (3000KW, 4-takt) motor som skal driftes.

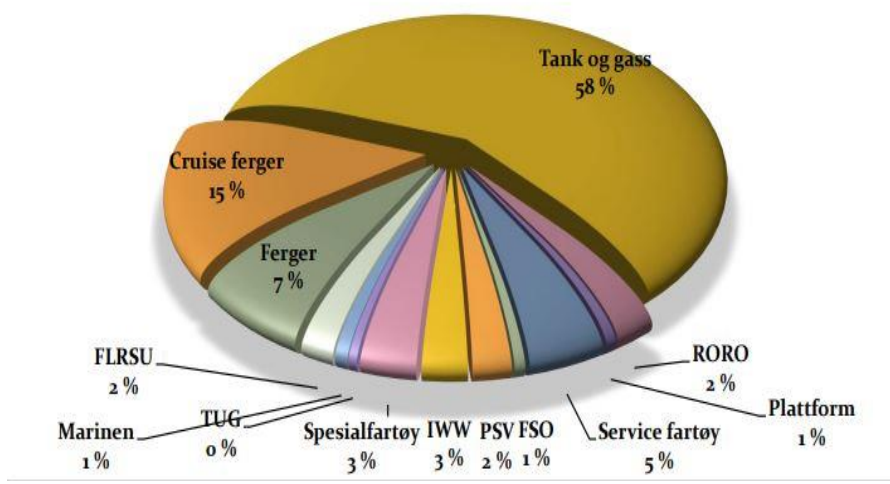


Figur 4, GUV størrelser for 4-takt motorer. Oversikt som viser hvilken motor størrelseorden (4-takter), GUV-ED DN 80 kan drifte (Wartsila, u.d.)



Figur 5, GUV og motor systemoversikt, detalj. (Wartsila, 2020)

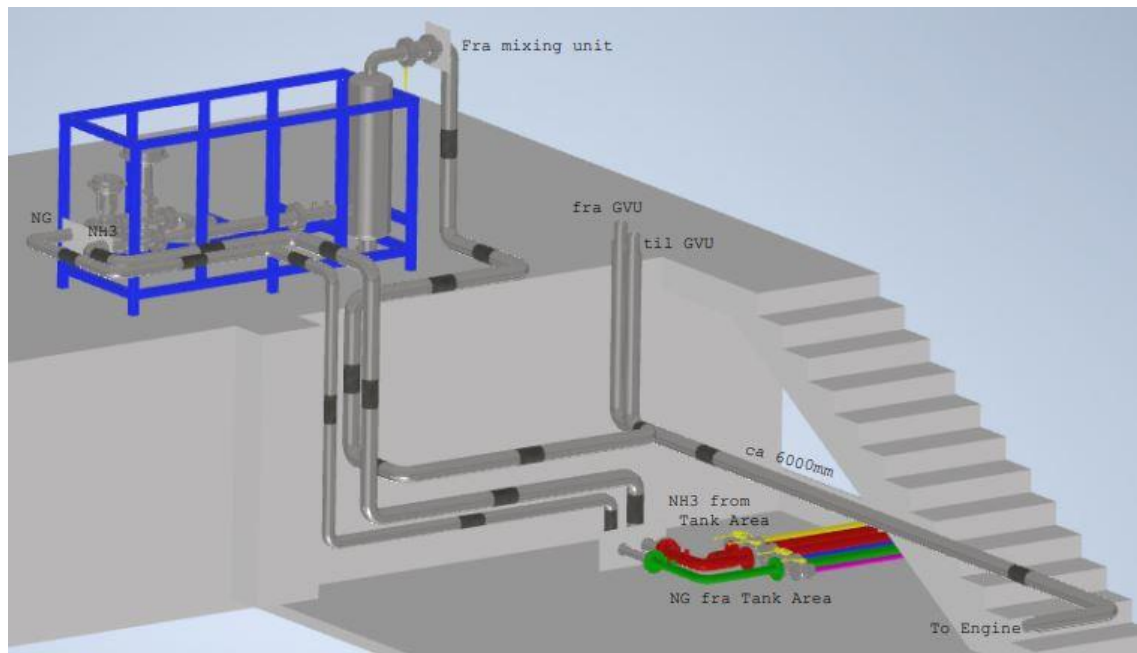
Leverte GVU, "Enclosed design"



Leverte GVU "Enclosed design"	
Fartøy	Antall
Ferger	57
Cruise ferger	115
Tank og gass	456
RORO	20
plattform	5
Service fartøy	36
FSO	5
PSV	18
IWW	21
Spesialfartøy	26
TUG	4
Marinen	6
FLRSU	16

Figur 6, Oversikt over leverte og bestilte GVU «enclosed design» til type fartøy. Andel eksisterende fremdriftssystemer som er egnet for konfigurering til ammoniakk drift senere fremgår ikke i denne oversikten. (Wartsila, u.d.)

3.1.2 Systemgrenser



Figur 7, Fuel system som det vil bli montert på Demo 2000. (Alltec AS, 2022)

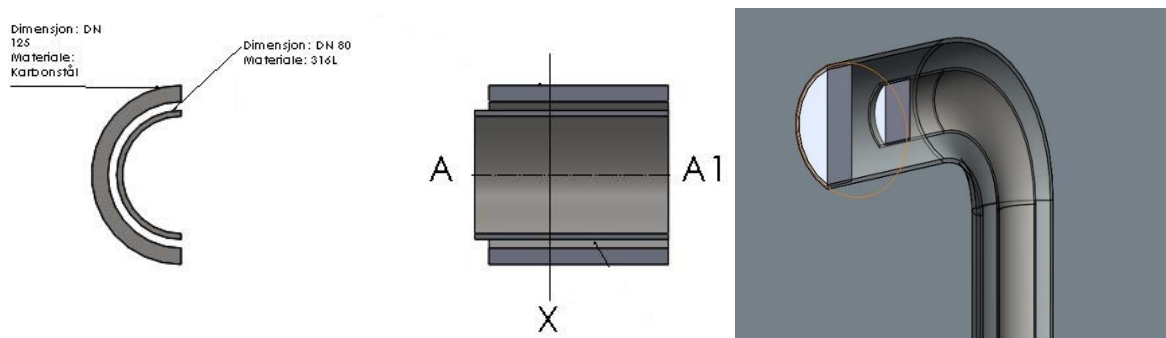
Generelt:

- Motor som skal driftes under testkjøring: 6L34DF (3000KW) (Wartsila, u.d.)
- Diesel system er et separat system utenfor systemgrense.
- Parametre er mottatt fra Wartsila og Alltec AS
- Rør dimensjoner for DN standarder hentet fra tabell. (EN10216/EN 10217Stålrør/syrefast rør, u.d.)
- Det er 2 ulike konfigurasjoner for systemgrense. 1 oppsett for test simuleringer, og 1 oppsett for hele systemet, A-C. Som følger:

Systemgrense Test simuleringer:

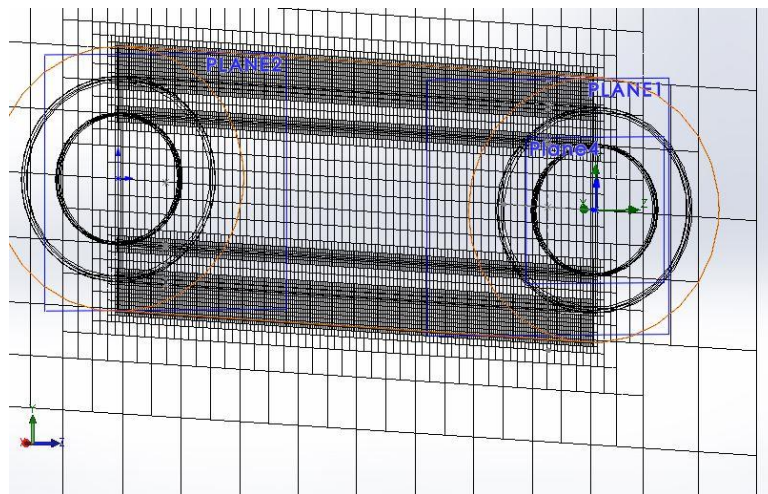
- Hele systemet, materialer og lufttemperatur i rommet og i dobbeltrøret har en temperatur på 5-45 °C ved t=0 s
- Dobbelttrøret er ventilert med luft, mekanisk. Luftflow i røret er innenfor systemgrense.
- Det vil lages ulike simuleringer med spesifiserte parametre oppgitt før hver simulering, med og uten tidsintervall.
- Simuleringer vil vise temperaturutvikling på rør, gass, og luft
- Internt (Adiabatisk vegg til omgivelser) Og ekstern (inkludert varmetap/stråling til omgivelser)

Dobbelttrøret oppbygning:



Figur 8, Dobbelttrør. Kristian Lyckander

- 100% av tilført ammoniakk er i gass form ved punkt A. Ammoniakk vil gradvis kjøles ned av DN80 røret mot punkt A1. På et punkt X vil kondensering starte, og fortsette til punkt A1.
- Når DN 80 røret varmes opp av gass, opp til temperatur som tilsvarer gass form i ammoniakkens fase diagram, vil punkt X flyttes gradvis mot punkt A1, inntil kondensering opphører

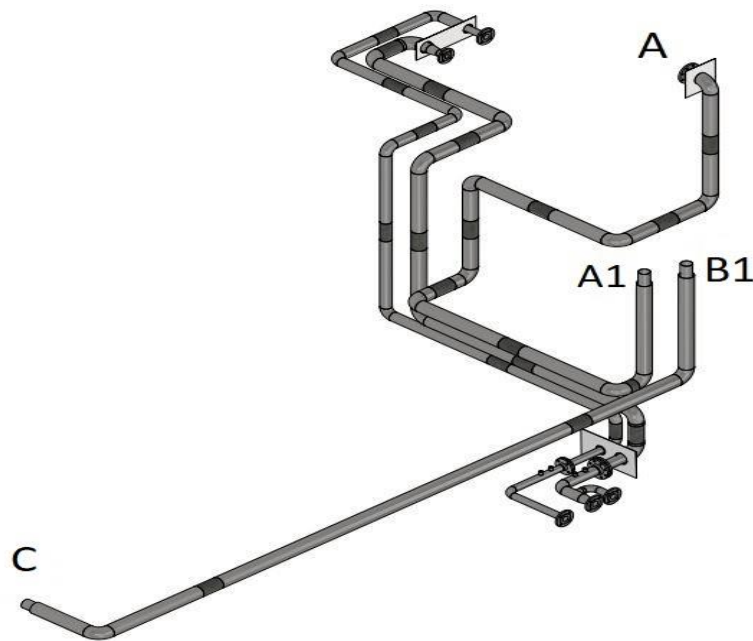


Figur 9 .forhold mellom global og local mesh som er satt. Kristian Lyckander

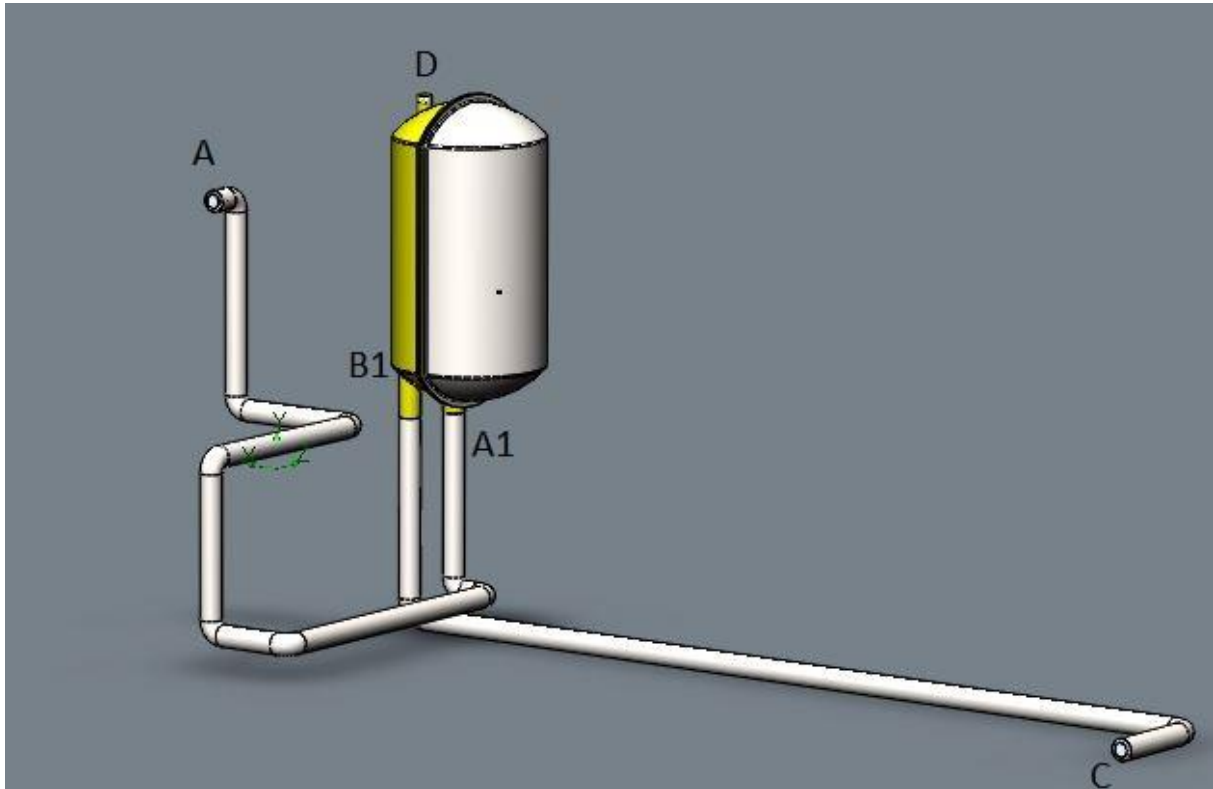
Systemgrense A-C:

- Hele systemet, materialer og lufttemperatur i domenet og i dobbeltrøret har en temperatur på $T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ved start, $t = 0 \text{ s}$. Type simulering: external (inklusiv omgivelse luft innenfor valgt størrelse på domene er inkludert)
- Simulering 6 vil vise temperaturutvikling på metan gass fra A-«Fra mixing unit» til C «Gas to engine», via GVU som er montert på A1 og B1, inklusiv ventilasjon uten oppvarming, inn A og C, ut via punkt D, i toppen av GVU. Gass tilførsel i hht til «recommendend gas and diesel, warm engine»
- Simulering 7: Ingen gass tilførsel. Ventilasjon med oppvarming. Inn A og C, ytre rør. Ut i toppen av GVU, punkt D.
- Simulering 8: Ingen gass tilførsel. Ventilasjon med oppvarming. Inn A og C, ytre rør. Ut i toppen av GVU, punkt D. Systemet er isolert med 40mm Rockwool.

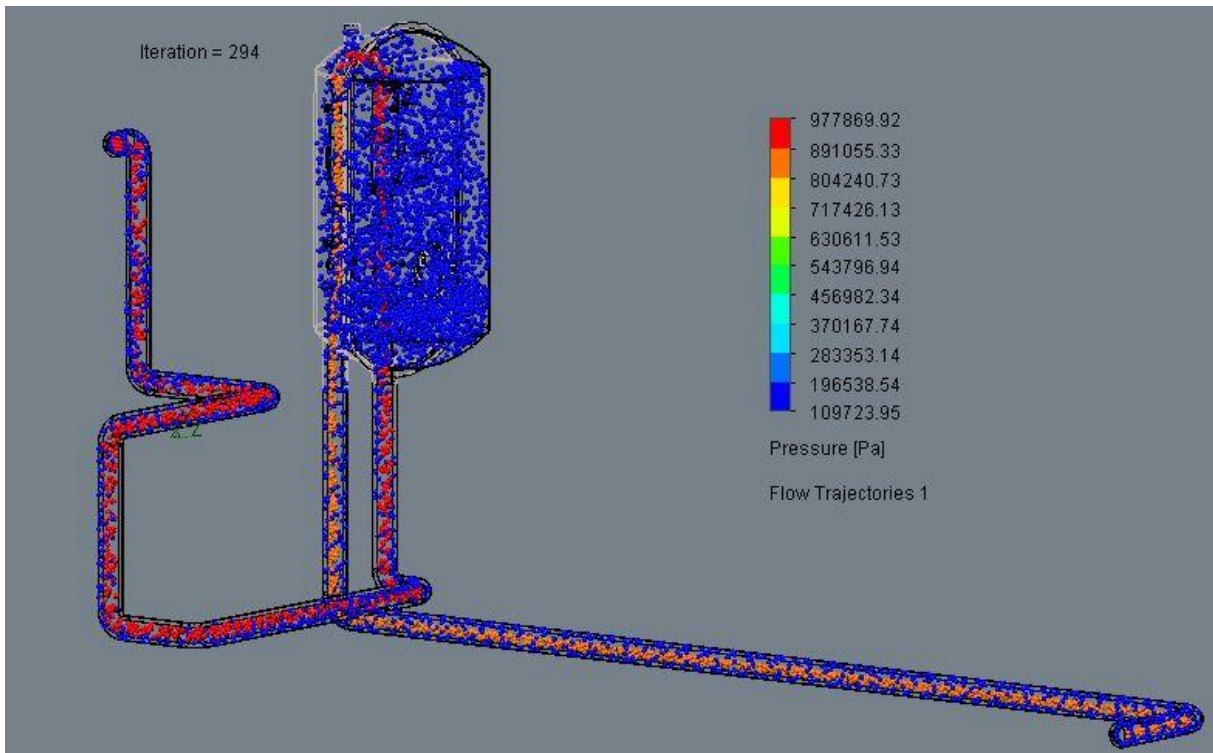
- Røret A-A1 og B1- C har samme lengde og geometri som Demo 2000 prosjektet på Stord. Komponenter i GVU er forenklet.
- Periode: $t=0$ s til $t=3000$ s
- Ved start $t=0$ s er det tatt utgangspunkt i at det er et eksisterende trykk inn $P=10 - 8,5$ bar i systemet. (ΔP 1,5 bar totalt fra A-C) .Type gass i systemet ved $t=0$ s er ikke definert.
- Trykk på gass inn på punkt A er $P=10$ bar.



