

2013

VIKING LIFE-SAVING
EQUIPMENT

Peter Jacobi



[VISKOSEBREMSE]

Forord

Denne rapport er udarbejdet af Peter Jacobi i perioden medio oktober 2013 til primo januar 2014 hos Viking Life-Saving Equipment A/S Rapportens formål er at vise projektarbejdet gennem syvende semester på Maskinretningen ved Aalborg Universitet Esbjerg.

Projektets formål er at konstruere en simpel og billig bremse således en vægt holder en konstant hastighed under nedfiring. Projektet tager udgangspunkt i Vikings ønske om at bremse en vægt der fires ned via to wirer.

I rapporten er der henvisninger til kilder, der underbygger udsagn. Disse er markeret med ^[#] og kan findes i kildelisten. Alle CAD modeller og billeder benyttet i rapporten tilhører Viking Life-Saving Equipment A/S. Forkortelser skrives første gang fuldt ud og derefter kun med forbogstaver.

Projektet er udarbejdet i samarbejde med Research & Development afdelingen hos Viking Life-Saving Equipment A/S og særlig tak til vejleder Søren Kristiansen som har bistået med råd og vejledning gennem hele projektet. Tak skal også lyde til Christian Ibsen, Jens Nielsen, Hans Kristian Bruun og Ivan Hansen for ideer og kritiske spørgsmål.

Tak til hovedvejleder fra Aalborg Universitet Esbjerg. Anders Schmidt Kristensen.

Indholdsfortegnelse

Forord	1
Titelblad.....	5
Synopsis.....	5
Projekt mål.....	5
Problemanalyse.....	7
Problemformulering	9
Problemafgrænsning 1	9
Centrifugalkobling.....	9
Viskosebremse.....	10
Problemafgrænsning 2	12
Kravspecifikation.....	12
Primære.....	12
Sekundære	12
Løsningsforslag	12
Beskrivelse af Viskosebremsens virkemåde.....	14
Designovervejelser	18
Beskrivelse af Viskosebremsens konstruktion	19
Rotorplade og rotorblade	19
Aksel.....	21
Lejebøsninger	21
Statorhus	22
Statorlåg.....	23
Wiretromler	23
Dimensionering	24
Tromlekapacitet.....	25
Rotordimensionering	27

Lejer	31
Bremsevæske	32
Olie.....	32
Silikone	34
Test.....	38
Testbeskrivelse.....	38
Rejsetid.....	38
Energitilførsel.....	40
Væskeudvidelse	40
Testudstyr.....	41
Databehandling	42
1000 kg eksempel.....	46
Dragkoefficient metoden.....	48
Ændringsmuligheder	49
Diskussion.....	50
Konklusion	50
Litteraturliste.....	Error! Bookmark not defined.
Kildeliste	51

Titelblad

Titel: Viskosebremse
Vejleder Viking: Søren Kristiansen
Vejleder AAUE: Anders Schmidt Kristensen
Projektperiode: 15. oktober 2013 – 1. januar 2014
Projekt udarbejdet af: Peter Jacobi
Sideantal:

Synopsis

Denne rapport handler om optimering af et bremsesystem der styrer hastigheden af et lod under nedfiring fra en given højde. Det vises i rapporten hvordan denne bremseeffekt opnås når to plader klipper en væskefilm over og ligeledes vises det hvordan bremseeffekten beregnes og hvordan bremsevæskens egenskaber har indflydelse på samme. Sammenligning mellem to forskellige viskosebremseprincipper er at finde og sidst i rapporten hvor det også konkluderes at viskosebremsen er en simpel, effektiv og anvendelig til sit formål.

Projektmål

Vikings R&D afdeling ønsker at finde en løsning til bremsning af nedfiringshastigheden når evakueringsystemer fires fra dækket af et skib og ned til havoverfladen. Viking har udviklet et system der bremser nedfiringshastigheden ved hjælp af gearinger og en viskosebremse og dette princip ønskes benyttet til den nye løsning, blot skal løsningen være et mere enkelt og kosteffektivt nedfiringssystem.

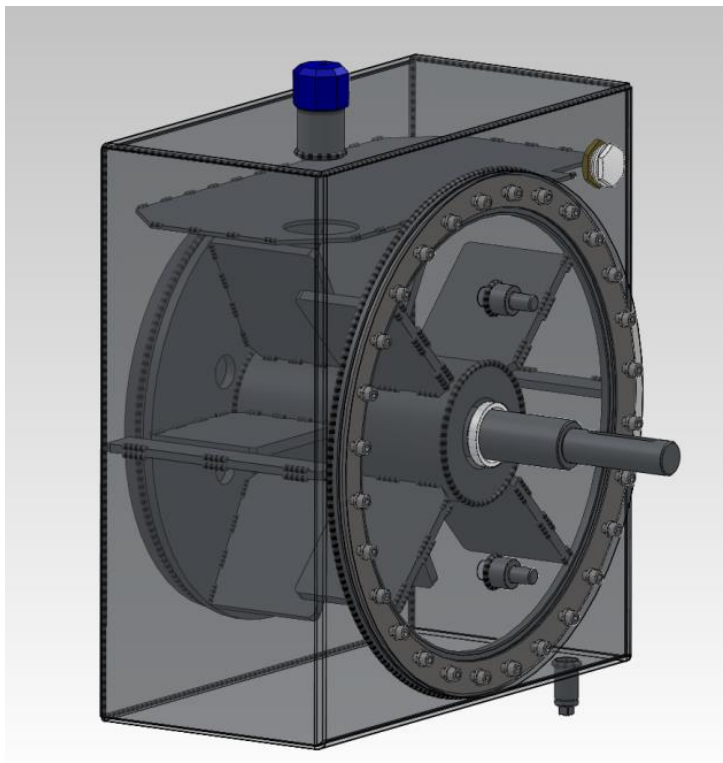
Peter Jacobi



Figur 1 viser det bremsesystem Viking har anvendt hidtil. Viskosebremse forest [1], gearkasse bagved [2] og til højre kæde-tandhjulsudveksling [3]. Bemærk den sorte rem der trækkes i så systemet roterer [4].

Problemanalyse

Vikings eksisterende viskosebremse koster 50.000 kroner og er en kompliceret og dyr løsning der anvendes til store og komplicerede redningssystemer og der er behov for at finde en billig og simpel løsning der kan anvendes til mindre redningssystemer. På Figur 1 ses det eksisterende viskosebremsesystem som er udført med en simpel roterende mølle nedsænket i væske og en gearing af omdrejningshastigheden sker via to gearsystemer, først med kæde-tandhjul gearing og med en gearkasse, i alt et udvekslingsforhold på 1:36. Det eksisterende system virker ved at den sorte rem [4] trækkes ud ved søsætning af redningssystemer og denne udtrækning får kædehjulet [3] til at rotere og via en kæde og mindre kædehjul roteres

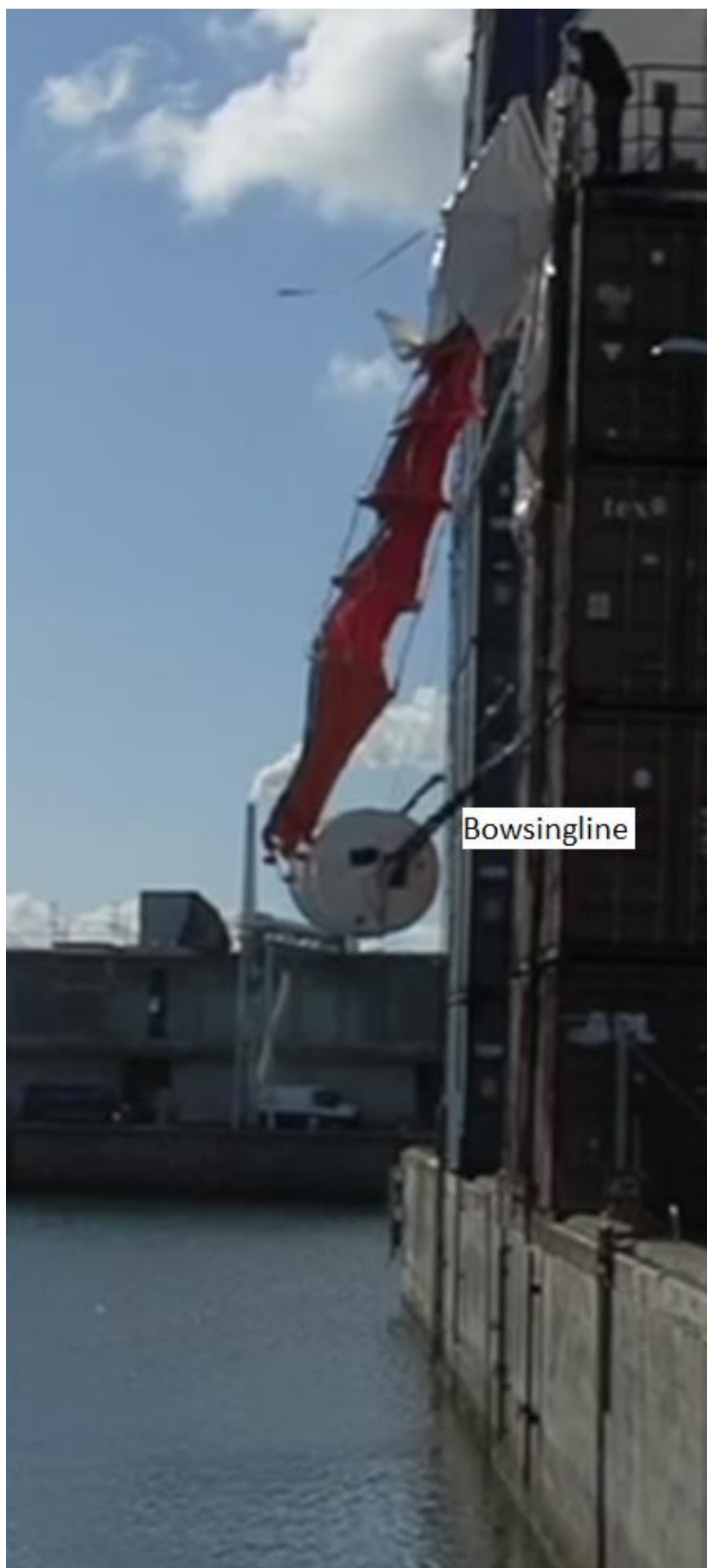


Figur 2 viser den eksisterende viskosebremses indre dele. Den ses her uden gear og tandhjulsudveksling

indgangsakslen til gearkassen [2]. Vinkelgearkassens udgangsaksel roterer indgangsakslen på selve viskosebremsen [1]. På Figur 2 ses selve viskosebremsen og rotoren roterer med dens fire blade, rundt i olie og det er rotorbladenes friktion mod olien der skal give den bremsende effekt. Hele dette system har en bremsekapacitet på syv ton, men er relativt dyrt og kompliceret og derfor anvendes systemet også kun til større, dyrere og mere komplicerede

redningssystemer.

Mindre redningssystemer har brug for en lignende løsning blot skal den være mere simpel og mindre kostbar. Redningssystemet som viskosebremsen skal anvendes til er beskrevet herunder. Figur 3 viser en redningsflåde der kastes overbord og flåden falder ned mod havoverfladen. Til redningsflåden er forbundet nedstigningssystem, kaldet en chute, og for at denne fungerer skal redningsflåden lande korrekt dvs. den ikke må dreje sig så chuten og den forbindelsesliner bliver snoet. For at undgå redningsflåden drejer sig under søsætning, er den via nogle bowsingliner forbundet til et bowsingsystem der sidder udvendigt på skibssiden. Dette system er årsag til problemer og Viking vil gerne finde en løsning til erstatning for dette.



Figur 3 viser en redningsflåde med tilhørende chutesystem under søsætning. Bemærk bowsingliner forbundet til de lodrette bowsingsystem

Problemformulering

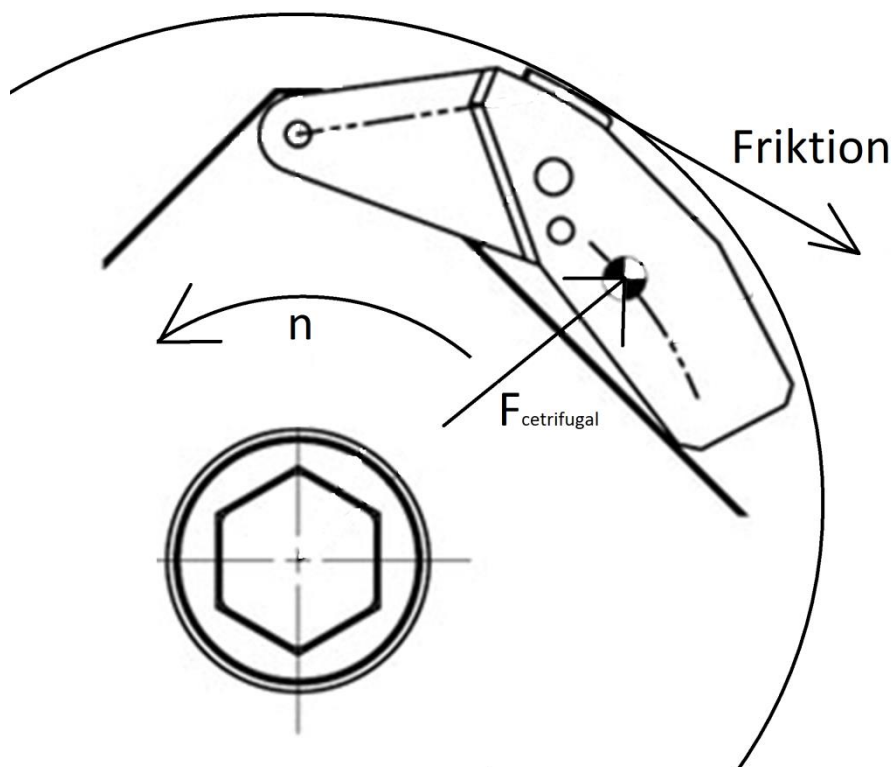
Hvordan styres et redningssystems nedfiring under søsætning på en simpel og effektiv måde?

Problemafgrænsning 1

Denne nye løsning afgrænses til at omhandle to bremseprincipper; centrifugalkobling og viskosebremse.

Centrifugalkobling

En centrifugalkobling er velkendt teknik der anvendes i utallige sammenhænge og findes i mange forskellige udformninger og her er der valgt at se på centrifugalkoblingstypen som alternativ til det eksisterende bremsesystem. På Figur 4 ses en principskitse af en centrifugalkobling som er opbygget med nogle vægte eller svingklodser med friktionsmateriale på. Svingklodserne sidder på en roterende enhed som roterer inde i en cylinder og når rotationshastigheden bliver tilstrækkelig høj tvinges svingklodserne og dermed friktionsmaterialet ud i cylinderperiferien og bremser denne roterende bevægelse.



Figur 4 viser en principskitse af en centrifugalkobling^[3]

Figur 5 herunder viser centrifugalkoblinger anvendt i forskellige sammenhænge som for eksempel små centrifugalkoblinger i faldsikring og klatreudstyr og større centrifugalkoblinger til fremdrivning. En centrifugalkobling består, trods sin relativt simple opbygning, af flere roterende og mekaniske dele som alle skal være funktionsdygtige selv efter lang tids stilstand. Korrosionsrisiko og risiko for at mekaniske dele sidder fast og ikke er funktionsdygtige taler imod at anvende centrifugalkoblingsprincippet som nedfiringbremse.



Figur 5 viser centrifugalkoblinger i forskellige anvendelser. Til venstre faldbremsen anvendt som sikkerhedsudstyr og til højre ses de indre dele af en centrifugalkobling [\[5\]\[6\]\[7\]](#)

Viskosebremse

En viskosebremse findes i mange forskellige udformninger og er også anvendt i mange forskellige sammenhænge. Det er et velkendt princip der virker ved at en rotor med blade bevæger sig i en væske og friktionen i væsken er det der bremser rotoren. En anden type viskosebremse virker ved at 'klippe' en tynd væskefilm over mellem nogle roterende skiver. Dog er der mange variationer inden for disse beskrivelser, nogle viskosebremses er begrænset og kan kun rotere dele af en omgang og andre er afhængig af en energikilde såsom trykluft eller strøm. Denne viskosebremse skal kunne virke uden energikilde og den skal kunne rotere frit, altså skal den ikke være begrænset til kun at kunne rotere delvist og det der skal få denne viskosebremse til at rotere er redningssystemets faldende masse. Der kan anvendes forskellige væsker som har forskellige egenskaber. Luft kan i den sammenhæng betragtes som en væske. Viskosebremsen har den fordel frem for centrifugalkobling, at dens bevægelige dele roterer i et væskefyldt kammer, hvilket reducerer risikoen for korrosionsdannelse og dermed funktionsfejl. Figur 6 viser eksempler på viskosebremses anvendt i automobilindustrien og

Figur 7 viser en viskosebremse, eller en 'blæser' anvendt i forbindelse med en enhed til træning af faldskærmsudspring. Det fluidum der skal bremse redningssystemets nedfiring kan i princippet også være luft, dog vil en 'blæsebremse' antage store proportioner for at opnå tilstrækkelig bremseeffekt på grund af lufts lave viskositet og densitet.



Figur 6 viser forskellige typer af viskosebremseprincippet, [\[8\]\[9\]\[10\]](#)



Figur 7 viser en Fan Decender som også er en viskosebremse, blot er det bremsende fluidum her luft [\[11\]](#)

Problemafgrænsning 2

I dette afgrænses opgaven til at se på viskosebremsen som Viking har gode erfaringer med og yderligere vurderes pålideligheden ved centrifugalkoblingsprincippet roterende for lille pga. korrosion og fremmeelementer kan blokere funktionen.

