

Institutt for bygg- og miljøteknikk

Eksamensoppgåve i BYGT2312 Design of havromskonstruksjoner

Eksamensdato: 12. Desember 2023

Eksamenstid (frå-til): 0900 – 1300

Hjelpemiddelkode/Tillatte hjelpemiddel: A / Alle hjelpemiddel tillatte

Recommended examination support material:

Stålkonstruksjoner, profiler og formler

EN -1993-1-1 General rules and rules for buildings

EN -1993-1-4 General loads - Wind loads

EN -1993-1-8 Design of joints

NORSOK N-standards N-001, N-003, N-004, M-120, M-001, M-100

DNV-RP-C203 Fatigue Design of Offshore Steel Structures

DNV-RP-C205 Environmental Conditions and Environmental Loads

Fagleg kontakt under eksamen:

Tlf.: Jomar Tørset, cellphone 917 15 189, office 73 55 94 50

Teknisk hjelp under eksamen: NTNU Orakel

Tlf: 73 59 16 00

Får du tekniske problem under eksamen, må du ta kontakt for teknisk hjelp snarast mogleg, og seinast innan eksamenstida går ut/prøven stenger. Viss du ikkje kjem gjennom med ein gong, hald linja til du får svar.

ANNAN INFORMASJON:

Ikkje ha Inspira open i fleire faner, eller ver pålogga fleire einingar samstundes, då dette kan føre til feil med lagring/levering av svara dine.

Skaff deg eit overblikk over oppgåvesettet før du byrjar å svara på oppgåvene.

Les oppgåvene nøye, gjer deg opp dine eigne meiningar og presiser i svara dine kva for føresetnadar du har lagt til grunn i tolking/avgrensing av oppgåva. Fagleg kontaktperson kan berre kontaktast dersom du meiner at det er feil eller manglar i oppgåvesettet.

Juks/plagiat: Eksamen skal vere eit individuelt, sjølvstendig arbeid. Det er tillate å bruke hjelpemiddel, men ver merksam på at du må følgje reglane for kjeldetilvisingar. Det er ikkje tillate å generera svar ved hjelp av kunstig intelligens (til dømes Chat GPT) og levera dei heilt eller delvis som ditt eige svar. Det er ikkje tillate å kommunisere med andre personar om oppgåva eller å distribuere utkast til svar. Slik kommunikasjon er rekna som juks. Alle svar vert kontrollert for plagiat. [Du kan lese meir om juks og plagiering på eksamen her.](#)

Kjeldetilvisingar: Det er ein forusetting at alt som blir gjort i svaret er sporbart. Det vil seia at det komma fram av oppgåva kjelda ein har henta informasjonen ein har brukt i svaret, endten det er frå ein standard eller andre stader.

Varslingar: Dersom det oppstår behov for å gje beskjedar til kandidatane medan eksamen er i gang (f.eks. ved feil i oppgåvesettet), vil dette bli gjort via varslingar i Inspira. Eit varsel vil dukke opp som en dialogboks på skjermen i Inspira. Du kan finne att varselet ved å klikke på bjølla i øvre høgre hjørne på skjermen. Det vil i tillegg bli sendt SMS til alle kandidatar for å sikre at ingen går glipp av viktig informasjon. Ha mobiltelefonen din innan rekkevidde.

SVARE OG LEVERE

Svare i Inspera: Viss oppgavesettet består av oppgaver som *ikkje* er av typen filopplasting, skal du svare direkte i Inspera. I Inspera vert svara dine lagra kvart 15. sekund.

NB! Klipp og lim frå andre program er ikkje tilrådd, då dette kan leie til at formatering og element (bilete, tabellar osv.) forsvinn.

Filopplasting: Når du jobbar i andre program fordi heile eller delar av svaret ditt skal verte levert som filvedlegg – hugs å lagre med jamne mellomrom.

Ver merksam på at alle filer må vere lasta opp i Inspera før eksamenstida går ut.

Det går fram av filopplastingsoppgåva/filopplastingsoppgåvene kva filformat som er tillatne. Merk at det berre er mogleg å laste opp ei fil per filopplastingsoppgåve.

Det er lagt **30 minutt** til ordinær eksamenstid for eventuell digitalisering av handteikningar og opplasting av filer. Tilleggstida er satt av til innlevering, og inngår i attståande eksamenstid som vises i øvre venstre hjørne på skjermen.

NB! Det er ditt eige ansvar å sjå til at du lastar opp riktig(e) og intakt(e) fil(er). Kontroller filene du har lasta opp ved å klikke “Last ned” når du står i filopplastingsoppgåva. Alle filer kan fjernast og byttas ut så lenge prøven er open.

[Slik digitaliserer du handteikningane dine.](#)

[Slik lagrar du dokumentet ditt som PDF.](#)

[Slik fjernar du forfattarinformasjon frå filen\(e\) du skal levere.](#)

Automatisk innlevering: Svare dine vert levert automatisk når eksamenstida er ute og prøven stenger, under føresetnad av at du har svart på minst ei oppgåve. Dette skjer sjølv om du ikkje har klikka «Lever og gå tilbake til Dashboard» på siste side i oppgåvesettet. Du kan opne og redigere svare dine så lenge prøven er open. Dersom du ikkje har svart på nokon av oppgåvene ved prøveslutt, vert ingenting levert. Dette vil bli sett på som “ikkje møtt” til eksamen.

Trekk/avbroten eksamen: Blir du sjuk under eksamen, eller av andre grunnar ønskjer å levere blankt/trekke deg, gå til “hamburgermenyen” i øvre høgre hjørne og vel «Lever blankt». Du kan ikkje angra dette, sjølv om prøven framleis er open.

Tilgang til svare dine: Du finn svare dine i Arkiv etter at sluttida for eksamen er passert.

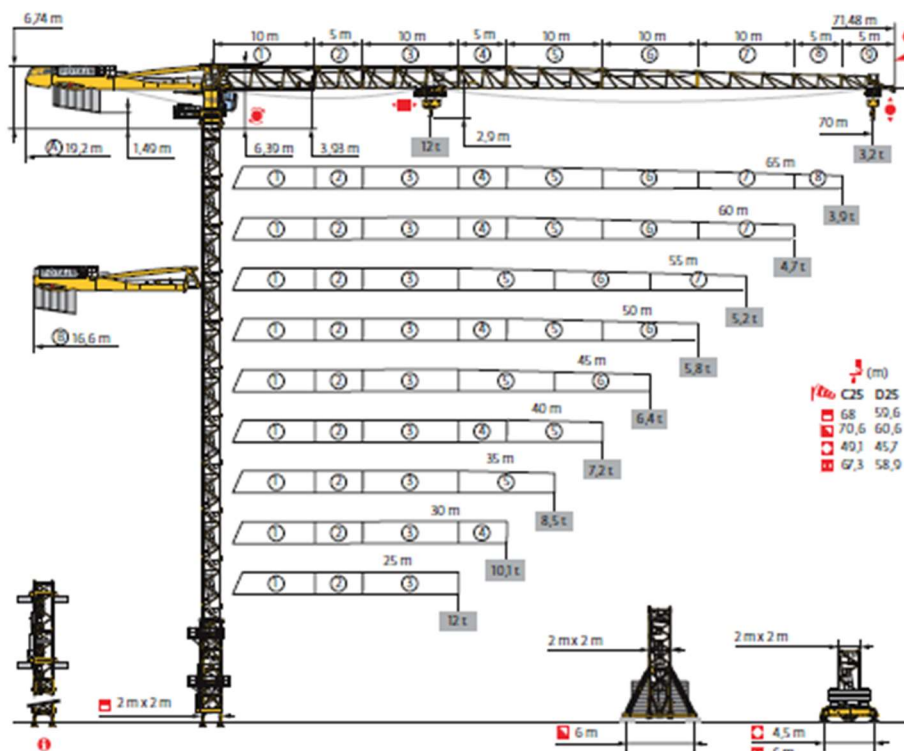


Fig. 1 "Kran"

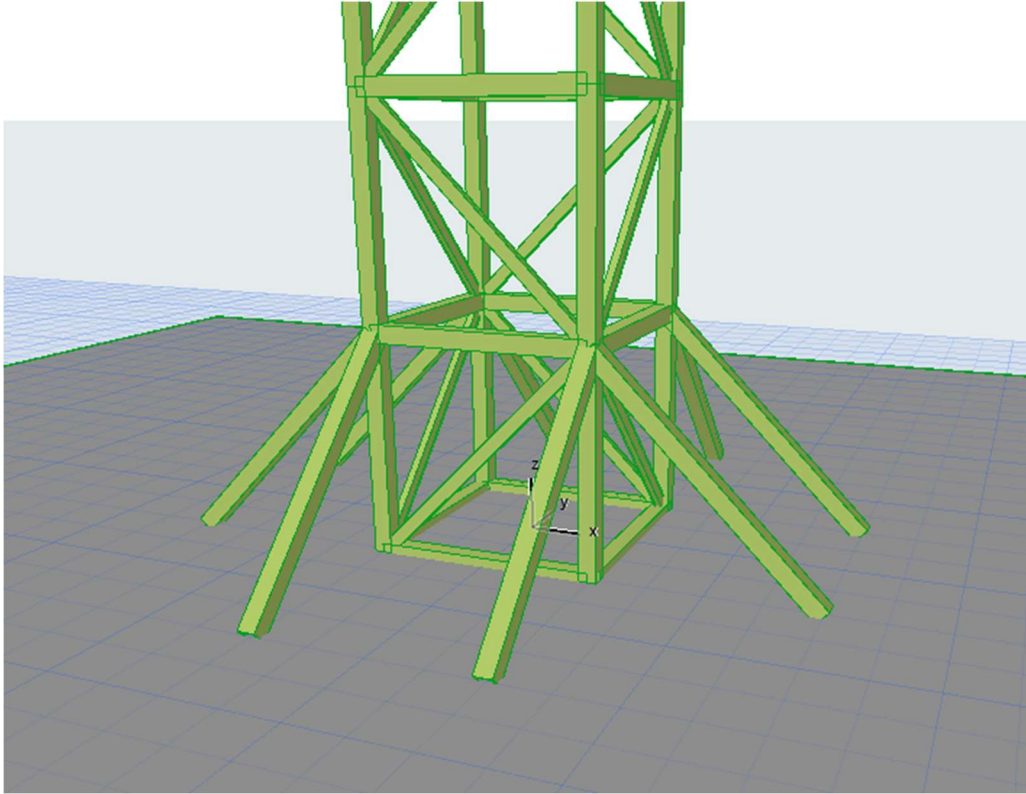


Fig. 2 Innfestning av kran (support)

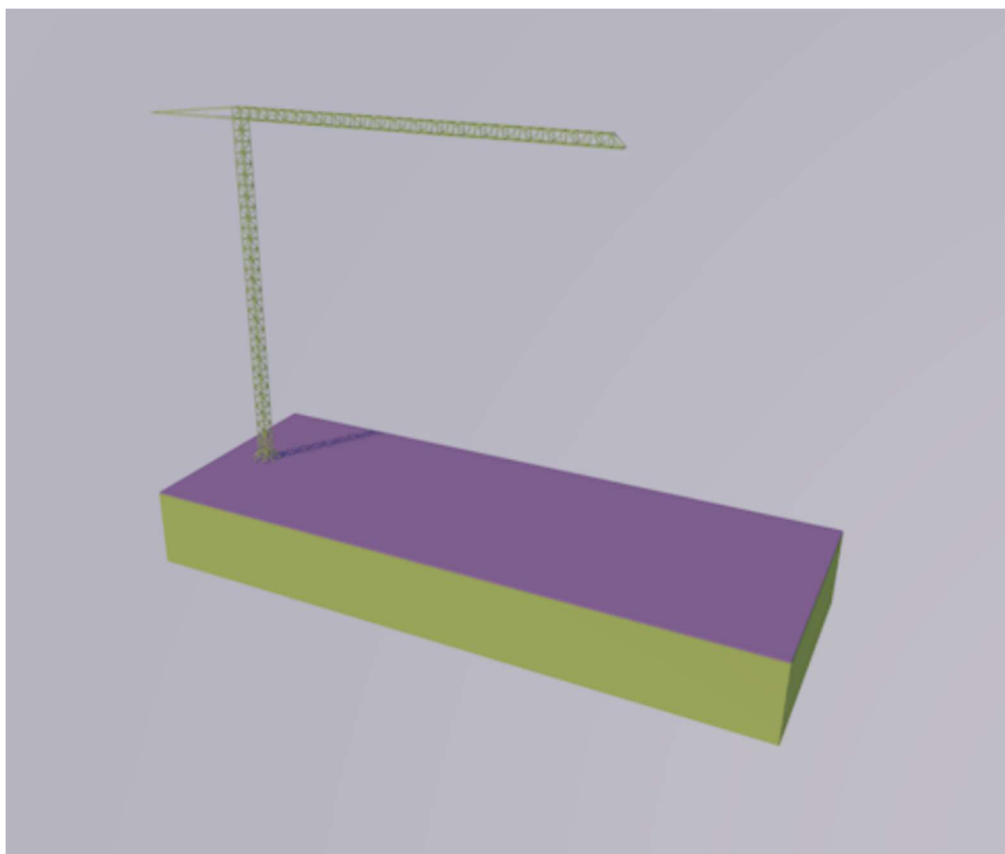


Fig. 3 Kran sveis fast til barge (lekter)

Oppgave 1

Gå ut fra at krana er festet 15 meter over havoverflata slik at Toppen av barge (lekter inkludert grillage og seafastning) blir 15 meter over vannoverflata. Design ihht. NORSOK.

a). Ei krana skal brukes til å heise utstyr fra barge to en installasjon utenfor Midt-Norge. Krana skal dimensjoneres for bruk over alt i Nordsjøen og langs norskekysten. Hva har det å si for vindlasta på denne krana? Se figur 1, 2 og 3 i vedlegg.

Svar:

Krana må dimensjoneres for de verste lastene som kan oppstå i Nordsjøen og Norskehavet.

Hvis man kan anta at barge er der ute i den verste vinterstormen i løpet av 100 år og vi kan bruke NORSOK-standardene.

Vi må finne hva som er det største vindtrykket som krana kan bli utsatt for. Det finnes en oversikt over dette her i NORSOK N-003.

