



Sjøkrigsskolen

Vedlegg til bacheloroppgave

Vedlikeholdsflåte

Vedlegg til rapport

av

Emil Guldteig & 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: 24 Mai 2017

Fenrik Emil Haugen Guldteig
Grad/navn

Signatur

Fenrik Vegar Sune
Grad/navn

Signatur

Innholdsfortegnelse

Figurer	v
Tabeller	vi
A. Forsøk 1	1
B. Stabilitet og flyteevne	4
B.1 Innledning.....	4
B.2 Fremgangsmåte.....	4
B.3 Beregninger	4
B.4 Resultat av beregninger tilhørende flåtens stabilitet	7
C. Egenskaper skrog 1, 2 og 3	9
C.1 Generelt	9
C.1.1 Kriterier	9
C.1.2 Lastekondisjon	9
C.1.3 Valg av materiale	10
C.2 Skrog 1: Rektangulær – kontroll av skrogspenninger	11
C.2.1 Krefter i skroget	11
C.2.2 Spenninger i skroget.....	14
C.3 Skrog 2: Katamaran – kontroll av skrogspenninger	17
C.3.1 Krefter i skroget	17
C.3.2 Spenninger i skroget.....	20
C.4 Skrog 3: Sopp – kontroll av skrogspenninger	24
C.4.1 Krefter i skroget	24
C.4.2 Spenninger i skroget.....	28
C.5 Sammenlikning av skrogene.....	32
D. Dimensjonering av platetykkelse i skrog.....	33
D.1 Fremgangsmåte.....	33
D.2 Beregninger	33
D.3 Resultat	35
E. Arbeidsplattform	36
E.1 Innledning.....	36
E.2 Fremgangsmåte.....	36
E.3 Design.....	36
E.4 Beregninger	37

E.4.1	Vertikale søyler	37
E.4.2	Horisontale bjelker	38
E.4.3	Skrå bjelker	40
E.4.4	Plater	47
E.5	Resultater	49
F.	Innkjøpsliste	50
F.1	Innkjøpsliste for skrog	50
F.2	Innkjøpsliste for arbeidsplattform	52
	Kildehenvisning.....	53

Figurer

Figur 1: Beregninger for forsøk 1	3
Figur 2: Skrog og arbeidsplattform.....	5
Figur 3: Lastet med anker og ankerkjetting	6
Figur 4: Resulterende krefter langskips for Skrog 1	12
Figur 5: Skjærkrefter langskips for Skrog 1	12
Figur 6: Bøyemoment langskips for Skrog 1	13
Figur 7: Resulterende krefter tverrskips for Skrog 1	13
Figur 8: Skjærkrefter tverrskips for Skrog 1	14
Figur 9: Bøyemoment tverrskips for Skrog 1	14
Figur 10: Langskips tverrsnitt for Skrog 1.....	15
Figur 11: Tverrskips tverrsnitt for Skrog 1	16
Figur 12: Resulterende krefter langskips for Skrog 2.....	18
Figur 13: Skjærkrefter langskips for Skrog 2	18
Figur 14: Bøyemoment langskips for Skrog 2.....	19
Figur 15: Resulterende krefter tverrskips for Skrog 2	19
Figur 16: Skjærkrefter tverrskips for Skrog 2.....	20
Figur 17: Bøyemoment tverrskips for Skrog 2	20
Figur 18: Langskips tverrsnitt for Skrog 2.....	21
Figur 19: Tverrskips tverrsnitt for Skrog 2.....	23
Figur 20: Resulterende krefter langskips for Skrog 3.....	25
Figur 21: Skjærkrefter langskips for Skrog 3	26
Figur 22: Bøyemoment langskips for Skrog 3.....	26
Figur 23: Resulterende krefter tverrskips for Skrog 3	27
Figur 24: Skjærkrefter tverrskips for Skrog 3.....	27
Figur 25: Bøyemoment tverrskips for Skrog 3	28
Figur 26: Langskips tverrsnitt for Skrog 3.....	29
Figur 27: Tverrskips tverrsnitt for Skrog 3.....	30
Figur 28: Plassering av deler på arbeidsplattform	37
Figur 29: Fagverkfremstilling av arbeidsplattform.....	41
Figur 30: Stavkrefter og lagerreaksjoner	42
Figur 31: Krefter i fagverket	43
Figur 32: Forenkling av fagverk	44
Figur 33: Forenklet fagverk med krefter.....	46

Tabeller

Tabell 1: Flåtens dimensjoner og hydrostatiske data.....	7
Tabell 2: Valg av materialer	10
Tabell 3: Sammenlikning av skrogene.....	32
Tabell 4: Beregninger vertikale søyler.....	38
Tabell 5: Beregninger horisontale bjelker	39
Tabell 6: Resultater av beregninger for skrå bjelker.....	46
Tabell 7: Resultater av beregninger for plater	47
Tabell 8: Samlede resultater for arbeidsplattform	49
Tabell 9: Innkjøpsliste for skrog	50
Tabell 10: Innkjøpsliste for arbeidsplattfor	52

A. Forsøk 1

Hensikten var å teste et hypotetisk skrog og beregne dets metasenterradius og krengevin-
kel ved et «ekstremt» tilfelle for å finne veiledende hoveddimensjoner på skroget. Det
hypotetiske skroget er utformet som en «skoeske» med egenvekt på 20 tonn. Ankeret og
ankerkettingen 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 med VCG på 3,5 meter
samt TCG på 3,0 meter. Tettheten til sjøvann ble satt til 1,025 tonn per kubikkmeter.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	DIMENSJONERING										
2	L_{wl}	12 m			FORMEL	VERTIKAL	TVERRSKIPS	LANGSKIPS	VEKT		
3	Bredde	10 m			Komponent	VCG [m]	TCG [m]	LCG* [m]	w [tonn]		
4	Høyde	1 m			Skrogvekt		0,50	0,00	0,00	20,00	
5	Dybgang	0,390 m			Anker og ankerkjetting		1,50	5,00	0,00	26,00	
6	Fribord	0,61 m			Arbeidsplattform		3,50	3,00	0,00	2,00	
7	Undervannsvolum	46,83 m ³			D		0,00	0,00	0,00	0,00	
8	Δ	48,00 tonn			E		0,00	0,00	0,00	0,00	
9	C_p	1			F		0,00	0,00	0,00	0,00	
10	C_b	1			G		0,00	0,00	0,00	0,00	
11	C_m	1			H		0,00	0,00	0,00	0,00	
12	LCB	6 m			I		0,00	0,00	0,00	0,00	
13	A_{wl}	120 m ²			J		0,00	0,00	0,00	0,00	
14	A_L	4,68 m ²			K		0,00	0,00	0,00	0,00	
15	A_s	3,90 m ²			L		0,00	0,00	0,00	0,00	
16	ρ	1,025 t/m ³			M		0,00	0,00	0,00	0,00	
17						+stb/-bb		*ift nullkryss	SUM	48,00	
18											
19	TVERRSKIPSSTABILITET				LANGSKIPSSTABILITET					FORMEL	
20	VCB	Oppdriftsenterhøyde	0,195 m		LCB	Oppdriftsenterhøyde		0,20 m		$0,5^*C5$	
21	VCG	Tyngdesenterhøyde	1,167 m		LCG	Tyngdesenterhøyde		1,17 m		$C21$	
22	BM_L	Metasenterradius	21,4 m		BM_L	Metasenterradius		30,75 m		$(C2^*3^*C3)/(12^*C3^*C2^*C5)$	
23	KM_L	Kjøll-metasenter	21,5 m		KM_L	Kjøll-metasenter		30,95 m		$H22+H20$	
24	GM_L	Metasenterhøyde	20,2 m		GM_L	Metasenterhøyde		29,58 m		$H22+H21$	
25	GG'	Forflytning av tyngdese	2,83 m		GG'	Forflytning av tyngdesenter		0,00 m		$(SUMMERPRODUKT(I3;J15;H3;H15))/(SUMMER(I3;J15))$	
26	θ	Krengvinkel	7,99 deg		α	Trimvinkel		0,00 deg		$(ARCTAN((H25/H24))^*360/(2^*PI))$	
27	GZ	Rettsende arm	2,81 m		GZ	Rettsende arm		0,00 m		$H24^*SIN(H26^*2^*PI)/(360)$	

Figur 1: Beregninger for forsøk 1

- Flåten fikk tilfredsstillende resultater med en lengde på 12 meter, bredde på 10 meter, 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.

B. Stabilitet og flyteevne

B.1 Innledning

Hensikten med disse utregningene er å studere flåtens stabilitet og flyteevne.

B.2 Fremgangsmåte

Brukte formlene S1-S7 (Guldteig & Sune, 1.7.3) i Excel for å regne ut de parameterne vi så hensiktsmessig.

B.3 Beregninger

Figur 1 viser beregninger gjort kun med flåtens og arbeidsplattformens stålvekt. Figur 2 viser beregninger med flåtens og arbeidsplattformen stålvekt i tillegg til anker og ankerkjetting.

Figur 2: Skrog og arbeidsplattform

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	DIMENSJONERING										
2	L_{wl}	12 m		FORMEL	LASTFORDELING	VERTIKAL	TVERRSKIPS	LANGSKIPS	VEKT		
3	B_{wl}	10 m			Komponent	VCG [m]	TCG [m]	LCG* [m]	w [tonn]		
4	H	1 m			Skrogvekt	0,50	0,00	0,00	12,18		
5	T	0,13 m			Overbygg	4,00	3,75	0,00	1,20		
6	F	0,87 m			Last på overbygg	6,60	3,75	0,00	2,00		
7	V	15,00 m ³			D	0,00	0,00	0,00	0,00		
8	Δ	15,38 tonn			E	0,00	0,00	0,00	0,00		
9	C_p	1			F	0,00	0,00	0,00	0,00		
10	C_b	1			G	0,00	0,00	0,00	0,00		
11	C_m	1			H	0,00	0,00	0,00	0,00		
12	LCB	6 m			I	0,00	0,00	0,00	0,00		
13	A_{wl}	120 m ²			J	0,00	0,00	0,00	0,00		
14	A_L	1,50 m ²			K	0,00	0,00	0,00	0,00		
15	A_s	1,25 m ²			L	0,00	0,00	0,00	0,00		
16	ρ	1,025 t/m ³			M	0,00	0,00	0,00	0,00		
17						+stb/-bb	*ift nullkryss	SUM	15,38		
18											
19	TVERRSKIPSTABILITET			FORMEL	LANGSKIPSTABILITET				FORMEL		
20	V_{CB}	0,063 m		$0,5 \cdot C_5$	LCB	Oppdriftsenterhøyde	0,06 m		$0,5 \cdot C_5$		
21	V_{CG}	1,566 m		$(SUMMERPRODUKT(G3:G15;I3:I15)/(SUMMER(I3:I15)))$	LCG	Tyngdesenterhøyde	1,57 m		C_{21}		
22	BM_T	66,6 m		$(C3^3 \cdot C2)/(12 \cdot C3 \cdot C2 \cdot C5)$	BM_L	Metasenterradius	95,97 m		$(C2^3 \cdot C3)/(12 \cdot C3 \cdot C2 \cdot C5)$		
23	KM_T	66,7 m		$C22 + C20$	KM_L	Kjøll-metasenter	96,03 m		H22+H20		
24	GM_T	65,1 m		$C22 - C21$	GM_L	Metasenterhøyde	94,40 m		H22-H21		
25	GG'	0,78 m		$(SUMMERPRODUKT(I3:I15;H3:H15))/(SUMMER(I3:I15))$	GG'	Forflytning av tyngdesenter	0,00 m		$(SUMMERPRODUKT(I3:I15;I3:I15))/(SUMMER(I3:I15))$		
26	θ	0,69 deg		$(ARCTAN(C25/C24)) \cdot 360/(2 \cdot \pi \cdot I)$	α	Trimvinkel	0,00 deg		$(ARCTAN(H25/H24)) \cdot 360/(2 \cdot \pi \cdot I)$		
27	GZ	0,78 m		$C24 \cdot \sin(C26 \cdot 2 \cdot \pi \cdot I)/360$	GZ	Retten arm	0,00 m		$H24 \cdot \sin(H26 \cdot 2 \cdot \pi \cdot I)/360$		

Figur 3: Lastet med anker og ankerkjetting

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
DIMENSJONERING				FORMEL	LASTFORDELING	VERTIKAL	TVERRSKIPS	LANGSKIPS	VEKT		
						VCG [m]	TCG [m]	LCG* [m]	w [tonn]		
1	L _{wl} Lengde	12 m			Komponent	0,50	0,00	0,00	12,18		
2	B _{wl} Bredd	10 m			Skrogvekt	4,00	3,75	0,00	1,20		
3	H Høyde	1 m			Overbygg	6,60	3,75	0,00	2,00		
4	T Dypgang	0,34 m		C8/(C2*C3)	Last på overbygg	1,50	0,00	0,00	26,00		
5	F Fribord	0,66 m		C4-C5	Anker og ankerkjett	0,00	0,00	0,00	0,00		
6	V Undervannsvolum	40,37 m ³		C8/C16	E	0,00	0,00	0,00	0,00		
7	Δ Deplasement (tonn)	41,38 tonn		SUMMER(I3:J15)	F	0,00	0,00	0,00	0,00		
8	C _p Prismatic koeff.	1		C7/(C15*C2)	G	0,00	0,00	0,00	0,00		
9	C _b Blokkoeff.	1		C7/(C2*C3*C5)	H	0,00	0,00	0,00	0,00		
10	C _m Midtspantkoeff.	1		C15/(C3*C5)	I	0,00	0,00	0,00	0,00		
11	LCB Volumsenter langskips	6 m			J	0,00	0,00	0,00	0,00		
12	A _{wl} Vannlinjareal	120 m ²		C2*C3	K	0,00	0,00	0,00	0,00		
13	A _L Lengdeareal/langskips	4,04 m ²		C2*C5	L	0,00	0,00	0,00	0,00		
14	A _s Seksjonsareal	3,36 m ²		C3*C5	M	0,00	0,00	0,00	0,00		
15	ρ Tetthet sjøvann	1,025 t/m ³									
16						+stb/-bb	*ft nullkryss	SUM	41,38		
17											
18											
19	TVERRSKIPSSTABILITET			FORMEL	LANGSKIPSSTABILITET				FORMEL		
20	V _{CB} Oppdriftsenterhøyde	0,168 m		0,5*C5	LCB	Oppdriftsenterhøyde	0,17 m		0,5*C5		
21	V _{CG} Tyngdesenterhøyde	1,525 m		(SUMMERPRODUKT(G3:G15;I3:J15))/(SUMMER(I3:J15))	LCG	Tyngdesenterhøyde	1,52 m		C21		
22	BM _L Metasenterradius	24,8 m		(C3^3*C2)/(12*C3*C2*C5)	BM _L	Metasenterradius	35,67 m		(C2^3*C3)/(12*C3*C2*C5)		
23	KM _L Kjøel-metasenter	24,9 m		C22+C20	KM _L	Kjøel-metasenter	35,84 m		H22+H20		
24	GM _L Metasenterhøyde	23,2 m		C22-C21	GM _L	Metasenterhøyde	34,14 m		H22-H21		
25	GG' Forflytning av tyngdes	0,29 m		(SUMMERPRODUKT(I3:J15;H3:H15))/(SUMMER(I3:J15))	GG'	Forflytning av tyngdesenter	0,00 m		(SUMMERPRODUKT(I3:J15;I3:J15))/(SUMMER(I3:J15))		
26	θ Krengvinkel	0,71 deg		(ARCTAN(C25/C24))*360/(2*PI())	α	Trimvinkel	0,00 deg		(ARCTAN(H25/H24))*360/(2*PI())		
27	GZ Rettende arm	0,29 m		C24*SIN(C26*2*PI()/360)	GZ	Rettende arm	0,00 m		H24*SIN(H26*2*PI()/360)		

Dersom andre laster skal plasseres på flåten, kan de enkelt plasseres i Excel-dokumentet med tilhørende vertikalt, tverrskips og langskips tyngdesenter.