Kravspecifikation

Primære

- Skal håndtere 1000 kg
- Nedfiringshastighed 2 m/s
- Nedfiringslængde 20 m
- Arbejdstemperatur -30 til +65 °C

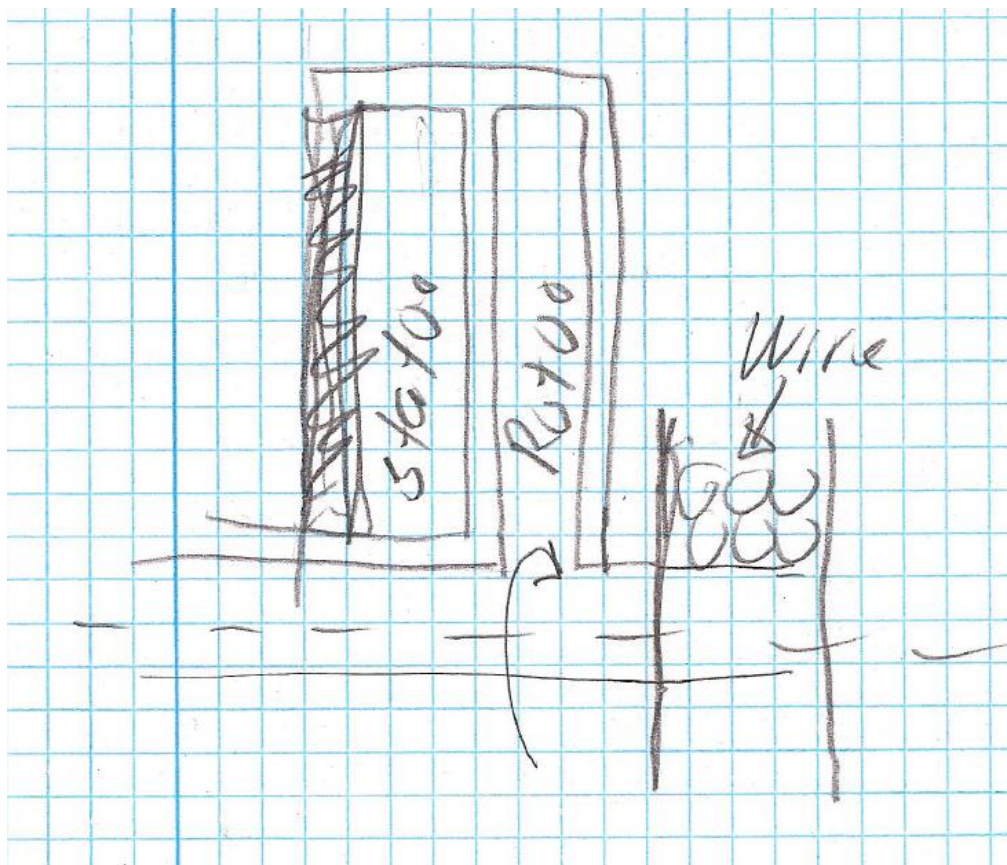
Sekundære

- Skal være billigere end nuværende løsning
- Skal være simpel - uden transmission
- Skal være mindre end Vikings eksisterende viskosebremssystem

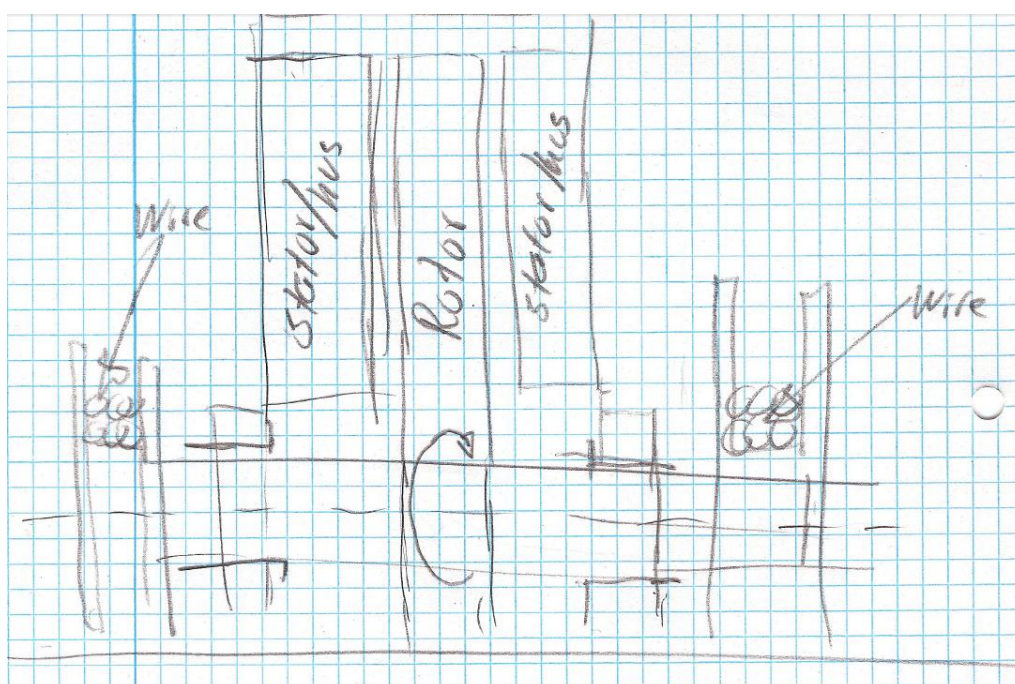
Løsningsforslag

Her ses der på hvordan en viskosebremse kunne designes så den opfylder kravene.

De første ideer er skitseret på Figur 8 og Figur 9 og er tænkt som et snit gennem et enkelt sæt af statorplader/rotorblade som så kan placeres med et vilkårligt antal rundt i viskosebremmens cylinder. Der må dog ikke være for mange i det den bremsende væske skal have mulighed for at komme ind mellem statorpladerne og rotorbladene og samtidigt skal det også være muligt at svejse mellem rotorbladene. Ideskitserne er inspireret af virkemåden i et oliefyldt differentialespær dog mindre kompliceret og mindre kompakt for at holde fremstillingsprocessen simpel og uden for megen maskinbearbejdning. Den endelige ide fremkom efter nogen tid med konstruktion af princippet i Figur 9 og som det ses af Figur 10 er rotoren forsynet med en plade i midten som skal afstive rotorbladene og dele viskosebremsen op i to kamre.



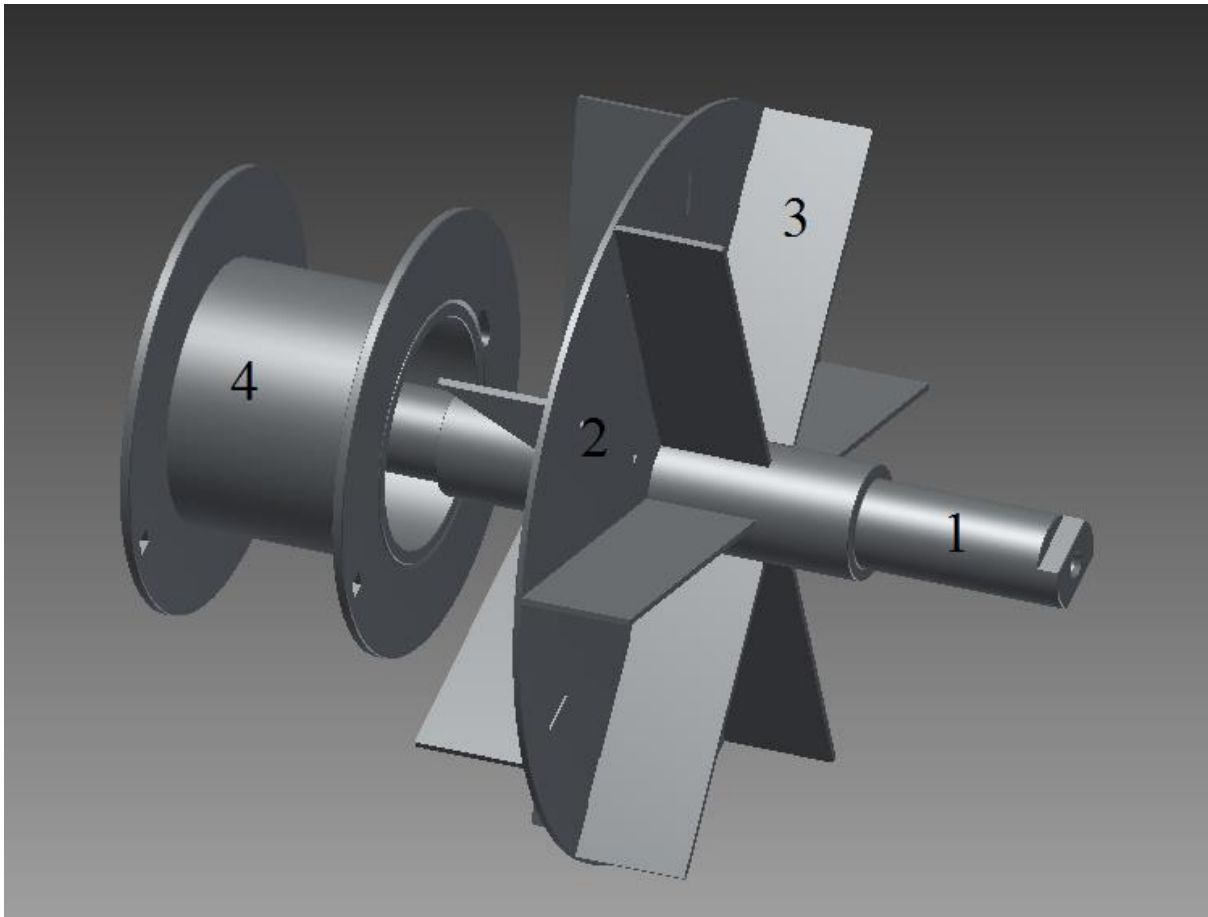
Figur 8 viser en enkelt stator/rotor konfiguration af en viskosebremse



Figur 9 viser en anden ideskitse med statorplader på begge sider af rotoren

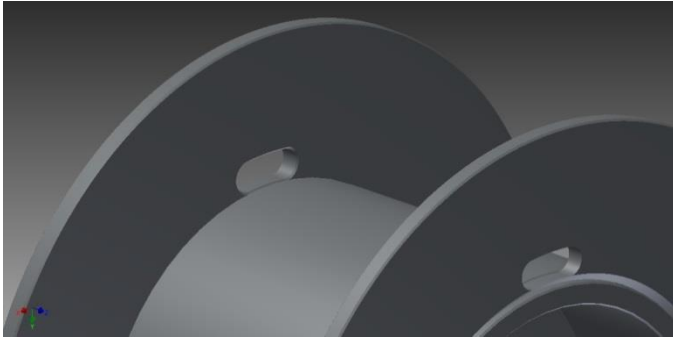
Beskrivelse af Viskosebremsens virkemåde

Viskosebremsen består af to dele; en roterende del og en statisk del kaldet hhv. rotor og stator. På Figur 10 ses rotordelen der består af en aksel hvorpå der sidder en rund rotorplade og på hver side af rotorpladen sidder seks rotorblade, altså tolv styk rotorblade i alt. I hver ende af akslen sidder en wiretromle som wirene skal rulles op på.

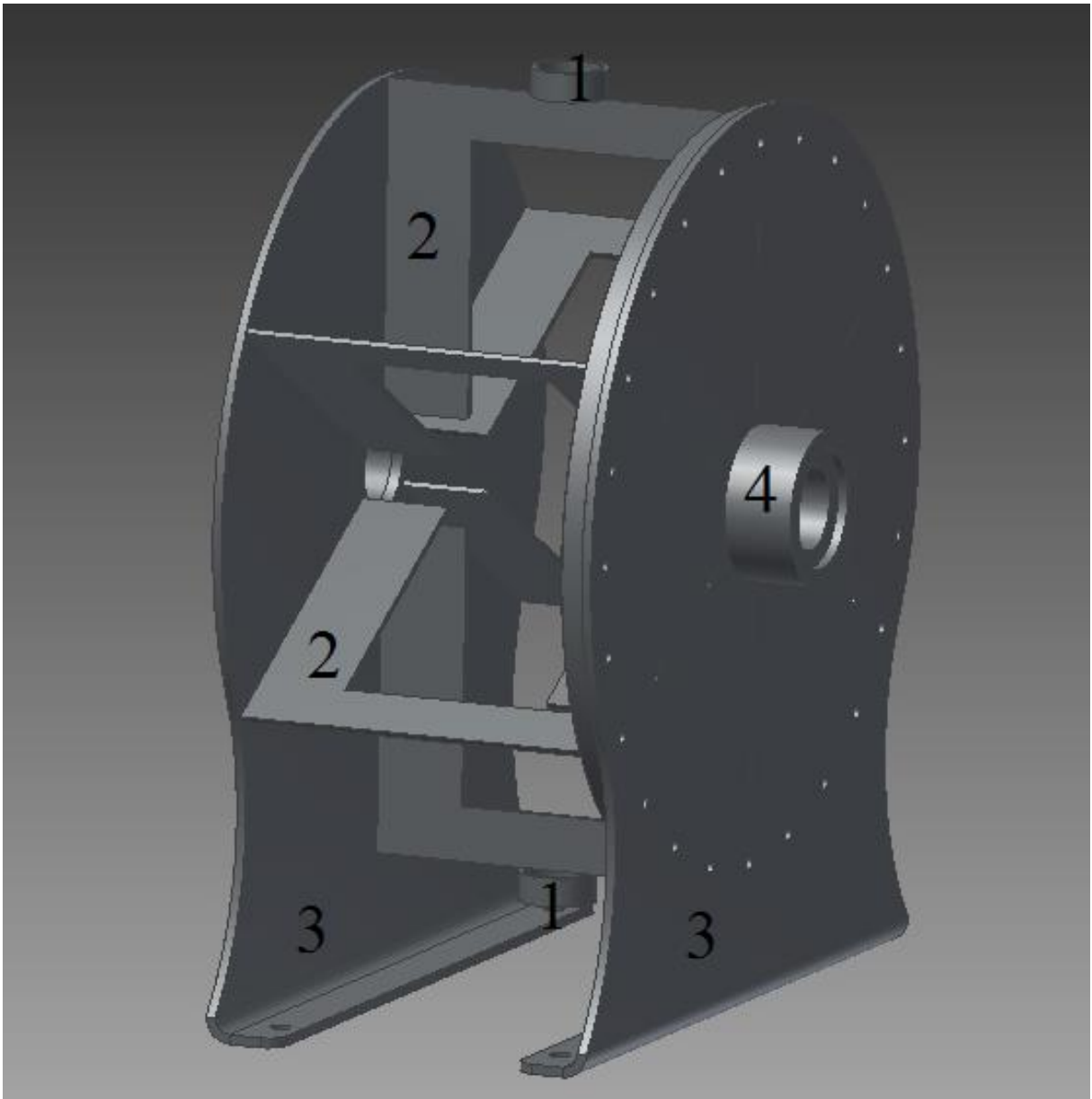


Figur 10 viser den roterende del af viskosebremsen med; 1 rotorakslen, 2 rotorpladen, 3 rotorblade og 4 wiretromle. Billedet viser kun en wiretromle i den ene ende af akslen

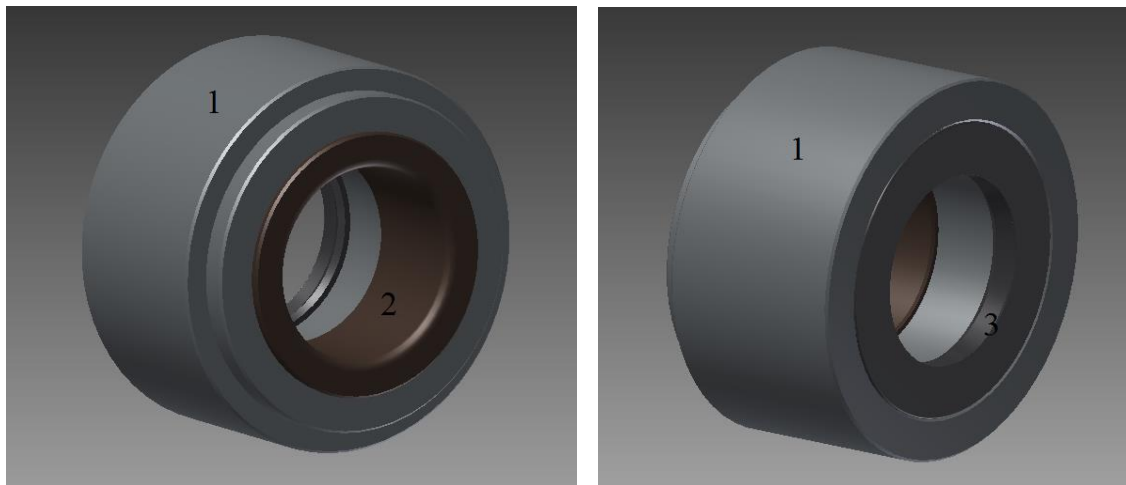
Statoren på Figur 12 består af et cylindrisk svøb med muffe til påfyldning og aftapning af væske. Inde i svøbet sidder seks statorplader jævnt fordelt rundt i periferien og centreret udvendigt på sidepladerne sidder lejbøsning. Statoren er det kammer der skal indeholde den bremsende væske og i kammeret roterer rotoren. Rotorakslens ender stikker ud gennem sidepladerne og på akselenderne sidder to wiretromler der har diameter og bredde til at rumme den nødvendige wirelængde. Som det ses på Figur 11 er wiretromlernes flanger ved flangernes indre diameter forsynet med aflange huller til montage af wiren.



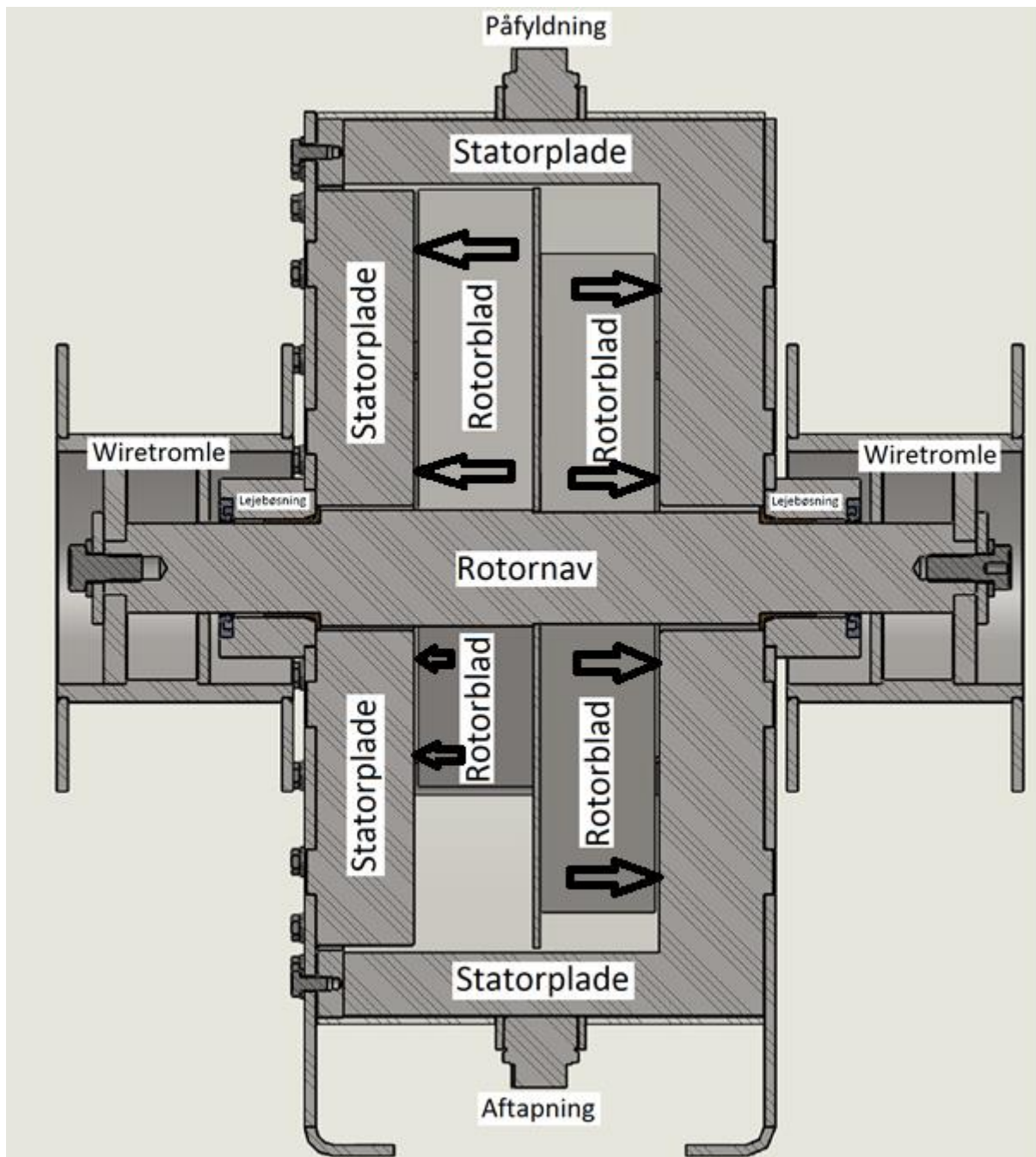
Figur 11 viser det aflange huller til montage af wire



