



Design av en offshore gangbru i fiberarmert polymer



SEBASTIAN
HAMRE



EIRIK
ROSSELAND



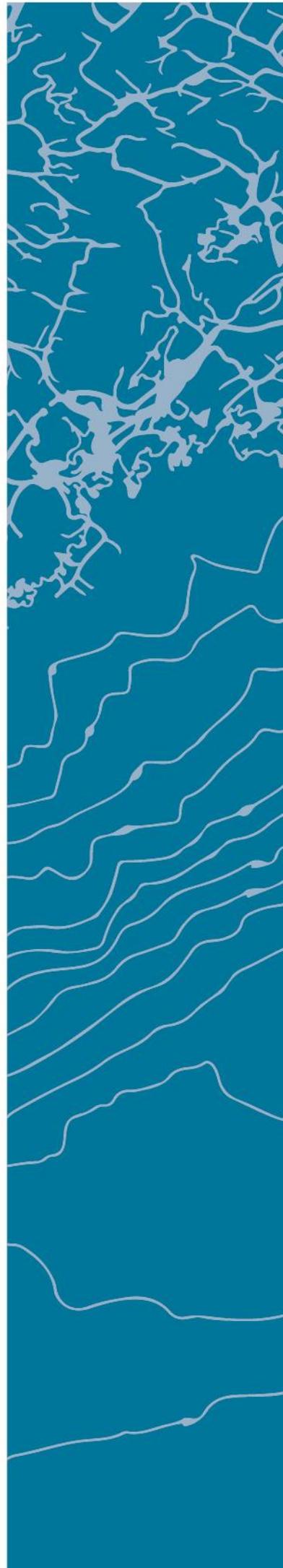
KEN
TRAN

VEILEDERE

Reidar Anderssen, OPS Composite Solutions
Paul Ragnar Svennevig, UIA avd. Grimstad

Universitetet i Agder, [2018]

Fakultet for Teknologi og Realfag
Institutt for Ingeniørvitenskap



i. Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

| | | |
|----|---|-------------------------------------|
| 1. | Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen. | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2. | Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none"> - ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands. - ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt. - ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt. - har alle referansene oppgitt i litteraturlisten. - ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse. | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3. | Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§ 31. | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4. | Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert. | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5. | Jeg/vi er kjent med at Universitetet i Agder vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk. | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6. | Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider. | <input checked="" type="checkbox"/> |

ii. Publiseringsavtale

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage Aura og på UiA sine nettsider med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller tausehetsbelagt/konfidensiell vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Universitetet i Agder en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

JA NEI

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?
(Båndleggingsavtale må fylles ut)

JA NEI

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

JA NEI

Er oppgaven unntatt offentlighet?

JA NEI

(inneholder taushetsbelagt informasjon. Jfr. Offl. §13/Fvl. §13)

iii. Forord

Denne rapporten er et ledd av en masteroppgave ved Universitetet i Agder, Fakultet for teknologi og realfag. Prosjektet er den avsluttende oppgaven av masterprogrammet for bygg i forbindelse med kurset BYG508. Formålet er å opparbeide seg relevant kunnskap og faglig tyngde som kan brukes videre i arbeidslivet.

Masteroppgaven tar for seg studiet av en gangbrukonstruksjon i fiberarmerte polymerer til offshorebruk. Dette innebærer utforming og dimensjonering av bruene i henhold til DNV-OS. I tillegg vil det også gjennomføres en kostnadsberegning for konstruksjonen.

Vi vil rette en takk til veileder Reidar Anderssen fra OPS Composite Solutions AS, som har bidratt med veiledning og materialer under hele prosjektet. I tillegg vil vi takke Paul Ragnar Svennevig for å ha bistått med assistanse for denne rapporten og opplæring av aktuelle utstyr.

Til slutt rettes en takk til ansatte ved laboratoriene på UiA som har bistått med hjelp og ressurser.

iv. Summary

This report is written as a final thesis of a master's degree at the University of Agder.

Innovation and development are essential for a market in demand of faster, lighter and stronger solutions. As a material with high strength to weight ratio, and good possibilities of being premade, fiber reinforced polymers can meet those requirements. However, it has yet to challenge concrete, steel and aluminum as a structural material. This is the underlying challenge for the problem statement of this assignment, to construct an offshore gangway using fiber reinforced polymers.

The design concept is based on existing steel and aluminum constructions within the size range of 25-30m fully extended. To solve the problem and answer the research question properly, a finite element model was developed in the software ANSYS. The model was continuously improved for adequate and realistic results. Dimensioning criterions were done according to DNV-GL. Due to time and size restrictions, the gangway was limited to the following dimension criterions: buckling, fatigue, fiber failure, displacement, impact load and temperature changes. Besides that, a risk analysis and price estimation were done to check the realism of the project.

In theory, it was thought that the construction would need carbon fiber to reach a satisfying stiffness, but the result is a design constructed using exclusively glass fiber composites. Also, the price estimation suggests that a gangway in fiber reinforced polymers could compete with conventional materials.

Lastly, we would recommend further investigation into relevant topics that were excluded from this report.

Keywords: Material technology, fiber reinforced polymers, composite construction, finite element analysis (ANSYS), risk analysis, price estimation.

v. Innholdsfortegnelse

| | | |
|--------|--|-----|
| i. | Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring..... | i |
| ii. | Publiseringsavtale..... | ii |
| iii. | Forord..... | iii |
| iv. | Summary..... | iv |
| v. | Innholdsfortegnelse..... | v |
| vi. | Symbolliste..... | vii |
| vii. | Figurligste..... | ix |
| viii. | Tabelliste..... | xi |
| 1. | Innledning..... | 1 |
| 2. | Samfunnsperspektiv..... | 4 |
| 3. | Teori..... | 5 |
| 3.1. | Tidligere konstruksjoner..... | 5 |
| 3.2. | Påvirkning av maritimt miljø..... | 6 |
| 3.3. | Materialsystem..... | 6 |
| 3.4. | Designkonsept..... | 7 |
| 3.5. | Designkriterier..... | 8 |
| 3.6. | Dimensjoneringskriterier (Failure modes)..... | 9 |
| 3.6.1. | Bjelketeori..... | 9 |
| 3.6.2. | Aksiell- og bøyestivhet..... | 9 |
| 3.6.3. | Fiberbrudd..... | 10 |
| 3.6.4. | Knekking..... | 10 |
| 3.6.5. | Nedbøyning/deformasjon..... | 11 |
| 3.6.6. | Utmatting..... | 12 |
| 3.6.7. | Slaglast (slagskade)..... | 14 |
| 3.6.8. | Egenfrekvens..... | 14 |
| 3.6.9. | Brann og temperaturøkning..... | 14 |
| 3.7. | Ytre påkjenninger på gangbru..... | 15 |
| 3.8. | Risikoanalyse..... | 17 |
| 4. | Forskerspørsmål..... | 21 |
| 4.1. | Avgrensninger..... | 21 |
| 5. | Case/Materialer..... | 22 |
| 6. | Metode..... | 23 |
| 6.1. | Litteraturstudie..... | 23 |
| 6.1.1. | Materialsystem..... | 23 |
| 6.1.2. | Fastsettelse/fremgangsmetode for dimensjoneringskriterier..... | 23 |

| | | |
|--------|---|----|
| 6.1.3. | Fastsettelse av laster og lastkombinasjoner | 26 |
| 6.1.4. | Risikoanalyse konsekvensutredning..... | 27 |
| 6.2. | Dataprogrammer | 28 |
| 6.2.1. | ANSYS Mechanical APDL..... | 28 |
| 6.2.2. | Autodesk Inventor | 29 |
| 6.2.3. | Mathcad..... | 29 |
| 6.3. | Prisestimat..... | 29 |
| 6.4. | Validitet og reliabilitet | 29 |
| 7. | Resultat..... | 30 |
| 7.1. | Design | 30 |
| 7.2. | Risikoanalyse | 35 |
| 7.2.1. | Konsekvensutredning | 38 |
| 7.3. | Dimensjonerende lasttilfeller | 39 |
| 7.4. | FEM-analyse | 41 |
| 7.4.1. | Fastsettelse av lagsekvens før analyse | 41 |
| 7.4.2. | Nedbøyning | 41 |
| 7.4.3. | Fiberbrudd | 43 |
| 7.4.4. | Knekking | 47 |
| 7.4.5. | Utmatting | 50 |
| 7.4.6. | Slaglast..... | 51 |
| 7.4.7. | Egenfrekvens (resonans) | 52 |
| 7.4.8. | Analyse ved defekt stag/bjelke | 53 |
| 7.5. | Prisestimat..... | 56 |
| 8. | Diskusjon | 58 |
| 8.1. | Design | 58 |
| 8.2. | Risikoanalyse | 59 |
| 8.3. | Dimensjonerende lasttilfeller | 60 |
| 8.4. | FEM-analyse | 61 |
| 8.5. | Prisestimat..... | 65 |
| 9. | Konklusjon | 66 |
| 10. | Anbefalinger | 67 |
| 11. | Referanser | 68 |
| | Vedlegg..... | 71 |

vi. Symbolliste

| | |
|----------------|--|
| A | Areal [mm ²] |
| A_i | Aksialstivhet per tykkelsesenheter [MPa mm] |
| B | Bredde [mm] |
| B_i | Kobling mellom bøyekurve, κ , og strekkrefter, N [MPa mm ²] |
| C | Skadefraksjon |
| C_i | Kobling mellom vridningskurvatur og skjærflyt [MPa mm ²] |
| D_i | Bøyestivhet under momentkrefter [MPa mm ³] |
| E | E-modul [MPa] |
| E_1 | E-modul, fiberretning [MPa] |
| E_2 | E-modul, transversal retning [MPa] |
| E_{sp} | «Sea pressure loads» [N] |
| E_w | Vindlast [N] |
| F | Kraft eller karakteristisk last [N] |
| $F_{buckling}$ | Karakteristisk testlast ved knekking [N] |
| G | Skjærmodul [MPa] eller egenlast [N] |
| G_c | Sentrifugal last [N] |
| H | Høyde/tykkelse [mm] |
| I | Det annet arealmoment [mm ⁴] |
| K | Effektiv knekk lengde |
| L | Spennlengden [mm] |
| L_{midt} | Spennlengden på midten [mm] |
| M | Kraftmoment [Nmm] |
| N | Normalkraft [N] |
| N_i | Antall sykler for feiling |
| Q | Nyttelast [N] |
| Q_b | Bumperlast [N] |
| Q_{test} | Testlast [N] |
| Q_{tip} | Nyttelast på tuppen/enden [N] |
| W | Motstandsmoment [mm ³] |
| a | Akselerasjon [m/s ²] |
| d_n | Karakteristisk lokalrespons av deformasjon [mm] |
| d_{spec} | Spesifisert krav for maksimal deformasjon [mm] |
| f | Egenfrekvens [Hz] |
| k | Spenningsnivå |
| m_1 | Vekten av gangbru [kg] |
| m_2 | Vekten av gunstig last på tuppen av gangbru [kg] |

| | |
|------------------------|---|
| n_i | Antall sykler akkumulert |
| n^{actual} | Antall sykler akkumulert hvert år ved en gitt tøyning |
| $n^{character}$ | Antall sykler for feiling ved en gitt tøyning |
| t | Tid |
| t_y | Tid [år] |
| t^{actual} | Tid under et permanent statisk lasttilfelle hvert år |
| $t^{character}$ | Karakteristisk tid til feil under et permanent statisk lasttilfelle |
| β | Negativt stigningstall for S-N kurve |
| γ | Vridning [mm] |
| γ_F | Partiell lasteffektfaktor |
| γ_F^i | Partiell lasteffektfaktor for last i |
| γ_F^j | Partiell lasteffektfaktor for last j |
| γ_{FM} | Kombinert sikkerhetsfaktor |
| γ_M | Partiell motstandsfaktor |
| $\gamma_{Mbuckle}$ | Partiell motstandsfaktor |
| γ_{Rd} | Partiell motstandsmodellfaktor |
| $\gamma_{Rdbuckle}$ | Partiell motstandsmodellfaktor |
| γ_S | Systemfaktor |
| γ_{Sd} | Partiell last eller lastmodellfaktor |
| γ_{fat} | Partiell utmattingssikkerhetsfaktor |
| ϵ | Tøyning [%] |
| ϵ_{nk} | Karakteristisk lokalrespons av tøyning i fiberretning n |
| ϵ_{nk}^i | Karakteristisk lokalrespons av tøyning i fiberretning n fra last i |
| ϵ_{nk}^j | Karakteristisk lokalrespons av tøyning i fiberretning n fra last j |
| $\epsilon_{applied}^j$ | Lokalrespons av strukturen til et permanent statisk lasttilfelle (maksimal tøyning) |
| ϵ_k^{fibre} | Karakteristisk aksialtøyning til fiberbrudd |
| κ | Krumning [mm^{-1}] |
| ν_{ij} | Tverrkontraksjonstall, vilkårlig retning |
| σ | Spenning [MPa] |
| ψ^i | Kombinasjonsfaktor for last i |

vii. Figurligste

| | |
|--|----|
| Figur 1.1 Gangbru med heavesystem..... | 1 |
| Figur 1.2 Flytskjema..... | 2 |
| Figur 3.1 Aberfeldy Footbridge..... | 5 |
| Figur 3.2 Gangbru i aluminium under test | 5 |
| Figur 3.3 Gangbru i aluminium under drift..... | 6 |
| Figur 3.4 Designkonsept | 7 |
| Figur 3.5 Grid stiffened design | 8 |
| Figur 3.6 Utkraget bjelke med påført punktlast | 9 |
| Figur 3.7 Knekking av staver | 10 |
| Figur 3.8 Forskjellen mellom crippling og knekking | 11 |
| Figur 3.9 Statisk utmatting | 12 |
| Figur 3.10 S-N Kurve | 13 |
| Figur 3.11 Phenomenological models | 13 |
| Figur 3.12 Progressive Damage Models | 14 |
| Figur 3.13 Styrke for E-glass etter tid ved gitt temperatur | 15 |
| Figur 3.14 Risikoanalyse | 18 |
| Figur 3.15 Inndeling av gangbruen | 19 |
| Figur 7.1 Gangbruen i utstrakt posisjon | 30 |
| Figur 7.2 Arbeidstegningen til MB..... | 31 |
| Figur 7.3 Arbeidstegningen til TB | 31 |
| Figur 7.4 Detaljtegning | 33 |
| Figur 7.5 Knutepunkt | 34 |
| Figur 7.6 Gangbru (GB)..... | 35 |
| Figur 7.7 Main Boom og Telescoping Boom..... | 36 |
| Figur 7.8 Bjelker (markert i grønn) | 36 |
| Figur 7.9 Fagverkstagene (markert i grønt, rødt, blått og gult) | 37 |
| Figur 7.10 Lasttilfelle 1B | 40 |
| Figur 7.11 Lasttilfelle 3 | 40 |
| Figur 7.12 Lasttilfelle 4 | 40 |
| Figur 7.13 Nedbøyning | 42 |
| Figur 7.14 Midtveis nedbøyning | 42 |
| Figur 7.15 Nedbøyning ved lasttilfelle 4..... | 43 |
| Figur 7.16 Tøyningene i X-retning | 44 |
| Figur 7.17 Tøyningene i Y-retning | 44 |
| Figur 7.18 Tøyningene i Z-retning..... | 45 |
| Figur 7.19 Tøyninger i opplagrene..... | 45 |
| Figur 7.20 Fordeling av tøyninger i over- og underbjelkene | 46 |
| Figur 7.21 Fordeling av tøyninger i Y-retning mellom koblingen av MB og TB | 46 |
| Figur 7.22 Tøyninger i Z-retning i koblingene mellom MB og TB | 47 |
| Figur 7.23 Illustrasjon av knekking utført i ANSYS..... | 48 |
| Figur 7.24 Knekking for lasttilfelle 1B..... | 48 |
| Figur 7.25 Knekking for lasttilfelle 4..... | 49 |
| Figur 7.26 Forskyvning ved knekking i lasttilfelle 4 | 49 |
| Figur 7.27 Tøyning ved slagskade..... | 51 |
| Figur 7.28 Knekking etter slagskade..... | 52 |
| Figur 7.29 Forskyvning ved første gitte egenfrekvens | 53 |
| Figur 7.30 Tøyninger ved defekt stag..... | 54 |
| Figur 7.31 Knekking ved defekt stag..... | 54 |
| Figur 7.32 Tøyninger ved defekt bjelke | 55 |
| Figur 7.33 Brannutsattområde i raffinert «mesh» | 56 |

| | |
|--|----|
| Figur 7.34 Tøyninger ved brann | 56 |
| Figur 8.1 Hjulløsning | 58 |
| Figur 8.2 Spennings tøyning diagram..... | 61 |
| Figur 8.3 Nodekobling (markert i grønt)..... | 62 |
| Figur 8.4 Reduksjon av heksapodens fotavtrykk..... | 65 |
| Figur 8.5 Reduksjon av heksapodens fotavtrykk..... | 65 |

viii. Tabelliste

| | |
|--|----|
| Tabell 3.1 Oversikten over feilmekanismer..... | 20 |
| Tabell 6.1 Andel lagstruktur for bjelker..... | 23 |
| Tabell 6.2 Andel lagstruktur for stag..... | 23 |
| Tabell 6.3 Lastfaktorer for forskjellige kombinasjoner av lastene..... | 27 |
| Tabell 6.4 Lasttilfeller..... | 27 |
| Tabell 6.5 Hyppighet..... | 28 |
| Tabell 6.6 Risikomatrise..... | 28 |
| Tabell 7.1 MB dimensjoner på tverrsnitt..... | 32 |
| Tabell 7.2 TB dimensjoner på tverrsnitt..... | 32 |
| Tabell 7.3 Materialegenskaper..... | 32 |
| Tabell 7.4 Lagsekvens MB Bjelke..... | 34 |
| Tabell 7.5 Lagsekvens TB Bjelke..... | 34 |
| Tabell 7.6 Lagsekvens MB Stag..... | 34 |
| Tabell 7.7 Lagsekvens TB Stag..... | 35 |
| Tabell 7.8 Gangbruens feilmekanismer. *Kan være duktil, plastisk eller sprø..... | 35 |
| Tabell 7.9 Bjelkenes feilmekanismer..... | 37 |
| Tabell 7.10 Fargeforklaring på stagene..... | 37 |
| Tabell 7.11 Fagverksstagenes feilmekanismer..... | 38 |
| Tabell 7.12 Utvalgte Lasttilfeller..... | 39 |
| Tabell 7.13 Deformasjon med forskjellige lagsekvensen..... | 41 |
| Tabell 7.14 Nedbøyning..... | 41 |
| Tabell 7.15 Strekk..... | 43 |
| Tabell 7.16 Trykk..... | 43 |
| Tabell 7.17 Knekkingstall fra ANSYS..... | 47 |
| Tabell 7.18 Miners sum for statisk utmatting i strekk..... | 50 |
| Tabell 7.19 Miners sum for statisk utmatting i trykk..... | 50 |
| Tabell 7.20 Miners sum for dynamisk utmatting i strekk..... | 50 |
| Tabell 7.21 Miners sum for dynamisk utmatting i trykk..... | 50 |
| Tabell 7.22 Kapasitet ved slagskade..... | 51 |
| Tabell 7.23 Egenfrekvenser..... | 52 |
| Tabell 7.24 Tøyninger ved brann..... | 55 |
| Tabell 7.25 Knekking ved brann..... | 56 |
| Tabell 7.26 Utrekning av materialkostnader..... | 56 |
| Tabell 7.27 Pris sammenlignet med stål..... | 57 |

1. Innledning

I en verden der alt skal gå fortere, veie mindre, være sterkere og ha mindre energiforbruk kreves det kontinuerlig materialutvikling. Dette er den overordnede bakgrunnen for prosjektet. Fiberarmert polymer er en av de innovative byggematerialene som kan være løsningen på konstruksjoner, der påkjenninger og belastninger overgår egenskapene i konvensjonelle materialer.

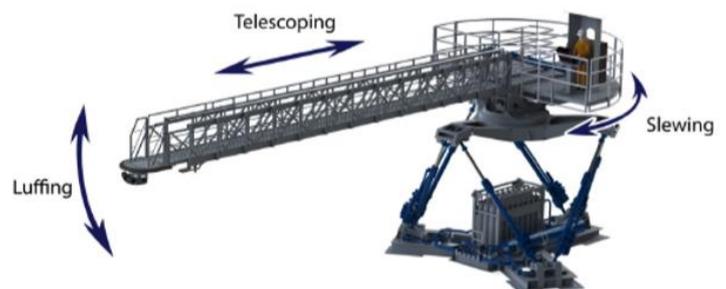
Denne oppgaven vil belyse materialets muligheter for bruk innen offshorevirksomheten. Transport av personell mellom installasjoner i åpent hav er både vanskelig og farlig. Tradisjonelt sett benyttes helikopter til dette formålet, men kostnadene knyttet til dette er svært høye. Av den grunn har bransjen utviklet en teleskopisk gangbru som et alternativ til helikopter, som frakter personell mellom båtene og installasjonene. Disse gangbruene er spesialkonstruert for faste og flytende installasjoner med kompensering for bølgebevegelser under drift, kjent som «heavesystem». [1] Oppgavens mål er å videreføre denne ideen og benytte seg av fiberarmert polymerer til konstruksjonen.

Grunnlaget for å bruke fiberarmert polymerer er primært materialets høye styrke og stivhet i forhold til vekten. Sammenlignet med stål/aluminium, som gangbruene tradisjonelt sett er laget av, er det også fordeler å hente med hensyn til utmatting og korrosjon. Potensielle fordeler av de nevnte faktorene er at gangbruene kan lages i lengre størrelser og mindre behov for vektbalansering i båtene når bruene er under drift.

Et bruksområde for oppgavens brukonstruksjon er vindmølleparker i havet. Internasjonalt bygges det stadig flere offshore vindmølleparker, som trenger jevnlig vedlikehold. Om installasjons- og servicefartøy har muligheten til å nå fram til vindmøllen også under mindre optimale værforhold, kan reparasjoner og vedlikehold utføres raskere slik at driftskostnadene reduseres. Det er en betydelig størrelsesforskjell mellom vindmøller og andre offshoreinstallasjoner, der det er veldig begrenset med flatt areal på vindmøller. Det stilles derfor høyt krav til presisjon og utformingen av tilkomstvei. [2]

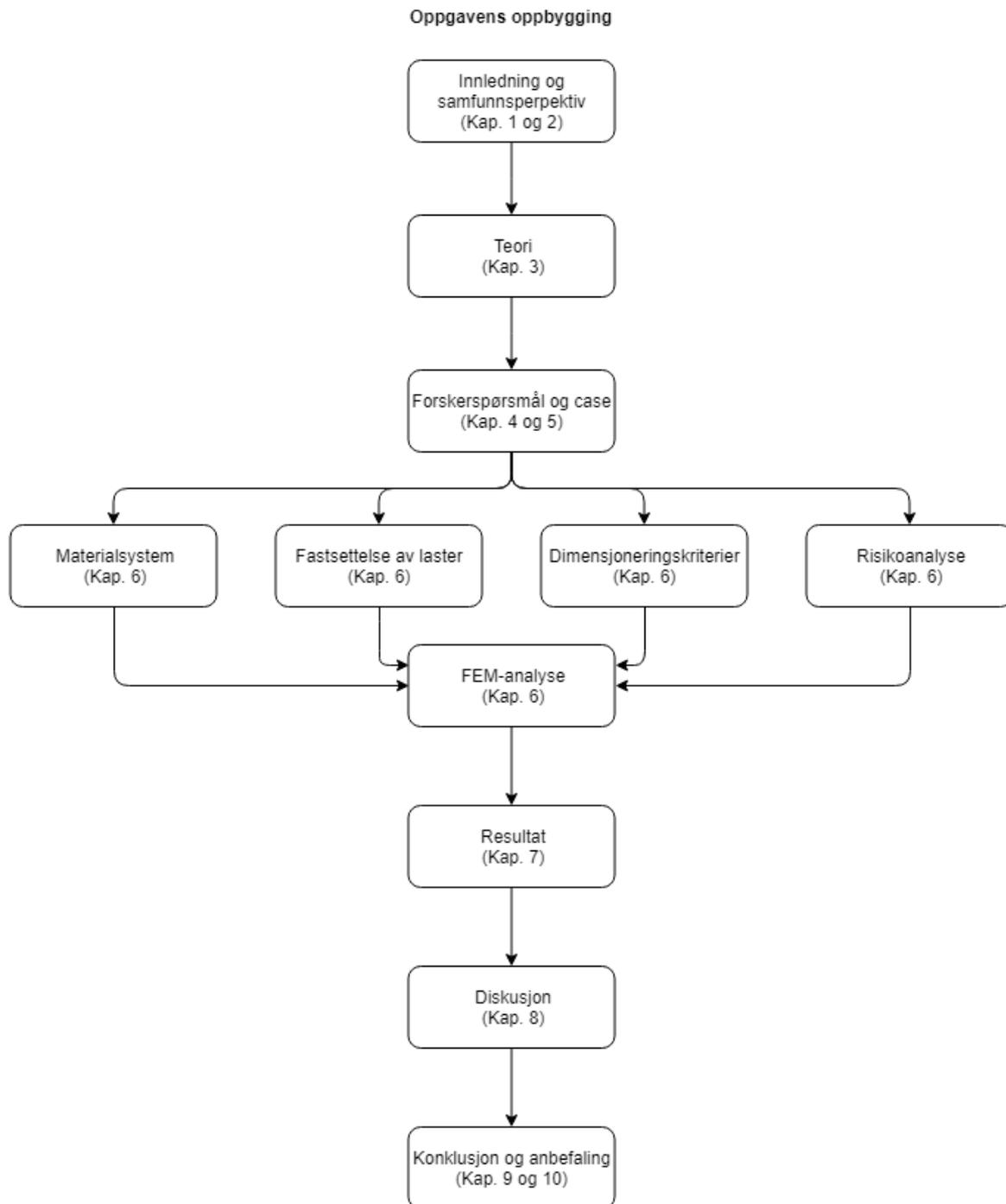
Gangbruene kan deles opp i 3 understrukturer: en hoveddel (Main boom – MB), teleskopdel (Telescoping boom – TB) og endestykke (Tip). Bevegelsene vil kompenseres i alle 3 frihetsgrader som vist i Figur 1.1:

- Luffing (Y-retning).
- Dreining (Z-retning).
- Teleskopering (X-retning).



Figur 1.1 Gangbru med heavesystem

Dette er en vitenskapelig rapport på 11 kapitler som er en dokumentasjon av masterprosjektet. Rapporten er bygd opp i henhold til malen som er utgitt av Universitet i Agder for masteroppgaver, som vist i Figur 1.2.



Figur 1.2 Flytskjema

Kapittel 1: Innledning

Tar for seg bakgrunnen for oppgaven, rapportens oppbygging og problemstilling.

Kapittel 2: Samfunnsperspektiv

Drøfter ulike perspektiver på oppgaven og setter den i en større sammenheng.

Kapittel 3: Teori

Teoretiske grunnlaget for brukonstruksjon til offshorevirksomhet, og videre danner dette utgangspunktet for forskerspørsmålet. I tillegg følger en gjennomgang av faktorer som påvirker bruens utforming og lastsituasjon med hensyn til kriterier.

Kapittel 4: Forskerspørsmål

Oppgavens forskerspørsmål med underliggende mål og avgrensninger.

Kapittel 5: Case

En utdypning og beskrivelse av oppgaven, og hvordan forskerspørsmålet skal besvares.

Kapittel 6: Metode

Beskriver hvilke metoder som er brukt til å løse oppgaven. Fastsettelse av lastverdier, fremgangsmetoder for beregninger og risikoanalyse av konstruksjonen. En FEM modell vil deretter analyseres med hensyn til kriteriene som er diskutert i teori- og metodekapitlet.

Kapittel 7: Resultat

Resultatet er delt inn i flere deler. Resultatet av design, Risikoanalyse, dimensjoneringskriterier og laster danner grunnlaget for FEM-analysen. Videre er det utført et enkelt prisoverslag på materialet til gangbruen.

Kapittel 8: Diskusjon

Drøfting med utgangspunktet i resultatet, i lys av teorien.

Kapittel 9: Konklusjon

Konklusjon og oppsummering av de viktigste funnene i oppgaven i henhold til forskerspørsmålet.

Kapittel 10: Anbefalinger

Anbefalinger for videre arbeid og råd til oppdragsgiver.

Kapittel 11: Referanser

Oversikt over referanser som er relevant og henvist til i oppgaven.

Prosjektet er gjennomført i samarbeid med OPS Composite Solutions AS. Selskapet er lokalisert i Sørlandsparken, Kristiansand. Det ble grunnlagt for 25 år siden og har bygd opp lang erfaring innen produksjon og installasjon av komposittmaterialer. En rekke produkter i forskjellige plastmaterialer og sandwich-konstruksjoner leveres til: Olje- og gassindustrien, prosessindustrien og skipsindustrien. Typiske produkter er rørsystemer, tanker, kanaler og prosessutstyr. [3]

Problemstillingen er, som nevnt innledningsvis, å studere en teleskopisk offshoregangbru. Dette inkluderer dimensjoneringen av en konstruksjon med hensyn til materialkombinasjonen. Simuleringen som gjennomføres i ANSYS skal tilfredsstille kriterier som er lagt til grunn, i tillegg vil det også være en presentasjon av løsninger knyttet til praktiske utfordringer definert i Forskerspørsmål.

2. Samfunnsperspektiv

På bakgrunn av et hardt presset marked satses det lite innenfor forskning og utvikling fra byggesektoren. Til sammenligning med andre bransjer er endringer i byggesektoren beskjedne og langsomme. Viljen til å ta i bruk «nye» materialer vil ofte bukke under for økonomisk gevinst. Fra et miljøperspektiv er fiberarmert polymer et materiale som er miljøvennlig sammenlignet med aluminium og stål, spesielt i bruksfasen. Enklere vedlikehold og montering kan også bidra til å senke kostnadene. Den lave vekten er i tillegg et viktig argument som taler for materialet. Fysisk slitasje som følge av tunge løft kan redusere lengden på arbeidslivet. Den samfunnsøkonomiske gevinsten ved å ta i bruk et lettere materiale er at dette bidrar til å øke lengden på arbeidsperioden og helsen til håndverkere. Videre utdypning om samfunnsperspektivet rundt materialet refereres til forprosjektet. [3]

Olje- og gassindustrien har lenge stått for en stor del av Norges samlede inntekt. [4] Det er derfor av manges interesse at driften optimaliseres slik at kostnadene holdes nede. Allikevel er det viktig å være bevisst på miljøpåvirkningene som følger olje- og gassutvinningen. Denne trenden holder på å snu og utviklingen går i riktig retning. I høst la DNV-GL fram en ny rapport som sier at det samlede behovet for energi vil flate ut i 2030, grunnet mer effektiv bruk av energi. [5] Konklusjonen er at billig, fornybar energi vil erstatte forbruket av kull, olje og gass. Olje- og gassforbruket i Norge antas dermed å flate ut om 10-15 år fram i tid, men spørsmålet er likevel hva nasjonen skal leve av etter oljen? Svaret kan være havrommet, deriblant fiskeri, akvakultur, havvind og offshore. [6]

En av de tiltenkte kildene til billig, fornybar energi er vindkraft. [7] Her ligger det alternativer i landvind og havvind. Vindkraft til havs gir større energiutbytte som følge av kraftigere og mer stabil vind, men det involverer også høyere kostnader. For havvind betyr dette også at turbinene vil være ute av syne og det finnes store arealer tilgjengelig. [8]

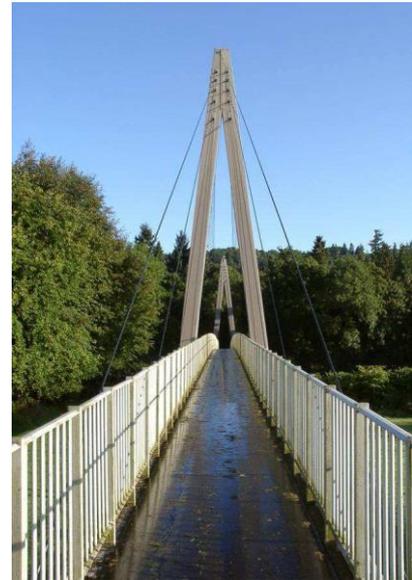
I høsten 2017 åpnet Equinor nye flytende vindpark Hywind Scotland, som har skapt ny entusiasme rundt havvindkraft. [9] SINTEF Ocean har uttalt seg positive til teknologien, der de tror på masseproduksjon av flytende vindkraft er mye enklere enn bunnfaste, grunnet at sistnevnte må tilpasses med hensyn til grunnforhold og vanndybde. Plasseringen av flytende vindkraft kan også være mer fleksibel. [10]

En annen viktig faktor er sikkerhet for arbeidere som blir transportert. Helikopterflyginger har høy ulykkesstatistikk, selv om dette gjelder særdeles innlandsflyging. [11] Marine Aluminium påstår likevel at hovedfordelen med teleskopbru er sikkerheten, noe som bør være et godt argument for videre satsing. [12]

3. Teori

3.1. Tidligere konstruksjoner

Bruken av fiberarmert polymer økte kraftig etter 2. verdenskrig. Det ble hovedsakelig brukt innen luftfart- og bilindustrien for å senke vekten og drivstofforbruket. Materialet har derimot kort fartstid innen byggebransjen og det er kun i de siste tiårene at bransjen har begynt å ta det i bruk. Den første fullverdige bruene i fiberarmert polymer er Aberfeldy Footbridge. Bruen ble satt opp som et studentprosjekt på en skotsk golfbane i 1992 og har et spenn på 63 m. Den innehar fortsatt rekorden «lengste spenn for en komposittbru». Det har ikke blitt gjennomført nevneverdig vedlikehold på bruene, men den strukturelle integriteten er likevel bevart noe som viser durabiliteten til fiberarmert polymer. [13]



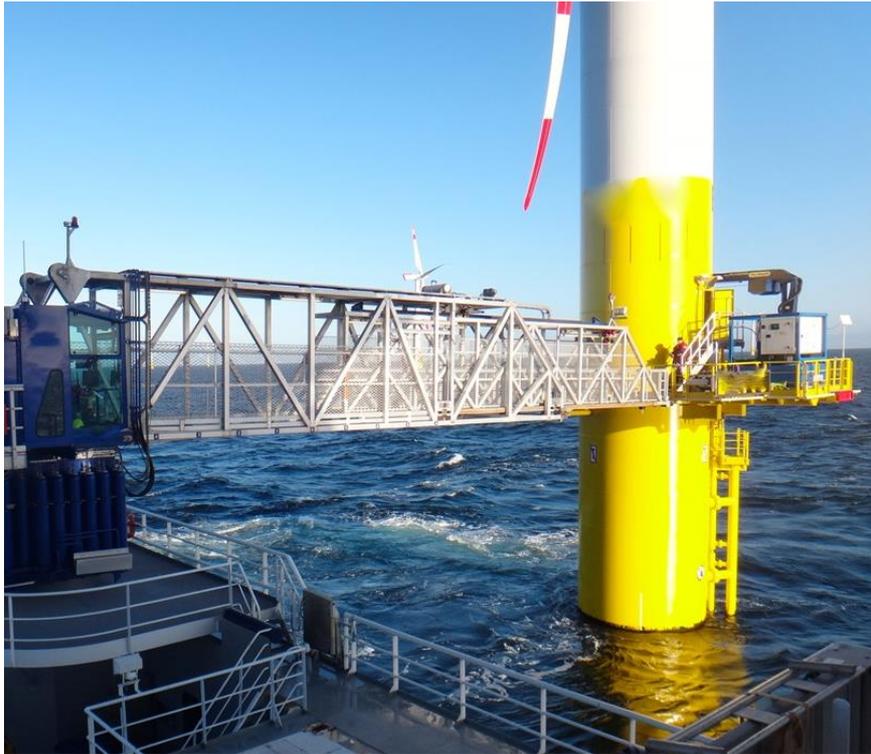
Figur 3.1 Aberfeldy Footbridge

I Norge er det kun en gangbru over Vesterelven i Fredrikstad som eneste brukonstruksjon av fiberarmert polymer. Fra Danmark har selskapet Fiberline derimot laget over 2000 komposittbruer over hele verden, både som gang- og veibru. Utdypning om dette er gjengitt i forprosjektet. [3]

Innen offshore brukonstruksjoner er det aluminium som gjelder. Figur 3.2 og Figur 3.3 er eksempler på hvordan gangbruene ser ut, henholdsvis under test og drift. [14]



Figur 3.2 Gangbru i aluminium under test



Figur 3.3 Gangbru i aluminium under drift

3.2. Påvirkning av maritimt miljø

Bestandigheten til matrisen i det røffe miljøet er viktig for at komposittens mekaniske egenskaper skal opprettholdes gjennom konstruksjonens levetid. Hvis matrisen degraderes for mye vil heften mellom lagene opphøres, samtidig vil fibrene utsettes for ytre miljøpåvirkninger. Dette vil svekke fibrenes stivhet og dermed bæreevnen til konstruksjon.

Over en 2-års periode undersøkte Kootsookos og Mouritz påvirkningen av saltvann på forskjellige matrise-/fiberkombinasjoner. Resultatet viste at matriser av polyester degraderes betydelig mer enn vinylester. Dette underbygger funnet fra forprosjektet om at vinylester er mer kjemisk stabilt enn polyester i et saltvannsmiljø [3]. Det bør også merkes fra eksperimentet at begge matrisetyperne opplevde gjennomtrenging av vann som svekket komposittens stivhet opptil så mye som 20-40%. [15] Et annet eksperiment viser at glassfiberkompositter mister 10% av styrken sin etter 10 år i maritimt miljø. I motsetning til Kootsookos og Mouritz sine tester var ikke disse undersøkelsen utsatt for konstant påvirkning av saltvann noe som passer bedre overens med konstruksjonen i denne oppgaven. [16]

3.3. Materialsystem

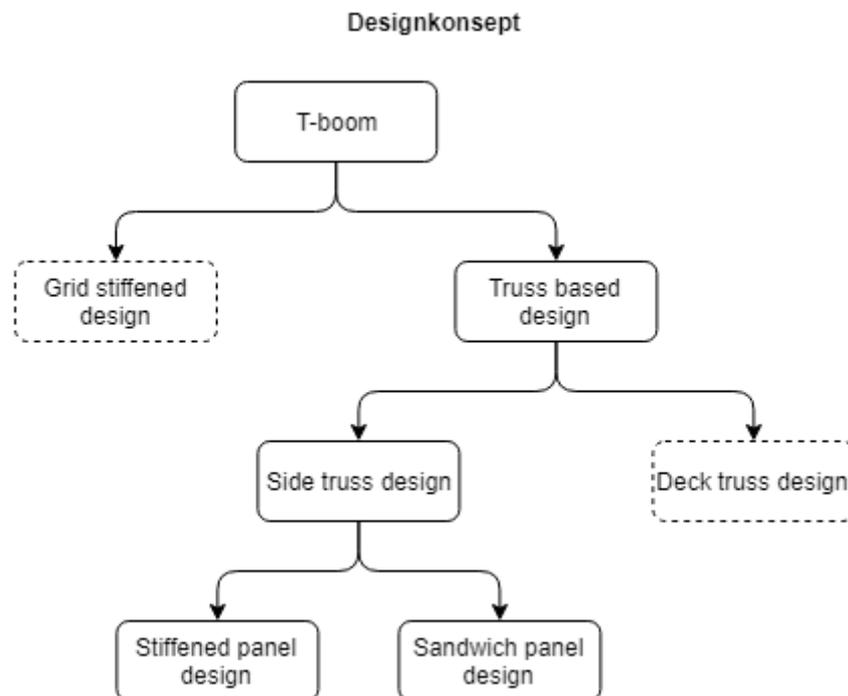
Oppbygging av lagstrukturen vil i stor grad påvirke materialegenskapene i fiberarmert polymer. For oppgavens konstruksjon vil oppbyggingen følge anbefalingene som finnes i forskjellige litteraturer og er som følger: [17] [18] [19]

- Lagstrukturen bør være symmetrisk og balansert for å unngå bøyning, skjær og torsjon ved koblingen av laminatene.
- Minst 10% med lag i hver primærretning (0° , 90° , $\pm 45^\circ$) for å unngå last direkte på matrisen.