Videre så ble formel S8 og S9 (Guldteig & Sune, 1.7.3) brukt for å finne flåtens TP_{cm} og $MT1_{cm}$:

$$MT1_{cm} \approx 15,38 * 35,67 * \frac{0,01}{12} = 548,6 \frac{tm}{cm} \text{ (ulastet)}$$

$$MT1_{cm} \approx 41,38 * 35,67 * \frac{0,01}{12} = 1476 \frac{tm}{cm} \text{ (lastet)}$$

$$TP_{cm} = 10 * 12 * 0,01 * 1,025 = 1,23 \frac{t}{cm}$$

B.4 Resultat av beregninger tilhørende flåtens stabilitet

Tabell 1: Flåtens dimensjoner og hydrostatiske data

FLÅTENS DIMENSJONER OG HYDROSTATISKE DATA

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

Tverrskipsstabilitet				
VCB	Oppdriftssenter- høyde	6,3	16,8	[cm]
VCG	Tyngdesenter- høyde	1,57	1,53	[m]
BM_T	Metasenterradius	66,6	24,8	[m]
θ	Krengvinkel	0,69	0,71	[grader]
Langskipsstabilitet				
LCB	Oppdriftssenter- høyde	6,0	17,0	[cm]
LCG	Tyngdesenter- høyde	1,57	1,52	[m]
BM_L	Metasenterradius	95,97	34,14	[m]
α	Trimvinkel	0	0	[grader]

C. Egenskaper skrog 1, 2 og 3

C.1 Generelt

C.1.1 Kriterier

Det ble satt noen kriterier før vi begynte arbeidet med utregninger for de forskjellige konseptene. Kriteriene vi valgte å basere oss på er følgende.

- Kompleksitet
- Vekt
- Krefter og spenninger
- Dypgang

Vektingen på de forskjellige kriteriene er nokså like bortsett fra dypgang som ikke er like gjeldende ettersom dette bare vil være en faktor om vi skulle ønske å ta flåten opp på en slipp. I kompleksitet så mener vi at konseptet skal være lett å konstruere og forholde seg til som bruker. Vekten må være så lett som mulig for å kunne løftes opp på kaien når den ikke er i bruk. Kreftene og spenningene bør være så lave som mulig.

C.1.2 Lastekondisjon

Lastekondisjonen er lik for alle konseptene. Her har vi tatt utgangspunkt i at flåten skal være fullt lastet. Valg av vekter er gjort på bakgrunn av hva vi selv så for oss kunne være det absolutt maksimale man kunne finne på å laste flåten opp med.

C.1.2.1 Langskips

Seksjon 1 og 8 er fulle ballasttanker, seksjon 2 og 7 er stilas, seksjon 4 og 5 er en kombinasjon av stilas og anker, der ankeret veier 15 av 17 tonn per seksjon og stillaset 2 tonn per seksjon. Samme oppsettet er for konseptet kalt sopp, bortsett fra at vi har fjernet seksjon 3 og 6, og gjort de andre seksjonene om til 2 meters seksjoner for å gjøre det mer anvendelig å regne på.

Seksjon	1	2	3	4	5	6	7	8
Lastekondisjon	10	2	0	17	17	0	2	10 t

C.1.2.2 Tverrskips

Alle seksjonene er lastet med 4 tonn ballast hver på grunn av ballasttankene. Alle seksjonene bortsett fra seksjon 3 har stilas som veier to tonn hver. Seksjon 2, 3 og 4 er lastet med ankeret, der seksjon 2 og 4 tar 7 tonn av vekten og seksjon 3 tar 16 tonn av vekten. Dette følger alle konseptene, men på konseptet med katamaran kommer ikke dette like godt frem, da det var bedre å regne med 4 seksjoner på det konseptet.

Seksjon	1	2	3	4	5
Lastekondisjon	6	13	20	13	6

C.1.3 Valg av materiale

Vi valgte å ta for oss Norsk Stål sin produktkatalog (Norsk Stål 2016) for å fastsette hvilke dimensjoner avstiverne, bjelkene, platene og skottene skulle ha. Dimensjonene ble fastsatt på bakgrunn av prøving og feiling til vi kom frem til fornuftige tall som kunne brukes på tvers av de forskjellige konseptene. Ståltypen vi har valgt er S355 for bjelkene og platene og S235 for skottene og avstiverne som er et vanlig standard konstruksjonsstål som er mye brukt i industri. Bakgrunnen for at det ble S235 på skottene er at Norsk Stål ikke hadde like tynne og store plater i S355. I tillegg hadde de kun T-stål i S235. Under kan en se de generelle dimensjonene for de forskjellige materialene som ble valgt.

Tabell 2: Valg av materialer

Type	Varenr.:	Spesifikasjon	Ståltype	kg/m	kg/m ²
H-bjelke	5213-132868	HEA140x12m	S355J2	25,2	
Skott	4870-312085	3x2000x6000mm	S235JR		24
Avstivere	5360-55210	70x70x8mm	S235JR	8,49	
Plater	5132-318229	6x2500x6000mm	S355J2+N		48

C.2 Skrog 1: Rektangulær – kontroll av skrogspenninger

C.2.1 Krefter i skroget

C.2.1.1 Fremgangsmåte

Til å starte med var vi nødt til å ta utgangspunkt i hva vi selv kunne tenke oss at flåten kom til å veie og hvilken lastekondisjon som ville bli den tyngste. Dette måtte vi gjøre for å kunne starte beregningene på kreftene i skroget. Etter å ha gjort det fant vi resulterende krefter, skjærkrefter og bøyemoment i skroget, både langskips og tverrskips. Disse ble plottet inn i en graf for å gi et bilde på hvordan kreftene påvirker flåten, se resultat for disse.

C.2.1.2 Beregninger

Seksjoner langskips: 8

- Lengde per seksjon:

$$\text{Lengde seksjon} = \frac{12}{8} = 1,5 \text{ m}$$

Seksjoner tverrskips: 5

- Lengde per seksjon:

