

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



KONSTRUKSJON AV KJØLEKOLONNE MED STATIV FOR FORBRENNINGSMOTORER OPP TIL 130 kW

**av
Simen Hveding Bergseth**



**Gradsoppgave
Maskin- prosess og produktutvikling,
IMT/UMB, 2013**

FORORD

Dette prosjektet er gjennomført som en avsluttende del for masterprogrammet i Maskin, Prosess- og Produktutvikling ved Institutt for Matematiske realfag og Teknologi ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskap. Prosjektet er gjennomført våsemesteret 2013 med et omfang på 30 studiepoeng.

Denne masteroppgaven omhandler utviklingen av en kjølekolonne i aluminium med justerbart stativ. Kjølekolonnen skal brukes til å regulere kjølevæsketemperaturen til forbrenningsmotorer som kjøres i testbenk i forbindelse med et nytt fag som skal iverksettes i maskin- og kjøretøydynamikk ved UMB.

Oppgaven innledes med en studie av eksisterende løsninger og dimensjonerende faktorer. Deretter utvikles flere konsepter basert på funksjonskravene før det velges konsept og nødvendige beregninger og analyser utføres. Rapporten er en veiledning i konstruksjon av kjølekolonne med stativ.

Jeg synes det er ekstra spennende at det er aktuelt å bygge kjølekolonnen og bruke den i praksis når prosjektet er ferdig, noe som forsterker min motivasjon til å utvikle et så godt produkt som mulig.

Jeg ønsker å takke hovedveileder og førsteamanuensis Geir Terjesen for god veiledning, utlån av litteratur og hjelp til bruk av formelverk. Jeg ønsker også å takke senioringeniør Bjørn Brenna for hjelp til estimering av kostnader ved produksjon og montering, samt tips til bearbeidingsmetoder og vanlig praksis for materialkombinasjoner.

Ås, 10. mai 2013

Simen H. Bergseth

SAMMENDRAG

Denne oppgaven går ut på å designe og dimensjonere en kjølekolonne av aluminium med tilhørende høydejusterbart stativ, for bruk ved motortesting i laboratoriet for maskin- og kjøretøydynamikk ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskap. Kjølekolonnen skal regulere kjølevæsketemperaturen til forbrenningsmotorer opp til 130 kW, og stativet skal være høydejusterbart opp til 1 meter over bakkenivå.

Først ble det utført en litteraturstudie av kjøling av forbrenningsmotorer for å fastsette funksjonskrav og tilrettelegge for fastsettelse av kravspesifikasjonene. Ved hjelp av gitte kravspesifikasjoner er det utført en screeningprosess for å velge det mest egnede konseptet for både kjølekolonnen og stativet. Kjølekolonnen er basert på et reservoar med termostat og flottørventil, og stativet er basert på en ramme med løpekatt og håndvinsj.

Det ble utført termodynamiske og statiske beregninger for kjølekolonnen og dens hovedkomponenter, for å bestemme nødvendig vanntilførsel og fysiske mål. Det ble også utført beregninger for varmetap, og konkludert med at varmetapet er lite nok til å ikke ha praktisk betydning. Stativets hovedkomponenter og viktige sammenføyninger ble kontrollert statisk mot den dimensjonerende lasten, og tilstrekkelig dimensjonert. Nødvendige hovedmål ble bestemt etter justeringshøyde og veltemoment. En rekke komponenter og sammenstillinger fra kjølekolonnen og stativet ble også kontrollert med FEM-analyser, for å verifisere de håndberegningene som er gjort, og for ytterligere kontroll av nedbøyning og for å synliggjøre uheldige designelementer og tilrettelegge for optimalisering og forbedring av designet.

Den endelige kjølekolonnen er sylinderformet med en ytre diameter på 260 mm, og en høyde på 800 mm, med aluminium 6060-T6 som konstruksjonsmateriale. Kjølekolonnen er designet for et væskevolum på 30 liter, og har rørstusser for slangekoblinger med 2 ½" utvendige BSP-gjenger. For en kjøleeffekt på 200 kW trenger kjølekolonnen en tilførsel av kaldtvann på omtrent 0,7 liter per sekund. Termostaten har en åpningstemperatur på 71 °C, og temperaturen stabiliserer seg på 75 °C ved full effekt.

Stativet består av UNP50-profiler som vertikale ben og 50 mm rektangulære hulprofiler som stativfot, og benytter konstruksjonsstål med kvalitet S235JRG2. Stativet er omtrent 1,6 meter høyt uten hjul, og bredden er 0,8 meter. Stativfoten har en lengde på 0,76 meter. Løpekatten er basert på firkantstål med glideklosser, og justeres ved hjelp av en håndvinsj og ståltau med en diameter på 3 mm.

Systemet er designet så kompakt som mulig etter kravspesifikasjonene, og med færrest mulig tilkoblingspunkter. Kjølekolonnen er fleksibel med tanke på motorstørrelser, og stativet tillater kompakt lagring når systemet ikke er i bruk.

Kjølekolonnen er dimensjonert for å fungere opp til realistisk "worst-case scenario" for en forbrenningsmotors virkningsgrad, som ble estimert til en varmetilførsel på 200 kW. Stativet er dimensjonert for belastningen fra kjølekolonnen og løpekatten med en sikkerhetsfaktor mot brudd på 4. Den dimensjonerende lasten ble estimert til 240 kg.

Den estimerte total kostnaden for innkjøp, produksjon og montering av en prototype er i overkant av 50 000 kroner.

ABSTRACT

The main goal of this project is to develop an aluminium cooling column with adjustable stand, for use in the laboratory for machine- and vehicle dynamics at the Norwegian University of Life Sciences. The purpose of the cooling column is to regulate the coolant temperature of combustion engines up to 130 kW during dynamometer testing. The stand is to be adjustable up to one meter above ground level.

The project was started with a literature study of the cooling systems of combustion engines, to facilitate choosing the functional requirements and determining the product specifications. By using the given specifications, the concepts have undergone a screening process to help choose the most suitable concept for the cooling column and the stand. The cooling column is based on a reservoir with a thermostat and a float valve, and the stand is a framed construction adjusted by a trolley and a hand winch.

Thermodynamic and structural calculations were conducted for the cooling column and its main components to determine the required cold-water flow and the main dimensions. The heat loss during use was also determined, concluding that the total heat loss is without significance for the cooling effect. The main components of the stand and important joints were statically controlled using the design load for all calculations. The main dimensions of the stand were determined using the necessary adjustment range and the tipping moment of the construction. FEM analyses for the main components and assemblies of the cooling column and the stand were conducted to verify hand calculations, and to facilitate design optimization.

The cooling column is cylindrical with an outer diameter of 260 mm, and a height of 800 mm. It is constructed from 6060-T6 aluminium. It is designed for a fluid volume of 30 litres, and has connections for 2 ½" hose barbs with outside BSP-thread. The necessary water supply is determined to be 0,7 litres per second. The thermostat opens at 71 °C, and the temperature stabilizes at 75 °C during full power.

The stand consists of UNP50-profiles and 50 x 30 mm rectangular hollow sections, and uses construction steel with quality S235JRG2. Total height is about 1,6 metres, and the total width is 0,8 metres. The foot of the stand has a length of 0,76 metres. The trolley is based on square steel profiles with slide blocks, and is adjusted by a hand winch using a 3 mm steel wire.

The system is designed as compact as possible in accordance with the given specifications, and has the least amount of connections possible. The cooling column allows for different engine sizes, and the stand is designed to allow compact storage whenever the system is not in use.

The cooling column is developed to be compatible with the worst-case scenario for a combustion engines efficiency, which resulted in an estimated 200 kW of heat from an engine with 130 kW of power. The stand is developed to handle the load from the cooling column and the trolley with a safety factor of 4 against failure. The design load was estimated to be 240 kg.

The estimated total cost of a prototype is determined to be in excess of 50 000 NOK without taking the development costs into consideration.

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
1. INNLEDNING	3
1.1. Bakgrunn.....	3
1.2. Eksisterende løsninger.....	4
1.3. Problemstillinger	7
1.4. Målsettinger og begrensninger	7
1.5. Kvalitetssikring (rapport og produkt).....	8
1.6. Metodebruk og løsningsverktøy	8
1.6.1. IPD	8
1.6.2. Pughs metode.....	9
1.6.3. Prosjektstyring og planlegging.....	9
1.6.4. Løsningsverktøy	9
1.7. Symboler og terminologi	10
1.7.1. Sybolliste.....	10
1.7.2. Fysiske størrelser	13
1.7.3. Formler	14
2. BESKRIVELSER.....	15
2.1. Grunnlag.....	15
2.2. Kravspesifikasjoner	18
2.2.1. Kjølekolonne	18
2.2.2. Stativ	18
2.3. Rangering av viktige produktegenskaper	19
2.3.1. Kjølekolonne	19
2.3.2. Stativ og justeringsmåte	20
2.4. Konseptdrøfting.....	21
2.4.1. Funksjonsanalyse	21
2.4.2. Kjølekolonne	22
2.4.3. Stativ	27
2.4.4. Justeringsmetoder	29
2.5. Konseptscreening.....	32
2.5.1. Kjølekolonne	32
2.5.2. Stativ og justeringsmåte	33
2.6. Formgivning og design	34
2.6.1. Kjølekolonne	34
2.6.2. Stativ	39
3. GRUNNLAGSBEREGNINGER	45
3.1. Kjølekolonne.....	45
3.1.1. Beregningsmodell.....	45
3.1.2. Nødvendig kjølevannsmengde til motoren som funksjon av ΔT	47
3.1.3. Energibalanse og nødvendig vannmengde fra kranen	49
3.1.4. Volum og fysiske mål.....	50
3.1.5. Dimensjonering av rør og åpninger	53
3.1.6. Kontroll av godstykkelser.....	57
3.1.7. Varmetap ved driftstemperatur.....	59
3.2. Stativ	62
3.2.1. Beregningsmodell.....	62
3.2.2. Topplate	63
3.2.3. Vertikale ben	66
3.2.4. Trinse og oppheng	72
3.2.5. Stativfot	77

4. ELEMENT- OG LØSNINGSVALG	79
4.1. Komponenter	79
4.1.1. Komponenter som må tilvirkes til kjølekolonnen	79
4.1.2. Komponenter som må kjøpes inn til kjølekolonnen	83
4.1.3. Komponenter som må tilvirkes til stativet	87
4.1.4. Komponenter som må kjøpes inn til stativet	93
4.2. Hovedelementer	95
4.2.1. Kjølekolonne	95
4.2.2. Stativ	96
4.2.3. Løpekatt	98
5. STRUKTUROPTIMERING	99
5.1. Varme- og Strømningssimulering	99
5.1.1. Verifikasjon av utløpets dimensjonering.....	100
5.1.2. Temperatur og verifikasjon av kjøleeffekt	104
5.2. Strukturspenninger	109
5.2.1. FEM-analyse av kjølekolonnens bunnplate	109
5.2.2. FEM-analyse av kjølekolonnens sylinder	111
5.2.3. FEM-analyse av kjølekolonnens strekkpåkjente opphengsbrakett	112
5.2.4. FEM-analyse av stativets topplate	114
5.2.5. FEM-analyse av stativets trinseoppheng.....	116
5.2.6. FEM-analyse av stativets vertikale ben	118
5.2.7. FEM-analyse av stativfotens fremre del.....	120
5.2.8. FEM-analyse av stativets løpekatt	122
5.2.9. FEM-analyse av løpekattens vaierfeste	124
5.3. Materialvalg	127
5.3.1. Kjølekolonne	127
5.3.2. Stativ	127
5.4. Bearbeiding og utforming	128
5.4.1. Fremstilling og montering.....	128
5.4.2. Overflatebehandling og korrosjonsbeskyttelse	131
6. PRESENTASJON AV LØSNING	133
6.1. Visualisering	133
6.2. Material- og produksjonskostnader	137
6.3. Bruksanvisning	139
6.4. Forbedringer	140
7. KONKLUSJON OG ANBEFALINGER	141
7.1. Konklusjon	141
7.2. anbefalinger	141
7.3. Videre arbeid	142
8. LITTERATURREFERANSER	143
8.1. Skriftlige kilder	143
8.2. Internettkilder	144
9. VEDLEGG	146

1. INNLEDNING

1.1. Bakgrunn

Instituttet for Matematiske realfag og Teknologi (IMT) ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskap (UMB) ønsker å få konstruert en kjølekolonne i aluminium som skal benyttes i et nytt fag som skal iverksettes i maskin- og kjøretøydynamikk. Kjølekolonnen skal benyttes til temperaturregulering av kjølevannet til væskekjølte forbrenningsmotorer som testes i universitetets motortestbenk, og skal stå på et justerbart stativ. Det eksisterer ferdige løsninger til slike oppsett, men det er en fin anledning til å benytte seg av universitetets masterstudenter til å designe en egen løsning i stedet for å kjøpe en ferdig kjølekolonne.

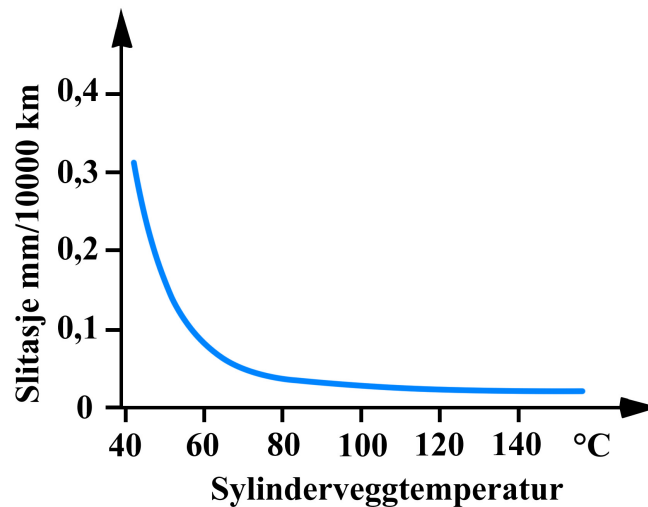
Motortestbenker brukes av motorspesialister og forskningsinstitusjoner for å teste motorer mens de er ute av kjøretøyet. Motorene testes for å kontrollere dreiemoment, effekt, spesifikt drivstofforbruk og andre fysiske variabler som er relevante for motoren under drift. Testene utføres også for å kunne optimalisere motoren etter hvordan endringer i utforming eller komponenter endrer motorens karakteristikk.



Figur 1: Motor i testbenk. Kjølekolonnen er den sorte sylindren som står på stativ med hjul til høyre for motoren [1.1].

Forbrenningsmotorer trenger konstant kjøling under drift, fordi det blir svært høye temperaturer i sylindrene under kompresjon og forbrenning. Maksimal motortemperatur bestemmes ikke bare av materialenes varmefasthet eller opptredende temperaturspenninger, men også av hensyn til maksimal temperatur på smøreljen og lagrene i motoren. Det er også viktig at kjølevannstemperaturen ikke blir for lav i lengre perioder.

Kalde sylindervegger utsettes for sterk slitasje på grunn av kondensering av enkelte forbrenningsprodukter, som blant annet medfører fastkoksing av stempelringene. Dermed bør oppvarmingsperioden for kjølevæsken reduseres mest mulig [S.1].



Figur 2: Sylinderslitasje som funksjon av veggtemperatur [S.1].

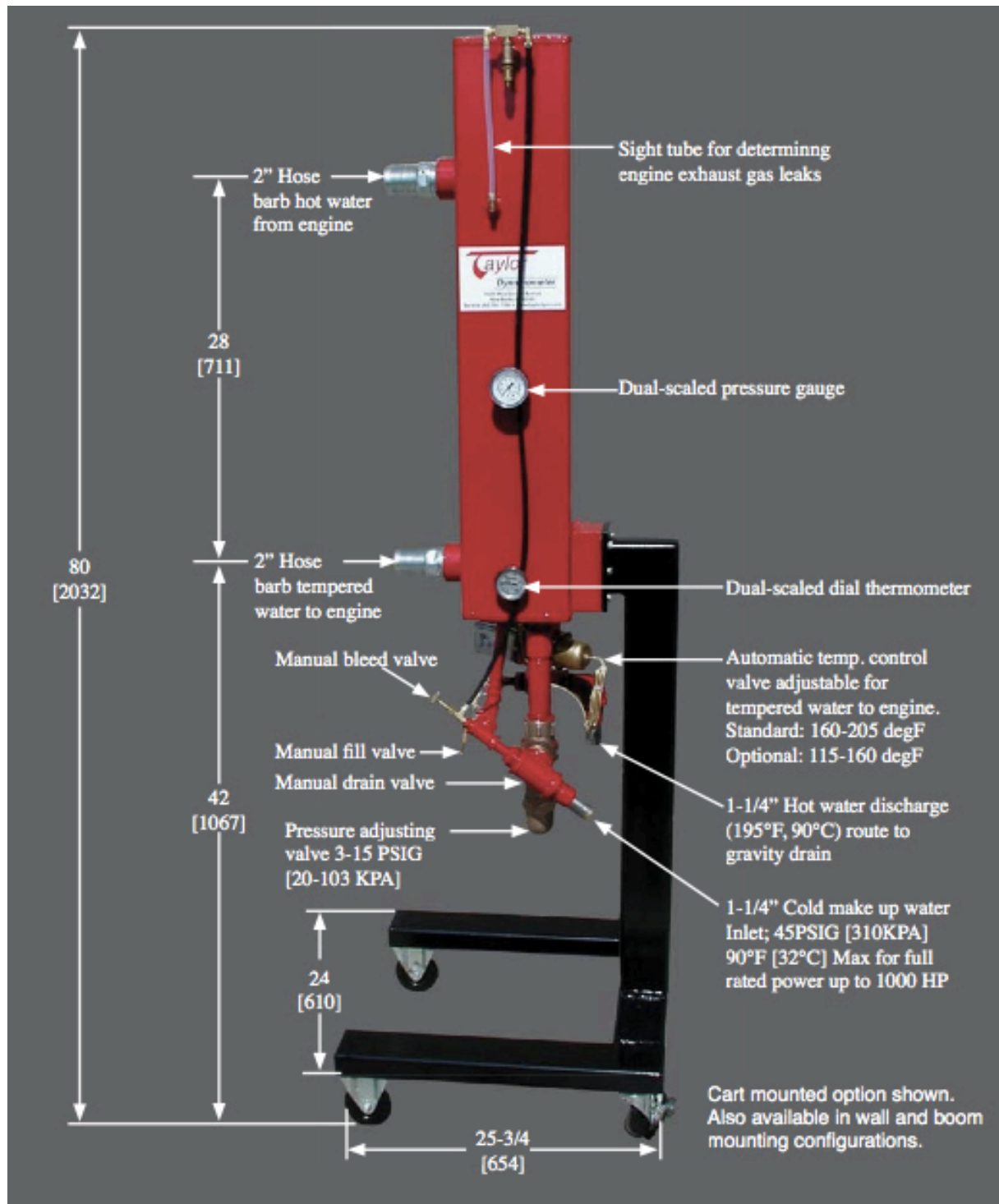
Figur 2 viser motorslitasje som funksjon av temperaturen i sylinderveggene. For å unngå slitasje bør kjølevasketemperaturen alltid holdes over ca. 70 °C når motoren utsettes for stor belastning under bruk, men væsketemperaturen må reguleres slik at den holder seg under kokepunktet.

Vanligvis reguleres kjølevannstemperaturen til bilmotorer av en radiator med vifte og av fartsvinden når motoren er montert i kjøretøyet. Kjølekolonnen erstatter det vanlige kjølesystemet og holde kjølevæsken på mest mulig jevn driftstemperatur.

1.2. Eksisterende løsninger

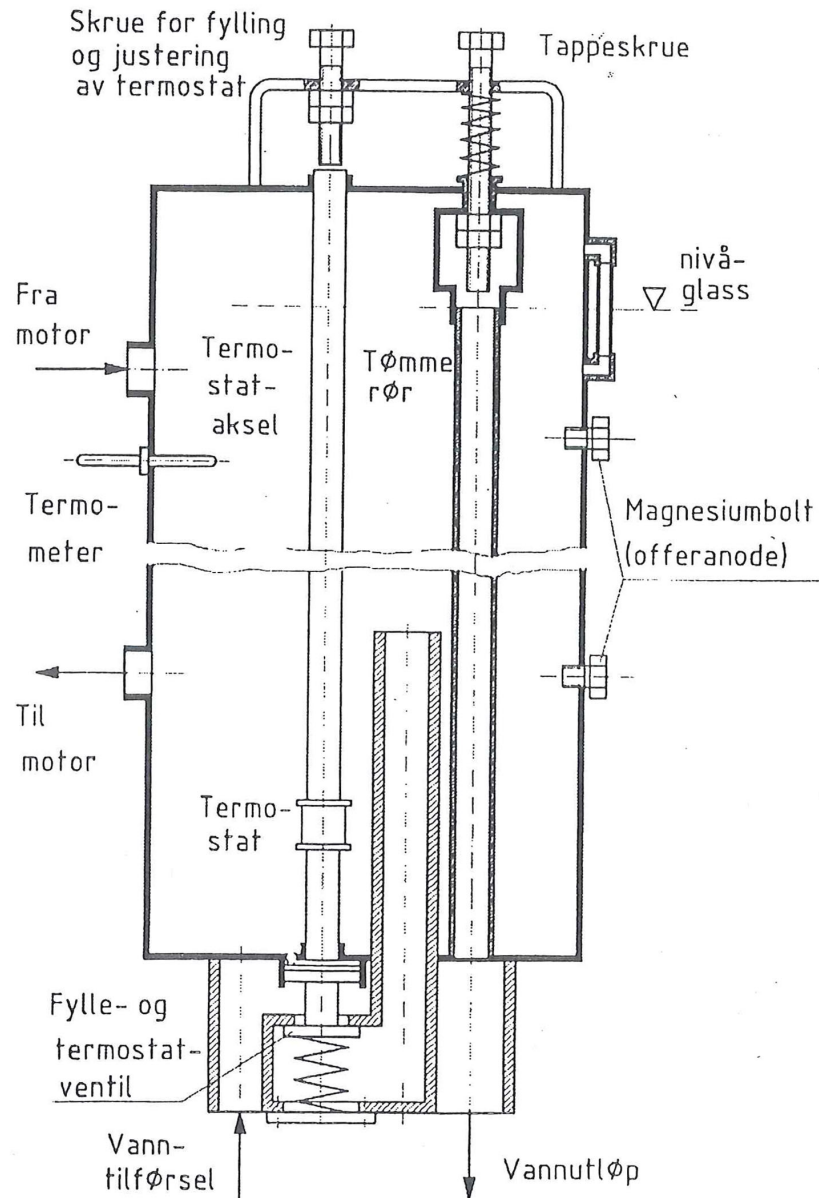
For å danne et bilde av hvilke konstruksjoner som er mest anvendelige til generering av konsepter for kjølekolonnen kan det være en fordel å studere eksisterende løsninger. Når det eksisterer fungerende løsninger er det sjelden nødvendig å prøve å ”finne opp hjulet på nytt”.

Det er gitt to eksempler på eksisterende løsninger, basert på løsninger funnet på nettet, og en funksjonstegning for en kjølekolonne gitt av hovedveileder Geir Terjesen. Felles for de som er funnet på nettet er at det er oppgitt svært lite informasjon om funksjonsmåte og designløsninger, og at designet ligner veldig fra leverandør til leverandør. Det som også er felles for løsningene funnet på nettet er at det ser ut til å være trykksatte systemer som baserer kjølingen på kaldtvannstilførsel.



Figur 3: Eksempel på en eksisterende løsning fra Taylor Dynamometer [1,2]. Løsningen ligner veldig på tilsvarende produkter funnet på nettet, og er en trykksatt beholder som benytter kaldt vann som kjølemedium.

Clayton kjølekolonne (skisse)



Figur 4: Clayton kjølekolonne, skisse gitt av hovedveileder Geir Terjesen.

Denne løsningen er basert på et reservoar som blander inn kaldt vann for å regulere temperaturen. Termostaten er basert på en lang stav som benytter temperaturutvidelse til å åpne den fjrbelastede termostaten slik at kaldt vann strømmer inn. Kjølekolonnen har offeranoder i magnesium for å motvirke galvanisk korrosjon.

1.3. Problemstillinger

Hvordan skal kjølekolonnen utformes for å holde kjølevannet på en tilnærmet konstant driftstemperatur under motortesting?

- Hvilken aluminiumslegering, hvilke bearbeidings- og sammenføyningsmetoder er hensiktsmessige å bruke?
- Er det nødvendig med offeranoder?
- Pris ved produksjon av en prototype?

Hvordan skal stativet utformes for å være justerbart, enkelt i bruk og tillate kompakt lagring?

- Hvilken justeringsmetode er den mest hensiktsmessige?
- Hvordan skal stativet konstrueres for å tilfredsstille kravene best mulig?
- Hvilket materiale, konstruksjon og sammenføyningsmetode?

1.4. Målsettinger og begrensninger

Hovedmål:

Design og dimensjonere en kjølekolonne med stativ for forbrenningsmotorer opp til 130 kW som bruker vann fra kranen som kjølemedium, og er tilpasset bruk i laboratoriet for maskin- og kjøretøydynamikk ved UMB.

Delmål:

1. Fastslå dimensjoneringskriterier, funksjons- og utformingskrav.
2. Utarbeide egne produktkonsepter til kjølekolonnen.
3. Utarbeide egne produktkonsepter til justerbart stativ.
4. Velge konsept for både kjølekolonnen og stativet.
5. Utføre nødvendige grunnlagsberegninger basert på valgt konsept for kjølekolonne og stativ.
6. Finne komponenter som må kjøpes inn.
7. Velge materialer og sammenføyningsmetode(r).
8. Utføre totaldesign og simuleringer ved hjelp av dataverktøy.
9. Utarbeide en økonomisk analyse for å finne produktkostnader.
10. Utarbeide verkstedsanvisninger.

Begrensninger:

- Det vil ikke bli valgt egnede slanger til kjølekolonnens inn- og utløp, eller kjølevannsslanger til og fra motor.
- Det blir ikke valgt egnet veggarmatur som leverer tilstrekkelig vannmengde til kjølekolonnen.
- Det blir ikke lagt til måler for væsknivå, termometer eller andre målere til kjølekolonnen.
- Det blir bare lagt til enkle sveiseangivelser i konstruksjonstegningene.

1.5. Kvalitetssikring (rapport og produkt)

Kvalitetssikring rapport:

Rapporten er korrekturlest, og språkfeil er rettet. Alle sidetall, referanser, formelnummer, tabellnummer og figurnummer er dobbeltsjekket. Malen fra oppdragsgiver er benyttet til oppsett. Alle beregningene er sjekket to ganger, og alle symboler er med i symbollisten.

Kvalitetssikring produkt:

Kravspesifikasjonene er tolket og diskutert i samråd med oppdragsgiver på jevnlige møter, og sikkerhetsfaktorene som er brukt er godkjent av oppdragsgiver. FEM-beregningene er kontrollert mot håndberegninger som er gjort. Foreslåtte innkjøpte materialer og komponenter har nødvendige godkjenninger, merking eller sertifikater der det er nødvendig.

1.6. Metodebruk og løsningsverktøy

1.6.1. IPD

Denne oppgaven benytter metoden IPD (Integrert Produktutvikling). IPD er en trinnvis produktutviklingsmetodikk som i stor grad baserer seg på bruk og integrering av moderne datateknologi, samt prosedyrer og rutiner for arbeidsplanlegging og organisering av ulike trinn i utviklingsprosessen. Målet med IPD er å oppnå større effektivitet, lavere gjennomføringstid og bedre læringseffekt i industrielle produktutviklingsprosjekter [S.3].

For dette prosjektet innebærer IPD å starte med å kartlegge oppdragsgivers behov og planlegge og styre produktutviklingsprosessen etter de kravene og spesifikasjonene som er gitt. Prosjektplanleggingen setter en tidsramme for prosjektet, og tidsfrister for fullføring av milepæler innenfor den gitte tidsrammen for å sikre framgang og effektivitet i prosjektarbeidet.

Videre gjelder det å styre projektkostnadene fra starten, og integrere prosessdesign i prosjektarbeidet. I dette tilfellet betyr det å utarbeide skriftlige kravspesifikasjoner for alle viktige komponenter i systemet som skal designes, og lage oversiktlige diagrammer for systemet. På den måten kan kostnadene reduseres ved at man unngår å gjøre feil senere i

utviklingsprosessen. Produktkostnaden kan styres ved å integrere pris som seleksjonskriterium ved valg av design- og funksjonsløsninger.

Det er også viktig å integrere robust design, CAD og simuleringsprogrammer for å optimalisere designprosessen. På denne måten kan man utføre raske beregninger og teste virtuelle prototyper. Det gjør det enkelt å gjøre designendringer og optimalisere produktet uten å produsere dyre prototyper. Dermed kan man både spare tid og redusere prosjektkostnadene.

1.6.2. Pughs metode

Prosjektet vil også benytte Pughs systematikk for idégenerering og konseptvalg. Pughs metode er en effektiv egenscreeningsmåte for konseptvalg, der det velges konsept ut fra summen av poeng gitt for hvert av en rekke gitte kriterier. Kriteriene for konseptvalg i dette prosjektet er en vektet liste med viktige produktgenskaper.

I grunnprosessen for å velge konsept inngår følgende metodikk [S.3]:

1. Utarbeide en utvalgsmatrise. I dette tilfellet innebærer det en vektning av viktige produktgenskaper for hvert utvalg som skal screenes.
2. Gi konseptene en poengvurdering.
3. Rangering av de ulike konseptene.
4. Kombinering og videreutvikling av konseptene.
5. Gjøre endelig valg.
6. Evaluere resultatene og prosessen.

1.6.3. Prosjektstyring og planlegging

- Det er utarbeidet arbeidsliste i Microsoft Word, og en arbeidsplan med milepæler i Microsoft Excel. Arbeidsplanen er utarbeidet fra arbeidslisten, og gir oversikt over arbeidsoppgavene i prosjektet og de tidsfrister som er gitt.

1.6.4. Løsningsverktøy

Målinger:

- Måling av vannmengde fra vannkraner er utført ved hjelp av 5 liters målebeger og stoppeklokke.

Tekstbehandling:

- Microsoft Word:mac 2011

Bildebehandling:

- Adobe Photoshop CS6

CAD og simuleringer:

- SolidWorks 2011
- SolidWorks flow simulation
- ANSYS Workbench

1.7. Symboler og terminologi

1.7.1. Sybolliste

Tabell 1: Oversikt over symboler brukt i prosjektrapporten.

Symbol	Betydning	Enhet
η_e	Motorens effektive termiske virkningsgrad	-
P_e	Motorens akseffekt	W
\dot{Q}_T	Motorens totale tilførte energi per tidsenhet	W
\dot{Q}_k	Energi tatt opp av motorens kjølesystem per tidsenhet	W
\dot{Q}_u	Energien ut gjennom kjølekolonnens utløp per tidsenhet	W
\dot{Q}_c	Tilført termisk energi fra kaldtvann per tidsenhet	W
\dot{Q}_r	Mekaniske tap i motoren	W
\dot{Q}_a	Tap til motorens avgasser	W
\dot{Q}_{konv}	Varmetap fra konveksjon	W
\dot{Q}_{rad}	Varmetap fra stråling	W
\dot{Q}_{tap}	Totalt varmetap	W
U_0	Systemets termiske energi ved start	J
U	Systemets termiske energi	J
K	Kjølingens andel i motorens energibalanse	-
b_e	Spesifikt brenselforbruk	kg/J
h_n	Brenselets brennverdi	J/kg
m	Masse	kg
\dot{m}	Massestrøm	kg/s
\dot{m}_c	Massestrøm fra kranen	kg/s
\dot{m}_u	Massestrøm gjennom kjølekolonnens utløp	kg/s
c	Spesifikk varmekapasitet	J/(kg°C)
ΔT	Temperaturdifferanse	°C
\dot{V}	Volumstrøm	m ³ /s
$\dot{V}_{k,h}$	Kjølevannsmengde fra motoren (varm side) per tidsenhet	m ³ /s
$\dot{V}_{k,c}$	Kjølevannsmengde til motoren (kald side) per tidsenhet	m ³ /s
\dot{V}_c	Vannmengde fra kranen til kjølekolonnen per tidsenhet	m ³ /s
\dot{V}_u	Vannmengde gjennom kjølekolonnens utløp per tidsenhet	m ³ /s
ρ	Tetthet	kg/m ³
V	Volum	m ³
T	Temperatur	°C
T_c	Vanntemperatur fra kranen	°C
T_u	Vanntemperatur i kjølekolonnens utløp	°C
$T_{k,h}$	Kjølevæsketemperatur fra motoren	°C
$T_{k,c}$	Kjølevæsketemperatur til motoren	°C
t	Tykkelse	mm
ΔU	Endring i termisk energi	J
r	Radius	m
r_i	Indre radius	m

r_y	Ytre radius	m
r_m	Middelradien	m
s_o	Veggykkelse	m
d	Diameter (liten ved sammenligning)	m
d_0	Hulldiameter	mm
D	Diameter (stor ved sammenligning)	m
y	Væsknivå (vannstand)	m
h	Høyde (liten ved sammenligning)	m
H	Høyde (stor ved sammenligning)	m
b	Bredde (liten ved sammenligning)	m
B	Bredde (stor ved sammenligning)	m
p_i	Indre trykk	MPa
h_{konv}	Konveksjonskoeffisient	W/m ² *K
g	Tyngdeakselerasjon	m/s ²
G	Tyngdekraft	N
A	Areal	m ²
A_{net}	Netto tverrsnittsareal	m ²
A_{nt}	Netto strekkbelastet areal	m ²
A_{nv}	Netto skjærbelastet areal	m ²
v	Hastighet	m/s
ϕ	Hastighetskoeffisient	-
α	Kontraksjonskoeffisient	-
μ	Utstrømningskoeffisient	-
O	Omkrets	m
L	Lengde (stor ved sammenligning)	m
l	Lengde (liten ved sammenligning)	m
β	Volumekspansivitet	1/K
Gr	Grashofs tall	-
Pr	Prandtls tall	-
Ra	Rayleighs tall	-
Nu	Nusselts tall	-
T_s	Overflatetemperatur	°C
T_∞	Omgivelsestemperatur	°C
k	Termisk konduktivitet	W/m*K
ε	Emissivitet	-
σ_{SB}	Stefan-Boltzmann konstanten	W/m ² *K ⁴
ν	Kinematisk viskositet	m ² /s
α	Termisk diffusivitet	m ² /s
F	Kraft	N
F_G	Kjølekolonnens tyngdekraft	N
$F_{k,till}$	Tillatt knekklast	N
$F_{k,till,x}$	Tillatt knekklast om tverrsnittets x-akse	N
$F_{k,till,y}$	Tillatt knekklast om tverrsnittets y-akse	N
M	Moment	Nm
M_G	Momentet forårsaket av armen på F_G	Nm
M_b	Bøyemoment	Nm

$M_{b,maks}$	Største moment før flyting opptrer i ytterste fibre	Nm
M_1	Moment i punkt 1	Nm
M_2	Moment i punkt 2	Nm
M_3	Moment i punkt 3	Nm
σ	Spenning	MPa
σ_r	Radialspenning	MPa
σ_b	Bøyespenning	MPa
σ_a	Aksialspenning	MPa
σ_t	Tangentialspenning	MPa
σ_1	Første hovedspenning	MPa
σ_2	Andre hovedspenning	MPa
σ_3	Tredje hovedspenning	MPa
σ_{jf}	Jevnførende spenning	MPa
$\sigma_{\perp b}$	Spenning vinkelrett på sveis i bøyepåkjent sveiseforbindelse	MPa
$\sigma_{b,d}$	Bøyespenning i sveis	MPa
R_m	Strekkfasthet	MPa
R_e	Flytegrense	MPa
n_b	Sikkerhetsfaktor mot brudd	-
n_k	Sikkerhetsfaktor mot knekking	-
E	Elastisitetsmodul	MPa
W	Tverrsnittsmodul	mm ³
W_x	Tverrsnittsmodul om tverrsnittets x-akse	mm ³
W_y	Tverrsnittsmodul om tverrsnittets y-akse	mm ³
I	Annet arealmoment	mm ⁴
I_x	Annet arealmoment om tverrsnittets x-akse	mm ⁴
I_y	Annet arealmoment om tverrsnittets y-akse	mm ⁴
$I_{x,sveis}$	Annet arealmoment for sveis om x-aksen	mm ⁴
y	Nedbøyning	mm
y_A	Avstanden fra nøytralaksen til referanse A	m
C_1	Integrasjonskonstant 1	-
C_2	Integrasjonskonstant 2	-
l_k	Knekk lengde	m
l_v	Momentarm på veltekraften	m
l_N	Momentarm på normalkraften	m
λ	Slankhet	-
λ_x	Slankhet om tverrsnittets x-akse	-
λ_y	Slankhet om tverrsnittets y-akse	-
i	Treghetsradius	m
i_x	Treghetsradius om tverrsnittets x-akse	m
i_y	Treghetsradius om tverrsnittets y-akse	m
$\tau_{\perp b}$	Skjærspenning vinkelrett på sveis, bøyepåkjent	MPa
γ_{M0}	Materialfaktor, Eurokode 3 tverrsnittskapasitet	-
γ_{M2}	Materialfaktor, Eurokode 3 svekket tverrsnitt/skrue/sveis	-
β_w	Reduksjonsfaktor, Eurokode 3	-
a	a-mål til sveis	mm

e_1	Avstand hullsenter til kant i kraftretningen	mm
e_2	Avstand hullsenter til kant normalt på kraftretningen	mm
f_{ub}	Strekfastheten til skrue	MPa
$N_{t,Rd}$	Grunnmaterialets kapasitet	N
$V_{eff,1,Rd}$	Kapasitet mot utrivning av skruegruppe	N
α_b	Faktor brukt ved hullkanttrykk	-
k_1	Faktor brukt ved hullkanttrykk	-
$F_{w,Rd}$	Sveisens kapasitet	N
N	Normalkraft	N
F_v	Veltekraft	N

1.7.2. Fysiske størrelser

Tabell 2: Oversikt over fysiske størrelser brukt i rapporten.

Egenskap	Verdi	Enhet
Spesifikk varmekapasitet for vann [S.1]	4190	J/(kg°C)
Tettheten til vann	1000	kg/m ³
Tyngdeakselerasjonen i jordas gravitasjonsfelt	9,81	m/s ²
Stefan-Boltzmann konstanten	$5,67 * 10^{-8}$	W/m ² *K ⁴
Den termiske konduktiviteten til luft ved 45 °C [S.4]	0,02699	W/m*K
Den kinematiske viskositeten til luft ved 45 °C [S.4]	$1,75 * 10^{-5}$	m ² /s
Den termiske diffusiviteten til luft ved 45 °C [S.4]	$2,416 * 10^{-5}$	m ² /s
Elastisitetsmodulen til stål	210000	MPa
Elastisitetsmodulen til aluminium	69000	MPa

1.7.3. Formler

Oversikt over viktige formler som er brukt til problemløsning i oppgaven:

Total tilført energi til motoren: $\dot{Q}_T = P_e * b_e * h_n$ (1)

Motorens virkningsgrad: $\eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_T}$ (2)

$$\eta_e = \frac{1}{h_n * b_e} \quad (3)$$

Kjølingens andel i motorens energibalanse: $\dot{Q}_K = \dot{Q}_T * K$ (4)

Effekt tatt opp av kjølevann: $\dot{Q}_K = \dot{m} * c * \Delta T$ (5)

Sammenheng mellom massestrøm og volumstrøm: $\dot{m} = \dot{V} * \rho$ (6)

Vannmengden motorens kjølevannspumpe må levere [S.1]: $\dot{V}_k = \frac{K * b_e * h_n * P_e}{c * \Delta T * \rho}$ (7)

$$\dot{V}_k = \frac{K * P_e}{\eta_e * c * \Delta T * \rho} \quad (8)$$

Endring i systemets termiske energi: $\Delta U = m * c * \Delta T$ (9)

Nødvendig vannmengde fra kran og utløp: $(x * c * T_u) - (x * c * T_c) = \dot{Q}_k$ (10)

Fri utstrømning fra åpen beholder [S.6]: $v = \varphi \sqrt{2gy}$ (11)

$$\dot{V} = \alpha * A * v \quad (12)$$

Varmetap fra naturlig konveksjon [S.4]: $\dot{Q}_{konv} = h_{konv} A (T_s - T_\infty)$ (13)

Varmetap fra stråling [S.4]: $\dot{Q}_{rad} = \varepsilon A \sigma_{SB} (T_s^4 - T_\infty^4)$ (14)

Den elastiske linjens ligning: $EIy'' = -M(x)$ (15)

Forenklet interaksjonsformel, metode 1: $\frac{F}{F_{k,till}} + \frac{1,5M_b}{M_{b,maks}} \leq 1$ (16)

Spenninger i bøyepåkjent sveiseforbindelse: $\sigma_{b,d} = \frac{M_b * y_A}{I_{x,sveis}}$ (17)

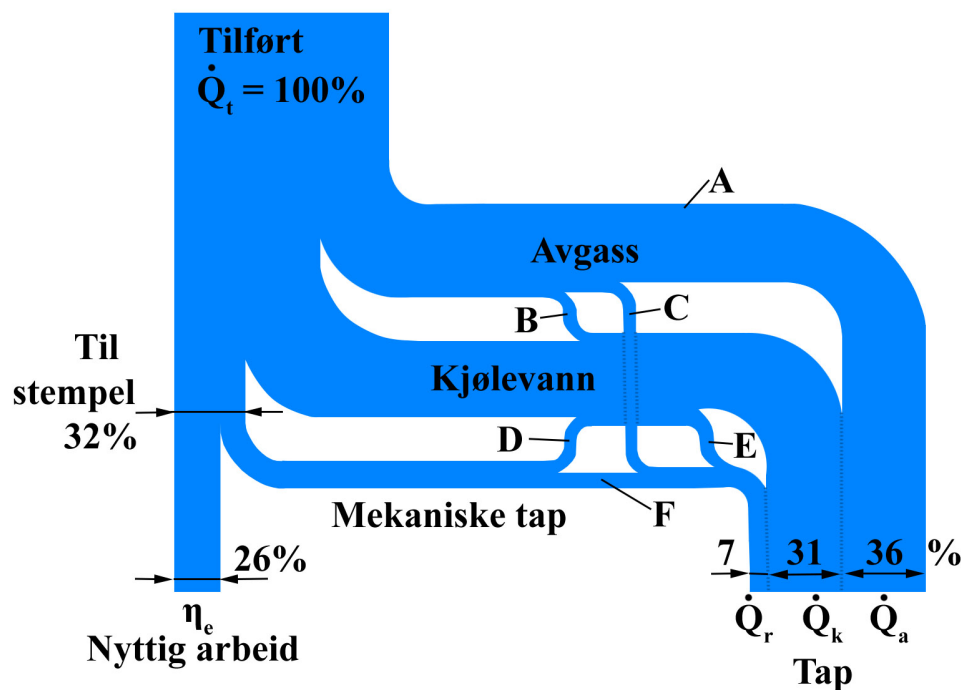
$$\sigma_{\perp b} = \tau_{\perp b} = \frac{\sigma_{b,d}}{\sqrt{2}} \quad (18)$$

2. BESKRIVELSER

2.1. Grunnlag

Motorens termiske virkningsgrad (total virkningsgrad) og kjølesystemets kapasitet:

En forbrenningsmotor klarer bare å omforme deler av den tilførte energien til mekanisk energi. Resten av den tilførte energien blir omgjort til blant annet varme, trykk og friksjon. Et av hovedkriteriene for dette prosjektet er at kjølekolonnen skal dimensjoneres for motoreffekt opp til 130 kW. Motoreffekten er den mekaniske energien motoren avgir før det tas hensyn til friksjonstap i girkasse, drivverk og hjul. For å vite hvor stor varmeenergi kjølekolonnen må kunne ta opp må fordelingen av den tilførte energien til en forbrenningsmotor studeres nærmere.



Figur 5: Sankey-diagram som viser fordelingen av tilført energi i en forbrenningsmotor. Den tilførte energien omdannes til nyttig arbeid og ulike former for tap [S.5].

Sankey-diagrammet gir en oversikt over energifordelingen i en forbrenningsmotor. Drivstoffet leverer 100% av den tilførte energien, som overføres til avgasser, kjølevann, mekaniske tap og nyttig arbeid. Det er også krysoverføring av energi mellom de ulike formene for tap.

- I avgassene forsvinner det store mengder varmeenergi og trykk fra forbrenningen i stemplene. På grunn av ufullstendig forbrenning forsvinner det også noe energi i form av drivstoff som ikke er antent.
- Noe av varmeenergien fra avgassene tas opp av kjølevannet og går over til tap i motorens kjølesystem.

- C. På grunn av friksjon som gir ”mottrykk” i eksosanlegget blir deler av energitapet i avgassene mekanisk tap.
- D. Mekaniske tap i form av friksjon danner varme, og noe av denne varmeenergien tas opp av kjølevannet.
- E. På grunn av friksjon og trykktap i motorens kjølesystem er en liten del av energitapet i kjølesystemet mekanisk tap.
- F. Resterende mekanisk tap er energitap som i hovedsak skyldes friksjon i sylindrerbaner og lagre.

I diagrammet er det gitt at nyttig arbeid bare utgjør omtrent 26% av den tilførte energien fra drivstoffet, mens ca. 31% av energien omdannes til varme som tas opp av kjølesystemet. I virkeligheten varierer virkningsgradene relativt mye for ulike motortyper, som vist i tabell 3:

Tabell 3: Oversikt over virkningsgrader og kjølesystemets belastning for ulike motortyper [8,5].

Motorbeskrivelse: Hovedtype: Ladning:	Ottomotor (bensin) 4-takt Normalladd	Dieselmotor 4-takt Normalladd	Dieselmotor 4-takt Overladd
Effektiv termisk virkningsgrad (η_e)	0,22-0,28	0,30-0,36	0,34-0,40
Varmetap med kjølevann (K)	0,34-0,28	0,36-0,32	0,28-0,22

Tabellen mangler data for overladde bensinmotorer. Fordi overladning med turbo eller kompressor øker motorens virkningsgrad (som vist for dieselmotorer i tabell 3) antas ikke overladde bensinmotorer å være relevant for dimensjoneringstilfellet.

Det er nødvendig å finne ”worst case scenario” for en motor med $P_e = 130$ kW til dimensjonering av kjølekolonnen. Derfor testes verdier for begge de normalladde motorene i tabell 3. Den laveste verdien for η_e og den høyeste verdien for K benyttes i begge tilfeller.

Fra formel 2 er det gitt at:

$$\dot{Q}_T = \frac{P_e}{\eta_e} \quad \text{Der } \eta_e = 0,22 \text{ og } 0,30 \text{ for henholdsvis bensin og diesel.}$$

For en forbrenningsmotor på 130 kW blir da total tilført energi:

$$\dot{Q}_T = \frac{130 \text{ kW}}{0,22} = 590,9 \text{ kW for normalladd bensinmotor.}$$

$$\dot{Q}_T = \frac{130 \text{ kW}}{0,30} = 433,3 \text{ kW for normalladd dieselmotor.}$$

Da blir varmeenergien som må tas opp av kjølesystemet (vha. formel 4) lik:

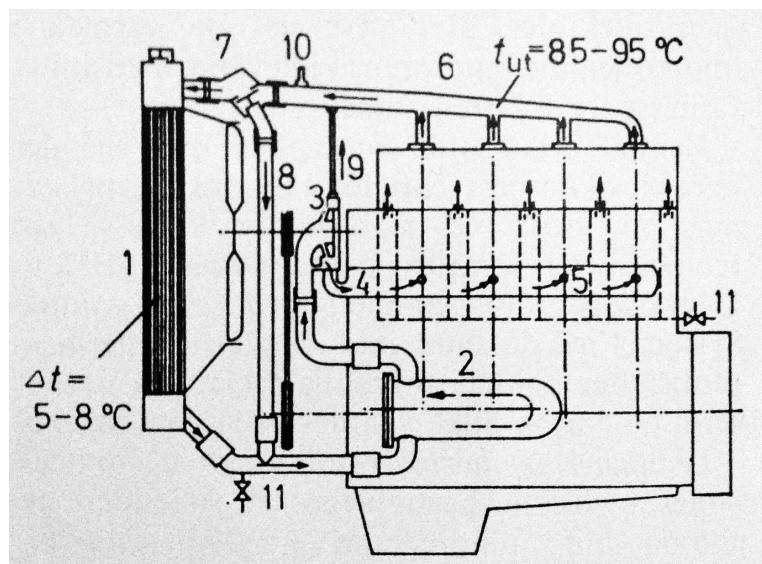
$$\dot{Q}_k = \dot{Q}_T * K \quad \text{Der } K = 0,34 \text{ og } 0,36 \text{ for henholdsvis bensin og diesel.}$$

$$\dot{Q}_k = 590,9 \text{ kW} * 0,34 = 200,9 \text{ kW} \approx 200 \text{ kW} \text{ for normalladd bensinmotor.}$$

$$\dot{Q}_k = 433,3 \text{ kW} * 0,36 = 156 \text{ kW} \text{ for normalladd dieselmotor.}$$

Eksemplene viser at en normalladd bensinmotor med lav virkningsgrad er dimensjonerende. Kjølesystemet må ha kapasitet til å lede bort omtrent 200 kW varme gjennom kjølevæsken, fordi kjøleeffekten må være lik tilført varme for å oppnå konstant temperatur når driftstemperaturen er nådd.

Kjølevæsketemperatur ved motorens driftstemperatur:



Figur 6: Grafisk framstilling av en forbrenningsmotors kjølesystem ved driftstemperatur. 1. radiator, 2. oljekjøler, 3. vannpumpe, 4. fordelingsledning, 5. til blokk, 6. samlerør, 7. termostat, 8. kortslutningsledning, 9. ledning for bortføring av damp dannet i pumpe, 10. fjerntermometer, 11. avtapping. [S.1].

Kjølevæsketemperaturen ved motorens utløp holder opp til 90 ± 5 °C under drift for at motoren skal nå riktig driftstemperatur. Punkt 10, figur 6 viser et eksempel på plassering av temperatursensor på varm side i kjølesystemet.

Et lukket kjølesystem settes vanligvis under trykk for å øke kjølevæskens kokepunkt. Det gjør det mulig å øke kjølevæskens temperatur for å få større temperaturforskjell mellom kjølevæsken og luften som strømmer gjennom radiatoren. Dermed trenger radiatoren et mindre areal for å oppnå samme kjøleeffekt.

2.2. Kravspesifikasjoner

2.2.1. Kjølekolonne

- Kjølekolonnen skal ha en kjøleeffekt på 200 kW og samtidig være så kompakt som mulig.
- Kjølekolonnen skal kunne opprettholde en kjølevæsketemperatur ved motorens utløp på omtrent 80-90 °C uten for store temperatursvingninger.
- Kjølekolonnen skal være robust, enkel å betjene og sikker.
- Kjølekolonnen skal være rimelig og enkel å lage og reparere.
- Kjølekolonnen skal være motstandsdyktig mot korrosjon.
- Det er ønskelig med færrest mulig tilkoblingspunkter – el/vann/utløp.
- Kjølekolonnen skal være miljøvennlig å konstruere og bruke.

2.2.2. Stativ

- Stativet skal være høydejusterbart, og minst kunne justeres fra 0,5 meter til 1 meters høyde.
- Stativet skal være dimensjonert for å tåle belastningen fra kjølekolonnen, og være sikret mot knekking med tilstrekkelig sikkerhetsfaktor.
- Stativet skal være lett å betjene og sikkert i bruk.
- Stativet skal ha færrest mulig tilkoblingspunkter til for eksempel strøm eller hydraulikkolje.
- Stativet skal tillate kompakt lagring.

2.3. Rangering av viktige produktegenskaper

Viktige produktegenskaper for kjølekolonnen og stativet rangeres. Produktegenskapene som vektas har grunnlag i kravspesifikasjonene for produktet. Rangeringen ligger til grunn for senere konseptscreening for produktene, og viktigheten av hver egenskap i screeningprosessen.

Produktegenskapene er rangert med en karakterskala fra 1-5, der 1 er lite viktig og 5 er svært viktig.

2.3.1. Kjølekolonne

Tabell 4: Viktige produktegenskaper for kjølekolonnen, og vektning av disse.

Egenskap	Vekting	Begrunnelse
Pris	5	Det er viktig med en så lav pris som mulig for å gjøre prosjektet billig for universitetet, og unngå unødvendig bruk av dyre komponenter for å løse oppdraget.
Enkel konstruksjon og servicevennlighet	5	Det er viktig at konstruksjonen er enkel og servicevennlig for å kunne utføre vedlikehold og reparere eventuelle skader uten å være nødt til å sette bort oppdraget til andre.
Enkel betjening	4	Enkel betjening av kjølekolonnen gjør bruken sikrere og hindrer skader på personer og materiell under motortesting.
Få tilkoblingspunkter	3	Å unngå mange tilkoblingspunkter til strøm/vann/utløp gjør at bruken ikke er like knyttet til sted og tilkoblingsmuligheter. Færre tilkoblingsmuligheter betyr også færre ting som kan gå galt.
Oppvarmingstid	2	Det er ønskelig med kort oppvarmingstid for å unngå motorslitasje. Så lenge motoren ikke utsettes for stor belastning og høye turtall før driftstemperaturen er nådd er ikke slitasje et stort problem, dermed er ikke oppvarmingstiden spesielt viktig med mindre det er et stort reservoar som må varmes opp.
Konstant driftstemperatur	3	Konstant driftstemperatur er ikke veldig viktig så lenge kjølevannstemperaturen er høy nok til å unngå motorslitasje og holdes under kokepunktet.
Miljøvennlighet	2	Det er viktig å unngå bruk av miljøskadelige materialer i kjølekolonnen. Med utstrakt bruk av aluminium, og vann fra kranen som kjølemedium er kjølekolonnen resirkulerbar, og forurenses ikke under bruk.

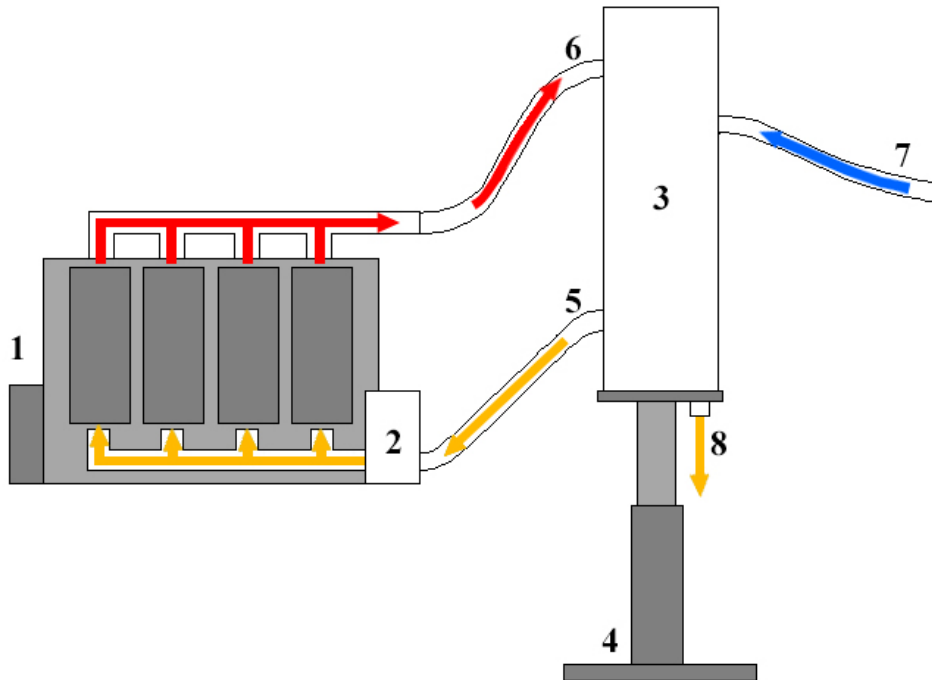
2.3.2. Stativ og justeringsmåte

Tabell 5: Viktige egenskaper for stativet og justeringsmåten, og vekting av disse.

Egenskap	Vekting	Begrunnelse
Pris	5	Stativets hensikt er å fungere som justerbar fot til kjølekolonnen, og det er viktig at universitetet ikke utsettes for unødvendig høye kostnader knyttet til produktet.
Kompakt lagring	3	Det er ønskelig at stativet tillater kompakt lagring for å unngå at det tas opp stor plass på laboratoriet når stativet og kjølekolonnen ikke er i bruk.
Lite arealkrevende	2	Det er hensiktsmessig at stativet tar opp lite plass under bruk for å unngå å ta opp unødvendig gulvplass. Allikevel er det viktigere at stativet er stødig og solid.
Enkel betjening	4	Enkel betjening gjør stativet sikkert i bruk, og gjør jobben med å sette opp og justere utstyret raskere og lettere.
Sikker bruk	5	Sikkerhet er svært viktig for å unngå personskader eller skader på materiell når utstyret brukes.
Tilkoblingspunkter	4	Så få tilkoblingspunkter som mulig gjør stativet enkelt å sette opp og mindre avhengig av sted på grunn av tilgang til tilkoblingspunkter som strøm/vann eller lignende.
Miljøvennlighet	3	Stativet bør være resirkulerbart og servicevennlig, og det er viktig å unngå bruk av miljøskadelige materialer. Det samme gjelder justeringsmåten.

2.4. Konseptdrøfting

2.4.1. Funksjonsanalyse



Figur 7: Prinsipp tegning som viser hvordan kjølesystemet fungerer. 1. Motor, 2. Motorens kjølevannspumpe, 3. Kjølekolonne, 4. Høydejusterbart stativ, 5. Kjølevæske fra kjølekolonnen til motoren, 6. Varm kjølevæske fra motoren, 7. Kaldt vann fra kranen, 8. Utløp.

Motor og sirkulasjon:

Motoren driver kjølevannspumpa (2, figur 7) som sørger for sirkulasjon i kjølekretsen. Motoren holder en driftstemperatur på ca. 80-90 °C, og væskestrømmen gjennom motorblokkene tar opp overskuddsvarmen. Det varme kjølevannet føres tilbake til kjølekolonnen.

Kjølekolonne:

Kjølekolonnen regulerer temperaturen på det varme kjølevannet fra motoren ved hjelp av kaldt vann fra kranen (7, figur 7), og fungerer som kjølevannreservoar for motoren. Det varme kjølevannet fra motoren føres til kjølekolonnen, der det blir kjølt ned av det kalde vannet fra kranen før det strømmer tilbake til motoren. Overskuddsvannet fra temperaturreguleringen i kjølekolonnen slippes ut gjennom kjølekolonnens utløp (8, figur 7).

Høydejusterbart stativ:

Et høyderegerbart stativ sørger for at kjølekolonnen kan settes litt høyere over bakken enn motoren. Det hindrer at det kommer luft i kjølevannet til motoren. Luft i kjølevannet kan gi luftlommer i motorens kjølekrets, som kan resultere i lokal overoppheting i motoren.

Drift:

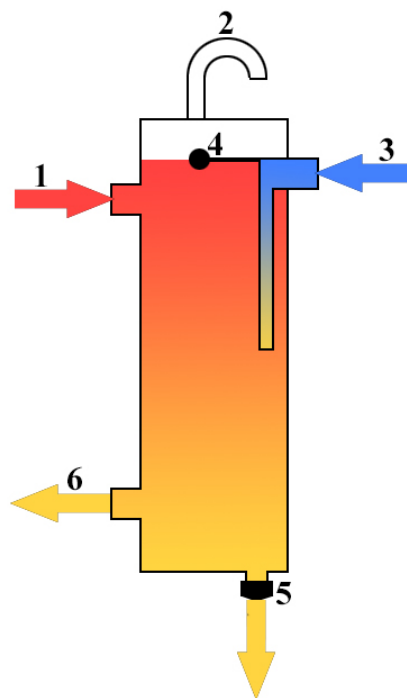
Ved oppstart strømmer kjølevannet i en lukket krets uten tilførsel av kaldt vann. Når motoren blir varm og har varmet opp kjølevannet tilsvarende åpner en termostat for kaldtvannstilførselen. Når temperaturen i kjølekolonnen synker påvirkes termostaten og lukker for kaldtvannstilførselen, slik at kjølevannet holdes på riktig temperatur.