Figur 12 viser; 1 påfyldnings og aftapningsmuffer, 2 statorplader, 3 sideplader og 4 lejbøsningene. viskosebremsens stator del her vist uden svøb, men det sidder rundt om statorpladerne og mellem sidepladerne

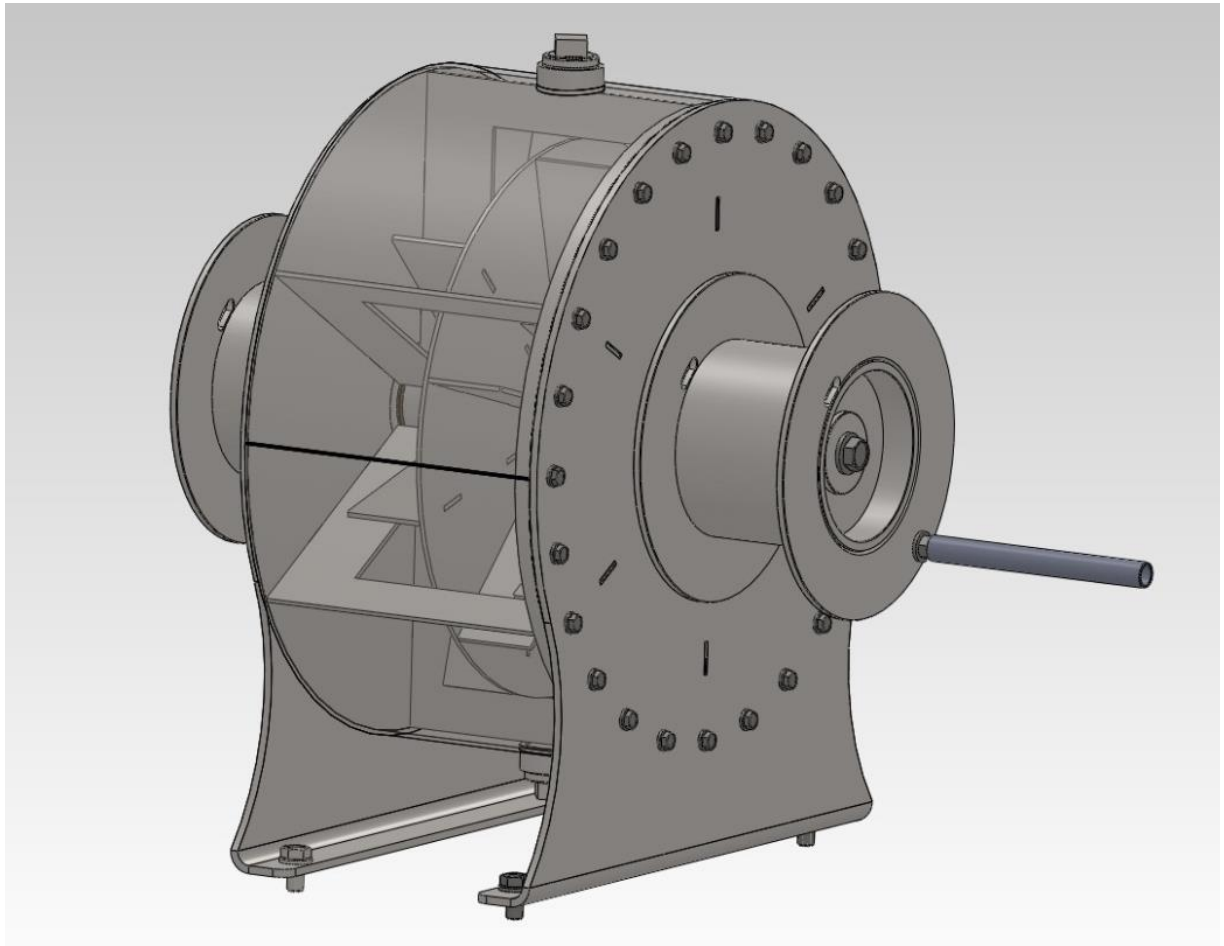


Figur 13 viser legebøsningene fra hhv. Lejesiden og fra siden med olietætningsring. 1 er selve legebøsning, 2 er bronzelejet og 3 er olietætningsringen



Figur 14 viser en snittegning af hele viskosebremsen

Billederne i Figur 13 viser lejbøsningene med bronzeleje og olietætningsring. Disse sidder centreret i sidepladerne på Figur 12. Figur 14 herover viser en snittegning gennem viskosebremsens indre. Pilene viser der hvor oliefilmen klippes over mellem statorplader og rotorbladene. Rotorbladene på tegningen ser ulige lange ud fordi de sidder forskudt på rotorpladen. Rotorbladet øverst til venstre er præcis ud for en statorplade.



Figur 15 viser en samlet viskosebremse. Bemærk den manglende gearkasse. Denne viskosebremse skal virke uden gearing.

Viskosebremsen på Figur 15 virker ved at en vægt trækker i wirene der er rullet op på wiretromlerne, hvilket får tromlerne og rotoren inde i viskosebremsen, til at rotere. Rotorbladene fører nu væsken rundt i statorhuset og hver gang et rotorblad passerer et statorblad bliver væsken mellem bladene klippet over. Denne overklipping medfører en modstand i mellem rotor og stator som via akslen omsættes til et bremsende moment og dette moment bremser wirens udrulning. Som det vises andetsteds i rapporten har væskens kinematiske viskositet og massefylde indflydelse på viskosebremsens effekt også rotorens diameter har stor indflydelse på viskosebremsens effekt. Afstanden mellem rotor og stator, markeret med pile på Figur 14, er afgørende for viskosebremsens effekt og på denne viskosebremse er mellemrummet to millimeter. Dette relativt store mellemrum er valgt af

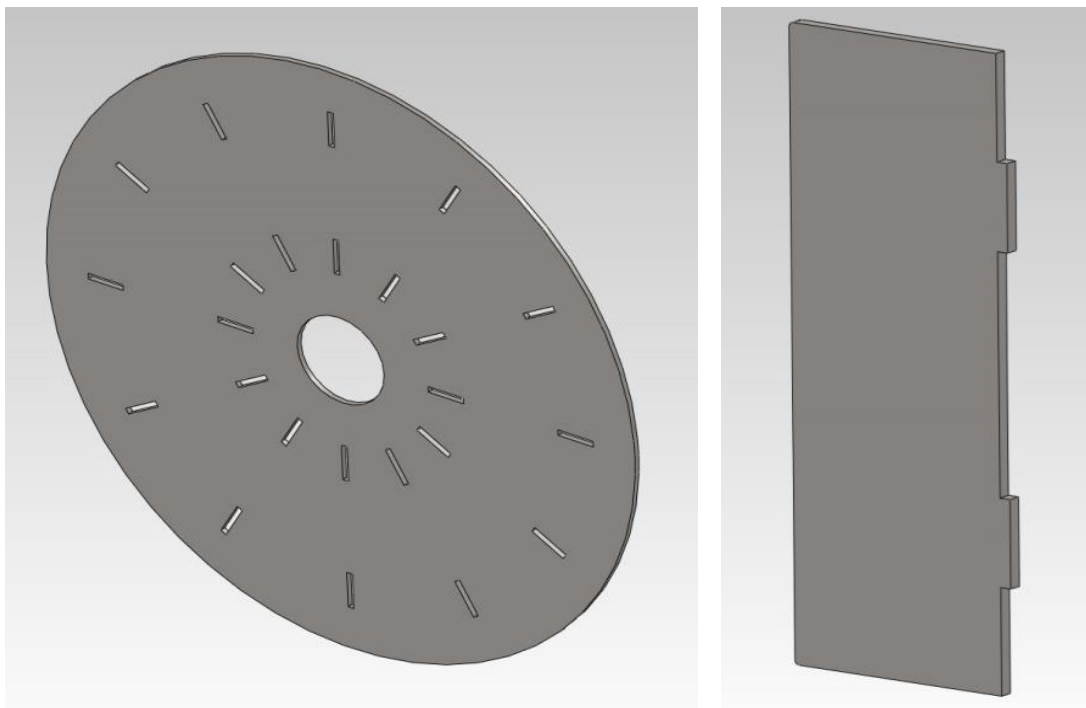
produktionstekniske årsager, men et mindre mellemrum vil naturligvis øge den bremsende effekt.

Designovervejelser

Princippet i den viskosebremse Viking anvender virker ved at en plade bevæger sig gennem en væske og den modstand der genereres herved regnes med en dragkoefficient for en flad plade. Viskosebremsen dette projekt handler om anvender princippet med overklipning af en væskefilm, hvilket gør den væsentligt anderledes og mere effektiv end den hidtidige. Dette princip kræver en vis nøjagtighed og for at minimere antallet af maskinbearbejdede dele anvendes laserskårede flade plader med not og fer der passer sammen således viskosebremsen kan samles med tilstrækkelig nøjagtighed. Dette samleprincip giver mulighed for at designe viskosebremsens enkelte dele således de ikke kan vendes forkert eller sættes et forkert sted, det er så at sige et Poka Yoke princip. Viskosebremsen samles med en tynd pakning der skal give det nødvendige tolerance mellem flangelejerne og akslen.

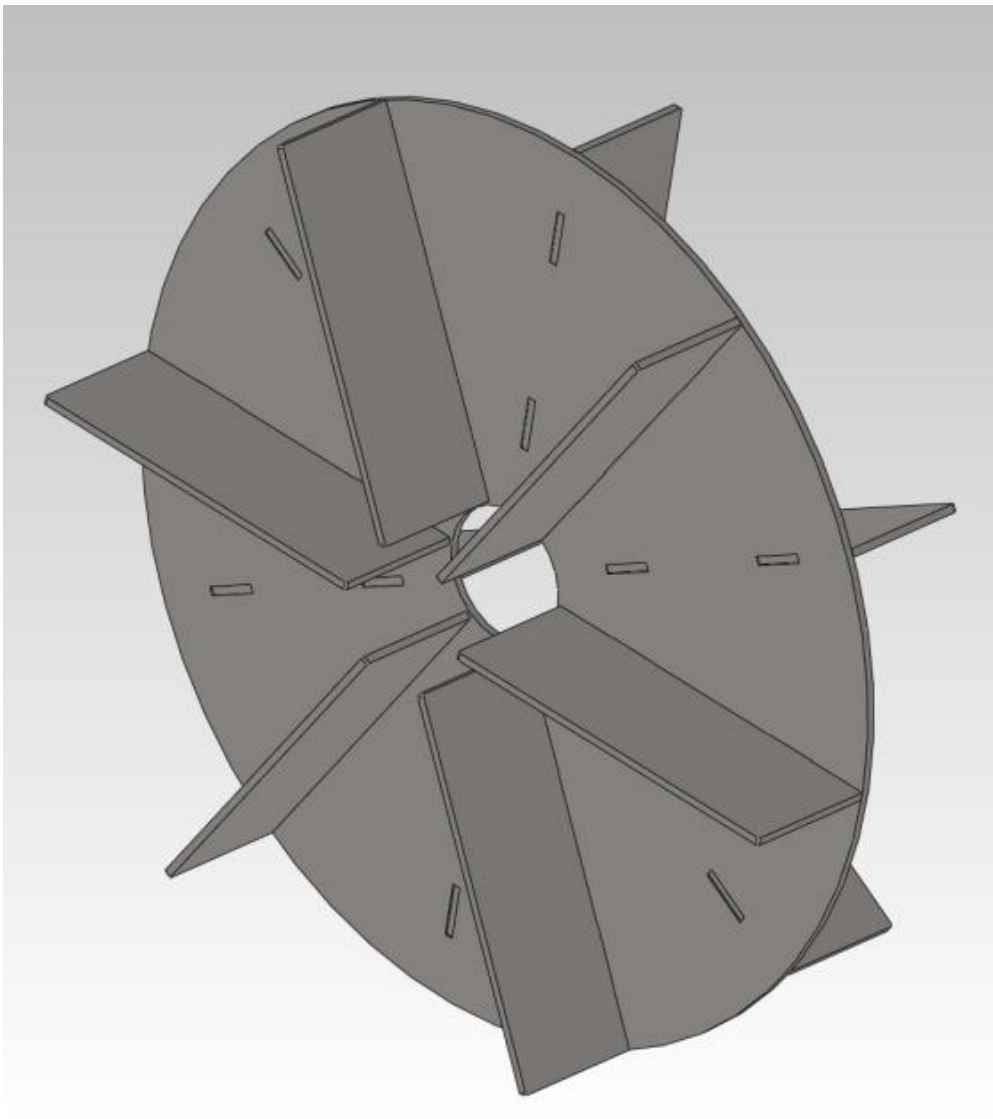
Beskrivelse af Viskosebremsens konstruktion

Rotorplade og rotorblade



Figur 16 viser rotorpladen med slidser til venstre og et rotorblad til højre

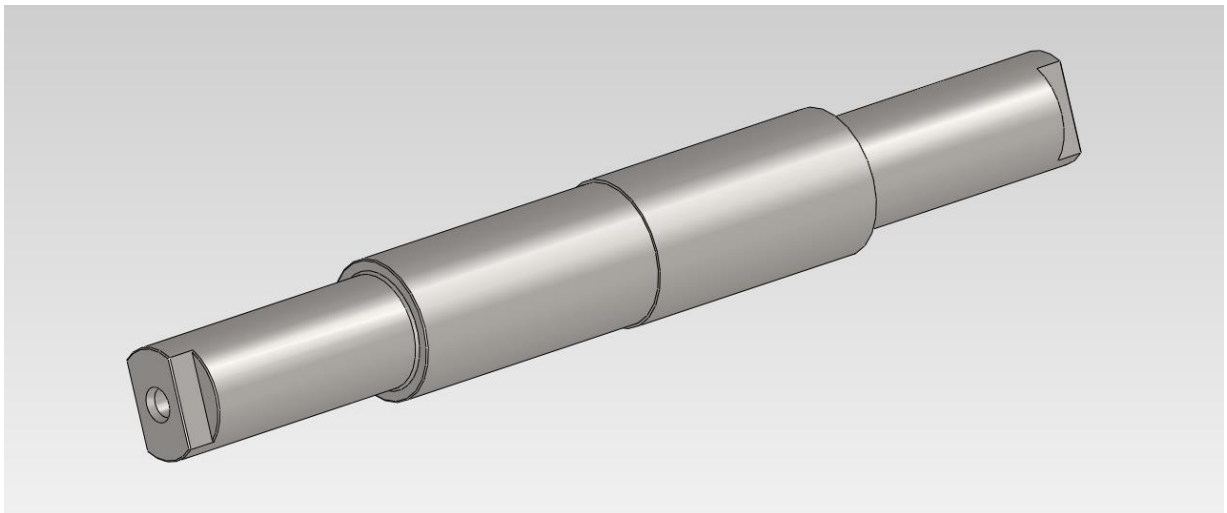
Ideen med en centreret rotorplade på rotoren udspringer af ideen om at have to identiske rotor i samme statorhus. Dette konstruktionsprincip afstiver rotorpladen og samtidig giver det mulighed for, under samling, at rette eventuelle skævheder og centrere rotorpladen således den løber lige når den roterer. Rotorpladen deler viskosebrensens kammer op i to dele der gør det muligt at fordoble antallet af rotorblade og dermed fordoble bremseeffekten. Billederne i Figur 16 viser rotorpladen med noter der passer til rotorbladene fer til højre. Dette letter placeringen af rotorbladene og giver en stiv konstruktion og på billedet herunder (Figur 17) ses rotorbladene placeret skiftevis på den ene og den anden side af rotorpladen. Dette giver mulighed for at svejse rotorbladene fast til rotorpladen i noterne for dermed at minimere pladen trækker sig under varmepåvirkningen fra svejsningen. Samling med akslen giver mulighed for at rette eventuelle små skævheder.



Figur 17 viser rotoren uden aksel. Rotorbladene svejses i slidserne

Aksel

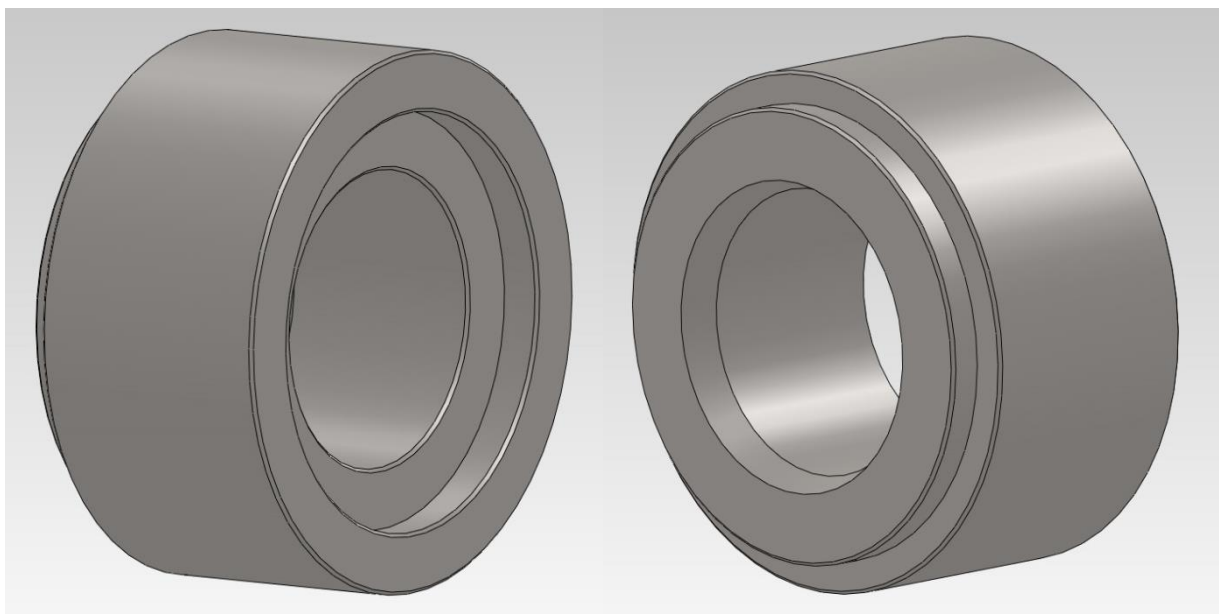
Som vist på Figur 18 ses rotorens aksel som er konstrueret med øje for at det skal være let at samle rotoren og derfor er der en geometriovergang midt på akslen således rotorpladen let kan centreres. Denne centrering af rotorpladen betyder rotoren kan monteres i statorhuset uanset hvilken vej man vender rotoren. Længere ude på akslen er diameteren reduceret yderligere for at have en kant til at styre rotorens aksiale bevægelse, denne geometriovergang udgør således en lejeblade. I akslens ender er fræset nøgleflader og lavet gevind i aksial retning. Nøglefladerne fastholder wiretromlerne i akslens rotationsretning og gevindhullerne skal, sammen med en bolt, en skive og en låseplade, anvendes fastspænding af samme. Vikings sikkerhedsfaktor til stålkonstruktioner er på 4,5^[1] og akslens diameter er naturligvis dimensioneret så den lever op til disse krav og har tilstrækkelig styrke til at modstå de laster den bliver udsat for. Akslens lejeblade er fremstillet så de som minimum matcher lejeleverandørens specifikationer.



