

Ådne Bergsmyr  
Sander Bjørnfeldt Nilsen

## Kapasitetsøkning av kapstan

Increasing the capacity of capstan

Bacheloroppgave i Bacheloroppgave i Ingeniørfag, maskin  
Veileder: Detlef Blankenburg  
Mai 2022



Stian Holmen Lein/Protex AS



# RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

**Tittel**

Kapasitetsøkning av kapstan.

Increasing the capacity of capstan.

**Prosjektnr**

MTP-K-2022-07

**Forfattere**

Ådne Bergsmyr

Sander Bjørnfeldt Nilsen

**Oppdragsgiver eksternt**

PMH Norway AS

Christian Arne Raknes      [christian@pmh.no](mailto:christian@pmh.no)

**Veileder internt**

Detlef Blankenburg

**Rapporten er ÅPEN/LUKKET****Dato levert**

20.05.2022

**Kort sammendrag**

Prosjektgruppen skal i samarbeid med PMH Norway AS videreutvikle bedriftens eksisterende 3t kapstan. Oppgaven er sentrert rundt kapasitetsøkning av kapstanhode. I perioden 10.jan til 20.mai vil prosjektgruppen skape en bacheloroppgave som bygger på tilegnet med bakgrunn som maskiningeniør.

The group will, in collaboration with PMH Norway AS, further develop the company's existing 3t capstan. The task is centred around increasing the capacity of the capstan head. In the period 10 January to 20 May, the group will create a bachelor thesis with a background as a mechanical engineer.

**Stikkord:**

Kapstan / Nokkevinsj

Utbedre kapasiteten

Formendring

**Keywords:**

Capstan

Improve the capacity of capstan

Modification of shape

**BACHELOROPPGAVE VÅR 2022**  
**SANDER BJØRNFELDT NILSEN;**  
**ÅDNE BERGSMYR**

**KAPASITETSØKNING AV KAPSTAN**  
**Increasing the capacity of capstan**

Kapstan eller gangspill er en roterende, vertikal trommel som brukes til å trekke i tau for å heve eller flytte tunge gjenstander. Den fungerer ved at man legger løkker over trommelen som låses av i seg selv. Kapasiteten er hovedsakelig avhengig av antall tørt og friksjon mellom tau og kapstan. Hensikten med prosjektet er å utforske mulighetene til å øke kapasiteten til en kapstan med utgangspunkt i PMH's 3 tonns kapstan.



Oppgaven gjennomføres i samarbeid med PMH Norway AS og omfatter følgende punkter:

1. Kort analyse og beskrivelse av produkt, teknologi og marked
2. Analyse av faktorene som bestemmer kapasiteten til en kapstan
3. Utvikling av nødvendige spesifikasjoner
4. Utvikling, evaluering og presentasjon av alternative konsepter
5. Valg, videre detaljering og raffinering av de mest lovende konseptene
6. Evaluering og presentasjon av resultatene
7. Evaluering av valgt metodikk og resultatene i forhold til læringsmålene

Oppgaven skal aktiv ta i bruk et prosjekt journal.

Arbeidet skal risikovurderes. Risikovurdering er en løpende dokumentasjon og skal gjøres før oppstart av enhver aktivitet som kan være forbundet med risiko.

Besvarelsen skal ha med signert oppgavetekst, et sammendrag på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse, etc. Ved utarbeidelse av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Ved bedømmelse legges det stor vekt på at resultater er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte og diskuteres utførlig.

Kontaktperson: Christian Arne Raknes; PMH

Faglærer

Detlef Blankenburg

## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet i forbindelse med avsluttende utdanning på Institutt for Maskinteknikk og Produksjon ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Bacheloroppgaven omhandler utbedring av PMH Norway's eksisterende 3 tonns kapstan. Prosjektgruppen har igjennom prosjektet utviklet sine kunnskaper om produktutvikling og samarbeid med eksterne partnere.

Tidligere har ikke PMH Norway hatt bacheloroppgaver i samarbeid med studenter, og prosjektgruppen retter en takk for muligheten de har gitt. Prosjektgruppen sitter igjen med positivt inntrykk fra et godt samarbeid. Kontaktperson, Christian Arne Raknes, har vært til stor hjelp i arbeidet med verdifulle innspill og informasjon fra ukentlige samtaler.

Prosjektgruppen retter også en takk til:

Kåre Vevik, avdelingsleder PMH for gode tilbakemeldinger underveis

Detlef Blankenburg, intern veileder

Ådne Bergsmyr

Ådne Bergsmyr

Sander Bjørnfeldt Nilsen

Sander B. Nilsen

## Sammendrag

Oppgavens mål har vært å øke kapasiteten til PMH's 3 tonns kapstan med 20%, ved å videreutvikle eksisterende kapstanhode. Prosjektet har som hensikt å bedre PMH's posisjon i markedet for kapstaner og lette arbeidet til operatøren.

På bakgrunn av produktkravspesifikasjonene ble det utviklet konsepter som ble vurdert opp mot hverandre. Av sju konsepter ble konseptene med vertikale ribber og vertikale riller valgt for videre utvikling. Disse to konseptene bygde på samme teori om at deformasjonen av tauet skaper en friksjonsøkning som videre gir en kapasitetsøkning. De to løsningene ble designet i SolidWorks, 3Dprintet og testet i småskala.

Testing av vertikale riller ga ikke en tilstrekkelig kapasitetsøkning, sannsynligvis på grunn av lite deformasjon av tauet. Testresultatene til de vertikale ribbene bekreftet informasjonen prosjektgruppen hadde funnet i litteraturanalysen og ga grunnlag til videreutvikling. Videre arbeid med definering av endelig løsning ble utført og løsningen prosjektgruppen kom frem til er et kapstanhode med avrundede ribber. Denne vil gi den ønskede kapasitetsøkningen, og teorien underbygger påstanden om lite tauslitasje, og lite aksiell friksjon. De vertikale ribbene ga kapstanhodet en estetikk som er å anse som like pen som det originale kapstanhodet.

«Kapstan» er et fornorsket ord av det engelske ordet «Capstan», og vil bli brukt i denne rapporten. Prosjektgruppen har valgt å benytte ordet «kapstan» til fordel for «nokke» på bakgrunn av bedriftens bruk av begrepet. Det norske ordet for «Capstan» er «Nokke» eller «Gangspill».

## Abstract

The project goal has been to increase the capacity of PMH's 3-ton capstan head by 20%, by further developing an existing product. The purpose of the project is to improve PMH's position in the market for captains and facilitate the work of the operator.

Based on the product requirements specifications, concepts were developed that were evaluated against each other. Of the seven concepts, the concepts with vertical ribs and vertical grooves were chosen for further development. These two concepts were based on the same theory that the deformation of the rope creates an increase in friction which further gives an increase in capacity. The two solutions were designed in SolidWorks, 3Dprinted and tested on a small scale.

Testing of vertical grooves did not provide a sufficient capacity increase, probably due to little deformation. The test results of the vertical ribs confirmed the information the project group had found in the literature analysis and provided a basis for further development. Further defining of the final solution was carried out and the solution the project group came up with was a capstan head with rounded ribs. This will give the desired capacity increase, and the theory supports the claim of little rope wear and little axial friction. The vertical ribs gave the capstan head an aesthetic that is considered as pretty as the original capstan.

# Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag .....	ii
Abstract.....	iii
<b>1 Innledning.....</b>	<b>1</b>
1.1 Prosjektdefinerings .....	2
1.1.1 Fremgangsmåte .....	3
1.1.2 SolidWorks .....	3
1.1.3 Oppbevaring og prosjektjournal .....	3
1.1.4 Andre utfordringer underveis.....	4
1.2 Oppbygning rapport .....	4
<b>2 Teori.....</b>	<b>5</b>
2.1 Friksjon.....	5
2.2 Friksjon mellom tørns .....	10
2.3 Form og formending .....	11
2.4 Tau-material og dimensjon.....	12
2.4.1 Bøyevinkel .....	13
2.5 Spenningsfordeling i tau.....	14
2.6 Produksjon av Kapstanhode .....	15
2.6.1 Dreining av kapstanhode.....	15
2.6.2 Støpning av kapstanhode .....	17
<b>3 Metode.....</b>	<b>18</b>
3.1 Generelt om konseptfasen .....	18
3.2 Konseptuivklingsmetodikk.....	19
3.3 Produktkravspesifikasjoner .....	20
<b>4 Rammer og relevant litteratur.....</b>	<b>21</b>
4.1 Nåværende design .....	21
4.1.1 Standard ISO 6482 - 2017.....	22
<b>4.2 Patenter .....</b>	<b>24</b>
4.2.1 Winch EP 0 637 565 B1.....	25
4.2.2 Positive Grip Winch US 4 688 765.....	26
4.2.3 Winch for sailing boats EP 1 852 386 B1.....	27
4.3 Litteratur.....	28
4.3.1 Technical Paper.....	28
4.4 Marked .....	29
4.4.1 Vinsjer i fiskeoppdrett og offshore .....	29



4.4.2	Seilbåtvinser.....	30
<b>5</b>	<b>Aktuelle konsepter</b> .....	<b>33</b>
5.1	Kriterier for aktuelle konsepter .....	33
5.1.1	Konsept 1 - Termisk sprøyting .....	34
5.1.2	Konsept 2 - Serratering .....	35
5.1.3	Konsept 3 - Sandblåsing .....	36
5.1.4	Konsept 4 - Gummi.....	37
5.1.5	Konsept 5 - Vertikale Riller .....	38
5.1.6	Konsept 6 – Vertikale Ribber .....	39
5.1.7	Konsept 7 – «Pressure roller» .....	40
5.2	Valg av endelig konsept .....	41
<b>6</b>	<b>Design av valgte konsept</b> .....	<b>42</b>
6.1	Vertikale ribber .....	43
6.2	Vertikale riller .....	43
6.3	Oppsummering .....	44
<b>7</b>	<b>Verifisering konsept</b> .....	<b>45</b>
7.1	Testtrigg 1.....	46
7.2	Testtrigg 2.....	47
7.2.1	Feilkilder .....	48
7.2.2	Gjennomføring .....	49
<b>8</b>	<b>Resultater</b> .....	<b>50</b>
8.1	Ribber avrundet .....	51
8.1.1	Konfigurasjon 3, 6, 8, 9 .....	52
8.1.2	Konfigurasjon 7 .....	54
8.1.3	Konfigurasjon 10 .....	56
8.2	Ribber spiss .....	58
<b>8.3</b>	<b>Riller</b> .....	<b>60</b>
8.3.1	Rille halvsirkel .....	61
8.3.2	Rille m/fillet .....	61
8.3.3	Rille 4mm.....	62
8.4	Tau.....	63
<b>9</b>	<b>Analyse og diskusjon</b> .....	<b>64</b>
9.1	Vertikale riller .....	65
9.2	Vertikale ribber .....	67
9.2.1	Høyde.....	67
9.2.2	Avstand mellom ribbene og antall ribber.....	70

9.2.3	Utforming.....	75
9.3	Kraftfordeling.....	76
9.4	Videreutvikling.....	77
<b>10</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>78</b>
	<b>Referanser.....</b>	<b>80</b>
	<b>Figurliste.....</b>	<b>84</b>
	<b>Tabelliste.....</b>	<b>86</b>
	<b>Vedlegg.....</b>	<b>87</b>

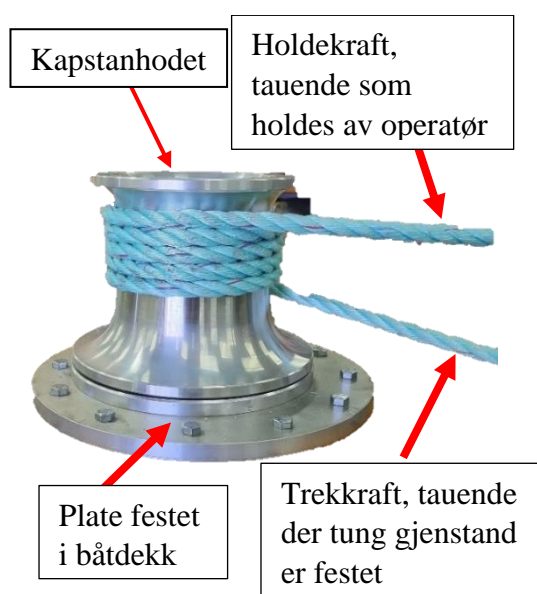
# 1 Innledning

I oppdrettsnæringen er kapstanen et sentralt verktøy og brukes til håndtering av tauverk, kabler eller lignende. En kapstan er en roterende, vertikal trommel som brukes til å heve eller hale inn tunge gjenstander.

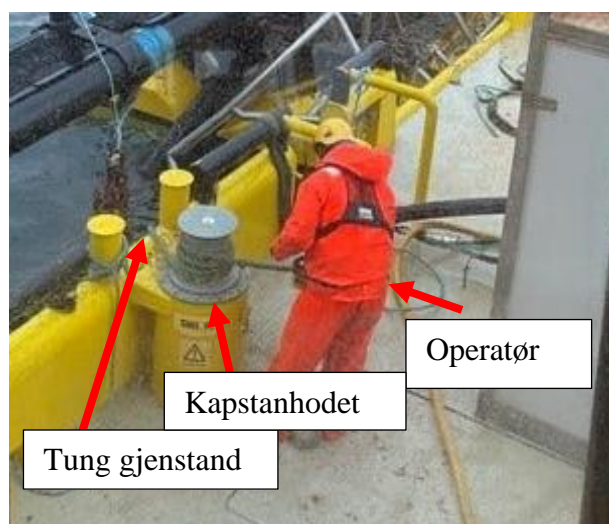
Denne består av et kapstanhode, gir og en motor. Kapstanen samler ikke tauet på trommelen, og den krever at operatøren betjener den ene tauenden. Rotasjonsretningen og hastigheten til kapstanhodet styres av operatøren ved bruk av en fotkontroller. Kapstanhodet har en konkav form som gjør at tauet samler seg på øvre del. Dette hindrer at tauet hopper seg opp og legger seg dobbelt.

## Konkav

Overflate som krummer innover.



Figur 1 - 3 tonn kapstan



Figur 2 - Kapstan som benyttes av "Finnsnes Dykk & Anleggsservice"

Kapstanhodet prosjektgruppen arbeidet med er drevet av en hydraulisk eller elektrisk motor og gir kapstanen en maks trekraft på 3 tonn. Kapstanen benyttes innenfor mange forskjellige industrier, og blir utsatt for svært harde miljøer. Kapstanen er et velkjent, standard-verktøy med mange tilbydere, og har vært et produkt med liten utvikling i mange år. Prosjektgruppen hadde ikke kjennskap til dette produktet, og måtte derfor undersøke bruksområdet og virkemåten for å forstå omfanget av oppgaven. Oppgaven har blitt gjennomført i samarbeid med PMH Norway AS.

[PMH Norway AS](#) (Petter's Marine Hydraulics) har i 50 år basert sin virksomhet på å levere robuste kvalitetsløsninger til maritime fartøy. Deres utstyr leveres til kunder innen oppdrett, frakt, fiske, persontransport og offshore. Bedriften har gode fasiliteter for utvikling og holder til i Trondheim kommune. Dette er PMH Norway's første samarbeid med studenter ved NTNU, og prosjektgruppen vil dermed gå frem for å skape et godt førsteinntrykk. Dette skapte stor motivasjon til å finne en god løsning på problemet.

## 1.1 Prosjektdefinering

Prosjektgruppen har i samarbeid med PMH et ønske om å videreutvikle og optimalisere deres eksisterende [kapstanhode \(C3000R/D\)](#). Hensikten er for å lette arbeidet til operatøren, og styrke PMH's posisjon i markedet. Målet fra bedriften er en 20% økning i trekkraft.

### Trosse

Tauverk av grov dimensjon, gjerne en diameter på over 20mm.

Problemstillingen baserer seg på en hypotese om at det er mulig å øke trekkraften, uten at tau/trossen blir utsatt for uakseptabelt mye slitasje.

Det er ønskelig at prosjektet vil gi bedriften et godt grunnlag til å utføre fullskalatesting av løsningen. Dersom tiden tillater det, er det ønskelig for prosjektgruppen å få denne lagd og testet konseptet før prosjektets slutt.

### 1.1.1 Fremgangsmåte

Prosjektet startet med at gruppen hentet inspirasjon fra markedsundersøkelser og litteratur for å danne et grunnlag for videre arbeid med kapasitetsøkningen av kapstanhode. Hovedfokuset var friksjon, overflateruhet og/eller formendring.

PMH har gitt prosjektgruppen mye og god litteratur til oppgaven gjennom ukentlig kommunikasjon. I samarbeid med PMH ble det dannet produktkrav for hvordan konseptene skulle utvikles. Konseptene ble diskutert og rangert etter disse kravene sammen med bedrift.

Prosjektgruppen utførte testing i 50% størrelse med 3D-printede modeller. Testingen la grunnlaget for videre analyse og verifisering av konsept. Disse resultatene kombinert med litteraturen dannet grunnlag for videre utvikling.

Siste del av rapporten danner anbefalinger, krav og faktorer til hvordan den endelige løsningen bør konstrueres.

### 1.1.2 SolidWorks

Designprogramvaren SolidWorks ble benyttet til å modellere og visualisere 3D-modeller underveis i prosjektet. Enkle analyser av konsepter ble også gjennomført i SolidWorks, men SolidWorks har ikke en tilfredsstillende måte å simulere tau-elementer på, og ble derfor ikke benyttet til spenningsanalyse og simulering.

### 1.1.3 Oppbevaring og prosjektjournal

Prosjektgruppen benyttet OneDrive som felles plattform for lagring og organisering av prosjektjournalen. Delingsfunksjonene til OneDrive ga gruppen mulighet til å ha sanntidsoppdaterte dokumenter tilgjengelig hele tiden. Kommunikasjon og fildeling av versjonslogger mellom veileder, bedrift og gruppe ble gjort igjennom Teams. Dette fungerte svært bra, men gruppen hadde periodevis små utfordringer med treg oppdateringsfrekvens og konflikter mellom brukerne i dokumentet.

#### 1.1.4 Andre utfordringer underveis

Underveis i prosjektet støtte gruppen på flere utfordringer. Lite tilgjengelig litteratur om kapasitetsøkning av kapstaner for oppdrettsindustrien, førte til at prosjektgruppen ble nødt til å benytte mye tid på gransking av patenter, forskningslitteratur og eksisterende produkter i andre industrier.

Friksjonsteori tilknyttet deformasjon, sett ifra forskningsperspektiv, er fortsatt dårlig på mange områder. Det har gjort det vanskelig å beskrive teorien bak kapasitetsøkning som oppstår på grunn av formendring. Prosjektgruppen har forsøkt å komme med en forklaring på hvordan deformasjon påvirker friksjonen. Enkelte av forklaringene vil være basert på forskningsrapporter der det er vanskelig å verifisere teorien.

Prosjektgruppen møtte også på problemer tilknyttet tilgjengelighet, kvaliteten og påliteligheten til 3D-printerene som ble benyttet. Dette førte til at 3D-printingen ble mer tidkrevende enn forventet, dette påvirket valget av testtriggens design.

## 1.2 Oppbygning rapport

Prosjektgruppen har valgt å bygge opp rapporten på en måte som gjør den lettleselig. Dette innebærer at begrep som blir benyttet i rapporten blir forklart første gang det blir benyttet, i tillegg til at de blir forklart til slutt i rapporten.

Rapporten har som hovedhensikt å være et digitalt dokument, og benytter dermed hyperlenker til mer forklarende litteratur dersom leseren skulle være interessert i dette. Det er ikke nødvendig å benytte hyperlenkene for å forstå rapportens innhold.

For enkel navigasjon i dokumentet er det mulig å gå tilbake til forrige plassering. Denne funksjonen er nyttig når kryssreferanser følges. Trykker leser på en kryssreferanse som tar leser til et annet sted i dokumentet, vil det være mulig å gå tilbake til der leser var sist ved bruk av Alt. + ← for Windows og ⌘ + ] for Mac. Denne funksjonen støttes av bl.a. Adobe Acrobat.

## 2 Teori

Teorikapitlet tar for seg hvilke prinsipper som kan påvirke kapstanens kapasitet. Friksjon, form, produksjon, tau og spenning i tauet danner et grunnlag for forståelsen av videre produktutvikling og analyse.

### 2.1 Friksjon

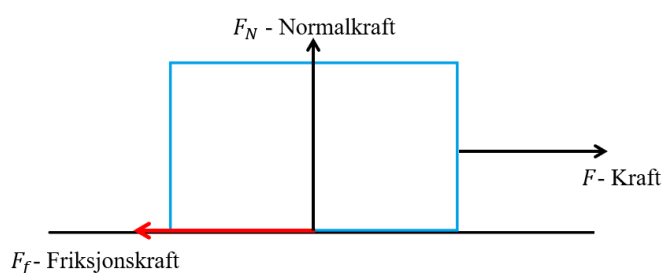
Prosjektgruppen vil i dette avsnittet ta for seg teorien som er nødvendig for å forstå videre arbeid med å oppnå en kapasitetsøkning. Avsnittet vil ta for seg grunnleggende friksjon knyttet opp mot Eytelwein's friksjonslikning, og hvordan denne kan påvirke kapasiteten til kapstanen.

Friksjon er et fenomen som oppstår mellom to flater. I prosjektgruppens tilfelle vil friksjonen oppstå mellom tauet og metalloverflaten til kapstanhodet.

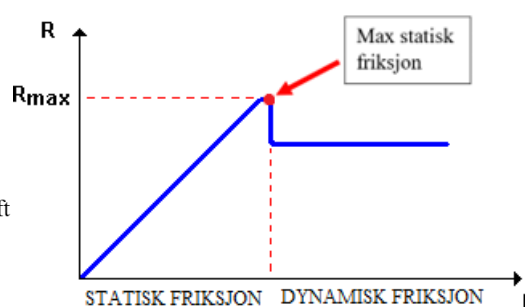
Det finnes to forskjellige friksjoner, statisk friksjon og dynamisk friksjon, der statisk friksjon varer helt til legemet begynner å bevege på seg relativt til underlaget det ligger på. I det legemet begynner å bevege på seg vil friksjonskraften bli mindre og går over til dynamisk friksjon (Ormestad, 2020). Dette er [Amonton's friksjonslov](#), og denne legger grunnlaget for friksjonslikningen:

$$F_f = \mu F_N \quad 2.1$$

der  $F_N$  er normalkraften og  $\mu$  er friksjonskoeffisient.



Figur 3 - Illustrasjon på Amonton's friksjonslov



Figur 4 - Friksjonskraften som en funksjon av drakraften  $F$  (Øyro, 2018)

Som Figur 4 illustrerer, vil det være gunstig at det ikke er en relativ bevegelse mellom tau og kapstan. Da vil den statiske friksjonen opptre og bidra til størst mulig trekkraft.

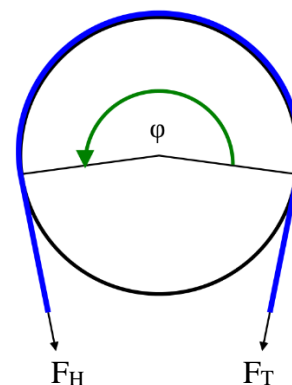
**Kapstan-likningen**, også kjent som [Eytelwein's likning](#) (etter Johann Albert Eytelwein) relaterer til forholdet mellom holdekraften og trekkraften for et tau e.l. viklet rundt en sylinder. Kapstan-likningen tar utgangspunktet i Amonton's friksjonslover, og statisk likevekt av kreftene i et system.

Formelen er gitt slik:

$$F_{Trekke} = F_{Hold} * e^{\mu\theta}$$

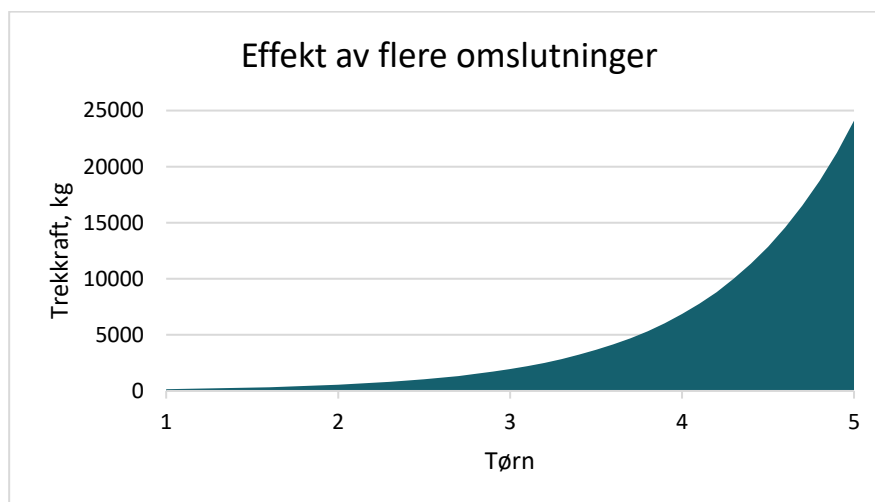
Trekraften i formelen ( $F_{Trekke}$ ) avhenger dermed av 3 faktorer:

- Holdekraften -  $F_{Hold}$
- Friksjonskoeffisienten -  $\mu$
- Omslutningsvinkel i radianer –  $\theta$



Figur 5 - Illustrasjon tau bøyd rundt en sylinder

Likningen er uavhengig av taudiameter og overflateareal. Ved økning av enten friksjonskoeffisient og/eller omslutningsvinkel vil trekkraften øke eksponentielt i likningen. En økning i en av disse parameterne har dermed stor påvirkning på trekkraften, og er grafisk illustrert under. Grafen viser at i starten øker trekkraften lite, men som en eksponential likning øker den plutselig dramatisk. I Illustrasjonen settes friksjonskoeffisienten  $\mu = 0.2$ , og  $F_{Hold}$  er konstant.



Figur 6 - Effekt av flere omslutninger

Eytelwein's likning følger Amonton's lov, der friksjonskraften er proporsjonal til den påførte normalkraften, og uavhengig av kontaktareal mellom de to objektene. Eytelwein's likning tar utgangspunkt i likevekt like før tauet sklir (maksimal statisk friksjon), der følgende er oppfylt:

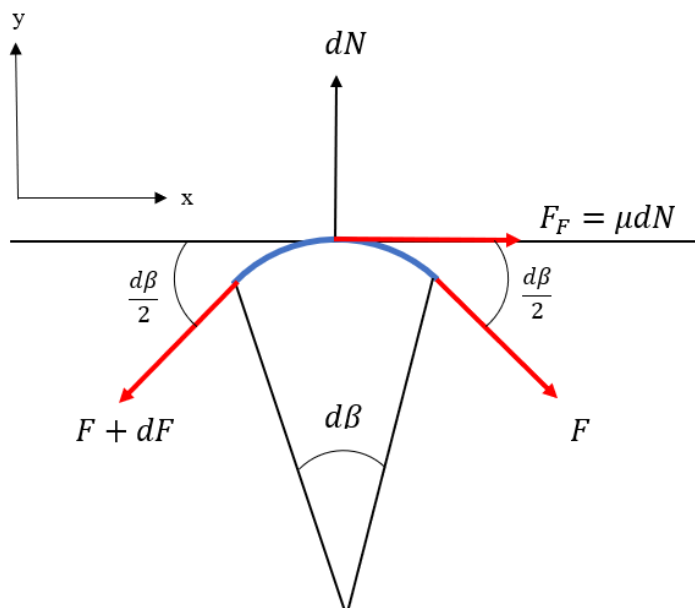
- Ingen forlengelse
- Ingen bøyestivhet i tau/belte e.l.