2.4.2. Kjølekolonne

Det er lagd tre ulike konsepter som kan ligge til grunn for utformingen av kjølekolonnen. Ett konsept benytter et reservoar, mens de to andre benytter en varmeveksler:

Reservoar, konsept 1:

- Kjølekolonnen er utformet som en tank med kjølevann til motoren. Kaldt vann fra kranen blandes i kjølevannet for å regulere temperaturen, og væskevolumet holdes på riktig nivå ved at utløpet åpnes når det strømmer kaldt vann inn i tanken.



Figur 8: Reservoar-løsning. 1. Varm kjølevæske fra motoren, 2. Lufteåpning, 3. Kaldtvannstilførsel fra kranen, 4. Fløttørventil med innløpsarmatur, 5. Utløp med termostat, 6. Temperaturregulert kjølevæske til motoren.

Oppfylling:

Når vannstanden er lav i kjølekolonnen vil fløttørventilen være åpen. Man skrur på vannkranen, og vannet strømmer inn innløpsarmaturet. Når vannivået er riktig lukkes fløttørventilen automatisk, og systemet er klart til bruk.

Oppfylling:

I kjølekretsen legges det inn kuleventiler for fylling/tapping på høyeste og laveste punkt. Det laveste punktet har festepunkt for vannslange. Ved påfylling festes vannslangen fra kranen til det laveste punktet, og begge kuleventilene åpnes. Vannkranen skrues på, og vannet som strømmer inn i systemet vil trykke ut luften. Når det kommer vann ut av den øverste ventilen er systemet fullt, og vannkranen og kuleventilene stenges. Vannslangen flyttes fra påfyllingsventilen til innløpet på varmeveksleren, og systemet er klart til bruk.

Drift:

Kjølevæsken sirkulerer i en lukket krets, og regulatoren (punkt 2, figur 9) stenger for væskestrømmen til varmeveksleren fram til systemet har nådd driftstemperatur. Dermed strømmer all kjølevæsken fra motoren gjennom ”bypass-kretsen” (rekkefølge 1→2→5→6, figur 9).

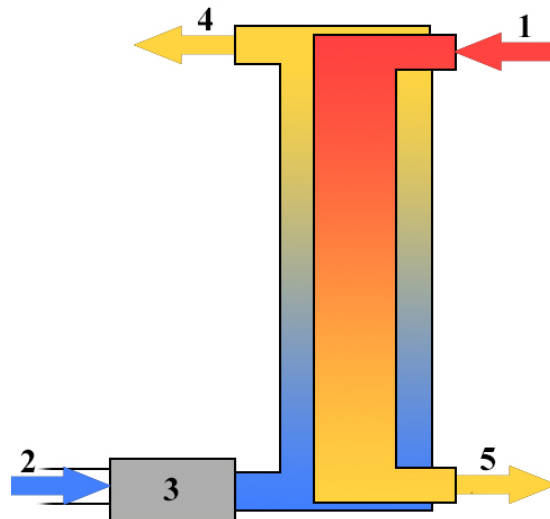
Når kjølevæsken har blitt varm fordeles væskestrømmen mellom ”bypass-kretsen” og varmeveksleren ved hjelp av en treveis-ventil. Det er konstant kaldtvannstilførsel til varmeveksleren, slik at vannet som føres gjennom blir kjølt ned før det blandes med det varme vannet i T-avgreiningen. Regulatoren styres av temperatursensoren, og regulerer vannmengden som kjøles ned slik at vanntemperaturen inn til motoren holdes tilnærmet konstant.

Tømming:

Dersom systemet skal tømmes åpnes kuleventilene for lufting og påfylling/tapping, og vannet på varm side av varmeveksleren vil renne ut. Det kan kobles slange til tappepunktet, slik at vannet kan føres til avløpet. For å tømme kald side av varmeveksleren legges det inn en tappeplugg i bunnen. Tappepluggen åpnes og vannet renner ut. Luft slippes inn gjennom utløpet på kald side.

Motstrøms varmeveksler, konsept 3:

- Motorens kjølevæske strømmer gjennom en lukket krets som alltid går gjennom varmeveksleren, og en PID regulator styrer en ventil som regulerer væskestrømmen fra krana inn i varmeveksleren for å holde temperaturen på kjølevæsken til motoren konstant. Dersom det trengs legges det inn en ekspansjonstank for å unngå at temperaturøkningen gir trykk i systemet, eller for å holde trykket på ønsket nivå.



Figur 10: Kjølekolonne med regulering av kaldtvannstilførselen til varmeveksleren. 1. Varmt kjølevann fra motoren, 2. Kaldt vann til varmeveksleren, 3. Ventil, 4. Oppvarmet vann ut av varmeveksleren, 5. Temperaturregulert kjølevæske til motoren.

Oppfylling:

Kuleventiler på inn/ut punktene på varm side av varmeveksleren brukes til oppfylling/tapping. Vannslangen fra kranen festes på ventilen på det laveste punktet, og vannkranen skrues på. Vannet som strømmer inn trykker ut luften i systemet. Når det kommer vann ut av den øverste ventilen er systemet fullt, og ventilene og vannkranen stenges. Vannslangen flyttes over til regulatoren (punkt 2 og 3, figur 10) og systemet er klart til bruk.

Drift:

Ved oppstart sirkulerer vannet fra motoren gjennom systemet uten at varmeveksleren får tilført kjølevann. Når motoren er varm og vannet er varmet opp tilsvarende styres åpningen og lukkingen av ventilen av PID regulatoren ved hjelp av en temperatursensor ved kjølevannsutløpet til motoren. På den måten styres væskestrømmen inn til kald side av varmeveksleren for å holde kjølevannstemperaturen til motoren tilnærmet konstant.

Tømming:

For å tømme systemet åpnes ventilene på varm side av varmeveksleren, og vannet vil renne ut. Det kan kobles en slange til den nederste ventilen slik at vannet kan føres til avløpet. For å tømme varmevekslerens kalde side legges det inn en tappeplugg i bunn av varmeveksleren. Ved tapping slipper luft inn gjennom utløpet på kald side (4, figur 10).

Konseptoversikt for kjølekolonne:

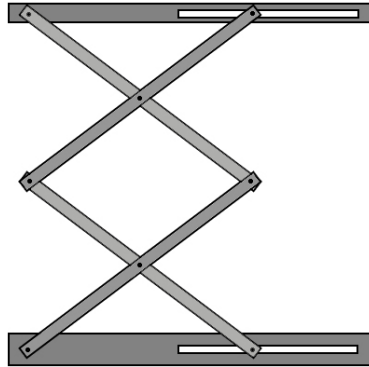
Tabell 6: Fordeler og ulemper med de ulike konseptene for kjølekolonnen.

1. Reservoar med termostatstyrt utløp og flottørventil	2. Varmeveksler med regulert "bypass-sløyfe"	3. Varmeveksler med regulert kjølevannstilførsel
<ul style="list-style-type: none"> + Enkel og billig konstruksjon sammenlignet med konsept 2 og 3. + Atmosfærisk trykk, "ekspansjonstank" bygd inn i kjølekolonnen. + Enkel oppfylling/tapping. + Ikke behov for tilgang til strøm eller andre tilkoblingspunkter enn vannkran. - Stort væskevolum, lang oppvarmingstid. - Forsinkelse i kjøleeffekt på grunn av stort væskevolum. Vanskelig å holde konstant temperatur. - Varm overflate på kjølekolonnen. Fare for å brenne seg ved berøring under/etter bruk. 	<ul style="list-style-type: none"> + Lite væskevolum og kort oppvarmingstid. + Rask respons på grunn av kald varmeveksler og lavt væskevolum. + Varmevekslerens skall kan være kald side. Ingen fare for å brenne seg på varm kjølekolonne. - Høyt vannforbruk på grunn av konstant tilførsel til varmeveksleren. - Mer komplisert konstruksjon og flere komponenter enn konsept 1 og 3. - Trenger separat ekspansjonstank. - Dyrere og mer komplisert styringssystem enn konsept 1 og 3. - Behov for tilgang til strøm for å operere ventil og PID regulator. 	<ul style="list-style-type: none"> + Relativt enkel konstruksjon. + Lite kjølevæskevolum, kort oppvarmingstid. + Liten forsinkelse i kjøleeffekt på grunn av lavt væskevolum, rask respons. + Varmevekslerens skall kan være kald side. Ingen fare for å brenne seg på varm kjølekolonne. - Trenger separat ekspansjonstank. - Mer komplisert oppfylling/tapping. - Dyrere styringssystem enn konsept 1. - Behov for tilgang til strøm for å operere ventil og PID regulator.

2.4.3. Stativ

Stativet skal være justerbart, stødig og tillate kompakt oppbevaring. Det må velges en konstruksjon og en justeringsmekanisme som kan oppfylle kravene og samtidig være økonomisk forsvarlig og enkel å bruke.

Sakseheis, konsept 1:

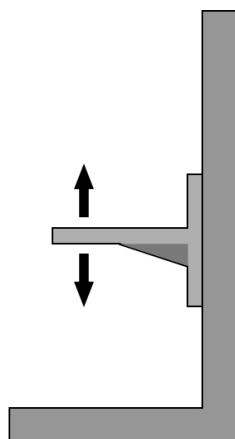


Figur 11: Mekanisme. Hengslede profiler som hever og senker plattformen på toppen ved at den ene siden av konstruksjonen har mulighet til å bevege seg horisontalt i opplagrene, slik som i sporene på høyresiden av figuren. Slike mekanismer er ofte kalt sakseheiser.

Slike mekanismer drives ofte av hydraulikk eller pneumatikk, eventuelt med en skruejekk.

Fordi plattformen trenger en viss bredde for å tillate høydejustering vil denne løsningen være relativt arealkrevende. Sakseheisen har også ganske mange bevegelige deler, og er ikke den enkleste konstruksjonen. Kjølekolonnen skal konstrueres så kompakt som mulig og med et lite grunnareal. Dermed er ikke plattformbredden til en sakseheis nødvendig med mindre kjølekolonnen skal monteres horisontalt.

Plattformheis, konsept 2:

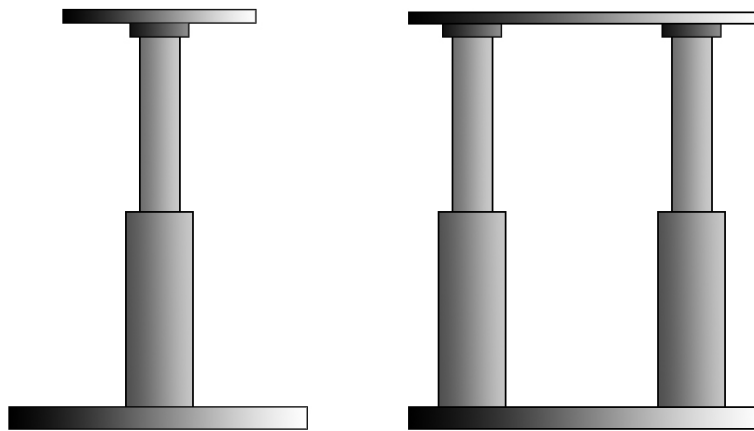


Figur 12: Vertikal plattformheis. En ramme med vertikale ben på bare én side støtter en plattform som kan flyttes opp eller ned langs de vertikale bjelkeprofilene.

Denne konstruksjonen benytter det samme konseptet som gaffeltrucker. Rammen har ett sett med støtteben som holder heiseplattformen i en løpekatt som kan bevege seg vertikalt langs støttebenene.

Fordelene med denne konstruksjonen er at stativet ikke trenger å være stort høyere enn bunnen av kjølekolonnen i øverste posisjon. Konstruksjonen gjør at plattformen kan senkes helt ned til gulvnivå, som gjør det enkelt å sette på plass kjølekolonnen, og gir mulighet for kompakt lagring. Løsningen kan også være lite arealkrevende, siden konstruksjonen bare har ben som stikker ut på én side. Da kan stativet stå inntil en vegg med kjølekolonnen i nederste posisjon når det settes bort for lagring, og dermed kan systemet lagres som én kompakt enhet.

Teleskopstativ, konsept 3:



Figur 13: Teleskopjustering med ett eller flere ben. Like profiler med ulik størrelse kan gli inni hverandre og på den måten justere høyden på stativet.

Teleskopstativet er justerbart ved at profiler med ulik størrelse er tredd inni hverandre og kan beveges. Slike løsninger er ofte hydrauliske eller pneumatiske. Et teleskopstativ med ett ben (samme konstruksjon som bl.a. kontorstoler) kan utformes relativt kompakt.

Ulempen med teleskopløsninger er at de begrenser justeringsrekkevidden, og kan ikke gjøres mer kompakt for lagring. Med fot som gir støtte i alle retninger kan heller ikke stativet settes inntil veggen når det settes bort for lagring.

Et alternativ for teleskopstativet er å erstatte den innerste delen av benet med en skrue, som en form for manuell justeringsmekanisme. Denne løsningen har de samme fordelene og ulempene som de andre teleskopløsningene, men har en ekstra ulempe med at slangene på kobles fra eller kjølekolonnen må tas av stativet under justering for å tillate rotasjon. Problemet kan løses med kulelager eller lignende i plattformen for å tillate justering uten at kjølekolonnen roterer.

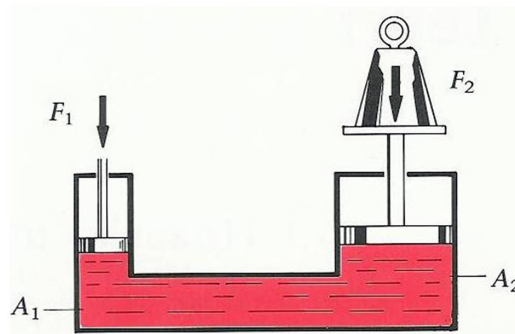
Konseptoversikt for stativ:

Tabell 7: Fordeler og ulemper med de ulike konseptene for stativutforming.

1. Saksehis	2. Plattformhis	3. Teleskopstativ
<ul style="list-style-type: none">+ Stødig plattform med vertikal heising.+ Fleksibel med hensyn til justeringsmåte.- Bred plattform for å tillate plass til høydejustering.- Komplisert konstruksjon.- Pris.	<ul style="list-style-type: none">+ Bare støtteben på én side, rammen kan settes mot veggen ved lagring.+ Stativet kan senkes helt til gulvnivå, stativ og kjølekolonne kan lagres som én kompakt enhet.+ Fleksibel med hensyn til justeringsmåte.- Noe komplisert konstruksjon.	<ul style="list-style-type: none">+ Enkel konstruksjon.+ Lite arealkrevende med ett ben med fot.+ Pris, spesielt ved manuell justering.- Teleskopstenger kan begrense justeringsrekkevidden.- Kan ikke justeres ned til gulvnivå.- Begrenser valg av justeringsmåte.

2.4.4. Justeringsmetoder

Hydraulikk/pneumatikk, konsept A:



Figur 14: Prinsipp tegning for hydraulikk [1,3].

Begge løsninger kan drives elektrisk ved hjelp av en hydraulikkpumpe eller en luftkompressor, som kan gi enkel og trinnløs justering ved hjelp av en bryter. For å unngå å være avhengig av elektrisk kraft til å justere stativet kan løsningene gjøres manuelle ved hjelp av en hånd- eller fotpumpe.

Ulempene er at en slik løsning kan bli dyr og komplisert til denne applikasjonen, og løftehastigheten er liten ved manuell justering, på samme måte som hydrauliske garasjejekk. Hydraulisk justering vil også tilføre vekt til stativet, på grunn av pumpemekanisme, stempler og et væskefylt system.

Elektrisk justering, konsept B:



Figur 15: Elektromotor [1.4].

En elektrisk motor kan drive en tannhjulsmechanisme eller trekke et ståltau ved hjelp av en trommel. Løftehastigheten kan optimaliseres med valg av motorstørrelse og utveksling, slik at ønsket løftehastighet fås med trinnløs justering. Ulempen med elektrisk justering er at det krever tilgang til elektrisitet for å justere stativet.

Det er også en bekymring med elektrisk kraft til en installasjon som bruker mye vann, på grunn av faren for elektrisk støt. På grunn av avhengigheten av elektrisk tilkobling og unødvendig energiforbruk til justering, i tillegg til prisen på elektromotorer anses elektrisk justering som mindre praktisk til formålet.

Håndvinsj, konsept C:



Figur 16: Håndvinsj [1.5].

En håndvinsj er kompakt, og kan brukes til å løfte store masser med en relativt liten kraft på sveiva. Håndvinsjen kan fås med automatisk brems, som gjør at høyden kan justeres trinnløst begge veier ved hjelp av ståltau eller belte. Ulempen med denne løsningen er at den begrenser konstruksjonsmåten til stativet, fordi det er trengs opplagring i høyeste punkt for å kunne løfte mekanismen med vaiertrekk. Derfor kan denne justeringsmåten være ideell for plattformheisen som er skissert under konstruksjonsalternativer.

Manuell justering, konsept D:



Figur 17: Et eksempel på manuell justering [1.6].

Et eksempel på manuell justering er løsningen brukt i figur 17. En annen løsning er å bruke et system med mothaker, der hvert trinn ser ut som en tann i et sagblad. Det er et prinsipp som egner seg godt til sakseheisen skissert under konstruksjonsalternativer. Bordet kan løftes opp og glir over ”sagtennene” på vei opp, og låses automatisk i posisjon for hvert trinn.

Et manuelt justerbart stativ gir muligheten til å designe en enkel og billig konstruksjon, på grunn av færre nødvendige komponenter. Ulempen er tung justering dersom kjølekolonnen står på stativet, og fare for klemskader. Fordi manuell justering er mindre trygt og lite praktisk dersom kjølekolonnen er plassert på stativet ser kan manuell justering være et lite gunstig alternativ.

Konseptoversikt for justeringsmåter:

Tabell 8: Fordeler og ulemper med de ulike konseptene for justeringsmåte til stativet.

Hydraulikk/pneumatikk	Elektrisk	Håndvinsj	Manuell justering
+ Kan løfte stor last med en liten kraft inn til systemet.	+ Enkel justering ved hjelp av bryter.	+ Pris.	+ Pris.
+ Sikker bruk.	- Elektrisitet og vann – dårlig sikkerhet.	+ Sikker og enkel justering.	+ Enkel konstruksjon.
- Pris, spesielt ved bruk av elektrisk pumpe eller kompressor.	- Pris.	+ Krever ingen ekstern tilkobling (el/vann eller lignende)	+ Krever ingen ekstern tilkobling.
- Kan kreve elektrisk tilkobling.	- Krever elektrisk tilkobling.	- Begrenser designalternativer for stativet.	- Klemfare og lite sikker justeringsmåte.
			- Kan ikke justeres med kjølekolonnen på stativet.

2.5. Konseptscreening

Pughs metode for egenscreening av konsepter benyttes fordi det er en ryddig og oversiktlig metode for konseptvalg. Metoden kan også hjelpe til med å sette egne ønsker og følelser til side og velge riktig konsept på grunnlag av kravspesifikasjonene ved hjelp av en mer vitenskapelig fremgangsmåte.

Karakterene som er brukt for å gi poeng til hvert kriterium i screeningprosessen har en skala fra -1 til +1, der karakterene er inndelt som følgende:

- 1: Kriteriet er under standard med hensyn til kravspesifikasjonen.
- 0: Kriteriet er i henhold til kravspesifikasjonen.
- +1: Kriteriet overgår kravspesifikasjonens standard.
- : Kriteriet er ikke relevant for konseptet (brukt for screening av stativ og justeringsmåte).

Deretter er karakteren for hvert kriterium ganget med kriteriets vektall, slik at kriteriene som er tyngst vektet får størst betydning. Til slutt er poengene lagt sammen til en sum som ligger til grunn for konseptvalget.

2.5.1. Kjølekolonne

Tabell 9: Egenscreening av konsept for kjølekolonnen.

Kriterier for egenscreening	Faktor fra vekting	1	2	3
Pris	5	+1 (x5)	-1 (x5)	0 (x5)
Enkel konstruksjon + servicevennlighet	5	+1 (x5)	-1 (x5)	0 (x5)
Enkel betjening	4	+1 (x4)	0 (x4)	0 (x4)
Få tilkoblingspunkter	3	+1 (x3)	0 (x3)	0 (x3)
Oppvarmingstid	2	-1 (x2)	0 (x2)	+1 (x2)
Konstant driftstemperatur	3	-1 (x3)	+1 (x3)	+1 (x3)
Miljøvennlighet	2	+1 (x2)	-1 (x2)	0 (x2)
SUM	-	+14	-9	+5
Valgt konsept	Konsept 1, reservoar.			

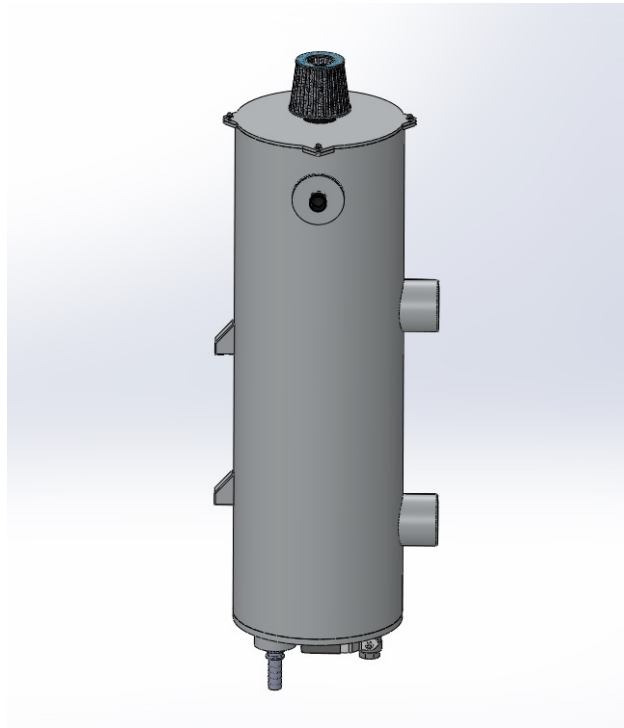
2.5.2. Stativ og justeringsmåte

Tabell 10: Egenscreening av konsept for stativutforming og justeringsmåte.

Kriterier	Faktor fra vektning	1	2	3	A	B	C	D
Pris	5	-1 (x5)	0 (x5)	0 (x5)	-1 (x5)	-1 (x5)	0 (x5)	+1 (x5)
Kompakt lagring	3	-1 (x3)	+1 (x3)	0 (x3)	-	-	-	-
Arealkrav	2	-1 (x2)	+1 (x2)	+1 (x2)	-	-	-	-
Enkel betjening	4	-	-	-	+1 (x4)	+1 (x4)	0 (x4)	-1 (x4)
Sikker bruk	5	-	-	-	+1 (x5)	0 (x5)	+1 (x5)	-1 (x5)
Tilkoblingspunkter	4	-	-	-	0 (x4)	-1 (x4)	+1 (x4)	+1 (x4)
Miljøvennlig	3	0 (x3)	0 (x3)	0 (x3)	-1 (x3)	0 (x3)	+1 (x3)	+1 (x3)
SUM	-	-10	+5	+2	+1	-5	+12	+3
Valgt konsept	Konsept 2, plattformheis.				Konsept C, håndvinsj.			

2.6. Formgivning og design

2.6.1. Kjølekolonne

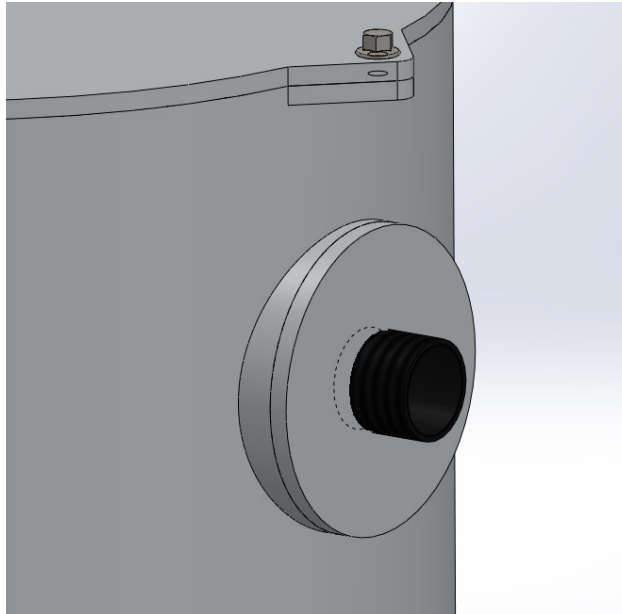


Figur 18: Illustrasjonen viser kjølekolonnens totaldesign. Rørstussene på høyresiden er til motorens inn- og utløp, og brakettene på venstresiden er kjølekolonnens oppheng. Kaldtvannstilkoblingen er plassert mot toppen av kjølekolonnen, og slangetilkoblingen som kan skimtes nederst er utløpet. På midten av topplokket er det montert et luftfilter.

Kjølekolonnen baseres på et aluminiumsrør med tilstrekkelig indre diameter til å romme flottørventilen og andre komponenter, og høyde tilpasset det nødvendige væskevolumet. Bunnen sveises fast i sylindere, mens topplaten skrues fast for å forenkle tilgang til vedlikehold eller reparasjoner. Det er viktig at kjølekolonnen, spesielt bunnlokket dimensjoneres for å tåle de opptredende spenningene forårsaket av trykket fra vannmassene med tilstrekkelig sikkerhet.

Kjølekolonnen har fire tilkoblingspunkter under bruk: Kaldtvannstilførsel til flottørventilen, slange til/fra motor og utløp under termostaten. I tillegg er det en egen kuleventil til tapping av kjølekolonnen. Kuleventilen tillater montering av slangekobling til egen tappeslange.

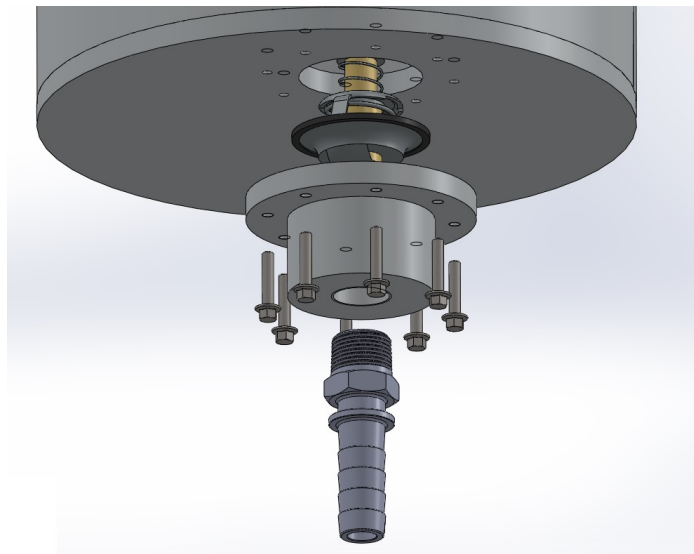
Tilkoblingspunktene for kjølevann til og fra motoren konstrueres som rørstusser med innvendige rørgjenger. Rørstussene sveises til sylindere, og rørgjengene brukes til å feste slangekoblinger av ønsket størrelse. Denne løsningen gir fleksibilitet med tanke på slangediameter.



Figur 19: Illustrasjonen viser kaldtvannstilkoblingen under topplokket.

Kaldtvannstilkoblingen konstrueres som en rørstuss med lokk som sveises til sylindere. Flottørventilen festes gjennom et hull i lokket. Designet gir en plan anleggsflate til montering av flottørventilen, og rørstussen gir ekstra klaring mot den indre diameteren, for å sikre at ventilen med flottør har tilstrekkelig plass til å fungere optimalt.

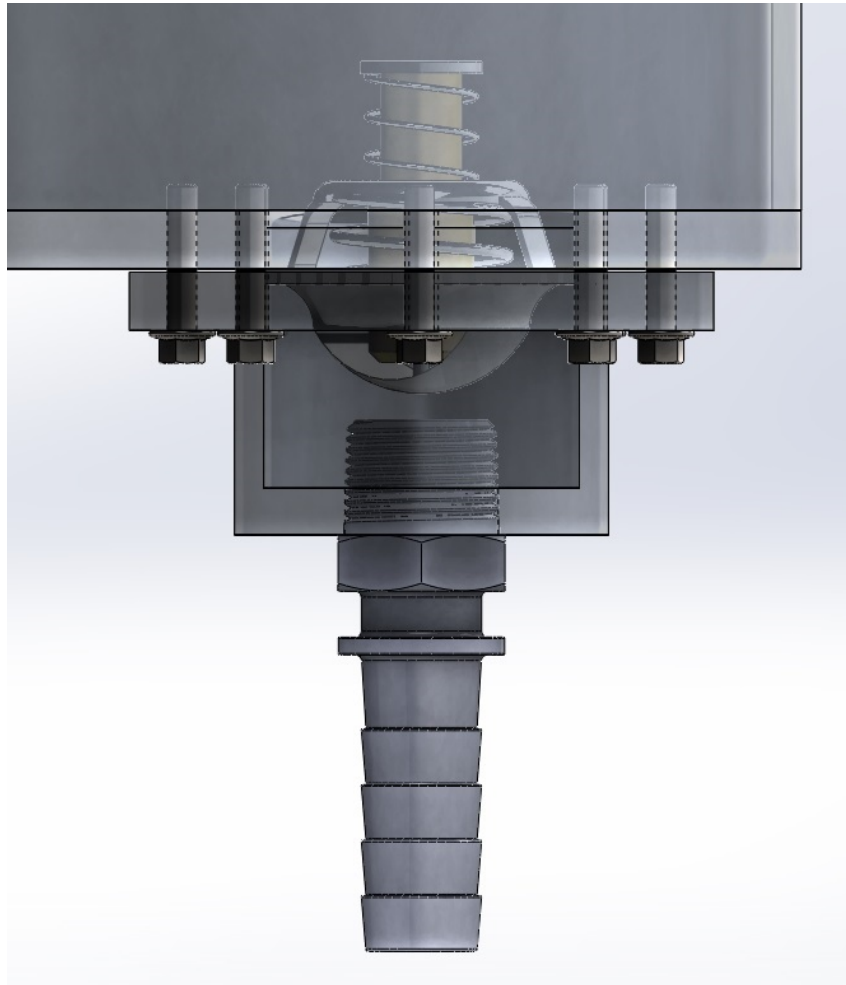
Det er viktig at rørstussen har tilstrekkelig diameter til å støtte flottørventilens anleggsflate, og at avstandsringen ikke er så dyp at den blokkerer ventilens utløp.



Figur 20: Illustrasjon som viser sammenstillingen til kjølekolonnens utløp.

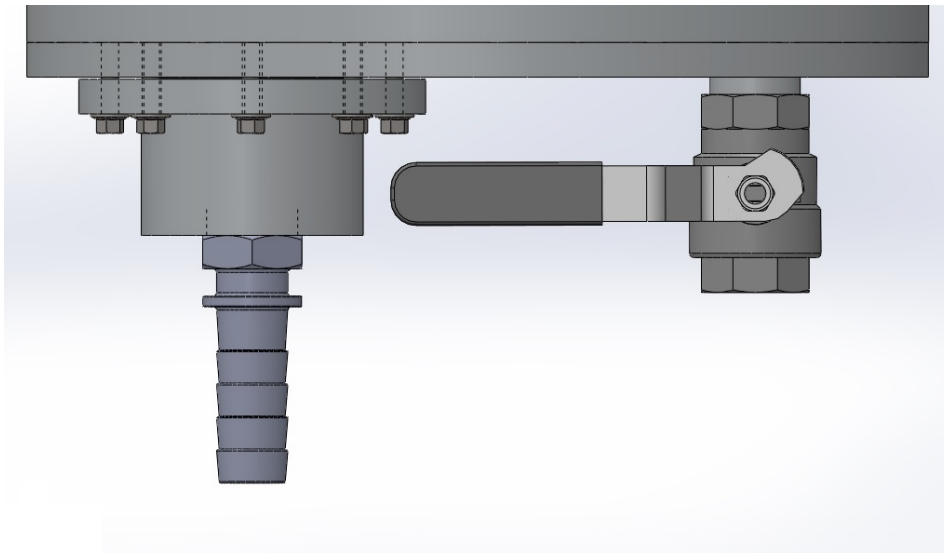
Termostaten monteres med en gummipakning, som tetter ved hjelp av en trykkflens som skrues mot kjølekolonnens bunn. Termostaten anleggsflate på oversiden er mot en hullkant i kjølekolonnens bunnplate. På undersiden hviler termostaten pakning mot et spor i trykkflensen.

Sporet er grunt nok til at pakningen gir mellomrom mellom trykkflensen og kjølekolonnens bunnplate. Dermed komprimeres pakningen ved hjelp av boltsirkelen, og gir vanntett montering.



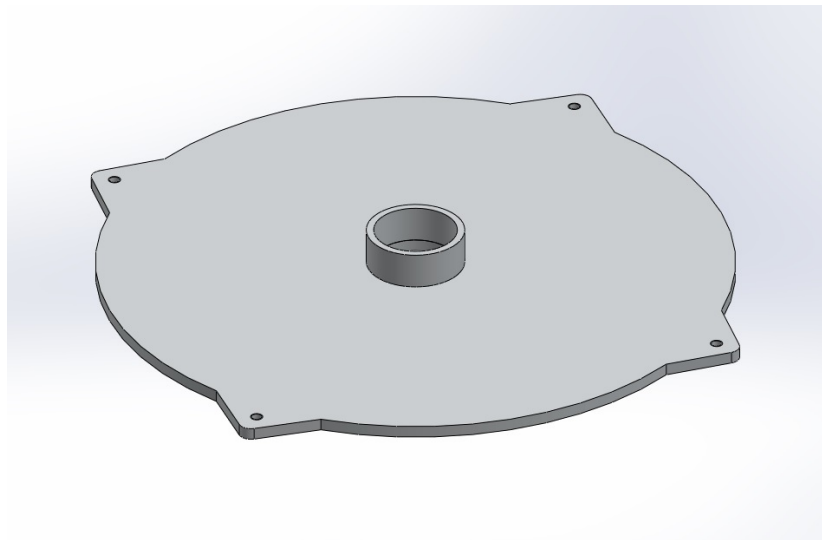
Figur 21: Illustrasjon som viser kjølekolonnens utløp, med termostat og slangekobling i termostatfestet.

Termostatfestet har et hull med innvendige rørgjenger i bunn. Her monteres en egnet slangetilkobling til innfesting av utløpsslangen. Figur 21 viser en slangetilkobling med langt gjenget parti. Gjengepartiet bør kortes ned mest mulig, ellers bør det bores dreneringshull nederst i den utstikkende delen av gjengene for å unngå at det blir liggende vann i termostatfestet.



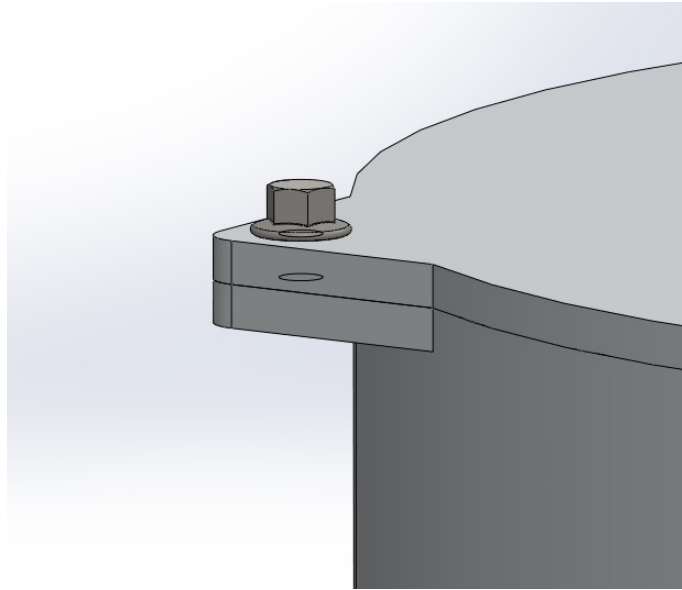
Figur 22: Illustrasjon av tappeventilens plassering ved siden av utløpet.

Tappeventilen brukes til å tømme kjølekolonnen etter bruk. Den monteres ved siden av utløpet, ved hjelp av en rørstuss med utvendige rørgjenger. Rørstussen er sveist til kjølekolonnens bunnlokk, og kuleventilen skrues på rørstussen. Dersom det er ønskelig kan det monteres en slangekobling til utløpssiden av kuleventilen, slik at det kan festes en tappeslange.



Figur 23: Topplokket med festepunkt til luftfilter.

Topplokket er ikke lastbærende, og dets funksjon er å hindre at urenheter eller små gjenstander slipper inn i kjølekolonnen og blander seg med motorens kjølevann. Topplokket er sirkulært med fire festeører på utsiden. I senter av lokket er det et hull med en påsveiset rørstuss. Et luftfilter festes til rørstussen ved hjelp av en slangeklemme. Luftfilteret sørger for at det alltid er atmosfærisk trykk over kjølevannet.



Figur 24: Topplokket skrus til kjølekolonnen ved hjelp av festeører sveist til sylinderen.

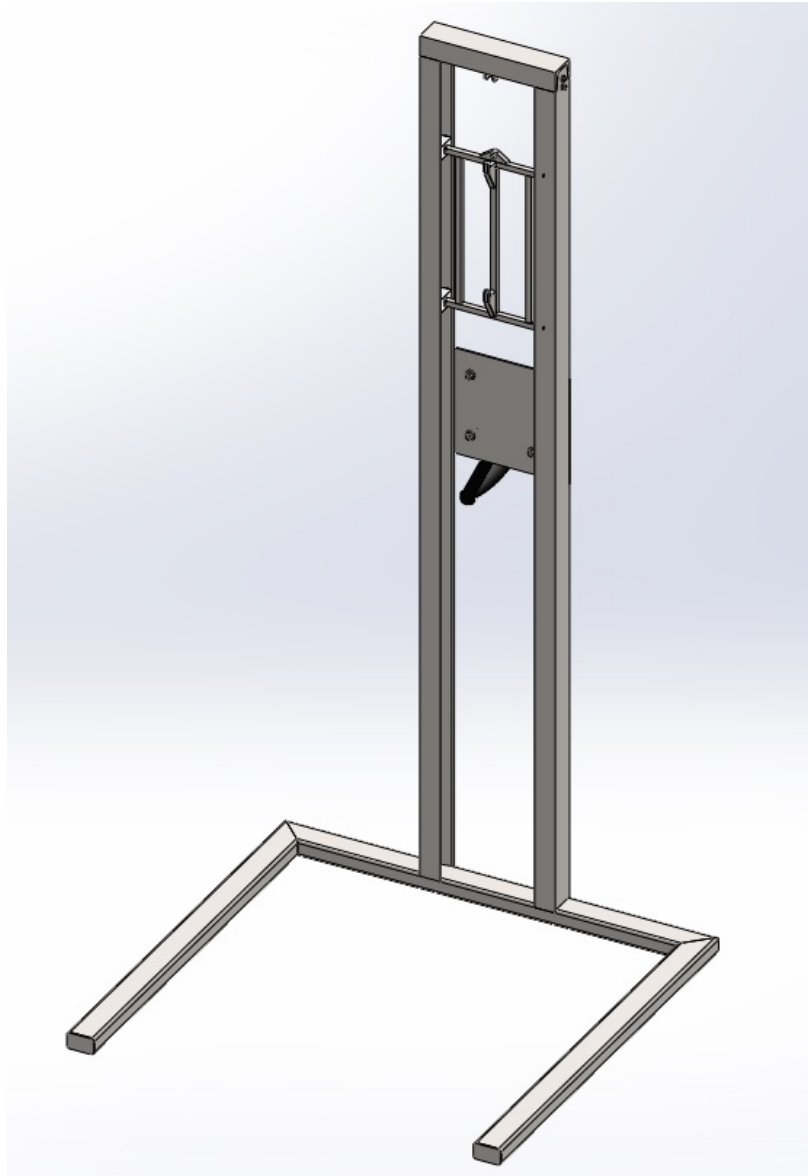
Festeører med samme utforming som festeørene på lokket sveises til sylinderen. Både lokkets festeører og de fastsveisede har hull med innvendige gjenger. Sveiseørene designes relativt brede for å tillate en lengre sveisesøm. Den lange sveisesømmen er ønskelig selv om lokket ikke er lastbærende, fordi den gjør kjølekolonnen mer robust.



Figur 25: Kjølekolonnen sett bakfra. Det er to festebraketter montert over hverandre.

Opphongsbrakettene holder kjølekolonnen til stativet, og gjør den enkel å hekte av og på. Brakettene designes etter et "hun/han-prinsipp", der brakettene på kjølekolonnen har avlange hull, og brakettene på stativets løpekatt har "kroker" med samme fasong.

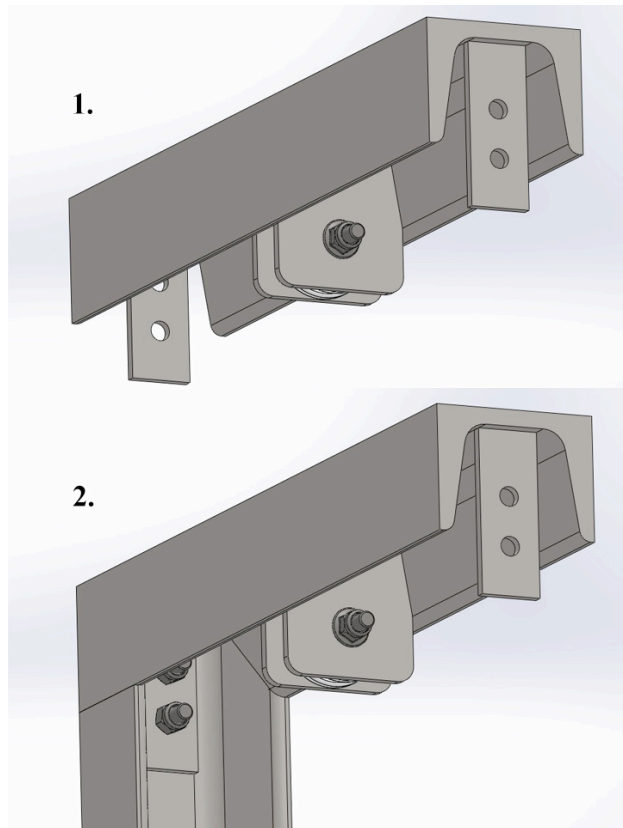
2.6.2. Stativ



Figur 26: Illustrasjon av stativets totaldesign.

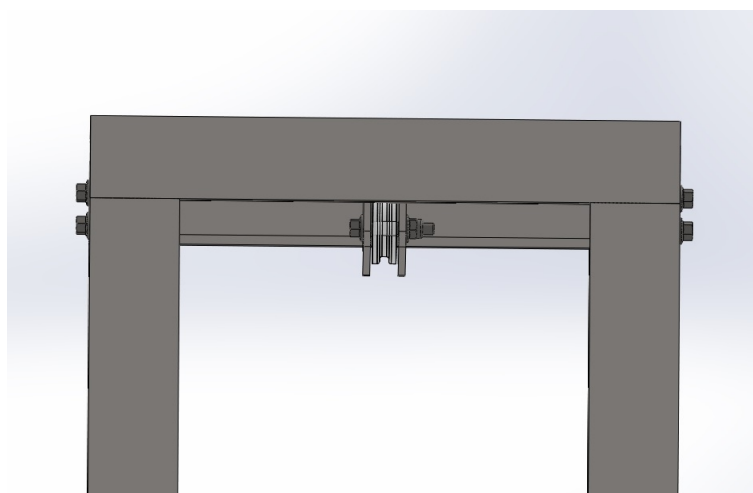
Stativet konstrueres av UNP-profiler stilt mot hverandre slik at disse danner en lukket glideflate for løpekatten. De vertikale profilene sveises til en fot av varmformede rektangulære hulprofiler. Foten gir støtte og hindrer at stativet velter, og må derfor dimensjoneres for å tåle et tilstrekkelig veltemoment.

Løpekatten er festet med et ståltau som føres gjennom en trinse festet i topplaten. Fra trinsen går ståltauet til bakplaten, der det er festet til en håndvinsj. Håndvinsjen har automatisk brems, og gjør det dermed mulig å både heve og senke løpekatten trygt.



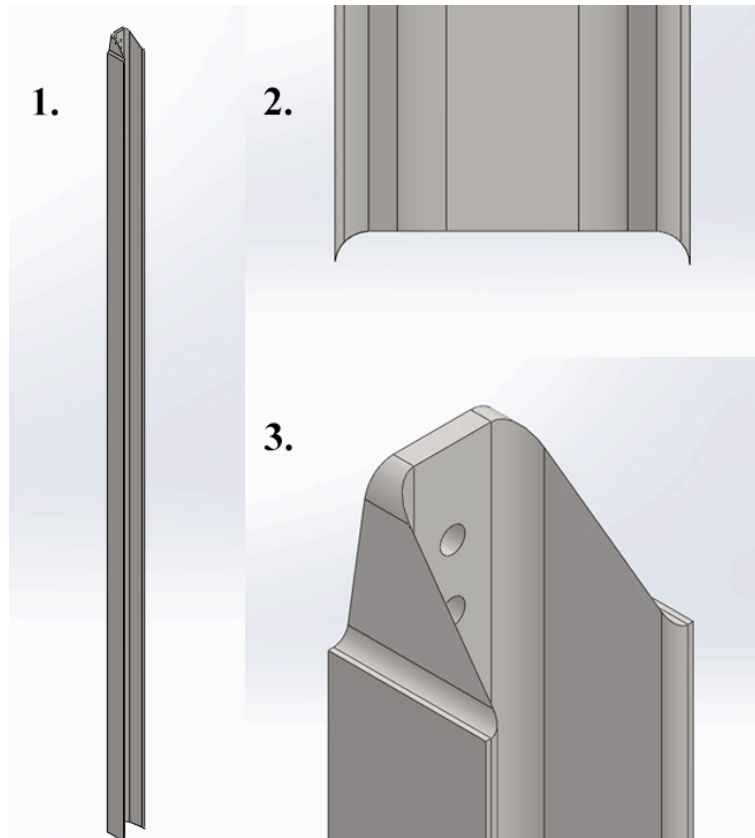
Figur 27: Stativets topplate med trinse og festeplater. 1: Topplattens sammenstilling. 2: Topplaten plasseres på de vertikale bena og festes med bolter og låsemuttere (her vist mot ett av bena).

Topplaten utsettes for en relativt stor vertikal belastning, men svært små eller ingen belastninger fra siden. Trinsefestene er plassert midt på topplaten, og festeplatene treffer innsiden av de vertikale bena. Topplaten er skrudd til konstruksjonen for å gjøre det enkelt å foreta vedlikehold og reparasjoner.



Figur 28: Trinsen festes ved hjelp av en bolt og låsemutter gjennom to braketter festet til topplaten.

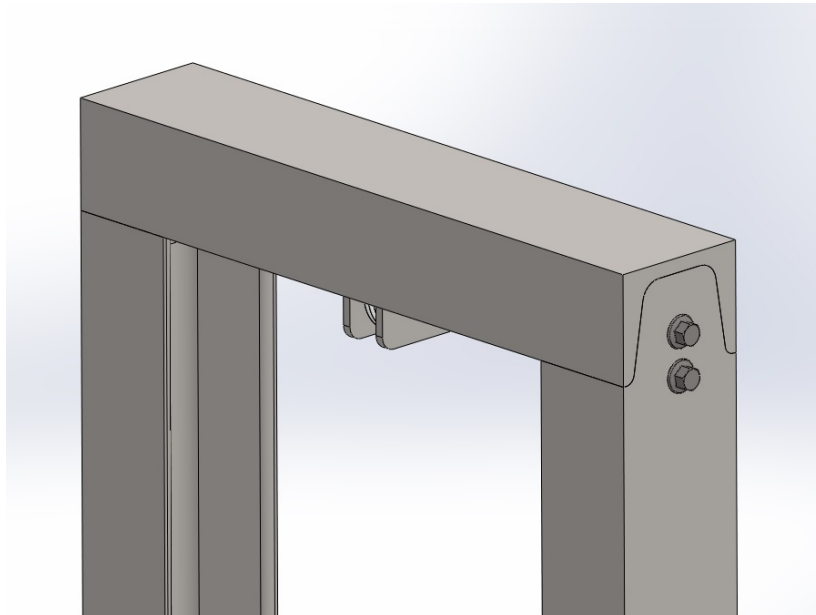
Trinsen roterer fritt rundt en bolt ført gjennom trinsefestene. Det legges inn plass til en skive på hver side av trinsen for å unngå at rotasjonen stoppes eller bremses av festet. Det er viktig at bolten og grunnmaterialet dimensjoneres for å tåle lasten på trinsen, og at låsemutteren ikke strammes for hardt.



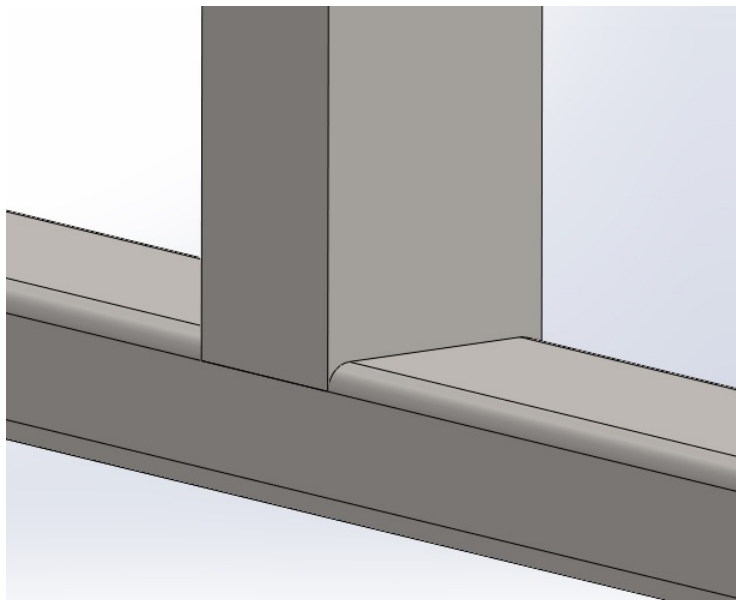
Figur 29: Ett av stativets to vertikale ben. 1: Hele UNP-profilet. 2: Detaljillustrasjon av bunnen. 3: Detaljillustrasjon av toppen.

De vertikale bena konstrueres av UNP-profiler, og må dimensjoneres for å tåle trykkbelastningen fra topplaten og momentet fra løpekatten. Bunnen av benet festes til stativfoten, der det betraktes som fast innspent.

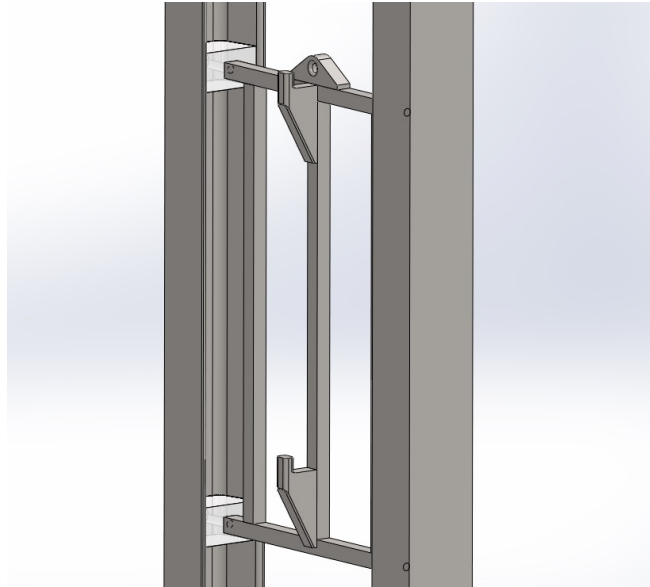
Bunnen av stativbenet er formet for å passe på et varmformet rektangulært hulprofil med samme bredde som UNP-profilet. Utskjæringen gir god passform i benets festepunkt. Toppen av stativbenet er formet for å passe innsiden av et tilsvarende UNP-profil slik at topplaten kan plasseres oppå og gi en sømløs overgang fra topplate til stativben. Hullene i toppen av benet brukes til innfesting av topplaten ved hjelp av bolter og låsemuttere.



Figur 30: Illustrasjon av topplatens innfestning til stativbena.

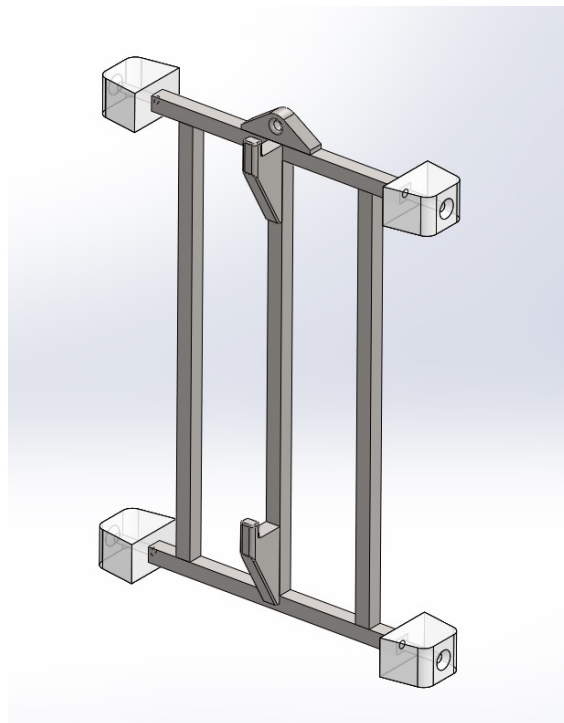


Figur 31: Illustrasjon av stativbenets innfesting til foten.



Figur 32: Illustrasjon av løpekattens plassering i stativet (illustrasjonen mangler ståltåu).

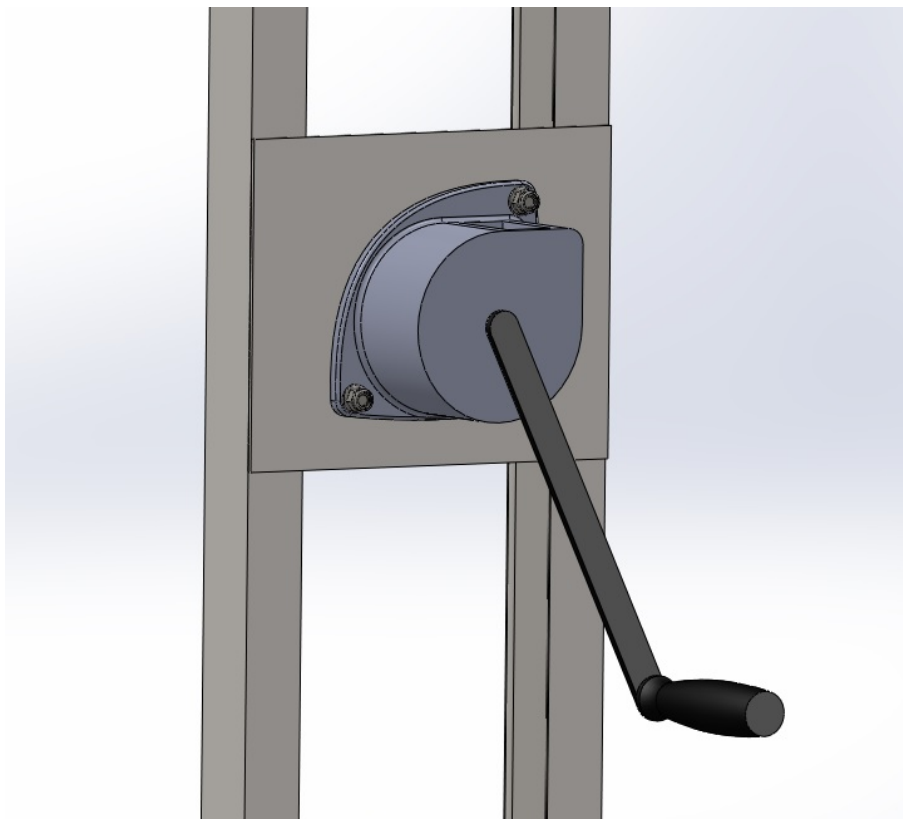
Løpekatten har fire glideklosser som passer mot flatene på innsiden av UNP-profilene, og føres ned i stativet før topplaten monteres. På den måten låses løpekatten på plass og kan kun beveges vertikalt på grunn av lav friksjon mot stativbena. Høyden justeres ved hjelp av snordraget fra håndvinsjen, og låses også på plass ved hjelp av denne.



Figur 33: Illustrasjon av stativets løpekatt.

Løpekatten konstrueres av firkantstål påskrudd glideklosser i et materiale som er slitesterkt og har lav friksjonskoeffisient for å tillate enkel justering og minimalt vedlikehold. De horisontale stavene har gjengede hull til innfesting av glideklossene, og er festet til tre vertikale staver som gir løpekatten styrke og stivhet.

Festebrakettene til montering av kjølekolonnen er plassert midt på løpekatten, og fungerer ved at de utstikkende ”krokene” passer mot tilsvarende hulrom i kjølekolonnens braketter. Festene er avlange for å hindre kjølekolonnen i å rotere om festepunktene. Ståltauet festes med en løkke gjennom hullet i vaierfestet øverst i midten. Det er viktig at Festebrakettene og vaierfestet dimensjoneres for å tåle de belastninger som forekommer, og at de har tilstrekkelig innfestning til løpekatten.



Figur 34: Illustrasjon av stativets bakplate påmontert håndvinsj.

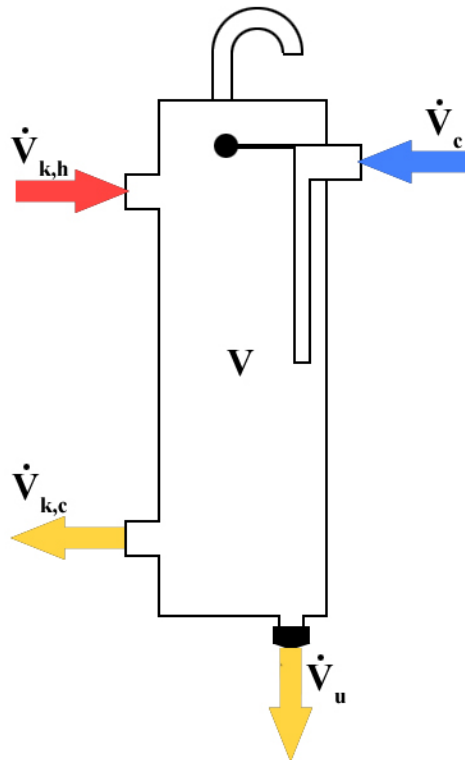
Håndvinsjen monteres på stativets bakplate. Denne er festet til flensene på baksiden av de vertikale stativbena, og har skruehull tilpasset vinsjen som skal benyttes. Festeboltene festes med låsemuttere, og føres gjennom fra baksiden (gjennom platen før vinsjen) for å bygge minst mulig, slik at boltene ikke kommer i veien for løpekatten.

Platen må monteres i fornuftig høyde, slik at vinsjen blir plassert ergonomisk riktig og er behagelig å operere.

3. GRUNNLAGSBEREGNINGER

3.1. Kjølekolonne

3.1.1. Beregningsmodell



Figur 35: Grafisk framstilling av volumstrømmene i kjølekolonnen under bruk.

Antagelser:

Væskevolumet i kjølekolonnen holdes konstant under bruk, altså er $\dot{V}_{k,h} = \dot{V}_{k,c}$ og $\dot{V}_c = \dot{V}_u$. $\dot{V}_{k,h}$ og $\dot{V}_{k,c}$ erstattes av \dot{Q}_k i beregningsmodellen.