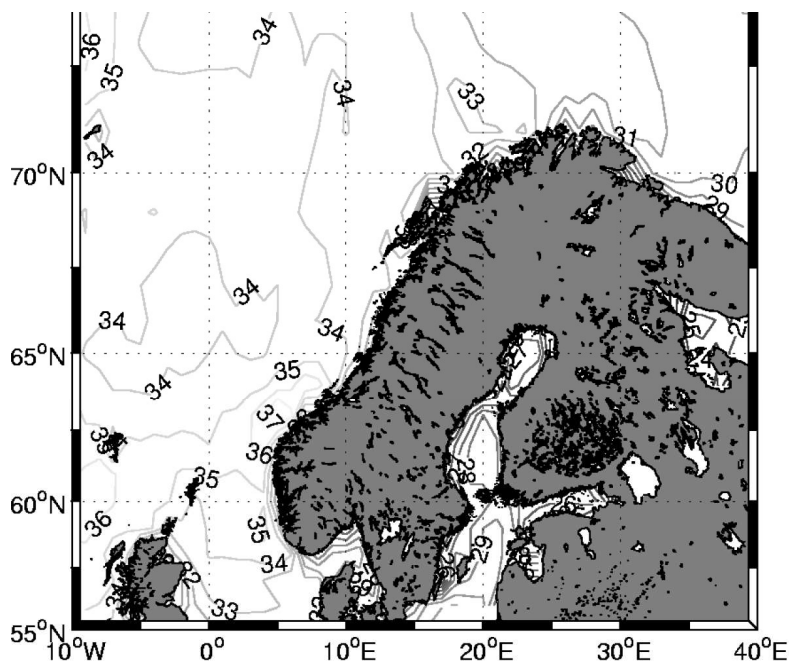


Figure A.7 – 1-hour extreme wind speed contours at 10 m above MSL based on NORA10 1958–2011 corresponding to annual exceedance probability of 10^{-2} . Wind speed above 15 m/s is slightly adjusted as described in 6.4.2

Største dimensjonerende vindtrykk med en returperiode på 100 år er 37 m/s og er utenfor nordvestlandet i Norge. Det er gjennomsnittsvind 10 meter over bakken (referansevind).

b). Krana er 60 meter høy. Hva blir vindtrykket på toppen av krana?

Svar:

Toppen av krana er her på 75 meter. Når det gjelder det dimensjonerende vindtrykket så er det avhengig av hvilken vindgust man skal bruke og det er avhengig av størrelsen på konstruksjonen som den mest viktige faktoren. Hvis vi ser i NORSOK så skal det brukes 3 sekunders vindgust på strukturer mindre enn 50 meter i vindretningen. Det står ikke noe mål på krana her, men man ser at krana er ca. like lang som den er høy. Dvs. at man kan tenke seg å bruke en vind tilsvarende en 15 sekunders vindgust for vind i lengderetningen. For alle andre vindretninger blir det en 3 sekunders vindgust som skal brukes, men først man finne hva gjennomsnittsvinden er i toppen av krana som er 75 meter over havoverflaten. I NORSOK opererer man med timesvind som basis. Siden dette er ei kran og den brukes ikke hvis vinden er over 20 m/s. Det fristilles da og beveger seg langsetter vinden. Så normalt sett så ville man brukt vind tilsvarende 15 sekund for denne krana, men vi ser på vind i begge tilfeller og hva forskjellen blir.

6.3.3 Mean wind actions

Structures or structural components that are not sensitive to wind gusts may be calculated by considering the wind action as static.

In the case of structures or structural parts where the maximum dimension is less than approximately 50 m, 3 s wind gusts may be used when calculating static wind actions.

In the case of structures or structural parts where the maximum length is greater than 50 m, the mean period for wind may be increased to 15 s.

$$z := 75_{+}$$

Vind ihht. NORSOK

Gust duration:

Insert the desired gust duration.

10 second wind:

$$t := 3 \cdot s$$

$$U_0 := 37 \cdot \frac{m}{s}$$

Calculations:

1 hour mean wind speed:

$$C := 5.73 \cdot 10^{-2} \cdot \left[1 + 0.15 \cdot \frac{U_0}{\left(\frac{m}{s} \right)} \right]^{0.5}$$

$$C = 0.147$$

+

$$U(z) := U_0 \cdot \left(1 + C \cdot \ln \left(\frac{z}{10} \right) \right)$$

$$U(z) = 47.933 \frac{m}{s}$$

3 sekunders vindgust:

Turbulence intensity factor:

$$I_u(z) := 0.06 \cdot \left[1 + 0.043 \cdot \frac{U_0}{\left(\frac{m}{s} \right)} \right] \cdot \left(\frac{z}{10} \right)^{-0.22}$$

$$I_u(z) = 0.1$$

+

$$t_0 := 3600 \cdot s$$

Wind gust:

$$U(z, t) := U(z) \cdot \left(1 - 0.41 \cdot I_u(z) \cdot \ln \left(\frac{t}{t_0} \right) \right)$$

$$U(z, t) = 61.838 \frac{m}{s}$$

Mean wind action:

$$q(z) := \frac{1}{2} \cdot 1.225 \cdot \frac{kg}{m^3} \cdot U(z, t)^2$$

$$q(z) = 2.109 \cdot \frac{kN}{m^2}$$

Vindtrykket blir da på 2.35 kN/m² (på tvers av kranbommen)

15 sekunders vindgust (som selvsagt blir litt lavere):

Wind gust:

$$U(z, t) := U(z) \cdot \left(1 - 0.41 \cdot I_u(z) \cdot \ln\left(\frac{t}{t_0}\right) \right)$$

$$U(z, t) = 58.681 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

⊥

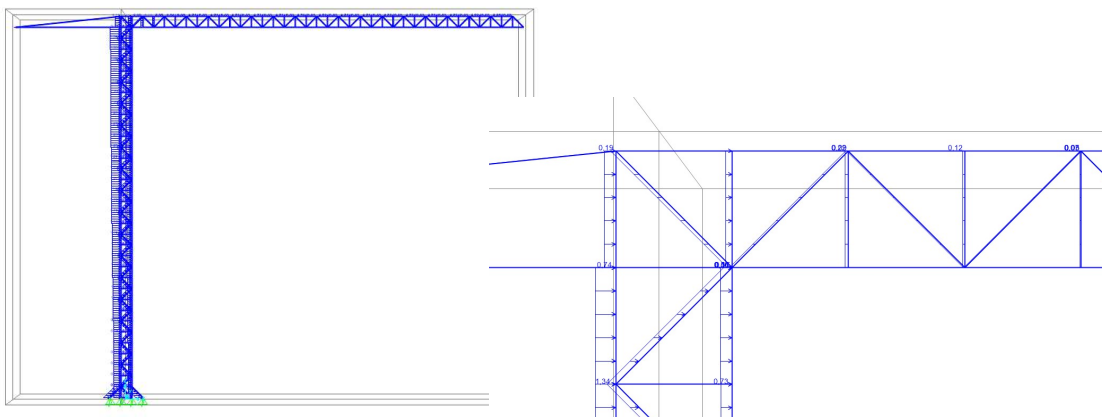
Mean wind action:

$$q(z) := \frac{1}{2} \cdot 1.225 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot U(z, t)^2$$

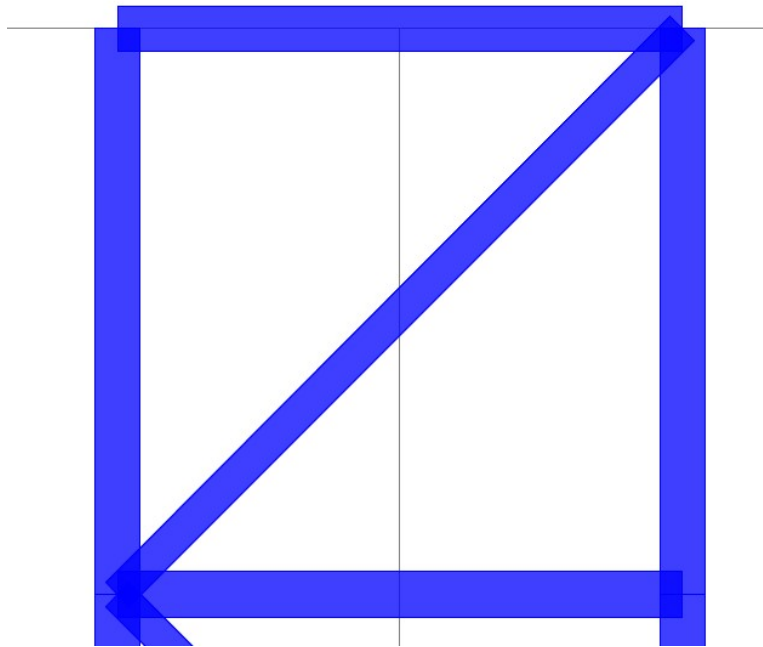
$$q(z) = 2.342 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Vindtrykket blir da på 2.35 kN/m^2 (på langs av kranbommen)

I tillegg kommer formfaktoren som varierer med tverrsnittsform, «solidifikasjon» (solidification) (flere tverrsnitt nær hverandre som øker vindtrykket i form av at vinden ikke rekker å gå igjennom, men virker som en hel «plate» eller «vegg»). Det andre er at hvis flere bjelker er bak hverandre som blir det mindre vind på delene som er lenger bak. Det kalles «Shielding faktor». Bildet under viser hvordan vinden varierer i lengderetningen av krana.



For laster på langs av krana se ser vindåpningen omtrent slik som på bildet under:



$C_S = 0,65$ for Reynold's number $> 5 \times 10^5$

$C_S = 1,2$ for Reynold's number $< 5 \times 10^5$

In the case of tubular structures covered with ice, $C_S = 1,2$ should be used for all Reynold's numbers.

Men så må man ta hensyn til solidification effect:

5.3.2 Solidification effect

If several members are located in a plane normal to the wind direction, as in the case of a plane truss or a serie of columns, the solidification effect ϕ must be taken into account. The wind force is:

$$F_{W,SOL} = C_e q S \phi \sin \alpha$$

where:

C_e = the effective shape coefficient, see [5.4.7]

q = the basic wind pressure according to [5.2.1]

S = as defined in [5.3.1]. To be taken as the projected area enclosed by the boundaries of the frame

ϕ = *solidity ratio*, defined as the projected exposed solid area of the frame normal to the direction of the force divided by the area enclosed by the boundary of the frame normal to the direction of the force

α = angle between the wind direction and the axis of the exposed member, as defined in [5.3.1].

Table 5-4 Effective shape coefficient C_e for single frames

Solidity ratio ϕ	Effective shape coefficient C_e		
	Flat-side members	Circular sections	
		$Re < 4.2 \times 10^5$	$Re \geq 4.2 \times 10^5$
0.10	1.9	1.2	0.7
0.20	1.8	1.2	0.8
0.30	1.7	1.2	0.8
0.40	1.7	1.1	0.8
0.50	1.6	1.1	0.8
0.75	1.6	1.5	1.4
1.00	2.0	2.0	2.0

Solidification:

$$\varphi := \frac{(160\text{mm} \cdot 2 + 120 \cdot \text{mm})}{2000 \cdot \text{mm}}$$

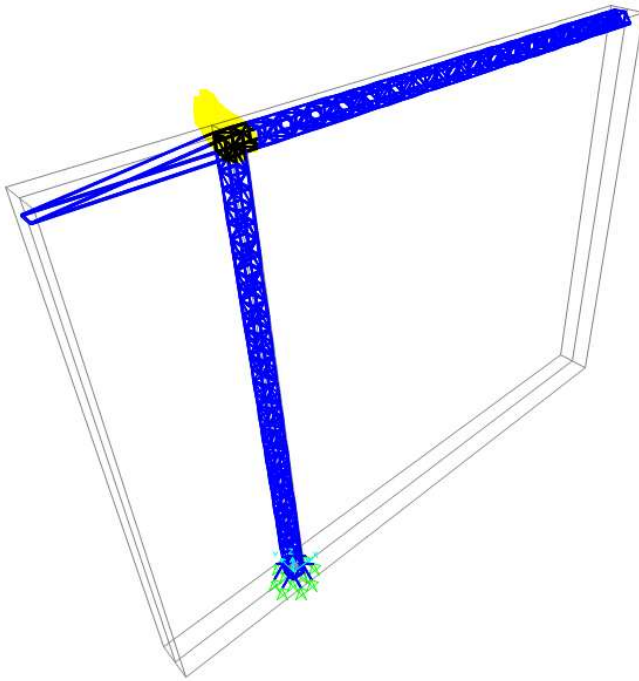
$$\varphi = 0.22$$

$$C_e := 1.78$$

Design wind pressure will be on first exposed beam:

$$q_{\text{top}} := C_e \cdot q(z)$$

$$q_{\text{top}} = 3.754 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



c). Hva slags vindtrykk vil du bruke for å dimensjonere innfestninga til krana mot lekter?

Svar:

I lengderetningen av krana vil det bli 15 sekunders vind og en stor del av vindtrykket vil komme på flammebommen så jeg ville ha benyttet et vindtrykk på 3.75 kN/m^2 . På tvers av krana kunne jeg har brukt en 3 sekunders vind og da blir vindtrykket 4.1 kN/m^2 men det blir ikke riktig da krana skal være fristilt og ikke i bruk under slike vindtrykk. Det vil si at en sideveislaster kun opptrer under operasjon og det er ca. 20 m/s. Gjennomsnittsvinden i Nordsjøen er på 10-12 m/s. Derfor forsøker man å optimalisere vindmøller offshore til å virke i det området.

d). Ved vindmålinger offshore blir det ofte brukt timesvind mens Eurocode bruker 10 minutt vind. Hva betyr det? Er det noen logikk i dette her?

Svar:

Når man måler vind så deler man denne vinden i en gjennomsnittsvind og en turbulensdel. Største gjennomsnittsvind i løpet av 10 minutter blir derfor større enn en gjennomsnittsvind. Typisk kan en 10 minutters vind være i størrelsesorden 12% høyere enn en timesvind. Se tabell under tatt for havner (langs kysten og internasjonalt?). NORSOK er laget for konstruksjoner i havet og skal lage et designgrunnlag der. Eurocode er laget for konstruksjoner på land eller nært land. Vinden på land er påvirket av terrenget og det vil også komme mer hyppige retningsendringer på vinden enn offshore pga. terrenget. For å fange den største gjennomsnittsvinden som er en naturlig å bruke på land er det lurt å tenke målinger på vind som er kortere enn om det skulle være offshore.

Table 2.3 Relationship between 1 h mean wind speed and the gust factor

Wind duration	Gust factor
3 s mean	1.56
10 s mean	1.48
1 min mean	1.28
10 min mean	1.12
30 min mean	1.05
1 h mean	1.00

Port Designer's Handbook

Third edition

Carl A. Thoresen

Oppgave 2

I denne oppgaven ser vi på konstruksjonen i vannet og hvordan den oppfører seg i vann. Nøkkelinformasjon for oppgaven er gitt i figur 4.