**Under blir Eytelwein's likningen gjennomgått i detalj. Utledningen blir ikke benyttet videre i rapporten, men gir en innføring i hva Eytelwein's likning bygger på, og viser hvilke forenklinger som er gjort.**

Når en veldig liten del av et tau er bøyd over en veldig liten del av kapstanhodet vil kreftene i tauet endres fra  $F$  til  $F + dF$  for vinkelen  $d\beta$ . Kraften  $dF$  kommer av friksjonskraften som virker med en kraft  $\mu dN$  for å motvirke glidning.

Figur 7 viser kreftene som opptrer i en liten del av tauet. Ved å studere likevekt i x-retning  $\sum F_x = 0$  får vi at summen av kreftene i x-retning lik 0. Legg merke til at tauets bøyemotstand ikke blir tatt hensyn til.



Friksjonskraften  $F_F$  bidrar til en større kraft på venstre side enn på høyre.

Denne størrelsen beregnes ved Amontons friksjonslikning.

Figur 7 - Krefter i en veldig liten del av tau

Med en betraktning av Figur 7, vil vinkelen mellom friksjonskraften ( $F_F$ ) og  $F$  være  $\frac{d\beta}{2}$ .

Likevekt i x-retning blir dermed:

$$F \cdot \cos \frac{d\beta}{2} - (F + dF) \cos \frac{d\beta}{2} + F_F = 0 \quad 2.2$$

$$F \cdot \cos \frac{d\beta}{2} - F \cdot \cos \frac{d\beta}{2} - dF \cdot \cos \frac{d\beta}{2} + F_F = 0 \quad 2.3$$

Forenkles til:

$$F_F = dF \cdot \cos \frac{d\beta}{2} \quad \boxed{F_F = \mu dN} \quad 2.4$$

Erstatter  $F_F$  med  $\mu dN$ :

$$\mu dN = dF \cdot \cos \frac{d\beta}{2} \quad 2.5$$

$\frac{d\beta}{2}$  er en veldig liten vinkel, som går mot 0, noe som gjør at  $\cos \frac{d\beta}{2}$  vil være tilnærmet 1.

$$\lim_{d\beta \rightarrow 0} \cos \frac{d\beta}{2} = 1$$

Kreftene i x-retning blir som følger:

$$\mu dN = dF \quad 2.6$$

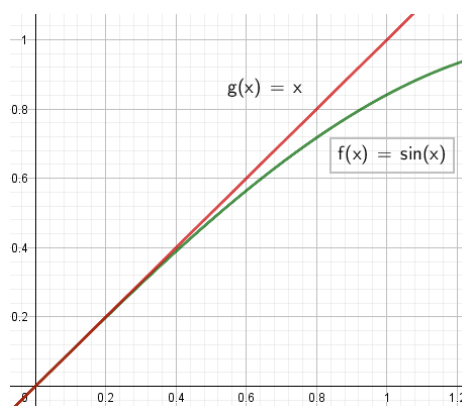
Likevekt i y-retning  $\sum F_y = 0$  gir oss:

$$dN - F \cdot \sin \frac{d\beta}{2} - (F + dF) \cdot \sin \frac{d\beta}{2} = 0 \quad 2.7$$

$$dN = 2F \cdot \sin \frac{d\beta}{2} + dF \cdot \sin \frac{d\beta}{2} \quad 2.8$$

$$\lim_{d\beta \rightarrow 0} \sin \frac{d\beta}{2} = \frac{d\beta}{2} \quad 2.9$$

Ved samme antakelse som i x-retningen, kan sinus til en veldig liten vinkel forenkles. En sammenligning av grafene  $x$  og  $\sin(x)$  viser at de er tilnærmet lik hverandre for små vinkler.



Figur 8 - Illustrasjon som viser at  $x$  og  $\sin(x)$  er tilnærmet lik for små vinkler

Uttrykket kan forenkles til:

$$dN = 2F \cdot \frac{d\beta}{2} + dF \cdot \frac{d\beta}{2} \quad 2.10$$

$$dN = Fd\beta + dF * \frac{d\beta}{2} \quad 2.11$$

$$dF * d\beta \approx 0 \quad 2.12$$

Multiplikasjon av to små differensialer kan antas å være tilnærmet lik 0.

$$dN = Fd\beta \quad 2.13$$

Kombinasjon av krefter i x-retning (likning 2.6) og krefter i y-retning (likning 2.13) er nest siste steg før Eytelwein's likning er utledet:

$$\mu * d\beta = \frac{dF}{F} \quad 2.14$$

Det sammensatte uttrykket tilpasses slik at det blir gyldig for større taulengder. Uttrykket integreres med tanke på den totale kontaktvinkelen ( $\theta$ ) for å finne kreftene i tauet ( $F_T$ ):

$$\ln \frac{F_T}{F_H} = \mu\theta \quad 2.15$$

Omrokering av uttrykket vil gi kapstan-likningen, denne benyttes til beregninger senere i rapporten:

$$F_T = F_H e^{\mu\theta} \quad 2.16$$

Utledningen viser at Eytelwein's likning tar en rekke forenklinger. Forenklingene gjort i likningen fører til at den ikke er en fullverdig representasjon for materialer med polymaterialegenskaper. Svakheterne til formelen kan delvis tas hensyn til ved å benytte modifiserte versjoner av likningen. (Ho Jung, et al., 2008)

Det er i hovedsak tre grunner til at likningen representerer materialer med polymermaterialegenskaper dårlig:

#### **Polymaterialer**

Refererer til syntetisk polymerer som er hovedkomponenten til blant annet plastprodukter.

- Materialer med polymermaterialelegenskaper avviker fra Amonton's friksjonslov, som Eytelwein's likning bygger på
- Bøystivheten til tau/beltet o.l tas ikke hensyn til.
- Forlengelse av tau/belte o.l tas ikke hensyn til.

Det foreligger noe forskning på temaet, men den er svært mangelfull. Utregninger som tar hensyn til dette blir komplekse, og inneholder usikkerhet på grunn av manglende litteratur og forskning. Prosjektgruppen har derfor unngått å benytte modifiserte versjoner av Eytelwein til beregninger i prosjektoppgaven.

## 2.2 Friksjon mellom tårns

Ved større omslutningsvinkler enn 360 grader er det å anta at forholdet mellom  $F_T$  og  $F_H$  blir påvirket av interaksjon mellom omslutningene til tauet. Interaksjonen oppstår som følge av utformingen til kapstanhodet ved at tauet samler seg på øvre del.

### Tørn

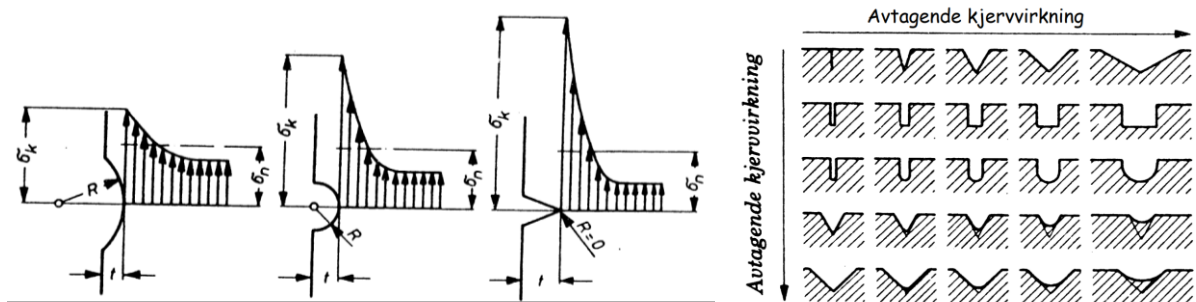
Tau legges rundt et objekt for å skape friksjon mellom tau og objekt.

Forsøk gjort av en student ved «Strathclyde University» på dette temaet har konkludert at interaksjonen mellom tårns gjør kapstanhodet mindre effektiv (Fulton, 2005). Det ble ikke funnet annen forskning på dette temaet og gjør det vanskelig å verifisere funnene til studenten ved «Strathclyde University».

Prosjektgruppen valgte å ikke ta hensyn til hvordan kontakten mellom tårn påvirker kapasiteten til kapstanhodet fordi dette vil være en faktor som sannsynligvis vil være lik for den originale kapstanhodet og den eventuelle løsningen.

## 2.3 Form og formendring

I utmattingsutsatte konstruksjoner må det tas hensyn til spenningskonsentrasjoner som oppstår på grunn av geometriske tverrsnittsoverganger. Konstruktørens design bør unngå utforminger som skaper opphoping av spenninger. Slike opphopinger kan føre til sprekkdannelse, som over tid kan føre til brudd/ødeleggelse. I utforming av riller i en sylindrisk overflate er det viktig at overgangene er avrundet for å skape god kraftflyt, og minimere spenningskonsentrasjoner. Spenningskonsentrasjonene oppstår i bunnen av sporet og bestemmes av radien.



Figur 9 - Spenningskonsentrasjon for forskjellige former i overflate (Blankenburg, 2020)

### Prosjektoppgavens bruk av begrepene «Vertikale riller» og «Vertikale ribber».

I prosjektrapporten vil ordene vertikale riller og vertikale ribber brukes. De to definisjonene tar utgangspunktet (har nullpunktet) på randen til den originale kapstanen.

Gruppen har laget en egen definisjon på hva som skiller disse:

**Vertikale riller:** Materiale fjernet fra grunnstrukturen til den originale kapstanhodet.

**Vertikale ribber:** Materiale lagt utenpå grunnstrukturen til den originale kapstanhodet.

## 2.4 Tau-material og dimensjon

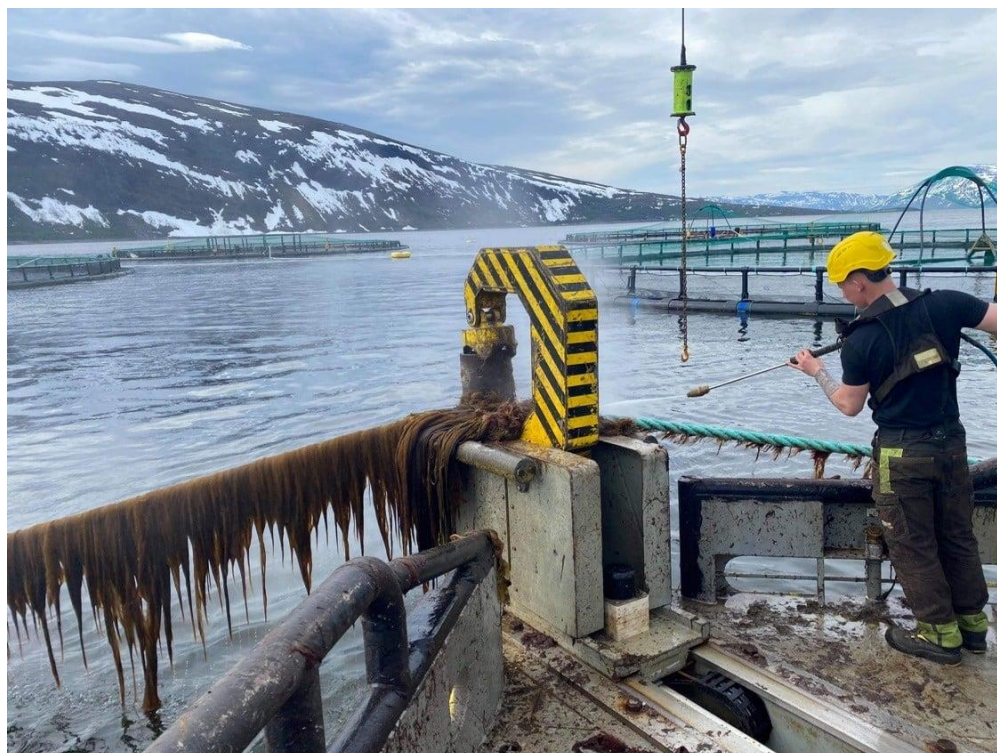
En vanlig tautype benyttet i oppdrett er Danline, denne består av polypropylen (PP) og polyeten (PE). Danline har en forlengelse på 17-21%, dette avhenger av materialsammensetning, diameter og antall parter (Froystad, 2022). Belastning av tauverket vil føre til en spennings-tøynings som ikke er lineær.

Ved belastning på under 50% av bruddstyrke kan Danline 3slått fibertau ha en levetid på 10-20år (Carl Stahl AS, 2022). Faktorer som vann, sollys, kjemikalier, smuss, skamfiling og annen feil bruk vil påvirke levetiden.

Begroing av nedsenket tauverk er et problem i oppdrettsnæringen som problematiserer håndtering og øker vekten til merdene (Bravo Marine, 2022). I forbindelse med håndtering av begrodde tau i en kapstan vil dette påvirke kapasiteten, da biomateriell har en negativ påvirkning på friksjonskoeffisienten (Samson rope technologies, 2019).

### Skamfiling

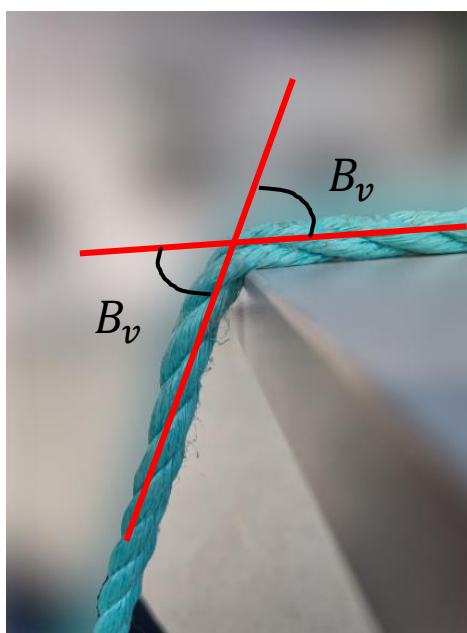
Skamfiling er skade på tauverk, seil, wire og liknende på grunn av friksjon.



Figur 10 - Vask av tauverk (Finnsnes Dykk & Anleggsservice, 2021)

### 2.4.1 Bøjevinkel og deformasjon

Bøjevinkel oppstår når et tau bøyes over en kant, og er et mål på hvor stor retningsforandring tauet har over kanten. Bruken av begrepet bøjevinkel kommer fra patentet US 4 688 765, og prosjektgruppen velger å benytte samme begrep i rapporten. Bøjevinkelen til tauet er vanskelig å beregne, da bøyestivheten til tauet vil påvirke vinkelen som oppstår. Prosjektgruppen ser derfor bort i fra bøyestivheten til tauet når bøjevinkel estimeres grafisk.

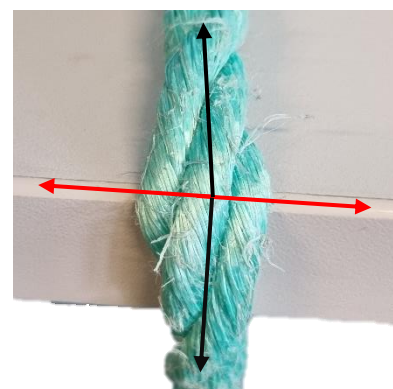


Figur 11 - Bøjevinkel over en kant

Eytelwein's likning tar utgangspunkt i Amonton's friksjonslov, friksjon mellom to legemer oppstår på grunn av følgende:

- Krefter mellom molekyler
- Overflateruhet
- Deformasjon

Myke materialer vil deformere seg under trykk og det vil øke kraften som kreves for å skape bevegelse. Dette på samme måte som at et dekk vil deformere seg og flate ut i området dekket er i kontakt med veien, og dermed skape en rullemotstand.



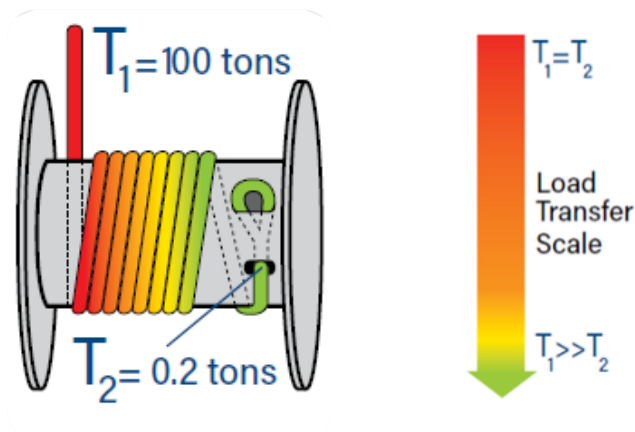
Figur 12 - Deformasjonen hindrer tauet i å skli i lengderetning (svarte piler) men ikke på langs (røde piler)

Som man kan se ut av Figur 12, vil deformasjonen hindre tauet å skli i lengderetning (svart piler), men vil ikke påvirke glidningen vinkelrett på lengderetningen (røde piler).

## 2.5 Spenningsfordeling i tau

Spenningsene som opptrer i tauet, endrer seg for hver trn på grunn av samspillet mellom friksjonskrefter og strekk. Dette gjør at spenningen i tauet viklet rundt kapstanhodet er forskjellig på hver side. En liten holdekraft som utøves på den ene siden kan bære en mye større lastekraft på den andre siden (Wikipedia, 2022). En økning i omslutningsvinkel fører til at spenningene i tauende på motsatt side av lasten minker.

I undersøkelsen ble det funnet lite litteratur som dekker dette temaet i detalj. Teamet er svært kompleks, og det er dermed ikke blitt utført en detaljert analyse på hvordan kreftene fordeler seg i tauet. Figur 13 viser en forenklet modell av hvordan spenningen er antatt å fordele seg.



Figur 13 - Spenninger i et tau (Samson rope technologies, 2019)



## 2.6 Produksjon av Kapstanhode

PMH's kapstanhoder er produsert i aluminiumslegeringene 6082 T6 og AlSi<sub>10</sub>Mg.

Hovedsakelig produseres kapstanhodene på PMH's verksted ved at de dreises ut fra en solid bolt av Al 6082 T6. PMH tilbyr også støpte kapstanhoder, og disse produseres hos støperier i legeringen AlSi<sub>10</sub>Mg.



Figur 14 - Støpt kapstanhode (PMH, 2017)

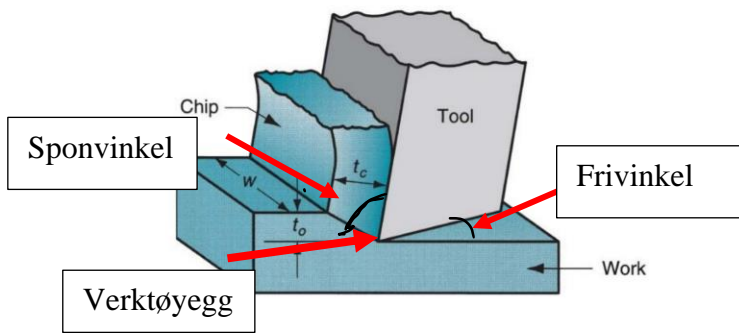


Figur 15 - Dreid kapstanhode (PMH, 2017)

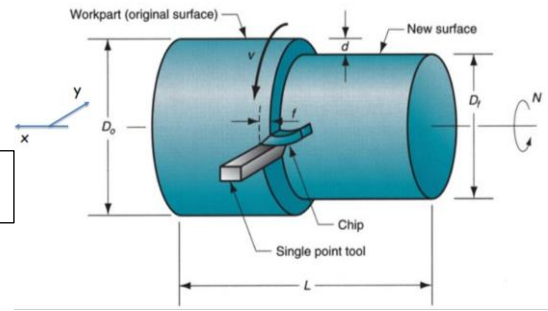
### 2.6.1 Dreining av kapstanhode

[Al 6082 T6](#) er det sterkeste aluminiumet i 6000-serien, og har en flytegrense på 260 MPa.

Legeringen har meget god korrosjonsbestandighet og godt egnet til bearbeiding (Azom Materials, 2005). Dreieprosessen er en sponfraskillende bearbeidingsprosess der arbeidsstykket roterer relativt til et stasjonært skjæreverktøy. Skjæreverktøyet har en verktøyegg som gjør et inngrep i et arbeidsstykke med fast skjærvinkel. Denne skjærvinkelen danner sammen med arbeidsstykket en frivinkel og en sponvinkel, avhengig av hvordan verktøyeggen er vinklet relativt til arbeidsstykket.



Figur 16 - (Groover, 2010)



Figur 17 - (Groover, 2010)

Fra en sponfraskillende bearbejdingsprosess som dreining vil verktøyeggen etterlate et spor i overflaten, bestemt av radiusen på eggen og matingen (hastigheten til verktøyeggen mot venstre ifølge Figur 16 og Figur 17). Overflaten til kapstanhodet vil dermed få små spor i radiell retning av arbeidsstykket (Custompart, 2022). På Figur 18 og Figur 19 er kjennemerker for deriing, spor i radiell retning, vist med røde piler.



Figur 18 - Nyprodusert PMH 3tonn kapstanhode



Figur 19 - Oksidert PMH 3tonn kapstanhode

PMH anvender en CNC (Computer Numerical Control) dreiebenk av typen [Doosan Puma 400LM](#) for denne prosessen. En CNC dreiebenk er en datastyrt maskin som automatiserer en mekanisk prosess.

## 2.6.2 Støpning av kapstanhode

Kapstanhodet laget i [AlSi<sub>10</sub>Mg](#) er støpt ved sandstøping. AlSi<sub>10</sub>Mg er en aluminiumslegering med god korrosjonsbestandighet og er meget egnet til støpning av komplekse strukturer. Denne legeringen har en flytegrense på 220 MPa (SLM Solutions Group AG, 2005). Støpningen av kapstanhodet utføres ved formgivning av et smeltet materiale. Flytende masse helles i en form hvor det størkner til fast tilstand. Sandstøping er en egnet produksjonsmetode for produksjon av store emner med komplekse strukturer (Engineering Product design, 2017). Overflaten til sandstøpte emner vil bli ru som et resultat av sanden som benyttes som støpeform. Større defekter i overflaten resulterer i uønsket slitasje av tauet, og blir fjernet før utlevering til kunde. Figur 20 og Figur 21 viser et støpt kapstanhode der vitnemerker fra etterarbeid med slipemaskin er vist med røde piler. Det støpte kapstanhodet vil også kreve maskinering for blant annet å etablere kilspor og andre flater med mindre toleranser enn det er mulig å få til med støpning.



Figur 20 - Støpt kapstanhode.

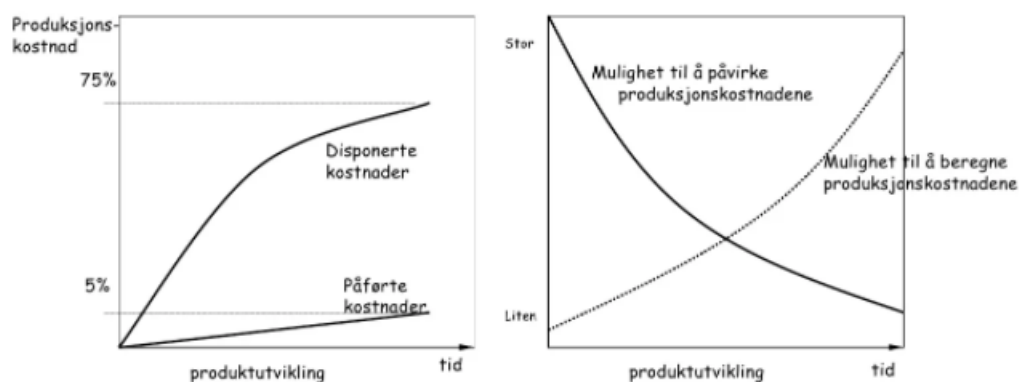


Figur 21 - Støpt kapstanhode

### 3 Metode

#### 3.1 Generelt om konseptfasen

Forarbeidet i en produktutvikling er viktig, og vil bidra til å skape produkter med gode egenskaper og med lavest mulige kostnad.



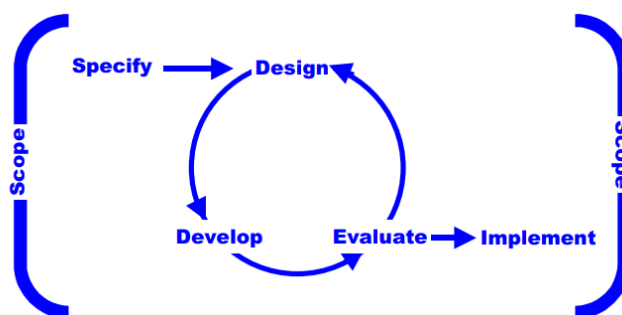
Figur 22 - Illustrasjon av påvirkningskraft i PU-prosessen

I startfasen er det viktig å starte bredt for så å snevre seg inn, slik at ingen løsninger utelukkes. Dette er en kompleks oppgave som krever kunnskap innen produktutvikling, produksjon og marked. I utviklingsprosessen er konkurransekraften til et produkt sterkt tilknyttet produksjonskostnadene og produktets verdi hos kunden. Når kvalitet og verdi bedømmes av kunden vil faktorer være tilknyttet pris, estetikk og driftssikkerhet. Markedssituasjonen med mange produsenter av produktet gjør at kunden velger produktet i lys av disse. Bedriften som presterer best på disse punktene vil derfor ha størst sannsynlighet for å få flere kunder.

Viktigheten for prosjektgruppen å designe etter kundens kvalitet og verdi er dermed avgjørende for å muliggjøre en bedre markeds plassering for PMH.

## 3.2 Konseptutviklingsmetodikk

Prosjektet har tatt for seg en produktforbedring ved modifisering eller justering av et eksisterende produkt, med utgangspunkt i [The Iterative Project Model \(IPM-modellen\)](#). Modellen er illustrert i Figur 23 der arbeidet er utført innenfor et gitt mål. Hensikten ved å benytte denne produktutviklingsmetodikken er strukturert utvikling mot et målrettet produkt. I gjennomføringen av en slik iterativ prosess vil man kunne gå tilbake til tidligere prosesser, og gjøre endringer.



Figur 23 - Iterative prosjektmodellen

I oppstarten av prosjektet skapte prosjektgruppen en visjon om at produktet vil bidra til at PMH bedrer sin markedsposisjonering for kapstaner. Prosjektgruppen hadde svært liten kunnskap om kapstaner tidlig i prosjektet, noe som gjorde det nødvendig å lese seg opp på litteratur tilknyttet bruken og spesifikasjoner. Før prosjektgruppen kunne starte med konseptutviklingen ble produktkravspesifikasjoner bestemt i samråd med bedriften.