Figur 10, Fullstendig oversikt over dobbeltrør slik det vil bli montert på Demo 2000. (Alltec AS, 2022)

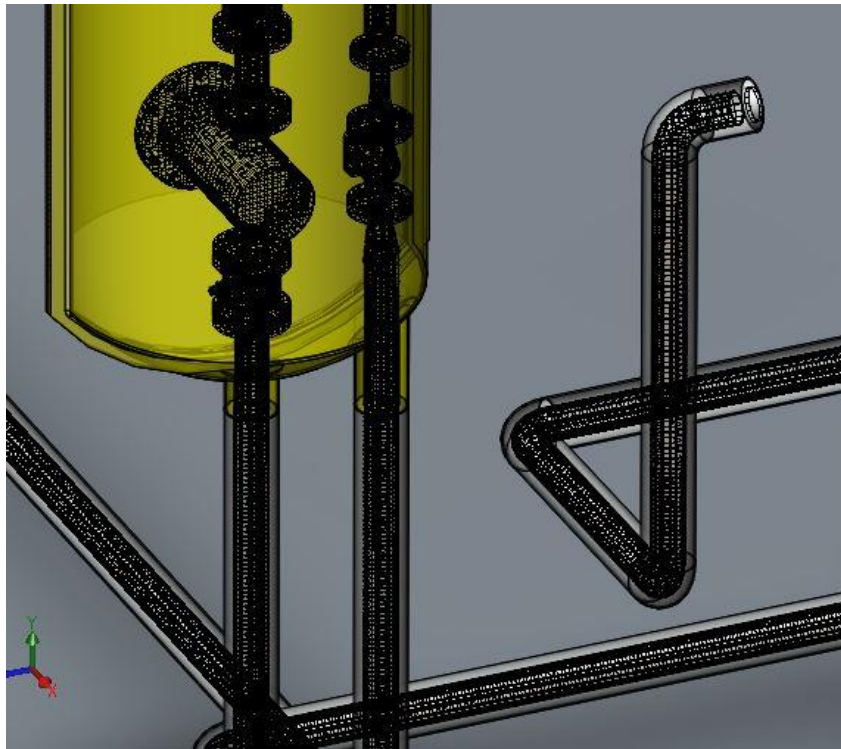


Figur 11, Ferdig modell som viser fysisk systemgrense innenfor domenets avgrensning(rommet). D er utløp ventilasjon. A og C er innløp ventilasjon i ytre rør. A er innløp gass i indre rør. C er utløp gass i indre rør. Kristian Lyckander



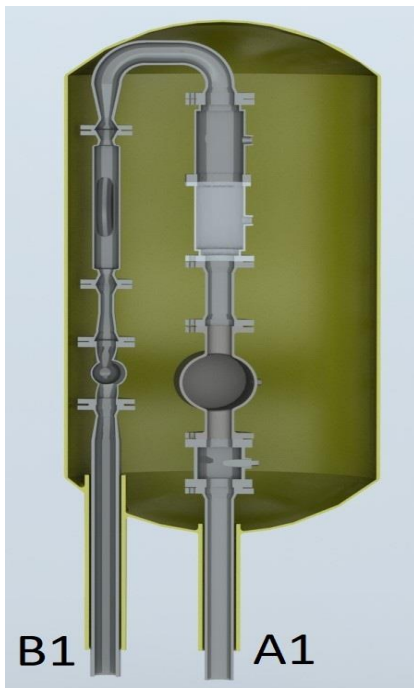
Figur 12, Trykk simulering for å vise systemets funksjon. Skala farger er innenfor gass trykk fall ΔP fra A-C. Blått er ventilasjon, trykk ΔP på ventilasjon er utenfor oppgitt skala. Kristian Lyckander

Setting av mesh (justering av størrelser på elementene):

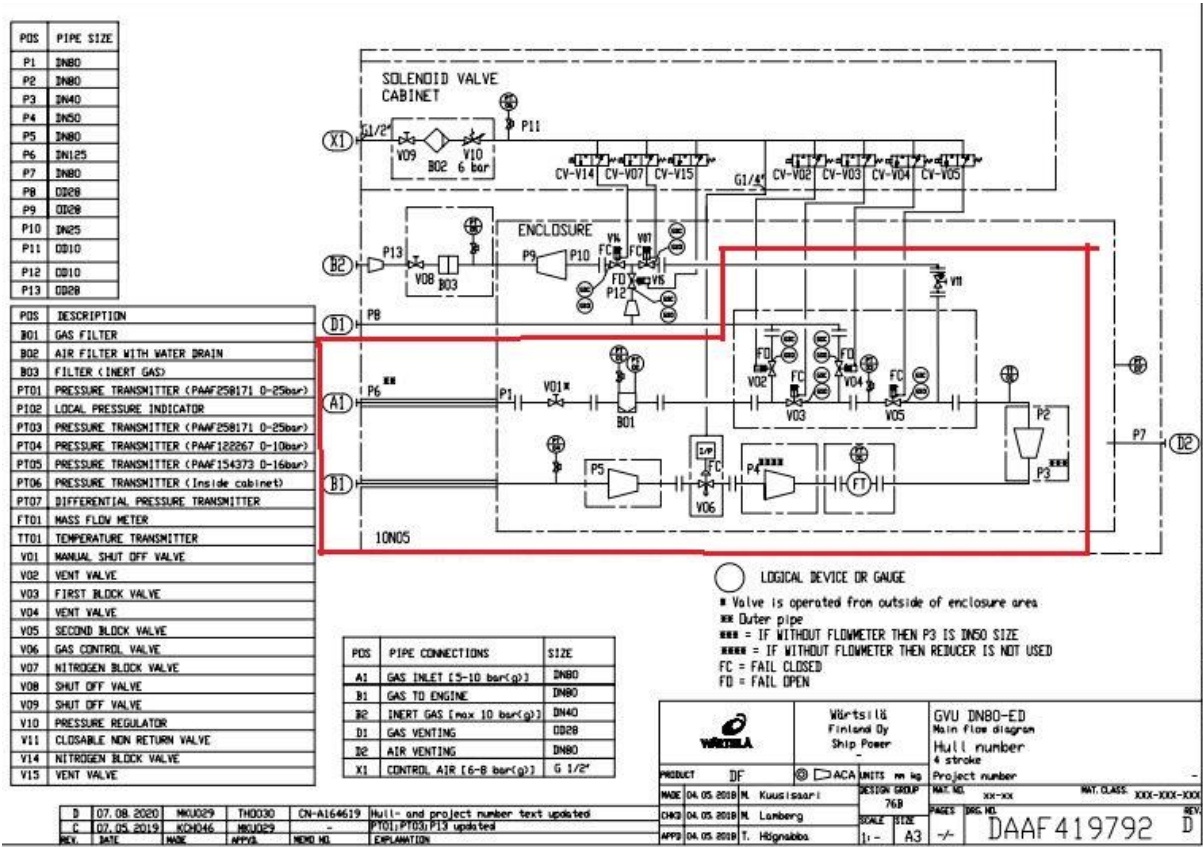


Figur 13, På «computal domain» rommet er det laget en global mesh, og en Lokal mesh på alle materialer. Her er en del av det indre systemets mesh vist. System som det strømmes gass gjennom. Kristian Lyckander

Intern systemgrense i GVU:



Figur 14, System A1-B1. Kristian Lyckander



Figur 15, GVU DN80 ED Main flow diagram: Rør og komponenter innenfor rød ramme er systemgrense internt i GVU. A1 (Gas inlet) – B1 (Gas to engine). Givere er ikke innenfor systemgrense. (Wartsila, 2020)

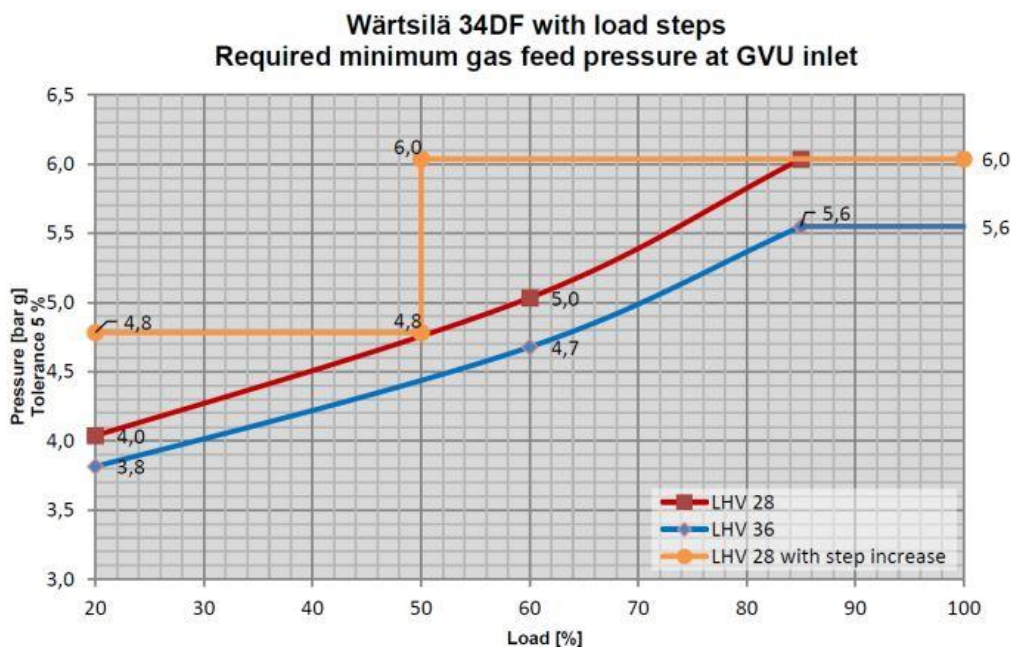
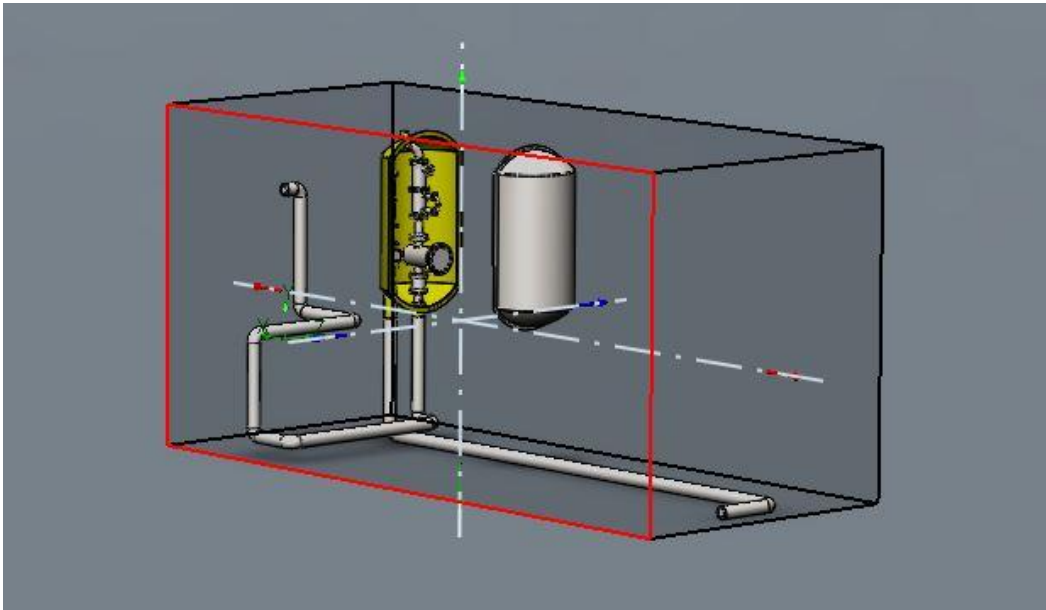


Fig 6-9 Gas feed pressure recommendation for engines including load step

Figur 16, Minimum trykk ved innløp GVU (Wartsila, 2020)

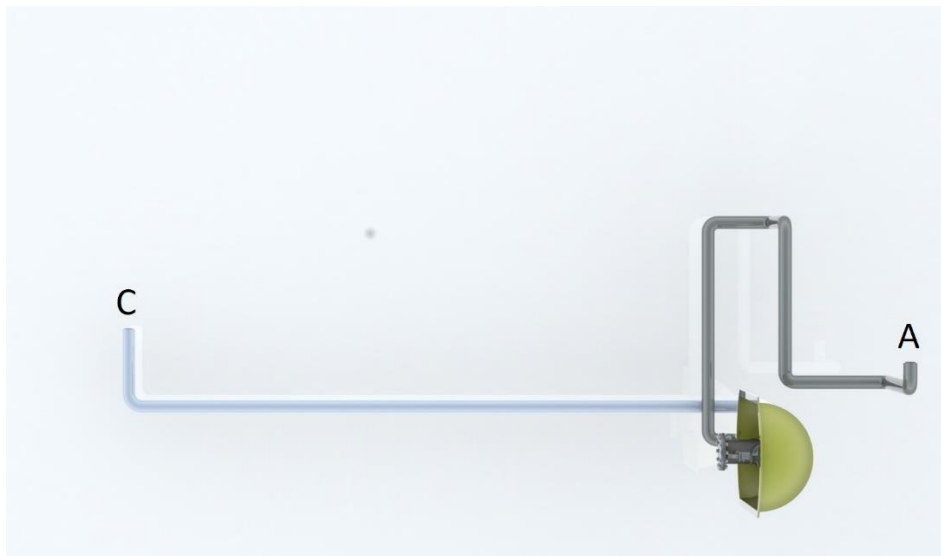
- Trykkfall ΔP over GVU: 120kPa=1,2 Bar (Wartsila, 2020)

Setting av computal domain:

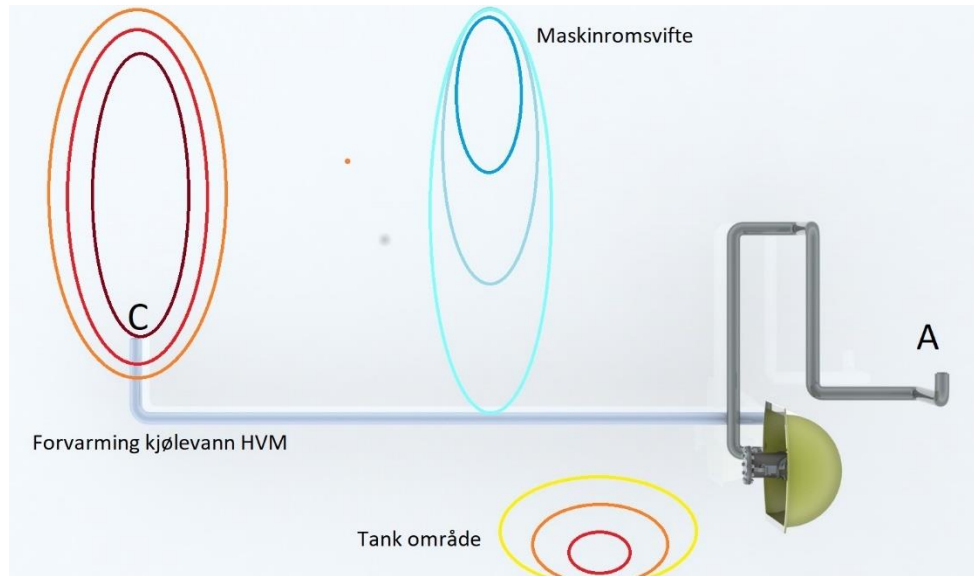


Figur 17, Størrelsen på rommet som er inkludert. Kristian Lyckander $X= 8,17m$ $Y=4,07$ $Z =4,47$

Noen realistiske eksterne temperaturpåvirkninger fra A til C



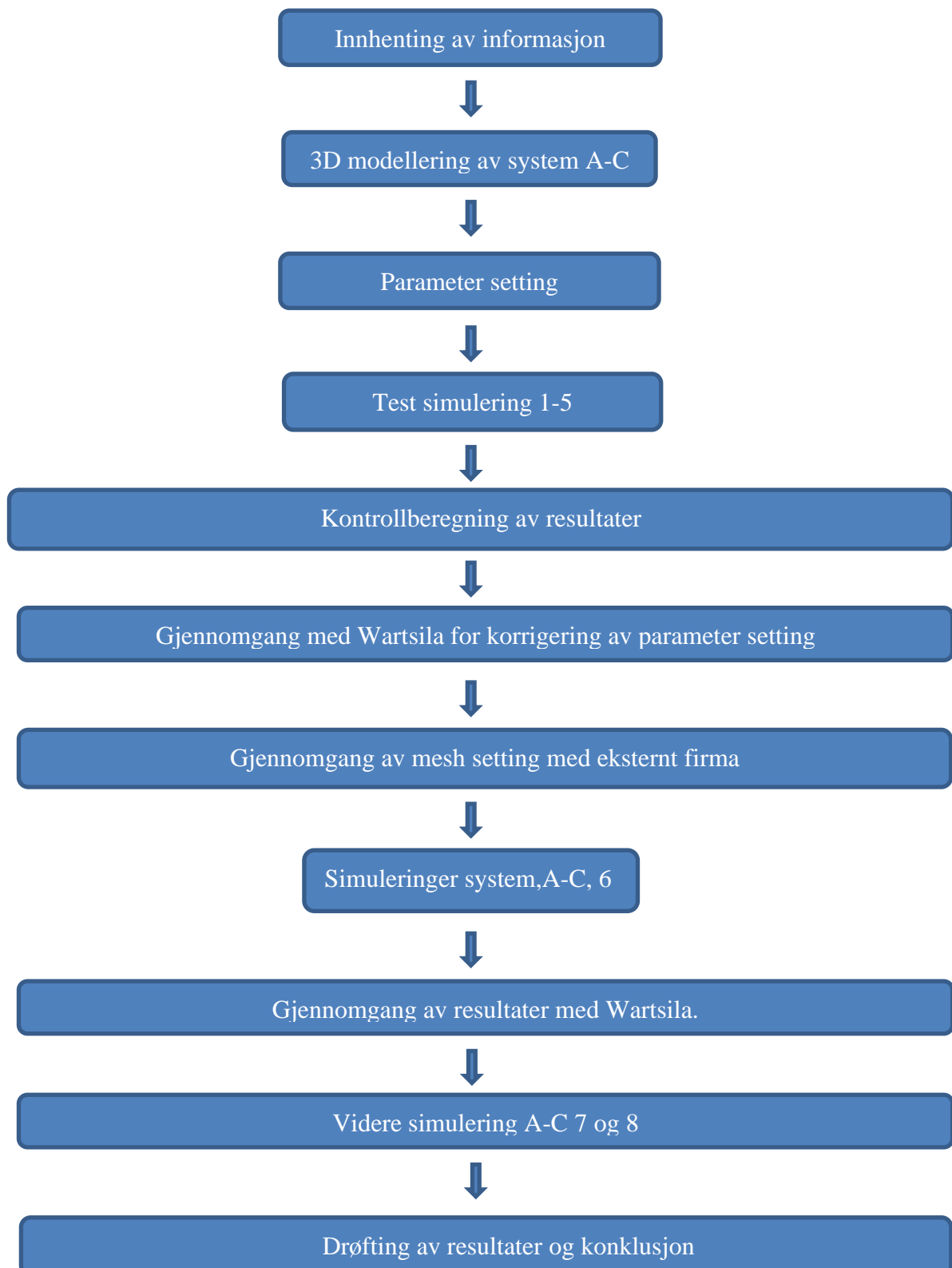
Figur 18, System grense A-C, med en romtemperatur på $T= 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ved tid $t= 0\text{ s}$, og ingen eksterne temperaturkilder. (Dette prosjektet) Kristian Lyckander



Figur 19, Et mer realistisk bilde på hvordan ulike temperaturkilder i et typisk maskinrom kan føre til temperatursvingninger fra A til C. Kristian Lyckander