Geometrical Input - Barge Dimensions:

Length overall:	$L := 123.54 \cdot \text{m}$	
Breadth:	$B := 27.54 \cdot \text{m}$	+
Depth:	$D := 6.1 \cdot \text{m}$	
Light Draft:	$T1 := 0.84 \cdot \text{m}$	
Maximum Loaded Draft:	$T2 := 4.285 \cdot \text{m}$	
Transport of flareboom Draft	$T3 := \frac{D}{2}$	$T3 = 3.05 \text{ m}$
Light ship weight:	$W := 2470 \cdot 10^3 \cdot \text{kg}$	
Dead weight:	$DW := 11285 \cdot 10^3 \cdot \text{kg}$	

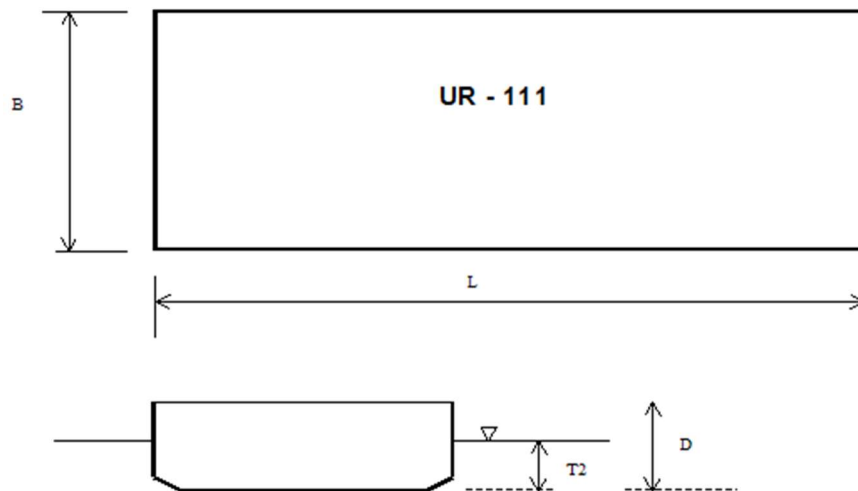


Fig. 4 Beskrivelse på barge (lekter) med kran og flammebom på barge (lekter)



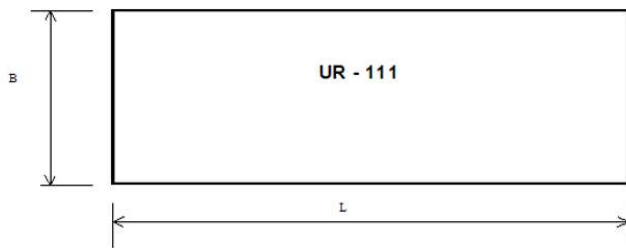
Fig. 5 Flammebom på lekter (barge)

Anta at dypgangen er 4.285 meter som angitt i figur 4.

a). Hva er vannlinjearealet for denne lekteren? Se beskrivelse sammen med skisser for plan og oppriss under. Lekteren transporterer en flammebom.

Svar:

Vannlinjearealet er arealet som beskrives av overgangen mellom vannoverflate og lekter. Altså $B \times L$ på figur 4.



$$g := 9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\rho := 1000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$B := 27.54 \cdot \text{m}$$

$$L := 123.54 \cdot \text{m}$$

$$H := 20 \cdot \text{m}$$

$$A_w := B \cdot L$$

$$A_w = 3402 \text{ m}^2$$

Vannlinjearealet blir da 2402 kvm.

b). Gjør et overslag på hva egenrullefrekvensen blir på denne borgen inkludert flammebom og kran. Se på hiv, rull og pitch. Ignorer "added mass" ved første overslagsberegning. Anta at borgen er som en klosse (rett på alle sider).

Svar:

«Stivhet av vannet blir (som en funksjon av vannlinjearealet)»:

$$K_{\text{oppdrift}} := B \cdot L \cdot \rho \cdot g \quad K_{\text{oppdrift}} = 33.376 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$K_{\text{oppdrift}} = 33376480.596 \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Deplasement (inkludert ballast + alt som er med under transporten):

Dødvekt: $DW := 11285 \cdot 10^3 \cdot \text{kg}$

For HIV så kan man legge til «added mass» slik:

$$M_{\text{add}} := \pi \cdot \rho \cdot \left(\frac{B}{2}\right)^2 \cdot L \cdot \frac{1}{2} \quad M_{\text{add}} = 36796 \text{ tonne}$$

$$DW = 11285 \text{ tonne}$$

$$\omega_{\text{v}} := \sqrt{\frac{K_{\text{oppdrift}}}{DW + M_{\text{add}}}}$$

$$\omega_{\text{e}} = 0.833 \text{ s}^{-1}$$

$$T := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_{\text{e}}} \quad T = 7.541 \text{ s}$$

Man ser at det er mye mer «added mass» i vertikal bevegelsene enn rullebevegelsene.

Uten «added mass» for «roll» blir tallene følgende:

$$M_{add} := 0.0 \cdot \text{kg}$$

$$\omega_{\phi} := \sqrt{\frac{K_{oppdrift}}{DW + M_{add}}}$$

$$\omega_{\phi} = 1.72 \text{ s}^{-1}$$

$$T := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_{\phi}}$$

$$T = 3.654 \text{ s}$$

$$M_{add} = 0 \cdot \text{tonne}$$

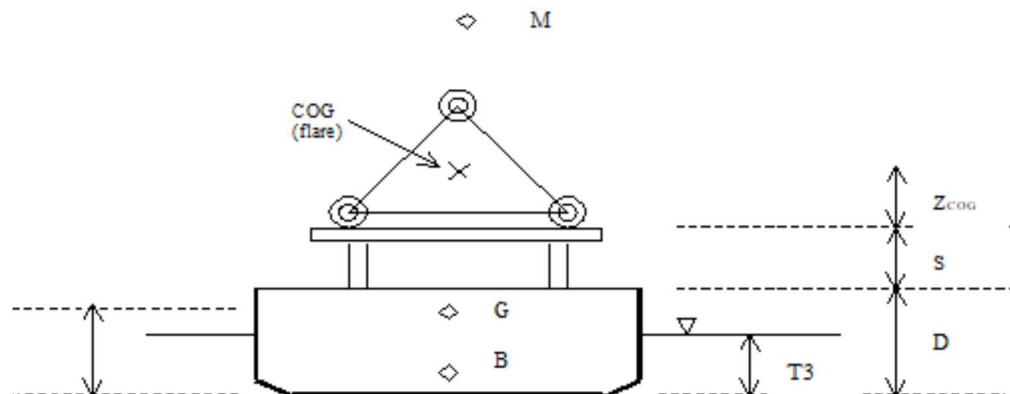
$$DW = 11285 \cdot \text{tonne}$$

$$T_{pitch/roll} = 2\pi \sqrt{\frac{M \cdot (R_i)^2 + A_{moment}}{\rho g V_{displaced} \cdot GM}}$$

Where:

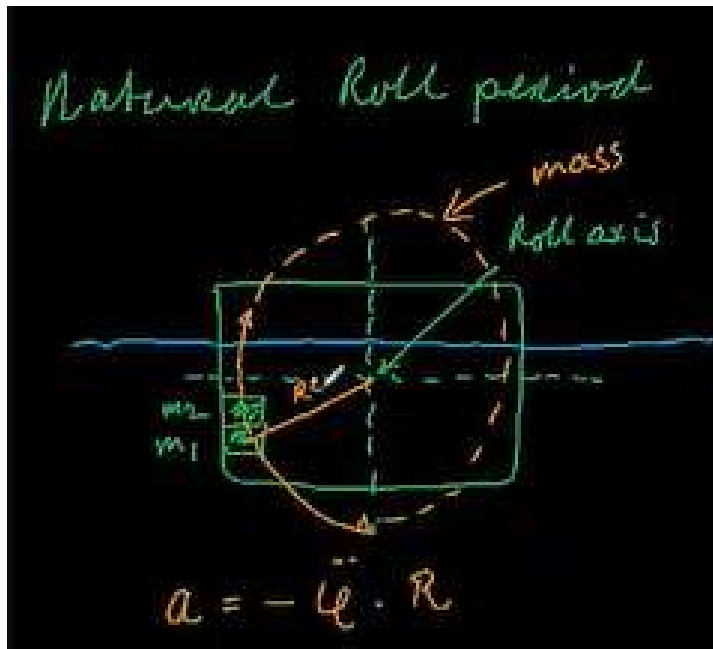
- R_i is R_x or R_y , radii of gyration around the respective axis, depending if pitch or roll is being calculated
- A_{moment} is the added moment for pitch or roll, calculated from the added mass from heave and the distance to the VCOG
- ρ is the saltwater density
- g is the acceleration of gravity
- $V_{displaced}$ is the structures displacement volume

The added moment is the most problematic issue here. It is hard to estimate the shape and weight of the added mass working with the structure with different moment arms. Some work with the different geometries and added mass is therefore needed to get good results.



Figuren over gir et bedre bilde over situasjonen.

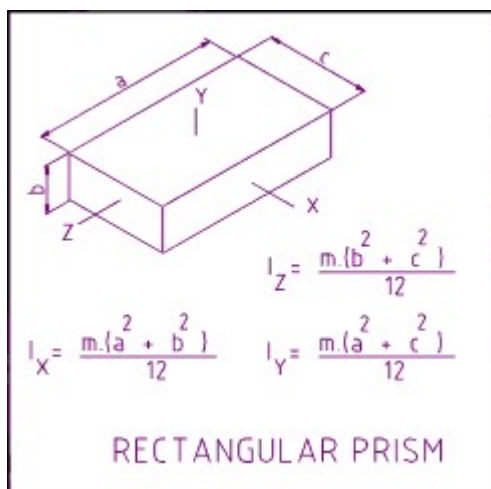
Et greit overslag for å finne rullefrekvenser er å gjøre om massen som en tenkt massiv sylindermasse. Slik som på skissen under. For å få en ide om størrelsesorden.



[SDY_Natural Roll Period of a vessel - YouTube](#)

Det som er gjort her er at jeg har gjort dette som massemotstandsmomentet av et rektangel, men ellers samme tankegang (Det samme ble gjennomgått og brukt i øving 2 for dette her).

http://steeljis.com/roymech/form/dynamics_inertia.php



$$\begin{aligned}
 \text{Roll:} \quad V_{\text{deplacment}} &:= B \cdot L \cdot T_p & V_{\text{deplacment}} &= 11285 \text{ m}^3 \\
 I_{\text{vaninflate}} &:= \frac{1}{12} \cdot L \cdot B^3 & I_{\text{vaninflate}} &= 2.15 \times 10^5 \text{ m}^4 \\
 BM_{\text{roll}} &:= \frac{I_{\text{vaninflate}}}{V_{\text{deplacment}}} & BM_{\text{roll}} &= 19.055 \text{ m} \\
 k_{\text{roll}} &:= \rho \cdot g \cdot V_{\text{deplacment}} \cdot BM_{\text{roll}} \\
 k_{\text{roll}} &= 2109537.093 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \\
 H_{\text{estimate}} &:= BM_{\text{roll}} \\
 B_{\text{estimate}} &:= B \cdot 0.9
 \end{aligned}$$

+

$$\begin{aligned}
 I_{\text{mass}} &:= DW \cdot \frac{(H_{\text{estimate}}^2 + B_{\text{estimate}}^2)}{12} & I_{\text{mass}} &= 9.192 \times 10^8 \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \\
 \omega_{\text{roll}} &:= \sqrt{\frac{k_{\text{roll}}}{I_{\text{mass}}}} & \omega_{\text{roll}} &= 1.515 \text{ s}^{-1} \\
 T_{\text{roll}} &:= \frac{2 \cdot \pi}{\omega_{\text{roll}}} & T_{\text{roll}} &= 4.148 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Det er begrenset hvor mye informasjon som er gitt her med tanke på å passere den flammebommen. Krana veier totalt ca. 120 tonn som er ca. 1 prosent av totalvekta. Krana kan ses bort fra for dette overslaget. Denne «arma» som skal representer rotasjonsmassen her er i alle fall mindre enn bredden og metasentret kan representer høyden.

2 Ship motions and accelerations

2.1 Ship motions

2.1.1 Roll motion

The roll period, in s, shall be taken as:

$$T_{\theta} = \frac{2.3\pi k_r}{\sqrt{g \cdot GM}}$$

The roll angle, in deg, shall be taken as:

$$\theta = \frac{9000(1.4 - 0.035T_{\theta})f_p f_{BK}}{(1.15B + 55)\pi}$$

where:

- f_p = coefficient shall be taken as:
 $f_p = f_{ps}$ for strength assessment
 $f_p = f_R(0.23 - 4f_T B \cdot 10^{-4})$ for fatigue assessment
- f_{BK} = shall be taken as:
 $f_{BK} = 1.2$ for ships without bilge keel
 $f_{BK} = 1.0$ for ships with bilge keel
- k_r = roll radius of gyration, in m, in the considered loading condition. In case k_r has not been calculated, the following values may be used
 $k_r = 0.39 B$ in general
 $k_r = 0.35 B$ for tankers in ballast
For fatigue, default values are given in Ch.9.
- GM = metacentric height, in m, in the considered loading condition, minimum $0.05 B$. In case GM has not been calculated, the following values may be adopted:
 $GM = 0.07 B$ in general
 $GM = 0.12 B$ for tankers
 $GM = 0.05 B$ for container ship with $B \leq 32.2$ m
 $GM = 0.11 B$ for container ship with $B \geq 40.0$ m

Det er ikke gitt et totalt tyngdepunkt her men hvis antar at det ligger i vannlinja så er ikke det så langt unna sannheten. Et overslag fra DnV regler gir:

$$GM := \frac{T_p}{2} + BM_{roll} - T_p \quad GM = 17.397 \text{ m}$$

$$T_{\theta} := \frac{2.3 \cdot \pi \cdot k_r}{\sqrt{g \cdot GM}}$$

$$T_{\theta} = 5.331 \text{ s}$$

+

Dette er noe høyere enn det tallet vi har funnet, men vi hadde heller ikke tatt med «Added mass» så det virker rimelig. (B er krafta fra oppdriften og oppdriften er det fortrenge vannet så derfor $T_p/2$). Ikke så galt gjettet med andre ord.