**(Konseptutvikling):** I denne delen brukte gruppen mye tid på utvikling av konsepter med utgangspunkt i tilgjengelig litteratur. Alle konseptene ble evaluert med poengscore og der de med høyest score ble tatt med videre til neste fase. PMH var med i vurderingen av konseptene.

**(Spesifisering og testing):** Spesifikasjoner for de lovende konseptene ble forsøkt begrunnet ved bruk av informasjon hentet fra litteratur. Testing i småskala ble utført for å gi et datagrunnlag til å underbygge antakelsene.

**(Design av løsning):** Prosjektgruppen kommer her med en analyse av design basert på opparbeidet kunnskap og resultatene fra småskalatestingen, samtidig som anbefalinger for videreutvikling presenteres.

### 3.3 Produktkravspesifikasjoner

#### **Kapasitetsøkning**

Mål om økning i trekraft på 20%. Dette vil gi operatøren av kapstanen mulighet til å redusere antall tørn og/eller redusere holdekraften som er nødvendig for å hale inn tauet/trossen.

#### **Allsidighet**

Kan hale tau opptil Ø30mm. Benyttes som «universalverktøy» i oppdrettsnæringen, der den må være kapabel til å ta de fleste taudiametre. Prosjektgruppen tar utgangspunkt i taudiametrene som er beskrevet i PMH sin [produktbrosjyre](#) (C3000R/D).

#### **Friksjon aksial**

Økning av friksjon i radiell retning, med minst mulig økning i aksial retning. Tauet hopper ikke eller plutselig løsner ved utslipp av tau. Heller ikke at tauet ruller istedenfor å gli i aksial retning.

#### **Slitasje trosse**

Hvor mye slitasje tauet blir påført under haling, som påvirker levetiden til tauet. Tid og ressurskrevende å teste. Overflaten bør ikke ha sandpapirlignende og eller skarpe kanter som sliter på tauet. Konsekvensene av en trosse som ryker har potensiale til å skape person- og miljøskade. Sammenligner konseptene opp imot nåværende 3t kapstanhode.

#### **Levetid av kapasitetsøkende tiltak**

Tiltakene som fører til en kapasitetsøkning, bør være tilnærmet evigvarende. Hvis degradering av konseptet oppstår må denne fortsatt fungere minst like bra som kapstanhodet prosjektgruppen tar utgangspunkt i.

#### **Degradering**

Skadelig endring i fysisk tilstand som følge av tid, bruk, eller en ekstern årsak. Beheftet med usikkerhet.

#### **Pris**

Produksjonskostnad sammenlignet med dagens løsning. Hvis jobben kan gjøres på PMH's verksted er dette positivt, da dette fjerner kostnader knyttet til transport og reduserer produksjonstiden.

#### **Estetikk**

Utseende og design er med på å påvirke kundens valg av produkt. Det er derfor ønskelig at sluttproduktet er estetisk pent.

## 4 Rammer og relevant litteratur

### 4.1 Nåværende design

Kapstanen prosjektgruppen tar utgangspunkt i har en trekraft på 3 tonn og er designet slik at det kan favne taudimensjoner opptil 30mm. 3 tonns kapstanen tilbys av PMH og produseres i to forskjellige varianter C3000R og C3000D, der R står for «Rail Mounted» og D står for «Deck mounted».

Kapstanhodet C3000D (markert med rød boks i Figur 25) har en høyde (C) på 280 mm og konkav overflate. Største diameter (F) er 400 mm og minste diameter (B) er 240 mm.

Maksimal rotasjonshastigheten til kapstanhode er 28 RPM og med en trossediameter på 30 mm vil maks linehastighet være 30 m/min. Systemet kan levers med enten hydraulisk eller elektrisk drift.

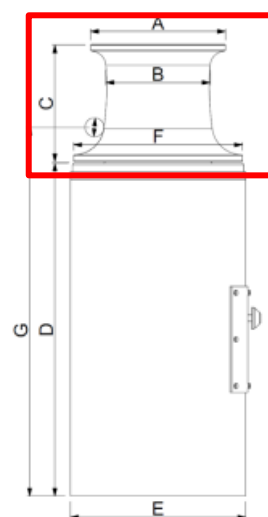
Tabell 1 - Spesifikasjoner 3 tonns kapstanhodet

Device	A	B	C	E	F
C3000D	315	240	280	410	400

Device	Max RPM	Rope diameter	Max line speed	Max start pull
C3000	28	30mm	30 m/min	3000 kg



Figur 24 - 3D modell av nåværende design



Figur 25 - Kapstanhodet

#### 4.1.1 Standard ISO 6482 - 2017

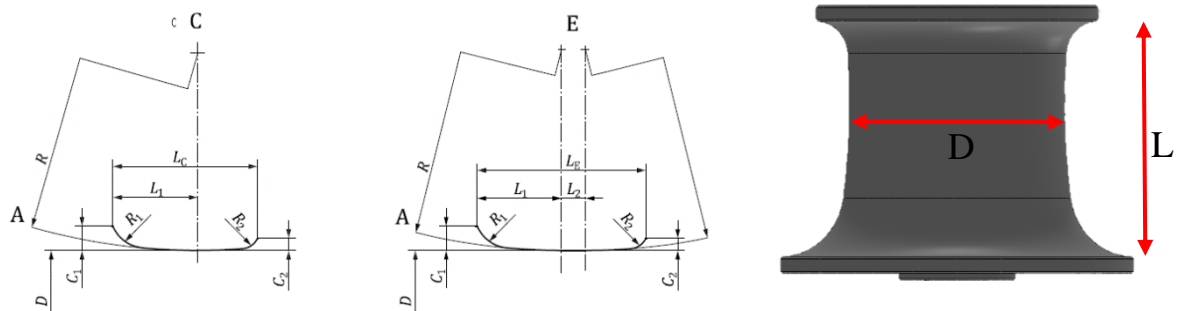
Standard [ISO 6482 - 2017](#) er skrevet og gjelder for «Shipbuilding – Deck machinery – Warping end profiles». Standarden spesifiserer typer, nominelle størrelser, dimensjoner, markeringer og selekterte regler for «warping end profiles». Det vil si dekkutstyr som ankerspill, fortøyningsvinsjer, kapstaner og annet utstyr som bruker kjetting eller tau.

Dimensjonering av kapstanhodet må tilfredsstillere kravet  $L \geq 7,5d$ .

L – er lengden fra øvre flens til nedre flens.

d – taudiameter.

Samtidig må kravet for diameter tilfredsstilles:  $D \geq 6d$



Dimensions in millimetres

Nominal size <i>D</i>	Length of warping end		<i>L</i> <sub>1</sub>	<i>L</i> <sub>2</sub>	<i>R</i>	<i>R</i> <sub>1</sub>	<i>R</i> <sub>2</sub>	<i>C</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>2</sub>
	Type C ( <i>L</i> <sub>C</sub> )	Type E ( <i>L</i> <sub>E</sub> )							
180	180	225	112	45	500	50	25	50	28
200	200	250	125	50	560	56	28	56	32
225	225	280	140	56	630	63	32	63	36
250	250	315	160	63	710	71	36	71	40
280	280	360	180	71	800	80	40	80	45
315	315	400	200	80	900	90	45	90	50
360	360	450	225	90	1 000	100	50	100	56
400	400	500	250	100	1 120	112	56	112	63
450	450	560	280	112	1 250	125	63	125	71
500	500	630	315	125	1 400	140	71	140	80
560	560	700	360	140	1 600	160	80	160	90
630	630	800	400	160	1 800	180	90	180	100
710	710	900	450	178	2 000	200	100	200	112
800	800		500		2 250	225	112	225	125
900	900		560		2 550	255	128	255	144
1 000	1 000		630		2 850	285	143	285	160

NOTE For the warping end which has special requirements for length, dimensions *L*<sub>C</sub>, *L*<sub>E</sub> and *L*<sub>2</sub> may be determined by design engineers or in the contract.

Figur 26 - Spesifikasjoner fra ISO 6482 - 2017



PMH's 3 tonns kapstanhode må tilfredsstillere kravene fra ISO standarden og har blitt beregnet for å verifisere dette:

$$L \geq 7,5d$$

$$L = 245 \geq 7,5 * 30 = 225$$

$$L \geq 225$$

$$D = 240 \geq 6 * 30 = 180$$

$$D \geq 180$$

Det er viktig at løsningen prosjektgruppen kommer frem til tilfredsstillere nevnte krav.

Fra punkt 7 i ISO 6482 – 2017 blir overflateruheten beskrevet som følger:

«Overflateruheten til kapstanhodet skal bestemmes etter design som følge av karakteristikken til tauet og materialet kapstanhodet er laget av, eller definert i kontrakten.»

## 4.2 Patenter

Undersøkelsen av patenter var viktig for å samle data om hva som er patentert og ikke, samtidig som patentene ble brukt til å hente inspirasjon. Et patent er et dokument som beskytter en konkret løsning på et teknisk problem, og har en maksimal varighet på 20 år. Patentet gir enerett til å nekte konkurrenter å bruke samme løsning så lenge patentet er gyldig (Altinn, 2021). Patentet må være offentlig tilgjengelig.

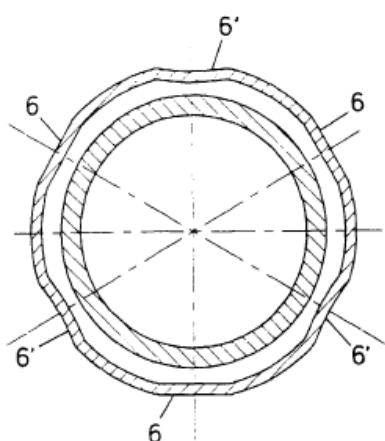
Prosjektgruppen benyttet [Google Patents](#) til å finne patenter, og fant tre patenter av interesse. Det ble undersøkt om patentene var gyldig. Prosjektgruppen benyttet spesifikasjonene og informasjon beskrevet i patentene, til å danne et grunnlag for noen av konseptene. Patent-systemet er komplekst, og prosjektgruppen utelukker ikke at det finnes andre patenter som omhandler dette prosjektet. I de neste avsnittene beskrives relevant informasjon hentet fra de tre aktuelle patentene.

#### 4.2.1 Winch EP 0 637 565 B1

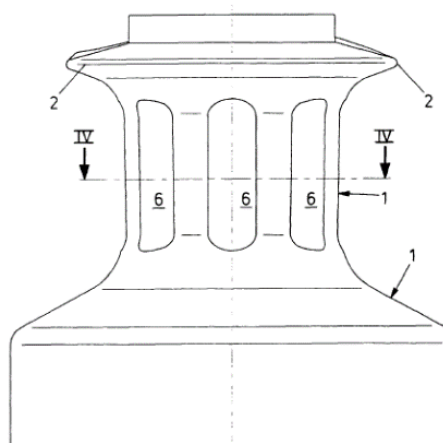
[Patent EP0637565B1](#) er innvilget 31.01.2001 og utgått 04.07.2014. Patentet tar for seg et kapstanhode med polert overflate og riller på midtre del. Material er ukjent. Det er to forskjellige konfigurasjoner på utforming av fordypningene der 6 er flat og 6' er konkav, se Figur 27.

Hovedpunkter av interesse:

- Antall riller er 6, 8 eller 10.
- Konkave riller (6') gir betraktelig økt friksjon sammenlignet med en sylindrisk overflate (original utforming) eller flate riller (6).
- Når antallet riller er like har konkave riller 50% høyere trekraft enn flate riller.
- Rillene er bare skåret ut på midtre del.



Figur 27 - Tverrsnitt av kapstan



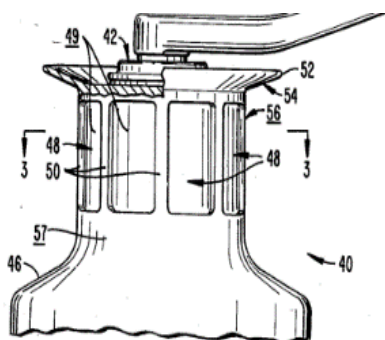
Figur 28 - Kapstan med riller

#### 4.2.2 Positive Grip Winch US 4 688 765

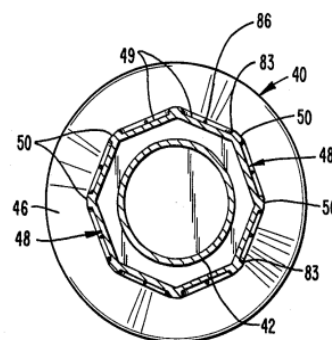
[Patent US4688765](#) er innvilget 08.25.1987 og utgått 10.31.2004. Patentet tar for seg en forbedring av gripeeffekten til tau viklet rundt en polert sylindrisk overflate. Denne refereres til som et kapstanhode med ribber på midtre del.

Hovedpunkter av interesse:

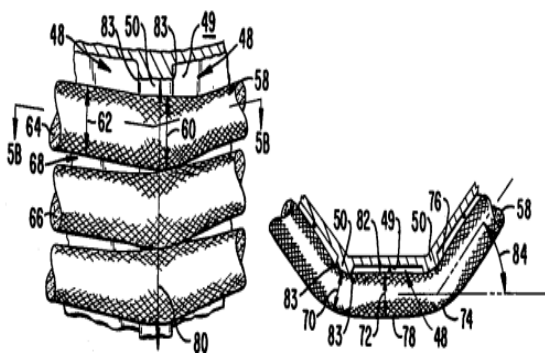
- Ribbet overflate fører til deformasjon av tauet og hindrer bevegelse i lengderetning.
- Ca. 8 ribber på en gjennomsnittlig stor vinsj
- Bredden på fordypninga (48) bør minst være 3 ganger så bred som bredden til ribben (50). Fører til at tauet får en vinkel på 45 grader bøyning (84). Foretrekker en bøyevinkel på minimum 30 grader.
- Fordypningene (48) kan være rektangulære og den midtre sylindere er formet som en polygon, se Figur 30. Andre former er også mulige å bruke, f.eks. sylindrisk.
- Ribben (50) bør være avrundet for at kreftene skal fordeles jevnt.
- Med større diameter på tau vil deformasjonen til tauet over en ribb bli mindre, og dermed vil bøyevinkelen bli mindre. Krever da større diameter på kapstanhodet og flere ribber.



Figur 29 - Kapstanhode med ribber



Figur 30 - Tverrsnitt av ribbet kapstanhode



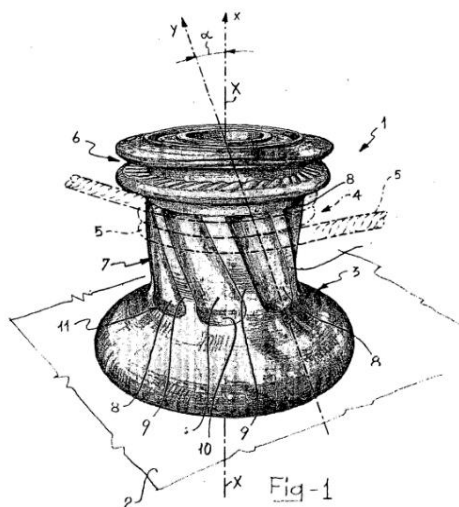
Figur 31 - Tau som bøyes over en ribb

#### 4.2.3 Winch for sailing boats EP 1 852 386 B1

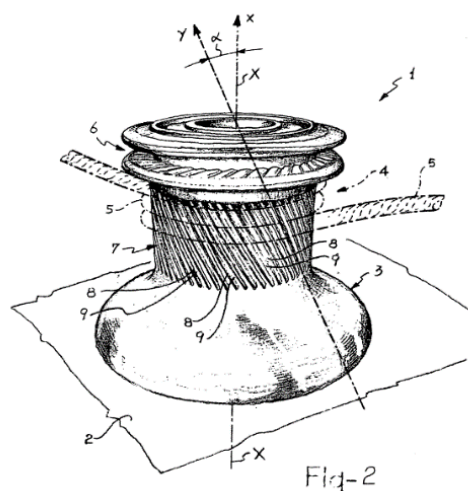
[Patent EP1852386B1](#) er innvilget 04.02.2008 og er gyldig til 05.05.2026. Patentet omhandler seilbåtvinser med skråstilte riller. Denne patentet er eid av «Harken Italy» og brukes aktivt i produksjonen av Harken seilbåtvinser, og blir beskrevet i avsnitt 4.4.2.

Hovedpunkter av interesse:

- Designet har som funksjon å redusere glidningen av tauet i vertikal retning når tauet fires ut, da dette svekker håndteringsevnen av tauet.
- Vinkelen ( $\alpha$ ) til de skråstilte rillene (8) skal være mer enn 0 grader, men ikke større enn 60 grader.
- Den gunstigste vinkelen ( $\alpha$ ) er 35 grader.
- Foretrukket materiale er oksidert aluminium eller krombelagt bronse.
- Antall riller avgjøres av hvilket materiale som blir brukt. For oksidert aluminium er det foretrukket med 4-20 riller når diameteren er på 80-150mm. For krombelagt bronse er det foretrukket med 30-150 riller for diametere på 80-150mm.



Figur 32 - Kapstan i oksidert aluminium



Figur 33 - Kapstan i krombelagt bronse

## 4.3 Litteratur

### 4.3.1 Technical Paper

Rapporten [The University of Strathclyde in Glasgow](#) omhandler testing av overflatefinish på seilbåtvinsjer. Denne rapporten tester ut tre forskjellige konsepter: serratert overflate, vertikale riller og horisontale riller. Antallet vertikale og horisontale rillene på kapstanhodene er ikke angitt.

Hovedpunkter av interesse:

- Serratert overflate og vertikale riller ga stor slitasje på tau.
- Serratert overflate og vertikale riller ga kapasitetsøkning.
- Testing av en kapstanhode med flere tårns gjorde at operatøren ikke klarte å få tauet til å gli for testene med serratert overflate og vertikale riller.



*Figur 34 - Vinsjdesignene gjort i rapport*

## 4.4 Marked

I markedsundersøkelsen ble det oppdaget at de fleste oppdrettskapstanhodene kun har en blank overflate med tradisjonell utforming. Seilbåtindustrien derimot har videreutviklet kapstanhodet i større grad, og det er derfor aktuelt for prosjektgruppen å undersøke kapstaner i dette markedet i tillegg til oppdrettsindustrien.

På seilbåter benyttes ofte tau som er elastisk, og har mange parter. Vanlig antall parter i oppdrett er tre, mens på seilbåter er det typisk 12 parter i kjernen, og 24 parter i den ytterste laget. Dette vil gi tauet andre egenskaper, noe som man må ta hensyn til hvis man henter inspirasjon fra kapstaner som benyttes på seilbåter.

### 4.4.1 Vinsjer i fiskeoppdrett og offshore

Markedet for kapstaner er ikke rettet mot privatpersoner, noe som gjør det vanskelig å finne informasjon om tiltakene som er gjort. Overflaten til kapstanhodet fra Trelleborg er beskrevet som utbedret, men det er vanskelig å finne dokumentasjon som støtter opp påstanden. Den er utformet med ribber og en tauføring for bedret linehåndtering (Trelleborg, 2020).



Figur 35 - Trelleborg kapstan



Figur 36 - Adria Winch kapstanhode

Adria Winch kapstanhode har en overflate med skråstilte riller. Det antas at endringene i overflaten er gjort med hensikt i å forbedre linehåndtering og/eller øke kapasiteten. Påstanden om økt kapasitet er ikke dokumentert, det er dermed vanskelig å konstatere at disse tiltakene fungerer

Kapstanhoder benyttet i oppdretts-sammenheng er ofte høye (se Figur 14) for å få nok plass til nok antall tårn med tau/trosse til å unngå at tau/trossen sklir. Ved å øke kapasiteten muliggjør det å benytte færre tårn, og dermed unngå kapstanhoder med ekstra høyde.

PMH har tidligere hatt støpte kapstanhoder med ribber i sortimentet, uten at det er gjort tester for å finne ut om disse øker kapasiteten.



*Figur 37 - PMH's ribbet kapstan*

#### 4.4.2 Seilbåtvinsjer

I seilbåtbransjen er det svært vanlig å se tiltak på kapstanhodene for å øke kapasiteten.

De vanligste tiltakene er:

- Ribber
- Riller
- Ru overflate
- Serratering

Seilbåtvinsjene har mange av samme kravene som kapstanene for oppdrettsindustrien. I situasjoner som konkurranser er de være villig til å akseptere økt tauslitasje hvis dette fører til redusert vekt, størrelse og antall tørn. Prosjektet tar ikke for seg disse tilfellene og vil bruke løsningene for seilbåtvinsjer som inspirasjon. Gruppemedlemmene vil gjøre vurderinger underveis på hvilke idéer som kan være aktuelle for den endelige løsningen.

Det finnes selskaper som leverer kapstaner til fritidsbruk for seilbåter og motorbåter. De påstår å ha økt kapasitet sammenlignet med et «standard» kapstanhode, uten økt tauslitasje. Et standard kapstanhode har en polert slett overflate slik som PMH's nåværende 3 tonns kapstanhode. Videre beskrives to forskjellige seilbåtvinsjer med påstått økt kapasitet.



## Andersen

Kapstanhodene produsert av Andersen, har vertikale ribber, omtalt som «Power Rib™».

Kapstanhodet er produsert i syrefast stål, som har en glatt, polert overflate. Den glatte overflaten gjør at tauet påføres minimalt med slitasje (Andersen, 2017). Produsenten påstår i produktbeskrivelsen at «Power Rib™» gjør at man trenger færre omslutninger enn ved bruk av et «standard» kapstanhode. Ribbene vil ikke slites ned, noe som gjør at kapasitetsøkningen ikke vil minke over tid i motsetning til konkurrentenes sandpapir-lignende løsninger.

Antall ribber i Tabell 2 er fra bilder prosjektgruppen har studert, og vil derfor kunne inneholde feil. Høyden og bredden på ribbene er ukjent.



Figur 38 - Andersen kapstan

Tabell 2 - Tekniske spesifikasjoner på noen kapstanhoder levert av Andersen

	ST40	72ST	78ST	110ST
Antall ribber	6	10	10	14
Diameter trommel	75mm	140mm	170mm	250mm
Omkrets trommel	235,6mm	440mm	534mm	785,4mm
Distanse mellom ribber	39,2mm	44mm	53,4mm	56,1mm
Tau-diameter	8-14mm	10-18mm	16-22mm	16-25mm
Maks trekkraft	800kg	2000kg	3000Kg	4500Kg

## Harken

Harken har flere ulike kapstaner med økt kapasitet, der ulike aspekter står i fokus (Harken, 2022).

«Performa» er harkens kapstaner med høy kapasitet. Denne typen benyttes når vekt, trekkraft og pris er viktigere enn taustitasje. Overflaten har skråstilte riller og er sandblåst (Harken, 2022).

Harken «Grand prix winches» er tiltenkt konkurransebruk. Disse er lagd i karbonfiber, og har en sandpapirlignende overflate (Harken, 2022).

Harken «Radial» er den mest universale kapstanen de produserer. Her står levetid, minimalt med taustitasje og pris i fokus. Dette kapstanhodet har patenterte vertikale riller, som ifølge produsenten øker kapasiteten og holder tauet på den plassen som gir mest kontroll for operatøren (Harken, 2022).



Figur 39 - (Harken, 2022)

«Harken Performa»



Figur 40 - (Harken, 2022)

“Harken Grand prix winches”



Figur 41 - (Harken, 2022)

«Harken Radial»

## 5 Aktuelle konsepter

### 5.1 Kriterier for aktuelle konsepter

Med utgangspunkt i kravspesifikasjonene og i samråde med PMH ble det utformet konsepter med mål om kapasitetsøkning. For å forenkle konseptutviklingsfasen ble kun de mest vesentlige produktkravspesifikasjonene tatt hensyn til. Dette bidrar til å gjøre det enklere å vurdere de ulike løsningene opp mot hverandre.

I prosessen for valg av konsepter er det opprettet et poengsystem som gjør det lettere å sammenligne konseptene. Poengsystemet går fra 1-6, der 1 er dårligst og 6 er best.

Evalueringen gir poeng etter hvor godt konseptene oppfyller de valgte produktkravspesifikasjonene. Ved usikkerhet i hvilken poengsum konseptet svarer til, har prosjektgruppen latt tvilen gå konseptet til gode, dette for å unngå unødig innskrenkning av løsningsrommet.

Kriterier som ansees som de viktigste produktkravspesifikasjonene:

- **Friksjon aksial:** Økning av friksjon i radiell retning, med minst mulig økning i aksial retning.
- **Slitasje trosse:** Hvor mye slitasje tauet blir påført under haling, som påvirker levetiden til tauet. Vanskelig å vurdere, tar utgangspunkt i nåværende 3t kapstanhode.
- **Pris:** Produksjonskostnad sammenlignet med dagens løsning Hvis jobben kan gjøres på PMH's verksted er dette positivt.
- **Estetik:** Ønskelig at sluttproduktet er estetisk pent, uten at dette går utover funksjon.

Prosjektgruppen valgte å ikke vurdere kravene kapasitetsøkning, allsidighet og levetid da disse er vanskelig å vurdere uten å gjøre omfattende testing.

### 5.1.1 Konsept 1 - Termisk sprøyting

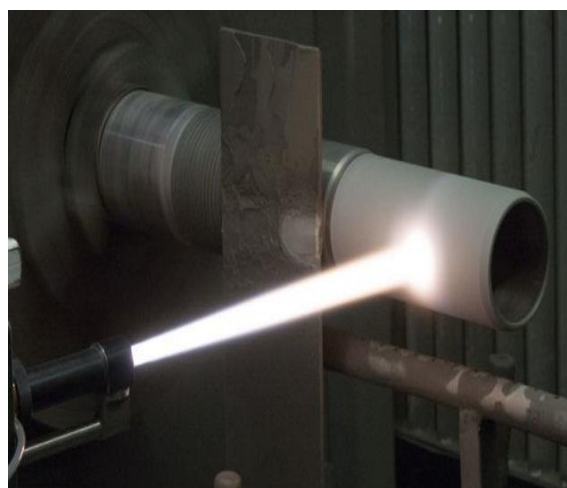
Denne prosessen er tenkt å brukes på midtpartiet av kapstanhodet slik at glidningen av tauet i vertikal retning skal bli uhindret i størst mulig grad.

Termisk sprøyting er en overflatebehandling der det påføres et belegg av metall eller keram, ofte i en kombinasjon. Påføringen av materialet skjer med sprøytepipstol der varme utvikles og smelter helt eller delvis tilleggs materialet som «skytes» på den ønskede overflaten i stor hastighet (Almar-Næss, 2018).

Det er en risiko for at termisk sprøyting gjør overflatestrukturen for grov, noe som kan gjøre at slitasjen på trossen øker drastisk. Det vil også kunne bli et problem at ruheten i overflaten blir pakket med biomateriale fra grodde trosser og/eller taurester. Dette vil mest sannsynlig føre til at den termisk sprøytet overflaten mister den friksjonsøkende effekten.