- Begrense antall lag med ensrettet fiber med samme orientering rett etter hverandre til 5 lag, for å minimere risikoen for delaminering og kantslipp.
- Å plassere 0°-lag lengre unna nøytralaksen vil øke bøyestivheten til laminatet ved å maksimere D_{11} .
- Å plassere $\pm 45^\circ$ -lagene ytterst av laminatet vil senke risikoen for knekking ved å maksimere D_{66} .
- Unngå 90°-lag rett etter hverandre for å minimere interlaminære skjær- og normalspenninger.

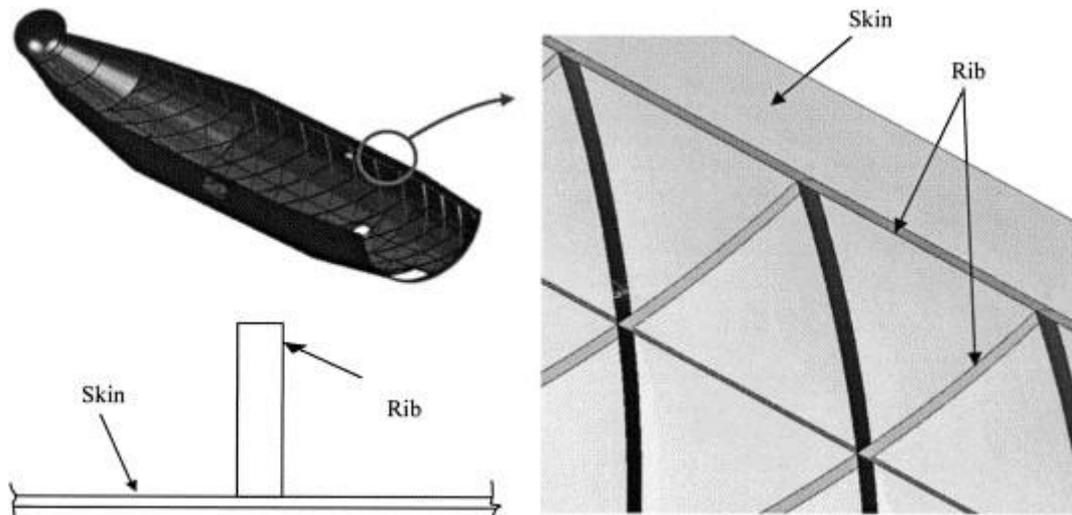
3.4. Designkonsept

Figur 3.4 viser mulige designkonsepter som har blitt undersøkt for bruene. Det er tre metoder for hvordan fagverksbruer kan bygges: Fagverkskonstruksjonen kan ligge under, over eller midt i brubanen.



Figur 3.4 Designkonsept

«Grid stiffened design» er mye brukt innen luftfart, grunnet høye materialegenskaper og fleksibilitet. Utformingen i rutenett fører til en høy stivhet og dermed motstandsdyktig for knekking. Shroffs påstand var at de egenskapene av fiberarmert polymer er egnet til denne typen design da lasten primært påføres på langs med bæreelementene, «ribs». [20]



Figur 3.5 Grid stiffened design

I et annet studie, utført av Huybrechts, var konklusjonen at grid stiffened har en bedre skadetoleranse enn laminaer og sandwichkonstruksjoner. Dette er som følge av at delamineringen vil begrenses innenfor hver celle og dermed forhindre spredning og fullstendig kollaps. [21] Lave kostnader i forbindelse med produksjon er en annen fordel. Designen kan i tillegg gi en enda større vektbesparelse enn fagverkskonstruksjon, men til tross for dette vil oppgaven basere seg på sistnevnte. Den manglende erfaringen på bruken av grid stiffened design innen offshore med hensyn til brudd og utmatting vil føre til et emne som er utenfor oppgavens omfang.

Videre er det, som nevnt, forskjellige alternativer for en fagverksbasert design. I denne oppgaven er det valgt at fagverkskonstruksjonen skal ligge over brubanen grunnet:

- Likheten med eksisterende gangbruer i stål/aluminium.
- Teleskopdelene kan lettere settes sammen.
- Fagverkskonstruksjon vil også fungere som gjerde.

Til slutt kan det også vurderes å bruke sandwichstrukturer. Fordelen med sandwichstrukturer er høy styrke og stivhet relativt til vekten. Selv om det blir stadig mer brukt innen maritim sektor, er dette valgt bort fra oppgaven på grunn av følgende:

- Sandwichkjernen har en tendens til å absorbere vann i løpet av levetiden. Som et resultat av dette vil kjernen gradvis korrodere og dermed svekke bruens totale kapasitet.
- Manglende data og tidligere erfaringer innen offshorebruk, og derfor vil det kreves eksperimentelle metoder som vil være tidskrevende.

3.5. Designkriterier

Kategorisering

Gangbruen i oppgaven kategoriseres som en type 2, i henhold til DNV. [22] Det betyr at gangbruen kun er permanent tilkoblet på en side, mens den andre enden står fritt til å enten være delvis tilkoblet eller frakoblet. Gangbruens drifts- eller tilkoblingstid er vanligvis mindre enn 24 timer. Gjennomstrømningen over gangbruen er kontrollert og påses av manualer eller kontrollører.

Designkrav (Krav til utforming)

Det stilles forskjellige krav til utforming av gangbruen med hensyn til dimensjon og sikkerhet, som det har blitt gjort rede for i A.1 Vedlegg. Fra et analyseperspektiv er det hovedsakelig kravet til nedbøyning som er viktig:

Bruspenet over hele lengden kan ikke ha en større nedbøyning enn $L/100$.

Nedbøyningen skal verifiseres ved påføring av en testlast. Testlasten skal være lik 1.25 multiplisert med nyttelasten (live load), men ikke mindre enn 300 kilogram på tuppen av gangbruen.

Nedbøyningsgrensen her avgjøres av hvor stor egenlasten er i forhold til testlasten. Avhengig av om egenlasten er mindre, lik eller større enn testlasten multiplisert med 2 er kravet henholdsvis:

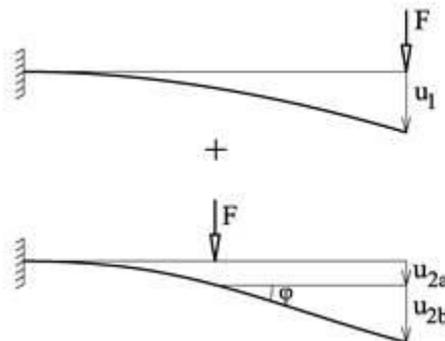
$L/150$, $L/200$ eller $L/300$. Denne verifisering angir kravet for maksimal nedbøyning på midten av gangbruens totale lengde.

Bruspenet over halve lengden kan ikke ha en større nedbøyning enn $L_{midt}/150$.

3.6. Dimensjoneringskriterier (Failure modes)

3.6.1. Bjelketeori

Definisjonen på en bjelke, innen ingeniørvitenskap, er en komponent som utsettes for en last perpendikulært på bjelkens langsgående akse. Fokuset i dette kapitlet er kun bøyning, mens andre mekanismer som torsjon/vridning neglisjeres.



Figur 3.6 Utkraget bjelke med påført punktlast

Figur 3.6 viser to enkle eksempler på en utkragerbjelker som utsettes for en last. Til sammenligning vil oppgavens konstruksjon kunne forenkles til å være noe tilsvarende, der hele bruen behandles som en utkraget bjelke og lasten vil påføres vilkårlig på bjelken avhengig av situasjon. Lastene vil påføre bjelken spenninger, i form av skjær- og bøyepeninger der sistnevnte er grunnen til at bjelken bøyer seg.

3.6.2. Aksiell- og bøyestivhet

Forholdet mellom kraft, tøyning, stivhet, krumning og moment kan beskrives med Formel 3.1.

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ A_{21} & A_{22} & A_{26} & B_{21} & B_{22} & B_{26} \\ A_{61} & A_{62} & A_{66} & B_{61} & B_{62} & B_{66} \\ B_{11} & B_{12} & B_{16} & D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ B_{21} & B_{22} & B_{26} & D_{21} & D_{22} & D_{26} \\ B_{61} & B_{62} & B_{66} & D_{61} & D_{62} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \\ \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{bmatrix}$$

Formel 3.1 Stivhetsmatrise

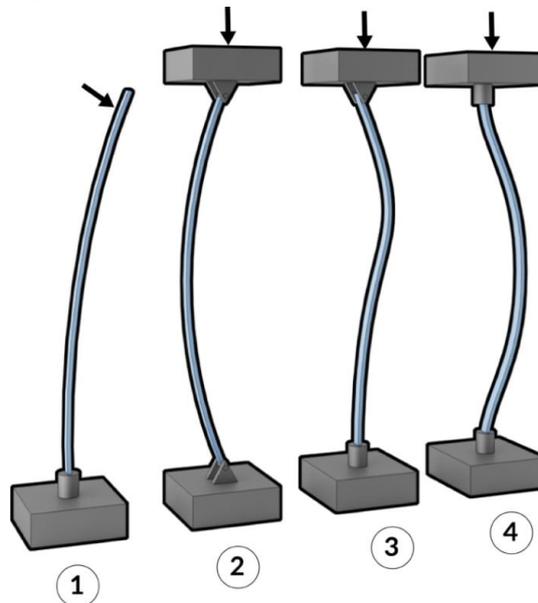
Matrise [A] er strekkstivhetsmatrise og beskriver materialets motstand mot aksedeformasjon. Matrise [B] er en koblingsmatrise som samler normale krefter og momenter. Den er kun aktuell dersom laminatet er usymmetrisk og nøytralaksen forskyves vekk fra midten. Matrise [D] er bøyestivhetsmatrise og beskriver materialets motstand mot bøyning. Videre utdypning om dette er gjengitt i forprosjektet. [3]

3.6.3. Fiberbrudd

Et fiberbrudd defineres som brudd av et lag ved avkutting av fibrene. Fiberbruddet oppstår ved at opptredende spenninger og tøyninger overstiger den karakteristiske kapasiteten til fiberen i et enkelt lag. Som regel brukes tøyningkapasiteten når fiberbrudd skal kontrolleres. Kriteriet er avhengig av om det er en eller flere laster som virker samtidig. [23]

3.6.4. Knekking

Et konstruksjonselement, f.eks. en stav eller søyle, som er utsatt for høye trykkspenninger kan bøye seg ut fra utgangsstilling slik Figur 3.7 viser.



Figur 3.7 Knekking av staver

Den generelle formelen for knekking er gitt på følgende form:

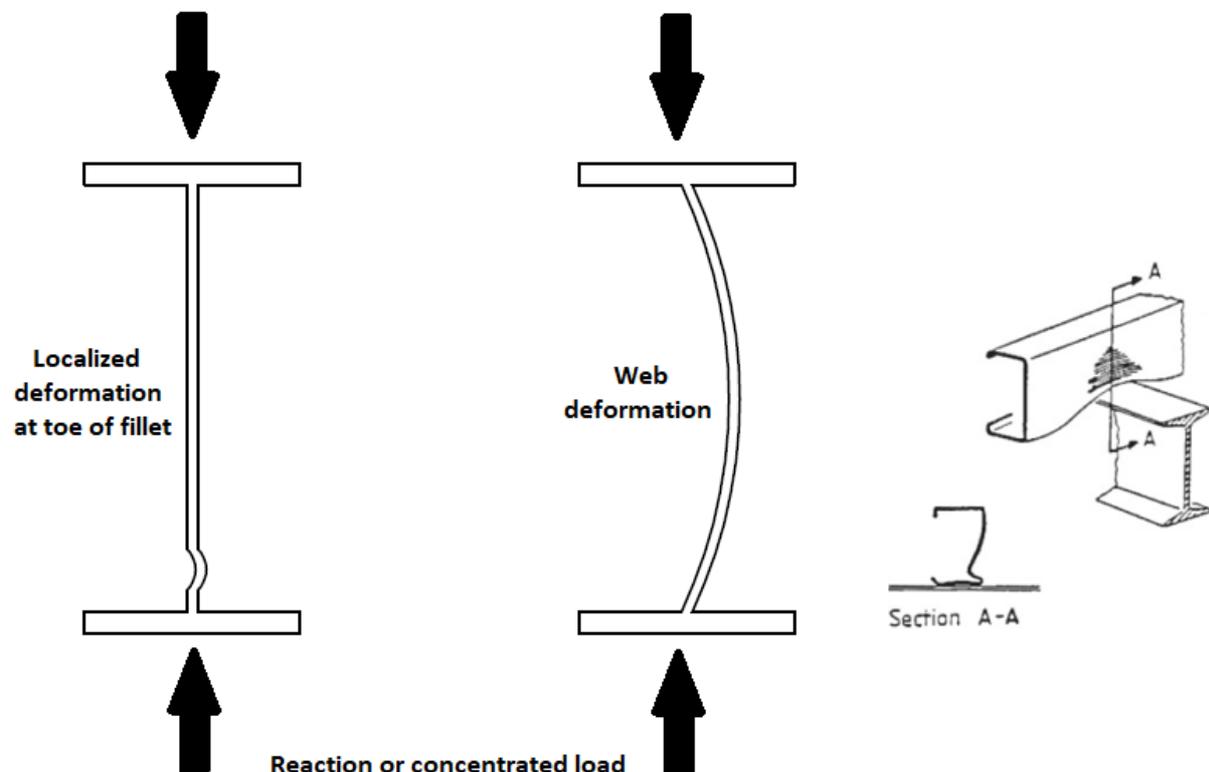
$$F = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \text{ Formel 3.2 Generell formel for knekking}$$

der F er maksimal kraft (N), E er materialets elastisitetsmodul (N/mm²), I er tverrsnittets andre arealmoment om svakeste retning (mm⁴), L er stagets lengde (mm) og K er stagets effektive knekk lengde avhengig av hvordan staget er innspent.

I oppgaven er $K = 1.0$, grunnet alle stag antas fastholdt i begge ender, men fritt dreibar.

Crippling

Crippling er fenomenet som ligner på knekking, men som forekommer lokalt f.eks. på flensen på en bjelke. Figur 3.8 illustrerer forskjellen på dette.



Figur 3.8 Forskjellen mellom crippling og knekking

3.6.5. Nedbøyning/deformasjon

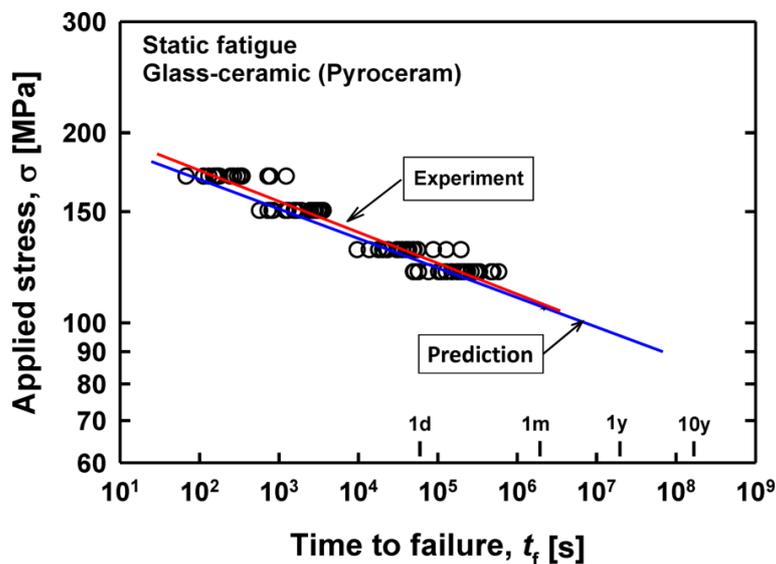
Deformasjon er en formendring forårsaket av en ytre kraft, og kan forekomme enten elastisk eller plastisk. Konsekvensen av en stor nok deformasjon er naturligvis brudd i materialet. Forskjellen på elastisk og plastisk er om deformasjonen er permanent eller ikke. Ved en elastisk deformasjon vil materialet gå tilbake til sin opprinnelige form, mens deformasjonen vil være varig ved plastisk. Sistnevnte betyr at materialet strekkes over flytegrensen, herunder vil deformasjon omtales som nedbøyning.

3.6.6. Utmatting

Statisk utmatting (stress rupture)

Konstruksjoner som opplever konstante tøyninger over tid som er langt lavere enn det som kreves for å få materialet til brudd kan oppleve et statisk utmattingsbrudd. Figur 3.9 viser hvordan statisk utmatting forutser tid til kollaps relativt til påført spenning. Materialer som er sprø opplever statisk utmatting som følge av saktevoksende sprekkdannelser, mens et duktilt materiale som glassfiber opplever det som følge av elastisk og viskoelastisk deformasjon.

Undersøkelser viser at der de konstante spenningene er relativt høye vil kompositten oppleve kryp som gjør at statisk utmattingsbrudd vil være mer aktuelt sett mot beregnet levetid enn dynamisk utmatting. [24]



Figur 3.9 Statisk utmatting

Dynamisk utmatting

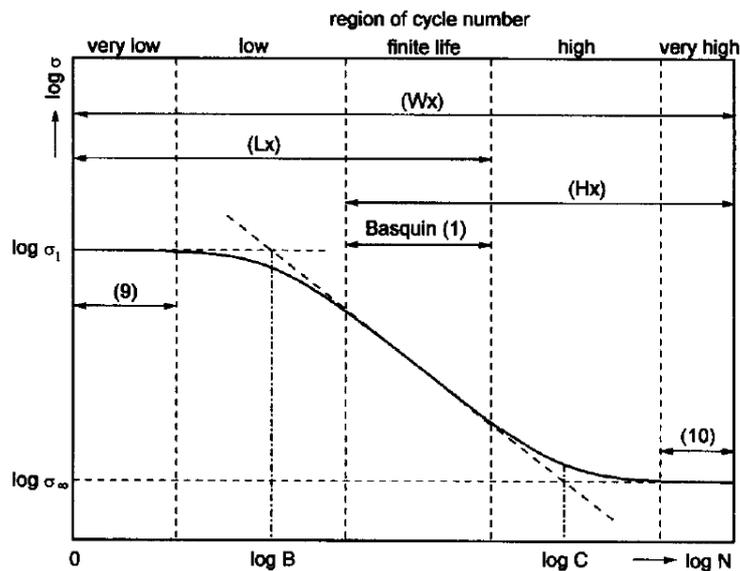
Fiberarmert polymer har generelt sett gode utmattingsegenskaper. Bathias utførte en studie der utmattingsegenskapene på komposittmaterialer og metaller ble sammenlignet. Konklusjonen av studiet var at komposittmaterialer er mer motstandsdyktig ovenfor sykliske strekkrefter enn metaller. Andre funn som er verdt å merke seg er at sykliske trykkrefter fører til større utmattingsskader i komposittmaterialer enn strekkrefter. [25]

Alderliesten hevder at utmattingsfenomenet for komposittmaterialer er mer kompleks enn metaller som følge av at materialet er anisotrop og inhomogent. Parametere som kan påvirke usikkerheten er fiberarmering, matrisetype, miljø- og lastsituasjon, og lagsekvensen av laminatet. [26]

Det er 3 tilnærminger for å forutse utmatting innen komposittmaterialer: [27] [28] [29]

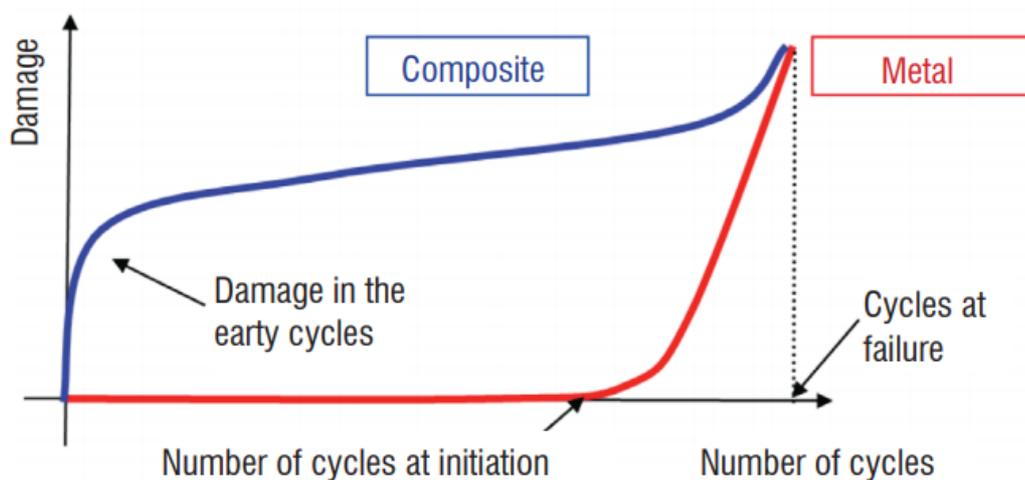
- Fatigue life models, S-N curves.
- Phenomenological model, characterize strength or stiffness.
- Progressive damage, stiffness/strength degradation.

«Fatigue life models» er en tilnærming basert på S-N kurver og er simpel å bruke. Metoden tar derimot ikke hensyn til skademekanismer som degradering av materialegenskaper. For øvrig krever den empirisk data fra eksperimentelle resultater av hvert enkelt lasttilfelle, lagstruktur og materiale, noe som kan være tidskrevende og kostbart. Figur 3.10 er en S-N kurve der Basquin-området viser et lineært log-log forhold mellom spenning og sykluser til brudd.



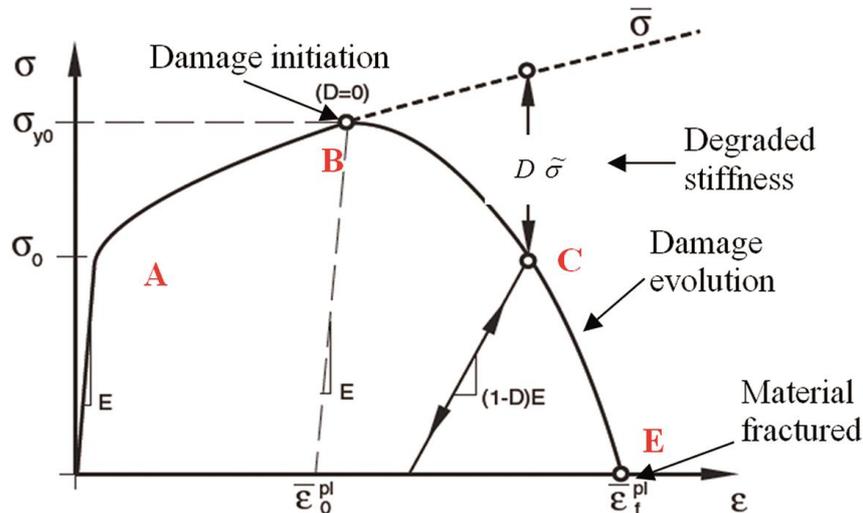
Figur 3.10 S-N Kurve

«Phenomenological models» baserer seg på observasjon av hvordan utmattingskadene utvikler seg og påvirker de makroskopiske egenskapene, som styrke og stivhet. Prinsippet er enkelt, men skadeutviklingen i modellen er basert på antagelser og kalibrert gjennom konstante spenningsnivåer. Figur 3.11 er en sammenligning mellom homogene og komposittmaterialer, basert på metoden. Ut ifra studiet kan utmatting av kompositt deles opp i 3 faser. Under fase 1 vil det oppstå flere skader i materialet som gir en rask skadeutvikling. Skaden vil så utvikles sakte, men sikkert under fase 2. Under fase 3 vil bruddet av fibre oppstå og skadeutviklingen vil fort øke igjen. [30] [31]



Figur 3.11 Phenomenological models

«Progressive damage models» baseres på relasjonen mellom en eller flere skadevariabler og effekten av skaden (som matriseoppsprekking og delaminering). I utgangspunktet er metoden mer nøyaktig, men den krever både mer beregning og eksperimentell testing enn de øvrige.



Figur 3.12 Progressive Damage Models

3.6.7. Slaglast (slagskade)

Slaglaster kan ha to effekter på en struktur. Lasten kan være stor nok til å lede direkte til en av strukturens feilmekanisme eller mindre skader som kan lede til feilmekanismer over tid. I oppgaven blir det satt inn en slaglast i analysen under de dimensjonerende tilfellene for å forutse konsekvensen av lasten.

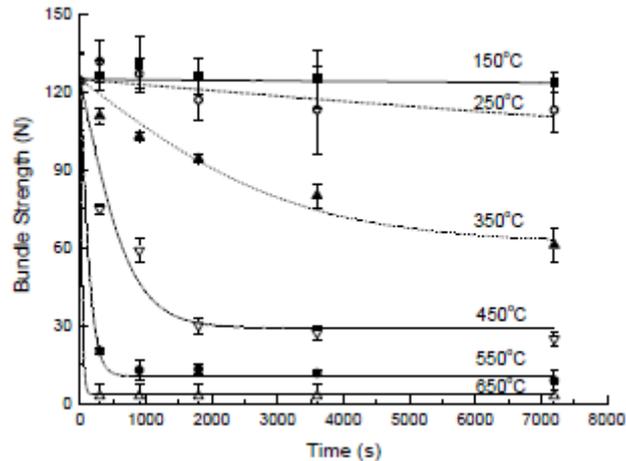
3.6.8. Egenfrekvens

Egenfrekvens, eller resonans, er et fenomen der en gjenstand har fått en frekvens og fortsetter å svinge av seg selv og svingebevegelsene ikke blir dempet. Bruer er eksempler på konstruksjoner som kan komme i resonans og bryte sammen. Med hensyn til den lave vekten til fiberarmert polymer er konstruksjonen som omhandles i oppgaven spesielt utsatt.

3.6.9. Brann og temperaturøkning

Materialegenskapene vil påvirkes ved brann eller høye temperaturer slik at materialet blir mykt og kan kollapse. Fiberen og matrisen mister kapasitet i ulik hastighet, der matrisens styrke reduseres hurtigere enn fiberens.

Figur 3.13 viser en sammenheng mellom kapasitet og tid hvor E-glass er utsatt for en gitt temperatur. Tabellen kommer fra eksperimentelle data hvor det er gjort styrketester på komposittbunter etter at de er varmet opp i en muffelovn. [32]



Figur 3.13 Styrke for E-glass etter tid ved gitt temperatur

3.7. Ytre påkjenninger på gangbru

Laster som er aktuelle for en gangbrukonstruksjon er følgende:

1. Karakteristiske laster.
2. Vertikale laster ved utplassering og tilbaketrekking.
3. Horisontale laster ved utplassering og tilbaketrekking.
4. Laster som følge av klimatiske effekter (naturlaster).
5. Laster på fartøyet der gangbruen er montert.

Karakteristiske laster er de prinsipielle som omfatter egen- og nyttelast. Vertikale og horisontale laster skyldes hovedsakelig bevegelser av bruen, som utplassering og tilbaketrekking. Naturlaster er variable og stedsavhengig som omfatter vind-, is- og snølast. Videre skal det også være en vurdering om virvelinduserte tverrsvingninger og last fra sjøvann på båtdekket er aktuelle. Til slutt laster som virker på fartøyet i alle tre retninger (X-, Y- og Z-retning).

For øvrig skal følgende ulykkelaster vurderes individuelt:

- Fallende gjenstand.
- Uheldig menneskelig handling.
- Kollisjonspåvirkning.
- Eksplosjon.
- Brann.
- Ekstrem akselerasjon fra fartøy.
- Ekstrem vind.

Grensetilstander

Dimensjonering av offshore gangbruer utføres ved å påvise at konstruksjonen tilfredsstillende kravene i henhold til to grensetilstander i løpet av brukstiden: Bruddgrense- (Ultimate limit state – ULS) og bruksgrensetilstand (Service limit state – SLS). For øvrig er det også mulig å ekskludere utmattingsgrensetilstand og ulykkesgrensetilstand som to egne tilstander. I grensetilstandene skal de

forskjellige lastene, som kan opptre samtidig, kombineres for å finne de dimensjonerende lasttilfellene. For å øke sikkerheten i lastverdiene, legges det til lastkoeffisienter og -faktorer.

Bruddgrensetilstand, herunder kalt for ULS, er relatert til feil som påvirker sikkerheten. Ofte korresponderer grensetilstanden til konstruksjonens maksimale bærekapasitet. Sikkerhetsklasser defineres i samsvar med konsekvensene av disse feilmodusene basert på sikkerhet, miljø og økonomi. ULS er ikke reversibel.

Bruksgrensetilstand, herunder kalt for SLS, er relatert til feil som ikke involverer risikofarer for menneske og miljø. Feil fører ofte til driftsrestriksjoner eller -stopp. Bruksklasse (serviceklasse) defineres i samsvar med hvor ofte feilen oppstår. SLS er som regel reversibel.

Egen- og nyttelast

Egenlast er en permanent påvirkning som kommer av vekten til konstruksjonen. Dette inkluderer bæresystem, eventuell rekkverksinstallasjon og gåbane.

Nyttelast er en varierende last som i utgangpunktet er personell med eventuelle utstyr fra og til installasjonene.

Vertikale og horisontale laster ved utplassering og tilbaketrekking av gangbru

Vertikal og horisontal refererer henholdsvis til Z- og Y-retning i aksesystemet. Lastene er først og fremst forårsaket av akselerasjon og retardasjon av vertikale eller horisontale bevegelser. Typisk oppstår dette ved start- og stoppbevegelser av gangbruen i form av luffing og dreining. Lasten representeres gjennom en dynamisk faktor (DF) som multipliseres med egenvekten til gangbruen. Faktoren for vertikal retning beregnes av designer basert på stivheten til gangbruen og faktoren for horisontal retning beregnes etter formelen i 4.1.4.1 i DNV. [22]

I horisontal retning skal det også tas hensyn til sentrifugale laster. Formelen for utregning er gjengitt i 4.1.4.2 i DNV. [22]

Naturlaster

Dette er laster som er stedsavhengig og varierer ut ifra værforholdene. Følgende er aktuelle:

- Is- og snølast.
- Vindlast.
- Virvelindusert tverrsvingning.
- Sea pressure loads (green sea loads).

Is- og snølast skal vurderes når det er relevant. Likevel kan lasten reduseres eller neglisjeres, hvis prosedyrer og rutiner for fjerning av is og snø er utarbeidet. For gangbruer som er ment for å brukes under is- og snøforhold er kravene fra DNVGL-RU-SHIP Pt.6 Ch.6 eller DNVGL-OS-A201 Ch.2 Sec.4 gjeldene. [33] [34]

Vindlast skal generelt sett beregnes ut ifra den forenklete metoden i DNVGL-ST-0378 App.A. Fra tabell A-2 i nevnte standard er følgende vindhastighet oppgitt for en høyde 10 m over havet:

Minimum 20 m/sek for driftstilfelle og utplassering/tilbaketrekking, og minimum 44 m/sek for parkert tilfelle.

Dette er generelle verdier som må korrigeres i forhold til lokasjon og høyde over havet. [35]

Virvelindusert tverrsvingning er bevegelser av en konstruksjon som står i en væskestrøm og hvor bevegelsen av konstruksjonen er på tvers av væskestrømmen. Lasten skal vurderes individuelt som kan komme av vind og bølger basert på DNVGL-RP-C205. [36] Fenomenet er komplisert og er fremdeles ikke fullt ut forstått.

«Sea pressure loads» er last fra sjøvannet som havner på dekket til båten. I utgangspunktet er dette gjeldene når båten står parkert, og vil være avhengig av båttype og lokasjon. Lasten skal beregnes ut ifra DNVGL-RU-SHIP Pt.3 Ch.4 Sec.5 og DNVGL-CG-0156. [37] [38]

Laster som virker på fartøy der gangbruen er montert

Fartøyets akselerasjon ved drift og utplassering/tilbaketrekking skal beregnes av designer. Et alternativ for beregning er å se på maksverdi av følgende kombinasjoner:

- Vertikale krefter.
- Vertikale og transversale krefter.
- Vertikale og langsgående krefter.
- Vertikale, transversale og langsgående krefter.

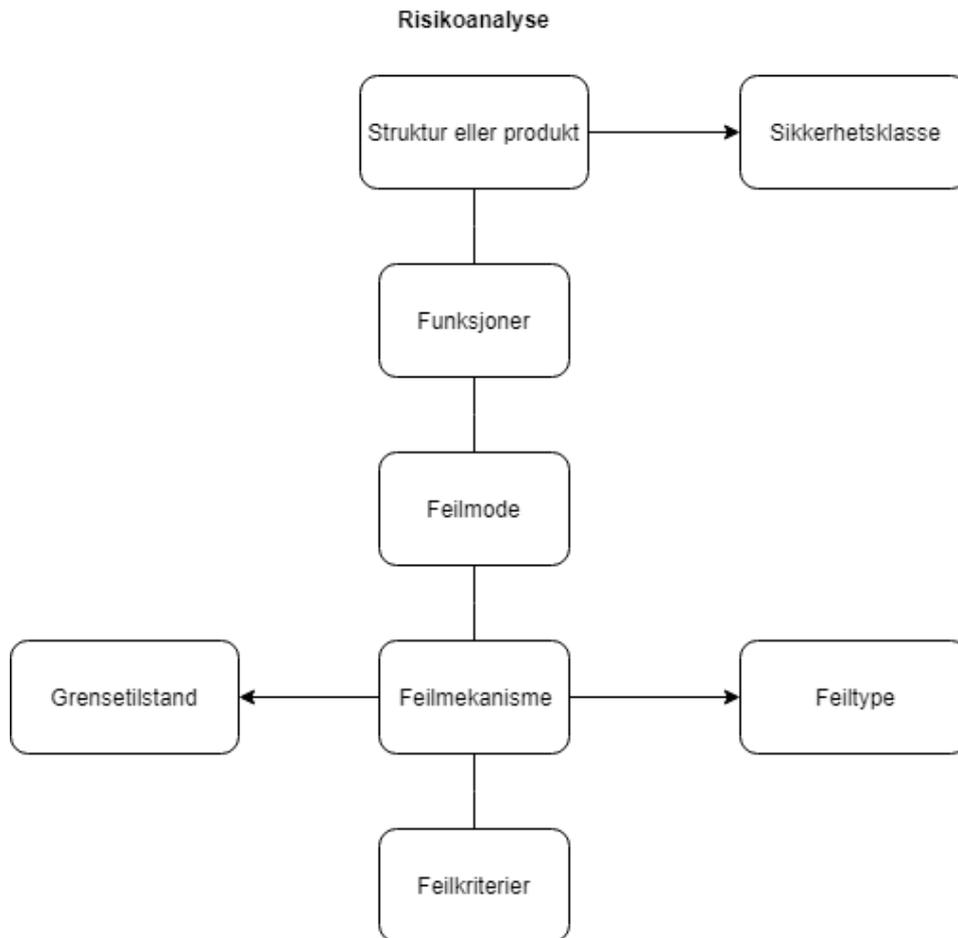
Lastkombinasjon

Det er hovedsakelig 6 tilfeller som skal opp i vurdering, i henhold til DNV. Relevansen evalueres individuelt fra konstruksjon til konstruksjon, og er følgende:

1. Vanlig driftstilstand (transportere personer fra-til installasjon). Inkluderer egen- og nyttelast, naturlaster og laster som virker på fartøy.
2. Utplassering og tilbaketrekking av gangbru. Inkluderer egen- og nyttelast, vertikale og horisontale laster, naturlaster og laster som virker på fartøy.
3. Frakopling ved nødsituasjoner. Inkluderer egen- og nyttelast, nyttelast på tupp, vertikale laster, naturlaster og laster som virker på fartøy. I tillegg er det krav til sikkerhetslengde på gangbruen.
4. Parkert tilstand. Inkluderer egenlast, naturlaster og laster som virker på fartøy. Øvrige aktuelle vurderinger må gjøres i forhold til slitasje, tilgang til øvrige utstyr og egenfrekvens.
5. Lasttest. Inkluderer også krav til nedbøyning.
6. Installasjonsløft. Vurdering skal baseres på godkjente standarder (f.eks. DNVGL-ST-E273 som type C struktur eller DNVGL-ST-N001). [39] [40]

3.8. Risikoanalyse

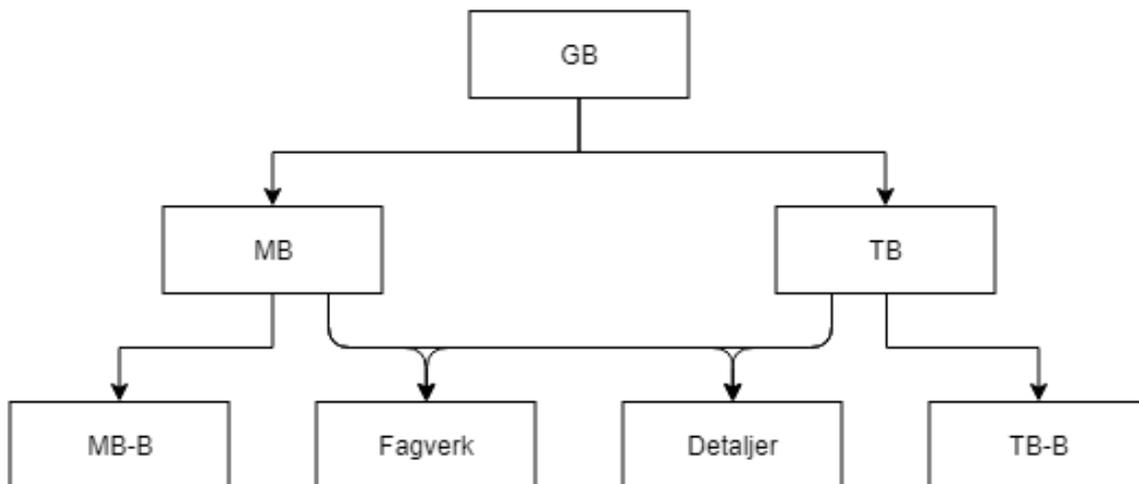
I henhold til DNV skal det gjennomføres en risikoanalyse i forbindelse med alle konstruksjonsprosjekter. [23] Dette er for å gi en dokumentert oversikt over alle utfall for feil i alle faser av levetiden. Utfallet av risikoanalysen danner også et grunnlag for sikkerhetsfaktorene som skal brukes i beregningene av bruen. Risikoanalysen er bygget opp etter Figur 3.14 med forklaringer som følger under og tar for seg fasene bruks- og hviletilstand.