4 Metode

4.1 Flytskjema over arbeidsmetode

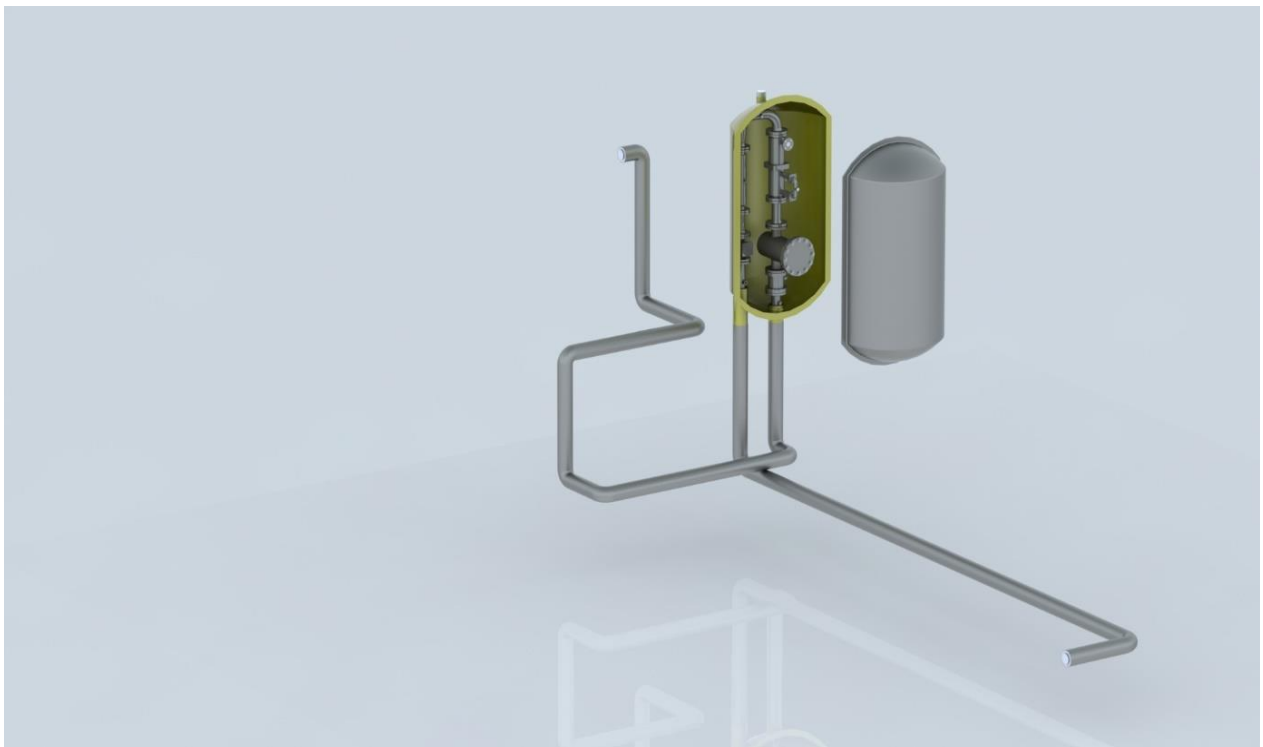


4.1.1 3D modellering av system A-C ved hjelp av DAK

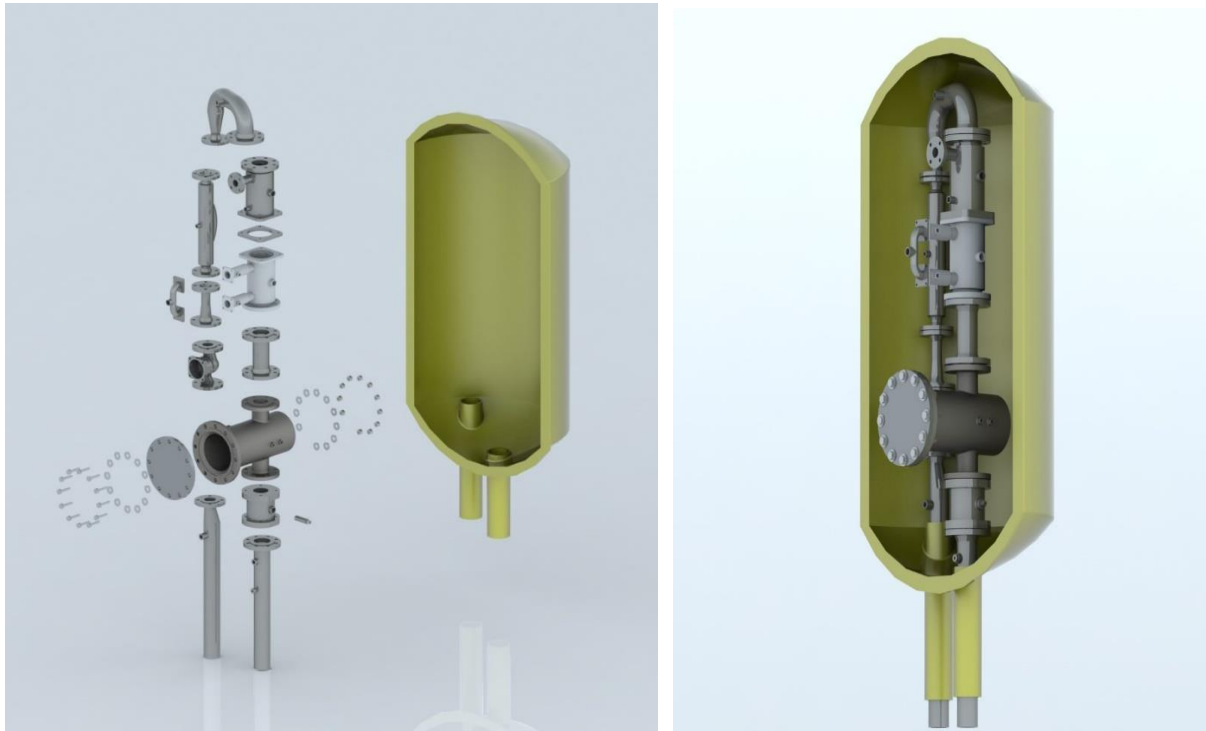
I dette prosjektet har 3D modellering vært en sentral del. Solidworks er brukt til 3D modellering av de enkelte hoved komponenter innenfor område på Fig 22 .Det har deretter blitt brukt «mate» funksjon og laget en assembly av delsystemet Modellen består i hovedsak av den ytre geometrien, og komponentene er forenklet versjon i forhold til eksisterende, uten indre komponenter, i B01 gas filter, V03 first block valve, V02 og V04 vent valve, FT flowmeter. Det er ikke modellert gjenger i muffer, som er tiltenkt trykk og temperatur givere.

Komponenter og assembly som er modellert er basert på en 3D overflate-modell i .STEP format mottatt av Wartsila, som er forenklet med tanke på konfidensiell informasjon.

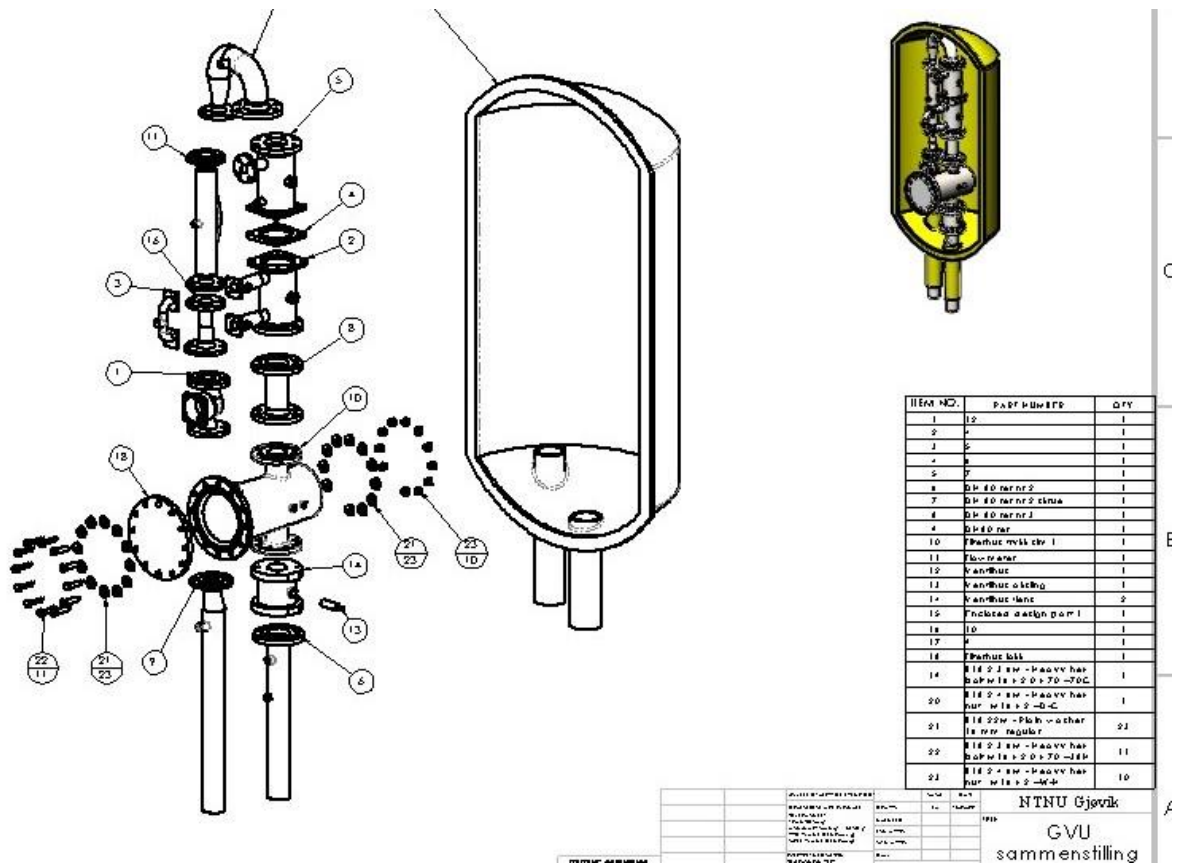
Mottatt modell er brukt til manuelle avmålinger av avstander, radier og vinkler i solidworks. Deretter er hver enkelt komponent modellert på nytt som «solid bodies».



Figur 20, 3D modell systemgrense . A1 – C (+D ,utløp ventilasjon). Kristian Lyckander

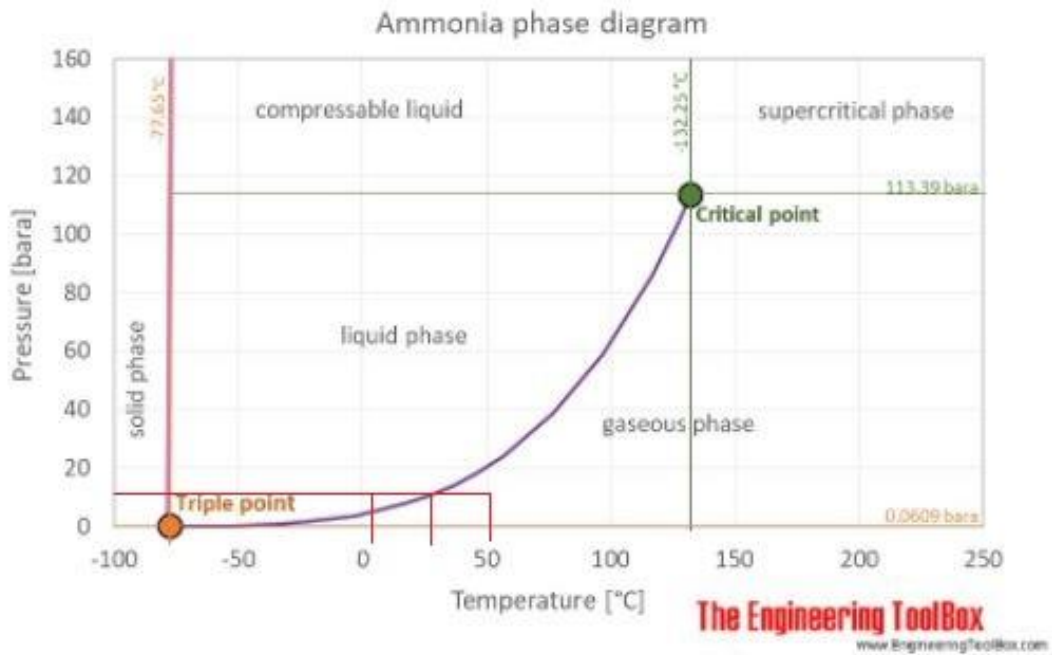


Figur 21, «Exploded view» og snitt som viser innvendig geometri GUV, systemgrense A1 (Gas inlet) – B1 (Gas to engine) Kristian Lyckander

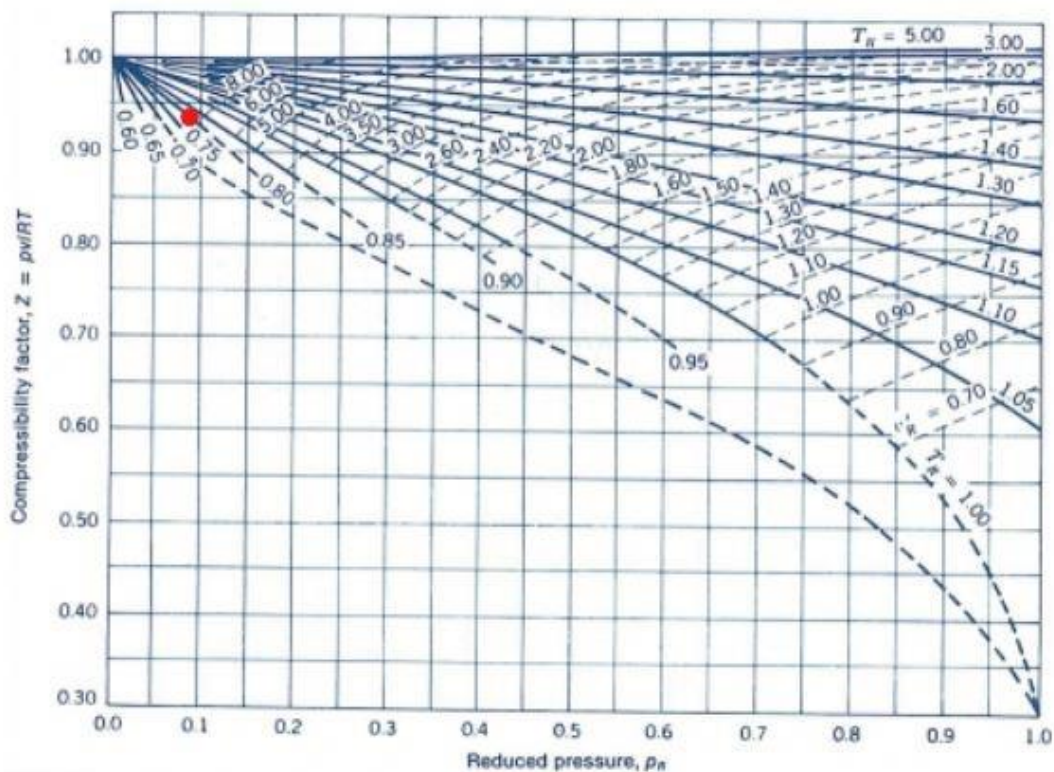


Figur 22, utsnitt av tegning fra sammenstilling. Kristian Lyckander

4.1.2 Ammoniakk



Figur 23. Fasediagram ammoniakk. Temperatur/trykk for $T = 5-50\text{ °C}$ ved $P = 10\text{ Bar}$ er streket opp (Engineering toolbox, 2018)



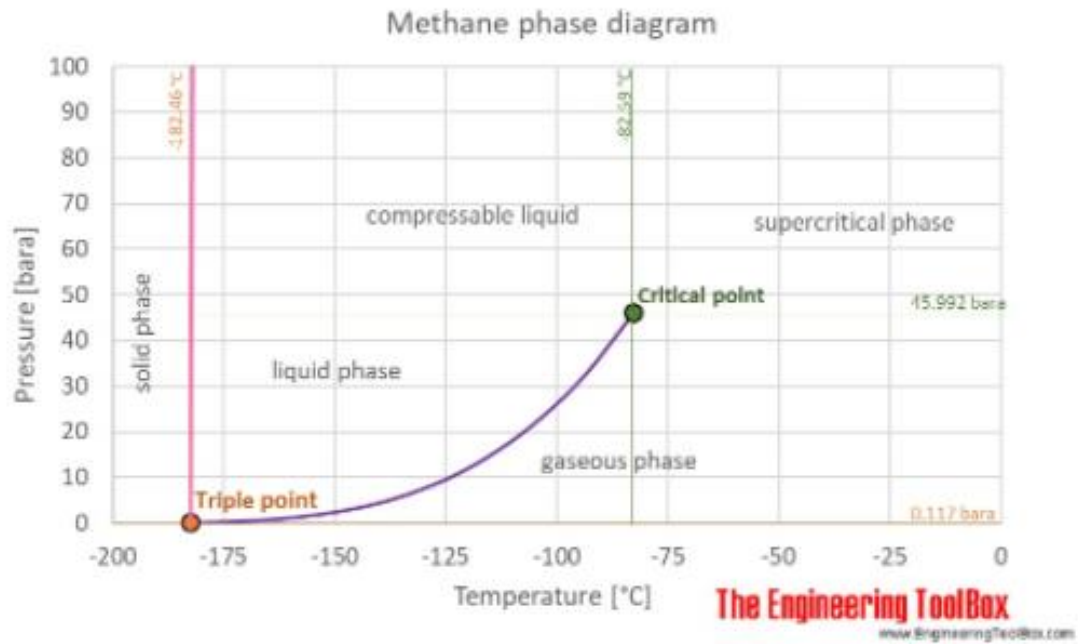
Figur 24, Amagat diagram for ammoniakk..Rødt punkt viser z -faktor (kompressibilitet) for ammoniakk ved $T = 50\text{ °C}$ og $P = 10\text{ bar}$

Ammoniakk er karbonfritt og har en høyere energitetthet enn hydrogen. Ammoniakk dannelse er gjæringsprosesser i organisk materiale, eksempelvis gjødsel som fører til at det dannes ammoniakk. (Kristensen, 2019) Haber -Bosch metoden er en metode for å fremstille Ammoniakk. Med denne metoden reagerer nitrogenet i luften med hydrogen. Hydrogengassen som brukes i prosessen fremstilles i dag fra naturgass (Store Norske leksikon, 2020) Ammoniakk har svært høy antenne temperatur, og kombinert med dens innhold av nitrogen leder det til utslipp av Nox. (Hofstad, 2021) Det må brukes diesel eller biodiesel som pilotfyring for å antenne ammoniakken i en forbrenningsmotor.

Ammoniakk relevante betingelser :

- Molar masse $M=17.03 \text{ kg K mol}$
- Kritisk trykk= $P_c=112,8 \text{ bar}$
- Kritisk temp $T_c= 406 \text{ K}$
- $R=\frac{8,314}{17,03}=0,4882 \text{ kJ/kg K}$

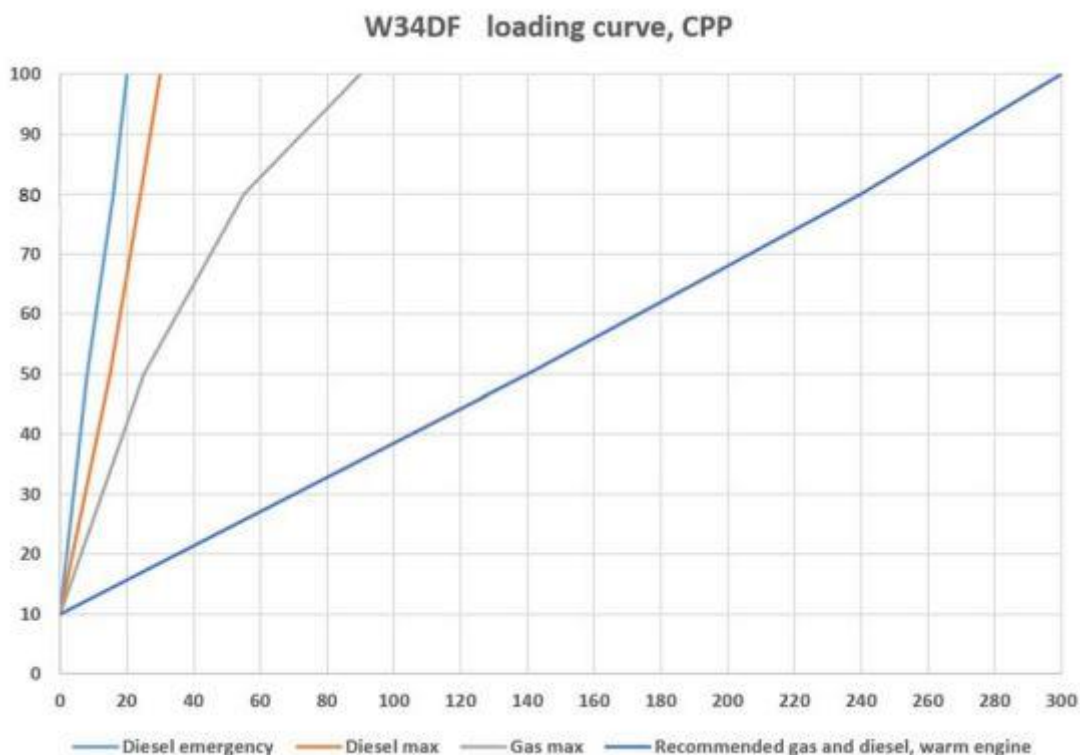
4.1.3 Metan



Figur 25. fasediagram metan. Man kan se at kondensering ikke er en problemstilling. (Engineering toolbox, 2018)

Metan er en fargeløs, brennbar gass. Den er hovedbestanddel i sumpgass, gruvegass og såkalt tørr naturgass. Metan er hovedbestanddel i biogass som dannes i deponier for organisk avfall. Kjemisk formel for metan er CH_4 (Store Norske leksikon, 2022)

4.1.4 Blandingsforhold, motorens pådrag og brennverdier



Figur 26, W34DF loading curve (Wartsila, 2020)

I henhold til «product guide» kan «loading curve» brukes når motor er forvarmet, HT temperatur minimum 60°C, helst 70°C, smøroljtemperatur 40 °C, minimum receiver temperatur, 45°C (Dersom motor startes, og kjøres i gass modus): (Wartsila, 2020)

Utviklingen på «recommended gas and diesel, warm engine» er lineær med stigning $6/20=0,3$ med start 10% pådrag ved $t=0$ sekunder. Setter da opp:

% Pådrag motor etter tid t i sekunder: $f(t) = 0,3 t + 10$

Brennstoff forbruk pr /kwh med ammoniakk:

Vanlig brennstoff forbruk pr kwh på dieselmotorer ligger generelt i området på ca 170 g/kwh med diesel, brennverdi 41500 kJ/kg. Brennoljens øvre brennolje verdi ligger på 43000-44000 kJ/kg, men det dannes ca 1 kg vanddamp pr Kg brennolje. Denne varmen går ut via eksos, og har et varmeinnhold på 2500 kJ/Kg. (W.Petterson, 2005). Dette blir en forenkling, ettersom

motorens indikerte termisk virkningsgrad $\eta_i = \frac{P_i}{m b x h_g}$ vil være lavere og varierende under

oppstart, enn ved fullt pådrag, siden det vil være dårligere forbrenning, turtall på turbo er lav, og dermed lavt spyletrykk inn ,driftstemperaturer er lav. (Pedersen, 2000)

Setter 180 g/kwh som gjennomsnitt i perioden t=0 til t=300 s.