$$\text{Lengde seksjon} = \frac{10}{5} = 2 \text{ m}$$

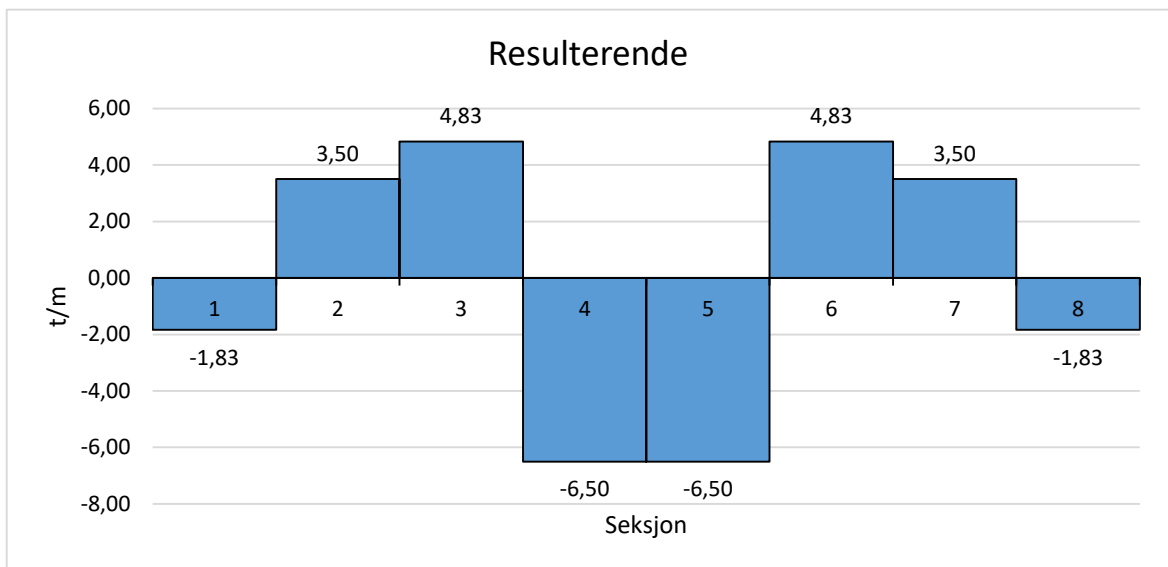
Stålvakt: 20,35 t

Vekt fullt lastet: 78,35 t

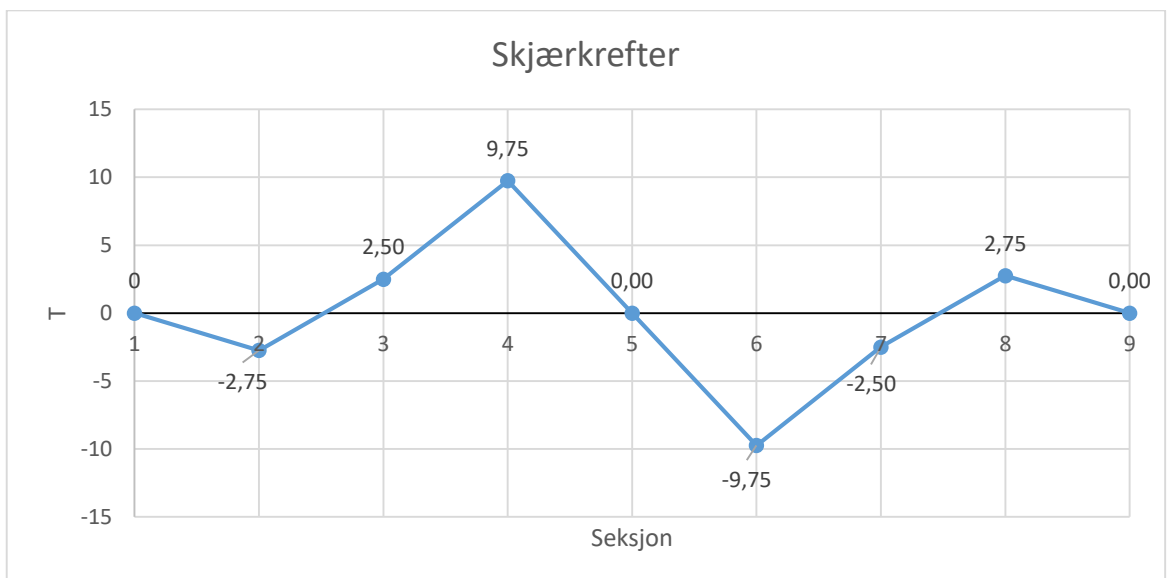
Dypgang: 0,64 m

C.2.1.3 Resultat

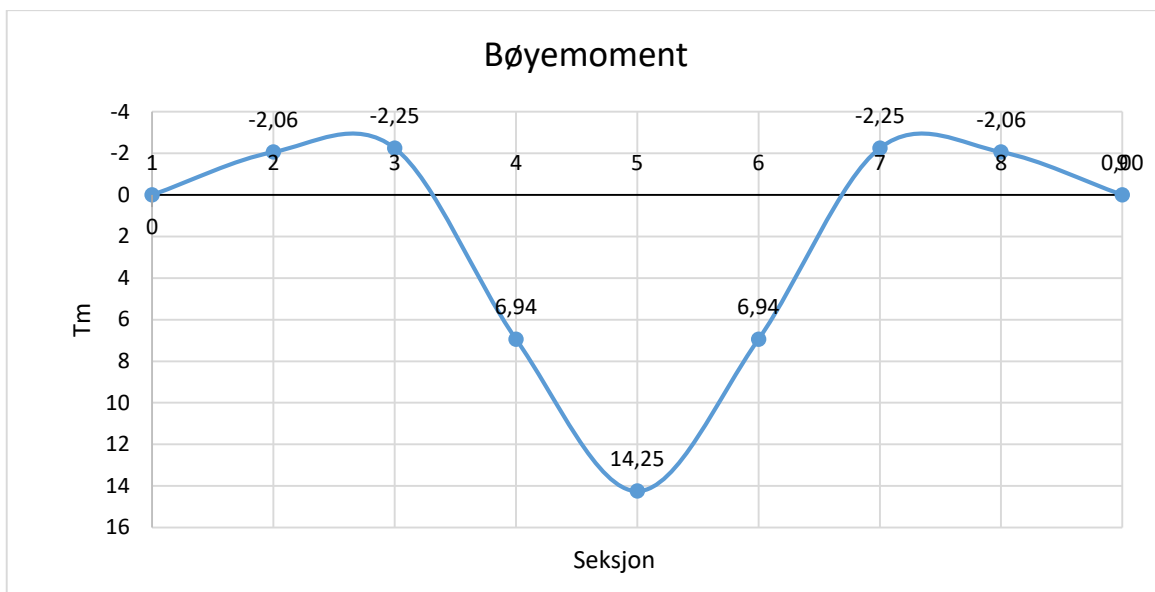
C.2.1.3.1 Langskips



Figur 4: Resulterende krefter langskips for Skrog 1

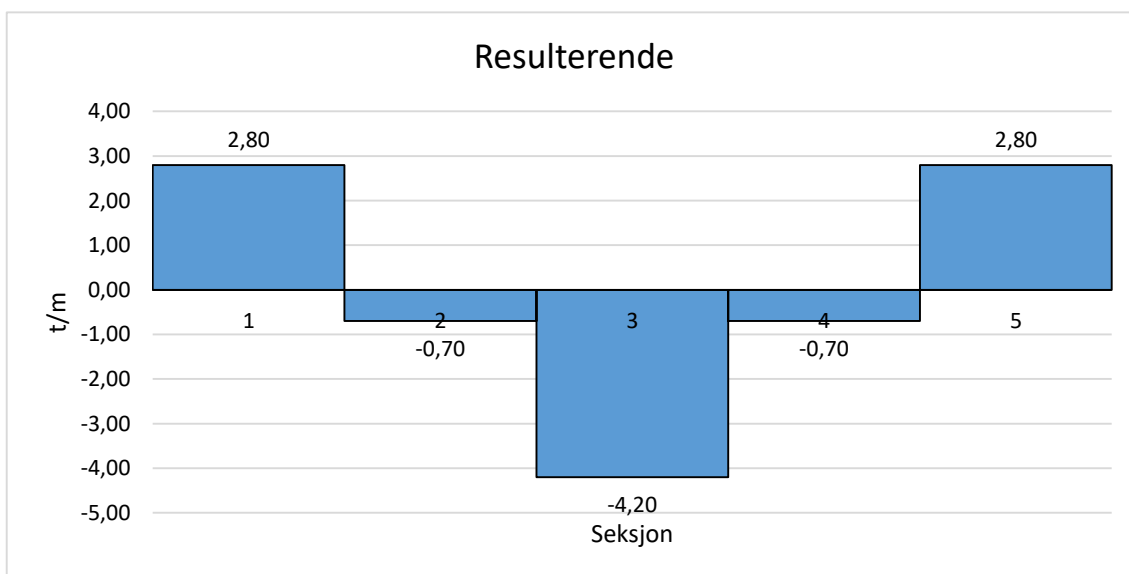


Figur 5: Skjærkrefter langskips for Skrog 1

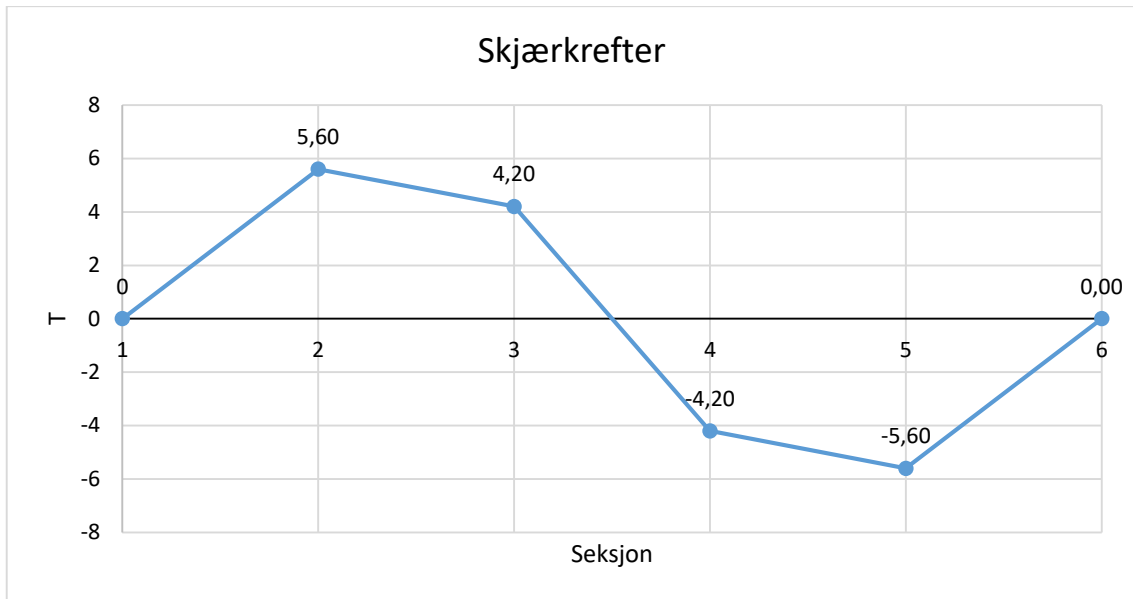
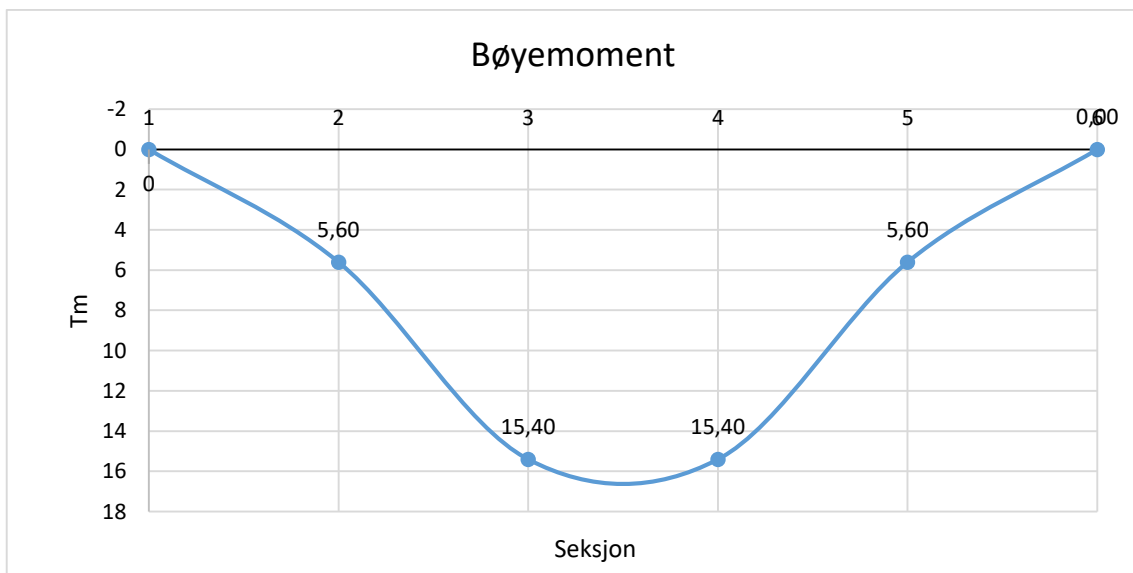


Figur 6: Bøyemoment langsips for Skrog 1

C.2.1.3.2 Tverrskip



Figur 7: Resulterende krefter tverrskip for Skrog 1

**Figur 8: Skjærkrefter tverrskips for Skrog 1****Figur 9: Bøyemoment tverrskips for Skrog 1**

C.2.2 Spenninger i skroget

C.2.2.1 Fremgangsmåte

For å kunne finne trykk- og strekkspenningene i skroget måtte vi først finne flatetrehetsmomentet til de forskjellige materialene i tverrsnittet. Videre måtte vi bruke Steiner's

sats, formel M9 (Guldteig & Sune, 1.7.2), for å kunne finne spenningene. Her har vi valgt å bare ta med bjelkene, avstiverne og skottene i beregningene. Avstiverne inngår bare i langskips styrke og skottene inngår kun i tverrskips styrke. Dette så vi på som et fornuftig sammenlikningsgrunnlag.

C.2.2.2 Beregninger

Dybde i riss: 1000 mm

Nøytralakse: 500 mm

Flatetregghetsmoment for materialene: Formel M13 (Guldteig & Sune, 1.7.2)

- HEA140x12m:

$$I_{0bjelke} = \frac{(140 * 133^3 - 134,5 * 116^3)}{12} = 9,95 * 10^6 \text{ mm}^4$$

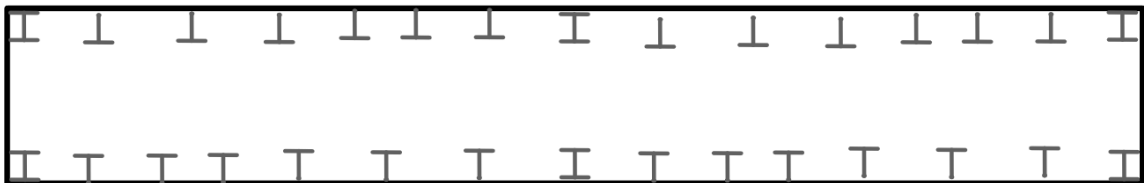
- Langskips avstivere:

$$I_{0T\text{-stål}} = \frac{(70 * 8^3 + 8 * 70^3)}{12} = 2,32 * 10^5 \text{ mm}^4$$

- Tverrskips skott:

$$I_{0skott} = \frac{3 * 1000^3}{12} = 2,50 * 10^8 \text{ mm}^4$$

C.2.2.2.1 Langskips



Figur 10: Langskips tverrsnitt for Skrog 1

Flatetregghetsmoment: Formel M9 (Guldteig & Sune, 1.7.2)

$$\begin{aligned} I_{xx} &= 6 * 9952389 + 24 * 231653,33 + 6 * 433,5^2 * 3018 + 24 * 445,5^2 * 1120 \\ &= 8,80 * 10^9 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Trykk- og strekkspenninger: Formel M4 (Guldteig & Sune, 1.7.2)

$$\sigma_b = \frac{14,25 * 10^6 * 9,81}{8,80 * 10^9} * (1000 - 500) = \pm 7,94 \text{ MPa}$$

C.2.2.2.2 Tverrskips



Figur 11: Tverrskips tverrsnitt for Skrog 1

Flatetregghetsmoment: Formel M9 (Guldteig & Sune, 1.7.2)

$$\begin{aligned} I_{xx} &= 4 * 9952389 + 5 * 250000000 + 4 * 433,5^2 * 3018 + 5 * 0^2 * 3000 \\ &= 3,56 * 10^9 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Trykk- og strekkspenninger: Formel M4 (Guldteig & Sune, 1.7.2)

$$\sigma_b = \frac{17,5 * 10^6 * 9,81}{3,56 * 10^9} * (1000 - 500) = \pm 24,12 \text{ MPa}$$

C.2.2.3 Resultat

Dette er svært lave spenninger med tanke på de forutsetninger som er valgt, og betyr dermed at vi kan laste flåten med det meste uten at det oppstår noen fare for at flåten blir ødelagt.

C.3 Skrog 2: Katamaran – kontroll av skrogspenninger

C.3.1 Krefter i skroget

C.3.1.1 Fremgangsmåte

Til å starte med var vi nødt til å ta utgangspunkt i hva vi selv kunne tenke oss at flåten kom til å veie og hvilken lastekondisjon som ville bli den tyngste. Dette måtte vi gjøre for å kunne starte beregningene på kreftene i skroget. Etter å ha gjort det fant vi resulterende krefter, skjærkrefter og bøyemoment i skroget, både langskips og tverrskips. Disse ble plottet inn i en graf for å gi et bilde på hvordan kreftene påvirker flåten, se resultat for disse.

C.3.1.2 Beregninger

Seksjoner langskips: 8

- Lengde per seksjon:

$$\text{Lengde seksjon} = \frac{12}{8} = 1,5 \text{ m}$$

Seksjoner tverrskips: 4

- Lengde seksjon 2 og 3:

$$\text{Lengde seksjon 2 og 3} = \frac{4}{2} = 2 \text{ m}$$

- Lengde seksjon 1 og 4:

$$\text{Lengde seksjon 1 og 4} = \frac{6}{2} = 3 \text{ m}$$

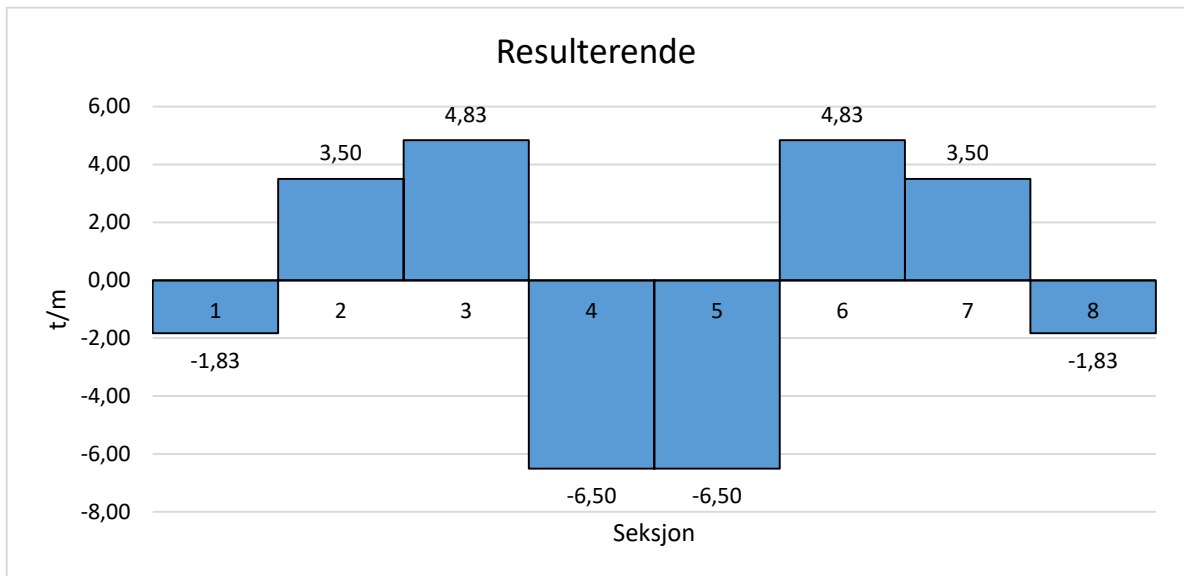
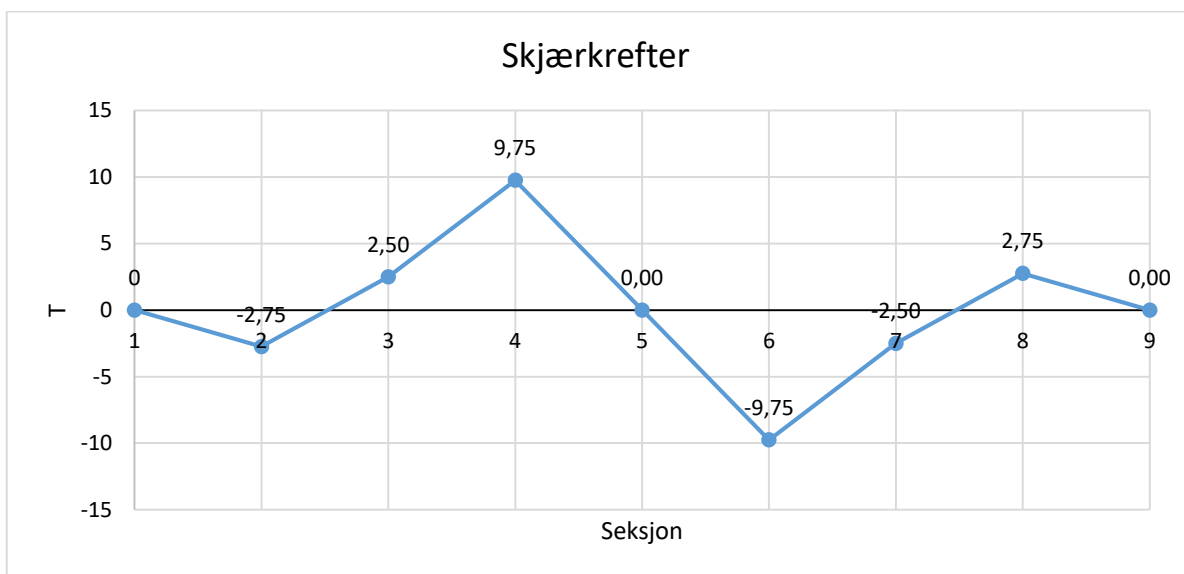
Stålvakt: 23,96 t