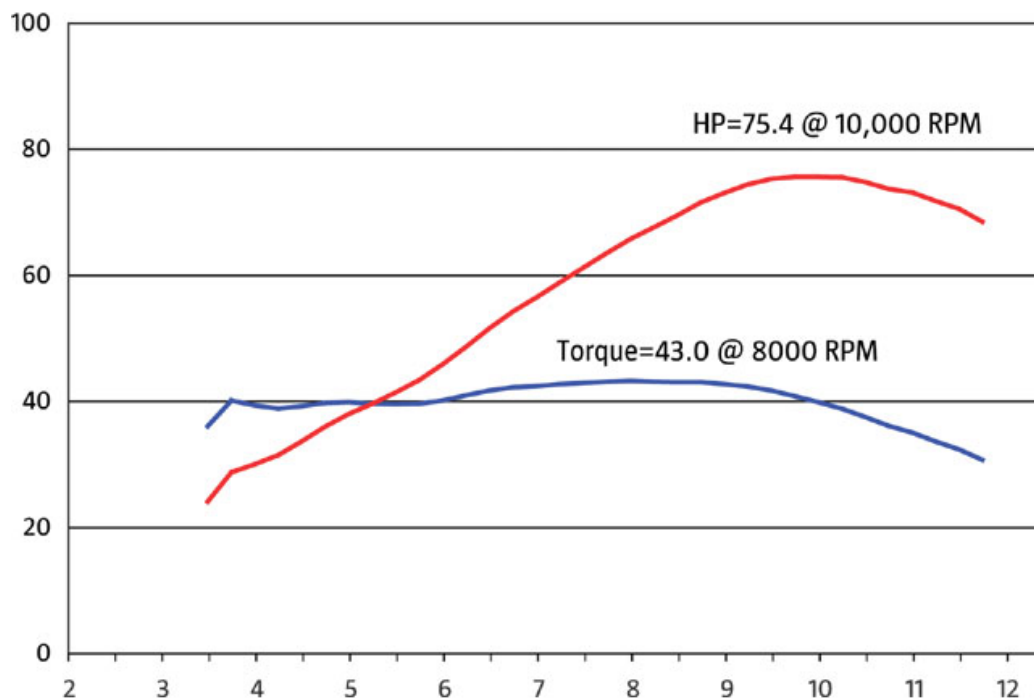
Varmetilførselen fra $\dot{V}_{k,h}$ er gitt av "worst case scenario" for en motor på 130 kW, og er dimensjonerende varmetilførsel for kjølekolonnen.

\dot{V}_c er fastsettes etter spesifikt behov for vanntilførsel for å oppnå tilfredsstillende kjøleeffekt, og T_c er antatt (i samarbeid med oppdragsgiver) som "worst case scenario" ved høye vanntemperaturer om sommeren.

Dermed er V og \dot{V}_c eneste variabler i varmebalansen, og er dimensjonerende for kolonnens kjøleeffekt.

Vannhastigheten skal ikke overstige 3-4 m/s på trykksiden og 2-3 m/s på sugesiden_[S.1]. Nødvendig slangediameter må bestemmes etter dette kravet.

Nødvendig kjøleeffekt:



Figur 36: Effekt-/momentkurve for en forbrenningsmotor. Figuren viser motorens ytelse gjennom turtallsregisteret, i dette tilfellet for en liten firesylindret bensinmotor fra en Suzuki motorsykkel. X-aksen indikerer motorens turtall (x1000 o/min), og Y-aksen indikerer både effekt (hestekrefter) og dreiemoment (Nm) [1.7].

En forbrenningsmotor gir ikke maksimal effekt over hele turtallsregisteret, selv ikke med fullt gasspådrag. Som figur 36 viser, er motorens oppgitte effekt lik tangenten til toppunktet i effektkurven (vist med rødt). Dermed yter motoren den oppgitte akseeffekten i bare ett punkt i turtallsregisteret, og har vesentlig lavere effekt i det nedre turtallsområdet.

Formel (2) og (4) viser at varmen avgitt til motorens kjølesystem har direkte sammenheng med akseeffekten. Dermed avgir bare motoren maksimal varmemengde i effektkurvens toppunkt. Siden motoren bare avgir maksimal varme til kjølesystemet i korte perioder anses det som tilstrekkelig dersom $\Delta U = 0$ for systemet, slik at temperaturen holdes konstant ved maksimal varmetilførsel.

Maksimal varmetilførsel funnet i kapittel 2 er omtrent 200 kW. Det velges derfor å dimensjonere kjølekolonnen for energibalanse ved tilførsel av 200 kW varme fra motorens kjølekrets.

Måling av vannmengde fra kran:

For å kontrollere om kjølekolonnen kan opereres fra vanlige vannkraner uavhengig av sted måles volumstrømmen fra fire ulike kraner i forskjellige bygninger både i Ås og i Sandnes.

Det benyttes en stoppeklokke for å måle tiden det tar å tappe 5 liter kaldt vann i et stort målebeger, og legger gjennomsnittstiden til grunn for normal volumstrøm fra en vannkran.

Tabell 11: Tiden (i sekunder) det tar å tappe 5 liter kaldt vann fra ulike kraner.

Kran 1	Kran 2	Kran 3	Kran 4
28 s	39 s	23 s	21 s
27 s	39 s	22 s	20 s

De målte verdiene gir en gjennomsnittstid lik:

$$\frac{28 + 27 + 39 + 39 + 23 + 22 + 21 + 20}{8} = 27,4 \text{ s}$$

Gjennomsnittstiden gir en massestrøm lik:

$$\dot{m}_c = \frac{V * \rho}{t} = \frac{0,005 * 1000}{27,4} = 0,18 \text{ kg/s} \approx 0,2 \text{ kg/s}$$

Og en volumstrøm lik:

$$\dot{V}_c = \frac{\dot{m}_c}{\rho} = \frac{0,2}{1000} = 0,0002 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vanntemperatur fra kranen:

Oppegård og Ås kommuner har Gjersjøen som drikkevannskilde [1.8]. Gjersjøen er en relativt stor innsjø med maks dyp på om lag 60 meter. Det er derfor rimelig å anta at dypvannstemperaturen holder seg rundt 4 °C, også om sommeren. Vannet transporteres i nedgravde rør på frostsikker dybde, og eksponeres derfor ikke for store mengder varme.

Det antas en drikkevannstemperatur på 4-5 °C om vinteren, og noe høyere om sommeren. Realistisk makstemperatur for varme perioder om sommeren settes (noe høyt) til 10 °C, og kjølekolonnen dimensjoneres etter denne vanntemperaturen.

3.1.2. Nødvendig kjølevannsmengde til motoren som funksjon av ΔT

$$\dot{Q}_T = P_e * b_e * h_n \quad (1)$$

$$\eta_e = \frac{P_e}{\dot{Q}_T} \quad (2)$$

$$\dot{Q}_K = \dot{Q}_T * K \quad (4)$$

$$\dot{Q}_K = \dot{m} * c * \Delta T \quad (5)$$

$$\dot{m} = \dot{V} * \rho \quad (6)$$

Formel (1), (4) og (6) settes inn i formel (5):

$$P_e * h_n * b_e * K = \dot{V} * \rho * c * \Delta T$$
$$\dot{V}_k = \frac{K * b_e * h_n * P_e}{c * \Delta T * \rho} \quad (7)$$

b_e og h_n forkortes ved å sette (1) inn i (2):

$$\frac{P_e * \dot{Q}_T}{\dot{Q}_T} = \eta_e * P_e * h_n * b_e$$
$$\eta_e = \frac{1}{h_n * b_e} \quad (3)$$

Formel (3) settes inn i (7):

$$\dot{V}_k = \frac{K * P_e}{\eta_e * c * \Delta T * \rho} \quad (8)$$

Formel (8) er praktisk og anvendelig, da man slipper å ta hensyn til spesifikt drivstofforbruk og brennverdien til drivstoffet. Isteden kan motorens virkningsgrad benyttes. I figur 6 er det oppgitt at normal temperaturdifferanse (ΔT) på kjølevæsken mellom motorens innløp og utløp er 5-8 °C.

Videre er det gitt i tabell 3 at:

$$\eta_e \approx 0,22$$
$$K \approx 0,34$$

Ved $\Delta T = 8$ °C:

$$\dot{V}_k = \frac{0,34 * 130000}{0,22 * 4190 * 8 * 1000} = 0,0059 \text{ m}^3/\text{s}.$$
$$= 5,9 \text{ kg/s}$$

Ved $\Delta T = 5$ °C:

$$\dot{V}_k = \frac{0,34 * 130000}{0,22 * 4190 * 5 * 1000} = 0,0096 \text{ m}^3/\text{s}.$$
$$= 9,6 \text{ kg/s}$$

Beregningene viser at motorens kjølevæskesepumpe må ha en kapasitet til å levere mellom 5,9 og 9,6 kg/s ved full effekt dersom kjølevannet skal kunne ta opp 200 kW varme med normal temperaturdifferanse.

3.1.3. Energibalanse og nødvendig vannmengde fra kranen

Det termodynamiske systemets energi U er gitt ved formelen:

$$U = m * c * T$$

Systemet tilføres 200 kW energi ved full effekt. $200000 \text{ W} = 200000 \text{ J/s}$, som bidrar til temperaturøkning i motorens kjølevæske. Denne temperaturøkningen er gitt ved:

$$\Delta U = m * c * \Delta T \quad (9)$$

Dersom systemet betraktes i ett sekund, og det antas et væskevolum på $V = 0,03 \text{ m}^3$ blir temperaturendringen lik:

$$200000 = 30 * 4190 * \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{200000}{125700}$$

$$\Delta T = 1,59 \text{ }^\circ\text{C}$$

Med dette volumet får kjølevæsken en temperaturøkning på $1,59 \text{ }^\circ\text{C}$ per sekund ved full effekt.

Det samme systemets energibalanse ved full effekt har forutsetningen $\Delta U = 0$. Energibalansen kan settes opp som:

$$U_0 - \dot{Q}_u + \dot{Q}_c + \dot{Q}_k = U$$

Fordi $\Delta U = 0$, er $U - U_0 = 0$. Da kan formelen forkortes:

$$\dot{Q}_u - \dot{Q}_c = \dot{Q}_k$$

For å finne nødvendig vannmengde fra kranen settes $\dot{m}_u = \dot{m}_c = x$ inn i energibalansen, fordi volumet holdes konstant. Det gir formelen:

$$(x * c * T_u) - (x * c * T_c) = \dot{Q}_k \quad (10)$$

Vanntemperaturen er tidligere antatt å være $T_c = 10 \text{ }^\circ\text{C}$. T_u er like stor som $T_{k,c}$, som skal være omtrent 5-8 grader kaldere enn $T_{k,h}$. Det er satt at $T_{k,h}$ ligger mellom 80 og 95 grader under drift. Da kan det grovt antas at T_u holder mellom 70 og $85 \text{ }^\circ\text{C}$.

Setter inn for $T_u = 85 \text{ }^\circ\text{C}$ i formel (10):

$$(x * 4190 * 85) - (x * 4190 * 10) = 200000$$

$$314250x = 200000$$

$$x = 0,636 \text{ kg/s} \approx 0,64 \text{ kg/s}$$

Vanntilførselen må altså ha kapasitet til å levere minst 0,64 kg/s, eller 38,4 liter i minuttet. Det gir en volumstrøm lik:

$$\dot{V}_c = \frac{\dot{m}_c}{\rho} = \frac{0,64}{1000} = 0,00064 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Realistiske verdier av T_u settes inn i formel (10), og resultatene føres i en tabell for oversikt. Beregningene er utført for høye vanntemperaturer sommer og vinter:

Tabell 12: Nødvendig kaldtvannstilførsel for ulike verdier av T_u .

Sommer, $T_c = 10 \text{ }^\circ\text{C}$		Vinter, $T_c = 5 \text{ }^\circ\text{C}$	
$T_u \text{ (}^\circ\text{C)}$	$\dot{m}_c \text{ (kg/s)}$	$T_u \text{ (}^\circ\text{C)}$	$\dot{m}_c \text{ (kg/s)}$
70	0,80	70	0,73
75	0,73	75	0,68
80	0,68	80	0,64
85	0,64	85	0,60
90*	0,60	90*	0,56

*så høye kjølevannstemperaturer inn til motoren bør unngås, da ut-temperaturen ender svært nær kokepunktet ved $\Delta T = 5\text{-}8 \text{ }^\circ\text{C}$. Temperaturen er kun tatt med i tabellen som et eksempel.

Resultatene viser at kjølekolonnen trenger omtrent 3,5 ganger så mye vann som en vanlig kran klarer å levere dersom det skal være tilstrekkelig kjøleeffekt til å håndtere 200 kW varme fra motorens kjølesystem. Laboratoriets vannforsyning må dimensjoneres for å kunne gi kjølekolonnen tilstrekkelig volumstrøm. Det reduserer muligheten til å bruke kjølekolonnen uavhengig av sted, men sikrer kjølekolonnens funksjon.

Det anbefales å dimensjonere vanntilførselen på laboratoriet for en massestrøm på 0,7 kg/s. Da vil temperaturen i kjølekolonnen stabilisere seg på omtrent $75 \text{ }^\circ\text{C}$ ved full effekt, som gir $T_{k,h}$ på omtrent $80\text{-}83 \text{ }^\circ\text{C}$. Det er en gunstig kjølevannstemperatur for å hindre motorslitasje i henhold til figur 2 og figur 6.

Termostaten kan med fordel åpne ved omtrent $70 \text{ }^\circ\text{C}$ når temperaturen stabiliserer seg på $75 \text{ }^\circ\text{C}$. Det hindrer at temperaturen blir for høy på grunn av forsinkelse i kjøleeffekten. Med åpen termostat vil temperaturen fortsette å stige fra $70 \text{ }^\circ\text{C}$ ved full effekt før systemet er i energibalanse ved om lag $75 \text{ }^\circ\text{C}$. Det hindrer systemet i å nå kokepunktet, og sørger for sikker oppvarming til driftstemperatur.

3.1.4. Volum og fysiske mål

Kjølekolonnens volum skal fungere som reservoar for motorens kjølesystem. Reservoaret må være stort nok til å gi sikker oppvarming av kjølevæsken ved at temperaturøkningen ikke skjer for fort, men lite nok til at oppvarmingen ikke tar uhensiktsmessig lang tid. Et relativt lite reservoar gir også en kompakt konstruksjon, som er fordelaktig for lagring og muliggjør plassbesparelse på laboratoriet.

Temperaturøkningen for ulike væskevolum ved full effekt uten tilførsel av kaldt vann kontrolleres ved hjelp av formel (9):

Tabell 13: Temperaturøkning (ΔT) per sekund for ulike volum (V).

Kjølekolonnens volum (l)	$\Delta T/s$ (°C)
5	9,55
10	4,77
20	2,39
30	1,59
40	1,19
50	0,95

Motorens kjølevannspumpe kan trekke opp til 9,6 liter vann per sekund ved fullt pådrag, og kjølekolonnen må kunne håndtere en slik mengde med sikkerhet. Dermed utelukkes volum mindre enn 15 liter, både på grunn av liten total vannmengde og stor temperaturøkning. Behovet for sikkerhet i reservoarstørrelse er til stede av to årsaker:

- Systemet kan i verste fall bare være fylt opp på sugesiden av kjølevannspumpa ved oppstart. Det betyr at motoren og slangen tilbake til kjølekolonnen ikke er fylt opp med vann. Når motoren starter vil motorens kjølesystem og returslangen fylles med vann og redusere nivået i kjølekolonnen. Det er viktig at kjølekolonnen kan håndtere væskestrømmen med det resterende volumet fram til volumet er toppet opp ved hjelp av flottørventilen.
- Dersom det er lite stillestående vann i det åpne systemet kan blandingen i kjølekolonnen føre til luftbobler i kjølevannet, som føres inn i motorens kjølekrets og gir lokal overoppheting i motoren.

Minimum slangediameter:

Slangediameteren bestemmes av hensyn til maksimal hastighet på vannet, som ikke må overstige 3-4 m/s på trykksiden av kjølevannspumpa og 2-3 m/s på sugesiden. Vi vet at kjølevannspumpa i en 130 kW motor gir en vannmengde på mellom 5,9 og 9,6 liter per sekund. Maksimal væskestrøm og $v = 3$ m/s legges til grunn for beregningene:

$$9,6 \text{ l/s} = 0,0096 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A * 3 \text{ m/s} = 0,0096 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = 0,0032 \text{ m}^2$$

Arealet gir en indre radius på 3,2 cm. Det betyr at slangediameteren må være 6,4 cm dersom kjølevannspumpa leverer 9,6 liter per sekund ved full effekt.

Totalt væskevolum:

Det antas at slangene mellom kjølekolonnen og motoren er to meter lange. Etter telefonsamtaler med Motorspesialisten AS i Bryne og Radiatorservice AS i Stavanger anslås det at væskevolumet i motorens interne kjølekrets er mellom 1 og 2 liter. Da blir totalt væskevolum utenfor kjølekolonnen maksimalt lik:

$$2 * (0,0032 \text{ m}^2 * 2 \text{ m}) + 0,002 \text{ m}^3 = 0,0148 \text{ m}^3 \approx 15 \text{ l}$$

Da blir væskevolumet mellom kjølevannspumpa og kjølekolonnen maksimalt lik:

$$(0,0032 \text{ m}^2 * 2 \text{ m}) + 0,002 \text{ m}^3 = 0,0084 \text{ m}^3 \approx 8,5 \text{ l}$$

Det betyr at væskevolumet i kjølekolonnen i verste fall synker med 8,5 liter ved oppstart av motoren, og kjølekolonnen må være dimensjonert for å tåle et slikt væsketap. I tillegg blir totalvolumet opp til 15 liter større enn kjølekolonnens væskevolum.

En temperaturøkning for totalt væskevolum på 1 °C per sekund ved full varmeoverføring (200 kW) antas å være trygt og forutsigbart, og $\Delta T = 1 \text{ °C}$ settes inn i formel (9) for å finne totalt væskevolum:

$$200000 = m * 4190 * 1$$

$$m = 47,7 \text{ kg}$$

47,7 kg tilsvarer 47,7 liter vann. For enkelhets skyld rundes totalt væskevolum ned til 45 liter. Maksimal væskemengde i systemet utenfor kjølekolonnen er 15 liter, dermed blir kjølekolonnens væskevolum 30 liter.

Fysiske mål:

Kjølekolonnen skal være utformet som en sylinder, og må ha stor nok diameter til å romme en flottørventil. Det går ut fra en innvendig diameter på 25 cm:

$$r = 0,125 \text{ m}, \quad V = 0,03 \text{ m}^3$$

$$(\pi * 0,125^2) * y = 0,03$$

$$y = 0,61 \text{ m}$$

Dersom kjølekolonnen har en diameter på 250 mm og inneholder 30 liter vann, vil vannstanden være 61 cm. Total høyde lik 750 mm gir en luftlomme på opp til 14 cm. Sammen med en luftfilterløsning regnes 14 cm luft som tilstrekkelig til å unngå sprut, og til å holde atmosfærisk trykk over vannet i kjølekolonnen. Total høyde bestemmes som nødvendig i den endelige designprosessen, men estimeres til 750 mm.

Følgende mål ligger til grunn for designet:

- Indre radius, $r = 125 \text{ mm}$.
- Total høyde, $h = 750 \text{ mm}$

3.1.5. Dimensjonering av rør og åpninger

Utløp:

Utløpet må ha en dimensjon som tillater en massestrøm på $\dot{m}_u = 0,7 \text{ kg/s}$.

Det antas at vannet i kjølekolonnen ikke er i bevegelse eller under trykk, og at det dermed ikke er andre krefter enn tyngdekraften som påvirker volumstrømmen til utløpet. Det antas også at væskevolumet i kjølekolonnen er konstant, og at strømmingen gjennom kjølekolonnens utløp er laminær.

Fra Bernoulli's ligning kan en formel for væskehastigheten i kjølekolonnens utløp utledes. Væskens hastighet er gitt av formelen:

$$v = \sqrt{2gy}$$

$$v = \sqrt{2 * 9,81 * 0,61} = 3,46 \text{ m/s}$$

$\dot{V}_c = 0,0007 \text{ m}^3/\text{s}$, utregnet tidligere i kapittelet. Siden $\dot{V}_c = \dot{V}_u$, må utløpets diameter tilpasses en volumstrøm på $0,0007 \text{ m}^3/\text{s}$:

$$A * v = \dot{V}$$

Setter inn for $A = \pi r^2$:

$$r = \sqrt{\frac{\dot{V}_u}{\pi * v}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0,0007}{\pi * 3,46}} = 0,008 \text{ m}$$

Det betyr at utløpet teoretisk sett må ha en diameter på 1,6 cm. I realiteten må utløpet dimensjoneres for å passe termostaten som velges, mens termostaten må dimensjoneres for en volumstrøm lik $0,0007 \text{ m}^3/\text{s}$. Eventuelt kan termostaten plasseres over utløpet, slik at utløpets rørstuss dimensjonerer strømmingen. I dette tilfellet bør termostaten overdimensjoneres for å være en minst mulig hindring før utløpet.

Formlene som er brukt gjelder for strømming uten tap. I virkeligheten vil utløpets utforming og størrelse i forhold til beholderen påvirke volumstrømmen. For å ta høyde for slike tap introduseres koeffisienter til formlene:

$$v = \varphi \sqrt{2gy} \quad (11)$$

Der φ er en hastighetskoeffisient på mellom 0,92 og 0,99.

$$\dot{V} = \alpha * A * v \quad (12)$$

Der α er en kontraksjonskoeffisient på mellom 0,60 og 0,90.

$$\mu = \varphi * \alpha, \text{ som utgjør utstrømningskoeffisienten.}$$

Det benyttes utstrømningskoeffisient for skarpkantet hull:

Tabell 14: Utstrømningskoeffisienten for et skarpkantet hull i karets bunn. d er hullets diameter, mens D er karets indre diameter [5,6].

d/D	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
μ	0,611	0,613	0,621	0,633	0,653	0,681

Den første beregningen ga en hulldiameter på 1,6 cm. Det antas at hulldiameteren øker på grunn av tap, og en hulldiameter på 2 cm anslås for beregningen. Det gir d/D lik:

$$\frac{d}{D} = \frac{2}{25} = 0,08$$

$$\mu = 0,61$$

Formel (11) og (12) kombineres med A som ukjent, og det settes inn volumstrøm lik 0,0007 m^3/s , og en vannsøyle på 0,61 m:

$$A = \frac{\dot{V}}{\mu\sqrt{2gy}}$$

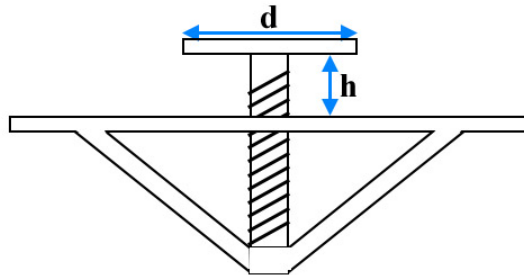
$$A = \frac{0,0007}{0,61 * \sqrt{2 * 9,81 * 0,61}} = 0,00033 \text{ m}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,00033}{\pi}} = 0,01 \text{ m}$$

Når det er tatt høyde for strømningsstap må utløpet ha en indre diameter på 2 cm for å gi en fri utstrømning med $\dot{V}_u = 0,0007 \text{ m}^3/\text{s}$.

Termostatåpning:

Ved å studere Tridons produktkatalog [1,9] observeres det at de fleste konvensjonelle vokstermostatene har en stempeldiameter på om lag 30 mm. Samme utstrømningskoeffisient som for utløpet antas å gjelde, og utstrømningsarealet er lik stempelets omkrets ganger åpningshøyden. Ved å kombinere formel (11) og (12) for å finne A på samme måte som for utløpet, blir nødvendig åpningsareal lik $0,00033 \text{ m}^2$.



Figur 37: Prinsipp tegning som viser termostatens åpning. Stempelomkretsen (av d) ganger høyden (h) utgjør utstrømningsarealet.

$$A = 0,00033 \text{ m}^2 = O * h$$

$$O = 2\pi r = \pi d$$

$$O = \pi * 30 = 94,2 \text{ mm} = 0,0942 \text{ m}$$

$$0,00033 = 0,0942 * h$$

$$h = 0,0035 \text{ m}$$

Termostaten må ha en åpning på minimum 3,5 mm for å tillate en volumstrøm lik $0,0007 \text{ m}^3/\text{s}$ dersom termostaten er montert under en vannsøyle på 0,61 m og har en sylindrestørrelse på 30 mm.

Kaldtvannstilførsel:

Tekniske bestemmelser for rør og avløp tilsier at vanntrykket i en bygning ikke skal overstige 6 bar (0,6 MPa). Dersom trykket er høyere må det monteres en trykkreduksjonsventil. Ved lavere trykk kan det monteres et eget trykkøkningssystem. Vannet kommer fra kommunale hovedledninger via stikkledninger inn til bygningen, der det via en hovedstengeventil føres i bygningen via fordelingsledninger. Fra fordelingsledningen går det koplingsledninger til det enkelte tappested eller sanitærutstyr.

Dersom det antas at den største samtidige vannmengden som tas ut av kaldtvannsrørene på laboratoriet er $0,7 \text{ l/s}$ for kjølekolonnen pluss $0,2 \text{ l/s}$ for et servantbatteri kan det grovt antas at fordelingsledningene må dimensjoneres for en vannmengde på 1 l/s :

Tabell 15: Belastning for fordelingsledninger av kobberør uten avsetning [1.10].

Utvendig diameter		Innvendig diameter		Største samtidige vannmengde q l/s
mm 1	tommer 2	mm 3		
12	1/2	10,0	9,5	0,2
15	5/8	12,6	12,7	0,4
18	3/4	15,6	15,9	0,5
22		19		0,6
28	1	22,2		0,85
	1 1/4	25		1,1
35		27,8		1,5
	31		1,8	
	34,1		2,1	
42	1 1/2	38		2,8
	1 3/4	40,5		2,9
		46,8		3,7
	2	50		4,5
54	2 1/4	52,1		4,7
	2 1/2	58,5		5,9
		71,1		8,0
	3			

Fra tabell 15 er en vannmengde på 1,1 l/s nærmest den nødvendige vannmengden. En vannmengde på 1,1 l/s tilsvarer en kobberledning med utvendig diameter 28 mm og innvendig diameter 25 mm.

Dersom ledningsnettets på laboratoriet må dimensjoneres opp for å tåle den økte vannmengden foreslås det å legge opp fordelingsledninger av kobber med en indre diameter på minst 25 mm.

Til/fra motor:

For enkelhets skyld med hensyn til kompatibilitet og oppsett er det ønskelig å bruke den samme størrelsen på rørstussene til og fra motoren. Begge dimensjoneres etter laveste tillatte hastighet på kjølevæsken, altså på sugesiden av kjølevannspumpa. Det betyr at rørstussen for tilkobling av slanger til motorens innløp og utløp må tillate en indre slangediameter på opp til 6,5 cm.

For at kjølekolonnen skal være mest mulig kompatibel med alle motorstørrelser opp til 130 kW ønskes det å bruke en gjenget løsning som tillater montering av slangekoblinger med nødvendig størrelse. På den måten kan slangetilkoblingen tilpasses størrelsen til tilkoblingspunktene på motorens kjølevannspumpe og utløp.

3.1.6. Kontroll av godstykkelser

Sylinder:

Kjølekolonnen behandles som en trykktank, der det hydrostatiske trykket i bunnen av kjølekolonnen benyttes som indre trykk for å dimensjonere hele konstruksjonen etter denne lasten. For å øke sikkerheten utføres beregningene med en vannstand som fyller hele kjølekolonnens høyde ($h = 0,75$ m).

Da blir det indre hydrostatiske overtrykket i bunnen av kjølekolonnen lik:

$$p_i = \rho g y, \text{ der } y = 0,75 \text{ m}$$

$$p_i = 1000 * 9,81 * 0,75 \approx 7400 \text{ Pa}$$

$$p_i = 0,0074 \text{ MPa}$$

Kjølekolonnens indre diameter er satt til 250 mm. For at kjølekolonnen skal være robust legges en veggtykkelse på 3-5 mm til grunn for beregningene. $s_o = 3$ mm gir følgende mål:

$$r_i = 125 \text{ mm}$$

$$r_y = 128 \text{ mm}$$

$$r_m = \frac{r_i + r_y}{2} = 126,5 \text{ mm}$$

Tynnvegget teori kan brukes dersom $\frac{s_o}{r_m} \geq \frac{1}{10}$:

$$\frac{3}{253} < \frac{1}{10}$$

Det benyttes teori for tynnvegget sylinder_[S.7]. I en tynnvegget beholder settes radialspenningen lik null, $\sigma_r = 0$.

$$\sigma_a = \frac{p_i * r_m}{2 * s_o}$$

$$\sigma_t = \frac{p_i * r_m}{s_o}$$

Som gir:

$$\sigma_a = \frac{0,0074 * 126,5}{2 * 3} = 0,16 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = 2 * \sigma_a = 0,32 \text{ MPa}$$

Resultatene gir hovedspenningene:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_t = 0,32 \text{ MPa} \\ \sigma_2 &= \sigma_a = 0,16 \text{ MPa} \\ \sigma_3 &= \sigma_r = 0\end{aligned}$$

Von Mises jevnførende spenning:

$$\begin{aligned}\sigma_{jf} &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 * \sigma_2} \\ \sigma_{jf} &= \sqrt{0,32^2 + 0,16^2 - 0,32 * 0,16} \\ \sigma_{jf} &= 0,28 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Med en veggtykkelse på 3 mm er strukturspenninger nærmest fraværende, og det er dermed ikke nødvendig å ta hensyn til flytegrense eller sikkerhet mot brudd. Veggtykkelse velges heller av hensyn til sveisevennlighet og robusthet.

Bunnplate:

Vannet i kjølekolonnen gir en kraft G som virker på lokket og gir bøyespenning. G er gitt av [S.7]:

$$\begin{aligned}G &= 1000 * \frac{\pi * d^2}{4} * y * g \\ G &= 1000 * \frac{\pi * 0,25^2}{4} * 0,75 * 9,81 \\ G &= 361,2 \text{ N}\end{aligned}$$

Kraften G gir et indre trykk p_i , som nødvendigvis er det samme som det indre trykket brukt til dimensjonering av sylindere. Beregningen som tar utgangspunkt i $\Sigma F = 0$ er en fin kontroll:

$$\begin{aligned}p_i &= \frac{G}{A} = \frac{361,2}{\frac{\pi * 250^2}{4}} \\ p_i &= 0,0074 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Bøyespenningen i lokket er gitt av formelen:

$$\sigma_b = \frac{1,2 * p_i * r^2}{t^2}$$

1,2 er lagt til i formelen fordi usikkerhet i beregningsantagelsene gjør at man kan legge på 20%. Setter tykkelse på lokket $t = 5$ mm:

$$\sigma_b = \frac{1,2 * 0,0074 * 125^2}{5^2}$$

$$\sigma_b = 5,55 \text{ MPa}$$

En tykkelse på 5 mm gir lav bøyespenning. Tykkelsen beholdes for at platen skal være sveisevennlig mot sylindren.

3.1.7. Varmetap ved driftstemperatur

Naturlig konveksjon:

Beregningene utføres med forutsetning om at kjølekolonnen er en vertikal sylinder, og at det foregår radiell konveksjon fra hele kjølekolonnens sylinderflate. Det antas også at kjølekolonnens overflate har samme driftstemperatur som vannet på innsiden (75 °C), og at romtemperaturen (T_∞) er 20 °C.

Vertikale sylindere kan behandles som vertikale plater dersom:

$$d \geq \frac{35L}{Gr^{1/4}}$$

Grashofs tall er gitt av formelen:

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2}$$

Luft antas å være en ideell gass, og at β dermed er lik $\frac{1}{T}$, der T er filmtemperaturen, som er gitt av $\frac{T_s + T_\infty}{2}$. Det gir en filmtemperatur ≈ 45 °C = 318 K når romtemperaturen er 20 °C. Den kinematiske viskositeten er for luft ved filmtemperatur.

$$\nu = 1,75 * 10^{-5}$$

$$L = 0,75 \text{ m}$$

$$Gr = \frac{9,81 * \left(\frac{1}{318}\right) (75 - 20) * 0,75^3}{(1,75 * 10^{-5})^2} = 1,313 * 10^{10}$$

$$\frac{35L}{Gr^{1/4}} = 0,0775 < d$$

Kjølekolonnen kan behandles som en vertikal plate.

Rayleighs tall $Ra = Gr * Pr$, der Prandtls tall $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$. Prandtls tall for luft ved filmtemperatur er lik:

$$Pr = \frac{1,75 * 10^{-5}}{2,416 * 10^{-5}} = 0,72$$

Da blir Rayleighs tall:

$$Ra = 1,313 * 10^{-5} * 0,72 = 9,455 * 10^9$$

For vertikale plater gjelder følgende sammenheng for flere rekkevidder av Rayleighs tall:

Tabell 16: Sammenheng mellom Rayleighs tall og Nusselts tall for vertikale plater [5.4].

Ra	Nu
$10^4 - 10^9$	$Nu = 0,59Ra^{1/4}$
$10^{10} - 10^{13}$	$Nu = 0,1Ra^{1/3}$
Alle verdier for Ra	$Nu = \left\{ 0,825 * \frac{0,387Ra^{1/6}}{\left[1 + (0,492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$

Siden dette tilfellet ligger i overgangen mellom formlene for rekkevidde og dermed gjør tilfellet litt uklart benyttes den universelle formelen for Nusselts tall. Denne skal også være mer nøyaktig for alle verdier av Ra.

$$Nu = \left\{ 0,825 * \frac{0,387Ra^{1/6}}{\left[1 + (0,492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 151,79$$

Videre er Nusselts tall også gitt av formelen:

$$Nu = \frac{h_{konv}L}{k}$$

Der konveksjonskoeffisienten (h_{konv}) er ukjent. Den termiske konduktiviteten til luft (k) er 0,02699 W/m*K.

$$h_{konv} = \frac{k}{L}Nu = \frac{0,02699}{0,75} * 151,79$$

$$h_{konv} = 5,462 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

Fra h kan \dot{Q}_{konv} bestemmes. Det er varmetapet forårsaket av naturlig konveksjon, og bestemmes ved hjelp av formelen:

$$\dot{Q}_{konv} = h_{konv}A(T_s - T_\infty) \quad (13)$$

Der A er lik:

$$A = 2\pi r_y L = 2\pi * 0,128 * 0,75 = 0,603 \text{ m}^2$$

Da blir varmetapet fra naturlig konveksjon:

$$\dot{Q}_{konv} = 5,462 * 0,603 * (75 - 20)$$

$$\dot{Q}_{konv} = 181 \text{ W}$$

Stråling:

I tillegg til naturlig konveksjon forekommer det varmetap i form av stråling til omgivelsene. Varmetapet forårsaket av stråling er gitt av formelen:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon A \sigma_{SB} (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (14)$$

Der emissiviteten til Aluminium er omtrent $\varepsilon = 0,1$, og Stefan-Boltzmann konstanten er $\sigma_{SB} = 5,67 * 10^{-8} \text{ W/m}^2 * \text{K}^4$.

$$\dot{Q}_{rad} = 0,1 * 0,603 * (5,67 * 10^{-8}) * [(75 + 273)^4 - (20 + 273)^4]$$

$$\dot{Q}_{rad} = 24,95 \text{ W}$$

Totalt varmetap:

Varmetapet fra kjølekolonnen er lik summen av tapene fra naturlig konveksjon og stråling, så lenge det antas at det er vindstille i laboratoriet, og at romtemperaturen er 20 °C.

Det totale varmetapet fra kjølekolonnen er lik:

$$\dot{Q}_{tap} = \dot{Q}_{konv} + \dot{Q}_{rad}$$

$$\dot{Q}_{tap} = 181 + 24,95 = 206 \text{ W}$$

Et varmetap på omtrent 200 W har kun teoretisk betydning for kjølekolonnens effekt. Varmetapet vil være lite eller ikke merkbart i praksis, og kan i beste fall anses som en bonus for kjøleeffekten.

3.2. Stativ

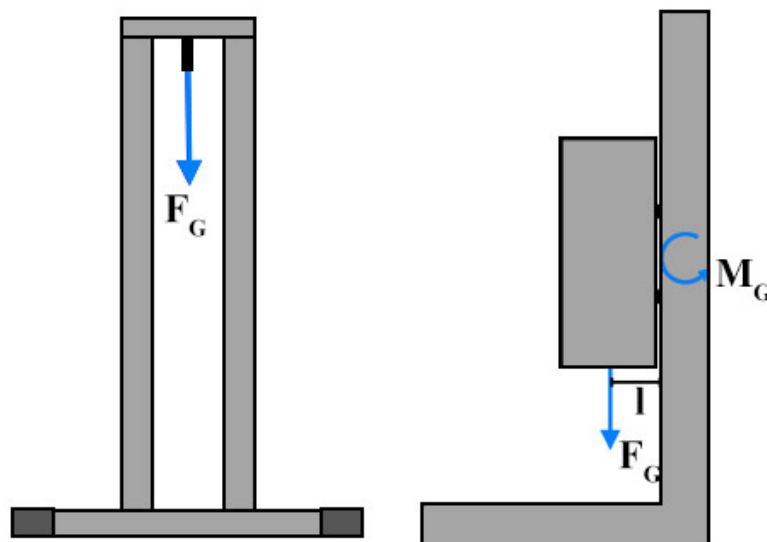
3.2.1. Beregningsmodell

Med et totalt væskeinnhold på 45 liter vann pluss kjølekolonnens egenvekt og vekten til stativets løpekatt belastes stativet med omtrent 60 kg. Stativet dimensjoneres for en belastning på 240 kg i bruddgrensetilstanden, som gir en sikkerhetsfaktor mot brudd $n_b = 4$. Årsaken til at det benyttes høy sikkerhetsfaktor er at stativet betraktes som løfteutstyr, og at et brudd lett kan forårsake personskader.

Stativet designes med kanalstål type UNP med parallelle flenser som konstruksjonsmateriale. UNP-profiler leveres i konstruksjonsstål med kvalitet S235JRG2 eller S355J0 etter EN 10 025.

Stålkvalitet S235JRG2 har en strekkfasthet $R_m = 360$ MPa.

Stålkvalitet S355J0 har en strekkfasthet $R_m = 510$ MPa.



Figur 38: Illustrasjon av hvordan kraften fra kjølekolonnens tyngde angriper stativets ramme, og hvordan armen fra kjølekolonnens tyngdepunkt (I) gir et moment som tas opp av stativets vertikale ben.

Antakelser:

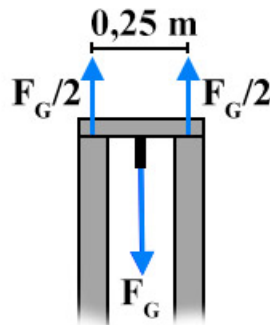
Det tas utgangspunkt i beregninger for profil UNP50 for stativets ben og valg av nødvendig stålkvalitet for å overholde kravet om sikkerhetsfaktor mot brudd lik 4.

Det benyttes rektangulære hulprofil som konstruksjonsmateriale til stativfoten.

Momentarmen (l, figur 38) fra kjølekolonnens tyngdepunkt (senter) til stativets feste antas å være lik r_y .

3.2.2. Topplate

Statiske krefter:



Figur 39: Krefter og opplagerkrefter som virker på stativets topplate.

En antatt tyngde fra kjølekolonnen og stativets slede på 60 kg gir F_G lik:

$$60 * 9,81 * 4 = 2354,4 \text{ N}$$

Som angriper i midten av stativets topplate. Da blir opplagerkreftene lik:

$$\frac{F_G}{2} = \frac{2354,4}{2} = 1177,2 \text{ N}$$

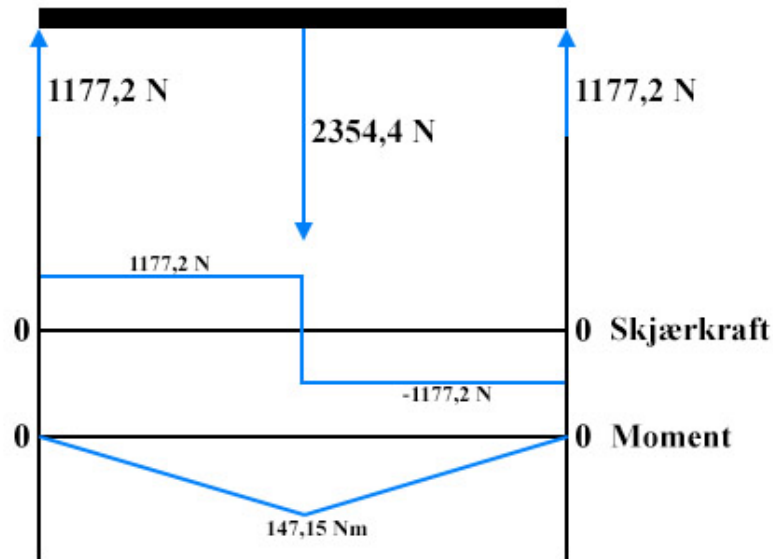
Moment:

En bjelke med opplager i hver ende og en påsatt kraft på midten har størst opptredende moment ved $L/2$, lik:

$$\frac{F_G}{2} * \frac{L}{2}$$

Med $L = 0,25$ m gir det maks moment lik:

$$1177,2 * 0,125 = 147,15 \text{ Nm}$$



Figur 40: Skjærkraft- og momentdiagram for stativets topplate.

Spenninger:

Bøyesspenningen i bjelken (stativets topplate) er gitt av:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W}$$

Siden topplaten er orientert med flensene pekende nedover blir profilet bøyd om y-aksen. Dermed brukes W_y , som for UNP50 er lik $3,75 \text{ cm}^3$.

$$3,75 \text{ cm}^3 * 10^3 = 3750 \text{ mm}^3$$

$$147,15 \text{ Nm} * 1000 = 147150 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{147150}{3750} = 39,24 \text{ MPa}$$

Nedbøyning:

Med en lengde på 0,25 m er ikke stativets topplate utsatt for store nedbøyninger når de opptredende spenningene er små. Resultatet er sannsynligvis bare av akademisk interesse, men topplaten nedbøyning kontrolleres for sikkerhets skyld.

Beregningene utføres i millimeter, ved hjelp av den elastiske linjens ligning_[S.8]. Momentet i bjelken er lik:

$$M(x) = 1177,2\langle x \rangle - 2354,4\langle x - 125 \rangle$$

Bjelkens nedbøyning ved hjelp av den elastiske linjens ligning er gitt av sammenhengen:

$$EIy'' = -M(x) \quad (15)$$

Sammenhengen gir:

$$EIy'' = -1177,2\langle x \rangle + 2354,4\langle x - 125 \rangle$$

$$EIy' = \frac{-1177,2\langle x \rangle^2}{2} + \frac{2354,4\langle x - 125 \rangle^2}{2} + C_1$$

$$EIy = \frac{-1177,2\langle x \rangle^3}{6} + \frac{2354,4\langle x - 125 \rangle^3}{6} + C_1x + C_2$$

Siden bjelken er opplagret i begge ender er det gitt at $y = 0$ ved $x = 0$ mm og $x = 250$ mm:

$$C_1 * 0 + C_2 = 0$$

$$C_2 = 0$$

$$\frac{-1177,2\langle 250 \rangle^3}{6} + \frac{2354,4\langle 250 - 125 \rangle^3}{6} + C_1 * 250 = 0$$

$$250C_1 = 2299218750$$

$$C_1 = 9,197 * 10^6$$

Formelen for nedbøyningen ved punkt x (mm) på bjelken blir:

$$y = \left[\frac{-1177,2\langle x \rangle^3}{6} + \frac{2354,4\langle x - 125 \rangle^3}{6} + (9,197 * 10^6 * x) \right] \frac{1}{EI}$$

Der $E = 210000$ MPa for konstruksjonsstål og I_y for UNP50 er $9,12 \text{ cm}^4 = 91200 \text{ mm}^4$.

Nedbøyningen beregnes ved $x = 125$ mm, sløyfer $\langle \quad \rangle \leq 0$:

$$y = \left[\frac{-1177,2\langle 125 \rangle^3}{6} + (9,197 * 10^6 * 125) \right] \frac{1}{210000 * 91200}$$

$$y = \frac{7,6642 * 10^8}{1,9152 * 10^{10}}$$

$$y = 0,04 \text{ mm}$$

Som forventet gir 240 kg belastning tilnærmet ingen nedbøyning på en så kort bjelke.

3.2.3. Vertikale ben

Høyde:

I stativets øverste posisjon skal kjølekolonnens bunn være 1 m over bakken. Kravspesifikasjonen utvides til 1 m pluss stativets fot. Med en løpekatt som er 0,3 m lang og plassert midt på kjølekolonnen blir avstanden fra bunnen av løpekatten til bunnen av kjølekolonnen lik:

$$\frac{0,75 - 0,3}{2} = 0,225 \text{ m}$$

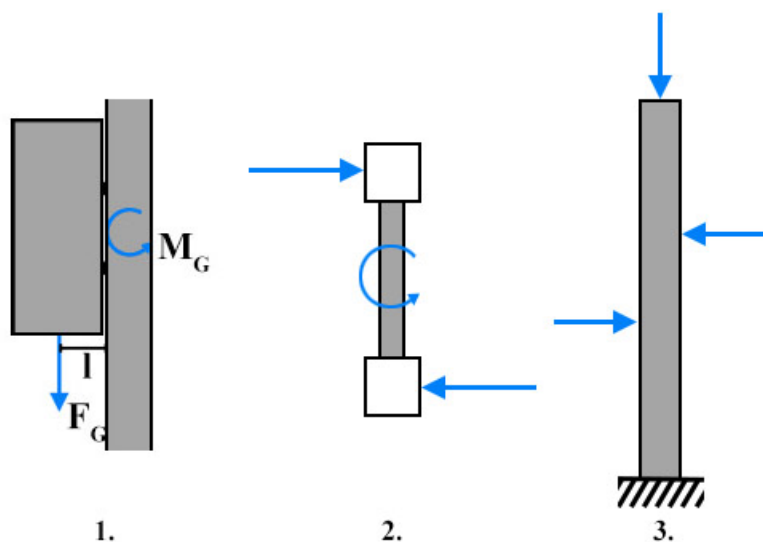
Da blir stativets minimumshøyde lik 0,225 m pluss løpekattens lengde og avstanden fra kjølekolonnens bunn til stativets fot:

$$(0,225 + 0,3 + 1) \text{ m} = 1,525 \text{ m}$$

Lengden settes til 160 cm, som gir 7,5 cm klaring til trinse under topplaten.

Statiske krefter:

Stativets vertikale ben kan betraktes som fast innspente der de sveises til rammen i bunnen. Stavene utsettes for aksielt trykk fra topplaten belastning, og sideveis krefter forårsaket av momentet som virker på løpekatten fra kjølekolonnens tyngdepunkt.



Figur 41: Illustrasjon av hvordan momentet fra kjølekolonnen overføres til krefter i stativets vertikale ben. 1. Tyngdekraften fra kjølekolonnens tyngdepunkt gir et moment over armen l , 2. Momentet i løpekatten utlignes av reaksjonskreftene fra stativets ben, 3. Illustrasjon av ett av stativets vertikale ben, påført trykkraften fra topplaten og kreftene på benet fra løpekatten.

Fra antagelsene i beregningsmodellen er det gitt at $l = r_y$, som er 0,128 m. Videre vet vi at $F_G = 2354,4 \text{ N}$, og at løpekatten er 0,3 meter lang. Da kan M_G og kreftene på løpekatten beregnes:

$$M_G = F_G * l = 2354,4 * 0,128$$

$$M_G = 301,36 \text{ Nm}$$

Kreftene på løpekatten:

$$301,36 = F * 0,15$$

$$F = 2009 \text{ N}$$

Det betyr at løpekatten påvirkes av en kraft på 2009 N mot høyre øverst og 2009 N mot venstre nederst (2. Figur 22). Hver av kreftene fordeles på to klosser med anleggsflate i stativets vertikale ben. Da er de horisontale kreftene på de vertikale bena (vist i 3. Figur 22) lik:

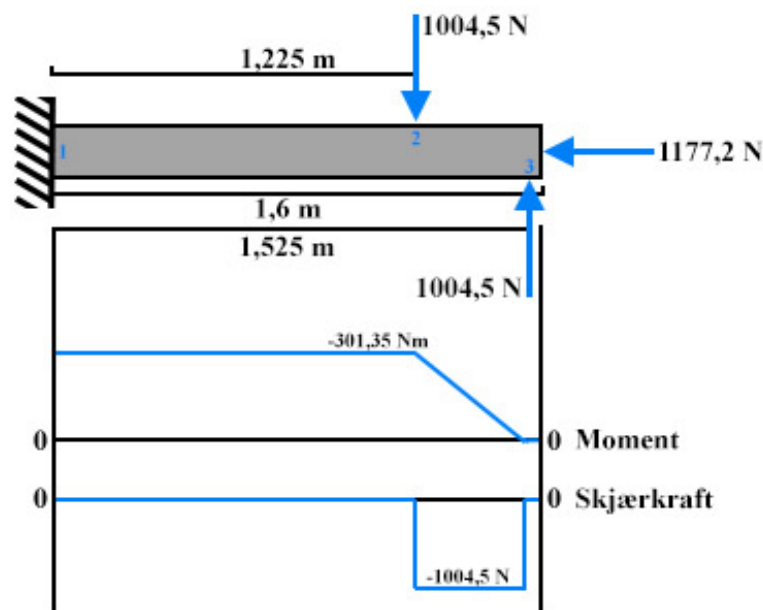
$$\frac{2009}{2} = 1004,5 \text{ N}$$

Den vertikale kraften i hvert ben er lik:

$$\frac{F_G}{2} = \frac{2354,4}{2} = 1177,2 \text{ N}$$

Da hvert vertikale ben betraktes som en bjelke med fast innspenning i bunn utføres beregningene med løpekatten i øverste posisjon.

Moment:



Figur 42: Ett ben påført alle krefter og lengder, med momentdiagram og skjærkraftdiagram.

Positivt moment angis med klokka:

$$M_1 = (-1004,5 * 1,525) + (1004,5 * 1,225) = -301,35 \text{ Nm}$$

$$M_2 = -1004,5 * (1,525 - 1,225) = -301,35 \text{ Nm}$$

$$M_3 = 0$$

Spenninger:

Maks bøyespenning i benet forekommer der momentet er størst. For en UNP50-bjelke er motstandsmomentet om sterk akse $W_x = 10,6 \text{ cm}^3$ [S.12].

$$10,6 \text{ cm}^3 * 10^3 = 10600 \text{ mm}^3$$

$$301,35 \text{ Nm} * 1000 = 301350 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{301350}{10600}$$

$$\sigma_b = 28,4 \text{ MPa}$$

Aksialspenningen antas å være lik gjennom hele tverrsnittslengden. Vaiertrekket fra bakplaten antas å ikke gi momentarm om stativbena. Dermed ses det bort fra vaiertrekket i bakplaten. Tverrsnittsarealet til et UNP50-profil er $A = 7,12 \text{ cm}^2$ [S.12].

$$7,12 \text{ cm}^2 * 10^2 = 712 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{1177,2}{712}$$

$$\sigma = 1,7 \text{ MPa}$$

Tresca's jevnførende spenning er lik bøyespenning pluss aksialspenning:

$$\sigma_{jf} = \sigma_b + \sigma = 28,4 + 1,7$$

$$\sigma_{jf} = 30,1 \text{ MPa}$$

Knekking etter forenklet interaksjonsformel, metode 1 [S.9]:

$$\frac{F}{F_{k,till}} + \frac{1,5M_b}{M_{b,maks}} \leq 1 \quad (16)$$

Fra tabell for UNP50 [S.12]:

$$i_x = 19,2 \text{ mm}$$

$$i_y = 11,3 \text{ mm}$$

Formel for slankhet:

$$\lambda = \frac{l_k}{i}$$

l_k er knekk lengden, som for bjelker med fast innspenning i én ende er lik $2 * l$. $l_k = 2 * 1600 \text{ mm} = 3200 \text{ mm}$.

$$\lambda_x = 166,7 > 105 \rightarrow \text{Euler}$$
$$\lambda_y = 283,2 > 105 \rightarrow \text{Euler}$$

Eulers formel:

$$F_{k,till} = \frac{\pi^2 EI}{n_k * l_k^2}$$

Det benyttes ingen sikkerhetsfaktor mot knekking i og med at det er lagt inn en sikkerhetsfaktor mot brudd lik 4 i den dimensjonerende lasten på 240 kg. n_k utgår fra formelen. I_x og I_y benyttes for knekking om korresponderende akse.

$$F_{k,till,x} = \frac{\pi^2 * (2,1 * 10^5) * (26,4 * 10^4)}{3200^2}$$

$$F_{k,till,y} = \frac{\pi^2 * (2,1 * 10^5) * (9,12 * 10^4)}{3200^2}$$

$$F_{k,till,x} = 53434,7 \text{ N}$$

$$F_{k,till,y} = 18459 \text{ N}$$

Det opprettede bøyemomentet virker om bjelkens x-akse. Finner maks bøyemoment bjelken kan utsettes for om x-aksen uten at det oppstår flyt:

$$\frac{M_{b,maks}}{W_x} = R_e \rightarrow M_{b,maks} = R_e * W_x$$

$$R_e = 235 \text{ MPa for S235JRG2.}$$

$$W_x = 10,6 * 10^3 \text{ mm}^3 \text{ for UNP50}$$

$$M_{b,maks} = 235 * (10,6 * 10^3) = 2491 \text{ Nm}$$

Knekkning om x-aksen:

$$\frac{1177,2}{53434,7} + \frac{1,5 * 301,35}{2491} = 0,2$$

$$0,2 < 1 \rightarrow OK$$

Knekking om y-aksen, her er det ikke bøyemoment:

$$\frac{1177,2}{18459} + \frac{1,5 * 0}{2491} = 0,06$$

$$0,06 < 1 \rightarrow OK$$

Det er ingen fare for knekking med UNP50-profil og stålqualität S235JRG2.

Dimensjonering av sveis:

Sveisene til de vertikale bena kontrolleres etter bøyepåkjente sveiseforbindelser i Eurokode 3, etter dimensjoneringskriteriene_[S.10]:

$$\sqrt{\sigma_{\perp b}^2 + 3\tau_{\perp b}^2} \leq \frac{R_m}{\gamma_{M2} * \beta_w}$$

$$\sigma_{\perp b} \leq \frac{0,9 * R_m}{\gamma_{M2}}$$

Der γ_{M2} og β_w er henholdsvis materialfaktor og reduksjonsfaktor, som sammen utgjør en sikkerhetsfaktor for sveiseforbindelsen. I og med at den dimensjonerende lasten er skalert med en sikkerhetsfaktor mot brudd lik 4 tas det ikke hensyn til disse faktorene. Dermed dimensjoneres sveiseforbindelsen etter formlene:

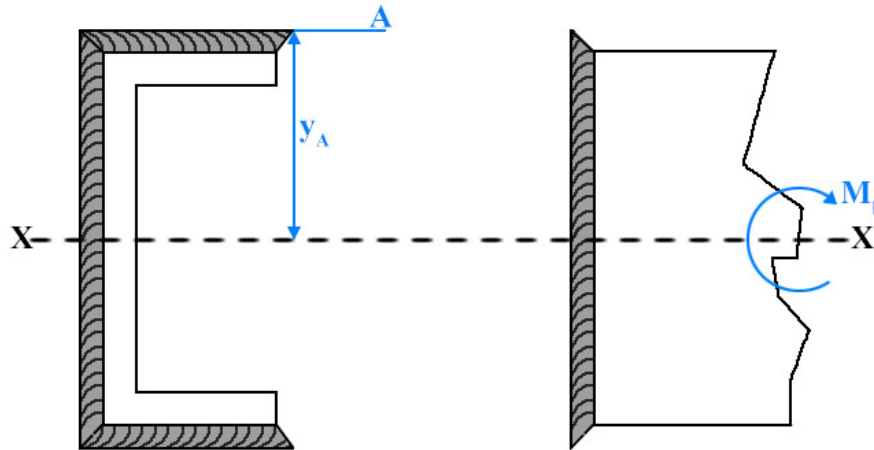
$$\sqrt{\sigma_{\perp b}^2 + 3\tau_{\perp b}^2} \leq R_m$$

$$\sigma_{\perp b} \leq 0,9 * R_m$$

Spenningene i sveisen gitt av formlene:

$$\sigma_{b,d} = \frac{M_b * y_A}{I_{x,sveis}} \quad (17)$$

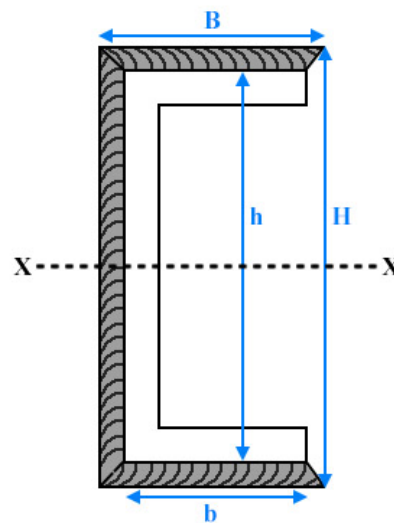
$$\sigma_{\perp b} = \tau_{\perp b} = \frac{\sigma_{b,d}}{\sqrt{2}} \quad (18)$$



Figur 43: Momentet gir størst bøyespenning ytterst i sveisen, i punktet A. y_A er avstanden fra nøytralaksen til A.

Det benyttes kilsveiser til de vertikale beina. Minimum a-mål for kilsveiser er 3 mm, og sveisen bør ikke ha større a-mål enn $0,7 \times$ minste platetykkelse. Beregningene utføres for a-mål lik 3 mm.

Sveisens andre arealmoment beregnes ut fra målene fremstilt i figuren under, og andre størrelser som er nødvendige for beregningene listes opp:



Figur 44: Illustrasjon påsatt tverrsnittets nøytralakse i x-retning og fremstilling av mål til beregning av $I_{x,sveis}$.

$$I_{x,sveis} = \frac{BH^3 - bh^3}{12} = \frac{(44 * 56^3) - (38 * 50^3)}{12} = 248092 \text{ mm}^4$$

$$y_A = \frac{h}{2} + a = 25 + 3 = 28 \text{ mm}$$

$$M_b = 301,35 \text{ Nm} = 301350 \text{ Nmm}$$

Med disse størrelsene gir beregningene følgende resultat:

$$\sigma_{b,d} = \frac{301350 * 28}{248092} = 34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp b} = \tau_{\perp b} = \frac{34}{\sqrt{2}} = 24 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp b}^2 + 3\tau_{\perp b}^2} = \sqrt{4\sigma_{\perp b}^2}$$

$$\sigma_{jf} = \sqrt{4 * 24^2} = 48 \text{ MPa}$$

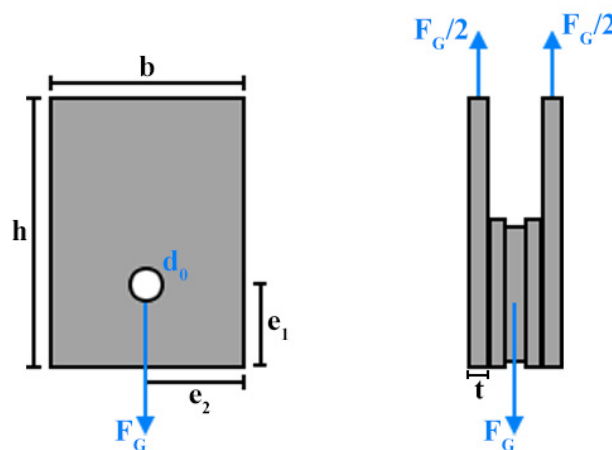
$$48 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

$$0,9 * R_m = 324 \text{ MPa}, \quad \sigma_{\perp b} = 24 \text{ MPa}$$

$$24 \text{ MPa} < 324 \text{ MPa} \rightarrow \text{OK}$$

Det er tilstrekkelig med et a-mål på 3 mm for innfesting av de vertikale stativbena.

3.2.4. Trinse og oppheng



Figur 45: Trinseopphenget sett fra siden til venstre og forfra til høyre. Trinsen festes med en enkel bolt gjennom trinsens senter.

Fysiske mål:

Som tidligere bestemt er det 75 mm klaring til trinse og oppheng mellom løpekatten i øverste posisjon og stativets topplate. Høyden til opphengsplatene settes lik 50 mm, med en trinsediameter på 30 mm. Bunnen av trinsa er på linje med bunnen av opphengsplatene.