Figur 18 viser akslen med geometriændringer til positionering af de dele der skal svejese eller bøstes fast. Bemærk den lille geometriovergang midt på akslen der er til at centrere rotorpladen

Lejebøsninger

Lejebøsningerne (Figur 19) skal holde glidelejer og olietætningsringe og den ene ende er udvendigt udformet så røret positioneres i sidepladen og indvendigt har det en affaset kant, defineret af lejeleverandøren, således glidelejet nemt kan presses ind i røret. Den anden ende af lejebøsningen er indvendigt udformet således en olietætningsring kan monteres. Dimensionerne og tolerancerne til olietætningsringens berøringsflader er defineret af leverandøren^[2]



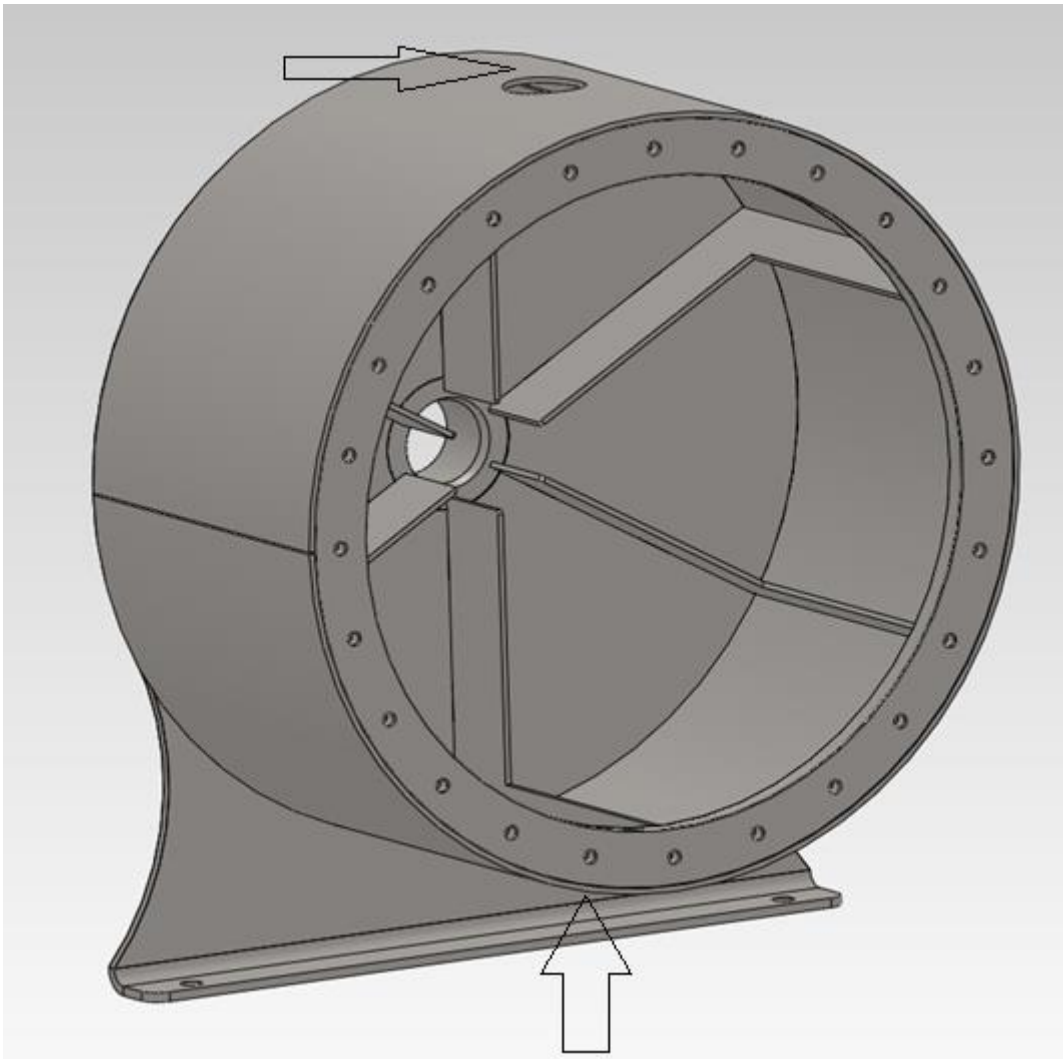
Figur 19 viser til venstre lejesiden af legebøsningen med den affasede kant og til højre vises siden hvor olietætningsringen skal sidde

Statorhus

Statorhuset består af et svøb, en sideplade, en samplingsflange med gevindhuller og seks statorplader. Som det ses på Figur 20 holder svøbet afstanden mellem de to sideplader og derfor er samplingsflangen monteret indvendigt i svøbet dette betyder at det er relativt nemt at opnå den rigtige afstand mellem sidepladerne. De seks statorplader er fordelt jævnt rundt i periferien og fastsvejst udvendigt i slidserne og med to hæftninger indvendigt i svøbet. Statorhusets samplingsprocedure er det eneste ved viskosebremsen der er nødvendigt at gøre i den rigtige rækkefølge for at opnå et tilfredsstillende resultat og proceduren er som følger:

1. Legebøsning hæftes og fuldsvejses indvendigt på statorhusets sideplade og svejsning planslibes.
2. Flangen boltes på sidepladen til statorlåget.
3. Svøbets sættes på flangen og påfyldnings og aftapningshuller positioneres.
4. Flangen hæftes indvendigt på svøbet.
5. Statorpladerne hæftes på statorhusets sideplade.
6. Statorhusets sideplade med statorplader skydes ind i svøbet og hæftes på svøbet.
7. Statorlåget afmonteres og statorhuset fuldsvejses tæt.

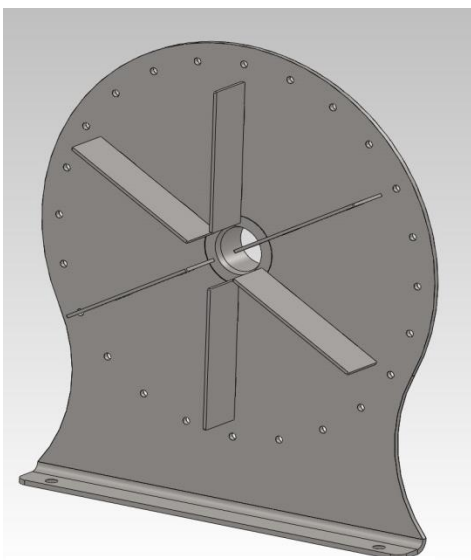
Følges denne procedure opnås et tilfredsstillende resultat, hvilket har stor betydning for viskosebremsens effektivitet.



Figur 20 viser statorhuset, her dog uden påfyldnings og aftapningamuffe (markeret med pile)

Statorlåg

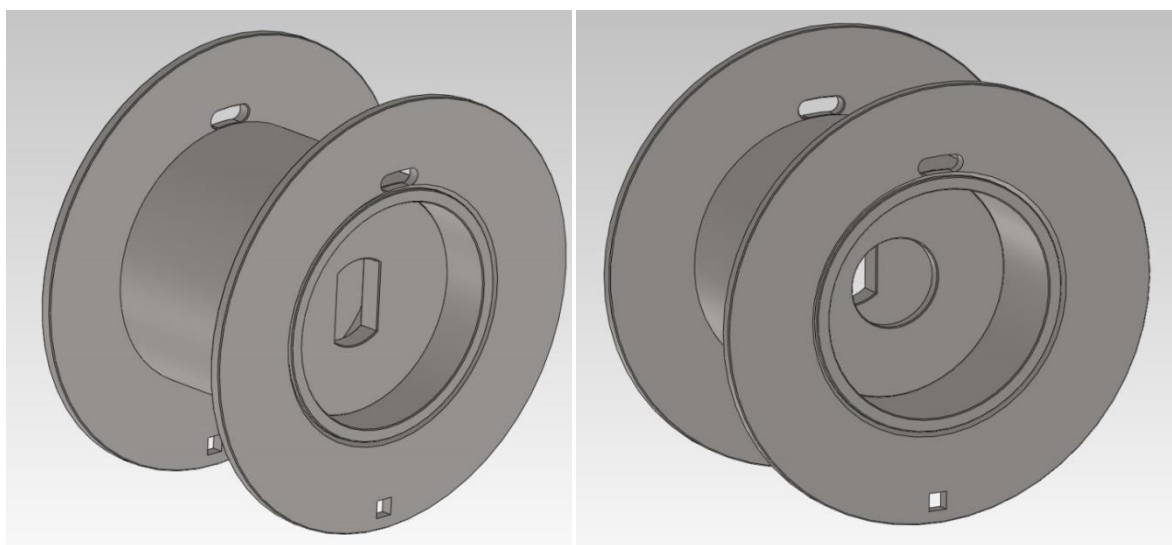
Som det ses på Figur 21 består statorlåget af tre forskellige dele; en sideplade, en lejbøsning og statorblade. Lejbøsningen er centreret udvendigt på sidepladen, svejst indvendigt og svejsningen er slebet plan. Statorbladene sidder indvendigt på sidepladen og er styret af slidserne som er svejst på ydersiden, hvilket afstiver sidepladen. Statorlåget er som andre dele konstrueret således der er minimal chance for at placere statorpladerne forkert.



Figur 21 viser statorlåget med statorplader og lejbøsning

Wiretromler

Wiretromlerne er konstrueret så de kan rumme den nødvendige wirelængde. Tromlerne vises på Figur 22 og består af fire forskellige dele; et emnerør, to tromleflanger, en drivflange og en støtteflange. Indvendigt er emnerøret drejet ud fra hver ende således en drivflange passer ind i den ene ende og en støtteflange i den anden ende. Støtteflangen er placeret så langt inde at røret går ud over og beskytter legebøsningerne. Udvendigt på emnerøret er der drejet et bryst som tromleflangerne passer ind over og tromleflangerne er svejst udvendigt. Begge tromleflanger er forsynet med et aflangt hul hvor wiren skal stikke ud gennem. Dette anvendes under oprulning af wire og wiren sikres ikke i det den skal falde af tromlen efter endt udrulning.



Figur 22 viser wiretromlen fra hhv. drivflangesiden og støtteflangesiden. Bemærk det firkantede hul i flangens kant som er til en brædebolt ifbm. montage et oprulningshåndtag

Dimensionering

Vægten af den flåde eller det redningssystem der skal bremses er afgørende for dimensionering af viskosebremsen og først er vægten bestemmende for wirens tykkelse og hos Viking følges en sikkerhedsfaktor på 6,5^[1] ved wirer og tovværk. Wirediameteren er bestemmende for wiretromlens minimumsdiameter, i det wirens mindste bukkeradius er en begrænsende faktor. Wirelængden er også dimensionsgivende for wiretromlen i det der ifølge Randers Reb^[15] maksimalt må lægge tre lag wire på en tromle for at undgå ødelæggende spændinger i de inderste wirelag.

Wiretromlens diameter er igen bestemmende for det moment der genereres og dermed det modmoment der skal skabes for at opnå en bestemt rejsehastighed og igen er momentet dimensionsgivende for rotores diameter og dermed også statorhusets diameter. Større

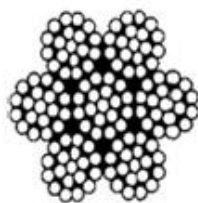
rotordiameter leder til større godstykkelser eller anderledes konstruktionsmetoder, men i princippet kan denne konfiguration, eller dette konstruktionsprincip, anvendes over et bredt momentområde.

Tromlekapacitet

Wirens længde og tykkelse definerer wiretromlens dimensioner og for at finde disse er det nødvendigt at kende wirens tykkelse og længde. Ifølge Randers Reb^[15], må der kun være tre lag wire på en tromle for at undgå ødelæggende spændinger i de inderste wirelag. I dette tilfælde er der tale om 25 meter wire med en minimums brudstyrke på 31,9 kN og denne type wire er 6,6 mm i diameter. Grunden til valget af denne type wire er, at den vægt der ønskes bremset er 1000 kg, hvilket med to wirer medfører 500 kg på hver wire. Med en sikkerhedsfaktor på 6,5 betyder dette at.

$$F_{min.brud} = m \cdot g \cdot SF = 500 \text{ kg} \cdot 9,82 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 6,5 \cdot 10^{-3} = 31,9 \text{ kN}$$

Den minimale effektive brudstyrke skal være 31,9 kN og i skemaet på Figur 23 markeret med rødt, ses 6,6 mm wiren fra Randers Reb der netop opfylder dette.



Tynde stålliner

6 x 19 + WSC

Højre krydsslået - Formlagt.

Min. materialebrudstyrke: Galvaniseret 1960 N/mm².

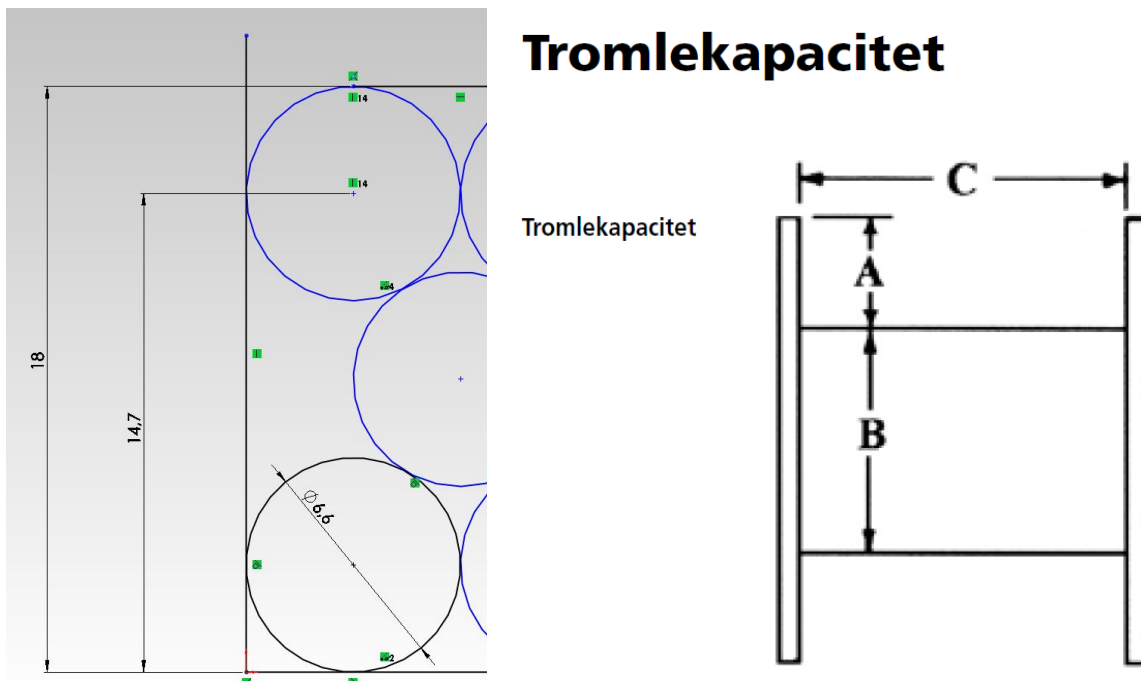
Varenr. Code no.	Dia. mm	Stålareal Steel area mm ²	Vægt Weight kg/m	Min. eff. brudstyrke Min. breaking load	
				kN	kp
E19 - 0035 - 203D	3,5	5,4	0,046	9,2	935
E19 - 0042 - 203D	4,2	8,0	0,073	13,7	1.400
E19 - 0050 - 203D	5,0	11,3	0,097	19,0	1.940
E19 - 0059 - 203D	5,9	15,8	0,135	26,0	2.650
E19 - 0066 - 203D	6,6	19,2	0,164	31,9	3.250
E19 - 0084 - 203D	8,4	30,5	0,260	51,0	5.200

Figur 23 viser skemaet over wirer fra Randers Reb. Her anvendes typen E19-0066-203D med diameter på 6,6 mm og minimumsbrudstyrke på 31,9 kN

Dette valg lægger grunden til wiretromlens minimumsdiameter og dermed også viskosebrensens øvrige dimensioner. I dette tilfælde bliver wiretromlens minimumsdiameter ifølge Randers Rebs anbefalinger:

$$D_{min.tromle} = 20 \cdot d_{wire} = 20 \cdot 6,6 \text{ mm} = 132 \text{ mm}$$

Wiretromlens kapacitet kan herefter bestemmes, i det tromleflangerne skal dække tre wirelag og dens dimensioner bestemmes efter wrens diameter. Tromlens bredde er afhængig af wrens længde da der maksimalt må være tre wirelag oprullet på tromlen og her er valgt en flangediameter på 200 mm for tilstrækkeligt at dække wireoprulningen, men der regnes med et A mål der er 18 mm som illustreret på Figur 24.



Figur 24 viser til venstre lagene på wiretromlen. Målet på de 18 mm er det mål der anvendes til kapacitetsudregning. Til højre ses Randers Rebs symboler til udregning af tromlekapacitet

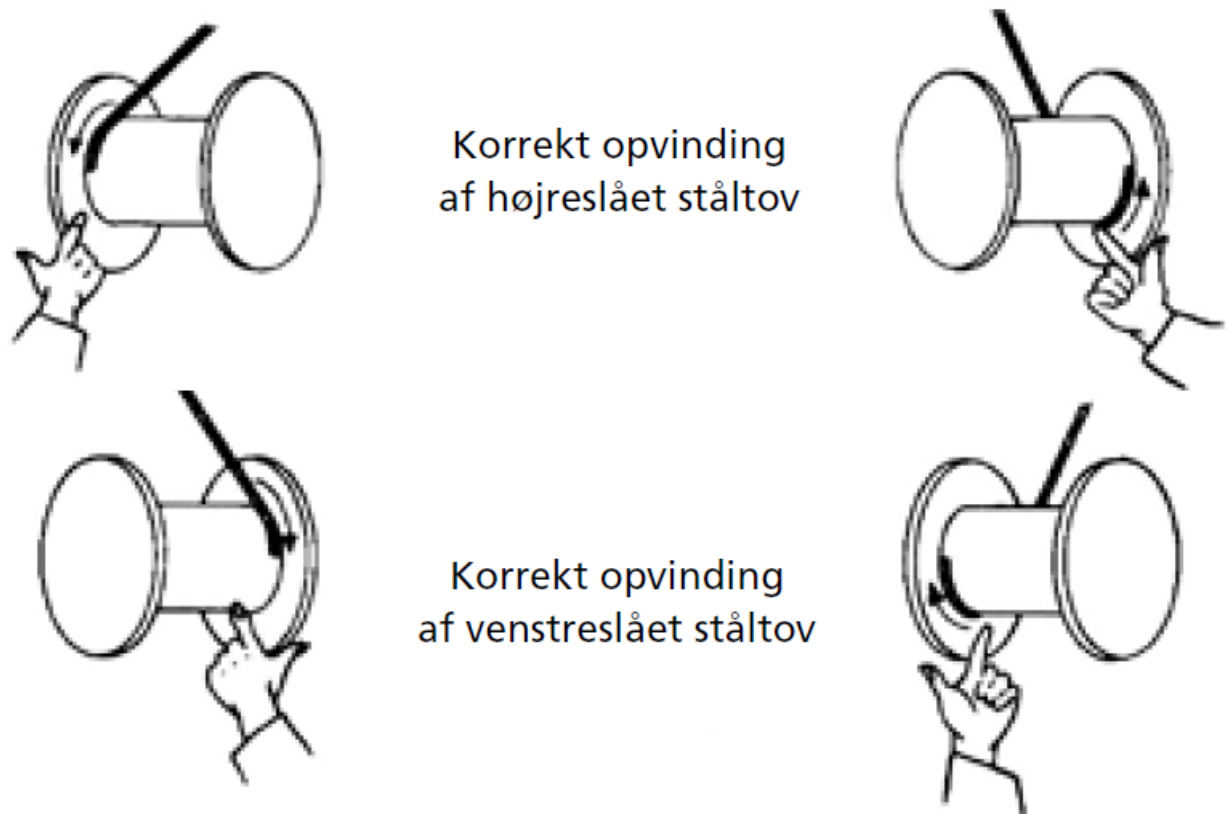
Wirelængden og A og B målene på Figur 24 kendes og tromlebredden ønskes bestemt ud fra Randers Rebs anbefalinger

$$L = \frac{A \cdot C \cdot (A + B) \cdot \pi}{D^2} \Rightarrow$$

$$C = \frac{L \cdot D^2}{A \cdot (A + B) \cdot \pi} = \frac{25000 \cdot 6,6^2}{18 \cdot (18 + 132) \cdot \pi} = 128,3 \text{ mm}$$

Dette leder til en tromlebredde på 129 mm for korrekt tromlekapacitet. Tromleflangerne er af praktiske årsager højere end A målets 18 mm. Wiren rulles op på tromlen efter anvisninger fra Randers Reb og de ovale huller der er i hver tromleflange muliggør at oprulle både højre og venstreslået wire. Wiren låses ikke i hullet men stikkes blot gennem for derefter at blive rullet op således den næste vinding låser wiren. Dette er fordi wiren, i en redningssituation, skal falde af tromlen når den er udrullet. På Figur 25 ses hvordan wiren skal oprulles korrekt ifølge Randers Rebs anbefalinger og da der er huller til wirene i begge sider af wiretromlerne er det

muligt at anvende to højreslåede eller to venstreslåede wire eller en højre og en venstreslået wire



Korrekt montering på spiltromle

Figur 25 viser Randers Rebs anbefalinger ved oprulning af wire på tromle.