Figur 3.14 Risikoanalyse

Struktur eller produkt

For å forstå feilmekanismene som kan oppstå er det lurt å dele konstruksjonen i flere segmenter. I risikoanalysen er hele bruene delt inn slik som vist på Figur 3.15. Gangbruene (GB) deles i første omgang opp i Main Boom (MB) og Telescoping Boom (TB). Heksapoden neglisjeres da den ikke inngår i oppgavens forskerspørsmål. Videre deles dette inn i komponenter Main Boom Bjelke (MB-B) og Telescoping Boom Bjelke (TB-B). Til slutt inndelinger av fagverket og detaljer.



Figur 3.15 Inndeling av gangbruen

Funksjonskrav (Functional requirements)

For å vite hvordan komponenten kan feile er det viktig å se på funksjonen som den skal oppfylle. Hovedfunksjonen til både MB og TB er å bære folk og utstyr mellom fartøy og installasjon. TB fungerer også som en forlengelse av MB, hovedfunksjonen til kontaktpunktet er å holde de stabilt sammen mens bruen teleskoperes.

Feilmode (Failure modes)

Når komponentene ikke er i stand til å ivareta sine funksjoner lengre regnes det som en feil i systemet. Brudd på MB eller TB er et eksempel på en feil som vil føre til at bruen settes ut av drift. Konsekvensen er driftsstopp og reparasjoner må utføres. En annen type feil som kan oppstå er at TB får for mye nedbøyning og kiler seg fast i kontaktpunktet med MB. Dette vil føre til at bruen mister teleskoperingsevnen.

Feilmekanisme (Failure mechanisms)

For å identifisere årsaken til feil i bruen må det gjøres rede for grunnlaget. Tabell 3.1 inneholder alle feilmekanismene DNV anbefaler å ta hensyn til når fiberarmert polymer brukes som byggemateriale. Tabellen inneholder også den tilsvarende grensetilstanden som feilmekanismen skal håndteres etter. Grensetilstandene avgjør om feilmekanismen skal beregnes når feil (ULS) eller synlige defekter (SLS) oppstår. Alle feilmekanismer i hver strukturdel eller detalj får tildelt en sikkerhetsfaktor. Sikkerhetsfaktoren er bestemt etter konsekvensen av feilmekanismen. Ved for eksempel fare for tap av liv, store økonomiske tap eller miljøbelastninger kan feilmekanismen få en høy sikkerhetsfaktor.

| Feilmekanisme for fiberarmert polymer | |
|--|-----------------------|
| Feilmekanisme | Grensetilstand |
| Fiberbrudd | ULS |
| Matriseoppsprekking | SLS |
| Delaminering | ULS |
| Flytning | SLS |
| Elastisk knekking | ULS |
| Nedbøyning (forskyvning) | SLS |
| Statisk utmatting | ULS |
| Dynamisk utmatting | ULS |
| Kryp | ULS |
| Brann | ULS |
| Ekspløsiv dekompresjon | ULS |
| Slagskade | ULS |
| Kjemisk dekompresjon | ULS |

Tabell 3.1 Oversikten over feilmekanismer

Feilkriterium

Når det oppstår krefter som overstiger dimensjoneringskriteriet kan det forekomme feil. Spenninger i transversal retning som overstiger fibrenes kapasitet eller i lengderetningen ved for store strekkrefter er eksempler hvordan en feil kan forekomme. Feilkriteriene er gitt i metodekapitlet om Fastsettelse/fremgangsmetode for dimensjoneringskriterier.

4. Forskerspørsmål

På bakgrunn av litteraturgjennomgangen i Teori er det utarbeidet følgende forskerspørsmål:

«Hvordan utnytte materialegenskapene til fiberarmerte polymerer for å konstruere og dimensjonere en offshore gangbru?»

For å svare på dette spørsmålet er det lagt til grunn følgende operasjonelle underspørsmål og underpunkter:

1. Identifisere feilmekanismer til gangbruen og konsekvensene ved disse.
2. Hvilke krav og kriterier skal være gjeldende for dimensjoneringen?
3. Bruke ANSYS for å modellere og analysere konstruksjonen.
4. Utarbeidelse av et enkelt prisestimat av materialkostnader, sammenlignet med stål.

4.1. Avgrensninger

For at prosjektet skal kunne gjennomføres i løpet av tiden som er til rådighet er det lagt til følgende avgrensninger:

- Oppgaven vil kun ta for seg analyse av gangbruen. Alt annet utenfor dette, som festeordning/knutepunkt mellom gangbru og fartøy (tårn/heksapoden), inngår ikke.
- Krumningsproblematikken i koblingen mellom MB og TB inngår ikke.
- Redegjørelse av praktiske utfordringer/detaljer på selve gangbruen inngår ikke, med unntak av: Teleskopering, produksjon, rekkverk, støtfanger (bumper), grating.
- Følgende dimensjoneringskriterier er valgt bort:
 - Matriseoppsprekking
 - Delaminering
 - Flytning
 - Dekompresjon
 - Kjemisk dekompresjon
 - Flytning i kjerne (BALSA-SW)
 - Slitasje
- Løftet av bruen under montering er ikke analysert.
- Virvelinduserte tverrsvingninger inngår ikke i denne oppgaven.

5. Case/Materialer

Masteroppgaven omhandler prosjektering av en offshore brukonstruksjon. Utfordringen i oppgaven er materialets lave E-modul som fører til nedbøyning og det at konstruksjonen anvendes i et krevende værforhold. For å besvare forskerspørsmålet er oppgaven delt inn i følgende deler:

1. Litteraturstudie i henhold til krav om utforming og dimensjonering av offshore gangbru og eksisterende bruer i stål/aluminium.
2. Kartlegging av laster og lastkombinasjoner, og risikoanalyse.
3. Digitale simuleringer i FEM-program og modellering i DAK-program.

Det stilles som nevnt svært strenge krav til sikkerhet i forbindelse med offshorekonstruksjoner. Å få kontroll på kriteriene som stilles ved utformingen er essensiell og omfattende prosess av oppgaven. Studie på eksisterende bruer vil føre til en forståelse av hvordan og hvorfor forskjellige løsninger har blitt valgt.

Materialvalget vil ta utgangspunkt i det som har blitt undersøkt i forprosjektet, glassfiber og vinylester. Data om disse materialene finnes i vedlegg E.

Føringer for hvilke påkjenninger som konstruksjonen vil utsettes for skal følge kravene som er lagt av Det Norske Veritas (DNV). Det er derfor blitt utført en gjennomgang av aktuelle laster og lastkombinasjoner i teorikapitlet med utgangspunkt i aktuelle dimensjoneringskriterier. I henhold til DNV skal det også foretas en risikoanalyse for enhver konstruksjon.

Som i forprosjektet er det igjen et ønske om at digitalt verktøy skal omfattes i stor grad. En fullstendig analyse av en brukonstruksjon i fiberarmert polymer for hånd vil også være for tidskrevende, om ikke umulig. I tillegg vil en god 3D-modell forhindre potensielle misforståelser/feil ved eventuell produksjon.

Det er, som nevnt i Forskerspørsmål, blitt lagt til en del avgrensninger i forhold til hvilke dimensjoneringskriterier som oppgaven vil se bort ifra. Grunnlaget for dette er først og fremst begrensning av tid og at prosjektets deltakere mener det er av mindre betydning, sammenlignet med kriteriene som er inkludert i oppgaven. Under gjennomførelsen av prosjektet har følgende kriterier også blitt neglisjert: Matriseoppsprekking, delaminering og flytning. Kontroll av disse tre kriteriene krever testdata, noe som er utenfor oppgavens omfang. Fremgangsmetodene er derfor blitt tatt ut av rapporten og gjengitt i vedlegg B.1.

6. Metode

6.1. Litteraturstudie

Det ble utført studie av aktuelle litteraturer som omhandler brudimensjonering til offshorebruk. I skrivende stund finnes det ingen spesifikk standard for offshore gangbru i fiberarmerte polymerer. Standardene DNV OS-C501 og DNVGL-ST-0358 er sentrale deler av litteraturstudiet, som omhandler henholdsvis komposittmaterialer og generell gangbru til offshore. Annen aktuell litteratur er Lloyd's Register sine retningslinjer for materialer og transport av personell. I tillegg vil det hentes ut informasjon fra forskjellige vitenskapelige artikler og tidligere bachelor- og masteroppgaver.

6.1.1. Materialsystem

Basert på punktene nevnt i teorigapitlet om Materialsystem vil alternativene for lagstruktur være som vist i Tabell 6.1 og Tabell 6.2.

| Bjelke | |
|---------------------|---------------------------|
| | Andel lag 0/45/-45/90 (%) |
| Alternativ A | 30/30/30/10 |
| Alternativ B | 70/10/10/10 |
| Alternativ C | 40/25/25/10 |

Tabell 6.1 Andel lagstruktur for bjelker

| Stag | |
|---------------------|---------------------------|
| | Andel lag 0/45/-45/90 (%) |
| Alternativ D | 30/30/30/10 |
| Alternativ E | 25/25/25/25 |
| Alternativ F | 40/25/25/10 |

Tabell 6.2 Andel lagstruktur for stag

En av hovedutfordringene til gangbruen er nedbøyning. 0°-lag vil bidra til stivhet, noe som er ønskelig. Kassapoglou anbefaler, gjennom boken sin, minst 25% med 0°, 25% med +45° og 25% med -45° for at sammensetningen er motstandsdyktig for både nedbøyning og knekking. [19] Alternativ B og C for bjelker vil derfor undersøkes nærmere. Det er derimot knyttet større usikkerhet rundt lagsekvensen for stag i forhold til hva som er mest optimalt. Allikevel har alternativ D blitt sett bort ifra på grunn av likheten til alternativ F og det faktumet at det var utfordrende å finne en fornuftig sekvens som tilfredstilte føringene fra teorien. Kort oppsummert, er ønskelig oppbygging av lagsekvensene slik at 0° og ±45° bør ligge lengst unna nøytralaksen, minst mulig gruppering av lag med samme orientering, og maks 45° forskjell i orientering mellom lagene.

6.1.2. Fastsettelse/fremgangsmetode for dimensjoneringskriterier

Fiberbrudd, enkel last

Ved en opptredende last skal Formel 6.1 brukes som dimensjonerende kriterium med tanke på fiberbrudd. [23]

$$\gamma_F \cdot \gamma_{Sd} \cdot \epsilon_{nk} < \frac{\overset{\text{fiber}}{\epsilon_k}}{\gamma_M \cdot \gamma_{Rd}} \quad \text{Formel 6.1 Fiberbrudd ved enkel last}$$

Fiberbrudd, kombinerte laster

Ved flere opptredende laster skal Formel 6.2 brukes som dimensjonerende kriterium for fiberbrudd. Det velges ut en primærlast og de resterende blir underordnede laster. Alle de underordnede lastene ganges med en kombinasjonsfaktor ψ . Primærlast og underordnede laster avgjøres etter hva som gir den mest konservative lastkombinasjonen. [23]

$$\gamma_{sd} \cdot \left[\gamma_F^j \cdot \varepsilon_{nk}^j + \sum_{i \neq j} \gamma_F^i \cdot \varepsilon_{nk}^i \cdot \psi^i \right] < \frac{\varepsilon_k^{fiber}}{\gamma_M \cdot \gamma_{Rd}} \quad \text{Formel 6.2 Fiberbrudd ved kombinerte last}$$

Ved tilfeller der maksimal fibertøyning ikke er tilgjengelig kan Tsai-Wu kriteriet anvendes. I denne oppgaven er dette ikke aktuelt, grunnet at tøyingsnivåer er tilgjengelig i ANSYS.

For øvrig er karakteristisk tøyning blitt satt til 0.028 for strekktøyning og 0.015 for trykktøyning. [41]

Knekking

Knekking deles normalt inn i to kategorier:

- Bitfurcation knekking: Økning av en påsatt last som gir en fullstendig eller tilnærmet aksial deformasjon. Hvis den kritiske verdien av lasten overstiges, så vil det oppstå en ny deformasjon som involverer bøyning.
- Limit point knekking: Når den påsatte lasten øker og materialet blir mindre stivt, helt til forholdet mellom last og deformasjon når et plant maksnivå, kan det oppstå en ukontrollert deformasjon.

Formel 6.3 kan brukes når det skal kontrolleres mot test data mot knekking. [23]

$$\gamma_F \cdot \gamma_{sd} \cdot F < \frac{F_{buckling}}{\gamma_{Mbuckle} \cdot \gamma_{Rdbuckle}} \quad \text{Formel 6.3 Kontroll av testdata for knekking}$$

Nedbøyning/deformasjon

Nedbøyning eller deformasjon er en ekstremverdi for maks tøyning eller kurvatur med liten sannsynlighet for overtredelse. For å kontrollere konstruksjoner for dette kan Formel 6.4 anvendes. [23]

$$\gamma_F \cdot \gamma_{sd} \cdot d_n = d_{spec} \quad \text{Formel 6.4 Kontroll av deformasjon}$$

Statisk utmatting (stress rupture)

Spenningsbruddets tid til feiling under en permanent, statisk last. Den er beskrevet med en spenningskurve som kommer av Formel 6.5. $\sigma_{0stressrupture}$ og β skal bestemmes eksperimentelt. I denne oppgaven er det brukt tall som er hentet fra testing utført av DNV. [23]

$$\log \sigma = \log \sigma_{0\text{stress rupture}} - \beta \log t \quad \text{Formel 6.5 Spenningsbrudd}$$

DNV sin sjekk for statisk utmatting er vist i Formel 6.6.

$$\gamma_{fat} \gamma_{Rd} t_y \sum_{j=1}^N \frac{t^{actual} \{ \gamma_{Sd} \mathcal{E}^j_{applied} \}}{t^{character} \{ \gamma_{Sd} \mathcal{E}^j_{applied} \}} < 1 \quad \text{Formel 6.6 Kontroll av statisk utmatting}$$

Dynamisk utmatting

Som diskutert i teorikapitlet om Utmatting er nøyaktig beregning av utmattingslevetid for komposittmateriale avansert og dermed utenfor oppgavens omfang. En forenklet modell er derfor gjennomført for å kunne gi et overslag på levetiden. Miner's regel er en summeringsmetode for å forutse utmattingskade. [42]

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = C \quad \text{Formel 6.7 Miner's regel}$$

k = spenningsnivå, n = antall sykler akkumulert, N = antall sykler for feiling og C = skadefraksjon. C er altså fraksjonen av forventet levetid som har blitt konsumert av utmattingskaden. Generelt sett, ved dimensjonering, så vil feilen oppstå når skadefraksjonen er 1.0.

DNV sin sjekk for dynamisk utmatting er vist i Formel 6.8. [23]

$$\gamma_{fat} \gamma_{Rd} t_y \sum_{j=1}^N \frac{n^{actual} \{ \gamma_{Sd} \mathcal{E}^j_{applied} \}}{n^{character} \{ \gamma_{Sd} \mathcal{E}^j_{applied} \}} < 1 \quad \text{Formel 6.8 Kontroll av dynamisk utmatting}$$

Egenfrekvens

Ved å følge forenklingen som f.eks. Ampelmann gjør, der hele gangbruen blir betraktet som en stor utkraget bjelke og koblingen mellom teleskopdelene neglisjeres, er Formel 6.9 gjeldene. [43]

$$f_x = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EI_{avg,z}}{(0.2235 \cdot m_1 + m_2) \cdot L_{gangway}^3}} \quad \text{Formel 6.9 Egenfrekvens}$$

hvor f_x er egenfrekvensen av gangbruen i bøyning i horisontal retning (Hz), og $EI_{avg,z}$ er gjennomsnittlig bøyestivhet av MB og TB i Z-retning (Nmm²), m_1 er vekten av gangbruen (kg), $L_{gangway}$ er lengden av gangbruen (mm) og m_2 er gunstig last på tuppen av gangbruen (kg).

Tilsvarende for vertikal retning kan Formel 6.9 brukes ved å sette inn gjennomsnittlig bøyestivhet i X-retning, $EI_{avg,x}$, for å finne egenfrekvensen f_z .

6.1.3. Fastsettelse av laster og lastkombinasjoner

Lasttilfelle(r) ved:

1. Vanlig drift.
2. Utplassering og tilbaketrekking av gangbru.
3. Frakopling ved nødsituasjoner.
4. Parkert tilstand.
5. Lasttest.

Fastsettelse av lastverdier har vært en utfordring i oppgaven. Det har blitt forsøkt å få tak i reelle tall gjennom forskjellige leverandører av offshore gangbruer uten hell. Likevel har Det Norske Veritas vært til hjelp med typiske verdier som vanligvis brukes.

Nyttelast, Q , er bestemt til å være 2 personer inkludert utstyr = 300 kg (3000 N).

Nyttelast ved test, Q_{test} , tas utgangspunkt i nedbøyningskravet som er $Q \times 1.25 = 375$ kg (3750 N).

«Bumper» last, Q_b , er den konstante dytten på gangbruen fra installasjon = 400-800 kg (4000-8000 N).

Oppgitte verdier for vindhastighet er basert på en høyde 10 m over havet.

«Acceptance criteria» er kriterier som bestemmer hvilke lastfaktorer som brukes for flytning, knekking og utmatting. Dette gjelder da WSD metoden, punkt 4.3.1.2 fra DNV, som oppgaven ikke bruker. [22]

MOA og MTA er akselerasjoner som virker på båten, for henholdsvis under drifts- og parkert tilstand, i alle tre retninger. Typiske ekstremverdier, f.eks. for et 180 m langt skip på 60 000 tonn og gangbru plassert nær baug (fremste delen av skipet), er følgende:

- Vertikale akselerasjon, $a_v = 1.0 \times g$.
- Transversal akselerasjon, $a_T = 0.7 \times g$.
- Langsgående akselerasjon, $a_L = 0.3 \times g$.

DF er en faktor som tar for seg treghetskrefter som oppstår av de vertikale og horisontale bevegelsene. Faktorene skal beregnes av designer, men skal ikke være mindre enn 10% og 5% av egenlasten for henholdsvis vertikal og horisontal retning.

En fullstendig utregning av lastverdier for alle tilfeller finnes i vedlegg A.5.

Grensetilstandene bestemmes ut ifra hvilken feilmekanisme som testes. Faktorene for dette er hentet fra tabell 4-1 i DNV, gjengitt i Tabell 6.3. [22] Dette er LFRD metoden, punkt 4.3.1.1 fra DNV, som brukes i lag med materialfaktorer beskrevet i vedlegg A.4. Tabellen inneholder to kombinasjoner for tilstand ULS, der kombinasjonen som gir høyest lastverdi er den som er dimensjonerende. For feilmekanismer under tilstand SLS, som f.eks. nedbøyning, settes faktoren lik 1.

| Lastfaktorer til lastkombinasjoner | | | |
|------------------------------------|------|------|------|
| | G | Q | E |
| ULS A | 1.3 | 1.3 | 0.85 |
| ULS B | 1.05 | 1.05 | 1.3 |

Tabell 6.3 Lastfaktorer for forskjellige kombinasjoner av lastene

| | LT 1a | LT 1b | LT 1c | LT 2a | LT 2b | LT 3 | LT 4 | LT 5 |
|------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|---|-----------------------|-------------------|
| G | G | G x MOA | G x MOA | G x DF | G x (DF + MOA) | G x (DF + MOA) | G x MTA | G |
| Q | Q / 2 x Q | Q / 2 x Q x MOA | Min. 120 kg / 2 x Q x MOA | | | | | Q _{test} |
| Q _{tip} | | | | | | Min. 350 kg / Q _{tip} x (D _z + MOA) | | |
| Q _b | 100%, hvis aktuelt | 100%, hvis aktuelt | | | | | | |
| G _c | | | | 100%, hvis aktuelt | 100%, hvis aktuelt | | | |
| E _{sp} | | | | | | | 100%, hvis aktuelt | |
| E _w | | 20 m/s | 20 m/s | | 20 m/s | 20 m/s | 44 m/s | |
| Crit. | I | II | II | I | II | III | II / III | |

LT = Lasttilfelle

G = Egenlast

Q = Nyttelast

Q_{tip} = Nyttelast på tuppen/endenQ_b = «Bumper/push» laster (langsgående)G_c = Sentrifugal lastE_{sp} = «Sea pressure loads (green sea loads)»E_w = Vindlast

Crit. = Godkjennelseskriterium

MOA = maximum operational accelerations

MTA = maximum transit/parked acceleration

DF = dynamisk faktor

Tabell 6.4 Lasttilfeller

6.1.4. Risikoanalyse konsekvensutredning

Risikoen avgjøres av hyppighet og konsekvens av feilmekanismene som tidligere beskrevet. Risikoen blir angitt av Tabell 6.6 med en fargekode. Fargekoden gir igjen en føring på tiltak som skal gjelde for feilmekanismen på den aktuelle komponenten. Konsekvensen reflekterer fare for sikkerhet,

økonomisk tap eller miljøbelastninger for feilmekanismen. Den er rangert fra 1-4 der 1 er mindre feil som ikke krever umiddelbart tilsyn, mens 4 kan derimot ha fatale følger som havari.

Hypighet er en verdi som må tilpasses ettersom det bygges opp brukererfaring ved bruk av bruene.

Rangeringen av hypighet er gjort i Tabell 6.5.

| Hypighet | Tilfeller på 40 år |
|----------|--------------------|
| 1 | 0 |
| 2 | 2 til 4 |
| 3 | 5 til 10 |
| 4 | Fra 11 og oppover |

Tabell 6.5 Hypighet

| Risikomatrix | | | | | |
|--------------|---|---|---|---|---|
| Konsekvens | 4 | | | | |
| | 3 | | | | |
| | 2 | | | | |
| | 1 | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Hypighet | | | | | |

Tabell 6.6 Risikomatrix

- Rød risiko skal aldri finne sted. Ved oppdagelse av konsekvens 4 skal det umiddelbart gjennomføres mottiltak og utbedringer. Bruen må tas helt ut av bruk til feilen er rettet.
- Ved gul risiko kan aktuelle komponenter erstattes, men kan ut ifra brukererfaringer vurderes å gjøre utbedringer. Bruen må tas ut av bruk til feilen er rettet.
- Ved grønn risiko kan feilen rettes uten at det er nødvendig med utbedrende tiltak. Bruen trenger ikke å tas ut av bruk.

6.2. Dataprogrammer

6.2.1. ANSYS Mechanical APDL

Dette er et verktøy for å analysere resultatene digitalt ved hjelp av elementmetoden.

Analyse av gangbru med elementmetoden

I samsvar med veileder har det blitt besluttet om at skallelementer (shell elements) skal brukes til å modellere konstruksjonen i ANSYS. Konklusjonen av forskjellige studier viser at skallelementer er en god tilnærming for å modellere bjelker i fiberarmert polymer, grunnet tykkelsen er mye mindre relativt til de to andre dimensjonene. Studier rundt dette viser at resultatet av de digitale analysene samsvarer godt med de analytiske og eksperimentelle resultatene. [44] [45] [46]

For å verifisere dette har det også blitt modellert en enkel modell i fiberarmert polymer som vist i vedlegg C.1. Her er modellen blitt modellert i skallelementer, både i 4- og 8-noders, der resultatet er blitt sammenlignet med det analytiske resultatet fra studiet til Bank og Bednarczyk. [47]

Basert på det overnevnte vil skallelementer brukes for å forutse konstruksjonens nedbøyning og spenningsfordeling.

6.2.2. Autodesk Inventor

Dette er et 3D DAK-program som brukes for å modellere, lage tekniske tegninger og teste komplekse mekaniske konstruksjoner. I dette prosjektet er programmet brukt i designfasen for å utforme og illustrere detaljer rundt brukonstruksjonen. Plantegninger av bruens mål og profiltverrsnitt, løsninger for knutepunkt, samt illustrasjoner av en komplett bru, er laget ved hjelp av programmet.

6.2.3. Mathcad

Mathcad er et matematisk programmeringsverktøy som utfører beregninger og presenterer dette på en oversiktlig måte.

6.3. Prisestimat

For å vise realiseringsvevnen til prosjektet er det laget et forenklet kostprisanslag på hva konstruksjonen vil koste. Utregningen er en cradle-to-gate-analyse, som betyr at den ikke omfatter prosesser etter fullført produksjon av bruene. For å øke validiteten og reliabiliteten av resultatene er det brukt to metoder. Metode 1 baserer seg på undersøkelser gjort i bransjen for en lignende konstruksjon i glassfiberkompositt. Metode 2 baserer seg på innsamlet data for materialkostnader og produksjonspris. Til slutt er det gjort en sammenligning med hva en tilsvarende konstruksjon i stål ville kostet. Vedlegg D.4 gir ytterligere bakgrunnsinformasjon rundt tallene som brukes for å utføre prisanslaget. Prisene som er samlet inn er oppgitt i forskjellige valutaer, det er derfor bestemt at Euroen brukes som basepris. Vekslingskursen NOK/EUR var 9.5 ved denne utregning.

6.4. Validitet og reliabilitet

I vitenskapelig forskning er validitet og reliabilitet viktige faktorer for konklusjonen. Det er derfor viktig å være kritisk til egne målinger og undersøkelser. Validitet eller gyldighet, er et mål for hvor godt og nøyaktig de ønskede målingene lar seg gjennomføre. Reliabilitet forsikrer målesikkerheten, slik at hvis den samme målingen gjentas flere ganger, så skal svaret være det samme.

Generelt sett er forskning en komplisert prosess som er utsatt for feil av ulike grunner. Slike feilkilder som kan påvirke resultatet er derfor viktig å dokumentere. I denne oppgaven er feilkildene spesielt knyttet til modellering og simulering i ANSYS. Dette inkluderer oppbygging av modellen og eventuelle mangler og feil i datainnputten. [3]

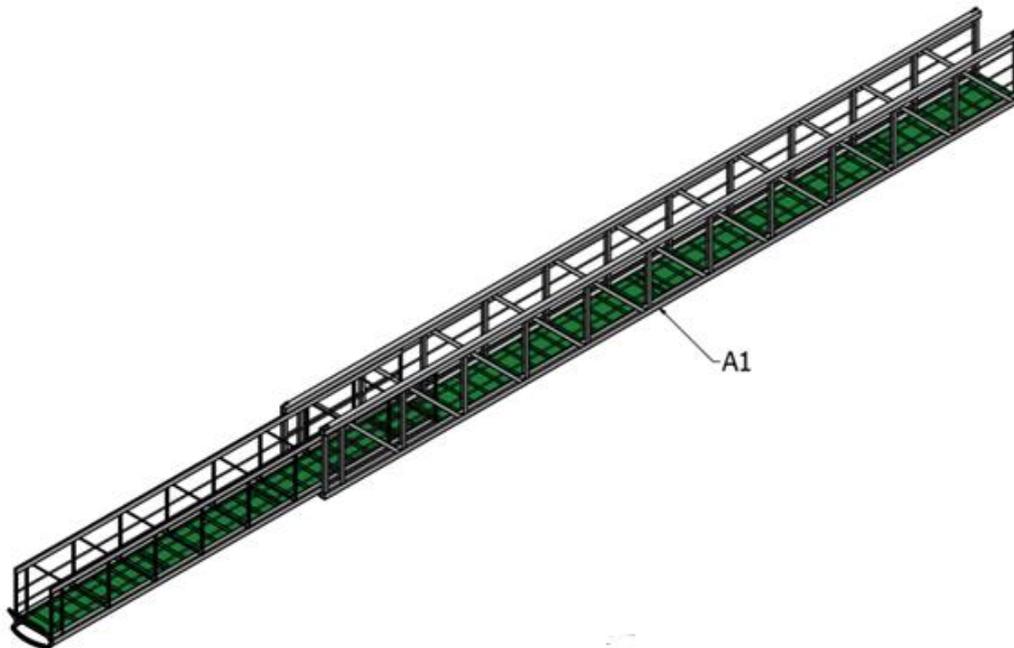
7. Resultat

I dette kapitlet presenteres resultatene av dimensjoneringen av gangbruen, som er delt opp i 5 deler. Første delkapittel Design tar for seg utformingen av gangbruen med de løsningene og dimensjonene som har blitt valgt. Andre delkapittel Risikoanalyse tar for seg oppdelingen av gangbruen inkludert feilmekanismene som danner utgangspunktet for hvilken dimensjoneringskriterier som er gjeldende. Tredje delkapittel tar for seg de utvalgte lasttilfellene og -verdiene som gangbruen utsettes for. Fjerde delkapittel FEM-analyse vil presentere det endelige resultatet fra de tre første delkapitlene. Resultatet er en analyse ut ifra dimensjoneringskriteriene, og modelleringen basert på designen og lastene som er blitt bestemt, i ANSYS. Siste og femte delkapittel er et enkelt prisoverslag på materialet til gangbruen.

7.1. Design

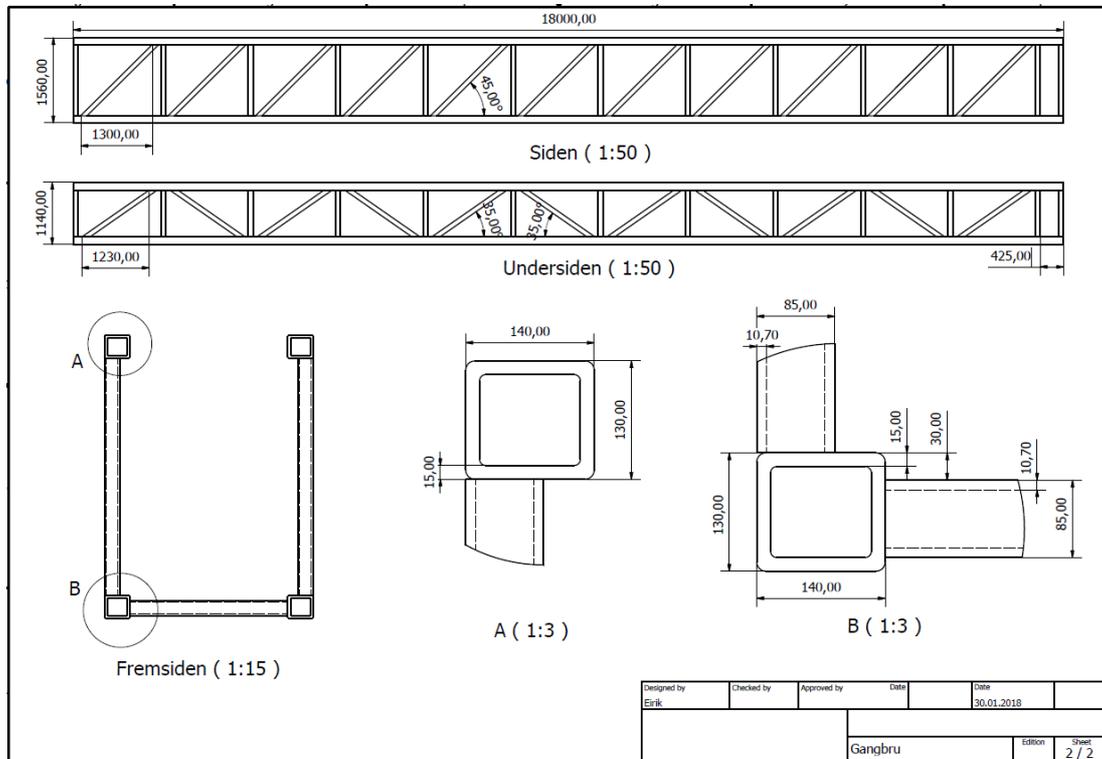
Basert på teorikapitlet om Designkonsept og Designkriterier, av mulige utforminger for bruen, vil dette kapitlet presentere resultatet av bruens design.

Designen av bruen som helhet vil ta utgangspunkt i eksisterende bruer, illustrert gjennom Figur 7.1 inkludert gåbane med gitterrist og støtfanger (bumper) på tuppen. Slik det fremgår av tegningen er designen fagverksbasert. Utover dette er det tiltenkt et belegg (coating) som sørger for en friksjonsfri glidning mellom MB og TB. Vedlegg D.1 inneholder eksempler på en type gitterrist og belegg.

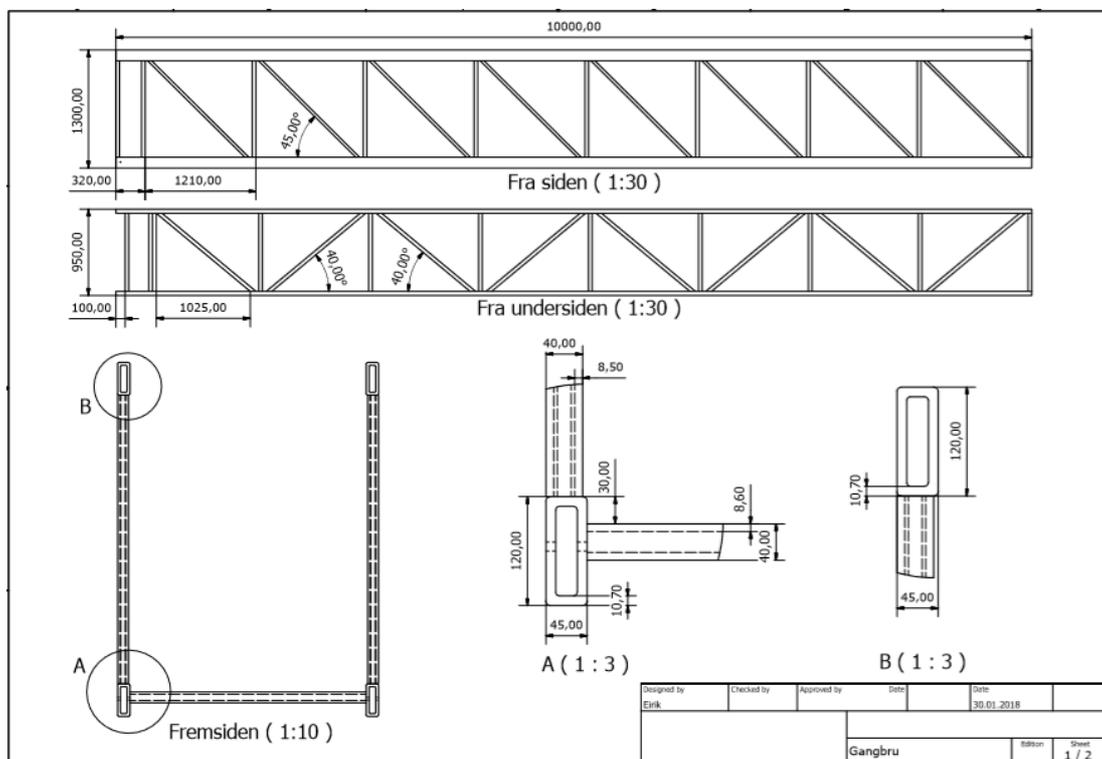


Figur 7.1 Gangbruen i utstrakt posisjon

Figur 7.2 og Figur 7.3 viser arbeidstegninger for henholdsvis MB og TB. Alle mål er oppgitt i mm. MB og TB har en total lengde på henholdsvis 18 m og 10 m, og en overlapp på 3 m. Gangbruens effektive lengde vil da være 25 m i utstrakt posisjon. Ved tilbaketrunket posisjon skal hele TB kunne gå inn i MB, slik at lengden vil være 18 m i hviletilstand.



Figur 7.2 Arbeidstegningen til MB



Figur 7.3 Arbeidstegningen til TB

Tabell 7.1 og Tabell 7.2 er en oversikt over dimensjonene til bruens elementer.

| MB | | |
|---------------------------|---------------|-------------|
| Parameter | Bjelke | Stag |
| Tverrsnitt, høyde (mm) | 130 | 85 |
| Tverrsnitt, bredde (mm) | 140 | 85 |
| Tverrsnitt, tykkelse (mm) | 15 | 10.7 |

Tabell 7.1 MB dimensjoner på tverrsnitt

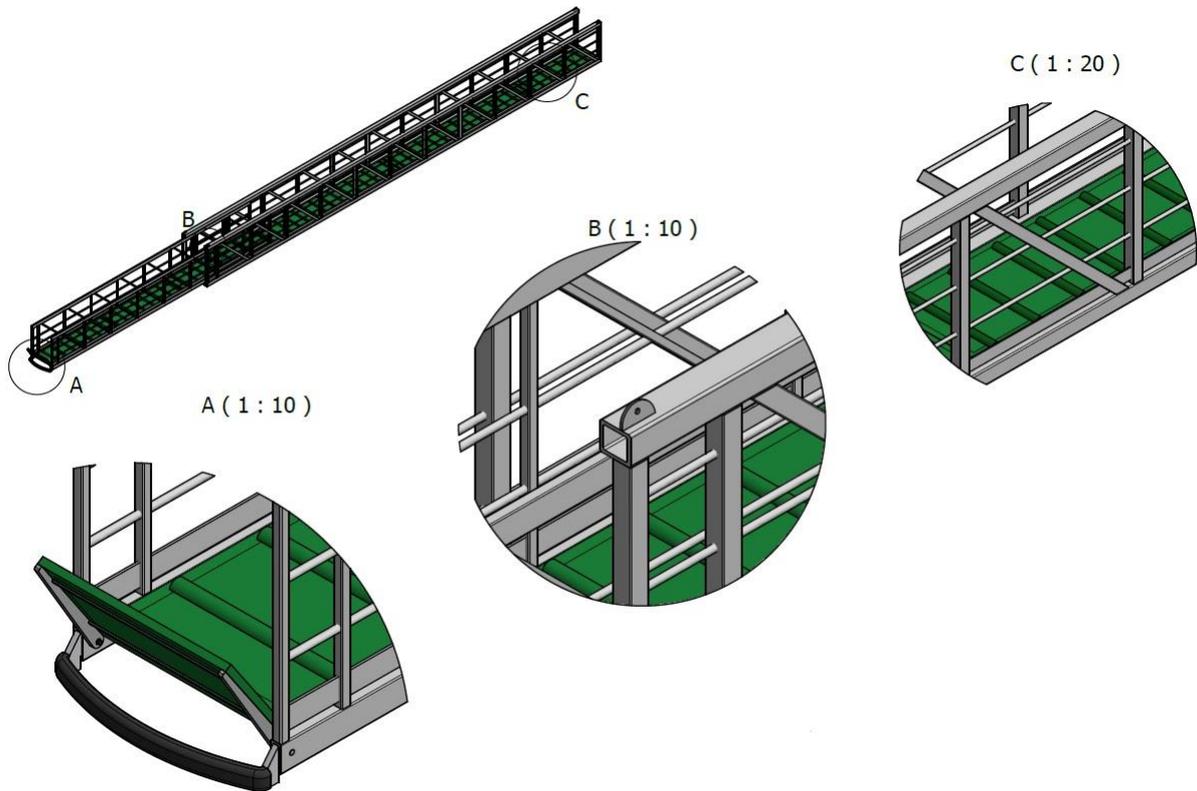
| TB | | |
|---------------------------|---------------|-------------|
| Parameter | Bjelke | Stag |
| Tverrsnitt, høyde (mm) | 120 | 40 |
| Tverrsnitt, bredde (mm) | 45 | 40 |
| Tverrsnitt, tykkelse (mm) | 10.7 | 10.7 |

Tabell 7.2 TB dimensjoner på tverrsnitt

Tabell 7.3 viser resultatet av beregningene gjort i vedlegget om Materialdata. Verdiene er videre brukt som inputdata i ANSYS.

| Glassfiberkompositt | |
|----------------------------|---------------------------------|
| Parametere | Verdi |
| E₁ | 48074 [MPa] |
| E₂ | 7959 [MPa] |
| G₁₂ | 3005 [MPa] |
| G₂₁ | 1616 [MPa] |
| v₁₂ | 0.286 |
| v₂₁ | 0.018 |
| ρ | 9.905E-07 [kg/mm ³] |

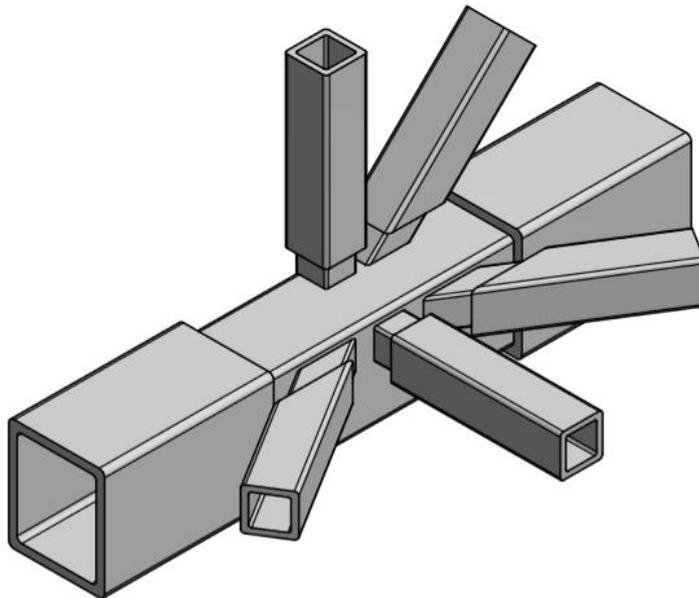
Tabell 7.3 Materialegenskaper



Figur 7.4 Detaljtegning

Figur 7.4 er et bilde av utformingen til forskjellige detaljer av gangbruen. Detalj A viser overgangsplaten og støtfangeren. Platen fungerer som en forlengelse av gåbanen og kan bevege seg i Y-retning (vertikalretning). Støtfangeren tar opp støt i X-retning. Detalj B viser løfteørene som skal brukes under montering/demontering. Detalj C viser gjerdet som er limt på stagene.