Pitch:

$$I_{\text{vannflate}} := \frac{1}{12} \cdot B \cdot L^3 \quad I_{\text{vannflate}} = 4.327 \times 10^6 \text{ m}^4$$

$$BM_{\text{pitch}} := \frac{I_{\text{vannflate}}}{V_{\text{deplacemnt}}} \quad BM_{\text{pitch}} = 383.446 \text{ m}$$

$$k_{\text{pitch}} := \rho \cdot g \cdot V_{\text{deplacemnt}} \cdot BM_{\text{pitch}}$$

$$k_{\text{pitch}} = 42449686600.083 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$H_{\text{estimate}} := BM_{\text{pitch}} \quad H_{\text{estimate}} := L$$

$$B_{\text{estimate}} := L \cdot 0.9$$

+

$$I_{\text{mass}} := DW \cdot \frac{(H_{\text{estimate}}^2 + B_{\text{estimate}}^2)}{12}$$

$$\omega_{\text{pitch}} := \sqrt{\frac{k_{\text{pitch}}}{I_{\text{mass}}}} \quad \omega_{\text{pitch}} = 1.278 \text{ s}^{-1}$$

$$T_{\text{pitch}} := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_{\text{pitch}}} \quad T_{\text{pitch}} = 4.915 \text{ s}$$

Hvis vi bruker samme metode for å finne denne «armen» som skal representere massetregghetsmomentet for pitch så er BM veldig høy, men det samme er også «vannstivheten». Borgen er bare 6.1 meter høy så uten vann kunne man tenkt seg et H_{estimate} på kanskje 12 meter som gir en egenperiode på 3.3 sekunder.

2.1.2 Pitch motion

The pitch period, in s, shall be taken as:

$$T_{\phi} = \sqrt{\frac{2\pi\lambda_{\phi}}{g}}$$

where:

$$\lambda_{\phi} = 0,6(1 + f_T)L$$

The pitch angle, in deg, shall be taken as given in formula below and need not to be taken greater than 20 degree.

$$\phi = 920 f_p L^{-0,84} \left(1,0 + \left(\frac{2,57}{\sqrt{g L}} \right)^{1,2} \right)$$

where:

$$f_p = \begin{cases} \text{coefficient shall be taken as:} \\ f_p = f_{ps} \text{ for strength assessment} \\ f_p = f_R \left[(0,27 - 0,02 f_T) - (13 - 5 f_T) \cdot L \cdot 10^{-5} \right] \text{ for fatigue assessment.} \end{cases}$$

f_T = ratio between draught at a loading condition and scantling draught, shall be taken as:

$$f_T = \frac{T_{LC}}{T_{SC}}, \text{ but shall not be taken less than } 0,5$$

$$T_{LC} := T_p$$

$$T_{SC} := T_{LC} \cdot 1,0$$

$$f_T := \frac{T_{LC}}{T_{SC}}$$

$$f_T = 1$$

$$\lambda_{\phi} := 0,6 \cdot (1 + f_T) \cdot L$$

$$\lambda_{\phi} = 148,248 \text{ m}$$

$$L = 123,54 \text{ m}$$

$$T_{\phi} := \sqrt{\frac{2\pi \cdot \lambda_{\phi}}{g}}$$

$$T_{\phi} = 9,744 \text{ s}$$

Formler fra DnV på rullefrekvenser i pitch-retning gir svar i samme størrelsesorden, men da er dette med medsvingende «added mass» tatt med.

For HIV så kan man legge til «added mass» slik:

$$M_{add} := \pi \cdot \rho \cdot \left(\frac{B}{2}\right)^2 \cdot L \cdot \frac{1}{2}$$

$$M_{add} = 36796 \text{ tonne}$$

$$DW = 11285 \text{ tonne}$$

$$\omega_{\text{roll}} := \sqrt{\frac{K_{\text{oppdrift}}}{DW + M_{add}}}$$

$$\omega_{\text{e}} = 0.833 \text{ s}^{-1}$$

$$T := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_{\text{e}}}$$

$$T = 7.541 \text{ s}$$

Man ser at det er mye mer «added mass» i vertikal bevegelsene enn rullebevegelsene.

Uten «added mass» blir tallene følgende:

$$M_{add} := 0.0 \cdot \text{kg}$$

$$\omega_{\text{roll}} := \sqrt{\frac{K_{\text{oppdrift}}}{DW + M_{add}}}$$

$$M_{add} = 0 \cdot \text{tonne}$$

$$DW = 11285 \cdot \text{tonne}$$

$$\omega_{\text{e}} = 1.72 \text{ s}^{-1}$$

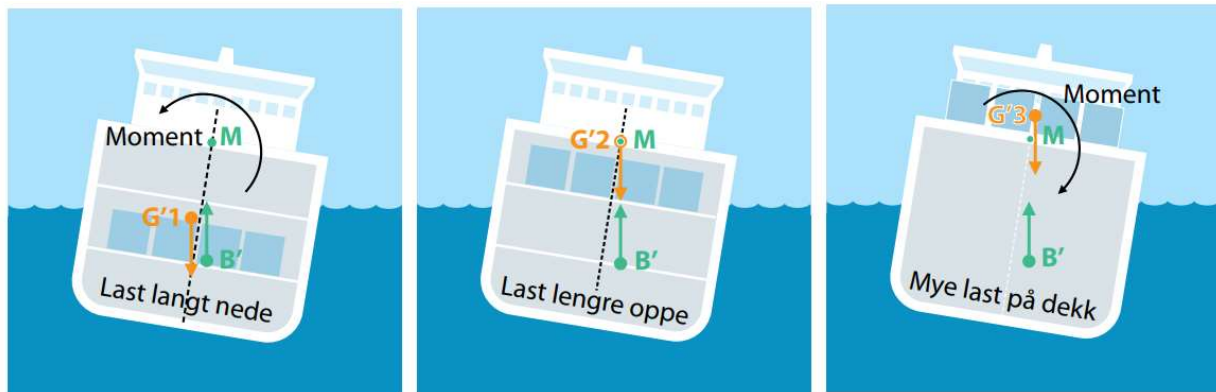
$$T := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_{\text{e}}}$$

$$T = 3.654 \text{ s}$$

+

c). Er lekteren stabil under transporten basert på tallene gitt i figur 4?

Svar:



Dersom tyngdepunktet G' ligger i $G'1$, gir oppdriften et opprettende moment.

Dersom tyngdepunktet G' ligger i $G'2$, gir oppdriften null moment (labil situasjon).

Dersom tyngdepunktet G' ligger i $G'3$ (mye tung last på dekk), gir oppdriften et veltende moment.

Vi kan dermed fastslå kriteriet for at skipet skal være stabilt:

$$G'M > 0$$

Eller med andre ord:

Tyngdepunktet (G') for skipet må ligge lavere enn metasenteret (M).

To sentrale begrep:

Metasenter (M) = punkt som oppdriften B alltid virker gjennom

Moment M_d = "dreiekraft" = kraft $\cdot$ arm

Med arm mener vi den vinkelrette avstanden mellom oppdriftens retning og den akse skipet dreier seg om.

For at konstruksjonen skal være stabil så må tyngdepunktet være under metasenteret. Metasenteret man finnes ut fra informasjonen som er gitt her. Det er rull som er kritisk siden motstanden fra vannet (Ivannflate) er minst den veien. 1

Det er ikke oppgitt hvor tyngdepunktet til systemet er her, men det er rimelig å anta ut fra informasjonen vi har gitt her, men gitt at tyngdepunktet ligger ca. i vannoverflata i dette tilfellet som er ca. 3 meter så er det god margin med å tenke på stabilitet her.

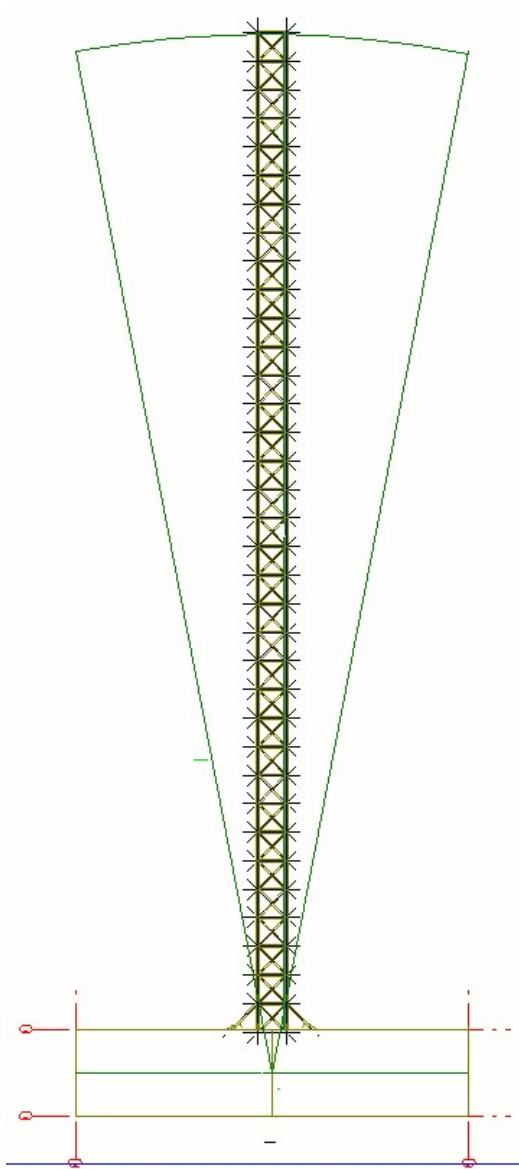
d). Uten å regne på det. Hvordan påvirker "added mass" bevegelsen på konstruksjonen/barge?

Svar:

Ut fra den enkle betraktningen gjort i C9. på et komplekst problem gir en ide om størrelsesorden på egenrullebevegelser og hivbevegelser. Det finnes formler på dette her som gir mer eksakte tall. Det er gitt i *"Det Norske Veritas, Standard for Insurance Warranty Surveys In Marine Operations Part 2: Recommended Practices RP2, Sea Transportation, June 1985"*. Det er ikke gjennomgått i faget så en enkel betraktning er godt nok her som er nok til å lage et grunnlag for å forstå bevegelser og noe om problemet med konstruksjoner i vann. **Med «added mass» vil medsvingende vann øke massemomentet og bevegelsene vil gå saktere. Med andre ord, periodene blir større. I forhold til stabilitet og bølger så har man et utgangspunkt for å forstå situasjonen.**

d). Rulleakselerasjonen er på 8.0 deg/sekund^2 . Hva blir akselerasjonen i toppen av krana? Ta med den dynamiske forsterkningsfaktoren i denne beregningen. Anta at dempningen er på 5 %.

Svar:



Figuren over viser situasjonen. Kranen roterer rundt B (oppdriftsresultanten som er midt i det fortrenkte vannet) i en sektor som antydnet på figuren. Akselerasjonen er størst når bevegelsen er ved ytterpunktene.

Her har vi oppgitt en rulleakselerasjon som gir 2 lastkomponenter. En sentripetalakselerasjon (hiv) og en horisontalakselerasjon (sway). Det er den horisontale sway akselerasjonen som krana blir utsatt for og som jeg er ute etter her da sentripetalakselerasjonen blir svært liten.

$$Z_{\text{kran}} := 60\text{m}$$

$$B := \frac{3.05 \cdot \text{m}}{2}$$

$$D := 6.1 \cdot \text{m}$$

$$\text{Arm} := Z_{\text{kran}} + D - B$$

$$\text{Arm} = 64.575 \text{ m}$$

$$\Theta_{\ddot{\text{r}}\text{ii}} := 0.129 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$a_{\text{top}} := \Theta_{\ddot{\text{r}}\text{ii}} \cdot \text{Arm}$$

$$a_{\text{top}} = 8.33 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Se på denne: https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2000/87-7944-019-3/html/bil05_eng.htm

Det blir altså en akselerasjon på neste **1g** i toppen av kрана med denne rotasjonsakselerasjonen.

Sentripetalakselerasjonen blir en del mindre i hiv-retning.

Sentripetalakselerasjonen (ved resonans frekvens rull):

$$T_{\text{roll}} := 4.1 \cdot \text{s}$$

$$v := \frac{a_{\text{top}}}{2 \cdot \pi} \cdot T_{\text{roll}}$$

$$v = 5.436 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a_{\text{sentripental}} := \frac{v^2}{\text{Arm}}$$

+

$$a_{\text{sentripental}} = 0.458 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Det er ikke oppgitt her hva slags frekvens de eksterne lastene har, men den lasten som ligger rundt 4 sekunder er verst (egenfrekvens rull). Det kan være både en bølge på 4 sekunder er en liten bølge. Vinden varierer som kjent også og kan gi dynamiske effekter som får hele systemet til å rulle på seg. Da kan lasten bli 10 ganger større. Dvs. 96 g. Det kommer ikke til å skje i praksis.

$$\beta := 1$$

$$\xi := 0.05$$

$$D := \frac{1}{\sqrt{[(1 - \beta)^2 + (2 \cdot \xi \cdot \beta)^2]}}$$

$$D = 10$$

Beregninger ut fra DnV-regler:

$$k_r := 0.35 \cdot B$$

+ Det er ikke gitt et totalt tyngdepunkt her men hvis antar at det ligger i vannlinja så er ikke det så langt unna sannheten. Et overslag fra DnV regler gir:

$$GM := \frac{T_p}{2} + BM_{roll} - T_p \quad GM = 17.397 \text{ m}$$

$$T_\theta := \frac{2.3 \cdot \pi \cdot k_r}{\sqrt{g \cdot GM}}$$

$$T_\theta = 5.331 \text{ s}$$

Dynamisk amplifikasjonsfaktor:

$$DW := I_{mass, roll}$$

$$K := k_{roll} \quad K = 2.11 \times 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$T_E := T_{roll}$$

$$T_L := T_\theta$$

$$\text{Faktor} := DW \cdot K$$

$$\text{Faktor} = 1.939 \times 10^{18} \text{ m}^4 \cdot \text{kg}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

$$c := 139250000 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\frac{\text{m}}{\text{s}}} \quad c = 1.393 \times 10^8 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\xi := \frac{100 \cdot c}{2 \cdot \sqrt{DW \cdot K}} \quad \xi = 5$$

$$\beta := \frac{T_E}{T_L} \quad \beta = 0.778$$

$$DAF := \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{T_E}{T_L}\right)^2\right]^2 + \frac{c^2}{DW \cdot K} \cdot \left(\frac{T_E}{T_L}\right)^2}}$$

$$DAF = 2.485$$

Oppgave 3

Delene kan deles inn i fundament, søyler, bracer, tverrbærere, Du kan regne med at hele konstruksjonen består av RHS. Chord RHS160x160x20x20. Diagonalbracer RHS120x70x10.