Wiretromlen på denne viskosebremse følger ikke disse dimensioner fordi sikkerhedsfaktoren på 6,5 først er indført efter tromlen er sendt til fremstilling.

Rotordimensionering

Rotorens diameter er af overordnet betydning for viskosebremsens effekt og den er samtidig afhængig af wiretromlens diameter og den vægt der skal bremses. For at bestemme rotorens dimensioner betragtes rotorens udformning, rotorvæskens kinematiske viskositet og densitet. Disse faktorer har alle betydning for det modmoment viskosebremsen skal generere og regnes ifølge Phillips Laboratory^[6] således.

$$M_{brake} = n \cdot \pi \cdot v \cdot \rho \cdot \omega \cdot \frac{(r_y^4 - r_i^4)}{d} \Rightarrow$$

$$M_{brake} = \frac{n \cdot \pi \cdot v \cdot \rho \cdot \omega \cdot r^4}{d} \Rightarrow$$

$$r^4 = \frac{M_{brake} \cdot d}{n \cdot \pi \cdot v \cdot \rho \cdot \omega} \Rightarrow$$

$$r = \sqrt[4]{\frac{M_{brake} \cdot d}{n \cdot \pi \cdot v \cdot \rho \cdot \omega}} \Rightarrow$$

M_{brake} = viskosebremsens genererede bremsemoment

n = rotoreffektivitet

v = bremsevæskens kinematiske viskositet

ρ = bremsevæskens densitet

r_y = rotorens ydre radius

r_i = rotorens indre radius, som kendes

Rotorens geometriske udformning har også betydning for dens effektivitet og som udgangspunkt antages antallet af rotorblade at være to. Rotorens effektivitet er afhængig af antallet af rotorblade og denne effektivitet kendes ikke, men som udgangspunkt sættes en værdi. Rotorens totale effektivitet er betegnet ved bogstavet n og den regnes således.

$$n = \text{antal rotorblade} \cdot \text{effektivitet}$$

For at finde rotorens dimensioner er det nødvendigt at bestemme det moment der skal bremses da det leder til modmomentet viskosebremsen skal generere. Til at beregne dette moment bruges wiretromlens øjeblikkelige radius som ifølge Phillips Laboratory^[6] regnes.

$$R_{\text{øjeblikkelig}} = \sqrt{R_y^2 - \frac{(R_y^2 - R_i^2) \cdot l}{L}}$$

$R_{\text{øjeblikkelig}}$ = wiretromlens øjeblikkelige radius

R_y = wiretromlens diameter i yderste wirelag

R_i = wiretromlens diameter i inderste lag

l = øjeblikkelig længde på den udrullede wire

L = totale wirelængde

Wiretromlens udformning betyder wiren er rullet op i tre wirelag på tromlen og derfor ændrer radius sig to gange under udrulning af al wire, men i beregninger anvendes den øjeblikkelige

radius. Den vægt der skal nedfires danner, via wiretromlens øjeblikkelige radius, det moment der skal bremses og beregnes.

$$M = m \cdot g \cdot R_{øjeblikkelig}$$

For at opnå en jævn nedfiringshastighed må der være ligevægt mellem moment og bremsemoment.

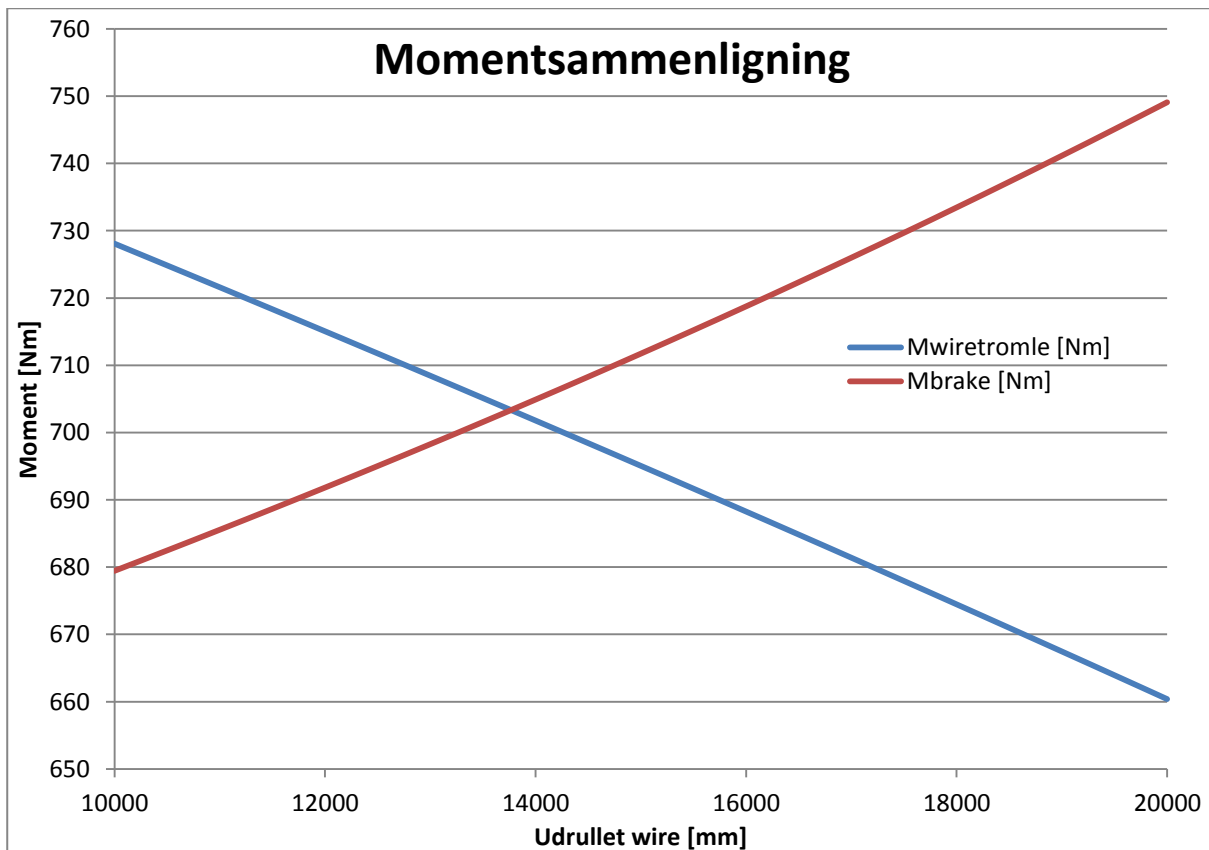
$$M = M_{brake}$$

Eksempelvis vil et 1000 kg lod via den øjeblikkelige radius generere et moment på 728 Nm og faldende til ca. 660 Nm efter udrulning af 10 meter wire.

$$M = 1000 \text{ kg} \cdot 9,82 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 0,074 \text{ m} = 728 \text{ Nm}$$

Forudsat at der holdes momentligevægt vil wiretromlens rotationshastighed være konstant, men den øjeblikkelige radius mindskes konstant, hvilket betyder det genererede moment fra loddets vægt falder mens wiren udrulles fordi radius mindskes. I Figur 26 ses hvordan wiretromlens moment, repræsenteret af den blå linie, falder under wireudrulning og for at opnå ligevægt skal dette moment modsvares af det moment rotoren genererer. Når wiretromlens moment kendes og en væskeviskositet antages, kan rotoren dimensioneres til at modsvare dette.

$$r = \sqrt[4]{\frac{728 \text{ Nm} \cdot 0,00225 \text{ m}}{8 \cdot \pi \cdot 0,001 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 880 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 27 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}} = 0,229 \text{ m}$$



Figur 26 viser moment fra wiretromlen med blå linje og modmoment fra rotoren med rød linje. Skalaen på x-aksen starter ved 10.000 mm fordi der under test vil der være udrullet ca. 10 meter wire inden loddet slippes

Rotoren kan med denne radius generere det modmoment der danner ligevægt med momentet fra wiretromlen med en antaget total rotoreffektivitet på 8.

$$M_{brake} = 8 \cdot \pi \cdot 0,001 \frac{m^2}{s} \cdot 880 \frac{kg}{m^3} \cdot 27 \frac{rad}{s} \cdot \frac{([0,229 m]^4 - [0,026 m]^4)}{0,00225 m} = 728 Nm$$

Dette bremsemoment stiger gradvist efterhånden som wiren udrulles og rotorens omdrejningshastighed stiger og i Figur 26 er der lavet en beregning for hver halve meter udrullet wire. Bremsemomentet er repræsenteret ved den røde linje og hvor den røde og den blå linje krydses vil der opstå momentligevægt og loddets nedfiringshastighed vil være konstant.

Viskosebremseren der er fremstillet har en rotorradius på 0,17 m, hvilket vil, ved en nedfiringshastighed på 2 m/s, generere et modmoment på 221 Nm. Denne rotordimensionering skyldes en regnefejl i udregningen af wiretromlens omkreds som blev opdaget efter at viskosebremseren var sat i produktion. Beregninger og sammenligninger i forbindelse med test baseres på denne rotorradius på 0,17 m.

Lejer

Viskosebremsens lejer på Figur 27 **Error! Reference source not found.** er oliebronzelejer af typen der er åbne så de let kan presses i lejbøsningen. Lejet monteres efter samling af viskosebremsen og rotorakslen anvendes som monteringsdorn og monteres så slidsen sidder i den øverste halvdel af lejbøsningen efter anvisning fra lejeleverandøren. Ved beregning af lejebelastning antages at viskosebremsen kan blokere under nedfiring af vægten, hvilket medfører følgende beregning.

$$v_{leje} = \frac{d_{aksel} \cdot \pi \cdot n \cdot 10^6}{60} = \frac{40 \text{ mm} \cdot \pi \cdot 955 \frac{\text{o}}{\text{min}} \cdot 10^3}{60} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$
$$P_{Load} = \frac{b \cdot d}{F} = \frac{25 \text{ mm} \cdot 40 \text{ mm}}{4910 \text{ N}} = 4,91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



Figur 27 viser et leje af typen som er anvendt i viskosebremsen

Lejets statiske belastningsgrænse er iflg. Lejeleverandøren 120 N/mm² og den dynamiske belastning er 40 N/mm² for hastigheder under 2 m/s, hvorfor omdrejningshastigheden 955 o/min er valgt. 955 o/min medfører en nedfiringshastighed på 7,4 m/s, hvilket ikke er ønsket og derfor er lejets dynamiske lejebelastning tilstrækkelig. For rotationshastigheder under 2 m/s er der en god sikkerhedsfaktor i det den dynamiske belastningsgrænse er 40 N/mm² der leder til en sikkerhedsfaktor på godt 8.

Bremsevæske

Dette afsnit omhandler de forskellige typer af væsker der kan anvendes i viskosebremsen og hvilke fordele og ulemper de har.

Olie

For at viskosebremsen skal kunne generere et modmoment til nedbremsning af vægten er det nødvendigt med væske i kammeret hvor rotoren drejer rundt. Denne væske kunne principielt være luft, men dette vil kræve en væsentligt anderledes dimensionering af viskosebremsen. Olie er, med succes, anvendt i vikings hidtidige viskosebremse og den har veldefinerede egenskaber og vil beskytte viskosebremsens indre mod korrosion således den efter lang tids stilstand stadig er funktionsdygtig. Olies viskositet er afhængig af temperaturen og kravene definerer et temperaturområde mellem $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $65\text{ }^{\circ}\text{C}$, hvilket betyder oliens kinematiske viskositet ændrer sig meget. Eksempelvis vil motorolie være meget tyndtflydende ved $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ og meget tyktflydende, eller helt fast, ved $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dette betyder der skal anvendes en olie der er flydende ved selv $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, hvilket medfører olien vil være meget tyndtflydende ved $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Denne forskel i viskositet er afhængig af oliens viskositetsindeks og et lavt viskositetsindeks betyder der er mindre forskel på oliens flydeevne ved de to yderpunkter. Et højt viskositetsindeks betyder større forskel på oliens flydeevne ved forskellige temperaturer. Viskositeten ved en specifik temperatur kan forudbestemmes med oplysninger fra oliens datablad. Eksempelvis oplyses den kinematiske viskositet for Texaco 20W-50 olie ved $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ til hhv. 160,4 cSt og 18 cSt hvilket leder til en operationel viskositet ved $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ på 1251,48 cSt. Det vil sige ved $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ har olien en væsentligt ringere flydeevne end ved eksempelvis $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ eller olien er mere tyktflydende.

Figur 28 viser en regnemaskine fra Widman International SRL^[14] der udregner den operationelle temperatur ved en given temperatur blot oliens typiske viskositetsværdier ved hhv. $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ er kendt. Temperaturen $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ er valgt fordi det er cirka oliens temperatur på testdagen hvilket giver et udgangspunkt for viskosebremsens dimensionsberegninger. I situationen hvor den skal anvendes

Viscosity Calculator at a Specific Temperature (ASTM D341)		
Type the Viscosities and Temperatures know and the temperature at which you want the viscosity.	Temperature Celsius	Viscosity cSt
Temperature and Viscosity 1	40.00	160.40
Temperature and Viscosity 2	100.00	18.00
Temperature Operational	8.00	°C
Viscosity at Operational Temperature	1251.48	cSt

Figur 28 viser en regnemaskine^[143] til beregning af viskositet ved en vilkårlig temperatur

Denne værdi kan nu anvendes ved beregning af viskosebremsens dimensioner. Eksempelvis vil et 400 kg lod med en ønsket konstant hastighed på 2 m/s ved olietemperatur på 8 °C, lede til en ydre rotorradius på 170,5 mm. Loddets vægt danner sammen med wiretromlens øjeblikkelige radius et moment på 280 Nm som viskosebremsen skal modsvare for at opnå ligevægt og konstant rejsehastighed. Dette moment anvendes, sammen med de øvrige oplysninger i formelen udledt tidligere, hvilket giver følgende.

$$r = \sqrt[4]{\frac{285 \text{ Nm} \cdot 0,00225 \text{ m}}{4,6 \cdot \pi \cdot 0,001251 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 880 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 47,5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}} = 0,1705 \text{ m}$$

Antages en temperatur på hhv. -30 og 60 °C giver det viskositeter i yderpunkterne på hhv. 77728 cSt og 53 cSt, hvilket, med samme rotordimensioner, leder til nedfiringshastigheder på hhv. 0,003 m/s og 45 m/s Dette betyder viskosebremsen er uden praktisk virkning i disse ydre temperaturområder.

Der findes mange typer olie med forskellige egenskaber, men fælles for alle har de et relativt bredt viskositetsindeks, hvilket diskvalificerer dem som bremsevæske når de anvendes ved meget lave eller høje temperaturer. Olie kan anvendes som bremsevæske i viskosebremsen indenfor et relativt smalt temperaturområde, men bliver olien meget kold eller meget varm vil viskosebremsen praktisk talt være uden virkning.