Figur 42 - Kapstanhode som er termisk sprøytet



Figur 43 - Eksempelbilde på termisk sprøyting

Tabell 3 - Vurderingskriterier Termisk sprøyting

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Karakter
Friksjon aksiell	Vil være lik økning aksiell og radiell	1
Slitasje trosse	Stor slitasje på trosse	1
Pris	Dyrere enn dagens løsning, og kan ikke gjøres på PMH's verksted	2
Estetikk	Noe grov/ru overflate	3

### 5.1.2 Konsept 2 - Serratering

Serratering kan utføres på eksisterende kapstanhode ved hjelp av serrateringsverktøy. Denne prosessen utføres i en dreiebenk og plastisk deformerer overflaten til emnet. Ved serratering vil overflateruheten øke betraktelig (Almar-Næss, 2019). Dette kan føre til at trossen blir utsatt for mye slitasje, samtidig som det vil være en risiko for at serrateringen fylles med biomateriale og/eller taurester og mister sin funksjon.

Den ru overflaten som oppstår ved serratering, er ikke å anse som pen i forhold til det originale kapstanhodet.

Dette konseptet kan utføres hos PMH's verksted. 6082 T6 som benyttes i nåværende kapstanhode har gode bearbeidingssegenskaper, og kan derfor serrateres uten noen andre endringer i produksjonen.



Figur 44 - Serratert kapstanhode



Figur 45 - 3D modell kapstanhode med serratering

Tabell 4 - Vurderingskriterier Serratering

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Karakter
Friksjon aksiell	Vil være lik økning aksiell og radiell	1
Slitasje trosse	Stor slitasje på trosse	1
Pris	Billig, ingen ekstra materialbruk, gjøres av PMH	5
Estetikk	Ru, grov overflate	2

### 5.1.3 Konsept 3 - Sandblåsing

[Sandblåsing](#) kan utføres på eksisterende kapstanhode og vil øke overflateruheten. Dette vil føre til at trossen kan bli utsatt for mye slitasje.

Det kan være aktuelt å sandblåse kun midtre del av kapstanhodet for å minimere glidning i vertikal retning.

Sandblåsing av aluminium gir normalt en ruhet på  $<10 \mu\text{m}$ . Det er dermed risiko for at ruheten i overflaten fylles med biologisk materiale og urenheter (Asachi & cel Mare, 2011). Det er nærliggende å tro at dette vil forekomme etter svært kort tid ved nedgrodde tau. Slitasje vil også føre til glatting av overflaten til kapstanhodet.

Dette konseptet kan ikke utføres hos PMH's verksted per dags dato. Det er usikkert hvilken ruhet det er mulig å oppnå ved sandblåsing av 6082T6 AL som benyttes til produksjon av original kapstanhode.



Figur 46 - Eksempelbilde av kapstan med sandblåsing

Tabell 5 - Vurderingskriterier Sandblåsing

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Karakter
<b>Friksjon aksjell</b>	Vil være lik økning aksjell og radiell	1
<b>Slitasje trosse</b>	Slitasje på trosse	3
<b>Pris</b>	Billig. PMH har ikke utstyret, men kan raskt utføres av ekstern tilbyder	4
<b>Estetikk</b>	Ru, grov overflate	2

#### 5.1.4 Konsept 4 - Gummi

Denne løsningen er basert på bruken av gummibelegg på [nothale-utstyr](#). Dette er utstyr som blir utsatt for mye slitasje, og er i tilsvarende miljø som kapstanen opererer i. Gummiblandinger som benyttes på slikt utstyr er resistent mot gasser, saltvann, ozon, UV-lys og mange kjemikalier (Rub Tech AS, 2022). Samtaler med Rub Tech AS, som har mye erfaring innen gummiering av nothalerutstyr, har konkludert med at gummiene ikke vil ha mer slitasje enn en tilsvarende ståloverflate.

Gummibelegg legges på et ferdig formet kapstanhode, og vil gi mye friksjon. Det kan hende at dimensjoner må endres for å kompensere for gummitykkelsen, for å fortsatt tilfredsstillende ISO 6482-2017. Det finnes leverandører som har utstyr til å gummiere på stedet uten demontering av utstyr, noe som gjør vedlikehold av belegget lite tidkrevende.



Figur 47 - Gummieret rulle. (Rub Tech AS)



Figur 48 - Kapstan med gummi

Tabell 6 - Vurderingskriterier Gummi

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Karakter
<b>Friksjon aksiell</b>	Vil mest sannsynlig være lik økning aksiell og radiell. Risiko for at tauet «ruller» opp kapstanhodet.	2
<b>Slitasje trosse</b>	Antatt liten/ingen ekstra slitasje på trosse.	4
<b>Pris</b>	PMH har ikke utstyret. Vil kreve ekstern tilbyder.	4
<b>Estetikk</b>	Svart, matt overflate	4

### 5.1.5 Konsept 5 - Vertikale Riller

Vertikale riller er et konsept som endrer kapstanhodets form uten å benytte et annet materiale. Konseptet antas å føre til en deformasjon på tauet som fører til at det «hefter» seg på kanten av de vertikale rillene. Det antas at kapasitetsøkning vil være knyttet til graden av deformasjon på tauet.

Ønskelig er at kapasitetsøkningen oppnås med myke overganger, slik at slitasjen på tauet blir minimal. Konseptet tar for seg riller i vertikal retning for å forsikre god radiell friksjon og minimere aksiell friksjon.

Produksjonsmetode vil være avgjørende for estetikken og prisen. Dette konseptet kan være aktuelt å [frese](#) ut hos PMH, eller å støpe hos en samarbeidspartner. Maskineringstiden vil gå opp, noe som vil øke produksjonskostnaden. Støpning er vanskelig å estimere pris på sammenlignet med originalt kapstanhode, da strøm og stålpriser er svært fluktuerende



Figur 49 - Eksempel på riller (KEOGH'S MARINE & RV, 2022)



Figur 50 - 3D modell av konsept med riller

Tabell 7 - Vurderingskriterier Vertikale Riller

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Karakter
<b>Friksjon aksiell</b>	Vil ha liten/ingen friksjonsøkning aksiell retning	6
<b>Slitasje trosse</b>	Antatt minimal slitasje på trosse.	6
<b>Pris</b>	<b>Frest:</b> Kan utføres hos PMH, men krever lengre maskineringstid enn nåværende kapstanhode, <b>Støpt:</b> Ukjent leveringstid og kostnad	3
<b>Estetikk</b>	<b>Frest:</b> Blank og slett overflate <b>Støpt:</b> Avhengig av kvalitet, imperfeksjoner er sannsynlig	5



### 5.1.6 Konsept 6 – Vertikale Ribber

Vertikale ribber er et konsept der kapstanhodet får utstikkende konturer. Ribbene kan bidra til en kapasitetsøkning ved at tauet «hefter» seg på kanten av ribben uten at det øker friksjon i vertikal retning. Slitasjen på trossen vil være liten om ribbene har lignende utforming som Andersen vinsjen fra avsnitt 4.4.2. Reduksjonen forårsakes ved at ribbene blir avrundet med myke overganger og ingen økning i overflateruhet.

Ribbenes bredde, høyde og antall kan antageligvis optimaliseres slik at man oppnår ønsket kapasitetsøkning med minimal tauslitasje.



Figur 51 - PMH's ribbet kapstanhode



Figur 52 - 3D modell av konsept med ribber

Tabell 8 - Vurderingskriterier Vertikale Ribber

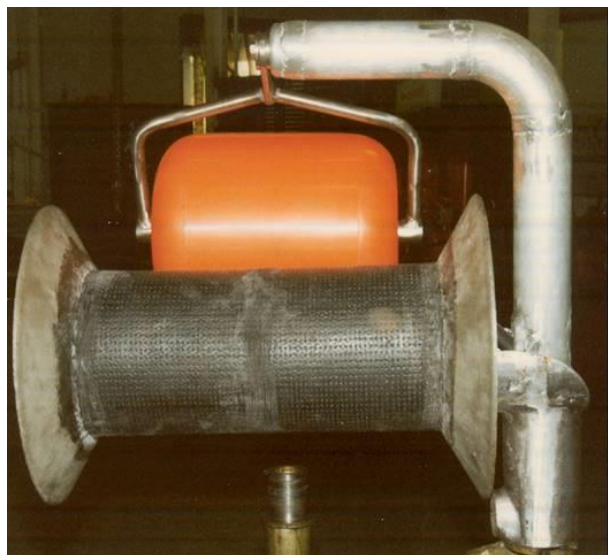
Vurderingskriterier	Begrunnelse	Karakter
<b>Friksjon aksial</b>	Vil ha liten/ingen friksjonsøkning aksial retning	6
<b>Slitasje trosse</b>	Antatt minimal slitasje på trosse.	6
<b>Pris</b>	<b>Frest:</b> Kan utføres hos PMH, men krever lengre maskinerings tid enn nåværende kapstanhode, <b>Støpt:</b> Ukjent leveringstid og kostnad	3
<b>Estetikk</b>	<b>Frest:</b> Blank og slett overflate <b>Støpt:</b> Avhengig av kvalitet, imperfeksjoner er sannsynlig	5

### 5.1.7 Konsept 7 – «Pressure roller»

Slike ruller blir i hovedsak benyttet til å forbedre spoling av trosser på vinsjer. Trykket fra rullen vil bidra til å øke normalkraften, og dermed øke friksjonen mellom trossen og kapstanhode.

Etter diskusjon med PMH er dette konseptet uønsket å gå videre med av følgende grunner:

- Kostnad og stor økning i antall komponenter
- Økt klemfare
- Upraktisk når man skal legge på tau/trossen



Figur 53 - Eksempelbilde på konsept

Tabell 9 - Vurderingskriterier Pressure Roller

Vurderingskriterier	Begrunnelse	Karakter
<b>Friksjon aksiell</b>	Vil mest sannsynlig være noe økning i aksiell friksjon.	2
<b>Slitasje trosse</b>	Antatt liten slitasje.	6
<b>Pris</b>	Kostnad knyttet til økning i antall komponenter.	2
<b>Estetikk</b>	Ser ikke pent ut.	1

## 5.2 Valg av endelig konsept

Den totale poengscoren fra hvert konsept ble satt inn i en tabell for å enkelt kunne se hvilke konsepter som kom best ut.

*Tabell 10 - Poengscore for alle konsepter*

Konsept	Poeng
K1 - Termisk sprøyting	7
K2 - Serratering	9
K3 - Sandblåsing	10
K4 - Gummi	14
K5 - Vertikale riller	20
K6 - Vertikale ribber	20
K7 - «Pressure roller»	11

I tabellen over ser man at «Vertikale ribber» og «Vertikale riller» som scorer høyest. Prosjektgruppen valgte dermed å videreutvikle disse.

Gummiering fikk en høy poengsum, men grunnet begrenset tid og begrenset med tilbydere av gummiering i nærområdet ble det besluttet og ikke gå videre med dette konseptet.

## 6 Design av valgte konsept

I dette kapitlet blir spesifikasjonene til vertikale ribber og vertikale riller spisset, og blir begrunnet med utgangspunkt i Kapittel 4. Denne litteraturen fungerte som inspirasjon for design av konsepter med ønskede egenskaper med utgangspunkt i produktkravspesifikasjonene.

Den største utfordringen prosjektgruppen støtte på under utformingen av kapstanhodet med vertikale ribber og vertikale riller var å finne antallet, høyde og bredde. Disse målene er ikke nevnt i litteraturen. Konseptene må ha rillene/ribbene symmetrisk fordelt rundt rotasjonsaksen, for å skape jevn kraftoverføring.

Standarden nevner ikke hvordan ribber eller riller skal håndteres, og det er derfor usikkert i hvilken grad standarden er gyldig for konseptenes endringer. Om det tas utgangspunkt i den nye diameteren rillene skaper vil utregningen i henhold til standarden bli:

Minste diameter som oppfyller standarden:

$$D \geq 6d \quad 6.1$$

$$D \geq 6 * 30mm \quad 6.2$$

$$D \geq 180mm \quad 6.3$$

$$(240mm - 180mm) = 60mm \quad 6.4$$

$$\frac{60mm}{2} = 30mm \quad 6.5$$

Den nye diameteren må derfor være over Ø180mm. Originalt kapstan er Ø240mm . Det vil si at rillene maksimum kan være 30mm dype, som sett i likning 6.5.

Den nye diameteren for et kapstan med ribber vil bli større enn opprinnelig diameter. Det vil derfor ikke være noen problemer knyttet til kravene satt i standarden.

## 6.1 Vertikale ribber

I utviklingen av ribber har patent US4688765 og markedet har blitt brukt som inspirasjon. Ribber utnytter deformasjonen tauet får over en kant slik at tauet «heker» seg. Formen og antall ribber er avgjørende for å oppfylle produktkravspesifikasjonene i best mulig grad.

Fra patentet US4688765 har gruppen hentet ut anbefalingene om at forholdet mellom bredden til ribben og avstanden mellom hver ribb bør være 1 til 3. Dette forholdet har som hensikt å skape en bøyevinkel på minimum 30 og optimalt 45 grader. Patentet anbefaler også at antall ribber bør være på ca. 8 stykk plassert symmetrisk rundt rotasjonsaksen.

Overflaten til materialet vil ha en lav friksjonskoeffisient for å hindre unødvendig slitasje på tauet. Ved å benytte samme material som kapstanhodet til ribbene, vil dette føre til at tauet ikke glipper på ribbene. Glipper tauet på ribbene kan dette føre til store taubevegelser på kort tid, noe som er uønsket.

Løsningene prosjektgruppen har studert har som regel 6, 8 eller 10 ribber, og har vist seg å være gjeldende for de fleste produsenter. Dette gir prosjektgruppen grunn til å tro at et antall i nærheten av dette er et gunstig antall ribber.

Denne løsningen vil bevare muligheten tauet har til å gli i vertikal retning samtidig som skamfiling unngås.

## 6.2 Vertikale riller

I utviklingen av vertikale riller har patentene EP0637565B1 og EP1852386B1 blitt brukt som inspirasjon. Konseptet med vertikale riller baserer seg på samme prinsipp som vertikale ribber, der tauet deformeres over en kant og «heker» seg på kanten.

Prosjektgruppen tar utgangspunkt i patentenes utforming av rillene, der de følger den eksisterende formen til kapstanhodet. Antallet bør være enten 6, 8 eller 10. Det er sagt at disse skal kun være skåret ut på midtre del av kapstanhodet uten videre forklaring. De nevnte patentene har riller og ribber kun på midtre del, observasjonen diskuteres i avsnitt 9.2.3.

Patent EP1852386B1 omhandler design av skråstilte riller, og effekten av dem. Harken Italy er eier av dette patentet, og er aktiv produsent av seilbåtvinsjer med skråstilte riller. Seilbåtvinsjer har kun mulighet til å hale inn tau en bestemt retning, noe som kan gjøre vinklingen til de skråstilte rillene rotasjonsbestemt. Rillene har som hensikt å hindre at tauet sklir i aksiell

retning ved utfiring av store mengder i høy hastighet, samtidig som det øker kapasiteten. De skråstilte rillene gjør dermed vinsjen retningsbestemt, noe som er uønsket i prosjektets situasjon.

Denne patentet angir at antall riller bør være 4 til 20 for oksidert aluminium når kapstanhodet har en diameter på Ø80-Ø150mm, og 30-150 riller for krombelagt bronse med diameter Ø80-Ø150mm. Patentet påstår at for et kapstan i oksidert aluminium med diameter Ø90mm er det foretrukket med 8 stk. riller.

Rapporten i avsnitt 4.3.1 viser at svært mange vertikale riller med skarpe kanter ikke er ønskelig da dette gir stor tauslitasje.

### 6.3 Oppsummering

Ifølge innhentet informasjon bør utformingen av et kapstanhode med ribber:

- Ha 6, 8 eller 10 stk.
- Ha 3 til 1 forhold for avstand mellom ribbene og bredden til en ribb
- Bøyevinkelen til tauet over en ribb være minimum 30 grader.
- Myke overganger
- Vertikale ribber uten vinkling

Ifølge innhentet informasjon bør utformingen av et kapstanhode med riller bør:

- Ha 6, 8 eller 10 stk.
- Vertikale riller uten vinkling
- Konkave riller
- Myke overganger

## 7 Verifisering konsept

I utviklingen av konseptene valgte prosjektgruppen å gjennomføre fysisk testing i småskala med 3D-printede modeller. Testingen hadde som mål å se hvordan ulike formendringer påvirket friksjonen og det ble dermed lagd en forenklet modulbasert testtrigg. Dette gjorde at tiden brukt på 3D-printing og testing av ulike konsept ble kuttet betraktelig, sammenlignet med testing av fullskala kapstanhode i metall.

Riggen ble modellert og konvertert til STL-fil ved bruk av SolidWorks. 3D-modellen ble ekstrudert i PLA ved bruk av en [Prusa MK3](#). «Innsatsen» og testtriggen er av samme materiale, noe som gjør at en eventuell friksjonsøkning vil oppstå på grunn av formendring og ikke endring i overflateruhet.

**PLA – Polymelkesyre**

Bioplast med smeltepunkt på 160-200°

Dette gjør at prosjektgruppen antar at forsøket er overførbart fra PLA til andre materialer. Radiusen til testtriggen har ikke innvirkning på Eytelwein's ligning, og prosjektgruppen antar derfor at resultatene fra testtriggen vil være overførbart til fullskala. Som tidligere nevnt representerer Eytelwein's likning materialer med polymaterialegenskaper dårlig, noe som skaper usikkerhet om testresultatene vil være direkte overførbare til fullskala.

Det ble benyttet en testtrigg i småskala på grunn av følgende:

- Testing kunne raskt utføres
- Raskt å lage nye innsatser
- Lav kostnad
- Liten terskel for testing av «uortodokse» løsninger

## 7.1 Testrigg 1

Den første testriggen er PMH's 3T kapstanhode skalert ned til 30% uten noen større modifikasjoner. Kraftene som oppstod ble store og gjorde det vanskelig å få tauet til å glippe med flere tårn. Dette gjorde at riggen ikke kunne teste hvordan flere tårns påvirket kapasiteten.

Testrigg 1 ble forkastet grunnet lang printetid, og begrenset tilgang til 3D-printere, og problemet med å få printene til å tåle belastningen.

Gruppen valgte dermed å videreutvikle testriggen for å unngå disse problemene.



*Figur 54 - Testrigg 1, Bilde 1*

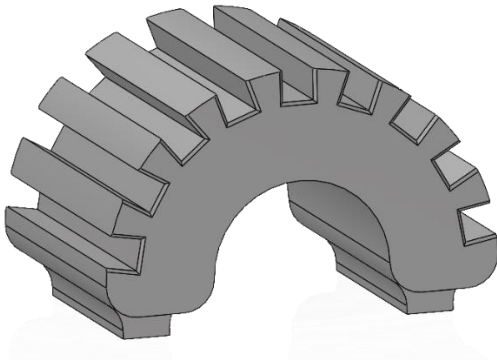


*Figur 55 - Testrigg 1, Bilde 2*

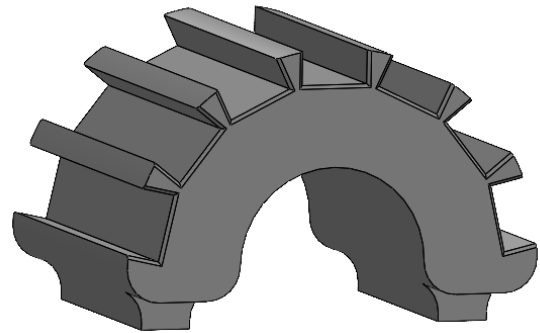


## 7.2 Testrigg 2

Testrigg 2 ble modellert i SolidWorks med utgangspunkt i minste radius ( $\text{Ø}240$ ) av PMH's 3T kapstanhode. Modellen ble 3D-printet i PLA i 50% skala med en kontaktoverflate på  $\pi$  radianer ( $180^\circ$ ). Riggen ble laget i to versjoner, en med 9 spor og en med 7 spor. Disse er plassert symmetrisk rundt rotasjonsaksen og gjorde det mulig å teste ut flere forskjellige konfigurasjoner.



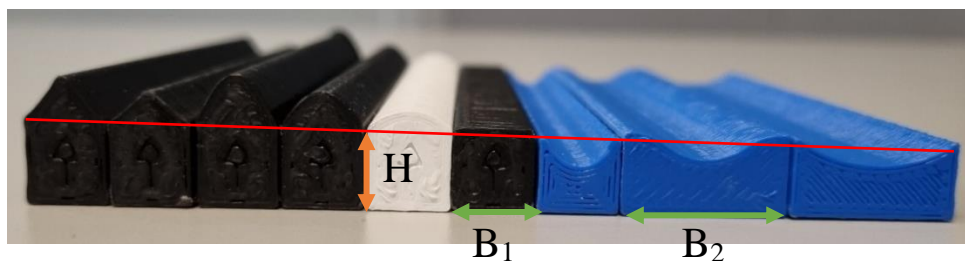
Figur 56 - 9 spor testrigg, bredde spor = 20mm



Figur 57 - 7 spor testrigg, bredde spor = 40mm

Tauet som beveger seg vil være ha en bøyestivhet, noe som Amonton's-friksjon teori ikke tar hensyn til. Testriggen tar heller ikke hensyn til kontakten som oppstår mellom tauene ved flere tårn. Riggen hadde ikke en inndeling som gjorde det mulig å teste konfigurasjonene med 8 og 10 ribber. For å ha fått testet disse konfigurasjonene måtte det ha blitt printet to rigger til, noe prosjektgruppen ikke fikk tid til grunnet problemene knyttet til 3D-printingen.

For testrigg 2 ble det laget 8 forskjellige innsatser til testing. Hver innsats er presentert under med tilhørende spesifikasjoner.



Figur 58 - Høyde og bredde på designene,  $B_1 = 20\text{mm}$ ,  $B_2 = 40\text{mm}$ ,  $H = 20\text{mm}$

## 7.2.1 Feilkilder

Tabell 11 - Feilkilder Testrigg 2

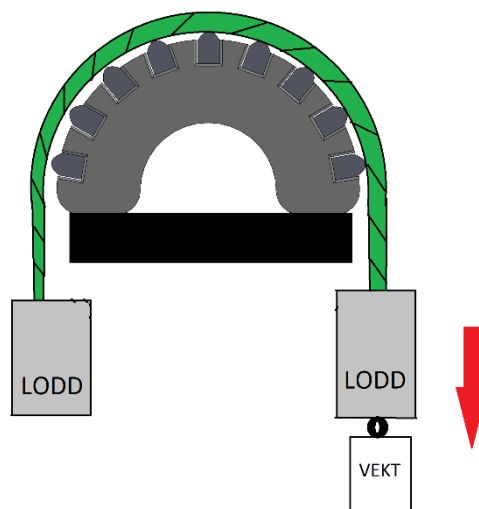
Feilkilde	Beskrivelse	Tiltak
Tautype	Tautypen som ble benyttet under testing er produsert i polypropylen (PP), og ikke en blanding av polypropylen (PP) og polyeten (PE) som er vanlig i oppdrettsnøringen. Polypropylen (PP) tåler ikke gnaging, og er noe mindre glatt enn polyeten (PE).	Ingen, klarte ikke å oppdrive riktig tautype i liten mengde.
Overflate	Under printing av innsatsene til riggen oppsto uregelmessigheter på overflaten til noen av innsatsene.	Disse uregelmessighetene ble slipt bort, men noe forskjell i friksjon vil være sannsynlig.
Tau	Tauet blir mest sannsynlig mykere og slitt/skadet etter hvert som tester utføres flere ganger.	Det ble skaffet en rikelig mengde tau for å kunne belaste tauet på ulike plasser.
Avlesningsfeil	Vanskelig å lese av høyeste avlesning.	Benytte «MAX» funksjon på vekt.
Belastning	Lav belastning av riggen i forhold til skala.	Benytte så mye lodd som mulig uten å ødelegge riggen.
50% skala, tau og «kapstanhode»	At resultatet ikke er representativt for fullskala	Ingen
Oppbygning testrigg	Testriggeren er ikke konkav, og har ikke mulighet for flere tørn	Ingen

### Hengevekt Dynafor LLX1 0,5

- Oppløsning på vekt. 0,2 kg.
- Måleusikkerhet dynamometer [dynafor LLX1](#) 0,5 tonn: 0,2% av maksimumvekt.
- Vekten hadde ingen kalibreringsbevis eller produksjonsdato påklistret. Det er derfor usikkert om kalibreringen fra fabrikken som er gyldig i 26 måneder fortsatt var gyldig.

## 7.2.2 Gjennomføring

Gjennomføringen av testingen ble utført ved at testriggeren ble plassert i ei skrustikke. Det ble festet lodd i hver ende av tauet, og vekten på den ene enden som vist i Figur 59. Når testingen skulle gjennomføres ble tauet lagt over testriggeren, mens et gruppe medlem dro i sjakkelen på undersiden av vekten.



Figur 59 - Illustrasjon oppsett testrigg

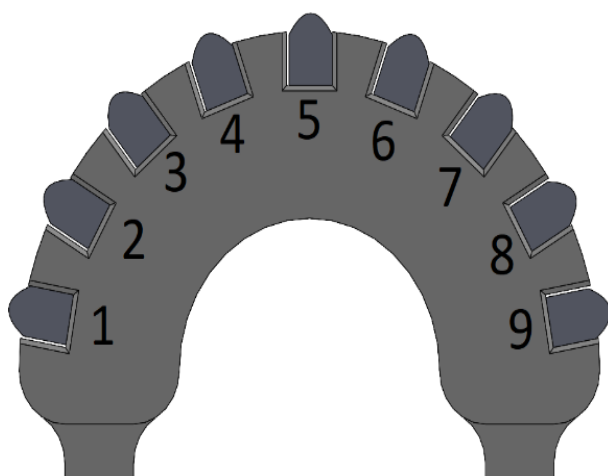
I gjennomføringen ble det gjennomført 8 testforsøk. Et testforsøk tar for seg én av de 8 forskjellige innsatsene i den rekkefølgen og konfigurasjonene presentert i Tabell 12 og Tabell 13. For hver konfigurasjon ble det gjennomført 3 tester slik at et gjennomsnitt var mulig å finne. Dette gjennomsnittet vil være mer representabelt resultat da målingene ikke vil være eksakt samme for hver test. Standardavviket er lagt inn i grafene.

Hvert testforsøk starter ved at første konfigurasjon tar for seg en kontrollmåling av den «blanke» strukturen. Dette er for å få et utgangspunkt og sammenligne de videre konfigurasjonene med. Ved å plassere ribbene i ulike konfigurasjoner kunne prosjektgruppen finne ut hvordan plasseringen påvirket nødvendig kraft som skal til å for å få tauet til å skli.