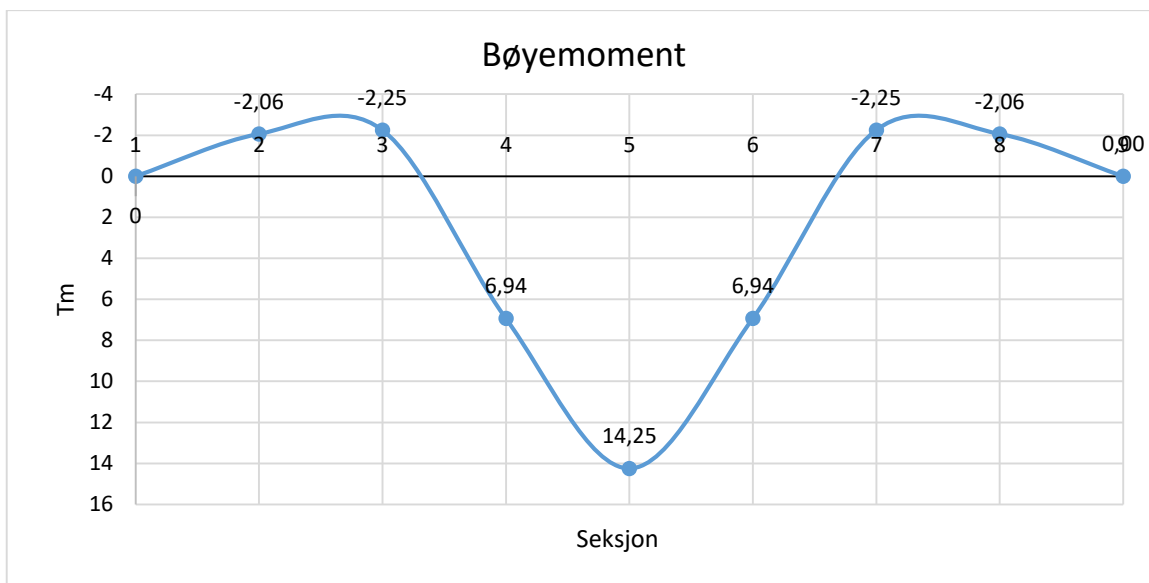
Vekt fullt lastet: 81,96 t

Dypgang: 1,07 m

C.3.1.3 Resultat

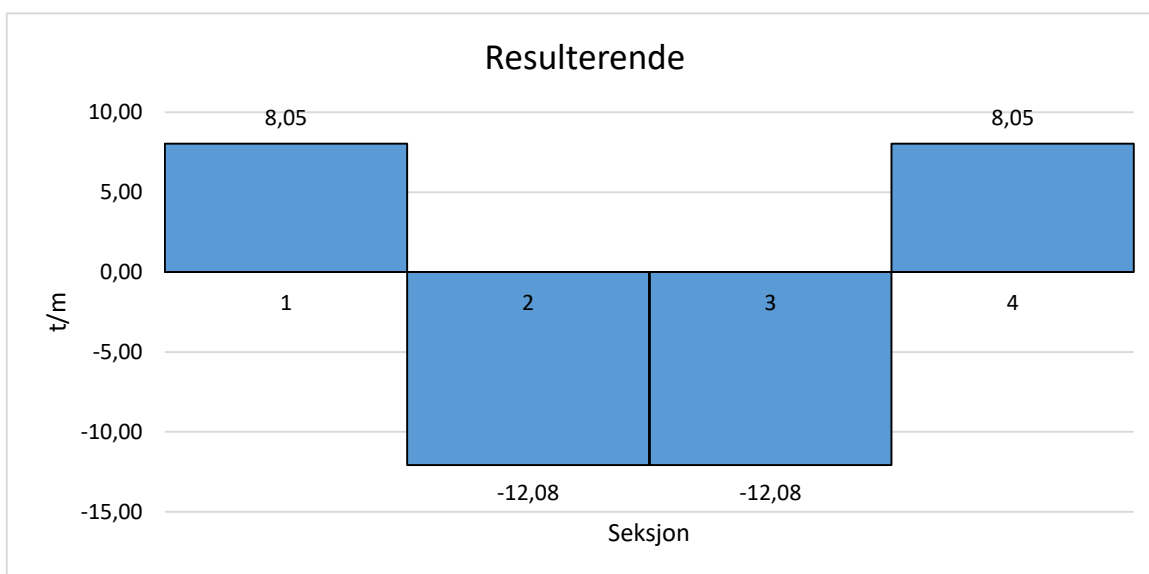
C.3.1.3.1 Langskips

**Figur 12: Resulterende krefter langskips for Skrog 2****Figur 13: Skjærkrefter langskips for Skrog 2**

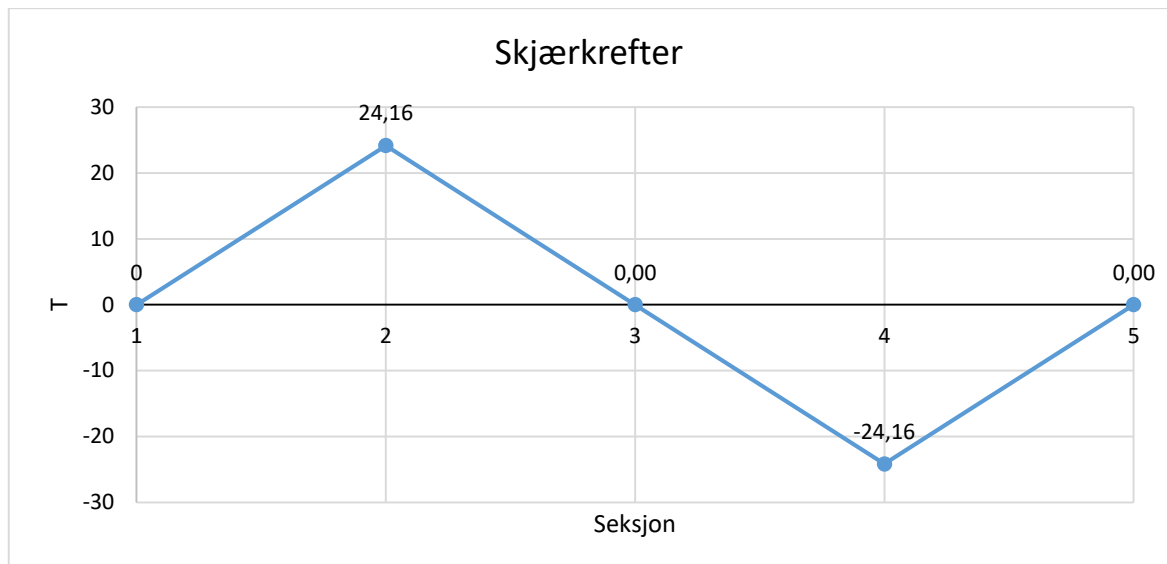
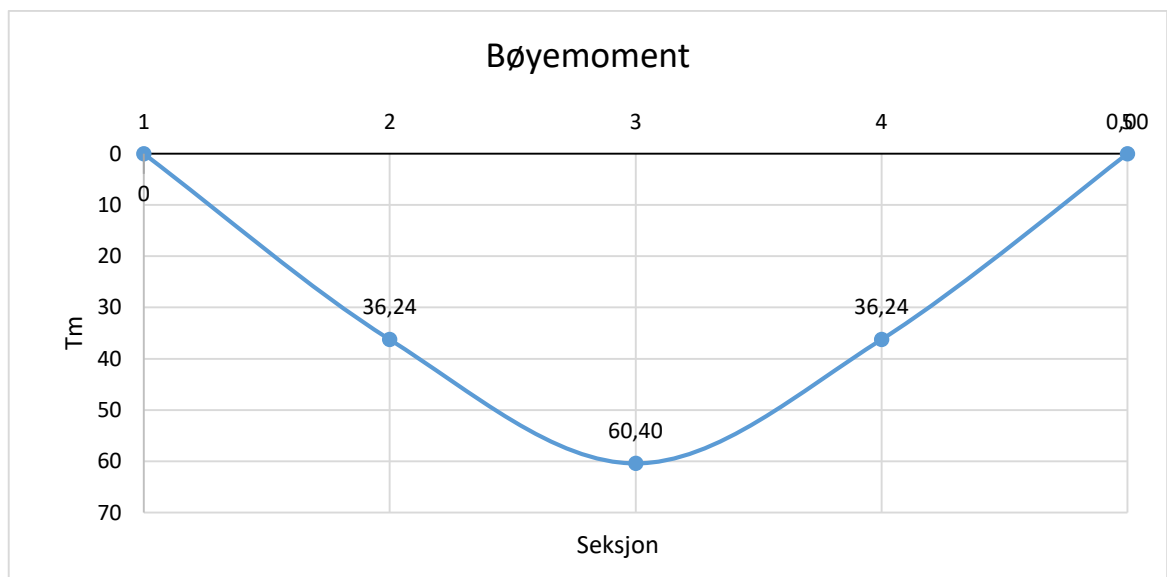


Figur 14: Bøyemoment langsips for Skrog 2

C.3.1.3.2 Tverrskips



Figur 15: Resulterende krefter tverrskips for Skrog 2

**Figur 16: Skjærkrefter tverrskips for Skrog 2****Figur 17: Bøyemoment tverrskips for Skrog 2**

C.3.2 Spenninger i skroget

C.3.2.1 Fremgangsmåte

For å kunne finne trykk- og strekkspenningene i skroget måtte vi først finne flatetregningsmomentet til de forskjellige materialene i tverrsnittet. Videre måtte vi bruke Steiner's

sats, formel M9 (Guldteig & Sune, 1.7.2), for å kunne finne spenningene. Her har vi valgt å bare ta med bjelkene, avstiverne og skottene i beregningene. Avstiverne inngår bare i langskips styrke og skottene inngår kun i tverrskips styrke. Dette så vi på som et fornuftig sammenlikningsgrunnlag.

C.3.2.2 Beregninger

Flatetregghetsmoment for materialene: Formel 13 (Guldteig & Sune, 1.7.2)

- HEA140x12m:

$$I_{0bjelke} = \frac{(140 * 133^3 - 134,5 * 116^3)}{12} = 9,95 * 10^6 \text{ mm}^4$$

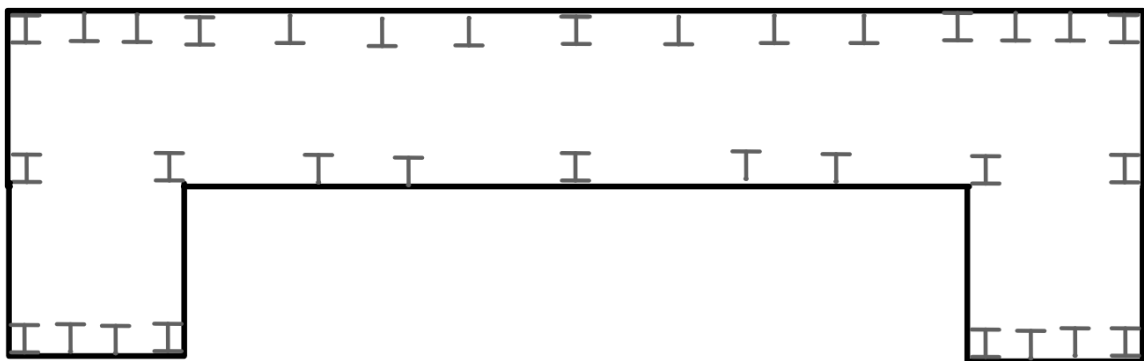
- Langskips avstivere:

$$I_{0T\text{-stål}} = \frac{(70 * 8^3 + 8 * 70^3)}{12} = 2,32 * 10^5 \text{ mm}^4$$

- Tverrskips skott:

$$I_{0skott} = \frac{3 * 1000^3}{12} = 2,50 * 10^8 \text{ mm}^4$$

C.3.2.2.1 Langskips



Figur 18: Langskips tverrsnitt for Skrog 2

Dybde i riss: 2000 mm

Antatt nøytralakse fra kjøll: 1000 mm

Avstand antatt nøytralakse til faktisk nøytralakse: Formel S12 (Guldteig & Sune, 1.7.3)

$$d = (6 * 3018 * 933,5 + 6 * 3018 * 66,5 + 10 * 1120 * 945,5 + 4 * 1120 * 54,5 + 4 * 3018 * (-933,5) + 4 * 1120 * (-945,5)) * \frac{1}{16 * 3018 + 18 * 1120}$$

$$= 196,31 \text{ mm}$$

Faktisk nøytralakse fra kjøll: 1196,31 mm

Antatt flatetregghetsmoment: Formel S10 (Guldteig & Sune, 1.7.3)

$$I_{ANA} = 16 * 9952389 + 18 * 231653,33 + 6 * 933,5^2 * 3018 + 6 * 66,5^2 * 3018 + 4 * (-933,5)^2 * 3018 + 10 * 945,5^2 * 1120 + 4 * 54,5^2 * 1120 + 4 * (-945,5)^2 * 1120 = 4,06 * 10^{10} \text{ mm}^4$$

Faktisk flatetregghetsmoment: Formel S11 (Guldteig & Sune, 1.7.3)

$$I_{NA} = 40573769832 - ((16 * 3018 + 18 * 1120) * 196,31^2) = 3,79 * 10^{10} \text{ mm}^4$$

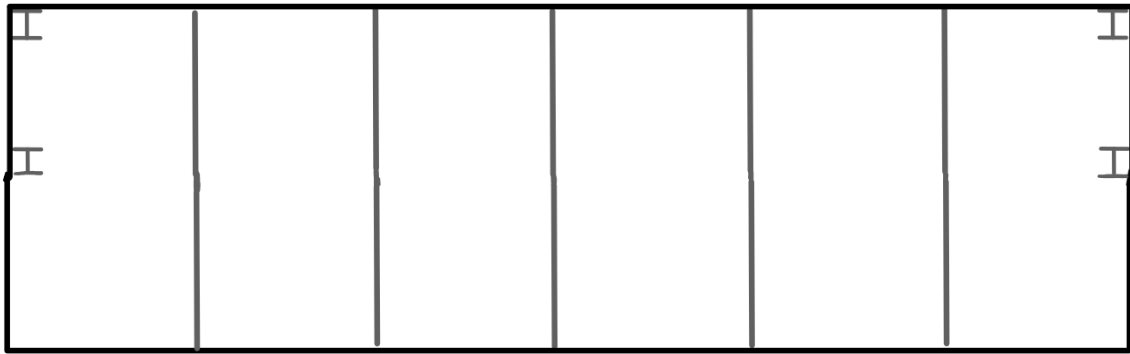
Trykkspenninger: Formel M4 (Guldteig & Sune, 1.7.2)

$$\sigma_{trykk} = \frac{14,25 * 10^6 * 9,81}{37936072282,37} * (2000 - 1196,31) = 2,96 \text{ MPa}$$

Strekspenninger: Formel M4 (Guldteig & Sune, 1.7.2)

$$\sigma_{strek} = \frac{14,25 * 10^6 * 9,81}{37936072282,37} * (1196,31) = 4,41 \text{ MPa}$$

C.3.2.2.2 Tverrskips



Figur 19: Tverrskips tverrsnitt for Skrog 2

Dybde i riss: 2000 mm

Antatt nøytralakse: 1000 mm

Avstand antatt nøytralakse til faktisk nøytralakse: Formel S12 (Guldteig & Sune, 1.7.3)

$$d = \frac{2 * 3018 * 933,5 + 2 * 3018 * 66,5 + 10 * 3000 * 500}{4 * 3018 + 10 * 3000} = 500 \text{ mm}$$

Faktisk nøytralakse: 1500 mm

Antatt flatetregghetsmoment: Formel S10 (Guldteig & Sune, 1.7.3)

$$I_{ANA} = 4 * 9952389 + 10 * 250000000 + 2 * 933,5^2 * 3018 + 2 * 66,5^2 * 3018 + 10 * (500)^2 * 3000 = 1,53 * 10^{10} \text{ mm}^4$$

Faktisk flatetregghetsmoment: Formel S11 (Guldteig & Sune, 1.7.3)

$$I_{NA} = 15326406958 - ((4 * 3018 + 10 * 3000) * 500^2) = 4,81 * 10^9 \text{ mm}^4$$

Trykkspenninger: Formel M4 (Guldteig & Sune, 1.7.2)

$$\sigma_{trykk} = \frac{60,4 * 10^6 * 9,81}{4808406958} * (2000 - 1500) = 61,61 \text{ MPa}$$

Strekkspenninger: Formel M4 (Guldteig & Sune, 1.7.2)

$$\sigma_{strekk} = \frac{60,4 * 10^6 * 9,81}{4808406958} * (1500) = 184,84 \text{ MPa}$$

C.3.2.3 Resultat

Fra utregningene ser vi at spenningene i skroget langskips er veldig lave. Ser vi derimot på tverrskips så kommer det frem at det er mye større spenninger i skroget. Spenningene er såpass store at vi ikke ser det som akseptabelt å gå videre med skroget i forhold til de forutsetningene som vi har satt. 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 «beina» til kataranen sammen og på den måten tar opp kreftene som oppstår. Dette vil derimot gjøre flåten enda tyngre enn det som er satt nå.