Silikone

Silikonebaseret væske har, ligesom olien, gode egenskaber og i tillæg hertil har den meget ringe evne til at optage vand, men der er en afgørende forskel og det er silikonevæskens lille viskositetsændring over et bredt temperaturområde. Denne egenskab gør silikonevæske særdeles velegnet til brug i viskosebremsen der, selv ved meget lave temperaturer, vil sikre viskosebremsens funktion. Shin Etsu SSF 1000^[14] er sådan et produkt og denne væske er kendetegnet ved lille viskositetsændring mellem -60 °C og +200 °C og anvendes denne væske i viskosebremsen vil den have brugbare egenskaber indenfor kravspecifikationerne. I diagrammet Figur 29 er det relativt let at danne sig et overblik over hvordan de forskellige væsker ændrer loddets rejsehastighed ved temperaturændringer mellem -30 °C og +65 °C. Væskernes bremseevne sammenlignes i en viskosebremse med ens dimensioner, altså er bremsens dimensioner forudsat ens ved alle væsketyper og rejsehastigheden er når der er opnået ligevægt mellem momentet fra viretromlen og modmomentet fra rotoren, altså når rejsehastigheden er konstant. I denne sammenligning er der ikke set på acceleration fra stilstand til konstant rejsehastighed. En yderligere forudsætning i denne sammenligning er at der er anvendes et 1000 kg lod der via den øjeblikkelige radius på wiretromlen genererer et moment på 728 Nm. Rejsehastigheden er udregnet således.

$$M_{brake} = n \cdot \pi \cdot v \cdot \rho \cdot \omega \cdot \frac{(r_y^4 - r_i^4)}{d} \Rightarrow$$

$$\omega = \frac{M_{brake} \cdot d}{n \cdot \rho \cdot (r_y^4 - r_i^4) \cdot \pi \cdot v} \left[\frac{rad}{s} \right]$$

$$V = \omega \cdot R_{øjeblikkelig} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Det der ændrer rejsehastigheden er altså bremsevæskens viskositet i det rotoren skal rotere hurtigere i en tyndt flydende væske, for at generere samme modmoment som når rotoren roterer i en tykkere flydende væske. Et eksempel kan være en viskosebremse dimensioneret til at sikre et 1000 kg lod en rejsehastighed på 2 m/s ved 5 °C og viskosebremsen er fyldt med silikonevæske der ved 5 °C har en kinematisk viskositet på 1550 cSt. Dette medfører, ifølge tidligere ligninger, en rotorradius på 0,20 m.

$$\omega = \frac{728 \text{ Nm} \cdot 0,00225 \text{ m}}{8 \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot ([0,20 \text{ m}]^4 - [0,026 \text{ m}]^4) \cdot \pi \cdot 1550 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 26,3 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

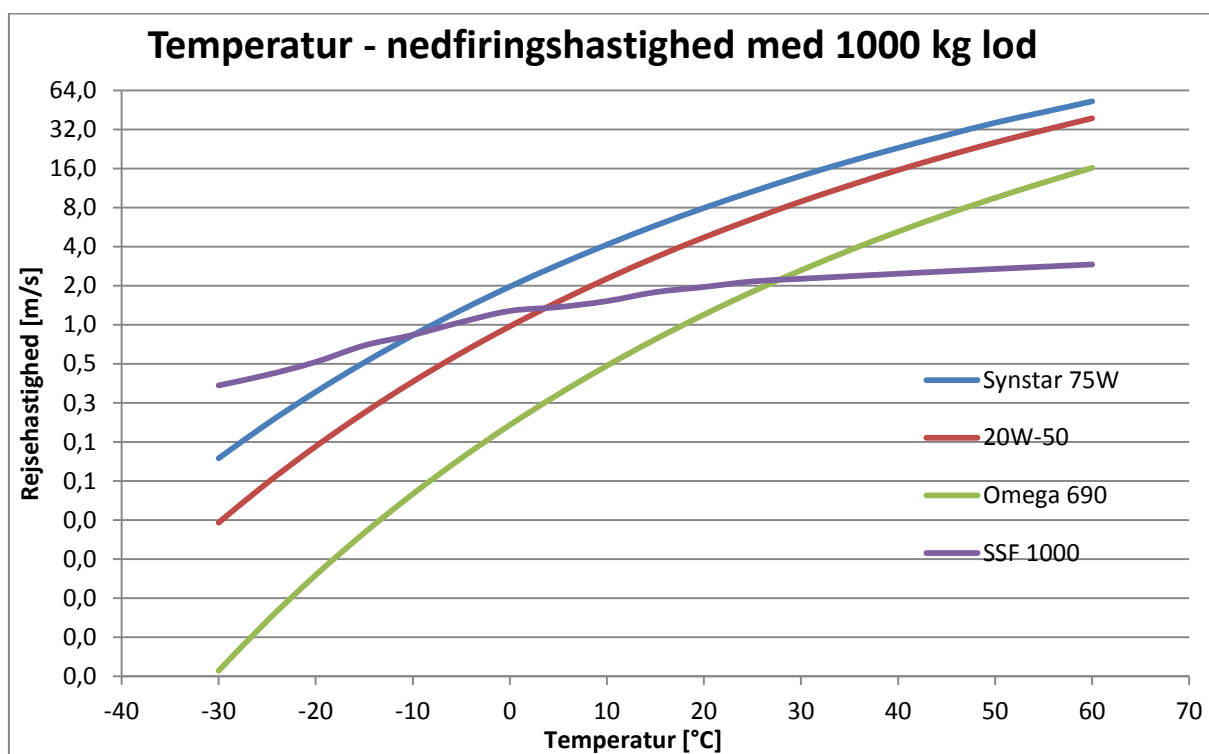
$$V = 26,3 \left[\frac{rad}{s} \right] \cdot 0,07075 \text{ m} = 1,86 \frac{m}{s}$$

Temperaturen stiger nu til 30 °C og ændrer dermed bremsevæskens viskositet til 960 cSt og rotoren skal nu rotere hurtigere for at opretholde momentligevægt og det medfører en ny rejsehastighed.

$$\omega = \frac{728 \text{ Nm} \cdot 0,00225 \text{ m}}{8 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot ([0,20 \text{ m}]^4 - [0,026 \text{ m}]^4) \cdot \pi \cdot 960 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 42,4 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

$$V = 42,4 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \cdot 0,07075 \text{ m} = 3,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Alle væsker I diagrammet på Figur 29 er regnet på denne måde.



Figur 29 viser en sammenligning af forskellige bremsevæsker der alle kan anvendes i viskosebremsen. Bemærk SSF 1000 væsken der ændrer loddets rejsehastighed meget lidt mellem -30 °C og +65 °C

Silikonevæske ændrer viskositet ved temperaturændringer, men ændringen er meget lille i forhold til olie f.eks. ændrer Texaco 20W-50 olie sig 77664 cSt og nogenlunde samme forhold gør sig gældende for andre typer af olie. SSF 1000 silikonevæske ændrer sig 1049 cSt inden for samme temperaturområde og netop denne lille viskositetsændring betyder at et 1000 kg lod, forbundet til en passende dimensioneret viskosebremse, vil have en rejsehastighed mellem 2 m/s og 5 m/s indenfor kravspecifikationernes temperaturområde. Olieværdierne i

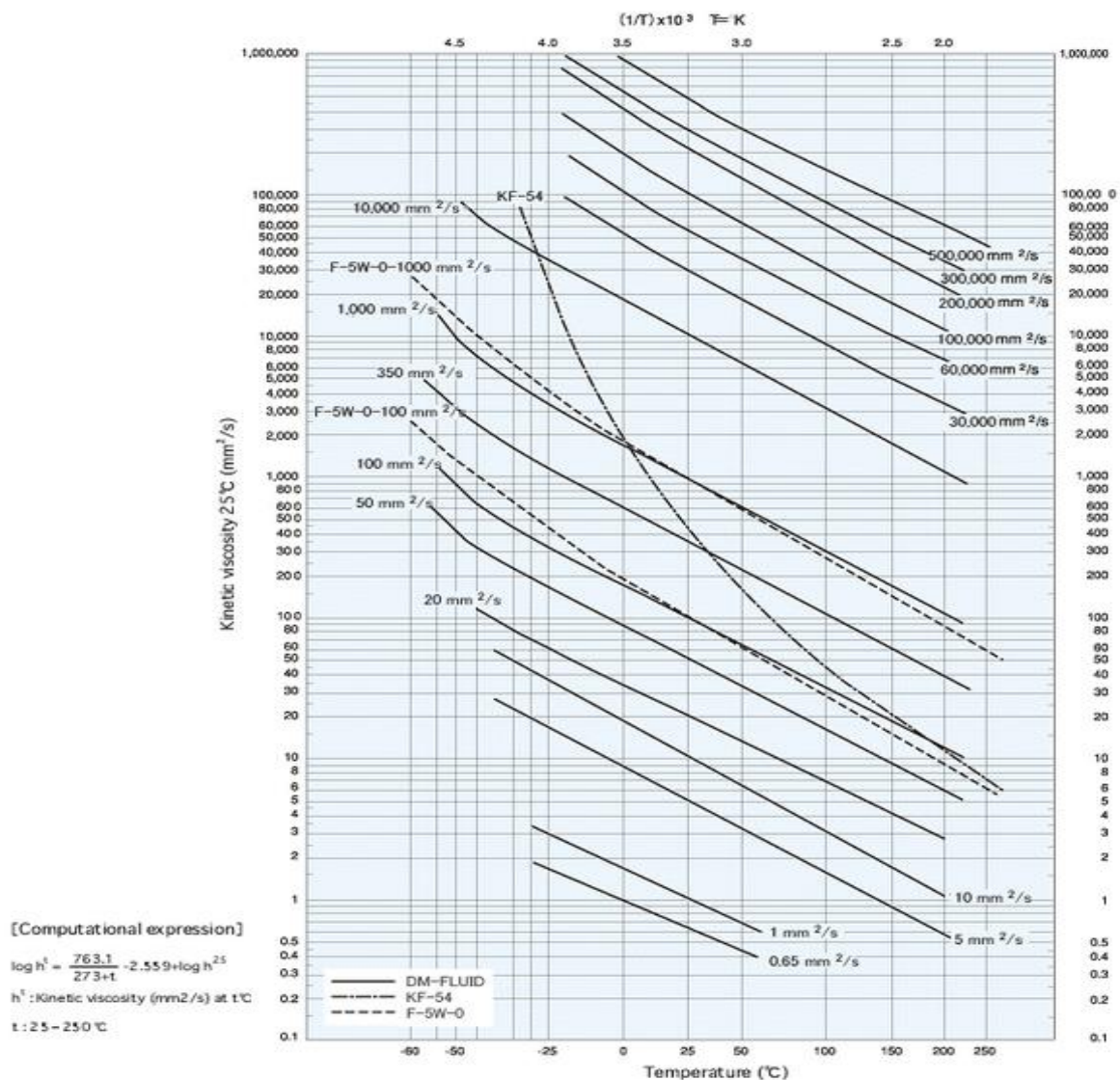
diagrammet er beregnet med ovenstående regnemaskine og SSF 1000 silikonevæskens viskositetsændring er beregnet efter henvisninger fra Shin Etsu^[11] og disse er som følger.

$$\log(h^t) = \frac{763,1}{273 + t} - 2,559 + \log(h^{25})$$

h^t = kinematisk viskositet ved t °C

h^{25} = kinematisk viskositet ved 25 °C

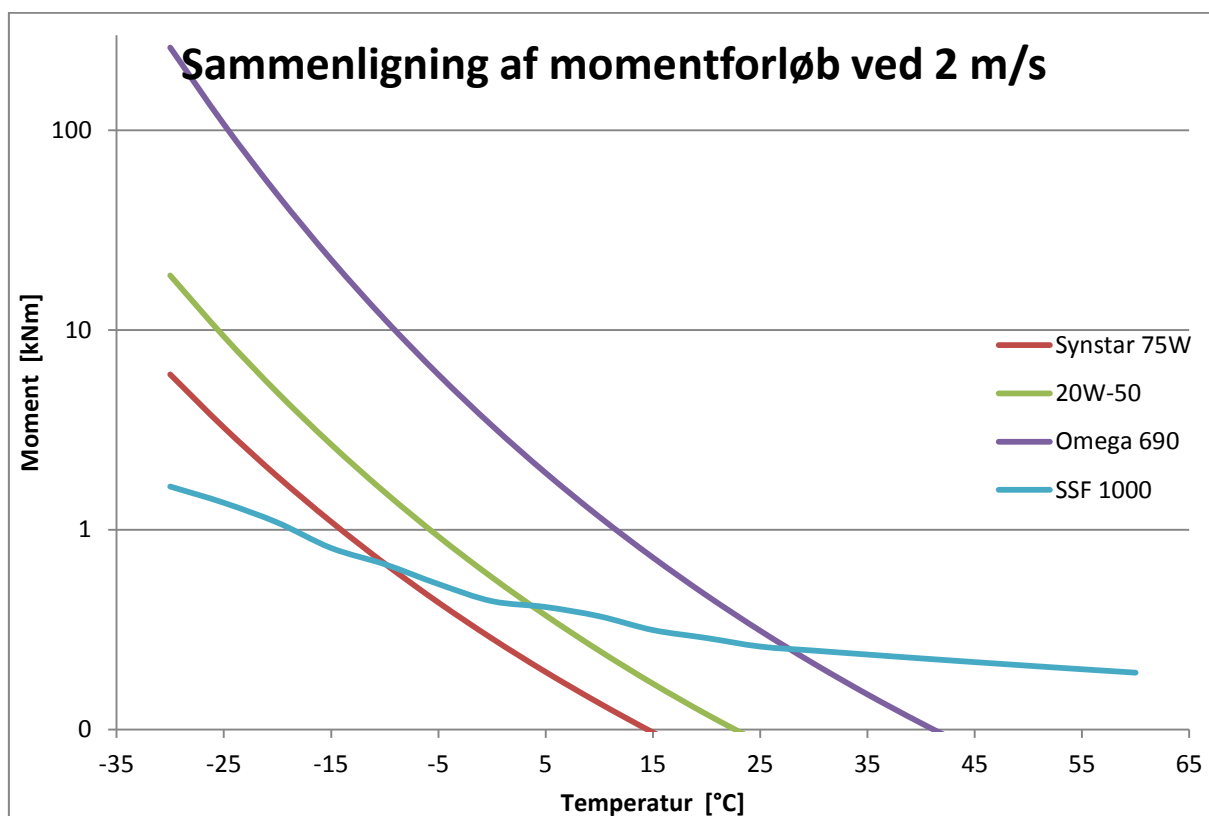
Viskositetsberegningen gælder inden for temperaturområdet 25 °C til 250 °C og viskositetsændringen er lineær i dette område, det vil sige viskositeter ved temperaturer under 25 °C er aflæst i diagrammet på Figur 30.



Figur 30 viser viskositetsændring ved temperaturændring og SSF 1000 (F-5W-0-1000) har en viskositet ved hhv. -30 °C og +65 °C på hhv. 6000 cSt og 60 cSt, hvilket er en lille ændring sammenlignet med olie

I Figur 31 sammenlignes momentforløbet for forskellige bremsevæsker anvendt i en viskosebremse dimensioneret efter et 1000 kg lod skal have en rejsehastighed på 2 m/s. De

sammenlignede væsker anvendes altså i en viskosebremse med ens dimensioner. Dette diagram kan anvendes til at vurdere, hvilket temperaturområde den pågældende bremsevæske kan anvendes indenfor. Ser man eksempelvis på 20W-50 olien kan den anvendes inden for området mellem 0 °C og 25 °C hvor den vil generere et moment mellem 1000 Nm og 150 Nm, afhængig af viskosebremsens dimensionering. Det er sandsynligt at alle olier vil blive for tyktflydende, eller helt frosne ved meget lave temperaturer og dermed vil de helt blokere for viskosebremsens funktion.



Figur 31 sammenligner momentforløbet af forskellige bremsevæsker lige fra Texaco 20W-50 motorolie til Texaco Synstar 75W transmissionsolie og Omega 690 transmissionsolie til sidst SSF 1000 silikonevæske. SSF 1000 væsken har en relativt lille momentændring i forhold til olierne som praktisk talt ikke genererer noget moment over 30 °C. og under -20 °C blokerer de nærmest viskosebremsens funktion

Valg af bremsevæske

Den bremsevæske der benyttes i viskosebremsen har indflydelse på bremsens egenskaber, men væskens pris betyder også noget ved valg af bremsevæske. Skal viskosebremsen anvendes indenfor et lille temperaturinterval vil det være oplagt at anvende en olie de har en passende viskositet i netop dette lille temperaturinterval. En større rotordiameter er måske at foretrække, hvis væsken er mange billigere end en væske med egenskaber der gør at en mindre rotordiameter kan generere samme moment.

Test

Testbeskrivelse

Formålet med at teste viskosebremsen er at konstatere om den virker efter hensigten og fastslå om modellen passer med den teori der er opstillet for viskosebremsens funktionalitet. Passer model og teori ikke sammen giver testen mulighed for at tilpasse teorien således den bliver anvendelig på viskosebremsen. For at bekræfte viskosebremsens teori og for at konstatere hvordan den fungerer, er det nødvendigt med en test. Testen foretages under en mobilkran med ti meters løftehøjde indledningsvis testes med små lodder for til sidst at blive testet med den endelige vægt på 800 kg. Underlaget under testkranen er græs, så loddet ikke beskadiger eventuelt hårdt underlag når det lander. Viskosebremsen boltes fast til en ramme hvorpå der sættes et tungt lod. Måleudstyr monteres på samme ramme som viskosebremsen. I kranen, forskudt for viskosebremsen, hænger et hjul og en udløsermekanisme. Gennem hjulet løber wirerne fra viskosebremsens wiretromler og wirerne er fastgjort til loddet som hænger i udløsermekanismen. I alle testforsøg er væsken i viskosebremsen Texaco 20W-50 olie og det forventes olietemperaturen er mellem 5 °C og 10 °C, hvilket medfører en viskositet der ligger mellem ca. 1600 cSt og 1000 cSt afhængig af udetemperaturen. Loddet slippes med en sliphook fra 10 meters højde og højden måles med 10 meter snor forbundet til bunden af loddet så samme korrekte løftehøjde opnås hver gang.

Til testen er der lavet en risikovurdering som er standart i Viking regi. Risikovurderingen er godkendt af relevante personer med ansvar for værksted og området omkring værkstedet. Risikovurderingen er at finde under bilag.

Rejsetid

Rejsetid og hastighed udregnes ved at antage en acceleration og den distance loddet vil accelerere og tillægge den tid loddet rejser med jævn hastighed. Her antages en lineær acceleration til jævn hastighed, som er mindre end tyngdeaccelerationen og beregningerne ser ud som følger.

$$\begin{aligned}t_1 &= \sqrt{\frac{s_{acc}}{a}} \\t_2 &= \frac{s - s_{acc}}{a \cdot t_1} \\t &= \sqrt{\frac{s_{acc}}{a}} + \frac{s - s_{acc}}{a \cdot t_1} \\t_1 &= \text{accelerationstiden}\end{aligned}$$

$s_{acc} = \text{antaget accelerationsdistance}$

$a = \text{antaget acceleration}$

$t_2 = \text{rejsetid med konstant hastighed}$

$t = \text{samlet rejsetid}$

Et eksempel hvor accelerationen antages at være 4 m/s^2 og den samlede rejsedistance er 10 meter.

$$t = \sqrt{\frac{2 \text{ m}}{4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} + \frac{10 \text{ m} - 2 \text{ m}}{4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sqrt{\frac{2 \text{ m}}{4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}} = 2,89 \text{ s}$$

Der er naturligvis tale om en antaget acceleration som nødvendigvis må være mindre end tyngdeaccelerationen i det viskosebremsen bremser accelerationen, så derfor er disse også kvalificerede bud. Nedenstående hastigheder og rejsetider er fundet på denne måde.

- Første testforsøg med et med et 100 kg lod, forventes rejsehastigheden at være ca. 1,5 m/s og den samlede rejsetid forventes at være ca. 7 sekunder.
- Andet testforsøg med et med et 400 kg lod, forventes rejsehastigheden at være ca. 2,5 m/s og den samlede rejsetid forventes at være ca. 4 sekunder.
- Tredje testforsøg, med et med et 800 kg lod, forventes rejsehastigheden at være ca. 3,5 m/s og den samlede rejsetid forventes at være ca. 3 sekunder.

Testforsøg med lavere kinematisk væskeviskositet kræver større løftehøjde og dermed længere rejse distance for at opnå en rejsetid der gør det muligt at lave tilfredsstillende målinger.

Energitilførsel

Rotorens bevægelse under testen vil tilføre energi til olien i viskosebremsen og for at undersøge hvor meget olie udvider sig som følge af denne energitilførsel er her lavet en overordnet vurdering. At flytte 800 kg 10 meter kører energi og herunder sammensættes accelerationsenergi og energi der overføres under konstant hastighed, hvor rotoren accelereres fra stilstand til 3,5 m/s og holder den hastighed

$$W_{acc} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} \cdot 800 \text{ kg} \cdot \left(\left(3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 - \left(0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \right) = 4,8 \text{ kJ}$$

$$W_{konst} = a \cdot m \cdot v \cdot (t - t_1) = 9,82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 800 \text{ kg} \cdot 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (2,89 \text{ s} - 0,87 \text{ s}) = 55,0 \text{ kJ}$$

$$\Delta T = \frac{\Delta u}{c} = \frac{\frac{W_{acc} + W_{konst}}{V \cdot \rho}}{c} = \frac{\frac{4,8 \text{ kJ} + 55,0 \text{ kJ}}{25 \text{ L} \cdot 0,88 \frac{\text{kg}}{\text{L}}}}{1,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = 1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Oliens temperatur vil stige 1,5 °C, hvis al energien overføres til olien, men der vil være varmeafgivelse til omgivelserne og i viskosebremsens jern vil der også afsætte sig noget varme så oliens temperaturstigning vil være mindre end 1,5 °C. Denne temperaturstigning anses ikke for et problem i det viskosebremsen, i en redningssituation, blot skal udløses en enkelt gang.