Platene formes for å passe inni et UNP50-profil. Da er bredden lik 50 mm minus to flensbredder. Det gir følgende mål:

$$h = 50 \text{ mm}$$

$$b = 50 - (2 * 7) = 36 \text{ mm}$$

$$e_1 = 15 \text{ mm}$$

$$e_2 = \frac{b}{2} = 18 \text{ mm}$$

$$F_G = 2354,4 \text{ N}$$

d_0 og t bestemmes ved beregning.

Kapasitet mot avskjæring i skrue:

Antar fasthetsklasse 4.6 for skruen, som gir $f_{ub} = 400 \text{ MPa}$. Antar også at skruen ikke er gjenget i skjærnittene. Kapasiteten per avskjæringssnitt for trinseskruen er lik_[S.11]:

$$F_G = \frac{0,6 * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}}$$

I og med at det allerede er lagt inn en sikkerhetsfaktor mot brudd lik 4 i F_G droppes materialfaktorer fra beregningene. Dermed utgår γ_{M2} . Skruen har to skjærnitt. Da blir skruens nødvendige skaftareal lik:

$$\frac{F_G}{2} = 0,6 * f_{ub} * A$$

$$\frac{2354,4}{2} = 0,6 * 400 * A$$

$$A = 4,905 \text{ mm}^2$$

$$4,905 = \frac{\pi d^2}{4} \rightarrow d = 2,5 \text{ mm}$$

Minimum skruestørrelse er upraktisk liten til formålet. Boltstørrelsen økes til M5.

$$M5 \rightarrow d_0 = 6 \text{ mm}$$

Hull- og kantavstander_[S.11]:

$$e_1 = 15 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 2,5d_0 \rightarrow OK$$

$$e_2 = 18 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 3d_0 \rightarrow OK$$

Hullkanttrykk:

Skruens kapasitet med hensyn til hullkanttrykk for trinseopphenget er_[S.11]:

$$F_G = \frac{k_1 * \alpha_b * R_m * d * t}{\gamma_{M2}}$$

α_b er den minste av:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}, \quad \frac{f_{ub}}{R_m}, \quad 1$$

$$\alpha_d = \frac{15}{3 * 6} = 0,83, \quad \frac{400}{360} = 1,11, \quad 1$$

$$\alpha_b = 0,83$$

k_1 er den minste av:

$$\frac{2,8e_2}{d_0} - 1,7, \quad 2,5$$

$$\frac{2,8 * 18}{6} - 1,7 = 6,7$$

$$k_1 = 2,5$$

Da blir nødvendig total platetykkelse lik (materialfaktor utgår):

$$2354,4 = 2,5 * 0,83 * 360 * 5 * t$$

$$t = 0,63 \text{ mm}$$

Som er en svært liten platetykkelse. For å øke sveisevennligheten mot kanalstålet settes platetykkelsen lik 3mm.

Kapasiteten til grunnmaterialet:

Grunnmaterialet kontrolleres for en platetykkelse $t = 3$ mm, mot belastningen på én plate. Dimensjoneringskriteriet er_[S.11]:

$$N_{t,Rd} \geq \frac{F_G}{2}$$

Der $N_{t,Rd}$ er den minste av:

$$\frac{A * R_e}{\gamma_{M0}}$$
$$\frac{0,9 * A_{net} * R_m}{\gamma_{M2}}$$

Materialfaktorene utgår, dermed blir resultatet:

$$A * R_e = 3 * 36 * 235 = 25380 \text{ N}$$

$$0,9 * A_{net} * R_m = 0,9 * ((3 * 36) - (3 * 6)) * 360 = 29160 \text{ N}$$

$$N_{t,Rd} = 25380 \text{ N}$$

$$25380 \text{ N} \gg 1177,2 \text{ N} \rightarrow OK$$

Utrivning av skruer:

Kapasiteten mot utrivning av skruen er bestemt ved brudd i den strekkpåkjennte del og skjær i den skjærpåkjennte del. For sentrisk belastning er formelen_[S.11]:

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{R_m}{\gamma_{M2}} A_{nt} + \frac{R_e}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} A_{nv}$$

Materialfaktorene utgår, og gir resultatet:

$$V_{eff,1,Rd} = (360 * (6 * 3)) + \left(\frac{235}{\sqrt{3}} * (15 * 3) \right)$$

$$V_{eff,1,Rd} = 12585,5 \text{ N}$$

Som er kapasiteten mot utrivning i hver plate. $12585,5 \text{ N} \gg 1177,2 \text{ N}$, dvs. OK.

Sveis:

Hver plate sveises på én side mot innsiden av UNP-profilet. Sveisene betraktes som rette, med lengder lik profilbredden minus trinntykkelsen parallelt med kraftretningen og profilhøyden minus to flensbredder normalt på kraftretningen. Sveisenes kapasitet er gitt av formlene_[S.10]:

Parallellsveis:

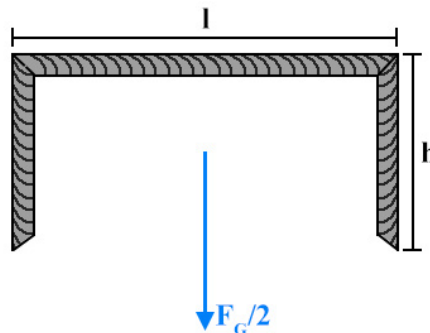
$$F_{w,Rd} = \frac{R_m * a * l}{\sqrt{3}}$$

Tverrsveis:

$$F_{w,Rd} = \frac{R_m * a * l}{\sqrt{2}}$$

Sveisen kontrolleres mot dimensjoneringskriteriet:

$$\frac{F_G}{2} \leq F_{w,Rd(total)}$$



Figur 46: Illustrasjon av brakettsveisen med opptredende belastning.

$$h = 38 - 5 = 33 \text{ mm}$$

$$l = 50 - (2 * 7) = 36 \text{ mm}$$

Minste tillatte a-mål for kilsveiser er 3 mm. På grunn av liten platetykkelse settes a-mål lik 3 mm, som gir følgende resultater:

Parallellsveis:

$$F_{w,Rd} = \frac{360 * 3 * (2 * 33)}{\sqrt{3}} = 41154 \text{ N}$$

Tverrsveis:

$$F_{w,Rd} = \frac{360 * 3 * 36}{\sqrt{2}} = 27492 \text{ N}$$

Totalt:

$$F_{w,Rd(total)} = 41154 \text{ N} + 27492 \text{ N}$$

$$F_{w,Rd(total)} = 68646 \text{ N}$$

$$1177,2 \text{ N} \ll 68646 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

3.2.5. Stativfot

Stativets fot konstrueres av varmformede rektangulære hulprofil, betegnelse HFRHS-NS-EN 10 210 50x30x4. Profilstørrelsen er valgt for å passe resten av profilene i stativets oppbygging. Det velges en godstykkelse på 4 mm for at profilene skal være sveisevennlige mot de vertikale stativbena.

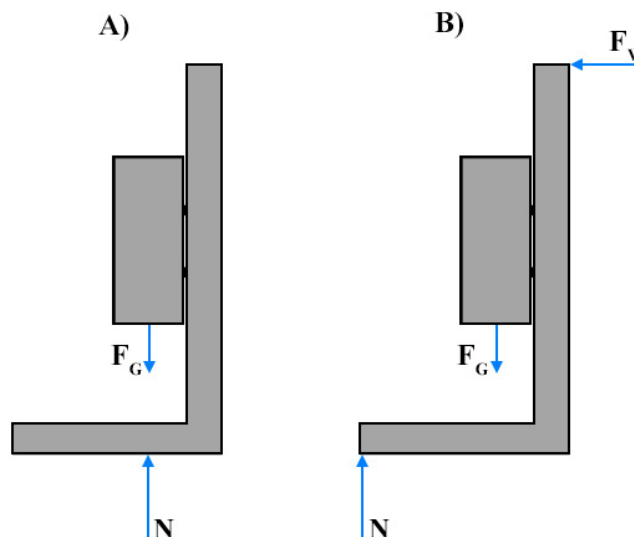
De rektangulære hulprofilene har større stivhet og mindre lengde enn de vertikale bena, og tillater en lengre sveisesøm enn UNP-profilene med samme bøyemoment. Antar derfor ut fra beregninger utført for UNP-profilene at stativfoten er tilstrekkelig dimensjonert for de opprettede kreftene når det benyttes et a-mål lik 3 mm for sveis.

Veltemoment:

For at stativet skal være stødig og dimensjonert for å tåle at noen dunker borti det uten at det velter, dimensjoneres stativfoten for at stativet skal tåle en dytt på 30 kg i toppen. Dimensjoneringskriteriet gjelder for alle akseretninger i horisontalplanet, bortsett fra bakover, da det betraktes som den retningen som er minst realistisk å belaste.

Det antas at systemets tyngdepunkt er i senter av kjølekolonnen, slik at tyngdekraften fra systemet ikke gir moment om tyngdepunktet. Det antas også at stativet inkludert væskefylt kjølekolonne veier 100 kg under drift.

Med disse forutsetningene dimensjoneres det for momentbalanse om tyngdepunktet for henholdsvis veltekraften og normalkraften. $F_G = 100$ kg i dette tilfellet. Det antas at momentarmen til veltekraften er lik høyden til de vertikale bena, altså 1,6 m.



Figur 47: Illustrasjon som viser hvordan veltekraften påvirker angrepspunktet til normalkraften. I dette tilfellet representerer F_G stativets totale tyngde. A) Normalkraften angriper i stativets tyngdepunkt, rett under senter av kjølekolonnen. B) Veltekraften påført i toppen av stativet flytter angrepspunktet til normalkraften. Dersom angrepspunktet flyttes utenfor enden av stativfoten velter stativet.

$$F_v * l_v = N * l_N$$

$$30 * 9,81 * 1,6 = 100 * 9,81 * l_N$$

$$l_N = 0,48 \text{ m} \approx 0,5 \text{ m}$$

Stativfoten må altså tillate et angrepspunkt for N som er 0,5 meter ut fra senter av kjølekolonnen i alle retninger. Bakover vil stativets utforming gjøre at normalkraftens maksimale momentarm er lik r_y :

$$100 * 9,81 * 0,128 = 1,6 * 9,81 * F_v$$

$$F_v = 8 \text{ kg}$$

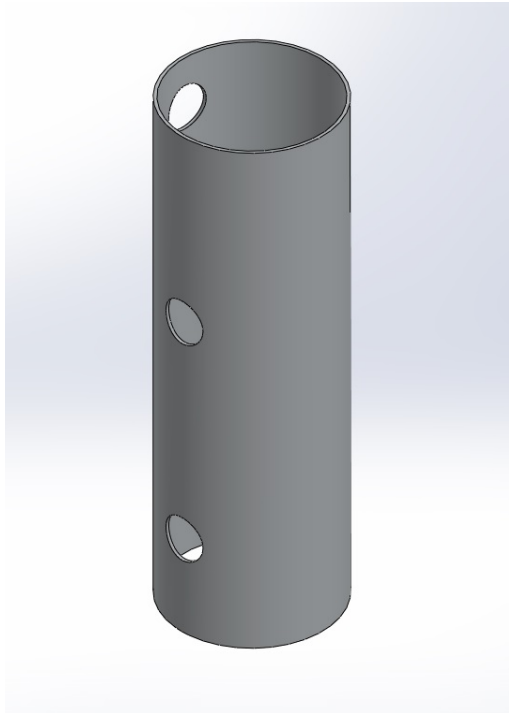
Bakover vil stativets utforming gjøre at veltekraften er lik 8 kg. Det er mindre sannsynlig at stativet belastes i denne retningen fordi både stativfoten og kjølekolonnen er i veien, og fordi stativet vil lagres med de vertikale bena mot veggen når det ikke er i bruk.

4. ELEMENT- OG LØSNINGSVALG

4.1. Komponenter

4.1.1. Komponenter som må tilvirkes til kjølekolonnen

Sylinder:



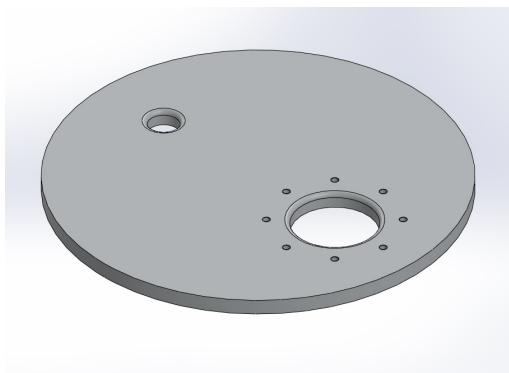
Kjølekolonnens sylinder tilvirkes fra et aluminiumsrør. Røret skal ha en indre diameter på 250 mm, og veggtykkelsen økes fra 3 mm i beregningene til 5 mm, for ekstra robusthet og sveisevennlighet. Det antas at dette ikke påvirker de håndberegninger som er utført, annet enn å øke sikkerheten ytterligere.

Høyden økes fra 750 mm brukt i beregningene til 800 mm for å gi plass til flottørventilens høyde. Vannstanden er fremdeles 610 mm, dermed påvirkes ikke de håndberegninger som er utført.

Det skjæres ut hull til rørstusser for alle tilkoblingspunkter, og bunnen skråkattes for å tilrettelegge for K-sveis med a-mål 3 mm mot bunnplaten.

Figur 48: Illustrasjon av sylinderen.

Bunnplate:

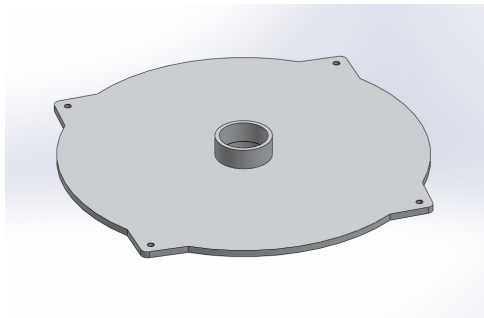


Bunnen tilvirkes av en aluminiumsplate med tykkelse 5 mm, og skal ha en diameter på 260 mm.

Det skjæres ut hull til utløp og tappeventil, og hullene avrundes i toppen med en radius 3 mm for å hindre utstrømningen minst mulig. Det bores gjengede skruehull (M5) rundt utløpet til termostatfestets boltsirkel.

Figur 49: Kjølekolonnens bunnplate.

Lokk:

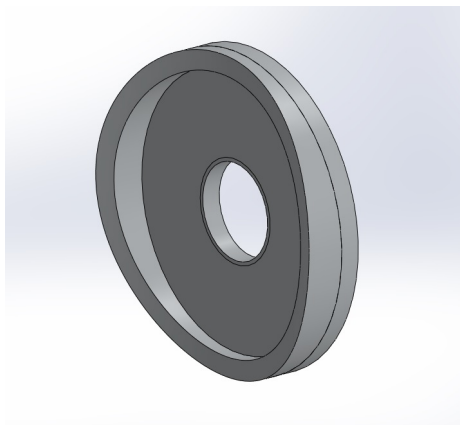


Lokket produseres i to deler. Selve lokket tilvirkes av en aluminiumsplate med tykkelse 5 mm. Det har en diameter på 260 mm, pluss fire festeører. Festeørene har gjengede skruer (M5) til innfestning av lokket. Det skjæres også ut hull med diameter 34 mm til luftfilterfestet i senter av platen.

Luftfilterfestet består av en rørstuss med høyde 15 mm og ytre diameter 40 mm. Denne sveises til platen.

Figur 50: Kjølekolonnens lokk.

Feste til flottørventil:

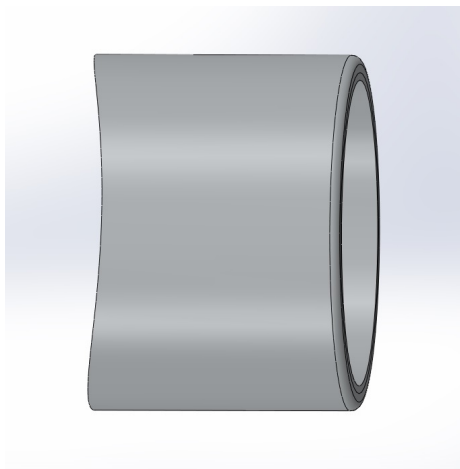


Ventilfestet produseres også i to deler. Lokket tilvirkes av en aluminiumsplate med tykkelse 5 mm og diameter lik 80 mm. Det skjæres ut et hull i senter av platen til innfesting av flottørventilens 3/4" rørgjenger.

Avstandsstykket tilvirkes av et aluminiumsrør med ytre diameter 80 mm og veggtykkelse 5 mm. Avstandsstykket er 10 mm langt, og avrundes i bakkant med en radius lik 130 mm for å passe mot sylindren. Lokket sveises til avstandsstykket.

Figur 51: Ventilfestet.

Rørstusser:

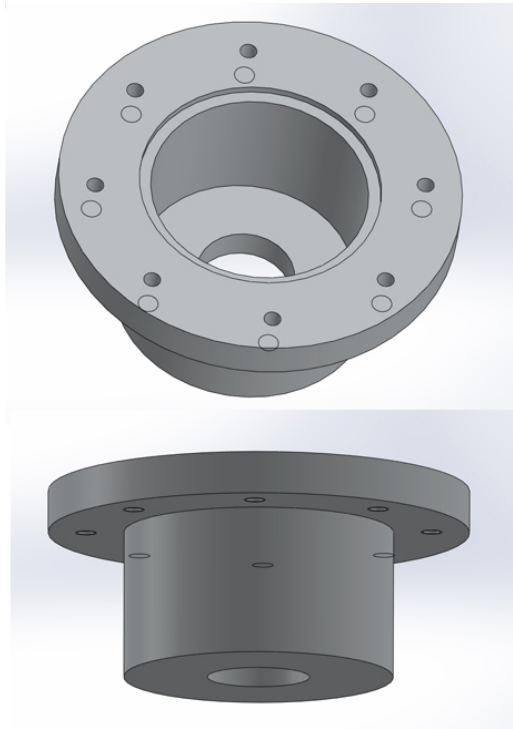


Det produseres to rørstusser. Rørstussene er 60 mm lange og tilvirkes av aluminiumsrør med ytre diameter 80 mm og veggtykkelse 5 mm. Røret avrundes i bakkant med en radius lik 130 mm for å passe mot sylindren.

Den indre flaten freses ut og gjenges med 2 1/2" indre rørgjenger (BSP) for tilkobling av slangekoblinger.

Figur 52: Kjølekolonnens rørstusser.

Termostatfeste:



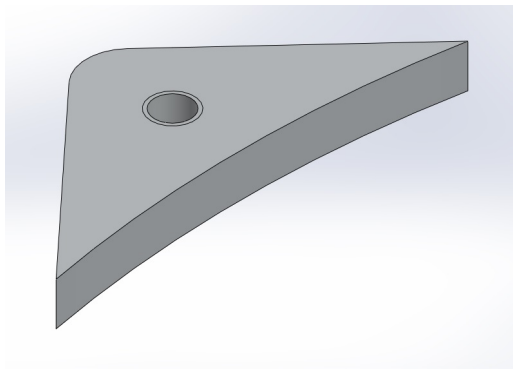
Termostatfestet dreies ut, og har en utvendig diameter på 100 mm. Det benyttes samme aluminiumskvalitet som til resten av kjølekolonnen.

Sporet på innsiden av flensen har samme diameter som termostatpakningen (69 mm), og er litt grunnere enn termostatpakningen er høy (2 mm). Flensen er 10 mm tykk og har en boltsirkel for 8 stk. M5-bolter for å sikre vanntett og robust montering mot bunnplaten.

Festet har en høyde på 45 mm for å gi plass til termostaten i tillegg til slangekoblingens gjenger. I bunnen av festet bores det et hull med $\frac{3}{4}$ " innvendige BSP-gjenger til innfestning av slangekoblingen.

Figur 53: Kjølekolonnens termostatfeste.

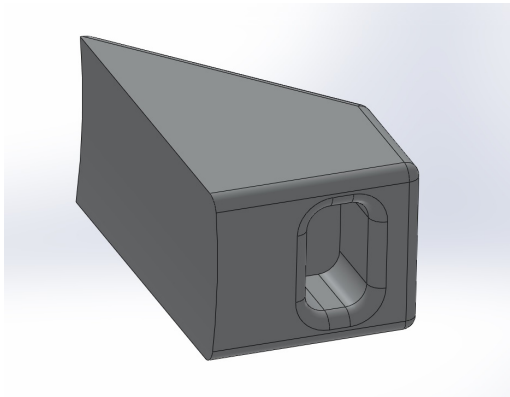
Festeører til lokket:



Festebrakettene til lokket tilvirkes av aluminium med en platetykkelse på 5 mm. De har samme form som festeørene på lokket, og er avrundet i bakkant med en radius på 130 mm for å passe mot sylindere. Det bores ut et gjenget skruer hull til innfestning av lokket. Det må produseres fire slike festebraketter.

Figur 54: Festebrakett til lokket.

Opphingsbraketter til kjølekolonnen:

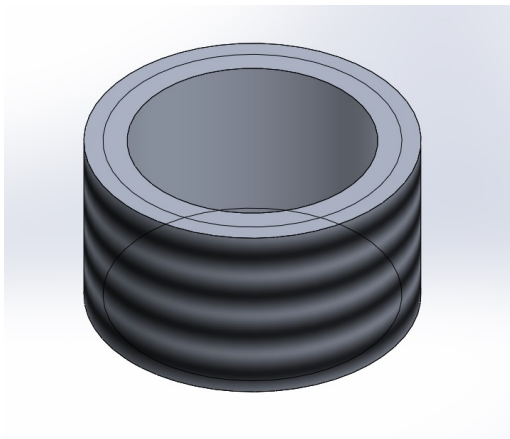


Det produseres to opphingsbraketter, som freses ut av aluminium med samme kvalitet som den brukt til resten av kjølekolonnens komponenter. Brakettene benyttes til å feste kjølekolonnen til stativet.

Opphingsbrakettene har en bredde på 25 mm, og et ”festehull” som er 12 mm dypt med mål 9 x 12 mm. Brakettene er avrundet i bakkant med en radius på 130 mm for å passe mot sylindere, og har en total høyde på 50 mm og total dybde på 30 mm.

Figur 55: Opphingsbrakett til kjølekolonnen.

Feste til tappeventil:



Festet til tappeventilen produseres i aluminium, basert på rør med dimensjon 30 x 5 mm. Rørstussen kappes til en lengde på 15 mm, og det dreies ut 3/4” BSP rørgjenger på rørstussens utside, til innfestning av tappeventilen.

Figur 56: Festestussen til tappeventilen.

4.1.2. Komponenter som må kjøpes inn til kjølekolonnen

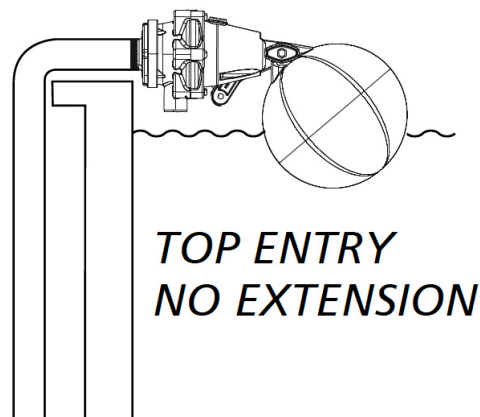
Flottørventil:



Det velges en flottørventil fra Jobe valves. Produktnavnet er Topaz Industro, og ventilen er beregnet på industrielt bruk der det kreves høy styrke og/eller høy temperatortoleranse. Utførelsen i plast gir utmerket korrosjonsbeskyttelse, og reagerer heller ikke med aluminium.

Ventilen leveres i flere størrelser, og det velges $\frac{3}{4}$ " størrelse med rørgjenger etter britisk standard (BSP-gjenger). Flottørventilen vil monteres uten forlengeren vist i figur 57. Dermed blir enheten enda mer kompakt, og bygger mindre i høyden. Monteringen blir forenklet ved at selve ventilen kan kobles fra festeskruen. Dermed kan skruen festes fra innsiden før ventilen monteres.

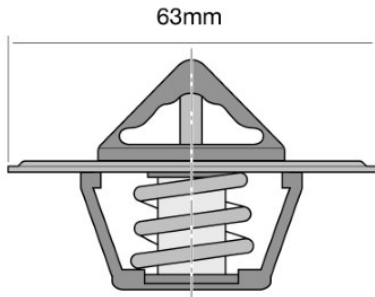
Figur 57: Produktbilde Topaz Industro fra Jobe valves [1.11].



Figur 58: Illustrasjon av ventilens montering uten forlenger [1.11].

For å hjelpe i den endelige designprosessen er det tegnet en forenklet versjon av ventilen og flottøren i SolidWorks (basert på produktets virkelige mål), da produsenten ikke kunne levere CAD-fil av det virkelige produktet.

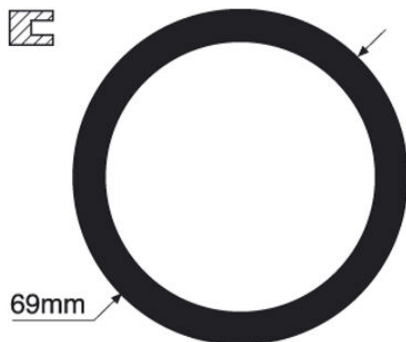
Termostat og pakning:



Det velges en konvensjonell vokstermostat fra Tridon. Termostaten har en flensdiameter på 63 mm og en åpningstemperatur på 71 °C.

Tridons produktnummer er ”TT2-160”.

Figur 59: Termostat fra Tridon [1.9].



Det velges en gummipakning som legges rundt termostatflensen for å sikre vanntett montering. Pakningen har en ytre diameter på 69 mm.

Tridons produktnummer er ”TTG31”.

Figur 60: Termostatpakning fra Tridon [1.9].

Til bruk i designprosessen og sammenstilling/rendringer er det brukt en termostat med gummipakning som illustrasjon. Denne er skalert fra original 3D-modell tegnet av ”hcortez”, og lastet ned fra ”grabcad” [1.14].

Slangekoblinger:



Det er valgt å bruke slangekoblinger fra Tess. Koblingene er utført i syrefast stål, og er tilgjengelige med utvendige BSP-gjenger i en rekke størrelser.

Til og fra motor brukes slangekoblinger med 2 ½” utvendige BSP-gjenger. Denne har varenummeret er 33067-40.

Til utløpet og kuleventilen benyttes det en slangekobling med ¾” utvendige gjenger. Disse har varenummer 33067-12.

For sikker tilkobling av slangene anbefales det å benytte slangeklemmer. Disse leveres også av Tess.

Figur 61: Illustrasjon av en slangekobling fra Tess [I.12]. Illustrasjonen er av en slangekobling i messing, men er ellers lik de som benyttes i syrefast stål.

Til rendrering og CAD-sammenstilling er det lastet ned en slangekobling benyttet som eksempel. Den er produsert av Vanamatic, og 3D-modellen er lastet ned fra ”3D Content Central” [I.13].

Kuleventil (tappeventil):



Det benyttes en kuleventil i syrefast stål med ¾” innvendige BSP-gjenger til tapping av kjølekolonnen.

En slik ventil kan kjøpes hos de fleste rørleggerforretninger.

Figur 62: Kuleventil til tapping av kjølekolonnen [I.15].

For syns skyld ved 3D-sammenstilling og rendrering er det lastet ned en kuleventil. Ventilen leveres av Axel Larsson AB, og er lastet ned fra ”3D Content Central” [I.13].

Luftfilter:



Det kjøpes inn et rimelig og kompakt luftfilter fra Biltema. Luftfilteret er robust og vaskbart, og har dermed lang levetid. Luftfilteret er valgt for å spare arbeidstid til fabrikasjon av deler. På grunn av den lave prisen kan det være mulig å kjøpe luftfilteret og spare penger sammenlignet med å lage noe med samme/dårligere funksjon selv.

Filteret har en gummitilkobling med diameter 40 mm, og festes til kjølekolonnens løkk ved hjelp av slangeklemmen vist i figur 60. Varenummeret er 82261.

Figur 63: Sportsluftfilter fra Biltema [1.5].

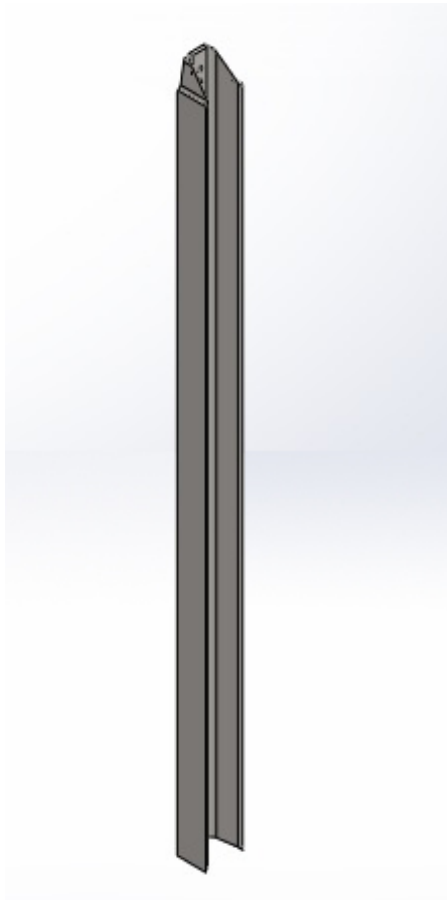
Til illustrasjonsformål ved 3D-sammenstilling og rendring er det benyttet en modell av et lignende luftfilter. Modellen er skalert og modifisert på grunnlag av originalen, tegnet av Reza Allahyari og lastet ned fra ”grabcad” [1.14].

Festemateriell:

Til kjølekolonnen og dens komponenter benyttes skruer i syrefast stål. Disse kjøpes som hyllevare hos verkstedets leverandør.

4.1.3. Komponenter som må tilvirkes til stativet

Stativben:



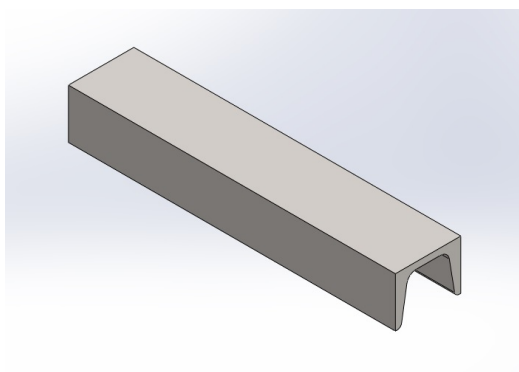
Stativbena tilvirkes fra kanalstål med betegnelse UNP50, av konstruksjonsstål med kvalitet S235JRG2.

Det produseres to ben med lengde 1600 mm. Toppen av hvert ben skjæres til å passe inni et tilsvarende UNP-profil, slik at topplaten passer oppå stativbenet. Det bores også to hull med diameter på 6 mm i toppen til montering av topplaten.

Bunnen skjæres til å passe mot et rektangulært hulprofil med størrelse 50 x 30 mm.

Figur 64: Vertikalt stativben.

Topplate:

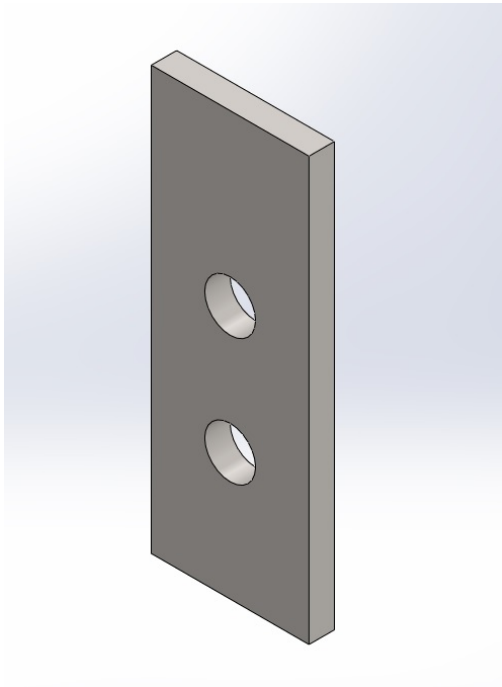


Topplaten tilvirkes av kanalstål med betegnelse UNP50, av konstruksjonsstål med samme kvalitet som stativbena.

UNP-profilet kappes til 250 mm lengde.

Figur 65: Stativets topplate.

Fester til stativets topplate:

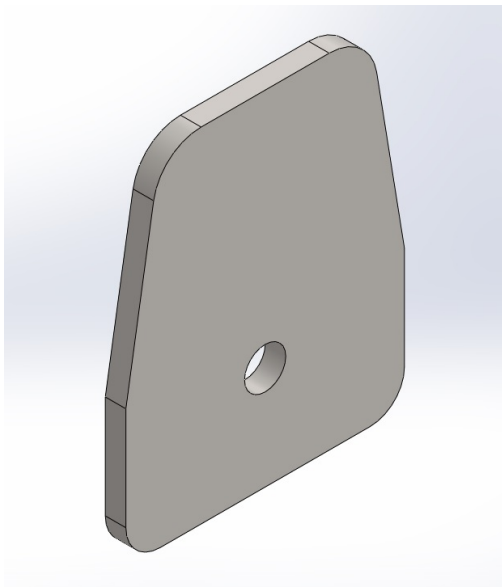


Festene til topplaten tilvirkes av platestål med tykkelse 3 mm og stål kvalitet S235JRG2.

Det produseres to fester med høyde på 50 mm og bredde tilpasset flaten på innsiden av et UNP50-profil (18,6 mm). Det bores ut to hull med diameter på 6 mm som passer mot hullene i de vertikale stativbena.

Figur 66: Topplatefeste.

Trinseoppheng:

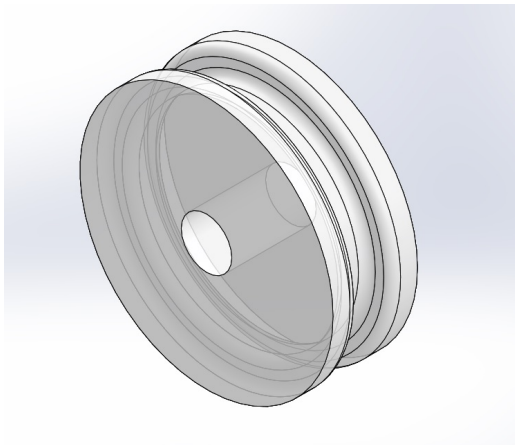


Trinseopphenget tilvirkes av platestål med tykkelse 3 mm og samme stål kvalitet som festene til topplaten.

Det produseres to slike plater med høyde 50 mm. Formen på toppen er tilpasset innsiden av et UNP50-profil. Det bores et hull med diameter 6 mm i senter, 15 mm over bunnen av braketten. Brakettens bredde i bunnen er 40,5 mm.

Figur 67: Trinseoppheng.

Trinse:



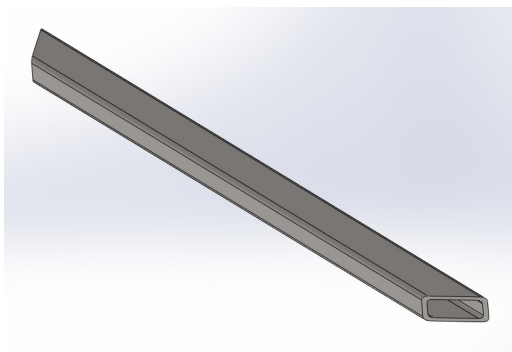
Trinsen dreies ut av polyacetal, som er slitesterkt og har lav friksjonskoeffisient.

Trinsen har en ytre diameter på 30 mm, og er 10 mm bred. I midten er det et spor med 4 mm bredde og 3 mm dybde for å støtte ståltauet fra vinsjen.

Det bores et hull i senter av trinsen med diameter 6 mm. Opphengsbolten festes gjennom hullet, og fungerer som aksling.

Figur 68: Stativets trinse.

Stativfot bak:

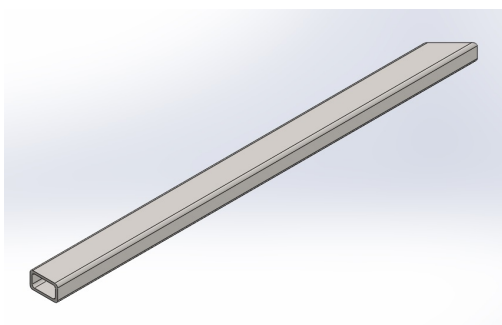


Den bakre (tverrliggende) stativfoten tilvirkes av et varmformet rektangulært hulprofil, betegnelse HFRHS-NS-EN 10 210 50 x 30 x 4. Materialet er konstruksjonsstål med kvalitet S235JRG2.

Hulprofilet kappes til en lengde på 800 mm, og skråkuttet i hver ende med en vinkel på 45 grader.

Figur 69: Stativfot bak.

Stativfot front:

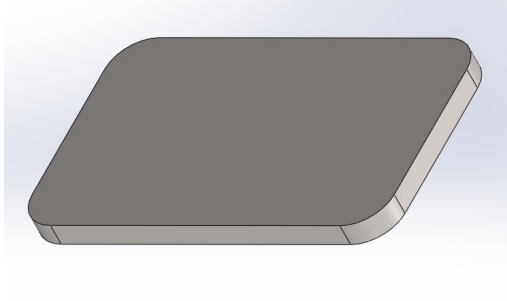


Den fremre delen av stativfoten tilvirkes av samme profil og stål kvalitet som den bakre delen.

Det produseres to slike elementer, som kappes til en lengde på 760 mm, og skråkuttet i den ene enden med en vinkel på 45 grader.

Figur 70: Stativfot front.

Lokk til stativfoten:

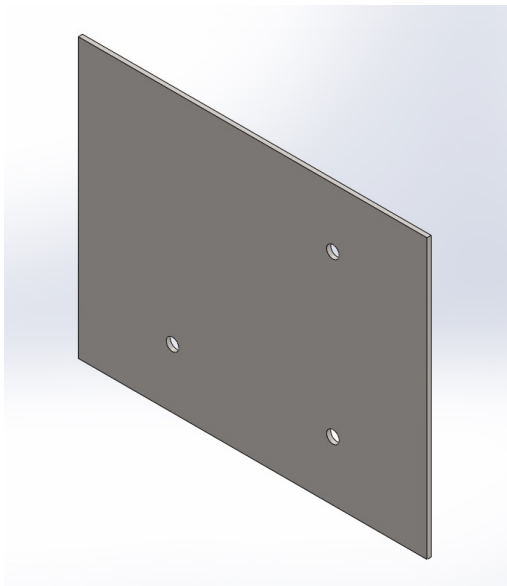


Lokkene til stativfoten tilvirkes av platestål med tykkelse 3 mm og stålqualität S235JRG2.

Det produseres to lokk, med en bredde på 50 mm og en høyde på 30 mm. Radiene er like som det rektangulære hulprofilet brukt til stativfoten.

Figur 71: Lokk til stativfoten.

Bakplate:

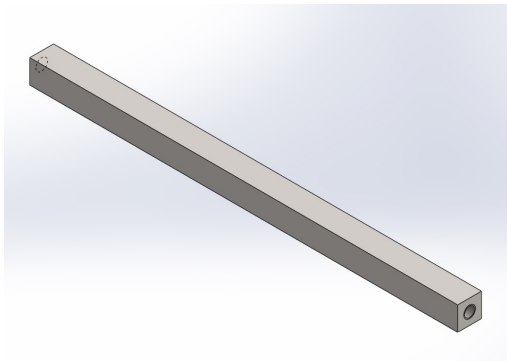


Stativets bakplate tilvirkes av platestål med tykkelse 3 mm og stålqualität S235JRG2.

Platen kappes til en bredde på 250 mm og en høyde på 200 mm. Det bores tre hull med lik avstand til senter av platen, tilpasset opphengspunktene til en Huchez Manistor håndvinsj.

Figur 72: Stativets bakplate.

Horisontale stag til løpekatten:

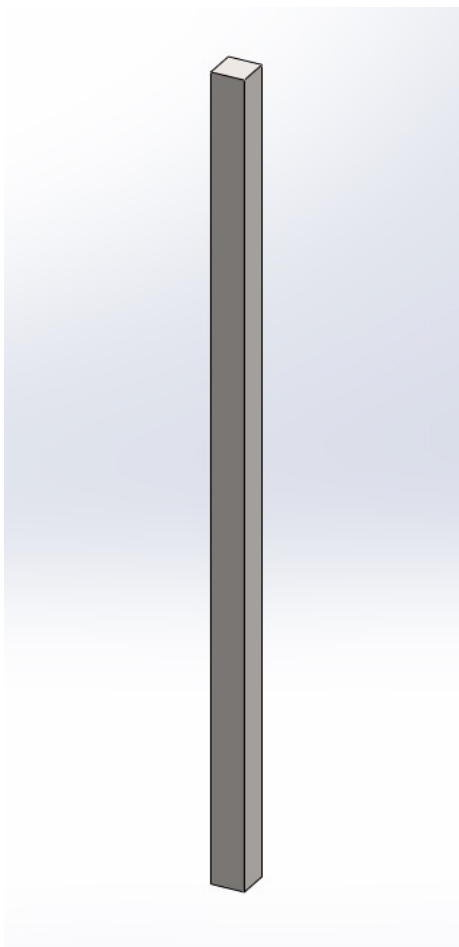


De horisontale stagene til løpekatten tilvirkes av firkantstål med dimensjon 10 x 10 mm, av konstruksjonsstål med kvalitet S235JRG2.

Det produseres to horisontale stag. Firkantstålet kappes til en lengde på 180 mm. Det bores ut gjengede hull til M5-bolter i senter på hver side av staget, som vist i figur 70. Hullene benyttes til innfestning av løpekattens glideklosser.

Figur 73: Horisontalt stag til løpekatten.

Vertikale stag til løpekatten:



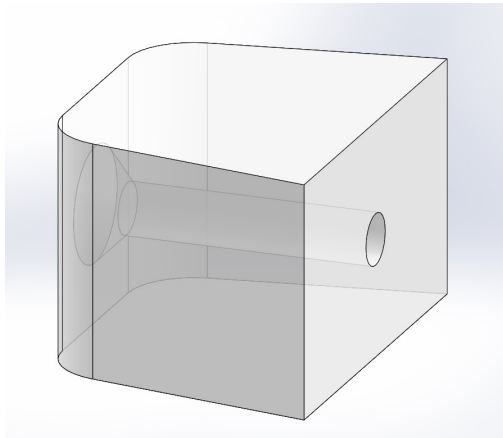
De vertikale stagene gir løpekatten styrke og stivhet, og fungerer som festepunkt til løpekattens festbraketter.

Stagene tilvirkes av firkantstål med samme dimensjon og kvalitet som de horisontale stagene.

Det produseres tre vertikale stag. Firkantstålet kappes til en lengde på 280 mm, og eventuelle grader fjernes fra sideflatene for å klargjøre stagene for sveising.

Figur 74: Vertikalt stag til løpekatten.

Glideklosser:

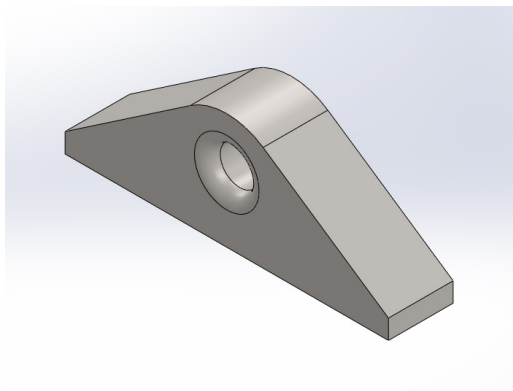


Løpekattens glideklosser freses ut av polyacetal, som er slitesterkt og har lav friksjonskoeffisient.

Det produseres fire glideklosser, med en høyde på 25 mm og dybde 30 mm. Formen er tilpasset til å passe innsiden av et UNP50-profil. I siden av klossene bores det et forsenket skruehull til en M5 maskinskrue, som vist i figur 75.

Figur 75: Glidekloss til løpekatten.

Vaierfeste til løpekatten:

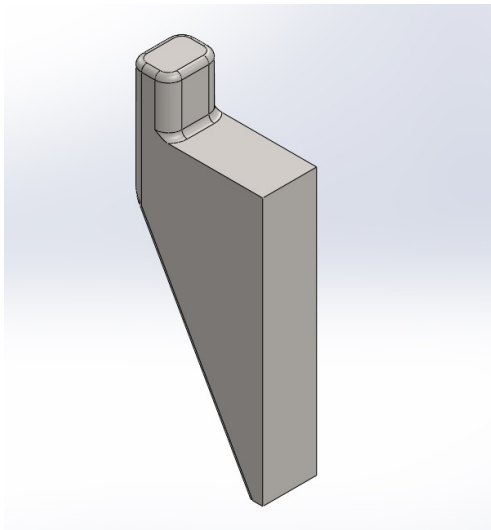


Vaierfestet til løpekatten tilvirkes av konstruksjonsstål med kvalitet S235JRG2, og en tykkelse på 10 mm for å passe oppå stagene av firkantstål.

Vaierfestet er 50 mm bredt, og har vertikale flater med høyde 3 mm på hver side for å forenkle sveising. Hullet til innfesting av ståltauet har en diameter på 5 mm, og er avrundet i kantene. Ståltauet festes med en løkke gjennom hullet.

Figur 76: Vaierfestet til løpekatten.

Opphengsbraketter til stativet:



Stativets festebraketter freses ut av konstruksjonsstål med kvalitet S235JRG2 og tykkelse 10 mm.

Brakettene har en høyde på 50 mm, og en "festekrok" med høyde 10 mm, og mål 10 x 7,5 mm. Hjørnene på festepunktet er avrundet med en radius på 2,5 mm. Den spisse enden har en vertikal flate med høyde 3 mm for å forenkle sveising.

Festepunktet er designet for å være litt mindre enn tilsvarende festepunkter på kjølekolonnens festebraketter for å ha en romslig passform i tillegg til at det tillater et tykt lag med slitesterk lakk på stativet for å isolere materialene fra hverandre.

Figur 77: Opphengsbrakett til stativet.

4.1.4. Komponenter som må kjøpes inn til stativet

Håndvinsj:



Huchez Manistor er en håndvinsj spesielt beregnet for montering på vegg, og er valgt fordi den passer godt til formålet, da den bygger lite bak stativet, og sveiven er lett avtakbar når justeringsmekanismen ikke er i bruk.








Vinsjen er beregnet for ståltau med en tykkelse på 3 mm, og er godkjent for en last på 100 kg, som er tilstrekkelig.

Vinsjen festes til stativets bakplate gjennom tre hull med diameter lik 9 mm.








Figur 78: Huchez Manistor håndvinsj [1.16].

Det er tegnet en forenklet versjon av produktet basert på målsatte tegninger fra produsenten til bruk ved 3D-sammenstilling og rendringer, da produsenten ikke kunne levere 3D-tegninger av det virkelige produktet.


Hjul:

							Svingbar trinse
	50	19	72	25	11x31		B10 Tapp for hylsefeste
	75	25	103	24	11x31		50 75

Figur 79: Svingbare hjul til stativet [L17].

							Svingbar trinse m/brems
	50	19	72	25	11x31		B10 Tapp for hylse feste
	75	25	103	24	11x31		40 75

Figur 80: Svingbare hjul med brems til stativet [L17].

	HylseØ	KraveØ	Lengde	NR
	15	30	36	H40-15

Det kjøpes inn svingbare hjul til stativet. I følge Landgraffs katalog velges hjulenes dimensjon etter total vekt/3. Total vekt estimeres til 100 kg. Dermed er det tilstrekkelig med hjuldiameter på 50 mm.

Figur 81: Hylser til innfestning av stativhjul [L17].

Det bestilles to hjul med brems og to hjul uten. De bakerste hjulene har brems for å hindre stativet i å trille under bruk. Alle hjulene er svingbare for å gjøre stativet enkelt å flytte og plassere på ønsket sted. Hjulene plasseres så langt foran/bak på stativet som foten tillater, med så stor bredde som mulig. Hylsene presspasses i hull som bores under stativfoten. Hullene bør plasseres i senter av hulprofilen.

Det bestilles to hjul med varenummer 2470 PJI 050 B10-11.

Det bestilles to hjul med varenummer 2475 PJI 050 B10.

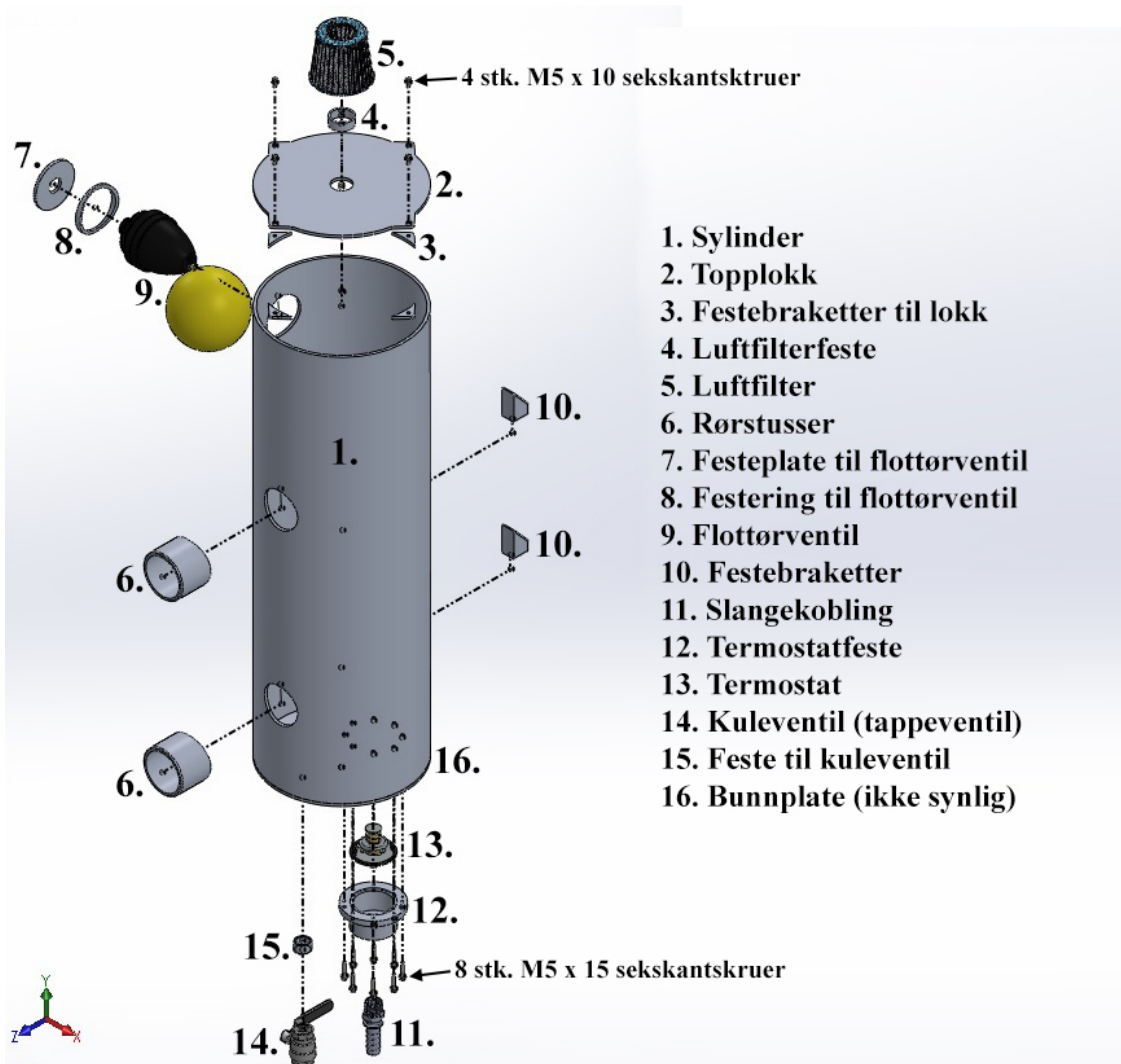
Det bestilles fire hylser med varenummer H40-15 til innfestning av de valgte hjulene.

Festemateriell:

Til stativets skrueforbindelser benyttes det sekskantskruer med minimum fasthetsklasse 4.6. Der det er muttere benyttes låsemuttere med samme fasthetsklasse. Disse kjøpes inn som hyllevare fra verkstedets leverandør.

4.2. Hovedelementer

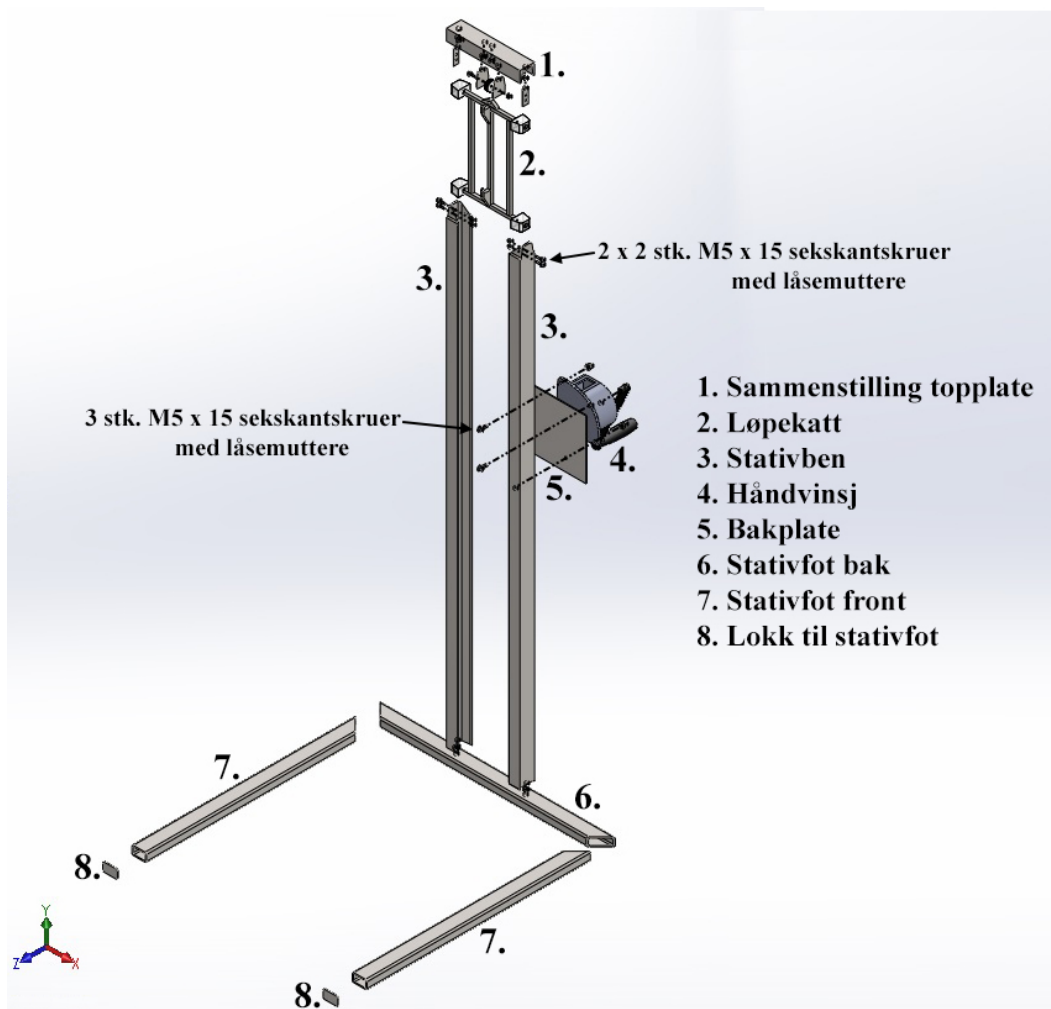
4.2.1. Kjølekolonne



Figur 82: Oversikt over kjølekolonnens komponenter og oppbygning.

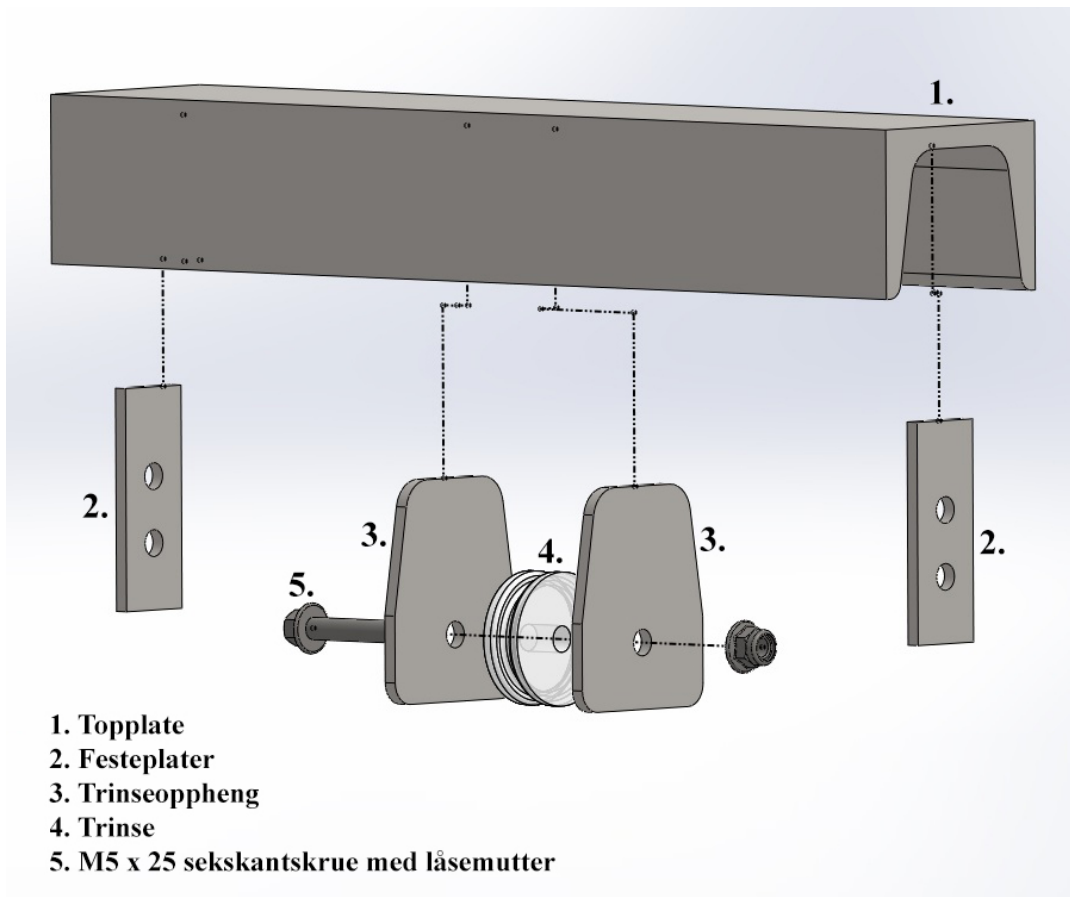
Kjølekolonnen består av 16 komponenter. Sylindere og bunnplaten sveises sammen til ett hovedelement, og alle komponentene festes til dette ved sveising eller med skruer.

4.2.2. Stativ



Figur 83: Oversikt over stativets komponenter og oppbygning.