C.4 Skrog 3: Sopp – kontroll av skrogspenninger

C.4.1 Krefter i skroget

C.4.1.1 Fremgangsmåte

Til å starte med var vi nødt til å ta utgangspunkt i hva vi selv kunne tenke oss at flåten kom til å veie og hvilken lastekondisjon som ville bli den tyngste. Dette måtte vi gjøre for å kunne starte beregningene på kreftene i skroget. Etter å ha gjort det fant vi resulterende krefter, skjærkrefter og bøyemoment i skroget, både langskips og tverrskips. Disse ble plottet inn i en graf for å gi et bilde på hvordan kreftene påvirker flåten, se resultat for disse.

C.4.1.2 Beregninger

Seksjoner langskips: 6

- Lengde per seksjon:

$$\text{Lengde seksjon} = \frac{12}{6} = 2 \text{ m}$$

Seksjoner tverrskips: 5

- Lengde per seksjon:

$$\text{Lengde seksjon} = \frac{10}{5} = 2 \text{ m}$$

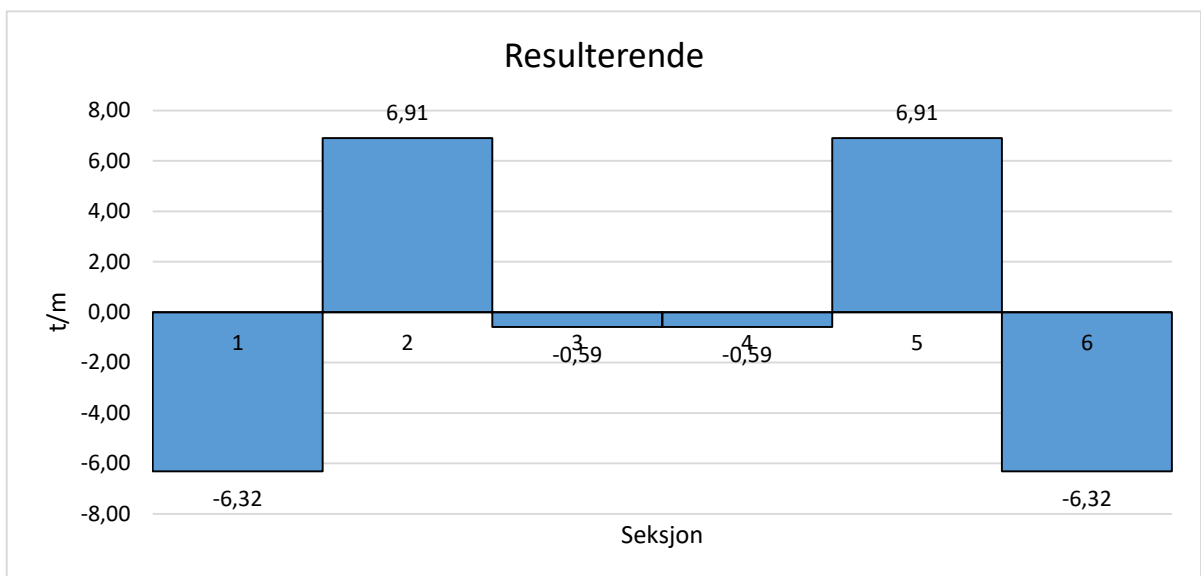
Stålvekt: 24,40 t

Vekt fullt lastet: 82,40 t

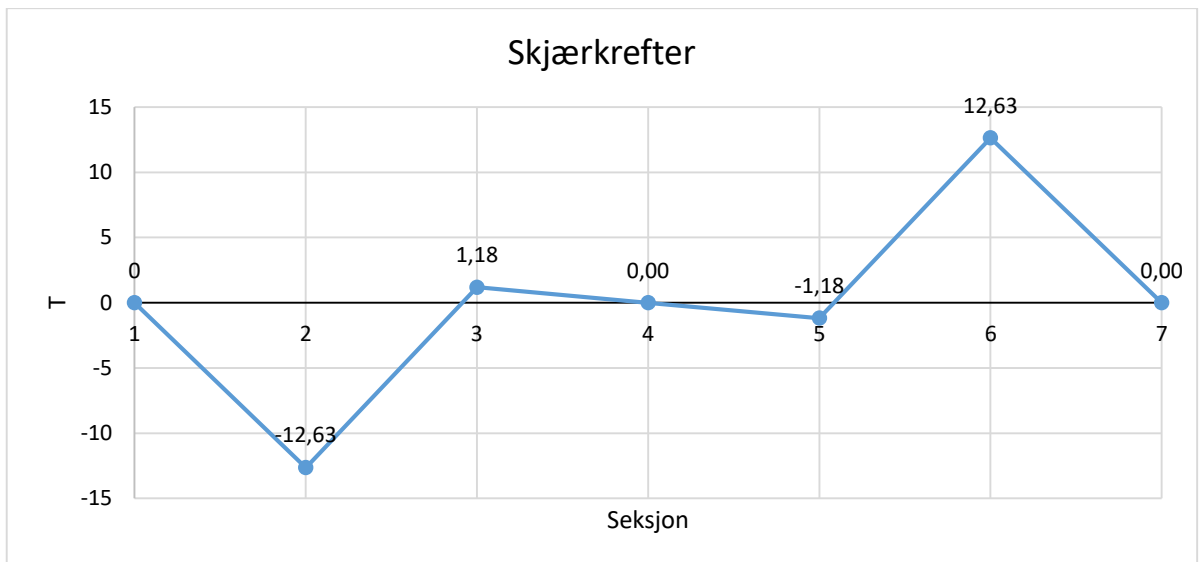
Dypgang: 1,57 m

C.4.1.3 Resultat

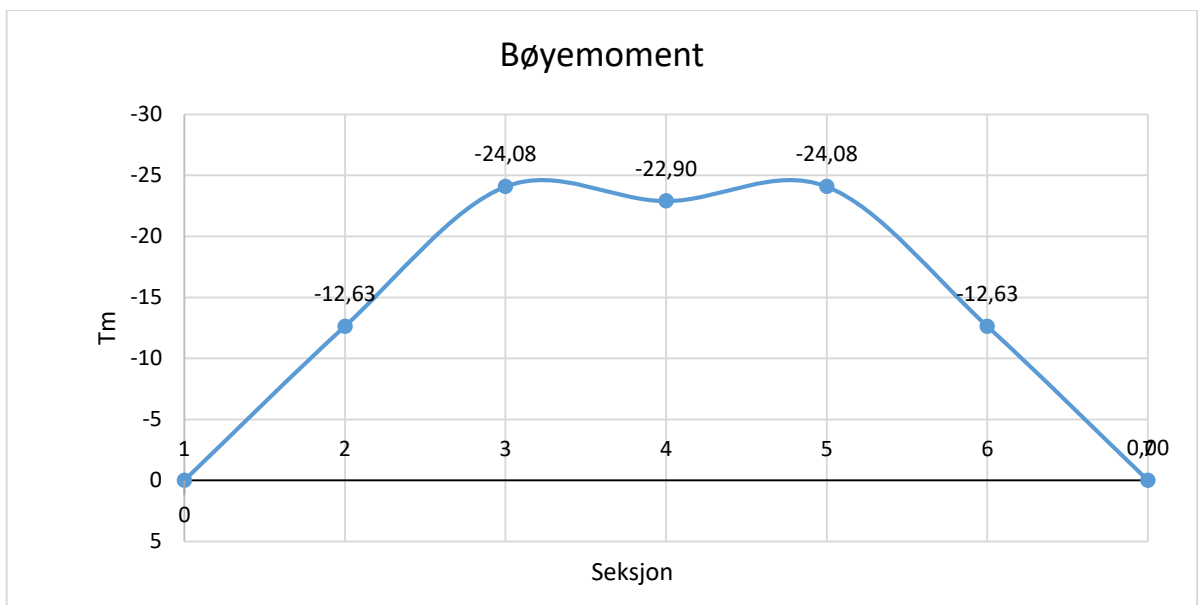
C.4.1.3.1 Langskips



Figur 20: Resulterende krefter langskips for Skrog 3

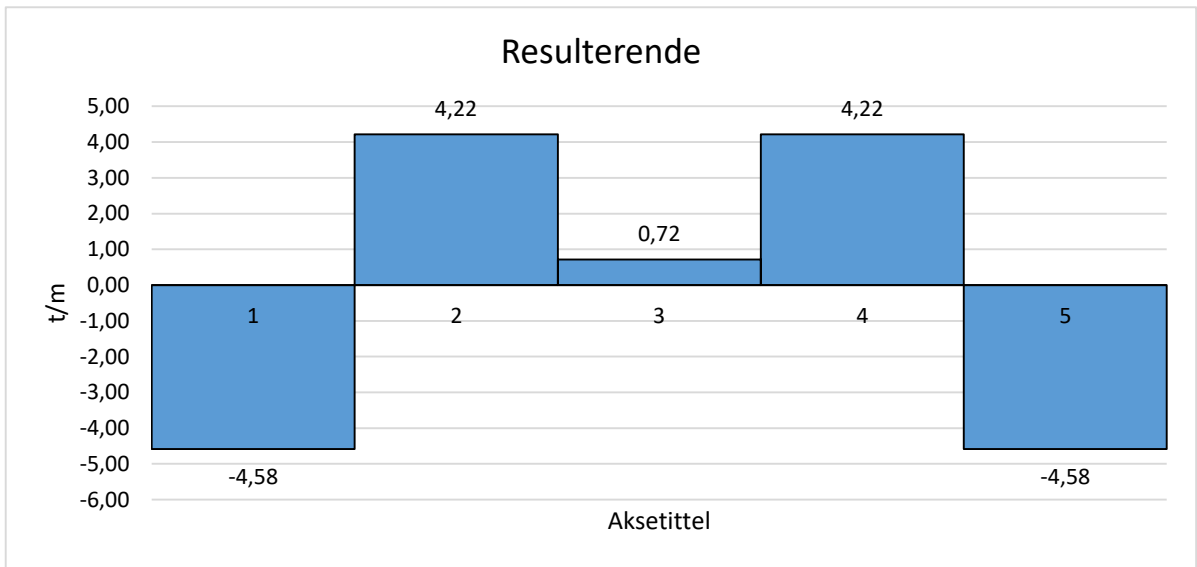


Figur 21: Skjærkrefter langsips for Skrog 3

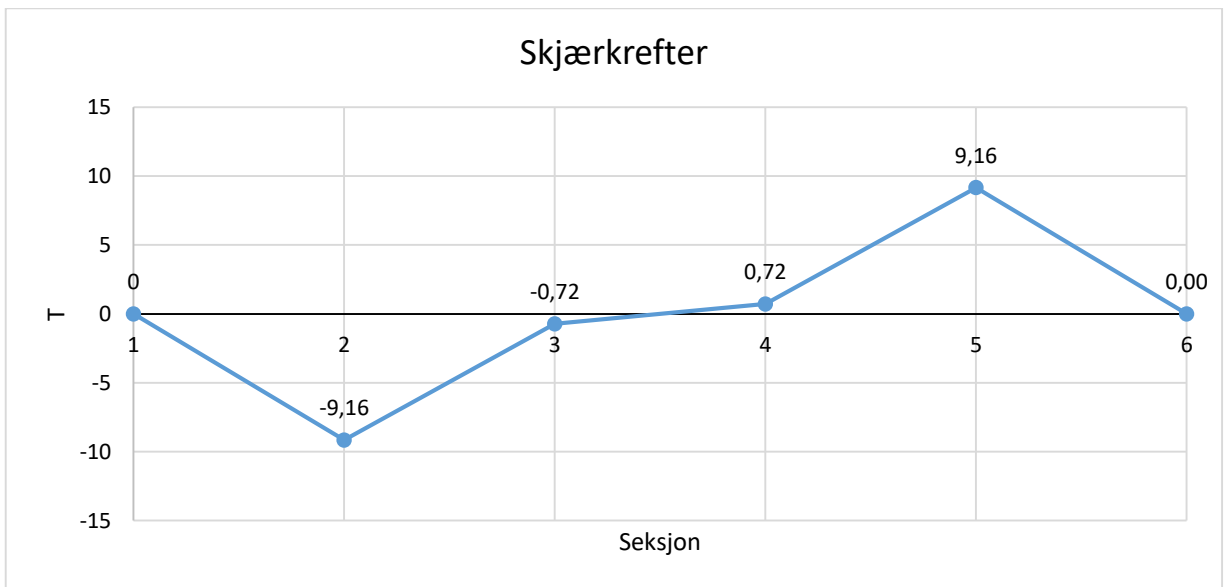


Figur 22: Bøyemoment langsips for Skrog 3

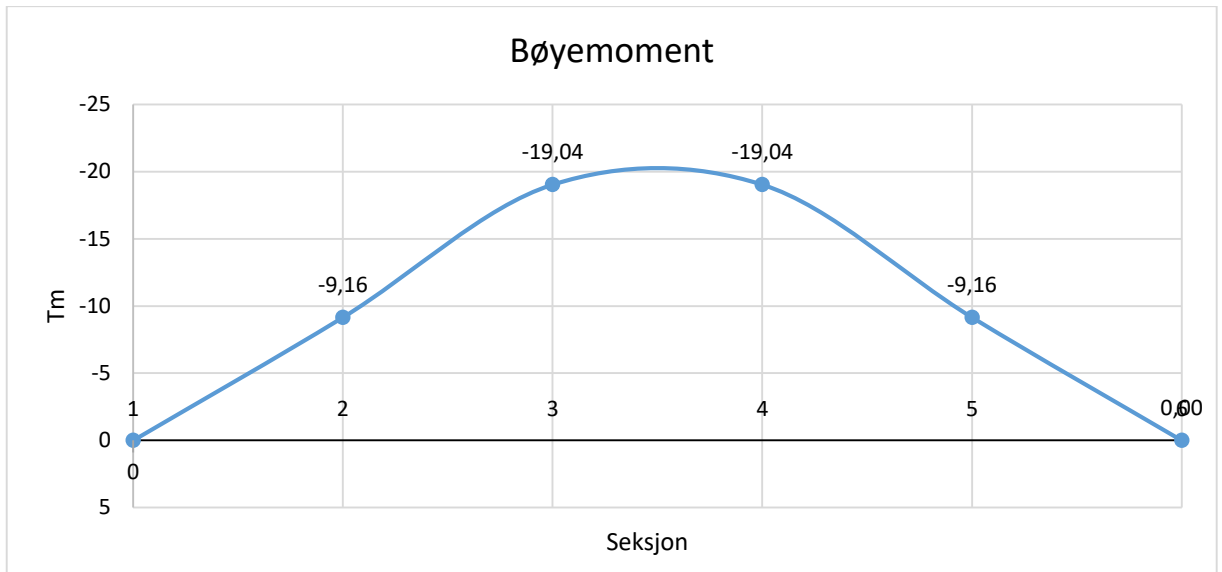
C.4.1.3.2 Tverrskips



Figur 23: Resulterende krefter tverrskips for Skrog 3



Figur 24: Skjærkrefter tverrskips for Skrog 3



Figur 25: Bøymoment tverrskip for Skrog 3

C.4.2 Spenninger i skroget

C.4.2.1 Fremgangsmåte

For å kunne finne trykk- og strekkspenningene i skroget måtte vi først finne flatetreghetsmomentet til de forskjellige materialene i tverrsnittet. Videre måtte vi bruke Steiner's sats, formel M9 (Guldteig & Sune, 1.7.2), for å kunne finne spenningsene. Her har vi valgt å bare ta med bjelkene, avstiverne og skottene i beregningene. Avstiverne inngår bare i langskips styrke og skottene inngår kun i tverrskip styrke. Dette så vi på som et fornuftig sammenlikningsgrunnlag.