Regner om hva forbruket på ammoniakk vil være basert på ammoniakk brennverdi:

$$b_e \text{ NH}_3 = B_e \text{ diesel} \times \frac{h \text{ NH}_3}{h \text{ Diesel}} = 180 \frac{\text{g}}{\text{kwh}} \times \frac{41500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{18600 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 401,6 \text{ g/kwh}$$

Regner 10% diesel til pilotfyring. Totalt 3000KW ved 100% belastning.

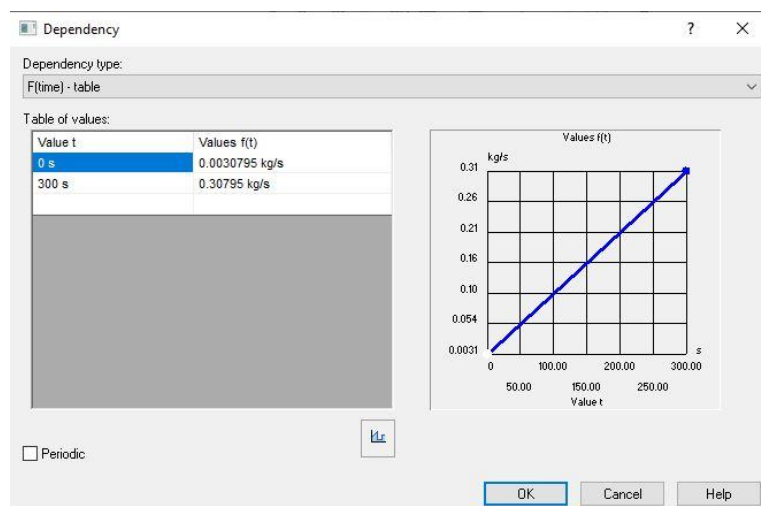
Ammoniakk forbruk i forhold til brennverdi blir da ved t = 0 s:

$$M_b = \frac{P_e \times b_e}{t} = \frac{27 \text{ kW} \times 0,4106 \text{ kg/kWh}}{3600 \text{ s}} = 0,0030795 \text{ kg/s}$$

Utvikling av ammoniakk forbruk med 90% ammoniakk i perioden t=0 til t=300 s:

$$f(t) = 0,0030795 \times (0,3t + 10) = \text{kg/s}$$

Tilsvare 24 t/døgn Forbruk ammoniakk v/100% belastning (fra t=300 s og videre)



Figur 27, Setpunkt ammoniakk parameter ved en simulering med stigende forbruk basert på tid. t= 0-300 s
Kristian Lyckander

Brennstoff forbruk pr /kwh med Metan:

Regner om hva forbruket på Metan vil være basert på Metan brennverdi:

$$b_e \text{ CH}_4 = b_e \text{ diesel} \times \frac{h \text{ diesel}}{h \text{ metan}} = 180 \frac{\text{g}}{\text{kwh}} \times \frac{41500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{49600 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 150,6 \text{ g/kwh}$$

Regner 10% diesel til pilotfyring. Totalt 3000KW ved 100% belastning.

Metan forbruk i forhold til brennverdi blir da ved t=0 s:

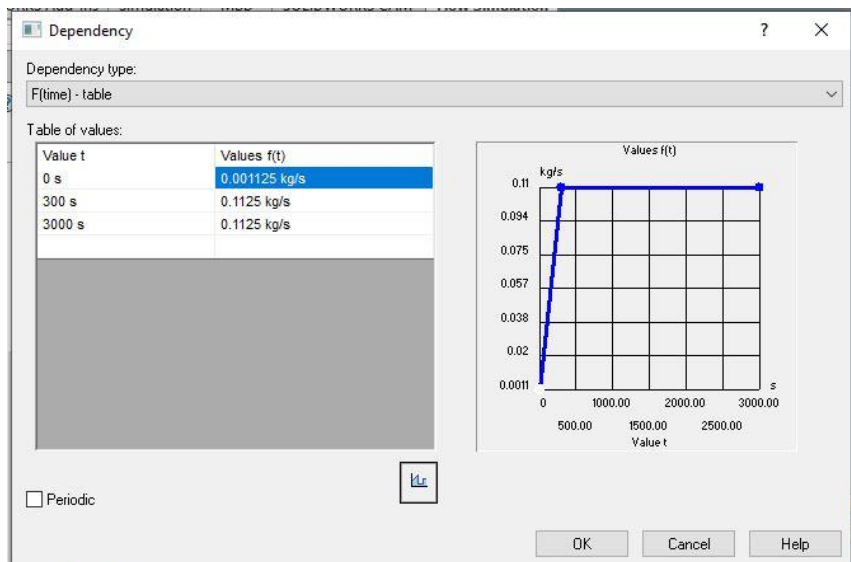
$$M_b = \frac{P_e \times b_e}{t} = \frac{27 \text{ kW} \times 0,150 \text{ kg/kWh}}{3600 \text{ s}} = 0,001125 \text{ kg/s}$$

Utvikling av Metan forbruk med 90% Metan i perioden t=0 til t=300 s:

$$f(t) = 0,001125 \times (0,3t + 10) = \text{kg/s}$$

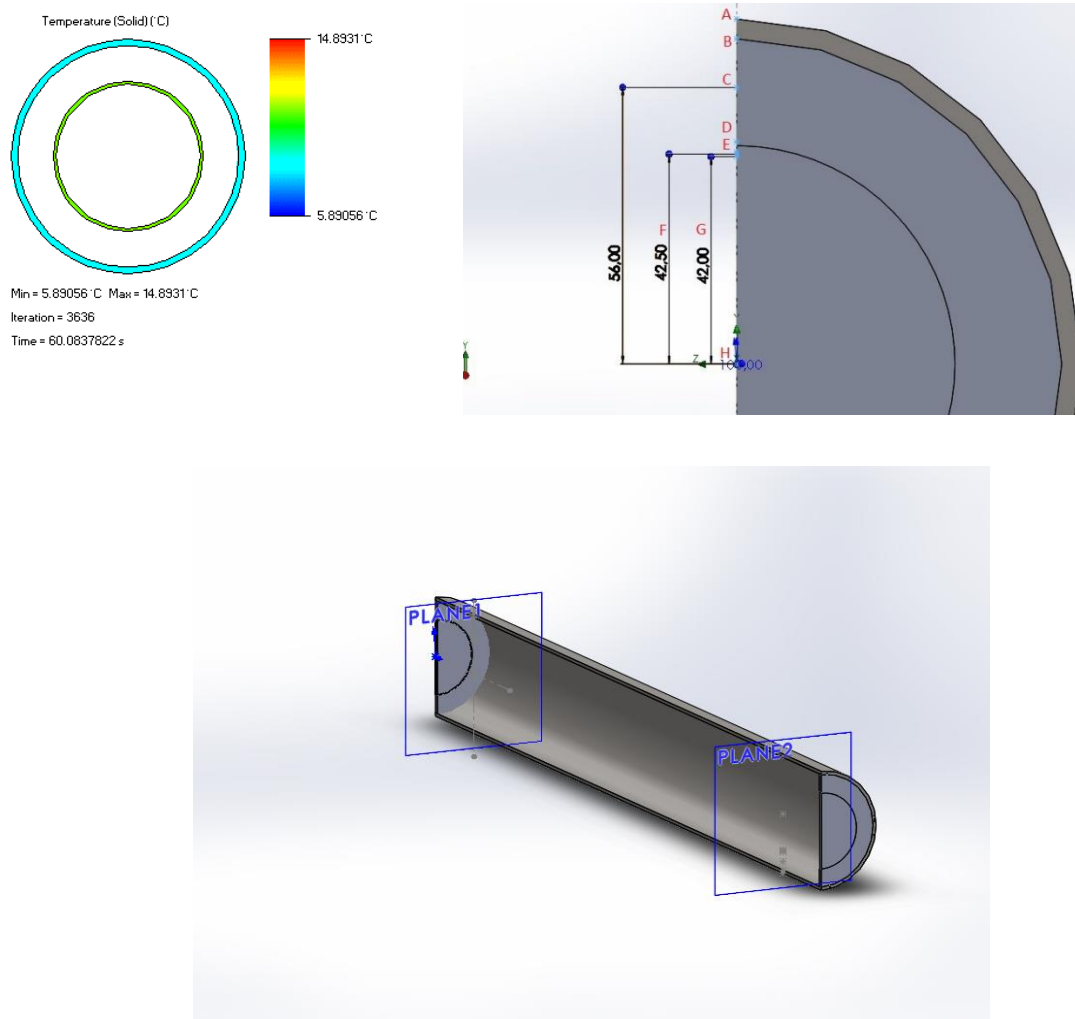
Tilsvarende 9,7 t/døgn Forbruk Metan v/100% belastning (fra t =300 s og videre)

Anvendt brennverdi på metan er mottatt fra Wartsila (*Wartsila, u.d.*)



Figur 28, Setpunkt metan parameter ved en simulering med stigende forbruk basert på tid t= 0 - 3000 s Kristian Lyckander

4.1.5 Dobbeltrørets temperaturutvikling, testsimuleringer 1-5



Figur 29 oversikt over målepunkt plassering og plan 1 og 2. Kristian Lyckander

For å få en presis oversikt over temperaturutviklingen legges det inn målepunkt som kan monitoreres separat under test simuleringene og dermed få en oversikt over ulike ΔT i Y og X retning. Dette er identisk på alle test simuleringene. Formålet med dette er at man eventuelt kan etterprøve resultatene ved å plassere sensorer med samme koordinater på en praktisk test.

På simulering av eksisterende system er dette ikke tatt med for å redusere simuleringstid.

Målepunkt oversikt plan 1 og 2:

A1 – A2= Overflate utside DN 125 rør (material temperatur mot luft)

B1-B2= Overflate innside DN 125 rør (material temperatur mot luft innside)

C1-C2= senter DN 125 rør (luft temperatur innvendig)

D1-D2= Overflate utside DN 80 rør(material temperatur mot luft innvendig)

E1-E2=Gass/rør temp kontaktflate DN80 rør

F1-F2= Gass temp 0,5 mm fra overflate

G1-G2= Gass Temp 1 mm fra overflate

H1-G2= Gass Temp senter av rør

ΔL =Avstand mellom plan 1 og 2

4.1.6 Parameter setting og formål med hver fase av simuleringene

Formål med simuleringer:

- Test 1-5: Utvikle en relativ enkel metode for testsimuleringer som kan kontrolleres praktisk og teoretisk, og som kan kjøres gjentatte ganger for å gjøres mest mulig presis og realistisk, uten for mye krav til tilgjengelig PC hardware med tanke på simuleringstid, samtidig som den har direkte overføringsverdi til simuleringer for resten av systemet.
- A-C Gjennomføre simuleringer gjennom varierende geometri, av hele systemet innenfor oppgitt systemgrense, med samme metode som er brukt på testsimuleringer, for å forsøke å finne svar på prosjektmålene.
- **Temperaturer ved tid $t = 0$ s:**

Alle simuleringene kjøres med temperaturer: Omgivelser og materialer $T = 5$ °C ved tid $t = 0$ s

*(På simulering 1 er det i tillegg gjennomført en simulering med T materialer $T = 45$ °C ved tid $t = 0$ s for å sammenligne resultater)

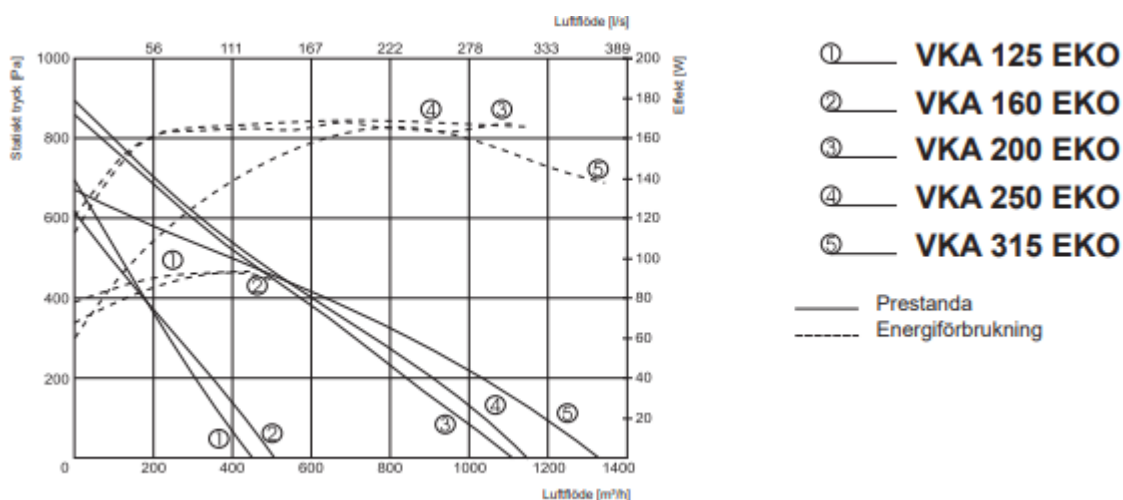
- **Simuleringer varighet**

Alle simuleringene på tid har i utgangspunktet en varierende varighet i intervallet $t = 0 - 3000$ s. Etter testing har dette vist seg å være et tilstrekkelig intervall for å komme frem til nødvendige resultater. En lengre periode ville også ta for lang tid å gjennomføre, med tanke

på at temperatur simulering med tidsintervall er svært tidkrevende. Enkelte simuleringer er avsluttet tidligere på grunn av dette.

Ventilasjon på GVU:

Avtrekk vifte som suger luft ut fra GVU vil bli montert ca 15 m over GVU. Basert på areal mellom indre og ytre rør, og hensiktsmessig luftmengde i samråd med Wartsila, har jeg basert parameter på en type vifte HKFE ECO 125 som vil ha tilstrekkelig kapasitet.



Figur 30, trykk/luftmengde for vifte. Swegon, Bergen

Har satt et trykkfall på 100 Pa gjennom GVU og 30 Pa på rør. Det vil videre være trykkfall på resterende system som er utenfor systemgrense. På simuleringer er det satt en luftmengde på 50-100 m³/h. 100 m³/h tilsvarener en lufthastighet på ca 4,9 m/s gjennom dobbeltrør, som er noe høyt, men realistisk.

5 Resultater

5.1 Testsimuleringer 1-5. L rør =1000mm

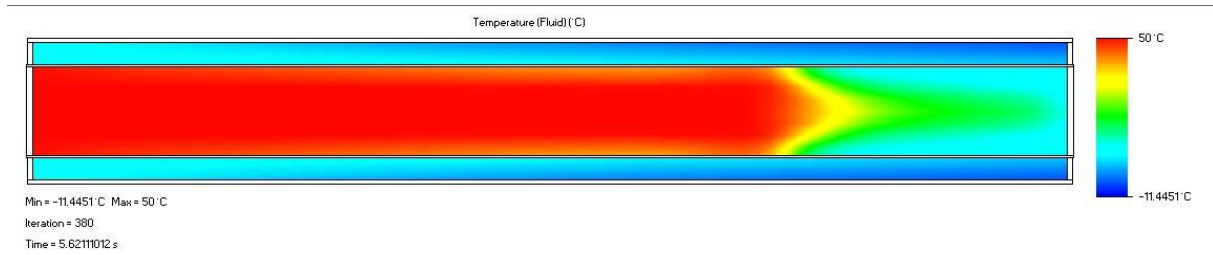
5.1.1 Oppstart med Ammoniakk, intern

Formålet med denne simuleringen er å undersøke metode for å synliggjøre kondenseringens lokasjon og tidspunkt. Oppstart på Ammoniakk med et kaldt system er ikke realistisk. Når DN80 røret varmes opp, vil det varme opp luften rundt. Når den varme luften treffer overflaten innvendig på det kalde DN125 røret vil det oppstå kondens fra luften, dersom ventilasjonen ikke klarer å kompensere for dette.

