



# Sjøkrigsskolen

## Bacheloroppgave

Vedlikeholdsflåte

Rapport

av

Emil Guldtweig & Vegar Sune

Marineingeniør maskin

Lvert som en del av krav til graden:

BACHELOR I MILITÆRE STUDIER MED FORDYPNING I MASKINFAG

Veileder: HLEK Gisle Strand

Avdelingsleder: FLEK Ellen Berle

Innlevert: 24 mai 2017

**Godkjent for offentlig publisering**

## Publiseringsavtale

### En avtale om elektronisk publisering av bachelor/prosjektoppgave

Kadettene har opphavsrett til oppgaven, inkludert rettighetene til å publisere den.

Alle oppgaver som oppfyller kravene til publisering vil bli registrert og publisert i Bibsys Brage når kadettene har godkjent publisering.

Oppgaver som er graderte eller begrenset av en inngått avtale vil ikke bli publisert.

Vi gir herved Sjøkrigsskolen rett til å gjøre denne oppgaven tilgjengelig elektronisk, gratis og uten kostnader	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei
Finnes det en avtale om forsinket eller kun intern publisering?	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nei
Hvis ja: kan oppgaven publiseres elektronisk når embargoperioden utløper?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei

## Plagiaterklæring

Vi bekrefter herved formelt at vi har skrevet denne oppgaven selvstendig. Vi har ikke nyttet annen hjelp enn det som er beskrevet i oppgaven.

Vi har tydelig markert og listet all litteratur og andre kilder vi har nyttet for å produsere oppgaven.

Vi er klar over at brudd på dette vil føre til avvisning av oppgaven.

### Dato:

Fenrik Emil Haugen Guldeig

Grad/Navn

\_\_\_\_\_  
Signatur

Fenrik Vegar Sune

Grad/navn

\_\_\_\_\_  
Signatur

## Forord

Denne oppgaven tar for seg utformingen av en vedlikeholdsflåte tilpasset utvendig vedlikehold av Nansen-klassen fregatter, etter bestilling fra Kapteinløytnant Anders Kvamme. Hensikten med en vedlikeholdsflåte er at man slipper at fregattene må forhalles og vendes for å kunne utføre utvendig vedlikehold på skrog. Dette kan redusere utgifter og være tidsbesparende for en del vedlikeholdsoppgaver.

Bestillingen gav fri utfoldelse i den hensikt at vi skulle komme med et uavhengig konsept som ikke var påvirket av ansatte i 1. Fregattskvadron. Med bakgrunn i dette har vi hatt lite kontakt med de ansatte. Unntaket er en forventningsavklaring av hvilke arbeidsoppgaver flåten skal håndtere og hvilke kostnadsrammer vi skulle forholde oss til.

Vi vil gjerne takke Gisle Strand for sitt brennende engasjement til vårt arbeid. Han er en utømmelig kilde av erfaring og informasjon som har hjulpet oss med å vurdere muligheter vi selv ikke ville sett. Strand har bidratt til å gi oss et bedre beslutningsgrunnlag.

Rapporten er bygd opp og skrevet slik at innholdet skal være forståelig for personer uten teknisk bakgrunn. For å kunne etterprøve beregningene som er gjort anser vi det som nødvendig å ha en ingeniørfaglig bakgrunn.

Bergen, Sjøkrigsskolen, 24-mai-2017.

---

Emil Guldteig

---

Vegar Sune

## Oppgaveformulering

**1. Fregattskvadron har et behov for en løsning slik at utvendig skipsarbeid og vedlikehold kan utføres uten at fartøyet må forhales og vendes.**

Denne oppgaven tar for seg utformingen av en vedlikeholdsflåte. Hensikten er å effektivisere utvendig vedlikeholdsarbeid på skutesiden til Nansen-klassen fregattene. Med effektivisering er målet å spare tid, kostnader og ressurser.

## Sammendrag

Hensikten med denne oppgaven var å utarbeide en løsning som kan hjelpe 1. Fregattskvadron til å gjennomføre utvendig vedlikehold av skrogene. I første omgang ble det gjort en behovsanalyse hvor det kom frem at 1. Fregattskvadron hadde sett for seg en type flåteløsning hvor man kan gjøre vedlikehold på ankerene. Etter hvert ble det utarbeidet tilleggskrav som ble sett på som nødvendige for at det i det hele tatt skulle være noe poeng i å konstruere flåten. Disse kravene ble satt for å holde seg innenfor regelverk og for å kunne opprettholde viktige funksjoner som arbeidshøyde og lastekapasitet.

Videre ble det arbeidet med flere forskjellige konseptvarianter før det ble gjort valg om å gjennomføre generelle utregninger for tre skrogkonsepter. Med bakgrunn i beregningene ble det bestemt å utvikle et rektangulært skrog som har en typisk lekterform. Samme fremgangsmåte ble også gjort med arbeidsplattformen hvor vi endte på en modulbasert hesteskoliknende løsning. Dette for å kunne utføre vedlikeholdsarbeid fremme i baugen på fregattene når det er behov for dette.

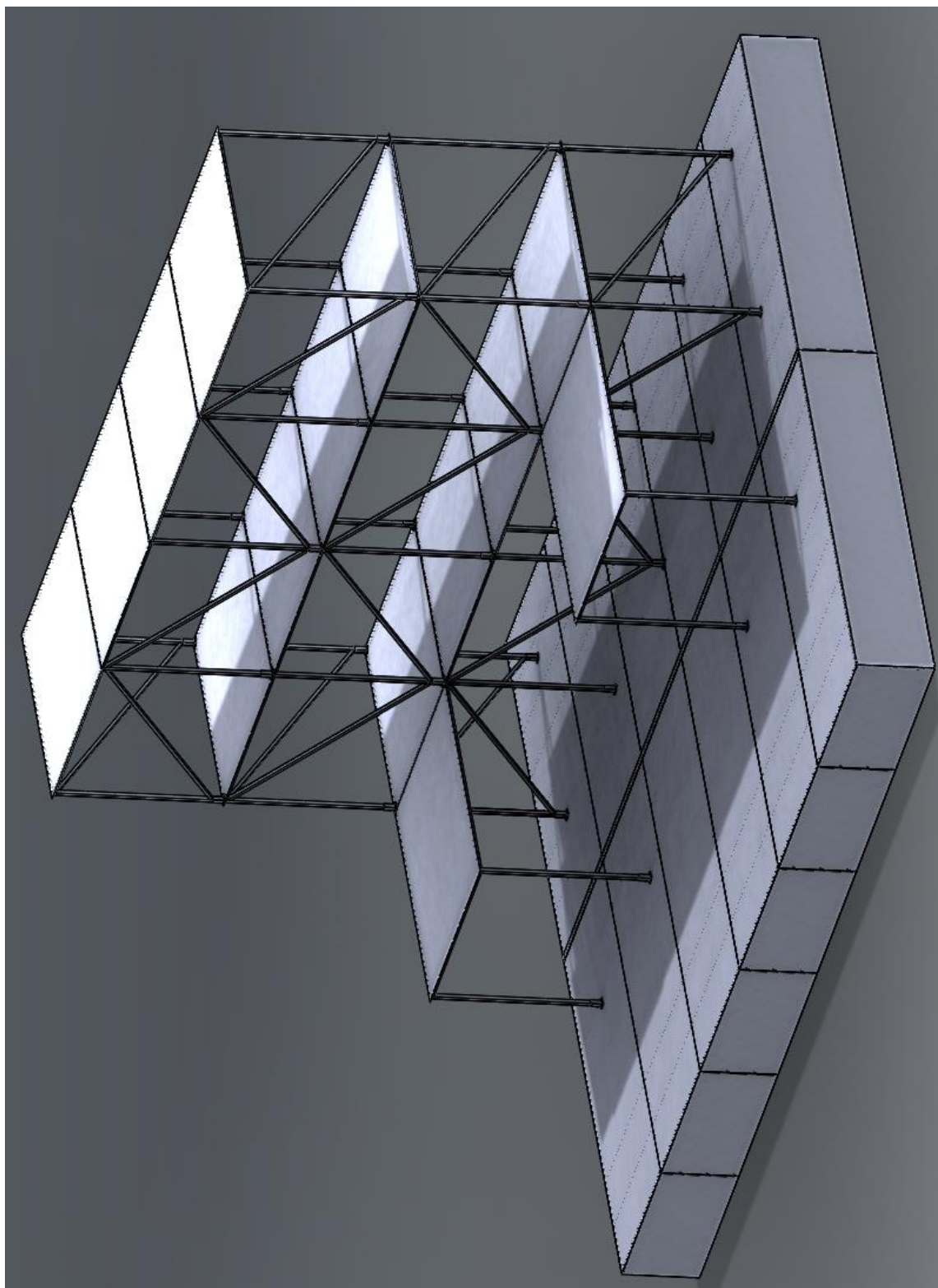
Oppgaven har hatt et stort fokus på å lage en vedlikeholdsflåte som ikke trenger mye fremtidig vedlikehold.

Det er utarbeidet et eget kapittel slik at konseptet kan videreutvikles (kapittel 3.4). Her er det presentert flere forslag til flåten som kan tilrettelegge for et større mangfold av arbeidsoppgaver. Dette kan brukeren selv være med på å bestemme når flåten skal konstrueres. Det er viktig å ta høyde for at endringer kan medføre økt vedlikehold.

**Vi anbefaler at det blir bygd en vedlikeholdsflåte med en spesialtilpasset arbeidsplattform. Den kan basere seg på våre beregninger og underlag. For spesifikasjoner se kapittel 3. Dersom vår løsning blir valgt anbefaler vi at det blir sett nærmere på elementene i kapittel 4. Det anbefales også at det blir utført en kostnadsanalyse før et valg blir tatt.**

Det understrekes at det er store problemer med rust på ankerene til Nansen-klassen. Ankerene er en vital del av et skip, og en vedlikeholdsflåte vil være med på å optimalisere vedlikeholdsarbeidet.

## Vedlikeholdsflåte med arbeidsplattform



# Innholdsfortegnelse

<b>Figurer .....</b>	<b>1</b>
<b>Tabeller .....</b>	<b>3</b>
<b>Nomenklatur.....</b>	<b>4</b>
<b>1 Introduksjon .....</b>	<b>9</b>
1.1 Bakgrunn .....	9
1.2 Definisjoner .....	10
1.3 Mål.....	11
1.4 Begrensninger.....	12
1.5 Metode.....	12
1.6 Struktur.....	15
1.7 Beregningsmetoder og teori .....	15
1.7.1 Hydrostatikk.....	16
1.7.2 Mekanikk (statikk) og materiallære .....	17
1.7.3 Skipskonstruksjon .....	19
1.7.4 ISO 12215-5:2008.....	21
<b>2 Konseptutvikling.....</b>	<b>22</b>
2.1 Behovsanalyse .....	22
2.2 Krav til flåteløsningen .....	23
2.3 Alternativanalyse .....	29
2.4 Målhierarki .....	29
2.5 Idéer og tidlige konsept .....	30
2.6 Forsøk 1: Valg av flåtens dimensjoner.....	34
2.7 Konseptvarianter.....	34
2.7.1 Skrog .....	35
2.7.2 Arbeidsplattformer .....	37
2.7.3 Fremdrift og forflytning .....	41
2.7.4 Festeanordning til skuteside.....	43
2.8 Forsøk 2: Sammenlikning av egenskaper til Skrog 1, 2 og 3.....	44
2.9 Forsøk 3: Sammenlikning og testing av arbeidsplassform-konsepter.....	46
2.10 SWOT-analyse av konseptvarianter .....	49



2.10.1 Skrog .....	50
2.10.2 Arbeidsplattformer .....	51
2.10.3 Fremdrift og forflytning .....	52
2.10.4 Festeordninger .....	53
2.11 Valg av konseptuell løsning .....	54
<b>3 Design og konstruksjon av flåte .....</b>	<b>57</b>
3.1 Hoveddimensjoner og hydrostatiske data.....	57
3.2 Omsetning av krav.....	60
3.2.1 Skrog .....	60
3.2.2 Arbeidsplattform .....	63
3.2.3 Plassering av arbeidsplattform på skrog .....	66
3.3 Arbeidstegninger av ferdigstilt konsept.....	69
3.4 Oppfylning av behov .....	75
3.5 Oppfylning av skal-krav .....	75
3.6 Oppfylning av bør-krav .....	76
<b>4 Videreutvikling .....</b>	<b>77</b>
4.1 Skrog.....	77
4.2 Arbeidsplattform.....	78
4.3 Fremdrift.....	80
<b>5 Anskaffelse og kostnader .....</b>	<b>81</b>
5.1 Kostnadsramme .....	81
5.2 Innkjøpsliste .....	81
5.2.1 Total sum innkjøp .....	81
<b>6 Drift og vedlikehold.....</b>	<b>83</b>
6.1 Vedlikeholdsrutiner .....	83
6.2 Eierskap .....	83
6.3 Manual.....	84
<b>7 Konklusjon .....</b>	<b>85</b>
<b>8 Sluttord med ettertanker .....</b>	<b>86</b>
8.1 Anmodning for Sjøkrigsskolen.....	87
<b>Kildehenvisning.....</b>	<b>88</b>

---

**Vedlegg..... 90**

## Figurer

Figur 1: WBS-diagram.....	13
Figur 2: Gantt-diagram .....	14
Figur 3: Seilbåtfinne .....	30
Figur 4: Stabilisatorfinner .....	31
Figur 5: V-form (sett ovenfra) .....	31
Figur 6: Oljerigg .....	32
Figur 7: Edderkoppbein (sett ovenfra).....	33
Figur 8: Skrå ripe (sett fra siden) .....	33
Figur 9: Skrog 1 .....	35
Figur 10: Skrog 2 .....	36
Figur 11: Skrog 3 .....	37
Figur 12: Skrog 3 lastet.....	37
Figur 13: Arbeidsplattform 1 .....	38
Figur 14: Arbeidsplattform 1 – klargjort for vedlikehold i baug .....	39
Figur 15: Arbeidsplattform 2 .....	40
Figur 16: Arbeidsplattform 3 .....	41
Figur 17: Integreert passform .....	42
Figur 18: Påbygd passform .....	43
Figur 19: Arbeidsplattform 1 .....	47
Figur 20: Arbeidsplattform 2 .....	48
Figur 21: Valgt konsept .....	56
Figur 22: Tverrskips tverrsnitt av skroget.....	61
Figur 23: Langskips tverrsnitt av skroget .....	62
Figur 24: Plassering av deler til arbeidsplattform.....	64
Figur 25: Lastfordeling horisontale bjelker .....	65
Figur 26: Lastfordeling plater .....	65
Figur 27: Plassering av arbeidsplattform sett ovenfra .....	67
Figur 28: Plassering av arbeidsplattform sett forfra .....	68
Figur 29: Flåteløsningen i 3D .....	69
Figur 30: Overblikk arbeidstegninger.....	70
Figur 31: Arbeidstegning (sett langskips).....	71
Figur 32: Arbeidstegning (sett tverrskips).....	72

---

Figur 33: Arbeidstegning (sett ovenfra).....	73
Figur 34: Arbeidstegning (sett på skrå) .....	74

## Tabeller

Tabell 1: Beregninger av strekk- og trykkspenninger .....	45
Tabell 2: Flåtens dimensjoner og hydrostatiske data (uten ballasttanker).....	58
Tabell 3: Valg av deler til overbygg .....	66
Tabell 4: Total sum innkjøp.....	82

## Nomenklatur

---

### Generelt

---

ISO	Organisasjon for Internasjonal Standardisering	International Organization for Standardization
KK	Kommandørkaptein	Commander, Senior Grade
KL	Kapteinløytnant	Lieutenant Commander
KNM	Kongelige Norske Marine	His Norwegian Majesty's Ship (HNoMS)
KVM	Kvartermester	Petty Officer
OK	Orlogskaptein	Commander
WBS	Arbeidsoppdeling	Work Breakdown Structure

---

**Beregninger stabilitet og flyteevne**

$BM_L$	m	Langskips metasenterradius	Longitudinal metacentric radius
$BM_T$	m	Tverrskips metasenterradius	Transversal metacentric radius
$B_{wl}$	m	Bredde i vannlinjen	Width of waterline
$C_b$	1	Blokkoeffisient	Block coefficient
F	m	Fribord	Freeboard
FSE	m	Fri væskeoverflate korleksjon	Free surface effect
$GM_L$	m	Langskips metasenterhøyde	Longitudinal metacentric height
$GM_T$	m	Tverrskips metasenterhøyde	Transversal metacentric height
GZ	m	Krengende arm	Righting arm
H	m	Skrogets høyde	Hull height
LCB	m	Langskips oppdriftssenter	Longitudinal centre of buoyancy
LCF	m	Langskips flotasjonsenter	Longitudinal centre of flotation
LCG	m	Langskips tyngdepunkt	Longitudinal centre of gravity
$L_{wl}$	m	Lengde i vannlinjen	Length of waterline
$MTI_{cm}$	tm/cm	Enhetstrimmoment	Moment to change trim by 1 cm
T	m	Dypgang	Draft
TCG, GG'	m	Tverrskips tyngdepunkt	Transversal centre of gravity
$TP_{cm}$	t/cm	Tonn per cm	Ton per cm immersion
VCB, $KB_T$	m	Vertikalt oppdriftssenter	Vertical centre of buoyancy
VCG	m	Vertikalt tyngdepunkt	Vertical centre of gravity
w	tonn	Vekt	Weight
$\Delta$	tonn	Deplasement	Displacement
$\theta$	grader	Krengvinkel	Incline
$\alpha$	grader	Trimvinkel	Trim angle
$\nabla$	$m^3$	Undervannsvolum	Volume under water

**Beregninger platetykkelse**

$b_a$	mm	Bredde mellom avstivere	Short dimension of the panel
$k_2$	1	Faktor for bredde-/lengdeforhold ved bøyestyrke	Panel aspect ratio factor for bending strength
$k_c$	1	Korreksjonsfaktor for kurvatur i plater	Curvature correction factor for plating
$l$	mm	Lengde mellom skott	Large dimension of the panel
$l/b$	1	Lengde/bredde konstant	Constant
$L_{wl}$	m	Lengde vannlinje	Length waterline
$p_{atm}$	Pa	Trykk atmosfære	Pressure atmosphere
$p_b$	$kN/m^2$	Trykk bredside	Hydrostatic pressure broadside
$p_{dekk}$	$kN/m^2$	Trykk dekk	Pressure deck
$p_{kjøl}$	$kN/m^2$	Trykk ved kjøll	Hydrostatic pressure keel
$p_l$	$kN/m^2$	Trykk langside	Hydrostatic pressure longside
$t_b$ og $t_l$	mm	Platetykkelse bredside og langside	Plate thickness longside and broadside
$t_{dekk}$	mm	Platetykkelse dekk	Plate thickness deck
$t_{dekkmin}$	mm	Minimum platetykkelse dekk	Minimum plate thickness deck
$t_{kjøl}$	mm	Platetykkelse kjøll	Plate thickness keel
$\gamma_{sjø}$	$N/m^3$	Spesifikk vekt	Specific weight
$\Delta p$	Pa	Trykkforskjell mellom atm og kjøll	Pressure difference between atmosphere and sea
$\sigma_d$	$N/mm^2$	Konstruksjonsverdi for arbeidspenning	Design direct stress



## Beregninger skrog

$\Delta_{flåte}$	t	Stålvækt flåte	Steel weight fleet
$\Delta_{total}$	t	Totalvekt flåte og last	Total weight fleet and loads
A.N.A.	mm	Antatt nøytralakse	Assumed neutral axis
$A_{wl}$	m <sup>2</sup>	Vannlinjearealet	Waterline area
B	mm	Bredde	Width
b	mm	Bredde	Width
$B_f$	m	Bredde flåte	Width fleet
d	mm	Avstand N.A. til A.N.A.	Distance from neutral axis to assumed neutral axis
g	m/s <sup>2</sup>	Tyngdekraft	Gravity
H	mm	Høyde	Height
h	mm	Høyde	Height
$h_c$	mm	Avstand fra nøytralaksen	Distance from neutral axis
$H_f$	m	Høyde flåte	Height fleet
$I_0$	mm <sup>4</sup>	Arealtreghetsmoment om eget arealsenter	Moment of inertia about own area centre
$L_f$	m	Lengde flåte	Length fleet
$M_b$	tm	Bøyemoment	Bending moment
N.A.	mm	Nøytralakse	Neutral axis
q	t/m	Lastfordeling per meter	Load weight
s	mm	Tykkelse	Thickness
T	m	Dypgang	Depth
t	mm	Tykkelse	Thickness
$V_s$	t	Skjærkrefter	Shear forces
$y_0$	mm	Arealsenter	Area centre
Z	mm <sup>3</sup>	Seksjonsmodul	Section Modulus
$\rho_{sjø}$	kg/m <sup>3</sup>	Tetthet sjø	Density seawater
$\sigma_{bøy}$	Mpa	Spenning i tverrsnittet på grunn av bøyning	Tension in the cross section due to bending moment

---

**Beregninger til overbygg**

A	m <sup>2</sup>	Areal	Area
B	mm	Bjelkens ytre bredde	Beam outer width
b	mm	Bjelkens indre bredde	Beam inner width
F	N	Kraft	Force
H	mm	Bjelkens ytre høyde	Beam outer length
h	mm	Bjelkens indre høyde	Beam inner length
k	1	Knutepunkt	
L	m	Lengde	Length
M	Nm	Bøyemoment	Bending moment
n	1	Sikkerhetsfaktor	Safety factor
Q	N/m	Kraftfordeling per meter	Distribution of force per meter
r	1	Lagerreaksjoner i fagverk	Reaction forces in truss structures
Re	MPa	Flytegrense	Yield stress
s	1	Staver i fagverk	Diagonal beams in truss structures
W	m <sup>3</sup>	Motstandsmoment	Area moment of inertia
x	m	Arm	Moment arm
$\sigma_b$	MPa	Bøyespennning	Tension in the cross section
$\sigma_x$	Pa	Normalspenning	Tensile stress

---

# 1 Introduksjon

Dette er en bacheloroppgave skrevet av Fenrik Emil Guldteig og Fenrik Vegar Sune på Sjøkrigsskolen ved Laksevåg i Bergen i perioden januar til mai 2017.

## 1.1 Bakgrunn

Forsvaret har i det siste blitt kraftig kritisert for manglende kostnadseffektivitet. Med kostnadseffektivitet menes at mål skal nås til lavest mulig kostnader for samfunnet. Som en følge har det blitt gjort noe mange mener er radikale tiltak. Disse tiltakene er utredet i Langtidsplanen for Forsvaret (Prop. 151 S 2015-2016). Mange av tiltakene som er gjort innebærer kostnadsreduksjoner. Kampkraft og bærekraft er viktige begreper som brukes om fremtiden til Forsvaret. Bevilgingene som blir spart skal flyttes til den «spisse ende».

I perioden 2006-2011 ble de norske fregattene av Fridtjof Nansen-klassen satt inn i operativ tjeneste. Til tross for flere påviste svakheter som manglende reservedeler, våpensystemer og helikoptre begynner det å se lysere ut. Med disse tingene på plass, sammen med økte bevilgninger til den spisse ende, kan det tenkes at fregattene vil seile oftere og utføre et økende antall oppdrag for Norge i fremtiden. Følgelig vil det sannsynligvis bli behov for mer utvendig vedlikehold av skrogene.

I følge KL Anders Kvamme i dialog med Gisle Strand, hadde 1. Fregattskvadron et sikkerhetsråd i midten av desember 2014, og i forlengelsen av en diskusjon kom det frem et behov for «en vedlikeholdsflåte med stillas» opp som tema. Dette ble vurdert til å være en potensiell bacheloroppgave for marineingeniørkadetter ved Sjøkrigsskolen.

Slik situasjonen er i dag så er fregattene nødt til å forhales og vendes når de ligger til kai for at utvendig vedlikehold skal kunne utføres. Årsaken er at vedlikehold kun kan utføres på siden som ligger til kai ved hjelp av flyttbar lift. Dette kan betegnes som en ineffektiv, lite ergonomisk og kostbar prosess. En lift vil ikke komme til overalt på grunn av dens arm. I tillegg er det en liten plattform, som har plass til en til to mann.

Denne oppgaven ser på en løsning som kan bidra til å effektivisere prosessen. Med effektivisering menes å spare tid, kostnader og ressurser. Løsningen kan gjøre utvendig vedlikehold billigere og mest mulig praktisk ved bruk av færrest mulig ressurser.

Det har blitt vurdert ulike metoder som kan hjelpe mannskapet i deres arbeid, se under alternativanalyse (2.5). Basert på samtaler med oppdragsgiver, veileder og annet relevant personell har valget falt på en løsning som er en flåte med spesialtilpasset stillas eller arbeidsplattform.

En slik løsning forventes å kunne hjelpe 1. Fregattskvadron stort i deres arbeid, likeså bidra til kostnadsreduksjoner i Forsvaret.