Mens et gruppe medlemmene dro i sjakkelen under vekten ble det benyttet en «MAX» funksjon for å avlese resultatet. Dataene ble så ført inn i Excel og plottet i grafer.

## 8 Resultater

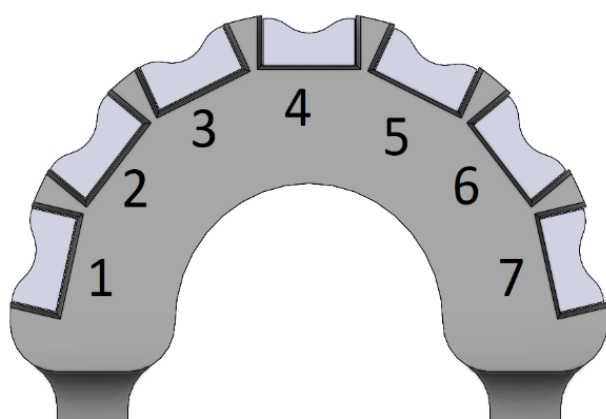
I denne delen vil gruppen presentere resultatene fra testingen av konseptene. Beregninger og grafisk fremføring er blitt gjort ved hjelp av Excel. Testresultatene er delt inn slik at avrundet ribber kommer først, så rillene og spisse ribber til slutt. For hver kategori er det en grafisk fremstilling av alle de forskjellige designene i samme grafikkfelt. Nedenfor vises de to riggene med nummerering, og tabell med tilhørende konfigurasjoner. Prosentberegningene bruker konfigurasjon 1 som utgangspunkt.



Figur 60 - 9 spor testrigg

Tabell 12 - Konfigurasjoner for 9 spor testrigg

Konfigurasjoner	Plassering av ribb	Antall
1	Ingen	0
2	5	1
3	4, 6	2
4	3, 7	2
5	2, 8	2
6	3, 5, 7	3
7	2, 5, 8	3
8	2, 4, 6, 8	4
9	1, 3, 5, 7, 9	5
10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	9



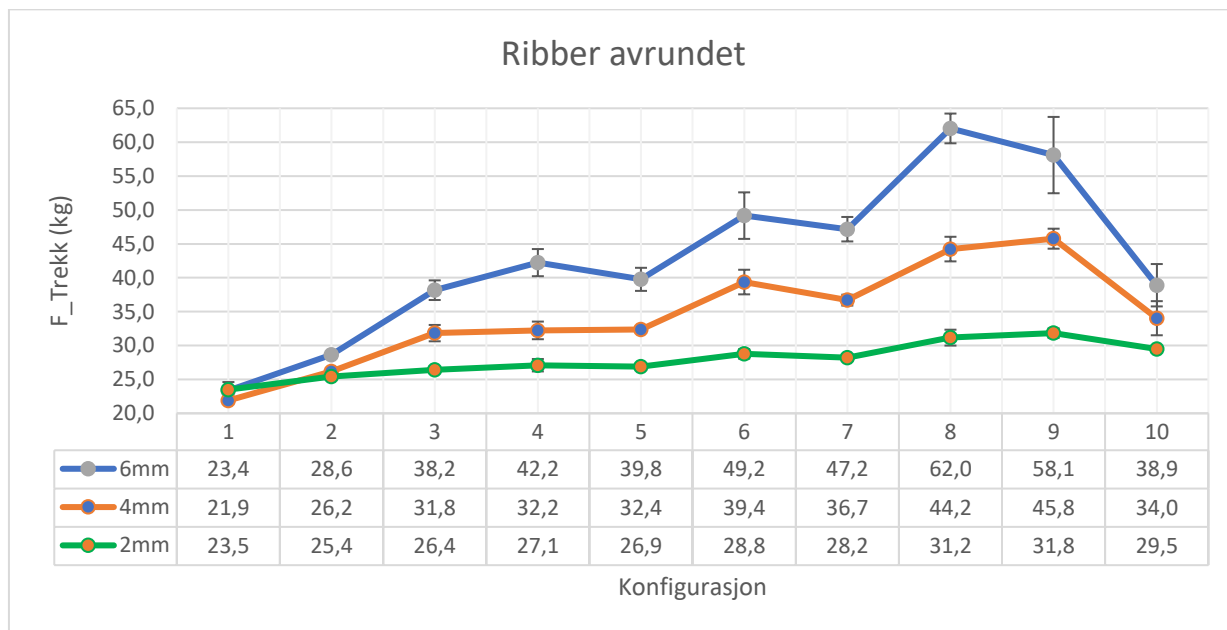
Figur 61 - 7 spor testrigg

Tabell 13 - Konfigurasjoner for 7 spor testrigg

Konfigurasjoner	Plassering av rille	Antall
1	Ingen	0
2	4	1
3	3, 5	2
4	2, 6	2
5	2, 4, 6	3
6	1, 4, 7	3
7	1, 3, 5, 7	4
8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	7

## 8.1 Ribber avrundet

Fra den grafiske fremstillingen under kan man se lik trend for de forskjellige innsatsene av ribber. Resultatene viser at med økende antall ribber øker trekraften, helt til konfigurasjon 10 der alle innsatsene er innsatt. Ut ifra grafene kan man se at for en kapasitetsøkning på 20% vil det være nødvendig med tre ribber på 2mm, to ribber på 4mm og en 6mm på testriggen.



Figur 62 - Resultater ribber avrundet

Tabell 14 - Prosentøkning Ribber avrundet

Konfigurasjon	Prosent økning		
	2mm	4mm	6mm
1	0%	0%	0%
2	8%	19%	23%
3	12%	45%	63%
4	15%	47%	81%
5	14%	48%	70%
6	22%	80%	110%
7	20%	68%	102%
8	33%	102%	165%
9	35%	109%	149%
10	26%	55%	66%

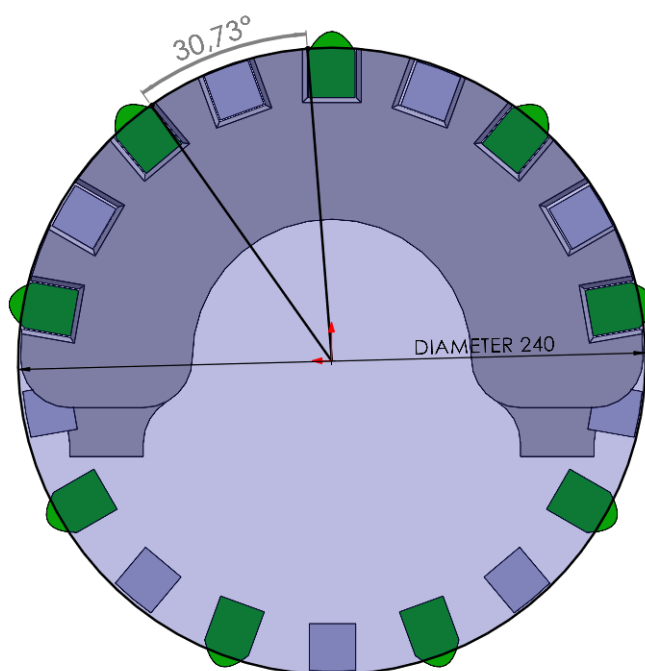
### 8.1.1 Konfigurasjon 3, 6, 8, 9

Disse konfigurasjonene har et ribb plassert i annenhver spor, og har gitt bedre resultater sammenlignet med andre konfigurasjoner med større opperom. Et opperom mellom hver ribb gir en avstand på 64,4 mm, gitt ved buelengden fra målene i Figur 63. Forholdet mellom bredden på ribben og avstand mellom ribbene blir da 3,2 til 1. Konfigurasjonene 3, 6, 8 og 9 har en distanse mellom ribbene som gir 9 ribber symmetrisk fordelt på 360°, illustrasjon i Figur 63. Prosentøkningen for de nevnte konfigurasjonene er:

Tabell 15 - Prosentøkning for konfigurasjon 3, 6, 8, 9

Konfigurasjon	2mm	4mm	6mm
3	12%	45%	63%
6	22%	80%	110%
8	33%	102%	165%
9	35%	109%	149%

Det er verdt å merke seg at en liten økning i høyden til ribben forårsaker en stor prosentøkning. Det er tydelig at det største hoppet i kapasitetsøkning er fra 2mm til 4mm. Største differansen fra 2mm til 6mm gjelder for konfigurasjon 8 og er 132%.



Figur 63 - Testrigg med ribber 360° ett opperom m/mål



*Figur 64 - Konfigurasjon 6 med 2mm ribb*



*Figur 65 - Konfigurasjon 9 med 4mm ribb*



*Figur 66 - Konfigurasjon 9 med 6mm ribb*

I Figur 65 vises et bilde av testing av konfigurasjon 9 med 4mm ribber. Tauet deformerer seg over en ribb og berører grunnstrukturen før det deformerer over en ny ribb. I Figur 66 vises bilde av testing av den samme konfigurasjonen, men med 6mm ribber. I dette tilfellet blir ikke tauet deformert nok til å berøre grunnstrukturen før det deformerer over en ny ribb. Figur 64 viser bilde av konfigurasjon 6 med 2mm ribber. Her blir deformasjonen til tauet stor nok til å kunne legge seg over en ribb og nesten berøre grunnstrukturen hele distansen til neste ribb.

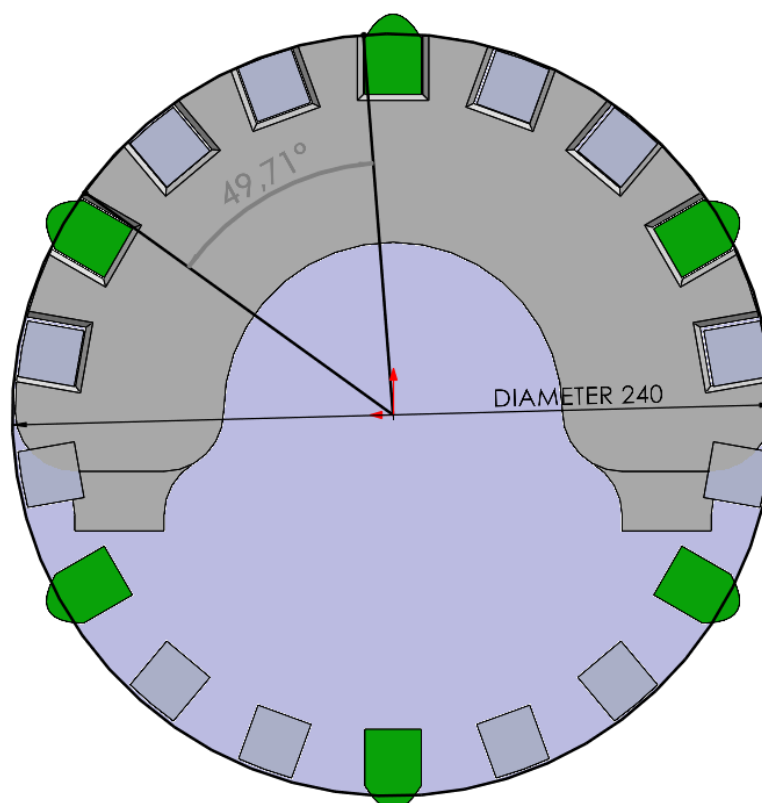
### 8.1.2 Konfigurasjon 7

Denne konfigurasjonen har 3 stk. ribber med to opperom imellom ribbene. Dette fører til en avstand mellom ribbene på 104,1 mm, og vil gi et forhold mellom bredde på ribben og avstanden mellom ribbene på 5,2 til 1. Figur 67 illustrerer at det totale antall ribber for en vinkel på 360° er 6 stk. Grafen til konfigurasjon 7 i Figur 62 viser at denne har lavere kapasitetsøkning enn konfigurasjon 6 med samme antall ribber. Forskjellen er at konfigurasjon 6 har ett opperom imellom ribbene mens konfigurasjon 7 har to opperom.

Tabell 16 - Prosentøkning for konfigurasjon 7

Konfigurasjon	2mm	4mm	6mm
7	20%	68%	102%

Også for denne konfigurasjonen blir prosentøkningen stor ved små endringer av høyden. I likhet med konfigurasjonene 3, 6, 8, og 9 er det største hoppet i kapasitetsøkning i overgangen fra 2mm til 4mm. Differansen fra 2mm til 6mm er på 82%.

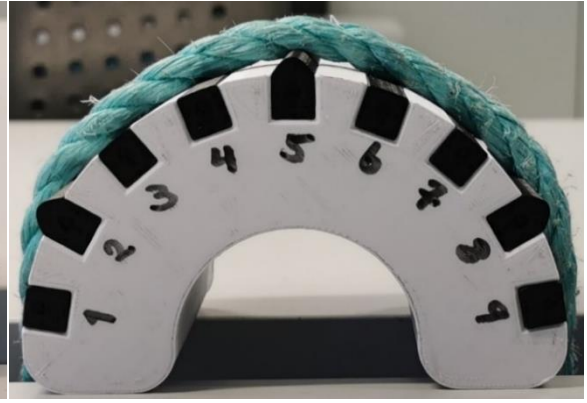


Figur 67 - Testrigg med ribber 360° to opperom m/mål

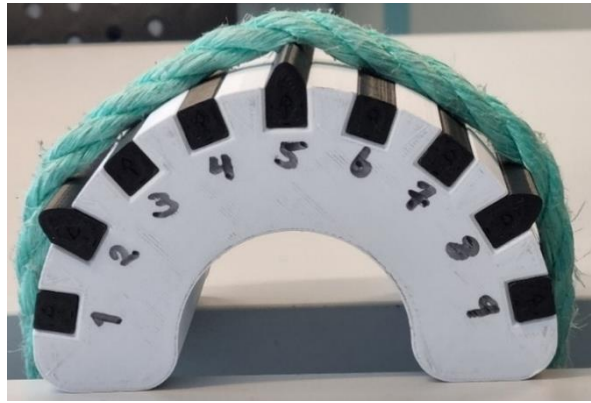




*Figur 68 - Konfigurasjon 7 med 2mm ribb*



*Figur 69 - Konfigurasjon 7 med 4mm ribb*



*Figur 70 - Konfigurasjon 7 med 6mm ribb*

Figurene over (Figur 68, Figur 69, Figur 70) viser at to opprom mellom ribbene fører til at tauet deformeres nok til å berøre grunnstrukturen før det går over en ny ribb for alle høydene.

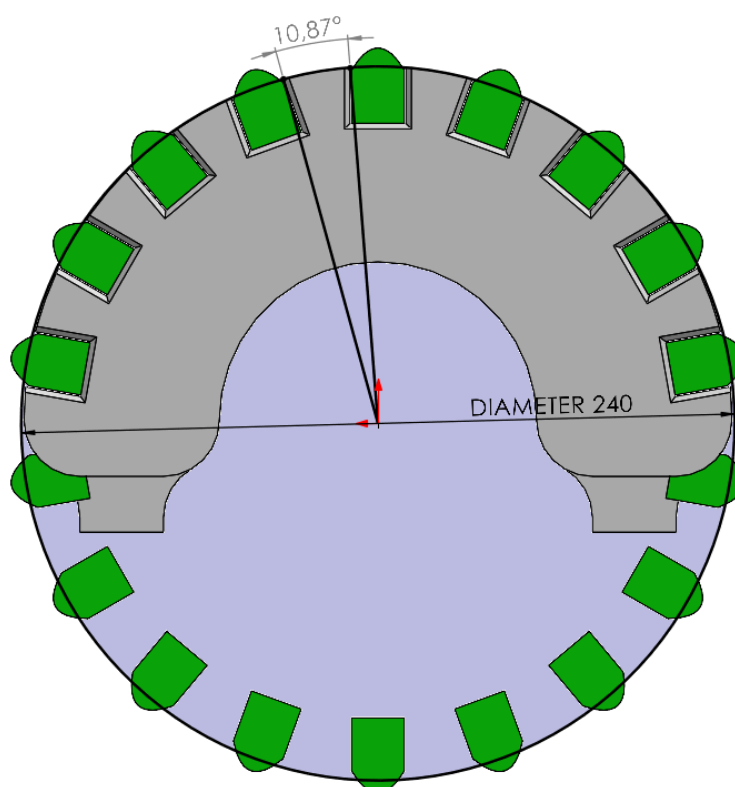
### 8.1.3 Konfigurasjon 10

Konfigurasjon 10 har 9 stykk ribber med en avstand imellom de på 22,8mm. Dette gir et forhold mellom bredde på ribben og avstanden mellom ribbene på 1,1 til 1. Figur 71 illustrerer det totale antall ribber for en vinkel på 360° er 18 ribber. Ut ifra Figur 62 kan man se at  $F_{\text{Trekk}}$  synker betraktelig fra konfigurasjon 9 til konfigurasjon 10.

Tabell 17 - Prosentøkning for konfigurasjon 10

Konfigurasjon	2mm	4mm	6mm
10	26%	55%	66%

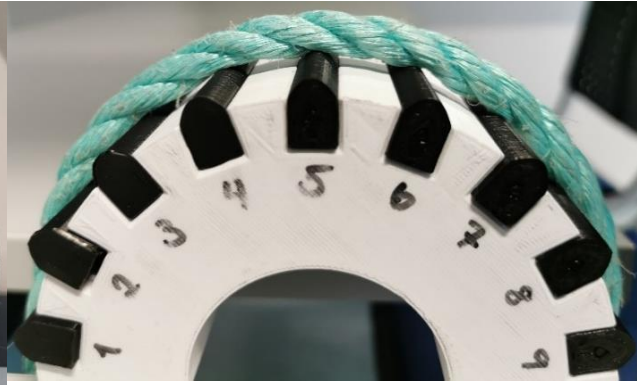
Differansen i prosentøkning for de tre høydene er ikke like store som for de tidligere nevnte konfigurasjonene. Differansen fra 2mm til 6mm er 40%. Største hoppet i kapasitetsøkning er også i dette tilfellet når høyden på ribben økes fra 2mm til 4mm.



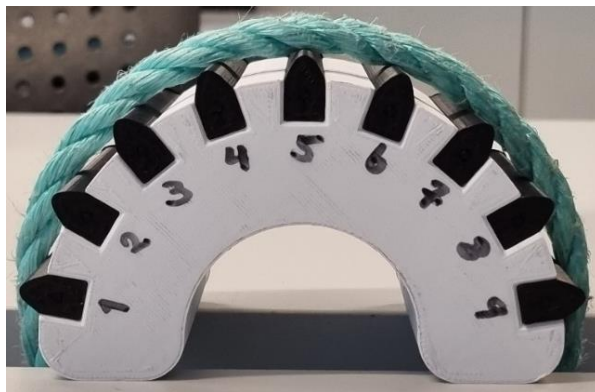
Figur 71 - Testrigg m/ribber 360°m/mål



*Figur 72 - Konfigurasjon 10 med 2mm ribb*



*Figur 73 - Konfigurasjon 10 med 4mm ribb*

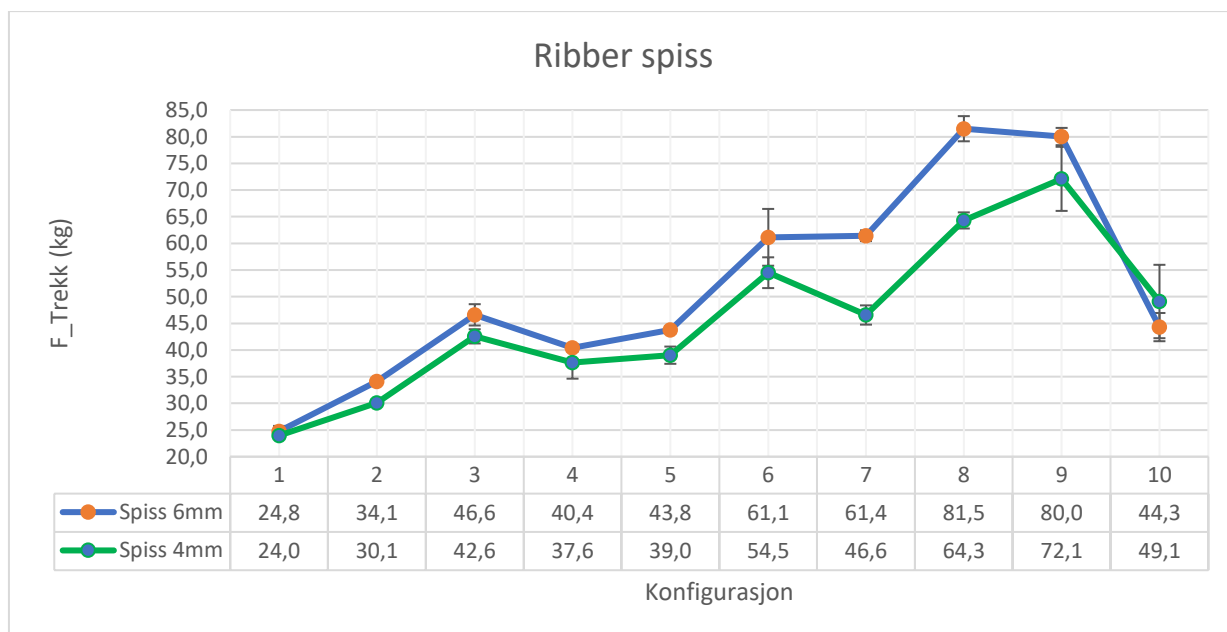


*Figur 74 - Konfigurasjon 10 med 6mm ribb*

Under testingen ble det observert at tauet tilnærmet fulgte halvbuen til grunnstrukturen, noe som førte til at tauet fikk små bøyevinkler og liten deformasjon. Dette kan man se i figurene over (Figur 72, Figur 73, Figur 74) Med den minste ribbhøyden på 2mm deformerte tauet seg akkurat nok til å kunne berøre grunnstrukturen.

## 8.2 Ribber spiss

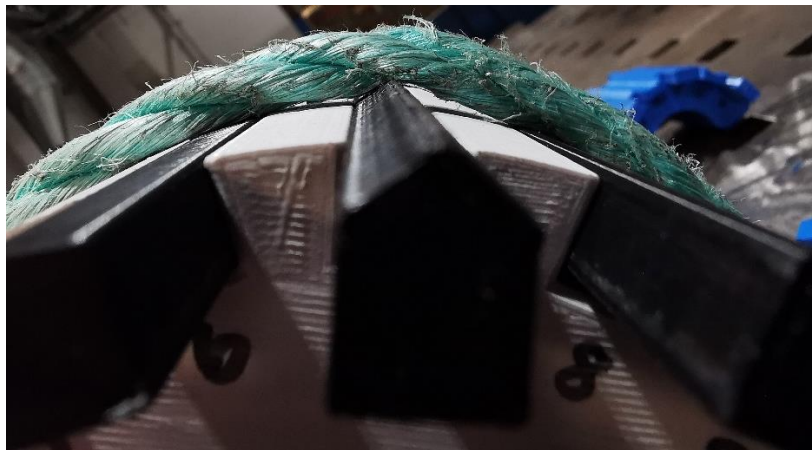
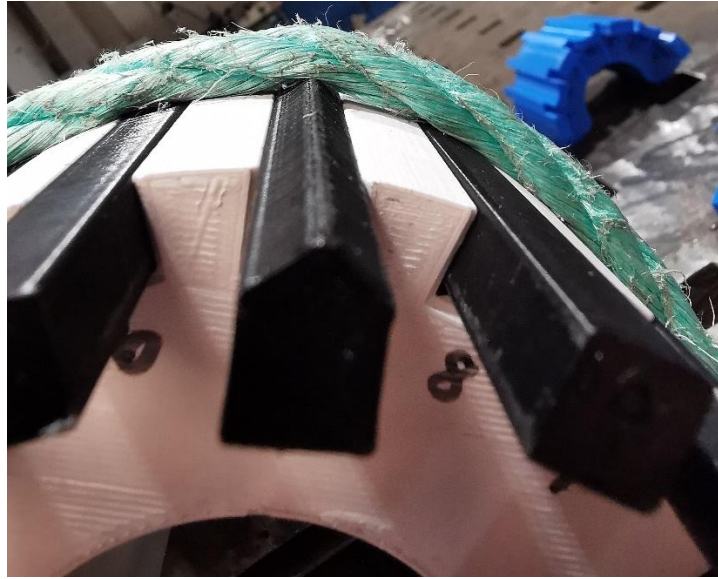
Designet med de spisse ribbene viste seg å få en kraftig økning i  $F_{\text{Trekk}}$ . Maksimum kraftøkningen var for konfigurasjon 8 for spiss 6mm og konfigurasjon 9 for spiss 4mm. Maksimum prosentøkning for disse konfigurasjonene var 532% og 459%. Resultatene for dette designet viser at én spiss ribb på testtriggen holder er nok til å øke kapasiteten med mer enn 20%.



Figur 75 - Resultater Ribber spiss

Tabell 18 - Prosentøkning Ribber spiss

Konfigurasjoner	Prosent økning	
	4mm	6mm
1	0%	0%
2	133%	92%
3	230%	164%
4	192%	213%
5	203%	239%
6	322%	374%
7	261%	376%
8	398%	532%
9	459%	520%
10	281%	243%



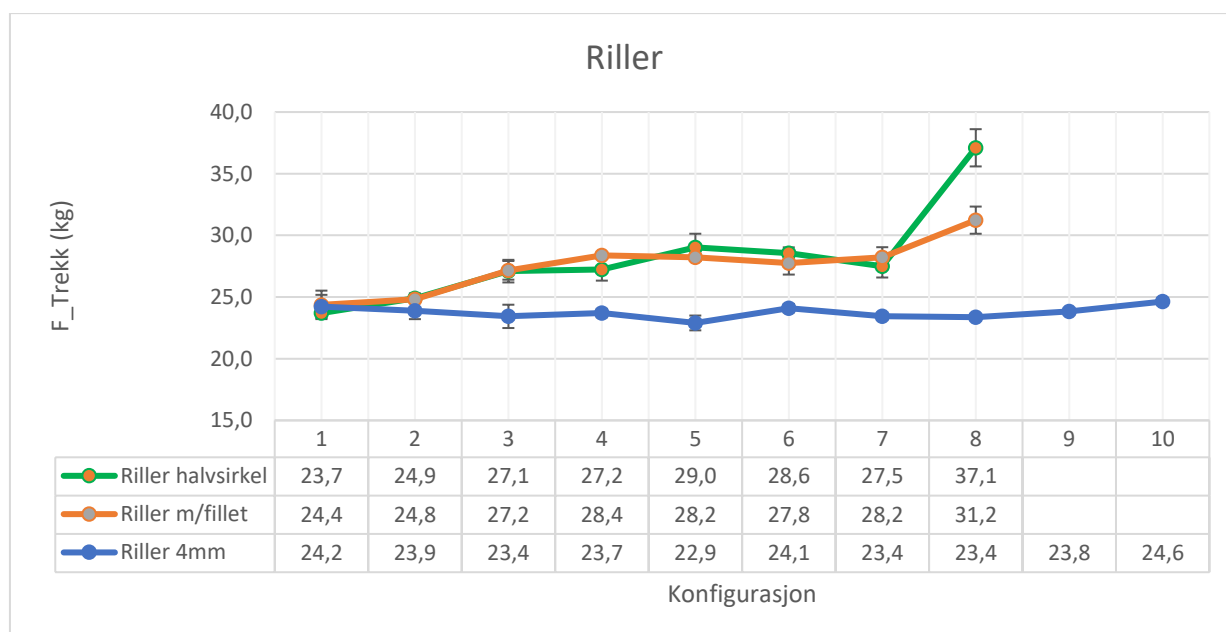
*Figur 76 - Deformasjon av tau over en spiss ribb*

Dette designet er testet for å vise hvilken påvirkning ribber som skaper stor deformasjon har. De spisse ribbene skaper en kraftig bøyevinkel, og fører til stor deformasjon av tauet. Designet forårsaket uakseptabel stor slitasje på tauet under testing.