Tabell 1: Parameter simulering 1

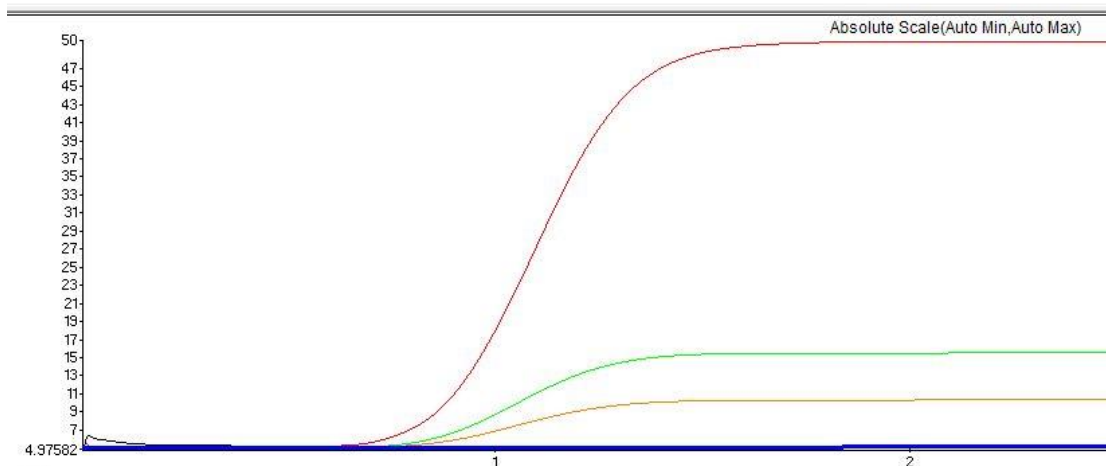
Test Nr: 1	Ammoniakk 0-300 sek, "recommended gas and diesel, warm engine"						
Komponent:	Parti av dobbelt rør L= 1000 mm						
Intern	Mesh:	Global: 3		Lokal: 3			
Parameter ved t=0:							
Komponent	Lengde mm	Ytre diameter	Gods tykkelse	Materiale	k (T koeff)	c (Sp. V.kap.)	T
DN 80 rør	1000	88,9	2	316 L	14	0,52 kJ/kg K	5 °C
DN 125 rør	1000	139,7	4	Karbonstål	50	0,51 kJ/kg K	5 °C
Gass type	Mengde inn	T inn	P inn	P ut			
Ammoniakk	0,0030795 x (0,3t +10) kg/s	N/A	N/A	N/A			
Vent/Luft DN 125 rør	0	5 °C	1 bar	1 bar			
Omgivelse luft	N/A	5 °C	N/A				

Resultater									
Beskrivelse målepunkt	Temperaturer t=0-300 sekunder								
		t= 0		t=3		t=90		t=300	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Utside. DN 125 rør	A	5	5	5,24	5,24	9,58	9,6	16,08	15,97
Innside DN 125 rør	B	5	5	5,28	5,28	9,61	9,63	16,09	15,98
Ventilasjon DN 125 rør	C	5	5	4,17	-2,68	4,65	1,67	5,49	8,3
Utside DN 80 rør	D	5	5	5,16	5	15,63	21,27	46,9	44,62
Innside DN 80 rør	E	5	5	5,16	5	15,63	21,26	46,88	44,6
Gass temp 0,5 mm fra overflate	F	5	5	5,19	5	15,73	21,46	47,01	44,75
Gass temp 1 mm fra overflate	G	5	5	15,7	5,02	24,15	26,65	47,72	45,75
Gass temp senter rør	H	5	5	50	5,06	50	49,9	50	50



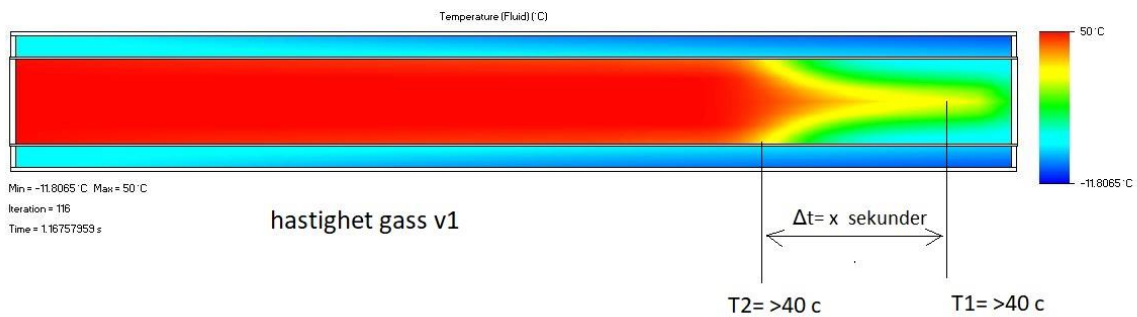
Figur 31, Temperaturutvikling etter 5,62 s

Name	Current Value	Progress	Criterion	Averaged Value
E1 innside DN 80	6.73088 °C	14%	0.0128213 °C	6.68558 °C
E2 innside DN 80	5.44448 °C	04%	0.00389554 °C	5.3807 °C
F1 Gass	11.9792 °C	Achieved (IT = 177)	0.240636 °C	11.938 °C
F2 gass	9.40985 °C	51%	0.0397543 °C	9.35176 °C
G1 Gass	17.2318 °C	Achieved (IT = 177)	0.479469 °C	17.1945 °C
G2 gass	14.3721 °C	Achieved (IT = 631)	0.0851195 °C	14.3211 °C
H1 Gass	50 °C	Achieved (IT = 180)	1.7285 °C	50 °C
H2 gass	49.9976 °C	Achieved (IT = 492)	0.368493 °C	49.9976 °C

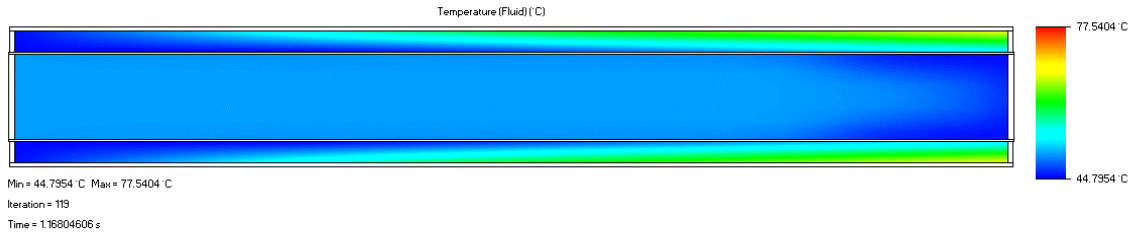


Figur 32, Temperaturutvikling etter 5,62 s

Ammoniakkens Temperaturutvikling:

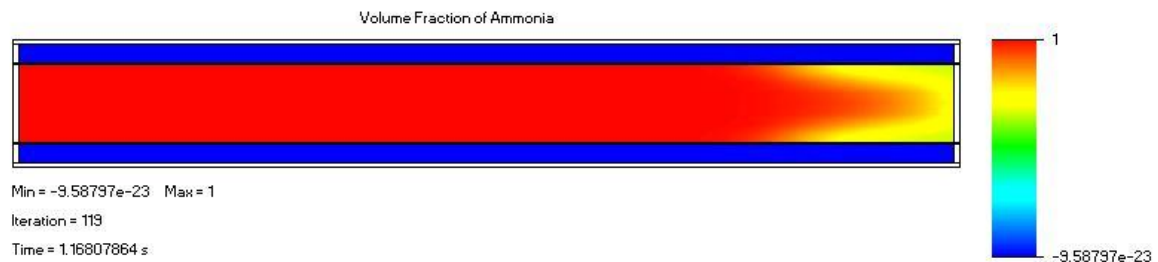


Figur 33, Temperaturutvikling etter 1,16 s

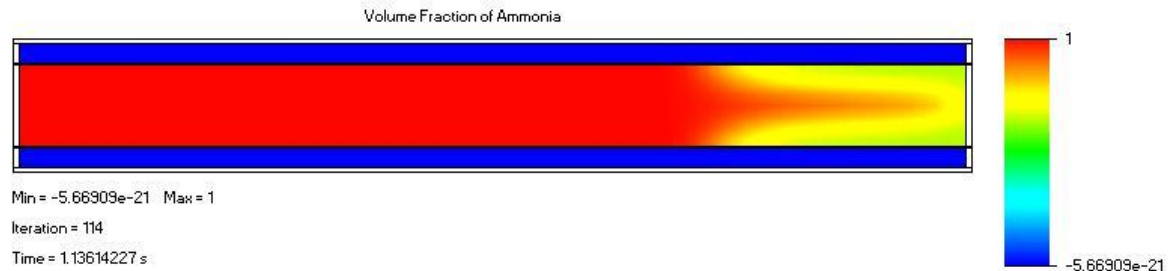


Figur 34, Temperaturutvikling etter 1,16 sek, Materialer $T = 45\text{ °C}$, ved $t=0\text{ s}$ Ventilasjon 45 °C ,. Alle andre parameter er identiske med simulering.

Ammoniakkens volum fraksjon:



Figur 35. Snitt av røret "Volume fraction ammonia" c ved $t=1,16\text{ s}$ material temp $T=45\text{ °C}$, ved $t=0\text{ s}$



Figur 36. Snitt av røret "Volume fraction ammonia" ved $t=1,13\text{ s}$ material temp $T=5\text{ °C}$, ved $t=0\text{ s}$

Tilhørende beregninger:

Ifølge Charles lov, forholdet mellom gass volum og temperatur, halveres volumet til en gass, dersom temperatur er halvert. Dersom temperatur i kelvin er doblet, doubles volumet. (C.Fay, 2012)

Ammoniakk volum ved $P=10\text{ bar}=10\text{Mpa}$ og Temperatur $T= 50\text{ °C}$:

$$V \text{ ideell gass} = \frac{R \times T}{P} = \frac{0,4882 \times 406 \text{ K}}{10 \text{ Mpa} \times 10^3} = 0,019$$

$$\text{Redusert temp } Tr = \frac{T}{Tcx} = \frac{(50+273 \text{ K})}{406 \text{ K}} = 0,8$$

$$\text{Redusert trykk } Pr = \frac{P}{Pcx} = \frac{10 \text{ bar}}{112,8 \text{ bar}} = \mathbf{0,089}$$

Se Amagat diagram: Finner da z på diagram. Avlest fra diagram **z=0,94**

$$\mathbf{T=50 \text{ c: Ammoniakk } V_{\text{inn}} = \frac{ZxRxT}{P} = \frac{0,94x0,488x323K}{1Mpa \times 100} = \mathbf{0,148 \text{ m}^3/\text{kg}}$$

Ammoniakk volum ved P=10 bar og Temp er T=5°C:

$$\text{Redusert temp } 5c: T_r = \frac{T}{Tcx} = \frac{5+273K}{406K} = \mathbf{0,68}$$

P_x er samme som ved T=50 °C

Finner da z på diagram. Avlest fra diagram **z=0,97**

$$\mathbf{T=5 \text{ °C: Ammoniakk } V_{\text{inn}} = \frac{ZxRxT}{P} = \frac{0,97x0,488x278K}{1Mpa \times 100} = \mathbf{0,131 \text{ m}^3/\text{kg}}$$

$$\mathbf{\text{Ammoniakkens reduksjon i volum fra } T= 50^\circ\text{C til } T=5 \text{ °C: } = \frac{0,131 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}{0,148 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = \mathbf{0,88 \text{ dvs } 12 \% \text{ mindre volum.}}$$

Etter 1,16 sekunder er det tilført (Temp =50°C):

$$0,0375 \text{ kg NH}_3 \times 1,16 \text{ s} = 0,0435 \text{ kg} \times 0,148 \text{ m}^3/\text{kg} = \mathbf{0,006438 \text{ m}^3}$$

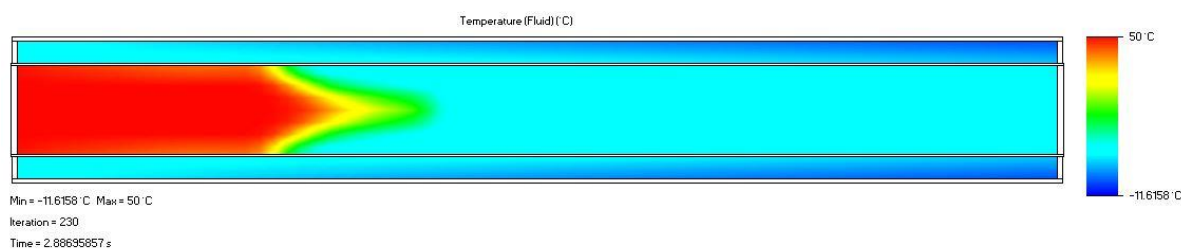
5.1.2 Oppstart med Metan, intern

Formålet med denne simuleringen er å undersøke tiden det tar å varme opp røret med Metan før man eventuelt kan gå over til Ammoniakk. uten fare for kondensering. Når DN80 røret varmes opp, vil det varme opp luften rundt. Når den varme luften treffer overflaten innvendig på det kalde DN125 røret vil det oppstå kondens fra luften, dersom ventilasjonen ikke klarer å kompensere for dette. Ventilasjonen er uten oppvarming. Etter ca t=120 sekunder var DN 80 røret over kondenseringstemperatur til ammoniakk.

Tabell 2: Parameter simulering 2

Test Nr: 2	Metan 0-300 sek, "recommended gas and diesel, warm engine"						
Komponent:	Parti av dobbelt rør L= 1000 mm						
Intern	Mesh:	Global: 4	Lokal: 5				
Parameter ved t=0:							
Komponent	Lengde mm	Ytre diameter	Gods tykkelse	Materiale	k (T koeff)	c (Sp. V.kap.)	T
DN 80 rør	1000	88,9	2	316 L	14	0,52 kJ/kg K	5 °C
DN 125 rør	1000	139,7	4	Karbonstål	50	0,51 kJ/kg K	5 °C
Gass type	Mengde inn	T inn	P inn	P ut			
Metan	0,002546 x (0,3t +10) kg/s	N/A	N/A	N/A			
Vent/Luft DN 125 rør	0,027 m3/h	5 °C	1 bar	1 bar			
Omgivelse luft	N/A	5 °C	N/A				

Resultater									
Beskrivelse målepunkt	Temperaturer t=0-300 sekunder								
		t=0		t=3		t=120		t=300	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Utside. DN 125 rør	A	5		5,2		10,8		16,7	
Innside DN 125 rør	B	5		5,2		10,8		16,1	
Ventilasjon DN 125 rør	C	5		4,2		4,7		5,5	
Utside DN 80 rør	D	5		5,1		26,3		47,3	
Innside DN 80 rør	E	5		5,2		26,6		47,4	
Gass temp 0,5 mm fra overflate	F	5		10,3		29,5		47,7	
Gass temp 1 mm fra overflate	G	5		15,7		32,4		48	
Gass temp senter rør	H	5		50		50		50	



Figur 37, snitt av dobbeltrør, som viser temperatur på metan gass i DN80 rør etter t = 2,88 s

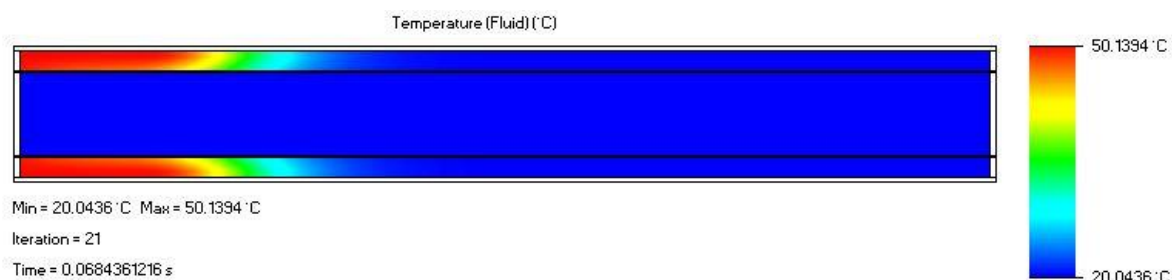
5.1.3 Forvarming med ventilasjon uisolert, intern

Formålet med denne simuleringen er å undersøke tiden det tar å forvarme opp røret med ventilasjonen

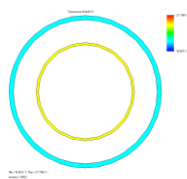
Tabell 3: Parameter simulering 3

Test Nr: 3	Forvarming med ventilasjon, uisolert rør						
Komponent:	Parti av dobbelt rør L= 1000 mm						
Intern	Mesh:	Global: 3		Lokal: 4			
Parameter ved t=0:							
Komponent	Lengde mm	Ytre diameter	Gods tykkelse	Materiale	k (T koeff)	c (Sp. V.kap.)	T
DN 80 rør	1000	88,9	2	316 L	14	0,52 kJ/kg K	5 °C
DN 125 rør	1000	139,7	4	Karbonstål	50	0,51 kJ/kg K	5 °C
Gass type	Mengde inn	T inn	P inn	P ut			
Metan	0	N/A	N/A	N/A			
Vent/Luft DN 125 rør	0,027 m ³ /s	50 °C	1 bar	1 bar			
Omgivelse luft	N/A	5 °C	N/A				

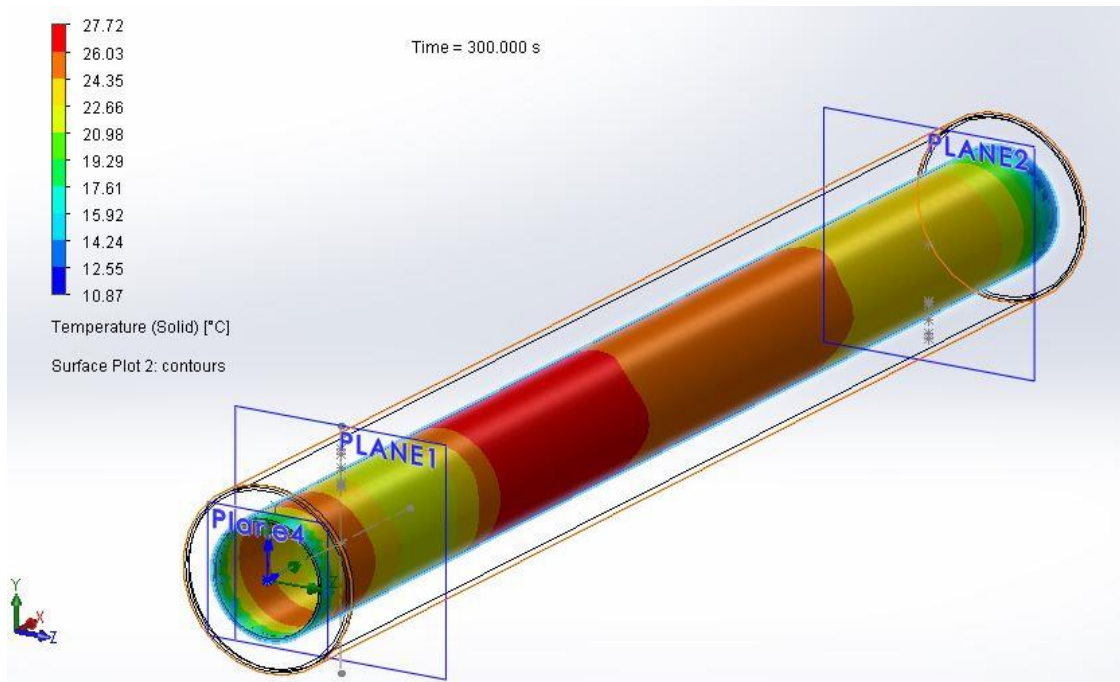
Resultater									
Beskrivelse målepunkt	Temperaturer t=0-300 sekunder								
		t=0		t=3		t=120		t=300	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Utside. DN 125 rør	A	5	5					22	21,1
Innside DN 125 rør	B	5	5					24,2	23,8
Ventilasjon DN 125 rør	C	5	5					47,3	35,8
Utside DN 80 rør	D	5	5					25,3	24,2
Innside DN 80 rør	E	5	5					25,1	23,2
Gass temp 0,5 mm fra overflate	F	5	5					18,7	17
Gass temp 1 mm fra overflate	G	5	5					17,3	15,2
Gass temp senter rør	H	5	5					17	12,4



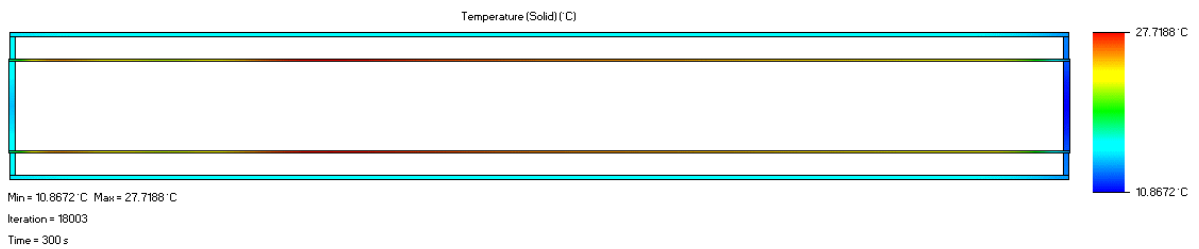
Figur 38, snitt av dobbeltrør, som viser temperatur på luften i DN 125 rør ved t=0,06 s



Figur 39, Snitt av plan 1. Temperaturer etter 300 sek



Figur 40, Høyeste temperatur på DN 80 rør er 27,7 C etter 300 sek.



Figur 41, temperatur begge rør etter 300 sek.