## 1.2 Definisjoner

### **Flåten**

Flåten er dimensjonert til å ha en lengde på 12 meter, og i henhold til norsk lov defineres den da som småbåt (Jfr. Lov 1998, §1). Siden den skal brukes i tilknytning til en fregatt har vi likevel valgt å inkorporere og bruke deler av skipssikkerhetsloven (Lov 2007).

### **Arbeidsplattform**

Stillas kan defineres som midlertidig arbeidsplattform. De er ofte tynne og lette konstruksjoner som brukes på land i tilknytning til et bygg. Det blir derfor unøyaktig å kalle arbeidsplattformen et stillas da det er tenkt til å være en permanent og solid innretning som skal tåle bevegelser i sjø, vindbelastninger og trykk mot et skips skuteside. Velger derfor å definere innretningen som en fast arbeidsplattform og ikke et stillas.

### 1.3 Mål

Dette delkapittelet beskriver mål som er satt for prosjektet.

**Effektmål:**

1. Fregattskvadron gjennomfører utvendig vedlikehold til lavere kostnad og kortere tid enn i dag.

**Eget mål:**

Prosjektgruppen ønsker at Sjøforsvaret vil bevilge midler til å bygge flåten basert på oppgavens beregninger og underlag, slik at 1. Fregattskvadron og andre skrog i KNM kan bruke den.

**Tid:**

Prosjektet skal være avsluttet innen 24 mai 2017.

**Økonomi:**

Kostnadsrammen for prosjektet er *kr 20 000,-*.

Kostnadsrammen for flåten er *ubegrenset*<sup>1</sup>. Prosjektet har likevel et mål om å være kostnadseffektivt opp mot behov og krav.

**Kvalitet:**

Produktet skal være solid og tilfredsstillende gjeldende regelverk (norske lover og forskrifter).

---

<sup>1</sup> Etter samtale med KK Geir Sten ble det gjort klart at flåten ikke skulle ha noen økonomiske begrensninger. Sten mente at så lenge at dette var et godt konsept, spilte det ingen rolle om flåten hadde en kostnad på en, fem eller sju millioner kroner.

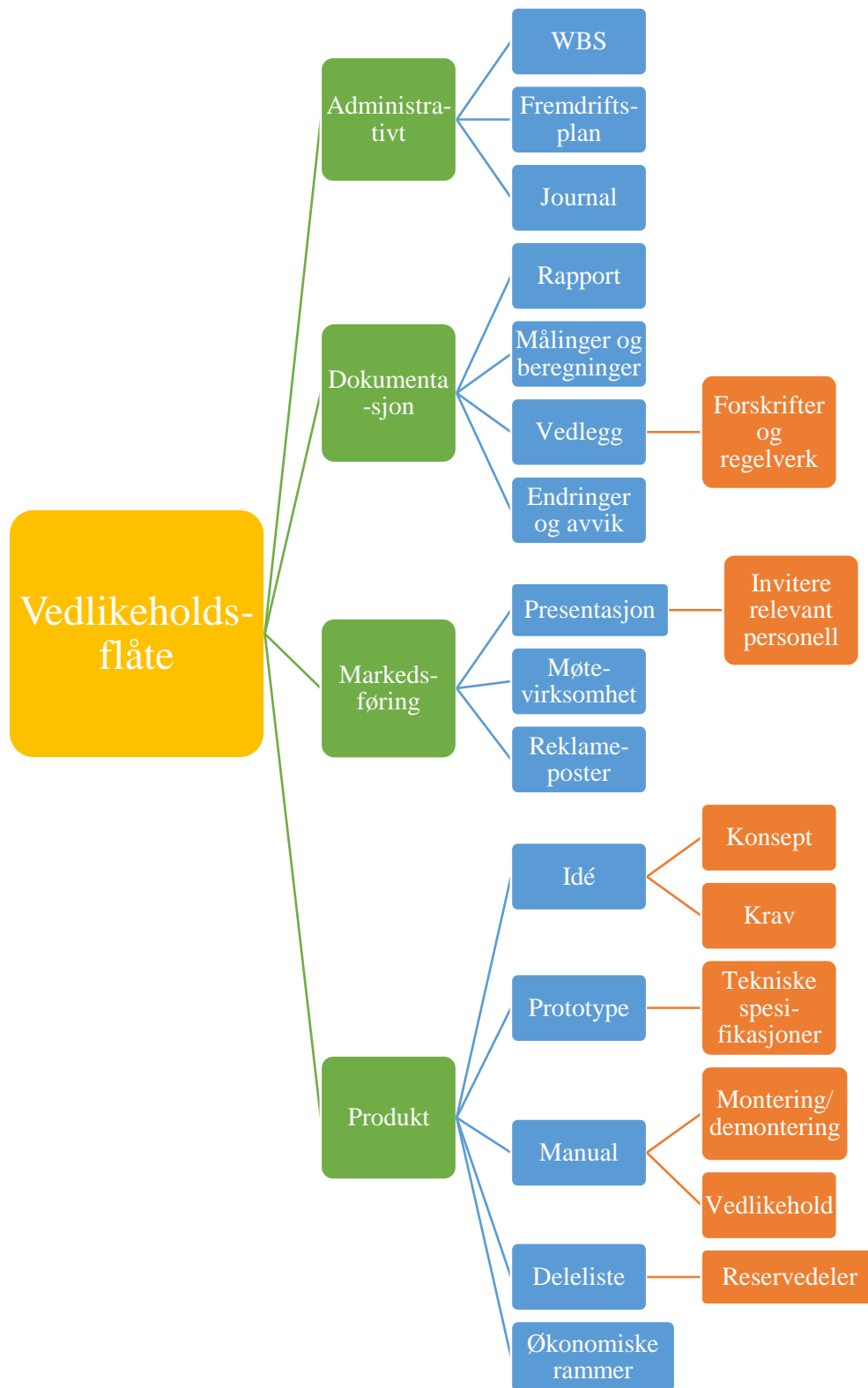
## 1.4 Begrensninger

I utgangspunktet ble det gitt frie tøyler i oppgaven fra 1. Fregattskvadron, i den hensikt at vi skulle kunne utfolde oss og komme opp med et uavhengig produkt. For at ikke oppgaven skulle bli for stor ble det satt begrensninger på hvor mye som skulle dekkes av utregninger. Valget falt på at sluttproduktet måtte være innenfor gitte rammer for at det skulle være mulig å bygge flåten. Bakgrunnen for dette valget var ønsket om å se på flere konsepter til flåteløsningen slik at man ikke var bundet av et forhåndsbestemt resultat for å løse problemet på. Det var heller ikke stort fokus på kostnader og økonomi i oppgaven ettersom dette hovedsakelig er en konstruksjonsoppgave. Det ble utarbeidet en innkjøpsliste av materialer som baserer seg på at flåten bygges med hyllevarer fra Norsk Stål. Videre er det ikke brukt nevneverdig tid til å se på mulige integrerte og avanserte løsninger som kan forenkle vedlikeholdsarbeidet.

## 1.5 Metode

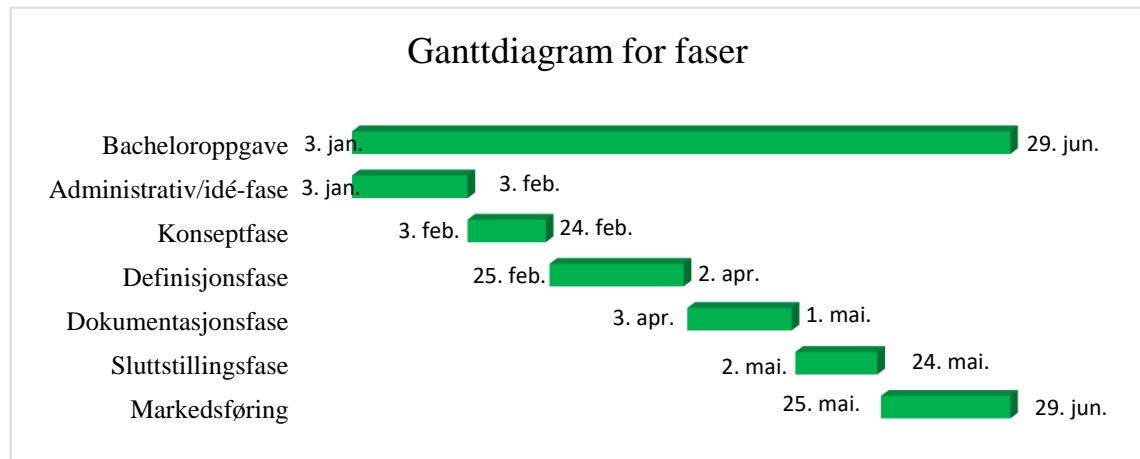
Dette delkapittelet har til hensikt å beskrive hvilke metoder som har blitt brukt for å løse oppgaven.

Etter å ha fått oppdraget fra KL Kvamme og hatt forventningsavklaringer, ble det utarbeidet et WBS-diagram. WBS-diagrammet bryter prosjektet ned i ulike deler som synliggjør arbeidsoppgavene på en måte som fremmer systematikk og oversikt. Se Figur 1.



**Figur 1: WBS-diagram**

Videre ble det laget et Gantt-diagram eller tidsplan for fremdrift i prosjektet. Den illustrerer fremdriftsplanen fra prosjektoppstart til presentasjon av oppgave, med milepæler underveis. Se Figur 2.



**Figur 2: Gantt-diagram**

Samtidig som vi jobbet fremover i de ulike fasene, sørget vi for å dokumentere alt som ble gjort. Det ble ført journal frem til mars, ellers så ble alt som ble gjort lagt inn i en mappestruktur på OneNote. På grunn av at OneNote ble brukt til å samle all informasjon og at det var god kommunikasjon i prosjektgruppen var det ikke lengre hensiktsmessig å føre journal. Etter at et foreløpig kravdokument hadde blitt bestemt og grunnleggende stabilitetsberegninger utført ble det utarbeidet flere ulike og prinsipielt forskjellige flåteløsninger med tilhørende styrkeberegninger. Kravdokumentet og kundens behov har vært styrende for hele prosjektet sammen med dimensjonene og den valgte ISO-standard, ISO 12215-5:2008, for styrkeberegninger. Tidsplanen gav en tilfredsstillende oversikt over milepæler. Innholdet og lengden på hver fase var utfordrende å beregne på forhånd. Den ble derfor mer «flytende» enn vist i diagrammet og dette førte til jobbing på tvers av flere faser samtidig. Dette fungerte slik at arbeidet ofte ble kvalitetsjekkset.



## 1.6 Struktur

Utgangspunktet for strukturen i oppgaven er Sjøkrigsskolens mal for skriving av bacheloroppgave. Denne strukturen har blitt tilført flere punkter underveis som i stor grad har en sammenheng med Forsvarets metode for prosjektarbeid – PRINSIX.

Det ses som hensiktsmessig at oppgaven leses med nomenklatura og teori liggende tilgjengelig for å lett kunne slå opp hva som menes med blant annet forkortelser og referanser. Kilder blir henvist underveis i parenteser med forfatters etternavn, årstall og sidetall. Dette kan være erstattet av eksempelvis «Lov» eller «Forskrift» (For.) etterfulgt av tilskilte paragraf (§). Kapitler vil også være henvist til på denne måten. Når det for eksempel står (1.7.3), er hensikten at en skal bla opp i innholdsfortegnelsen for å se hvor det ligger. I tillegg er blir det henvist til vedlegg ved flere anledninger, som er i eget dokument (Guldteig & Sune 2017).

Under kapitler og delkapitler vil det ofte være en forklaring for å gi leseren en forståelse av hva som kommer. Dette er et forsøk på å binde oppgaven sammen slik at alt fyller en hensikt.

I selve rapporten blir det gjort rede for teori og fremgangsmåter samt resultater, mens beregninger blir henvist til i vedlegg.

## 1.7 Beregningsmetoder og teori

Dette kapitlet beskriver formlene som har blitt brukt til å utføre beregninger i prosjektet. Det er brukt hydrostatikk, mekanikk (statikk), materiallære, skipslære og formler hentet fra ISO-standarden NS-EN ISO 12215-5:2008.

### 1.7.1 Hydrostatikk

---

Spesifikk vekt sjø

$$\gamma_{sjø} = \rho_{sjø} * g \quad (H1)$$

---

Trykk ved kjøll

$$p_{kjøll} = \frac{p_{atm} + \gamma_{sjø} * T}{1000} \quad (H2)$$

---

Trykkforskjell mellom atm og kjøll

$$\Delta p = p_{kjøll} - p_{atm} \quad (H3)$$

---

Trykk bred-/langside

$$p_b = p_l = \frac{2 * \gamma_{sjø} * T}{3 * 1000} \quad (H4)$$

---

Trykk dekk

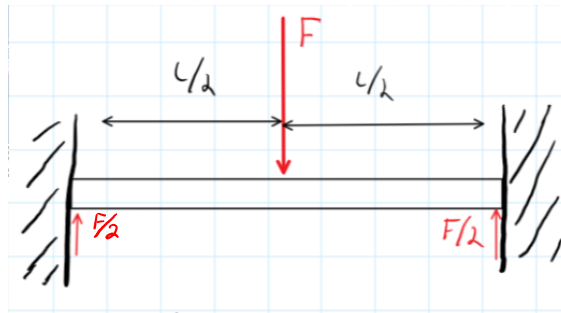
$$p_{dekk} = \frac{F_{anker}}{1000 * A_{anker}} \quad (H7)$$

---

## 1.7.2 Mekanikk (statikk) og materiallære

Bøyemoment ved punktlast og fast innspent bjelke

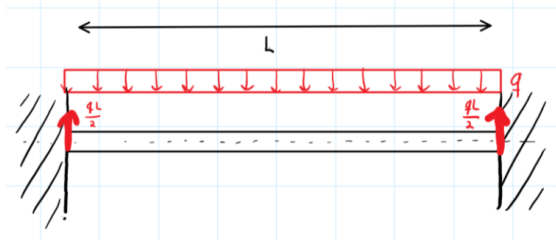
$$M = \frac{FL}{2} \left( \frac{3}{4} - \frac{x}{L} \right)$$



(M1)

Bøyemoment ved fordelt last og fast innspent bjelke

$$M = \frac{-qxL}{2} \left( \frac{1}{6} - \frac{x}{L} + \frac{x^2}{L^2} \right)$$



(M2)

Motstandsmoment for firkantede hulprofiler

$$W = \frac{BH^3 - bh^3}{6H}$$

(M3)

Bøyespennning ved vertikalt bøyemoment

$$\sigma_b = \frac{M}{W} = \frac{M_b}{I_{xx}} * \bar{y}$$

(M4)

Normalspenning

$$\sigma_x = \frac{F}{A}$$

(M5)

Sikkerhetsfaktor

$$n = \frac{Re}{\sigma}$$

(M6)

Newtons tredje lov:

$$\Sigma F = 0 \quad (M7)$$

$$\Sigma M = 0 \quad (M8)$$

Arealtreghetsmoment om egen akse (Steiners sats)

$$I_{xx} = I_{0i} + h_c^2 * A_i \quad (M9)$$

Lastfordeling

$$q(x) = \frac{dV(x)}{dx} = \frac{d^2M(x)}{dx^2} \quad (M10)$$

Skjærspenning

$$V(x) = \int_0^L q(x) dx \quad (M11)$$

Bøyemoment

$$M(x) = \int_0^L V(x) dx \quad (M12)$$

Arealtreghetsmoment om eget arealsenter

$$I_{0bjelke} = I_{0ramme} = \frac{(B * H^3 - b * h^3)}{12} \quad (M13)$$

$$I_{0T-stål} = \frac{(H * B^3 + h * b^3)}{12}$$

$$I_{0dekkplate} = I_{0bunnplate} = \frac{B * H^3}{12}$$

$$I_{0sideplae} = I_{0skott} = \frac{H * B^3}{12}$$

### 1.7.3 Skipskonstruksjon

---

Langskips tyngdepunkt

$$LCG = \frac{\sum w_i * LCG_i}{\sum w_i} \quad (S1)$$

---

Vertikalt tyngdepunkt

$$VCG = \frac{\sum w_i * VCG_i}{\sum w_i} \quad (S2)$$

---

Tverrskips tyngdepunkt

$$TCG = GG' = \frac{\sum w_i * TCG_i}{\sum w_i} \quad (S3)$$

---

Tverrskips metasenterradius

$$BM_T = \frac{B_{wl}^3 * L_{wl}}{12 * B_{wl} * L_{wl} * T} \quad (S4)$$

---

Langskips metasenterradius

$$BM_L = \frac{L_{wl}^3 * B_{wl}}{12 * B_{wl} * L_{wl} * T} \quad (S5)$$

---

Kreng-/trimvinkel for vinkler < 10°

$$\theta = \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{GG'}{GM_T} \right) \quad (S6)$$

---

Krengende arm

$$GZ = GM_T * \sin \theta \quad (S7)$$


---

---

Enhetstrimmoment

$$MT1_{cm} \approx \Delta * BM_L * \frac{1cm}{L_{wl}} \quad (S8)$$

---

Tonn per centimeter

$$TP_{cm} = L_{wl} * B_{wl} * 0,01 * \rho \quad (S9)$$

---

Arealtreghetsmoment om antatt nøytralakse

$$I_{ANA} = \sum I_0 + \sum A_i * h_i^2 \quad (S10)$$

---

Arealtreghetsmoment om faktisk nøytralakse

$$I_{NA} = I_{ANA} - \sum A_i * d^2 \quad (S11)$$

---

Avstand fra antatt til faktisk nøytralakse

$$d = \frac{\sum A_{i_o} * h_{i_o} + \sum A_{i_u} * h_{i_u}}{\sum A_{i_o} + \sum A_{i_u}} \quad (S12)$$

---

**1.7.4 ISO 12215-5:2008**

---

Platetykkelse kjølbredside/langside/dekk

$$t_{kjøl} = t_b = t_l = t_{dekk} = b * k_c * \sqrt{\frac{P_{kjøl} * k_2}{1000 * \sigma_d}} \quad (I1)$$

---

Faktor for bredde-/lengdeforhold ved bøyestyrke

$$k_2 = \frac{0,271 * \left(\frac{l}{b_a}\right)^2 + 0,910 * \left(\frac{l}{b_a}\right) - 0,554}{\left(\frac{l}{b_a}\right)^2 - 0,313 * \left(\frac{l}{b_a}\right) + 1,351} \quad (I2)$$

---

Minimum platetykkelse dekk

$$t_{dekk\ min} = 1,5 + 0,07 * L_{wl} \quad (I3)$$

---

## 2 Konseptutvikling

Forsvaret (2017 PRINSIX) beskriver konseptfasen som en kreativ fase hvor idéer og mulige løsninger skal testes ut og verifiseres.

Hensikten med konseptutviklingen er å skape flere distinkt forskjellige konsepter som kan danne grunnlaget for en god planløsning. Konseptene er bygget på idéer som har sine grunnsteiner i behovsanalysen (2.1).

### 2.1 Behovsanalyse

Hensikten med behovsanalysen er å kartlegge interessentene, deres behov og lage en sammenstilling av det totale behovet.

Det grunnleggende behovet som skal dekkes er en effektivisering av utvendig vedlikehold på Nansen-klassen. På forespørsel fra KL Kvamme kom det frem et behov for en flåteløsning med stillas eller arbeidsplattform.

Den 6. januar 2017 møtte vi Kvamme om bord på KNM Helge Ingstad. Som et innledende møte hadde vi en idémyldring og forventningsavklaring. Kvamme ønsket å ha en åpenhet og legge minst mulig begrensninger på prosjektet. Han ønsket idéer fra personer som ikke var en del av fregattbesetningen, i den hensikt å få et nytt og uavhengig syn på temaet. Påfølgende uke møtte vi KVM Lillevik om bord på KNM Roald Amundsen og fikk luftet idéer sett fra perspektivet til en båtsmann. Vi møtte senere OK Faresveit fra Forsvarsmateriell (FMA), hvor vi fikk informasjon og tips fra perspektivet til sjef takkelverksted. Etter å ha gjort oss opp noen tanker og utarbeidet noen konsepter møtte vi Sjef Vedlikehold 1. Fregattskvadron, KK Sten.

Ut i fra møtene kom det fram behov for forenkling av vedlikehold på skuteside, anker med ankerkjetting, helikopternet, akterlanterner, fortøyningssluker, sonardupp og redningsflåter. Oppdragsgiver mente at vedlikehold av brovinduer også kan utføres fra vedlikeholdsflåten. Brovinduene er 13 meter over havet og vil sann sett føre til at flåten får



strengere krav til stabilitet. For å få en tilfredsstillende stabilitet på denne høyden må flåten lages med et større vannlinjeareal. Oppdragsgiver mente at dette kunne nedprioriteres.

## 2.2 Krav til flåteløsningen

Hensikten med å stille krav til vedlikeholdsflåten er å sørge for at løsningen blir sikker, tilfredsstillende regelverk og dekker behovet som er forventet (2.1). Vi har prøvd å gjøre kravene konkrete uten at de definerer eller velge løsninger for oss og derav bli begrensende i forhold til konseptutviklingen. Å gå alt for mye inn i detalj til kravene, kan binde oss mot en løsning som kanskje ikke er den beste. Dette er betingelser som skal oppfylles ved gjennomføringen og som skal samsvare med behovsanalysen. Vi har kategorisert kravene inn i to grupper; skal-krav og bør-krav. Skal-kravene er krav som må oppfylles for at det i det hele tatt skal være noe poeng i å produsere flåten. Bør-kravene er krav som ikke må oppfylles for at flåten skal kunne produseres, men som bidrar til at flåten vil tjene sitt formål i enda større grad. Bør-kravene er satt opp i en prioritert rekkefølge, da de kan påvirke hverandre.

### Spesifisering av skal-krav:

- *Arbeidshøyde, dimensjonering av arbeidsplattform.*
  - Skal kunne utføre arbeid over sju meter. Skal bygges slik at arbeidsplattformen får tilfredsstillende styrke som tåler påvirkende vindkrefter (Jfr. For. 2011 nr. 1357, §17-7).
  - Skal tåle en punkbelastning på 2 tonn, vilkårlig plassert på arbeidsplattformen.
  - Hensikten er å kunne utføre arbeid langs hele skutesiden, samt baug- og hekkpartiet.
- *Dokumentasjon*
  - Oppgaven skal ha en tilstrekkelig dokumentasjon for å bygge, operere og vedlikeholde flåteløsningen.

- Hensikten er at flåteløsningen skal kunne bygges, opereres sikkert og vedlikeholdes.
- *Lastekapasitet*
  - Flåten skal kunne bære anker og ankerkjetting samt arbeidsplattform, utstyr og personell. Dette utgjør i underkant av 26 tonn.
- *Miljørelatert*
  - Dersom systemet forurenses, utsender stråling, har spesialavfall eller bruker miljøfarlige stoffer skal dette håndteres på en forsvarlig måte og utføres i henhold til gjeldende regelverk. Med mindre det fremgår av lov eller av forskrift fastsatt med hjemmel i lov, er forurensing av miljøet forbudt (Jfr. Lov 1998, §38).
  - Hensikten er å ivareta pålagte miljøkrav og sikre eksistensgrunnlaget for planter, dyr og mennesker i nærmiljøet.
- *Operasjon og design kategori*
  - Flåten skal kunne opereres i det som Norsk Standard (2008 Norsk Standard, kap. 3.1.4) definerer som «design category D (sheltered waters)». Videre sier standarden at flåten «skal kunne operere i farvann med signifikante bølgehøyder til og med 0,3 meter med sporadiske bølger med høyde på 0,5 meter, for eksempel ved passerende fartøy og typisk laber bris med Beaufort Skala 4 eller mindre». Verdens Meteorologiorganisasjon (WMO) beskriver de nevnte forhold som smul sjø med bølgehøyde på 0,1-0,5 meter og vindstyrke på 5,5-7,9 meter per sekund (2011 WMO, s A-377). I Sjøforsvaret brukes ofte begrepet *Sea State 2(sjøtilstand)* om forholdene. En fornuftig bruksbegrensning til flåten vil være ethvert forhold som går ut over Sea State 2.
  - Hensikten med dette kravet er at flåten skal kunne operere i værforhold som går ut over speilblank sjø og vindstille.