Væskeudvidelse

Kravspecifikationernes temperaturforskel på 95 °C betyder at væsken i viskosebremsen vil ændre volumen og denne volumenændring må der tages hensyn til så konstruktionen ikke revner eller bliver utæt. Påfyldningsstudsens på toppen af bremsen kan forsynes med en beholder der kan skrues direkte ovenpå påfyldningsstudsens og virke som ekspansionsbeholder

ved væskeudvidelse og som reservoir ved væskesammentrækning. Væskeudvidelse vil øge trykket i viskosebremsen og olietætningsringene kan holde et tryk op til 0,5 bar og fordi det er et relativt højt overtryk at udsætte viskosebremsen for, er det nødvendigt med en udluftning fra ekspansionsbeholderen. Eksempelvis har olien som anvendes i testen en rumudvidelseskoefficient på $0,00075\text{ K}^{-1}$ hvilket vil få viskosebremsens 25 liter olie til at udvide sig ca. 1,8 liter ved en temperaturændring fra $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$\Delta V = V \cdot \varphi \cdot \Delta T = 25\text{ dm}^3 \cdot 0,00075\text{ K}^{-1} \cdot 95\text{ }^{\circ}\text{C} = 1,78\text{ dm}^3$$

Denne væskeudvidelse skal kunne optages i ekspansionsbeholderen som skal dimensioneres så den kan optage denne væskeudvidelse, altså skal dens volumen være ca. 2 liter.

Testudstyr



Figur 32 viser forskellige ting anvendt under test

For at lave målinger under testen er det nødvendigt med testudstyr og wiretromlens rotation er i denne sammenhæng interessant. På Figur 33 ses instrumenter til at måle tromlens rotationer og accelerationer og der anvendes en RI32 min shaft encoder med 1024 step per omgang og til at transmittere målingerne tilkobles en USB DAQ. Encoderen tilkobles et 12V batteri for at kunne levere data til USB DAQ som så videresender data til en computer med tilhørende labview software fra National Instruments. Encoderen er programmeret med et loop hvor

positionen måles og hastigheden udregnes ved at trække den øjeblikkelige position fra forrige og dividere denne med samplingstiden. Tid, position og hastighed bliver gemt på en fil der anvendes til databehandling.



Figur 33 viser RI32 encoder til venstre, USD DAQ i midten og til højre remtrækket til encoderen. Remhjulene er ens så udvekslingen er 1:1

Øvrigt testudstyr består af sliphook til at udløse loddet, et elektronisk termometer, diverse kameraer, stroppe, reb og håndværktøj. (Figur 32)

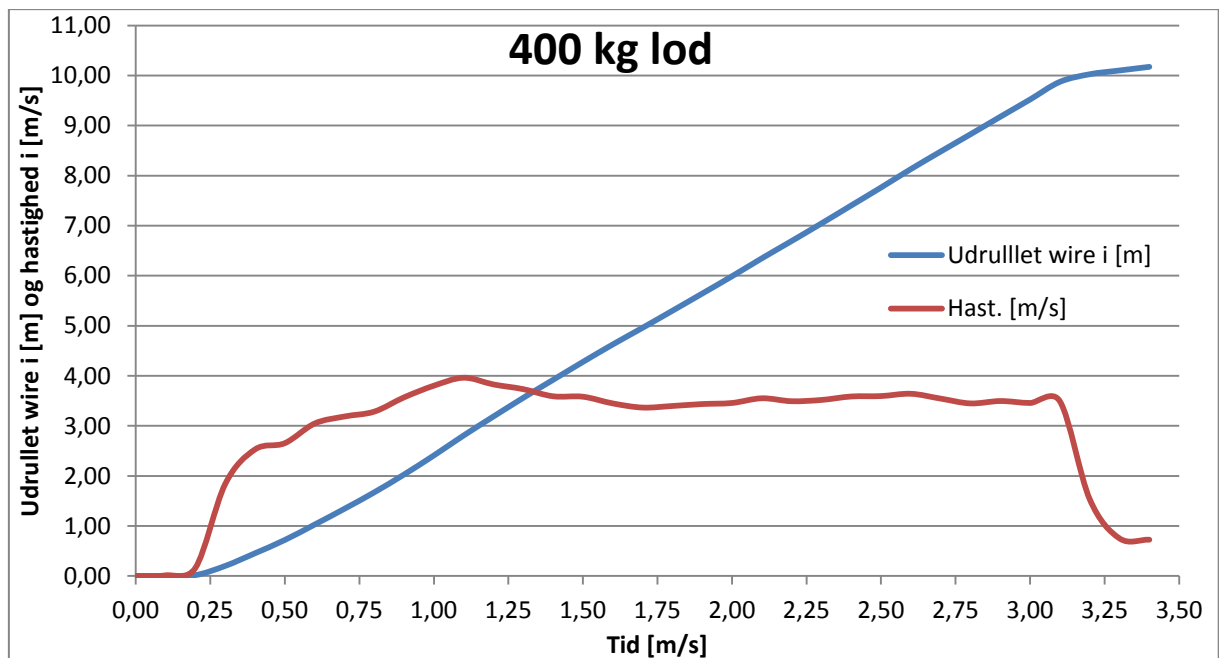
Databehandling

Dataene opsamlet under test bliver gemt på en fil hvor alle data fra hele opsamlingsforløbet er listet og det er nødvendigt at finde området hvor selve nedfiringøjeblikket er optaget og sortere resten fra. Disse data kopieres til et excelark og kolonnerne identificeres og det totale antal omdrejninger ganges med wiretromlens middelmåls for at finde den udrullede wirelængde, og differencen mellem to målinger divideres med tidsdifferencen mellem disse to målinger for at finde den øjeblikkelige hastighed. Disse beregninger sættes i diagram med tiden på den vandrette akse og den lodrette akse definerer både den samlede udrullede wirelængde i meter og den øjeblikkelige hastighed i meter per sekund. Testen med 400 kg lod og 800 kg lod viser begge en væsentligt hurtigere rejsehastighed end forudsagt hvilket betyder rotoreffektiviteten er vurderet for optimistisk.

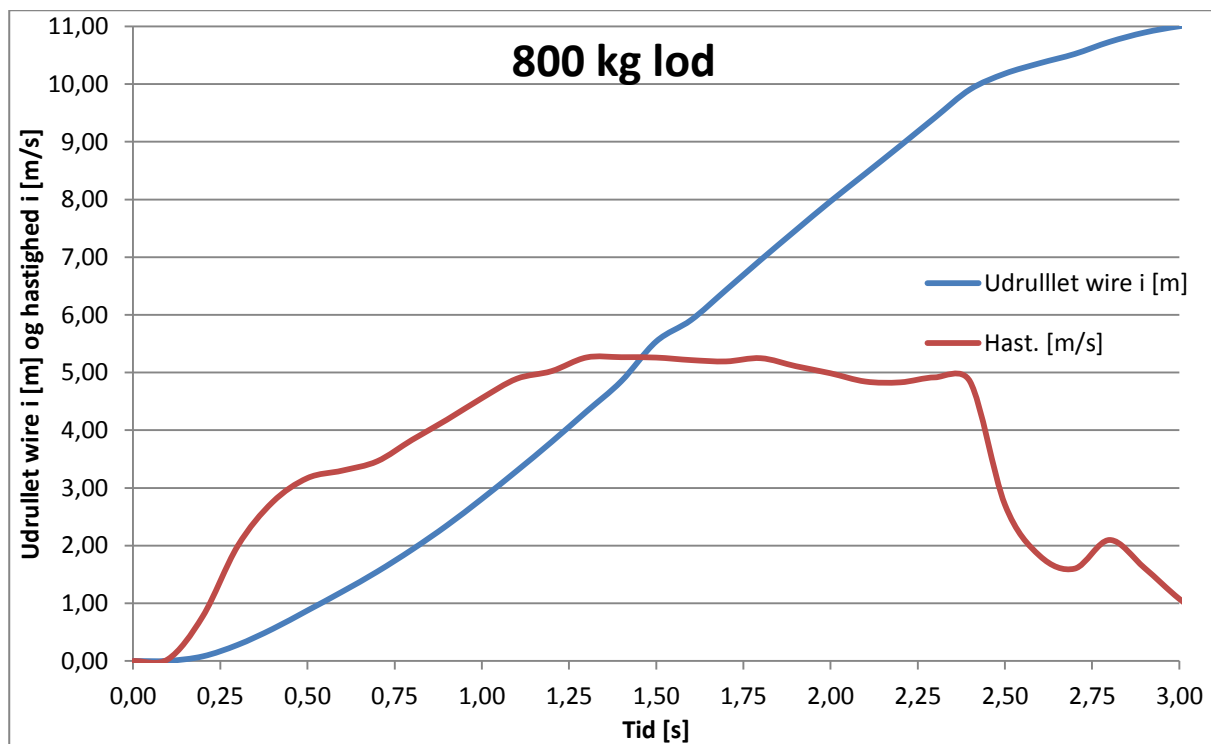
Test på Nautic 3-12-2013					
Test nr.	Temp. Start [°C]	Højde [m]	Vægt [kg]	Temp. Slut [°C]	T.Diff [°C]
1	8,3	10	100	8,3	0
2	8,3	10	400	9,0	0,7
3	9,0	10	400	9,6	0,6
4	9,6	10	800	10,5	0,9
5	10,5	10	800	11,4	0,9
6	11,4	10	800	12,7	1,3
Test på Nautic 4-12-2013					
7	12,0	10	400	8,7	-3,3
8	8,7	10	400	7,7	-1,0
9	7,7	10	800	7,3	-0,4
10	7,3	10	800	7,0	-0,3
11	7,0	10	800	7,7	0,7

Figur 34 viser temperaturerne i viskosebrensens olie før og efter hver testkørsel

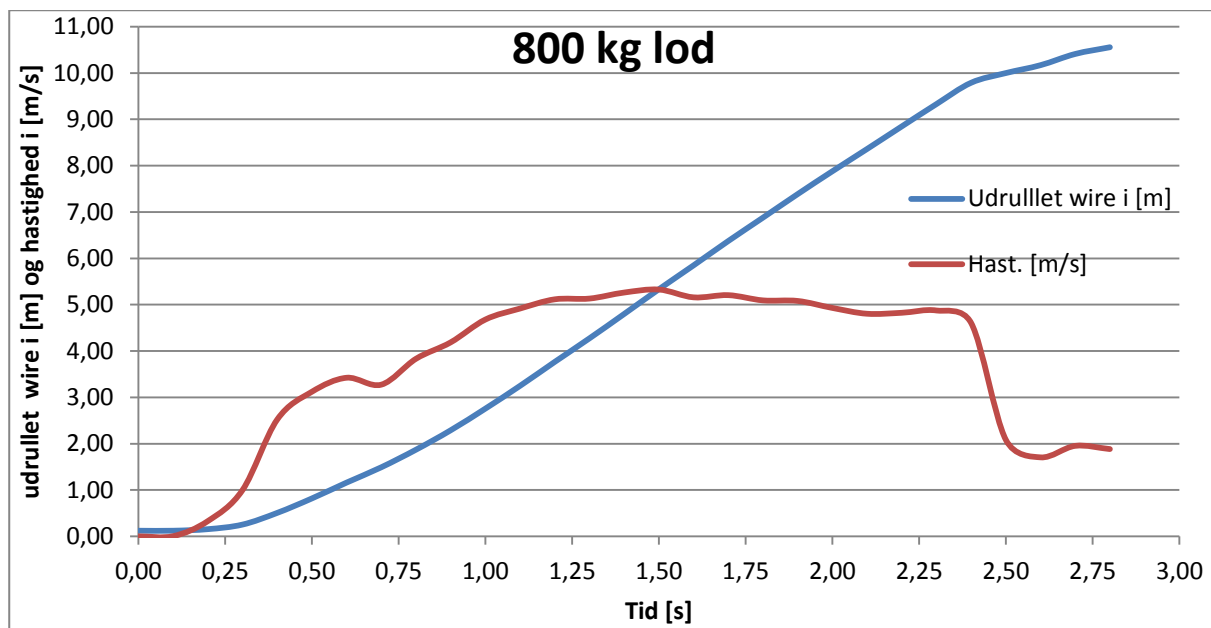
Skemaet i Figur 34 viser temperaturændringerne i viskosebrensens olie som følge af rotorens energitilførsel. Temperaturen måles før og efter hvert testforsøg og resultaterne i det gule felt giver en godt billede af energitilførselen. Resultaterne af temperaturmålingerne i det hvide felt er misvisende fordi viskosebrensen stod inde i et varmt lokale umiddelbart inden testen og fordi olietemperaturen var væsentlig højere end den omgivende temperatur, faldt temperaturen under næsten hele testforløbet.



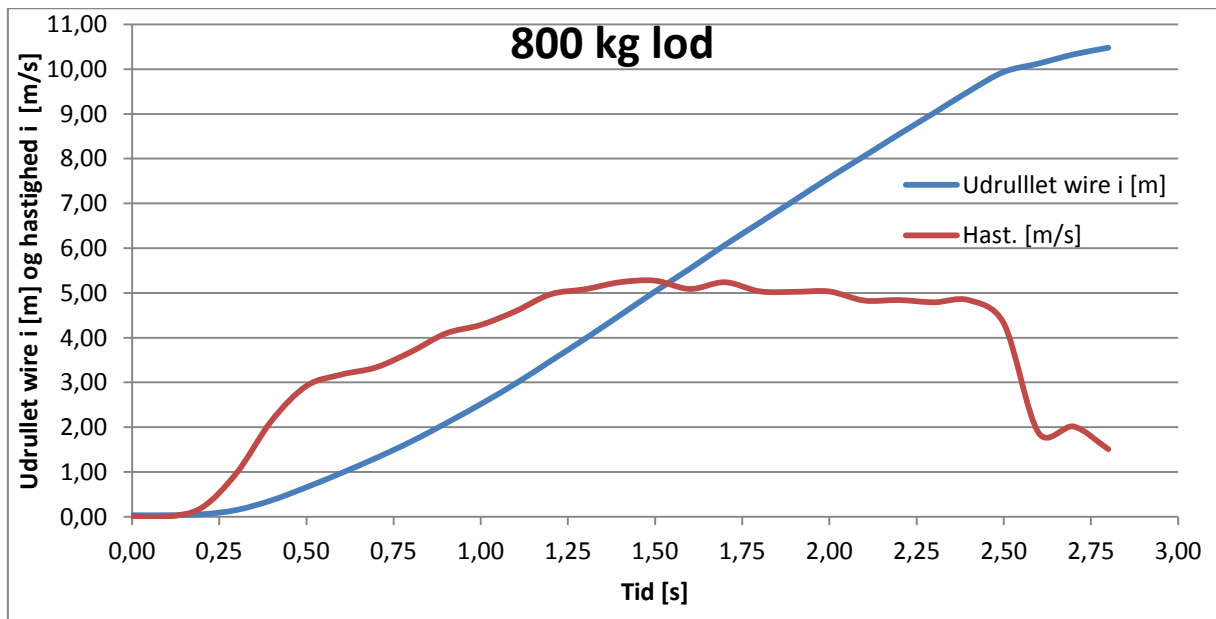
Figur 35 viser resultaterne af test 8. Loddets hastighed med røde prikker. Efter acceleration stabiliserer loddets hastighed sig ved 3,5 m/s



Figur 36 viser resultaterne af test 9. Accelerationsperioden er væsentlig længere end ved test 8



Figur 37 Test 10 viser nogenlunde same udrulningsprofil som test 9. efter acceleration stabiliseres hastigheden omkring 5 m/s. Ujævnhederne på den røde linie er pga. wiren ikke er rullet perfekt op inden udløsning.



Figur 38 Test 11 viser loddets hastighed stabiliserer sig ved ca. 5 m/s og en samlet rejsetid på ca. 2,5 sekunder

Testresultaterne i Figur 34 er målt på to forskellige testdage. Første testdag forløb efter planen, men de tilhørende måleresultater er ikke korrekte på grund af dataloggeren ikke fungerede korrekt på dagen. Temperaturmålingerne i det gule felt er derimod retvisende og stemmer godt overens med forventninger der var til rotorens energitilførsel til olien.

Diagrammerne fra test 9, 10 og 11 har alle en accelerationsperiode på ca. 1,25 s og den konstante nedfiringshastighed stabiliserer sig ved ca. 5 m/s og den totale rejsetid er ca. 2,5 sekund i alle tre forsøg. Den estimerede rejsetid, for et 800 kg lod, var ca. 3 sekunder og rejsehastigheden var estimeret til ca. 3,5 m/s og denne differens skyldes at rotoren er vurderet mere effektiv end den er. Når værdierne i Figur 36, 37 og 38 kendes kan rotorens effektivitet justeres så den passer til de faktiske værdier. Under testen havde olien en viskositet på ca. 1250 cSt og viskosebremsen lavede momentligevægt ved ca. 582 Nm ved en nedfiringshastighed på ca. 5 m/s. Med disse kendte værdier findes den rigtige rotoreffektivitet.

$$n = \frac{582 \text{ Nm} \cdot 0,00225 \text{ m}}{67,5 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 880 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot ([0,17 \text{ m}]^4 - [0,026 \text{ m}]^4) \cdot \pi \cdot 1250 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 6,73$$

$$6,73 = \text{antal rotor} \cdot \text{effektivitet} \Rightarrow$$

$$\text{Effektivitet} = \frac{6,73}{2} \approx 3,4$$

På samme måde findes rotoreffektiviteten i tilfældet i Figur 35 og her var nedfiringshastigheden 3,5 m/s, hvilket førte til momentligevægt ved 395 Nm.

$$n = \frac{393 \text{ Nm} \cdot 0,00225 \text{ m}}{47,3 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 880 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot ([0,17 \text{ m}]^4 - [0,026 \text{ m}]^4) \cdot \pi \cdot 1250 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 6,48$$

$$6,48 = \text{antal rotor} \cdot \text{effektivitet} \Rightarrow$$

$$\text{Effektivitet} = \frac{6,48}{2} \approx 3,25$$

1000 kg eksempel

En viskosebremse der kan sænke et 1000 kg lod med en hastighed på 2 m/s kan nu findes da en tilnærmet total rotoreffektivitet på 6,7 kendes og fra tidligere kendes formelen for bremsemomentet. 2 m/s svarer til at wiretromlen roterer med en vinkelhastighed på 27 rad/s og væsken der regnes med her er SSF 1000 silikonevæske med en kinematisk viskositet på 1000 cSt ved 25 °C og en densitet på 1000 kg/m³. Ud fra kendte værdier findes først det moment wiretromlen genererer for derefter at finde rotorens radius.

$$M = 1000 \text{ kg} \cdot 9,82 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 0,074 \text{ m} = 728 \text{ Nm}$$

$$r = \sqrt[4]{\frac{728 \text{ Nm} \cdot 0,00225 \text{ m}}{6,7 \cdot \pi \cdot 0,001 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 27 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}} = 0,232 \text{ m}$$

Det betyder rotorens radius skal være 232 mm, eller at diameteren 464 mm og moment sammenligningen i Figur 39 viser de to momentforløb opnår ligevægt. Statorhus og statorlåg skal selvfølgelig dimensioneres så de passer til rotoren, men indenfor de to wires tilladte bæreevne på 1000 kg kan denne konfiguration anvendes. Ved -30 °C vil rejsehastigheden, som følge af bremsevæskens viskoseændring til 6000 cSt, være.