Tilhørende beregninger:

DN80 rør :

Bruker lengde på rør $L=1\text{ m}$ i utregning

316L stål egenvekt: 8000 kg/m^3

Volum innside rør: $V = \pi r^2 h = \pi 0,04^2 \times 1\text{ m} = 0,005024\text{ m}^3$

Areal total overflate innside rør: $A = 2\pi r h = 2\pi 0,04\text{ m} \times 1\text{ m} = 0,2512\text{ m}^2$

Volum materiale DN80 rør:

$V = V \text{ utside rør} - V \text{ innside rør} = (\pi \times r_{\text{utside}}^2 \times h) - (\pi \times r_{\text{innside}}^2 \times h)$

$V = \pi \times 0,009\text{ m}^2 \times 1\text{ m} - \pi \times 0,0008\text{ m}^2 \times 1\text{ m} = 0,00005338\text{ m}^3$

Vekt DN 80 rør: $8000\text{ Kg} \times 0,00005338\text{ m}^3 = 0,427\text{ Kg}$

Hvor mye varme energi må tilføres for å varme opp 1 m rør fra $20\text{ }^\circ\text{C}$ til $60\text{ }^\circ\text{C}$:

$Q = m \times c \times \Delta T = 0,427\text{ Kg} \times 0,502\text{ kJ/kg }^\circ\text{C} \times 40\text{ }^\circ\text{C} = 8,574\text{ kJ}$

Hastighet på gass gjennom røret:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,0000347222\text{ m}^3}{\frac{s}{\pi r^2}} = 0,006911\text{ m/s}$$

Kontaktflate etter 1 sek:

$A = 2\pi r h = 2\pi \times 0,04\text{ m} \times 0,006911\text{ m} = 0,00173604\text{ m}^2$

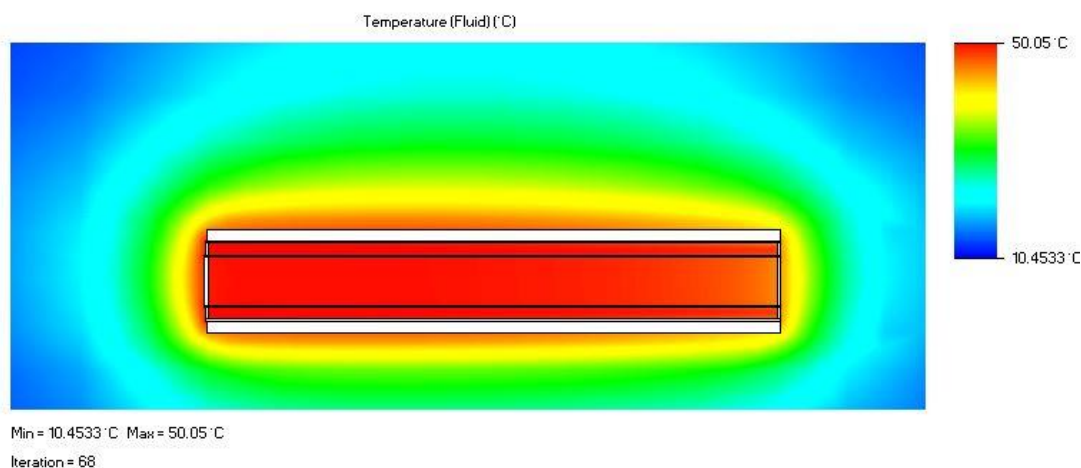
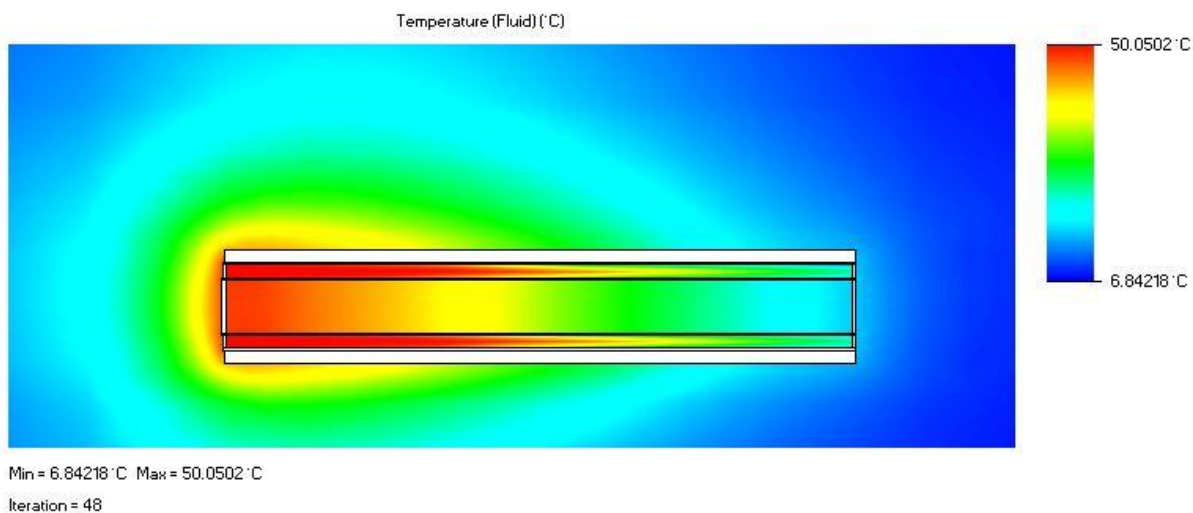
overført varme etter 1 sekund:

$Q = h \times A \times \Delta T = 14\text{ W}/(\text{m}^2\text{ K}) \times 0,00173604\text{ m}^2 \times 40\text{ }^\circ\text{C} = 0,97\text{ W}$

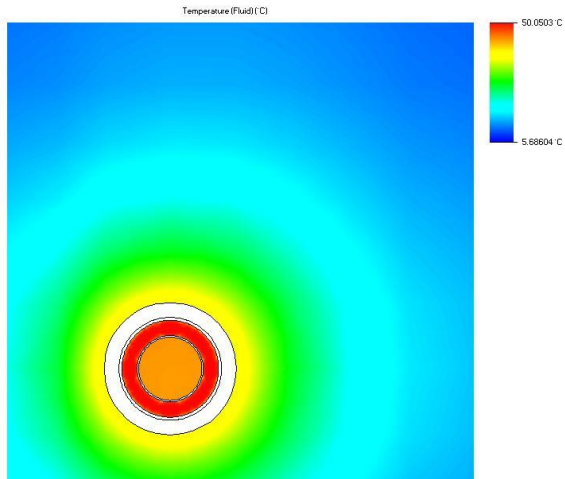
5.1.4 Forvarming via ventilasjon, 20 mm isolasjon,ekstern

Tabell 4: Parameter simulering 4

Test Nr: 4	Forvarming med ventilasjon, isolert rør						
Komponent:	Parti av dobbelt rør L= 1000 mm						
Ekstern	Mesh:	Global: 4	Lokal: 5				
Parameter ved t=0:							
Komponent	Lengde mm	Ytre diameter	Gods tykkelse	Materiale	k (T koeff)	c (Sp. V.kap.)	T
DN 80 rør	1000	88,9	2	316 L	14	0,52 kJ/kg K	5 °C
DN 125 rør	1000	139,7	4	Karbonstål	50	0,51 kJ/kg K	5 °C
Isolasjon	1000	179,7	20	Rockwool	0,5	0,8 kJ/kg K	5 °C
Gass type	Mengde inn	T inn	P inn	P ut			
Metan	0	N/A	N/A	N/A			
Vent/Luft DN 125 rør	0,027 m3/s	50 °C	1 bar	1 bar			
Omgivelse luft	N/A	5 °C	N/A				



Figur 42, temperatur ved slutt simulering

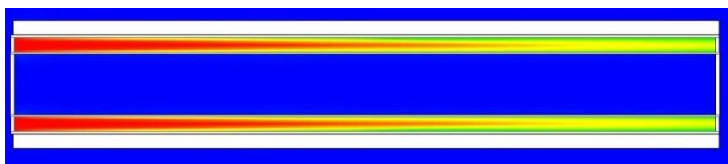


Figur 43, temperatur luft ved slutt simulering

5.1.5 Forvarming ventilasjon med isolasjon på tid, ekstern

Tabell 5: Parameter simulering 5

Test Nr: 5	Forvarming med ventilasjon, isolert rør, tidsintervall						
Komponent:	Parti av dobbelt rør L= 1000 mm						
Ekstern	Mesh:	Global: 4	Lokal: 5				
Parameter ved t=0:							
Komponent	Lengde mm	Ytre diameter	Gods tykkelse	Materiale	k (T koeff)	c (Sp. V.kap.)	T
DN 80 rør	1000	88,9	2	316 L	14	0,52 kJ/kg K	5 °C
DN 125 rør	1000	139,7	4	Karbonstål	50	0,51 kJ/kg K	5 °C
Isolasjon	1000	179,7	20	Rockwool	0,5	0,8 kJ/kg K	5 °C
Gass type	Mengde inn	T inn	P inn	P ut			
Metan	0	N/A	N/A	N/A			
Vent/Luft DN 125 rør	0,027 m ³ /s	50 °C	1 bar	1 bar			
Omgivelse luft	N/A	5 °C	N/A				



Figur 44, luft T t=8 s, Skala 5-50°C



Figur 45, Material T t=8 s, skala 5-7°C

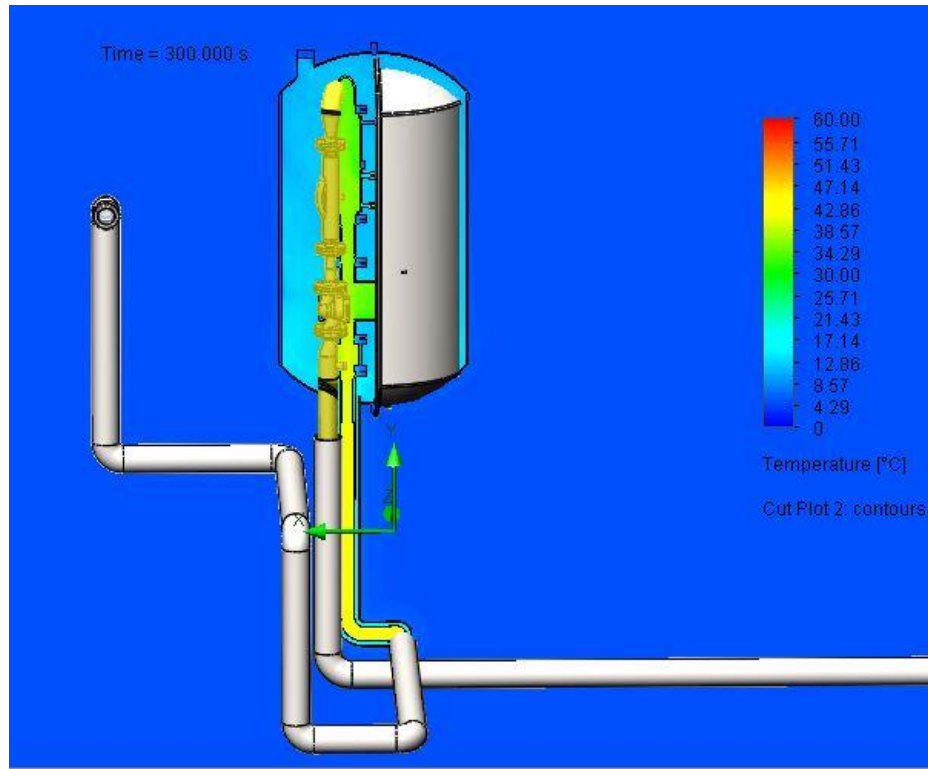
5.2 Simuleringer av eksisterende system

5.2.1 Systemgrense A-C Oppstart med metan, ventilasjon u/varme

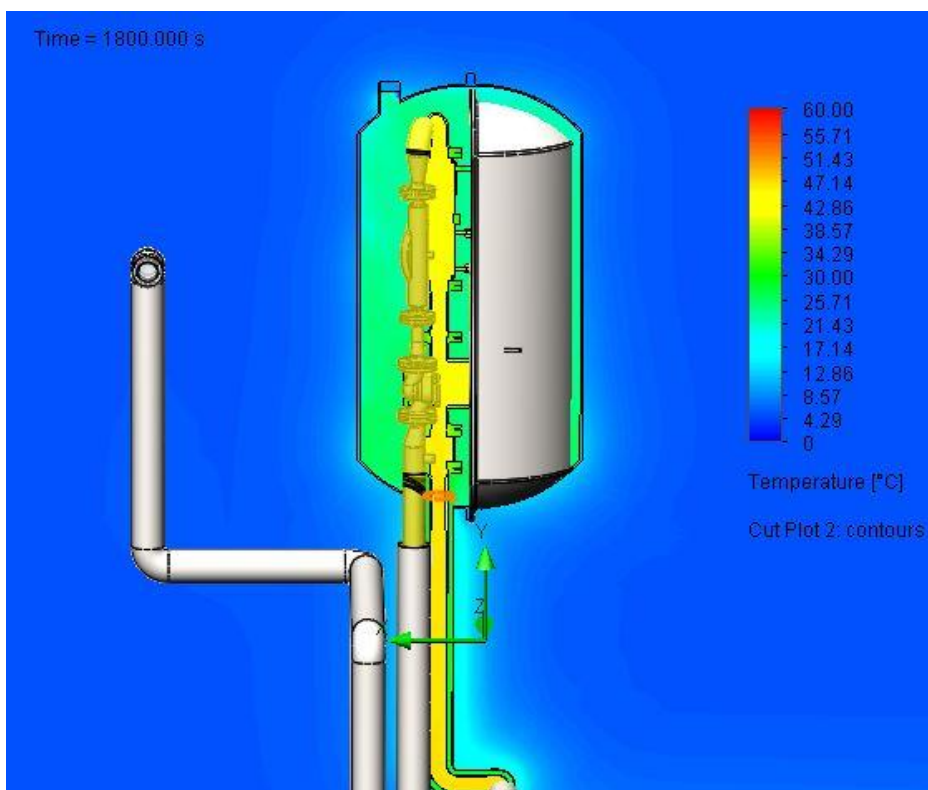
I området A- A1 og opp til topp invendig på GVU vil systemet fungere som en varmeveksler som går medstrøms. Fra toppen på GVU og videre ut til C vil prinsippet være som en motstrøm varmeveksler, der gassen går mot punkt C, samtidig som ventilasjonen går fra punkt C mot punkt D. Dermed vil nedkjølingen av gassen gå raskere i dette området, ettersom motstrøm effekten vil øke virkningsgraden dersom man ser på det som en motstrøms varmeveksler. Men virkningsgraden vil være lav, fordi det er så liten kontaktflate mellom gassen og rørets areal, sammenlignet med eksempelvis en platekjøler, som har maksimalt areal kontaktflate. Materialet på DN 80 røret har også en relativt lav temperatur koeffisient, så nedkjølingen vil gå mer gradvis, sammenlignet med om det var eksempelvis karbonstål.

Tabell 6: Parameter simulering 6

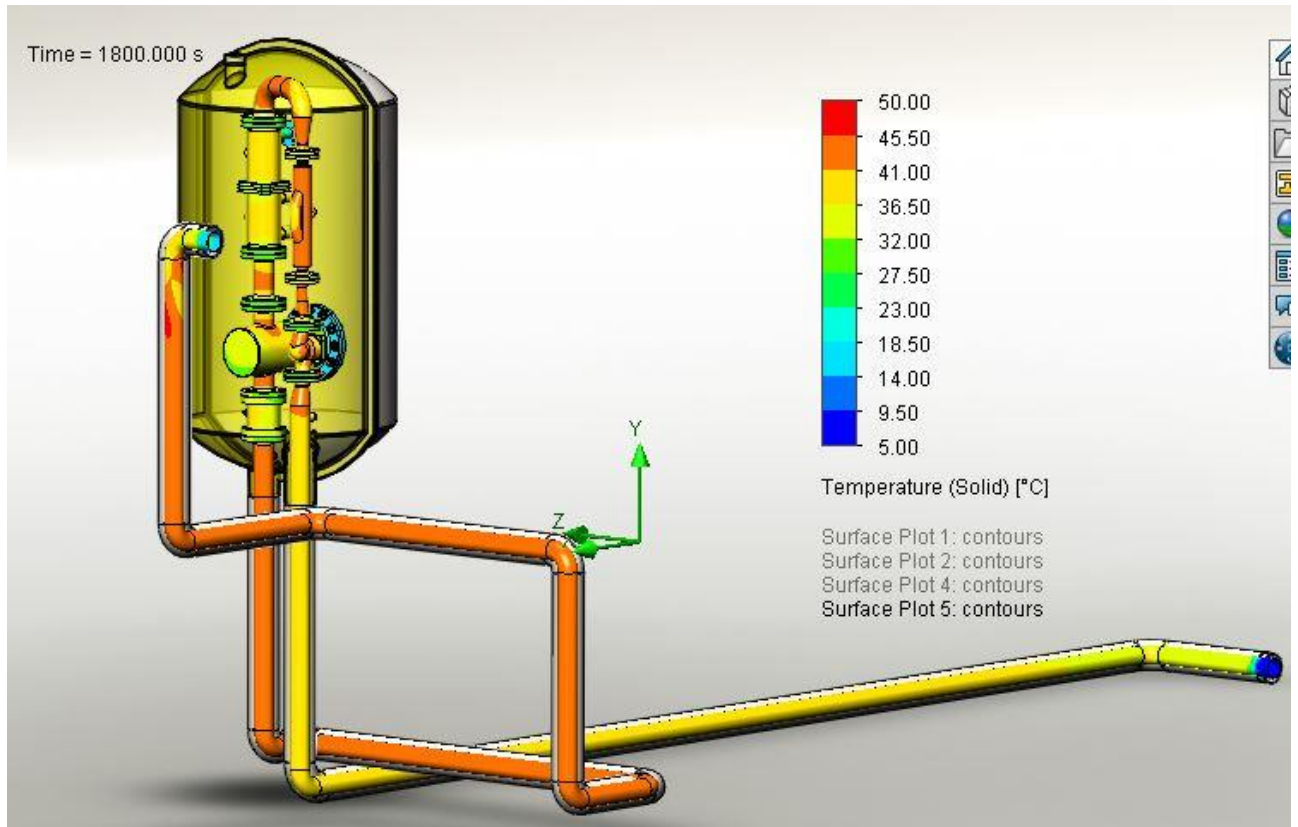
Test Nr: 6	Oppstart med metan 0-300 sek "recommended gas and diesel, warm engine"						
Komponent:	System A-C						
Ekstern	Mesh:		Global: 3	Lokal: 2/6/4/2/2/2			
Parameter ved t=0:							
Komponent	Lengde mm	Ytre diameter	Gods tykkelse	Materiale	k (T koeff)	c (Sp. V.kap.)	T
DN 80 rør	14000	88,9	2	316 L	14	0,52 kJ/kg K	5 °C
DN 125 rør	14000	139,7	4	Karbonstål	50	0,51 kJ/kg K	5 °C
GVU kapsling			8	Karbonstål	50	0,51 kJ/kg K	5 °C
Komponenter				316 L	14	0,52 kJ/kg K	5 °C
Gass type	Mengde inn	T inn	P inn	P ut			
Metan t=0-300 s	0,002546 x (0,3t +10) kg/s	50	10 bar	8,5 bar			
Metan t =300-3000 s	0,2546 kg/s	50	10 bar	8,5 bar			
Luft inn rør A	0,022 m3/s	5 °C	1,2 bar	1 bar			
Luft inn rør C	0,022 m3/s	5 °C	1,2 bar	1 bar			
Omgivelse luft	N/A	5 °C	N/A				



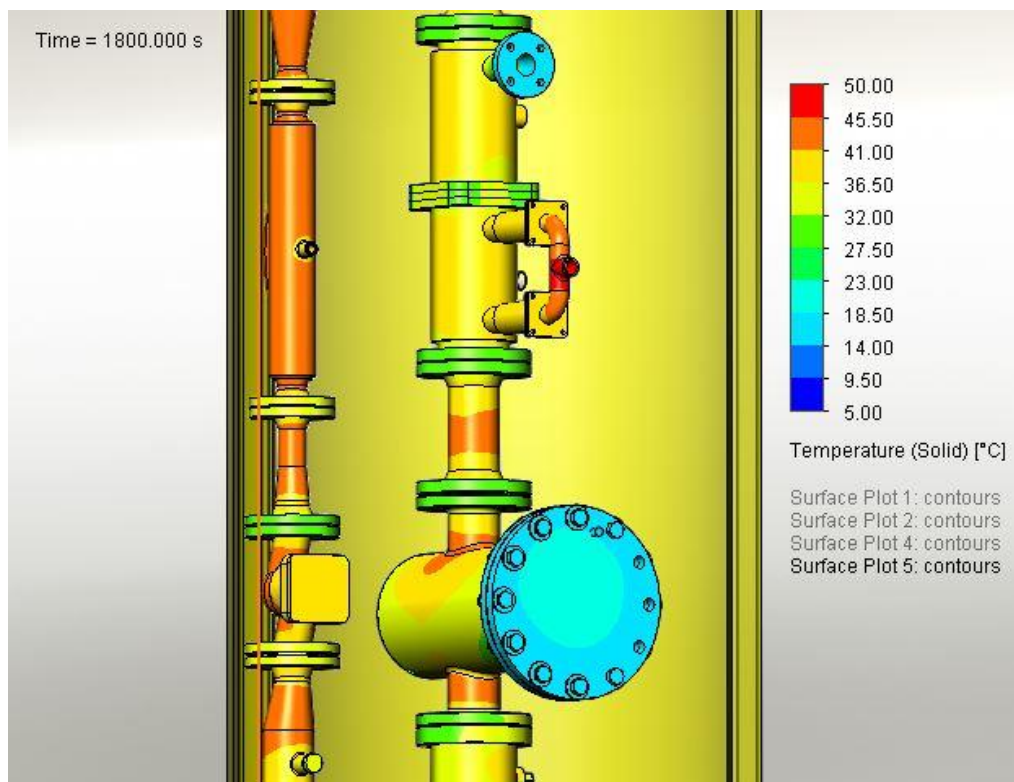
Figur 46, Temperaturutvikling på indre rør og komponenter, samt gass og luft $t=300\text{ s}$