- *Sikkerhet*
  - Flåten skal være prosjektert, bygget og utrustet på en slik måte at det ut i fra flåtens anvendelse og fartsområde gir betryggende sikkerhet for liv og helse, miljø og materielle verdier (Jfr. Lov 2007, §9)<sup>2</sup>.
    - Flåten skal konstrueres slik at den tilfredsstillende lovverk om arbeid i høyden (Jfr. For. 2011 nr. 1357, §17), spesielt §17-2, §17-3 og §17-11.
    - Flåten skal ha nødvendig utrustning (innretninger og utstyr) og det skal treffes slike sikkerhetstiltak og andre forhåndsregler som er nødvendige for å unngå eller redusere fare for liv og helse og sikre et fullt forsvarlig arbeidsmiljø for dem som har sitt arbeid om bord (Jfr. Lov 2007, §21)<sup>3</sup>.
  - Flåten skal være lastet eller ballastet på en måte slik at stabiliteten og flyteevnen ikke settes i fare, og slik at sikkerheten for liv og helse, miljø og materielle verdier ikke trues på annen måte. Lasting og lossing skal skje på en slik måte at sikkerheten for liv og helse, miljø og materielle verdier ikke trues (Jfr. Lov 2007, §9)<sup>4</sup>.
  - Hensikten er å unngå eller begrense risiko for personell, miljø og systemer. I tillegg skal arbeid kunne utføres på en sikker og forsvarlig måte.
- *Transport*
  - Flåten skal ha pullerter eller liknende.
  - Hensikten er at flåten skal kunne transporteres av en Sjøbjørn eller tilsvarende samt kunne fortøyas og forhales som nødvendig.

---

<sup>2</sup> Denne loven gjelder først og fremst for fartøy over 15 meter, men siden flåten skal brukes i tilknytning til marinens fartøy velger vi å knytte løsningen vår til den.

<sup>3</sup> Denne loven gjelder først og fremst for fartøy over 15 meter, men siden flåten skal brukes i tilknytning til marinens fartøy velger vi å knytte løsningen vår til den.

<sup>4</sup> Denne loven gjelder først og fremst for fartøy over 15 meter, men siden flåten skal brukes i tilknytning til marinens fartøy velger vi å knytte løsningen vår til den.

- *Utdanning*
  - Alt personell som skal montere innretninger eller utføre arbeid om bord på flåten skal ha grundig opplæring (Jfr. For 2011 nr. 1357, §17-3, §17-5).
  - Hensikten er å sikre en optimal utnyttelse av flåten og bidra til økt sikkerhet.
- *Vedlikehold*
  - Flåten skal drives og vedlikeholdes på en slik måte at det ut i fra dens formål gir betryggende sikkerhet for liv og helse, miljø og materielle verdier (Jfr. Lov 2007, §11)<sup>5</sup>.
  - Hensikten er å bidra til økt sikkerhet, levetid og ergonomi.

Videre er det verdt å nevne at forskrifter vi har satt i sammenheng med arbeidsplattformen, i realiteten er beregnet for monterbare stillaser på land.

### **Prioritering av BØR-krav:**

1. *Vedlikehold*
  - Flåten bør konstrueres med deler som har lang levetid, er enkle å fremskaffe og bytte, samt krever lite vedlikehold.
  - Hensikten er å spare tid og kostnader på vedlikehold av flåten.
2. *Kostnad*
  - Flåten bør konstrueres til en lavest mulig kostnad.

---

<sup>5</sup> Denne loven gjelder først og fremst for fartøy over 15 meter, men siden flåten skal brukes i tilknytning til marinens fartøy velger vi å knytte løsningen vår til den.

### 3. *Utdanning*

- Flåten og dens arbeidsplattform bør konstrueres på en måte som gjør at man slipper å leie inn sertifisert personell for å drifte og montere den eller utdanne brukere. Med andre ord, arbeidsplattformen bør være en fast innstallasjon og ikke et monterbart stillas.
- Hensikten er å ha en enklest, billigst og mest tidssparende bruk av flåten.

### 4. *Fribord*

- Flåten bør ha et fribord på over 0,5 meter når den er fullt lastet.
- Hensikten er at det skal samsvare med skal-kravet om operasjoner og design kategori, hvor flåten skal kunne brukes i Sea State 2.

### 5. *Lastekapasitet*

- Flåten bør ha en lastekapasitet på over 30 tonn.
- Hensikten er at flåten da vil bli konstruert med en mulighet for å ta flere laster om bord.

### 6. *Ergonomi*

- Flåten bør være brukervennlig
- Hensikten er å unngå irritasjonsmomenter og spare tid ved bruk.

### 7. *Ballasttanker*

- Flåten bør ha ballasttanker.
- Hensikten er at ballasttankene skal kunne utligne krenkning når last blir plassert om bord.

### 8. *Tilpasningsmulighet*

- Flåten bør være dimensjonert slik at den også kan brukes til vedlikehold på KNM Maud og Kystvakt-fartøyer.
- Hensikten er at flåten skal kunne benyttes av andre fartøyer i Sjøforsvaret.

### 9. Dokumentasjon

- Flåtens konstruksjon bør være utarbeidet i et tegneprogram slik at tegningene kan brukes direkte av en produsent, samt at det bør være en komplett oversikt over komponenter og deler, samt forhandlere hvor ulike deler kan bestilles.
- Hensikten er at flåten da kan bygges basert på våre beregninger og underlag.

### 10. Transport

- Flåten bør være konstruert slik at det er mulig å montere egen fremdrift på skroget. Dersom fremdriftssystemer blir montert skal det finnes utstyr og innretninger som er nødvendig for å beskytte sikkerheten og helsen til personer om bord. Det skal særlig sørges for at brann og eksplosjonsfare forebygges, og at tekniske innretninger og utstyr om bord på flåten er konstruert, oppstilt og forsynt med verneinnretninger slik at personer om bord er vernet mot skade på liv og helse (Jfr. Lov 1998, §22).
- Hensikten er at egen fremdrift kan øke ergonomien og redusere tidsbruk ved forflytning av flåten.

### 11. Dimensjonering

- Flåten bør ikke ha en lengde på over 15 meter.
- Hensikten er at flåten da slipper å registreres i Norsk Ordinært Skipsregister (NOR), Jfr. Lov 1994, §11.

### 12. Miljørelatert

- Flåten bør være konstruert slik at den ikke forurenses, utsender stråling, avgir spesialavfall og bruker miljøfarlige stoffer.
- Hensikten er å ivareta pålagte miljøkrav og sikre eksistensgrunnlaget for planter, dyr og mennesker i nærmiljøet.

### 13. Arbeidshøyde

- Flåten bør tilrettelegge for en arbeidshøyde på over 13 meter.
- Hensikten er at man skal kunne gjøre vedlikehold på brovinduer.

## 2.3 Alternativanalyse

Konsekvensen av å ikke utvikle og bygge en vedlikeholdsflåte er at det blir nødvendig å fortsette med dagens løsning. Dette krever tid og ressurser som det ofte er lite av når en fregatt har vært ute og seilt. Mye på grunn av at det må frigjøres personell om bord på grunn av seilingstimer som ofte må avspaseres. Dette gjør det vanskelig å planlegge ved innleie av utstyr og personell. I tillegg vil det være vanskelig å få gjennomført et skikkelig vedlikehold på både luker, anker og ankerkjetting.

Et annet alternativ som har blitt vurdert er et «hengende» stillas fra skutesiden. Dette har blitt betraktet som lite fleksibelt og brukervennlig, samt at det gir store utfordringer til forflytning rundt skrog.

Alternativ til flåten kan være å leie inn et fartøy eller en flåte som kan gjøre det samme arbeidet. Dette er dog vanskelig å oppdrive da det ikke er noe som tilbys i markedet på generell basis ut i fra det vi har sett. En annen mulighet vil være å «outsource» alt det utvendige vedlikeholdet til et sivilt firma. Dette kan bli kostbart, men til gjengjeld sparer det besetningen for mye arbeid.

## 2.4 Målhierarki

Disse målene er de samme som er beskrevet i introduksjonen (1.3). Herunder har vi laget et hierarki som illustrerer vår prioritering av dem.

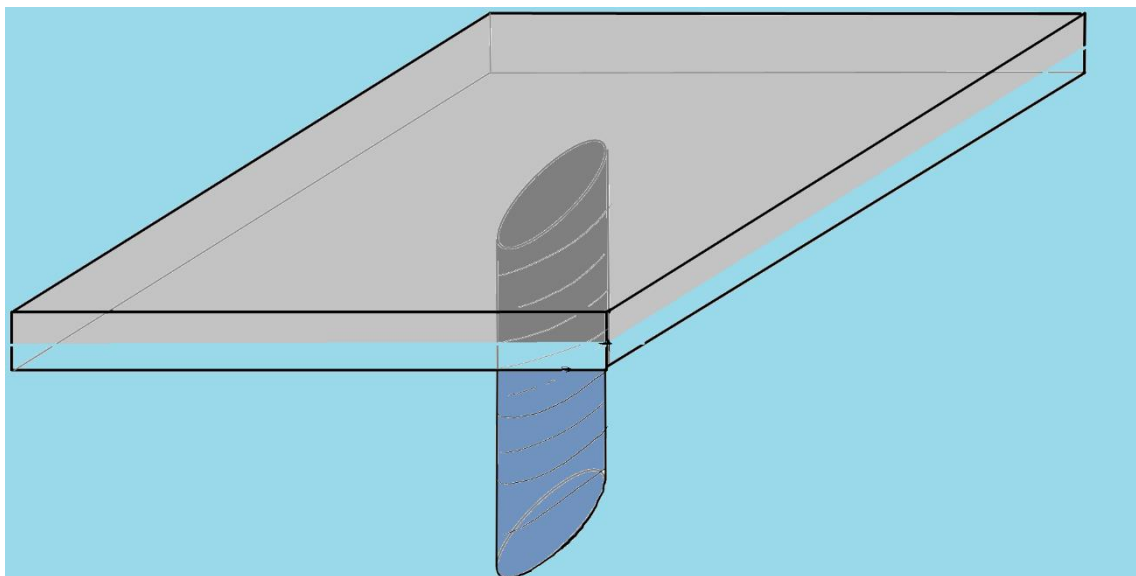
1. **Effektmål:** 1. Fregattskvadron gjennomfører utvendig vedlikehold til lavere kostnad og tid enn i dag.
2. **Eget mål:** Vi ønsker at Sjøforsvaret kan bygge flåten basert på våre beregninger og underlag og at 1. Fregattskvadron får bruke den.
3. **Tid:** Prosjektet skal være avsluttet innen 24 mai 2017.
4. **Kvalitet:** Produktet skal være solid og tilfredsstillende gjeldende regelverk.
5. **Økonomi:** Kostnadsrammen for prosjektet er kr 20 000,-. Kostnadsrammen for flåten er ubegrenset.

## 2.5 Idéer og tidlige konsept

Tidlig i konseptutviklingen ble det brukt god tid på innovasjon ved kreativitet hvilket resulterte i flere ulike idéer som kunne videreutvikles. Prototypen kan være resultatet etter én eller flere av disse idéene. Det er verdt å nevne at fokuset har vært på løsninger som ville gi god stabilitet. Eksempler på dette er illustrert i Figurene 3 til 8 med tilhørende forklaring.

### «Seilbåtfinne»

Finnen skal fungere som en slags ballast for å gi skroget et lavere tyngdepunkt. Videre vil finnen også hjelpe mot bevegelser i sjøen. Figur 3 illustrerer prinsippet.

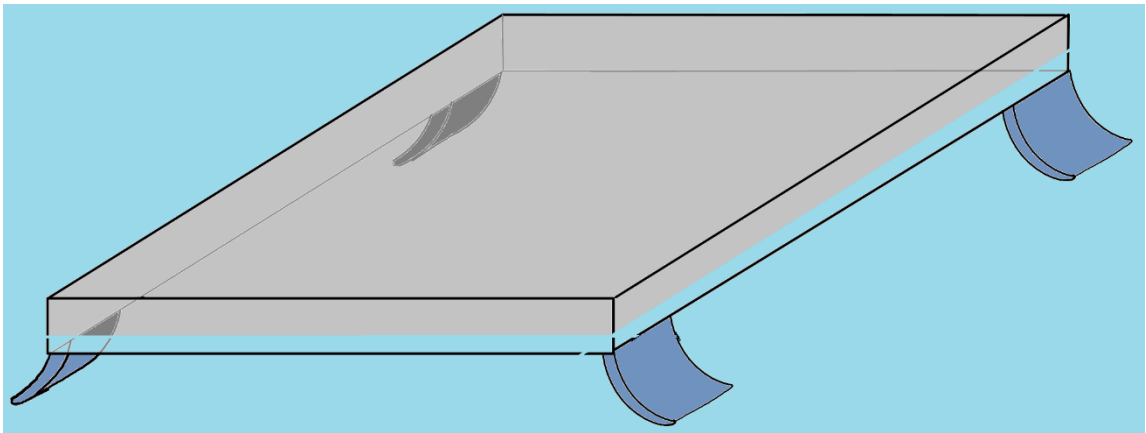


Figur 3: Seilbåtfinne

### «Stabilisatorfinner»

Stabilisatorfinnerne skal stabilisere skroget ved å dempe rullebevegelser. Finnene vil gi større motstand i sjøen slik at skroget ruller mindre. Figur 4 illustrerer prinsippet.

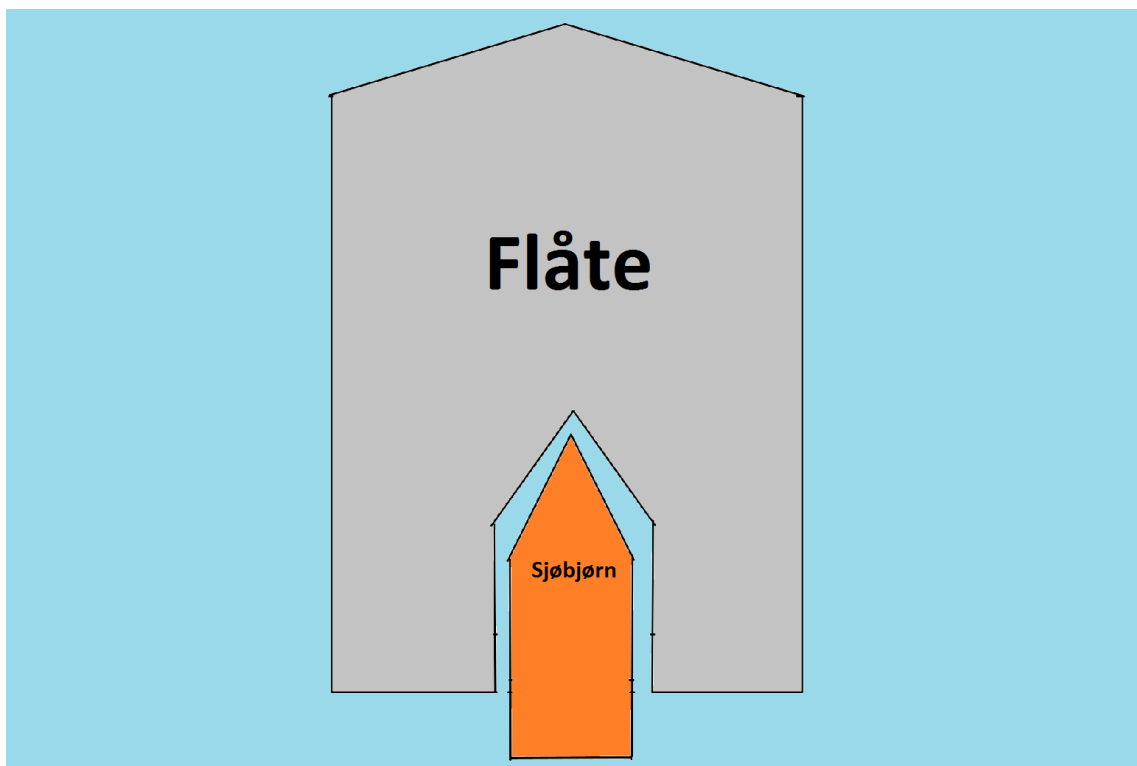




**Figur 4: Stabilisatorfinner**

**«V-form»**

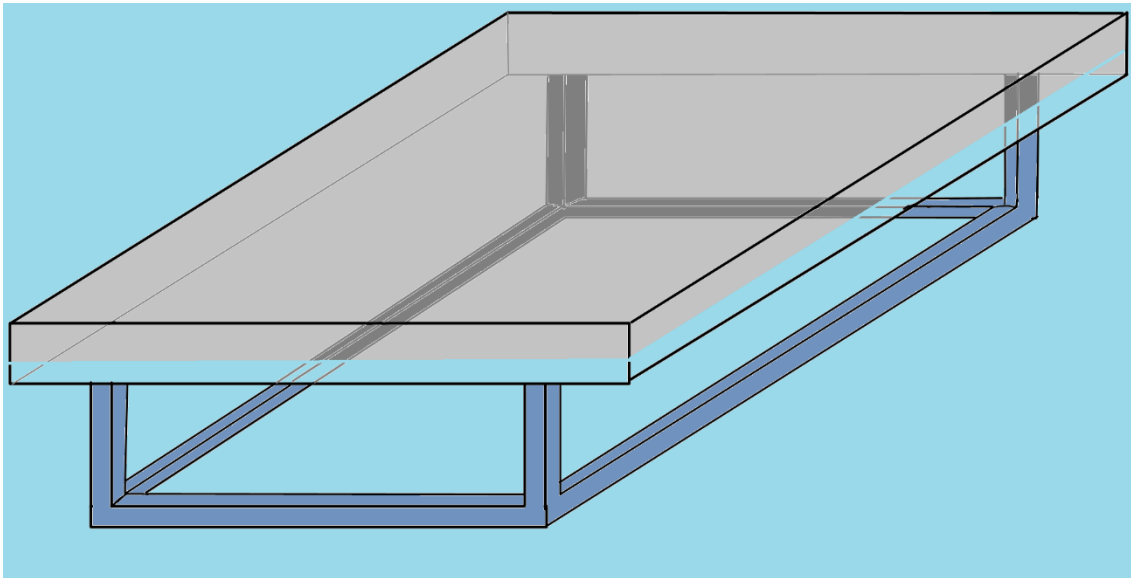
Denne idéen fikk vi fra KVM Lillevik, som mente at det kunne være lurt å lage en pass-form for Sjøbjørn på flåten som vil styrke manøvrerbarheten til flåten ved forflytning. Figur 5 illustrerer prinsippet.



**Figur 5: V-form (sett ovenfra)**

**«Oljerigg»**

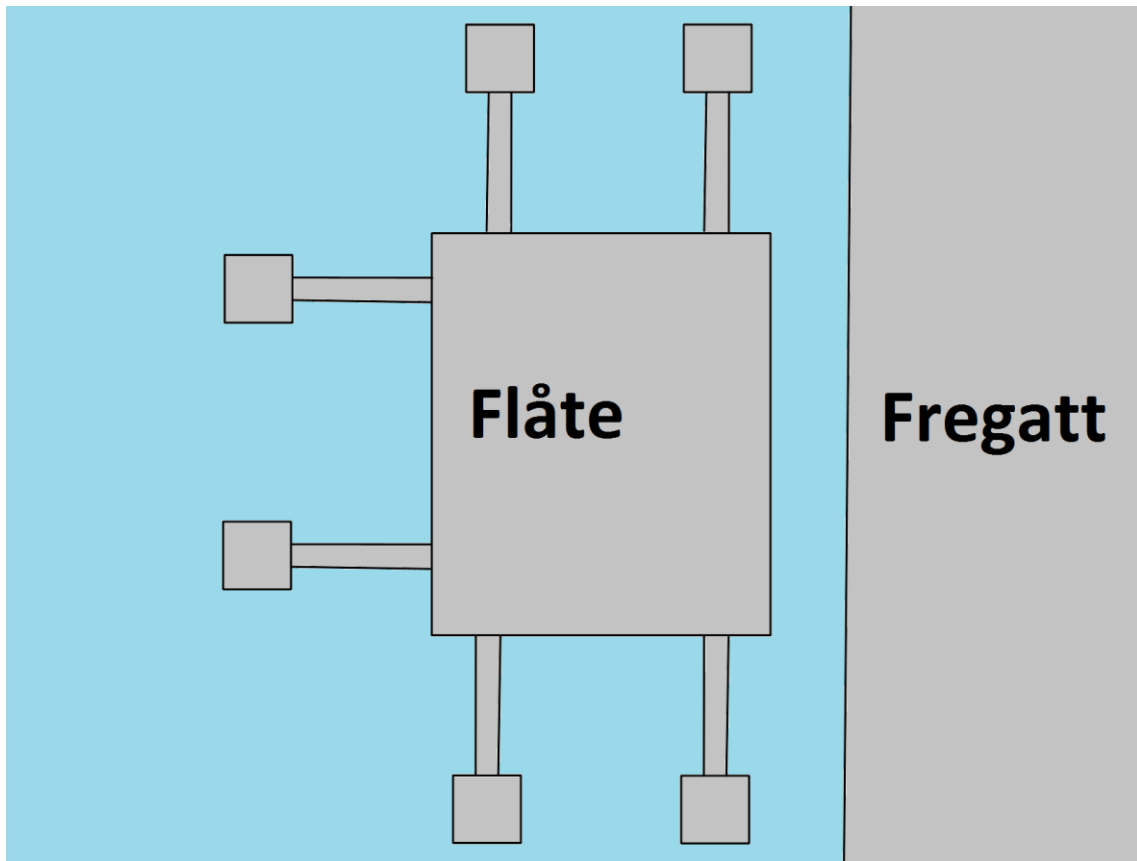
Hensikten med oljerigg-utformingen er å gi skroget et lavt tyngdepunkt og redusere påvirkning fra bølger og bevegelser i sjøen. Her er oppdriftselementene plassert dypt i vannet og selve skroget blir «løftet» opp fra sjøen av flere søyler. Bevegelsene i sjøen er roligere desto dypere en kommer, og tynne søyler i overflaten vil kunne gi mindre hivbevegelse enn et ordinært skrog. Figur 6 illustrerer prinsippet.



**Figur 6: Oljerigg**

**«Edderkoppbein»**

Med «edderkoppbein» mener vi horisontale stabilisatorstag med oppdriftselementer som kan skyves ut for å skape økt treghetsmoment for vannlinjearealet. Dette vil bidra til redusert rullebevegelse. Figur 7 illustrerer prinsippet.



**Figur 7: Edderkoppbein (sett ovenfra)**

### «Skrå ripe»

En baugfasong som er skråstilt istedenfor vertikal vil kunne gli bedre under slep og redusere små «ristebevegelser». Figur 8 illustrerer prinsippet.



**Figur 8: Skrå ripe (sett fra siden)**

## 2.6 Forsøk 1: Valg av flåtens dimensjoner

Etter å ha sett på ulike idéer ble det gjort beregninger i Excel (se Vedlegg A). Hensikten var å teste et hypotetisk skrog og beregne dets metasenterradius og krengevinkel ved et «ekstremt» tilfelle for å finne veiledende hoveddimensjoner på skroget. Det hypotetiske skroget er utformet som en «skoese» med egenvekt på 20 tonn. Ankeret og ankerkjettingen på 26 tonn har blitt plassert på flåten med VCG på 1,5 meter og TCG på 5,0 meter. I tillegg ble en arbeidsplattform med egenvekt på 2 tonn og VCG på 3,5 meter samt TCG på 3,0 meter. Tettheten til sjøvann ble satt til 1,025 tonn per kubikkmeter.

Beregningsmetoden er den samme som ble brukt for å finne den endelige flåtens hydrostatiske data (3.1). Formel S1-S9 (1.7.3) ble brukt og regneformlene i Excel kan finnes i Vedlegg A. I forsøket ble flåtens dimensjoner variert for å finne et akseptabelt resultat. Dette gav følgende:

- Flåten fikk tilfredsstillende resultater med en lengde på 12 meter, bredde på 10 meter og høyde på 1 meter.
- Midlere dypgang: 0,39 meter
- Metasenterradius: 21,4 meter
- Krengevinkel: 7,99 grader

Resultatene ble ansett til å være høyt akseptable og dermed en kvalitetssikring på arbeidet som har blitt utført.