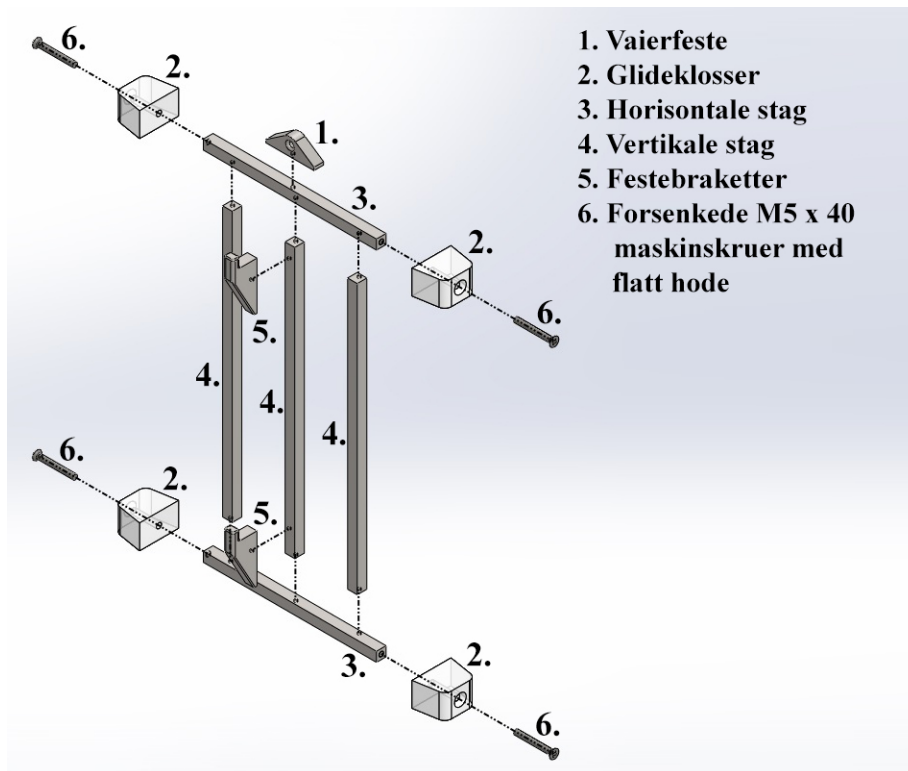
Stativbena og komponentene til stativfoten, samt bakplaten sveises sammen til én sammenstilling. Løpekatten settes på plass i stativbena som en separat sammenstilling, og topplokket festes til toppen av stativbena som en tredje sammenstilling. Vinsjen monteres på stativets bakplate, ståltauet tres gjennom trinsen og festes i løpekattens vaierfeste. Ståltauet er ikke representert i CAD-modellen.



Figur 84: Detaljert oversikt over topplatens sammenstilling.

Topplatens sammenstilling består av topplaten, festeplatene og trinsen med oppheng. Festeplatene sveises til topplaten med en avstand på 5 mm fra endene for å ligge mot innsiden av stegene til stativbena. Trinseopphenget sentreres på innsiden av topplaten, og trinsen monteres med sekskantskrue og låsemutter.

4.2.3. Løpekatt



Figur 85: Løpekattens komponenter og sammenstilling

Løpekatten består av en ramme med sammensveisede komponenter. De horisontale og vertikale stagene sveises sammen som illustrert med linjene i figur 85, og festebrakettene og vaierfestet sveises fast i rammen. Glideklossene festes til rammen med forsenkede maskinskruer.

5. STRUKTUROPTIMERING

5.1. Varme- og Strømningssimulering

Det er utført strømningssimuleringer i SolidWorks Flow Simulation for å verifisere resultatene som er oppnådd ved hjelp av håndberegninger. Den samme analysen er utført for minimum og maksimum massestrøm til motoren, altså 5,9 kg/s og 9,6 kg/s. Strømningssimuleringene brukes til å verifisere væskestrømmen gjennom utløpet og ΔT (pluss væsketemperaturen inn til motoren). Det er antatt en romtemperatur lik 20 °C i simuleringene.

Modellen som er brukt til strømningssimuleringene er en forenklet versjon av kjølekolonnen, uten braketter, fester og lokk. Termostaten er fjernet, da modellen ikke kan åpnes og dermed stenger for strømmingen gjennom utløpet. Det er gjennomført intern strømningssimulering med gravitasjon, og lagt til lokk på alle åpninger. Følgende grensebetingelser er gitt for de to simuleringene:

Simulering 1, stor væskestrøm:

Tabell 17: Grensebetingelser for simulering med stor væskestrøm.

Åpning	Grensebetingelse	Temperatur, grensebet.
Utløp til motoren	Massestrøm utløp, 9,6 kg/s	-
Innløp fra motoren	Massestrøm innløp, 9,6 kg/s	353 K
Innløp kaldtvann	Massestrøm innløp, 0,7 kg/s	283 K
Tappeventil	"Real Wall", lukket	-
Utløp, termostat	Atmosfæretrykk, åpen	-
Lokk	"Real Wall", lukket	-

Simulering 2, liten væskestrøm:

Tabell 18: Grensebetingelser for simulering med liten væskestrøm.

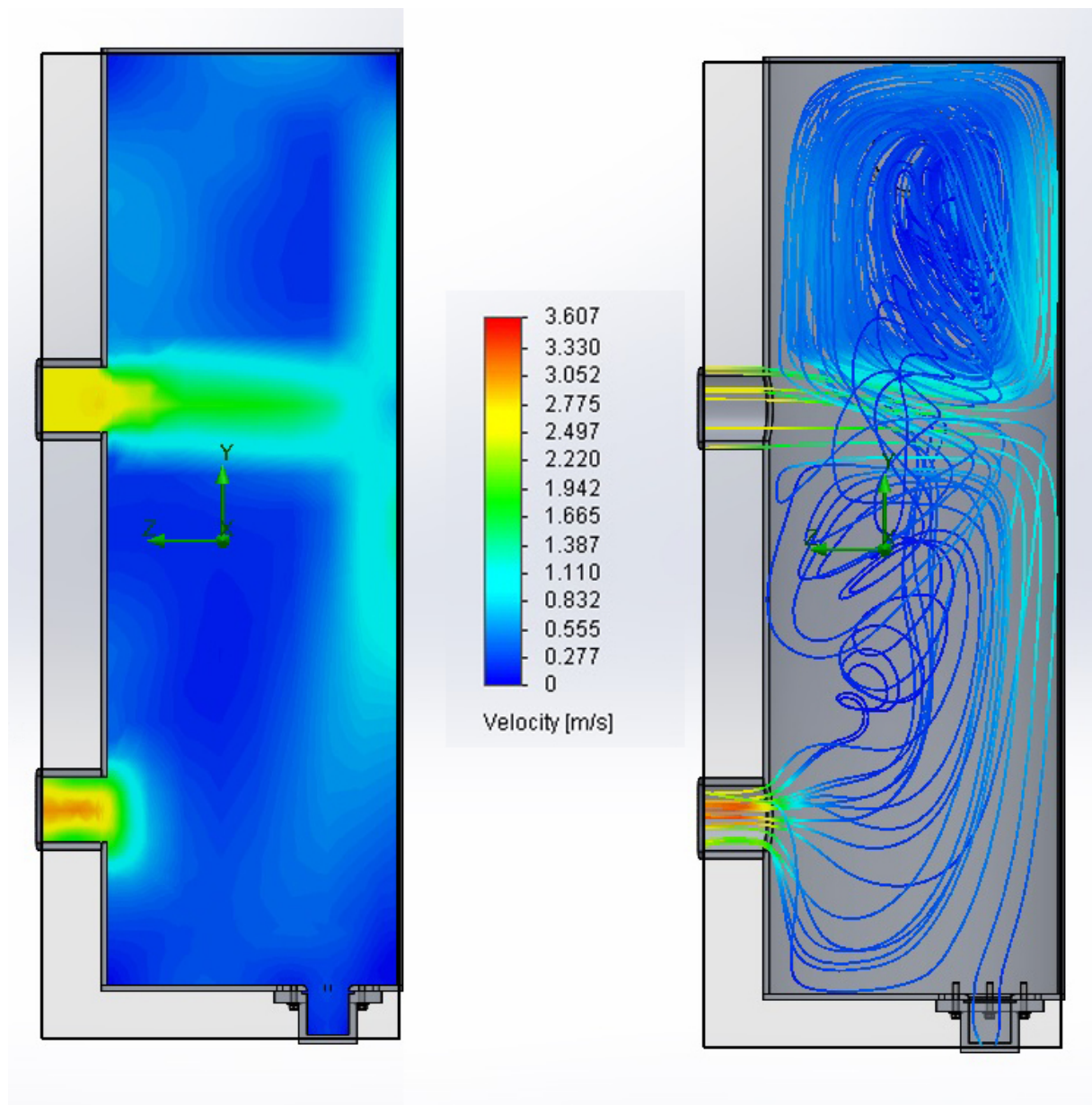
Åpning	Grensebetingelse	Temperatur, grensebet.
Utløp til motoren	Massestrøm utløp, 5,9 kg/s	-
Innløp fra motoren	Massestrøm innløp, 5,9 kg/s	353 K
Innløp kaldtvann	Massestrøm innløp, 0,7 kg/s	283 K
Tappeventil	"Real Wall", lukket	-
Utløp, termostat	Atmosfæretrykk, åpen	-
Lokk	"Real Wall", lukket	-

Resultatmålene som er satt for simuleringene er som følger:

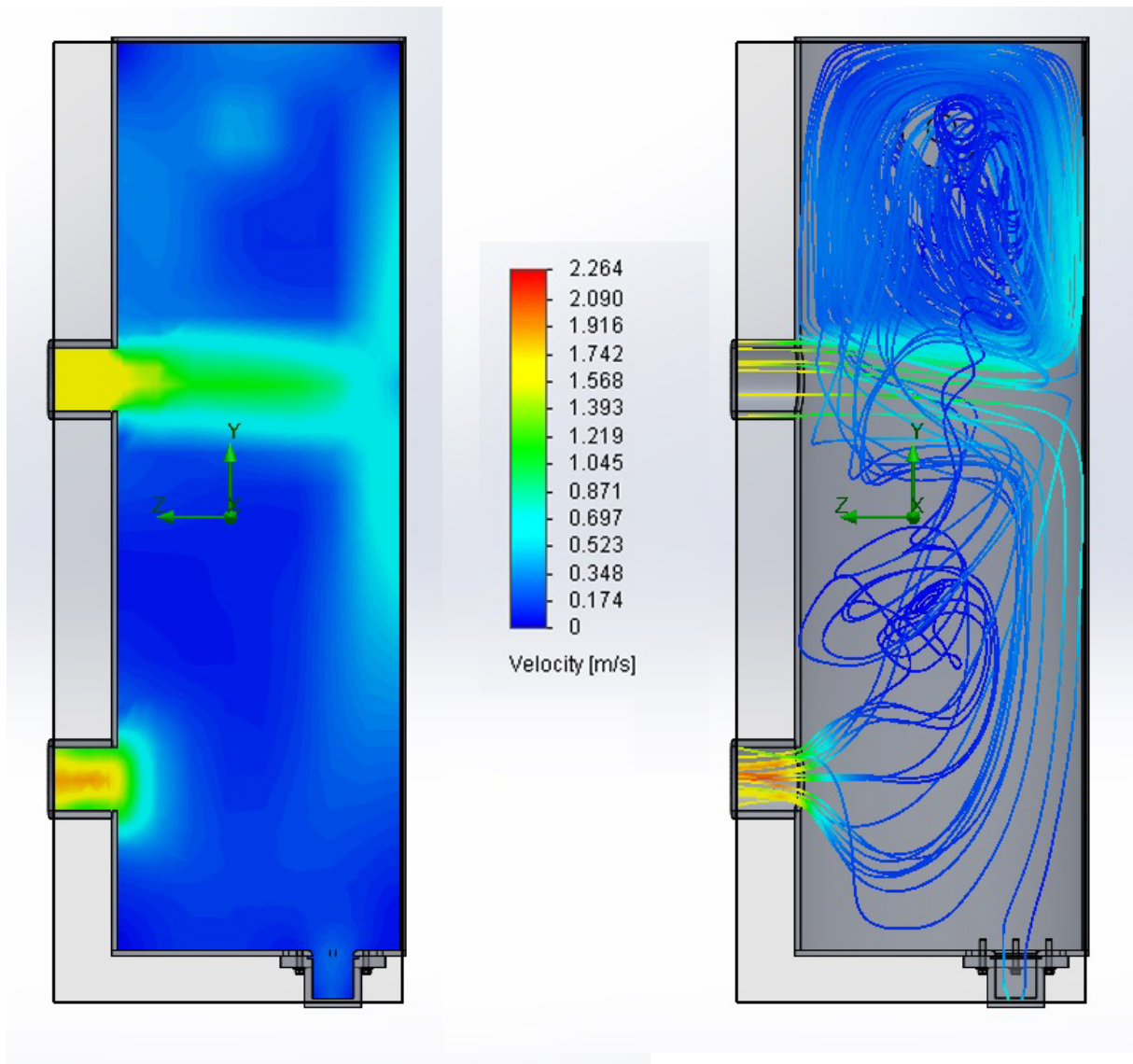
Tabell 19: Resultatmål for simuleringene, som danner grunnlag for de dataene som tas ut.

Åpning	Resultatmål
Utløp, termostat	Massestrøm
Utløp til motoren	Minimumstemperatur Gjennomsnittstemperatur Makstemperatur

5.1.1. Verifikasjon av utløpets dimensjonering



Figur 86: Illustrasjon av væskehastigheten når det strømmer 9,6 kg/s til og fra motoren.



Figur 87: Illustrasjon av væskehastigheten når det strømmer 5,9 kg/s til og fra motoren.

Figur 86 og figur 87 gir et godt bilde av hastighetsfordelingen i kjølekolonnens væskevolum. For å få nøyaktige tall for massestrømmen gjennom det åpne utløpet hentes det inn data fra de registrerte resultatmålene i simuleringen:

Tabell 20: Data for massestrømmen gjennom utløpet, simulering 1. Hentet fra rapport i SolidWorks Flow Simulation.

Kjølekolonne simulering 9,6 kg/s

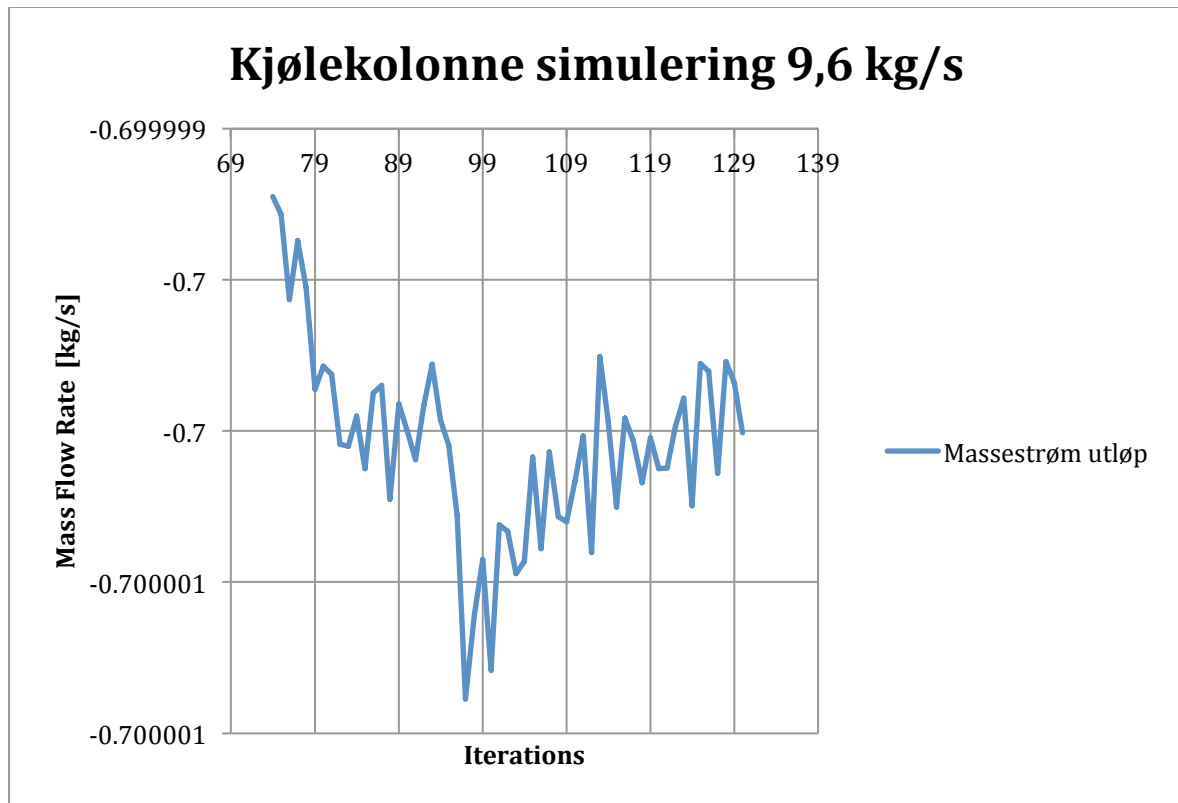
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value
Massestrøm utløp	[kg/s]	-0.700000206	-0.700000221
Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence
-0.700000602	-0.699999953	100	Yes

Tabell 21: Data for massestrømmen gjennom utløpet, simulering 2. Hentet fra rapport i SolidWorks Flow Simulation.

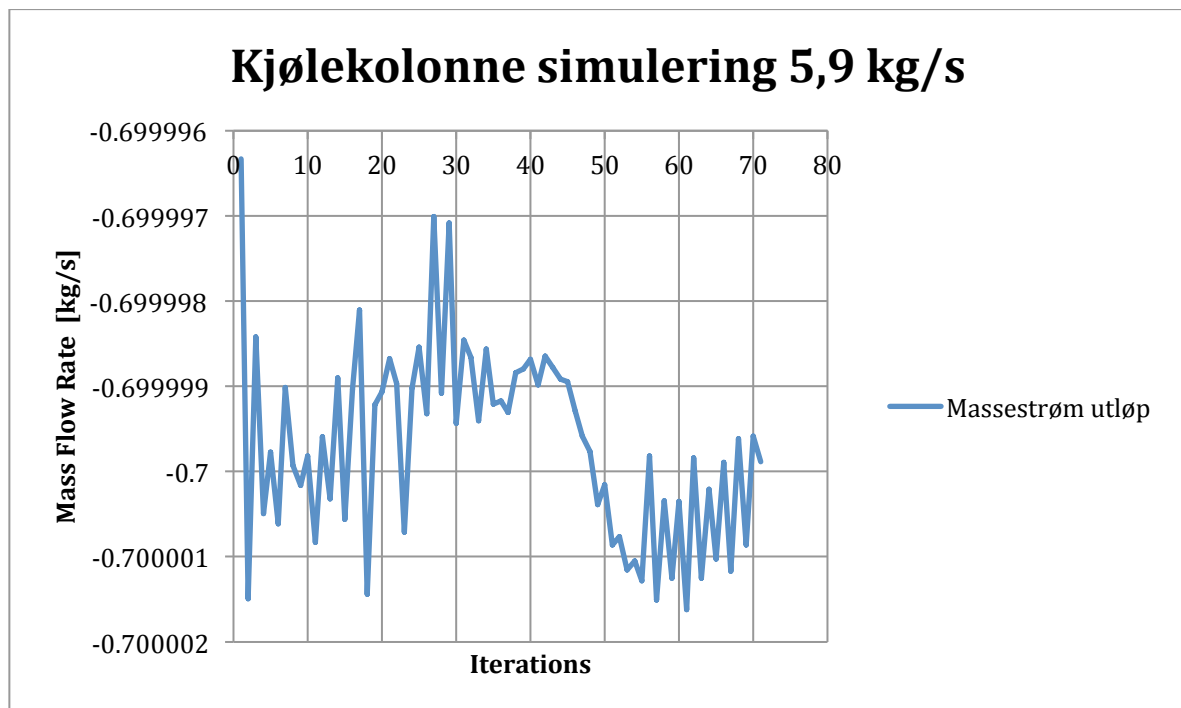
Kjølekolonne simulering 5,9 kg/s

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value
Massestrøm utløp	[kg/s]	-0.699999882	-0.700000635
Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence
-0.700001623	-0.699999582	100	Yes

Verdiene er negative fordi gravitasjonen er negativ, og dermed gir strømning i negativ Y-retning gjennom utløpet. Dataene viser at strømningen konvergerer mot 0,7 kg/s, som samsvarer svært godt med beregningene gjort for hånd. Konvergens av massestrømmen etter åpning av utløpet illustreres i følgende figurer:

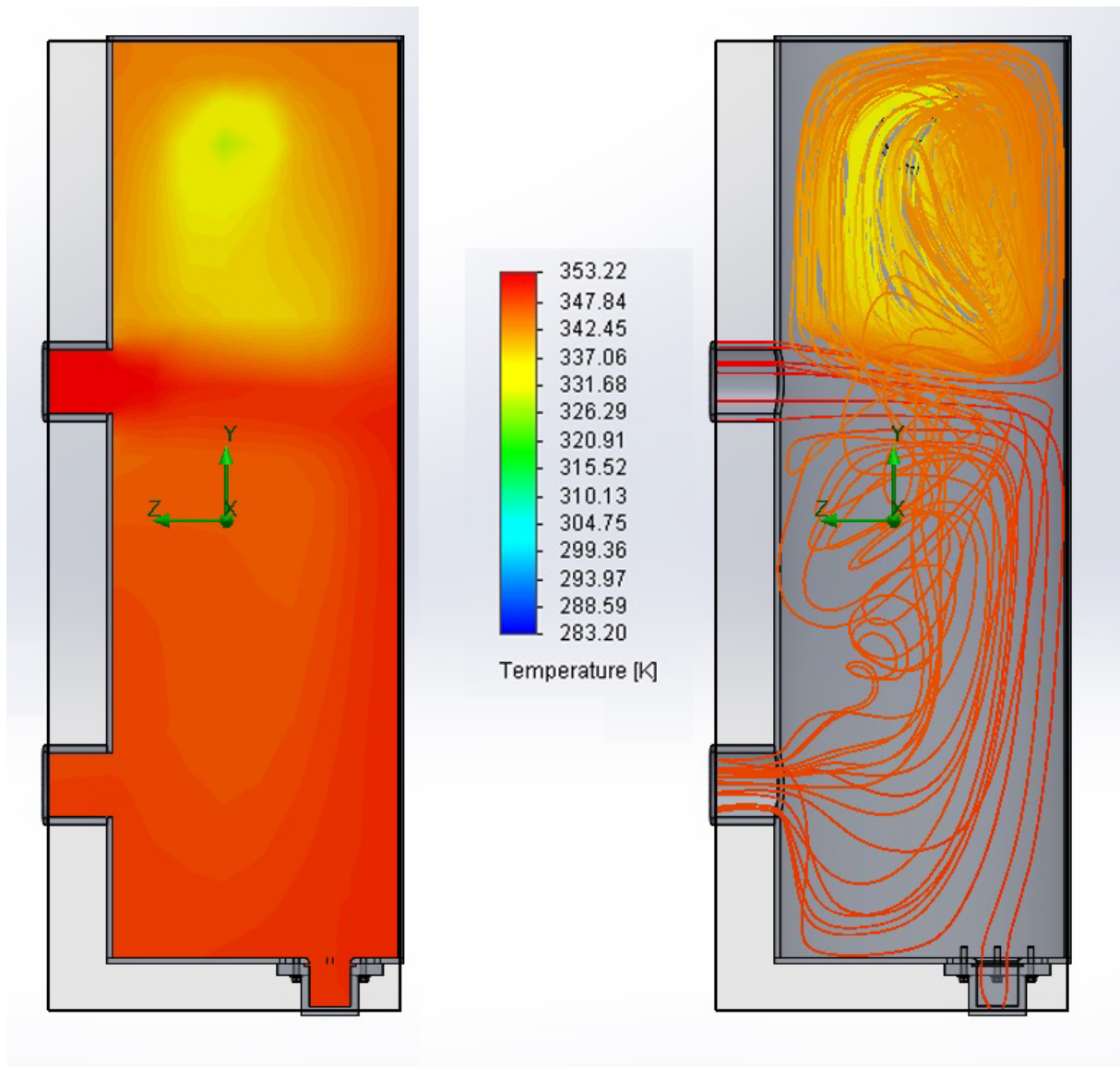


Figur 88: Konvergens av massestrømmen gjennom simuleringens beregninger, simulering 1.

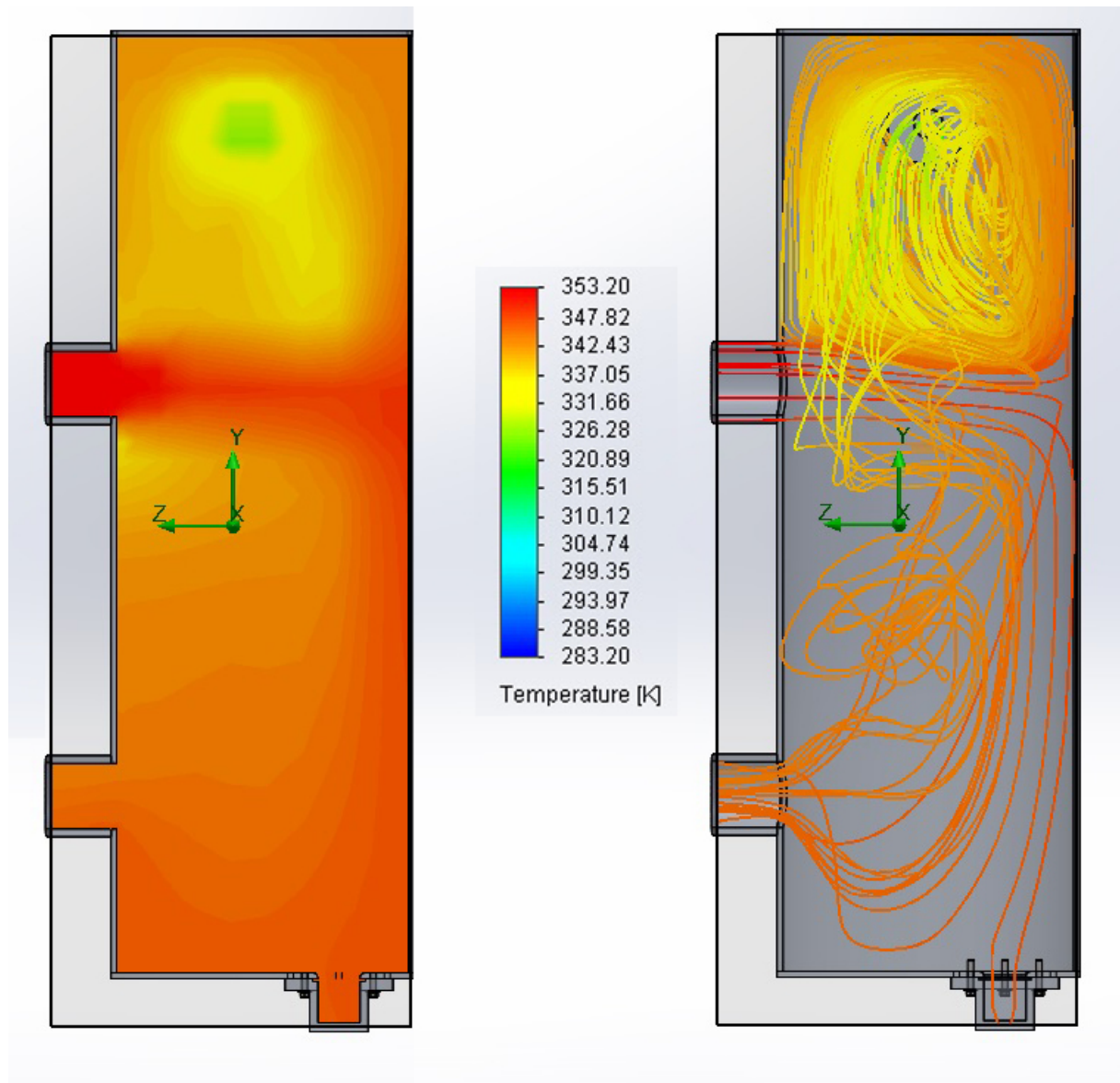


Figur 89: Konvergens av massestrømmen gjennom simuleringens beregninger, simulering 2.

5.1.2. Temperatur og verifikasjon av kjøleeffekt



Figur 90: Illustrasjon av temperaturfordelingen i kjølekolonnens væskevolum når det strømmer 9,6 kg/s til og fra motoren.



Figur 91: Illustrasjon av temperaturfordelingen i kjølekolonnens væskevolum når det strømmer 5,9 kg/s til og fra motoren.

Figur 90 og 91 gir god oversikt over temperaturfordelingen i kjølevæsken. En eventuell montering av termometer eller temperatursensorer kan med fordel plasseres i samme høyde som innløpet fra motoren eller utløpet til motoren, avhengig av hvilke parametre det er ønskelig å måle.

For å kunne bestemme temperaturen på kjølevæsken til motoren med sikkerhet hentes det inn data fra de registrerte resultatmålene i simuleringen:

Tabell 22: Data for temperaturen til massestrømmen gjennom utløpet til motoren, simulering 1. Hentet fra rapport i SolidWorks Flow Simulation.

Kjølekolonne simulering 9,6 kg/s

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value
Min temperatur til motor	[K]	347.9196172	347.9150295
Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence
347.9007531	347.9397208	100	Yes

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value
Gj.snittstemperatur til motor	[K]	348.3367817	348.3406724
Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence
348.3302206	348.3544665	100	Yes

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value
Maks temperatur til motor	[K]	348.800278	348.8054241
Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence
348.7884366	348.8312684	100	Yes

Tabell 23: Data for temperaturen til massestrømmen gjennom utløpet til motoren, simulering 2. Hentet fra rapport i SolidWorks Flow Simulation.

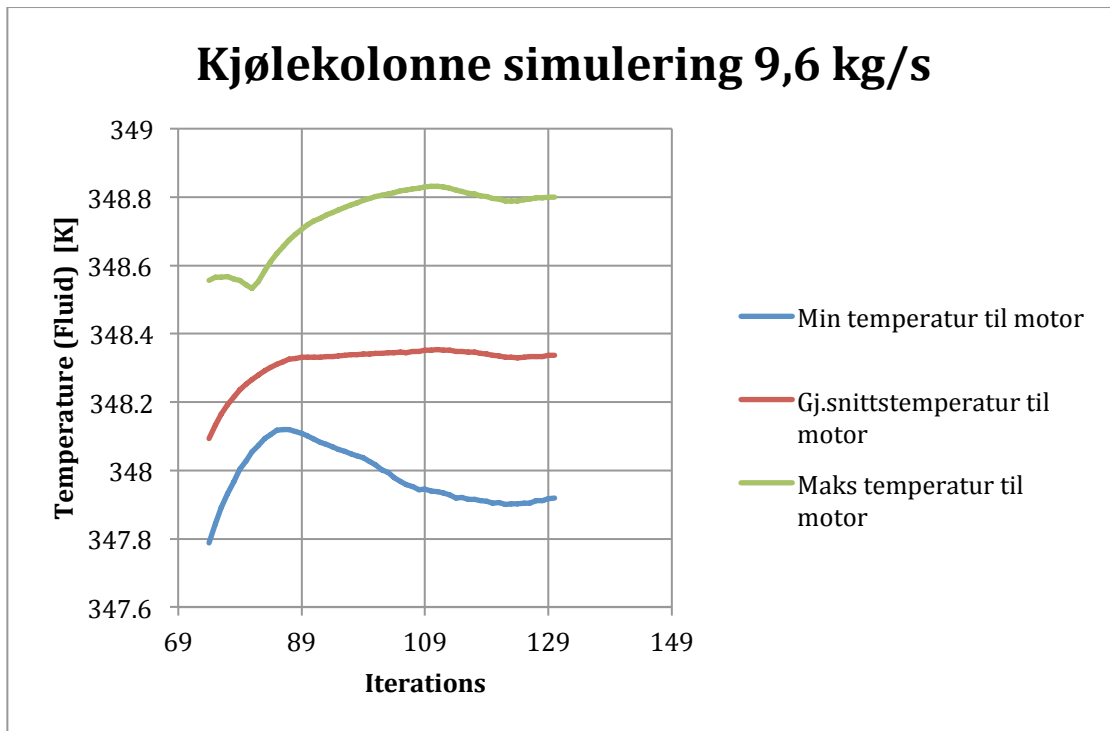
Kjølekolonne simulering 5,9 kg/s

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value
Min temperatur til motor	[K]	344.0067502	342.2308032
Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence
338.9872769	344.0067502	100	Yes

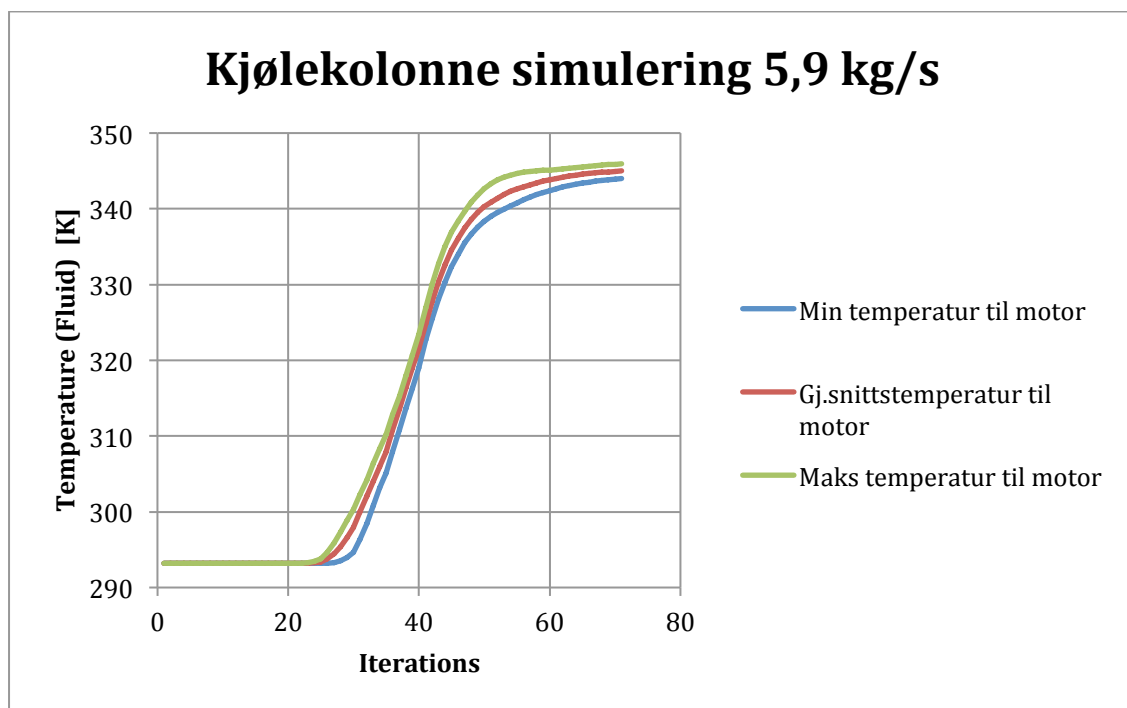
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value
Gj.snittstemperatur til motor	[K]	344.9933605	343.6515485
Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence
340.892538	344.9933605	100	Yes

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value
Maks temperatur til motor	[K]	345.9248775	345.0888943
Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence
343.2963572	345.9248775	100	Yes

Dataene viser at kjølevæsketemperaturen til motoren konvergerer mot henholdsvis 348,3 K og 345 K i gjennomsnitt for massestrøm på 9,6 kg/s og 5,9 kg/s når temperaturen til kjølevæsken fra motoren er lik 80 °C. Temperaturkonvergens etter oppstart illustreres ved hjelp av følgende figurer:



Figur 92: Konvergens av væsketemperaturen gjennom simuleringens beregninger, simulering 1. Figuren illustrerer forløpet i det temperaturen er i ferd med å stabilisere seg.



Figur 93: Konvergens av væsketemperaturen gjennom simuleringens beregninger, simulering 2. Figuren illustrerer hele hendelsesforløpet fra romtemperatur til konvergens, antatt at motoren gir full effekt gjennom hele oppvarmingsperioden.

ΔT kontrolleres ved å sammenligne kjølevæsketemperaturen fra motoren mot den stabile gjennomsnittstemperaturen i utløpet til motoren:

9,6 kg/s:

$$\Delta T = 353 \text{ K} - 348,3 \text{ K}$$

$$\Delta T = 4,7 \text{ K} = 4,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

5,9 kg/s:

$$\Delta T = 353 \text{ K} - 345 \text{ K}$$

$$\Delta T = 8 \text{ K} = 8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Disse resultatene samsvarer svært godt med resultatene fra håndberegningene, og gir trygghet om at kjølekolonnen vil fungere som forventet.

5.2. Strukturspenninger

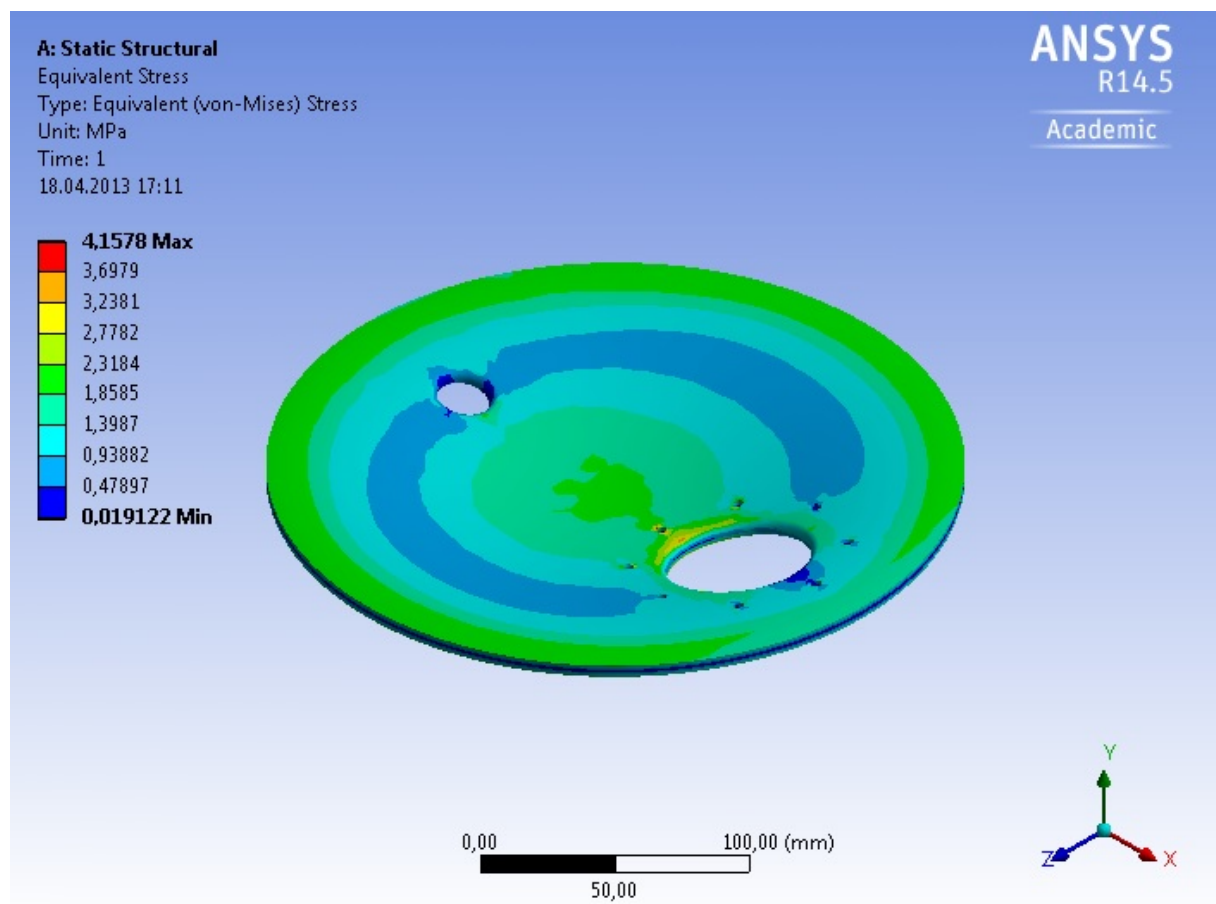
5.2.1. FEM-analyse av kjølekolonnens bunnplate

Strukturanalysene er utført i ANSYS Workbench, med angitt materiale standard "Aluminium alloy". Materialet har E-modul lik 69000 MPa. Mesh er basert på standard elementstørrelse for ANSYS Workbench. For kjølekolonnen er det ikke benyttet sikkerhetsfaktor, men maks opptredende spenning er kontrollert for å gi sikkerhet om at kjølekolonnens komponenter er tilstrekkelig dimensjonert.

Kjølekolonnens bunnplate er kontrollert med en vannstand på 750 mm for større sikkerhet over reell vannstand på 610 mm. Vannmengden gir en jevnt fordelt last over bunnplaten areal. Bunnplaten betraktes som fast innspent i ytterflaten langs hele platens omkrets.

Tabell 24: Belastninger på oversiden av kjølekolonnens bunnplate.

Kraftretning	Funksjon	Verdi (MPa)
-Y	Hydrostatisk trykk fra vannsøyle	0,0074

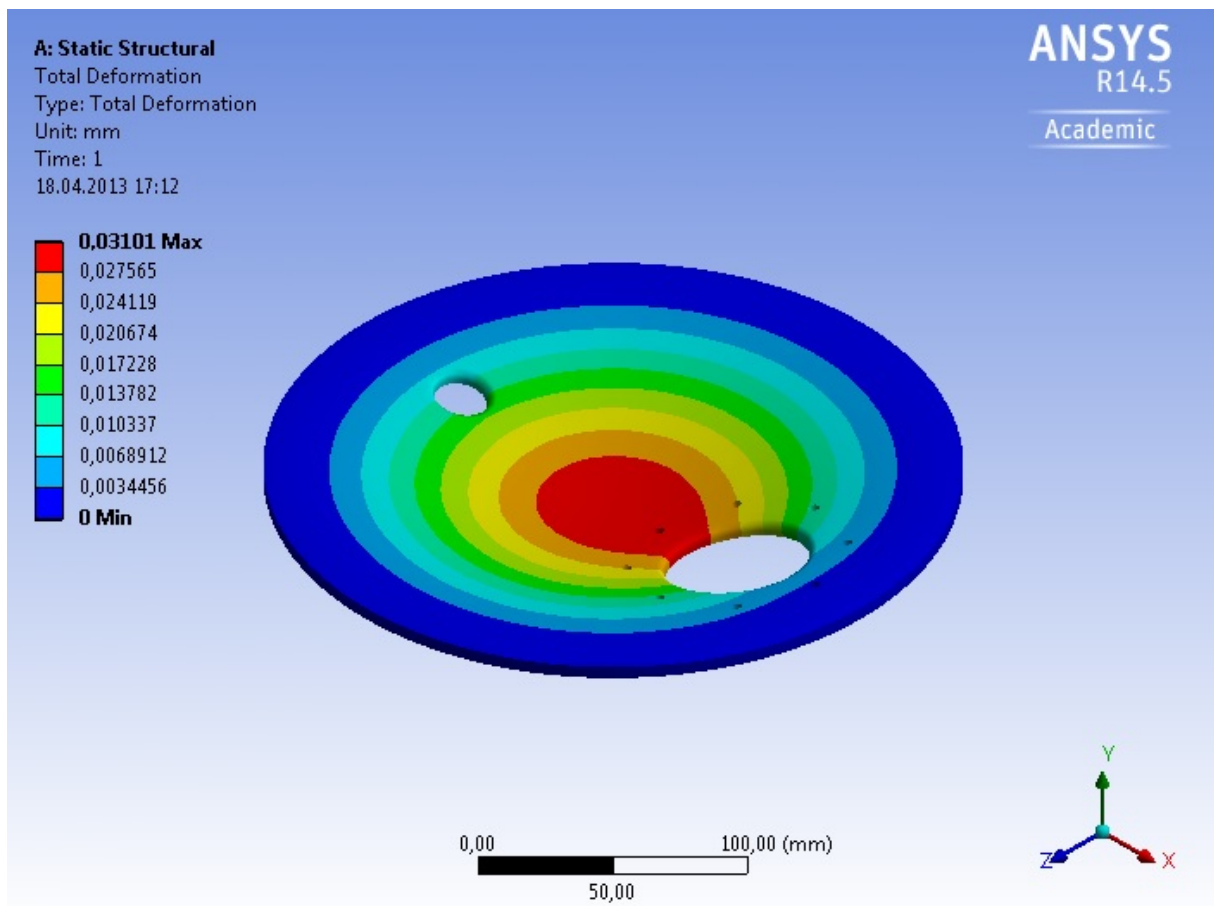


Figur 94: Jevnførende spenning i kjølekolonnens bunnplate.

Tabell 25: Sammenligning med resultatet fra håndberegning.

Resultat	Håndberegning	FEM-analyse	Avvik
Jevnførende spenning	5,55 MPa	4,16 MPa	1,39 MPa

Avviket kan skyldes en konservativ beregningsmåte som dermed gir større sikkerhet for håndberegningene, i tillegg til forskjell i opplagring. I begge tilfeller er de opptredende spenningene svært små, og det konkluderes med at kjølekolonnens bunnplate er mer enn tilstrekkelig dimensjonert.



Figur 95: Deformasjon i kjølekolonnens bunnplate.

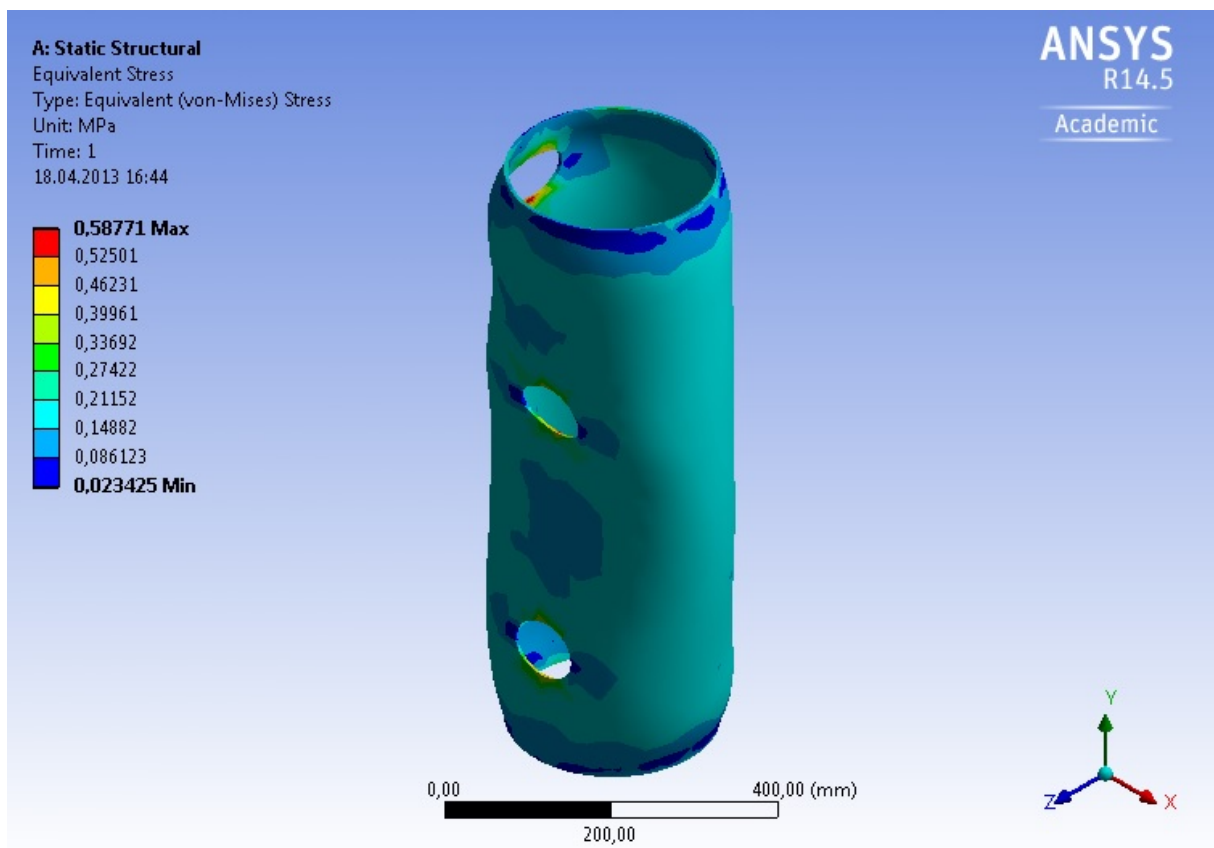
De opptredende spenningene gir svært liten deformasjon i bunnplaten. En større deformasjon kunne gitt problemer med vanntett montering av termostaten. Siden kontaktflaten mellom bunnplaten og termostatens gummipakning er tilnærmet plan antas det at deformasjonen tillater problemfri montering av termostatfestet.

5.2.2. FEM-analyse av kjølekolonnens sylinder

Analysen er utført i ANSYS Workbench, med angitt materiale ”Aluminium alloy”. Materialet har E-modul lik 69000 MPa. Det er brukt standard mesh/elementstørrelse. Sylindren er kontrollert for et indre trykk som tilsvarer det hydrostatiske trykket i bunnen av en vannsøyle på 750 mm, for større sikkerhet over den reelle vannstanden på 610 mm. Sylindren betraktes som fast innspent i bunnen.

Tabell 26: Belastninger på innsiden av kjølekolonnens sylinder.

Funksjon	Verdi (MPa)
Indre hydrostatisk trykk	0,0074



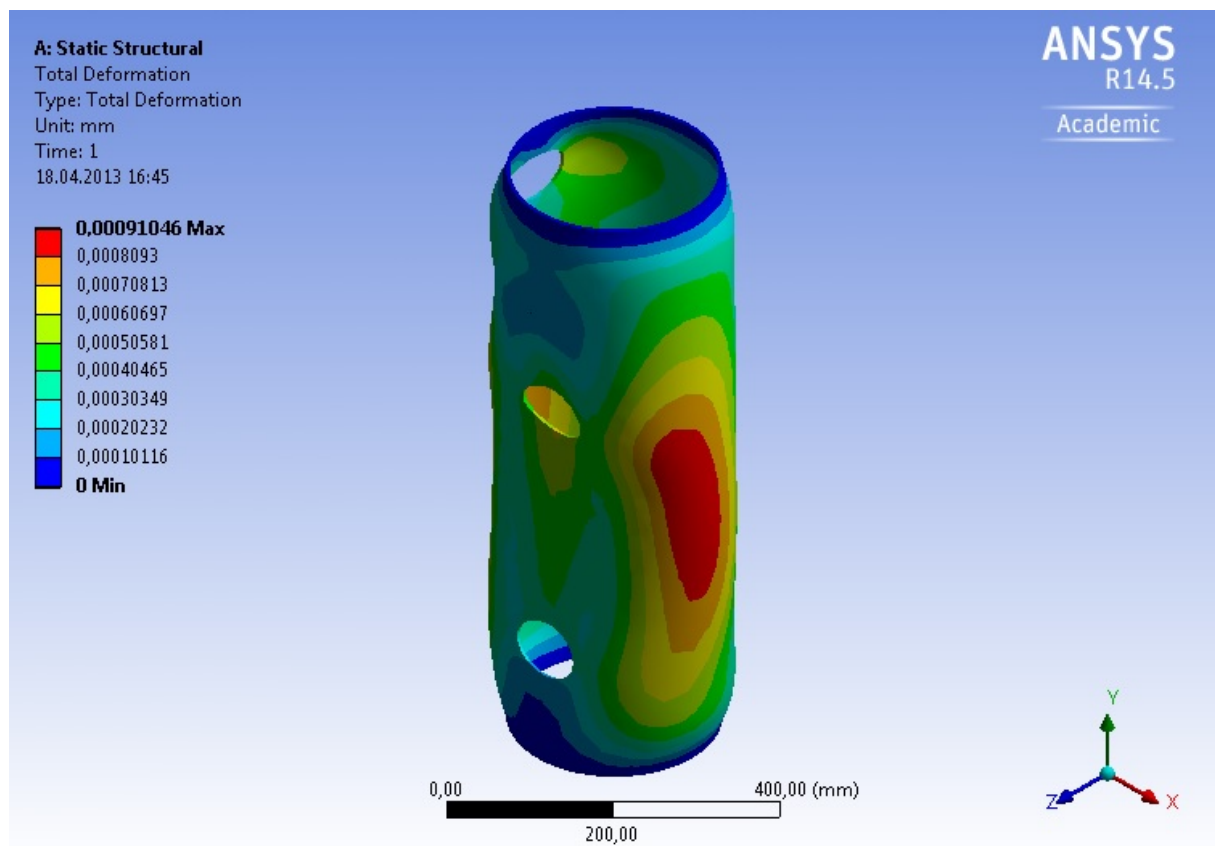
Figur 96: Jevnførende spenning i kjølekolonnens sylinder.

Tabell 27: Sammenligning med håndberegninger for kjølekolonnens sylinder.

Resultat	Håndberegning	FEM-analyse	Avvik
Jevnførende spenning	0,28 MPa	0,59 MPa	0,31 MPa

Avviket er overraskende, med tanke på at håndberegningene er utført for en sylinder med mindre veggtykkelse enn for FEM-analysen (3 mm kontra 5 mm). Avviket skyldes sannsynligvis at FEM-analysen er utført med sylinder med utskjæringer til rørstusser, og at hullkantene gir høyere spenningskonsentrasjoner.

De opptredende spenningene er svært små, og det konkluderes med at kjølekolonnens sylinder er mer enn tilstrekkelig dimensjonert.



Figur 97: Deformasjon i kjølekolonnens sylinder.

FEM-analysen viser at det hydrostatiske trykket gir neglisjerbar deformasjon i sylindren.

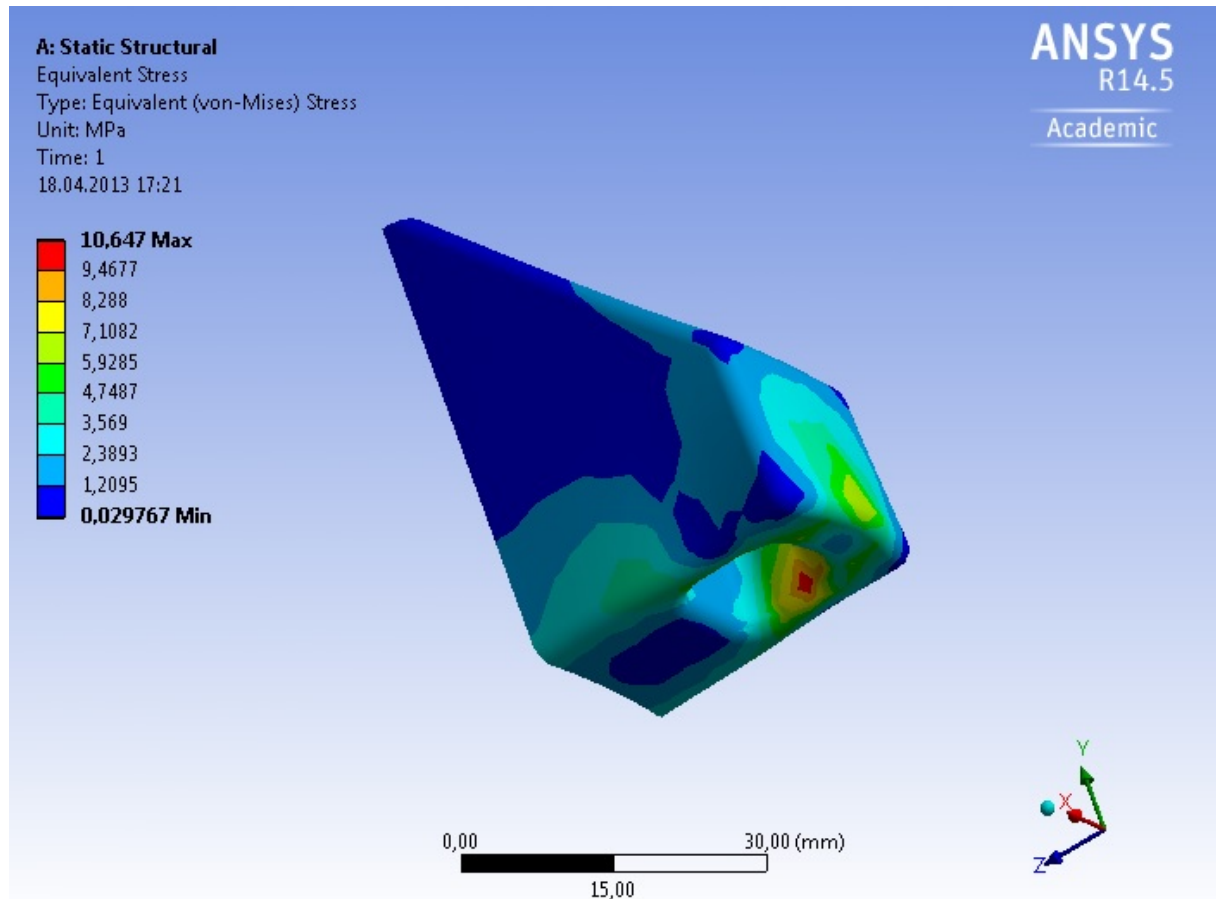
5.2.3. FEM-analyse av kjølekolonnens strekkpåkjennte opphengsbrakett

Den strekkpåkjennte festebakketten kontrolleres fordi det er mindre godstykkelse på utsiden av festepunktet enn på innsiden, og at denne bakketten dermed er dimensjonerende.

Analysen er utført i ANSYS Workbench, med angitt materiale "Aluminium Alloy" og standard mesh/elementstørrelse. Materialet har E-modul lik 69000 MPa. Bakketten betraktes som fast innspent i kontaktflaten mot sylindren.

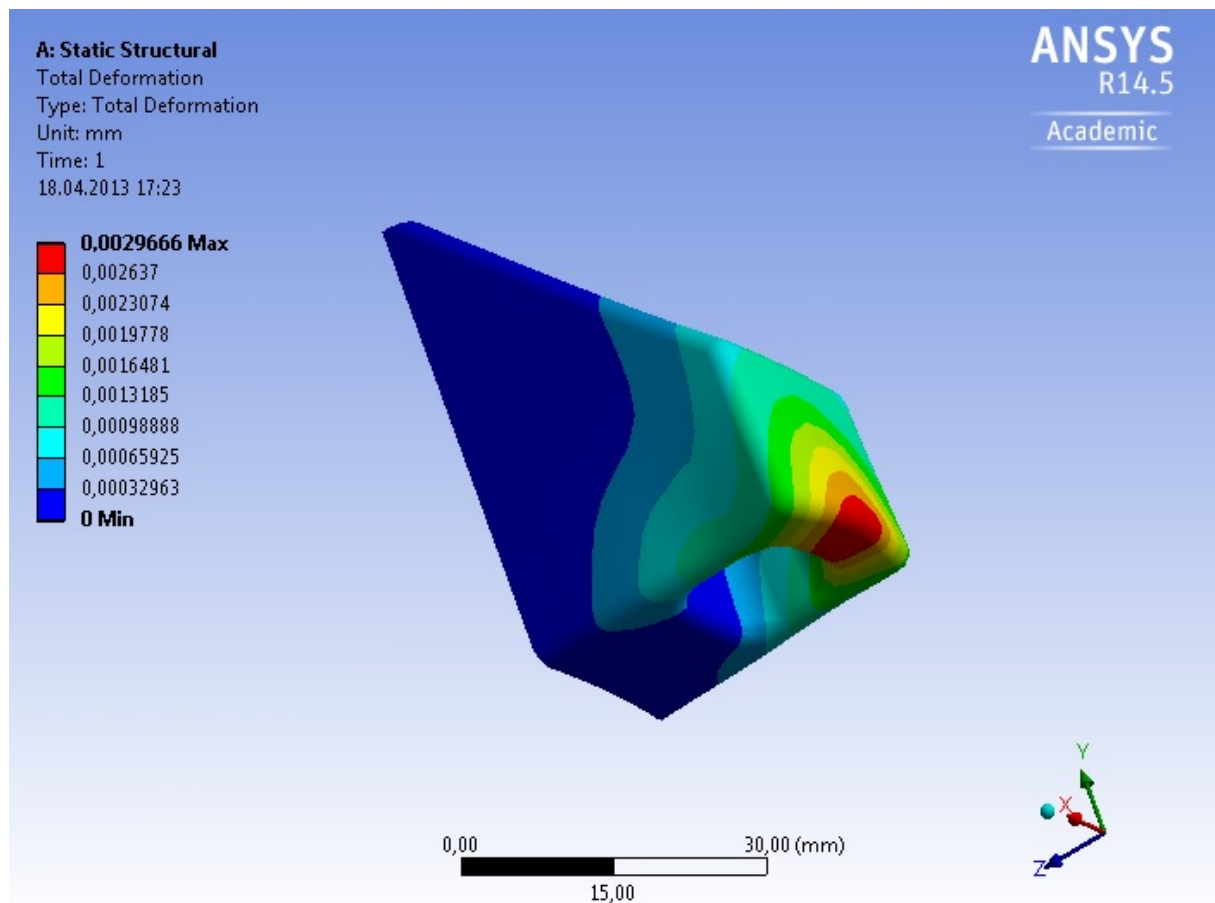
Tabell 28: Oversikt over belastninger på festebraketten.