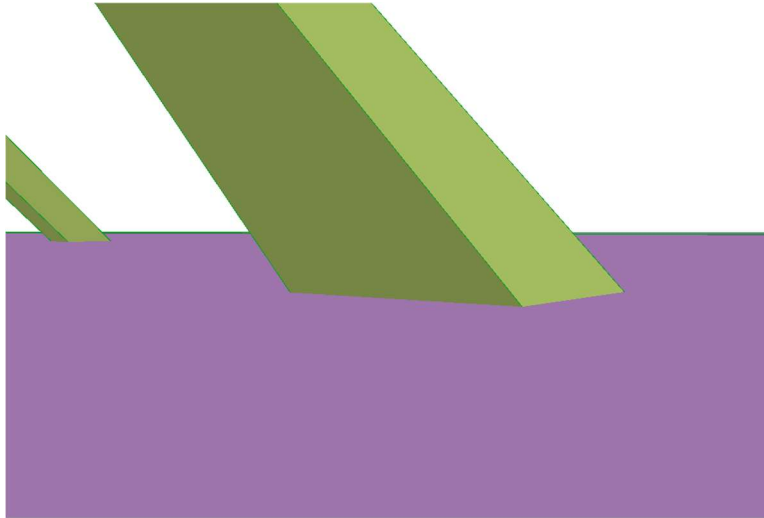


Fig. 6 Overgang kran - barge

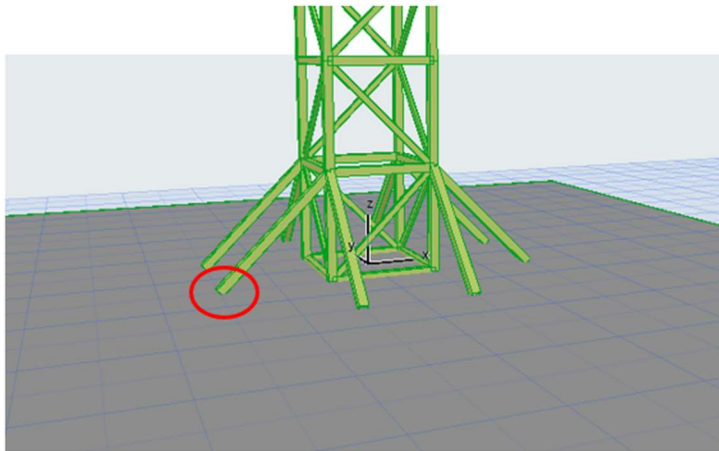


Fig. 7 Overgang kran - barge innfestningsdetalj

a). Gjør en betraktning av denne konstruksjonen (kran festa på lekter som vist på figur 1, 2 og 3) og lag en anbefaling med tanke på valg av materialkvaliteter for denne krankonstruksjonen og beskriv de ulike delene på konstruksjonen ut fra kritikalitet og viktighet.

Svar:

Table 5-1 Classification of structural joints and components

Design Class ¹⁾	Joint complexity ²⁾	Consequences of failure
DC1	High	Applicable for joints and members where failure will have substantial consequences ³⁾ and the structure possesses limited residual strength. ⁴⁾
DC2	Low	
DC3	High	Applicable for joints and members where failure will be without substantial consequences ³⁾ due to residual strength. ⁴⁾
DC4	Low	
DC5	Any	Applicable for joints and members where failure will be without substantial consequences. ³⁾

Med tanke på designklasse så har det stor konsekvens om disse sveisene ryker så klassen er enten DC1 eller DC2. Doblingsplata er kanskje enklere å forstå enn gussetplateløsningen men spenningene får en bedre vei å gå og man trenger mindre sveiser med bruk av gussetplate. Det skal mye til at man får til lavere dynamiske spenninger og spenningskonsentrasjoner med bruk av doblingsplate. I allefall hvis man kun ser på det vi vet over dekk. Det heller derfor mer i retning DC1 for doblingsplata og DC2 for gussetplata. Siden det er mange bracer her som holder fast konstruksjonen, hvis man kan dokumentere at man har flere bracer her enn man trenger så reduserer det også kritikaliteten til disse sveisene. Det er altså et design og dimensjoneringsproblem.

Table 5-2 Correlation between design classes and steel quality level

Design Class	Steel Quality Level			
	I	II	III	IV
DC1	X			
DC2	(X)	X		
DC3	(X)	X		
DC4	(X)		X	
DC5				X

(X) = Selection where the joint strength is based on transference of tensile stresses in the through thickness direction of the plate. See Clause 12.

Avhengig av kritikaliteten så kan man ut fra dette argumentere for at SQL lik I er naturlig for doblingsplata og SQL lik II for gussetplata. Det uten at vi vet hvordan stålet ser ut under dekket på borgen. Det forutsettes også at dekket på borgen er av z-kvalitet (sjekket for at det ikke er lamineringsfeil på tvers av plata pga. valsinga).

Med tanke på stål kvalitet så er RHS-er valset. Hvis man ser på nettsiden til Norsk stål så er det oppgitt materialkvaliteter ihht. NORSOK der.

<https://www.norskstaal.no/products/hollow-sections>

Disse materialene er ikke gode nok som innfestning for denne konstruksjonen. Vi må opp i Y21 eller Y26.

Y20	5	EN 10225	S355G10+N/G10+M	Plates	I
Y21	5	EN 10225	S355G12+N/G12+M	Rolled sections	I
Y22	5	EN 10225	S355G15+Q/G15+N	Seamless tubulars	I
Y25	5	EN 10225	S355G9+N/G9+M	Plates	II
Y26	5	EN 10225	S355G11+N/G11+M	Rolled sections	II
Y27	4	EN 10225	S355G14+Q/G14+N	Seamless tubulars	II
Y28	3	EN 10225	S355G13+N	Welded tubulars	II

7.7.3 Fabrication of aluminium structures

The welds should be divided into four inspection categories as defined in Table 4.

Principal standard for welding and non-destructive testing is NORSOK M-102.

NOTE: NORSOK M-102 is withdrawn, but for the purpose of clause 7.7.3, reference to M-102 is valid. This standard can be found as withdrawn NORSOK standard on www.standard.no.

Table 4 - Determination of inspection categories for joints subjected to static and fatigue loads

Consequence	High fatigue utilisation ^a	Low fatigue utilisation	
		High tensile stresses ^a	Low tensile stresses
Substantial consequences ^a	A	B	C
Substantial consequences but with reserve strength ^b	B	C	D
Non-substantial consequences	C	D	D

^a "Substantial consequences" in this context means that failure of the joint or member will entail:

- danger of loss of human life,
- significant pollution,
- major financial consequences.

^b Residual strength means that the structure meets requirements corresponding to the damaged condition in the check for A.L.S.

Table 5-3 Determination of inspection category for details with low fatigue utilisation ¹⁾

Design Class	Type of and level of stress and direction in relation to welded joint.	Inspection category ²⁾
DC1 and DC2	Welds subjected to high tensile stresses transverse to the weld. ⁶⁾	A
	Welds with moderate tensile stresses transverse to the weld and/or high shear stresses. ⁷⁾	B ³⁾
	Welds with low tensile stresses transverse to the weld and/or moderate shear stress. ⁸⁾	C ⁴⁾
DC3 and DC4	Welds subjected to high tensile stresses transverse to the weld. ⁶⁾	B ³⁾
	Welds with moderate tensile stresses transverse to the weld and/or high shear stresses. ⁷⁾	C ⁴⁾
	Welds with low tensile stresses transverse to the weld and/or moderate shear stress. ⁸⁾	D ⁵⁾
DC5	All load bearing connections.	D
	Non load bearing connections.	E

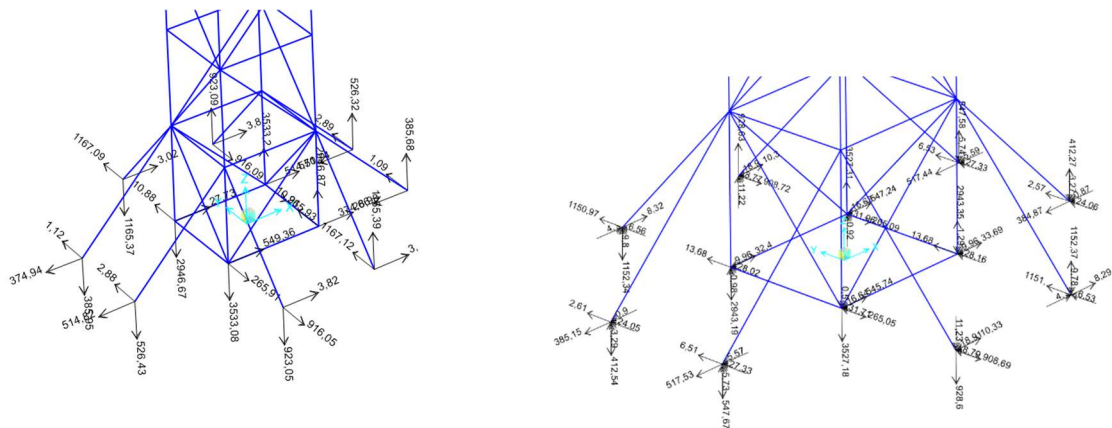
For dobblingsplateløsningen må det bli en A-sveis med mindre man har dokumentert at krana står selv om en eller flere av disse sveisene ryker. For gussetplateløsninga er det for det første et større areal med sevis (lengre sevis, kommer an på A-mål) men også en «mykere» overgang med lavere spenninger dog avhengig av valg av platetykkelser og form.

b). Gi forslag til supportering av disse punktene i en global analyse (f.eks. SAP2000). Er den løsningen du har skissert fast (fixed) eller er det en rullesupport (pinned). Du har ingen informasjon om hvordan lekteren er laget her så du må anta noe med tanke på hvordan stålet ligger under dekket på lekteren. Hva må sjekkes for at den løsningen du har skissert skal fungere?

Svar:

Først må det poengteres at «rullesupport» ikke er helt det samme som «pinned». Det skulle vært brukt ordet «leddet» her, men samtidig så kan også rullesupport være et alternativ her i denne supporteringen/innfestningen.

På overordnet nivå er blir det ikke så stor forskjell på kreftene i knutepunktet om man antar det er en stiv forbindelse eller en kulelagerforbindelse.



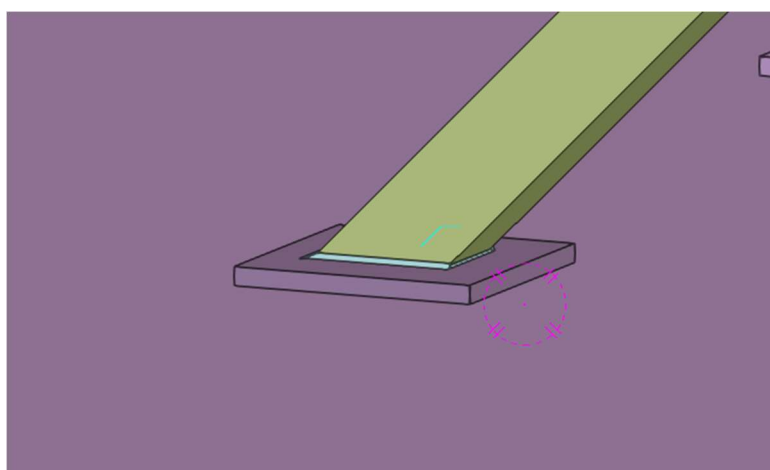
Figurene over viser reaksjonskrefter med fast innspent opp mot leddede knutepunkter. Det er noen momenter her, men de er små. Grunnen er at dette er en rammekonstruksjon, men kreftene følger bjelkes stivhet som stort sett er i lengderetningen. Da blir det også lite momenter. En ting er hvordan du utformer selve supporten, men for at den skal fungere som må det henge sammen med hvordan konstruksjonen ser ut på selve borgen. Hvis du velger en fast innspentløsning som på overflata ser ut som en innspentløsning så forutsetter det har du har den samme stivheten i plata på borgen og hva som evt. finnes under. Det kan derfor være vanskelig å oppnå fast innspent da det kanskje også må forsterkninger til under dekket for at det kravet kan bli tilfredsstilt.

Tanken med å tenke fagverk når det i virkeligheten er en rammekonstruksjon og hvor stor forskjellen blir med tanke på krefter er dette en god illustrasjon på. Bjelker er bra på å ta opp krefter i aksialretning, men definitivt best på strekk siden de kan knekke.

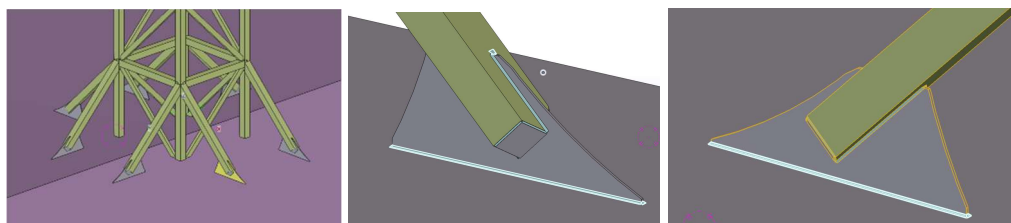
c). Skisser løsninger for overgang mellom barge og kraninnfestning. Er gussetplate lurt å bruke her?

Svar:

Fast (fixed) løsning kan være å bruke ei doblingsplate. Det er kanskje den billigste løsningen. Seg løsning på figuren under. Ulempen er at det blir store lokale spenninger (brå overgang). Det er derfor ønskelig å få til en mer smidig overgang offshore. Kanskje er denne overgang mer smidig enn man skulle tru, men det kommer an på hvordan det man har festet i ser ut (under dekket). Om denne løsningen er fast eller en rullelagerløsning er avhengig av stivheten i og rundt innfestningen på barge.



Alternativ doblingsplate

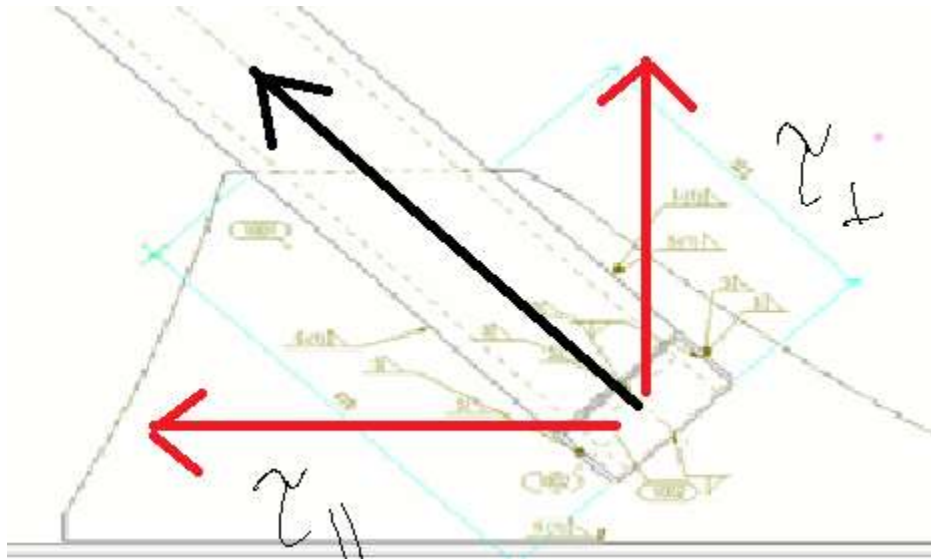


Alternativ gussetplate

d). Anta at forbindelsen har samme kapasitet som RHS 160x160x20x20. Skisser sveisen for en av sveisene basert på at kreftene går slik du har tenkt at kreftene skal tas opp i forbindelsen.