## 2.7 Konseptvarianter

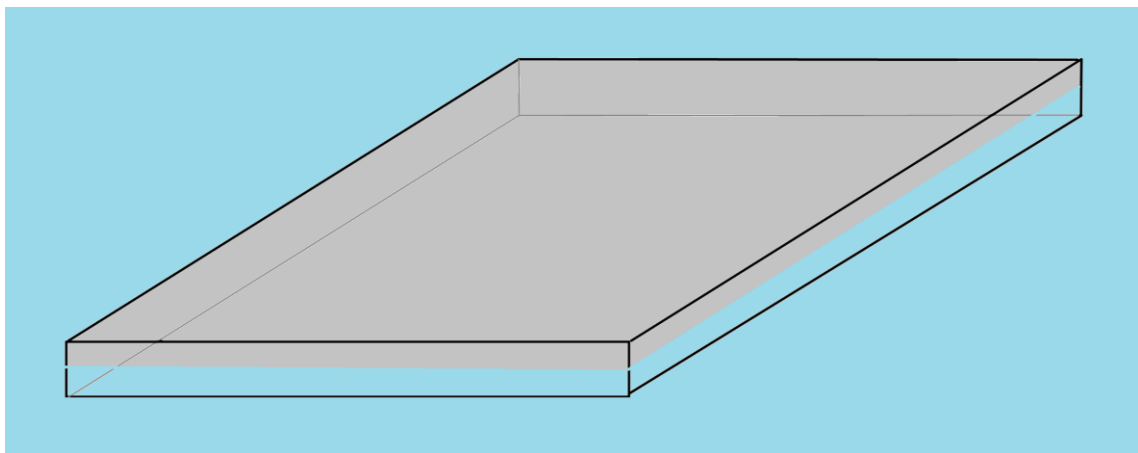
Basert på behovsanalysen (2.1), idéene (2.5) og kravene vi har stilt (2.2) samt Forsøk 1 (2.6) har vi kommet fram med flere ulike konsepter for skrog, arbeidsplattform, fremdrift og forflytning, og festeanordninger. For å se på styrker og svakheter for de ulike konseptene, se analyse av konseptuelle løsninger (2.9)

### 2.7.1 Skrog

Forsøk, beregninger og samtaler med interessenter har ført til at vi ønsket å utvikle et enkelt skrog. I utgangspunktet har vi sett på seks ulike konsepter (2.5). Forsøk 1 (2.6) har vist at hjelpemidlene installert på flåten, som blir utredet under punkt 2.5, er unødvendige og bidrar kun til økt kompleksitet. Med unødvendig mener vi at resultatene fra Forsøk 1 gir tilfredsstillende metasenterradius og dypgang til et tenkt skrog. Høy kompleksitet på vedlikeholdsflåten vil gi en økt grad av vedlikehold. Med resultatene og grunnlag i kravene (2.2) har vi derfor kun valgt å se på tre ulike konsepter. Disse tre konseptene har en betydelig enklere utforming.

#### Skrog 1: «Rektangulær»

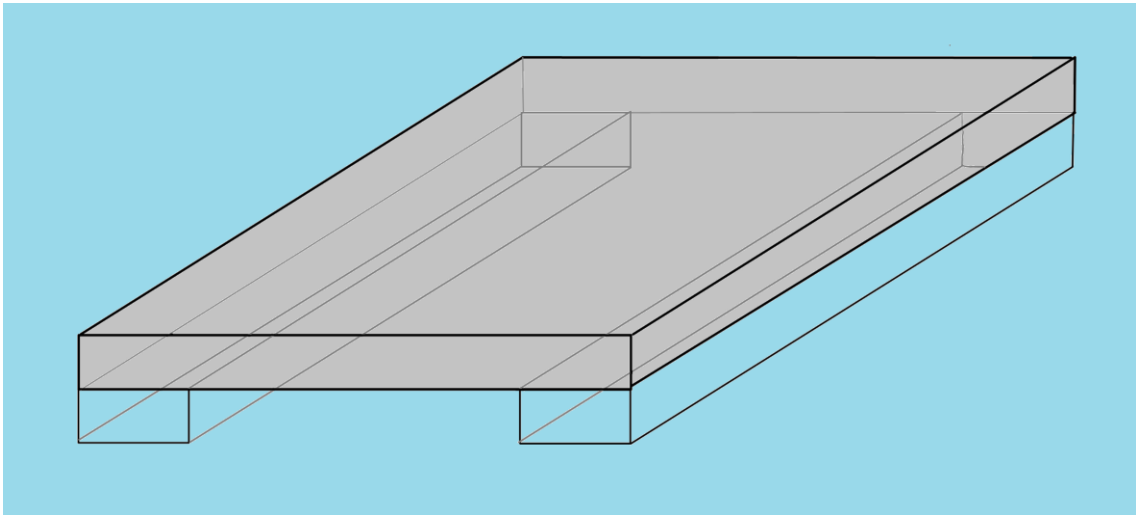
Det første alternativet til konsept vi vurderte var et helt enkelt rektangulært skrog. Mange av dagens lektere har denne utformingen. Det er ingen krav om hastighetsoppnåelse for flåten og dermed er dette konseptet en mulighet selv om det ville møtt en gitt motstand i vannet ved forflytning. Figur 9 illustrerer hvordan vi har tenkt.



Figur 9: Skrog 1

**Skrog 2: «Katamaran»**

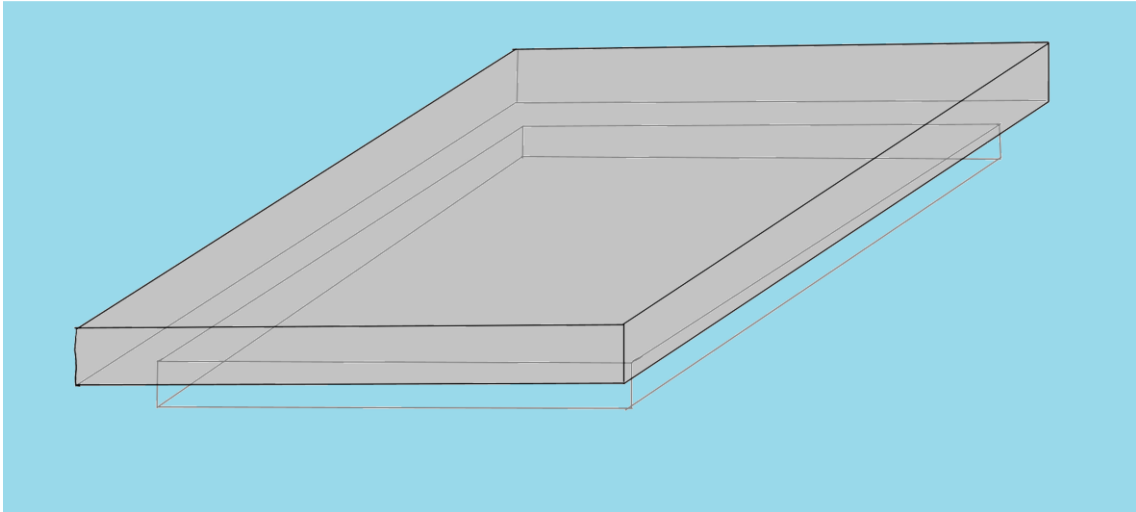
Det andre konseptet vi ønsket å arbeide videre med var et katamaranskrog. Altså to sammenbundne skrog. Vårt katamarankonsept innebar at de to skrogene som utgjør katamaranen skulle ha et undervannsvolum som utligner deplasementet til flåten når den er ulastet. Ved større belastning, med henholdsvis anker og ankerkjetting, skal «hovedskroget» ta opp ytterligere belastning. Figur 10 illustrerer hvordan vi har tenkt.



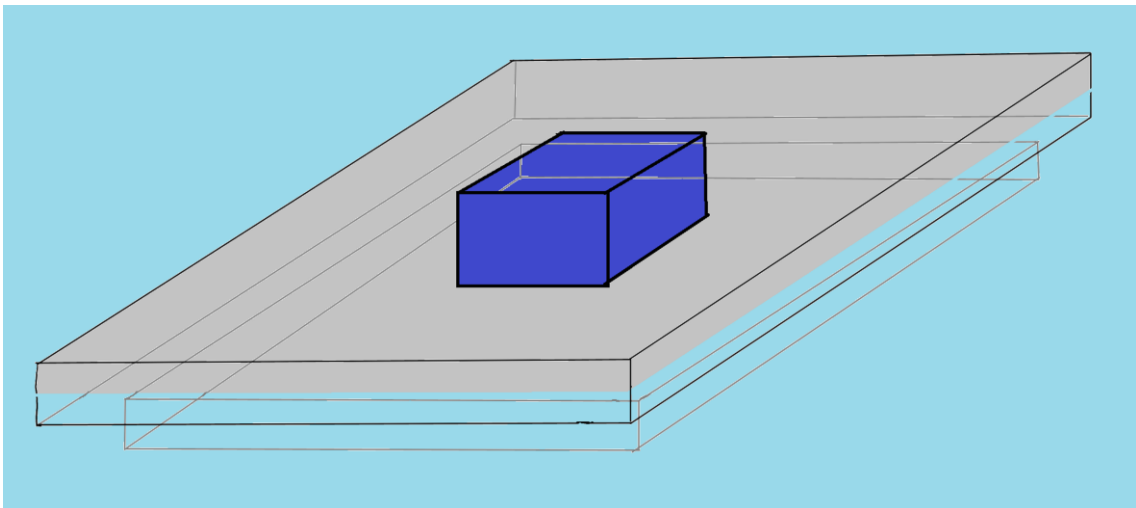
**Figur 10: Skrog 2**

**Skrog 3: «Sopp»**

Det tredje konseptet vi ønsket å arbeide videre med hadde noe lik karakteristikk som en sopp. Vi så for oss et skrog oppå et annet, hvor det øverste har et betydelig større vannlinjeareal. Man kan se for seg en større skoese oppå en mindre. Det nederste skroget skal ta opp deplasementet når ulastet (kun skrog og arbeidsplattform og andre eventuelle faste laster), mens det øverste skal kunne ta opp ytterligere last. Figur 11 illustrerer et ulastet skrog, Figur 12 illustrerer et lastet skrog.



**Figur 11: Skrog 3**



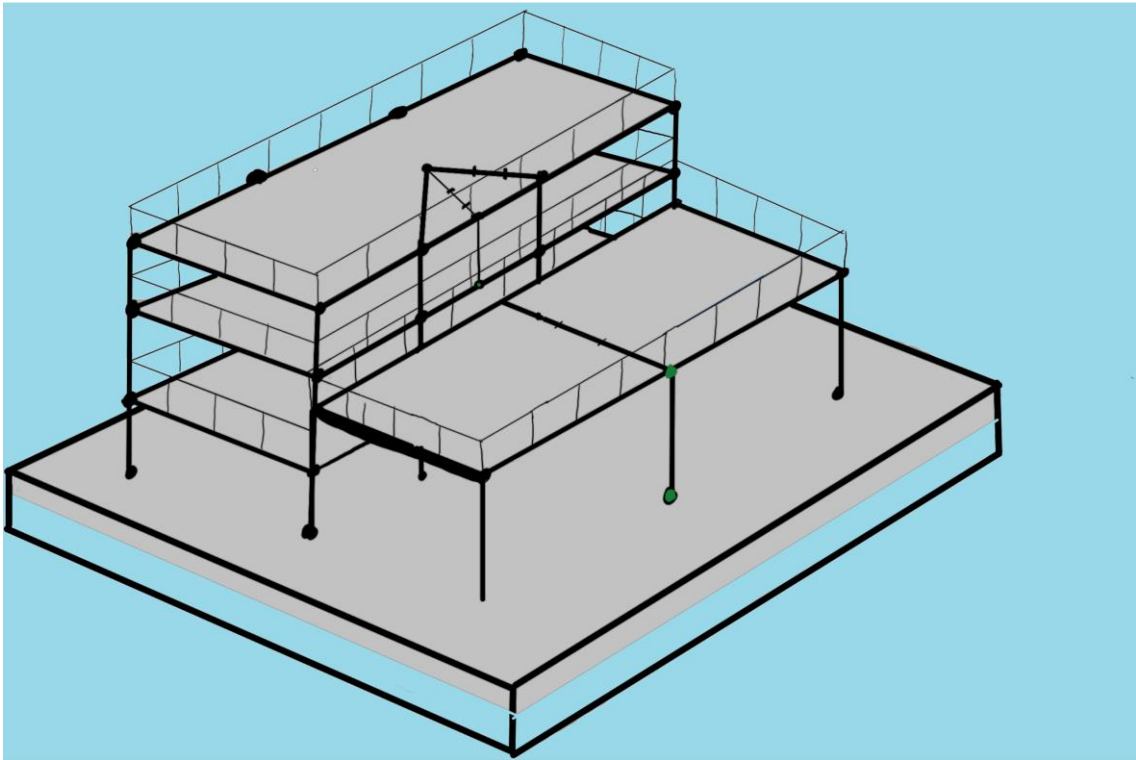
**Figur 12: Skrog 3 lastet**

### 2.7.2 Arbeidsplattformer

Vi valgte å se på tre ulike faste arbeidsplattformer og én bevegelig arbeidsplattform i stedet for et flyttbart stillas. Årsaken til dette var at flyttbare stillas er ustødige og dårlig egnet til å stå på en flåte hvor det oppstår bevegelser. Flyttbare stillas er beregnet til å stå inntil en husvegg eller liknende. Ved å ha en fast arbeidsplattform sparer man kostnader og tid ved at man slipper å leie inn sertifisert personell som monterer og demontierer den. Arbeidsplattformen blir montert fast i flåtens dekk ved hjelp av bolter.

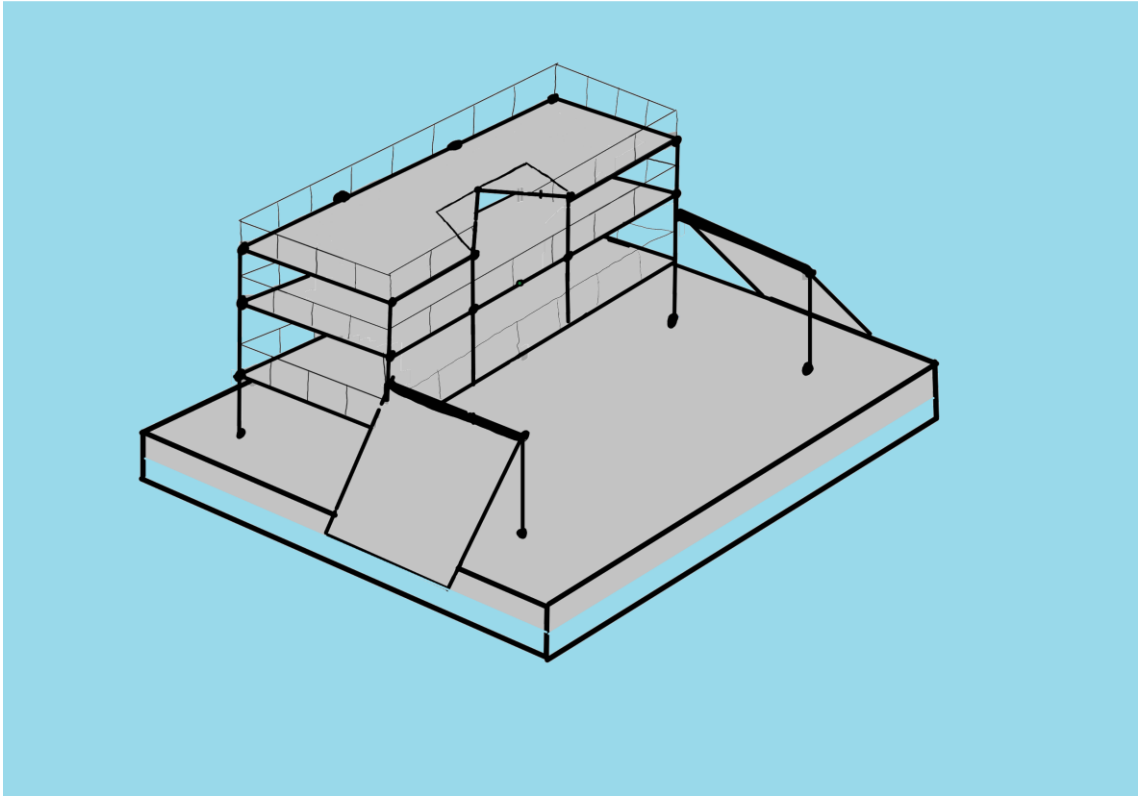
**Arbeidsplattform 1: «Luker»**

Funksjonen til denne arbeidsplattformen er å passe inn i baugen for å kunne ta ankeret, samtidig som man skal kunne forflytte seg opp i høyden på en av plattformene uten å måtte gå ned den ene trappen og opp den andre for å komme seg dit. Figuren er laget uten trapper. Figur 13 og 14 gir en illustrasjon.



**Figur 13: Arbeidsplattform 1**

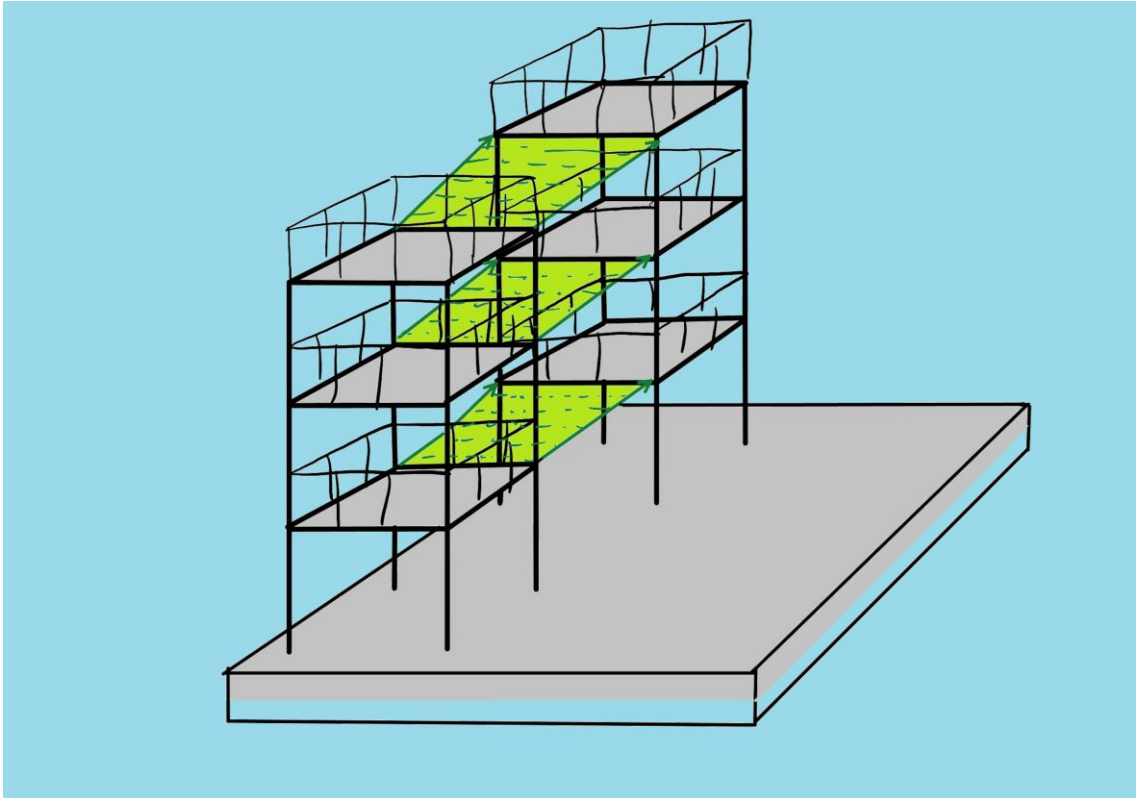




**Figur 14: Arbeidsplattform 1 – klargjort for vedlikehold i baug**

### **Arbeidsplattform 2: «Splitt med skyveplater»**

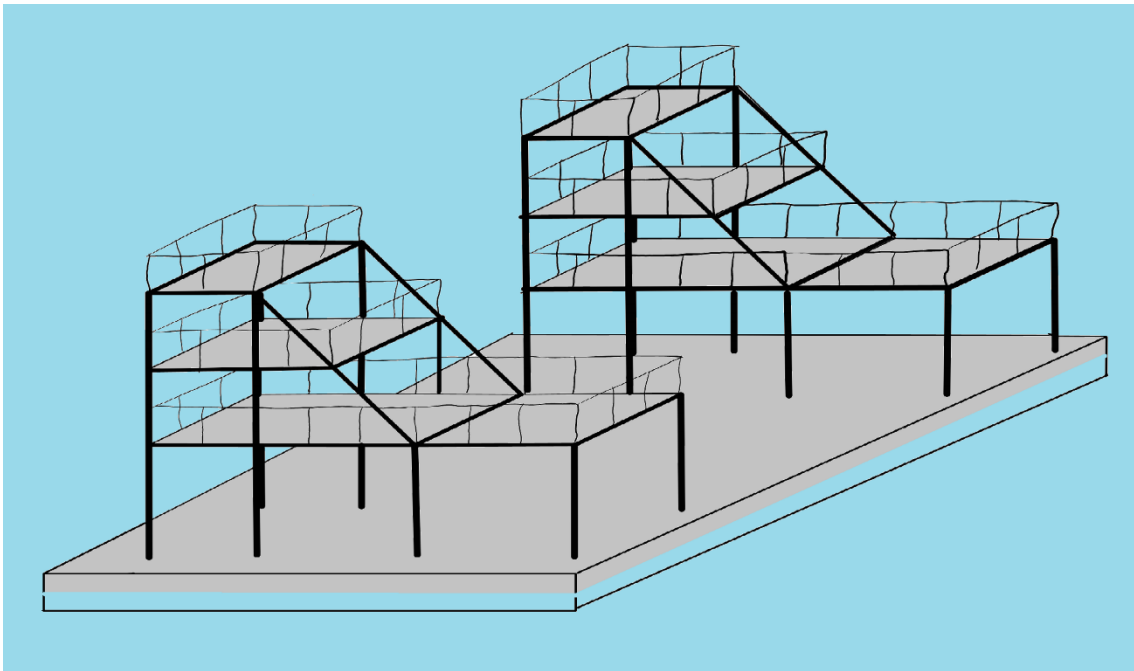
Tanken bak denne arbeidsplattformen er at splittformen skal gi plass til baugen til fregatten, og at man skulle skyve ut plater i mellom tårnene slik at man skal kunne forflytte seg over hele etasjen. Figur 15 illustrerer hvordan vi har tenkt.



**Figur 15: Arbeidsplattform 2**

**Arbeidsplattform 3: «Splitt med skrå passform»**

Denne arbeidsplattformen er også en slags splitt, uten skyveplater i mellom tårnene. Passformen skal være dimensjonert slik at baugen til fregatten skal kunne plasseres i mellom tårnene. I tillegg er det en lav etasje som skal kunne passe til å gjøre diverse arbeid på sidene i baugen. Figur 16 illustrerer hvordan vi har tenkt.



**Figur 16: Arbeidsplattform 3**

#### **Arbeidsplattform 4: «Bevegelig arbeidsplattform»**

Med en bevegelig arbeidsplattform mener vi at etasjene skal kunne skyves inntil skroget og tilpasses etter det arbeidet som skal utføres. Dette kan være et av de tre andre stillasene, bare at de skal kunne beveges.

### **2.7.3 Fremdrift og forflytning**

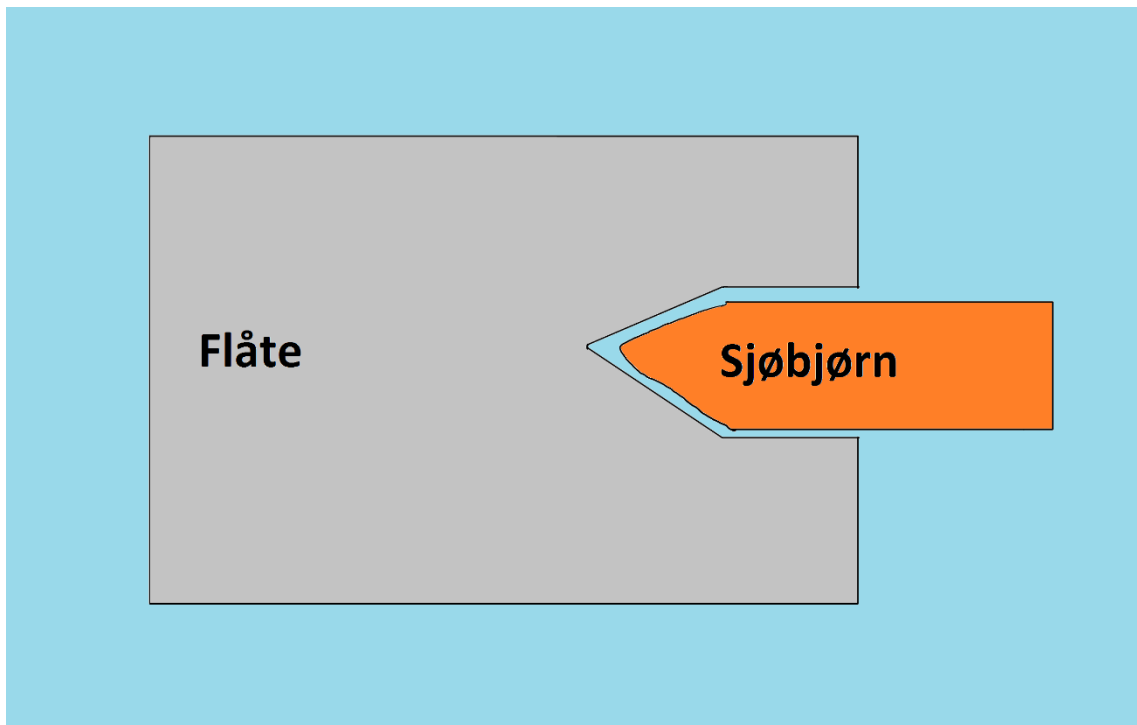
Her har vi sett på tre ulike løsninger som skal sørge for at flåten skal kunne forflyttes eller transporteres i vannet.