Kraftretning	Funksjon	Verdi
Y	Trykkraft mot festepunktet forårsaket av kjølekolonnens tyngde	294,3 N
-Z	Strekraft i festepunktet forårsaket av momentet om kjølekolonnens tyngdepunkt (senter).	502,25 N



Figur 98: Jevnførende spenning i kjølekolonnens strekkutsatte opphengsbrakett.

Det er ikke utført håndberegninger for festebrakettene, men FEM-analysen viser at maks opptredende (jevnførende) spenning ikke overstiger 11 MPa. Dette er langt under materialets flytegrense, og det konkluderes dermed med at festebrakettene er tilstrekkelig dimensjonert.



Figur 99: Deformasjon i kjølekolonnens strekkutsatte opphengsbrakett.

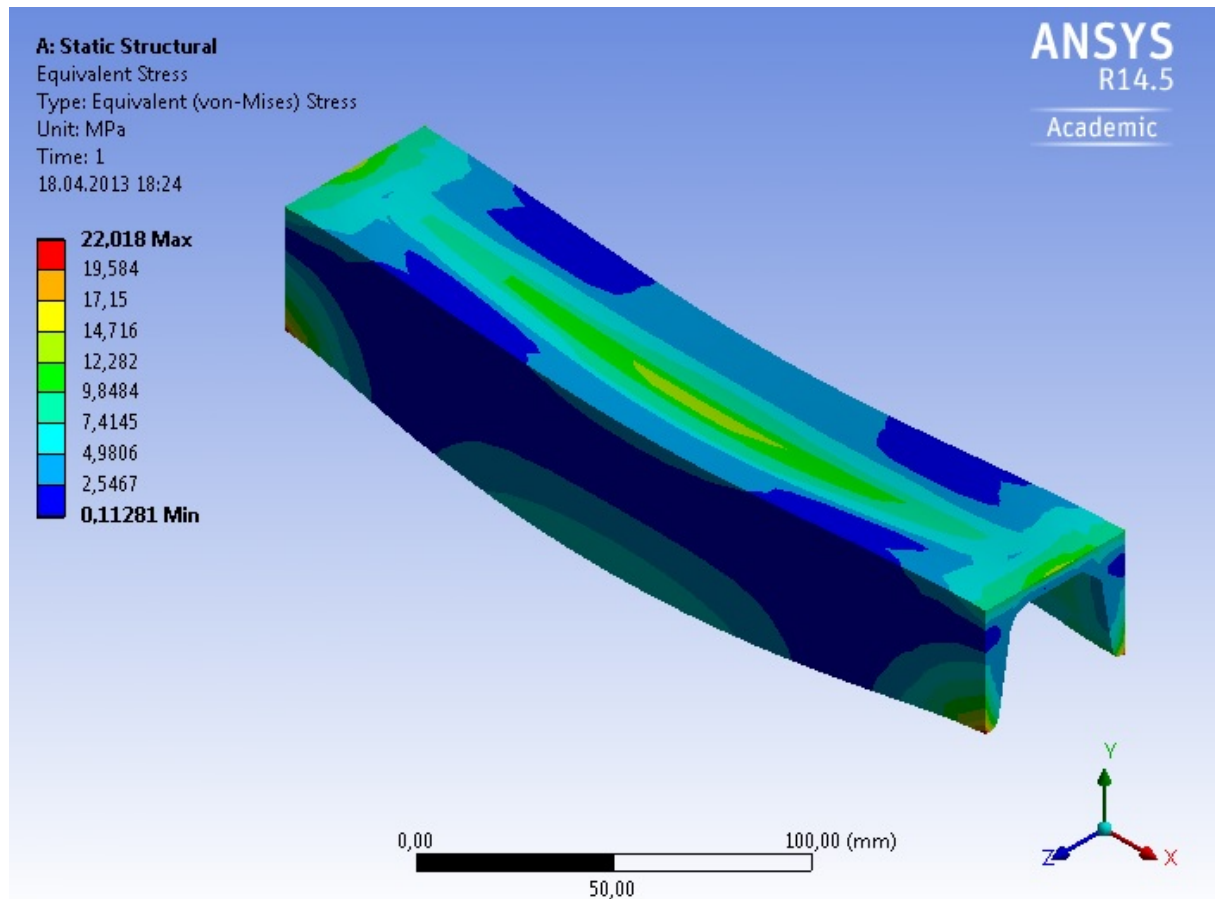
FEM-analysen viser at deformasjonen i kjølekolonnens festebrakett er neglisjerbar. Deformasjonen gir dermed ingen betydning for festebrakettene kontakt mot stativets festebraketter. Brakettene anses som trygge.

5.2.4. FEM-analyse av stativets topplate

Analysen er utført i ANSYS Workbench med angitt materiale ”Structural steel”, altså konstruksjonsstål med E-modul 210000 MPa. Mesh/elementstørrelse er standard for ANSYS Workbench. Stativkomponentene kontrolleres mot samme krefter som håndberegningene, som inkluderer en sikkerhetsfaktor mot brudd lik 4. Bjelken er opplagret i begge ender, som om den var fastmontert på stativet.

Tabell 29: Oversikt over belastninger på stativets topplate.

Kraftretning	Funksjon	Verdi
-Y	Strekraft i undersiden av UNP-profilet	2354,4 N



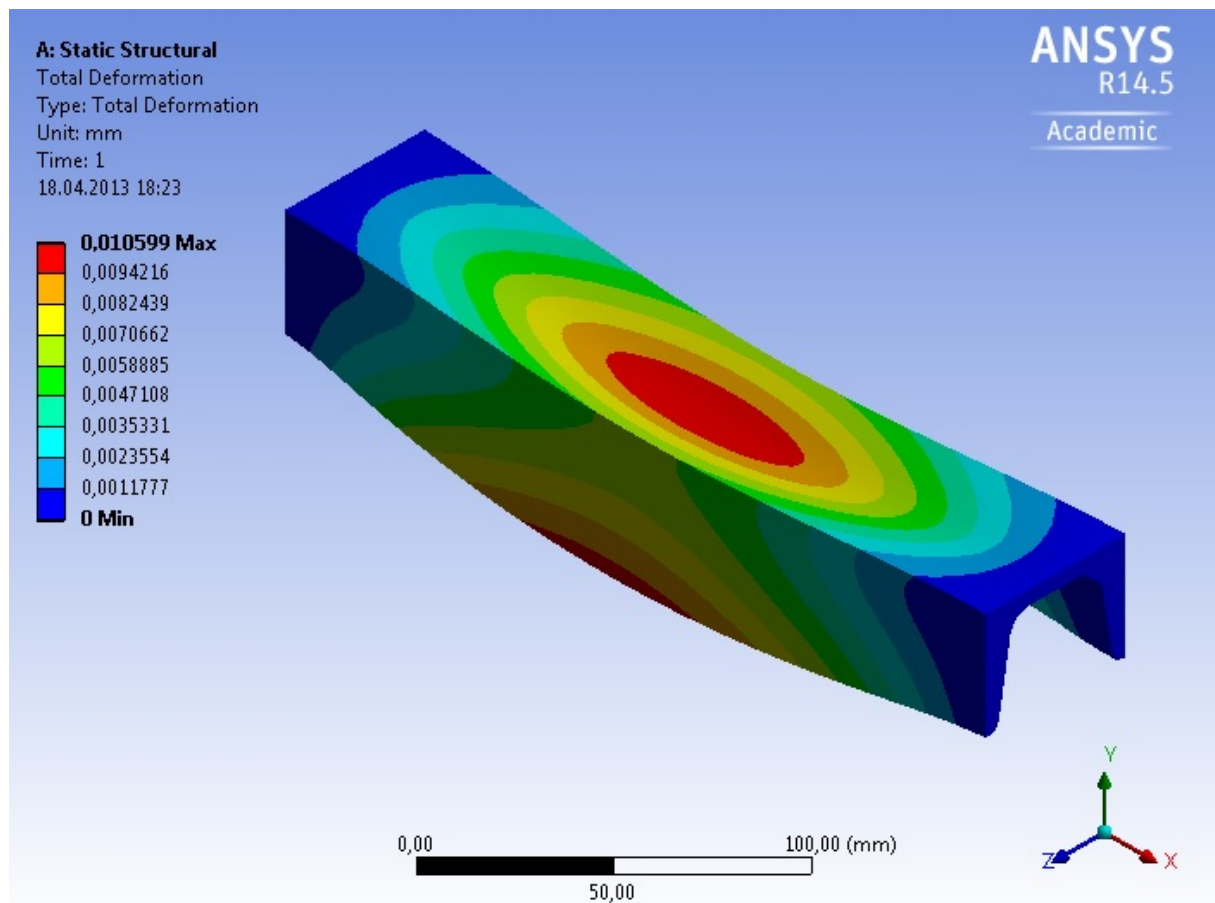
Figur 100: Jevnførende spenning i stativets topplate.

Tabell 30: Sammenligning mot håndberegninger for stativets topplate.

Resultat	Håndberegning	FEM-analyse	Avvik
Maks spenning	39,24 MPa	22 MPa	17,24 MPa

Avviket er mye større enn forventet, men kan skyldes at håndberegningen er utført for en punktlast, mens lasten i FEM-analysen er jevnt fordelt. I tillegg kan det være forskjeller i opplagring mellom beregningene.

Med stålqualität S235JRG2 er maks opptredende spenning langt under materialets flytegrense i begge tilfeller, selv med en sikkerhetsfaktor på 4.



Figur 101: Deformasjon i stativets topplate.

Tabell 31: Sammenligning mot håndberegninger for stativets topplate.

Resultat	Håndberegning	FEM-analyse	Avvik
Største nedbøyning	0,04 mm	0,01 mm	0,04 mm

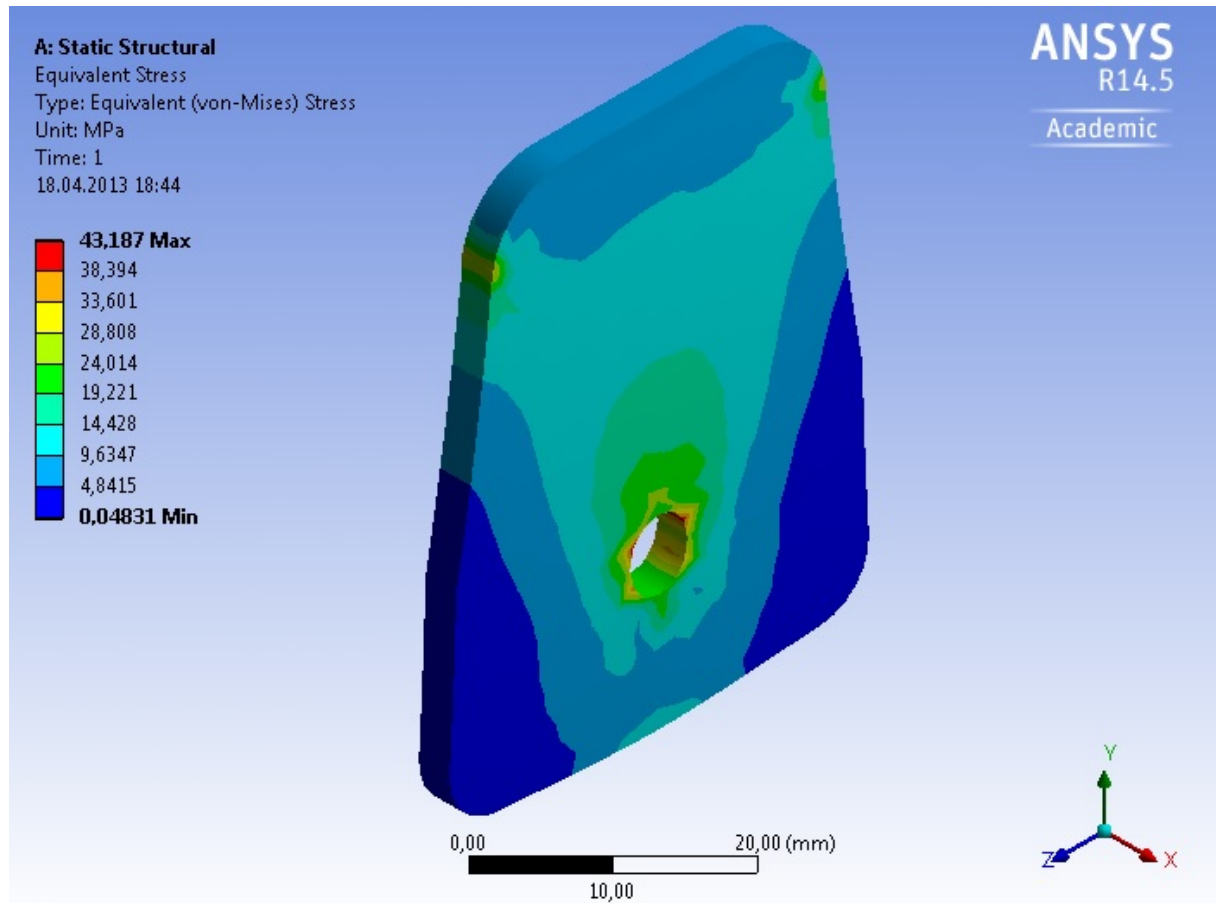
Det er et forholdsvis stort avvik i nedbøyning mellom håndberegningen og FEM-analysen. Det kan også skyldes at håndberegningen er utført for en punktlast, mens FEM-analysen benytter en jevnt fordelt last på undersiden av UNP-bjelken, i tillegg til en mulig forskjell i opplagring mellom beregningene.

5.2.5. FEM-analyse av stativets trinseoppheng

FEM-analysen er utført i ANSYS Workbench, med angitt materiale "Structural steel", som er konstruksjonsstål med E-modul lik 210000 MPa. Det benyttes samme kraft som i håndberegningene. Kraften inkluderer en sikkerhetsfaktor mot brudd lik 4. Trinseoppheget betraktes som fast innspent i toppen og i radiene øverst, og standard elementstørrelse benyttes.

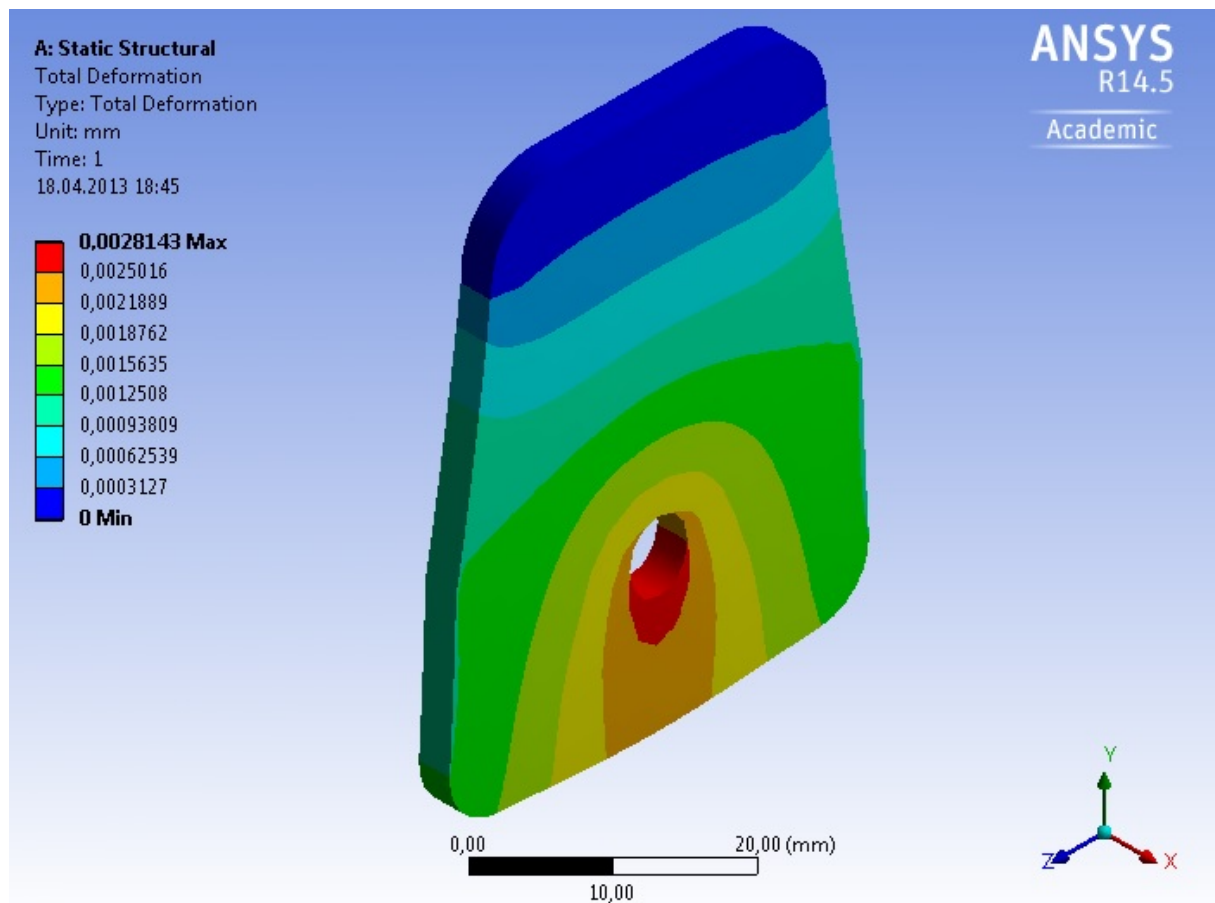
Tabell 32: Oversikt over belastninger på trinseoppheget.

Kraftretning	Funksjon	Verdi
-Y	Trykk i brakettens hullkant	1177,2 N



Figur 102: Jevnførende spenning i stativets trinseoppheng.

Maks opptrdende spenning i FEM-analysen er 43,2 MPa. Det samsvarer med håndberegningene for grunnmaterialets kapasitet, som viste at det er mye å gå på. Selv med en sikkerhetsfaktor på 4 er de opptrdende spenningene langt under materialets flytegrense når det benyttes stålqualität S235JRG2.



Figur 103: Deformasjon i stativets trinseoppheng.

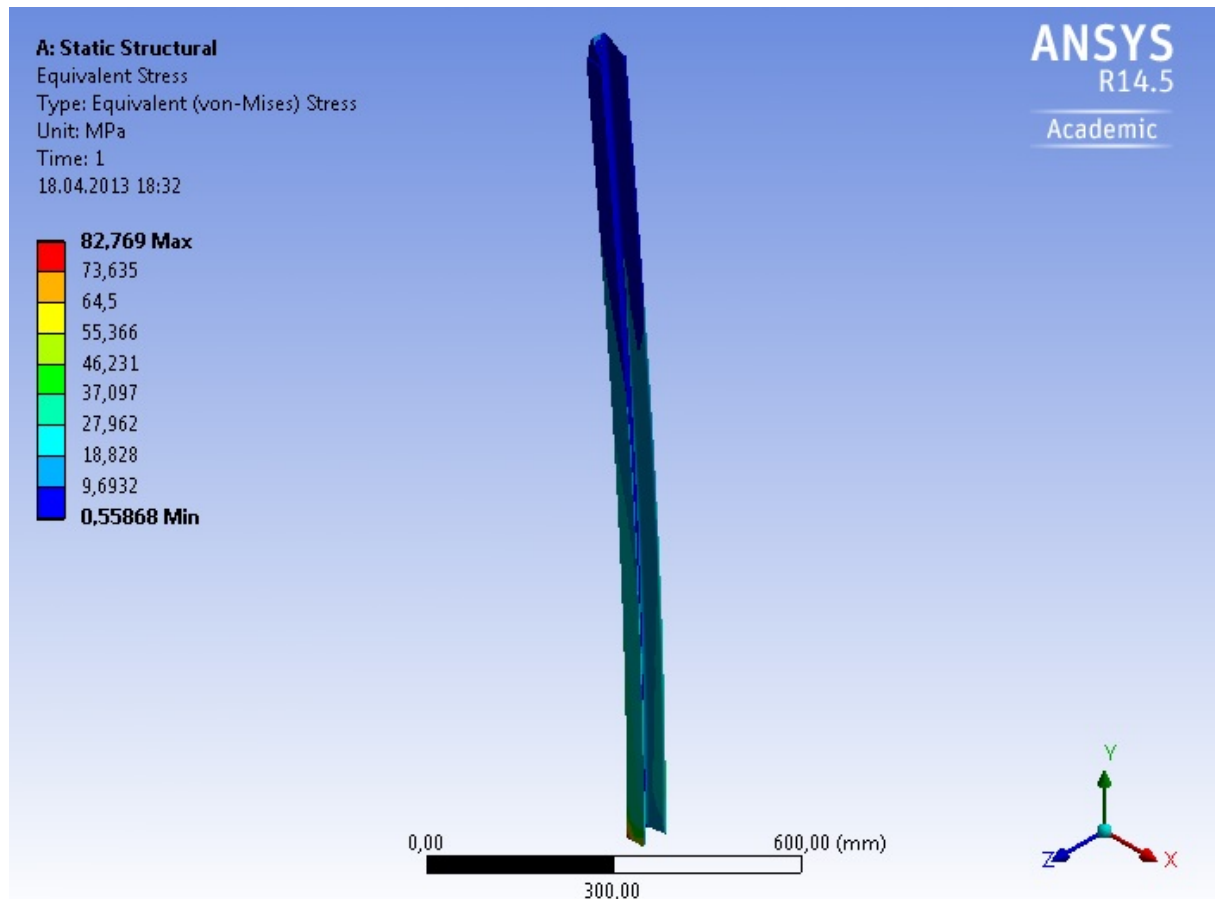
FEM-analysen viser at trinseopphengets deformasjon er uten betydning for sikkerheten og funksjonen. Det konkluderes med at trinseoppheng er tilstrekkelig dimensjonert.

5.2.6. FEM-analyse av stativets vertikale ben

Stativbena er kontrollert i ANSYS Workbench, med angitt materiale ”Structural steel”, konstruksjonsstål med E-modul lik 210000 MPa. Det benyttes samme belastninger som i håndberegningene, som er inkludert en sikkerhetsfaktor mot brudd lik 4. Bjelken betraktes som fast innspent der den sveises til stativfoten, og det benyttes standard mesh/elementstørrelse.

Tabell 33: Oversikt over belastninger på stativbenet.

Kraftretning	Funksjon	Verdi
-Y	Trykk fra stativets topplate	1177,2 N
X	Moment fra stativets løpekatt	301,25 Nm



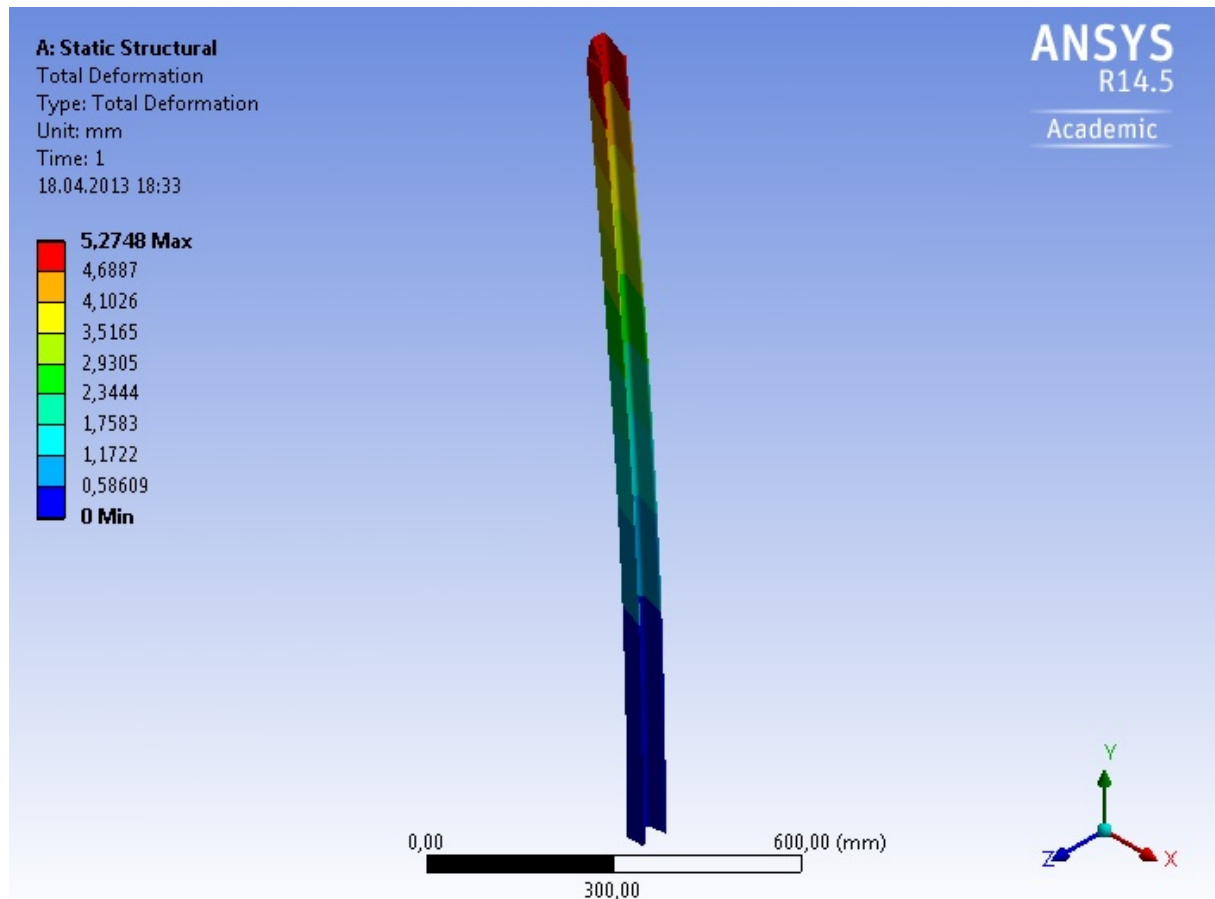
Figur 104: Jevnførende spenning i stativets vertikale ben.

Tabell 34: Sammenligning med håndberegningene for stativets vertikale ben.

Resultat	Håndberegning	FEM-analyse	Avvik
Jevnførende spenning	30,1 MPa	82,8 MPa	52,7 MPa

Det er et svært stort avvik mellom håndberegningene og FEM-analysen. Årsaken til det er at FEM-analysen er utført for et profil som er utskåret i bunn. På grunn av utskjæringen for tilpassing til det rektangulære hulprofilet opptrer maks jevnførende spenning i bunnen, der bjelken har svært lite tverrsnittsareal.

Dersom bunnen av bjelken ikke tas med i betraktningen er maks opptredende spenning i størrelsesorden 28-37 MPa, som samsvarer mye bedre med håndberegningene. Selv med svekket tverrsnittsareal er maks opptredende spenning langt under flytegrensen med stålqualität S235JRG2.



Figur 105: Deformasjon i stativets vertikale ben.

Stativbenets maksimale deformasjon er 5,3 mm når den dimensjonerende lasten benyttes.

$$\frac{y}{L} = \frac{5,3}{1600} \approx \frac{L}{300}$$

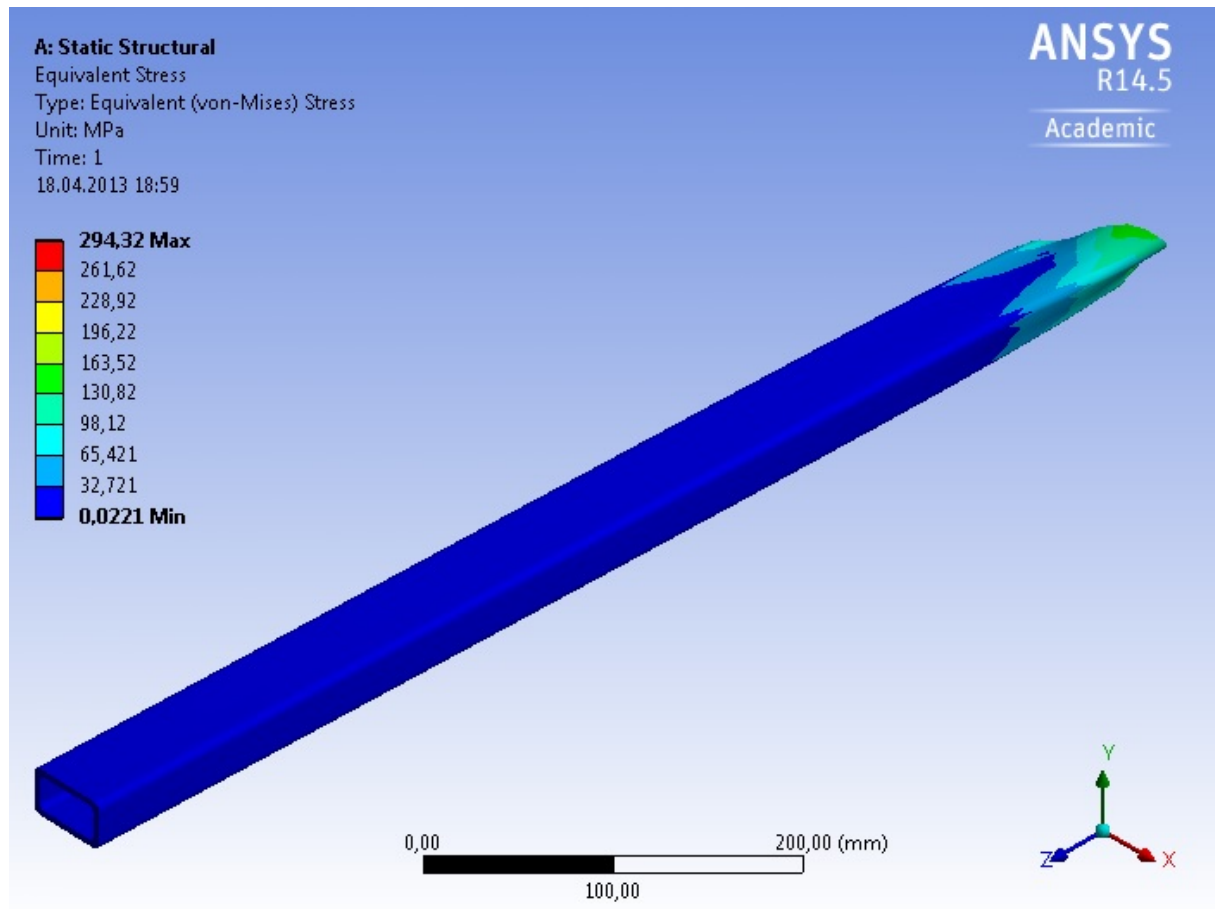
L/300 anses å være relativt liten nedbøyning, særlig tatt i betraktning at den inneholder en sikkerhetsfaktor lik 4. Det konkluderes med at stativbena er tilstrekkelig dimensjonert.

5.2.7. FEM-analyse av stativfotens fremre del

Stativfoten er kontrollert i ANSYS Workbench, med angitt materiale ”Structural steel”, konstruksjonsstål med E-modul lik 210000 MPa. Det er benyttet standard mesh/elementstørrelse. Bjelken utsettes for moment fra stativbena i sveisesnittet. Friksjonen mot underlaget antas å være tilstrekkelig til at hele undersiden av bjelken er opplagret i X, Y og Z-retning.

Tabell 35: Oversikt over belastninger på stativfoten.

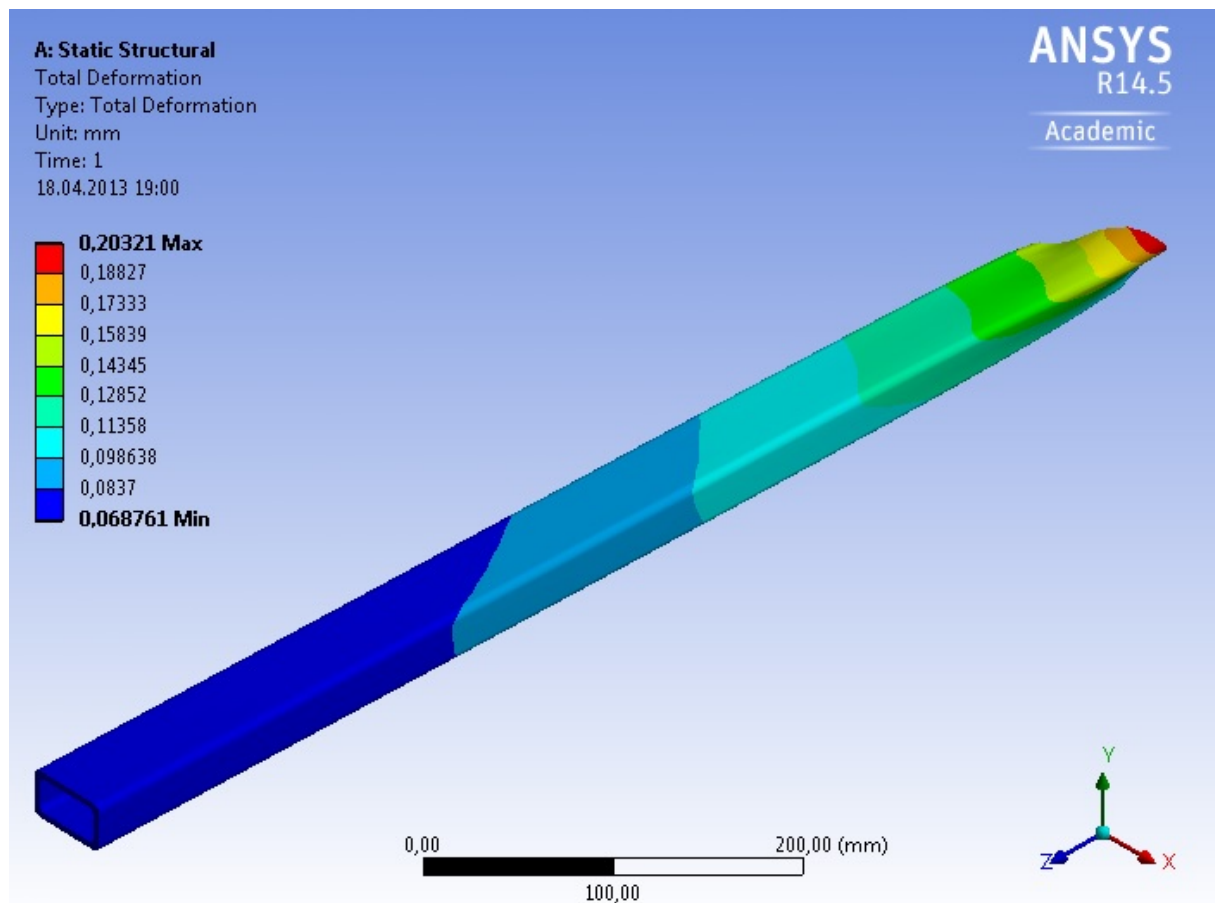
Kraftretning	Funksjon	Verdi
X	Moment i den skråkuttete snittflaten	301,35 Nm



Figur 106: Jevnførende spenning i stativfotens fremre del.

FEM-analysen viser at spenningen blir høy ytterst i snittflaten der tverrsnittet er lite, og at momentet bare påvirker området i direkte tilknytning til den skråkuttete flaten i særlig grad. Den høye spenningen gir flyt i de ytterste fibrene der tverrsnittet er minst.

Med stålqualität S235JRG2 konkluderes det med at stativfoten er tilstrekkelig dimensjonert når den skal ha en sikkerhetsfaktor mot brudd lik 4. Inkludert sikkerhetsfaktoren er det over 60 MPa å gå på før brudd inntreer, og med de reelle opptredende spenningene vil ikke flytspenningen overskrides, selv i de ytterste fibrene.



Figur 107: Deformasjon i stativfotens fremre del.

Figur 98 viser tydelig at momentet vrir det skråkuttete tverrsnittet oppover, og på samme måte som for spenningene påvirkes områdene med minst tverrsnitt i størst grad. Den maksimale deformasjonen er 0,2 mm, som antas å være liten nok til at den er uten betydning for stativets sikkerhet eller funksjon.

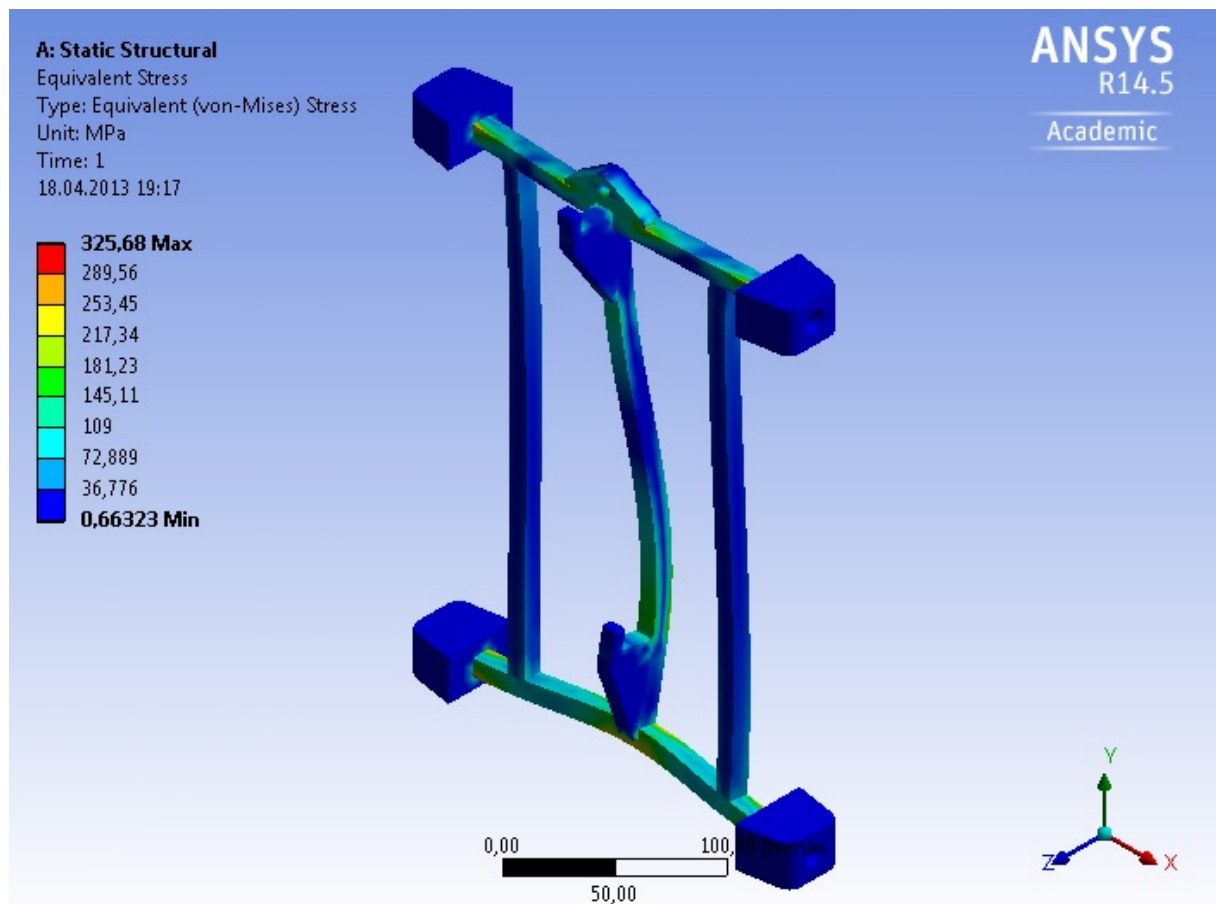
5.2.8. FEM-analyse av stativets løpekatt

Løpekatten kontrolleres i ANSYS-Workbench, med angitt materiale ”Structural steel”, konstruksjonsstål med E-modul lik 210000 MPa. Løpekatten kontrolleres for kreftene som er funnet i håndberegningene. Disse inkluderer en sikkerhetsfaktor mot brudd lik 4. Glideklossene er opplagret i X- og Z-retning.

Det er benyttet standard elementstørrelse fordi ”educational” versjonen av ANSYS Workbench har store begrensninger i antall noder, og dermed ikke klarte å kjøre finere mesh selv om det hadde vært mer hensiktsmessig for sammenstillingen.

Tabell 36: Oversikt over belastninger på løpekatten.

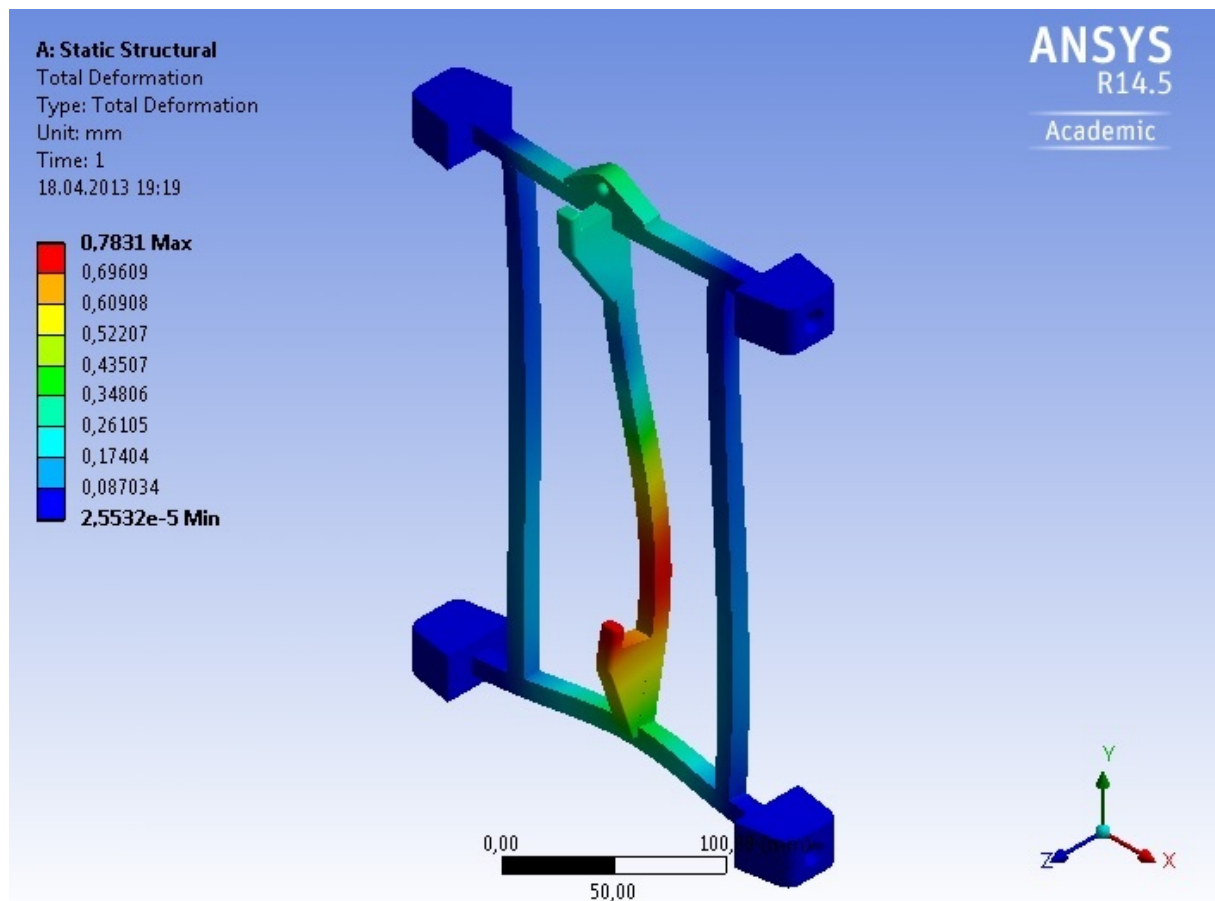
Kraftretning	Funksjon	Verdi
Y	Snordrag fra ståltauet i vaierfestets hullkant	2354,4 N
-Y	Tyngdekraft fra kjølekolonnen på øverste festepunkt	1177,2 N
-Y	Tyngdekraft fra kjølekolonnen på nederste festepunkt	1177,2 N
-Z	Strekraft fra kjølekolonnens moment på øverste festepunkt	2009 N
Z	Trykkraft fra kjølekolonnens moment på nederste festepunkt	2009 N



Figur 108: Jevnførende spenning i stativets løpekatt.

Det er ikke utført håndberegninger for løpekatten. FEM-analysen viser at løpekatten er tilstrekkelig dimensjonert for en sikkerhetsfaktor mot brudd lik 4. Strekkfastheten til konstruksjonsstål med kvalitet S235JRG2 er 360 MPa. Maks opptredende spenning er 325,7 MPa. Dermed er løpekatten omtrent 34 MPa fra brudd med nevnte sikkerhetsfaktor.

Det konkluderes med at løpekatten er tilstrekkelig dimensjonert, og at den reelle spenningen holder seg under flytspenning for nevnte stålqualität.



Figur 109: Deformasjon i stativets løpekatt.

FEM-analysen viser at maks deformasjon er omtrent 0,8 mm, og opptrer i den trykkbelastede opphengsbraketten og staget denne er festet til. Dersom de to ytterste vertikale stagenes ble flyttet lengre inn mot senter hadde de muligens gitt senterstaget og festebrakettene mer støtte. Det anses allikevel ikke som nødvendig, da en deformasjon på 0,8 mm ikke er nok til å påvirke løpekattens funksjon i nevneverdig grad.

Som for jevnførende spenninger konkluderes det med at løpekatten er tilstrekkelig dimensjonert ved bruk av konstruksjonsstål med kvalitet S235JRG2.

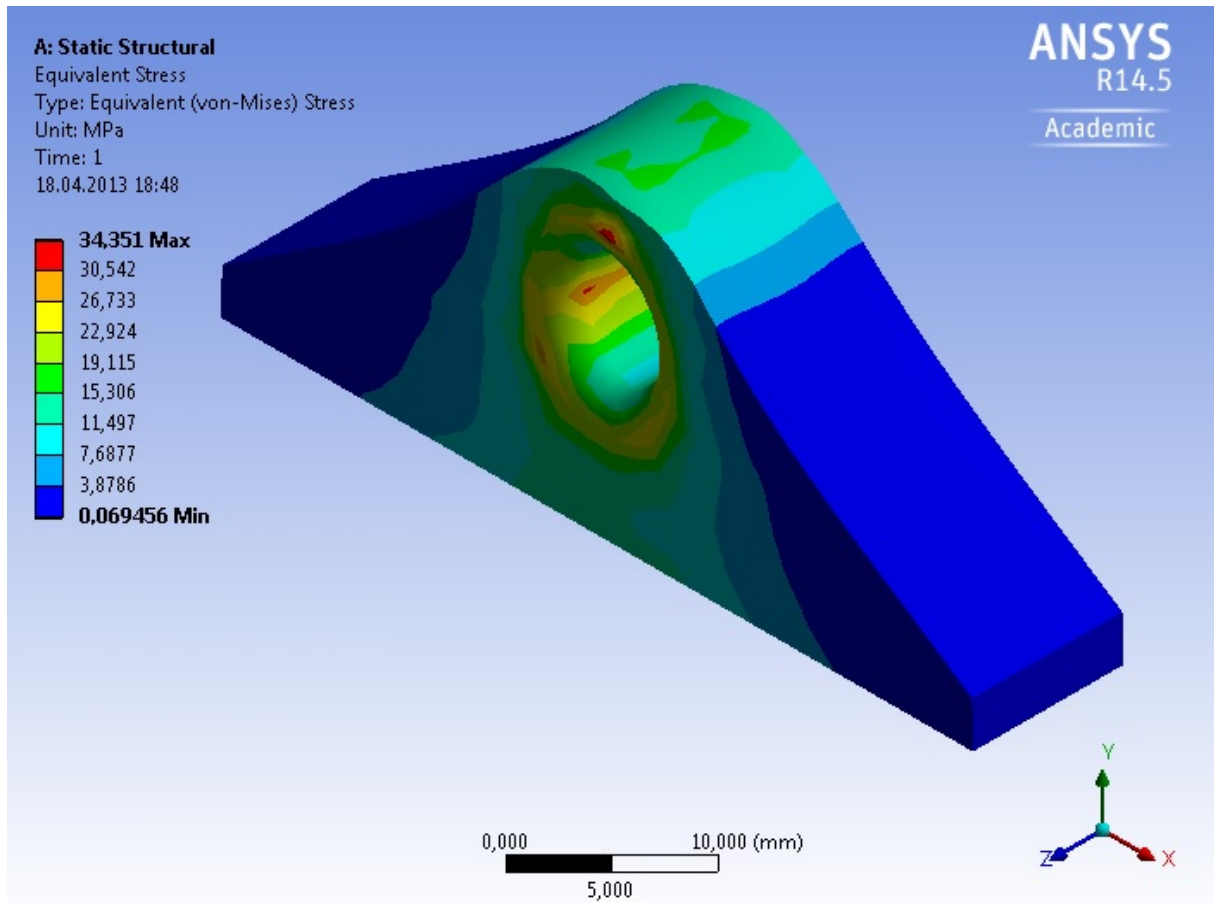
5.2.9. FEM-analyse av løpekattens vaierfeste

Løpekattens vaierfeste kontrolleres separat fra resten av løpekatten fordi denne må tåle hele påkjenningen fra snordraget som oppstår forårsaket av kjølekolonnens og løpekattens vekt, i tillegg til at braketten er relativt liten.

Analysen er utført i ANSYS Workbench med angitt materiale "Structural steel", konstruksjonsstål med E-modul 210000 MPa. Vaierfestet betraktes som fast innspent i bunnen, der festet sveises fast i løpekatten. Det er benyttet standard mesh/elementstørrelse.

Tabell 37: Oversikt over belastninger på løpekattens vaierfeste.

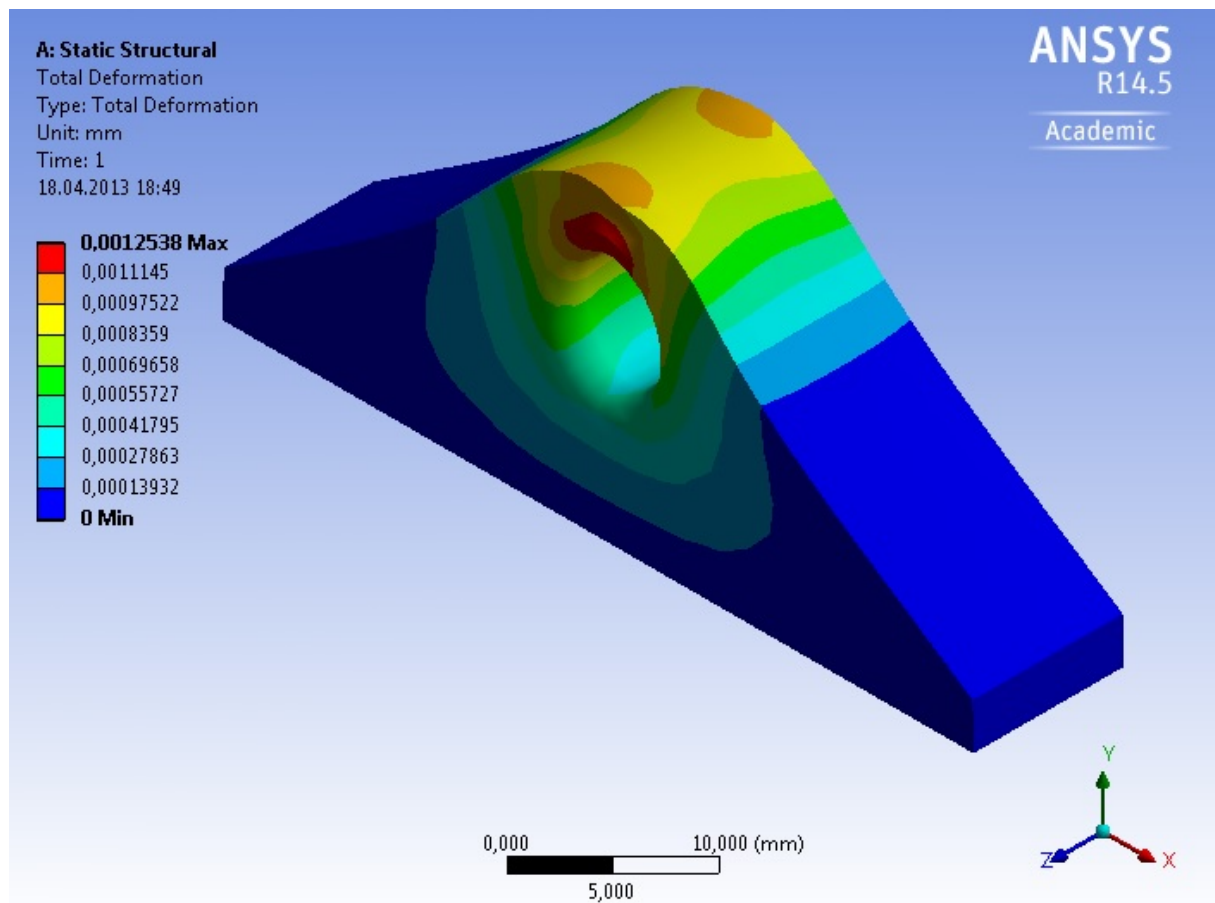
Kraftretning	Funksjon	Verdi
Y	Snordrag på vaierfestets hullkant	2354,4 N



Figur 110: Jevnførende spenning i løpekattens vaierfeste.

Maks jevnførende spenning i analysen er 34,4 MPa, som er mindre enn forventet med tanke på størrelsen til vaierfestets tverrsnitt. Maks opptredende spenning forekommer i toppen av hullkanten, og spenningene er vesentlig lavere i resten av braketten.

Det konkluderes med at vaierfestet er tilstrekkelig dimensjonert ved bruk av konstruksjonsstål med kvalitet S235JRG2.



Figur 111: Deformasjon i løpekattens vaierfeste.

FEM-analysen viser at maksimal deformasjon i vaierfestet er neglisjerbar, og opptrer i toppen av hullkanten, som forventet. Resultatet var forventet på grunn av spenningskonsentrasjonene i dette området, i tillegg til at belastning i forhold til tverrsnittsareal er størst i dette området.

5.3. Materialvalg

5.3.1. Kjølekolonne

Det er gitt i spesifikasjonene fra oppdragsgiver at kjølekolonnen skal konstrueres i aluminium. Beregninger og design har gitt at sylindere baseres på et aluminiumsrør med dimensjon 260 x 5, og at det i tillegg er behov for rørdeler med dimensjoner 80 x 5, 30 x 5 og 40 x 3. Alunor leverer alle de nødvendige dimensjonene i aluminiumskvalitet 6060 T6^[I.18].

Tabell 38: Oversikt for aluminium 6060-T6 ^[I.19].

R_m	R_e	Sveisbarhet	Bearbeidingsvennlighet	Korrosjonsbestandighet
205 MPa	165 MPa	God (MIG og TIG)	Tilstrekkelig til god	God for marine og industrielle applikasjoner

Materialdataene viser at styrkeegenskapene er mer enn tilstrekkelige i henhold til opptredende spenninger. Legeringen egner seg også til applikasjonen, da den gir god korrosjonsbeskyttelse til både marine og industrielle applikasjoner. Det velges aluminiumslegering 6060-T6 til alle kjølekolonnens komponenter.

Aluminium er lett resirkulerbart, og resirkulering av aluminium kan spare opp til 95% kostnader sammenlignet med nyutvinning ^[S.3].

5.3.2. Stativ

Det ble bestemt tidlig i designprosessen at stativet skulle konstrueres med kanalstål som rammemateriale. Da ble konstruksjonsstål det åpenbare valget med tanke på pris og tilgjengelighet. UNP-profiler blir etter EN 10 025 levert i konstruksjonsstål med kvalitet S235JRG2 eller S355J0^[S.12].

Etter dimensjonerende beregninger ble det konkludert med at stål kvalitet S235JRG2 er tilstrekkelig som konstruksjonsmateriale, og samme materiale ble valgt til alle stativets stålkomponenter. Den åpenbare fordelene med bruk av konstruksjonsstål er stålets styrke, men også sveisbarhet og duktilitet er viktige faktorer som forenkler produksjonen og gjør stativet sikkert. Det har vært fokus på bruk av standardprofiler til stativet, på grunn av prisen og tilgjengeligheten til masseproduserte profiler. Standardprofiler sparer også produksjonstid ved at det ikke er nødvendig å tilvirke egne profiler. De valgte profilene og stålplatene er tilgjengelige hos Stene Stålprodukter AS^[I.20].

Til glideklosser og trinse er det valgt å benytte polyacetal, som er en termoplast med høy styrke og slagfasthet, høyt smeltepunkt samt lav friksjonskoeffisient mot stål^[I.20]. Materialet kan bores, dreies, freses og sages, som er svært fordelaktig for de aktuelle applikasjonene. Polyacetal er også slitesterkt, som er en stor fordel for konstruksjonens holdbarhet. På grunn av materialets lave friksjonskoeffisient konkluderes det med at det ikke er nødvendig med kulelager eller separat glidelager i trinsen, da denne kun har begrenset bruk og relativt lav rotasjonshastighet.

Både stål og polyacetal er resirkulerbart. Plasten merkes ”7, POM” før resirkulering.

5.4. Bearbeiding og utforming

5.4.1. Fremstilling og montering

Kjølekolonne:



- Komponentene tilvirkes etter vedlagte arbeidstegninger.
- Sylindren kappes til riktig lengde og hullene til tilkoblingspunkter skjæres ut. Sylindren skråruttes i bunnen for å klargjøre for sveising.
- Rørstussene og tilkoblingen til flottørventilen, kjølekolonnens festebreketter/opphengsbraketter samt de fire festebrettene til lokket sveises til sylindren.
- Bunnplaten klargjøres for sveising ved at festet til tappeventilen sveises på, og eventuelle grader og skarpe kanter fjernes.
- Bunnplaten sveises til sylindren
- Filterfestet sveises til topplokket, og luftfilteret monteres.
- Alle gjenger som ville kommet i kontakt med andre metaller ved montering isoleres (elektrisk isolasjon av alle kontaktflater).
- Komponenter monteres på plass i kjølekolonnen: Flottørventilen skrues fast i festet, termostaten med pakning plasseres i termostatfestet og skrues til bunnplaten. Tappeventilen og alle slangekoblingene skrues i sine respektive tilkoblingspunkter.
- Lokket plasseres på toppen og skrues fast ved hjelp av festebrettene sveiset fast i sylindren.

Figur 112: Rendrening av kjølekolonnen.

Løpekatt:



Figur 113: Rendrening av løpekatten.

- Komponentene tilvirkes etter vedlagte konstruksjonstegninger.
- Rammen bestående av de horisontale og de vertikale stagene sveises sammen etter angitte mål.
- Løpekattens festebraketter og vaierfeste sveises til rammen etter angitte mål.
- Løpekatten grunnes og lakkeres for en slitesterk og korrosjonsbeskyttende overflate. De gjengede hullene i de horisontale stagene maskeres for at ikke dimensjonen skal forandres.
- Glideklossene skrues fast i løpekattens horisontale stag. Det kontrolleres at skruehodene er forsenket, og at det er klaring mellom kanten av glideklossen og toppen av skruehodet.

Stativ:



Figur 114: Rendring av stativet. CAD-modellen er ikke påført ståltau.

- Komponentene tilvirkes etter vedlagte konstruksjonstegninger.
- UNP-profilene kappes til emner for topplaten og stativbena, og eventuelle grader og skarpe kanter slipes bort.
- Stativbena produseres etter vedlagte konstruksjonstegninger.
- De rektangulære hulprofilene kappes til emner for stativfoten, og skråkuttet etter vedlagte konstruksjonstegninger.
- Delene til stativfoten sveises sammen, og lokkene sveises på stativfoten.
- Stativbena sveises til stativfoten etter målsatte tegninger, og bakplaten sveises til bena i angitt høyde.
- Trinseopphenget og festeplatene sveises til topplokket etter angitte mål.
- Stativrammen og topplokket grunnes og lakkeres for en korrosjonsbeskyttende og slitesterk overflate. Alle skruehull maskeres for å unngå at disse blir for trange på grunn av lakk.
- Løpekatten føres ned i stativrammen fra toppen. Kontroller passformen, og at løpekatten glir fritt i rammen.
- Trinsen monteres i trinseopphenget ved hjelp av en skive på hver side, bolt og låsemutter. Det er viktig å ikke stramme låsemutteren for hardt.
- Kontroller at trinsen roterer fritt om opphengsbolten, og at den er sentrert i opphenget.
- Topplaten monteres på stativrammen ved hjelp av to bolter med låsemutter på hver side. Kontroller at topplaten har god passform mot stativbena, og at den er sentrert.
- Vinsjen monteres på bakplaten ved hjelp av tre bolter med låsemutter som tres gjennom fra baksiden og ut. Ståltauet føres fra vinsjen gjennom trinsen og festes i løpekattens vaierfeste.