Av hensyn til enklere utskiftning av enkelte stag er følgende løsning valgt for alle knutepunkter, illustrert gjennom Figur 7.5. Modulen består av en primærbjelke med flere utstikk, der bjelkene og stagene kan tres inn på modulen.



Figur 7.5 Knutepunkt

I metodekapitlet om Materialsystem har det blitt diskutert om mulige valg av lagstrukturen. Andelen av lag/laminater i forskjellige orientering kan avvike litt fra det som er nevnt. På denne måten får sekvensen en fornuftig oppbygging.

Bjelkene til MB og TB inneholder henholdsvis totalt 56 og 40 lag, presentert i Tabell 7.4 og Tabell 7.5. Tilsvarende for stagene er det totalt 40 og 32 lag, presentert i Tabell 7.6 og Tabell 7.7.

| Lagsekvens Bjelke MB | |
|-----------------------------|---|
| Alternativ B | $[45 / 0_5 / -45 / 0_5 / 45 / 0_5 / -45 / 90 / 45 / 0_4 / 90 / -45 / 90]_s$ |
| Alternativ C | $[(45 / 0 / -45 / 0)_4 / (45 / 0 / -45 / 90)_3]_s$ |

Tabell 7.4 Lagsekvens MB Bjelke

| Lagsekvens Bjelke TB | |
|-----------------------------|---|
| Alternativ B | $[45 / 0_4 / -45 / 0_4 / 45 / 0_4 / -45 / 90 / 0_2 / 90]_s$ |
| Alternativ C | $[(45 / 0 / -45 / 0)_3 / (45 / 0 / -45 / 90)_2]_s$ |

Tabell 7.5 Lagsekvens TB Bjelke

| Lagsekvens Stag MB | |
|---------------------------|--|
| Alternativ E | $[(45 / 0 / -45 / 90)_5]_s$ |
| Alternativ F | $[(45 / 0 / -45 / 0)_3 / (45 / 0 / -45 / 90)_2]_s$ |

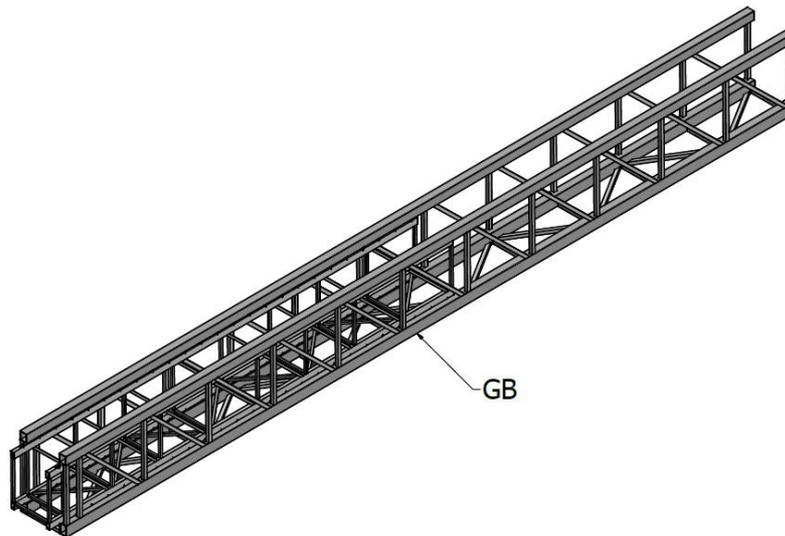
Tabell 7.6 Lagsekvens MB Stag

| Lagsekvens Stag TB | |
|--------------------|--------------------------------------|
| Alternativ E | $[(45/0/-45/90)_4]_s$ |
| Alternativ F | $[(45/0/-45/0)_2/(45/0/-45/90)_2]_s$ |

Tabell 7.7 Lagsekvens TB Stag

7.2. Risikoanalyse

Hovedstruktur



Figur 7.6 Gangbru (GB)

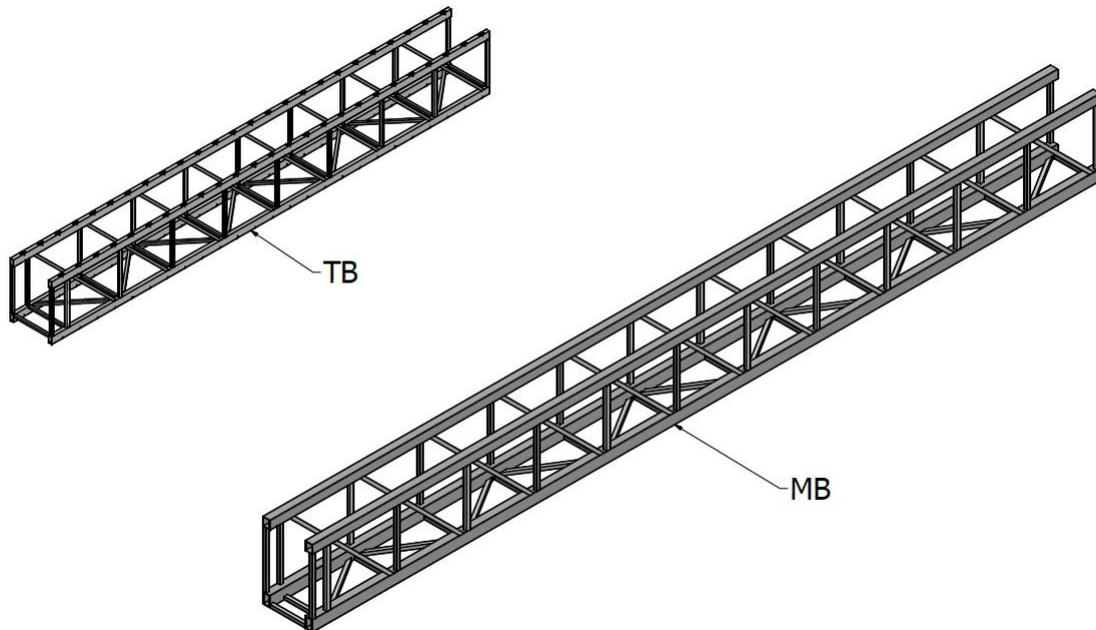
| Gangbru - GB | | | |
|----------------------------|----------|-------------------------------|-------------|
| Feilmekanisme | Feiltype | Sikkerhets- /serviceklasse | Kommentarer |
| Global nedbøyning (enden) | Plastisk | Normal | - |
| Global nedbøyning (midten) | Plastisk | Normal | - |
| Knekking | * | Høy | - |
| Utmatting | - | Høy | - |
| Slagskade | - | - | Revurdering |
| Brann | - | - | Revurdering |

Tabell 7.8 Gangbruens feilmekanismer. *Kan være duktil, plastisk eller sprø.

Figur 7.6 viser konstruksjonen i sin helhet. Gangbruens funksjon er å danne en passasje mellom et fartøy og en installasjon. Bruen regnes ikke lenger som funksjonell når den ikke lenger kan utføre oppgaven, eller etter at bruens levetid overstiger 40 år. Tabell 7.8 viser feilmekanismene som er gjort rede for i oppgaven på hele gangbruens, inkludert feiltype og tilhørende sikkerhets-/serviceklasse.

Ved slagskade eller brann må det utføres en revurdering av alle kravene.

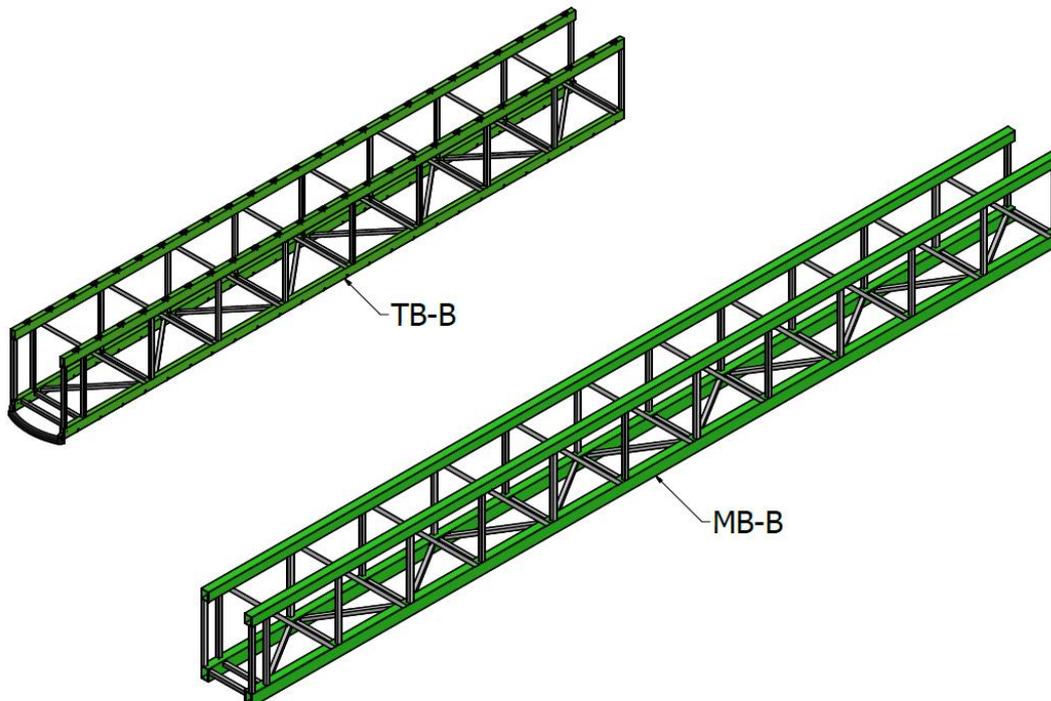
Understrukturer



Figur 7.7 Main Boom og Telescoping Boom

Figur 7.7 viser hvordan gangbruens er delt inn i to understrukturer, henholdsvis MB og TB. Individuelt skal hver understruktur kunne utføre Gangbruens (GB) funksjon og dermed oppleve de samme feilmekanismene som vist i Tabell 7.8. Unntaket er knekking, da ANSYS oppgir en og samme verdi for knekking for hele strukturen.

Bjelker



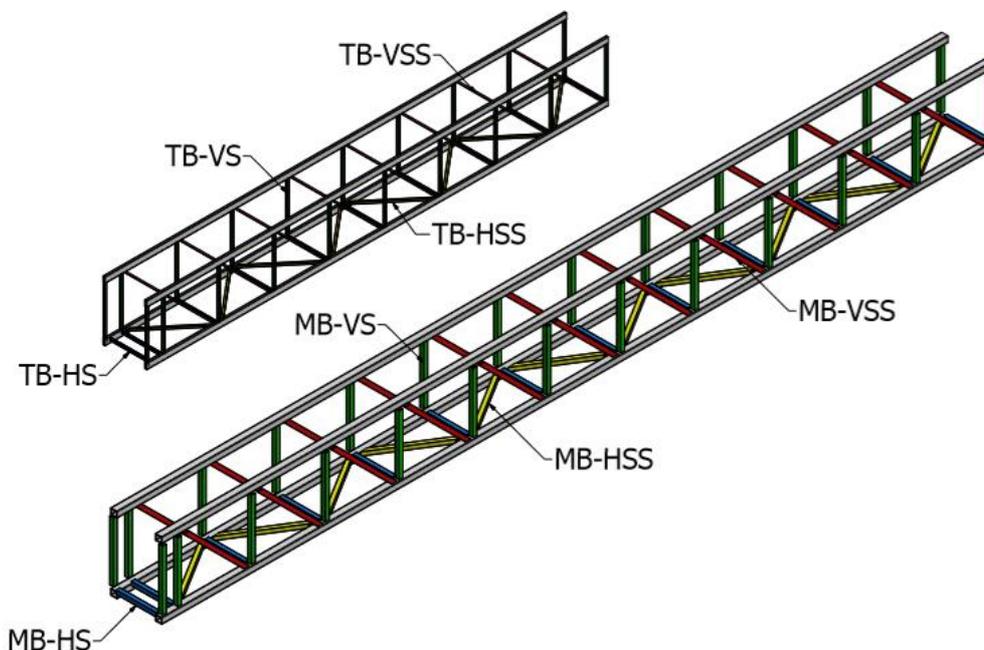
Figur 7.8 Bjelker (markert i grønn)

| Bjelker TB-B og MB-B | | | |
|----------------------|----------|---------------------------|-----------|
| Feilmekanisme | Feiltype | Sikkerhets-/serviceklasse | Kommentar |
| Fiberbrudd | Sprø | Høy | - |

Tabell 7.9 Bjelkenes feilmekanismer

Figur 7.8 viser bjelkene som står for bæringen av bruene og bidrar til bruens generelle stivhet. Bjelkenes hovedfunksjon er å overføre krefter fra stag og direkte påførte laster til opplagerne. Bjelkene danner et kraftpar hvor de to øverste bjelkene hovedsakelig tar opp strekkrefter og de to nederste trykkrefter. De regnes for å ha feilet når funksjonen, nevnt ovenfor, ikke lenger kan utføres. Tabell 7.9 viser feilmekanisme, feiltype og tilhørende sikkerhets-/serviceklasse.

Fagverksstag



Figur 7.9 Fagverkstagene (markert i grønt, rødt, blått og gult)

Figur 7.9 viser alle fagverkstagene i bruene. Alle stagene er delt inn i tilhørende understrukturer og om det er et skrå- eller vinkelrettstag. Navnene er forklart i Tabell 7.10 med fargekoder som er brukt i Figur 7.9.

| Forkortelse | Fullt navn | Farge |
|-------------|---|--------|
| MB-HSS | Main Boom – Horisontalt Skråstag | Yellow |
| MB-HS | Main Boom – Horisontalt Stag | Blue |
| MB-VSS | Main Boom – Vertikalt Skråstag | Green |
| MB-VS | Main Boom – Vertikalt Stag | Red |
| TB-HSS | Telescoping Boom – Horisontalt Skråstag | Yellow |
| TB-HS | Telescoping Boom – Horisontalt Stag | Blue |
| TB-VSS | Telescoping Boom – Vertikalt Skråstag | Green |
| TB-VS | Telescoping Boom – Vertikalt Stag | Red |

Tabell 7.10 Fargeforklaring på stagene

| Fagverksstagene i MB og TB (Skråstag og vinkelrettstag) | | | |
|---|----------|-------------------------------|-----------|
| Feilmekanisme | Feiltype | Sikkerhets- /serviceklasse | Kommentar |
| Fiberbrudd | Sprø | Normal | - |

Tabell 7.11 Fagverksstagenes feilmekanismer

Fagverksstagenes oppgave er å overføre nyttelasten fra gitterristen og vindlasten til bjelkene. De skal også holde kontakt mellom bjelkene slik at hele konstruksjonen samvirker om å utføre formålet. Stagene regnes som feilet når de ikke lenger kan utføre de nevnte oppgavene. Tabell 7.11 viser feilmekanismene, feiltypene og tilhørende sikkerhets-/serviceklasser.

7.2.1. Konsekvensutredning

Fiberbrudd

Fiberbrudd på stag regnes for å ha en hyppighet på 2 og en konsekvens på 3. Risikoen er dermed satt til gul. Bruen tas ut av bruk for at skaden kan repareres, uten at det nødvendigvis er fare for sikkerhet eller havari. Tiltaket ved feilmekanismen er å erstatte den defekte komponenten.

Fiberbrudd på bjelker har en hyppighet på 1. Et tilfelle av fiberbrudd er dermed ikke akseptabelt i den kritiske komponenten. konsekvensen er satt til 4 ettersom bruene ikke er konstruert for å holde med kun tre bærende elementer. Risikoen er dermed satt til rød. For å forhindre at et slikt tilfelle skal skje må komponenten erstattes og utbedres straks tegn til feil oppdages.

Knekking

Knekking i stag skal ha en hyppighet som ikke overskrider 2 og har en medregnet konsekvens på 3. Risikoen er dermed satt til gul. Ved knekking skal komponenten erstattes.

Ved knekking i bjelker er hyppigheten satt til 1 og konsekvensen satt til 4. Risikoen er dermed rød og knekking i bjelkene er derfor ikke akseptabelt. Ved opptredende feilmekanisme skal komponenten utbedres og erstattes.

Nedbøyning

Konsekvensen av nedbøyning er satt til 1 ettersom nedbøyning alene ikke gir skader på hverken personell eller materiell. Hyppigheten settes til 2 siden den største lasten som eventuelt kan øke nedbøyningen over den forventede verdien er sjeldne laster (f.eks. 100 års bølge).

Utmatting (statisk og dynamisk)

Utmatting i stagene har en konsekvens på 3 og en hyppighet på 1. Utmattingsskader er ikke forventet å kunne oppstå under bruens levetid. Risikoen er dermed satt til gul. Ved denne typen skader skal komponenten erstattes.

For utmatting av bjelkene er konsekvensen satt til 4 og hyppigheten til 1. Risikoen blir dermed rød og det er ikke akseptabelt at utmatting inntreffer. Om det skulle være fare for utmattingsskader må komponenten i første omgang overvåkes og om nødvendig erstattes og utbedres.

Utmatting kan også øke sannsynligheten for at andre feilmekanismer som fiberbrudd, knekking og større nedbøyning kan oppstå.

Slagskade

Slagskade er en flyktig feilmekanisme som varierer i stor grad avhengig av størrelse på lasten. Hver slagskade må derfor vurderes individuelt. Store slagskader kan være kollisjoner med annet utstyr eller installasjoner. Mindre kan oppstå ved dårlig kontakt mellom installasjon og bru under operasjon. Ved slagskader må bruens undersøkelse for alle de øvrige feilmekanismene. Tiltak vurderes deretter.

Brann

Ved brann skal hele bruens undersøkelse med hensyn på de øvrige feilmekanismene. Alle skadde komponenter skal erstattes. Det skal også gjennomføres en undersøkelse med hensyn på brannforebyggende tiltak.

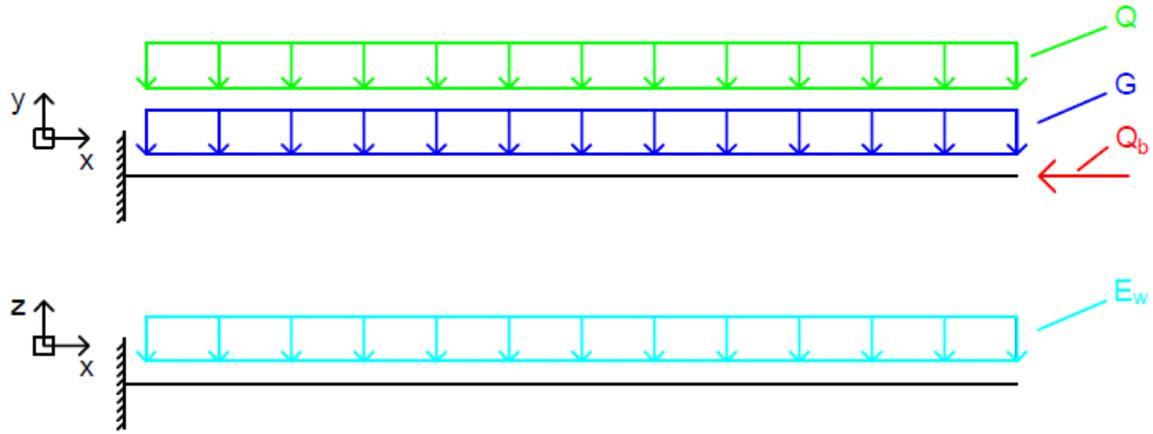
7.3. Dimensjonerende lasttilfeller

Som diskutert i metodekapitlet om Fastsettelse av laster og lastkombinasjoner finnes det flere lasttilfeller. I analysen er det blitt valgt ut 3 dimensjonerende tilfeller der lastverdiene er på sitt høyeste. Tabell 7.12 er en oversikt over lastverdiene i N. Det er tatt ut et tilfelle ved normal drift vist ved Figur 7.10 Lasttilfelle 1B, frakopling ved nødsituasjon vist ved Figur 7.11 Lasttilfelle 3 og parkert tilstand vist ved Figur 7.12.

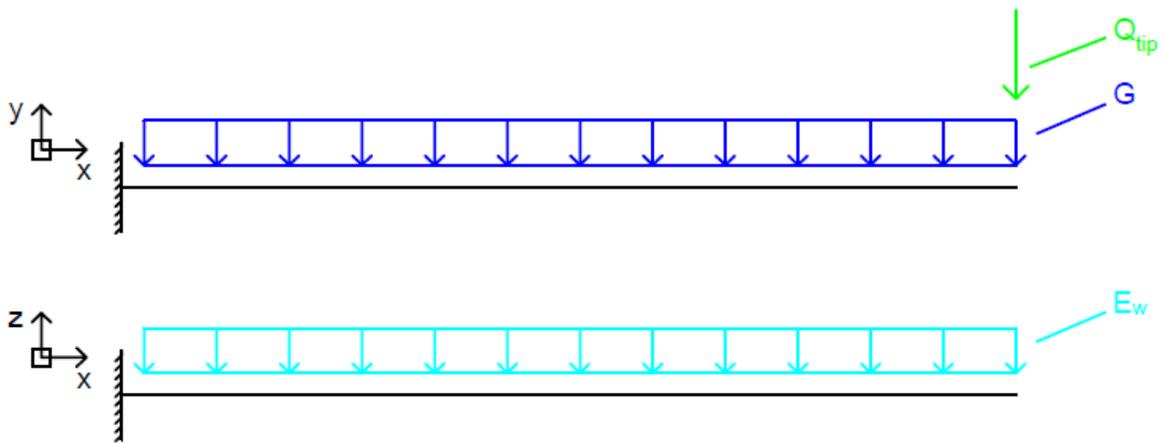
| Utvalgte lasttilfeller | | | |
|------------------------------|-----------------|-----------------|------------|
| | LT1B | LT3 | LT4 |
| G | 2100 x MOA | 2100 x MOA x DF | 2100 x MTA |
| Q | 2 x 3 000 x MOA | | |
| Q_{tip} | | 3 500 | |
| Q_b | 8 000 | | |
| E_w | 18 750 | 18 750 | 69 200 |
| MOA = MTA = 2 | | | |
| DF_y = 1.1 | | | |
| DF_z = 1.05 | | | |

Tabell 7.12 Utvalgte Lasttilfeller

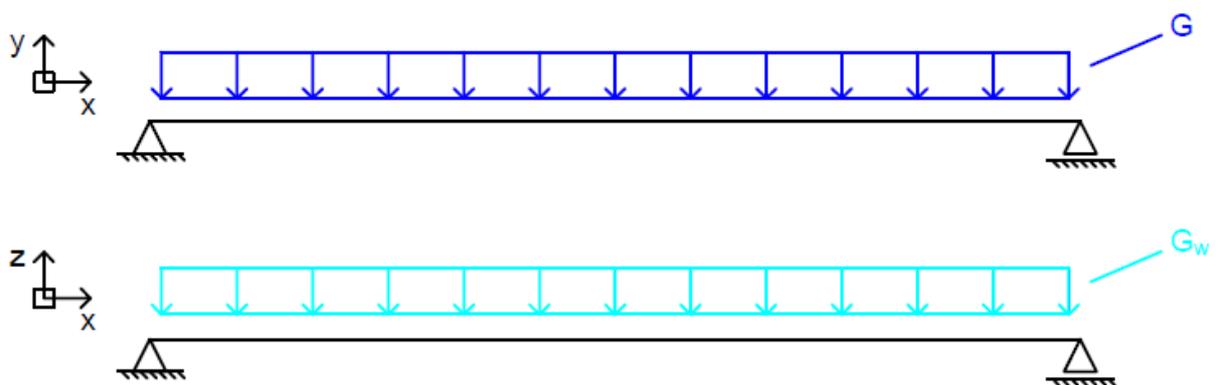
Det er verdt å merke seg at gangbruens vil behandles som en fritt opplagt bjelke i lasttilfelle 4, mens den blir behandlet som en utkraget bjelke i de 2 øvrige tilfellene.



Figur 7.10 Lasttilfelle 1B



Figur 7.11 Lasttilfelle 3



Figur 7.12 Lasttilfelle 4

7.4. FEM-analyse

For å kunne presentere resultatene fra FEM-analysen på en oversiktlig måte, har det blitt plukket ut de verste situasjonene av de utvalgte lasttilfellene. En fullstendig oversikt over alle resultatene er presentert gjennom Mathcad i vedlegg G.

7.4.1. Fastsettelse av lagsekvens før analyse

Tabell 7.13 er en oversikt over de 4 materialkombinasjonene som gir minst nedbøyning. Basert på dette vil B-F være den valgte kombinasjonen som grunnlag for videre analyse. Alle verdier er oppgitt i mm.

| Deformasjon ved forskjellige lagsekvenser | | | |
|---|--------|--------|-------|
| Materialkombinasjon | LT 1B | LT 3 | LT 4 |
| B-E | 164.61 | 154.27 | 16.77 |
| B-F | 161.56 | 153.73 | 15.98 |
| C-E | 210.56 | 192.42 | 16.60 |
| C-F | 207.39 | 189.56 | 15.91 |

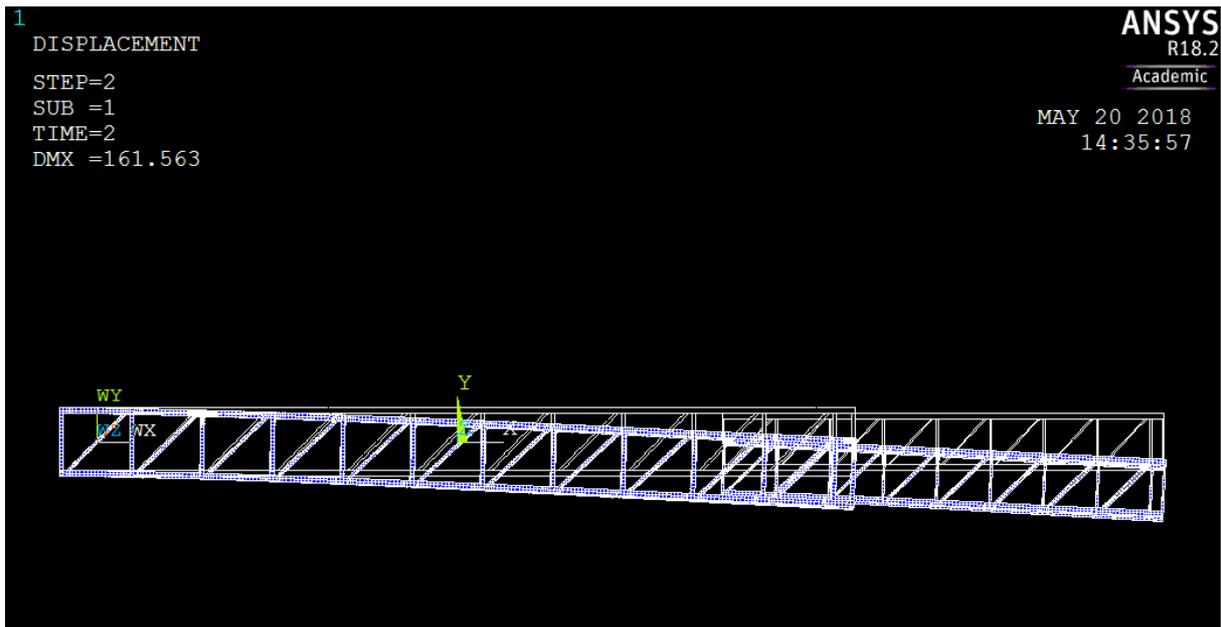
Tabell 7.13 Deformasjon med forskjellige lagsekvensen

7.4.2. Nedbøyning

Fra teorigapitlet om Designkriterier er kravet til nedbøyning på tuppen gitt som gangbruens lengde dividert på 100. Det verste tilfellet for nedbøyning er lasttilfelle 1B. Figur 7.13 illustrerer hvordan modellen bøyer seg ut av utgangsposisjon, mens Tabell 7.14 angir verdiene for nedbøyning.

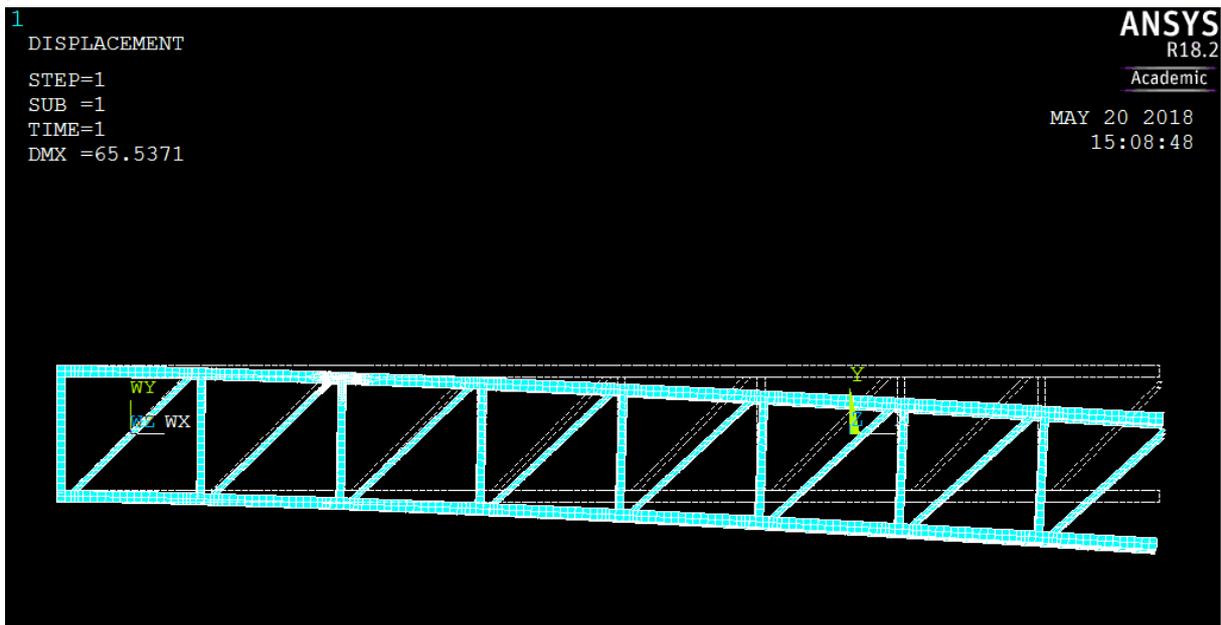
| Nedbøyning | | | |
|-------------------------|-----------|---------------|-----------------|
| | Krav [mm] | Resultat [mm] | Utnyttelsesgrad |
| Gangbruens hele lengde | 250 | 161.56 | 0.646 |
| Gangbruens halve lengde | 83.3 | 65.54 | 0.787 |

Tabell 7.14 Nedbøyning



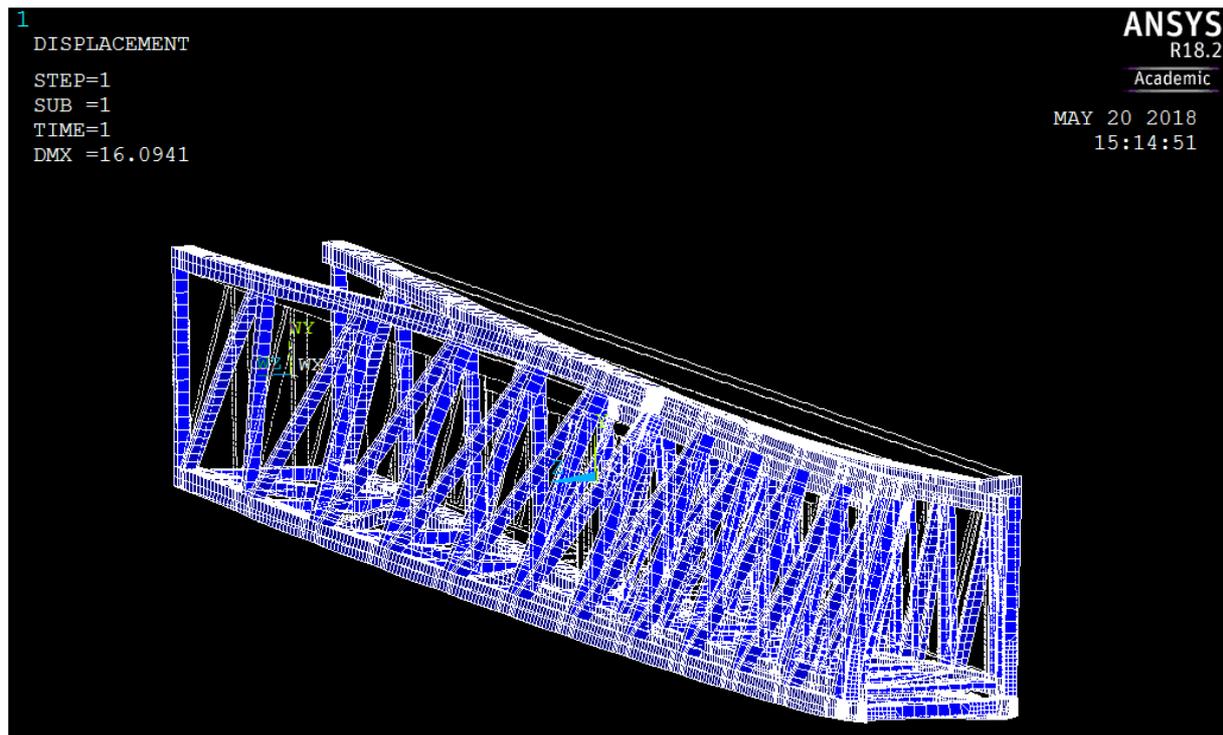
Figur 7.13 Nedbøyning

Figur 7.14 illustrerer nedbøyningen midt på gangbruens halvdel. Kravet er gangbruens halvdel dividert på 150.



Figur 7.14 Midtveis nedbøyning

Figur 7.15 illustrerer gangbruens deformasjon i lasttilfelle 4. Det er verdt å merke seg at ANSYS opererer med forskjellige skaleringer for å tydeliggjøre deformasjonen. Nedbøyningen i dette lasttilfellet er kun 16.09 mm, da gangbruens har som nevnt opplager i begge ender i dette tilfellet.



Figur 7.15 Nedbøyning ved lasttilfelle 4

7.4.3. Fiberbrudd

De største tøyningene er forårsaket av trykkspenninger, men utnyttelsesgraden er likevel lave. Karakteristisk tøyning for materialet er 0.028 og 0.015, henholdsvis for strekk og trykk. Tabell 7.15 og Tabell 7.16 er oversikter over de høyeste tøyningene fra de verste kombinasjonene og retningene.