Prosjektgruppen velger å ikke presentere flere detaljer av resultatene for disse testforsøkene, da disse ga for stor tauslitasje.

### 8.3 Riller

Den grafiske fremstillingen for rillene viser en vesentlig mindre økning enn ribbene. Testingen av rillene ble gjort i ved at 4mm ribbene ble testet i riggen med 9 spor, og halvsirkel og m/fillet ble testet i riggen med 7 spor. Dermed har 4mm ribben 10 konfigurasjoner, og de to andre har 8 konfigurasjoner. Design Halvsirkel og m/fillet har begge sin høyeste kapasitetsøkning for konfigurasjon 8. Største kapasitetsøkning for Halvsirkel er 57%, og 28% for design m/fillet.



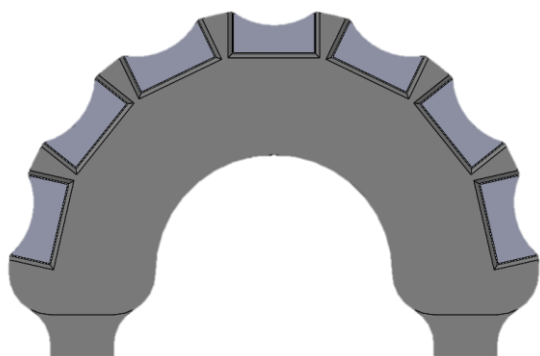
Figur 77 - Resultater Riller

Tabell 19 - Prosentøkning Riller

Konfigurasjon	Prosent økning		
	Halvsirkel	m/fillet	4mm
1	0%	0%	0%
2	5%	2%	-1%
3	14%	11%	-3%
4	15%	16%	-2%
5	23%	16%	-6%
6	21%	14%	-1%
7	16%	16%	-3%
8	57%	28%	-4%
9			-2%
10			2%

### 8.3.1 Rille halvsirkel

Testresultatene til designet Riller Halvsirkel ga en økning på mer enn 20% for konfigurasjon 5, 6 og 8. Konfigurasjon 8 fikk en vesentlig større økning enn resten av konfigurasjonene, i samtidig som deformasjonen til tauet var større.



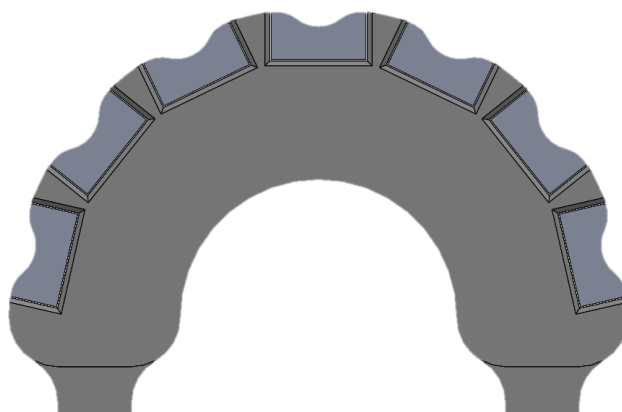
Figur 78 - Riller Halvsirkel, konfigurasjon 8



Figur 79 - Taudeformasjon over Rille Halvsirkel

### 8.3.2 Rille m/fillet

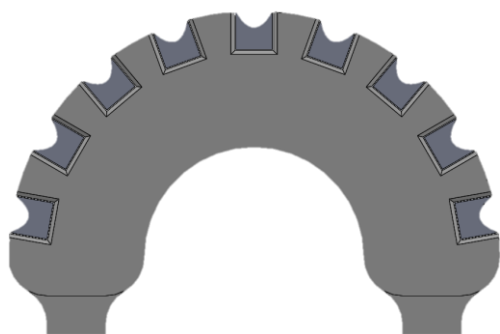
For designet Rille m/fillet fikk konfigurasjonen 8 en økning i kapasiteten, og var den eneste konfigurasjonen som hadde en prosentøkning på mer enn 20%. For denne konfigurasjonen var deformasjonen av tauet liten da de myke overgangene til designet minker kanten tauet kan «hekte» seg på.



Figur 80 - Rille m/fillet, konfigurasjon 8

### 8.3.3 Rille 4mm

Under testing ga dette designet ingen kapasitetsøkning vist i Figur 77 . Tauet viste ingen/svært liten deformasjon under testing.



*Figur 81 - Riller 4mm, konfigurasjon 10*

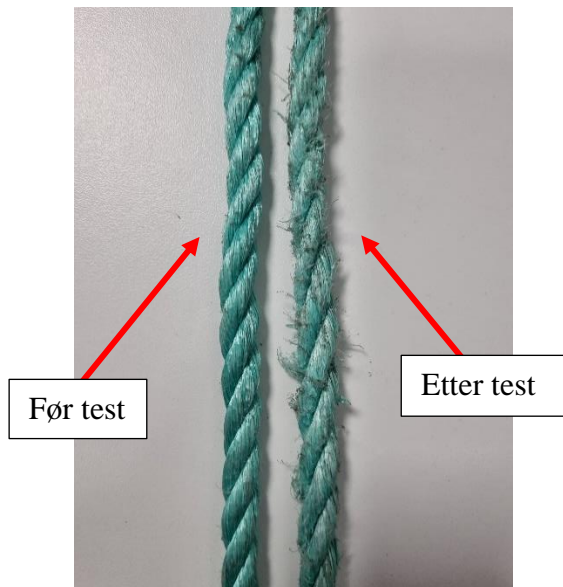


*Figur 82 - Deformasjon av tau over rille 4mm*

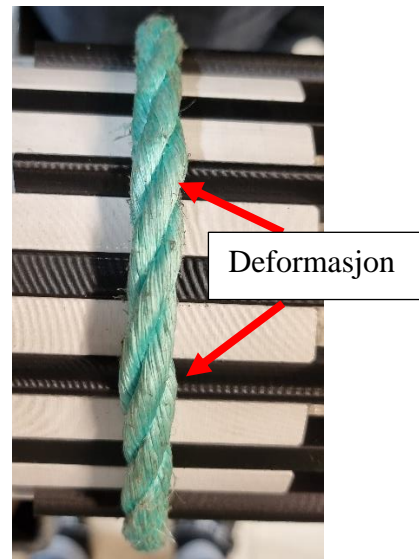


## 8.4 Tau

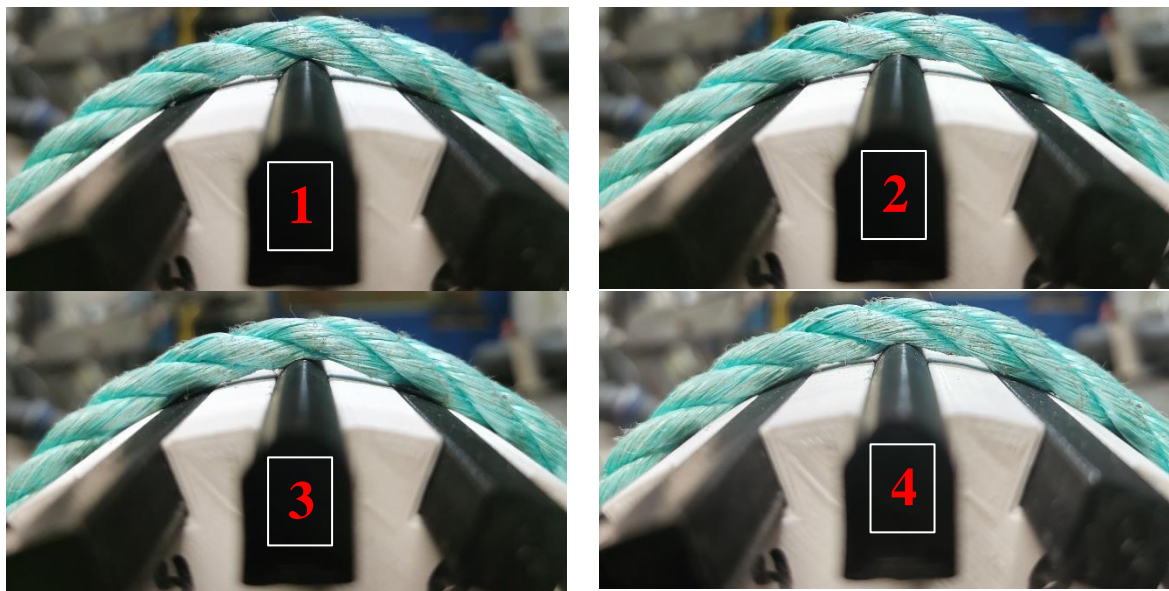
Testforsøkene ga slitasje på tauet, og gjentatte repetisjoner på samme plassering ga en gradvis mindre trekraft. Det er svært sannsynlig at denne gradvise avtegningen i kapasitet oppsto på grunn av glatting av tauet. Avlesningene er vedlagt i Vedlegg A. Dette er konstant for alle tester som er gjort.



Figur 83 - Tauslitasje under testing



Figur 84 - Deformasjon av tau sett vinkelrett på testrigg



Figur 85 - Taudeformasjon over en ribb

Bildene over viser hvordan tauet deformerer seg og «hefter» seg når det sklir over en ribb. Figur 85 viser hvordan tauet deformerer seg sett vinkelrett på testriggen når det sklir over en 6mm ribb. Graden av deformasjon er av en slik størrelse at får en økt bredde over ribben.

## 9 Analyse og diskusjon

Dette kapitlet har som hensikt å knytte testresultatene opp mot et fullskala kapstanhode. Det vil bli presentert analyse av de valgte konseptene og diskusjon av hvilke valg prosjektgruppen har gjort.

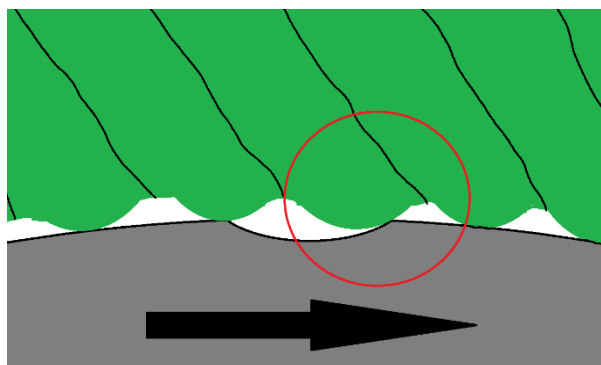
Hensikten med litteraturanalysen og testingen har vært for å skape en grunnleggende forståelse for hvordan formending påvirker kapasiteten til et kapstanhode. Denne kunnskapen ble så brukt til utforming og anbefalinger til hvordan en forbedret versjon bør designes.

Prosjektgruppen tok utgangspunkt i at testriggeren kunne skaleres opp til fullskala uten større modifikasjoner. Testriggeren var svært forenklet, uten konkav overflate, noe som gjorde at det måtte gjøres noen tilpasninger for å oppnå ønsket avstand mellom ribbene.

Konseptutviklingsmetodikken har gjennom prosjektet gitt prosjektgruppen muligheten til å gjøre endringer underveis. Endringene og muligheten av å inkludere nye idéer igjennom prosjektet gjorde at prosjektgruppen hadde 7 gode konsepter. Muligheten til å videreutvikle og evaluert flere ganger etter hvert som man innhentet informasjon, gjorde at prosjektgruppen er sikre på at konseptene ikke ble utelukket på feil grunnlag.

## 9.1 Vertikale riller

De vertikale ribbene ga et uforventet resultat under testing. Testene utført med få ribber og/eller stor avstand imellom ga lite/ingen kapasitetsøkning. Testingen av rigg med 7 spor der alle ribbene var montert ble det en signifikant økning i kapasiteten. Videre analyse av testresultatene tydet på at rillene ikke førte til en deformasjon av tauet slik at det «hektet» seg i kanten til rillene. Grunnen til dette er antageligvis at rillene var for smale, noe som førte til at tauet fulgte halvbuen til grunnstrukturen, som vist på Figur 87. Skarpere overganger vil kunne gi bedre effekt, men ville sannsynligvis i likhet med rapporten omtalt i avsnitt 4.3.1 ha ført til mye slitasje på tauet. Prosjektgruppen så ut av testingen at dybden til rillene ikke hadde påvirkning på kapasiteten, fordi tauet ikke deformeres nok til å hekte seg i dem.

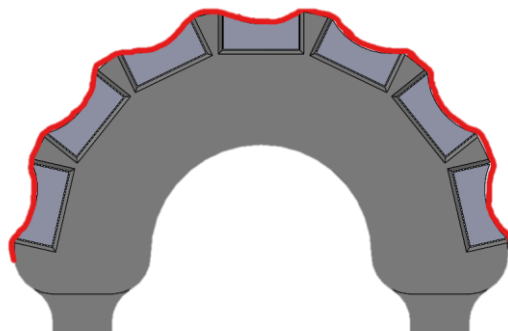


*Figur 86 - Antatt effekt av riller*



*Figur 87 - Virkelig effekt*

Sammenligning av konfigurasjon 8 med andre konfigurasjoner for designene Rille Halvsirkel og Rille m/fillet viser en tydelig økning i kapasitet. Årsaken til denne kapasitetsøkningen ser ut til å oppstå fordi denne konfigurasjonen har en utforming som ligner på ribber. Figur 88 er konturen av testtrigen med Rille Halvsirkel tegnet med rød stek. Fra denne illustrasjonen kan man trekke likhet til en konfigurasjon med ribber.



*Figur 88 - Illustrasjon på overgangen til ribber*

Dette konseptet tilfredsstillte alle produktkravene med unntak av målet om en kapasitetsøkning på 20%. Dette førte til at prosjektgruppen valgte å fokusere på vertikale ribber.

## 9.2 Vertikale ribber

Prosjektgruppen valgte å videreutvikle dette designet med utgangspunkt i hvor godt konseptet oppfyller produktkravene. I testen ble det brukt tre forskjellige høyder (2mm, 4mm, 6mm) der kapasiteten øker når høyden på ribben øker. Hvordan høyden på ribbene og utformingen av de påvirker kapasiteten analyseres og diskuteres, samt hvordan avstanden mellom ribbene påvirker resultatet.

### 9.2.1 Høyde

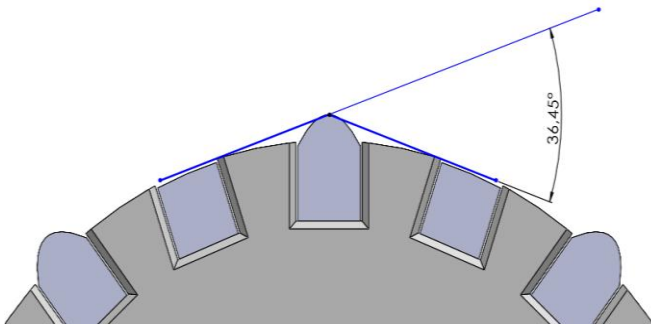
Testresultatene viser at økningen av høyden på ribben gir en direkte økning i kapasitet. Eytelwein's likning er ikke avhengig av diameter, men som nevnt i delkapittel 2.1, påvirker taustivheten kapasiteten i virkeligheten. Hvis tauet har høy bøyestivhet, vil det være vanskelig å bøye tauet rundt et kapstanhode med liten diameter. I slike tilfeller vil et kapstanhode med større diameter være gunstig, da det vil kreve mindre krefter å bøye tauet rundt kapstanhodet. Bøyestivheten til tauet som ble benyttet under testing var liten, og er derfor antatt å påvirke resultatene i liten grad.

Høyden av ribbene påvirker bøyevinkelen. Prosjektgruppen benyttet SolidWorks-modeller av konfigurasjonene for å gjøre opp en omtrentlig verdi til bøyevinkelen. Bøyevinkelen avlest fra SolidWorks ser bort i fra bøyestivheten til tauet, og vil derfor ikke gjenspeile den virkelige bøyevinkelen. Avlesningene fra SolidWorks er derfor å anse som en tilnærming av den faktiske bøyevinkelen.

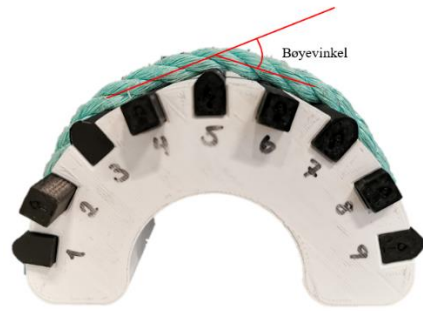
Bøyevinkelen er avhengig av diameteren til kapstanhodet, høyden på ribbene og distansen mellom ribbene. I en situasjon der høyden på ribbene og diameteren til kapstanhodet holdes konstant, vil følgende utsagn gjelde:

- En distanse mellom ribbene som gjør at tauet akkurat vil berøre grunnstrukturen til kapstanhodet før en ny ribb kommer, vil gi den største bøyevinkelen.
- En distanse mellom ribbene som gjør at tauet ikke berører vil gi en mindre bøyevinkel enn den maksimale bøyevinkelen.

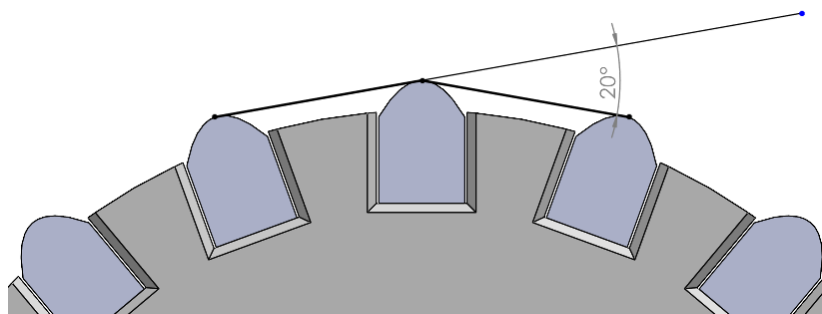
En ribb med større høyde vil muliggjøre større bøyevinkel, men krever en større distanse mellom ribbene for å oppnå maksimal bøyevinkel.



Figur 89 - Bøyeinkel på konfigurasjon 9 med 4mm ribb på testrigg



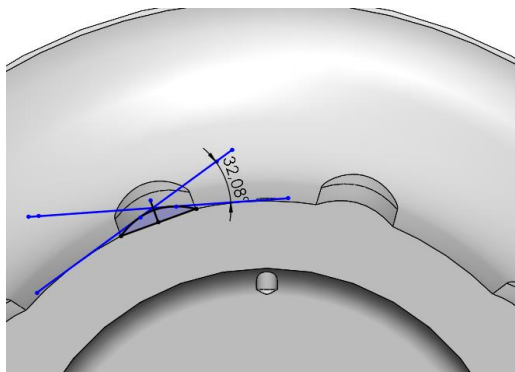
Figur 90 - Illustrasjon bøyeinkel



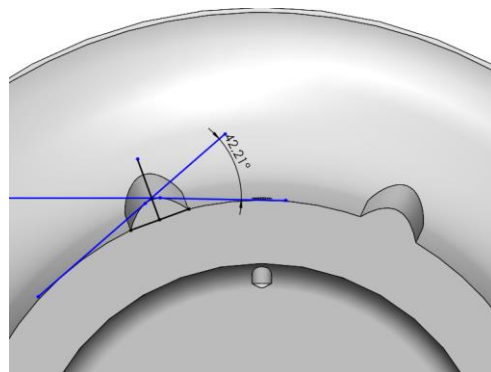
Figur 91 - Bøyeinkel på konfigurasjon 10 med 4mm ribb på testrigg

Ved å ha ribber i alle sporene blir bøyeinkelen redusert, og kapasiteten viser seg å minke drastisk som følge av dette. Sammenligning av Figur 89 og Figur 91 viser reduksjonen i bøyeinkelen, og Tabell 14 og Tabell 18 viser reduksjonen i kapasitet. Tendensen kan ses i Figur 62 og Figur 75 ved å se på differansen på konfigurasjon 9 og 10.

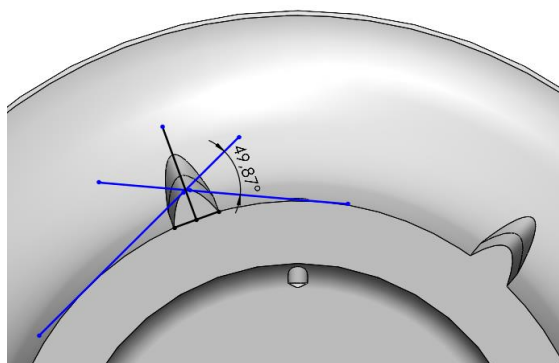
Figurene 88, 89 og 90 illustrerer den maksimale teoretiske bøyevinkelen som kapstanhodet kan oppnå.



Figur 92 - 4mm ribber 10stk



Figur 93 - 8mm ribber 8stk



Figur 94 - 12mm ribber 6stk

Tabell 20 - Maksimal teoretisk bøyevinkel for kapstanhodet med forskjellige høyder på ribber

Maks teoretisk bøyevinkler. Ø240	
Høyde Ribb=4mm	32,08°
Høyde Ribb=8mm	42,21°
Høyde Ribb=12mm	49,87°

## 9.2.2 Avstand mellom ribbene og antall ribber

Testresultatene varierte med distansen mellom ribbene. Enkelte distanser mellom ribbene ga betydelig bedre resultat enn andre. Resultatene fra testingen samsvarte godt med patent US4688765, der anbefalingen om at distansen mellom ribbene skal være 3 ganger så stor som bredden på ribben. Ribbene som ble plassert med kort avstand gjorde at tauet ikke berørte grunnstrukturen. Disse konfigurasjonene fikk en mindre bøyevinkel sammenlignet med konfigurasjoner der tauet berørte grunnstrukturen mellom ribbene.

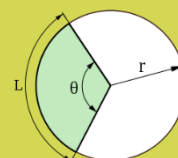
Prosjektgruppen ser i etterkant av forsøket at det hadde vært ønskelig å teste flere forskjellige distanser mellom ribbene. Da kunne prosjektgruppen fått verifisert hypotesen om at størst mulig bøyevinkel gir størst kapasitetsøkning.

Avstanden mellom ribbene vil bestemmes av antallet ribber om 3 til 1 forholdet skal opprettholdes. Antallet ribber vil igjen påvirke bredden til ribben og effekten av dette blir vist under.

For et kapstanhode med 6 ribber kan bredden til ribbene være 30mm for å gi et forhold på cirka 3 til 1. For et 8 ribbet kapstanhode ble det oppdaget at ribbene bør være på maksimum 25mm for at ikke forholdet skal få for stort avvik fra forholdet på 3 til 1. Det samme gjelder for et 10 ribbet kapstanhode, der maks bredde på ribbene kan være 20mm. Utregningen nedenfor viser forholdstallene til de forskjellige konfigurasjonene. Fremgangsmåte benyttet for å finne vinkler mellom ribbene tar utgangspunkt i buelengde:

### Buelengde

Avstanden mellom ribbene (lengden av buen) regnes ut ved hjelp av vinkelens spenn, der  $r$  – radius av kapstan,  $\theta$  – vinkel buen strekker seg over.