#### **Pullerter**

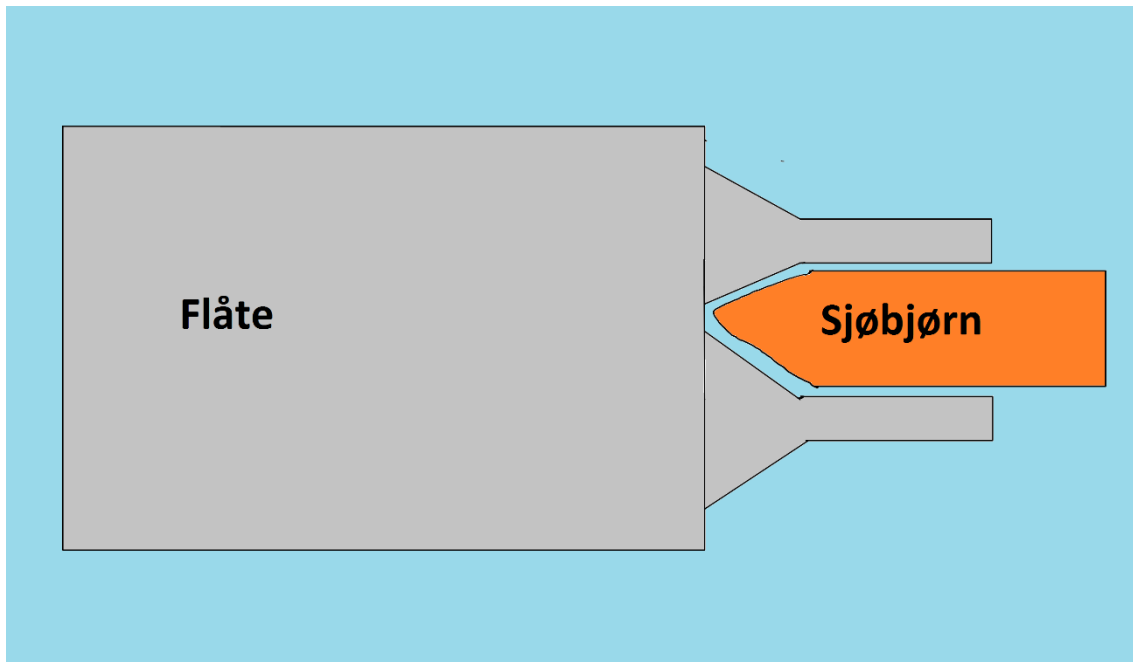
Pullerter eller annen festeanordning er et skal-krav (2.2) til flåten, og de bør være av typen «bryggepullert» eller liknende med tilfredsstillende styrke. Det bør utføres beregninger på omkringliggende struktur for å få tilfredsstillende styrke. Det har vi ikke prioritert i denne oppgaven. Pullertene brukes til festing av trosser, og i dette tilfellet til forhaling, slep eller sikring av flåten.

## Forflytning

Med forflytning mener vi en V-form eller passform på flåten, enten integrert eller påbygd slik at Sjøbjørn kan kjøres inn og «bli flåtens motor». Figur 17 illustrerer en «integrert» versjon, mens Figur 18 illustrerer en «påbygd» versjon. Begge illustrasjoner er sett ovenfra.



**Figur 17: Integrert passform**



**Figur 18: Påbygd passform**

### **Egen fremdrift**

Et annet alternativ er egen fremdrift i form av påhengsmotorer eller liknende løsninger. De kan være faste eller monterbare. Elektriske påhengsmotorer er også en mulighet, hvor mindre bevegelige deler fører til lite vedlikehold. De elektriske påhengsmotorene kan bli drevet av et aggregat på flåten, batterier, landstrøm eller liknende. Fremdriftsmekanismen trenger ikke å få flåten til å bevege seg raskt. Rolig fremdrift er tilstrekkelig.

### **2.7.4 Festeordning til skuteseide**

Vi har valgt å se på fire ulike måter for å feste eller holde flåten i riktig posisjon.

#### **Trosser**

Trosser kommer til å bli brukt uansett som en sikkerhet. Det finnes flere festepunkter på fregatten det går an å bruke.

## **Sugekopper**

Sugekopper kan brukes til å danne et vakuum mellom skutesiden og festepunkter på arbeidsplattformen til flåten. Vakuomet bidrar til å holde arbeidsplattformen inntil skutesiden.

## **Magneter**

Magneter kan ved hjelp av magnetfelt skape tiltrekningskraft mellom festepunktene på arbeidsplattformen og skutesiden. Tiltrekningskraften bidrar til å holde arbeidsplattformen inntil skutesiden.

## **Skyvekraft**

Den siste muligheten vi så på var å holde flåten inntil skutesiden med skyvekraft fra enten egen fremdrift eller ved hjelp av en Sjøbjørn.

## **2.8 Forsøk 2: Sammenlikning av egenskaper til Skrog 1, 2 og 3**

Hensikten med forsøket var å kartlegge egenskapene til de konseptuelle skrogløsningene. Det ble først satt noen kriterier før arbeidet startet. Disse er:

- Kompleksitet
- Vekt
- Krefter og spenninger
- Dypgang

Vektingen på de forskjellige kriteriene er nokså like. Dypgang er derimot ikke like viktig ettersom det bare er en faktor dersom flåten tas opp på en slipp. Med kompleksitet menes at konseptet skal være lett å konstruere og forholde seg til for brukeren. Skrogvekten bør være så lett som mulig slik at flåten kan løftes opp på kaien når den ikke er i bruk. Kreftene og spenningene bør være så lave som mulig.

Forutsetningen til forsøket er at lastekondisjonen er lik for alle konseptene. Her har vi tatt utgangspunkt i at flåten skal være fullt lastet i tillegg til fulle ballasttanker på 20 tonn. Dette kan karakteriseres som et ekstremt tilfelle. Størrelse på vekter er valgt på bakgrunn av den mest ekstreme lastekondisjonen.

Beregningene er gjort med fomlene M4, M9-M13 (1.7.2) og S10-S12 (1.7.3) i Excel. Det ført til at vi fant resulterende krefter, skjærkrefter, bøyemoment og spenninger i skroget. For en utdypende forklaring på hvordan lastene er fordelt og beregningene er gjort, se Vedlegg C. Resultatene av beregningene er presentert i Tabell 1.

**Tabell 1: Beregninger av strekk- og trykkspenninger**

Beskrivelse	Skrog 1: «Skoeske»	Skrog 2: «Katamaran»	Skrog 3: «Sopp»	Enhet
Stålvect	20,35	23,96	24,40	tonn
Vect fullt lastet	78,35	81,96	82,80	tonn
Dypgang	0,64	1,07	1,57	m
Trykkspenning langskips	7,94	2,96	6,28	MPa
Strekkspenning langskips	7,94	4,41	4,04	MPa
Trykkspenning tverrskips	24,12	61,61	5,85	MPa
Strekkspenning tverrskips	24,12	184,4	4,61	MPa

Ut fra Tabell 1 kan vi se at Skrog 1 har svært lave spenninger med tanke på hva det valgte stålet tåler. Det betyr at flåten kan lastes med det meste uten at det oppstår noen fare for at den blir ødelagt.

Utrekningene viser at spenningene i Skrog 2 langskips er veldig lave. Ser man derimot på tverrskips spenninger så kommer det frem at de er mye større. Spenningene er såpass store at vi ikke ser det som akseptabelt å gå videre med Skrog 2. Det er verdt å merke seg at det er fullt mulig å rette opp i de høye trykk- og strekkspenningene med avstivere som

binder de to skrogene til katamaranen sammen. De vil på den måten ta opp kreftene som oppstår. Dette vil derimot gjøre flåten tyngre.

Beregningene viser også svært lave spenninger i Skrog 3. Det vil si at vi har mye å gå på med tanke på belastninger i skroget.

## **2.9 Forsøk 3: Sammenlikning og testing av arbeidsplassform-konsepter**

Hensikten med forsøket var å sammenlikne et par konseptmodeller opp mot en modell av en Nansen-klasse fregatt. Vi diskuterte og skaffet oss nye idéer og erfaringer.

Modellene ble skåret ut av isopor i samme målestokk som en fregattmodell, i skala 1:85. På denne måten kunne vi synliggjøre idéene våre i en tredimensjonal fremvisning.

Vi tok for oss de forskjellige arbeidsplassformene i forsøket og så at begge hadde sine styrker og svakheter.

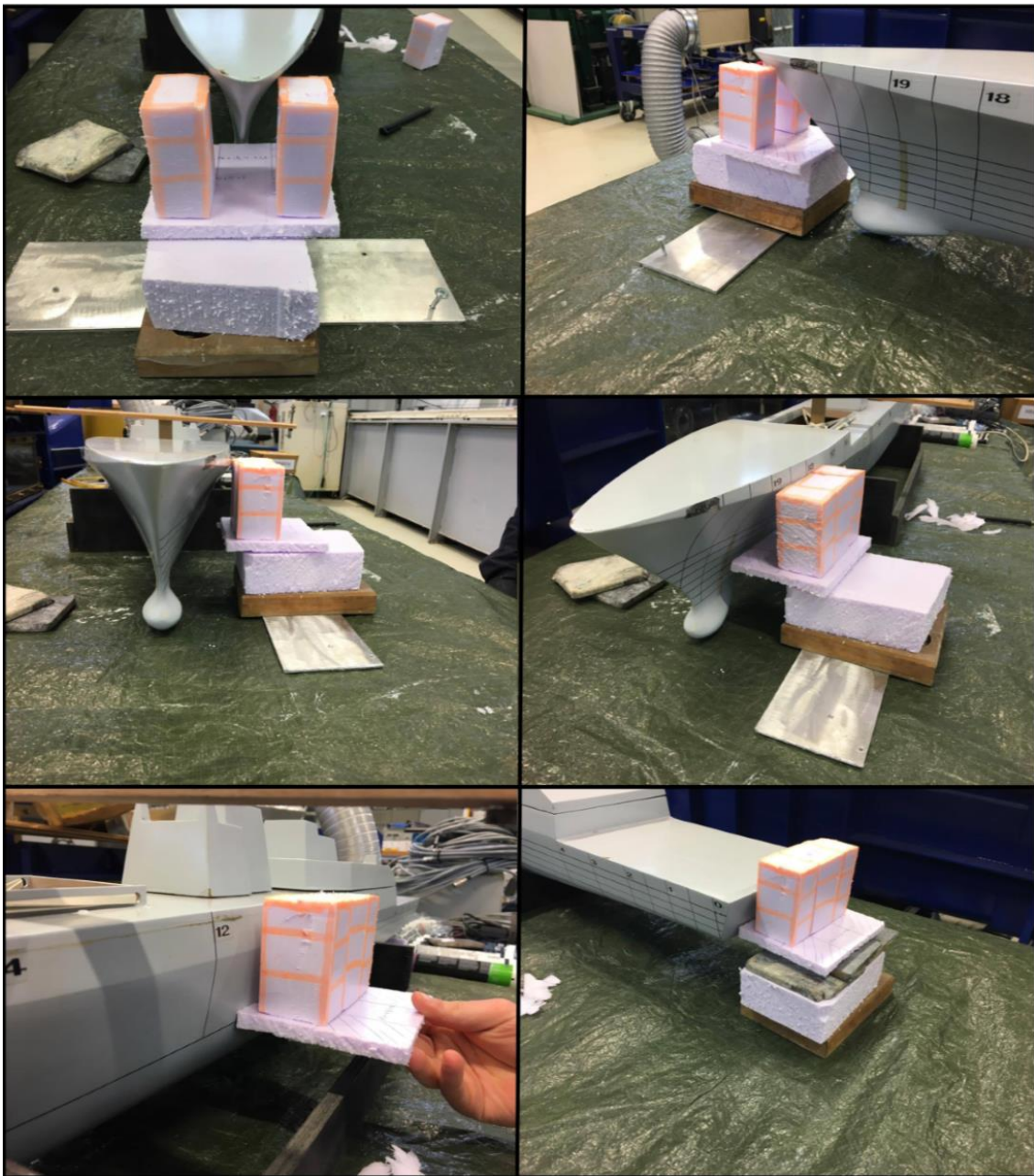




**Figur 19: Arbeidsplattform 1**

Arbeidsplattform 1 (Figur 19) passet veldig godt til arbeid i og rundt baugen. Det vil bli vanskelig å få ankeret ned på dekk og arbeidsplattformen må i så fall dimensjoneres til å tåle ankeret, noe som ikke er ønskelig ettersom dette vil gjøre arbeidsplattformen mye tyngre. Festepunktene må også dimensjoneres for dette. Arbeidsplattformen hadde også lite klaring helt fremme ved tuppen på baugen. Dette kan bli problematisk da flåten fort

kan bevege seg litt i forskjellige retninger som følge av bølger og strømninger, dermed kan den ta borti fartøyet og gjøre skade på det.



**Figur 20: Arbeidsplattform 2**

Arbeidsplattform 2 (Figur 20) passer bra til arbeid fremst i baugen og generelt rundt sidene av fregatten. Den passer derimot ikke like bra til sidene helt fremme ved baugen.

Arbeidsplattform 2 har likevel samme problem som arbeidsplattform 1. Det er liten klar-  
ring mellom arbeidsplattformen og fartøyet. I tillegg blir ikke sidene fremme i baugen  
dekket like godt.

Det dukket opp flere idéer under forsøket som at en arbeidsplattform kan lages med hes-  
tesko-form som benytter seg av høyden på bakre del av arbeidsplattformen. Sidene kan  
også lages lavere eller eventuelt være uten en bakre del. Da vil sidene kunne få en varie-  
rende høyde som er tilpasset skroget på en best mulig måte.

Vi konkluderte med at det var en nokså ubetydelig kurvatur i skutesiden. Det fører til at  
arbeidsplattformen kan lages vertikalt 90 grader uten noen spesialtilpasning. Den største  
utfordringen møtte vi ved baugen. Ingen av innretningene hadde gode nok løsninger til å  
bli valgt. En kombinasjon av de to forskjellige løsningene kan være det beste alternativet.  
Da vil skade på fartøyet sannsynligvis unngås. Allikevel vil en komme til overalt på sku-  
tesiden.

## 2.10 SWOT-analyse av konseptvarianter

Hensikten med dette kapitlet er å sammenlikne konseptene fra delkapittel 2.7. Det er  
brukt en SWOT-analyse til å kartlegge konseptene. En SWOT-analyse er et analyseverk-  
tøy som brukes til å trekke frem styrker, svakheter, trusler og muligheter. Dette er for å  
kunne ta et bedre valg i den samlede vurderingen. Konseptene har blitt sett på med like  
forutsetninger. Skrogkonseptene er teoretisk fullt lastet.

Generelt kan vi si at alle konseptene tilfredsstillt momentene fra behovsanalysen (2.1).  
Unntaket er behovet om å kunne utføre vedlikehold på brovinduer. Dette har vi satt ne-  
derst som et bør-krav, fordi det fremkom i møter at det ikke var et stort behov for dette.  
Samtidig bidrar det til å gjøre arbeidsplattformen dobbelt så høy, noe som vil gjøre flåten,  
med de dimensjonene som er satt, underdimensjonert. Alle konseptene er i teorien utar-  
beidet slik at de skal kunne oppfylle skal-kravene som er satt. De fleste skal-kravene som  
er satt gir få eller ingen begrensninger på konseptene.

Generelt gir Forsøk 1 (2.6) resultater som er absolutt tilfredsstillende med tanke på flåtens stabilitet. Dersom det regnes med en arbeidsplattform på 10 tonn i det samme scenarioet, med VCG på 5,5 m og egenvekt på 10 tonn plassert midtskips, vil GM bli på 20,5 m og maksimum krengevinkel på 7,99 grader, noe som også er akseptabelt.

### 2.10.1 Skrog

For skroget er det sett på tre ulike konsepter.

I første omgang kan Skrog 1 beskrives som et enkelt konsept, med et alminnelig design og lettfattelige beregninger. De fleste lektere, flåter og flytebrygger har lignende design. Skrog 1 vil sannsynligvis bruke minst materialer av de konseptene som er sett på og vil således være billigst å produsere. I tillegg vil det være enkelt å lagre Skrog 1 på land, med tanke på at det er helt flatt og passer de fleste underlag. En annen styrke ved Skrog 1 er at trykk- og strekkspenninger er like store og motsatt rettet, samtidig har det lave skjærspenninger og lavt bøyemoment (Forsøk 2, 2.8). Dette er en fordel med tanke på skrogets levealder. Det skal sies at Skrog 1 har et stort vannlinjeareal, som naturligvis gir lavest dypgang av alle tre skrogkonseptene. Skrog 1 har lavere treghetsmoment enn katamaranskroget (Skrog 2), men dette kan utlignes ved å legge «skinner» under skroget på for eksempel 30 cm dypgang som vil gi Skrog 1 høyere treghetsmoment. Med Skrog 1 sin enkelthet vil det være lett å legge til hjelpemidler i form av ballasttanker, som kan forbedre flåtens stabilitet.

Skrog 2 eller katamaranskroget skiller seg ut fra Skrog 1 på flere måter. Et av dets styrker er at det *kan* gjøres betydelig smalere enn Skrog 1 og 3. Dette er på bakgrunn av en større mengde fortrent væske i det som utgjør de to skrogene til katamaranen. Med andre ord så er oppdriftskraften større her, noe som vil føre til en større stabilitet enn de andre skrogene. Videre så er trykk- og strekkspenninger langskips lave, som gjør at flåten tåler å få plassert vekter ut mot sidene godt (se Vedlegg C). Det er likevel ikke en stor fordel da trykk- og strekkspenninger tverrskips er veldig høye og flåten er dårligere egnet til å få plassert vekter i midten, hvor den sannsynligvis vil få de største vektene plassert. Skrog 2 må forsterkes markant i tverrskips retning for å i det hele tatt fungere til sitt formål (Se Vedlegg C). Sammenliknet med Skrog 1, vil Skrog 2 gi en mye høyere dypgang. Det kan

føre til at bunnplaten til flåtens skrog tar ned i fregattens sonardupp fremme i baugen. Skrog 2 har også en avansert struktur som gir kompliserte beregninger og er vanskeligere å produsere. Det har dog gode muligheter til å få montert ballasttanker og stabilisatorfiner.

Skrog 3 eller «soppen», har et mer ukonvensjonelt design enn de andre. Den er veldig godt egnet til å ta opp massen til ankeret og ankerkjettingen da mesteparten av volumet til den fortrenkte væsken ligger i sentrum av skrogets vannlinjeareal. I likhet med katarandesignet (Skrog 2) så vil Skrog 3 få en høyere dypgang enn Skrog 1 på bakgrunn av et mindre vannlinjeareal. En svakhet for dette skroget er at det har en noe mer sammensatt struktur. Det er også en mulighet å montere på ballasttanker på dette designet, men muligheten til å plassere de langt ute mot sidene er redusert.

### 2.10.2 Arbeidsplattformer

Videre skal de ulike arbeidsplattformene analyseres. I første omgang ser vi på Arbeidsplattform 1. En styrke ved dette designet er at man kan bevege seg og utføre arbeid over hele flåtens lengde, uten å måtte gå ned en trapp og opp en annen for å jobbe langs skutesiden. Arbeidsplattform 1 trenger ikke å flyttes like ofte som eksempelvis Arbeidsplattform 3, da den vil dekke et større areal langs skutesiden. Som nevnt i bør-kravene (2.2), prioriteres det høyt at flåteløsningen krever lite vedlikehold. Derav anses lukene som en svakhet på denne løsningen da de vil kreve mer vedlikehold enn en helt fast innretning. I tillegg vil det fremkomme arbeid ved å åpne luker, samt demontering av eventuelle støttelement. En mulighet for Arbeidsplattform 1 er at den ikke trenger å være så bred som illustrert i Figur 14 og 15. Noe som truer Arbeidsplattform 1 sin funksjonalitet er at den kan være *for* godt tilpasset når den ligger i baugen, det kan skape mindre rom for bevegelse og påføre arbeidsplattformen spenninger. I verste fall kan det påføre fregatten skader.

Ser vi på Arbeidsplattform 2, så deler den både styrker og svakheter med Arbeidsplattform 1. Arbeidsplattform 2 er justerbar, og vil potensielt kunne dekke et like stort areal på skutesiden ved å bruke skyvbare plater mellom tårnene på arbeidsplattformen. Til tross for at det kan være en fordel tilknyttet funksjonaliteten, forekommer det også en ulempe

ved at det krever vedlikehold. I tillegg kan det være vanskelig å lage en arbeidsplattform med skyv som blir god nok da det er en utfordring å få skjøvet platene ut. Det vil også muligens kreve hjelpemidler som hydraulikksystem, motor eller liknende da platene sannsynligvis vil veie for mye til å bruke håndmakt. En trussel for et slikt system kan være dårlig brukervennlighet. Denne innretningen kommer heller ikke så godt til i baugen, og det å plassere baugen til fregatten mellom tårnene til flåten kan utgjøre en risiko for skader.

Arbeidsplattform 3 er vurdert å passe best opp mot fregattens baug grunnet dens skråform og splittede tårn. En annen styrke med denne arbeidsplattformen er at den er laget for å spare tid på forberedelser og montering før den skal brukes. Den er beregnet for å være fast, anvendelig og kreve lite vedlikehold. Uansett må den flyttes oftere langs skutesiden med tanke på at det er ingenting mellom tårnene. En arbeider er også nødt til å flytte utstyr opp og ned trapper for å komme seg til andre steder. En slik løsning kan fremstå som mer tungvint ved for eksempel maling og rustpikking. En mulighet kan være å bruke prinsipper fra Arbeidsplattform 1 eller Arbeidsplattform 2 flettet inn i denne. Det vil således kreve mer vedlikehold og arbeid rundt selve flåten.

Arbeidsplattform 4 har fordelene av fleksibilitet og passform. Dette gir bedre plass til utstyr om bord. Den kan potensielt være tilpasningsdyktig for hele skutesiden, som har varierende kurvatur. Arbeidsplattform 4 krever en motorisert løsning, har høy kompleksitet og mange bevegelige deler. Ergo fører det til mer tilsyn og vedlikehold. Denne løsningen ville passet godt sammen med magneter eller sugekopper. Bruk av magneter eller sugekopper fører til større sannsynlighet for at noe kan gå galt. Magneter eller sugekopper kan løsne. Dette vil da utgjøre en større risiko for arbeidere om bord.

### 2.10.3 Fremdrift og forflytning

Pullerter er som nevnt ved tidligere anledninger et skal-krav til flåten (2.2). De er anvendelige til både sleping og fortøyning. Dersom vi velger *kun* pullerter kan det innebære at forflytning blir strabasiøst og krevende. Flåten vil være tung å forflytte ved håndmakt og vil være vanskelig å manøvrere ved sleping. En mulighet er buksering, men på grunn av flåten størrelse kan dette bli utfordrende.

V-formens styrke er at den gjør flåten lettere å manøvrere, da den kan skyves fremover og slepes bakover i tillegg til at Sjøbjørnens ror kan bidra til å svinge flåte til ønsket posisjon. Ved en påbygd passform vil flåten få et større areal. Dersom det blir valgt en integrert passform så fjernes oppdriftselementer. Videre vil den kun være tilpasset én type småbåt.

Påhengsmotorer kan bidra til å øke flåtens manøvrerbarhet og gjøre den mer brukervennlig ved forflytning. De kan skaffes til en lav kostnad og elektriske påhengsmotorer krever lite vedlikehold. Det er tilstrekkelig at påhengsmotorene gir fremdrift, de trenger ikke å gi flåten stor hastighet. Likevel så er ikke en slik løsning helt vedlikeholdsfri og en elektrisk løsning trenger en strømkilde. En strømkilde krever nye installasjoner som aggregat, batterier eller kabler til landstrøm. En mulighet er at påhengsmotorene kan flyttes rundt på flåten etter behov og lades på land.

#### **2.10.4 Festeordninger**

Uansett hva som velges vil trosser brukes som en festeordning for flåten. Dersom de blir brukt riktig vil de gi en god fortøyning for flåten. En svakhet med trosser er at de er fleksible og har vansker for å holde en flåteløsning klin inntil fregattens side. Det vil føre til bevegelser som kan påføre skade med mindre det monteres fjæring, dempere eller fendere mellom flåten og skutesiden.

En annen løsning som er sett på er magneter og sugekopper. Fordelen med magneter er at arbeidsplattformen kan festes klin inntil skutesiden. En slik løsning vil kunne utgjøre en god kombinasjon med et bevegelig eller fjæret overbygg. Ulempen med magneter er at de kan forstyrre fregattens signatur. Sugekoppene kan ha vansker for å kunne feste seg til en uren og salt skuteside. Magneter og sugekopper krever en bevegelig arbeidsplattform på grunn av bevegelser i sjøen. Det utgjør en risiko ved at de kan plutselig løsne ved store belastninger.