C.4.2.2 Beregninger

Flatetreghetsmoment for materialene: Formel M13 (Guldteig & Sune, 1.7.2)

- HEA140x12m:

$$I_{objelke} = \frac{(140 * 133^3 - 134,5 * 116^3)}{12} = 9,95 * 10^6 \text{ mm}^4$$

- Langskips avstivere:

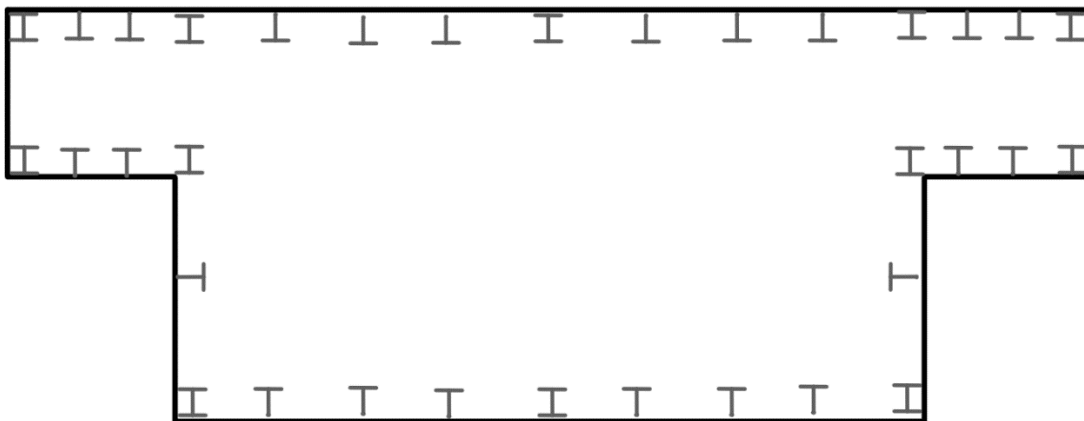
$$I_{OT-stål} = \frac{(70 * 8^3 + 8 * 70^3)}{12} = 2,32 * 10^5 \text{ mm}^4$$

- Tverrskips skott:

$$I_{0skott} = \frac{3 * 1000^3}{12} = 2,50 * 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_{0skott} = \frac{3 * 1500^3}{12} = 8,44 * 10^8 \text{ mm}^4$$

C.4.2.2.1 Langskips



Figur 26: Langskips tverrsnitt for Skrog 3

Dybde i riss: 2500 mm

Antatt nøytralakse fra kjøll: 1500 mm

Avstand antatt nøytralakse til faktisk nøytralakse: Formel S12 (Guldteig & Sune, 1.7.3)

$$d = (5 * 3018 * 933,5 + 4 * 3018 * 66,5 + 10 * 1120 * 945,5 + 4 * 1120 * 54,5 + 3 * 3018 * (-1433,5) + 6 * 1120 * (-1445,5) + 2 * 1120 * (-750)) * \frac{1}{12 * 3018 + 22 * 1120} = 22,19 \text{ mm}$$

Faktisk nøytralakse fra kjøll: 1522,19 mm

Antatt flatetregningsmoment: Formel S10 (Guldteig & Sune, 1.7.3)

$$\begin{aligned}
 I_{ANA} = & 12 * 9952389 + 22 * 231653,33 + 5 * 933,5^2 * 3018 + 4 * 66,5^2 * 3018 \\
 & + 3 * (-1433,5)^2 * 3018 + 10 * 945,5^2 * 1120 + 4 * 54,5^2 * 1120 \\
 & + 6 * (-1445,5)^2 * 1120 + 2 * (-750)^2 * 1120 = 5,73 * 10^{10} \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Faktisk flatetregningsmoment: Formel S11 (Guldteig & Sune, 1.7.3)

$$\begin{aligned}
 I_{NA} = & 67819570805,33 - ((12 * 3018 + 22 * 1120) * 173,04^2) \\
 = & 5,72 * 10^{10} \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

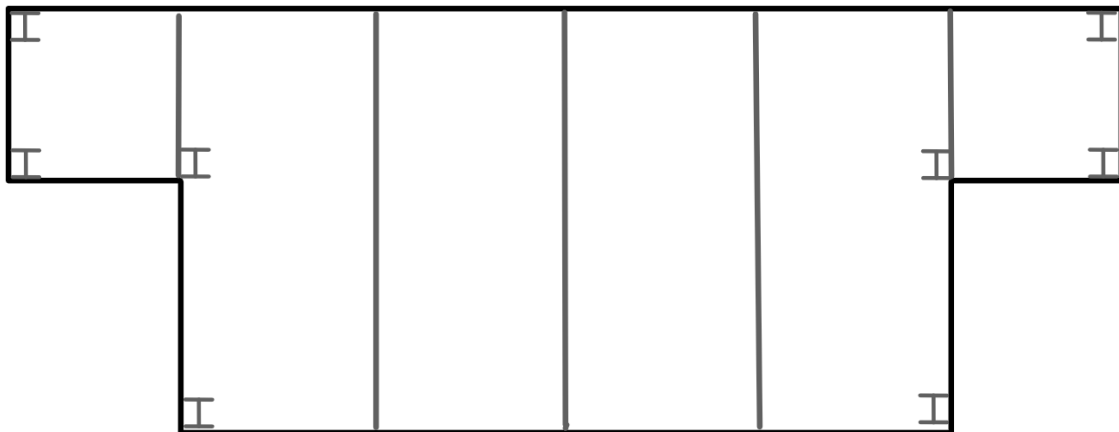
Trykkspenninger: Formel M4 (Guldteig & Sune, 1.7.2)

$$\sigma_{trykk} = \frac{24,08 * 10^6 * 9,81}{57229986618,67} * (1673,04) = 6,28 \text{ MPa}$$

Strekkspenninger: Formel M4 (Guldteig & Sune, 1.7.2)

$$\sigma_{strek} = \frac{24,08 * 10^6 * 9,81}{57229986618,67} * (2500 - 1673,04) = 4,04 \text{ MPa}$$

C.4.2.2.2 Tverrskip



Figur 27: Tverrskipets tverrsnitt for Skrog 3

Dybde i riss: 2500 mm

Antatt nøytralakse fra kjøll: 1500 mm

Avstand antatt nøytralakse til faktisk nøytralakse: Formel S12 (Guldteig & Sune, 1.7.3)

$$d = (2 * 3018 * 933,5 + 2 * 3018 * 66,5 + 10 * 3000 * 500 + 2 * 3018 * (-66,5) + 2 * 3018 * (-1433,5) + 6 * 4500 * (-750)) * \frac{1}{8 * 3018 + 10 * 3000 + 6 * 4500} = -101,89 \text{ mm}$$

Faktisk nøytralakse fra kjøll: 1398,11 mm

Antatt flatetrehetsmoment: Formel S10 (Guldteig & Sune, 1.7.3)

$$I_{ANA} = 8 * 9952389 + 10 * 250000000 + 6 * 843750000 + 2 * 933,5^2 * 3018 + 2 * 66,5^2 * 3018 + 2 * (-66,5)^2 * 3018 + 2 * (1433,5)^2 * 3018 + 10 * (500)^2 * 3000 + 6 * (-750)^2 * 4500 = 4,80 * 10^{10} \text{ mm}^4$$

Faktisk flatetrehetsmoment: Formel S11 (Guldteig & Sune, 1.7.3)

$$I_{NA} = 48046419916 - ((8 * 3018 + 10 * 3000 + 6 * 4500) * (-101,89)^2) = 4,72 * 10^{10} \text{ mm}^4$$

Trykkspenninger: Formel M4 (Guldteig & Sune, 1.7.2)

$$\sigma_{trykk} = \frac{20,12 * 10^6 * 9,81}{47203969161,79} * (1398,11) = 5,85 \text{ MPa}$$

Strekkspenninger: Formel M4 (Guldteig & Sune, 1.7.2)

$$\sigma_{strek} = \frac{20,12 * 10^6 * 9,81}{47203969161,79} * (2500 - 1398,11) = 4,61 \text{ MPa}$$

C.4.2.3 Resultat

Gjennom utregningene ser vi at det er svært lave spenninger i dette konseptet også. Noe som gjør at vi også her har mye å gå på med tanke på belastninger i skroget.

C.5 Sammenlikning av skrogene

Tabell 3: Sammenlikning av skrogene

Beskrivelse	Skrog «Skoeske»	1:	Skrog 2: «Ka- tamaran»	Skrog «Sopp»	3: Enhet
Stålvekt	20,35		23,96	24,40	tonn
Vekt fullt las- tet	78,35		81,96	82,40	tonn
Dypgang	0,64		1,07	1,57	m
Trykkspen- ning langskips	7,94		2,96	6,28	MPa
Strekkspen- ning langskips	7,94		4,41	4,04	MPa
Trykksenk- ning tverr- skips	24,12		61,61	5,85	MPa
Strekkspen- ning tverr- skips	24,12		184,4	4,61	MPa

D. Dimensjonering av platetykkelse i skrog

D.1 Fremgangsmåte

For å kunne starte på utregningene av platetykkelsen måtte vi i første omgang se på det hydrostatiske trykket som påvirket flåten når den ble lastet. I tillegg måtte vi ta for oss den største belastningen som ville være på dekket. Etterpå måtte vi inn i Norsk Standard sitt dokument for å finne formlene for platetykkelse. Vi valgte å forenkle regnestykkene noe 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 «Panel aspect ratio factor for bending strength» (k_2). Etter en liten prat med veileder forstod vi at standard avstand mellom avstivere ofte varierer mellom 60-80 cm. 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.

D.2 Beregninger

Dypgang: 0,46 m

Hydrostatisk trykk kjøll: Formel H2 (Guldteig & Sune, 1.7.1)

$$p_{kjøll} = \frac{101000 + 10055,25 * 0,46}{1000} = 4,59 \frac{kN}{m^2}$$

Hydrostatisk trykk langside/bredside: Formel H4 (Guldteig & Sune, 1.7.1)

$$p_b = p_l = \frac{2 * 10055,25 * 0,46}{3 * 1000} = 3,06 \frac{kN}{m^2}$$

Trykk i dekk: Formel H7 (Guldteig & Sune, 1.7.1)

$$p_{dekk} = \frac{30000}{1000 * 3} = 10 \frac{kN}{m^2}$$

- Her er det tatt utgangspunkt i at det tyngste ankeret veier 3 tonn og at vekten vil fordele seg over et areal på ca. 3 m².

k_c : 1

- Vi forenkler og setter ingen kurvatur

Bredde mellom avstiverne (b_a): 700 mm

Lengde mellom skott (l): 2000 mm

l/ b_a : 2,86

Faktor for bredde-/lengdeforhold ved bøyestyrke: Formel I2 (Guldteig & Sune, 1.7.4)

$$k_2 = \frac{0,271 * (2,86)^2 + 0,910 * (2,86) - 0,554}{(2,86)^2 - 0,313 * (2,86) + 1,351} = 0,49$$

Tykkelse kjøll: Formel I1 (Guldteig & Sune, 1.7.4)

$$t_{kjøl} = 700 * 1 * \sqrt{\frac{4,59 * 0,49}{1000 * 294}} = 1,94 \text{ mm}$$

Tykkelse langside/bredside: Formel I1 (Guldteig & Sune, 1.7.4)

$$t_l = t_b = 700 * 1 * \sqrt{\frac{3,06 * 0,49}{1000 * 294}} = 2,26 \text{ mm}$$

Tykkelse dekk minimum: Formel I3 (Guldteig & Sune, 1.7.4)

$$t_{dekk \text{ min}} = 1,5 + 0,07 * 12 = 2,34 \text{ mm}$$

- Formel I3 tar ikke for seg at dekket skal være belastet

Tykkelse dekk: Formel I1 (Guldteig & Sune, 1.7.4)

$$t_{dekk} = 700 * 1 * \sqrt{\frac{10 * 0,49}{1000 * 294}} = 2,87 \text{ mm}$$

D.3 Resultat

Som forventet ble det beregnede hydrostatiske trykket svært lavt ($4,59 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$) ettersom flå- tens 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). 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.

E. Arbeidsplattform

E.1 Innledning

Dette er utregningene som gir grunnlag for spesifikasjonene om konstruksjon av arbeidsplattform.

E.2 Fremgangsmåte

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

Videre så bestemte vi dimensjonene til arbeidsplattformen som følgende; høyde 6,6 meter (m), bredde 2,5 m og lengde 10 m.

Arbeidsplattformen består videre av horisontale og vertikale bjelker, skrå støttebjelker og plater som man skal kunne stå på og utføre arbeid i fra.