Vinkelen som oppstår mellom ribbene fra senter til senter.

$$\theta_{ribb \text{ senter-senter}} = \frac{360^\circ}{\text{Antall ribber}} \quad 9.1$$

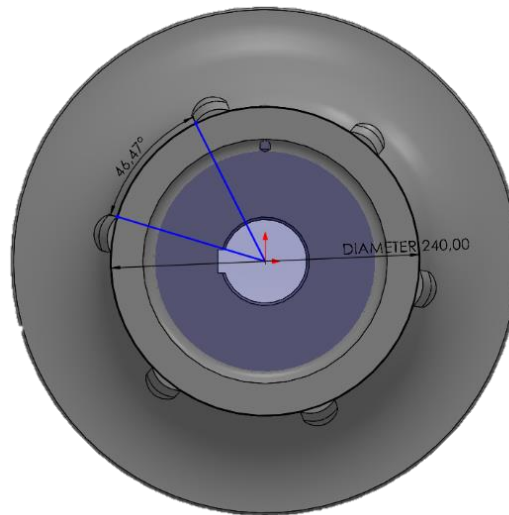
Vinkelen for en ribb.

$$\theta_{en \text{ ribb}} = \frac{L_{ribb} * 180}{\pi * r} \quad 9.2$$

Vinkelen som oppstår mellom ribbene, uten bredden av vinkelen

$$\theta_{mellom \text{ ribber}} = \frac{360^\circ}{\text{Antall ribber}} - \frac{L_{ribb} * 180}{\pi * r} \quad 9.3$$





Figur 95 - Skisse: Tverrsnitt med 6 ribber og mål

$$\theta_{\text{mellom ribber}} = \frac{360^\circ}{6} - \frac{20 * 180}{\pi * \frac{240}{2}} \quad 9.4$$

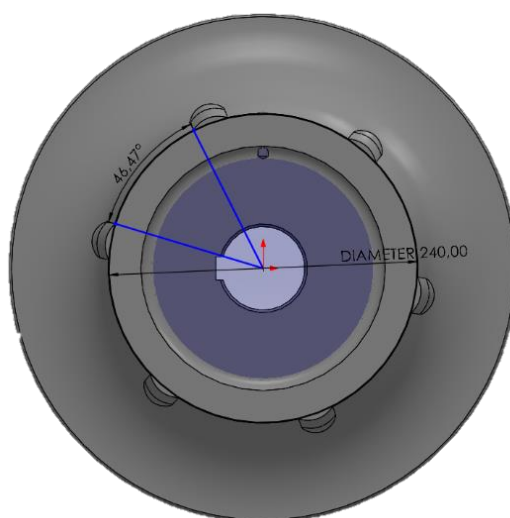
$$L = \pi * r * \frac{\theta_{\text{mellom ribber}}}{180} \quad 9.5$$

$$L = \pi * \frac{240}{2} * \frac{45,67}{180} = 95,66 \text{ mm} \quad 9.6$$

Forholdstall på avstanden mellom ribbene og bredden på ribb:

$$\frac{95,66}{30} = 3,18 \quad 9.7$$

## 6 ribbet kapstanhode, ribb bredde 30mm:



Figur 96 - Skisse: Tverrsnitt med 6 ribber og mål

$$\theta_{mellom\ ribber} = \frac{360^\circ}{6} - \frac{20 * 180}{\pi * \frac{240}{2}} \quad 9.8$$

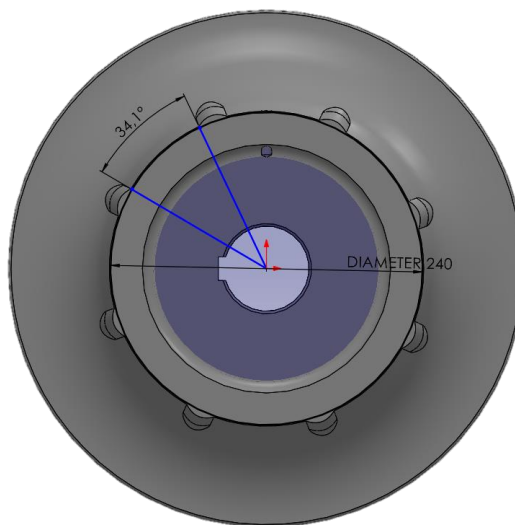
$$L = \pi * r * \frac{\theta_{mellom\ ribber}}{180} \quad 9.9$$

$$L = \pi * \frac{240}{2} * \frac{45,67}{180} = 95,66\text{ mm} \quad 9.10$$

Forholdstall på avstanden mellom ribbene og bredden på ribb:

$$\frac{95,66}{30} = 3,18 \quad 9.11$$

### 8 ribbet kapstanhode, ribb bredde 25 mm:



Figur 97 - Skisse: Tverrsnitt med 8 ribber og mål

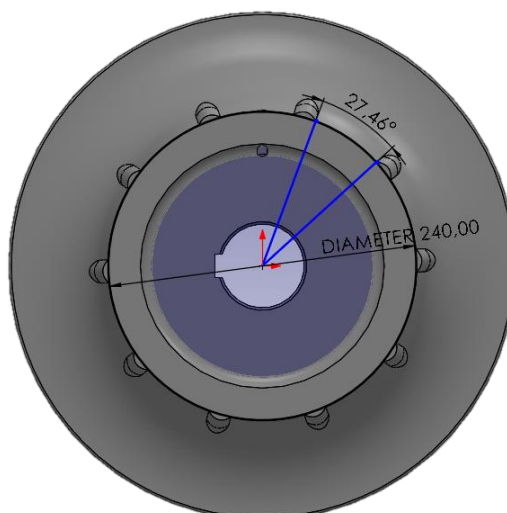
$$L = \pi * r * \frac{\theta_{\text{mellom ribber}}}{180} \quad \mathbf{9.12}$$

$$L = \pi * \frac{240}{2} * \frac{33,06}{180} = 69,25 \text{ mm} \quad \mathbf{9.13}$$

Forholdstall på avstanden mellom ribbene og bredden på ribb:

$$\frac{69,25}{25} = 2,78 \quad \mathbf{9.14}$$

## 10 ribbet kapstanhode, ribb bredde 20 mm:



Figur 98 - Skisse: Tverrsnitt med 10 ribber og mål

$$L = \pi * r * \frac{\theta_{\text{mellom ribber}}}{180} \quad 9.15$$

$$L = \pi * \frac{240}{2} * \frac{26,45}{180} = 55,40 \text{ mm} \quad 9.16$$

Forholdstall på avstanden mellom ribbene og bredden på ribb:

$$\frac{55,40}{20} = 2,77 \quad 9.17$$

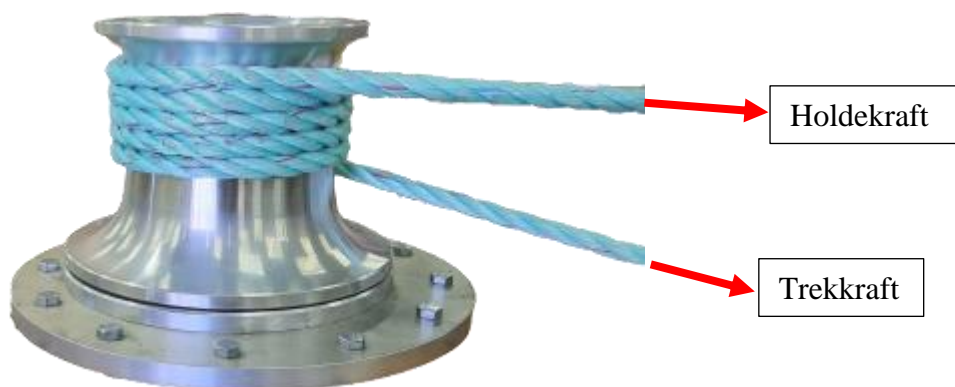
Det ikke er ønskelig å lage ribbene smale. Smale ribber øker risikoen for at tauet slites under drift, og gir et mindre område tauet kan «hekte» seg på. Dette gjør kreftene mer konsentrert og deformasjonen av tauet større. Etter diskusjon har prosjektgruppen blitt enige om at et forhold på 2,77 :1 er akseptabelt.

### 9.2.3 Utforming

Testen som ble utført ga prosjektgruppen et visuelt inntrykk i hvordan utformingen av ribbene påvirket tauslitasjen. De spisse ribbene ga stor kapasitetsøkning, men dette førte til stor tauslitasje. Testingen har gitt bedre resultater enn forventet, noe som har gitt prosjektgruppen mulighet til å optimalisere utforming av ribbene til å minimere tauslitasje, på tross av at dette reduserer deformasjon, og dermed kapasitetsøkningen. Med utforming menes ribbens design, høyden, bredden og antallet ribber.

Prosjektgruppen har lite resultater knyttet til hvordan bredden på ribben påvirker testresultatene, men kan gjøre noen antagelser basert på testresultatene. De spisse ribbene hadde større kapasitetsøkning enn de avrundede med samme høyde. Dette resultatet antas å komme fra den store deformasjonen som oppsto med spisse ribber, da tauet fikk en liten kontaktflate med ribben. De avrundede ribbene ga en mindre deformasjon og mindre kapasitetsøkning. Det kan antas at designet av ribben kan optimaliseres slik at tauet ikke bøyes utilsiktet mye i området det er i kontakt med ribben. Dette vil gjøre at tauet får en deformasjon som er å anse som akseptabel over ribben, og dermed minimere tauslitasje.

I avsnitt 2.5 blir en kort introduksjon til spenning i tau presentert. Fra dette avsnittet er det mulig å trekke noen antakelser til hvorfor ribbene i patentene bare er på den midtre del av kapstanhodet. Spenningen i tauet er størst på siden med trekkraften og har inngang på bunnen av kapstanhodet. Det er å anta at det er gunstig å begrense ribbene til å ikke være der spenningen i tauet er størst. Der vil deformasjonen kunne være stor og vil kunne føre til stor slitasje.

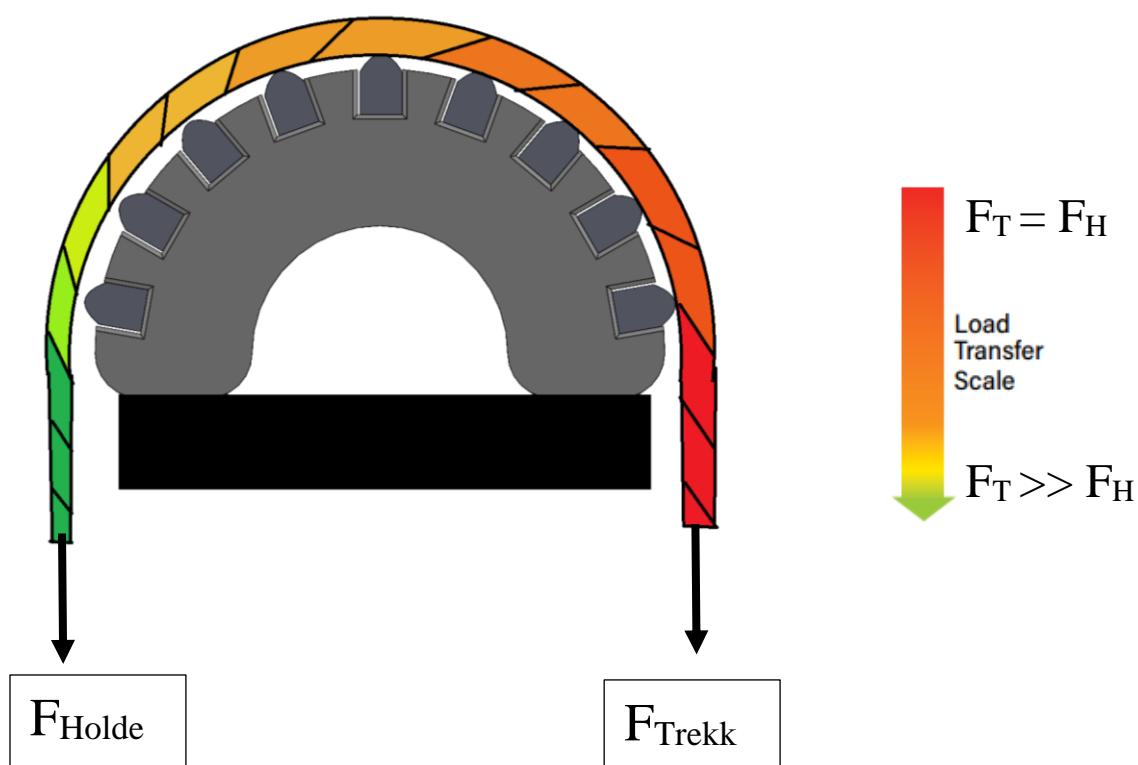


Figur 99 - Illustrasjon av nåværende kapstanhode med krefter

### 9.3 Kraftfordeling

Det ligger usikkerhet i hvordan kraftfordelingen i tauet oppfører seg. Testene viser at det er en forskjell i kapasitetsøkning, der kun plassering av ribbene er forskjellen. Dette er sannsynligvis knyttet til at tauet vil oppleve mer krefter på siden med trekkraften. Disse kreftene vil være med på å skape deformasjon av tauet, noe som gir friksjon. På siden med holdekraft vil tauet oppleve mindre krefter, noe som vil gi opphav til mindre deformasjon over ribben nært denne siden.

Denne problemstillingen vil ikke eksistere for en fullskala, da det ikke vil være situasjoner under normalt bruk som tilsier at tauet er i kontakt med mindre enn en tårn.



Figur 100 - Kraftfordeling i tau

## 9.4 Videreutvikling

Dette avsnittet retter seg direkte til PMH og tar for seg prosjektgruppens anbefalinger til videre arbeid med videreutvikling av løsningen. I videre fase av utviklingen vil prosjektgruppen anbefale å gjennomføre testing i riktig materiale med større belastning. Optimalt en fullskalatest der kapstanhodet har ribber dimensjonert i samsvar med gruppens funn i analysen.

På grunn av utformingen til testtriggen bør interaksjonen mellom tørn undersøkes.

Prosjektgruppen viser til avsnitt 2.3 der interaksjonen mellom tørn gir en mindre kapasitetsøkning. Dette kan føre til at anbefalingene prosjektgruppen kommer med i analysen ikke vil tilfredsstille målet om 20% kapasitetsøkning.

Tau med større diameter vil ha større bøyestivhet, og kan bidra til at de ikke vil deformere seg over en ribb som analysen beskriver. Dette bør evalueres og det anbefales å utføre test med maks taudiameter i henhold til produktdatablad (Ø30mm).

Småskalatestingen ga indikasjon på tauslitasje, men er ikke en representasjon av virkelig tauslitasje. Det anbefales at bedrift gjør testing for å evaluere tauslitasje. Mulig testmetode kan være å la tauet glippe ved at kapstanhodet roterer uten at tauet hales inn. Testen krever at tauet er festet i ene enden mens konstant holdekraft blir påført, på samme måte som testtriggen i Vedlegg B. Dette utføres i en gitt periode med originalt kapstanhode og med ny løsning. Dette vil gjøre tauslitasjen for den nye løsningen mulig å evaluere.

Om tauet vil hoppe eller få plutselige slipp ved utfiring tilknyttet ribber er usikkert.

Prosjektgruppen anbefaler å gjennomføre en test med den nye løsningen. Om dette vil være tilfellet bør utformingen på ribbene evalueres for å mulig forhindre uønsket oppførsel.

Vedlegg B inneholder talldata for testingen av det originale kapstanhodet. Ved å utføre en tilsvarende test med et kapstanhode med ribber, vil sammenligningsgrunnlaget gi en tydelig indikasjon på om prosjektgruppen har oppnådd målet.

Prisen og utseende til kapstanen vil være avhengig av produksjonsmetode. Det er mulig å frese ut kapstanhodet med ribber, men støpning er en metode som bør evalueres. Et støpt kapstanhode vil ha en grovere overflate, sannsynligvis med noen defekter, noe som vil gjøre kapstanhodet mindre estetisk pent enn den som er frest. Den grovere overflaten kan derimot gi en kapasitetsøkning. Prosjektgruppen kjenner ikke til kostnadene PMH har for dagens produksjon, og kan dermed ikke avgjøre den ekstra kostnaden knyttet for å produsere et kapstanhode med ribber.

## 10 Konklusjon

Denne rapporten har gitt flere forslag til løsninger med en kapasitetsøkning som antageligvis overstiger målet på 20%, og kommer med forslag til PMH om anbefalt videre arbeid.

Prosjektgruppen ønsket at prosjektet skulle inkludere fullskalatesting, men tidsbegrensingen til prosjektet gjorde at dette ikke var mulig å oppnå.

Prosjektgruppens testresultater har gitt mulighet til å designe en løsning som best oppfyller produktkravene. Ønsket har ikke vært å oppnå maksimal kapasitetsøkning, men en løsning som gir tilstrekkelig økning, med minimal tauslitasje og er estetisk pen. Løsningen skal gi minimal friksjon i aksial retning, mulighet til å bruke taudiameter opptil Ø30 og være evigvarende.

Som følge av resultatene og målet om å øke kapasiteten med 20%, har gruppen kommet fram til at et kapstanhode med 6 ribber med høyde på 4mm er den beste løsningen. Denne løsningen vil gi minimal slitasje og en økning på minimum 20%. Dette forutsett at resultatene fra testingen er skalerbare. Antallet ribber kan endres, men avstanden mellom ribbene og bredden på ribben bør ha et omtrentlig forhold på 3 til 1. Tauet bør også berøre grunnstrukturen før det bøyes over en ny ribb. Når disse anbefalingene følges, vil best mulig kapasitetsøkning være mulig med utgangspunkt i funnene gjort i rapporten. Løsningen vil kunne bruke alle taudiameter opp til Ø30mm og kapasitetsøkende tiltak vil være evigvarende. Fra prosjektgruppens ståsted er denne løsningen ansett som estetisk pen, og er presentert i Vedlegg E.

Prosjektgruppen ønsker å trekke frem oppgavens omfang og relevans til maskiningeniøryrke. Oppgaven i helhet har bydd på flere utfordringer som gruppe medlemmene sammen har jobbet løst på en god måte. Resultatet av prosjektet er en løsning gruppen mener er svært lovende og har et godt grunnlag til videre utvikling.



## Begrepsliste

<b>Trosse</b>	Tau av dimensjoner over 25mm.
<b>Tørn</b>	Tau legges rundt et objekt for å skape friksjon mellom tau og objekt.
<b>Konkav</b>	Overflate som krummer innover.
<b>Skamfiling</b>	Skamfiling er skade på tauverk, seil, wire og liknende på grunn av friksjon.
<b>Degradering</b>	NS-EN 13306 (5.7): Skadelig endring i fysisk tilstand som følge av tid, som følge av bruk eller som skyldes en ekstern årsak
<b>Vertikale riller:</b>	Materiale fjernet fra grunnstrukturen til det originale kapstanen.
<b>Vertikale ribber:</b>	Materiale lagt utenpå grunnstrukturen til det originale kapstanen.

## Referanser

- Pettersen, K. & Merethe Paulsen, T., 2017. *Tau og tauverk*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/nb/subject:13/topic:1:184391/topic:1:184395/resource:1:181509>  
[Funnet 25 04 2022].
- Storage, W. & Ganter, J., 2000. <http://www.karst.org/pgrotto/physicsforcavers.htm>. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <http://www.karst.org/pgrotto/physicsforcavers.htm>  
[Funnet 04 02 2022].
- Adria Winch, 2019. *Anchor-Mooring an Mooring Capstans*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <http://adriawinch.com/products/anchor-mooring-and-mooring-capstans/>  
[Funnet 21 April 2022].
- Almar-Næss, A., 2018. *Termisk sprøyting*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: [https://snl.no/termisk\\_spr%C3%B8yting](https://snl.no/termisk_spr%C3%B8yting)  
[Funnet 22 April 2022].
- Almar-Næss, A., 2019. *Serratering*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://snl.no/serratering>  
[Funnet 22 April 2022].
- Altinn, 2021. *Patent*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://www.altinn.no/starte-og-drive/starte/rettighetsbeskyttelse/patent/>  
[Funnet 21 04 2022].
- Andersen Winches, u.d. *Andersen Winches*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://www.improducts.co.uk/download/1545>
- Andersen, 2012. *Manual 110ST FS*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <http://www.pertrechosnauticos.com/descargables/andersen/110st.pdf>  
[Funnet 19 04 2022].
- Andersen, 2017. *Features Andersen Ribbed Capstan*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://andersenwinches.com/aw/winches.asp>  
[Funnet 21 April 2022].
- Asachi, G. & cel Mare, Ş., 2011. *SURFACE ROUGHNESS AT ALUMINIUM PARTS SAND BLASTING*. Volume 6, Issue 2 red. Romania: Proceedings in manufacturing system.
- Attaway, S., u.d. *The Mechanics of Friction in Rope Rescue*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: [http://www.paci.com.au/downloads\\_public/ERT/Friction\\_ropescue.pdf](http://www.paci.com.au/downloads_public/ERT/Friction_ropescue.pdf)
- Azom Materials, 2005. *Aluminium Alloys - Aluminium 6082 Properties, Fabrication and Applications*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2813>  
[Funnet 31 Mars 2022].
- Blankenburg, D., 2020. *Kiler*. Trondheim: Detlef Blankenburg.
- Braiding Technology for Textiles, 2015. Cylinder friction (capstan friction, multiplicative principle). I: *Yarn winding operations in braiding*. s.l.:s.n., pp. 240-241.

- Bravo Marine, 2022. *Innaskjærs- og Offshorefiskeoppdrett*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://bravomarine.no/innaskjaers-og-offshore-fiskeoppdrett/>  
[Funnet 22 April 2022].
- Carl Stahl AS, 2022. *Bruksanvisning for Fibertau type 3/slått Danline*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <http://sertifisering.carlstahl.no/Filer/BRUKSANVISNING%203-sl%C3%A5tt%20Danlinetau.pdf>  
[Funnet 04 04 2022].
- Custompart, 2022. *Turning*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://www.custompartnet.com/wu/turning>  
[Funnet 20 April 2022].
- Engineering Product design, 2017. *What is sandcasting?*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/sand-casting/>  
[Funnet 20 April 2022].
- Finnsnes Dykk & Anleggsservice, 2021. *Facebook*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://www.facebook.com/Finnsnes.Dykk/photos/426732965812029>  
[Funnet 22 April 2022].
- Froystad, 2022. *Arctic Power Danline 8-s.*. [Internett]  
Tilgjengelig fra:  
[https://froystad.no/users/froystad\\_mystore\\_no/images/Arctic Power Danline 8.pdf](https://froystad.no/users/froystad_mystore_no/images/Arctic Power Danline 8.pdf)  
[Funnet 22 04 2022].
- Fulton, A., 2005. *Investigation into the Effect of Rope to Rope Contact for a Winch in a Multi-Turn Configuration*, Glasgow: Strathclyde Glasgow.
- Groover, M. P., 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes and Systems (ISBN 978-0470-467002)*. 4th red. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Harken, 2022. *20 Self-Tailing Radial Aluminum Winch*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://www.harken.com/en/shop/radial/>  
[Funnet 21 April 2022].
- Harken, 2022. *40 Self-Tailing Quattro Performa™ Winch*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://www.harken.com/en/shop/performa/40-self-tailing-quattro-performa-winch-2-drum-2-speed/>  
[Funnet 21 April 2022].
- Harken, 2022. <https://www.harken.com/en/shop/winches/>. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://www.harken.com/en/shop/winches/>  
[Funnet 21 04 2022].
- Harken, 2022. *Performa*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://www.harken.com/en/shop/performa/>  
[Funnet 19 04 2022].
- Harken, 2022. *Racing Winch 65*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://www.harken.com/en/shop/racing-winch-65/>  
[Funnet 21 April 2022].



Stena Aluminium, 2021. *ALLOY SPECIFICATIONS*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.stenaaluminium.com/aluminium-alloys-and-services/alloy-specifications/>

[Funnet 31 Mars 2022].

Trelleborg, 2020. *Free Standing Capstans*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.trelleborg.com/en/marine-and-infrastructure/products-solutions-and-services/marine/docking-and-mooring/line-handling/free-standing-capstans>

[Funnet 21 Mai 2022].

Wikipedia, 2022. *Capstan equation*. [Internett]

Tilgjengelig fra: [https://en.wikipedia.org/wiki/Capstan\\_equation](https://en.wikipedia.org/wiki/Capstan_equation)

[Funnet 20 04 2022].

Øyro, G., 2018. *Friksjonskrafta*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <http://www.oyro.no/friksjon.html>

[Funnet 06 Mai 2022].

## Figurliste

Figur 1 - 3 tonn kapstan .....	1
Figur 2 - Kapstan som benyttes av "Finnsnes Dykk & Anleggsservice" .....	1
Figur 3 - Illustrasjon på Amonton's friksjonslov .....	5
Figur 4 - Friksjonskraften som en funksjon av drakraften F (Øyro, 2018).....	5
Figur 5 - Illustrasjon tau bøyd rundt en sylinder.....	6
Figur 6 - Effekt av flere omslutninger .....	6
Figur 7 - Krefter i en velig liten del av tau .....	7
Figur 8 - Illustrasjon som viser at $x$ og $\sin(x)$ er tilnærmet lik for små vinkler.....	8
Figur 9 - Spenningskonsentrasjon for forskjellige former i overflate (Blankenburg, 2020) .....	11
Figur 10 - Vask av tauverk (Finnsnes Dykk & Anleggsservice, 2021).....	12
Figur 11 - Bøyeinkel over en kant .....	13
Figur 12 - Deformasjonen hindrer tauet i å skli i lengderetning (svarte piler) men ikke på langs (røde piler) .....	13
Figur 13 - Spenninger i et tau (Samson rope technologies, 2019).....	14
Figur 14 - Støpt kapstanhode (PMH, 2017).....	15
Figur 15 - Dreid kapstanhode (PMH, 2017) .....	15
Figur 16 - (Groover, 2010).....	16
Figur 17 - (Groover, 2010).....	16
Figur 18 - Nyprodusert PMH 3tonn kapstanhode.....	16
Figur 19 - Oksidert PMH 3tonn kapstanhode .....	16
Figur 20 - Støpt kapstanhode. ....	17
Figur 21 - Støpt kapstanhode .....	17
Figur 22 - Illustrasjon av påvirkningskraft i PU-prosessen .....	18
Figur 23 - Iterative prosjektmodellen .....	19
Figur 24 - 3D modell av nåværende design .....	21
Figur 25 - Kapstanhodet.....	21
Figur 26 - Spesifikasjoner fra ISO 6482 - 2017.....	22
Figur 27 - Tverrsnitt av kapstan.....	25
Figur 28 - Kapstan med riller.....	25
Figur 29 - Kapstanhode med ribber .....	26
Figur 30 - Tverrsnitt av ribbet kapstanhode.....	26
Figur 31 - Tau som bøyes over en ribb .....	26
Figur 32 - Kapstan i oksidert aluminium .....	27
Figur 33 - Kapstan i krombelagt bronse .....	27
Figur 34 - Vinsjdesignene gjort i rapport.....	28
Figur 35 - Trelleborg kapstan .....	29
Figur 36 - Adria Winch kapstanhode.....	29
Figur 37 - PMH's ribbet kapstan .....	30
Figur 38 - Andersen kapstan .....	31
Figur 39 - (Harken, 2022) .....	32
Figur 40 - (Harken, 2022) .....	32
Figur 41 - (Harken, 2022) .....	32
Figur 42 - Kapstanhode som er termisk sprøytet.....	34
Figur 43 - Eksempelbilde på termisk sprøyting.....	34
Figur 44 - Serratert kapstanhode.....	35

Figur 45 - 3D modell kapstanhode med serratering.....	35
Figur 46 - Eksempelbilde av kapstan med sandblåsing.....	36
Figur 47 - Gummiert rulle. (Rub Tech AS) .....	37
Figur 48 - Kapstan med gummi .....	37
Figur 49 - Eksempel på riller (KEOGH'S MARINE & RV, 2022) .....	38
Figur 50 - 3D modell av konsept med riller.....	38
Figur 51 - PMH's ribbet kapstanhode .....	39
Figur 52 - 3D modell av konsept med ribber.....	39
Figur 53 - Eksempelbilde på konsept.....	40
Figur 54 - Testtrigg 1, Bilde 1.....	46
Figur 55 - Testtrigg 1, Bilde 2.....	46
Figur 56 - 9 spor testtrigg, bredde spor = 20mm .....	47
Figur 57 - 7 spor testtrigg, bredde spor = 40mm .....	47
Figur 58 - Høyde og bredde på designene, $B_1 = 20\text{mm}$ , $B_2 = 40\text{mm}$ , $H = 20\text{mm}$ .....	47
Figur 59 - Illustrasjon oppsett testtrigg .....	49
Figur 60 - 9 spor testtrigg.....	50
Figur 61 - 7 spor testtrigg.....	50
Figur 62 - Resultater ribber avrundet.....	51
Figur 63 - Testtrigg med ribber $360^\circ$ ett opperom m/mål.....	52
Figur 64 - Konfigurasjon 6 med 2mm ribb.....	53
Figur 65 - Konfigurasjon 9 med 4mm ribb.....	53
Figur 66 - Konfigurasjon 9 med 6mm ribb.....	53
Figur 67 - Testtrigg med ribber $360^\circ$ to opperom m/mål.....	54
Figur 68 - Konfigurasjon 7 med 2mm ribb.....	55
Figur 69 - Konfigurasjon 7 med 4mm ribb.....	55
Figur 70 - Konfigurasjon 7 med 6mm ribb.....	55
Figur 71 - Testtrigg m/ribber $360^\circ$ m/mål .....	56
Figur 72 - Konfigurasjon 10 med 2mm ribb.....	57
Figur 73 - Konfigurasjon 10 med 4mm ribb.....	57
Figur 74 - Konfigurasjon 10 med 6mm ribb.....	57
Figur 75 - Resultater Ribber spiss.....	58
Figur 76 - Deformasjon av tau over en spiss ribb.....	59
Figur 77 - Resultater Riller .....	60
Figur 78 - Riller Halvsirkel, konfigurasjon 8.....	61
Figur 79 - Taudeformasjon over Rille Halvsirkel.....	61
Figur 80 - Riller m/fillet, konfigurasjon 8 .....	61
Figur 81 - Riller 4mm, konfigurasjon 10 .....	62
Figur 82 - Deformasjon av tau over rille 4mm .....	62
Figur 83 - Tauslitasje under testing .....	63
Figur 84 - Deformasjon av tau sett vinkelrett på testtrigg .....	63
Figur 85 - Taudeformasjon over en ribb .....	63
Figur 86 - Antatt effekt av riller.....	65
Figur 87 - Virkelig effekt.....	65
Figur 88 - Illustrasjon på overgangen til ribber .....	66
Figur 89 - Bøyeinkel på konfigurasjon 9 med 4mm ribb på testtrigg.....	68
Figur 90 - Illustrasjon bøyeinkel.....	68
Figur 91 - Bøyeinkel på konfigurasjon 10 med 4mm ribb på testtrigg.....	68
Figur 92 - 4mm ribber 10stk .....	69