## 2.11 Valg av konseptuell løsning

Etter å ha diskutert de ulike konseptløsningene, ble de vurdert opp mot hverandre og et valg ble tatt på grunnlag av påfølgende kriterier i prioritert rekkefølge.

### Kriterier

1. Skal-krav
2. Måloppnåelse
3. Bør-krav
  - Lavest mulig krav til vedlikehold og utdanning. Dette anser vi som det eneste bør-kravet hvor konseptene vil skille seg fra hverandre. De andre kravene utredes videre i definisjonsfasen.
4. Gjennomførbarhet
  - Skrog: kompleksitet
  - Overbygg: anvendelighet, sikkerhet, ergonomi og opplæring

### Valg og begrunnelse

I begynnelsen av konseptfasen hadde vi mange idéer som vi mente kunne hjelpe å holde flåten stabil. Eksempler på dette er stabilisatorfinner, seilbåtfinne og «edderkoppbein» (2.5). Det har vi valgt bort i vår løsning. Dersom hjelpemidlene hadde vært påmontert, ville det ha økt tid og kostnader på vedlikehold til flåten, samt gjort den mye mer avansert og dermed økt krav til opplæring og tilsyn. Vannlinjearealet på flåten vil bli så stort at selve skroget blir stabilt nok til at det ikke trenger hjelpemidler. En mulighet er å legge til «skinner» under skroget for å øke det dynamiske dempningsleddet ved rulling. Dette vil gjøre at større vannmasser må i bevegelse, noe som fører til en roligere bevegelse for flåten.

I andre omgang så er Skrog 1 valgt på bekostning av Skrog 2 og Skrog 3. Dette valget baserer seg på flere faktorer. Skrog 1 mener vi totalt sett er best egnet til å utvikles videre på grunn av dets enkle konstruksjon og gode evner til å ta opp spenninger. Dersom vi hadde valgt Skrog 2 eller Skrog 3 ville det ha økt kompleksiteten på skroget betrakte-



lig. Vår erfaring på dette feltet, tilsier at vi først og fremst vil oppnå et best mulig resultat ved å velge Skrog 1. Vi tror at Skrog 1 har den største potensielle levealderen og er mest sannsynlig til å bli satt i produksjon.

Som arbeidsplattform har vi valgt en modifisert versjon av Arbeidsplattform 3. Grunnen til det er hovedsakelig at løsningen krever minst arbeid for å settes i bruk. Med modifisert mener vi at vi har lagt inn en «hestesko» i nederste etasje som skal gi en bedre passform for arbeid i baugen. I tillegg så går tårnene over nesten hele lengden. Vi har også valgt bort en bevegelig løsning med fjæring, hengsler, spor med hjul eller liknende. Bakgrunnen for dette er at det krever mer tilsyn og vedlikehold. Det vil også være flere paragrafer for arbeid i høyden som vil tre inn samt at det vil øke kompleksiteten og påfølgende krav om opplæring. Vi ønsker at arbeidsplattformen skal være enkel og ha et lavt brukergrensesnitt. I tillegg så er det mindre kurvatur i skroget til fregattene en vi opprinnelig tenkte, noe som ikke krever spesialutforming som kan være vanskelig å utarbeide.

Videre har vi valgt en ordinær festeanordning, nemlig trosser og pullerter. Årsaken til det er at magneter og sugekopper sammenfaller med valg av bevegelig arbeidsplattform, i tillegg til at de utgjør en stor risiko ved bruk. De krever også arbeid og tilsyn ved montering. Trosser er fleksible og vil utgjøre en lavere risiko ved bruk. Flåten trenger ikke å ligge klin inntil skutesiden.

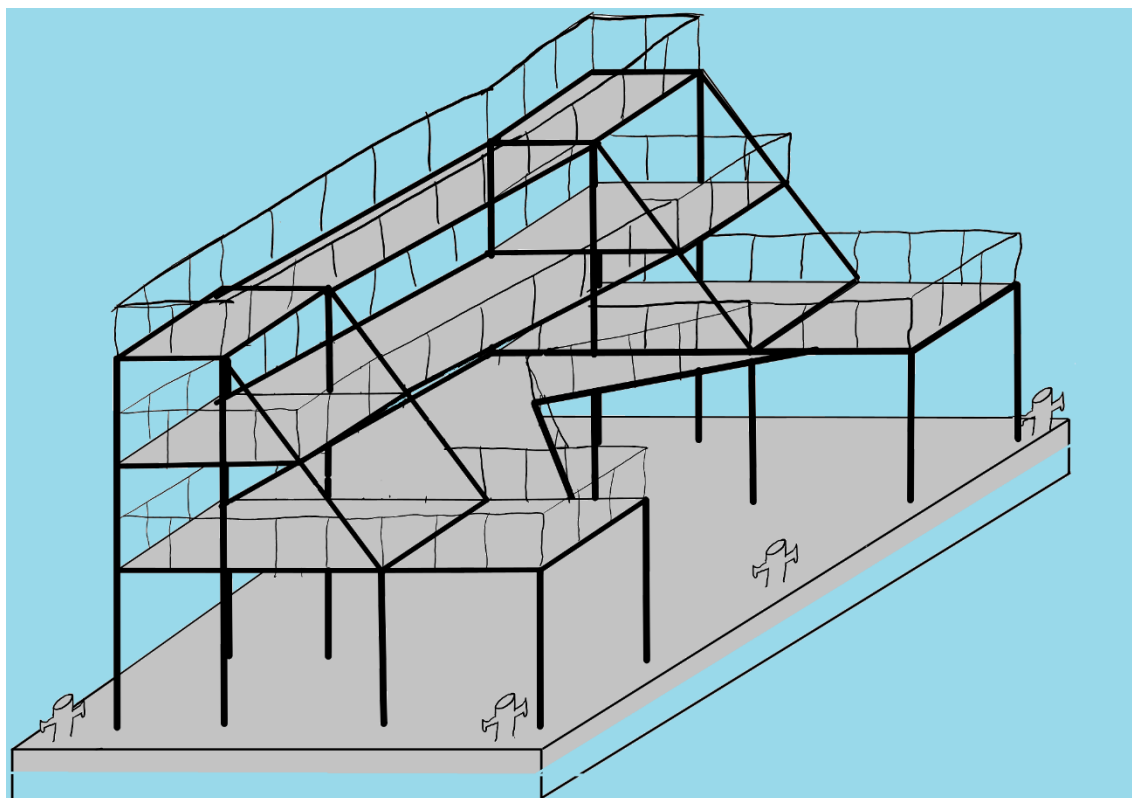
Vi har bestemt oss for at vår løsning skal bruke sleping og forhaling som fremdrift. Sjøbjørn kan transportere flåten over lengre distanser, mens forhaling og sjøbjørn kan forflytte den over korte distanser. Det vil likevel være mulighet for å montere påhengsmotorer eller thrustere dersom det skulle være behov for det. Vi er usikre på om V-formen ville gjort en god nytte. Det er noe som eventuelt kunne blitt testet i en prototype.

Alt-i-alt har valgene våre hovedsakelig basert seg på tidseffektivitet – det skal kreves minst mulig tid på drift og vedlikehold av flåten. På denne måten vil det være hensiktsmessig å bruke flåten kontra dagens løsning.

## Oppsummering av valg

Skrog:	1
Arbeidsplattform:	3, modifisert og ikke-bevegelig
Festeanordning:	Pullerter og trosser
Fremdrift:	Sleping og haling

## Illustrasjon



**Figur 21: Valgt konsept**

### **3 Design og konstruksjon av flåte**

Dette kapitlet omhandler definerings av hoveddimensjoner og presentasjon av hydrostatisk data som videre gir grunnlag for beregning og definerings av krefter og spenninger. Alt-i-alt gir det et underlag for valg av materialer og materialtykkelser.

#### **3.1 Hoveddimensjoner og hydrostatisk data**

Dimensjonene til flåten er valgt basert på kravene (2.2) og bestemt ut i fra beregninger på stabilitet og flyteevne (2.6). Viktige forutsetninger for beregningene er plassbehov, GM, lastekapasitet og krav til fribord på minst 0,5 m.

Formel S1-S9 (1.7.3) ble brukt i Excel. Beregninger for flåtens stabilitet har ført til at hydrostatisk data kan presenteres i Tabell 2. For en utdypning se Vedlegg B.3.

**Tabell 2: Flåtens dimensjoner og hydrostatiske data (uten ballasttanker)**

Symbol	Beskrivelse	Verdi		Enhet
		Ulastet	Lastet	
$L_{wl}$	Lengde	12	12	[m]
$B_{wl}$	Bredde	10	10	[m]
$A_{wl}$	Vannlinjeareal	120	120	[m <sup>2</sup> ]
T	Dypgang	0,13	0,34	[m]
F	Fribord	0,87	0,66	[m]
$\nabla$	Undervannsvolum	15,0	40,37	[m <sup>3</sup> ]
$\Delta$	Deplasement	15,38	41,38	[tonn]
$C_b$	Blokkoeffisient	1,0	1,0	[1]
$MT1_{cm}$	Enhetstrimmo- ment	548,6	1476,0	[tm/cm]
$TP_{cm}$	Tonn per cm	1,23	1,23	[t/cm]

**Tverrskipsstabilitet**

VCB	Vertikalt oppdriftssenter	6,3	16,8	[cm]
VCG	Tyngdepunktets vertikale plassering fra kjøll	1,57	1,53	[m]
BM <sub>T</sub>	Tverrskips metacenterradius	66,6	24,8	[m]
$\theta$	Krengvinkel	0,69	0,71	[grader]

**Langskipsstabilitet**

LCB	Langskips oppdriftssenter	6,0	17,0	[cm]
LCG	Tyngdepunktets langskips plassering fra nullkryss	1,57	1,52	[m]
BM <sub>L</sub>	Langskips metacenterradius	95,97	34,14	[m]
$\alpha$	Trimvinkel	0	0	[grader]

## 3.2 Omsetning av krav

### 3.2.1 Skrog

For å beregne platetykkelsen ble det i første omgang sett på det hydrostatiske trykket som påvirket flåten når den er lastet. I tillegg har vi studert den største belastningen som vil være på dekket til flåten. Norsk Standard (ISO 12215-5:2008) er brukt til å beregne platetykkelse. Vi valgte å forenkle regnestykkene ved å ta utgangspunkt i at det ikke var noen kurvatur ( $k_c$ ) i platene som skal brukes. Avstanden mellom avstiverne måtte også fastsettes for å kunne finne faktor for bredde-/lengdeforhold ved bøyestykke ( $k_2$ ). En avstand som ofte er brukt mellom avstivere er 600 mm. Vi kom dermed frem til at vi skulle ha 12 avstivere i kjøll og 12 i dekk med en avstand på 67 cm som vi rundet opp til 70 cm ettersom vi ikke har tatt høyde for kurvatur i platene.

Som forventet ble det beregnede hydrostatiske trykket svært lavt ( $4,59 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ ) ettersom flåtens dypgang ikke er markant (0,46 m). Beregningene gjort på skrogplatenes tykkelse i kjøll og langs sidene, viste at det ikke var behov for tykke plater (1,94-2,26 mm). For utdyping se Vedlegg D. Det er derimot valgt å legge på noen ekstra millimeter i den hensikt å ta høyde for korrosjon og forskjellige skader som skulle oppstå i forbindelse med arbeid. Vi ender dermed opp med en platetykkelse på 5 mm på langside, bredside og i kjøll. Beregningene for platetykkelsen på dekk viste at det kunne brukes en tykkelse på minimum 2,34 mm, men det tas ikke hensyn til om flåten er lastet. Tas det hensyn til at flåten får en høy punktbelastning på grunn av ankeret, finner vi at platetykkelsen i dekket må være minimum 2,87 mm. For nærmere detaljer se Vedlegg D.

Ettersom flåten har tverrskips skott som er med på å stive av platene og ta opp belastningen fra ankeret, legges det til 0,13 mm som utgjør en platetykkelse på totalt 3 mm. I tillegg velges det å legge en GRP-plate på dekk som vil fordele trykket fra ankeret bedre over et større dekkareal. Dette er en sterk og lett plate som ofte blir brukt offshore og i maritim industri for å redusere vekt. Platen skal legges på ved arbeid med ankeret og kan fjernes når flåten ikke brukes. Dette for å unngå at det oppstår fukt mellom platen og dekket som skaper korrosjon.

Med utgangspunkt i kravene har vi kommet frem til følgende valg av materialer til skroget. Forutsetningene til beregningene er en fullt lastet kondisjon med ballasttanker på 20 tonn som i tillegg gir et fribord på 0,54 m og en dypgang på 0,46 m.

**Platetykkelse dekk: 3mm**

- For ankeret skal vi også ha en GRP-plate som fordeler lasten bedre utover dekket.

**Platetykkelse kjøll, langside og bredside: 5 mm**

- Tar hensyn til korrosjon og gjør at man ikke trenger å ta vedlikehold på skroget like ofte. I tillegg vil det også plasseres zinkanoder ut langs skroget.

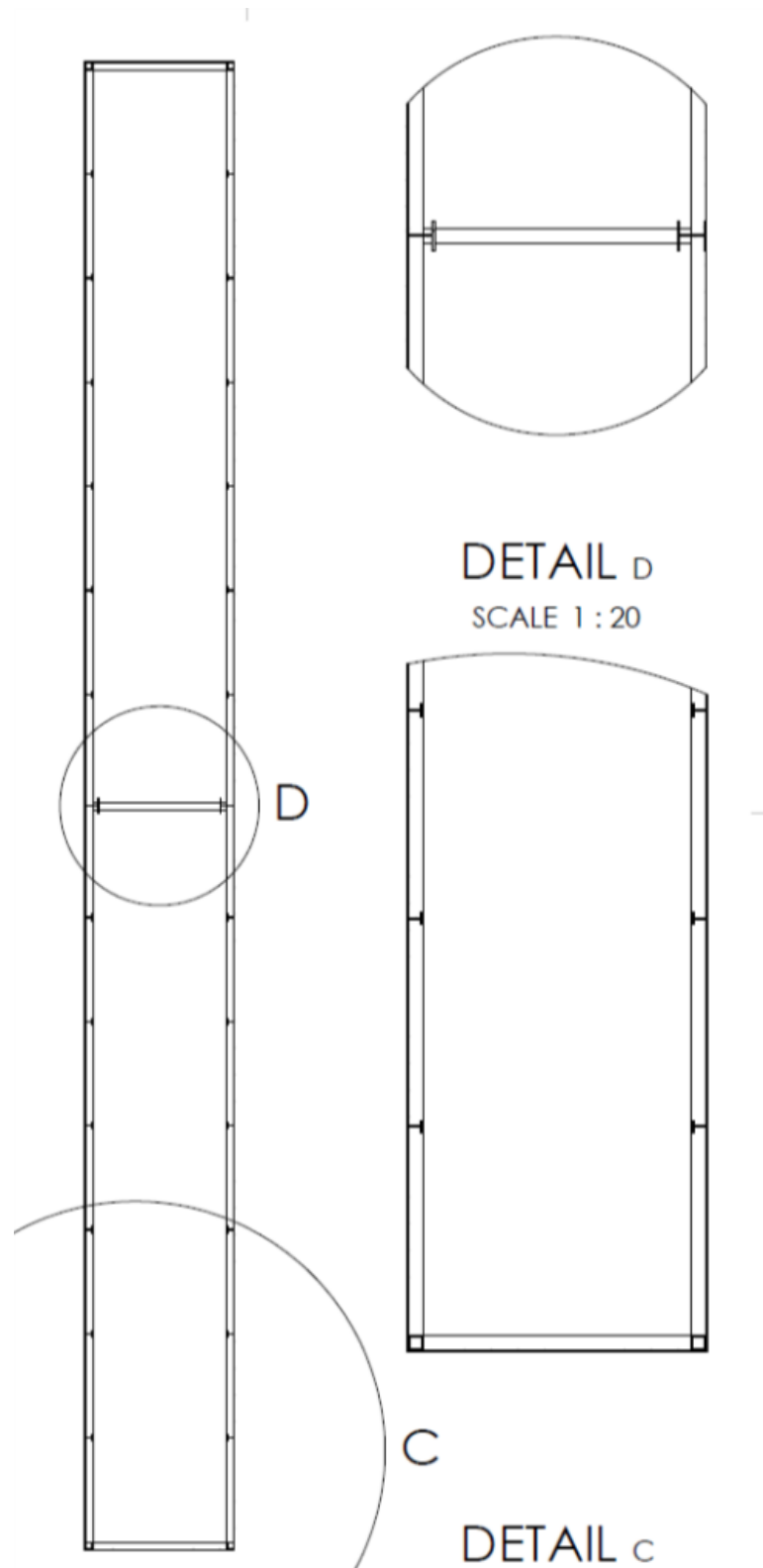
**Ståltype: S355J2+N og S235JR**

- Standard konstruksjonsstål som brukes mye i skipsindustrien.

Figur 22 og Figur 23 viser et tverrsnitt av henholdsvis tverrskips og langskips arbeidstegninger til skroget utarbeidet i tegneprogrammet Solidworks.



**Figur 22: Tverrskips tverrsnitt av skroget**



**Figur 23: Langskips tverrsnitt av skroget**



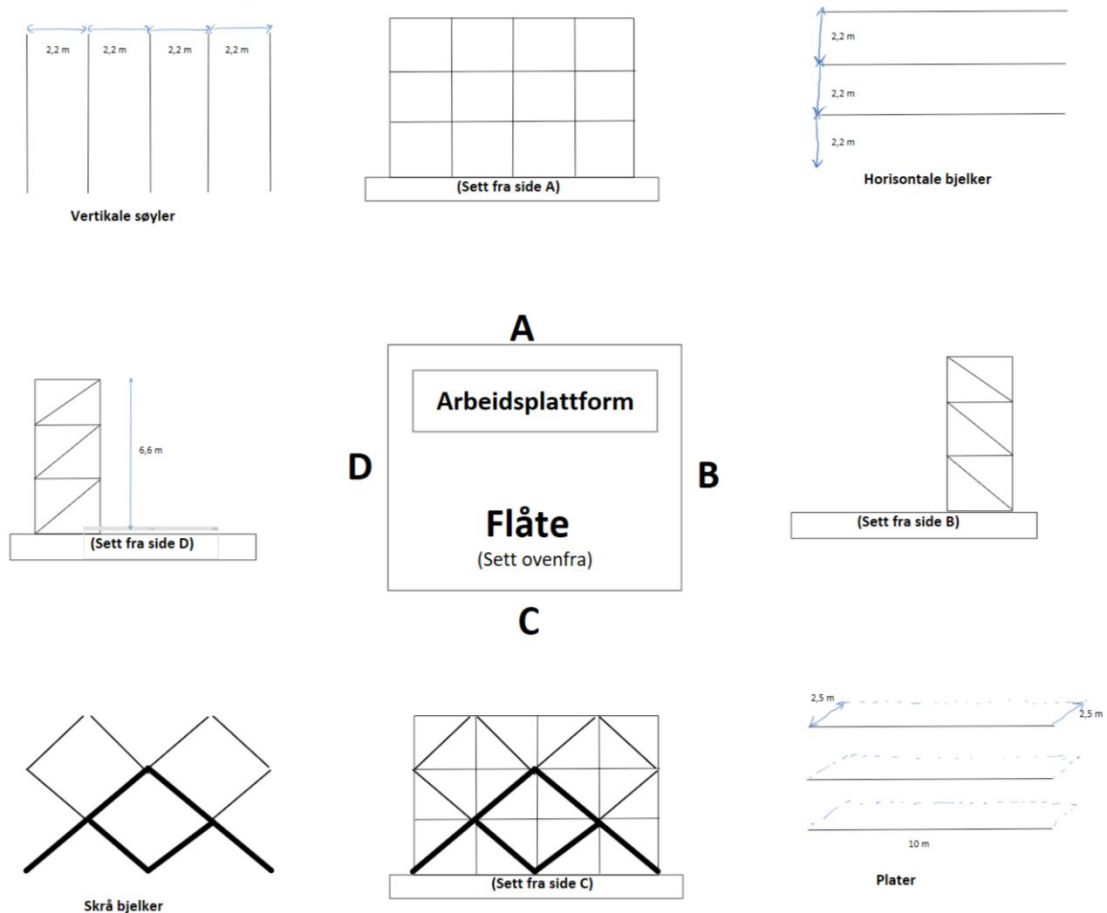
### 3.2.2 Arbeidsplattform

Vi begynte med å se på ulike løsninger for et design til arbeidsplattformen som skulle fremme styrke og stabilitet i samsvar med kravene vi har satt (2.2). I hovedsak skal arbeidsplattformen tåle en punktbelastning på 2 tonn vilkårlig plassert, samt værpåvirkninger.

Videre bestemte vi dimensjonene til arbeidsplattformen som følgende; høyde 6,6 meter (m), bredde 2,5 m og lengde 10 m. Høyden var hensiktsmessig for å utføre arbeid på over 7 meter og for avstand mellom etasjene. Bredden er mer vilkårlig, men det skal være god nok plass til å kunne utføre arbeid. Lengden er satt slik at det er mulig å kunne bevege seg ved siden av arbeidsplattformen nede på dekk.

Arbeidsplattformen består videre av horisontale bjelker, vertikale søyler, skrå støttebjelker og plater som man skal kunne stå på og utføre arbeid i fra. Av de utgjør fem vertikale søyler på hver side, totalt ti stykk som er 6,6 meter høye. På tvers av disse, i lengden til arbeidsplattformen, går det horisontale bjelker i tre etasjer. Det er 2,2 m mellom senterlinjene til hver av de horisontale bjelkene. De horisontale bjelkene utgjør til sammen tre «liggende» rammer eller etasjer som platene skal ligge oppå. I tillegg danner de til sammen med de vertikale søylene «stående» rammer. På den siden av arbeidsplattformen som ikke står mot fregatten, skal det være skrå bjelker som skal bidra til å holde konstruksjonen intakt og stabil. I tillegg skal det være skrå bjelker i hver av rammene på sidene av arbeidsplattformen.

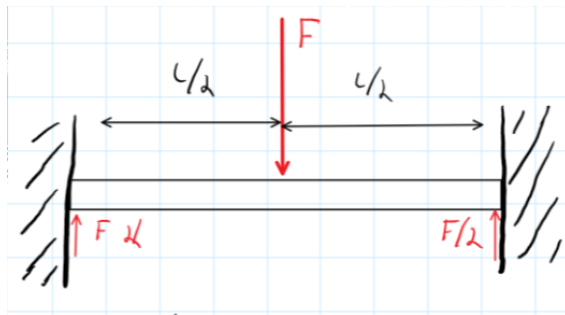
Forklaringene er illustrert i Figur 24



**Figur 24: Plassering av deler til arbeidsplattform**

Relevante utregninger ble utført i samråd med valg av materialer fra Norsk Ståls produkt-katalog (Norsk Stål 2016). Excel ble brukt til å finne de mest hensiktsmessige produktene. Belastninger bestemte i stor grad valg av produkter. Vi satte en sikkerhetsfaktor på  $n \geq 3$  som er i samsvar med skal-kravene vi har satt (2.2). Følgende viser et utdrag av hvordan sikkerhetsfaktorene ble beregnet.

Formel M1 (1.7.2) ble brukt for å finne bøyemomentet til de horisontale bjelkene.



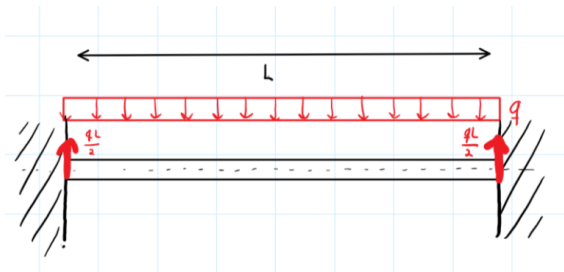
$$M = \frac{20kN * 2,5m}{2} \left( \frac{3}{4} - \frac{1,25m}{2,5m} \right)$$

$$= 0,625 kNm$$

**Figur 25: Lastfordeling horisontale bjelker**

Videre ble formel M3 (1.7.2) brukt for å finne motstandsmomentet og M4 (1.7.2) for å finne bøyesspenningen. Ved hjelp av flytegrensen og bøyesspenningen satt i formel M6 (1.7.2) kunne vi finne sikkerhetsfaktoren. Se Tabell 3 på neste side.

Formel M2 (1.7.2) ble brukt for å finne bøyemomentet til platene. Platene ble beregnet med en jevnt fordelt last slik som vist i Figur 26.



$$M = \frac{-8kN * 1,25 * 2,5}{2} \left( \frac{1}{6} - \frac{1,25}{2,5} + \frac{1,25^2}{2,5^2} \right)$$

$$= 1,042kN$$

**Figur 26: Lastfordeling plater**

Det ble videre brukt samme metode til å finne motstandsmomentet, bøyesspenningen og sikkerhetsfaktoren for platene som de horisontale bjelkene. Se Tabell 3 på neste side.