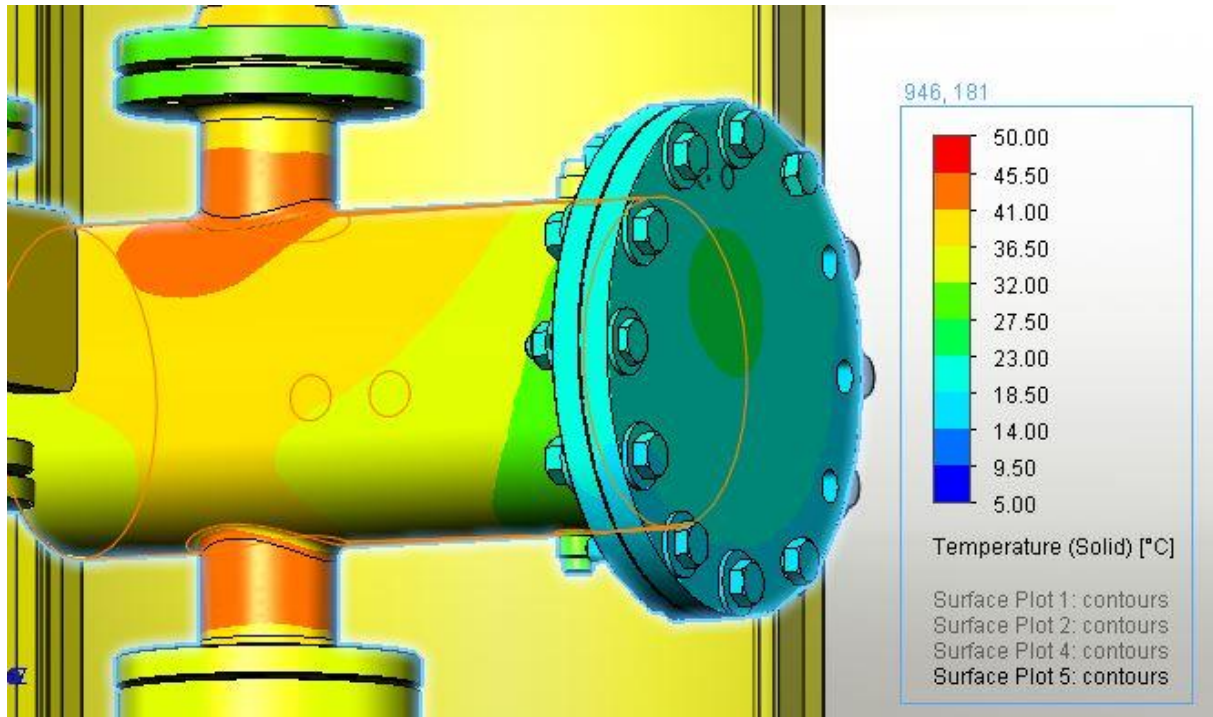
Figur 47, Temperaturutvikling på indre rør og komponenter, samt gass og luft $t=1800\text{ s}$



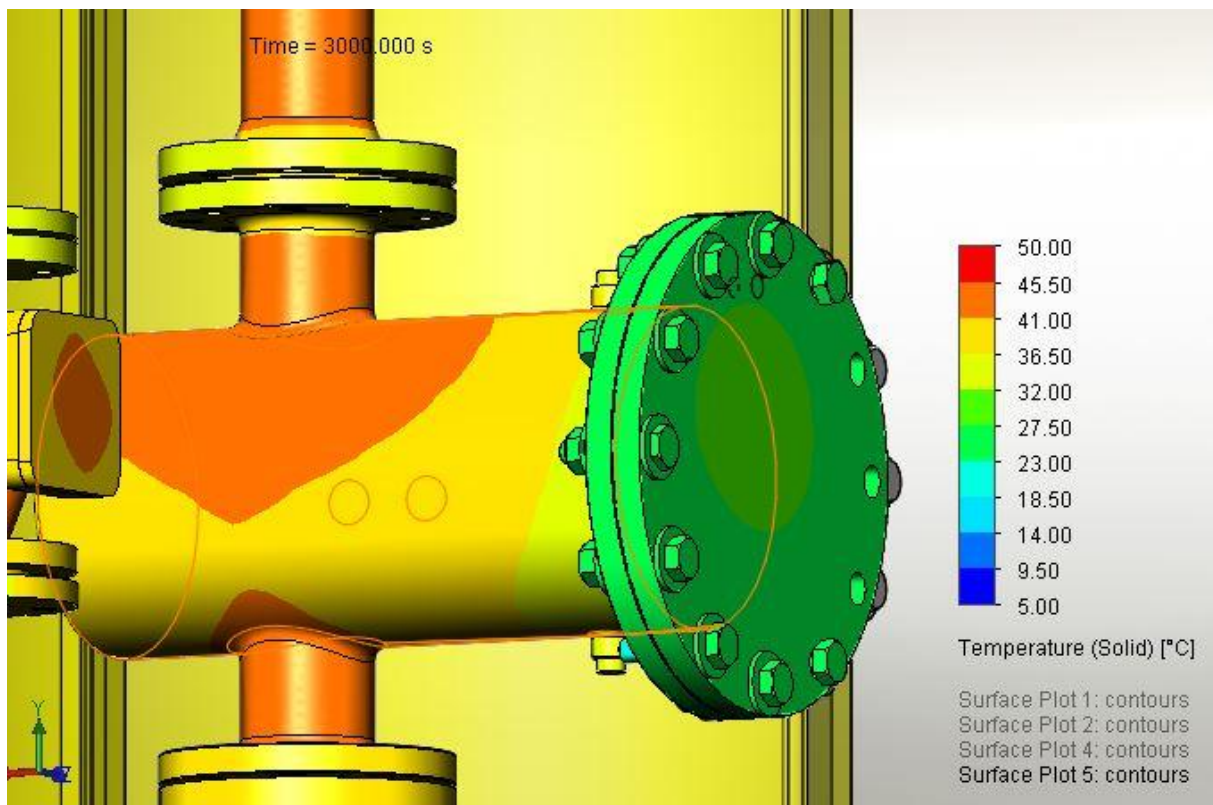
Figur 48, Temperaturutvikling på indre rør og komponenter, $t=1800$ s



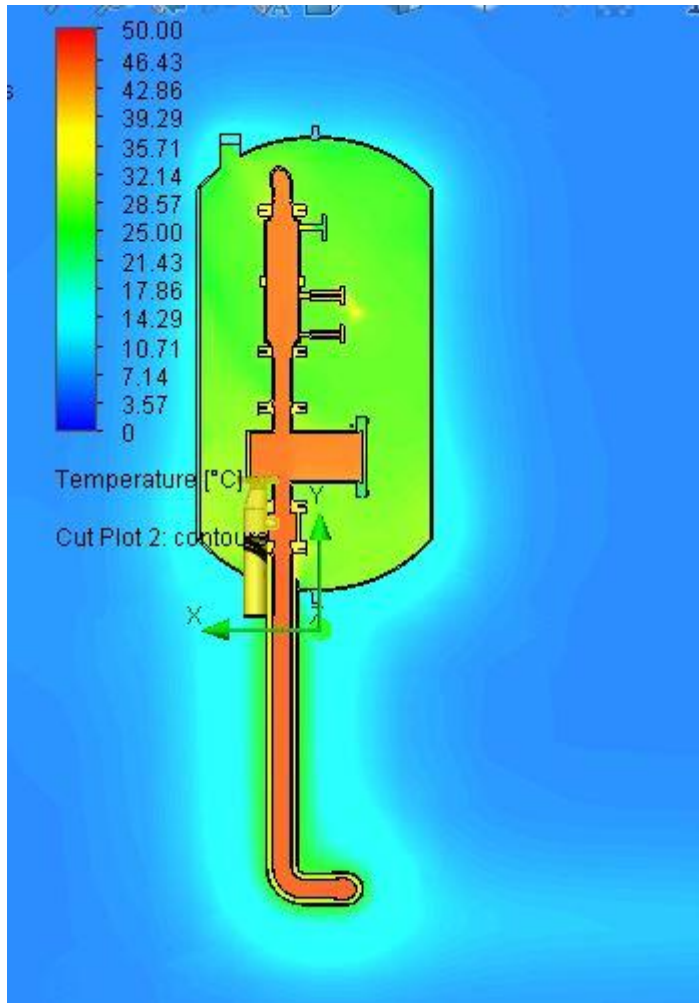
Figur 49, Det kældeste området, $t=1800$ s



Figur 50 , $t=2100$ s



Figur 51 $t=3000$ s



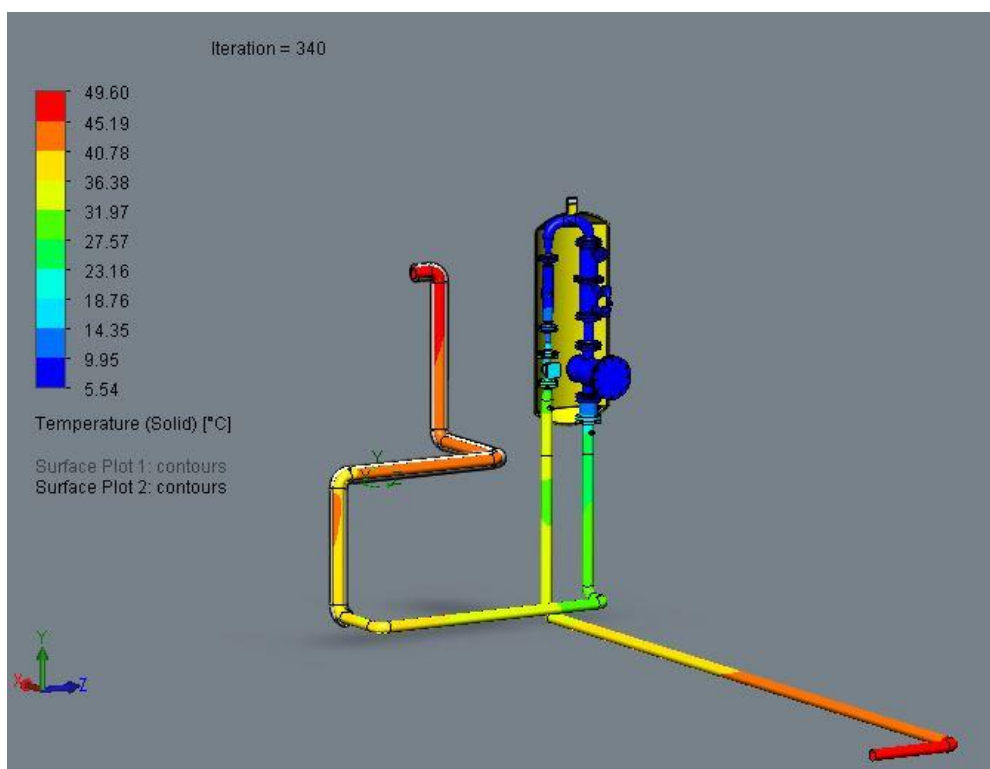
Figur 54, T luft og gass $t=3000$ s

5.2.2 Systemgrense A-C Forvarming med ventilasjon uisolert

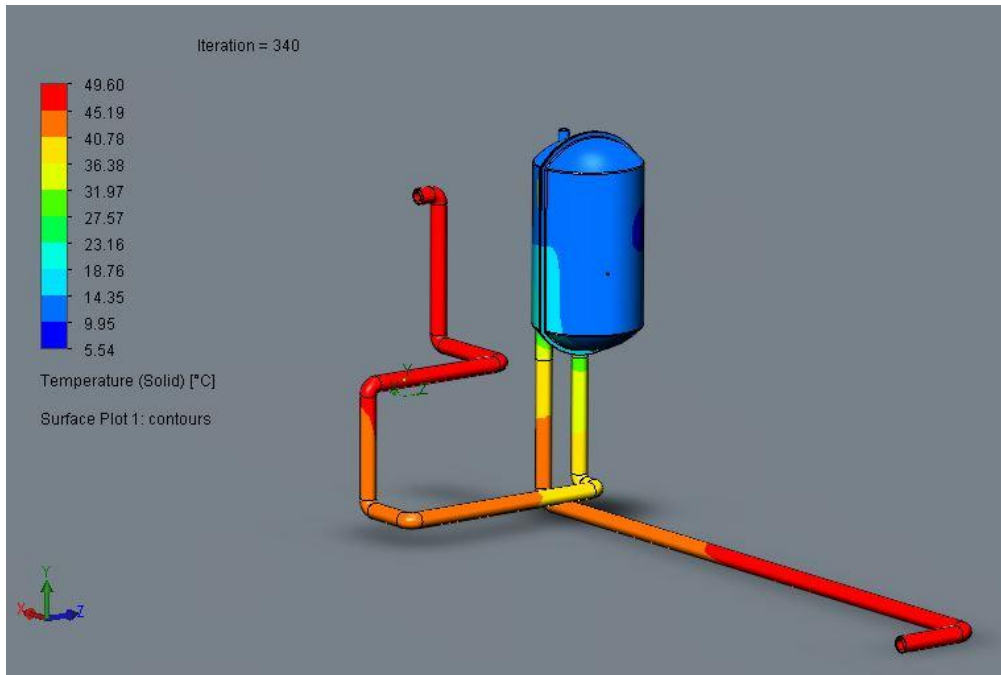
Formålet med denne simuleringen er å fremstille temperaturutviklingen på eksisterende system dersom det forvarmes med ventilasjon. Simuleringen er uten tid og det er tatt med bilder som viser systemet når utviklingen videre stoppet.

Tabell 7: Parameter simulering 7

Test Nr: 7	Forvarming med eksisterende ventilasjon, uisolert						
Komponent:	System A-C						
Ekstern	Mesh:		Global: 3	Lokal: 1/4/4/2/2/2			
Parameter ved t=0:							
Komponent	Lengde mm	Ytre diameter	Gods tykkelse	Materiale	k (T koeff)	c (Sp. V.kap.)	T
DN 80 rør	14000	88,9	2	316 L	14	0,52 kJ/kg K	5 °C
DN 125 rør	14000	139,7	4	Karbonstål	50	0,51 kJ/kg K	5 °C
GVU kapsling			8	Karbonstål	50	0,51 kJ/kg K	5 °C
Komponenter				316 L	14	0,52 kJ/kg K	5 °C
Gass type	Mengde inn	T inn	P inn	P ut			
Metan t=0-300 s	0						
Metan t =300-3000 s	0						
Luft inn rør A	0,022 m3/s	50 °C	1,2 bar	1 bar			
Luft inn rør C	0,022 m3/s	50 °C	1,2 bar	1 bar			
Omgivelse luft	N/A	5 °C	N/A				



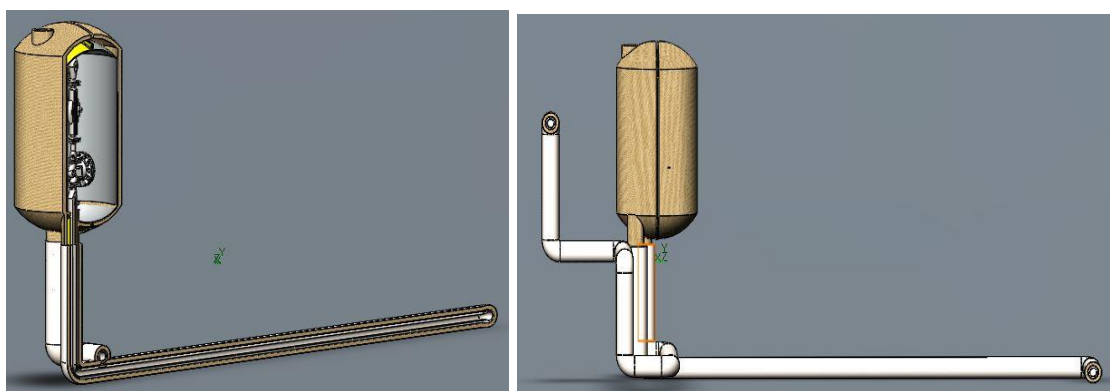
Figur 52, Temperaturutvikling på indre rør og komponenter.



Figur 53, Temperaturutvikling på ytre rør og kapsel uisolert

5.2.3 Systemgrense A-C Forvarming med ventilasjon

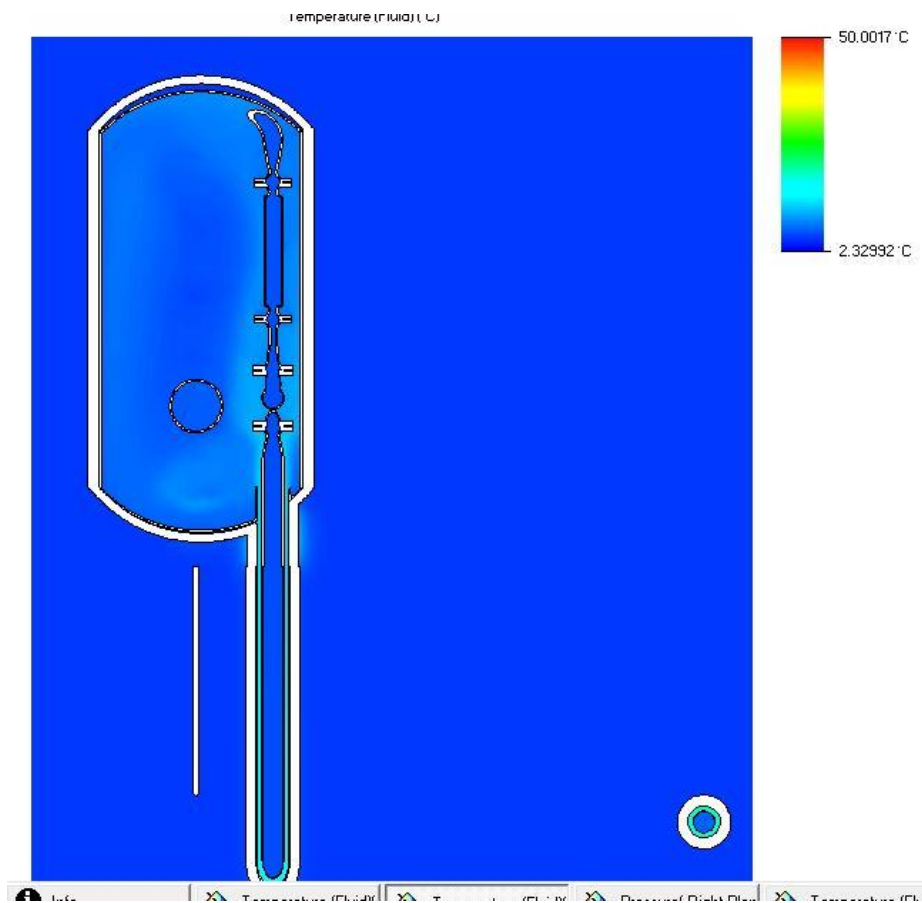
Denne simuleringen er identisk med den forrige, men systemet er isolert med 40mm Rockwool isolasjon, og den er basert på tid i sekunder. Målet med Rockwool isolasjonen er å redusere varmetapet til et minimum, samtidig som det er en jevn temperatur på tvers av røret/GVU, lav ΔT , som da vil opprettholde stabil temperatur på DN80 røret, men også sikre en stabil temperatur på det ytre røret, uavhengig av omgivelser og lokale temperatursvingninger, eksempelvis en maskinromsvifte, slik at ikke varm luft treffer et nedkjølt parti av ytre rør og kondenserer til vann, eller at det indre røret blir for kaldt.