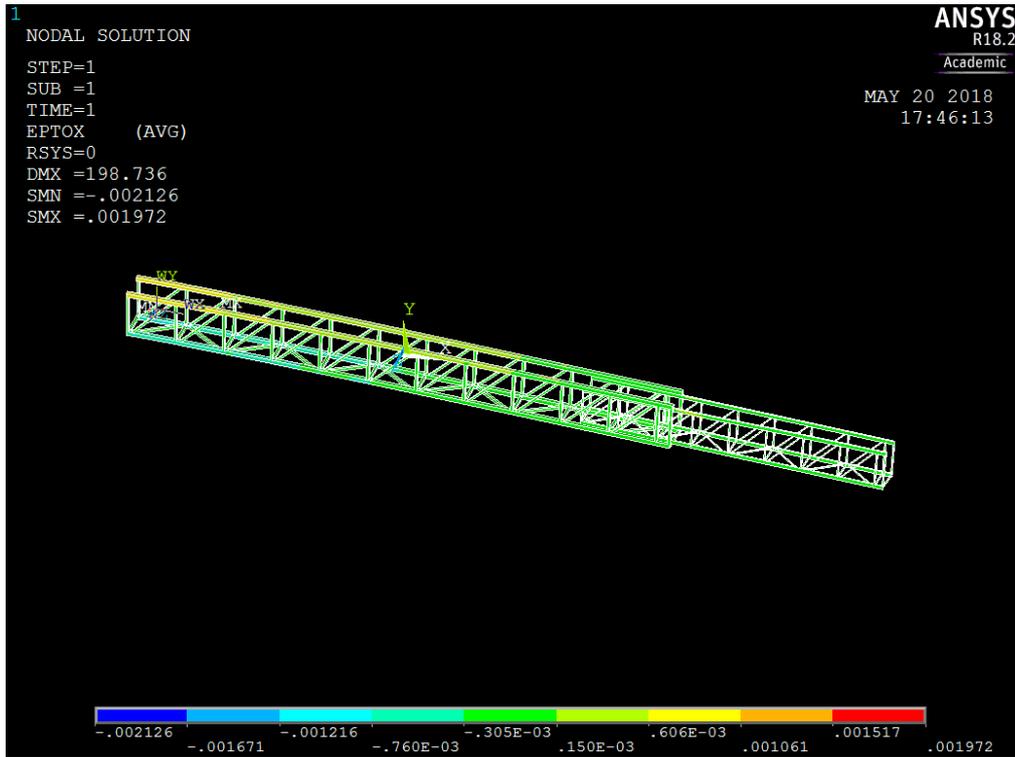
| Strekk | | | |
|----------------|----------|-----------------|-----------------------|
| | Tøyning | Utnyttelsesgrad | Kombinasjon |
| MB-B | 0.001972 | 0.132 | LT1B ULS A, X-retning |
| TB-B | 0.003059 | 0.204 | LT1B ULS B, Y-retning |
| MB-Stag | 0.001651 | 0.110 | LT1B ULS A, Y-retning |
| TB-Stag | 0.001290 | 0.086 | LT4 ULS B, Z-retning |

Tabell 7.15 Strekk

| Trykk | | | |
|----------------|----------|-----------------|-----------------------|
| | Tøyning | Utnyttelsesgrad | Kombinasjon |
| MB-B | 0.003289 | 0.410 | LT3 ULS B, Y-retning |
| TB-B | 0.003502 | 0.437 | LT1B ULS A, Y-retning |
| MB-Stag | 0.002058 | 0.257 | LT4 ULS B, Y-retning |
| TB-Stag | 0.000894 | 0.111 | LT4 ULS B, Z-retning |

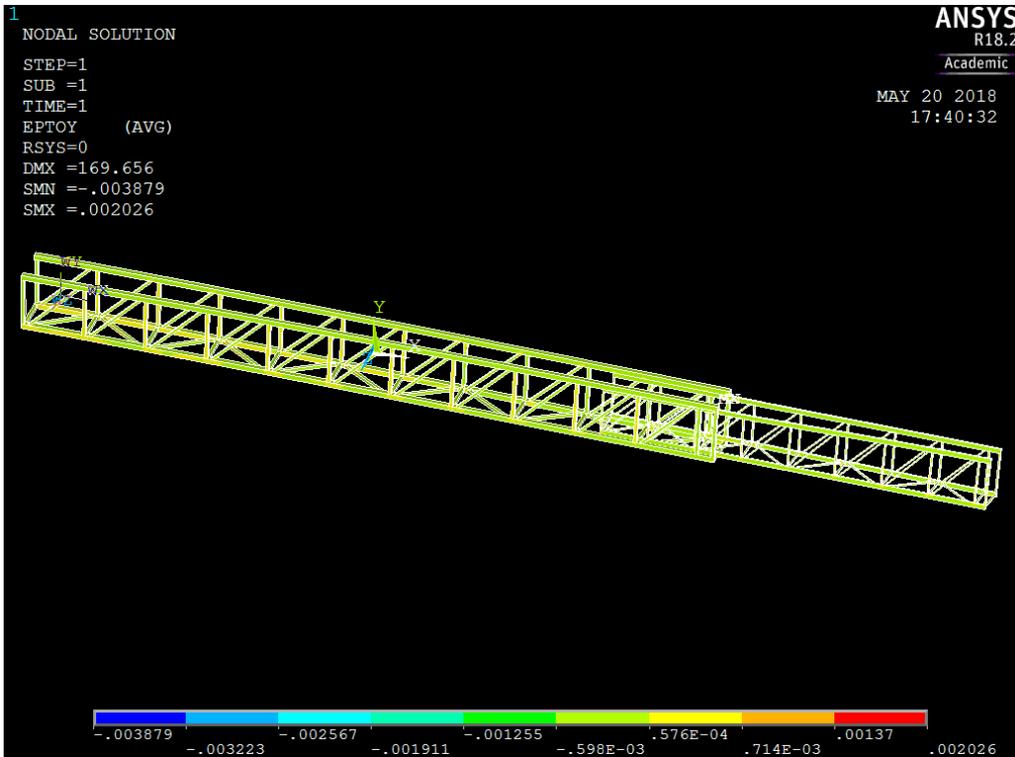
Tabell 7.16 Trykk

Figur 7.16 illustrerer tøyningene i X-retning, for hele gangbruen.



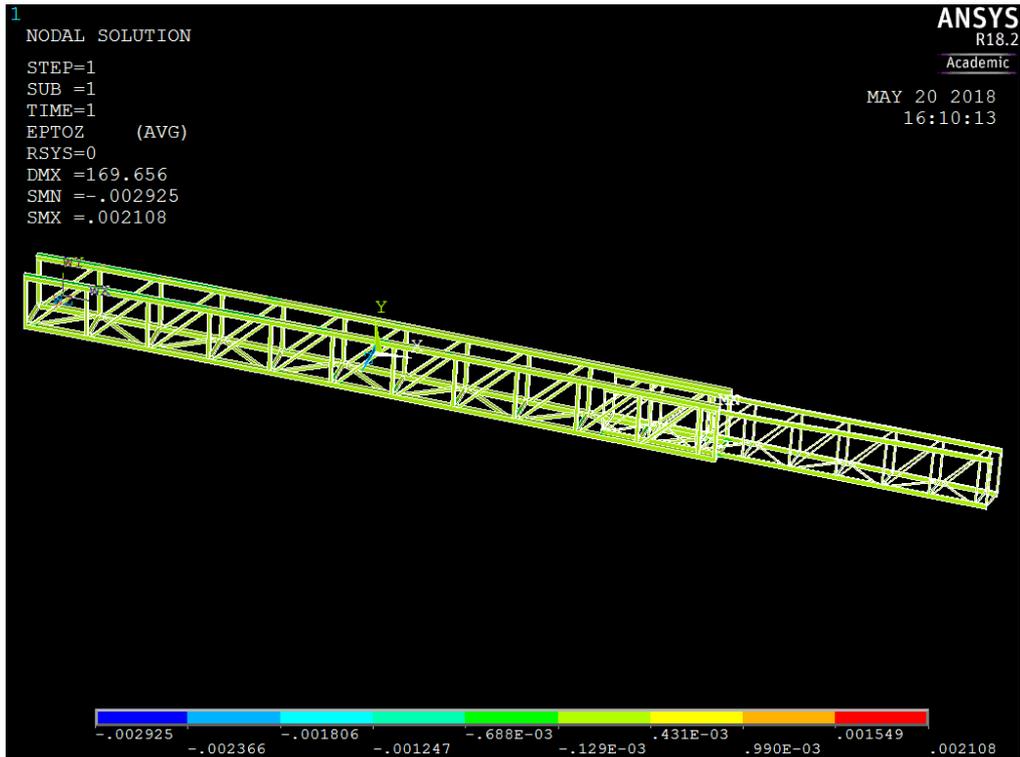
Figur 7.16 Tøyningene i X-retning

Figur 7.17 illustrerer tøyningene i Y-retning, for hele gangbruen.



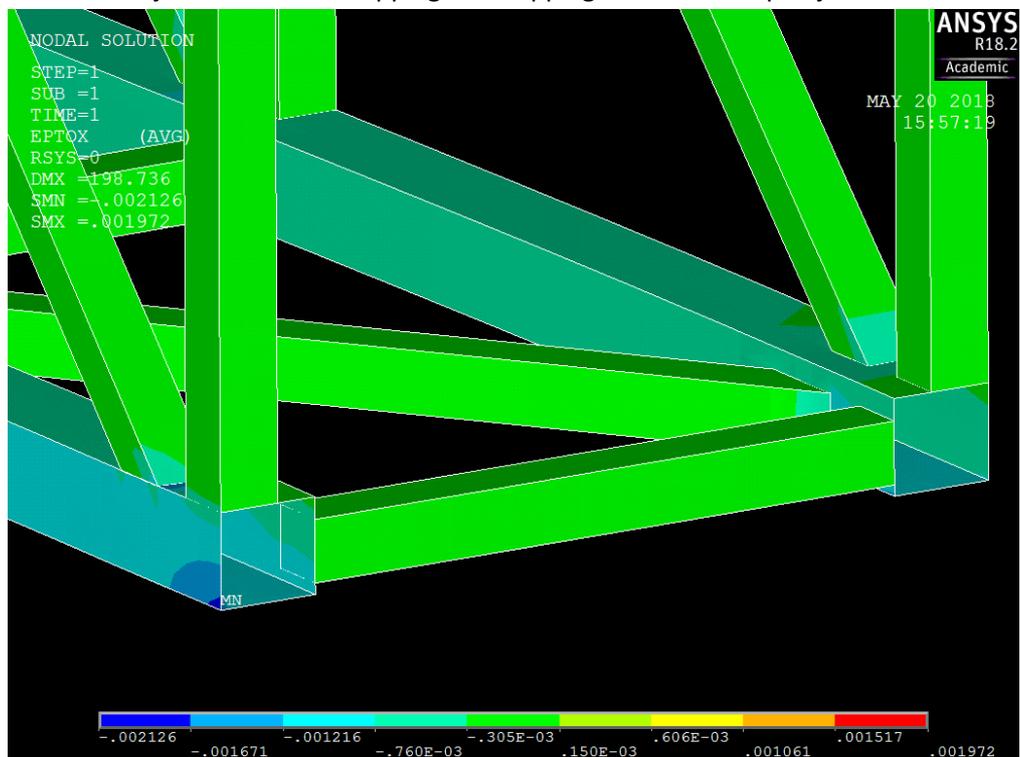
Figur 7.17 Tøyningene i Y-retning

Figur 7.18 illustrerer tøyningene i Z-retning, for hele gangbruen.



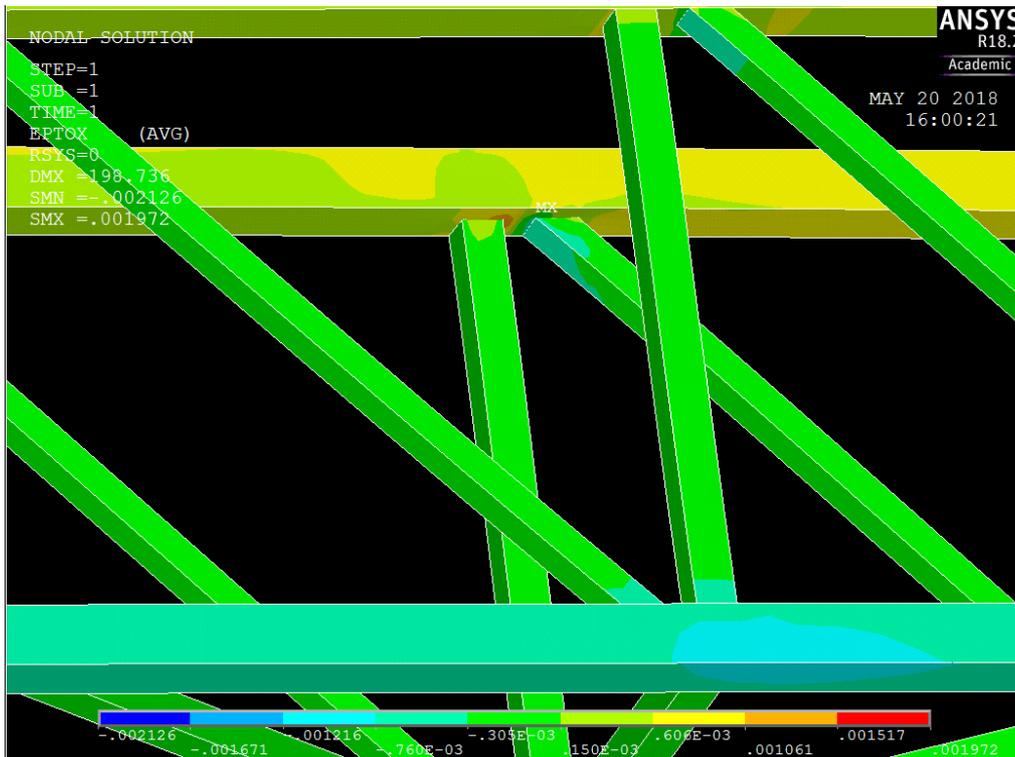
Figur 7.18 Tøyningene i Z-retning

Figur 7.19 er et detaljbilde av MB ved opplagrene. Opplagrene er festet på bjelkene.



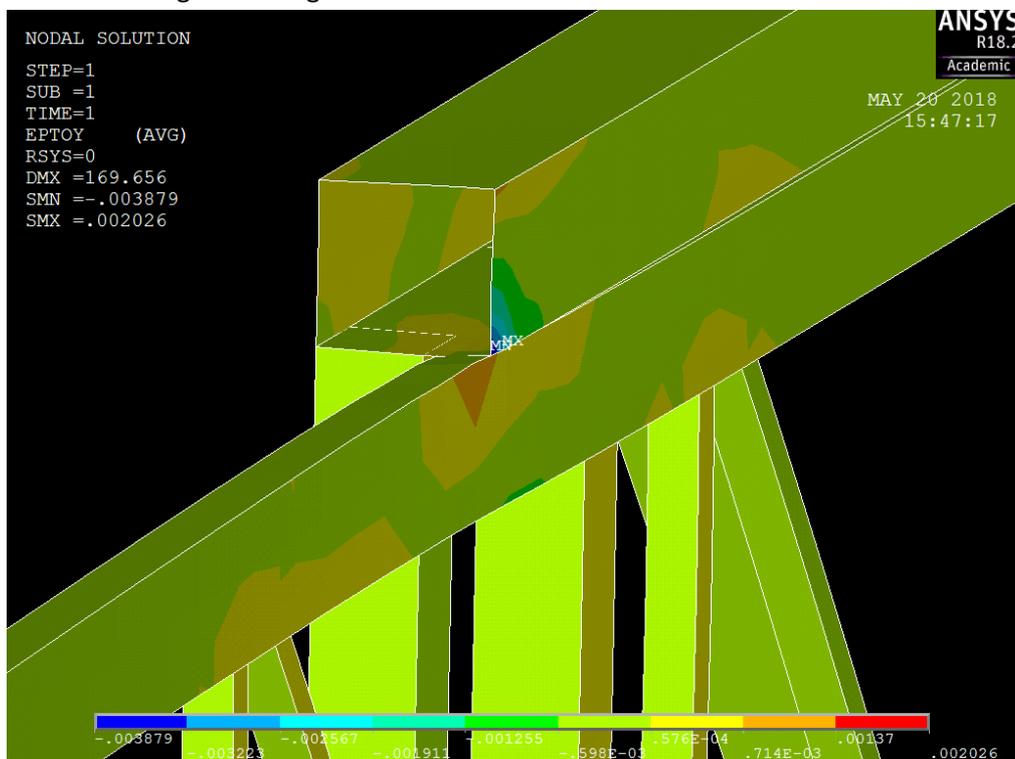
Figur 7.19 Tøyninger i opplagrene

Figur 7.20 er et detaljbilde av hvordan tøyningene fordeler seg i over- og underbjelken for MB. Her kommer det tydelig frem at overbjelken er i strekk, mens underbjelken er i trykk.



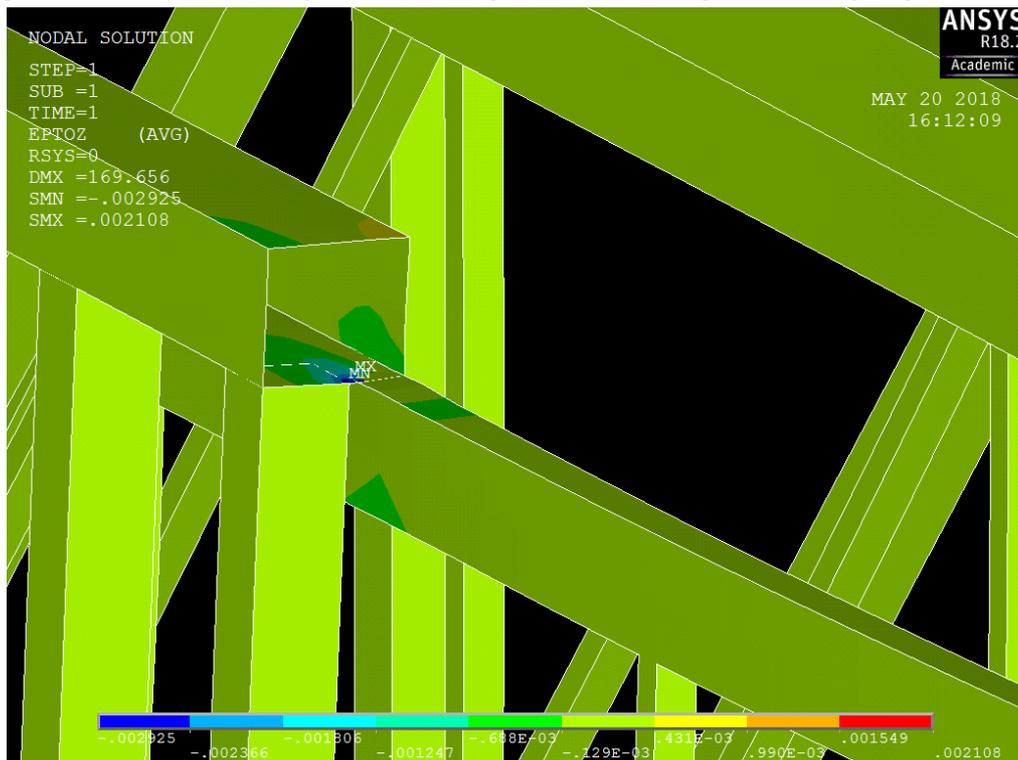
Figur 7.20 Fordeling av tøyninger i over- og underbjelkene

Figur 7.21 er et detaljbilde av koblingen mellom MB og TB, der den største tøyningen for hele gangbruen befinner seg i Y-retning.



Figur 7.21 Fordeling av tøyninger i Y-retning mellom koblingen av MB og TB

Figur 7.22 er et annet detaljbilde av koblingen mellom MB og TB, med tøyning i Z-retning.



Figur 7.22 Tøyninger i Z-retning i koblingene mellom MB og TB

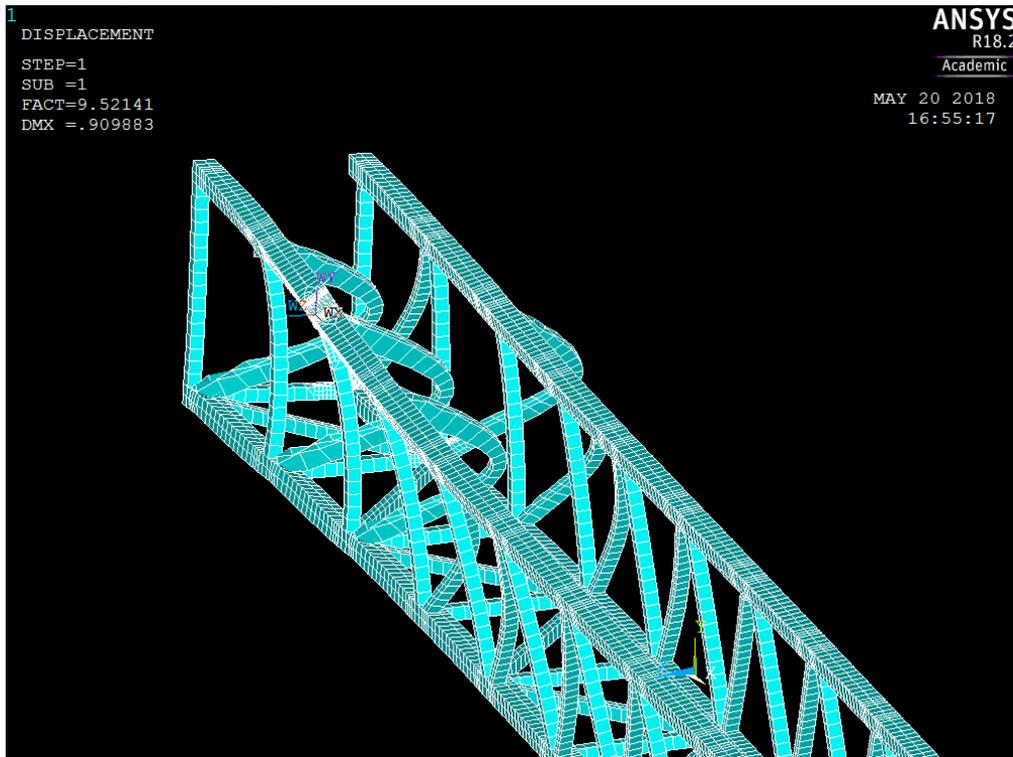
7.4.4. Knekking

ANSYS angir kapasiteten for knekking med en faktor som er multiplisert med lastene som påføres konstruksjon. F.eks. hvis faktoren er lik 2, og lastene som påføres er lik 3 N, så er kapasiteten for konstruksjon mot knekking lik $2 \times 3 \text{ N} = 6 \text{ N}$. Tabell 7.17 angir de laveste faktorene for knekking for de utvalgte lasttilfellene. Alle oppstår ved ULS A.

| Knekkingstall | |
|---------------|---------|
| LT 1B | 9.5214 |
| LT 3 | 11.597 |
| LT 4 | 10.4608 |

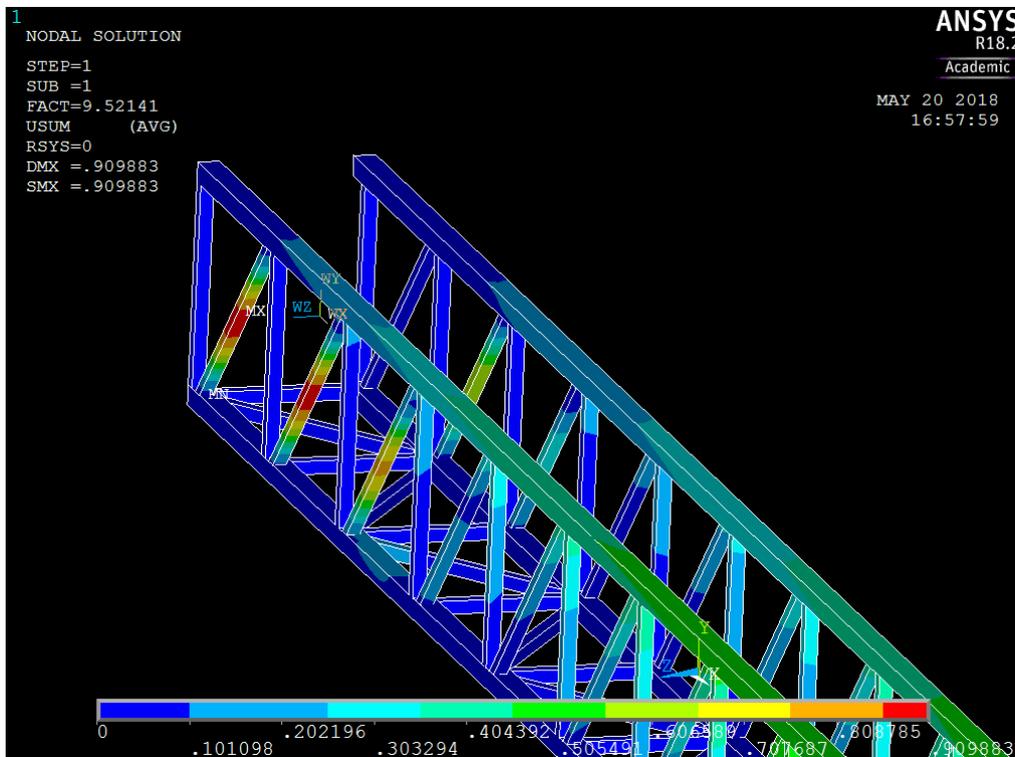
Tabell 7.17 Knekkingstall fra ANSYS

Figur 7.23 illustrerer knekkingen for lasttilfelle 1B med overdreven deformasjon. Skaleringen her er omtrent 1000 ganger av virkelig deformasjon.



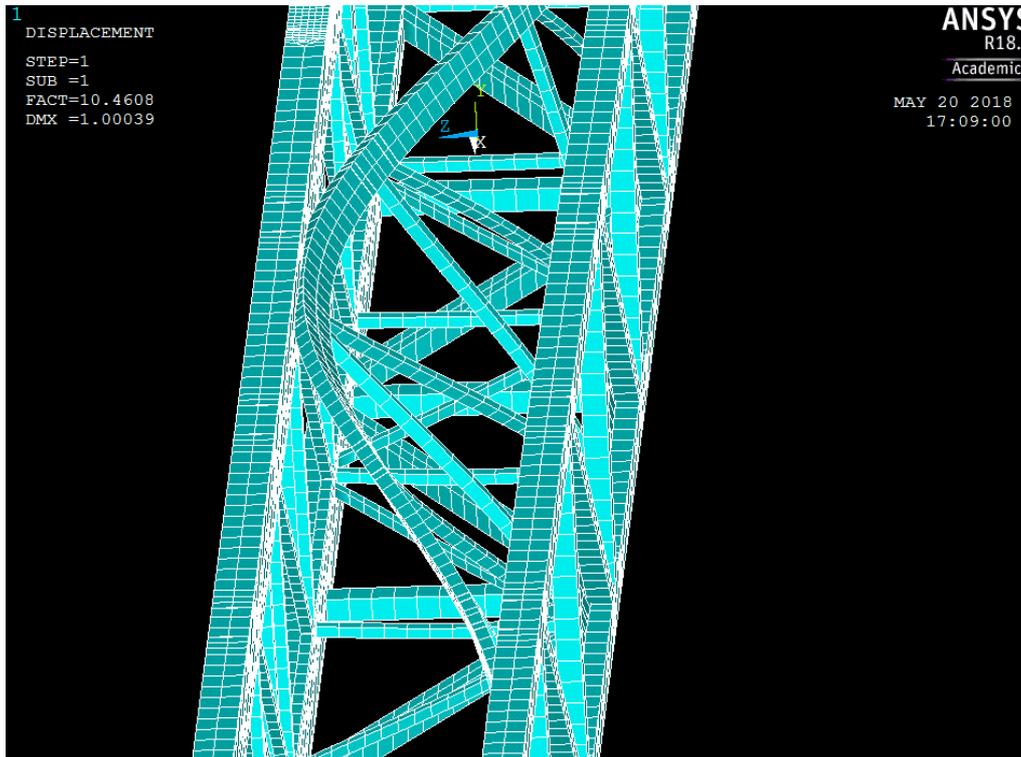
Figur 7.23 Illustrasjon av knekking utført i ANSYS

Figur 7.24 illustrerer knekkingen for lasttilfelle 1B. Skalaen indikerer forskyvningen i mm.



Figur 7.24 Knekking for lasttilfelle 1B

Figur 7.25 illustrerer knekkingen for lasttilfelle 4, i form av overdreven deformasjon. Skaleringen her er omtrent 900 ganger av virkelig deformasjon.



Figur 7.25 Knekkning for lasttilfelle 4

Figur 7.26 illustrerer knekkingen for lasttilfelle 4. Skalaen indikerer forskyvningen i mm.



Figur 7.26 Forskyvning ved knekking i lasttilfelle 4

7.4.5. Utmatting

Som diskutert i metodekapitlet om Fastsettelse/fremgangsmetode for dimensjoneringskriterier, beregnes utmattingen ved hjelp av tøyningene. Basert på teorikapitlet om Påvirkning av maritimt miljø er det lagt til i beregningene at kapasiteten for utmatting reduseres med 10% etter 10 år i bruk. For øvrig er alle antagelser for utmatting utdypet i vedlegg D.2.

Statisk utmatting

Levetiden til gangbruen er antatt til å være 40 år, fordelt mellom 4 år til brukstid og 36 år til dødtid (hviletid). Videre brukes den høyeste tøyningen av alle lasttilfeller for å forutse levetiden av gangbruen, for henholdsvis brukstid i brudd- og bruksgrensetilstand og dødtid.

Tabell 7.18 er oversikten over Miners sum i strekk.

| Miners sum i strekk, statisk | |
|------------------------------|---|
| MS dødtid | 3.291×10^{-15} |
| MS SLS | 3.646×10^{-16} |
| MS ULS | 1.929×10^{-16} |
| Sum | 3.848×10^{-15} |

Tabell 7.18 Miners sum for statisk utmatting i strekk

Tabell 7.19 er oversikten over Miners sum i trykk.

| Miners sum i trykk, statisk | |
|-----------------------------|--|
| MS dødtid | 5.71×10^{-9} |
| MS SLS | 1.523×10^{-8} |
| MS ULS | 1.208×10^{-8} |
| Sum | 3.302×10^{-8} |

Tabell 7.19 Miners sum for statisk utmatting i trykk

Dynamisk utmatting

For dynamisk utmatting er følgende sykluser inkludert: Vind i brukstid, kraftig og vanlig vind i dødtid, bumper- og nyttelast (persontransport). Tabell 7.20 er oversikten over Miners sum i strekk.

| Miners sum i strekk, dynamisk | |
|-------------------------------|--|
| MS i dødtid | 5.154×10^{-6} |
| MS i brukstid | 1.284×10^{-4} |
| Sum | 1.335×10^{-4} |

Tabell 7.20 Miners sum for dynamisk utmatting i strekk

Tabell 7.21 er oversikten over Miners sum i trykk

| Miners sum i trykk, dynamisk | |
|------------------------------|--------------|
| MS i dødtid | 0.097 |
| MS i brukstid | 0.014 |
| Sum | 0.111 |

Tabell 7.21 Miners sum for dynamisk utmatting i trykk

Kriteriet for Miners sum er at summen av alle skader skal være mindre enn 1. Høyeste skadefraksjon av alle tilfeller er summeringen for dynamisk utmatting i trykk, som er lik 0.111.

7.4.6. Slaglast

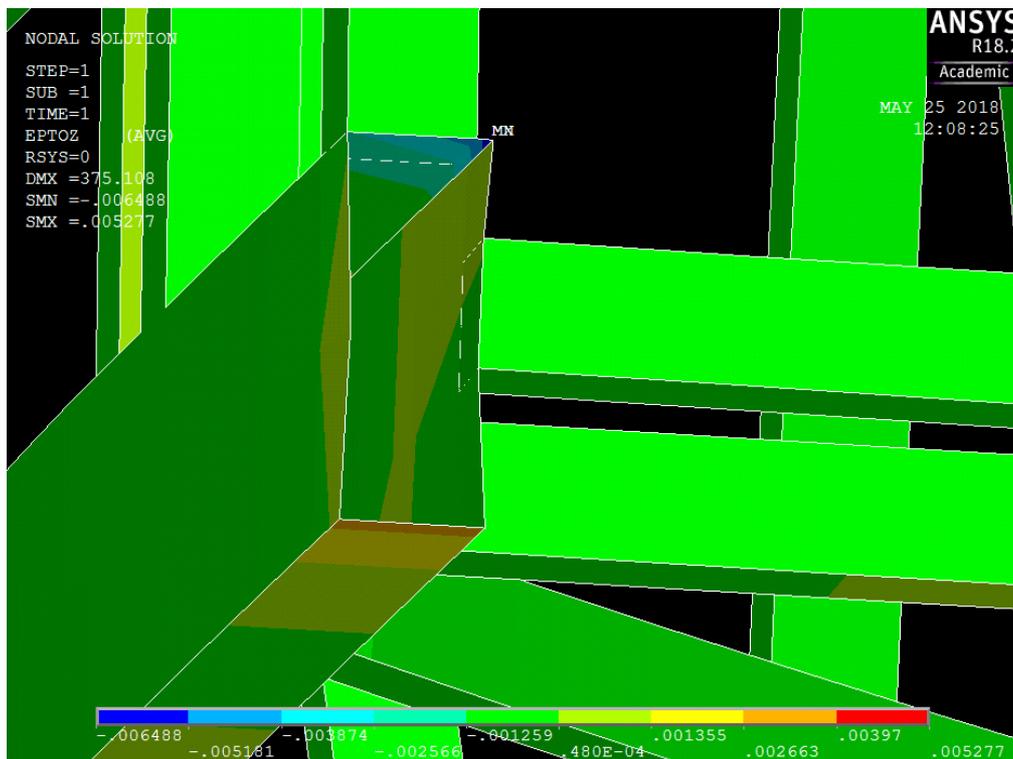
Som nevnt i teorikapitlet om Slaglast (slagskade) har det blitt simulert et tilfelle der konstruksjonen påføres en tilfeldig last, tilsvarende størrelsen til bumperlasten på 8000 N i horisontalretning (Z-retning). Målet er å finne ut av hvor motstandsdyktig konstruksjon er mot en tilfeldig slagskade.

Resultatet viser hvordan slaglasten påvirker konstruksjonens kapasitet, med hensyn til tøyning og knekking. Tabell 7.22 er oversikten på tøyningene og knekkingstallet før og etter skaden.

| Kapasitet etter en slagskade | | | | | |
|------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------------|
| | Strekk | | Trykk | | Knekkingsstall |
| | Tøyning | Utn. grad | Tøyning | Utn. grad | |
| Før skade | 0.003059 | 0.204 | 0.003502 | 0.437 | 9.521 |
| Etter skade | 0.005277 | 0.352 | 0.006488 | 0.809 | 3.582 |

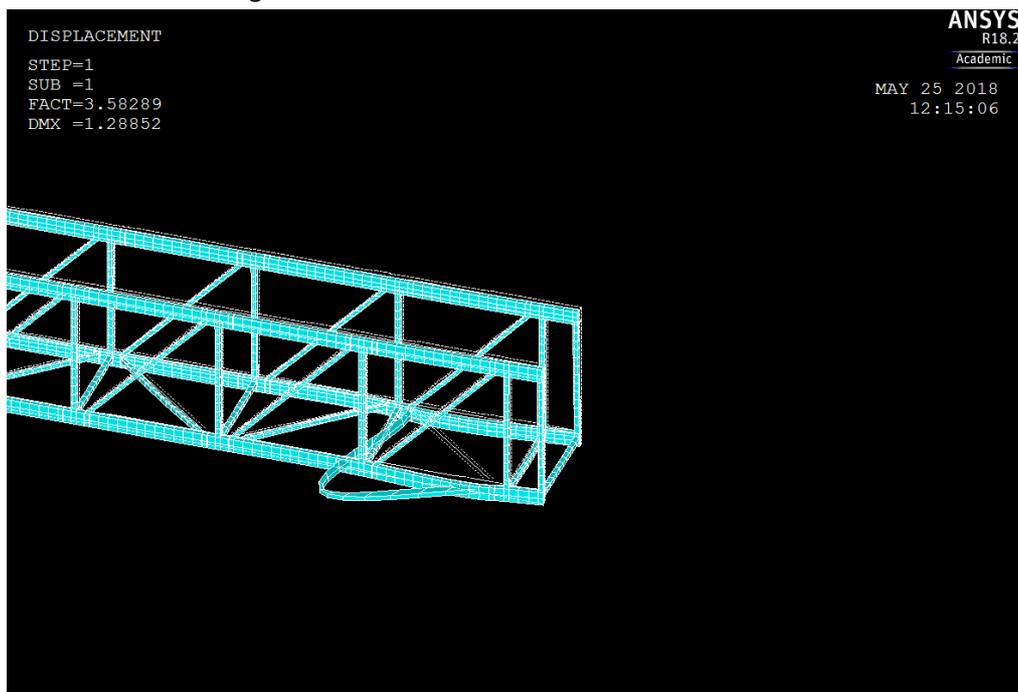
Tabell 7.22 Kapasitet ved slagskade

Figur 7.27 er et detaljbilde av hvordan de største tøyningene befinner seg, etter slagskaden.



Figur 7.27 Tøyning ved slagskade

Figur 7.28 viser hvor knekkingen vil forekomme.



Figur 7.28 Knekkning etter slagskade

7.4.7. Egenfrekvens (resonans)

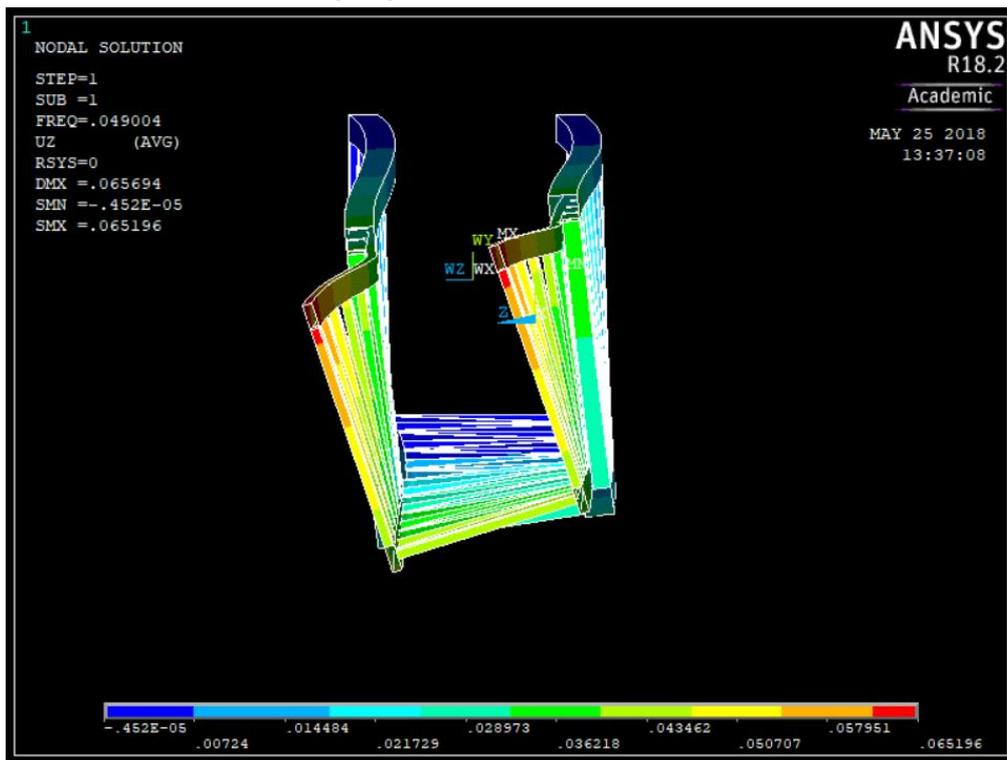
Som diskutert i metodekapitlet om Fastsettelse/fremgangsmetode for dimensjoneringskriterier om egenfrekvens, er det utført en analyse av egenfrekvensen til gangbruen.