Svar:

Ved gussetplate vil kreftene bli tatt opp i sveisen på følgende måte (forutsatt at momentene er små og dess slankere RHS er (tynn og lang) dess mindre vil momentene bli).



Ser på den langsgående skjærsveisen og antar at sveisen tåler like mye som RHS-profilet:

Throat thickness (a-mål):

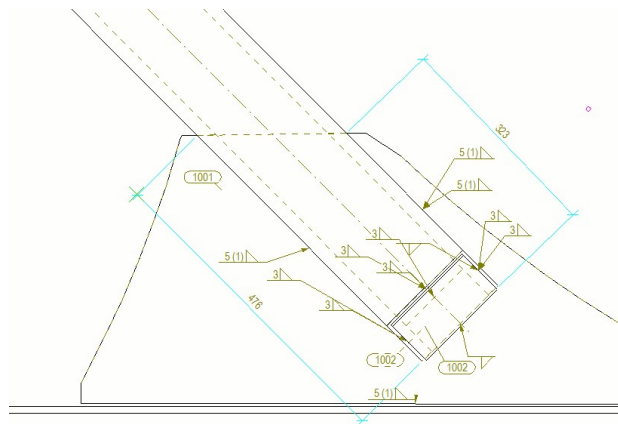
$$a := 5 \cdot \text{mm}$$

$$L_{\text{weld}} := 321 \cdot 2 \cdot \text{mm} + 476 \cdot 2 \cdot \text{mm}$$

$$L_{\text{weld}} = 1.594 \text{ m}$$

$$\tau_{\parallel} := \frac{N}{L_{\text{weld}} \cdot a}$$

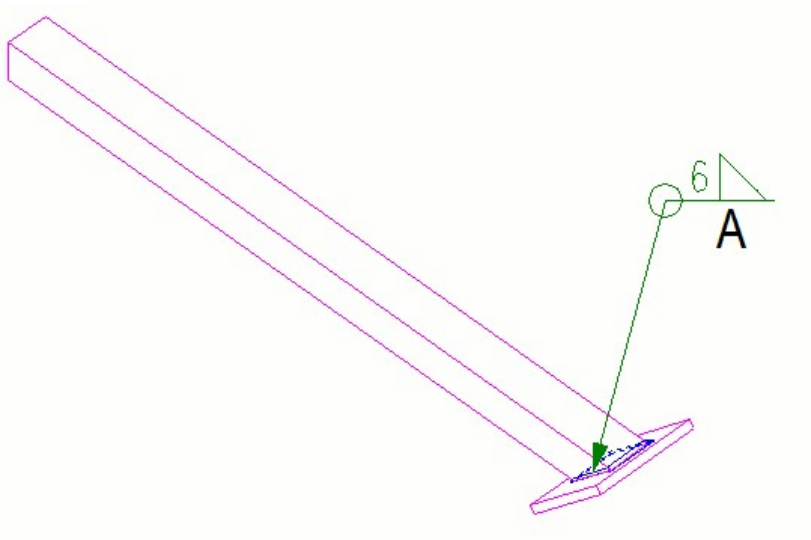
$$\tau_{\parallel} = 132.748 \text{ MPa}$$



Ser på sveisen den mot dekket (informativt, ikke en del av besvarelsen):

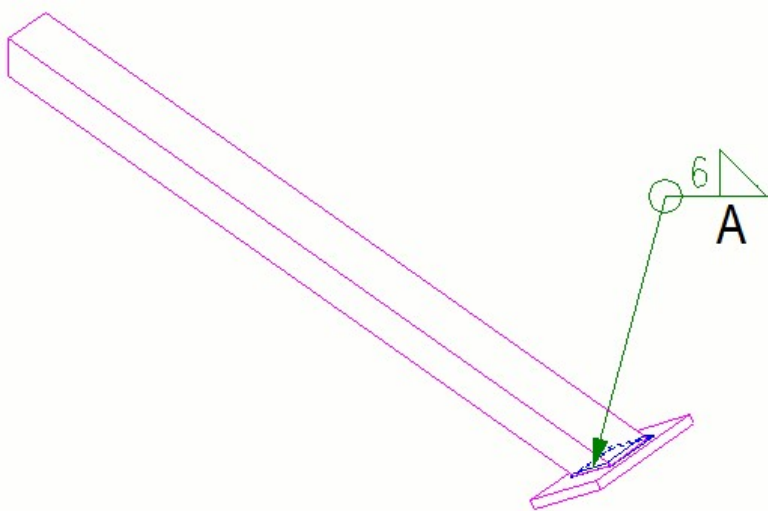
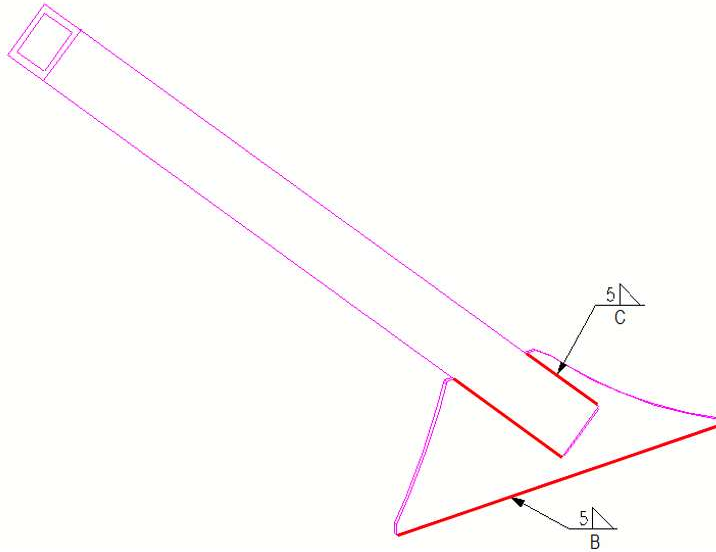
$$\begin{aligned}
 n_{\text{weld},\perp} &:= \frac{(N \cdot \sin(45 \cdot \text{deg}))}{a \cdot 2 \cdot 1000 \cdot \text{mm}} \\
 n_{\text{weld},\perp} &= 74.8119 \cdot \text{MPa} \\
 \sigma_{\text{weld},\text{Rd}} &:= \frac{f_u}{\gamma_{\text{M2}} \cdot \beta} & \sigma_{\text{weld},\text{Rd}} &= 400 \cdot \text{MPa} \\
 \sigma_{\perp} &:= \frac{n_{\text{weld},\perp}}{\sqrt{2}} & \sigma_{\perp} &= 52.9 \cdot \text{MPa} \\
 \tau_{\perp} &:= \frac{n_{\text{weld},\perp}}{\sqrt{2}} & \tau_{\perp} &= 52.9 \cdot \text{MPa} \\
 \sigma_{\text{w}} &:= \frac{(N \cdot \sin(45 \cdot \text{deg}))}{a \cdot 2 \cdot 1000 \cdot \text{mm}} \\
 \sigma_{\text{w},\text{Ed}} &:= \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} & \sigma_{\text{w},\text{Ed}} &= 167.284 \cdot \text{MPa} \\
 \sigma_{\text{w},\text{Rd}} &:= \frac{f_u}{\beta \cdot \gamma_{\text{M2}}} & \sigma_{\text{w},\text{Rd}} &= 400 \cdot \text{MPa} \\
 \sigma_{\perp,\text{Rd}} &:= \frac{0.9 \cdot f_u}{\gamma_{\text{M2}}} & \sigma_{\perp,\text{Rd}} &= 360 \cdot \text{MPa} \\
 UF_1 &:= \frac{\sigma_{\text{w},\text{Ed}}}{\sigma_{\text{w},\text{Rd}}} & UF_1 &= 0.418 \\
 UF_2 &:= \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\perp,\text{Rd}}} & UF_2 &= 0.147 \\
 UF &:= \max(UF_1, UF_2) & UF &= 0.418
 \end{aligned}$$

For dobblingsplateløsningen vil kreftene bli de samme i RHS profilet forusatt at stivheten er sånn nogen lunde det samme i innfestningen. Gussetplata er stivere i planet men mykere ut av planet. Hvordan det er med dobblingsplateløsningen kommer an på stivheten i borgen og hva som finnes av stivere under dekk.



e). Skisser sveisesymboler med inspeksjonskategorier for denne overgangen.

Svar:



Dette viser sveisen for doblingsplate. Hvis spenningen i sveisen er stor så blir dette en A-sveis med lave spenninger og hvis man kan klare seg med en konstruksjon der en brace ryker så blir det en B-sveis. Man tenke seg lavere inspeksjonskategori hvis man kan vise at man har redundans i systemet og at denne innfestningen er på den måten er mindre kritisk.

f). Hvilken SN-kurve vil du benytte for sveisene for den detaljen du har skissert?

Svar:

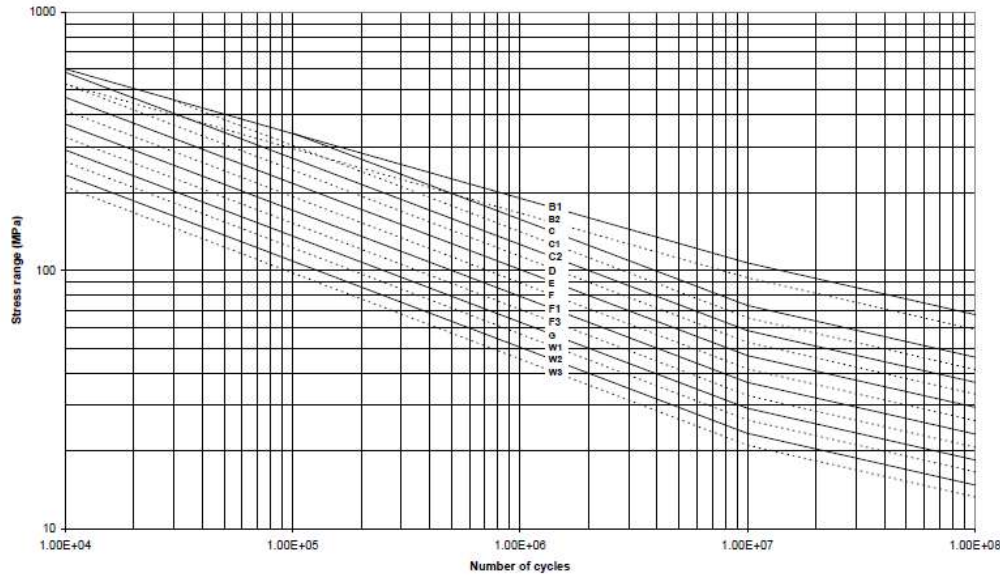


Figure 2-6
S-N curves in air

2.4.5 S-N curves in seawater with cathodic protection

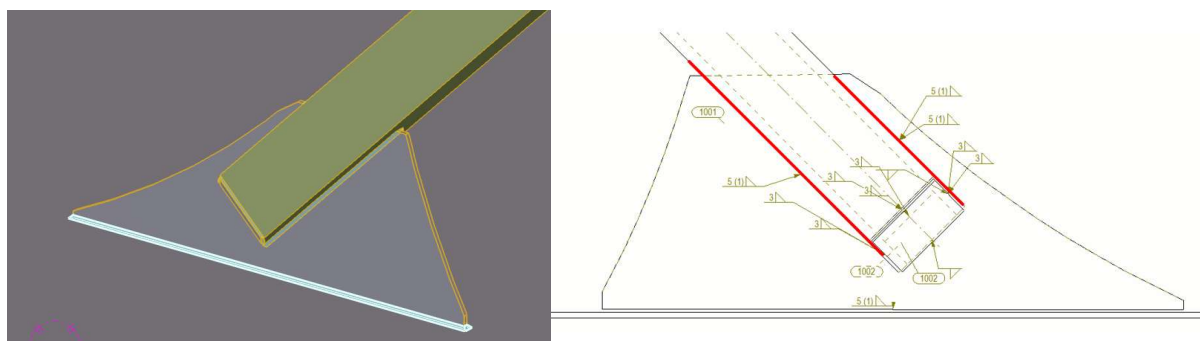
S-N curves for seawater environment with cathodic protection are given in Table 2-2 and Figure 2-7. The T curve is shown in Figure 2-8. For shape of S-N curves see also comment in 2.4.4.

Table 2-2 S-N curves in seawater with cathodic protection						
S-N curve	$N \leq 10^6$ cycles		$N > 10^6$ cycles $\log \bar{a}_1$ $m_2 = 5.0$	Fatigue limit at 10^7 cycles*)	Thickness exponent k	Stress concentration in the S-N detail as derived by the hot spot method
	m_1	$\log \bar{a}_1$				
B1	4.0	14.917	17.146	106.97	0	
B2	4.0	14.685	16.856	93.59	0	
C	3.0	12.192	16.320	73.10	0.15	
C1	3.0	12.049	16.081	65.50	0.15	
C2	3.0	11.901	15.835	58.48	0.15	
D	3.0	11.764	15.606	52.63	0.20	1.00
E	3.0	11.610	15.350	46.78	0.20	1.13
F	3.0	11.455	15.091	41.52	0.25	1.27
F1	3.0	11.299	14.832	36.84	0.25	1.43
F3	3.0	11.146	14.576	32.75	0.25	1.61
G	3.0	10.998	14.330	29.24	0.25	1.80
W1	3.0	10.861	14.101	26.32	0.25	2.00
W2	3.0	10.707	13.845	23.39	0.25	2.25
W3	3.0	10.570	13.617	21.05	0.25	2.50
T	3.0	11.764	15.606	52.63	0.25 for SCF ≤ 10.0 0.30 for SCF > 10.0	1.00

*) see also 2.11

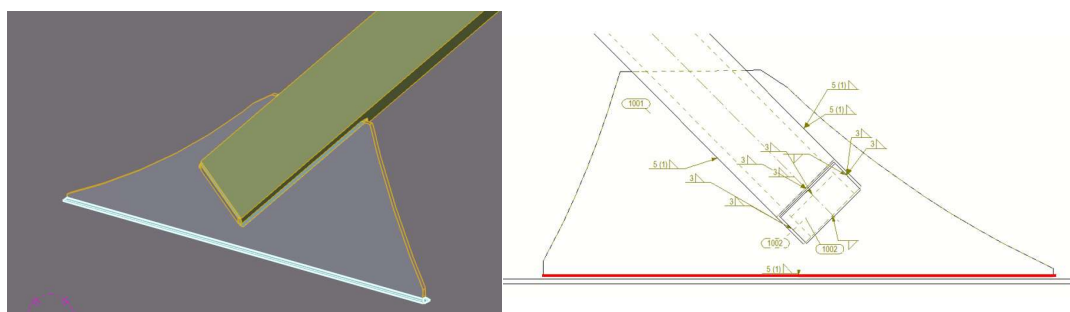
W3	2.	2. Partial penetration tee-butt joint or fillet welded joint and effective full penetration in tee-butt joint. See also [2.8].	2.: - Two fatigue assessments are required. Firstly, root cracking is evaluated taking Category W3 for σ_w. σ_w is defined in section [2.3.5]. Secondly, toe cracking is evaluated by determining the stress range in the load-carrying plates and use Category G. - If the requirement in section [2.8] that toe cracking is the most likely failure mode is fulfilled and the edge distance $\geq 10\text{mm}$, Category F1 may be used for partial penetration welds and F3 for fillet welds.
----	----	--	---

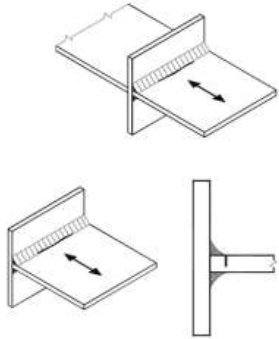
Sveisen mot dekket får laveste SN-kurve siden lasten går vinkel på sveisen. Det blir W3 kurve.