Relevante utregninger ble utført i samråd med valg av materialer fra Norsk Ståls produkt-katalog (Norsk Stål 2016), og i excel fant vi hva vi så på som de mest optimale produktene. Belastninger bestemte i stor grad våre valg av produkter. Vi satte en sikkerhetsfaktor på $n=3$ som er i samsvar med skal-kravene vi har satt (Guldteig & Sune, 2.2)

E.3 Design

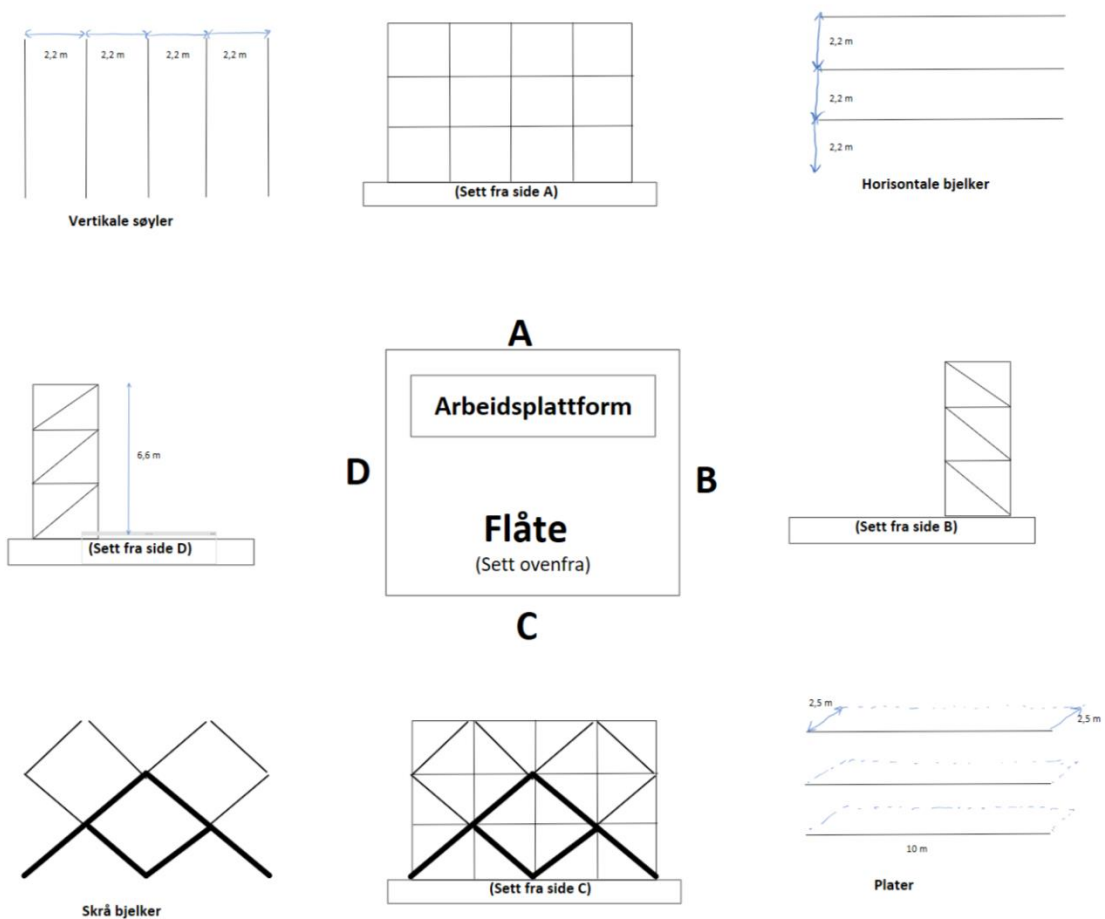
Arbeidsplattformen består av fem vertikale bjelker på hver side, totalt ti stykk som er 6,6 meter høye.

På tvers av disse, i lengden til arbeidsplattformen går det horisontale bjelker i tre etasjer, hvor det er 2,2 m mellom senterlinjene til hver bjelke.

De vertikale søylene og horisontale bjelkene utgjør til sammen tre «liggende» rammer eller etasjer som platene skal ligge oppå.

I tillegg danner de «stående» rammer. På den siden av arbeidsplattformen som ikke står mot fregatten, skal det være skrå bjelker som skal bidra til å holde konstruksjonen sammen og stabil. I tillegg skal det være skrå bjelker i hver av rammene på sidene av arbeidsplattformen.

Forklaringene er illustrert i Figur 27



Figur 28: Plassering av deler på arbeidsplattform

E.4 Beregninger

E.4.1 Vertikale søyler

Vi har dessverre begrenset oss til å ikke regnet ut bøyepeningen for å dimensjonere de vertikale bjelkene. Grunnen til det er at de vertikale bjelkene ikke blir utsatt for så store

krefter fra vind og bølger. Vi har derfor valgt kvadratisk hulprofil i tilnærmet samme kvalitet som de horisontale bjelkene.

Brukte produktspesifikasjonene til Norsk ståls rektangulære hulprofil i Excel.

Tabell 4: Beregninger vertikale søyler

Beskrivelse	Verdi	Enhet	Merknad
Varegruppe	5531		
Varenummer	312770		
Antall bjelker	10	stk	
Lengde	6,6	m	
B	50	mm	
b	44	mm	
H	50	mm	
h	44	mm	
Vekt	4,35	kg/m	
Pris	21,69	kr/kg	
Total lengde	66	m	
Total vekt	287,1	kg	
Total pris	6 227	kr	

E.4.2 Horisontale bjelker

Vi har ikke subtrahert fra bredden til de vertikale bjelkene når vi regner med bredden til de horisontale. Grunnen til det er at vi ønsker å være på den sikre siden og få en ekstra sikkerhetsmargin.

Disse bjelkene blir regnet med en punktbelastning på 20 kN ved $x=1,25m$. Grunnen til at vi har regnet med punktbelastning og ikke jevnt fordelt belastning er at vi ønsker disse bjelkene skal være ekstra sikre, siden de også gir grunnlaget for de skrå og de vertikale bjelkene.

Setter inn i formel M1 (Guldteig & Sune, 1.7.2) og får:

$$M = \frac{20kN * 2,5m}{2} \left(\frac{3}{4} - \frac{1,25m}{2,5m} \right) = 0,625 kNm$$

Brukte produktspesifikasjonene til Norsk ståls rektangulære hulprofil i Excel.

Tabell 5: Beregninger horisontale bjelker

Beskrivelse	Verdi	Enhet	Merknad
Varegruppe	5533		
Varenr	312848		
Vekt	3,38	kg/m	
Pris	21,69	kr/kg	
B	30	mm	
b	24	mm	
H	50	mm	
h	44	mm	
W (motstandsmoment)	5685,28	m ³	Brukte formel M3 ¹

¹ (Guldteig & Sune, 1.7.2)

Sigma b	54,97	Mpa	Brukke formel M4 ²
Re	355,00	Mpa	Stål S355J2
Sikkerhetsfaktor	6,46		

Antall bjelker	24,00	stk	
Total lengde	60,00	m	
Lengde per bjelke	2,50	m	
Total vekt	202,80	kg	
Total pris	4 399	kr	

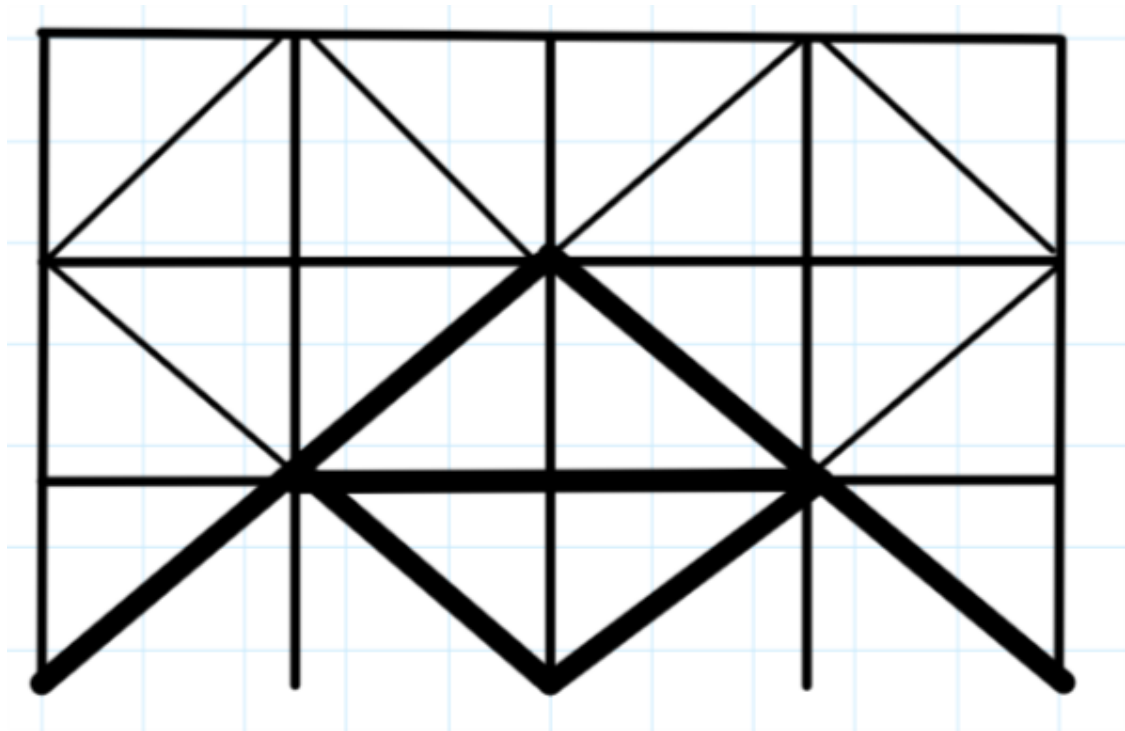
E.4.3 Skrå bjelker

Brukke produktspesifikasjonene til Norsk ståls rektangulære hulprofil i Excel.

For å beregne sikkerhetsfaktoren til de skrå bjelkene har vi valgt å bruke metoder for utregninger av fagverk. Her har vi valgt å utelate horisontale krefter som vind, da de anses å være relativt små.

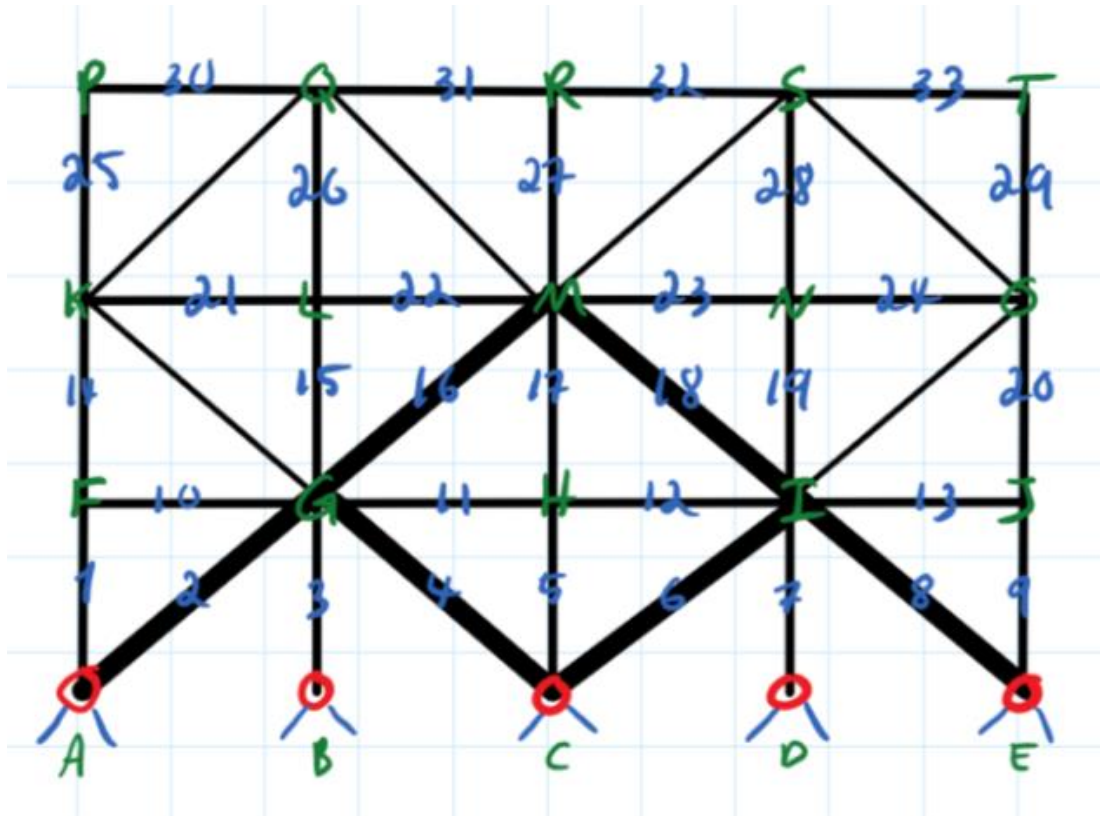
Figur 28 er fagverket vi i utgangspunktet skal se på

² (Guldteig & Sune, 1.7.2)



Figur 29: Fagverkfremstilling av arbeidsplattform

Figur 29 viser hvilke stavkrefter og lagerreaksjoner som skal bestemmes



Figur 30: Stavkrefter og lagerreaksjoner

Her valgte vi å la være å se på de tynne skrå stavene for å gjøre en forenkling. Planen her var å bruke knutepunktmetoden. Figur 30 gir en illustrasjon.

Vi antar at alle kreftene er strekkrefter.

Ukjente:

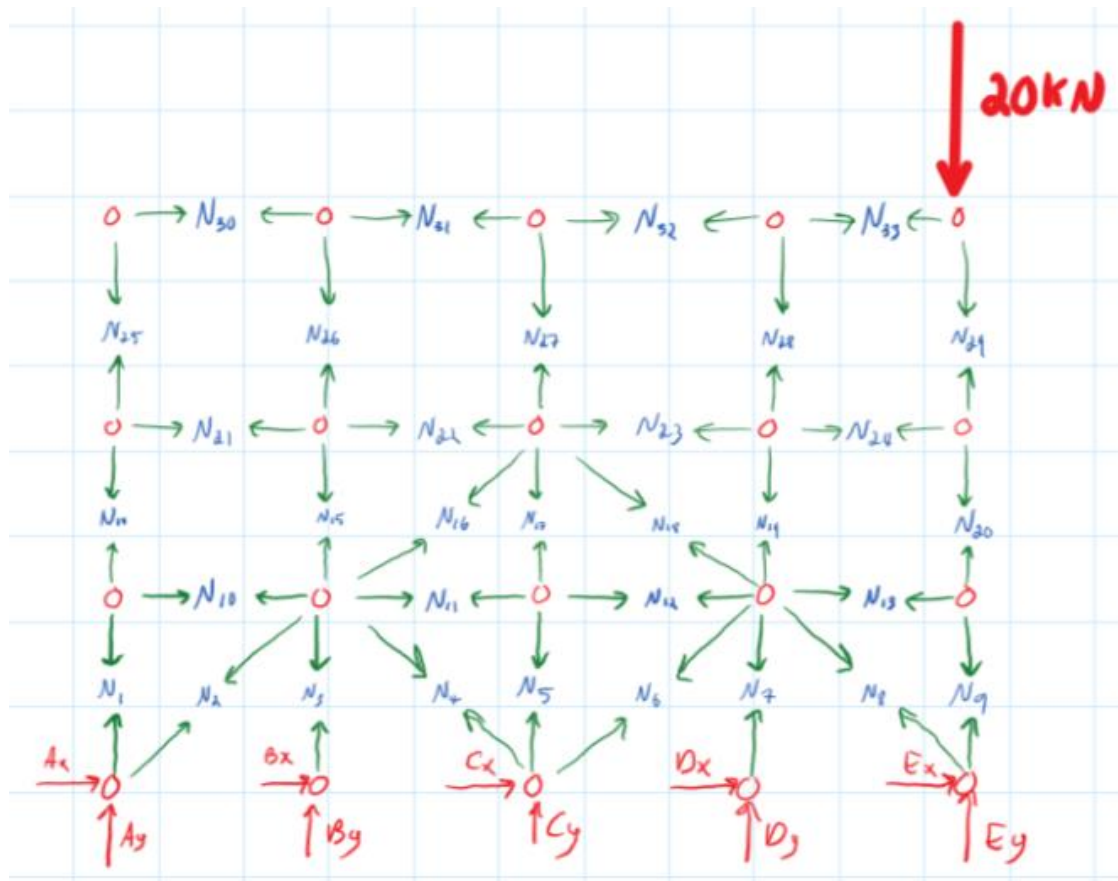
$$s=33, r=7, s+r=40$$

Knutepunkter:

$$k=20$$

Likevektsligninger:

$$2k=40$$



Figur 31: Krefter i fagverket

Vi kom fram til at 40 likevektslikninger ble for mye, i tillegg til at vi er nødt til å se på trekantene for å kunne utføre beregningene. Vi har derfor valgt å isolere og se på en mindre del av fagverket ved hjelp av snittmetoden. Vi forenklet og gjorde en tilnærming. Det forenklete fagverket er illustrert i Figur 31.