Tabell 7.23 er oversikten på de 5 første svingningene og deformasjonene, samt den tiende, tjuende og trettiende. En fullstendig liste over alle svingninger finnes i vedlegg D.3

| Set | Frekvens | Deformasjon |
|-----|-----------|-------------|
| 1 | 0,0490042 | 0,065654 |
| 2 | 0,0877598 | 0,051188 |
| 3 | 0,13674 | 0,11827 |
| 4 | 0,16688 | 0,067229 |
| 5 | 0,17327 | 0,149881 |
| 10 | 0,32986 | 0,203317 |
| 20 | 0,64509 | 0,18453 |
| 30 | 1,1322 | 0,123871 |

Tabell 7.23 Egenfrekvenser

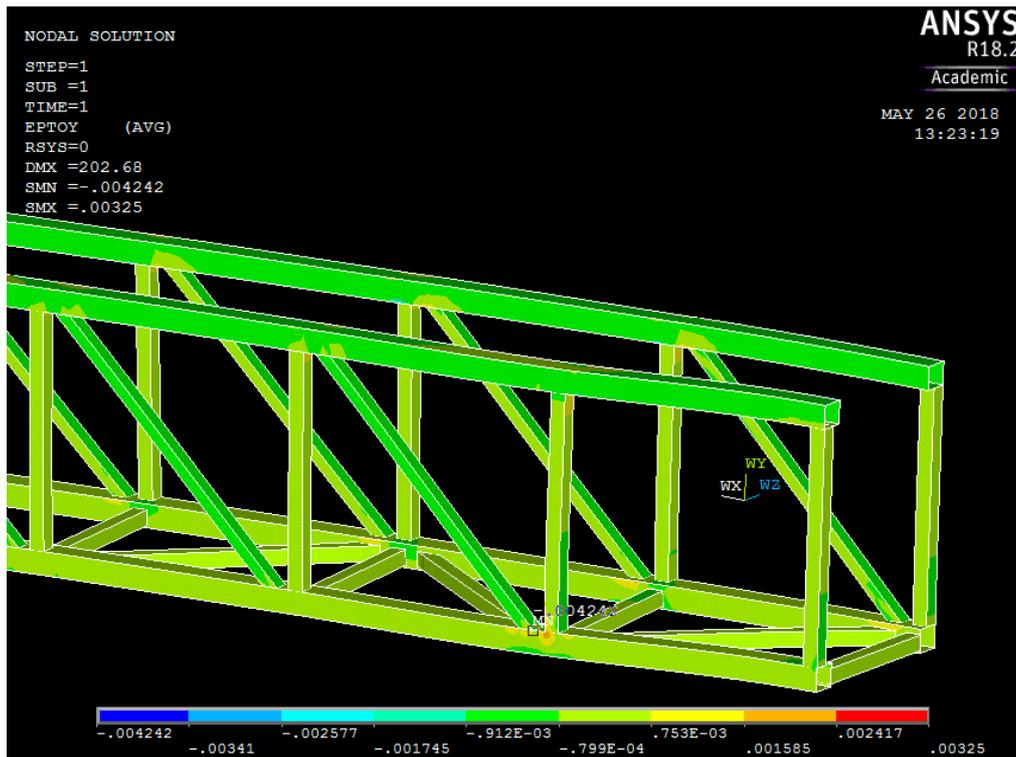
Figur 7.29 illustrerer den første svingningen.



Figur 7.29 Forskyvning ved første gitte egenfrekvens

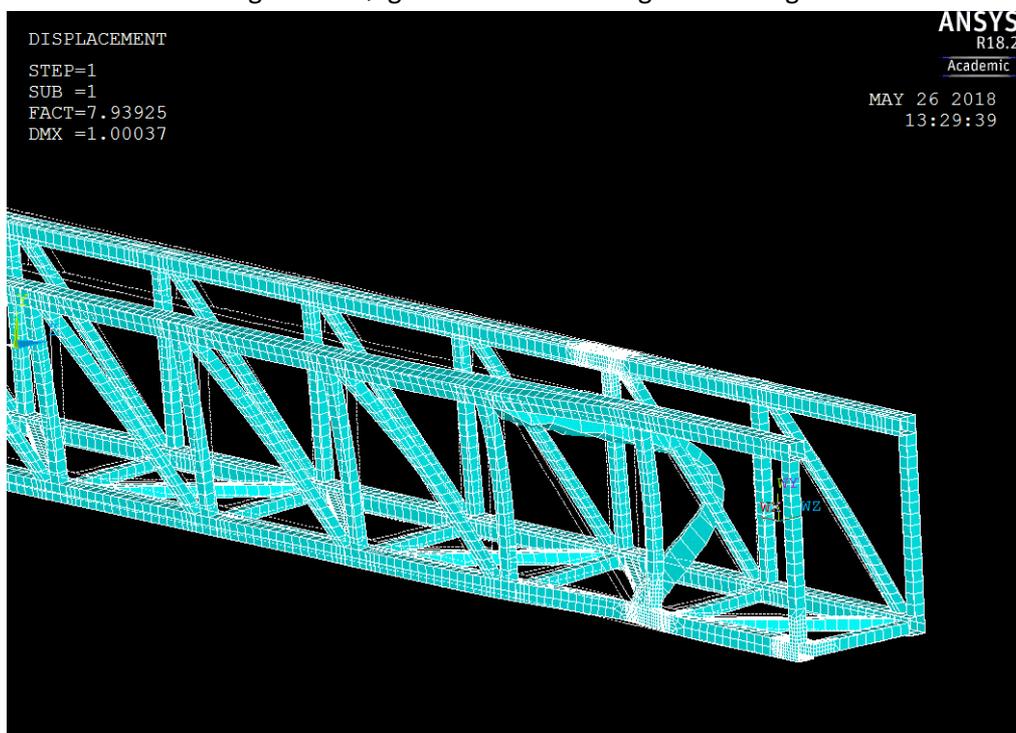
7.4.8. Analyse ved defekt stag/bjelke

Det har blitt utført en analyse av gangbruen gitt et tilfelle der et av stagene mister sin totale kapasitet. Bakgrunnen er å sjekke om gangbruen tåler at et vilkårlig stag feiler. For å illustrere dette er skråstaket nærmest opplagrene gjort om til et «defekt» stag (kapasitet lik null). Høyeste utnyttelsesgrad for tøyning, vil som følge av det defekte staget, øke til 0.529. Figur 7.30 illustrerer hvilket stag som er fjernet og høyeste opptredende tøyning lik 0.00424.



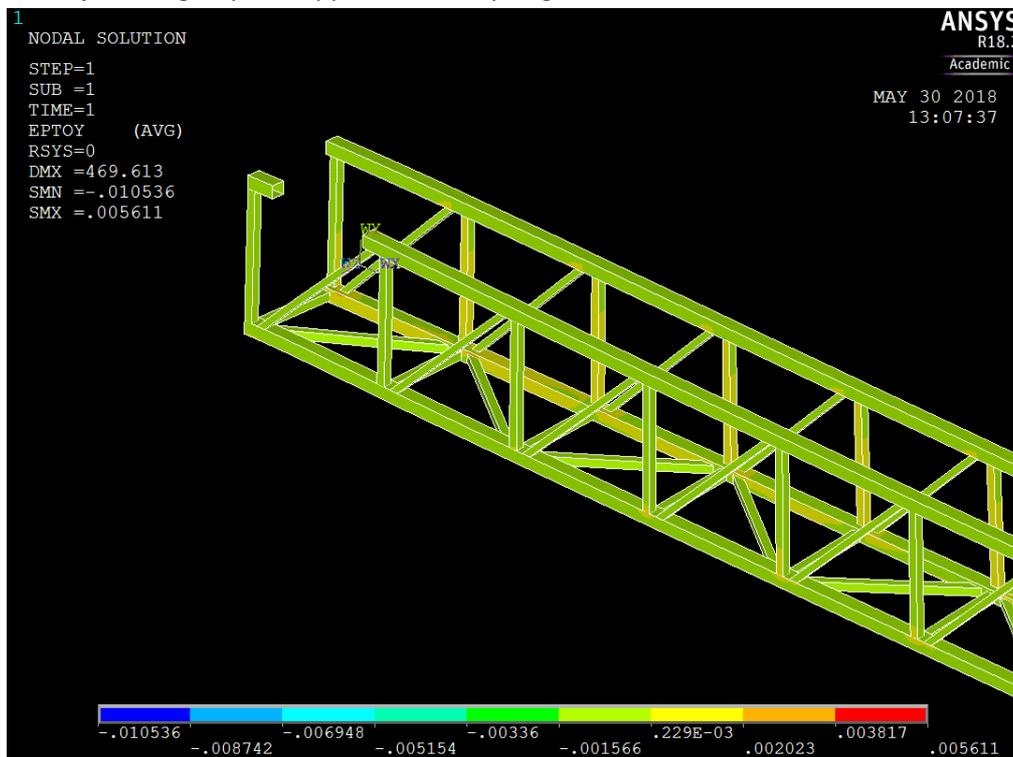
Figur 7.30 Tøyninger ved defekt stag

Figur 7.31 illustrerer knekkingen som følge av det defekte staget. Knekkingsstallet er 7.939.



Figur 7.31 Knekkning ved defekt stag

Til sammenligning er det også blitt utført den samme analysen med en defekt bjelke. Tøyningskapasiteten overstiges, og utnyttelsesgraden vil øke til 1.313. Figur 7.32 illustrerer hvilken bjelke som er fjernet og høyeste opptredende tøying lik 0.010536.



Figur 7.32 Tøyninger ved defekt bjelke

Brann og temperaturøkning

En test er kjørt for å se på bruens motstandsdyktighet mot en eventuell brann og temperaturøkning. Det er valgt å kjøre testen to ganger etter 30 minutters påkjenning med 350 og 450 grader. Dette gir en redusert E-modul på henholdsvis 27.2% og 76%. Et knutepunkt i nærheten av opplageret er valgt ut for testen. Området vises på Figur 7.33 med en finere mesh. Figur 7.34 viser høyeste tøying i det skadde området. Testen er kjørt uten at det er medregnet brannforebyggende tiltak. Tabell 7.24 viser temperatur, lasttilfelle, opptredende tøyninger og utnyttelsesgrad etter testen. Konstruksjonen har tilstrekkelig kapasitet ved 350 grader, men ved 450 grader overstiges kapasiteten.

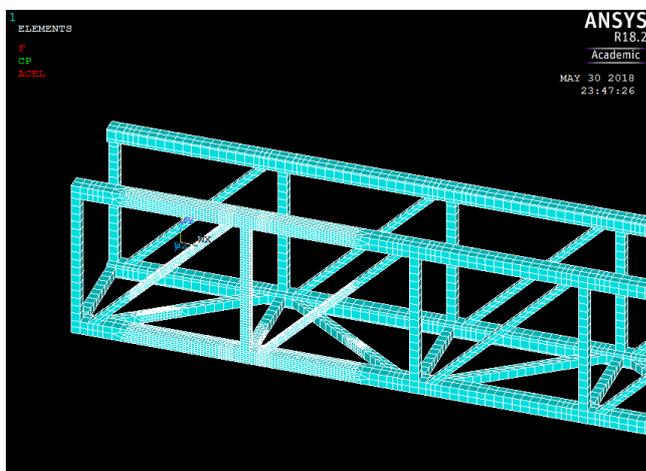
| Temperatur | Spenningstype | Lasttilfelle | Tøying | Utnyttelsesgrad |
|------------|---------------|-----------------------|----------|-----------------|
| 350 | Strekk | Lt1B ULS A, X-retning | 0.003783 | 0.253 |
| | Trykk | Lt1B-ULS A, Y-retning | 0.005831 | 0.727 |
| 450 | Strekk | Lt1B ULS A, X-retning | 0.007904 | 0.528 |
| | Trykk | Lt1B-ULS A, Y-retning | 0.012167 | 1.517 |

Tabell 7.24 Tøyninger ved brann

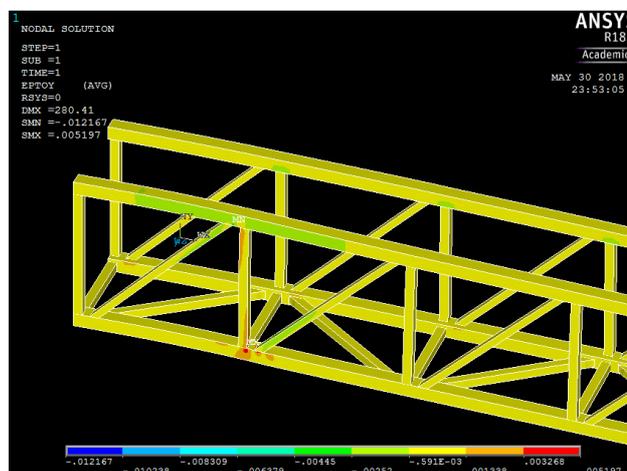
Tabell 7.25 viser resultatet av knekkingsanalysen. Resultatet viser at bruens fortsatt har tilstrekkelig styrke med tanke på knekking.

| Knekking | | | |
|------------|------------|---------------|-----------------|
| Temperatur | Lastifelle | Knekkingstall | Utnyttelsesgrad |
| 350 | Lt1B ULS A | 7.973 | 0.138 |
| 450 | Lt1B ULS A | 5.608 | 0.196 |

Tabell 7.25 Knekking ved brann



Figur 7.33 Brannutsattområde i raffinert «mesh»



Figur 7.34 Tøyninger ved brann

7.5. Prisestimat

Metode 1: Basert på lignende konstruksjoner

Firmaet Glassfiber Produkter produserer gangbruer med et lignende design, men med betydelig mindre dimensjoner. De oppgir prisen til å være 425 € per meter for gangbruene de produserer. I tillegg til å ha mindre dimensjoner, er knutepunktene mindre krevende, samt at de har færre avstivende stag. Med denne informasjonen er det en rimelig antagelse at prisen for TB i denne oppgaven er 2 ganger mer per meter, altså 850 € per meter gangbru. MB har 3 ganger mer flateareal enn TB og settes da til 2 550 € per meter gangbru. Basert på tall fra lignende konstruksjon blir prisen for gangbruene:

| | | |
|-------------------|--------------------|-------------|
| Pris for TB: | 850 € / m x 10 m | = 8 500 €. |
| Pris for MB: | 2 550 € / m x 18 m | = 45 900 €. |
| Totalpris for GB: | 45 900 € + 8 500 € | = 54 400 €. |

Metode 2: Basert på anslag om materialkostnader og produksjonspris

I Tabell 7.26 vises utregning av materialkostnadene i forhold til andelen matrise- og fibermateriale som brukes i konstruksjonen. Her kan det leses av at de totale materialkostnadene utløper seg til 19 290.45 €.

| | Glassfiber | Vinylester | Glassfiberkompositt |
|--------------------------------|------------|-------------|---------------------|
| Andel | 65 % | 35 % | 100 % |
| Vekt [kg] | 1196.31 | 672.92 | 1869.23 |
| Kilopris [EUR/kg] | € 7.37 | € 15.79 | € 10.32 |
| Materialkostnader [EUR] | € 8 816.80 | € 10 625.41 | € 19 290.45 |

Tabell 7.26 Utregning av materialkostnader

Pris for produksjonen måles i pris per kvadratmeter. Bruen har et totalareal på 94.2 m², henholdsvis 22.7 m² for TB og 71.5 m² for MB. OPS Composite opererer med en pris på 315 € per m², men på grunn av detaljarbeid rundt knutepunkter settes den 25% høyere til 420 € per m² for produksjon av gangbruen. Basert på innhentet data blir prisen for gangbruen:

| | | |
|----------------------------|--|-------------|
| Pris for produksjon av TB: | 420 € / m ² x 22.7 m ² | = 9 534 €. |
| Pris for produksjon av MB: | 420 € / m ² x 71.5 m ² | = 30 030 €. |
| Totalpris for GB: | 39 564 € + 19 290 € | = 58 854 €. |

Sammenligning med stål

En lignende løsning i stål fra den nederlandske produsenten Ampelmann veier omtrent 3250 kg. Prisforholdet mellom det å bygge i glassfiberkompositt og stål varierer med kvaliteten på de to materialene. Med tanke på plasseringen offshore tenkes det at begge materialene er av høy kvalitet og forholdet i pris settes til at glassfiberkompositt har 3 ganger så høy produksjonskostnad per kg. I Tabell 7.27 vises prisforholdet mellom glassfiberkompositt og stål. Prisen som er brukt for glassfiberkompositt i tabellen er et gjennomsnitt av kostprisen til Metode 1 og 2.

| Komponent | Pris, GFRP | Pris, Stål | Prisøkning med GFRP |
|-----------|------------|------------|---------------------|
| TB | € 10 866 | € 5 710 | 47 % |
| MB | € 45 750 | € 20 910 | 54 % |
| GB | € 56 617 | € 26 890 | 53 % |

Tabell 7.27 Pris sammenlignet med stål

8. Diskusjon

8.1. Design

Designkonsept

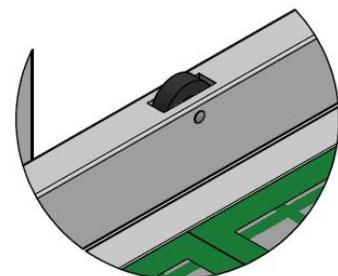
Konseptet tar utgangspunktet i eksisterende gangbruer. En design i fagverk som er veldig ofte brukt. Angående dette temaet hadde forfatterne håpet å få begrunnelsen for denne typen design fra bransjen, men grunnet lite behjelpelighet har dette ikke latt seg gjøre.

Ved dimensjonering av et rektangulært tverrsnitt er det normalt å prioritere høyden framfor bredden, da høyden vil bidra til en høyere stivhet. Begrunnelsen er utdypet i vedlegg A.3. Dette gjelder særdeles bjelkene, der det ofte er ønskelig med høy bøyestivhet. Bjelkene til MB har likevel fått en større bredde enn høyde, men dette er utelukkende på grunn av geometriske årsaker. For at både TB og stag skal kunne hvile på MB-bjelken var dette minimumsbredden. Forfatterne mener uansett at dette kan være et forbedringsområde der alternative løsninger bør undersøkes nærmere.

Et annet punkt med fagverkssystemet er skråstagenes plassering. Med løsningen som er valgt vil de vertikale skråstagene i all hovedsak være i trykk, mens de horisontale skråstagene vil vekselvis være i trykk og strekk avhengig av vinden i Z-retning. Dette er et område forfatterne hadde ønsket å analysere nærmere gitt en større tidsramme, da det er fullt mulig at et annet fagverkssystem ville vært mer effektivt.

Overlappen mellom MB og TB er satt til 3 meter, men i virkeligheten vil dette avgjøres av hvordan endene av MB og TB samsvarer med hverandre. I virkeligheten antar forfatterne at en krumning vil kunne oppstå. Hvorvidt om krumningen faktisk vil skape et problem ved teleskoperingen må undersøkes nærmere. Dessverre vil komplekset som følger denne problemstillingen være såpass omfattende at det faller utenfor oppgavens omfang.

For koblingen mellom MB og TB er det tiltenkt en skinneløsning ved å smøre bjelkene i et friksjonsfritt belegg, slik at konstruksjonen kan teleskoperes. Alternativet som ofte brukes er hjul, vist på Figur 8.1. Forfatterne mener løsningen som er valgt vil gi flere fordeler. Det vil ikke være behov for å skjære ut hull til hjulene, som svekker bjelkene. I tillegg vil valgte koblingen gi et større areal som kreftene fordeles over, og dermed færre spenningskonsentrasjoner.



Figur 8.1 Hjulløsning

Støtfanger er valgt med hensyn til plassbegrensningen på vindmøllene. Da forfatterne ikke har kjennskap til sistnevnte, vil en støtfanger ikke kreve noe overflate for at gangbruen kan lande på vindmølla.

For innfesting av gitterrist kan det boltes i enten MB eller horisontalstag. Forfatterne mener at det beste valget er horisontalstag, grunnet disse er lite utnyttet i forhold til tøyning. Faren ved å svekke disse er dermed uvesentlig for konstruksjonens kapasitet. Endestykket(port) som er valgt kan variere i høyde, i tillegg til heavesystemet, og er enkel å montere ved bolting.

Løfteørene er for øvrig en detalj som er verdt å nevne. Denne kan være avtagbar eller fast montert. Sistnevnte bør være en god løsning, da løfteørene utgjør kun en liten del av hele konstruksjonen. I tillegg er det ønskelig å unngå løse deler, som kan mistes, hvis løfteørene skulle være avtagbar.

Materialsystem

Som det har blitt nevnt tidligere er fiberarmert polymerer et materiale som kan skreddersys ut ifra behov, både i forhold til lagsekvens og fiberorientering. Dette regnes for å være en stor fordel med materialet, men samtidig en tidskrevende utfordring som kan optimaliseres utallige ganger.

Fra teorigapitlet om Materialsystem er det lagt til grunn noen få kriterier som oppbyggingen av lagsekvensen følger. Dette er for å forenkle arbeidet med å velge ut mulige alternativer for lagsekvenser. Kriteriene er å betegne mer som tommelfingerregler, enn fasit for hvordan oppbyggingen skal være. Da bruene er en stivhetskonstruksjon ville det vært interessant å teste ut enda flere 0°-lag i lagsekvensen i bjelkene for å spare på materialbruken.

Produksjon

Knutepunktet er tiltenkt å være en modul som kan masseproduseres. Dette kan produseres gjennom en støpeform som kan brukes til flere produksjoner.

For øvrig skal produksjon av bjelker og stag utføres ved pultrudering. Grunnlaget for å velge pultrudering er at det kan produseres i store kvantum for relativt lave kostnader. Foruten dette egner produksjonsmetoden seg godt for profil med konstant tverrsnitt. [3]

Videre kan bjelkene og stagene enten boltes eller limes sammen med modulen. Ved bruk av bolter kan utskiftning lettere utføres, men derimot føre til svekkelse i styrken på grunn av boltehullene. Ved liming vil det ikke forekomme noe oppstyking av materialet og dermed mindre spenningskonsentrasjoner som ved bruk av bolter. Kraftoverføringen er derfor bedre, og vil derfor være det foretrukne valget. Dette til tross for at utskiftningen er mer komplisert.

8.2. Risikoanalyse

Gangbru (globalt)

Sikkerhetsklassen for nedbøyning er satt til normal. Dette begrunnes med at feilmekanismen ikke kan føre til eventuell livstap, så lenge kravet overholdes. Derimot er det for stor usikkerhet knyttet til lav sikkerhetsklasse med hensyn til HMS og brukeropplevelse. Feiltypen er satt til plastisk fordi bruene tillates å berøre nærliggende konstruksjoner ved liten kraft.

Knekking regnes for å være en kritisk feil, som kan lede til havari. Sikkerhetsklassen er derfor satt til høy. Hvis feilmekanismen skulle oppstå må bruene enten kondemneres eller den defekte delen erstattes før driften gjenopptas. Feiltypen for knekking er ubestemt ettersom den er avgjort av oppførsel etter brudd. For enkle søyler blir den ofte kategorisert som plastisk. For plater er den ofte regnet som duktil. For skall og avstivede plater kan oppførsel være sprø.

Sikkerhetsklasse for utmatting avgjøres på grunnlag av antagelsenes nøyaktighet. Da store deler av beregningen er basert på antagelser som mangler god data, settes sikkerhetsklasse til høy. Feiltypen kan variere mellom duktil og sprø avhengig av om bruddet først oppstår i fibrene eller matrisen.

Bjelker

Fiberbrudd, på lik linje med globalknekking, er en kritisk feil og får dermed sikkerhetsklasse høy. Hvis den nevnte feilmekanismen skulle oppstå må bruene enten kondemneres eller den defekte delen erstattes før driften gjenopptas. Feiltypen for fiberbrudd er satt til sprø, i henhold til DNV. [23]

Stag

Alle fagverksstagene skal vurderes etter de samme forutsetningene. Stagene har alle fått tildelt sikkerhetsklasse normal, da bruene skal kunne tåle at et vilkårlig stag feiler uten at hele konstruksjonen kollapser. Stagene skal kunne byttes ut om en av feilmekanismene inntreffer.

Konsekvensutredning

Som et startpunkt fungerer estimatet for risiko godt, men for at risikoanalysen skal bli mer korrekt er den avhengig av mer brukererfaring med konstruksjonen. Erfaringen kan skaffes ved at det samles inn informasjon eller statistikk fra lignende konstruksjoner i andre materialer. Dette vil i stor grad kunne gi et bedre bilde på hyppighet og størrelse på for eksempel ulykkelaster. Det kan også utføres laborietester for å redegjøre konsekvensene av feilmekanismene. Med praktiske tester er det for eksempel mulig å se på hvordan feilmekanismene påvirker hverandre. Som et siste punkt bør informasjon samles basert på bruens faktiske brukshistorie etter hvert som bruene blir tatt i bruk.

8.3. Dimensjonerende lasttilfeller

Siden forfatterne ikke lyktes med å få tak i reelle tall måtte det gjøres en vurdering på hva som var de verst tenkelige tilfellene der ulike ugunstige laster kunne oppstå samtidig. Lastverdiene er basert på opplysningene fra DNV, og bør derfor være gode tilnærminger til reelle tall. Forfatterne har også vurdert følgende laster, men besluttet å neglisjere:

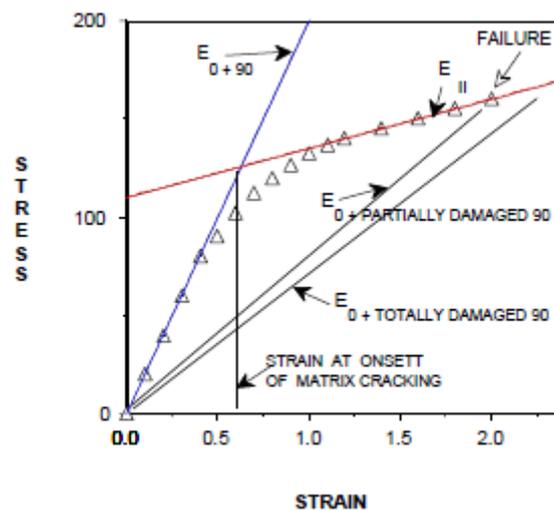
- Sentrifugal last, grunnet dreiehastigheten er redusert, akselerasjon/retardasjon foregår gradvis og fartøyets bevegelser er kompensert gjennom heavesystemet.
- Sea pressure last, grunnet lasten befinner seg på båten og dermed utenfor oppgavens omfang.
- Bølgelast, grunnet kompensering gjennom heavesystemet, i henhold til DNV. [22]

Lokasjonen for hvor gangbruene vil være i drift er ikke definert i oppgaven. Dermed har verdien for vindhastighet tatt utgangspunkt i oppgitt verdi fra DNV. Da vindhastigheten er en stedsavhengig last, må den justeres ut ifra lokasjon.

8.4. FEM-analyse

Lineær ikke-lineæranalyse

Bruen er et stivhetsdesign der det er forventet at nedbøyning blir det dimensjonerende kriteriet, som betyr at tøyningene høyst sannsynlig befinner seg innenfor elastisk sone. I samråd med veileder ble det derfor besluttet at analysen skal utføres lineært. Fiberarmert polymer er likevel i utgangspunktet et ikke-lineært materiale. Figur 8.2 er et eksempel, som viser hvordan spennings-/tøyningsforholdet utvikler seg når et prøvestykke på 0°-lag og 90°-lag laminater utsettes for en strekklast. Spennings-/tøyningsforholdet eller E-modulen forandrer seg lite frem til tøyningen når 0.6%. E-modulen endres da slik at spennings-tøyningsforholdet flater seg ut, men fortsetter med en relativt stabil oppførsel til fullstendig brudd oppstår. Endringspunktet blir i denne rapporten omtalt som knekkpunkt. Ved tøyninger over knekkpunktet, 0.6%, blir E-modulen til et lamina i lokalretning (Y- og Z-retning) redusert eller neglisjert i en analyse.



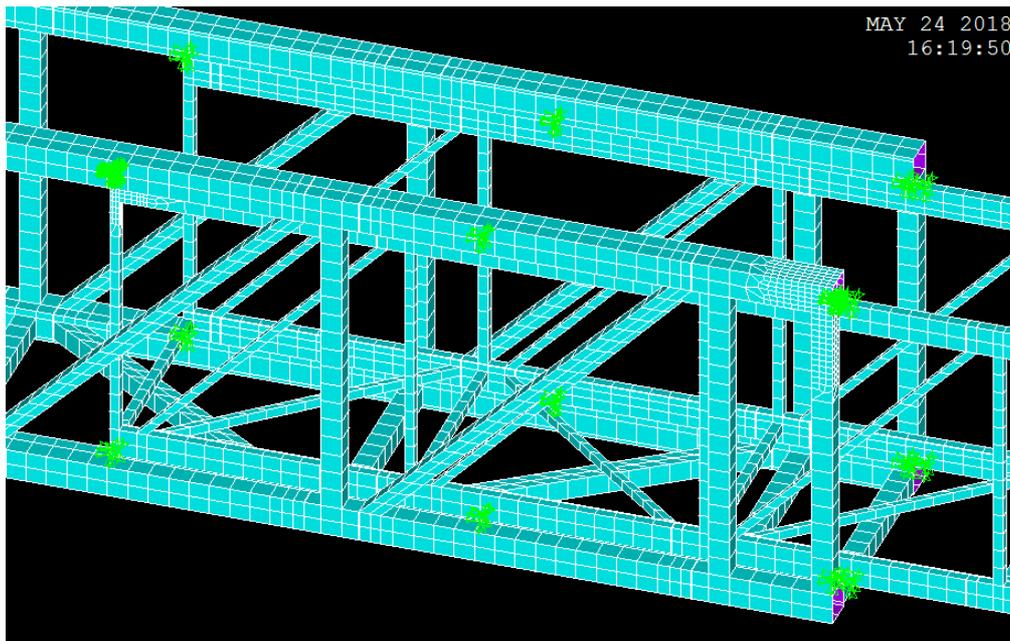
Figur 8.2 Spennings tøynings diagram

Kravet for å bruke en lineæranalyse er at den største spenningen er under 80% av spenningskapasiteten og at den største tøyningen er under 50% av tøyningkapasiteten. For øvrig skal det heller ikke være synlige sprekker i materialet. I analysen er det et tilfelle der utnyttelsesgraden er omtrent 48% for tøyning. Her foreligger det rom for diskusjon om at verdien er såpass nærme kravet at analysen bør utføres ikke-lineært.

Fiberarmert polymer har forskjellige egenskaper i trykk og strekk. For eksempel har materialet en høyere stivhet i strekkretning enn trykkretning, på samme måte som betong. I oppgaven er denne forskjellen ikke blitt tatt hensyn til ettersom inputverdiene i ANSYS ikke kan operere med en negativ stivhet (trykk). Alternativt kan det også være mulig å bygge opp en stivhetsmatrise fra bunnen av, men dette ble anslått til å være svært tidskrevende av veilederen. Det ble derfor valgt et ortotrop materiale til analysen for oppgaven.

Modeloppbygging

For å få til koblingen mellom MB og TB er det valgt nodekobling. Det er satt inn 12 nodekoblinger som vist i Figur 8.3, noe som ikke vil stemme med realiteten. For analysen betyr dette at det kan oppstå spenningskonsentrasjoner rundt disse 12 punktene.



Figur 8.3 Nodekobling (markert i grønt)

Alternativt kunne det blitt brukt kontaktoverflater, som går ut på å binde arealene på MB og TB sammen. Dette ville gitt en større arealflate og bedre kraftfordeling, og dermed et mer reelt bilde. Likevel har dette ikke blitt gjort, grunnet prosessen er tidskrevende da modellen består av flere tusen arealer.

Opplagrene er satt på linjer i starten av MB, noe som ikke vil stemme med virkeligheten. Som følge av avgrensningen i oppgaven ble dette valgt, for å kunne utføre en konstruksjonsanalyse. I virkeligheten ville innfestingen måtte boltes inn i f.eks. bjelkene, som ville vært et kritisk punkt og må analyseres nærmere.

I utgangspunktet er alle laster som påføres konstruksjonen lagt inn på arealer. Eneste unntaket er bumperlasten som er på linjer. I ANSYS er det ikke mulig å angi retningen for hvor lasten virker. Forfatterne har derfor måttet velge bort linjer som er i kontakt med flere arealflater. Dette har medført at lasten er dårligere fordelt enn virkeligheten.

Materialkombinasjon og dimensjon på tverrsnitt

Basert på alternativene for lagsekvens har det blitt testet ut forskjellige kombinasjoner for å finne den mest optimale. Materialets lave E-modul er en utfordring med hensyn til deformasjon. Det var derfor lite overraskende at alternativ B var det beste valget for bjelker. Derimot var det mer interessant å teste ut alternativene for stag. Funnet her var også at alternativ F med klart flest 0°-lag bidro mest til den generelle stivheten til hele konstruksjon.

Dimensjoner på stag kan ikke være mindre, grunnet forflytning i Z-retning. Dette er spesielt viktig for MB, da stagene vil kunne kollidere med TB stagene. Konsekvensen av dette vil føre til høye spenningskonsentrasjoner, som oppstår ved kontaktpunktene. Alternativt er det mulig å forsterke bjelkene med støtteplater i de områdene som er utsatt for spenningskonsentrasjoner.

Sensitivitetsanalyse

Studentversjonen til ANSYS er begrenset til 32 000 elementer, noe som gir en relativt grov «mesh» på modellen. Dette kan påvirke resultatets nøyaktighet. I områder der de største tøyningene befinner seg har det derfor blitt modellert inn en finere «mesh» enn resten av konstruksjonen, slik at disse punktene får en så nøyaktig analyse som mulig.

Nodal/element solution

På grunn av studentversjonens begrensninger ble det besluttet å bruke nodeløsning (nodal solution). Resultatet av node- og elementløsning (element solution) vil nærme seg hverandre ved en finere «mesh». Da dette har blitt tatt hensyn til, som nevnt i avsnittet over, vil det være av mindre betydning i forhold til hvilken løsning som velges.

Nedbøyning

De presenterte resultatene for nedbøyning er en totaldeformasjon. Dette betyr at verdiene for nedbøyning er retningsuavhengig. Nedbøyningen er en sum av deformasjoner i alle tre retninger. Det kan derfor diskuteres om resultatet for nedbøyning, i henhold til kravet, er litt for konservativt.

Tøyning

Spenningskonsentrasjonen som finnes i koblingen mellom MB og TB kan være misvisende. Dette kan komme av modelleringen i ANSYS, i forhold til at spenningskonsentrasjonen befinner seg i punktet der nodekoblingen er plassert. I virkeligheten vil fordelingen av spenningene sannsynligvis være mye mer spredt.

For øvrig kan det nevnes at tøyningene øker når vi nærmer oss opplagrene. De høyeste tøyningene, etter koblingspunktene, befinner seg ved andre skråstag fra opplagrene. Med tanke på bruens generelle stivhet tror forfatterne at det ikke er utenkelig at de reelle største tøyningene kan befinne seg nær opplagrene.

Knekking

Fagverksdesignen gir konstruksjonen mange trykkstaver, som betyr at kreftene er godt fordelt over et stort areal. Dette er likevel en konsekvens av at gangbruene er en stivhetskonsentrasjon. Ved bruk av færre stag vil bruene selvfølgelig utnyttes bedre med hensyn til knekking, men dette vil derimot gi en større nedbøyning.

Utmatting

For å være i stand til å foreta en beregning for utmatting, både statisk og dynamisk, er det gjort en rekke antagelser. Disse antagelsen baserer seg på konservative estimater for hvor mye og hvordan bruene skal brukes. Utdypning om antagelsen finnes i vedlegg D.2. Det kan derfor diskuteres rundt nøyaktigheten på antagelsene for beregningen av utmatting. Forfatterne mener uansett at dette har blitt tatt hensyn til med de nevnte konservative estimatene, i tillegg til at den partielle utmattingssikkerhetsfaktoren er satt til 50.

Egenfrekvens (resonans)

Gangbruens egenfrekvens vil i stor grad være avhengig av stivheten, noe som kan forklare de lave verdiene av gangbruene. Det er i hovedsak bjelkene som er de kritiske elementene. Ved fare for at de naturlige frekvensene skal komme i takt med bruens egenfrekvenser bør mottiltak iverksettes. Dette kan være et lodd, fungerende som en pendel, som bryter opp de naturlige frekvensene.

Brann og temperaturendringer

For å utføre branntesten reduseres E-modulen fremfor kapasiteten, som diskutert i teorikapitlet om Brann og temperaturøkning. Dette er for å kunne ta med de reduserte egenskapene inn i analysen slik at krefter og spenninger fordeles på en mer realistisk måte. Et annet alternativ er å redusere kapasiteten som tøyningene testes mot. Fordelen med sistnevnte er at vi slipper å gjøre antagelsen om at stivheten og styrken reduseres proporsjonalt.

Da matrisen smelter bort vil også densiteten til materialet endre seg. Siden matrisen står for kun 35% av vekten er dette neglisjert. Det er også knyttet stor usikkerhet til hvor mye av tverrsnittet en temperaturøkning vil kunne påvirke. Praktiske tester kan gjennomføres på tverrsnittet for å utføre en mer nøyaktig analyse.

Fibermaterialer er ikke regnet for å være lettantennelig selv om egenskapene endrer seg ved temperaturendringer. Det er derfor ikke normalt å ta hensyn til fiberen når det skal utføres tiltak mot brann. Matriser kan derimot være antennelig, men vinylester som er brukt i oppgaven er kjent for å være lite antennelig. For å øke motstandsdyktigheten mot brann og høye temperaturer kan det også blandes inn silisiumkarbid eller aluminiumnitritt.

Alternative programmer til ANSYS

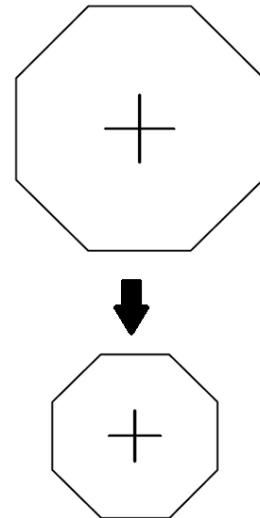
ANSYS er et velrenommert program for kompositt. Det kan likevel være interessant å utføre analysen med andre programmer, med hensyn til de begrensningene som finnes ved ANSYS. Spesielt Abaqus er et alternativ som ofte brukes til å modellere komposittmaterialer.

8.5. Prisestimat

Det er godt samsvar mellom resultatene til de to metodene, som antar at prisen til gangbruen ligger mellom 50 000 € - 60 000 €. En stor svakhet med denne kostanalysen er at den ikke tar hensyn til alle detaljene som følger heavesystemet og teleskoperingsfunksjonen.

Metode 2 viser at kostnadene forbundet med å produsere gangbruen utgjør omtrent 65% av den totale prisen. Det kan derfor tenkes at det er mulig å spare en del på produksjon i et lavkostland, men da påløper det en ny usikkerhet knyttet til lengre transport. En annen ulempe vil være at det blir vanskeligere å overvåke produksjonen.

Firmaet Techano har oppgitt at prisen for gangbru inkludert heavesystem og montering er omtrent 3 000 000 €. Det er med andre ord ikke gangbruen som utgjør den store utgiften. En lettere gangbru kan redusere størrelsen på heavesystemet og fotavtrykket til heksapoden som illustrert i Figur 8.4. Med mindre fotavtrykk vil det også være mulig å redusere størrelsen på skipet. Hvis dette gjennomføres er det mulig at prisforskjellen mellom glassfiberkompositt og stål tippes i førstnevntes favør. Gjennom levetiden er det dessuten forventet lettere montering og mindre vedlikehold ved bruk av glassfiberkompositt. Ved en grundigere kostanalyse som tar for seg hele livsløpet er det stor sannsynlighet for at glassfiberkompositt ville nærmet seg kostnaden til stål.



Figur 8.4 Reduksjon av heksapodens fotavtrykk

Et alternativ i karbonfiber har ikke blitt undersøkt i oppgaven. Grunnlaget for dette er at karbonfiber er betydelig dyrere enn glassfiber, og da forfatterne først fant ut at glassfiberens kapasitet tilfredsstilte kriteriene som stilles til konstruksjonen ble det besluttet å se bort ifra karbonfiber. Det kan likevel diskuteres om karbonfiber vil redusere vekten ytterligere og gi større materialbesparelse. [48] [49]

9. Konklusjon

Oppgaven tar for seg dimensjonering av en offshore gangbru i fiberarmert polymer.