C2		5. Manual fillet or butt welds. 6. Manual or automatic butt welds carried out from one side only, particularly for box girders	6. — A very good fit between the flange and web plates is essential. Prepare the web edge such that the root face is adequate for the achievement of regular root penetration with out brake-out.
----	--	--	---

Sveis langs RHS er en C2 sveis. Lasten er ensrettet langs sveisen.



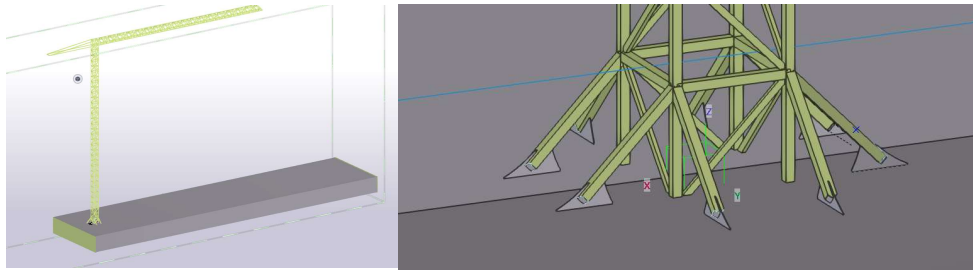
W3	2. 	2. Partial penetration tee-butt joint or fillet welded joint and effective full penetration in tee-butt joint. See also [2.8].	2.: - Two fatigue assessments are required. Firstly, root cracking is evaluated taking Category W3 for σ_w. σ_w is defined in section [2.3.5]. Secondly, toe cracking is evaluated by determining the stress range in the load-carrying plates and use Category G. - If the requirement in section [2.8] that toe cracking is the most likely failure mode is fulfilled and the edge distance $\geq 10\text{mm}$, Category F1 may be used for partial penetration welds and F3 for fillet welds.
----	---	---	---

Sveisen mot dekket får laveste SN-kurve siden lasten går vinkel på sveisen. Det blir W3 kurve.

g). Beskriv kritikaliteten av denne innfestningen totalt sett. Er overgangsarrangementet en god løsning totalt sett syns du?

Svar:

Innfestninga av kрана er den mest kritiske delen av konstruksjonen. Hvis supporten ryker så faller hele kрана ned, men her er det mange supporter mot dekket og det er mulig å legge inn reserver slik at om en sveis rykes kan kрана fortsatt stå.



Ei kрана er et løftearrangement og det er viktig at denne konstruksjonen står.

h). Anta at spenningsvidden på den innfestningsdetaljen du har laget er 70 MPa og at denne borgen blir liggende permanent i Nordsjøen. Hva slags fordeling kan man anta at spenningene har offshore?

Svar:

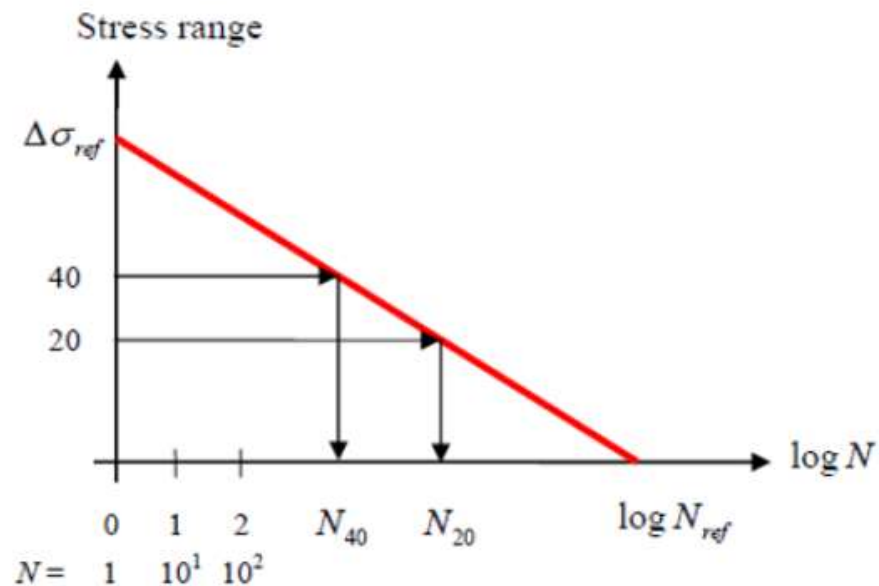


Figure 5 Long-term exceedance diagram for stress range

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_{ref} \cdot \left(1 - \frac{\log N}{\log N_{ref}}\right)$$

$$N = N_{ref} \cdot \left(1 - \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}}\right)$$

Fig. 16 Typisk spenningsfordelingsplot fra bølger for en offshorekonstruksjon.

Her har vi sagt at største spenningsvariasjon er 70 MPa. Med mindre det ikke er noen resonansutfordringer her så vil kunne anta en logaritmisk fordeling av kreftene som stort sett kommer fra bølger.

i). Hva blir levetiden til denne detaljen basert på en slik antagelse?

Svar:

Antall sykler med spenningsvidder (det er ikke oppgitt antall sykler for perioden så her man anta noe men på øvinga for tilsvarende oppgave så ble det brukt 10^{10} som en representativ verdi på dette her og vi bruker det samme her som en fornuftig verdi):

$\Delta\sigma_{ref} := 70 \cdot \text{MPa}$	$N_{ref} := 10^{10}$	
$\Delta\sigma := \Delta\sigma_{ref} \cdot 0.1$	$N_1 := N_{ref} \left(1 - \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}} \right)$	$N_1 = 1 \times 10^9$
$\Delta\sigma := \Delta\sigma_{ref} \cdot 0.2$	$N_2 := N_{ref} \left(1 - \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}} \right)$	$N_2 = 1 \times 10^8$
$\Delta\sigma := \Delta\sigma_{ref} \cdot 0.3$	$N_3 := N_{ref} \left(1 - \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}} \right)$	$N_3 = 10 \times 10^6$
$\Delta\sigma := \Delta\sigma_{ref} \cdot 0.4$	$N_4 := N_{ref} \left(1 - \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}} \right)$	$N_4 = 1 \times 10^6$
$\Delta\sigma := \Delta\sigma_{ref} \cdot 0.5$	$N_5 := N_{ref} \left(1 - \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}} \right)$	$N_5 = 1 \times 10^5$
$\Delta\sigma := \Delta\sigma_{ref} \cdot 0.6$	$N_6 := N_{ref} \left(1 - \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}} \right)$	$N_6 = 1 \times 10^4$
$\Delta\sigma := \Delta\sigma_{ref} \cdot 0.7$	$N_7 := N_{ref} \left(1 - \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}} \right)$	$N_7 = 1 \times 10^3$
$\Delta\sigma := \Delta\sigma_{ref} \cdot 0.8$	$N_8 := N_{ref} \left(1 - \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}} \right)$	$N_8 = 100$
$\Delta\sigma := \Delta\sigma_{ref} \cdot 0.9$	$N_9 := N_{ref} \left(1 - \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}} \right)$	$N_9 = 10$
$\Delta\sigma := \Delta\sigma_{ref} \cdot 1.0$	$N_{10} := N_{ref} \left(1 - \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}} \right)$	$N_{10} = 1$

$$N_{90} := N_9 + N_{10}$$

$$N_{90} = 1.1 \times 10^1$$

$$N_{80} := N_8 - N_9$$

$$N_{80} = 9 \times 10^1$$

$$N_{70} := N_7 - N_8$$

$$N_{70} = 9 \times 10^2$$

$$N_{60} := N_6 - N_7$$

$$N_{60} = 9 \times 10^3$$

$$N_{50} := N_5 - N_6$$

$$N_{50} = 9 \times 10^4$$

$$N_{40} := N_4 - N_5$$

$$N_{40} = 9 \times 10^5$$

$$N_{30} := N_3 - N_4$$

$$N_{30} = 9 \times 10^6$$

$$N_{20} := N_2 - N_3$$

$$N_{20} = 9 \times 10^7$$

$$\text{\textcolor{green}{\textit{N}}}_{10} := N_1 - N_2$$

$$N_{10} = 9 \times 10^8$$

W3-kurve:

$$\log a := 13.617$$

$$\log N := \log a - m \cdot \log \left(\frac{\Delta \sigma_{ref} \cdot 0.2}{\text{MPa}} \right)$$

$$N_{N10} := 10^{\log N}$$

$$\text{Skade}_{10} := \frac{N_{10}}{N_{N10}}$$

$$\log N := \log a - m \cdot \log \left(\frac{\Delta \sigma_{ref} \cdot 0.3}{\text{MPa}} \right)$$

$$N_{N20} := 10^{\log N}$$

$$\text{Skade}_{20} := \frac{N_{20}}{N_{N20}}$$

$$\log N := \log a - m \cdot \log \left(\frac{\Delta \sigma_{ref} \cdot 0.4}{\text{MPa}} \right)$$

$$N_{N30} := 10^{\log N}$$

$$\text{Skade}_{30} := \frac{N_{30}}{N_{N30}}$$

$$\log N := \log a - m \cdot \log \left(\frac{\Delta \sigma_{ref} \cdot 0.5}{\text{MPa}} \right)$$

$$N_{N40} := 10^{\log N}$$

$$\text{Skade}_{40} := \frac{N_{40}}{N_{N40}}$$

$$m := 5.0$$

$$\log N = 7.886$$

$$N_{N10} = 7.7 \times 10^7$$

$$N_{10} = 9 \times 10^8$$

$$\text{Skade}_{10} = 11.692$$

$$\log N = 7.006$$

$$N_{N20} = 1.014 \times 10^7$$

$$N_{20} = 9 \times 10^7$$

$$\text{Skade}_{20} = 8.878$$

$$\log N = 6.381$$

$$N_{N30} = 2.406 \times 10^6$$

$$N_{30} = 9 \times 10^6$$

$$\text{Skade}_{30} = 3.741$$

$$\log N = 5.897$$

$$N_{N40} = 7.882 \times 10^5$$

$$N_{40} = 9 \times 10^5$$

$$\text{Skade}_{40} = 1.142$$

$$\Delta \sigma_1 := \Delta \sigma_{ref} \cdot 0.2$$

$$\Delta \sigma_1 = 14 \text{ MPa}$$

$$\log N := \log a - m \cdot \log \left(\frac{\Delta \sigma_{ref} \cdot 0.6}{\text{MPa}} \right)$$

$$N_{N50} := 10^{\log N}$$

$$\text{Skade}_{50} := \frac{N_{50}}{N_{N50}}$$

$$\log N = 5.501$$

$$N_{N50} = 3.168 \times 10^5$$

$$N_{50} = 9 \times 10^4$$

$$\text{Skade}_{50} = 0.284$$

+

$$\log N := \log a - m \cdot \log \left(\frac{\Delta \sigma_{ref} \cdot 0.7}{\text{MPa}} \right)$$

$$N_{N60} := 10^{\log N}$$

$$\text{Skade}_{60} := \frac{N_{60}}{N_{N60}}$$

$$\log N = 5.166$$

$$N_{N60} = 1.466 \times 10^5$$

$$N_{60} = 9 \times 10^3$$

$$\text{Skade}_{60} = 0.061$$

$$\log N := \log a - m \cdot \log \left(\frac{\Delta \sigma_{ref} \cdot 0.8}{\text{MPa}} \right)$$

$$N_{N70} := 10^{\log N}$$

$$\text{Skade}_{70} := \frac{N_{70}}{N_{N70}}$$

$$\log N = 4.876$$

$$N_{N70} = 7.517 \times 10^4$$

$$N_{70} = 900$$

$$\text{Skade}_{70} = 0.012$$

$$\log N := \log a - m \cdot \log \left(\frac{\Delta \sigma_{ref} \cdot 0.9}{\text{MPa}} \right)$$

$$N_{N80} := 10^{\log N}$$

$$\text{Skade}_{80} := \frac{N_{80}}{N_{N80}}$$

$$\log N = 4.62$$

$$N_{N80} = 4.172 \times 10^4$$

$$N_{80} = 90$$

$$\text{Skade}_{80} = 2.157 \times 10^{-3}$$

$$\text{Skade} := \text{Skade}_{10} + \text{Skade}_{20} + \text{Skade}_{30} + \text{Skade}_{40} + \text{Skade}_{50} + \text{Skade}_{60} + \text{Skade}_{70} + \text{Skade}_{80} + \text{Skade}_{90}$$