Figur 93 - 8mm ribber 8stk .....	69
Figur 94 - 12mm ribber 6stk .....	69
Figur 95 - Skisse: Tverrsnitt med 6 ribber og mål .....	71
Figur 96 - Skisse: Tverrsnitt med 6 ribber og mål .....	72
Figur 97 - Skisse: Tverrsnitt med 8 ribber og mål .....	73
Figur 98 - Skisse: Tverrsnitt med 10 ribber og mål .....	74
Figur 99 - Illustrasjon av nåværende kapstanhode med krefter .....	75
Figur 100 - Kraftfordeling i tau .....	76

## Tabelliste

Tabell 1 - Spesifikasjoner 3 tonns kapstanhodet.....	21
Tabell 2 - Tekniske spesifikasjoner på noen kapstanhoder levert av Andersen .....	31
Tabell 3 - Vurderingskriterier Termisk sprøyting.....	34
Tabell 4 - Vurderingskriterier Serratering .....	35
Tabell 5 - Vurderingskriterier Sandblåsing.....	36
Tabell 6 - Vurderingskriterier Gummi .....	37
Tabell 7 - Vurderingskriterier Vertikale Riller .....	38
Tabell 8 - Vurderingskriterier Vertikale Ribber .....	39
Tabell 9 - Vurderingskriterier Pressure Roller.....	40
Tabell 10 - Poengscore for alle konsepter.....	41
Tabell 11 - Feilkilder Testrigg 2 .....	48
Tabell 12 - Konfigurasjoner for 9 spor testrigg .....	50
Tabell 13 - Konfigurasjoner for 7 spor testrigg .....	50
Tabell 14 - Prosentøkning Ribber avrundet .....	51
Tabell 15 - Prosentøkning for konfigurasjon 3, 6, 8, 9 .....	52
Tabell 16 - Prosentøkning for konfigurasjon 7 .....	54
Tabell 17 - Prosentøkning for konfigurasjon 10 .....	56
Tabell 18 - Prosentøkning Ribber spiss .....	58
Tabell 19 - Prosentøkning Riller.....	60
Tabell 20 - Maksimal teoretisk bøyevinkel for kapstanhodet med forskjellige høyder på ribber .....	69



## Vedlegg

Vedlegg	Type vedlegg	Side
<b>Vedlegg A</b>	Regneark fra småskala test	i
<b>Vedlegg B</b>	Regneark fra test hos PMH	v
<b>Vedlegg C</b>	PMH's Testtrigg	vi
<b>Vedlegg D</b>	Risikoanalyse	vii
<b>Vedlegg E</b>	Bilde av endelig løsning	xi

## Vedlegg A: Regneark fra småskala test

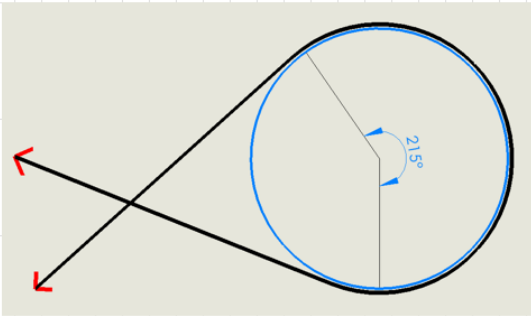
test x	type	plassering	antall	motvekt(kg)	Testforsøk Avrundet 2mm			3 Gjennomsnitt målt vekt(kg)	differanse(kg)	økning	Hl (eytelwein)
					1	2	2				
1	Slett			12,9	24,5	23,7	22,3	23,5	0,0	100 %	0,19
2	Avrundet 2mm	5	1	12,9	25,5	25,7	25,1	25,4	1,9	108 %	0,22
3	Avrundet 2mm	4,6	2	12,9	26,3	26,7	26,3	26,4	2,9	112 %	0,23
4	Avrundet 2mm	3,7	2	12,9	27,3	26,1	27,9	27,1	3,6	115 %	0,24
5	Avrundet 2mm	2,8	2	12,9	26,9	26,9	26,9	26,9	3,4	114 %	0,23
6	Avrundet 2mm	3,5,7	3	12,9	29,5	28,7	28,1	28,8	5,3	122 %	0,26
7	Avrundet 2mm	2,5,8	3	12,9	28,3	28,5	27,9	28,2	4,7	120 %	0,25
8	Avrundet 2mm	2,4,6,8	4	12,9	30,3	30,7	32,5	31,2	7,7	133 %	0,28
9	Avrundet 2mm	1,3,5,7,9	5	12,9	32,5	31,9	31,1	31,8	8,3	135 %	0,29
10	Avrundet 2mm	1,2,3,4,5,6,7,8,9	9	12,9	29,9	29,5	29,1	29,5	6,0	126 %	0,26
test x	type	plassering	antall	motvekt(kg)	1	2	3	Gjennomsnitt målt vekt(kg)	differanse(kg)	økning	Hl (eytelwein)
<b>Testforsøk Avrundet 4mm</b>											
1	Slett			12,9	21,9	21,9	21,9	21,9	0,0	100 %	0,17
2	Avrundet 4mm	5	1	12,9	26,3	26,3	25,9	26,2	4,3	119 %	0,23
3	Avrundet 4mm	4,6	2	12,9	33,1	30,7	31,7	31,8	9,9	145 %	0,29
4	Avrundet 4mm	3,7	2	12,9	30,9	32,3	33,5	32,2	10,3	147 %	0,29
5	Avrundet 4mm	2,8	2	12,9	32,1	32,9	32,1	32,4	10,5	148 %	0,29
6	Avrundet 4mm	3,5,7	3	12,9	40,7	37,3	40,1	39,4	17,5	180 %	0,36
7	Avrundet 4mm	2,5,8	3	12,9	36,7	35,9	37,5	36,7	14,8	168 %	0,33
8	Avrundet 4mm	2,4,6,8	4	12,9	42,9	46,3	43,5	44,2	22,3	202 %	0,39
9	Avrundet 4mm	1,3,5,7,9	5	12,9	46,9	46,3	44,1	45,8	23,9	209 %	0,40
10	Avrundet 4mm	1,2,3,4,5,6,7,8,9	9	12,9	36,7	33,7	31,7	34,0	12,1	155 %	0,31

test x	type	plassering	antall	motvekt(kg))	1			2			3			gjennomsnitt målt vekt(kg)	differanse(kg)	økning	H( eytelwein)
					1	2	3	1	2	3	1	2	3				
<b>Testforsøk Avrundet 6mm</b>																	
1	Sløtt			12,9	24,1	23,1	22,9	23,4	0,0	100 %	0,19						
2	Avrundet 6mm	5	1	12,9	28,5	28,7	28,7	28,6	5,3	123 %	0,25						
3	Avrundet 6mm	4,6	2	12,9	39,1	38,9	36,5	38,2	14,8	163 %	0,35						
4	Avrundet 6mm	3,7	2	12,9	42,1	44,3	40,3	42,2	18,9	181 %	0,38						
5	Avrundet 6mm	2,8	2	12,9	41,7	38,5	39,1	39,8	16,4	170 %	0,36						
6	Avrundet 6mm	3,5,7	3	12,9	52,3	45,5	49,7	49,2	25,8	210 %	0,43						
7	Avrundet 6mm	2,5,8	3	12,9	45,3	48,9	47,3	47,2	23,8	202 %	0,41						
8	Avrundet 6mm	2,4,6,8	4	12,9	63,3	59,5	63,3	62,0	38,7	265 %	0,50						
9	Avrundet 6mm	1,3,5,7,9	5	12,9	59,5	51,9	62,9	58,1	34,7	249 %	0,48						
10	Avrundet 6mm	1,2,3,4,5,6,7,8,9	9	12,9	42,5	36,9	37,3	38,9	15,5	166 %	0,35						
<b>Testforsøk Spiss 4mm</b>																	
1	Sløtt			12,9	23,9	24,5	23,5	24,0	0,0	100 %	0,20						
2	Spiss 4mm	5	1	12,9	29,7	30,3	30,3	30,1	6,1	233 %	0,27						
3	Spiss 4mm	4,6	2	12,9	44,1	41,7	41,9	42,6	18,6	330 %	0,38						
4	Spiss 4mm	3,7	2	12,9	37,5	40,7	34,7	37,6	13,7	292 %	0,34						
5	Spiss 4mm	2,8	2	12,9	40,5	39,3	37,3	39,0	15,1	303 %	0,35						
6	Spiss 4mm	3,5,7	3	12,9	55,3	56,9	51,3	54,5	30,5	422 %	0,46						
7	Spiss 4mm	2,5,8	3	12,9	44,7	46,7	48,3	46,6	22,6	361 %	0,41						
8	Spiss 4mm	2,4,6,8	4	12,9	62,7	64,5	65,7	64,3	40,3	498 %	0,51						
9	Spiss 4mm	1,3,5,7,9	5	12,9	78,3	66,3	71,7	72,1	48,1	559 %	0,55						
10	Spiss 4mm	1,2,3,4,5,6,7,8,9	9	12,9	56,5	47,9	42,9	49,1	25,1	381 %	0,43						

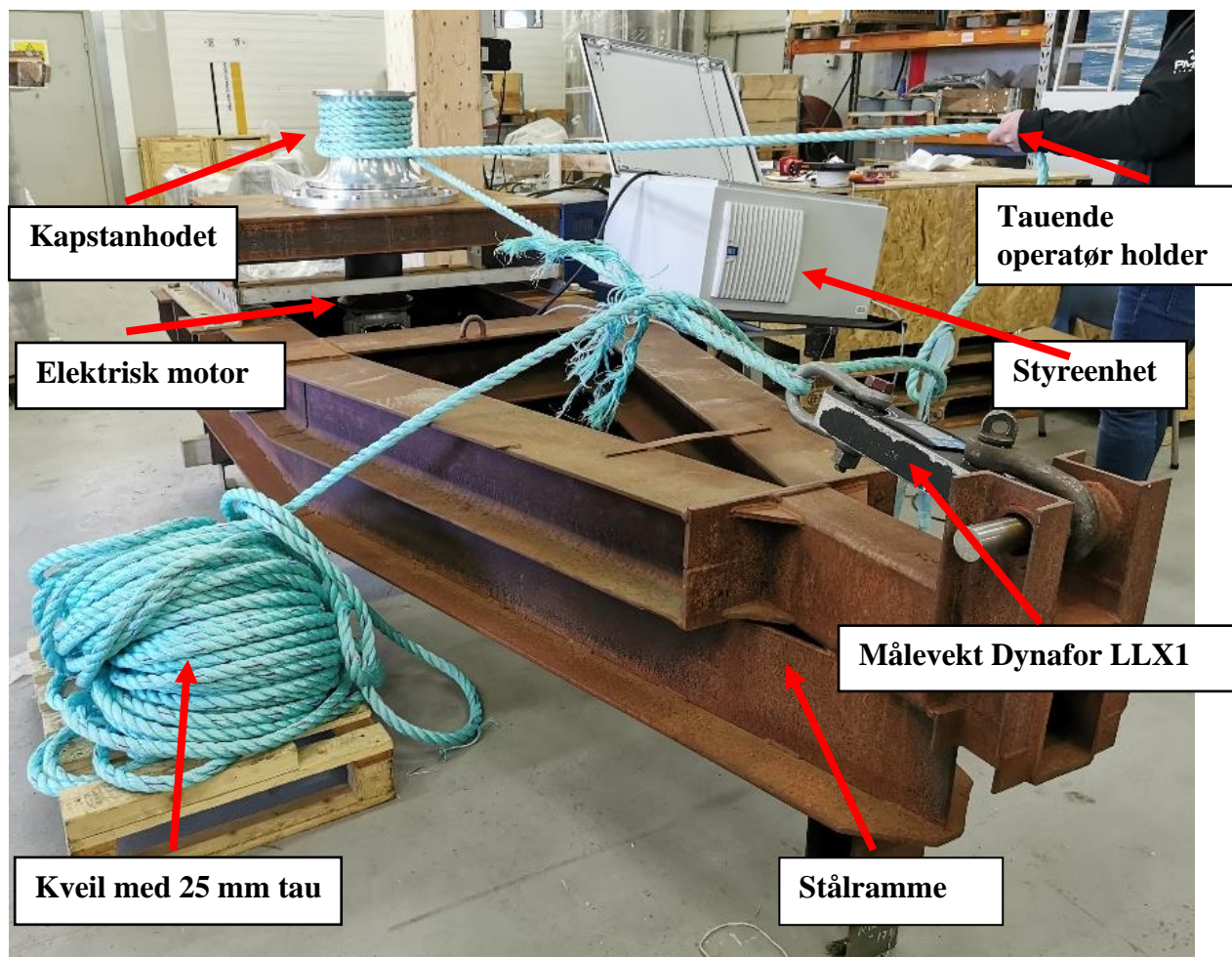
test x	type	plassering	antall	motvekt(kg))	Testforsøk Spiss 6mm			3 Gjennomsnitt målt vekt(kg)	differanse(kg)	Økning	H( eytelwein)
					1	2	2				
	1 Slett			12,9	25,7	24,9	23,7	24,8	0,0	100 %	0,21
	2 Spiss 6mm	5	1	12,9	34,3	34,3	33,7	34,1	9,3	192 %	0,21
	3 Spiss 6mm	4,6	2	12,9	47,6	47,9	44,3	46,6	21,8	264 %	0,31
	4 Spiss 6mm	3,7	2	12,9	41,2	40,3	39,8	40,4	15,7	313 %	0,36
	5 Spiss 6mm	2,8	2	12,9	43,1	44,3	43,9	43,8	19,0	339 %	0,39
	6 Spiss 6mm	3,5,7	3	12,9	55,2	65,5	62,7	61,1	36,4	474 %	0,50
	7 Spiss 6mm	2,5,8	3	12,9	62,5	61,3	60,5	61,4	36,7	476 %	0,50
	8 Spiss 6mm	2,4,6,8	4	12,9	78,9	82,1	83,5	81,5	56,7	632 %	0,59
	9 Spiss 6mm	1,3,5,7,9	5	12,9	81,5	78,3	80,3	80,0	55,3	620 %	0,58
	10 Spiss 6mm	1,2,3,4,5,6,7,8,9	9	12,9	47,3	43,3	42,3	44,3	19,5	343 %	0,39
test x	type	plassering	antall	motvekt(kg))	1	2	3	Gjennomsnitt målt vekt(kg)	differanse(kg)	Økning	H( eytelwein)
<b>Testforsøk Rille halv sirkel</b>											
	1 Slett			12,9	23,7	23,7	23,7	23,7	0,0	100 %	0,19
	2 Rille halv sirkel	4	1	12,9	25,3	24,5	24,9	24,9	1,2	105 %	0,21
	3 Rille halv sirkel	3,5	2	12,9	27,9	26,1	27,3	27,1	3,4	114 %	0,24
	4 Rille halv sirkel	2,6	2	12,9	27,3	28,1	26,3	27,2	3,5	115 %	0,24
	5 Rille halv sirkel	2,4,6	3	12,9	30,3	28,3	28,5	29,0	5,3	123 %	0,26
	6 Rille halv sirkel	1,4,7	3	12,9	28,3	28,3	29,1	28,6	4,9	121 %	0,25
	7 Rille halv sirkel	1,3,5,7	4	12,9	28,3	26,5	27,7	27,5	3,8	116 %	0,24
	8 Rille halv sirkel	1,2,3,4,5,6,7	7	12,9	35,5	38,5	37,3	37,1	13,4	157 %	0,34

test x	type	plassering	antall	motvekt(kg)	Testforsøk Rille m/fillet			1	2	3	Gjennomsnitt målt vekt(kg)	differanse(kg)	økning	µ (eytelwein)
					1	2	3							
1	Sløtt			12,9	25,7	23,7	23,7	24,4	0,0	100 %	0,20			
2	Rille m/fillet	4	1	12,9	24,9	24,9	24,7	24,8	0,5	102 %	0,21			
3	Rille m/fillet	3,5	2	12,9	27,5	27,7	26,3	27,2	2,8	111 %	0,24			
4	Rille m/fillet	2,6	2	12,9	28,5	28,3	28,3	28,4	4,0	116 %	0,25			
5	Rille m/fillet	2,4,6	3	12,9	27,9	28,3	28,5	28,2	3,9	116 %	0,25			
6	Rille m/fillet	1,4,7	3	12,9	28,1	28,5	26,7	27,8	3,4	114 %	0,24			
7	Rille m/fillet	1,3,5,7	4	12,9	28,1	29,1	27,5	28,2	3,9	116 %	0,25			
8	Rille m/fillet	1,2,3,4,5,6,7	5	12,9	30,7	32,5	30,5	31,2	6,9	128 %	0,28			
test x	type	plassering	antall	motvekt(kg)	1	2	3	Gjennomsnitt målt vekt(kg)	differanse(kg)	økning	µ (eytelwein)			
<b>Testforsøk Rille 4mm</b>														
1	Sløtt			12,9	25,3	23,9	23,5	24,2	0,0	100 %	0,20			
2	Rille 4mm	5	1	12,9	24,3	23,1	24,3	23,9	-0,3	99 %	0,20			
3	Rille 4mm	4,6	2	12,9	24,5	23,1	22,7	23,4	-0,8	97 %	0,19			
4	Rille 4mm	3,7	2	12,9	24,1	23,5	23,5	23,7	-0,5	98 %	0,19			
5	Rille 4mm	2,8	2	12,9	23,5	22,9	22,3	22,9	-1,3	94 %	0,18			
6	Rille 4mm	3,5,7	3	12,9	23,7	24,3	24,3	24,1	-0,1	99 %	0,20			
7	Rille 4mm	2,5,8	3	12,9	23,1	23,7	23,5	23,4	-0,8	97 %	0,19			
8	Rille 4mm	2,4,6,8	4	12,9	23,5	23,5	23,1	23,4	-0,9	96 %	0,19			
9	Rille 4mm	1,3,5,7,9	5	12,9	24,1	23,7	23,7	23,8	-0,4	98 %	0,20			
10	Rille 4mm	1,2,3,4,5,6,7,8,9	9	12,9	24,7	24,9	24,3	24,6	0,4	102 %	0,21			

# Vedlegg B: Regneark fra PMH testing

				
Forsøk med fulle tørrs	Trosse, 2 omslutninger (25 mm)			
	F_load	650 kg	F_load	2100 kg
	F_hold	45 kg	F_hold	45 kg
	Omslutningsvinkel, $\theta$	12,57 rad	Omslutningsvinkel, $\theta$	18,85 rad
	Friksjonskoeffisient, $\mu$	0,2125	Friksjonskoeffisient, $\mu$	0,2039
	Trosse, 3 omslutninger (25 mm)			
Forsøk medberegnet inn og utgang	Trosse, 3 omslutninger (25 mm)			
	F_load	335 kg	F_load	1725 kg
	F_hold	45 kg	F_hold	45 kg
	Omslutningsvinkel, $\theta$	18,85 rad	Omslutningsvinkel, $\theta$	25,13 rad
	Friksjonskoeffisient, $\mu$	0,1065	Friksjonskoeffisient, $\mu$	0,1451
	Trosse, 4 omslutninger (25 mm)			
Forsøk inkl. vinkel fra inn og ut (ca. 215 grader)	Trosse, 4 + 215 grader omslutninger (25 mm)			
	F_load	335 kg	F_load	1725 kg
	F_hold	45 kg	F_hold	45 kg
	Omslutningsvinkel, $\theta$	13,76 rad	Omslutningsvinkel, $\theta$	20,04 rad
	Friksjonskoeffisient, $\mu$	0,1459	Friksjonskoeffisient, $\mu$	0,1819
	Trosse, 5 omslutninger (25 mm)			
	Trosse, 4 + 215 grader omslutninger (25 mm)			
	F_load	335 kg	F_load	3210 kg
	F_hold	45 kg	F_hold	45 kg
	Omslutningsvinkel, $\theta$	18,85 rad	Omslutningsvinkel, $\theta$	31,42 rad
	Friksjonskoeffisient, $\mu$	0,1065	Friksjonskoeffisient, $\mu$	0,1358
	Trosse, 4 + 215 grader omslutninger (25 mm)			
	F_load	335 kg	F_load	3210 kg
	F_hold	45 kg	F_hold	45 kg
	Omslutningsvinkel, $\theta$	13,76 rad	Omslutningsvinkel, $\theta$	26,33 rad
	Friksjonskoeffisient, $\mu$	0,1459	Friksjonskoeffisient, $\mu$	0,1621

## Vedlegg C - PMH's Testrigg



PMH tester kapstanene før de blir utlevert til kunde. Bildet over viser test av 3 tonns kapstanen den 15/03/22. Motoren til kapstanen er en elektromotor der frekvensen blir begrenset slik at kapstanen ikke vil overstige den maksimale trekkraften den er designet for. Motoren er kapabel til å ha større trekkraft, men begrenses for å forebygge varmgang ved belastning over tid.

Prosjektgruppen har i samarbeid med PMH gjennomført testing av den nåværende 3 tonns kapstanen. Resultatene skal danne et sammenligningsgrunnlag for den nye løsningen.

Dynamometeret som brukes til å måle trekkraften er av typen [dynafor LLX1](#) 12,5 tonn. Denne har en måleusikkerhet på 0,2% av maksimumvekt.

## Vedlegg D: Risikoanalyse

Prosjektgruppen anser følgende punkter som sentrale under arbeidet med bacheloroppgaven.

1. Rekker ikke testing. (Middels sannsynlig, moderat konsekvens).
  - Grunnarbeidet til oppgaven kan ta lengre tid enn antatt slik at det ikke blir mulighet for testing av mulige løsninger før oppgavens innleveringsfrist.
  - Tiltak: Unngå forsinkelser i grunnarbeidet. Sterkt påvirket av resten av risikovurderingene.
2. Problemstillingen blir utydelig (Liten sannsynlig, svært alvorlig konsekvens).
  - Tiltak: skrive problemstillingen på en måte som ikke låser arbeidet som skal utføres av gruppemedlemmene
3. Gruppemedlem gjør ikke planlagt arbeid. (Liten sannsynlig, alvorlig konsekvens).
  - Tiltak: Samarbeidsavtale mellom gruppemedlemmene er utarbeidet
4. Tekniske problemer med for eksempel datamaskin. (Middels sannsynlighet, moderat konsekvens).
  - Tiltak: Alle dokumenter lagres på OneDrive for å hindre tap av arbeid
5. Liten eller ingen informasjonsflyt mellom de forskjellige partene (veileder, prosjektgruppen, bedrift, etc.). (Liten sannsynlig, Moderat konsekvens)
  - Tiltak: Prøve å få bedriften til å se på oss som en ressurs og ikke en byrde. Tilpasse kommunikasjonsfrekvensen slik at det blir passe både for prosjektgruppen og bedriften.
6. Personlige årsaker. (Liten sannsynlig, alvorlig konsekvens)
  - Tiltak: ingen
7. Mangel på informasjon. (Liten sannsynlig, moderat konsekvens)
  - Tiltak: Få innhentet nødvendige dokumenter på et tidlig tidspunkt, slik at arbeidet ikke blir mangelfull og uferdig.



Prosjektgruppen anser følgende punkter som sentrale under småskalatesting.

8. Testtrigg ryker. (Middels sannsynlig, alvorlig konsekvens)
  - Tiltak: Belastningen begrenses.
  
9. Tau ryker. (Liten sannsynlig, moderat konsekvens)
  - Tiltak: Bruk av tau med stor nok taustyrke.
  
10. Gruppemedlem får lodd på foten. (Middels sannsynlig, alvorlig konsekvens)
  - Tiltak: Vernesko.
  
11. Klemfare. (Middels sannsynlighet, moderat konsekvens)
  - Tiltak: Forsiktighet ved håndtering av lodd og bruk av hansker.
  
12. Ikke tilgang på verksted. (Middels sannsynlig, moderat konsekvens)
  - Tiltak: Planlegge med verksted i god tid før testingen.

Nummer	Risiko	Fare	Sannsynlighet	Konsekvens	Risikofarge
2	Utydelig problemstilling		Liten (2)	Svært alvorlig (5)	
8	Testtrigg ryker	Småskalatestingen blir ikke fullført	Middels (3)	Alvorlig (4)	
10	Gruppemedlem får lodd på foten	Gruppemedlem får knekte bein i foten	Middels (3)	Alvorlig (4)	
1	Ingen testing	Grunnarbeidet til oppgaven kan ta lengre tid enn antatt slik at det ikke blir mulighet for testing av mulige løsninger før oppgavens innleveringsfrist.	Middels (3)	Moderat (3)	
3	Gruppemedlemmer gjør ikke planlagt arbeid		Liten (2)	Alvorlig (4)	
6	Personlige årsaker	Oppgaven blir overlatt til et gruppemedlem	Liten (2)	Alvorlig (4)	
4	Tekniske problemer	Problemer med datamaskin	Middels (3)	Moderat (3)	
11	Klemfare	Fingre spesielt kan knekke eller få åpne sår	Middels (3)	Moderat (3)	
12	Ikke tilgang på verksted		Middels (3)	Liten (2)	
5	Dårlig kommunikasjon	Liten eller ingen kommunikasjon mellom forskjellige parter (veileder, bedrift og gruppe)	Liten (2)	Moderat (3)	
7	Informasjonsmangel		Svært liten (1)	Moderat (3)	
9	Tau ryker	Småskalatestingen blir ikke fullført	Svært liten (1)	Moderat (3)	

<b>S A N N S Y N L I G H E T</b>	5. Svært stor					
	4. Stor					
	3. Middels					
	2. Liten					
	1. Svært liten					
		1. Svært liten	2. Liten	3. Moderat	4. Alvorlig	5. Svært alvorlig
		<b>KONSEKVENNS</b>				

## Vedlegg E: Bilde av endelige løsninger



*Endelig løsning, 6stk. ribber  
H = 4mm  
B = 30mm*



*Endelig løsning, 8 stk. ribber  
H = 4mm  
B = 25mm*



*Endelig løsning, 10 stk. ribber  
H = 4mm  
B = 20mm*