5.4.2. Overflatebehandling og korrosjonsbeskyttelse

Kjølekolonne:

For kjølekolonnen er galvanisk korrosjon en bekymring, da kjølekolonnens aluminium vil være i kontakt med andre metaller. Ved metallisk kontakt og kontakt med en elektrolytt vil spenningsforskjellen mellom metallene gjøre at aluminiumet korroderer. Rent vann er i utgangspunktet ikke elektrisk ledende, men inneholder ofte elektrisk ledende partikler som gjør vannet til en svak elektrolytt. Dermed er galvanisk korrosjon en mulighet som må tas på alvor.

Dersom alle kontaktflater mellom ulike metaller isoleres fra hverandre brytes den metalliske kontakten, og hindrer galvanisk korrosjon. Det anbefales å benytte gjengetape både for å tette forbindelsen, og for å få en så liten kontaktflate mellom metallene som mulig. Gjengetape er PTFE (Teflon), som har god elektrisk isolasjonsevne.

Ulempen med å stole på elektrisk isolasjon er konsekvensene dersom isolasjonen brytes, selv i bare ett punkt. For å finne spenningsforskjellene mellom de ulike materialene må den galvaniske spenningsrekken studeres nærmere. Det antas at rekkefølgen i den galvaniske spenningsrekken i sjøvann også stemmer for ferskvann:

Tabell 39: Utdrag fra den galvaniske spenningsrekken for sjøvann ^[1,22]. Relevante metaller for prosjektet. Edlest til mest uedle fra toppen.

Metall	Egenspenning (V)
Syrefast stål (AISI 316)	-0,05
Stål	-0,6
Aluminium	-0,78 til -1,0
Sink	-1,05
Magnesium	-1,65

Mellom aluminium og syrefast stål er det en spenningsforskjell på opp til 0,95 V. Det betyr at i teorien vil det minst edle metallet (i dette tilfellet aluminium) korrodere. Til tross for spenningsforskjellene er aluminium og syrefast stål kjent for å fungere godt sammen, og etter råd fra Bjørn Brenna på verkstedet ved UMB antas det at disse materialene ikke bør by på problemer.

Dersom det ønskes større sikkerhet kan det monteres offeranoder av et mindre edelt materiale, som vil ”ta støyten” isteden. Sink har en egenspenning så nært aluminium at det kan være usikkert. Det anbefales derfor å benytte offeranoder av magnesium, i form av magnesiumbolter som skrues til aluminiumskonstruksjonen. Da anbefales det å benytte innsiden av sylindere, på et punkt som er i kontakt med elektrolytten. Dersom det kan unngås er det ønskelig å ikke montere offeranoder ettersom magnesium er et dyrt materiale.

For å forbedre korrosjonsbeskyttelsen ytterligere kan kjølekolonnen elokseres. Det anses som upraktisk, da eloksering/anodisering er en dyr prosess.

Stativ:

Konstruksjonsstål er ikke spesielt korrosjonsbestandig, og bør behandles for å unngå korrosjon da stativet vil bli brukt i et fuktig miljø. Til korrosjonsbeskyttelse av stativet anbefales det å lakkere det med en hard og slitesterk overflate. Pulverlakk er å foretrekke. Lakken kombinerer slitestyrke og korrosjonsbeskyttelse med et visuelt løft.

Stativet bør lakkere i en lett synlig farge som knallrødt eller gult. Eventuelt kan det lakkere i samme farge som testbenken for å gi et godt visuelt helhetsinntrykk.

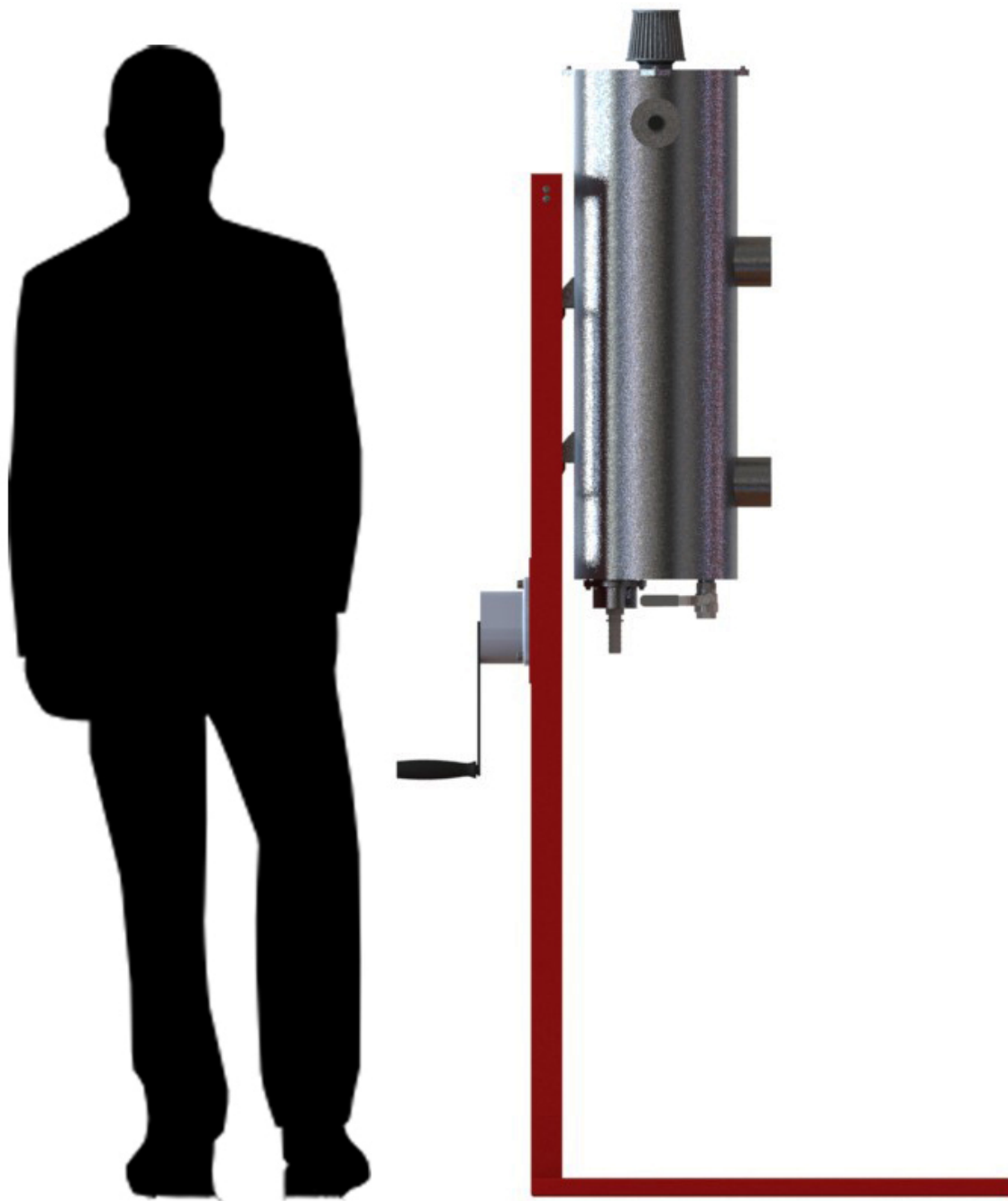
For å unngå at stålet kommer i kontakt med aluminium må det kontrolleres at lakken på opphengsbrakettene har tilstrekkelig tykkelse til å være slitesterkt i opphengspunktene. Eventuelt kan det benyttes mellomlegg av gummi eller andre elektrisk isolerende materialer.

6. PRESENTASJON AV LØSNING

6.1. Visualisering



Figur 115: Rendrening av kjølekolonnen på lakkert stativ, sett forfra.



Figur 116: Sammenstillingens høyde sammenlignet med en voksen mann på 180 cm. [1,23]. Figuren viser også at vinsjen er montert omtrent i hoftehøyde, noe som burde tilrettelegge for komfortabel operasjon av høydejusteringen. Med hjul vil stativet bli enda høyere.



Figur 117: Rendring av hele sammenstillingen. Figuren viser tydelig alle kjølekolonnens tilkoblingspunkter.



Figur 118: Kjølekolonnen er gjort gjennomsiktig for å få oversikt over komponenter på innsiden av sylindren. Flottørventilen vises tydelig i toppen. I bunnen vises det tydelig hvordan den temperatursensitive enden av termostaten stikker opp i sylindren.

6.2. Material- og produksjonskostnader

Kostnadsestimatene er utarbeidet i samarbeid med Bjørn Brenna på verkstedet ved UMB. Festemateriell er ikke tatt med i betraktningen, da dette ikke utgjør en merkbar del av totalkostnaden, og at usikkerheten i estimatet i utgangspunktet er så stort at det ikke vil utgjøre noen forskjell. Der tiden er merket med ”+”, betyr det tid for første eksemplar og neste eksemplar. Tiden blir spart på grunn av mindre tid til innspenning og lignende.

1. MATERIAL- OG TILVIRKNINGSKOSTNADER						
Aluminiumskomponenter						
Komponent	Vekt (kg)	Pris	Timesats tilvirkning	Tid (timer)	Antall (stk)	Sum (kr)
Sylinder	8.87	80 kr/kg	650 kr/t	2	1	2009.6
Bunnplate	0.75	80 kr/kg	650 kr/t	4	1	2660
Lokk	0.8	80 kr/kg	650 kr/t	4	1	2664
Ventilfeste ring	0.033	80 kr/kg	650 kr/t	1,5	1	977.6
Ventilfeste plate	0.071	80 kr/kg	650 kr/t	1,5	1	980.6
Rørstusser	0.2	80 kr/kg	650 kr/t	4+1	2	3282
Termostatfeste	0.95	80 kr/kg	650 kr/t	5	1	726
Festebraketter lokk	0.01	80 kr/kg	650 kr/t	1	4	2603.2
Opphengsbraketter	0.11	80 kr/kg	650 kr/t	3+2	2	3267.6
Feste til tappeventil	0.016	80 kr/kg	650 kr/t	1	1	651.3
Stålkomponenter						
Komponent	Vekt (kg)	Pris	Timesats tilvirkning	Tid (timer)	Antall (stk)	Sum (kr)
Ben	9.22	22 kr/kg	650 kr/t	2,5	2	3655.7
Fot bak	3.46	22 kr/kg	650 kr/t	0,5	1	401.1
Fot front	3.29	22 kr/kg	650 kr/t	0,5	2	397.4
Topplate	1.44	22 kr/kg	650 kr/t	0,5	1	356.7
Festebraketter til topplaten	0.024	22 kr/kg	650 kr/t	0,5	2	651
Trinseoppheng	0.054	22 kr/kg	650 kr/t	0,5	2	652.4
Lokk til stativfoten	0.036	22 kr/kg	650 kr/t	0,5	2	651.6
Bakplate	1.2	22 kr/kg	650 kr/t	0,5	1	351.4
Horisontale stag til løpekatten	0.14	22 kr/kg	650 kr/t	1	2	1306.2
Vertikale stag til løpekatten	0.22	22 kr/kg	650 kr/t	0,5	3	989.5
Vaierfeste	0.12	22 kr/kg	650 kr/t	1	1	652.6
Opphengsbraketter	0.19	22 kr/kg	650 kr/t	1	2	1308.4
Komponenter av polyacetal						
Komponent	Vekt (kg)	Pris	Timesats tilvirkning	Tid (timer)	Antall (stk)	Sum (kr)
Trinse	0.012	100 kr/kg	650 kr/t	0,5	1	326.2
Glideklosser	0.042	100 kr/kg	650 kr/t	2	4	5216.8

Komponenter som kjøpes inn						
Komponent	Vekt (kg)	Pris	Timesats tilvirkning	Tid (timer)	Antall (stk)	Sum (kr)
Flottørventil	-	300 kr	-	-	1	300
Termostat og pakning	-	300 kr	-	-	1	300
Slangekobling 2 1/2"	-	470 kr	-	-	2	940
Slangekobling 3/4"	-	98 kr	-	-	3	294
Luftfilter	-	119 kr	-	-	1	119
Håndvinsj	-	1200 kr	-	-	1	1200
Kuleventil	-	200 kr	-	-	1	200

Delsum material- og tilvirkningskostnader **Nkr40,091.90**

2. MONTERING				
Montering av delsammenstillinger				
Del	Kostnad	Tid (timer)	Prosesser	Sum (kr)
Kjølekolonnens lokk	650 kr/t	0,5	Sveising	325
Feste til flottørventil	650 kr/t	0,5	Sveising	325
Løpekatt	650 kr/t	3	Sveising og skrueforbindelser	1950
Stativets topplate	650 kr/t	1	Sveising og skrueforbindelse	650
Montering av hovedelementer				
Del	Kostnad	Tid (timer)	Prosesser	Sum (kr)
Kjølekolonne	650 kr/t	5	Sveising, skrueforbindelser og montering av innkjøpte komponenter	3250
Stativ	650 kr/t	3	Sveising, skrueforbindelser og montering av innkjøpte komponenter	1950

Delsum montering **Nkr8,450.00**

3. OVERFLATEBEHANDLING			
Prosess	Kostnad	Tid (timer)	Sum (kr)
Lakkering av stativet	600 kr/t	4	2400

Delsum overflatebehandling **Nkr2,400.00**

4. TOTALE KOSTNADER	
1. MATERIAL- OG TILVIRKNINGSKOSTNADER	Nkr 40091.90
2. MONTERING	Nkr 8450.00
3. OVERFLATEBEHANDLING	Nkr 2400.00
TOTALKOSTNAD PRODUKT	Nkr 50941.90

6.3. Bruksanvisning

Forberedelser:

Før bruk bør motorens kjølesystem renses for å fjerne urenheter og rester av kjemikalier. Motoren kan inneholde rester av blant annet glykol, som benyttes for å frostsikre kjølevæsken. Når motoren er spylt gjennom vil det kun sirkulere rent vann i kjølekolonnen, og avløpsvannet kan slippes ut i sluket.

Oppkobling:

Ved oppkobling må det monteres slangekoblinger med samme størrelse som tilkoblingspunktene på motoren, før riktig slange monteres med slangeklemmer. Kjølevannsslangen fra motoren monteres øverst på kjølekolonnen, og til motoren nederst. En avløpslange monteres på slangekoblingen til utløpet, og føres til nærmeste avløp. Vannslangen fra kranen monteres på flottørventilen. Dersom tappeventilen skal klargjøres på forhånd monteres det slangekobling og avløpslange på denne.

Stativet justeres slik at inn- og utløpet til kjølekolonnen er plassert høyere enn tilsvarende tilkoblingspunkter på motoren. Sørg for at stativets hjul låses slik at vibrasjoner ikke får stativet til å bevege seg. Demonter sveiven fra stativets håndvinsj, for sikkerhet om at ingen kan komme borti og justere høyden uten vilje.

Bruk:

Etter oppkobling kontrolleres det at tappeventilen er stengt, og vannkranen skrues på. Kjølekolonnen fylles automatisk, på omtrent ett minutt (45 liter med 0,7 l/s). Når flottørventilen stenger for vanntilførselen er systemet fylt opp og klart til bruk. Vannkranen stenges ikke.

Motoren startes opp, og kjøres rolig for en oppvarmingsperiode. Motoren bør ikke belastes kraftig eller kjøres på svært høye turtall før væsketemperaturen nærmer seg driftstemperatur. Rusing med litt turtall anbefales for å redusere oppvarmingstiden. Når kjølevæsken er varm kan motoren kjøres med full effekt.

Etter bruk:

La systemet kjøle seg ned en stund etter bruk, slik at ingen kan brenne seg på kjølekolonnen. Påse at det er koblet en avløpslange til tappeventilen, og at vannkranen stenges. Stativet kan med fordel justeres slik at kjølekolonnen er plassert så langt ned som mulig, slik at slangene også tømmes. Kuleventilen åpnes, og væskevolumet tømmes på omtrent et minutt.

Når systemet er tomt kan tappeventilen stenges og slangene kobles fra, og stativet med kjølekolonne kan lagres der det er mest hensiktsmessig.

6.4. Forbedringer

Under forbedringer omtales mangler eller ideer til forbedringer i oppgaven.

- Under dimensjoneringen av stativbena er det ikke tatt hensyn til snordraget som virker på bakplaten fra vinsjen. Denne kraften kan gi større moment om stativbena, og hadde vært fordelaktig å kontrollere effekten av. Da stativbena er dimensjonert med mer enn tilstrekkelig sikkerhet antas det at dette ikke påvirker resultatet i noen grad.
- Etter anbefaling fra Bjørn Brenna på verkstedet ved UMB bør festet til flottørventilen produseres fra ett stykke aluminium, for å spare kostnader og produksjonstid. Dette utbedres i de endelige konstruksjonstegningene, men blir stående som forbedring for resten av oppgaven.
- Etter anbefaling fra Bjørn Brenna bør hullet i kjølekolonnens lokk utvides slik at luftfilterfestet kan sveises fra undersiden. Dette for å unngå at lokket bøyer seg opp fra kjølekolonnen på grunn av egespenninger. Luftfilterfestet forlenges og lokket utbedres i de endelige konstruksjonstegningene.
- Det er ikke utført sveiseberegninger for stativfoten. Det er antatt at disse holder ut fra opptredende krefter og lengden på sveisesømmene sammenlignet med andre sveiser i konstruksjonen. Disse bør kontrolleres for sikkerhets skyld. Av de årsaker som er gitt antas det at sveisene ikke byr på problemer.
- Det er ikke tatt hensyn til punktlastene på stativfoten forårsaket av hjulene. Stativfoten bør kontrolleres statisk med denne forutsetningen.
- Det er ikke vurdert mindre bjelkeprofiler til stativet fordi de minste UNP-profilene i tabellen som er benyttet er valgt. Designet kan optimaliseres med mindre bjelkeprofiler, som dermed sparer vekt og materialkostnader.
- Det bør utføres sveiseberegninger for løpekatten, vaierfestet og opphengsbrakettene til stativet, for å kontrollere at disse tåler belastningene som kan forekomme.
- Det er ikke utført FEM-analyse som studerer hvordan opplagerkreftene i opphengsbrakettene påvirker kjølekolonnens sylindere, og dermed øker de opptredende spenningene. Da de opptredende spenningene i sylindere er svært små antas dette å ikke være noe problem.
- Det bør gjøres sveiseberegninger for kjølekolonnens opphengsbraketter og bunnplate for å sikre at disse er dimensjonert for å tåle de belastninger som opptrer.
- Den økonomiske analysen kan forbedres ved å finne pris på hjul og festehylser og inkludere disse for å finne en mer nøyaktig total kostnad.
- Det anbefales å forbedre FEM-analysene ved hjelp av finere mesh for å få et mer detaljert bilde av spenningskonsentrasjonene.
- Det bør legges til stoppklosser øverst og nederst i stativbena for å stoppe løpekatten.

7. KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

7.1. Konklusjon

I dette prosjektet har det blitt designet en kjølekolonne av aluminium, og et høydejusterbart stativ med stål som konstruksjonsmateriale. Disse er designet for bruk i laboratoriet for maskin- og kjøretøydynamikk ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskap. Kjølekolonnen er designet for å regulere kjølevæsketemperaturer til forbrenningsmotorer med en effekt på opp til 130 kW, og har et væskevolum på 30 liter. Stativet er designet for å justere høyden til kjølekolonnen opp til en meter over bakkenivå, og er dimensjonert med en sikkerhetsfaktor mot brudd lik 4.

For å unngå korrosjon er det lagt vekt på valg av riktige materialkombinasjoner og overflatebehandlinger. Totalkostnaden for kjølekolonnen og stativet er estimert til å bli i overkant av 50 000 kroner for en prototype, dersom det ikke tas hensyn til utviklingskostnader.

7.2. Anbefalinger

- Kjølekolonnen og stativet er utviklet i henhold til de spesifikasjoner som er gitt i oppgaven og av oppdragsgiver/veileder. Utforming og produksjonsmetoder er diskutert og fastsatt i samråd med verkstedet ved UMB.
- Kjølekolonnen har færrest mulig tilkoblingspunkter og benytter vann fra kranen som kjølemedium. Avløpsvannet kan slippes ut i sluket.
- Stativet tillater enkel og sikker justering, og kompakt lagring. Stativet har ingen tilkoblingspunkter.
- Både kjølekolonnen og stativet er utformet på en måte som gjør det enkelt å komme til for eventuelt vedlikehold eller reparasjoner.
- Viktige elementer og sammenføyninger i konstruksjonene er kontrollert med både beregninger og FEM-analyse.

7.3. Videre arbeid

- Boltsirkelen i kjølekolonnens termostatfeste må optimaliseres, og nødvendig forspenningsmoment for vanntett montering må bestemmes.
- Løpekattens sveiseforbindelser må kontrolleres statisk for sikkerhet om at de er tilstrekkelig dimensjonert i henhold til gitte kravspesifikasjoner.
- Det må velges egnede slanger til kjølekolonnens inn- og utløp, pluss kjølevannsslanger til og fra motor.
- Stativfoten må designes ferdig. Med ferdig menes det at hull til fester for hjul må inkluderes i designet.
- Laboratoriets vanntilførsel må prosjekteres og et egnet veggarmatur må velges for å gi tilstrekkelig vannmengde til kjølekolonnen.
- Legge til nivåglass eller lignende for å måle vannivå i kjølekolonnen, og legge til termometer for å gjøre det mulig å overvåke kjølevæsketemperaturen. Det anbefales å legge til to termometere: Ett ved innløpet, som måler kjølevæsketemperaturen fra motoren, og ett ved utløpet som måler kjølevæsketemperaturen til motoren.
- Bygge en prototype og teste funksjonen. Praktisk testing er avgjørende for å vite om det trengs modifiseringer eller videre utvikling før produktet kan anses som ferdig.

8. LITTERATURREFERANSER

8.1. Skriftlige kilder

- S.1. **Lundby, Leif**, Forbrenningsmotorer III. Kjøretøymotorer, 2. utgave, 1978, Universitetsforlaget, ISBN: 82-00-25381-3.
- S.2. **Pöyhönen, E., Rantala, J.**, Tidens bilfagserie, Motorer, 1. utgave og 2. opplag, 1983, Norsk utgave Tiden Norsk Forlag, ISBN: 82-10-02459-0.
- S.3. **Bøe, Jan Kåre**, TIP 300: Konsept- og produktrealisering, 2011, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap: Institutt for Matematiske realfag og Teknologi.
- S.4. **Çengel, Yunus A.**, Heat and mass transfer, A Practical Approach, 3. utgave, 2006, McGraw-Hill, ISBN-13: 978-007-125739-8.
- S.5. **Lundby, Leif**, Forbrenningsmotorer I. Grunnlag, 3. utgave og 2. opplag, 1985, Ant. Anderssens Trykkeri A/S, Larvik, ISBN: 82-00-27404-7.
- S.6. **Hellsten/Mörstedt**, Energi- og kjemitekniske tabeller, Revidert utgave, 2. utgave og 1. opplag, 1982, Yrkesopplæring ans, ISBN: 82-585-0955-1.
- S.7. **Terjesen, Geir**, Spenningsanalyse og trykkbeholdere, Kompendium til emnet TMP301, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap, Ås, 40 sider.
- S.8. **Terjesen, Geir**, Deformasjon av bjelker og aksler, Kompendium til emnet TMP301, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap, Ås, 39 slides.
- S.9. **Terjesen, Geir**, Globale knekkeberegninger uten standard, Kompendium til emnet TMP301, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap, Ås, 25 sider + 7 sider vedlegg.
- S.10. **Terjesen, Geir**, Sveiste forbindelser Eurokode 3 (stålkonstruksjoner), Kompendium til emnet TMP301, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap, Ås, 67 slides.
- S.11. **Terjesen, Geir**, Utdrag fra NS-EN 1993-1-1:2005+NA:2008, NS-EN 1993-1-8:2005+NA:2009, Kompendium til emnet TMP301, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap, Ås, 13 sider.
- S.12. **Terjesen, Geir**, Formler og tabeller, Kompendium til emnet TMP301, Universitetet for Miljø- og Biovitenskap, Ås, 20 sider.

8.2. Internettkilder

- I.1. **Motor i testbenk:** <http://www.knfilters.com>
(besøkt 14.01.2013)
- I.2. **Kjølekolonne fra Tylor Dynamometer:** <http://www.taylordyno.com>
(besøkt 01.05.2013)
- I.3. **Hydraulikk prinsipptegning:** <http://www.ndla.no>
(besøkt 29.01.2013)
- I.4. **Elektromotor:** <http://www.frydenboelectric.no>
(besøkt 29.01.2013)
- I.5. **Håndvinsj (figur) og luftfilter:** <http://www.biltema.no>
(besøkt 29.01.2013)
- I.6. **Manuell teleskopjustering:** <http://www.directequipmentsupply.com>
(besøkt 29.01.2013)
- I.7. **Effektkurve:** <http://www.sportrider.com>
(besøkt 05.03.2013)
- I.8. **Drikkevannskilde:** <http://www.oppegard.kommune.no>
(besøkt 06.03.2013)
- I.9. **Produktkatalog termostater:** <http://www.tridon.com.au>
(besøkt 25.03.2013)
- I.10. **Tekniske bestemmelser rør og avløp:**
<http://www.sogne.kommune.no/Documents/Informasjonsmateriale/Ingeni%C3%B8rv esenet/Standard%20abonnementsvilk%C3%A5r%20for%20vann%20og%20avl%C3%B8p%20-%20Tekniske%20bestemmelser.pdf>
(besøkt 25.03.2013)
- I.11. **Flottørventil og produkttegenskaper:** www.jobbevalves.com
(besøkt 15.04.2013)
- I.12. **Tess nettbutikk, slangekoblinger og slangeklemmer:** <http://www.industrinett.no>
(besøkt 15.04.2013)
- I.13. **3D Content Central:** <http://www.3dcontentcentral.com>
(besøkt 15.04.2013)
- I.14. **GrabCad:** <http://www.grabcad.com>
(besøkt 15.04.2013)
- I.15. **Kuleventil:** <http://www.vvs-nettbutikk.no>
(besøkt 16.04.2013)

- I.16. Huchez Manistor håndvinsj:** <http://www.brettevilletaljer.no>
(besøkt 15.04.2013)
- I.17. Hjul til stativet:** <http://www.landgraff.no/>
(besøkt 01.05.2013)
- I.18. Alunor:** <http://www.alunor.no>
(besøkt 20.04.2013)
- I.19. Aluminium 6060:** http://www.pro-lam.net/eur-1/download/parte1_en.pdf
(besøkt 22.04.2013)
- I.20. Stene Stålprodukter AS:** <http://www.stenestaalprodukter.no/>
(besøkt 22.04.2013)
- I.21. Polyacetal:** <http://www.resinex.no/polymer-typer/pom.html>
(besøkt 22.04.2013)
- I.22. Den galvaniske spenningsrekken:** <http://no.wikipedia.org/wiki/Spenningsrekke>
(besøkt 26.04.2013)
- I.23. Silhuett, omgjort fra originalbildet:** <http://www.clker.com/clipart-bigger-version-1.html>
(besøkt 25.04.2013)

9. VEDLEGG

A – Refleksjonsnotat

B – Oppgavetekst

C – Fremdriftsplan med milepæler

D – Bjelkeprofiler med statiske verdier

E – Konstruksjonstegninger

- E.1. Tegning 1: Bunnplate til kjølekolonnen.
- E.2. Tegning 2: Sylinder til kjølekolonnen.
- E.3. Tegning 3: Lokk til kjølekolonnen.
- E.3. Tegning 4: Luftfilterfeste til lokket.
- E.5. Tegning 5: Festeører til lokket.
- E.6. Tegning 6: Rørstusser til kjølekolonnen.
- E.7. Tegning 7: Termostatfeste til kjølekolonnen.
- E.8. Tegning 8: Opphengsbraketter til kjølekolonnen.
- E.9. Tegning 9: Feste til kuleventil for tapping av kjølekolonnen.
- E.10. Tegning 10: Feste til flottørventil.
- E.11. Tegning 11: Vertikale stativben.
- E.12. Tegning 12: Stativets topplate.
- E.13. Tegning 13: Stativfot bak.
- E.14. Tegning 14: Stativfot front.
- E.15. Tegning 15: Stativets bakplate.
- E.16. Tegning 16: Festebraketter til stativets topplate.
- E.17. Tegning 17: Trinseoppheng.
- E.18. Tegning 18: Trinse.
- E.19. Tegning 19: Lokk til stativfoten.
- E.20. Tegning 20: Horisontale stag til løpekatten.
- E.21. Tegning 21: Vertikale stag til løpekatten.
- E.22. Tegning 22: Opphengsbraketter til løpekatten.
- E.23. Tegning 23: Vaierfeste til løpekatten.
- E.24. Tegning 24: Glideklosser til løpekatten.
- E.25. Tegning 25: Sammenstilling kjølekolonne.
- E.26. Tegning 26: Sammenstilling stativ.
- E.27. Tegning 27: Sammenstilling løpekatt.
- E.28. Tegning 28: Sammenstilling av stativets topplate.

Refleksjonsnotat

Helt fra starten av dette prosjektet har jeg prøvd å jobbe jevnt og trutt for å overholde de tidsfrister jeg har satt meg selv gjennom arbeidsplanen. Nå som prosjektet går mot slutten ser jeg at tiden var tilstrekkelig, men at det lett oppstår så mange uforutsette situasjoner at det å jobbe mot milepæler utarbeidet i begynnelsen av semesteret kan bli en svært utfordrende oppgave.

En av mine erfaringer er at det kan være vanskelig å jobbe med bare ett punkt om gangen, da enkelte punkter eller kapitler henger sammen, og at ideer plutselig oppstår mens man jobber med noe annet. Derfor ble det mer hopping fram og tilbake mellom arbeidsoppgaver enn forventet, spesielt under den kreative delen av prosessen. Det er også grunnen til at jeg har satt samme tidsrom på flere av milepælene i arbeidsplanen, da jeg på forhånd visste at jeg ofte jobber på impuls fra ideer jeg får.

Jeg opplevde også at håndberegningene ble mer omfattende og tok lenger tid enn forventet, mye på grunn av mengden komponenter som måtte dimensjoneres. Av denne grunnen er det flere forbindelser og komponenter som ikke er dimensjonert med håndberegninger.

Jeg har også fått erfare hvor mye jeg foretrekker å samarbeide med andre. Selv om det har gått bra å jobbe selvstendig fant jeg ofte meg selv i situasjoner der jeg uventet ble stående fast og savnet flere prosjektdeltakere å diskutere metoder og løsninger med. Dette gjaldt spesielt den kreative prosessen med konseptutvikling og designløsninger, der jeg savnet synergieffekten ved å ha flere prosjektdeltakere i kreativitetsarbeidet.

Jeg ser også enkelte ting jeg kunne gjort annerledes dersom jeg skulle gjort prosjektet på nytt, men jeg er allikevel fornøyd med resultatene jeg har oppnådd, og mener resultatet samsvarer godt med de krav og spesifikasjoner som er gitt.

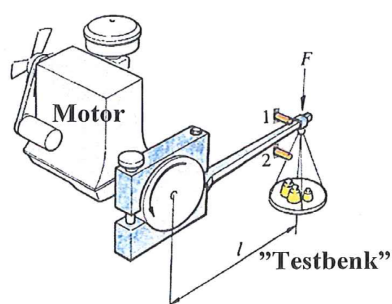
Vedlegg B - Oppgavetekst

Masteroppgave: Kjølekolonne i aluminium

Bakgrunn

Motorspesialister modifiserer, overhaler og justerer motorer til kjøretøy. Flere forskningsinstitusjoner benytter også disse testbenkene for å utvikle ny motorteknologi. Motoren blir normalt tatt ut av kjøretøyet for at man skal få utført nødvendige arbeider. Motorene testes deretter blant annet for å kontrollere dreiemoment, effekt og spesifikt drivstofforbruk etter en motoroverhaling. Testene utføres også for å kunne registrere hvordan en endring i motorens utforming/komponenter endrer motorens karakteristikk. Motorene testes i en testbenk for motorer (se prinsippet på figuren). Det benyttes en kjølekolonne for å kjøle motoren

Figur
Prinsippet
til testbenk for motorer



Motoren blir svært hardt belastet under testing med fullt gasspådrag, svinghjulet bremses med en brems (mekanisk brems, vannbrems eller elektrisk brems).

Av slitasjemessige grunner er det svært viktig at motoren får tilført kjølevann av riktig temperatur. Kjølekolonnen skal altså erstatte radiatoren, vifta og fartsvinden som motoren normalt kjøles med når motoren er montert i bilen. Prinsippet til kjølekolonnen er beskrevet i vedlegg 1. IMT ved UMB ønsker å få konstruert en kjølekolonne i aluminium som skal benyttes i et nytt fag som skal iverksettes i maskin- og kjøretøydynamikk.

Oppdrag

Lag forslag til en prototyp av en kjølekolonne basert på prinsippet til kjølekolonnen vist i vedlegg 1. Kolonnen skal ha kapasitet til å teste motorer opp til 130kW.

Videre må man fastlegge/velge:

- aluminiumlegering, sammenføyningsmetoder og platebearbeiding
- beholderkapasitet, styrkeberegning, konstruksjonstegninger med mål og komponentliste samt 3D visualisering
- beregning av diametre på rørstusser
- er det nødvendig med offeranoder? Kan avløpsvannet slippes ut i sluket?
- løsninger for enkel og komfortabel bruk, vedlikehold og kompakt oppbevaring
- justerbart stativ (0,5 m til 1,0 m) til kjølekolonna
- pris på kjølekolonne ved eventuelt salg til kunder

Vedlegg 1: Virkemåte til kjølekolonne prinsipp med prinsipptegning

Vedlegg B - Oppgavetekst

Virkemåte til kjølekolonne prinsipp

Oppfylling

Ved oppfylling av kjølekolonna skrur man på vannkrana, vannet strømmer dermed inn innløpsarmaturet og når vannivået er riktig lukker fløtørventilen. Vannstandmåleren viser nå riktig nivå, se figuren på neste side.

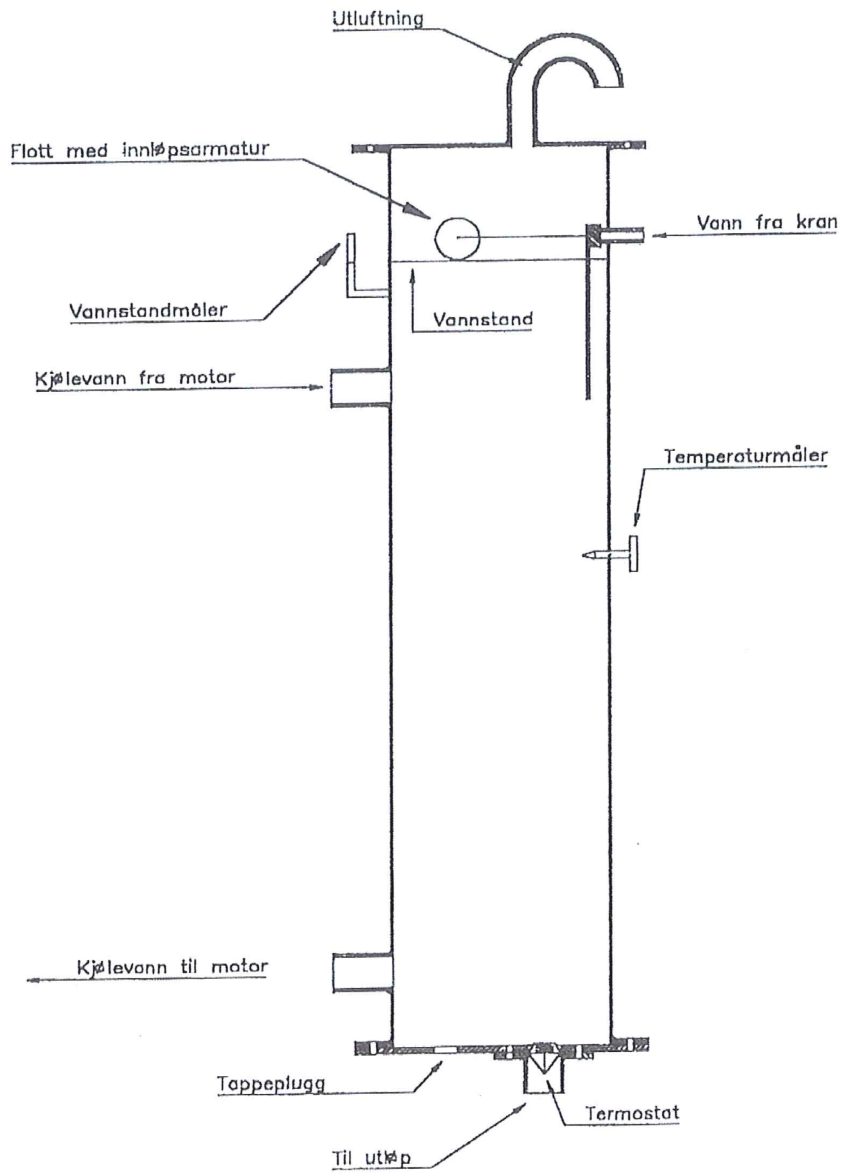
Drift

Kjølekolonnen fungerer som en stor sylindrisk beholder som leverer vann til motoren i nedkant av beholderen. Diameteren på beholderen ble foreslått til ca.0,3 m og høyden til ca.1,3 m. Vannet pumpes inn i motoren av motorens vannpumpe (man tar ut motorens egen termostat). Når motoren blir varm (ca.80-90 °C) og har varmet opp vannet i kjølekolonna tilsvarende åpner termostaten i bunn av kjølekolonna. Det oppvarmede vannet strømmer dermed ut av utløpsrøret i bunnen av kjølekolonna. Når vannstanden i kjølekolonna synker åpner fløtørventilen (vanlig "toalettfløtør") og dermed vil det strømme kaldt vann fra "springen" inn gjennom røret fra innløpsarmaturet. Røret stikker ca. 22 cm ned i kjølekolonna slik at vi får en god blanding av kaldt og varmt vann. Når temperaturen i kjølekolonna synker påvirkes termostaten og lukker forbindelsen ut utløpsrøret. Vi kan kontrollere vanntemperaturen med temperaturmåleren. Utluftningen i toppen av kjølekolonna sørger for at det er atmosfæretrykk over vannet og bøyen på røret forhindrer urenheter fra luften å komme inn i kjølekolonna.

Tømming

Dersom vi ønsker å tømme kjølekolonna etter bruk stenger man vannkrana og skrur ut tappepluggen i bunn av kjølekolonna. En utløpslange kan plasseres under tappepluggen slik at vannet kan renne ut i avløpet.

Vedlegg B - Oppgavetekst

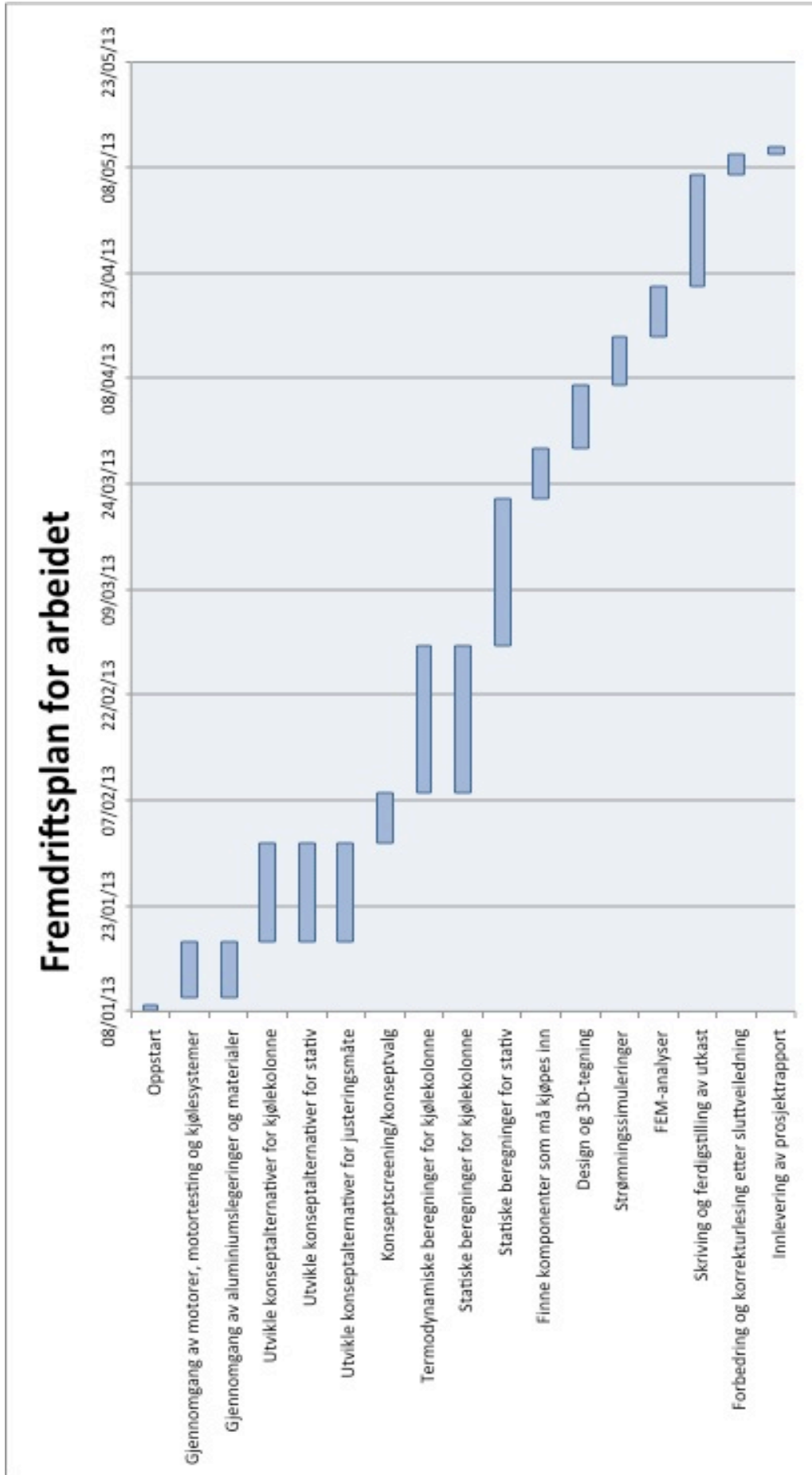


Figur
Prinsipp til kjølekolonne

Vedlegg 1

Vedlegg

C - Fremdriftsplan med milepæler



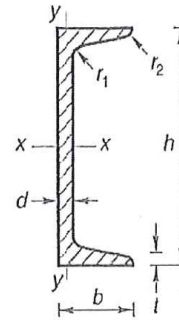
Vedlegg D - Bjelkeprofiler med statiske verdier

Dimensjoner, teoretiske vektter og statiske verdier

Kanalstål UNP, S235JRG2/S355J0

Kvalitet S235JRG2 resp. S355J0
etter EN 10 025
(RSt37-2 resp. St52-3/DIN 17100)
Toleranser etter DIN 1026/1963
Sertifikat 3.1.B./EN 10 024

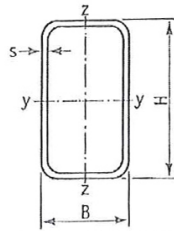
Kvalitetsmerking:
S235JRG2
- røde endeflater
S355J0
- alum. endeflater



Betegnelse	Dimensjoner					Tverrsnitt F cm ²	Vekt per m G kg/m	Annet areal- moment J_x cm ⁴	Tverrsnitts- modul W_x cm ³	Tregghets- radius i_x cm	Annet areal- moment J_y cm ⁴	Tverrsnitts- modul W_y cm ³	Tregghets- radius i_y cm
	h mm	b mm	d mm	r_1-t mm	r_2 mm								
50	50	38	5,0	7,0	3,5	7,12	5,59	26,4	10,6	1,92	9,12	3,75	1,13
60	60	30	6,0	6,0	3,0	6,46	5,40	31,6	10,5	2,21	4,51	2,16	0,84
65	65	42	5,5	7,5	4,0	9,03	7,09	57,5	17,7	2,52	14,1	5,07	1,25
80	80	45	6,0	8,0	4,0	11,0	8,60	106	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33
100	100	50	6,0	8,5	4,5	13,5	10,6	206	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47
120	120	55	7,0	9,0	4,5	17,0	13,4	364	60,7	4,62	43,2	11,1	1,59
140	140	60	7,0	9,0	5,0	20,4	16,0	605	84,6	5,45	62,7	14,8	1,75
160	160	65	7,5	10,5	5,5	24,0	18,8	925	116	6,21	85,3	18,3	1,89
180	180	70	8,0	11,0	5,5	28,0	22,0	1350	150	6,95	114	22,4	2,02
200	200	75	8,5	11,5	6,0	32,2	25,3	1910	191	7,70	148	27,0	2,14
220	220	80	9,0	12,5	6,5	37,4	29,4	2690	245	8,48	197	33,6	2,30
240	240	85	9,5	13,0	6,5	42,3	33,2	3600	300	9,22	248	39,6	2,42
260	260	90	10,0	14,0	7,0	48,3	37,9	4820	371	9,99	317	47,7	2,56
280	280	85	10,0	15,0	7,5	53,3	41,9	6280	448	10,9	399	57,2	2,74
300	300	100	10,0	16,0	8,0	58,8	46,2	8030	535	11,7	495	67,8	2,90
320	320	100	14,0	17,5	8,75	75,8	59,5	10870	679	12,1	597	80,6	2,81

Vedlegg D - Bjelkeprofiler med statiske verdier

TABELL 1.5 VARMFORMEDE REKTANGULÆRE HULPROFIL



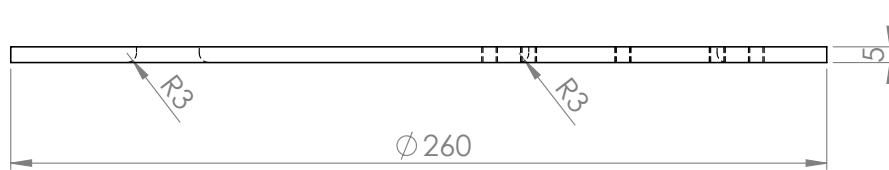
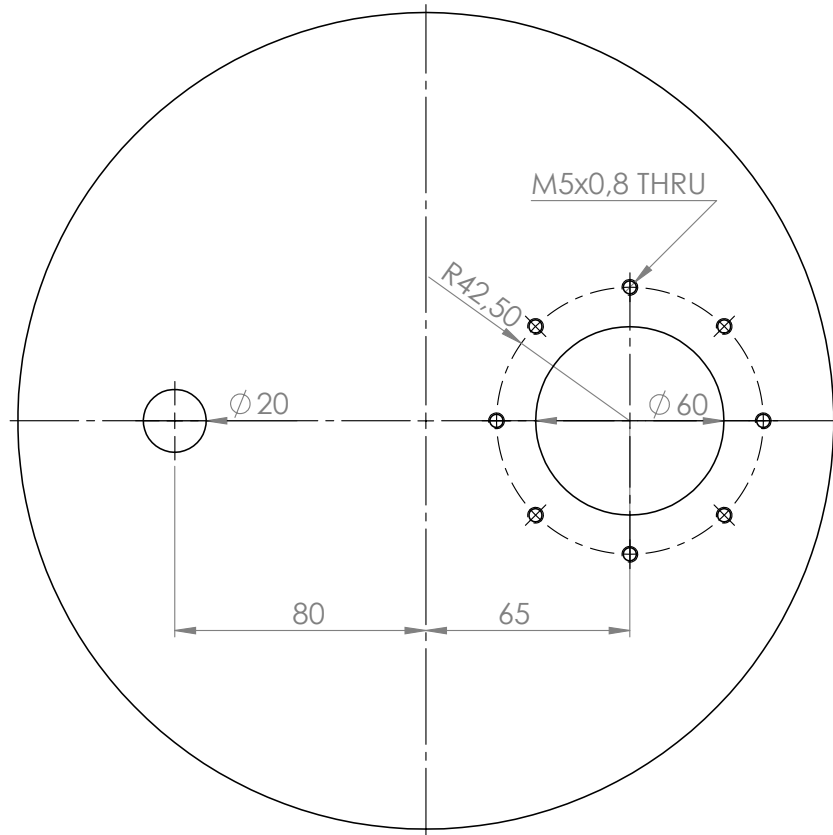
Dimensjoner etter NS-EN 10 210-2
Materiale etter NS-EN 10 210-1

Betegnelse f.eks.: HFRHS-NS-EN 10 210 120 x 80 x 5

Dimensjoner		Masse kg/m	A ·10 ⁻³ mm ²	y - y				z - z				I _T ·10 ⁶ mm ⁴
H x B mm x mm	s mm			I·10 ⁻⁶ mm ⁴	W·10 ⁻³ mm ³	i mm	W _p ·10 ⁻³ mm ³	I·10 ⁻⁶ mm ⁴	W·10 ⁻³ mm ³	i mm	W _p ·10 ⁻³ mm ³	
50 x 30	2,6	3,03	0,386	0,124	4,96	17,9	6,21	0,0545	3,63	11,9	4,30	0,121
	3,2	3,66	0,466	0,145	5,82	17,7	7,39	0,0631	4,21	11,6	5,08	0,142
	4,0	4,46	0,568	0,170	6,80	17,3	8,81	0,0725	4,83	11,3	6,01	0,166
60 x 40	3,2	4,66	0,594	0,283	9,44	21,8	11,7	0,148	7,39	15,8	8,75	0,306
	4,0	5,72	0,728	0,366	11,2	21,5	14,1	0,173	8,67	15,4	10,5	0,366
80 x 40	3,2	5,67	0,722	0,581	14,5	28,4	18,3	0,191	9,56	16,3	11,1	0,461
	4,0	6,97	0,888	0,696	17,4	28,0	22,2	0,226	11,3	15,9	13,4	0,551
	5,0	8,54	1,09	0,824	20,6	27,5	26,7	0,262	13,1	15,5	15,9	0,650
100x50	3,2	7,18	0,914	1,17	23,5	35,8	29,2	0,391	15,6	20,7	17,9	0,933
	4,0	8,86	1,13	1,42	28,4	35,5	35,7	0,467	18,7	20,3	21,7	1,13
	5,0	10,9	1,39	1,70	34,0	35,0	43,3	0,551	22,0	19,9	26,1	1,35
120x60	3,6	9,27	1,24	2,30	38,3	43,1	47,6	0,769	25,6	24,9	29,2	1,83
	5,0	13,3	1,69	3,04	50,7	42,4	63,9	0,999	33,3	24,3	38,8	2,42
	6,3	16,4	2,09	3,66	61,0	41,8	78,0	1,18	39,4	23,8	46,9	2,90
120x80	5,0	14,8	1,89	3,70	61,7	44,3	75,4	1,95	48,8	32,1	56,7	4,01
	6,3	18,4	2,34	4,47	74,6	43,7	92,3	2,34	58,4	31,6	69,1	4,86
	8,0	22,9	2,91	5,37	89,5	42,9	113	2,78	69,4	30,9	83,9	5,86
140x80	5,0	16,4	2,09	5,41	77,2	50,9	95,3	2,23	55,8	32,7	64,2	4,99
	6,3	20,4	2,59	6,56	93,8	50,3	117	2,68	67,0	32,1	78,4	6,06
	8,0	25,4	3,23	7,93	113	49,5	143	3,19	79,8	31,4	95,4	7,32
150x100	5,0	18,7	2,39	7,47	99,5	55,9	121	3,96	79,1	40,7	90,8	8,06
	6,3	23,3	2,97	9,10	121	55,3	148	4,79	95,9	40,2	111	9,85
	8,0	29,1	3,71	11,1	147	54,6	183	5,77	115	39,4	137	12,0
160x80	5,0	18,0	2,29	7,53	94,1	57,4	117	2,51	62,8	33,1	71,7	5,99
	6,3	22,3	2,85	9,17	115	56,8	144	3,02	75,6	32,6	87,7	7,29
	8,0	27,9	3,55	11,1	139	56,0	177	3,61	90,2	31,9	107	8,82
	10,0	34,2	4,35	13,2	165	55,0	213	4,19	105	31,0	127	10,4
200x100	5,0	22,5	2,86	14,8	148	72,0	184	5,02	100	41,9	113	12,1
	6,3	28,0	3,56	18,1	181	71,3	226	6,07	121	41,3	139	14,8
	8,0	35,9	4,45	22,0	220	70,3	279	7,29	146	40,5	170	18,1
	10,0	42,8	5,45	26,1	261	69,2	336	8,53	171	39,6	203	21,6
200x120	6,3	29,9	3,81	20,5	205	73,2	251	9,21	154	49,1	176	20,4
	8	37,4	4,77	25,0	250	72,3	310	11,2	186	48,4	216	25,0
	10	45,9	5,85	29,7	297	71,3	374	13,2	219	47,4	260	30,1
250x150	6,3	37,8	4,82	41,1	329	92,4	400	18,6	248	62,2	281	40,7
	8,0	47,5	6,05	50,6	405	91,5	497	22,8	304	61,4	348	50,4
	10,0	58,5	7,45	60,9	487	90,4	605	27,2	363	60,5	422	61,1
300x200	6,3	47,7	6,08	77,9	519	113	621	41,7	417	82,8	470	85,1
	8,0	60,0	7,65	96,5	643	112	775	51,5	515	82,1	586	106
	10,0	74,2	9,45	117	780	111	948	62,2	622	81,2	716	130

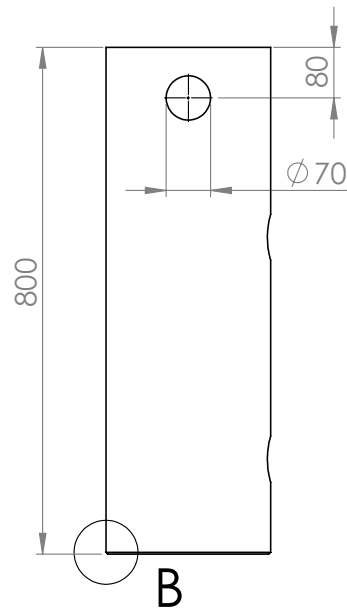
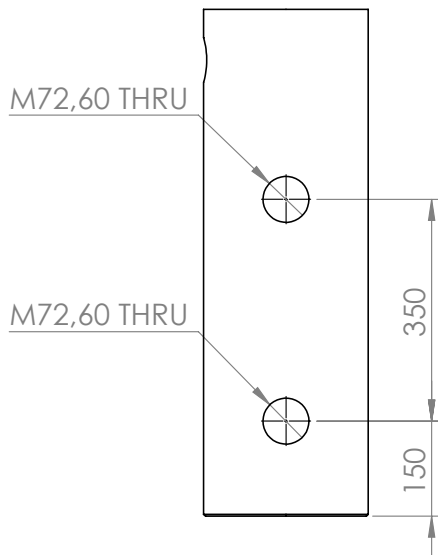
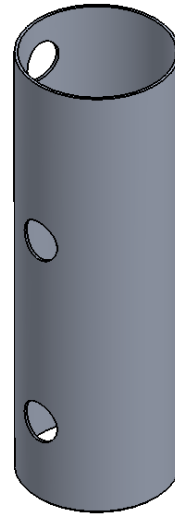
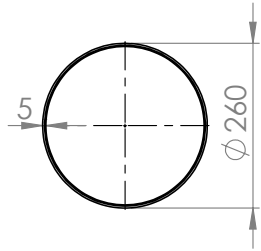
Merk: Dimensjonene for kaldformede hulprofil avviker fra dimensjonene gitt i denne tabellen

Vedlegg
E - Konstruksjonstegninger

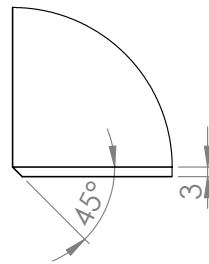


UMB/IMT	Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
	05.05.13	Simen Bergseth		1:2
Kommentar:	Tittel:		Materiale:	
	Bunnplate		6060 T6	
	Vedlegg E.1		Tegning nr. 1	

Vedlegg
E - Konstruksjonstegninger

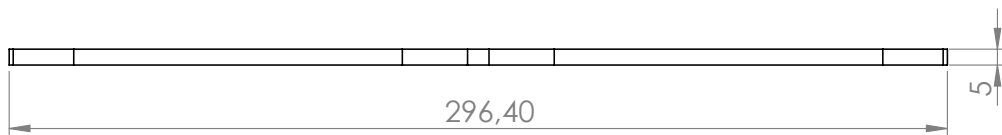
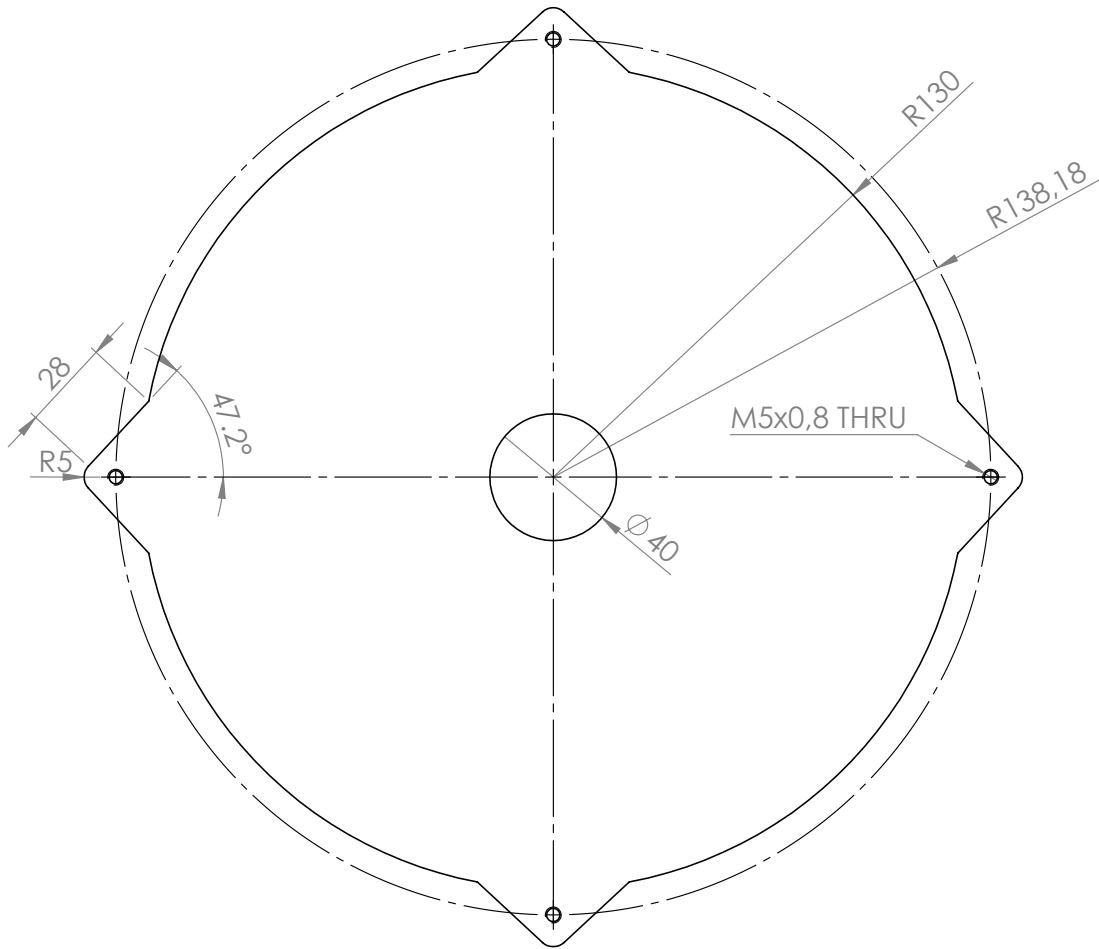