For å beregne de skrå bjelkene ble konstruksjonen behandlet som et fagverk. Siden det utgjorde 40 likevektsligninger ble fagverket forenklet, og ergo satt vi igjen med 14 likevektsligninger – som ble enklere å beregne. Alle stavkreftene ble så bestemt ved hjelp av Newtons lover og knutepunktmetoden. Det ble videre tatt utgangspunkt i de største

trykk- og strekkspenningene som ble brukt i formel M5 (1.7.2) for å finne normalspenningen. Formel M6 (1.7.2) ble brukt for å finne sikkerhetsfaktoren.

Resultatet er vist i Tabell 3. For fullstendige beregninger se Vedlegg E.

**Tabell 3: Valg av deler til overbygg**

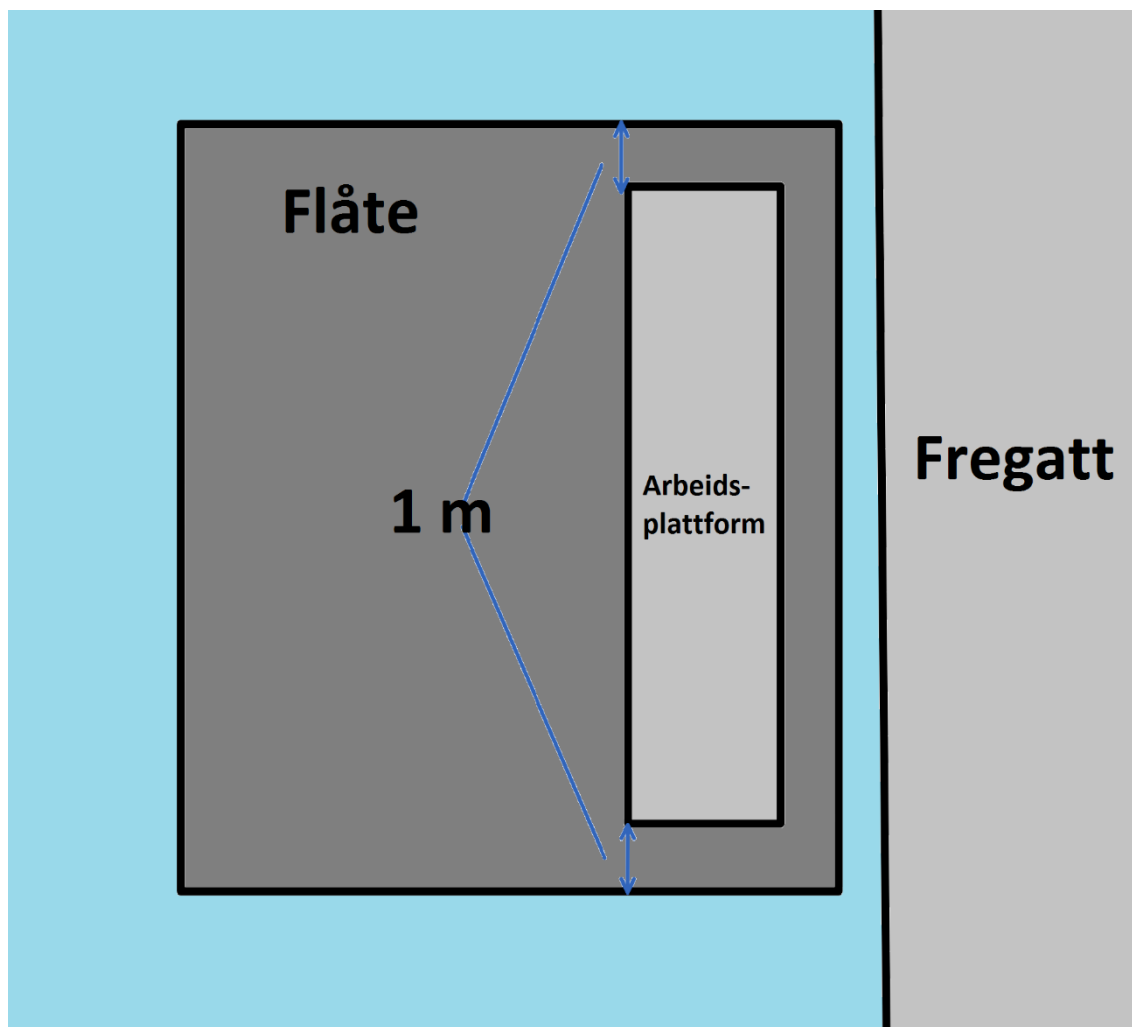
Beskrivelse	Dimensjon	Sikkerhets-faktor
Vertikale søyler	50x50x3mm	IU <sup>6</sup>
Horisontale bjelker	50x30x3mm	6,46
Skrå bjelker	50x30x3mm	5,75
Plater	5x2500x5000mm	1899 <sup>7</sup>

### 3.2.3 Plassering av arbeidsplattform på skrog

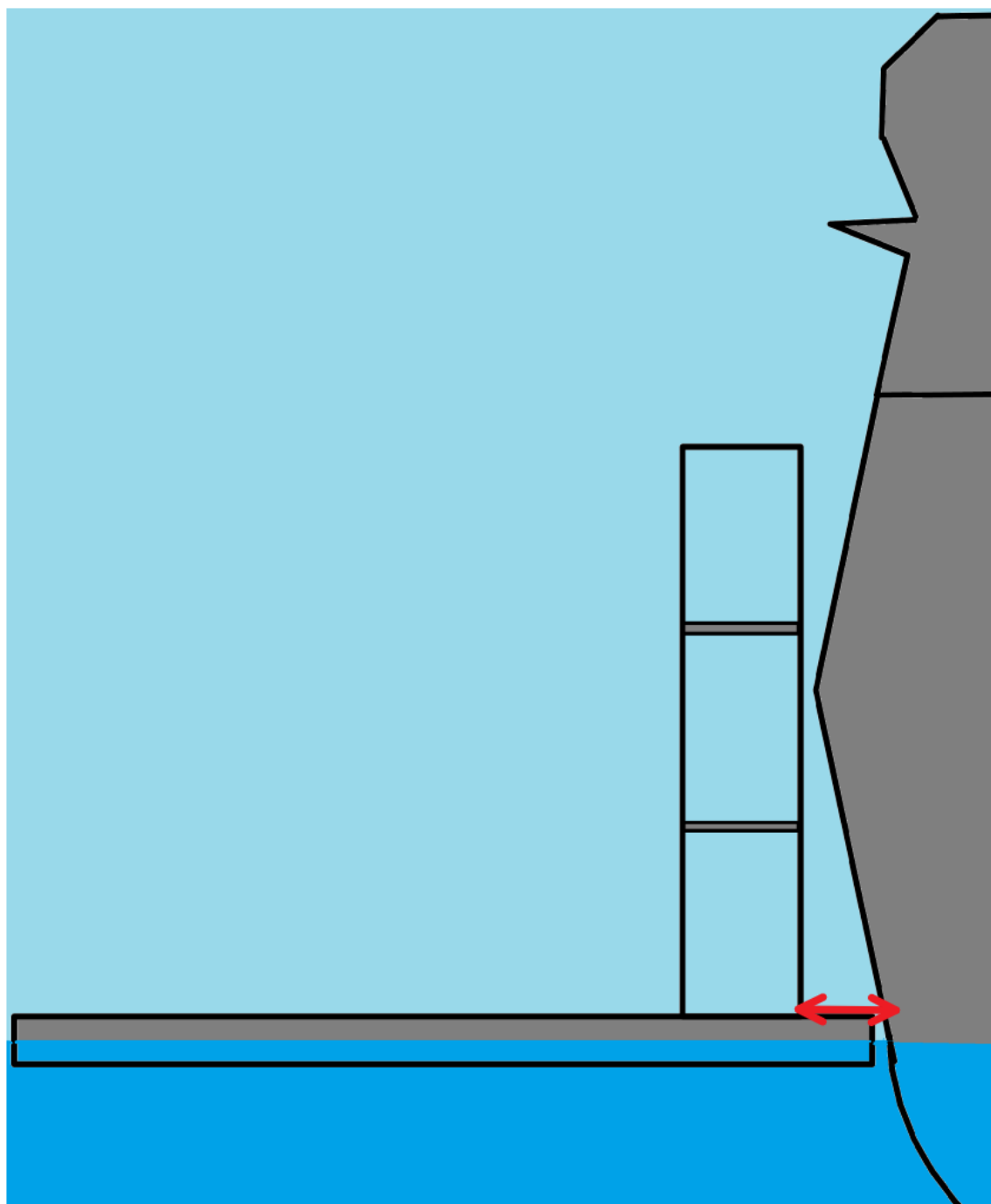
Arbeidsplattformen skal plasseres slik at det er 1 meter klaring på begge sider langsips. Figur 27 illustrerer langsips plassering av arbeidsplattform. For å fastsette tverrskips plassering til arbeidsplattformen er man avhengig av fregattens linjetegninger. Linjetegningene er gradert og derfor vil tverrskips plasseringen stå «åpen» i denne oppgaven. Den røde pilen illustrert på Figur 28 viser hvilken avstand som må fastsettes av de graderte linjetegningene.

<sup>6</sup> IU=Ikke utført. Har ikke utført beregninger på vertikale bjelker ettersom belastningene ikke blir like store på dem. Når de horisontale og skrå bjelkene er bevist sterke nok, vil følgelig de vertikale være sterke nok også.

<sup>7</sup> Årsaken til at sikkerhetsfaktoren er så høy er fordi den er beregnet med en last jevnt fordelt over hele platens areal.



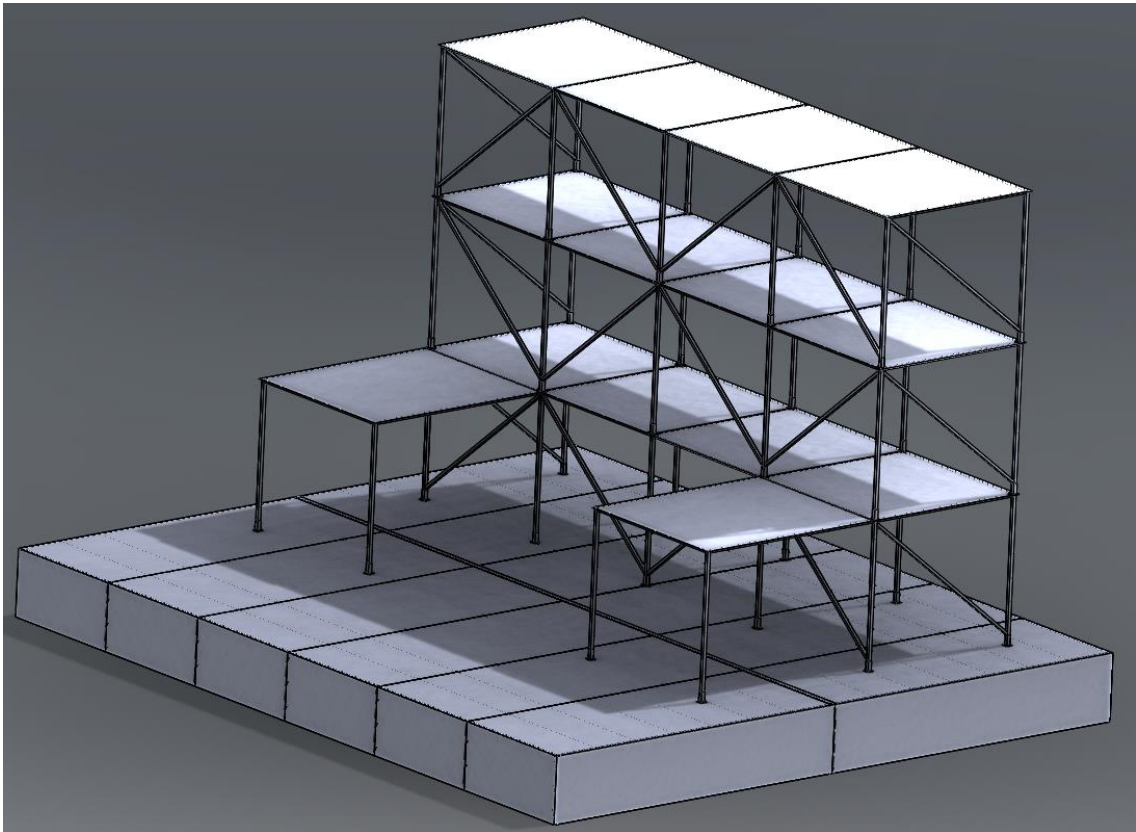
**Figur 27: Plassering av arbeidsplattform sett ovenfra**



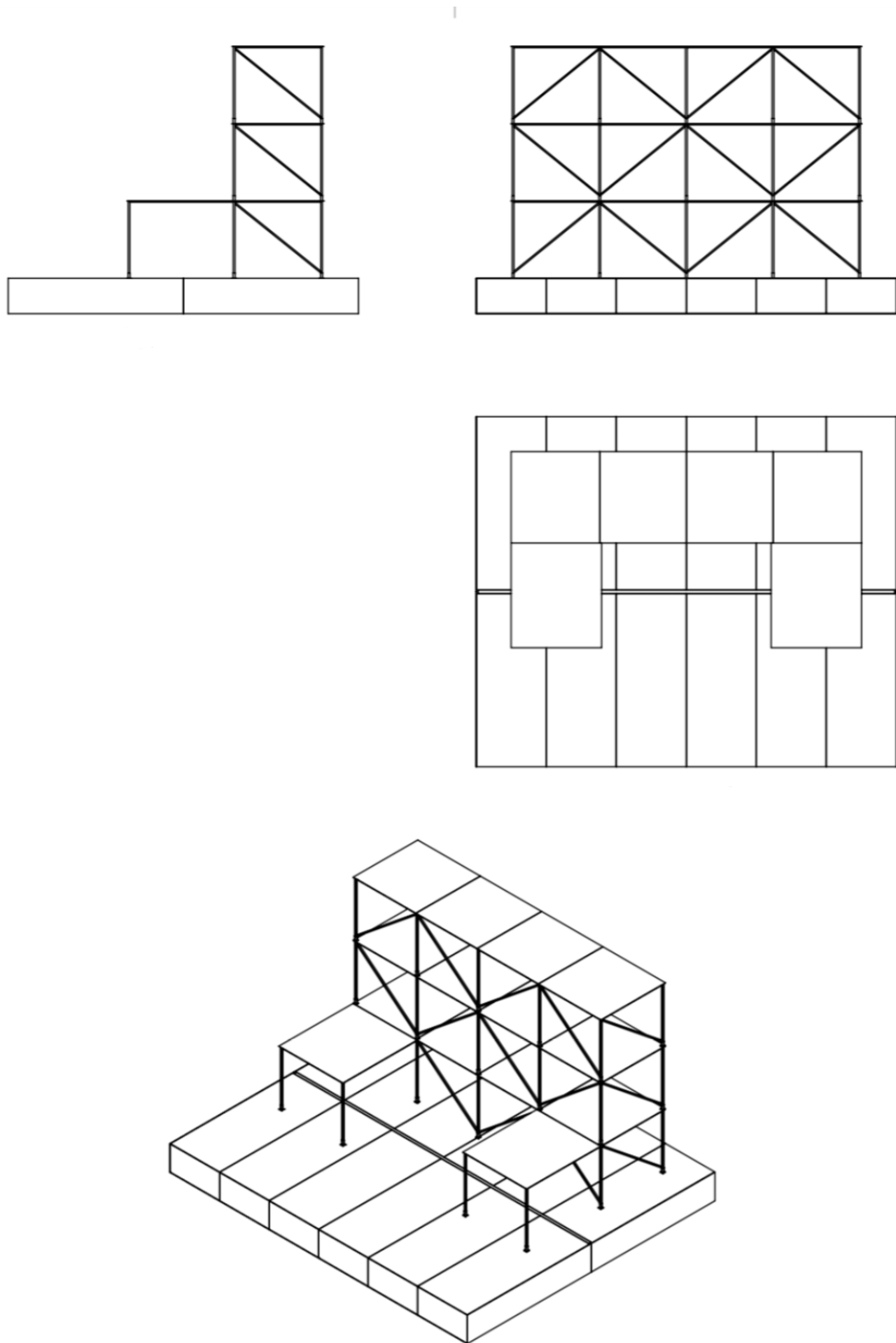
**Figur 28: Plassering av arbeidsplattform sett forfra**

### 3.3 Arbeidstegninger av ferdigstilt konsept

Figur 29-34 er sammenstillingen av flåtekonseptet med arbeidsplattform utarbeidet i tegneprogrammet Solidworks.