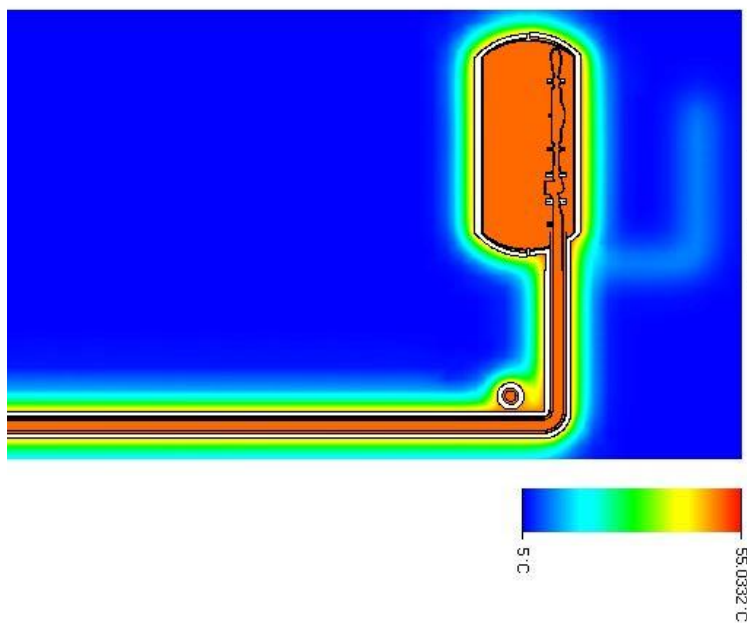
Figur 54, snitt av System isolert med Rockwool 40mm isolasjon. Aluminium 0,3mm ytterst på rør

Tabell 8: Parameter simulering 8

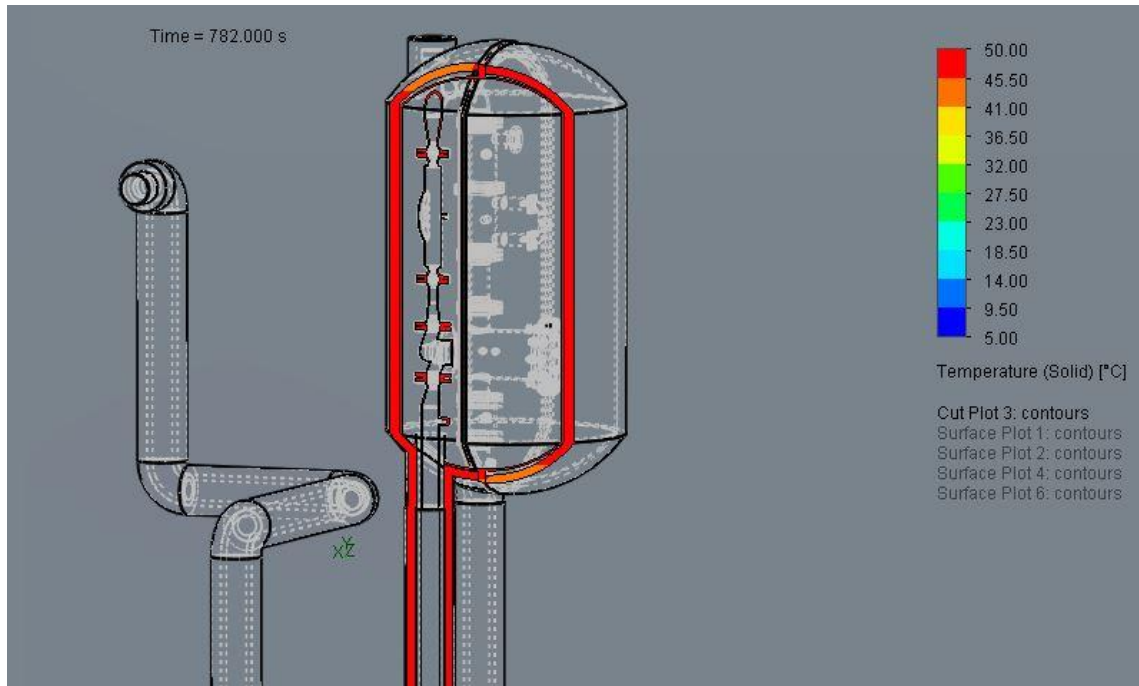
Test Nr: 8	Forvarming med eksisterende ventilasjon, isolert, t= 0-3000 s						
Komponent:	System A-C						
Ekstern	Mesh:	Global: 4		Lokal: 1/4/4/2/2/2			
Parameter ved t=0:							
Komponent	Lengde mm	Ytre diameter	Gods tykkelse	Materiale	k (T koeff)	c (Sp. V.kap.)	T
DN 80 rør	14000	88,9	2	316 L	14	0,52 kJ/kg K	5 °C
DN 125 rør	14000	139,7	4	Karbonstål	50	0,51 kJ/kg K	5 °C
GVU kapsling			8	Karbonstål	50	0,51 kJ/kg K	5 °C
Komponenter				316 L	14	0,52 kJ/kg K	5 °C
Isolasjon			40	Rockwool	0,5		5 °C
Kapsling isolasjon			0,05	Alu	30		5 °C
Gass type	Mengde inn	T inn	P inn	P ut			
Metan t=0-300 s	0						
Metan t =300-3000 s	0						
Luft inn rør A	0,022 m ³ /s	50 °C	1,2 bar	1 bar			
Luft inn rør C	0,022 m ³ /s	50 °C	1,2 bar	1 bar			
Omgivelse luft	N/A	5 °C	N/A				



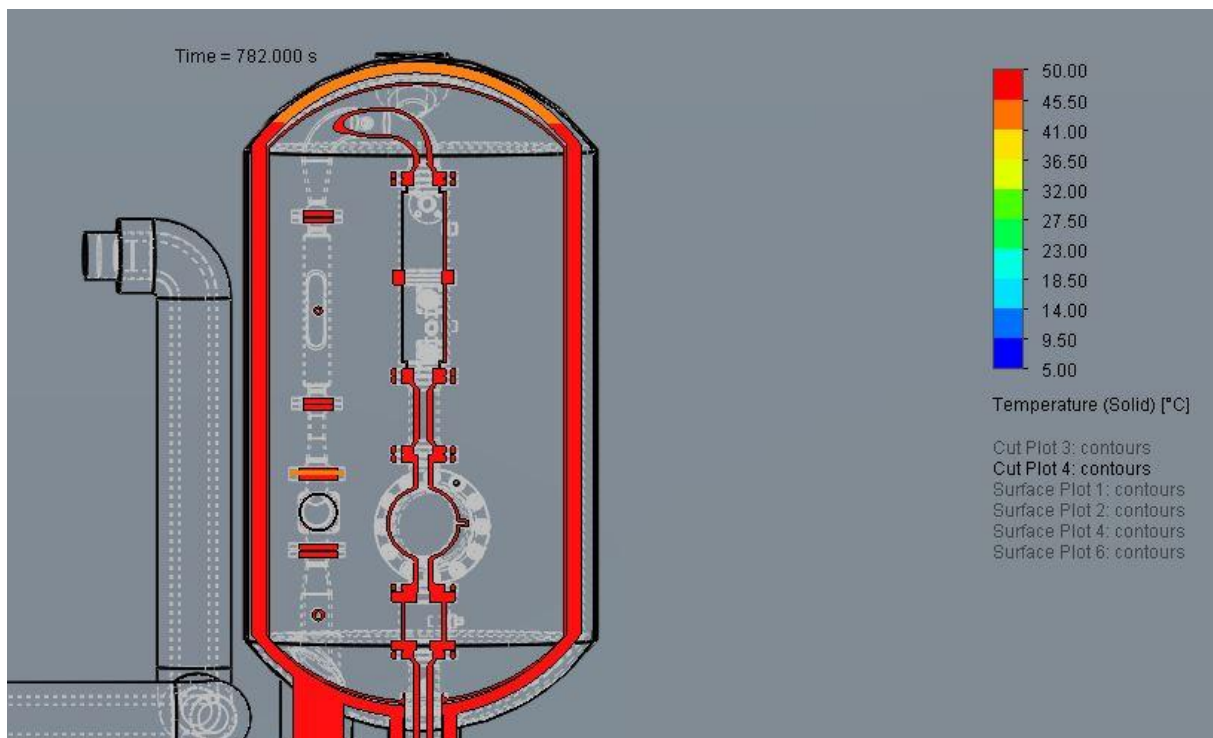
Figur 55 ,Luftens temperatur etter 100 sekunder



Figur 56 ,Luftens temperatur etter 782 sekunder



Figur 57, material temperatur etter 782 sekunder



Figur 58, material temperatur etter 782 sekunder

Tabell 9: Varmetap isolert / uisolert

Dimensjoner og parametre		
Verdi	Rør	GVU
Lengde	14 m	2m
Utvendig dimensjon	139,7mm	1000mm
Isolasjon	40 mm	40mm
Kledning isolasjon, aluminium	0,05mm	0,05mm
Luftmengde	100 m3/h	200m3/h
Luft temp	50	50
Omgivelse temp	5	5

Varmetap				
Verdi	Isolert		Uisolert	
	Rør	GVU	Rør	GVU
T overflate	13,1 °C	14 °C		
Varmetap	18,6 W/m	84,9 W/m	100,2W/m	248,4W/m
Varmetap pr m2 utvendig overflate	26,9 W/m ²	25 W/m ²		
Utvendig varmeovergangstall	3,33 W/m ² K	2,77 W/m ² K		
Totalt varmetap	260 W	170 W	1051 W	497 W
Nødvendig mengde isolering	9,68 m ²	6,79 m ²		

Oversikt over varmetap på 14 m rør, og GVU isolert / uisolert. Med luftmengde 100m3/h, 40mm isolasjon, - beregning er gjort ved hjelp av ISODIM (Anon., 2022)

6 Diskusjon og analyse

6.1 Resultater fra utvalgte simuleringer

6.1.1 Resultater fra test simuleringer

Under test 1 oppdaget jeg at temperaturen i senter av røret holder seg høyere i front, samtidig som den blir stadig spissere. Det virker logisk at nedkjølingen er mer effektiv langs kontaktflaten med røret, og gassens volum reduseres raskere langs rørets kontaktflate. Gassen i senter beholder den opprinnelige temperaturen lengre, har mindre reduksjon i volum, og tar mer plass.

Dersom man kjører samme simulering men T materialer, ventilasjonsluft og omgivelser er 45 °C, ved $t=0$, er det et annet bilde som kommer frem, etter nøyaktig samme tid, $t=1,16$ sekunder .Men man kan se at det skjer en tydelig endring ved $t=1,16$ s her også, og den er bare mindre tydelig visuelt pga fargeskalaen. Ettersom det nesten ikke vil være endring i temperatur, eller trykk i dette tilfellet, virker det ikke som man kan bruke dette metoden til å observere volumendringer og grad av kondensering.

Men man kan observere temperatur direkte fra målepunkt på tvers, og trykkfallet er minimalt. Dersom dette er realistisk, kan det se ut til at kondenseringen ikke skjer lineært, men øker eksponensielt , siden spissen vil bli lengre og lengre, og da en økende kontaktflate mellom ammoniakk og det opprinnelige mediet, idet røret fylles. Dersom man i prinsippet ser på det som en varmeveksler, vil virkningsgraden η øke, ettersom «kontaktflaten» øker, på samme måte som varmevekslere generelt er bygd opp

Alle resultatene er basert på simuleringer, og det er usikkert hvor presise de faktisk er. Det vil være mulig å kontrollere , dersom det virker hensiktsmessig å plassere noen av temperaturgivere på samme lokasjoner i realiteten. I første omgang kan man eventuelt kjøre simuelringen på nytt med et finere mesh, og over et mye lengre rør for å få frem kontrastene.

6.1.2 Resultater fra simuleringer av eksisterende system

Simulering 6. Oppstart på metan A-C

Når man ser på temperaturutviklingen på dette systemet er det tydelig at det vil være lokket på filterhuset som er det kaldeste området, som varmes opp sist. Etter en periode på 3000 s er lokket kommet opp i en temperatur på 25-30 °C. Med tanke på det lave trykkfallet over hele systemet bør temperaturen være tilstrekkelig til at man kan gå over på ammoniakk uten kondensering, men det er ganske nært grensen, så en standardisert løsning ville nok vært etter lengre tid. Lokket på filterhuset kan eventuelt være et hensiktsmessig område å plassere en lav temp temperatur sensor T1, som gir alarm ved eksempelvis $T < 35$ °C på Demo 2000 for å undersøke hvor bra dette stemmer. Det kan gjøres som en enkel test i første omgang, som lett kan flyttes eller fjernes igjen. Dersom det stemmer, kan det eksempelvis designet på lokket endres, med en maskinert lomme inn i godset med en kapsel for PT-100 sensor. Det er som tidligere nevnt ikke tatt hensyn til ventiltesting og purging før start, som i realiteten vil påvirke temperaturen.

Simulering 7. Forvarming med ventilasjon A-C

Denne simuleringen var ikke gjennomført med tidsintervall, og med en grov mesh. Det er uansett tydelig at det er et stort varmetap gjennom røret og hele kapselen i karbonstål, som også har en mer effektiv k enn k på materialet i det indre systemet i rustfritt stål. Det vil være en stor ΔT på tvers i røret og GVU i perioder dersom systemet monteres i et miljø med temperatursvingninger og eksterne kilder som en maskinromsvifte.

Simulering 8. Forvarming med ventilasjon, isolert system A-C

Denne simuleringen var gjennomført på egen PC frem til 782 sekunder. Resultatene bærer preg at det er for grov mesh, og de virke upresise, eksempelvis den ikke eksisterende ΔT gjennom isolasjonen. Simuleringen kjøres på nytt via Programfarm på NTNU, men basert på nåværende resultater tar jeg utgangspunkt i at det tar 780 s å varme opp systemet med tilsvarende parametre, og at sensor T2 kan eventuelt monteres i øverste gass komponent i GVU.

7 Konklusjon

Målet med dette prosjektet var i hovedsak å lage et verktøy som kan anvendes som et hjelpemiddel til prosjektering av lignende systemer på skip. Ettersom det er gjort mange forenklinger, må man se på dette som en metode som kan forbedres. Målet har også vært å gjennomføre tester som kan etterprøves i praksis. Testene kunne gjerne vært mer omfattende, men dette ville krevet ytterligere simuleringstid.

Dersom det vil lages et oppsett med forvarming av ventilasjon og uisolerte rør, vil man i en realistisk situasjon gjerne ha en romtemperatur på 25 c fra ulike varmekilder i maskinrommet, men det kan være kalde områder og soner som blåser på røret fra eksempelvis maskinromsvifter, som tidligere nevnt.

Videre kan det eksempelvis samles opp kondens i et bend med en litt uheldig hellings vinkel over tid, dersom systemet gjerne ligger med i liten vinkel i lengde retning når det er om bord på et skip.

Man kan gjerne vurdere om det skal legges inn en liten dreneringspotte på det laveste punktet på DN125 rør, eventuelt med en fuktgiver/flottørbryter som kan gi alarm, og montere rørføringer med vinkler med noen grader under/over 90 på rørføringer, for å sikre tilstrekkelig helning mot alarm uavhengig av skipets spring og list.

Angående lav temperatur sensorer T1 og T2, og isolasjon, er dette noe som enkelt og rimelig kan monteres midlertidig for å undersøke eventuelle fordeler i praksis. Man må eventuelt se på hvilken andre målinger man har tilgjengelig, eller hva som skal brukes som en referanse opp mot T1 og T2. Angående forvarming har jeg ikke gjort noen undersøkelser på varmeveksler, eksempelvis varme batteri med vann, med tanke på området det skal brukes. På motor side er det selvsagt allerede en mulighet med forvarming fra motor.

Litteraturliste

Referanser

Alltec AS, 2022. *Demo 2000 sketches of double pipes to and from GVU*, s.l.: Alltec AS.

Anon., 2022. *Glava.no*. [Internett]

Available at: <https://bprog.glava.no/isodim/>

[Funnet 18 mai 2022].

C.Fay, J. E. M. M. a. R., 2012. *Selected chapters from chemistry*. s.l.:Pearson custom publishing.

EN10216/EN 10217Stålrør/syrefast rør, u.d. *EN 10216/EN10217*. s.l.:s.n.

Engineering toolbox, 2018. *Engineeringtoolbox.com*. [Internett]

Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/ammonia-gas-liquid-equilibrium-condition-properties-temperature-pressure-boiling-curve-d_2013.html

[Funnet 26 april 2022].

Hofstad, K., 2021. *Store norske leksikon*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/ammoniakk - energib%C3%A6rer>

[Funnet 15 November 2021].

Korean register, u.d. *krs.co.kr*. [Internett]

Available at:

http://www.krs.co.kr/TECHNICAL_FILE/KR_Forecasting%20the%20Alternative%20Marine%20Fuel_Ammonia.pdf

[Funnet 9 Januar 2022].

Kristensen, T., 2019. *Store Norske leksikon*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/ammoniakkdannelse>

[Funnet mai 2022].

Kurowski, P., 2019. *Thermal analysis with SOLIDWORKS simulation 2019 and flow simulation*. s.l.:s.n.

Kurowski, P. M., 2020. *Engineering analysis with solidworks simulation*. s.l.:SDC publications.

Lindfors, F., 2022. *Kontaktperson Wartsila Finland* [Intervju] (April 2022 2022).

Lloyds register, 2020. *lr.org*. [Internett]

Available at: <https://www.lr.org/en/latest-news/industry-leaders-join-forces-on-ammonia->

fuelled-tanker-project/
[Funnet 9 januar 2022].

Norges rederiforbund, 2021. *Konjunkturrapport 2021*. [Internett]
Available at: <https://maritimpolitikk.no/2021/artikler/fa-fart-pa-skipsfartens-utslippsreduksjon>
[Funnet 4 Januar 2022].

Norsk klimastiftelse, 2020. *klimastiftelsen.no*. [Internett]
Available at: <https://klimastiftelsen.no/publikasjoner/ammoniakk-kan-kutte-store-utslipp-i-skipsfart/>
[Funnet 07 Januar 2022].

Pedersen, Ø. J. E., 2000. *Marine dieselmotorer Drift og vedlikehold*. 1.utgave red.
s.l.:Yrkesforlaget AS.

Royal society, u.d. *Royalsociety.org*. [Internett]
Available at: <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/green-ammonia/green-ammonia-policy-briefing.pdf>
[Funnet 9 Januar 2022].

Statkraft, u.d. [Internett]
Available at: <https://www.statkraft.no/nyheter/nyheter-og-pressemeldinger/arkiv/2021/gronn-ammoniakk-klimavennlig-drivstoff-for-lange-distanser-og-tunge-oppgaver/>
[Funnet 5 Januar 2022].

Store Norske leksikon, 2020. *Store Norske leksikon*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/Haber-Bosch-metoden>
[Funnet mai 2022].

Store norske leksikon, 2021. *Store norske leksikon*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/adiabatisk>
[Funnet 19 mai 2022].

Store Norske leksikon, 2022. *Store Norske leksikon*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/metan>
[Funnet 14 mai 2022].

Store Norske leksikon, 2022. *Store Norske leksikon*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/termodynamikk>
[Funnet 19 mai 2022].

Tran, P., 2017. *Solidworks basic tools*. s.l.:s.n.

W.Pettersen, Y., 2005. *Motorteknikk skipsmotorer og maskinanlegg*. s.l.:s.n.

Wartsila, 2020. *product guide-o-e-w34df*, s.l.: Wartsila Finland.

Wartsila, 2020. *Wartsila.com*. [Internett]

Available at: <https://www.wartsila.com/nor/media/nyhet/30-06-2020-verdens-f%C3%B8rste-fullskala-test-av-ammoniakkmotor-et-viktig-skritt-mot-karbonfri-skipsfart>

[Funnet 1 November 2021].

Wartsila, u.d. *Wartsila.com*. [Internett]

Available at: <https://www.wartsila.com/marine/products/engines-and-generating-sets/dual-fuel-engines/wartsila-34df>

[Funnet 9 Februar 2022].