DETAIL B
SCALE 1 : 2



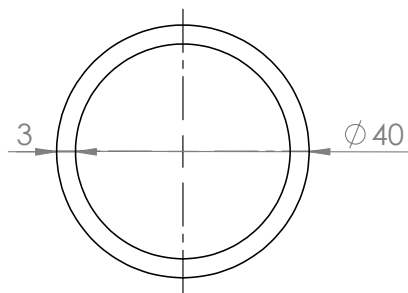
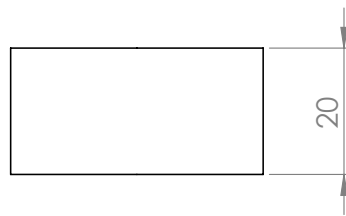
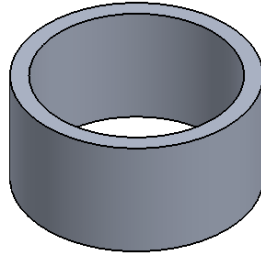
UMB/IMT Kommentar: M72,6 = 2 1/2" BSP	Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
	05.05.13	Simen Bergseth		1:10
	Tittel:		Materiale:	
	Sylinder		6060 T6	
	Vedlegg E.2		Tegning nr. 2	

Vedlegg
E - Konstruksjonstegninger



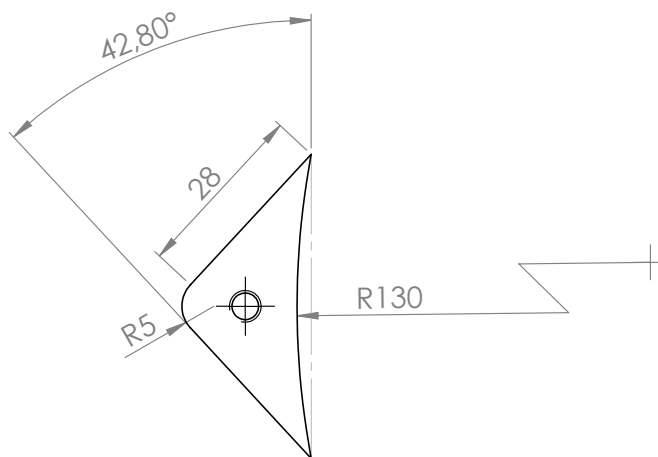
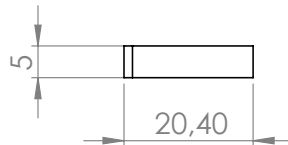
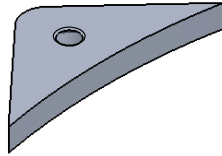
Kommentar:	UMB/IMT	Dato: 05.05.13	Tegnet av: Simen Bergseth	Godkjent:	Målestokk: 1:2
		Tittel: Lokk		Materiale: 6060 T6	
		Vedlegg E.3		Tegning nr. 3	

Vedlegg
E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT	Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
	05.05.13	Simen Bergseth		1:1
Kommentar:	Tittel:		Materiale:	
	Luffilterfeste		6060 T6	
	Vedlegg E.4		Tegning nr. 4	

Vedlegg
E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT

Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
05.05.13	Simen Bergseth		1:1

Kommentar:

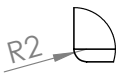
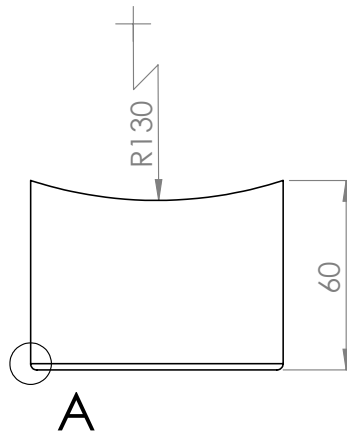
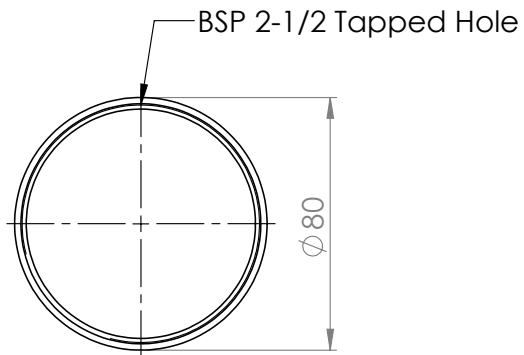
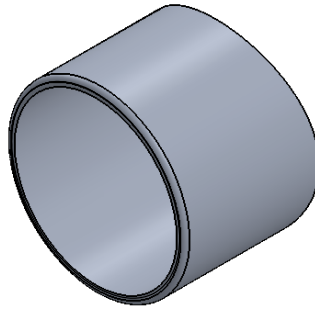
Tittel:
**Festeøre til
lokk**

Materiale:
6060 T6

Vedlegg E.5

Tegning nr. 5

Vedlegg
E - Konstruksjonstegninger



DETAIL A
SCALE 1 : 1

UMB/IMT

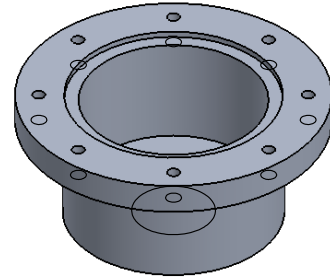
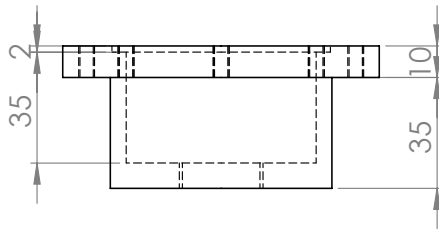
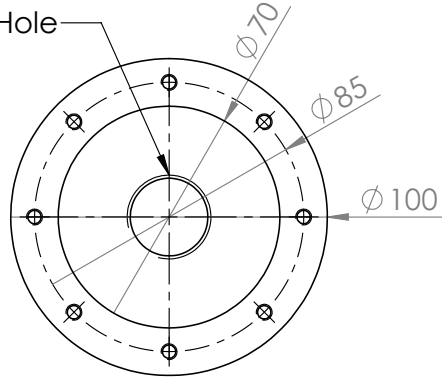
Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
05.05.13	Simen Bergseth		1:2

Kommentar:

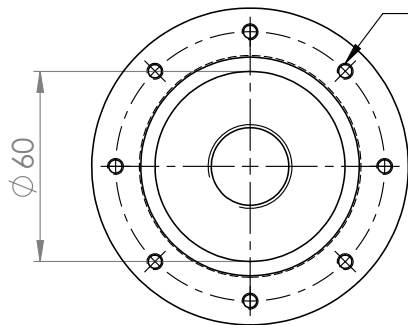
Tittel:	Materiale:
Rørstuss	6060 T6
Vedlegg E.6	Tegning nr. 6

Vedlegg E - Konstruksjonstegninger

BSP 3/4 Tapped Hole



M5x0.8 Tapped Hole



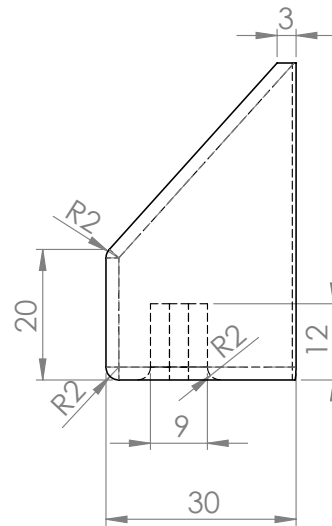
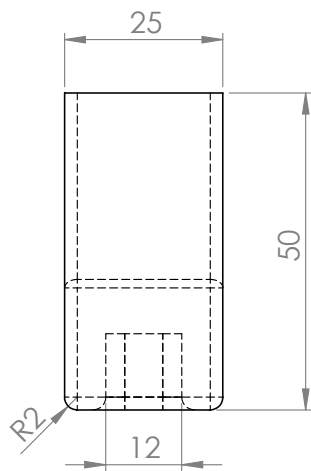
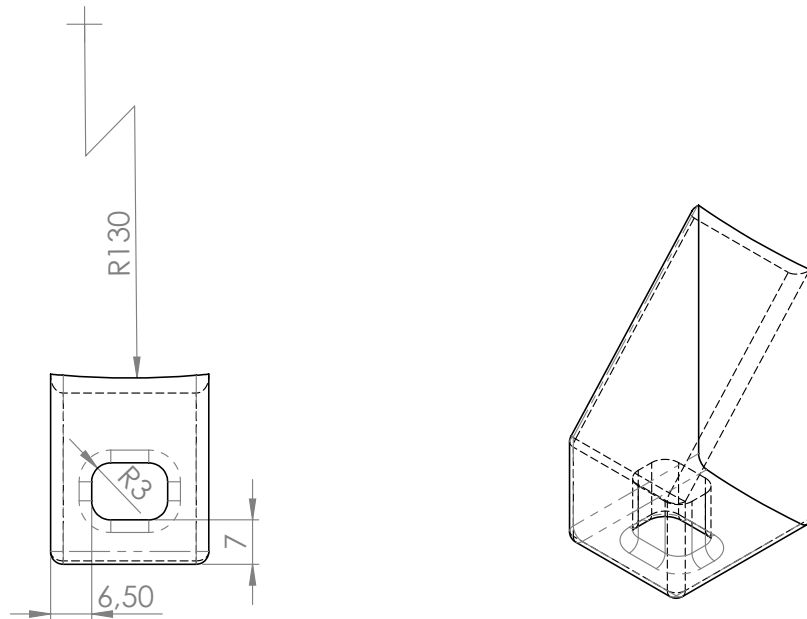
UMB/IMT

Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
05.05.13	Simen Bergseth		1:2

Kommentar:

Tittel:	Materiale:
Termostat- feste	6060 T6
Vedlegg E.7	Tegning nr. 7

Vedlegg E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT

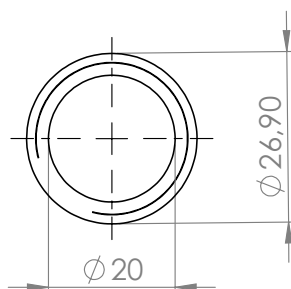
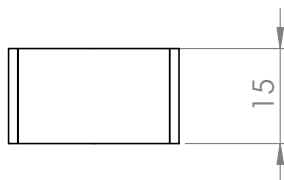
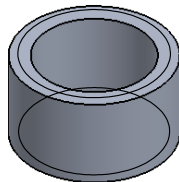
Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
05.05.13	Simen Bergseth		1:1

Kommentar:

Tittel:	Materiale:
Opphengs- brakett	6060 T6
Vedlegg E.8	Tegning nr. 8

Vedlegg

E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT

Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
05.05.13	Simen Bergseth		1:1

Kommentar:

Ø26,9 korresponderer med 3/4" utvendige BSP gjenger. Det dreies rørgjenger langs hele ytterflaten.

Tittel:

**Feste til
kuleventil**

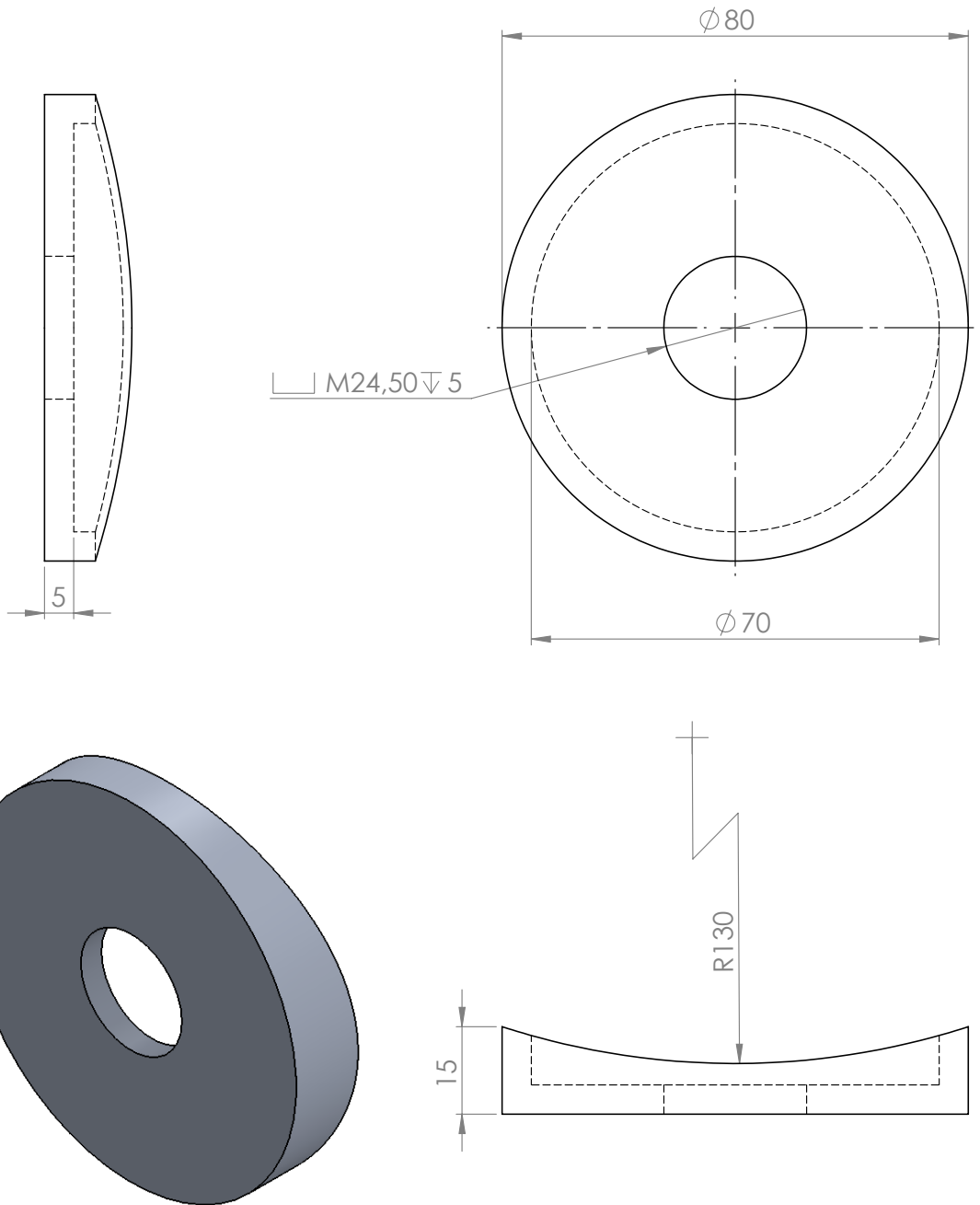
Vedlegg E.9

Materiale:

6060 T6

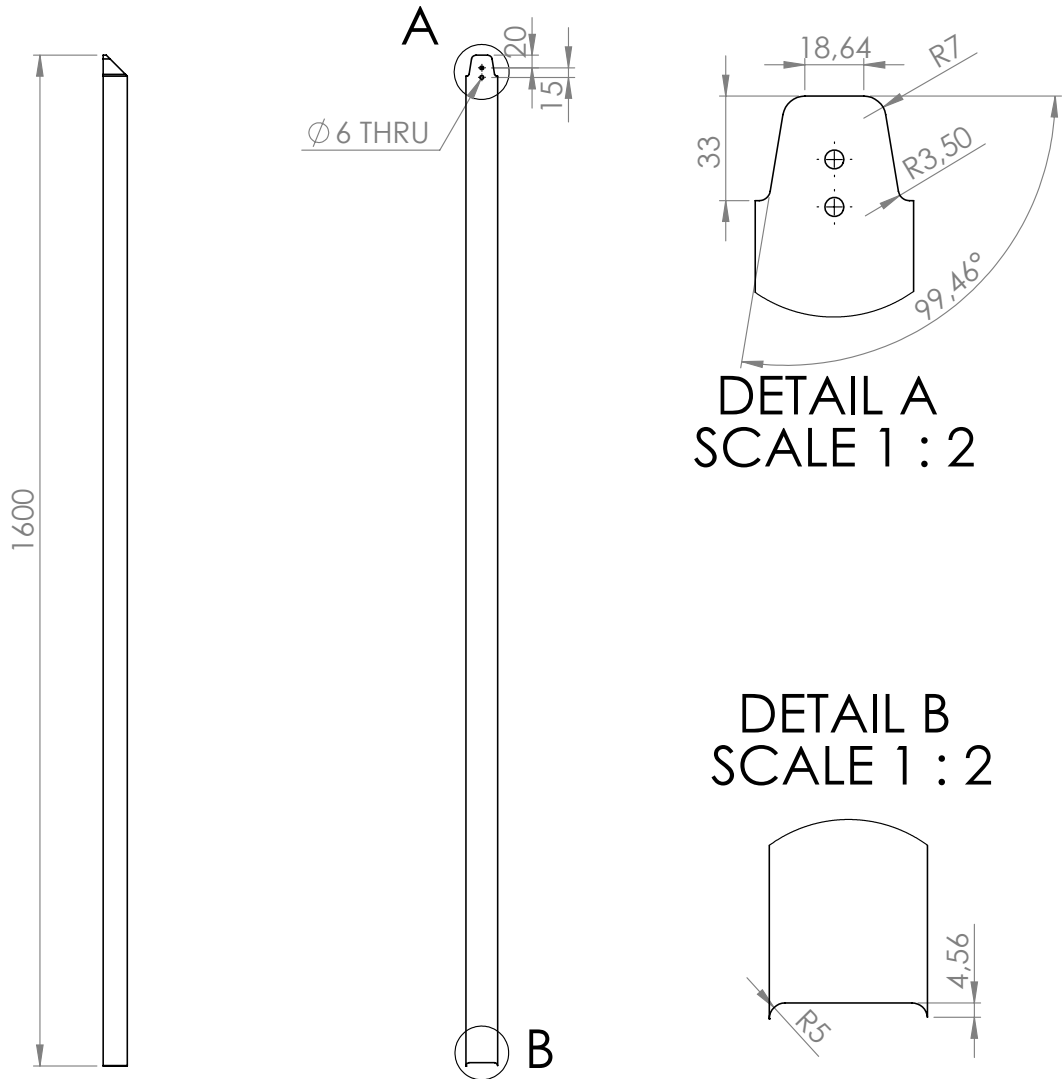
Tegning nr. 9

Vedlegg
E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT	Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
	05.05.13	Simen Bergseth		1:1
Kommentar: M24,5 korresponderer med 3/4" BSP gjenger. Hullet skal ikke gjenges opp.	Tittel:		Materiale:	
	Feste til flottørventil		6060 T6	
	Vedlegg E.10		Tegning nr. 10	

Vedlegg
E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT

Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
06.05.13	Simen Bergseth		1:10

Kommentar:

Basert på UNP50, kappes til lengde 1600 mm. Toppen skjæres ut for å passe innsiden av et UNP50-profil.

Tittel:

Vertikale ben

Vedlegg E.11

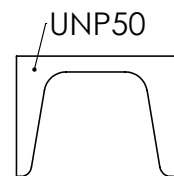
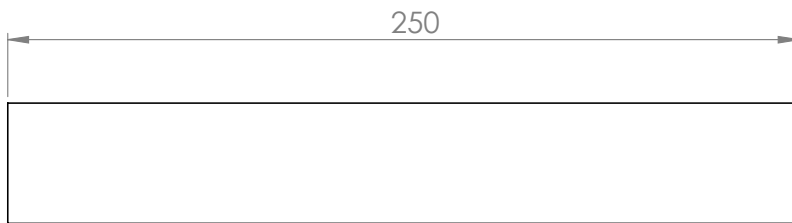
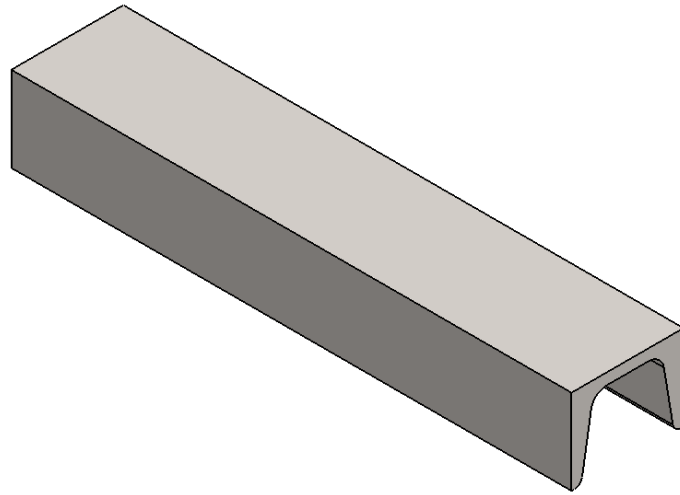
Materiale:

S235JRG2

Tegning nr. 11

Vedlegg

E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT

Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
06.05.13	Simen Bergseth		1:2

Kommentar:
UNP50, kappes til 250 mm lengde.
Grader og skarpe kanter slipes bort.

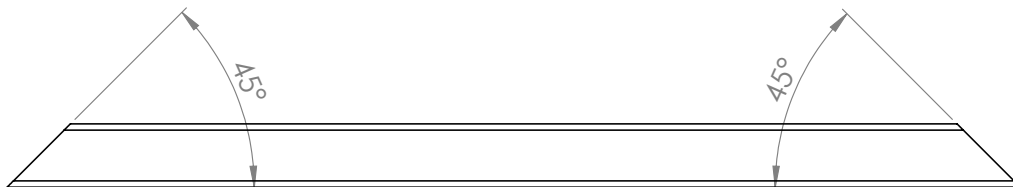
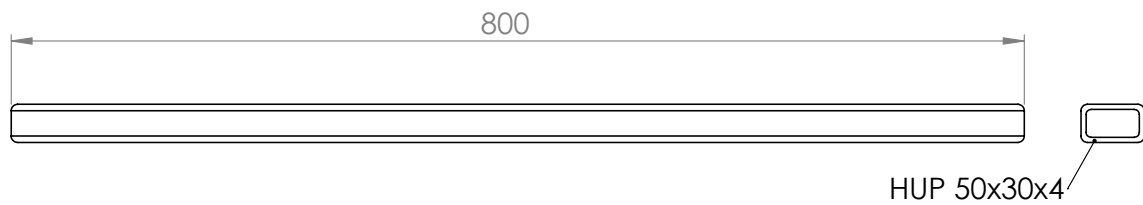
Tittel:	Materiale:
Topplate	S235JRG2

Vedlegg E.12

Tegning nr. 12

Vedlegg

E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT

Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
06.05.13	Simen Bergseth		1:5

Kommentar:

Varmformet rektangulært hulprofil, dimensjon 50 x 30 x 4 mm.

Tittel:

Stativfot
bak

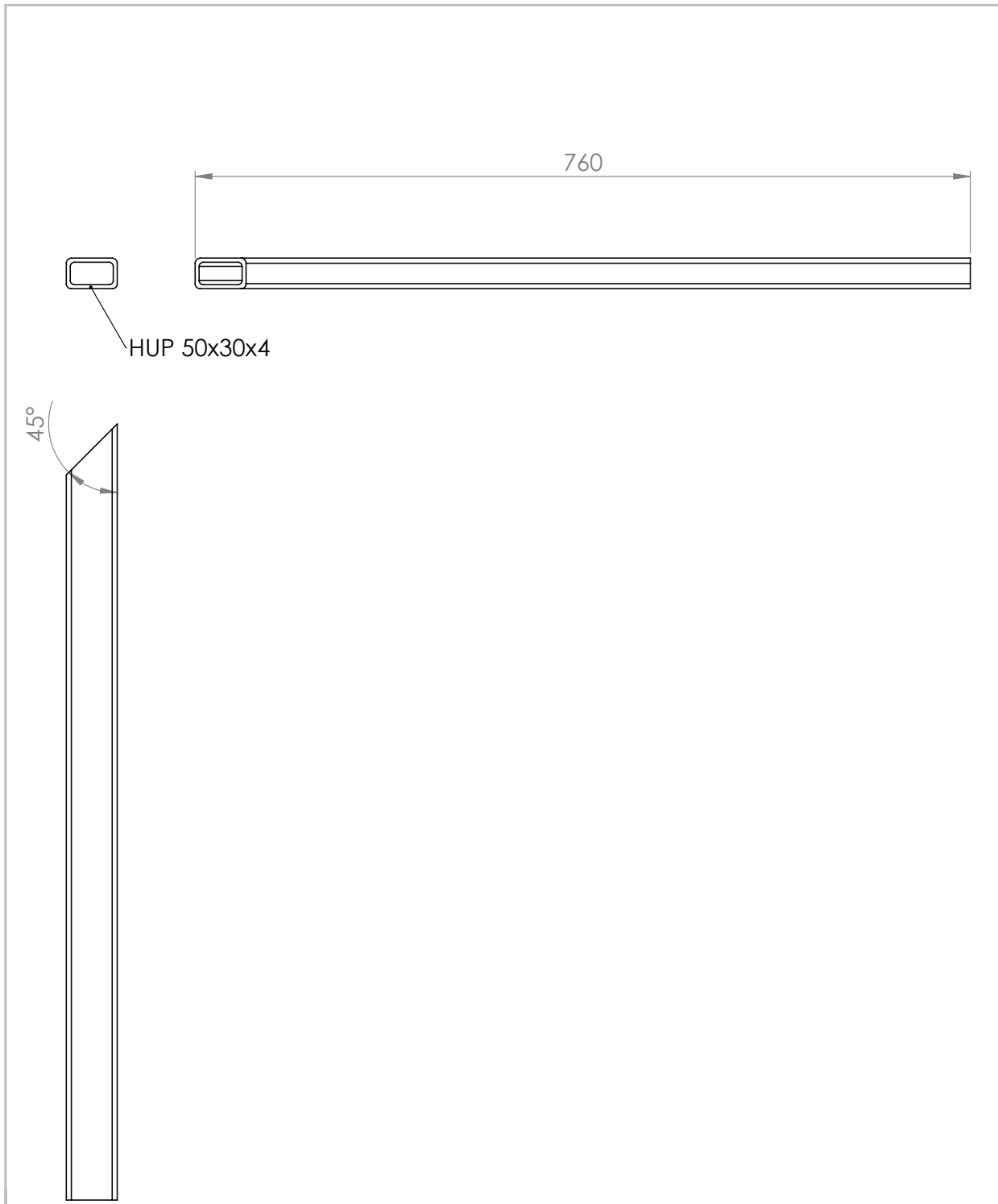
Materiale:

S235JRG2

Vedlegg E.13

Tegning nr. 13

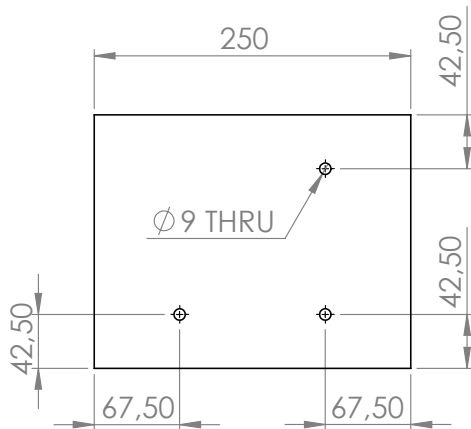
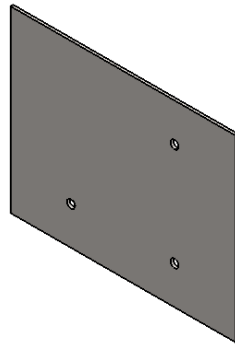
Vedlegg
E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT	Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
	06.05.13	Simen Bergseth		1:5
Kommentar: Varmformet rektangulært hulprofil, dimensjon 50 x 30 x 4 mm.	Tittel:		Materiale:	
	Stativfot front		S235JRG2	
	Vedlegg E.14		Tegning nr. 14	

Vedlegg

E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT

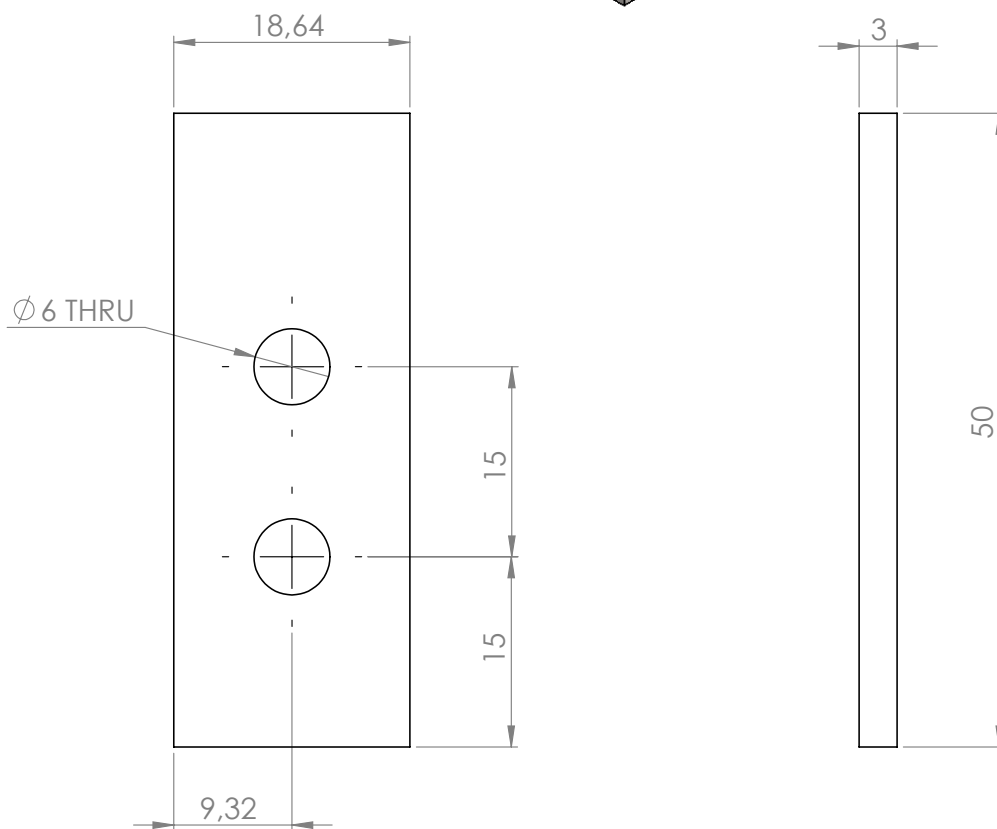
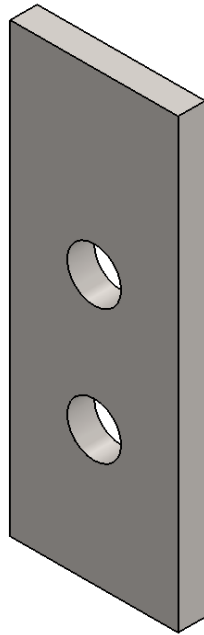
Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
06.05.13	Simen Bergseth		1:5

Kommentar:

Tittel:	Materiale:
Bakplate	S235JRG2
Vedlegg E.15	Tegning nr. 15

Vedlegg

E - Konstruksjonstegninger

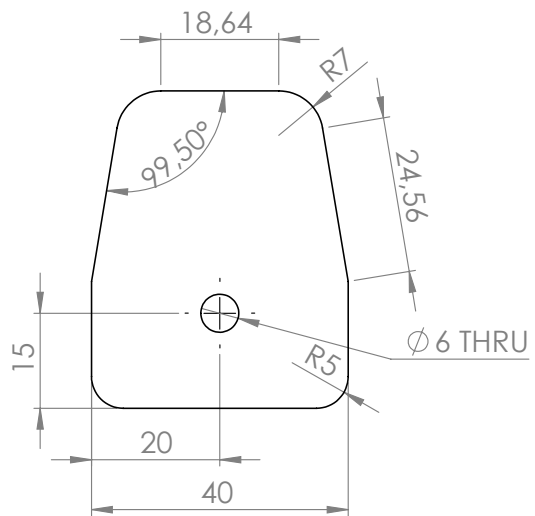
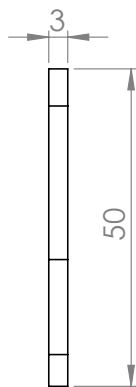
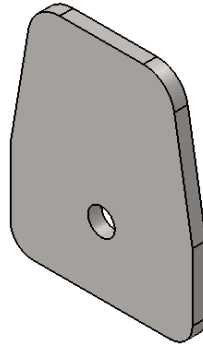


UMB/IMT

Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
06.05.13	Simen Bergseth		2:1
Tittel:		Materiale:	
Festebrakett topplate		S235JRG2	
Vedlegg E.16		Tegning nr. 16	

Kommentar:

Vedlegg
E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT

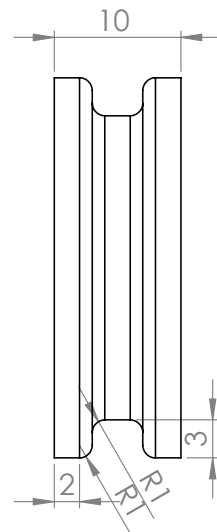
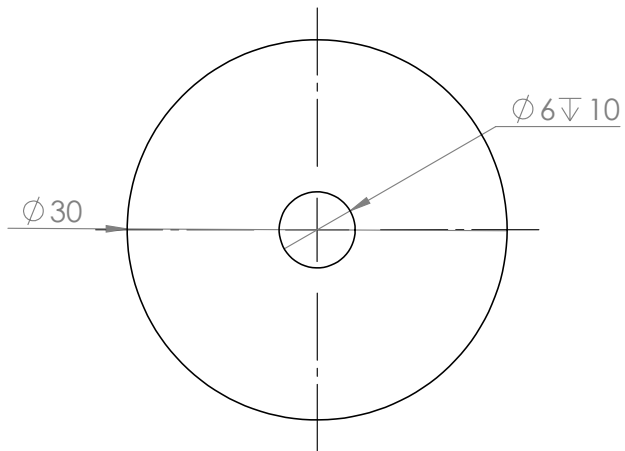
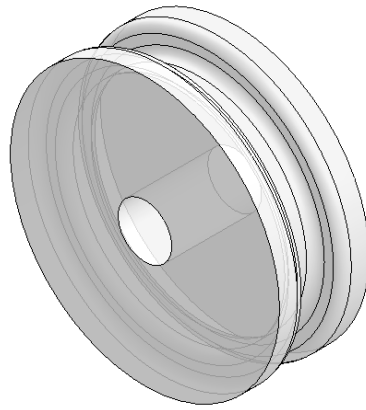
Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
06.05.13	Simen Bergseth		1:1

Kommentar:

Tittel:
Trinse- oppheng
Vedlegg E.17

Materiale:
S235JRG2
Tegning nr. 17

Vedlegg
E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT

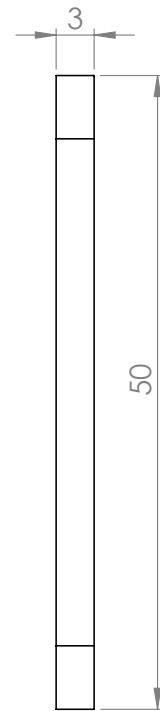
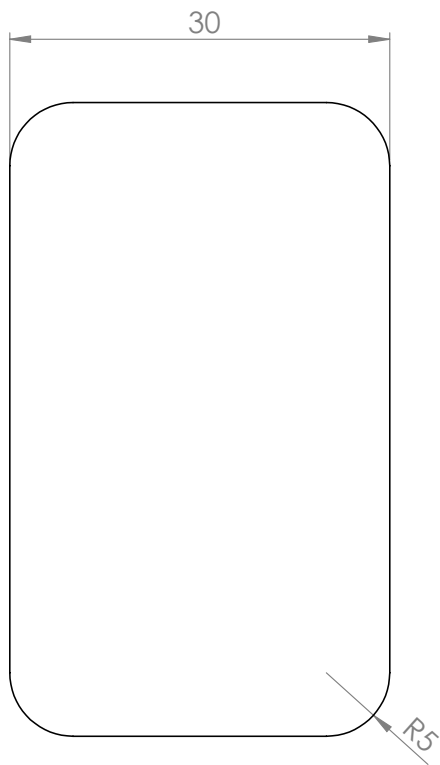
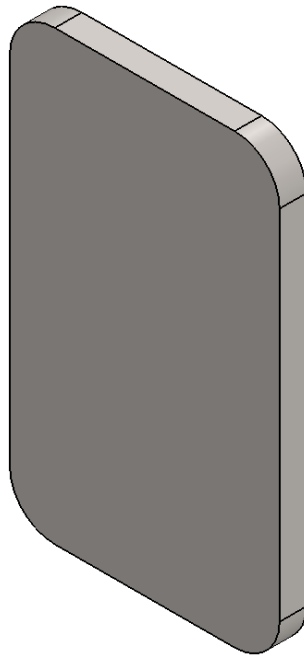
Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
06.05.13	Simen Bergseth		2:1

Kommentar:

Tittel:	Materiale:
Trinse	Polyacetal

Vedlegg E.18	Tegning nr. 18
--------------	----------------

Vedlegg
E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT

Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
06.05.13	Simen Bergseth		2:1

Kommentar:

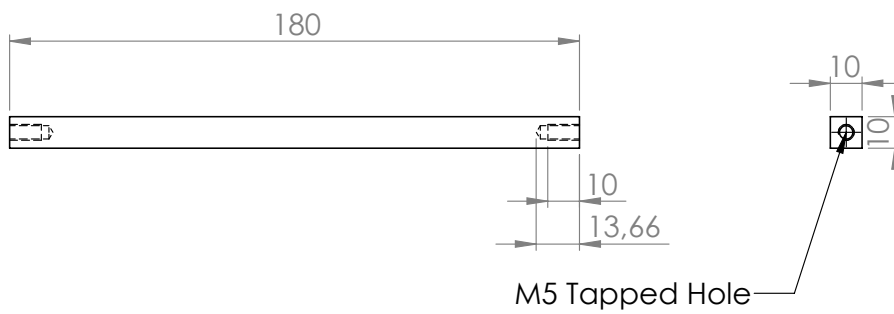
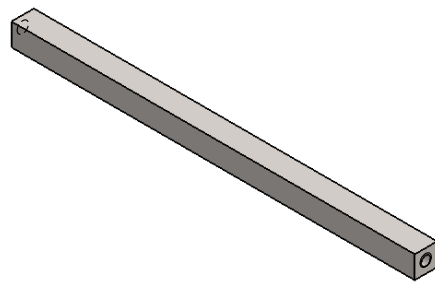
Tittel:	Materiale:
Lokk stativfot	S235JRG2

Vedlegg E.19

Tegning nr. 19

Vedlegg

E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT

Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
06.05.13	Simen Bergseth		1:2

Kommentar:
Firkantstål 10 x 10 mm.

Tittel:
Løpekatt
horizontal

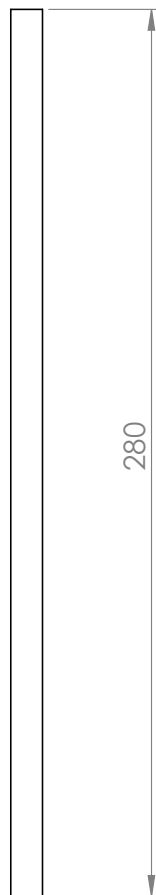
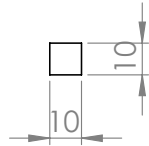
Materiale:
S235JRG2

Vedlegg E.20

Tegning nr. 20

Vedlegg

E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT

Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
06.05.13	Simen Bergseth		1:2

Kommentar:
Firkantstål 10 x 10 mm.

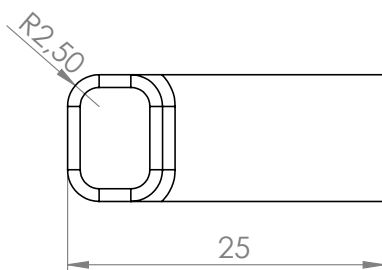
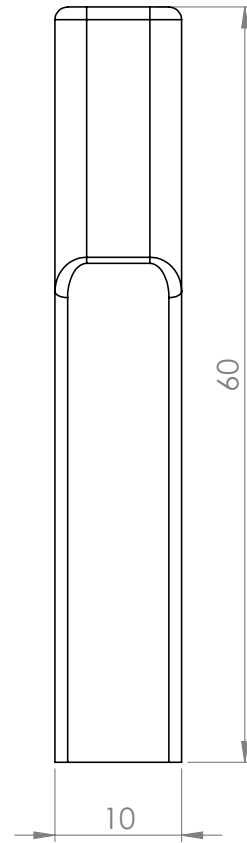
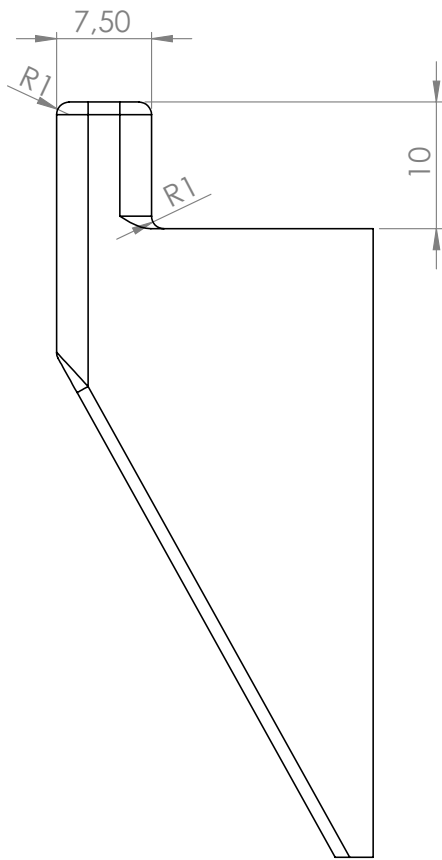
Tittel:
**Løpekatt
vertikal**

Materiale:
S235JRG2

Vedlegg E.21

Tegning nr. 21

Vedlegg
E - Konstruksjonstegninger



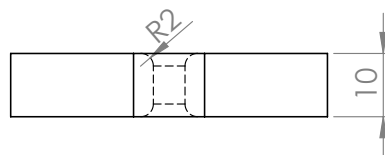
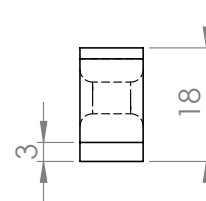
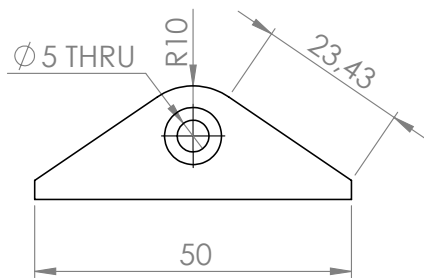
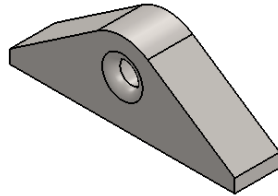
UMB/IMT

Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
06.05.13	Simen Bergseth		2:1

Kommentar:

Tittel:	Materiale:
Opphings- brakett	S235JRG2
Vedlegg E.22	Tegning nr. 22

Vedlegg
E - Konstruksjonstegninger



UMB/IMT

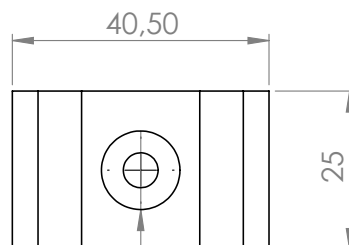
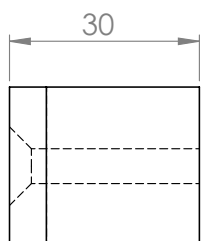
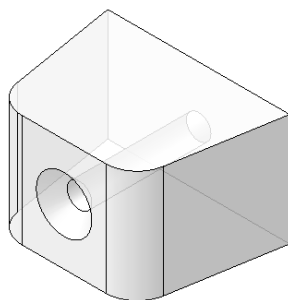
Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
06.05.13	Simen Bergseth		1:1

Kommentar:

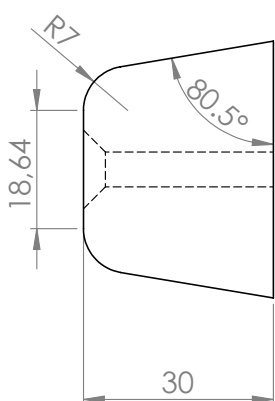
Tittel:	Materiale:
Vaierfeste	S235JRG2

Vedlegg E.23	Tegning nr. 23
--------------	----------------

Vedlegg E - Konstruksjonstegninger



$\varnothing 5.50$ THRU
 $\surd \varnothing 12,40 \times 90^\circ$



UMB/IMT

Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
06.05.13	Simen Bergseth		1:1

Kommentar:

Forsenking for maskinskrue med flatt hode.
1 mm ekstra klaring for å unngå kontakt mellom skrue og stativben.

Tittel:

Glidekloss

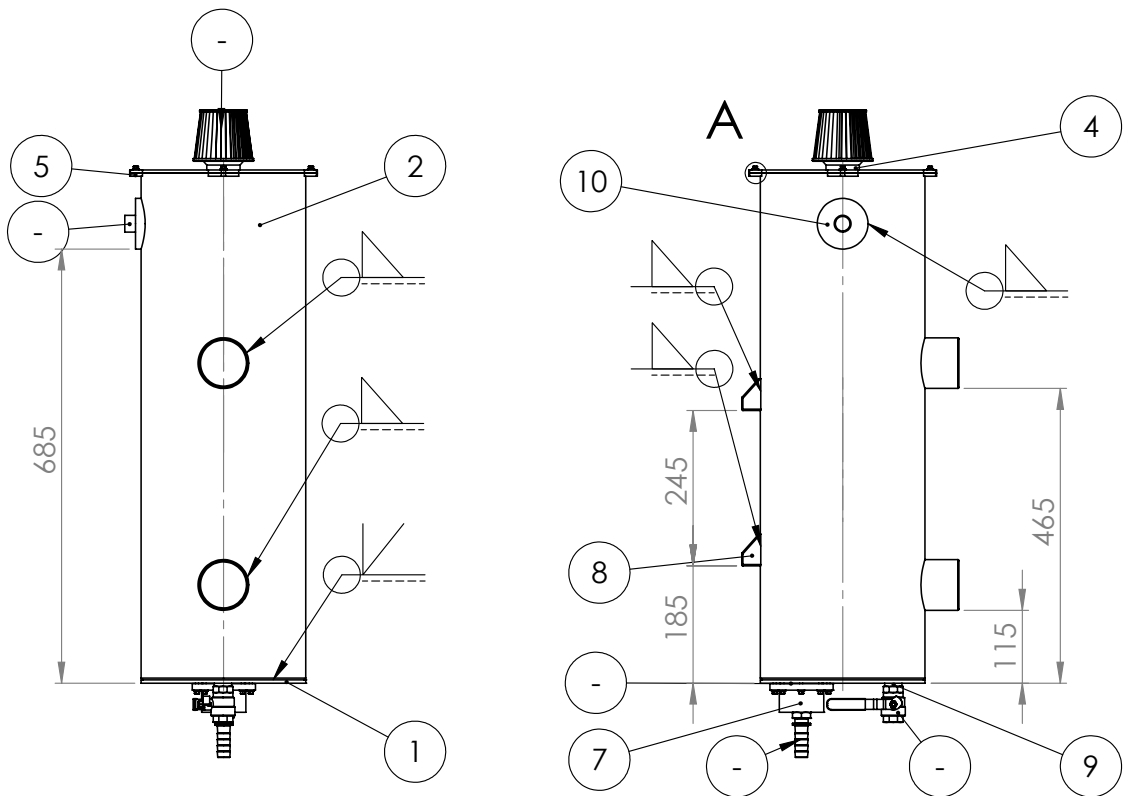
Vedlegg E.24

Materiale:

Polyacetal

Tegning nr. 24

Vedlegg E - Konstruksjonstegninger



Tegning nr. "-" er komponenter som kjøpes inn, og slangekoblinger til rørstusser, samt slangekoblinger til flottørventil og tappeventil mangler.

TEGNING NR.	KOMPONENT	ANT.
1	Bunnplate	1
2	Sylinder	1
3	Lokk	1
4	Luffilter feste	1
5	Festeører til lokk	4
6	Rørstusser	2
7	Termostaffeste	1
8	Opphengsbraketter	2
9	Kuleventil feste	1
10	Feste til flottørventil	1
-	Termostat	1
-	Slangekobling utløp	1
-	Flottørventil	1
-	Luffilter	1
-	Kuleventil	1


DETAIL A

UMB/IMT

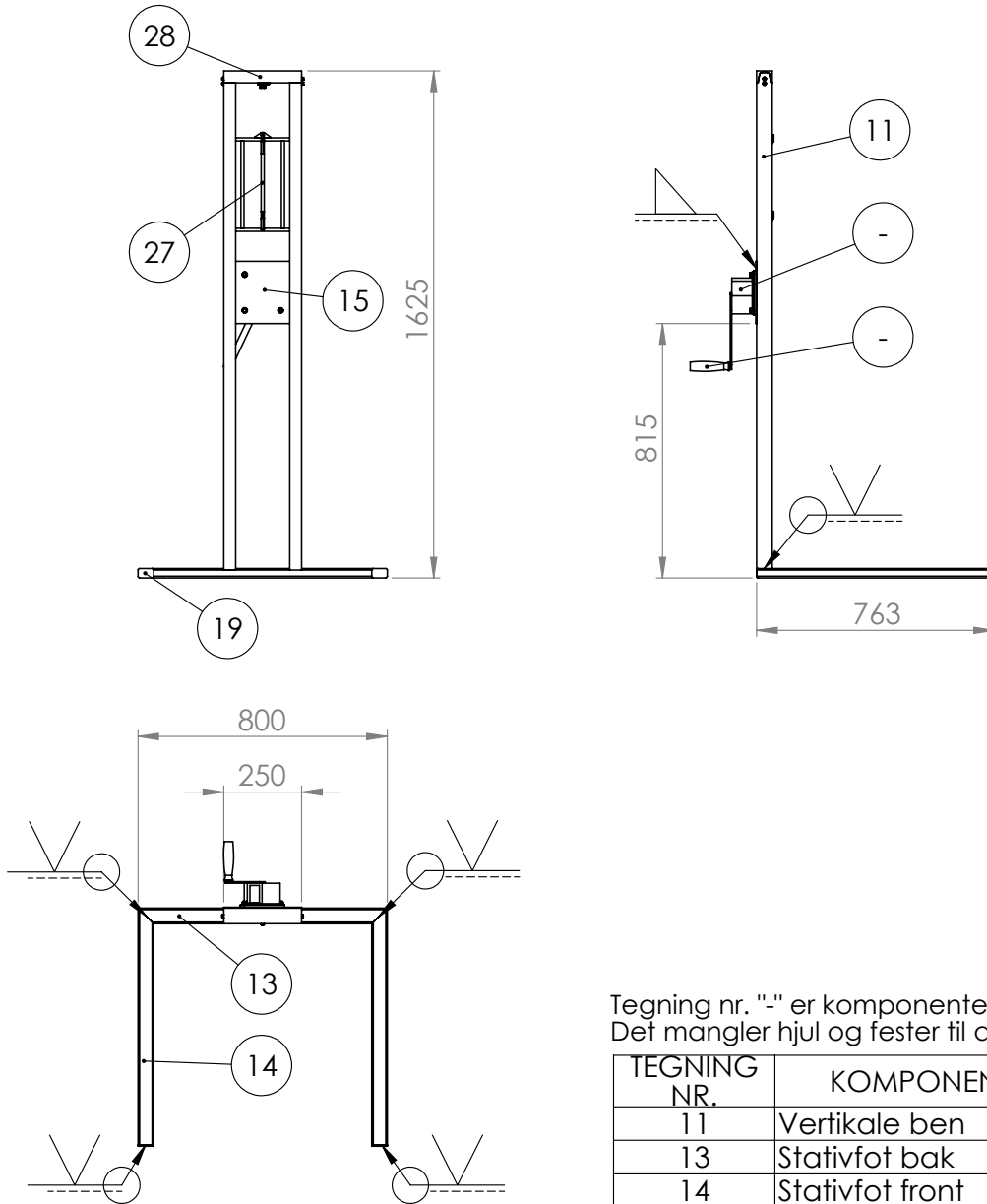
Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
09.05.13	Simen Bergseth		1:10

Kommentar:
"DETAIL A" anviser kilesveis på undersiden av festeøret. Anvisningen gjelder alle fire festeører.

Tittel:	Materiale:
Kjølekolonne	6060 T6

Vedlegg E.25	Tegning nr. 25
--------------	----------------

Vedlegg E - Konstruksjonstegninger



Tegning nr. "-" er komponenter som kjøpes inn.
Det mangler hjul og fester til disse.

TEGNING NR.	KOMPONENT	ANT.
11	Vertikale ben	2
13	Stativfot bak	1
14	Stativfot front	2
15	Bakplate	1
19	Lokk stil stativfot	2
27	Løpekatt	1
28	Topplate	1
-	Vinsj	1
-	Sveiv	1

UMB/IMT

Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
09.05.13	Simen Bergseth		1:20

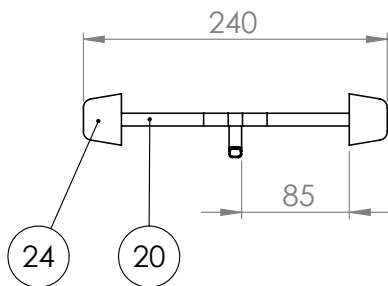
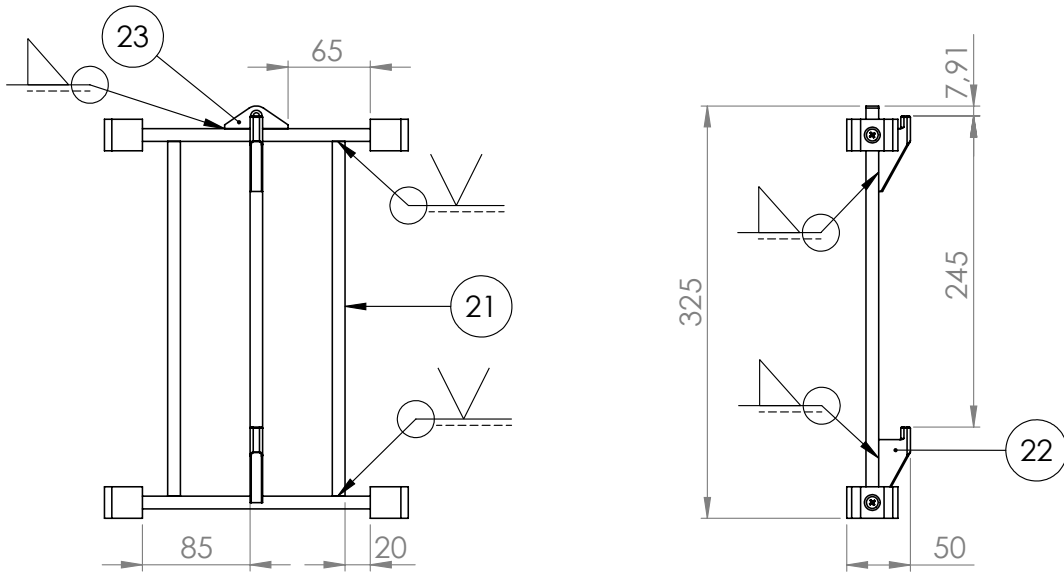
Kommentar:
Sveisesømmen mellom stativbena og stativfoten føres langs utsiden av UNP-profilene.

Tittel:	Materiale:
Stativ	S235JRG2

Vedlegg E.26

Tegning nr. 26

Vedlegg E - Konstruksjonstegninger



TEGNING NR.	KOMPONENT	ANT.
20	Løpekatt horisontal	2
21	Løpekatt vertikal	3
22	Opphingsbrakett løpekatt	2
23	Vaierfeste løpekatt	1
24	Glideklosser	4

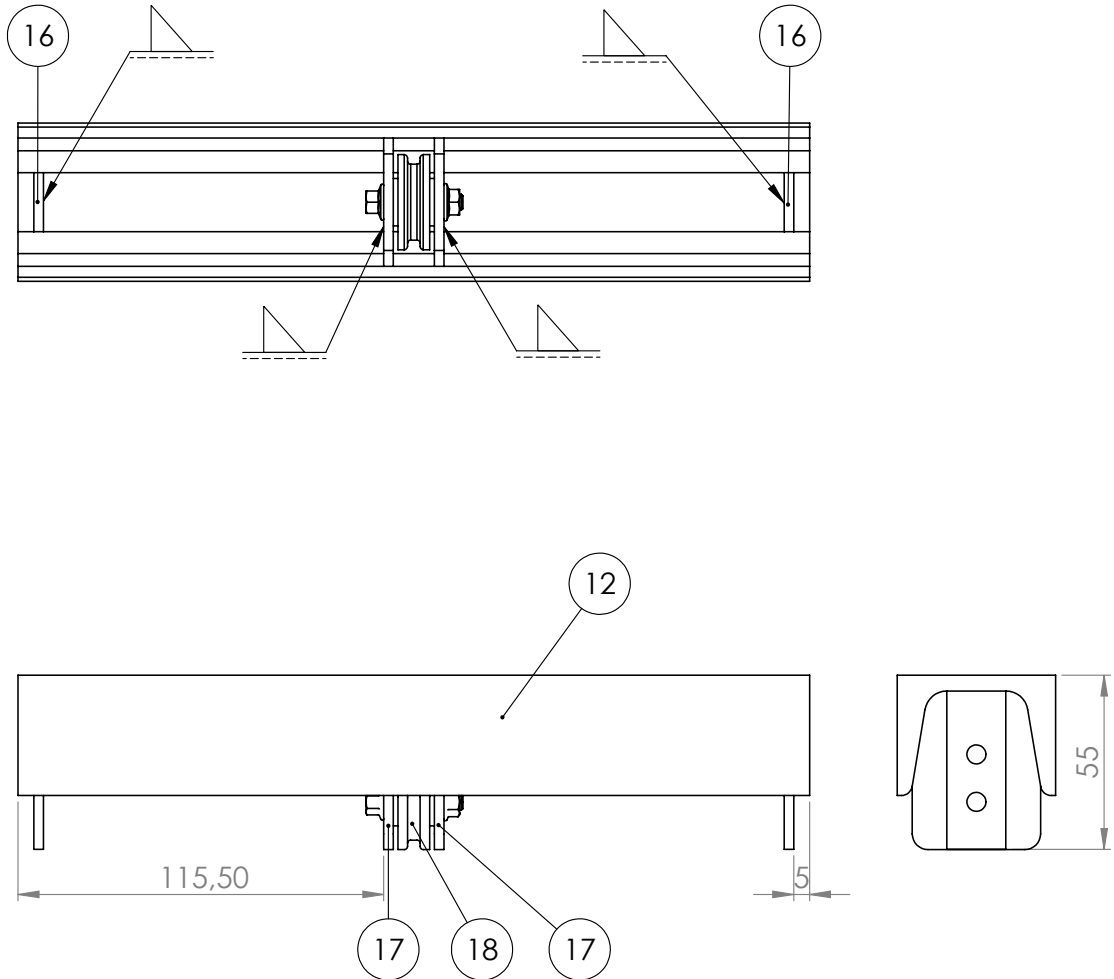
UMB/IMT

Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
09.05.13	Simen Bergseth		1:5

Kommentar:
Sveiseanvisningene på det vertikale staget gjelder alle stag.

Tittel:	Materiale:
Løpekatt	S235JRG2
Vedlegg E.27	Tegning nr. 27

Vedlegg E - Konstruksjonstegninger



TEGNING NR.	KOMPONENT	ANT.
12	Topplate	1
16	Festebraketter topplate	2
17	Trinseoppheng	2
18	Trinse	1

UMB/IMT

Dato:	Tegnet av:	Godkjent:	Målestokk:
10.05.13	Simen Bergseth		1:2

Kommentar:

Trinseopphenget sveises langs hele kontaktflaten på utsiden av hver brakett.

Tittel:

Topplate

Vedlegg E.28

Materiale:

S235JRG2

Tegning nr. 28