Ukjente:

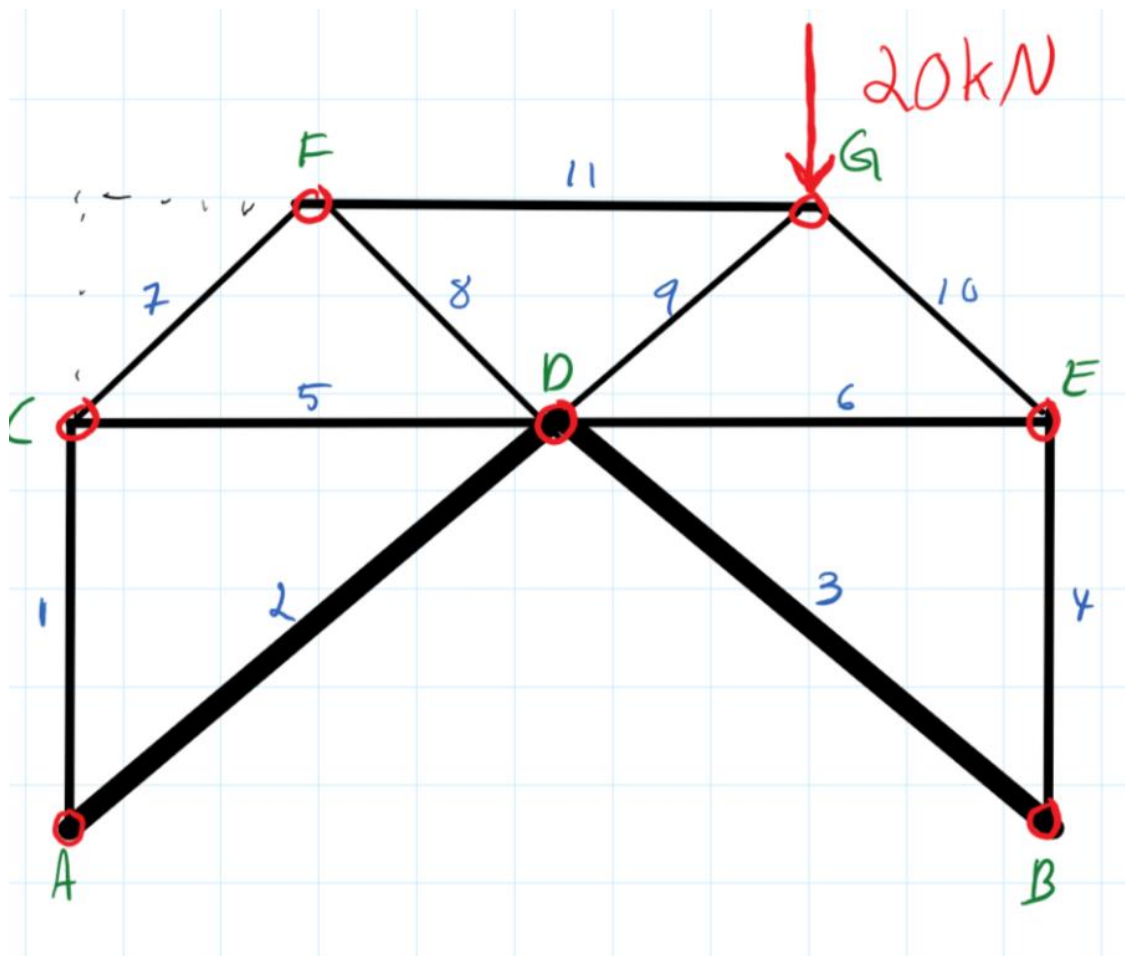
$$s=11, r=3, s+r=14$$

Knutepunkter:

$$k=7$$

Likevektslikninger:

$$2k=14$$



Figur 32: Forenkling av fagverk

En illustrasjon for beregningene er vist i Figur 32

Likevekt av hele systemet krever:

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow A_x = B_x = 0$$

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow B_y * 10 \text{ m} - 20 \text{ kN} * 7,5 \text{ m} = 0 \rightarrow B_y = 15 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow A_y + B_y - 20 \text{ kN} = 0 \rightarrow A_y = 5 \text{ kN}$$

Lengde på stavene (stav 1, 2, 3, ..., 10)

$$1 = 4: 2,2 \text{ m}$$

$$2 = 3: \sqrt{2,2^2 + 5^2} = 5,46 \text{ m}$$

$$5 = 6 = 11: 5 \text{ m}$$

$$7 = 8 = 9 = 10 = \sqrt{2,2^2 + 2,5^2} = 3,33 \text{ m}$$

Brukte så newtons lover og knutepunktmetoden for det forenklete fagverket og fikk følgende resultater (utregningene ble gjort for hånd):

$$N_1 = -5 \text{ kN}$$

$$N_2 = N_3 = N_8 = N_{10} = 0$$

$$N_4 = -15 \text{ kN}$$

$$N_5 = -5,68 \text{ kN}$$

$$N_6 = 17,05 \text{ kN}$$

$$N_7 = 7,57 \text{ kN}$$

$$N_9 = -22,7 \text{ kN}$$

De stavkreftene med negativt fortegn (N_1, N_4, N_5 og N_9) er trykkrefter, mens de med positivt fortegn (N_6 og N_7) er strekkrefter.

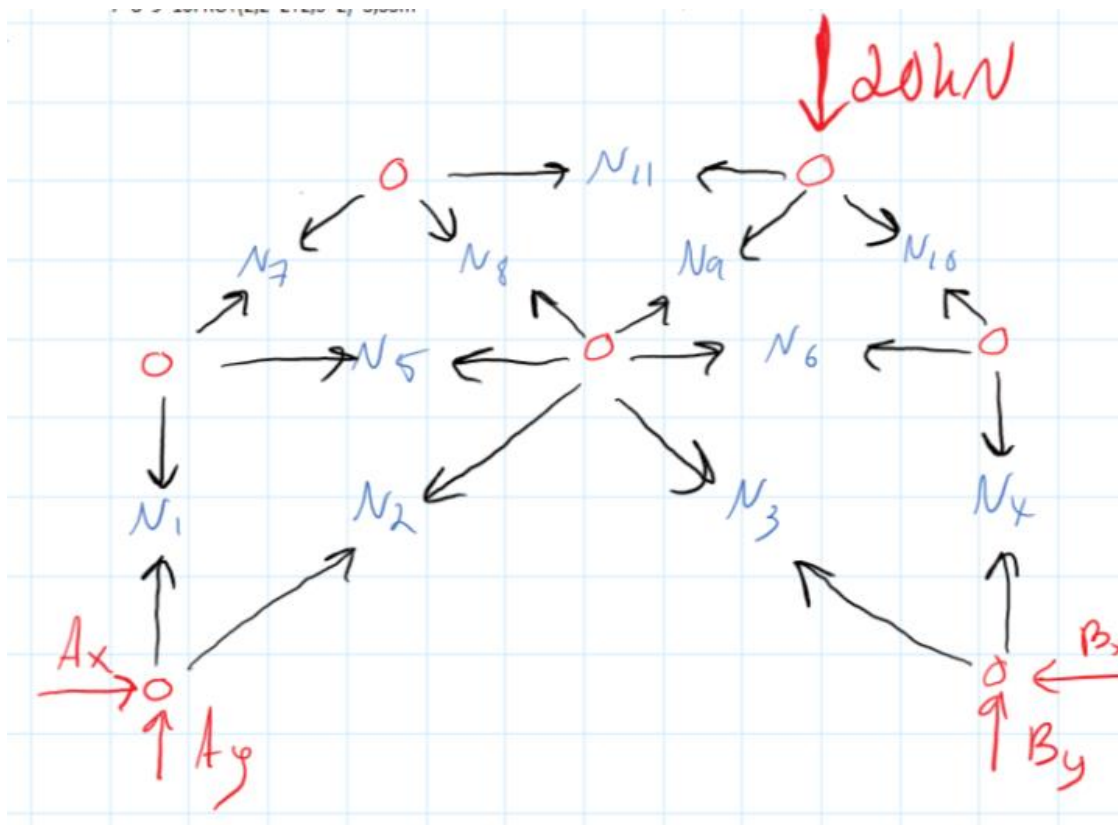
Den største trykkspenningen er 22,7 kN, mens den største strekkspenningen er på 17,05 kN. Det bruker vi videre til å bestemme sikkerhetsfaktoren.

For aksiallast bruker vi formel M5 (Guldteig & Sune, 1.7.2) og får:

$$\sigma_x = \frac{20 \text{ kN}}{(30 * 30 - 24 * 24) \text{ mm}^2} = 61,73 \text{ MPa}$$

Når vi ser bort i fra bøyelast og torsjon kan vi si at ekvivalentspenningen er lik normalspenningen. Flytegrensen for S355 stål er 355 MPa. Sikkerhetsfaktoren blir da:

$$n = \frac{355 \text{ MPa}}{61,73 \text{ MPa}} = 5,75$$



Figur 33: Forenklet fagverk med krefter

Resultatene ble:

Tabell 6: Resultater av beregninger for skrå bjelker

Beskrivelse	Verdi	Enhet	Merknad
Varenummer	312848		
Varegruppe	5531		
Lengde per bjelke	3,33	m	
Antall bjelker	12,00	stk	
Totalt lengde bjelker	39,96	m	
B	50	mm	

b	44 mm
H	50 mm
h	44 mm
Vekt	4,35 kg/m
Pris	21,69 kr/kg
Sikkerhetsfaktor	5,75
Total vekt	173,8 kg
Total pris	3 770 kr

E.4.4 Plater

Platene blir beregnet med en jevnt fordelt last på 20 kN på platen. En ting som er verdt å nevne her er at vi har antatt flytespenningen 190 MPa, noe som er veldig lavt. Grunnen til det er at vi ikke klarte å få tak i riktige verdier fra Norsk Standard.

$$q(x) = \frac{F}{B} = \frac{20kN}{2,5m} = 8kN$$

Bruker formel M4 (Guldeig & Sune, 1.7.2) for bøyemoment

$$M = \frac{-8kN * 1,25 * 2,5}{2} \left(\frac{1}{6} - \frac{1,25}{2,5} + \frac{1,25^2}{2,5^2} \right) = 1,042kN$$

Brukte produktspesifikasjonene til Norsk ståls Tåreplater i Excel.

Tabell 7: Resultater av beregninger for plater

Beskrivelse	Verdi	Enhet	Merknad
Varegruppe	5156		

Varenummer	312338		
Vekt	42,5	kg/m ²	
Pris	25,71	kr/kg	
B	2500	mm	
Lengde	5000	mm	
Areal per plate	12,5	m ²	
H	5	mm	
W (motstandsmoment)	10417	m ³	Brukke formel M3 ³
Sigma b	0,1	MPa	Brukke formel M4 ⁴
Re	190	MPa	Antatt
Sikkerhetsfaktor	1899		
Antall plater	6	stk	
Totalt areal	74	m ²	
Total vekt	531,25	kg	
Total pris	13 658	kr	

³ (Guldteig & Sune, 1.7.2)

⁴ (Guldteig & Sune, 1.7.2)

E.5 Resultater

Tabell 8: Samlede resultater for arbeidsplattform

Beskrivelse	Vare- gruppe/ nummer	Spesifikasjon	Antall meter/ kvad- rat- meter	Pris	Vekt	Sikker- hets-fak- tor
Vertikale søyler	5531-312770	Hulprofil KF HUP S355J2 Kvadratisk 50x50x3mm	66 m	6 227 kr	287,1 kg	IU ⁵
Horisontale bjelker	5533-312848	Hulprofil KF HUP S355J2 Rektangulære 50x30x3mm	60 m	4 399 kr	202,8 kg	6,46
Skrå bjelker	5531-312848	Hulprofil KF HUP S355J2 Rektangulære 50x30x3mm	40 m	3 770 kr	173,8 kg	5,75
Plater	5156-312338	Tåreplater Grad A (NVA/VLA) 5x2500x5000m m	74 m ²	13 658 kr	531,3 kg	1899
TOTALT				28 054 kr	1195 kg	

⁵ IU=Ikke utført

F. Innkjøpsliste

Prisene er hentet fra Norsk Ståls digitale prisliste (Norsk Stål 2017)

F.1 Innkjøpsliste for skrog

Tabell 9: Innkjøpsliste for skrog

SKROG				
Type	Varegruppe	Spesifikasjon	Antall [stk.]	Pris [kr]
H-bjelke	5213	Bjelker, varmvalset HEA S355J2 100x12m	2,00	8 474
Ramme- verk	5531	Vinkelstål S355J2 12m	4,00	3 130
Ramme- verk	5531	Vinkelstål S355J2 10m	4,00	2 608
Støtte- bjelke	5531	Hulprofil KF HUP S355J2 1m	4,00	585
Støtte- bjelke	5531	Hulprofil KF HUP S355J2 0,9m	12,00	1 581
Støtte- bjelke	5531	Hulprofil	5,00	591

KF HUP S355J2				
0,808m				
Avstiver	5360	T-stål S235JR 12m	24,00	18 508
Skott	4870	Varmvalset plate S235JR	10,00	26 448
Bunnplate	5132	Stålplate S355J2+N	12,00	122 016
Dekkplate	5132	Stålplate S355J2+N	12,00	73 210
Sideplate	5132	Stålplate S355J2+N 2m	12,00	2 4403
Sideplate	5132	Stålplate S355J2+N 5m	4,00	20 336
GRP-plate		Glassfiber 3x1m	3,00	10 000
SUM				311 891

F.2 Innkjøpsliste for arbeidsplattform

Tabell 10: Innkjøpsliste for arbeidsplattfor

ARBEIDSPLATTFORM						
Type	Varegruppe	Spesifikasjon			Antall [m]	Pris [kr]
Vertikale søyler	5531	Hulprofil KF HUP Kvadratisk 50x50x3mm	S355J2	66,00	6 227	
Horisontale bjelker	5533	Hulprofil KF HUP Rektangulære 50x30x3mm	S355J2	60,00	4 399	
Skrå bjelker	5531	Hulprofil KF HUP Rektangulære 50x30x3mm	S355J2	40,00	3 770	
Plater	5156	Tåreplater (NVA/VLA) 5x2500x5000mm	Grad A	74,00	13 658	
SUM					28 054	

Kildehenvisning

Guldteig, Emil og Vegar Sune

2017. *Bacheloroppgave*. Vedlikeholdsflåte. Bergen: Sjøkrigsskolen.

Norsk stål

2016. Digital produktkatalog

2017. Digital prisliste

http://norskstaal.no/no/andre_elementer/fremhevede_mapper/produktkatalog_og_prisliste/ 22.05.17