Forskerspørsmålet er: «Hvordan utnytte materialeegenskapene til fiberarmerte polymerer for å konstruere og dimensjonere en offshore gangbru?». Det har aldri vært noen tvil om at materialet egner seg for konstruksjonen. Utfordringen var hvordan dette lar seg gjøre slik at konstruksjonen fremdeles er like bra som eksisterende gangbruer, men likevel ikke priser seg selv ut av markedet.

Som kjent er materialet krevende å arbeide med fra et analyse- og beregningsperspektiv. Forfatterne har måttet bruke store ressurser for å sammenstille en FEM-modell som fungerte tilfredsstillende. Ved hjelp av FEM-analysen har vi dimensjonert gjennom kontinuerlig optimalisering av modellen, og dermed utnyttet egenskapene til materialet.

Funnet om å slippe bruken av karbonfiber har vært overraskende og gunstig med hensyn til pris på gangbruen, da konstruksjonen består utelukkende av glassfiberkompositt.

Forfatterne føler, med utgangspunkt i det som er nevnt over, at oppgaven har endt med et positivt utfall. Konklusjonen er dermed at vi har greid å dra nytte av materialeegenskapene til fiberarmerte polymerer til å konstruere en offshore gangbru, som er konkurransedyktig sammenlignet med konvensjonelle materialer.

10. Anbefalinger

Som forslag til videre arbeid mener forfatterne at det kan sees på følgende punkter:

- Design av gangbruen.
- Flere feilmekanismer.
- Koblingen mellom MB og TB i forhold til problematikken rundt krumning.
- Ikke-lineæranalyse.
- Simulering med andre FEM-programmer.

Det kunne blitt testet ut flere typer utforminger av gangbruen. Som diskutert kunne flere varianter av fagverk vært testet, for så å finne den mest effektive. Videre er det også store forskningsmuligheter av materialsammensetningen med hensyn til lagsekvens og andre fiberkompositter som f.eks. karbonfiber.

Flere feilmekanismer er avgrenset i oppgaven, som følge av manglende laboratorietester. Disse feilmekanismene bør undersøkes nøyere, for en fullstendig verifisering av gangbruens kapasitet.

I samråd med veileder tror forfatterne at koblingen mellom MB og TB kan være en utfordring. Krumningen som oppstår individuelt hos MB og TB vil trolig være forskjellige, som kan føre til at teleskoperingen ikke vil fungere.

En ikke-lineæranalyse av konstruksjonen, som trolig ville gitt en høyere nøyaktighet.

En sammenligning med andre programmer kunne utføres for å finne ut av om ANSYS beregner konservativt eller liberalt i sine analyser.

11.Referanser

- [1] Delta V; Bosch Rexroth, «Slik fungerer gangbroene som opererer i Nordsjøens røffe bevegelser,» *Teknisk Ukeblad*, 2016.
- [2] Innovasjon Norge, «Bygger bro fra offshore til fornybar energi,» [Internett]. Available: <http://www.miljoteknologi.no/Eksempel/Bygger-bro-fra-offshore-til-fornybar-energi/>. [Funnet 2018].
- [3] K. Tran, S. Hamre og E. Rosseland, «Forprosjekt: Fiberarmert polymer. Relasjonen mellom kapasitet og fiberstruktur,» UiA, 2017.
- [4] B. Haugan, «Så mye tjener Norge på oljen,» 2017. [Internett]. Available: <https://www.vg.no/nyheter/innenriks/i/BQ08v/saa-mye-tjener-norge-paa-oljen>.
- [5] T. Stensvold, «Verdens oljeforbruk flater ut før den synker som en stein,» *Teknisk Ukeblad*, 2017.
- [6] T. Stensvold, «Det vi skal leve av,» *Teknisk Ukeblad*, 2017.
- [7] M. Bårdsen, «Norge kan bli Europas «grønne hjerte» – passivitet hindrer eventyret,» *Teknisk Ukeblad*, 2018.
- [8] J. Nilsen, «Havvind blir aldri bedre enn landvind,» *Teknisk Ukeblad*, 2010.
- [9] H. Løvik og E. H. Urke, «I Europa mente de ideen var sprø - nå leverer teknologien nok strøm til 20.000 britiske hjem,» *Teknisk Ukeblad*, 2017.
- [10] I. Snøfugl, «Her testes fremtidens havvindteknologi,» 2017. [Internett]. Available: <https://www.sintef.no/siste-nytt/her-testes-fremtidens-havvindteknologi/>.
- [11] P. E. Dalløkken, «Ingen bryr seg om det ramler ned et par helikoptre,» *Teknisk Ukeblad*, 2013.
- [12] Marine Aluminium, «Telescoping Gangways,» [Internett]. Available: https://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/33850002_MA%20TelescopicGangways%20%202015.pdf. [Funnet 2018].
- [13] J. M. Skinner, «A Critical Analysis of the Aberfeldy Footbridge Scotland,» University of Bath, 2009.
- [14] T. Stensvold, «Her tester de verdens lengste og mest avanserte teleskopbru,» *Teknisk Ukeblad*, 2015.
- [15] A. Kootsookes og A. P. Mouritz, «Seawater durability of glass- and carbon-polymer composites,» Royal Melbourne Institute of Technology, 2004.
- [16] E. P. Gellert og D. M. Turley, «Seawater immersion ageing of glass-fibre reinforced polymer laminates for marine applications,» Aeronautical and Maritime Research Laboratory, 1999.
- [17] S. Dutton, D. Kelly og A. Baker, Composite Materials for Aircraft Structures, Second edition, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2004.
- [18] M. C. Y. Niu, Composite Airframe Structures: Practical Design Information and Data, Third Edition, Hong Kong Conmilit Press Ltd., 2010.
- [19] C. Kassapoglou, Design and analysis of composite structures: With applications to aerospace structure, John Wiley & Sons, Ltd., 2010.
- [20] S. Shroff, «Design, Analysis, Fabrication and Testing of Grid-Stiffened for Fuselage Applications,» Delft University of Technology, 2014.

- [21] S. Huybrechts, S. Hahn og T. Meink, «Grid stiffened structures: a survey of fabrication, analysis and design methods,» 1999.
- [22] DNV, «DNVGL-ST-0358: Offshore gangways,» DNV GL AS, 2017.
- [23] DNV, «DNV-OS-C501: Composite Components,» Det Norske Veritas AS, 2013.
- [24] J. A. Epaarachchi, «Effects of static–fatigue (tension) on the tension–tension fatigue life of glass fibre reinforced plastic composites,» Central Queensland University, 2005.
- [25] C. Bathias, An engineering point of view about fatigue of polymer matrix composite materials, 2006.
- [26] R. Alderliesten, «Critical review on the assessment of fatigue and fracture in composite materials and structure,» Delft University of Technology, 2013.
- [27] J. Degrieck og W. van Paepegem, «Fatigue damage modeling of fibre-reinforced composite materials: Review,» Ghent University, 2001.
- [28] R. D. B. Sevenois og W. V. Paepegem, «Fatigue Damage Modeling Techniques for Textile Composites: Review and Comparison With Unidirectional Composite Modeling Techniques,» Ghent University, 2015.
- [29] M. Kaminiski, F. Laurin, J. Maire, C. Rakotoarisoa og E. Hemon, «Fatigue Damage Modeling of Composite Structures: the ONERA Viewpoint,» ONERA, 2015.
- [30] F. Wu og W. Yao, «A fatigue damage model of composite materials,» Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2009.
- [31] H. Mao og S. Mahadevan, «Fatigue damage modelling of composite materials,» Vanderbilt University, 2002.
- [32] S. Feih, E. Boiocchi, E. Kandare, Z. Mathys, A. G. Gibson og A. P. Mouritz, «Strength Degradation of Glass and Carbon Fibres at High Temperature,» Unites States Office of Naval Research.
- [33] DNV, «DNVGL-RU-SHIP Rules for classification: Ships. Part 6, Chapter 6,» DNV GL AS, 2017.
- [34] DNV, «DNVGL-OS-A201: Winterization for cold climate operations,» DNV GL AS, 2015.
- [35] DNV, «DNVGL-ST-0378: Standard for offshore and platform lifting appliances,» DNV GL AS, 2016.
- [36] DNV, «DNVGL-RP-C205: Environmental conditions and environmental loads,» Det Norske Veritas AS, 2014.
- [37] DNV, «DNVGL-RU-SHIP Rules for classification: Ships. Part 3, Chapter 4,» DNV GL AS, 2017.
- [38] DNV, «DNVGL-CG-0156: Conversion of ships,» DNV GL AS, 2016.
- [39] DNV, «DNVGL-ST-E273: 2.7-3 Portable offshore units,» DNV GL AS, 2016.
- [40] DNV, «DNVGL-ST-N001: Marine operations and marine warranty,» DNV GL AS, 2016.
- [41] D. Zenkert og M. Battley, Foundations of Fibre Composites, 1995.
- [42] Y. Liu og S. Mahadevan, «Probabilistic fatigue life prediction of multidirectional composite laminates,» Vanderbilt University, 2004.
- [43] T. Irvine, «Bending frequencies of beams, rods, and pipes,» 2012.
- [44] J. F. Davalosa og P. Qiaoa, «A computational approach for analysis and optimal design of FRP beams,» West Virginia University, 1999.
- [45] N.-I. Kim og D.-H. Choi, «Shear deformable finite beam elements for composite box beams,» Sejong University; Hanyang University, 2014.
- [46] Y. Shen, M. Xu, K. Chandrashekhara og A. Nanni, «Finite element analysis of FRP tube assemblies for bridge decks,» University of Missouri-Rolla, 2012.

- [47] L. C. Bank og P. J. Bednarczyk, «A Beam Theory for Thin-Walled Composite Beams,» Rensselaer Polytechnic Institute, 1988.
- [48] Massachusetts Institute of Technology, «Composite / Steel Cost Comparison: Utility,» [Internett]. Available: http://msl1.mit.edu/MIB/3.57/LectNotes/gm_tech_composites.pdf. [Funnet 2018].
- [49] I. Swentek, J. Thompson, G. Meirson, V. Ugresic og F. Henning, «Comparison of Basalt, Glass, and Carbon Fiber Composites using the High Pressure Resin Transfer Molding Process,» Western University; Fraunhofer, [Internett]. Available: http://www.temp.speautomotive.com/SPEA_CD/SPEA2016/pdf/RF/RF2.pdf. [Funnet 2018].
- [50] Dura Composites, «Dura Grating - Tekniske spesifikasjoner,» [Internett]. Available: <http://www.duracomposites.com/uploads/Tech-Spec-Dura-Grating-Jan-2014.pdf>.
- [51] Surface Technology, Inc., «Frictional Coatings,» [Internett]. Available: <https://www.surfacetechology.com/Products-and-Services/Frictional-Coatings.aspx>.
- [52] Ampelmann, «Ampelmann,» [Internett]. Available: <https://www.ampelmann.nl/>. [Funnet 2018].
- [53] G. Agdesteen og A. Rommetveit, «Vind i kastene,» 2009. [Internett]. Available: <http://www.yr.no/artikkel/vind-i-kastene-1.6715223>. [Funnet 2018].
- [54] American Highway Association, «Standard Specifications for the Construction of Roads and Bridges,» 2018.
- [55] DNV, «DNVGL-CG-0128: Buckling,» 2015.
- [56] engineeringtoolbox, «The Engineering Toolbox,» [Internett]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/piping-materials-cost-ratios-d_864.html.
- [57] MIT, «Mit.edu,» [Internett]. Available: <http://web.mit.edu/course/3/3.11/www/modules/props.pdf>.
- [58] C. Burgoyne og I. Balafas, «Why is FRP not a financial success?,» University of Patras, 2007.

Vedlegg

| | |
|--------------------------------|------------|
| Teori | 72 |
| Metode | 76 |
| Verifiseringer | 79 |
| Bakgrunn for resultater | 82 |
| Materialdata | 85 |
| ANSYS | 93 |
| Mathcad | 132 |
| Fremdriftsplan | 159 |
| Møtereferat | 160 |

A. Teori

A.1. Utfyllende designkriterier

I henhold til Forewind Safety Zone Statement skal det være en sikkerhetssone rundt vindmøllene på 500 meter under drifts- og konstruksjonsfase. Det kan likevel søkes om å komme inntil 50 meter fra vindmøllene under drift. DNV derimot setter ingen krav til minimum avstand. I oppgaven baseres bruspennet på en eksisterende bru, E100 fra Ampelmann. Denne har et spenn på 25-30 meter i utstrakt posisjon, og krever et skip som er lengre enn 70 meter.

Den tillatte helningen mellom skip og installasjon er ± 10 grader. Om gangbruen er spesialtilpasset kan denne vinkelen økes til ± 20 grader. Alle gangbruer skal ha en fri ganghøyde på minimum 2.1 meter. Gangbredden for en type 2 gangbru skal være minimum 0.6 meter. Alle kritiske punkter skal designes slik at de er lett tilgjengelig med tanke på inspeksjon og vedlikehold. Gulvet eller gangoverflaten må tåle stor slitasje og bestå av oljeresistent anti-skli overflate. Selv om bruksområdet ikke er i forbindelse med oljesektoren bør gangbruen være rustet til det ved nødstilfeller.

Alle fallfarer skal unngås. Potensielle fallfarer kan være utstikk og ledninger. På hver side av gangbruen skal det være gjerder som forhindrer fall over bord. Gjerde skal ved alle gangoverflater være 1 meter over bakken. Stavene skal ha en senteravstand på maksimum 1.5 meter. Gjerde skal ha 3 rekker og ligge med senteravstand fra 203 millimeter til 380 millimeter. Alle gjerdene skal designes med en skrå last på 75 kilogram. Det skal også installeres en sparkeplate på hver side av gangbruen, som skal være minst 100 millimeter i høyde. Om andre konstruksjoner oppfyller sparkeplatens funksjoner og krav kan den ses bort ifra.

Gangbruen skal designes med tanke på drenering og vedlikehold. Den skal enkelt kunne rengjøres og ikke samle opp væske. Åpninger i gulvet, som for eksempel gitter, skal dimensjoneres slik at gjenstander som skal fraktes over gangbruen ikke kan falle igjennom. Gangveien skal ha mønster som forhindrer en glatt overflate. Mønstrene skal gå sidelengs med 25 millimeter åpning i hver ende for drenering og renhold. Avstand mellom hvert mønster skal være minimum 400 millimeter. Høyden kan ikke være mindre enn 30 mm, men kan ikke være så høy at det oppstår fare for å snuble i dem.

Generelle krav

Hele gangveien skal belyses med minimum 100 lux.

Heavesystemkrav

Gangbruens endepunkt skal ha et system som holder det i konstant posisjon. Kravet er på ± 100 mm i X-, Y- og Z-retning. Heavesystemet fra Ampelmann kan stabilisere bruen med vindlaster på opp til 20m/s. Levetiden på heavesystemet fra Ampelmann er på 20 år, mens det i oppgavebeskrivelsen er definert mellom 30 til 40 års levetid.

A.2. Utrekning av nedbøyningskrav

Nedbøyningskravet hentes fra tabell 7-1 i DNV-ST-0358. Fra teorikapitlet Designkriterier.

$$LL = 30 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 30 \text{m}^2 = 900 \text{kg}$$

$$TL = 1,25 \cdot LL = 1,25 \cdot 900 = 1125 \text{kg}$$

$$G = 2213,1 \text{ kg} < 2 \cdot TL = 2250$$

A.3. Utdypning om bjelketeori/statikk

En bjelkes mostand mot nedbøyning kalles for mostandsmoment. Bjelkens geometriske motstandskraft er avhengig av tverrsnittet av bjelken. Formel A.1 viser hvordan motstandsmomentet kan beregnes for et rektangulært tverrsnitt for en akse.

$$W = \frac{bh^2}{6} \text{ Formel A.1 Motstandsmoment}$$

, der W er motstandsmoment, b er bjelkens bredde og h er bjelkens høyde.

For øvrig finnes det også noe som heter det annet arealmoment, som kan brukes for å beregne bjelkens kapasitet mot å bøye seg. Formel A.2 viser hvordan det annet arealmoment kan beregnes for et rektangulært tverrsnitt for en akse.

$$I = \frac{bh^3}{12} \text{ Formel A.2 Det annet arealmoment}$$

, der I er motstandsmoment, b er bjelkens bredde og h er bjelkens høyde.

A.4. Utdypning om materialfaktorer

Partiell lasteffektfaktor (PLEF)

Den partielle lasteffekt faktoren, γ_f , gjør rede for naturlig variasjon i en konstruksjons lokalrespons når den blir påført en last. Faktoren bestemmes med hensyn til spenningenes og tøyningenes distribusjon, kovarians og grensetilstand. Distribusjonen og COV er igjen avhengig av usikkerheter som følger med lasten, lastens overføringsfunksjon gjennom konstruksjonen og analysemetoden.

Partiell motstandsfaktor (PMF)

Partiell motstandsfaktor, γ_m , tar hensyn til uregelmessigheter i materialets styrke. Faktoren avgjøres av sikkerhetsklassen som kommer av risikoanalysen, kovariansen av materialstyrken og feilmekanismen.

Kombinert sikkerhetsfaktor (KSF)

En forenklet kombinert sikkerhetsfaktor, γ_{FM} , finnes i tabell 8-2 og 8-3 i standard OS-C501.

Sikkerhetsfaktoren er en kombinasjon mellom den partielle motstandsfaktoren og den partielle lasteffekt faktoren. $\gamma_{FM} = \gamma_f \cdot \gamma_m$. Sikkerhetsfaktoren er valgt på bakgrunn av sikkerhets- eller serviceklassen som er satt i risikoanalysen og kovariansen som er funnet av bruddspenningene fra forprosjektet.

Lastmodellfaktor (LMF)

Lastmodellfaktoren, γ_{sd} , er en faktor som tar høyde for usikkerhet tilknyttet laster i en analyse. Når en last påføres en konstruksjon kan responsen variere fra gang til gang. Det er da faktorens oppgave å ta høyde for dette og forskyve analysen til sikker side. Modellering i FE-verktøy er regnet for å være tilstrekkelig nøyaktig, slik at den partielle modellfaktoren kan settes lik 1.0 så lenge grensene og antakelsene er i henhold til standarden. Om grensene og antakelsene i FE analysen bare delvis stemmer settes faktoren lik 1.1. Ved større avvik skal det utføres komponenttester for å definere faktoren.

Motstandsmodellfaktor (MMF)

Motstandsmodellfaktor, γ_{Rd} , tar hensyn til usikkerheter fra både kjente og forutsette feil i materialet. Usikkerhetene kan komme av reduserte styrkeegenskaper som en konsekvens av produksjons-, installasjonsfeil og degradering.

Partiell utmattingssikkerhetsfaktor (PUSF)

Partiell utmattingssikkerhetsfaktor er en faktor som skal brukes til å forutse brudd ved statisk eller dynamisk utmatting for langtidslaster.

Systemeffektfaktor

Systemeffektfaktor, γ_s , kan gis til en komponent i et system, hvis feil i komponenten fører til feil av hele systemet. I et slikt tilfelle må komponent ha et høyere faktor enn resten av systemet. For eksempel om en feil i en komponent som et rør feiler leder det til at hele rørsystemet ikke lenger er funksjonelt. Røret må dermed gis en systemfaktor.

Faktorverdier

Alle faktorene for strukturer og komponenter er gitt i Tabell-Vedlegg A-1 til Tabell-Vedlegg A-3. Faktorene kommer av risikoanalysen som er gjennomført. Faktorer som krever testdata er hentet fra forprosjektet. For eksempel kovariansen for å finne **KSF** γ_{FM} , som er COV = 3,08%. Faktorene som brukes for knekking er empiriske verdier som kun kan hentes ved å utføre laboratorietester. Verdiene har dessverre ikke vært tilgjengelige og er derfor blitt anslått til å være 1.0. Systemfaktoren er kun tatt i bruk ved fiberbrudd og knekking i bjelkene, ettersom feilmekanismer som nedbøyning og slagskade ikke skal lede til havari.

| Faktorer: GB | | | | | | | |
|--------------------|-----------------|-------------------|----------------|-------------------|-------------------|---------------------|----------------|
| Feilmekanisme | PLEF γ_f | LMF γ_{sd} | PMF γ_m | MMF γ_{rd} | KSF γ_{FM} | PUSF γ_{fat} | SEF γ_s |
| Nedbøyning | 1.0 | 1.0 | - | - | - | - | - |
| Statisk utmatting | - | - | - | 1.0 | - | 50 | 1.1 |
| Dynamisk utmatting | - | 1.05 | - | 0.1 | - | 50 | 1.1 |

Tabell-Vedlegg A-1 Faktorer for Gangbruen

| Faktorer: MB-B og TB-B | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|-------------------|----------------|-------------------|-------------------|---------------------|----------------|
| Feilmekanisme | PLEF γ_f | LMF γ_{sd} | PMF γ_m | MMF γ_{rd} | KSF γ_{FM} | PUSF γ_{fat} | SEF γ_s |
| Fiberbrudd | - | 1.0 | - | 1.0 | 1.7 | - | 1.1 |
| Knekking | - | 1.0 | - | 1.0 | 1.0 | - | 1.1 |

Tabell-Vedlegg A-2 Faktorer for bjelker

| Faktorer: MB-HSS, MB-HVS, MB-VSS, MB-VVS, TB-HSS, TBHVS, TB-VSS og TB-VVS | | | | | | | |
|---|-----------------|-------------------|----------------|--------------------|-------------------|---------------------|----------------|
| Feilmekanisme | PLEF γ_f | LMF γ_{sd} | PMF γ_m | PMMF γ_{rd} | KSF γ_{FM} | PUSF γ_{fat} | SEF γ_s |
| Fiberbrudd | - | 1.0 | - | 1.0 | 1.7 | - | - |
| Knekking | - | 1.0 | - | 1.0 | 1.0 | - | - |

Tabell-Vedlegg A-3 Faktorer for stag

A.5. Fastsettelse av lasttilfeller

| | LT 1a | LT 1b | LT 1c | LT 2a | LT 2b | LT 3 | LT 4 | LT 5 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|------|
| G _{vertikal} | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 2.31 | 4.62 | 4.62 | 4.2 | 2.1 |
| G _{horisontal} | - | - | - | 0.105 | 0.105 | 0.105 | - | - |
| Q | 6 | 12 | 12 | - | - | - | - | 3.75 |
| Q _{tip} | - | - | - | - | - | 3.5 | - | - |
| Q _b | 8 | 8 | - | - | - | - | - | - |
| E_w | - | 18.75 | 18.75 | - | 18.75 | 18.75 | 69.2 | - |
| Crit. | I | II | II | I | II | III | II / III | |

LT = Lasttilfelle

G = Egenlast

Q = Nyttelast

Q_{tip} = Nyttelast på tuppen/endenQ_b = «Bumper/push» laster (langsgående)G_c = Sentrifugal lastE_{sp} = «Sea pressure loads (green sea loads)»E_w = Vindlast

Crit. = Godkjennelseskriterium

MOA = maximum operational accelerations

MTA = maximum transit/parked acceleration

DF = dynamisk faktor

Tabell-Vedlegg A-4 Lasttilfeller

Alle verdier i Tabell-Vedlegg A-4 er oppgitt i kN.

MOA = 2.0.

MTA = 2.0.

DF_{vertikal} = 1.1.DF_{horisontal} = 1.05.

G = 2.1 kN.

Q = 3 kN.

Q_{test} = 3.75 kN.

$Q_{tip} = 3.5 \text{ kN}$.

$Q_b = 8 \text{ kN}$.

G_c = neglisjeres grunnet kompensering gjennom gradvis akselerasjon og retardasjon ved dreining.

E_{sp} = neglisjeres grunnet oppgavens avgrensning.

Vindlast (DNVGL-ST-0378)

$$P = A \cdot q \cdot C \cdot \sin \alpha$$

der:

P = vindlast i N.

A = utsatt areal i m^2 . (38.26 m^2 i ustrakt posisjon og 29.16 m^2 i sammentrukket posisjon.)

q = air velocity pressure = $\rho v^2 / 2$. ρ = massetetthet av luft (1.225 kg/m^3) og v = vindhastighet i m/sek (44 m/sek for parkert tilstand og 20 m/sek for øvrige).

C = average «pressure coefficient» for the exposed surface. Settes lik 2. (Tabell A-1)

α = vinkelen mellom vindretning og utsatt overflate.

B. Metode

B.1. Redegjørelse for feilmekanismer

Under følger fremgangsmetoden for aktuelle feilmekanismer som er avgrenset fra oppgaven.

Matriseoppsprekking

Kriteriet for matriseoppsprekking er gjeldene når en sprekk oppstår i et matriselag, og ikke når det går i fullstendig brudd. Grunnen er at fiber og nærliggende lag kan bidra til at matriselaget ikke går i fullstendig brudd og dermed kamuflere svakheten i det nevnte matriselaget.

Kriteriet deles opp i to, avhengig av om spenningene går i en definert retning eller ikke. Formel-Vedlegg B-1 avgjør hvilket kriterium som er gjeldene, enten med hensyn til dominerende spenninger eller en spenningskombinasjon. [23]

$$\frac{\left| \frac{\sigma_{ik}}{\sigma_{ik}^{matrix}} \right|}{\sum_{n \neq i} \left| \frac{\sigma_{nk}}{\sigma_{nk}^{matrix}} \right|} \leq 10$$

Formel-Vedlegg B-1 Kriteriet om dominerende spenninger eller spenningskombinasjon er gjeldene

Om Formel-Vedlegg B-1 ikke er oppfylt er det dominerende spenninger, beskrevet gjennom Formel-Vedlegg B-2, som er gjeldende. Den opptredende spenningen i retning n skal kontrolleres opp mot karakteristisk lasteffekt av strukturen.

$$\gamma_F \cdot \gamma_{sd} \cdot \sigma_{nk} < \frac{\sigma_{nk}^{matrix}}{\gamma_M \cdot \gamma_{Rd}}$$

Formel-Vedlegg B-2 Kriteriet om dominerende spenninger eller spenningskombinasjon er gjeldene

Om Formel-Vedlegg B-1 er oppfylt er det en kombinasjon av spenninger i forskjellige retninger som virker i punktet, beskrevet gjennom Formel-Vedlegg B-3, som er gjeldende.

$$\gamma_F \cdot \gamma_{sd} \cdot \gamma_M \cdot \gamma_{Rd} \cdot \sqrt{\sum_n \left(\frac{\sigma_{nk}}{\sigma_{nk}^{matrix}} \right)^2} < 1$$

Formel-Vedlegg B-3 Matriseoppsprekking ved en spenningskombinasjon

Alternativt er det også mulig å bruke Pucks kriterium, men dette vil ikke inngå i oppgaven på grunn av at den er omfattende og dermed tidskrevende.

Matriseoppsprekking forårsaket av skjær

Hvis minimumsvinkelen mellom fibrene i laminatet er større enn 45 grader kan skjærkrefter føre til oppsprekking eller deformasjon. For en enkel todimensjonalkontroll i planet kan Formel-Vedlegg B-4 anvendes. [23]

$$\gamma_F \cdot \gamma_{sd} \cdot \sigma_{12} < \frac{\sigma_{12}^{matrix}}{\gamma_M \cdot \gamma_{Rd}}$$

Formel-Vedlegg B-4 Matriseoppsprekking ved skjær

Delaminering

Interlaminære sprekker kan oppstå mellom lagene og dermed splitte opp laminatet, beskrevet gjennom Formel-Vedlegg B-5. Fenomenet delaminering oppstår gjerne hvor kompositten har retningsendringer, og kan lede til redusert styrke og stivhet. Sprekkene oppstår eller vokser når tøyingsenergiraten, G , når det kritiske grensen $G_{critical}$. Det skal brukes interlaminære spenninger for å beregne G . [23]

$$\gamma_F \cdot \gamma_{sd} \cdot G < \frac{G_{critical}}{\gamma_M \cdot \gamma_{Rd}}$$

Formel-Vedlegg B-5 Delaminering

Flytning

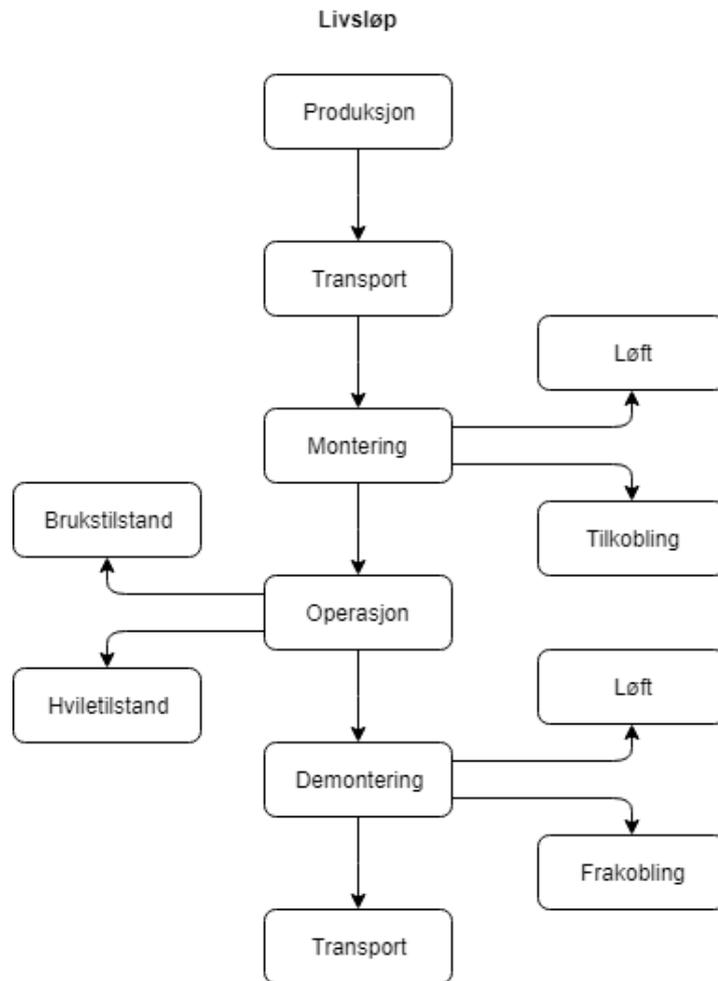
Det generelle kriteriet for flytning gjelder hovedsakelig for kjernematerialer i sandwichstrukturer, men er også aktuelt hvor det er matriser med plastiske egenskaper. Altså i områder der fiberandelen er lavere enn resten av laminatet. Det er vanligvis von-Mises flytekriterium, beskrevet gjennom Formel-Vedlegg B-6, som legges til grunn for flytning i komposittmaterialer. [23]

$$\gamma_F \cdot \gamma_{sd} \cdot \gamma_M \cdot \gamma_{Rd} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} < \sigma_y$$

Formel-Vedlegg B-6 von-Mises flytekriterium

B.2. Gangbruens livsløp

Gangbruene har et livsløp som er vist i Figur-Vedlegg B-1. Figuren tar for seg alle tilstander/faser som bruene kommer til å gå gjennom i løpet av levetiden.



Figur-Vedlegg B-1 Gangbruens livsløp

- *Produksjonsfasen (PF)* er produksjonen av stag og bjelker i kompositt, i tillegg til montering av gangbruene.
- *Transportfase (TF-1)* tar for seg frakten fra produksjonslokalet til monteringsområdet/havn.
- *Monteringsfasen 1 (MF)* av gangbruene på fartøyet (skipet) er en todelt prosess. Den første delen er et løft av bruene med kran. Den andre delen er tilkoblingen på fartøyet.
- *Operasjonsfasen (OF)* er en todelt fase hvor gangbruene er montert og i bruk på fartøyet.
 - *Brukstilstand (BF)* er fasen hvor bruene er under normal drift, og i utstrakt posisjon. Bruene har i denne fasen innspenning kun i en ende, som en utkraget bjelke.
 - *Hviletilstand (HF)* er når bruene står parkert med teleskopet i en sammentrukket posisjon. I hvilefasen har bruene to opplager, som en fritt opplagt bjelke.
- *Demonteringsfasen (DF)* er en todelt prosess som inneholder frakobling av bruene fra fartøyet, i tillegg til et løft av bruene.
- *Transportfase 2 (TF2)* er fasen hvor bruene fraktes fra demonteringsområdet til destruksjonsområdet/gjenvinning.

C. Verifiseringer

C.1. Verifisering av skallmodell i ANSYS

I oppgaven er det blitt brukt 4-noders skallelementer for å modellere konstruksjonen, som nevnt i metodekapitlet om ANSYS Mechanical APDL. Dette kapitlet vil se på en utkraget bjelke i fiberarmert polymer, der nedbøyningen skal sammenlignes med det analytiske resultatet fra studiet til Bank og Bednarczyk. [47] Dimensjonen av bjelken, i et rektangulært hulprofil, er vist i Tabell-Vedlegg C-1.

| Parameter | Verdi (mm) |
|-----------|------------|
| Bredde | 100 |
| Høyde | 25 |
| Tykkelse | 1 |
| Lengde | 1000 |

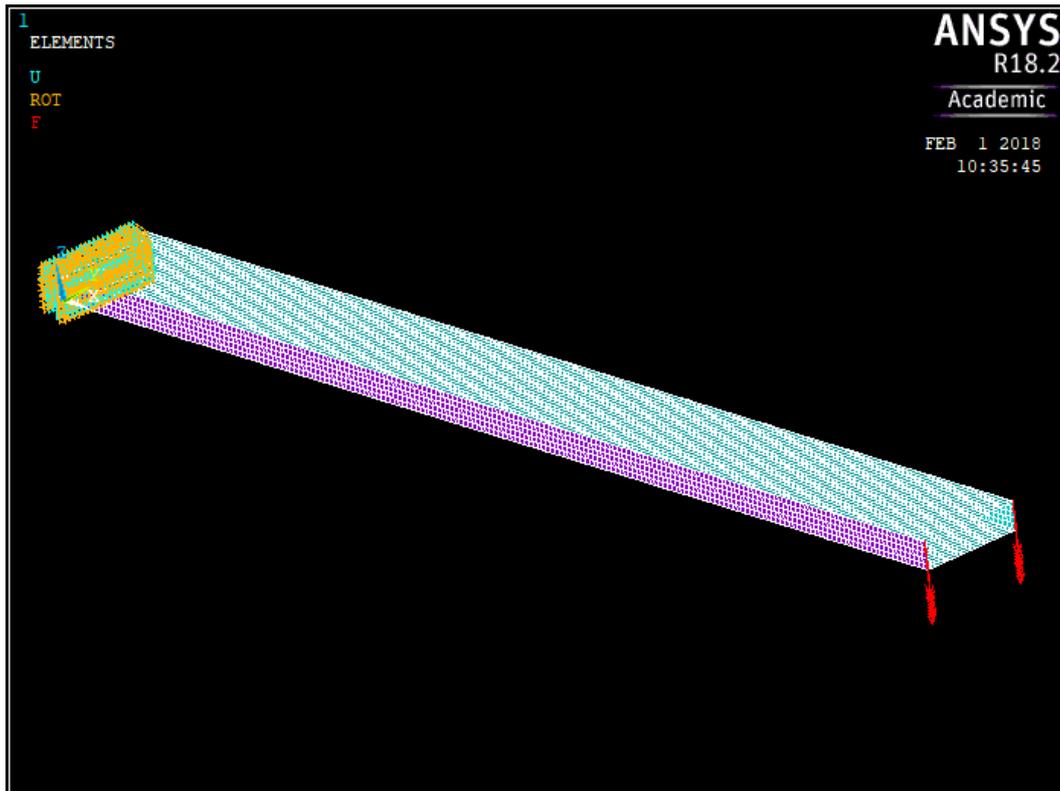
Tabell-Vedlegg C-1 Dimensjoner på prøvestykket

Materialet som har blitt brukt i modellen er grafitt/epoksy T300/5208 og egenskapene er vist i Tabell-Vedlegg C-2.

| Parameter | Verdi |
|------------|------------|
| E_1 | 181 (GPa) |
| E_2 | 13 (GPa) |
| G_{12} | 7.17 (GPa) |
| ν_{12} | 0.28 |

Tabell-Vedlegg C-2 Materialegenskaper til prøvestykket

E er elastisitetsmodulen for henholdsvis i fiberretning (E_1) og perpendikulært til fiberretning (E_2). G er skjærmodulen og ν er tverrkontraksjonstallet. Bjelken er modellert, i ANSYS, i 4-noders skallelementer med en global «mesh» størrelse = 5. Videre er fiberretningen orientert ensrettet i langsgående retning. Modellen av bjelken er vist i Figur-Vedlegg C-1.

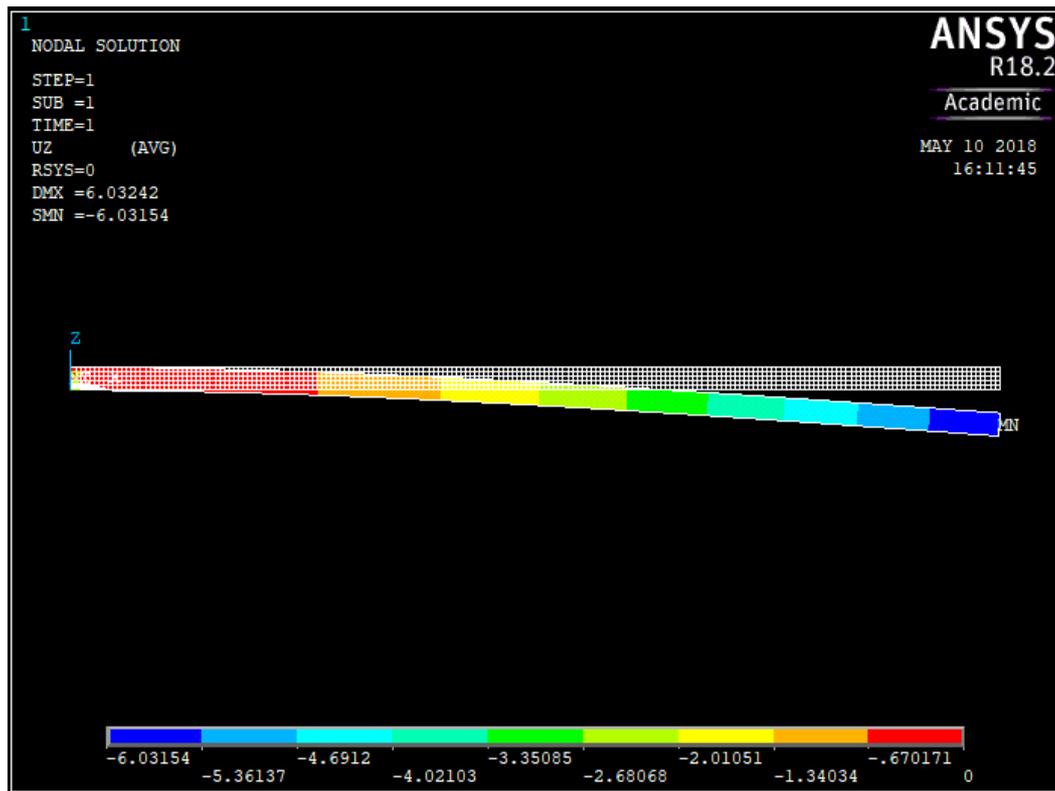


Figur-Vedlegg C-1 Verifisering av Shell element i ANSYS

Bjelken er fast innspent på den ene enden og påført en last på 100 N på den andre enden. Den største nedbøyningen befinner seg på enden der lasten er påført på 6.033 mm. Tabell-Vedlegg C-3 sammenligner resultatet med den analytiske løsningen fra Bank og Bednarczyk.

| FEM | Analytisk | Feilmargin (%) |
|-------|-----------|----------------|
| 6.033 | 6.034 | 0.00017 |

Tabell-Vedlegg C-3 Resultater av verifiseringen



Figur-Vedlegg C-2 Verifisering i ANSYS

Til sammenligning vil en identisk modell i 8-noders skallelementer gi en nedbøyning = 6.016 mm, vist i Figur-Vedlegg C-2. Med andre ord vil ikke nøyaktigheten på løsningen endre seg nevneverdig med flere noder. Det kan derfor konkluderes med å bruke 4-noders skallelementer til å simulere bjelken gir tilstrekkelig nøyaktig uten at det er for krevende for en datamaskin. På bakgrunn av dette vil gangbruene i oppgaven modelleres i 4-noders skallelementer. En viktig observasjon som ble gjort fra dette forsøket er at plasseringen av lastene har en signifikant påvirkning for hvordan nedbøyningen utarter seg. Spesielt med hensyn til at fiberarmert polymer er et relativt mykt materiale, der punktlaste kan gi svært høye nedbøyninger.