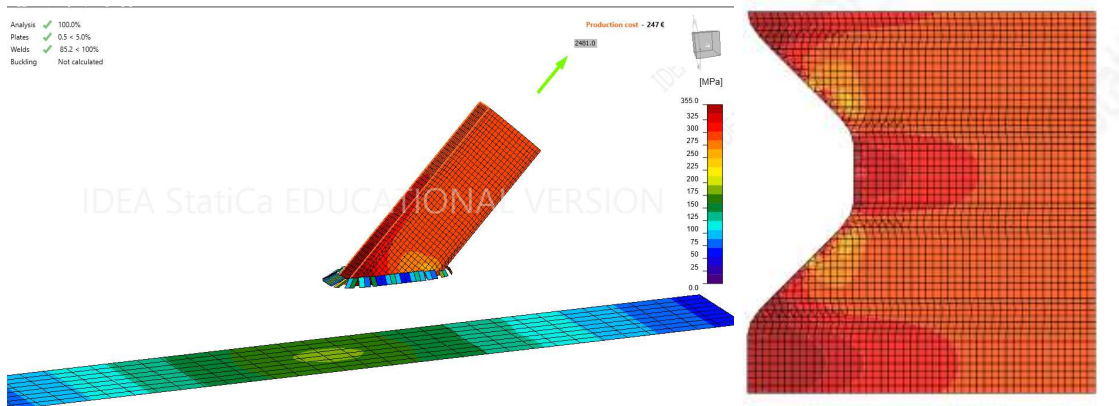
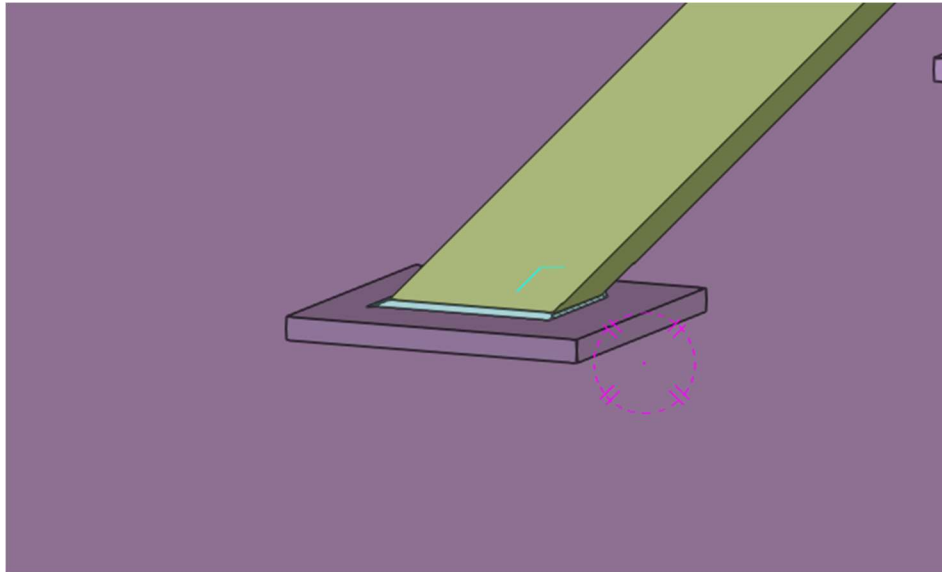
$$\text{Skade} = 25.814$$

$$\text{Levetidsfaktor} := \frac{1}{\text{Skade}}$$

$$\text{Levetidsfaktor} = 0.039$$

W3 er en dårlig utmatningskurve og detaljer ryker så det holder med 10^{10} sykler og spenning for den største bølgen i levetid på 70 MPa. 10^{10} sykler er en antagelse som ikke var oppgitt i oppgaven, men som ikke er et urimelig tall.

j). Hvordan tror du spenningene vil variere langs sveisen på den innfestningsdetaljen du har antatt? Lage en skisse slik du tror spenningene vil variere. Hvordan tenker man når man skal gjøre utmatningsvurderinger og spenninger?



Analysis	✓	100.0%
Plates	✓	0.5 < 5.0%
Welds	✓	85.2 < 100%
Buckling	✓	Not calculated

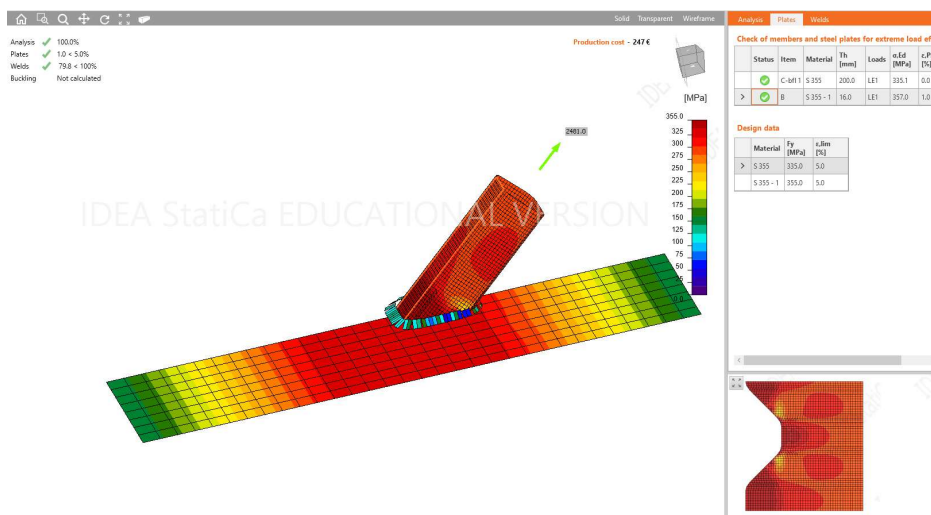
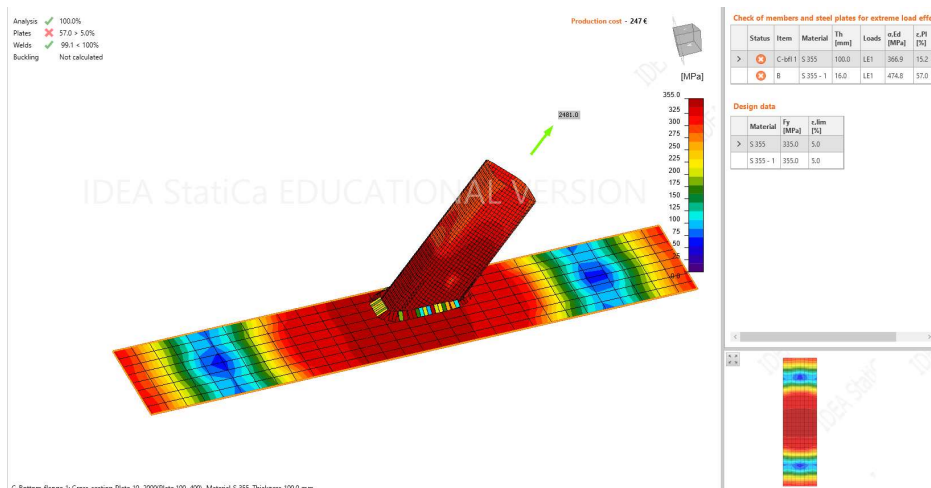
Production cost - 247 €

247 €

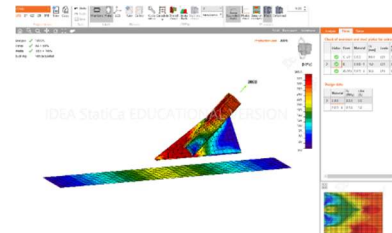
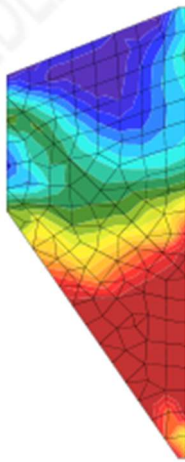
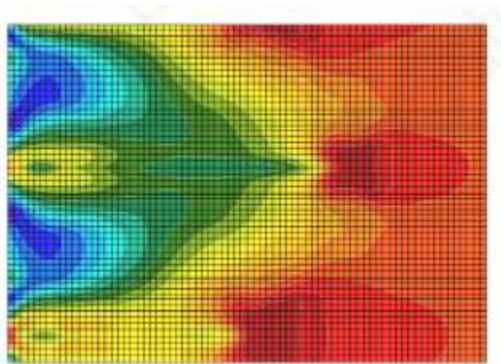
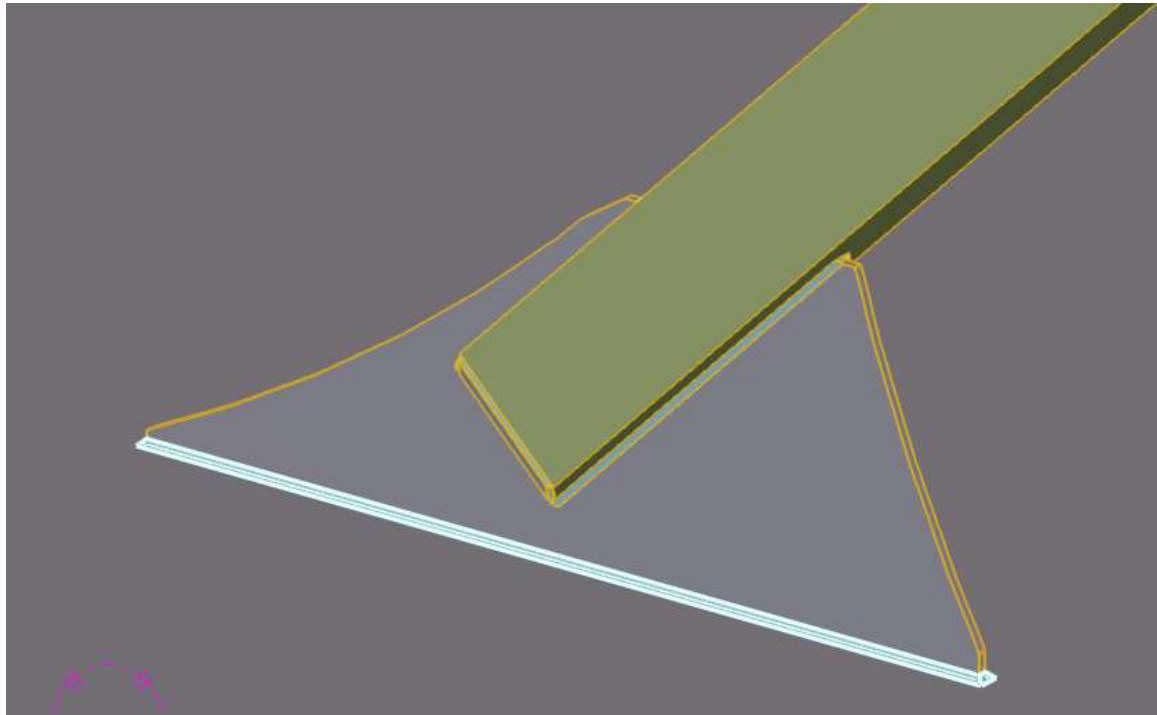
[MPa]

355.0
325
300
275
250
225
200
175
150
125
100
75
50
25
0.0

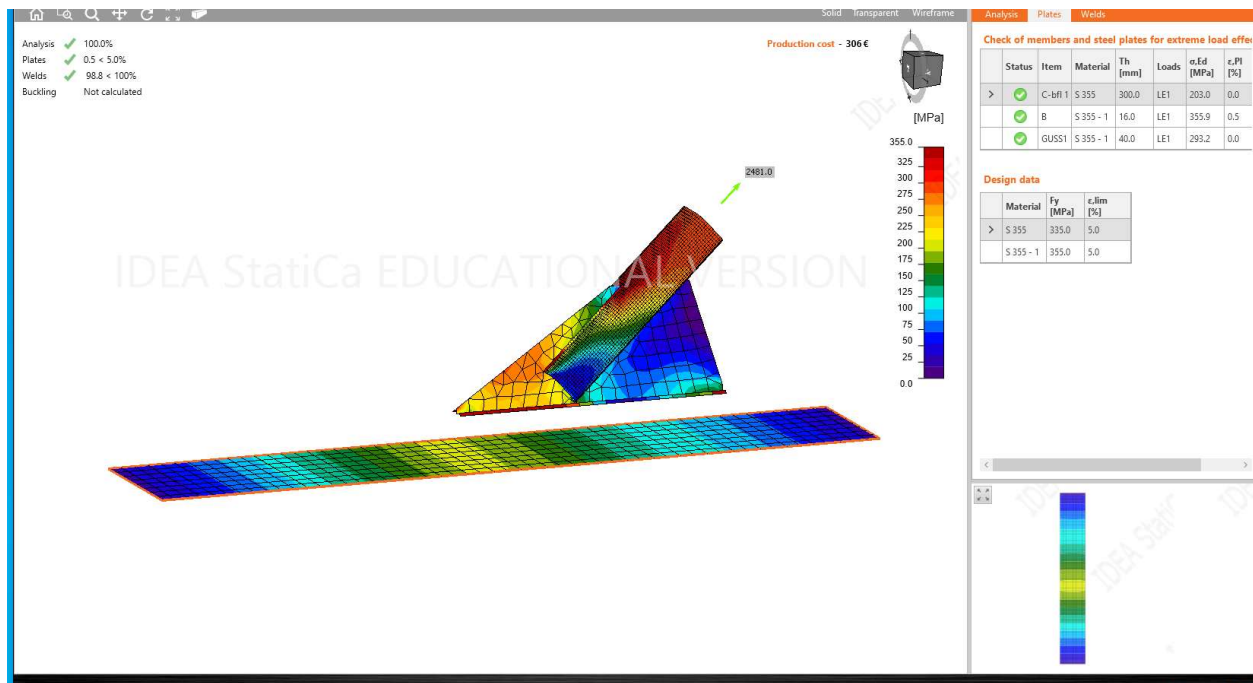
Figuren over viser doblingsplateløsning samt en Ideastatica modell av løsningen. Dette er med en veldig stiv plate som skal representere bagen her.



Under med 2 mellomløsninger for bargaen. En stivere barge/support vil kunne gjøre det bedre for knutepunktet, men vil også potensielt kunne dra på seg mer momenter. Nå vet vi at i utgangspunktet vil det ikke bli så mye momenter her uansett pga, at bjelkene på kрана er såpass myke for moment.



Løsning med gussetplate på 20 mm. Her ser man at man ikke får utnyttet gussetplata så godt siden det er lave spenninger på den ene siden.



Med tykkere gussetplate får man fordelt kreftene bedre på plata. Det hjelper også på sveisen ved innfestningen og her får man en lengre sveis. Denne løsningen er fast i plane og fri til å rotere ut av planet.

I forhold til om gussetplate passer her så er det en vanlig løsning for å få styrte egenskapene til knutepunkt slik som man vil. Med gussetplate får man ikke moment ut av planet, men moment i planet. Ellers viser beregningene i Idea Statica her at man kan styre hvordan kreftene fordeler seg over sveisen med tykkelsen på gussetplata.

Poenget med denne oppgaven er likevel å poengtere at spenninger varierer lokalt og at for utmating er det denne lokale spenningen vi bruker og ikke nominelle spenninger.