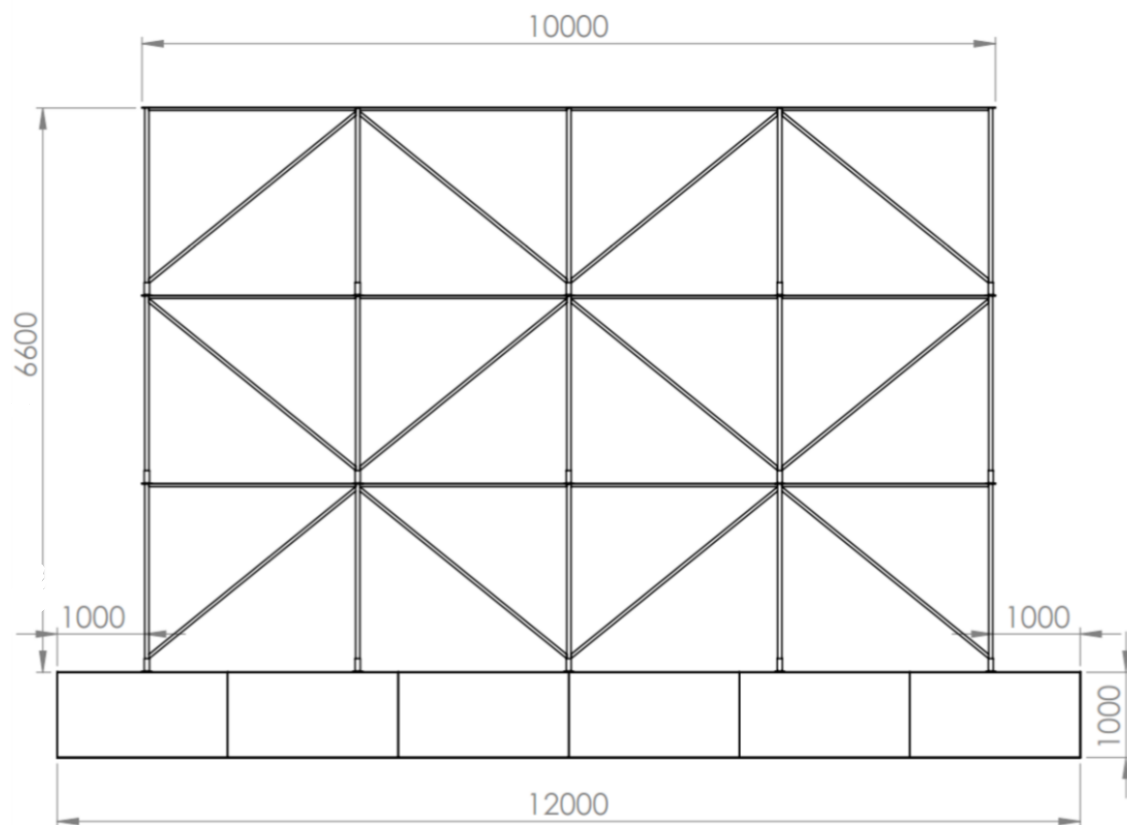


**Figur 29: Flåteløsningen i 3D**

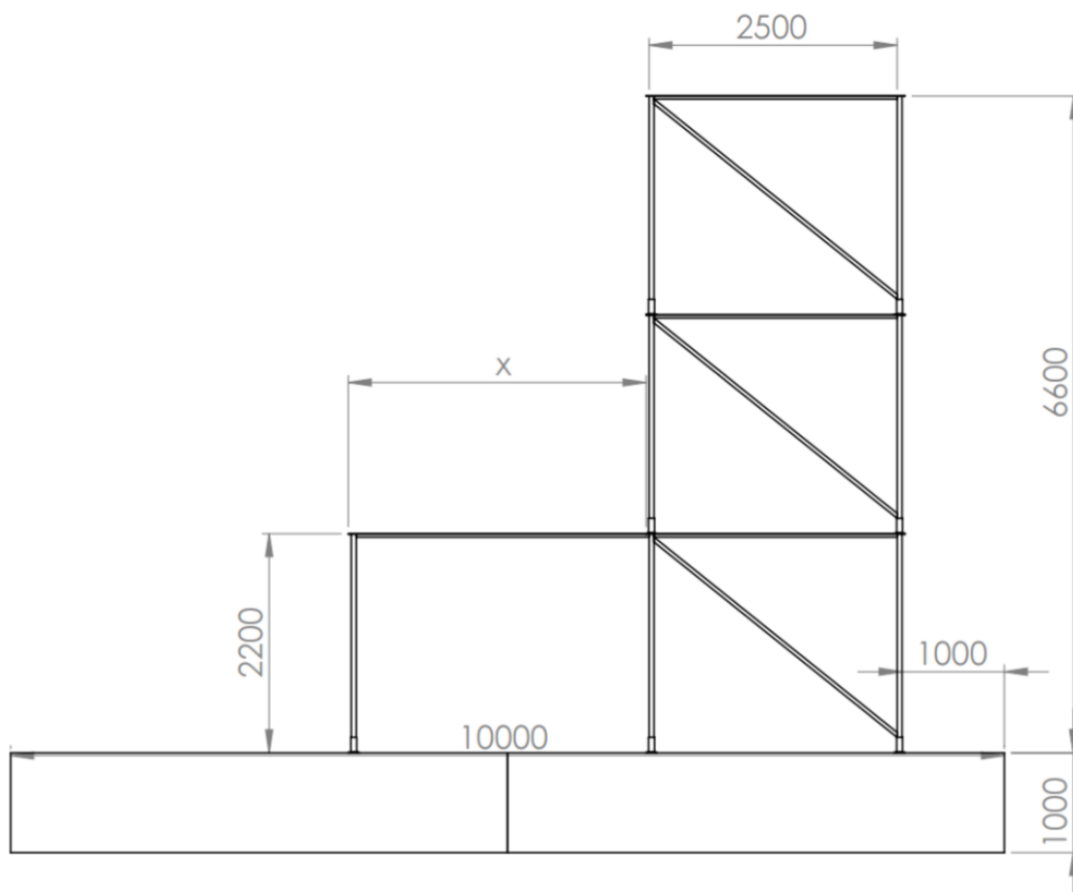


**Figur 30: Overblikk arbeidstegninger**

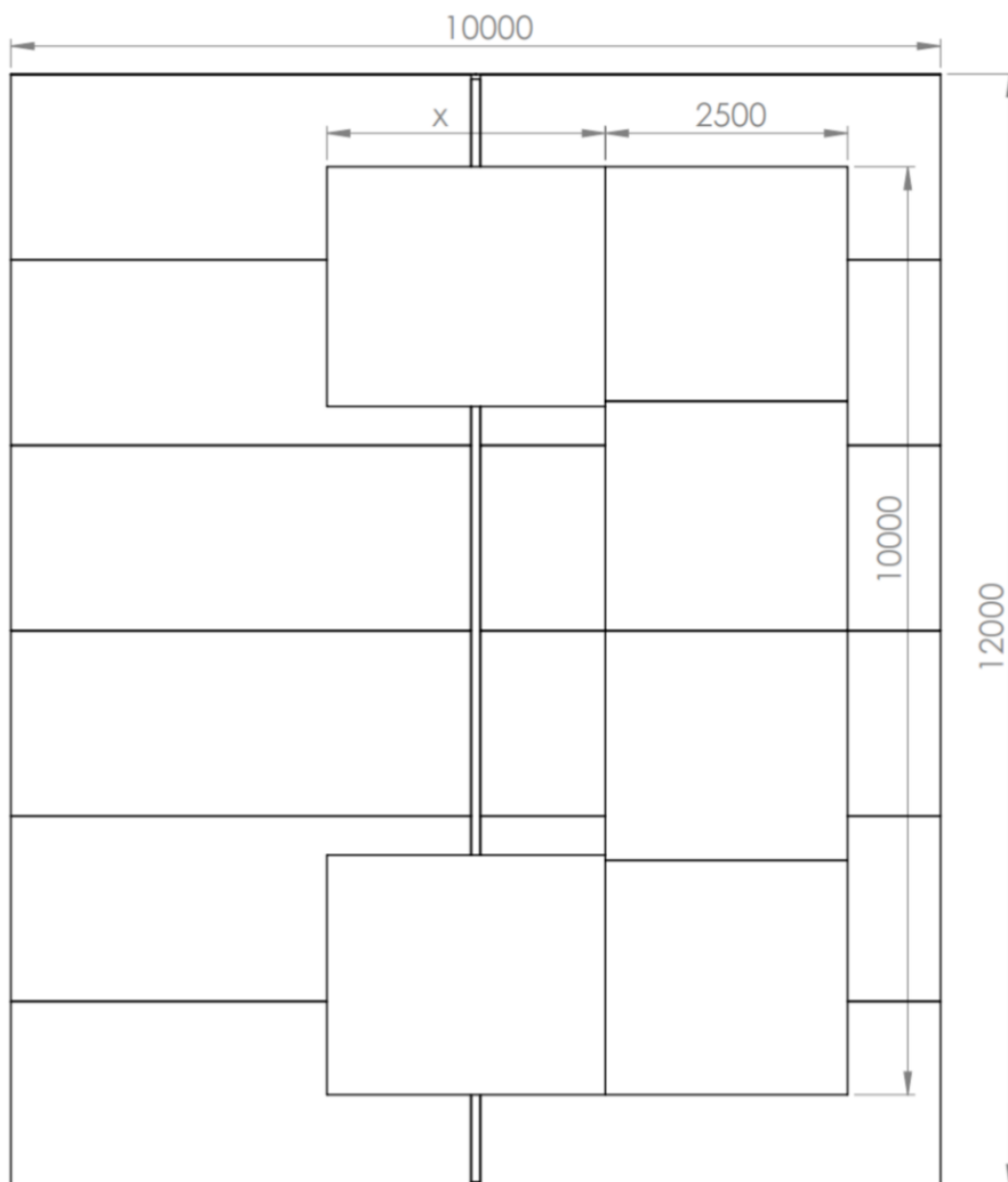




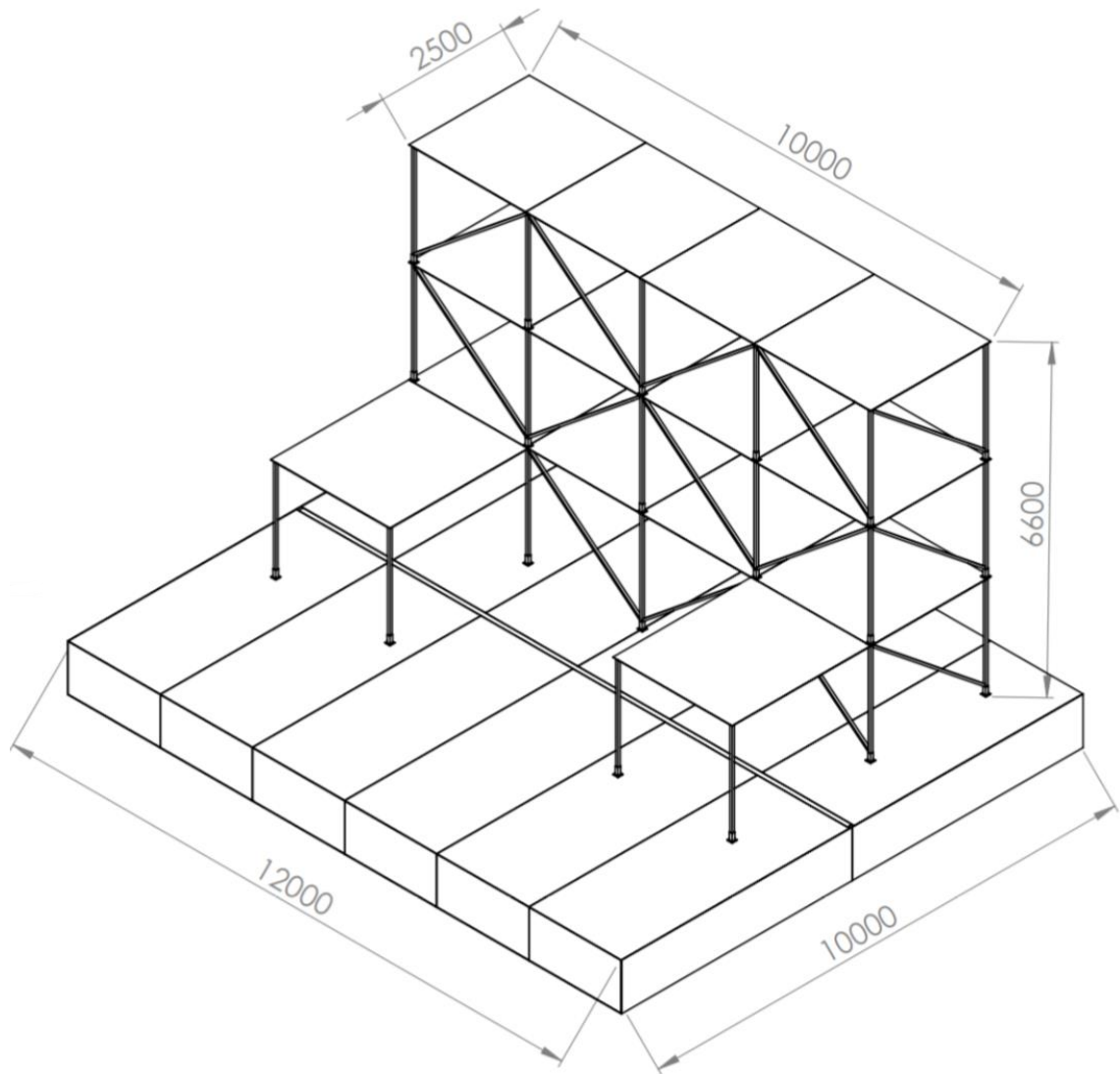
**Figur 31: Arbeidstegning (sett langsips)**



**Figur 32: Arbeidstegning (sett tverrskip)**



**Figur 33: Arbeidstegning (sett ovenfra)**



**Figur 34: Arbeidstegning (sett på skrå)**

### 3.4 Oppfylning av behov

Behovsanalysen (2.1) beskrev at følgende punkter kunne dekkes, vedlikehold av:

- ✓ Anker
- ✓ Ankerkjetting
- ✓ Fortøyningsluker
- ✓ Helikopternet
- ✓ Akterlanterner
- ✓ Sonardupp
- ✓ Redningsflåter
  
- x Brovinduer

Beskrivelse:

- ✓ De behovene som vi anser som oppfylt
  
- x Det behovet vi anser som ikke oppfylt

### 3.5 Oppfylning av skal-krav

Alle skal-krav (2.2) er oppfylt.

### 3.6 Oppfylling av bør-krav

De bør-kravene ble satt er:

- ✓ Vedlikehold
- ✓ Kostnad
- ✓ Utdanning
- ✓ Fribord
- ✓ Lastekapasitet
- ✓ Ergonomi
- ✓ Ballasttanker<sup>8</sup>
- ✓ Tilpasningsmulighet
- ✓ Dokumentasjon
- ✓ Transport
- ✓ Dimensjonering
- ✓ Miljørelatert
  
- x Arbeidshøyde

Beskrivelse:

- ✓ De behovene som vi anser som oppfylt
  
- x Det behovet vi anser som ikke oppfylt

---

<sup>8</sup> Flåten er ikke konstruert *med* ballasttanker, men det er tatt høyde for i beregningene.

## 4 Videreutvikling

Kapittelet har en sammenheng med begrensingene (1.4) som har blitt satt, på forhånd eller underveis. Ulike forslag og idéer til konseptet blir kort gjort rede for.

### 4.1 Skrog

#### **Festepunkt til arbeidsplattform**

Festepunkt til arbeidsplattform gjenstår det å gjøre beregninger for. Vi har sett for oss at arbeidsplattformen vil bli modulbasert og avtakbart. Festepunktet på flåten vil være en slags fot hvor man trer arbeidsplattform nedpå, deretter fester man det ved hjelp av bolter eller liknende.

#### **Ballast og vekter**

Med tanke på at flåten skal ha en arbeidsplattform vil dette gjøre at den ikke er i fullstendig likevekt. For å kunne holde den i likevekt med arbeidsplattformen fastmontert ser vi det derfor som lurt å plassere ut noen vekter som motvirker arbeidsplattformens påvirkning på flåten. Disse kan eventuelt ligge på skinner som kan skyves eller sveives ut mot siden. Videre har vi også sett på ballasttanker som en smart løsning å ta med i skroget. Disse har vi tatt høyde for i utregningene, men ikke tatt med i tegningene. Disse vil brukes etter behov når en laster flåten med fregattens avtakbare luker og anker med ankerkjetting. Ballasttankene kan konstrueres i hardplast i hvert av hjørnene på flåten slik at en slipper unødvendig vedlikehold og korrosjon. De vil også være lette å bytte ut om nødvendig. I tillegg vil det da være lett å trimme flåten i ønsket posisjon. For å kunne fylle dem ser vi det som fornuftig å lage et felles innløp for alle tankene, hvor en kan stenge av forgreiningene til de forskjellige tankene. Vannet vil pumpes inn ved hjelp av en sjøvannspumpe. Ved en tilføyelse av ballasttanker anbefales det å regne på fri væskeoverflate korleksjon (FSE).

## **Polstring**

For å unngå skader på skutesiden når vedlikeholdsarbeidet pågår, har vi vurdert om det bør festes dekk, fendere eller en annen form for gummi langs skrogsiden. Disse vil også være med på å dempe reaksjonen til flåten når den kommer borti skutesiden og gi en mykere bevegelse.

## **Løfteringer**

Flåten bør utstyres med løfteringer som har tilfredsstillende styrke slik at den kan løftes med kran opp på kai. Det må gjøres videre beregninger for festepunkter og omkringliggende struktur i skrog.

## **Tilleggsutstyr**

Vi ser det som høyst sannsynlig at forbruker vil ønske å ha om bord en del ekstra utstyr når en skal gjøre vedlikehold av fregattene. Her ser vi det som hensiktsmessig å lage festepunkter for det utstyret en måtte ønske å ha med seg, slik at det står sikkert og er beskyttet mot sjøvann. For å kunne fastsette hvilke festepunkter som skal opprettes bør en ta en videre prat med forbrukeren. Dette har ikke vært prioritert i denne oppgaven. Forskjellige punkter som kan være nyttige å opprette er for eksempel høytrykkspyler, strømaggregat og sjøvannspumpe. Disse vil da kunne løftes av og på etter behov og ved bruk av flåten. Det er da viktig å tenke på at disse vil generere ekstra vedlikeholdsarbeid.

## **4.2 Arbeidsplattform**

### **Modulbasert**

Arbeidsplattformen bør kunne demonteres i mindre deler slik at den kan tilpasses skutesiden. Det kan bidra til å gjøre det lettere å heise arbeidsplattformen av flåten. Det er ikke blitt prioritert å se nærmere på dette.



### **Trapp eller stige**

Arbeidsplattformen har en bredde på 2,5 meter, dermed er det fullt mulig å ha en bred trapp hvis det skulle være ønskelig. I samsvar med kravene skal en slik innretning ha en sikker og hensiktsmessig atkomst (Jfr. For 2011 nr. 1357, §17-12). Konstruksjon av en slik innretning er ikke blitt prioritert i oppgaven.

### **Rekkverk og sikringer**

For at man skal kunne utføre arbeid sikkert på arbeidsplattformen trengs det rekkverk eller annen form for sikring. Åpninger i et ferdigstilt produkt skal være sikret med rekkverk eller solid tildekning som har tilfredsstillende styrke i henhold til forskrift om utførelse av arbeid (Jfr. For 2011 nr. 1357, §17-7 & §17-14). Dersom fremkommelighet og ergonomi krever at det likevel må være åpninger, skal arbeidere i umiddelbar nærhet være utstyrt og sikret med fallsikring. Dette må tas høyde for i en eventuell videreutvikling av konseptet.

### **Tilleggsutstyr**

En solid arbeidsplattform kan også inneholde ulike hjelpemidler som for eksempel vinsj for å heise opp utstyr eller solseil som kan gi skygge. I kombinasjon med et aggregat eller strømfordeler på dekk kan det også være hensiktsmessig å ha strømuttak i etasjene.

### **Hesteskoform**

For å kunne tilpasse arbeidsplattformen optimalt må det gjøres nøyaktige mål av fregattens baug. Parameterne kan hentes fra fregattens linjetegninger som er gradert. Dette bør utforskes videre for å kunne produsere en anvendelig arbeidsplattform.

## 4.3 Fremdrift

### Sjøbjørn

Det skal være pullerter montert på flåten. Her må det konstrueres forsterkninger i flåten som gjør at man kan slepe den ved hjelp av en sjøbjørn. Det er ikke prioritert å gjøre beregninger for det i denne oppgaven.

### Elektromotor

Vi har sett for oss at det kan være praktisk å kjøpe inn noen små elektromotorer som kan gjøre plassering og forflytning av flåten enklere når den er i posisjon ved fregatten. Måten det vil bli gjort på er at det monteres forskjellige festepunkter til motorene på flåten. De kan brukes som «thruster» for å holde flåten inntil fregatten. Eventuelt kan en bruke dem til å forflytte flåten langs skutesisiden.

## **5 Anskaffelse og kostnader**

### **5.1 Kostnadsramme**

For selve flåten er det ikke satt noen kostnadsramme. Vi snakket med sjef vedlikehold i 1. Fregattskvadron og han mente vi hadde relativt frie tøyler. En tenkt ramme han så for seg var mellom en million kroner og opp til sju millioner kroner. Selv har vi prøvd å holde kostnadene nede så godt som mulig ved å velge hyllevarer fra Norsk Stål og forholdt oss til en vanlig ståltype egnet for konstruksjoner i maritim industri.

### **5.2 Innkjøpsliste**

Det er tatt utgangspunkt i Norsk Stål sin produktkatalog og prisliste. Prisene på produktene er basert på ca. kostnader fra prislisten deres. Avvik kan forekomme men de vil ikke være signifikante. GRP-mesh-platene må hentes inn fra en annen leverandør og etter et søk i nettleseren ser man at det finnes mange leverandører som leverer produktet. Ut fra prisene som står på nett har vi satt av 10 000 kr til plater som dekker et areal på 3x3m (2017 Fibregrid).

#### **5.2.1 Total sum innkjøp**

Tabell 4 fremstiller total sum for innkjøp til skrog og arbeidsplattform. For en mer utfyllende liste se Vedlegg F.

**Tabell 4: Total sum innkjøp**

<b>TOTAL SUM</b>	
<b>Beskrivelse</b>	<b>Pris [kr]</b>
Skrog	312 000
Arbeidsplattform	28 000
<b>SUM</b>	<b>340 000</b>

## **6 Drift og vedlikehold**

Hensikten med vedlikehold er at materiell stridsevne skal opprettholdes til lavest mulig kostnad. For drift og vedlikehold av vedlikeholdsflåten bør det bli laget en egen instruks (drift- og vedlikeholdsmanual). Denne instruksjonen må inneholde rutiner for sleping, fortøyning og vedlikehold til flåten. I tillegg skal det også følge med et regelverk som sikrer at arbeidet blir gjort innenfor norske forskrifter. Det bør også legges ved dokumentasjon på hvor mye en kan laste flåten og arbeidsplattformen med (bruksbegrensninger).

### **6.1 Vedlikeholdsrutiner**

De enkle vedlikeholdsrutinene bør også inkludere før- og etterbrukskontroll, og bør gjennomføres før og etter bruk, for eksempel ferskvannsspyling. Mer tidkrevende vedlikeholdsrutiner, som å heise opp flåten for inspeksjon, bør gjennomføres av sertifisert personell i regi av for eksempel vedlikeholdsavdelingen til 1. Fregattskvadron.

### **6.2 Eierskap**

Eierskap av flåten og ansvar for vedlikehold av flåten er ikke fastsatt. Dette må avgjøres senere i prosjektet. Et forslag kan være at Forsvarsmateriell, 1. Fregattskvadron eller Forsvarsbygg står som eier av selve flåten.

### 6.3 Manual

Det er den som produserer arbeidsutstyret som i dette tilfellet er en modulbasert arbeidsplattform som skal utarbeide monterings- og bruksveiledning. Veiledningen skal være på norsk og gi informasjon om belastningsklasse, fundamentering, oppstilling, bruk, tilsyn, demontering, vedlikehold, reparasjon og kassasjonskriterier (Jfr. For. 2011 nr. 1359, §4-4). Produsenten må også sette bruksbegrensninger til flåten med tanke på værforhold.

Sikkerhetsutstyr: i henhold til småbåtloven §23a skal alle personer i fritidsbåter med lengde mindre enn åtte meter ha på seg egnet flyteutstyr når båten er i bevegelse. Det vil si at arbeid om bord kan utføres uten flytevester eller liknende, men bør etter skjønn benyttes ved enkelte operasjoner.

Det anbefales at en operasjonsrisikoanalyse (ORM) eller en sikker jobbanalyse (SJA) blir utarbeidet av arbeidsleder. Det anbefales også å se på norsk forskrift om utførelse av arbeid kapittel 17 (For. 2011 nr. 1357) for den som utarbeider manual.

## 7 Konklusjon

Oppgaveformuleringen med arbeidsomfang beskriver 1. Fregattskvadrons behov for en løsning som er slik at utvendig skipsarbeid og vedlikehold kan utføres uten at fartøyet må forhales og vendes.

**Vi anbefaler at det blir bygd en vedlikeholdsflåte med en spesialtilpasset arbeidsplattform. Den kan basere seg på våre beregninger og underlag. For spesifikasjoner se kapittel 3. Dersom vår løsning blir valgt anbefaler vi at det blir sett nærmere på elementene i kapittel 4. Det anbefales også at det blir utført en kostnadsanalyse før et valg blir tatt.**

Dersom det blir besluttet å bygge flåten slipper fregattene i framtiden å forhales og vendes når de ligger til kai for utvendig vedlikehold. Bruk av vedlikeholdsflåte vil sannsynligvis redusere tiden og det vil bli enklere å utføre utvendig vedlikeholdsarbeid på fregattene. Dette kan gi en samfunnsøkonomisk gevinst som kan fristille ressurser som kan brukes andre steder. Fregattene vil kunne vedlikeholdes utvendig oftere, noe som kan hjelpe med å utbedre fregattenes vedlikeholdsbehov på en bedre måte. En effekt som er viktig å understreke er at 1. Fregattskvadron kan gjøre vedlikehold på ankrene til fartøyene dersom det blir besluttet å produsere vedlikeholdsflåten. Fasaden er det første man ser på et skip, og et godt vedlikeholdt skrog vil gi et bedre inntrykk av de norske fregattene i internasjonal sammenheng. En godt vedlikeholdt fregatt bærer preg av profesjonalitet og kampkraft.

## 8 Sluttord med ettertanker

Bakgrunnen for valgene er at det skal spares mest mulig tid til utføring av utvendig vedlikehold på fregatter som ligger til kai. Dette innebærer at det skal brukes minst mulig tid på å montere, etablere, transportere og vedlikeholde selve vedlikeholdsflåten. Dette har gått på bekostning av å få inn flest mulig funksjonaliteter. Med funksjonaliteter menes blant annet egen fremdrift, strømuttak og et stillas som kan stå fast i skutesiden til fregattene. Det har også vært fokus på å få ferdig et produkt som er akseptabelt og kan settes i produksjon. Som en konsekvens har ikke prosjektet gått å gå i dybden på hvert enkelt element. Arbeidet har i stor grad dreid seg om å få ferdig selve prinsippet for produktet som anses å være skrog og arbeidsplattform. Ettersom omfanget på oppgaven ikke inkluderer alle løsninger og muligheter kan det være en mulighet for at kadetter ved teknisk bransje på Sjøkrigsskolen utvikler den videre.

Det ble også satt ulike mål ved oppstart av prosjektet. Prosjektet ble avsluttet før 24 mai og bacheloroppgaven ble levert i tide, slik at mål om tid ble oppnådd. De økonomiske målene ble også holdt da det blant annet ikke ble benyttet av noen midler til prosjektet, samt at kostnadene til flåten også er innenfor budsjettetrammen. Målet om kvalitet blir overholdt dersom produsenten følger skal-kravene som har blitt satt. Konseptet baserer seg på disse kravene og vil derfor kunne tilfredsstillende norske lover, forskrifter og standarder. Prosjektgruppens eget mål, samt effektmål kan ikke karakteriseres som oppnådd før flåten blir produsert og tatt i bruk og det viser seg at 1. Fregattskvadron gjennomfører utvendig vedlikehold til en lavere kostnad og en kortere tid enn i dag.

Slik som vi ser det så har oppdragsgiver også et alternativ om å fortsette med dagens løsning. Det har dessverre ikke blitt gjort en kostnadsanalyse for å undersøke om vedlikeholdsflåten er en mer kostnadseffektiv løsning. Som nevnt anbefales det at en slik analyse blir utført før et valg blir tatt. Dette kan være en fin hovedoppgave for kadetter ved logistikklinjen på Sjøkrigsskolen.

Noe vi i prosjektgruppen har erfart er at en slik oppgave krever mye arbeid. Det å jobbe to sammen skaper utfordringer med koordinering og kommunikasjon, men dette har blitt løst på en god måte gjennom tett samarbeid. Grundig arbeid i oppstartfasen og føring av



journal skapte et godt grunnlag for og oversikt over prosjektet. Hjelpemidler som WBS- og Gantt-diagrammer hjalp oss å komme inn i og forstå oppgaven, samt sette prosjektet i perspektiv. Å dele prosjektet inn i faser med underliggende gjøremål og milepæler hjalp med struktur og fremdrift. Hjelpemidler som Excel, OneNote og SolidWorks har vært veldig nyttige og har forenklet både beregninger og arkivering.

## **8.1 Anmodning for Sjøkrigsskolen**

Prosjektgruppen mener at oppgaven kan utredes videre av kadetter ved maskinlinjen på Sjøkrigsskolen.

Videre mener vi at en kostnadsanalyse av utvendig vedlikeholdsarbeid på Nansen-klassen kan være en fin bacheloroppgave for kadetter ved logistikklinjen på Sjøkrigsskolen.

## Kildehenvisning

### Aktuelle norske lover og forskrifter

1987, 15 juni nr. 507. *Forskrift om sikkerhetstiltak m.m. på passasjer-, lasteskip og lektere*. Oslo: Nærings- og fiskeridepartementet

1994, 24 juni nr. 39. *Lov om sjøfarten (sjøloven)*. Oslo: Justis- og beredskapsdepartementet

1998, 25 juni nr. 47. *Lov om fritids- og småbåter (småbåtloven)*. Oslo: Nærings- og fiskeridepartementet

2007, 16 februar nr. 9. *Lov om skipssikkerhet (skipssikkerhetsloven)*. Oslo: Nærings- og fiskeridepartementet

2011, 6 desember nr. 1357. *Forskrift om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav (forskrift om utførelse av arbeid)*. Oslo: Arbeids- og sosialdepartementet

2011, 6 desember nr. 1359. *Forskrift om konstruksjon, utforming og fremstilling av arbeidsutstyr og kjemikalier (produsentforskriften)*. Oslo: Arbeids- og sosialdepartementet

### Fibregrid

2017. Standard Square Mesh Grating

<http://www.fibregrid.com/standard-square-mesh-grating-11057-1.html> 21.05.2017

### Forsvaret

2017. PRINSIX

<https://forsvaret.no/prinsix/> 03.05.17

### Irgens, Fridtjov

1994. *Statikk*. Trondheim: Tapir Forlag

### Munson, Bruce R., Theodore H. Okiishi, Wade W. Huebsch, Alric P. Rothmayer

2013. *Fluid Mechanics*. 7. utgave. Singapore: John Wiley & Sons

### Norsk standard april 2008

2008. *NS-EN ISO 12215-5:2008, Mindre fartøy, Konstruksjon og dimensjonering av*

*skrog, Del 5: Beregningstrykk, beregningsspenniner og fastsettelse av materialdimensjoner.* Standard Norge

**Norsk stål**

2016. Digital produktkatalog

2017. Digital prisliste

[http://norskstaal.no/no/andre\\_elementer/fremhevede\\_mapper/produktkatalog\\_og\\_prisliste/](http://norskstaal.no/no/andre_elementer/fremhevede_mapper/produktkatalog_og_prisliste/) 03.05.17

**Rawson, K.J. og E.C Tupper**

2001. *Basic Ship Theory, Volume 1.* 5. utgave. Oxford: Butterworth-Heinemann

**Stortingsproposisjon nr. 151 S (2015-2016)**

Kampkraft og bærekraft – Langtidsplan for forsvarssektoren. Oslo: Forsvarsdepartementet

**Strand, Gisle**

2015. *Skips- og motorlære, Oversikt over forkortelser og formler.* Bergen: Sjøkrigsskolen

**World Meteorological Organization**

2011. Manual on Codes: International Codes. Volume I.1. Part A

[http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/WMO306\\_vI1/Publications/2015update/306\\_vol\\_I1\\_2015\\_en.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/WMO306_vI1/Publications/2015update/306_vol_I1_2015_en.pdf) 10.04.17

## Vedlegg

Se eget dokument:

### **Guldteig, Emil og Vegar Sune**

2017. *Vedlegg til Bacheloroppgave*. Vedlikeholdsflåte: Vedlegg til rapport. Bergen: Sjøkrigsskolen.