$$\omega = \frac{728 \text{ Nm} \cdot 0,00225 \text{ m}}{6,7 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot ([0,232 \text{ m}]^4 - [0,026 \text{ m}]^4) \cdot \pi \cdot 6000 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 4,47 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

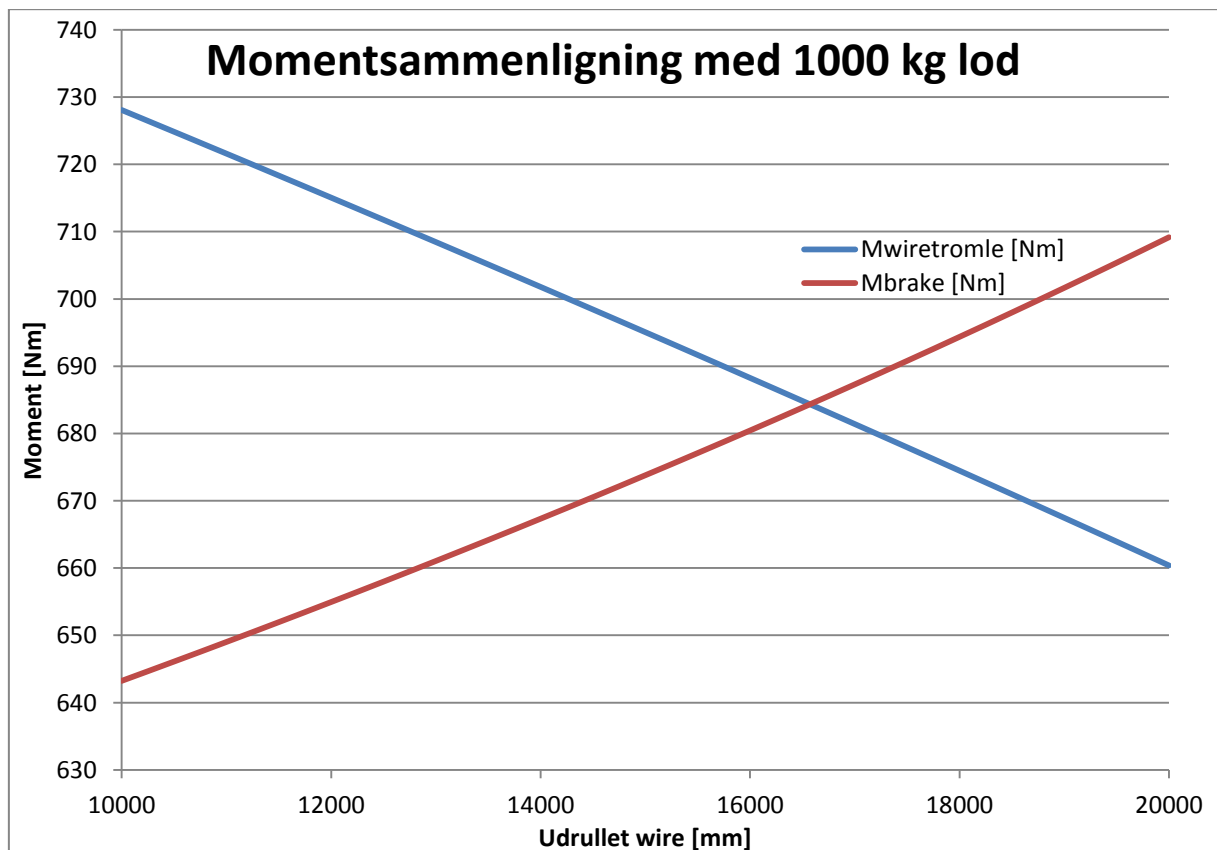
$$V = 4,47 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \cdot 0,07075 \text{ m} = 0,32 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Og ved +65 °C vil viskositeten være 740 cSt og dermed vil rejsehastigheden være.

$$\omega = \frac{728 \text{ Nm} \cdot 0,00225 \text{ m}}{6,7 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot ([0,232 \text{ m}]^4 - [0,026 \text{ m}]^4) \cdot \pi \cdot 740 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 36,3 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

$$V = 36,3 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \cdot 0,07075 \text{ m} = 2,56 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Rotorens dimensioner kan tilpasses således rejsehastighederne øges. Rejsetiden ved -30 °C er lav. Det vil tage ca. 30 sekunder at færdiggøre ned af en 10 meter skibsside.



Figur 39 viser wiremoment kontra rotormoment for en viskosebremse dimensioneret til en rejsehastighed på 2 m/s. Diagrammet herover er regnet på samme måde som eksemplet i Figur 26

Dragkoefficient metoden

Sammenligner man rotoeffektiviteten ved en nedfiringshastighed på 5 m/s med en nedfiringshastighed på 3,5 m/s, med et 400 kg lod under test 8, ser man forskellige rotoeffektiviteter. Det kan skyldes at rotoeffektiviteten stiger ved højere omdrejningstal. Dette ses tydeligt på nedfiringshastigheden i Figur 35, hvor et 400 kg lod rejser med en hastighed på 3,5 m/s og i Figur 36, 37 og 38, hvor et 800 kg lod rejser med en hastighed på 5 m/s. Altså medfører en fordobling af loddets vægt ikke en fordobling af rejsehastigheden. En anden måde at regne viskosebremsens bremsekraft er metoden med en dragkoefficient for en flad plade.

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_D \cdot n$$

A = Rotorbladets areal

ρ = bremsevæskens densitet

v = middelhastighed for rotoren

C_d = dragkoefficient

n = antal rotorblade

F_D = den samlede kraft der påvirker rotoren

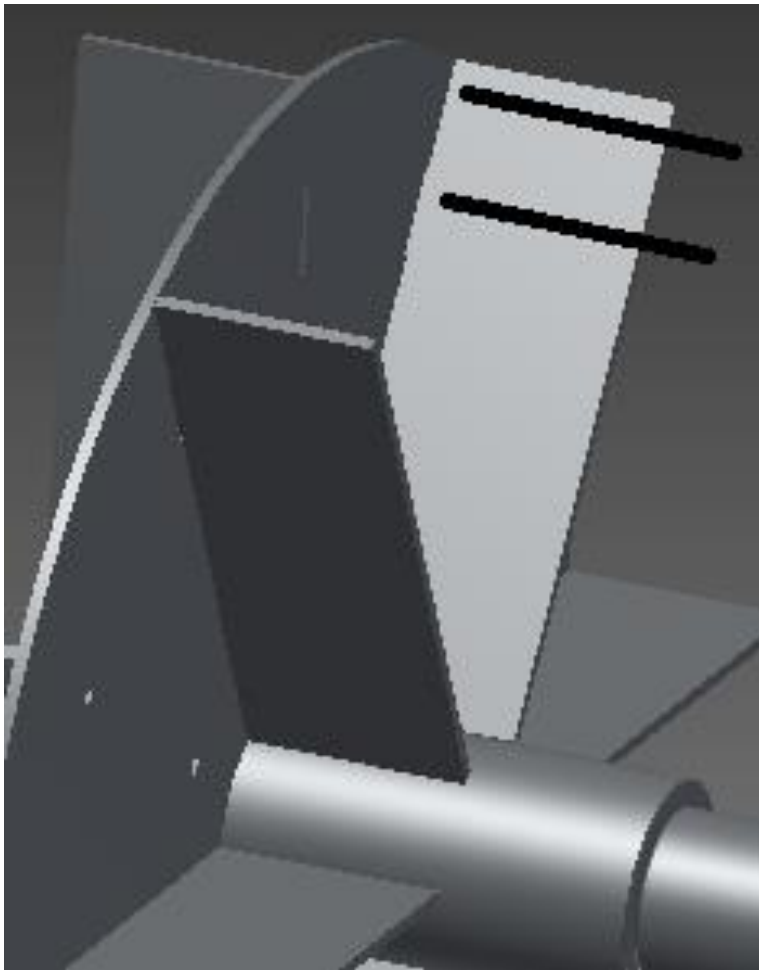
Et eksempel med 12 styk rotorblade med samme areal som i eksemplet med 800 kg loddet, en olie med en densitet på 880 kg/m³ og en dragkoefficient^[7] for en flad plade på 1,0. For at finde en middelhastighed for rotorbladenes bevægelse gennem olien antages at kraften påvirker pladen ca. 1/4 inde fra yderste kant (se Figur 40). Det huskes at vinkelhastigheden i det sammenlignelige eksempel fra 44 var 67,5 rad/s, hvilket betyder at middelhastigheden er som følger.

$$v = \omega \cdot R_{antaget} = 67,5 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot 0,17 \text{ m} \cdot 0,75 = 8,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Denne middelhastighed anvendes nu til udregning af F_D .

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot 0,00749 \text{ m}^2 \cdot 880 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(8,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \cdot 1,0 \cdot 12 = 2929 \text{ N}$$

$$M_{brake} = F_D \cdot R_{antaget} = 2929 \text{ N} \cdot 0,17 \text{ m} \cdot 0,75 = 373 \text{ Nm}$$



Figur 40. De to mørke streger illustrerer hvor kraften angriber pladen ved hhv. 1/20 og 1/4 inde på pladen

Sammenligner man 373 Nm med 582 Nm som viskosebremsen genererede under nedfiring af et 800 kg lod ses det at viskosebremsen som den er udformet er mere effektiv en blot en flad plade der bevæger sig gennem væske. Antages det at kraften angriber rotorbladene 1/20 (se Figur 40) inde på pladen øges det genererede moment til 473 Nm, men selv det er væsentligt mindre end det moment viskosebremsen genererede under test. Dette indikerer at regnemethoden, hvor der regnes med den kinematiske viskositet er mere retvisende. Det er sandsynligt at når

bremsevæsken meget tyndtflydende, eller når en meget lav viskositet, at så vil effekten af oliefilmens overklipping være minimal og princippet med en flad plade der bevæger sig gennem væske, vil være det princip der bidrager mest til bremseeffekten. Dette er ikke undersøgt i denne rapport.

Ændringsmuligheder

Inden for samme dimensioner er der muligheder for at ændre på bremseeffekten ved at reducere eller øge antallet af rotorblade eller statorblade eller begge dele. Det vides ikke hvilken effekt den ændring medfører, men det er en reel mulighed og på rotordelen er det relativt enkelt at ændre.

Diskussion

Bremsning af et faldende lod kan gøres på flere forskellige måder og her er der set på forskellige bremseprincipper nogle mere egnede til dette formål end andre. To oplagte bremseprincipper er vurderet og det bedst egnede bremseprincip er valgt. Valget faldt på viskosebremsens og dens udformning og konstruktion har både fordele og ulemper. Ulempen er at den er mere kompliceret end en simpel mølle der roterer nedsænket i væske, men fordelene er dens effektivitet i forhold til en simpel mølle. Viskosebremsens konfiguration med statorplader rund om rotoren betyder den er mere effektiv end hvis den roterede frit nedsænket i olie. Sammenlignet med en mere simpel mølle der skal bremse samme vægt er viskosebremsen væsentligt mindre og den kan bremse selv relativt tunge lodder uden at rotationshastigheden geares op. Viskosebremsen er let at dimensionere og det er let at forudsige hvilke rejsehastigheder den vil give i et givet temperaturinterval. Sandsynligvis vil princippet med en flad plade der bevæger sig gennem væske være det princip der bidrager mest til bremseeffekten når bremsevæsken er meget tyndtflydende

Konklusion

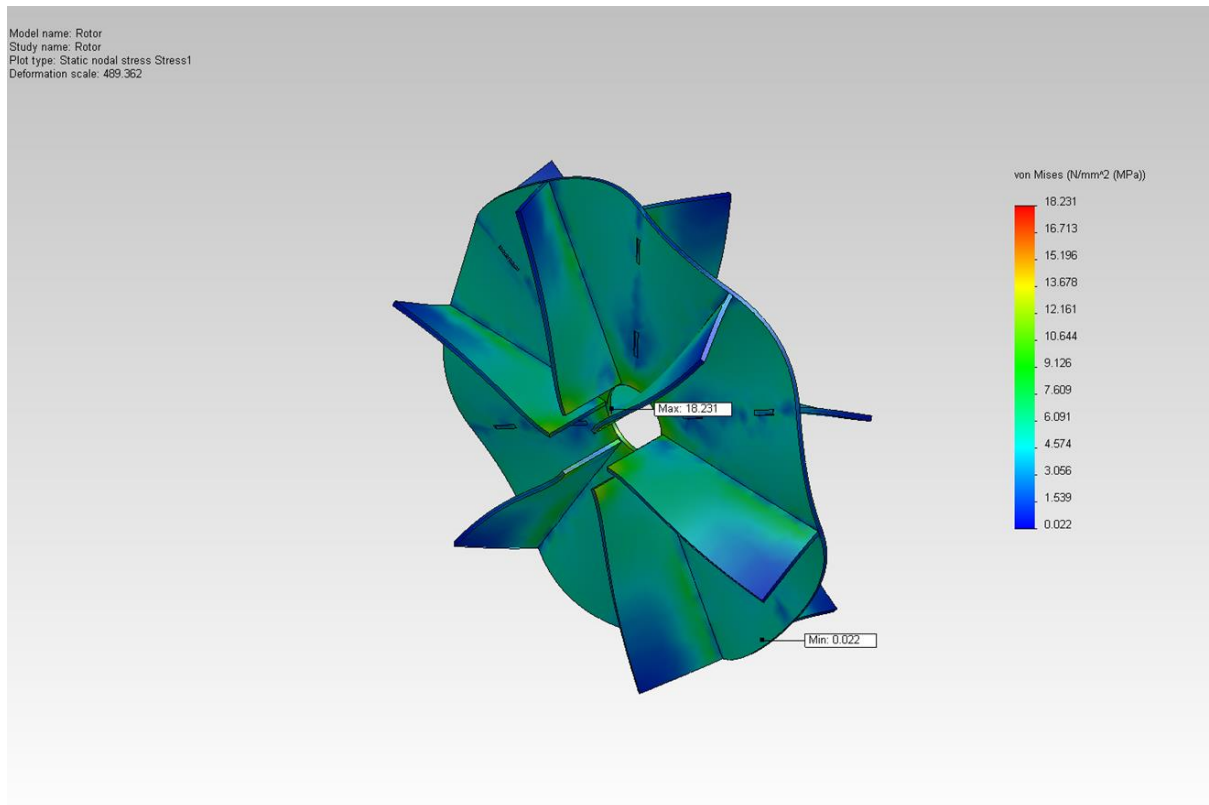
Det konkluderes at viskosebremsens bremseprincip med at klippe en væskefilm over er mere effektiv end princippet med en plade der bevæges gennem væske og at den. Dog mangler det at blive undersøgt hvornår princippet med en flad plade der bevæger sig gennem væske, er det princip der giver mest bremseeffekt.

Med den rette bremsevæske kan viskosebremsen anvendes ved både $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$, dog med forskellige rejsehastigheder. Viskosebremsen er et reelt alternativ til det bowsingsystem der i dag anvendes i Vikings redningssystemer og den kan med den rette dimensionering anvendes til at bremse mere end 1000 kg uden gearing af rotationshastigheden.

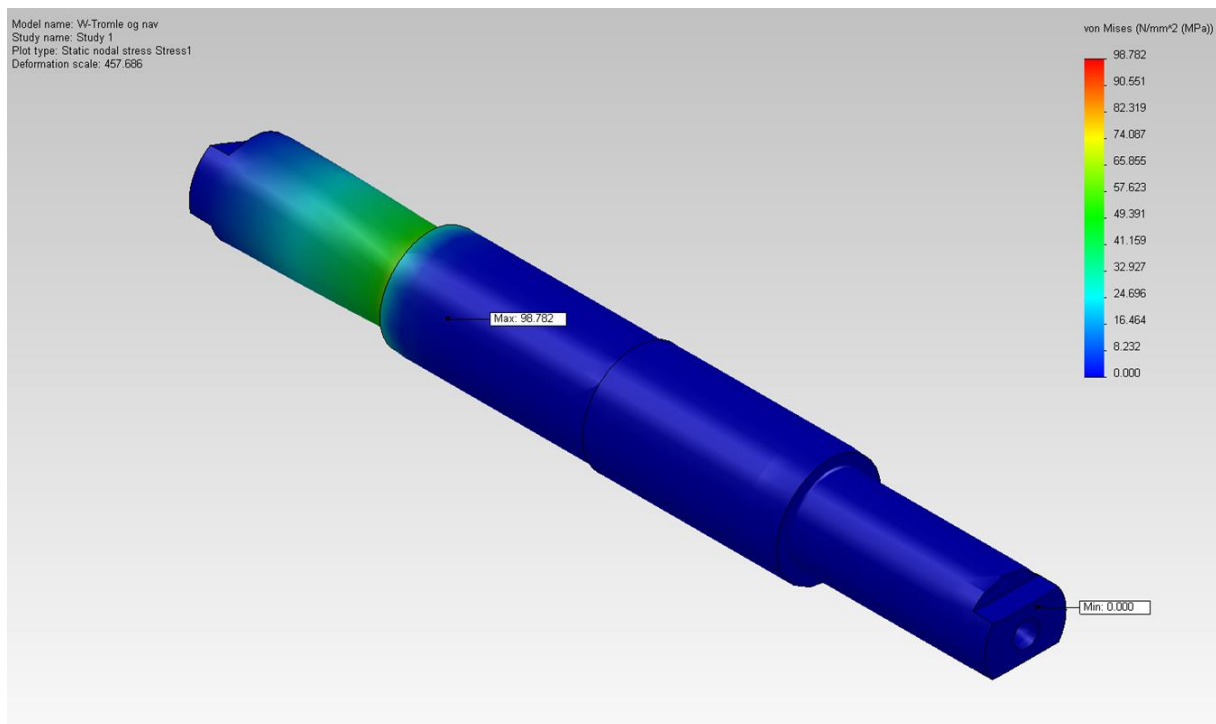
Kildeliste

1. Life Saving Appliances 2010 udg. ISBN 978-92-801-1507-9
2. Roloff/Matek Machinenelemente 19 udg. ISBN 976-3-8348-0689-5
3. Fundamental of Thermal-Fluid Sciences ISBN 978-007-126631-4
4. <http://www.skf.com/dk/index.html>
5. http://mjgradziel.com/job/lowering_devices.html
6. <http://danskehvervsbekaedning.dk/sikkerhed/144/sider/144.htm>
7. http://www.skylotec.com/eu_en/milan-2-0-1.html
8. <http://home.howstuffworks.com/enlarge-image.htm?terfms=centrifugal+clutch&page=0>
9. <http://www.lrparts.dk/images/ETC1260-VISCOUS-UNIT-p.jpg>
10. <http://www.lrparts.dk/images/TOR000010-p.jpg>
11. http://www.popularmechanics.com/cm/popularmechanics/images/44/lg_vcoupling-lg.jpg
12. <http://www.ropecourseconstruction.com/wp-content/uploads/2012/03/AJ1.jpg>
13. <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a275163.pdf>
14. <http://www.widman.biz/English/Calculators/Operational.html>
15. <http://www.silicone.jp/e/products/type/oil/detail/about/index2.shtml>
16. <http://jonsonmetal.dev12.visionteam.dk/brm-10-rulleformet-tinbronzeeleje/>
17. http://www.randers-reb.com/images/PDF/RR%20produktkatalog%202008_DK_v3.pdf

Bilag



Figur 41 viser Von Mises spændinger på rotoren. Rotoren er påvirket af de kræfter den bliver udsat for ved maksimal momentbelastning



Figur 42 viser Von Mises spændinger på akslen som er påvirket af blokeringsmoment