C.2. Verifisering av stag (gjerde)

I henhold til vedlegget om Utfyllende designkriterier skal gjerdet designes for en skrå last på 75 kg (750 N). Da designen av bruene er slik at stagen skal fungere som gjerde, skal dette kriteriet verifiseres gjennom at hvert enkelt stag skal kunne tåle den nevnte lasten. Tabell-Vedlegg C-4 er oversikten over tøyningene i staget og den karakteristiske tøyningen for materialet.

| Tøyning i et enkelt stag | | |
|--------------------------|---------------------|------------------------|
| | Opptredende tøyning | Karakteristisk tøyning |
| Strekk | 0.002139 | 0.028 |
| Trykk | 0.002145 | 0.015 |

Tabell-Vedlegg C-4 Verifisering av stag som gjerde i ANSYS

D. Bakgrunn for resultater

D.1. Informasjon om valgte produkter

Grating (Gitterrist)

Tabell-Vedlegg D-1 er hentet fra produsenten, Dura Composites, som er en komposittleverandør av gulv, struktur og fasade. I oppgaven har det blitt valgt typen med 1000mm spenn og 30mm tykkelse, bredden kan regnes om til 800mm. [50]

| Dura Grating Standard Mesh Grating - Load and Deflection (Kg/metre @ 1% Deflection) | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Panel Thickness (mm) | Span Type of Loading | 250mm | 500mm | 600mm | 750mm | 1000mm | 1200mm | 1500mm | 2000mm |
| 13 | Point Load | 79kg | 20kg | 14kg | 9kg | 5kg | 3kg | 2kg | 1kg |
| | UDL | 570kg | 158kg | 92kg | 47kg | 20kg | 11kg | 6kg | 2kg |
| 25 | Point Load | 1,585kg | 464kg | 322kg | 206kg | 116kg | 80kg | 51kg | 29kg |
| | UDL | 2,751kg | 1,375kg | 850kg | 435kg | 184kg | 106kg | 54kg | 23kg |
| 30 | Point Load | 2,381kg | 836kg | 581kg | 372kg | 209kg | 145kg | 92kg | 52kg |
| | UDL | 4,761kg | 2,381kg | 1,765kg | 904kg | 381kg | 221kg | 113kg | 48kg |
| 38 | Point Load | 3,814kg | 1,698kg | 1,179kg | 755kg | 424kg | 294kg | 188kg | 106kg |
| | UDL | 7,629kg | 3,814kg | 3,179kg | 1,834kg | 774kg | 448kg | 229kg | 97kg |
| 50 | Point Load | 5,933kg | 2,967kg | 2,414kg | 1,545kg | 868kg | 603kg | 386kg | 217kg |
| | UDL | 11,866kg | 5,933kg | 4,944kg | 3,754kg | 1,584kg | 916kg | 469kg | 198kg |

Tabell-Vedlegg D-1 Informasjon om gitterrist

Coating (friksjonsmateriale/belegg)

For at teleskoperingsfunksjonen skal virke optimalt er bruene avhengig av lav friksjon mellom de bevegelige delene. Dette gjøres ved å legge på et belegg som kan gi de ønskede egenskapene. Belegget legges hvor bjelkene til MB og TB er i kontakt med hverandre. Materialet som er valgt i denne oppgaven er NiPLATE 777 fra Surface Technology. Materialet har en høy densitet med silisiumkarbid partikler som er blandet inn med en hard nikkelmatriks, der silisiumet spesielt bidrar til en friksjonsfri overflate. Materialet har også flere egenskaper som høy korrosjonsmotstand, stor slite- og slagstyrke. Utover dette er materialet lett formbart og kan fordeles på både hele elementer så vel som kritiske punkter. [51]

D.2. Antagelser for utmatting

For å vurdere bruene for utmatting, både statisk og dynamisk, er det gjort en rekke antagelser. Disse er basert på konservative vurderinger om bruens levetid. En generell vurdering som er gjeldende for både dynamisk og statisk utmatting er at den effektive brukstiden, der bruene tas i bruk, utgjør kun 4 av 40 år.

Statisk utmatting

Ved hjelp av tall som er hentet fra Ampelmann gjøres det et konservativt overslag om at 10 personer med 100 kg utstyr bruker bruene hver gang den er i bruk. [52] Målet er at bruene skal ha en levetid på

40 år, altså 3.1536^{17} sek/år. Den tas i bruk rundt 10 % av tiden som tilsvarer 3.154^{16} sek. Den resterende tiden vil være dødtid (hviletid) der bruene er spent inn i begge ender som utgjør 2.838^{17} sek. ULS oppstår under den effektive brukstiden. Det antas at en person inkludert utstyr bruker rundt 60 sek på å krysse, altså at konstruksjonen blir utsatt for dette 1200 sek hver dag den er i bruk. I løpet av levetiden oppstår belastninger som følge av den effektive brukstiden ULS, 4.38^{14} sek og resten av bruken foregår i SLS $3,11^{16}$ s. Utregningen baserer seg på DNVs sjekk for statisk utmatting av kompositter.

Dynamisk utmatting

Når det skal gjøres rede for dynamisk utmatting sees det på summen av belastninger av forskjellige spenningsamplituder som bruene utsettes for gjennom levetiden. I tillegg til transport av personell, kommer påkjenningene fra vind, samt en bumperlast for hver gang bruene legges til installasjon.

Teleskoperingsfunksjonen antas å være tilnærmet friksjonsfri og påvirker derfor konstruksjonen lite. I henhold til DNV sitt regelverk reduseres eller kanselleres bølgenes påvirkning som følge av et godt heavesystem og derfor inkluderes den ikke i utregningen. Offshore skal det i henhold til eurokoden [NS-EN 1991-1-4] for vindlaster legges til 30% for konstruksjoner med en beregnet levetid på 50 år eller mer. Ved en levetid på over 100 år skal det legges til ytterligere 4%. Gangbruene har en tiltenkt levetid på 30-40 år og faller derfor utenom disse kravene.

Et vindkast som er opptil 1.4 ganger kraftigere enn middelvinden oppstår i snitt hvert 10. minutt. [53] Dette tilsvarer 144 sykluser i løpet av et døgn og 52560 sykluser i løpet av et år. Dette er ekstremt og derfor tenkes det at 90% av disse kastene er såpass små at de kan neglisjeres. Det sees derfor på 5250 vindsykluser per år som påvirker bruens utmatningsliv. Det er ikke lov å bruke bruene ved vindkast over 22 m/sek og derfor opplever bruene kun stormvind i løpet av dødtiden. Spenningsamplituder som følge av stormkast utgjør 236.25 sykluser per år. Middelvind i dødtid tilsvarer 4489 sykluser per år, mens de resterende kastene på 525 sykluser per år foregår under bruene av bruene.

En bumperlast oppstår når bruene skal legges til eller trekkes ifra en fast installasjon. I disse situasjonene kan det oppstå tilfeller der heavesystemet ikke klarer å korrigere bruene nok relativt til den faste installasjonen. Det vil da oppstå en kraft mot bruens endestykke. Hver gang båten skal legges til installasjonen antas det at det oppstår 2 bumperlaste når den legges til og 2 når den trekkes ifra. Dette utgjør 146 bumperlaste per år.

I henhold til DNV sin klassifisering av type 2 bruer tas det høyde for at kun en person kan krysse bruene om gangen. Hvis 5 personer med utstyr krysser bruene hver gang den tas i bruk utgjør dette 365 sykluser per år.

D.3. Egenfrekvens

| Set | Frekvens | Forskyvning |
|-----|-----------|-------------|
| 1 | 0,0490042 | 0,065654 |
| 2 | 0,0877598 | 0,051188 |
| 3 | 0,13674 | 0,11827 |
| 4 | 0,16688 | 0,067229 |
| 5 | 0,17327 | 0,149881 |
| 6 | 0,20237 | 0,063212 |
| 7 | 0,23613 | 0,073502 |
| 8 | 0,26376 | 0,069975 |
| 9 | 0,32527 | 0,18992 |
| 10 | 0,32986 | 0,203317 |
| 11 | 0,35649 | 0,076765 |
| 12 | 0,36218 | 0,07208 |
| 13 | 0,38626 | 0,141165 |
| 14 | 0,38952 | 0,130519 |
| 15 | 0,44665 | 0,08968 |
| 16 | 0,53330 | 0,082193 |
| 17 | 0,54593 | 0,084565 |
| 18 | 0,56417 | 0,095116 |
| 19 | 0,61397 | 0,07897 |
| 20 | 0,64509 | 0,18453 |
| 21 | 0,65373 | 0,183512 |
| 22 | 0,66516 | 0,061013 |
| 23 | 0,79486 | 0,082654 |
| 24 | 0,80692 | 0,079983 |
| 25 | 0,83027 | 0,052287 |
| 26 | 0,97607 | 0,073284 |
| 27 | 1,0386 | 0,1587 |
| 28 | 1,044 | 0,170138 |
| 29 | 1,101 | 0,047725 |
| 30 | 1,1322 | 0,123871 |

Tabell-Vedlegg D-2 Egenfrekvenser og tilsvarende forskyvning hentet fra ANSYS

D.4. Prisestimat

Antagelser for Prisestimat (vedlegg)

Det har blitt gjort en rekke antagelser og forenklinger i prisestimatet av gangbruen på grunn oppgavens begrensninger og manglende velvilje fra bransjen til å dele «sensitiv» informasjon. Forenklingene er som følger: Det skal gjøres en cradle-to-gate-analyse. Denne analysen tar ikke hensyn til frakt, montering på skip, og kostnader som påløper i løpet av konstruksjonens levetid. Kostnader utover materialkostnader og produksjon av gangbruen sees ikke på i prisestimatet. Dette innebærer blant annet elektronikk, hydraulikk og andre systemer som er tilknyttet gangbruen.

E. Materialdata



DATASHEET

(according to EN 13473-1)

SAP-MATERIAL-NO.
30000383

TEXTILE STRUCTURE
7000200

ARTICLE DESCRIPTION
Q-E-1232g/m²-1270mm

| CONSTRUCTION | AREAL-WEIGHT [g/m ²] | TOLERANCE [+/--%] | MATERIAL |
|--------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------|
| <i>upper sider</i> | | | |
| 0 ° | 319 | 5 | E-glass 900 TEX |
| 45 ° | 300 | 5 | E-glass 300 TEX |
| 90 ° | 307 | 5 | E-glass 600 TEX |
| -45 ° | 300 | 5 | E-glass 300 TEX |
| <i>lower side</i> | | | |
| STITCHING: | 6 g/m ² | +/- 1 g/m ² | PES 76 dtex |

| | | | |
|---------------------|-----------------------|------------------|-------|
| Stitching pattern: | tricot | Gauge: | 5,0 |
| WIDTH: | 1.270 mm | Total Tolerance: | 5,1 % |
| Total areal weight: | 1232 g/m ² | | |



DATASHEET

(according to EN 13473-1)

SAP-MATERIAL-NO.
30000439

TEXTILE STRUCTURE
7000209

ARTICLE DESCRIPTION
X-E-612g/m²-1270mm

| CONSTRUCTION | AREAL-WEIGHT [g/m ²] | TOLERANCE [+/--%] | MATERIAL |
|-------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------|
| <i>upper side</i> | | | |
| 45 ° | 300 | 5 | E-glass 300 TEX |
| 90 ° | 3 | 5 | E-glass 68 TEX |
| 0 ° | 3 | 5 | E-glass 68 TEX |
| -45 ° | 300 | 5 | E-glass 300 TEX |
| <i>lower side</i> | | | |
| STITCHING: | 6 g/m ² | +/- 1 g/m ² | PES 76 dtex |

→ X/Y

| | | | |
|---------------------|----------------------|------------------|-------|
| Stitching pattern: | warp | Gauge: | 5,0 |
| Width: | 1.270 mm | Total Tolerance: | 5,1 % |
| Total areal weight: | 612 g/m ² | | |

SPECIFICATION

1102-6 


Product: LT450-C10-C

Rev.data:

Layers

| Layer | Material 1 | | | | | | | Area Weight [g/m ²] |
|--------|------------|---------------|--|--|--|--|--|---------------------------------|
| | Tex | Material Type | | | | | | |
| 0° | 800 | Carbon | | | | | | 208 |
| 90° | 800 | Carbon | | | | | | 205 |
| Stitch | 7.6 | Polyester/ | | | | | | 12 |

| Resin Compatibility * |
|-----------------------|
| UP, EP, VE |

| | |
|-------------------------|---------|
| Nominal area weight: | 424 |
| Theoretical width [mm]: | 1270 mm |
| Average area weight: | 629 |

Processing and Control

| Binding/ Stitch Information | |
|-----------------------------|----------------|
| Stitch type: | Chain / Tricot |
| Stitch length: | 2.5mm / Stitch |
| Space between needles: | 2.5mm |
| Pilot yarn colour: | |

| Quality Assurance / Test | | |
|--------------------------|----------|--|
| Weight: | ISO 4605 | |
| Loss of ignition: | ISO 1887 | |
| Moisture content: | ISO 3344 | |

Logistics

| | |
|--------------------|------------------------|
| Roll length: | 75m, -0m, +5m |
| Roll width: | 1270mm, ±10mm |
| Roll weight: | 59.9kg |
| Roll direction: | Topp layer facing roll |
| Max fringe length: | |

| | |
|-------------------|---------------|
| Tube size: | 76mm |
| Pallet size: | 90x130 |
| Rolls per pallet: | 12 |
| Stacking: | Cardboard box |

Devold AMT Acceptance Criteria

| |
|---|
| 1. Area weight should be within ±3% of average value |
| 2. Fibre orientation should be within ±2° of nominal value |
| 3. There should be no dirt or oil spots |
| 4. Gap wider than 5mm will be considered as a defect (measured 90° on roving) |
| 5. No damage on outer roving or stitch yarn due to cutting edges |

* UP: Polyester; EP: Epoxy; VE: Vinylester; ac: Anhydride cure

** CpE: Counts per ends, yarns/cm

| Comment |
|---------|
| |

SPECIFICATION

1052-2 **DEVOLD**
AMT

Product: L 900-E10

Rev.data:

Layers

| Layer | Material 1 | | | | Material 2 | | | | Area Weight [g/m ²] |
|--------|------------|---------------|--|--|------------|---------------|--|--|---------------------------------|
| | Tex | Material Type | | | Tex | Material Type | | | |
| 0° | 2400 | E-Glass | | | 1200 | E-Glass | | | 851 |
| 90° | 200 | E-Glass | | | | | | | 48 |
| Stitch | 7.6 | Polyester/ | | | | | | | 6 |

| Resin Compatibility * |
|-----------------------|
| UP, EP, VE |

| | |
|--------------------------------|---------|
| Nominal area weight: | 905 |
| Theoretical width [mm]: | 1270 mm |
| Average area weight: | 904 |

Processing and Control

| Binding/ Stitch Information | |
|-----------------------------|-----------------|
| Stitch type: | Chain / Tricot |
| Stitch length: | 3.00mm / Stitch |
| Space between needles: | 2.54mm |
| Pilot yarn colour: | |

| Quality Assurance / Test | | |
|--------------------------|----------|--|
| Weight: | ISO 4605 | |
| Loss of ignition: | ISO 1887 | |
| Moisture content: | ISO 3344 | |

Logistics

| | |
|--------------------|------------------------|
| Roll length: | 45m, -0m, +5m |
| Roll width: | 1270mm |
| Roll weight: | 51.7kg |
| Roll direction: | Topp layer facing roll |
| Max fringe length: | = 10mm |

| | |
|-------------------|--------|
| Tube size: | 76mm |
| Pallet size: | 90x130 |
| Rolls per pallet: | |
| Stacking: | |

Devold AMT Acceptance Criteria

| |
|---|
| 1. Area weight should be within ±3% of average value |
| 2. Fibre orientation should be within ±2° of nominal value |
| 3. There should be no dirt or oil spots |
| 4. Gap wider than 5mm will be considered as a defect (measured 90° on roving) |
| 5. No damage on outer roving or stitch yarn due to cutting edges |

* UP: Polyester; EP: Epoxy; VE: Vinylester; ac: Anhydride cure

** CpE: Counts per ends, yarns/cm

| Comment |
|---------|
| |

SPECIFICATION

561-18 


Product: DB 810-E05

Rev.data:

Layers

| Layer | Material 1 | | | | | | | | Area Weight [g/m ²] |
|--------|------------|---------------|--|--|--|--|--|--|---------------------------------|
| | Tex | Material Type | | | | | | | |
| +45° | 600 | E-Glass | | | | | | | 401 |
| 0° | 68 | E-Glass | | | | | | | 2 |
| -45° | 600 | E-Glass | | | | | | | 401 |
| Stitch | 7.6 | Polyester/ | | | | | | | 5 |

| |
|------------------------------|
| Resin Compatibility * |
| UP, EP, VE |

| | |
|--------------------------------|---------|
| Nominal area weight: | 809 |
| Theoretical width [mm]: | 2540 mm |
| Average area weight: | 809 |

Processing and Control

| Binding/ Stitch Information | |
|-----------------------------|--------------|
| Stitch type: | Chain |
| Stitch length: | 3mm / Stitch |
| Space between needles: | 5mm |
| Pilot yarn colour: | |

| Quality Assurance / Test | | |
|--------------------------|----------|--|
| Weight: | ISO 4805 | |
| Loss of ignition: | ISO 1887 | |
| Moisture content: | ISO 3344 | |

Logistics

| | |
|--------------------|-----------------------|
| Roll length: | 65m |
| Roll width: | 1270mm, ±10mm |
| Roll weight: | 66.8kg |
| Roll direction: | Top layer facing roll |
| Max fringe length: | = 10mm |

| | |
|-------------------|----------|
| Tube size: | 76mm |
| Pallet size: | 120x130 |
| Rolls per pallet: | 19 |
| Stacking: | Pyramide |

Devold AMT Acceptance Criteria

| |
|---|
| 1. Area weight should be within ±3% of average value |
| 2. Fibre orientation should be within ±2° of nominal value |
| 3. There should be no dirt or oil spots |
| 4. Gap wider than 5mm will be considered as a defect (measured 90° on roving) |
| 5. No damage on outer roving or stitch yarn due to cutting edges |

* UP: Polyester; EP: Epoxy; VE: Vinylester; ac: Anhydride cure

** CpE: Counts per ends, yarns/cm

| Comment |
|---------|
| |

Materialelegenskaper

Beregning av materialelegenskaper. Data er hentet fra datablader anskaffet av OPS, egne laboratorieforsøk og oppslagsverk.

E-glassfiber

$$\begin{aligned} \text{Strekkfasthet} \quad E_{\text{glass}} &:= 72.345 \text{ GPa} \\ \text{Poissons ratio} \quad \nu_{\text{glass}} &:= 0.22 \\ \text{Skjærmodul} \quad G_{\text{glass}} &:= \frac{E_{\text{glass}}}{2 \cdot (1 + \nu_{\text{glass}})} = 29.65 \cdot \text{GPa} \\ \text{Densitet} \quad \rho_{\text{glass}} &:= 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

Matrise Atlac 580 AC 300

$$\begin{aligned} \text{Strekkfasthet} \quad E_{\text{matrise}} &:= 3.0 \text{ GPa} \\ \text{Poissons ratio} \quad \nu_{\text{matrise}} &:= 0.38 \\ \text{Skjærmodul} \quad G_{\text{matrise}} &:= \frac{E_{\text{matrise}}}{2 \cdot (1 + \nu_{\text{matrise}})} = 1.087 \cdot \text{GPa} \\ \text{Densitet} \quad \rho_{\text{matrise}} &:= 1.12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ \text{Prosentandel} \quad \varphi_{\text{matrise}} &:= 0.35 \\ \text{Prosentandel} \quad \varphi_{\text{glass}} &:= 0.65 \\ \text{Massetetthet} \quad \rho &:= \varphi_{\text{glass}} \cdot \rho_{\text{glass}} + \varphi_{\text{matrise}} \cdot \rho_{\text{matrise}} = 1.625 \times 10^{-6} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} \end{aligned}$$

$$\text{Langsgående} \quad E_1 := E_{\text{glass}} \cdot \varphi_{\text{glass}} + E_{\text{matrise}} \cdot \varphi_{\text{matrise}} = 48.074 \cdot \text{GPa}$$

$$\text{Tversgående} \quad E_2 := \frac{E_{\text{matrise}} \cdot E_{\text{glass}}}{E_{\text{glass}} \cdot \varphi_{\text{matrise}} + E_{\text{matrise}} \cdot \varphi_{\text{glass}}} = 7.959 \cdot \text{GPa}$$

$$\text{Poisson} \quad \nu_{12} := \nu_{\text{glass}} \cdot \varphi_{\text{matrise}} + \nu_{\text{matrise}} \cdot \varphi_{\text{glass}} = 0.324$$

$$\nu_{21} := \frac{E_2 \cdot \nu_{12}}{E_1} = 0.054$$

$$\text{Skjærmodulus} \quad G_{12} := \frac{1}{\left(\frac{\varphi_{\text{glass}}}{G_{\text{glass}}} + \frac{\varphi_{\text{matrise}}}{G_{\text{matrise}}} \right)} = 2.908 \cdot \text{GPa}$$

$$\text{Interlaminært skjær} \quad \nu_{23} := \frac{\left(3 - 4 \cdot \nu_{\text{matrise}} + \frac{G_{\text{matrise}}}{G_{\text{glass}}} \right)}{4 \cdot (1 - \nu_{\text{matrise}})} = 0.612$$

$$G_{23} := \frac{G_{\text{matrise}} \cdot \left[v_{\text{glass}} + n_{23} \cdot (1 - v_{\text{glass}}) \right]}{n_{23} \cdot (1 - v_{\text{glass}}) - v_{\text{glass}} \cdot \frac{G_{\text{matrise}}}{G_{\text{glass}}}} = 1.616 \cdot \text{GPa}$$

Karbonfiber, T700

Strekkfasthet $E_{\text{karbon}} := 230 \text{ GPa}$

Poissons ratio $v_{\text{karbon}} := 0.22$

Skjærmodul $G_{\text{karbon}} := \frac{E_{\text{karbon}}}{2 \cdot (1 + v_{\text{karbon}})} = 94.262 \cdot \text{GPa}$

Densitet $\rho_{\text{karbon}} := 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Matrise Atlac 580 AC 300 PDS

Strekkfasthet $E_m := 3.0 \text{ GPa}$

Poissons ratio $v_m := 0.38$

Skjærmodul $G_m := \frac{E_m}{2 \cdot (1 + v_m)} = 1.087 \cdot \text{GPa}$

Densitet $\rho_m := 1.12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Prosentandel $\varphi_m := 0.45$

Prosentandel $\varphi_{\text{karbon}} := 0.55$

Massetetthet $\rho := \varphi_{\text{karbon}} \cdot \rho_{\text{karbon}} + \varphi_m \cdot \rho_m = 9.905 \times 10^{-7} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}$

Langsgående $E_{11} := E_{\text{karbon}} \cdot \varphi_{\text{karbon}} + E_{\text{matrise}} \cdot \varphi_{\text{matrise}} = 127.55 \cdot \text{GPa}$

Tversgående $E_2 := \frac{E_{\text{matrise}} \cdot E_{\text{karbon}}}{E_{\text{karbon}} \cdot \varphi_{\text{matrise}} + E_{\text{matrise}} \cdot \varphi_{\text{karbon}}} = 8.399 \cdot \text{GPa}$

Poisson $\nu_{12} := v_{\text{karbon}} \cdot \varphi_{\text{matrise}} + v_{\text{matrise}} \cdot \varphi_{\text{karbon}} = 0.286$
 $\nu_{21} := \frac{E_2 \cdot \nu_{12}}{E_1} = 0.018$

Skjærmodulus $G_{12} := \frac{1}{\left(\frac{\varphi_{\text{karbon}}}{G_{\text{karbon}}} + \frac{\varphi_{\text{matrise}}}{G_{\text{matrise}}} \right)} = 3.05 \cdot \text{GPa}$

Interlaminær
skjær

$$n_{23} := \frac{\left(3 - 4 \cdot v_{\text{matrise}} + \frac{G_{\text{matrise}}}{G_{\text{glass}}} \right)}{4 \cdot (1 - v_{\text{matrise}})} = 0.612$$

$$G_{23} := \frac{G_{\text{matrise}} \cdot [v_{\text{glass}} + n_{23} \cdot (1 - v_{\text{glass}})]}{n_{23} \cdot (1 - v_{\text{glass}}) - v_{\text{glass}} \cdot \frac{G_{\text{matrise}}}{G_{\text{glass}}}} = 1.616 \cdot \text{GPa}$$

F. ANSYS

F.1. Inputfiler til ANSYS (Hovedfilen – modellering av gangbru)

```

/PREP7
!DOF

!Analyse structural
/NOPR
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULTI,0
/GO
!*
/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering have been set to display:
/COM, Structural

DOF,UX,UY,UZ,ROTX,ROTY,ROTZ

!
!-----
!Materialdata for E-glass og vinylester (material 1.)

!Elementtype for kompositt skall element, satt til 4 noders firkant
ET,1,SHELL181

!keyoptions
KEYOPT,1,1,0
KEYOPT,1,3,0
KEYOPT,1,8,1
KEYOPT,1,9,0

!K er en faktor som tar høyde for matriseoppsprekking
K=1

!T er en reduksjon av e-modul pga temperaturendringer.
!T=0.24
!Materialegenskaper

!sectype 1
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,48074
MPDATA,EY,1,,7959*K
MPDATA,EZ,1,,7959*K
MPDATA,PRXY,1,,.324
MPDATA,PRYZ,1,,.054
MPDATA,PRXZ,1,,.324
MPDATA,GXY,1,,2908*K
MPDATA,GYZ,1,,1616*K
MPDATA,GXZ,1,,2908*K
MPDATA,DENS,1,,(1.625e-6)

!sectype 2
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,2,,48074
MPDATA,EY,2,,7959*K

```

```
MPDATA,EZ,2,,7959*K
MPDATA,PRXY,2,,.324
MPDATA,PRYZ,2,,.054
MPDATA,PRXZ,2,,.324
MPDATA,GXY,2,,2908*K
MPDATA,GYZ,2,,1616*K
MPDATA,GXZ,2,,2908*K
MPDATA,DENS,2,,(1.625e-6)
```

```
!sectype 3
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,3,,48074
MPDATA,EY,3,,7959*K
MPDATA,EZ,3,,7959*K
MPDATA,PRXY,3,,.324
MPDATA,PRYZ,3,,.054
MPDATA,PRXZ,3,,.324
MPDATA,GXY,3,,2908*K
MPDATA,GYZ,3,,1616*K
MPDATA,GXZ,3,,2908*K
MPDATA,DENS,3,,(1.625e-6)
```

```
!sectype 4
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,4,,48074
MPDATA,EY,4,,7959*K
MPDATA,EZ,4,,7959*K
MPDATA,PRXY,4,,.324
MPDATA,PRYZ,4,,.054
MPDATA,PRXZ,4,,.324
MPDATA,GXY,4,,2908*K
MPDATA,GYZ,4,,1616*K
MPDATA,GXZ,4,,2908*K
MPDATA,DENS,4,,(1.625e-6)
```

```
!sectype 5
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,5,,48074*T
MPDATA,EY,5,,7959*T
MPDATA,EZ,5,,7959*T
MPDATA,PRXY,5,,.324
MPDATA,PRYZ,5,,.054
MPDATA,PRXZ,5,,.324
MPDATA,GXY,5,,2908*T
MPDATA,GYZ,5,,1616*T
MPDATA,GXZ,5,,2908*T
MPDATA,DENS,5,,(1.625e-6)
```

```
!
```

```
!layup
t1=0.2667      !Tykkelse per lag, bjelker MB
t2=0.2667      !tykkelse per lag, stag MB
t3=0.2667      !tykkelse per lag, bjelker TB
t4=0.2667      !tykkelse per lag, stag TB
```

```
!MB Bjelker alternativ B
```

```
!Layup
```

```
sect,1,shell,,Bjelker MB
```

| !secdata, | Tykkelse | ID | Orientering | Intergr.pts |
|-----------|----------|----|-------------|-------------|
| secdata, | t1, | 1, | 45, | 3 |
| secdata, | t1, | 1, | 0, | 3 |
| secdata, | t1, | 1, | 0, | 3 |
| secdata, | t1, | 1, | 0, | 3 |


```

secdata,      t2,      2,      0,      3
secdata,      t2,      2,     -45,     3
secdata,      t2,      2,      0,      3
secdata,      t2,      2,     45,      3
secdata,      t2,      2,      0,      3
secdata,      t2,      2,     -45,     3
secdata,      t2,      2,     90,      3
secdata,      t2,      2,     45,      3
secdata,      t2,      2,      0,      3
secdata,      t2,      2,     -45,     3
secdata,      t2,      2,     90,      3
secdata,      t2,      2,     90,      3
secdata,      t2,      2,     -45,     3
secdata,      t2,      2,      0,      3
secdata,      t2,      2,     45,      3
secdata,      t2,      2,     90,      3
secdata,      t2,      2,     -45,     3
secdata,      t2,      2,      0,      3
secdata,      t2,      2,     45,      3
secdata,      t2,      2,      0,      3
secdata,      t2,      2,     -45,     3
secdata,      t2,      2,     45,      3
secdata,      t2,      2,      0,      3
secdata,      t2,      2,     -45,     3
secdata,      t2,      2,      0,      3
secdata,      t2,      2,     45,      3
secdata,      t2,      2,      0,      3
secdata,      t2,      2,     -45,     3
secdata,      t2,      2,      0,      3
secdata,      t2,      2,     45,      3

```

!Layup Bjelker-C1 TB Alt B

sect,3,shell,,Bjelker TB

!(Øverste i tabellen blir liggende innerst)

```

!secdata,      Tykkelse      ID      Orientering      Intergr.pts
secdata,      t3,      3,     45,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,     -45,     3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,     45,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,     -45,     3
secdata,      t3,      3,     90,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,     90,      3
secdata,      t3,      3,     90,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,     90,      3
secdata,      t3,      3,     -45,     3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,      0,      3
secdata,      t3,      3,     45,      3

```

```

secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,     -45,         3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,     45,          3

```

```
!Layup Stag MB Alt F
```

```
sect,4,shell,,Stag TB
```

```
!(Øverste i tabellen blir liggende innerst)
```

| !secdata, | Tykkelse | ID | Orientering | Intergr.pts |
|-----------|----------|----|-------------|-------------|
| secdata, | t4, | 4, | 45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 0, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | -45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 0, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 0, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | -45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 0, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 0, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | -45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 90, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 0, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | -45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 90, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 90, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | -45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 0, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 90, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | -45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 0, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 90, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | -45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 0, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 0, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | -45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 0, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 0, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | -45, | 3 |
| secdata, | t4, | 4, | 45, | 3 |

```
!Layup Stag MB Alt F
```

```
sect,5,shell,,Stag MB !Kun for brann
```

```
!(Øverste i tabellen blir liggende innerst)
```

| !secdata, | Tykkelse | ID | Orientering | Intergr.pts |
|-----------|----------|----|-------------|-------------|
| secdata, | t2, | 5, | 45, | 3 |
| secdata, | t2, | 5, | 0, | 3 |
| secdata, | t2, | 5, | -45, | 3 |
| secdata, | t2, | 5, | 0, | 3 |
| secdata, | t2, | 5, | 45, | 3 |
| secdata, | t2, | 5, | 0, | 3 |
| secdata, | t2, | 5, | -45, | 3 |
| secdata, | t2, | 5, | 0, | 3 |
| secdata, | t2, | 5, | 45, | 3 |
| secdata, | t2, | 5, | 0, | 3 |
| secdata, | t2, | 5, | -45, | 3 |
| secdata, | t2, | 5, | 0, | 3 |
| secdata, | t2, | 5, | 45, | 3 |
| secdata, | t2, | 5, | 0, | 3 |

```

secdata,      t2,      5,      -45,      3
secdata,      t2,      5,      90,      3
secdata,      t2,      5,      45,      3
secdata,      t2,      5,      0,      3
secdata,      t2,      5,      -45,      3
secdata,      t2,      5,      90,      3
secdata,      t2,      5,      90,      3
secdata,      t2,      5,      -45,      3
secdata,      t2,      5,      0,      3
secdata,      t2,      5,      45,      3
secdata,      t2,      5,      90,      3
secdata,      t2,      5,      -45,      3
secdata,      t2,      5,      0,      3
secdata,      t2,      5,      45,      3
secdata,      t2,      5,      0,      3
secdata,      t2,      5,      -45,      3
secdata,      t2,      5,      0,      3
secdata,      t2,      5,      45,      3
secdata,      t2,      5,      0,      3
secdata,      t2,      5,      -45,      3
secdata,      t2,      5,      0,      3
secdata,      t2,      5,      45,      3
secdata,      t2,      5,      0,      3
secdata,      t2,      5,      -45,      3
secdata,      t2,      5,      0,      3
secdata,      t2,      5,      45,      3

```

```

!
!-----
!Hovedverdier (mm)
!Telescoping boom (T-boom)
l.tot.TB=10000          !Lengde (x) Telescoping boom
b.tot.TB=950           !Bredde (z) Telescoping boom
h.tot.TB=1300          !Høyde (y) Telescoping boom

!M-Boom
l.tot.MB=18000         !Lengde (x) Main boom
b.tot.MB=1140          !Bredde (z) Main boom
h.tot.MB=1700-140     !Høyde (y) Main boom

!Extension (teleskopering)
L=1                    !Teleskopering L, fra 0 (helt inne) til 1 (helt ute)
Tf=7000                !Teleskoperingsfaktor
l.ext.=l.tot.mb/2-l.tot.TB+L*Tf  !avstand mellom startpunkt tb og slutt punkt MB
l.ext.TB=l.tot.mb/2-l.tot.TB/2+L*Tf  !Teleskoperingsparameter
!
!-----
!Parametre for modellering av Telescoping boom (tb)
H.bje.ov.TB=120        !Høyde (y) Bjelkeprofil TB, Overkant
B.bje.ov.TB=75-30     !Bredde(z) Bjelkeprofil TB, Overkant
H.bje.un.TB=120        !Høyde (y) Bjelkeprofil TB, Underkant
B.bje.un.TB=75-30     !Bredde(z) Bjelkeprofil TB, Underkant

!Vertikalt stag TB
Dist.V.St.TB=1200+10  !Distanse mellom vertikale stag TB i X-retning (elementlengde)
h.Ve.St.TB=50-10     !Høyde (x) Vertikalt stagprofil TB x-Retning
b.Ve.St.TB=50-10     !Bredde(z) Vertikalt stagprofil TB z-Retning

!Horisontalt Stag TB
h.Ho.St.TB=50-10      !Høyde (y) Horisontalt stagprofil TB y-Retning
b.Ho.St.TB=50-10      !Bredde(x) Horisontalt stagprofil TB x-Retning
Gr=30                 !Dybde (y) Grating

!Vertikalt Skråstag TB
b.Ve.SkSt.TB=50-10   !Høyde (z) Vertikalt skråstagprofil TB

```

```

Sp.Ve.SkSt.TB=69.64          !Startpunkt for skråstag i X-retning relativt til det vertikale
staget

!Horisontalt Skråstag
h.Ho.SkSt.TB=50-10          !Høyde (y) Horisontalt skråstagprofil TB y-Retning
Sp.Ho.SkSt.TB=72.18        !Startpunkt for skråstag i X-retning relativt til det horisontale
staget
!
!Utregning for tverrsnitt med Skråe treffpunkt (Pytagoras' setning)
Vinkel.A.Ve.SkSt.TB=45      !Vinkel Vertikalt skråstag
Vinkel.B.Ve.SkSt.TB=45      !Motstående vinkel
l.a.Ve.SkSt.TB=50-10        !Tykkelse på tverrsnitt/Lengde på et katet til trekant a
Vinkel.A.Ho.SkSt.TB=40      !Vinkel på Horisontalt skråstag
Vinkel.B.Ho.SkSt.TB=50      !Motstående vinkel
l.a.Ho.SkSt.TB=50-10        !Tykkelse på tverrsnitt/Lengde på katet til trekant a

!Treffpunkt for Vertikalt Skråstag (Pytagoras)
trekant.h.Ve.SkSt.TB=l.a.Ve.SkSt.TB*sin(Vinkel.B.Ve.SkSt.TB)
l.b.Ve.SkSt.TB=trekant.h.Ve.SkSt.TB/sin(Vinkel.A.Ve.SkSt.TB)
tverr.Ve.SkSt.TB=sqrt((l.b.Ve.SkSt.TB)**2-
(trekant.h.Ve.SkSt.TB)**2)+sqrt((*l.a.Ve.SkSt.TB)**2-(trekant.h.Ve.SkSt.TB)**2)

!Treffpunkt for Horisontalt Skråstag (Pytagoras)
trekant.h.Ho.SkSt.TB=l.a.Ho.SkSt.TB*sin(Vinkel.B.Ho.SkSt.TB)
l.b.Ho.SkSt.TB=trekant.h.Ho.SkSt.TB/sin(Vinkel.A.Ho.SkSt.TB)
Tverr.Ho.SkSt.TB=sqrt((l.b.Ho.SkSt.TB)**2-
(trekant.h.Ho.SkSt.TB)**2)+sqrt((*l.a.Ho.SkSt.TB)**2-(trekant.h.Ho.SkSt.TB)**2)
!
!keypoints, Fra negative verdier til positive (Element 1 TB)
!P1 (1-7)  x (Lengde)          y (Høyde)          z (Bredde)
k,1,      -l.tot.tb/2+l.ext.TB,-h.tot.TB/2,          b.tot.TB/2,
k,2,      -l.tot.tb/2+l.ext.TB,-h.tot.TB/2,          b.tot.TB/2-b.bje.un.TB,
k,3,      -l.tot.tb/2+l.ext.TB,-h.tot.TB/2+h.bje.un.TB,  b.tot.TB/2,
k,4,      -l.tot.tb/2+l.ext.TB,-h.tot.TB/2+h.bje.un.TB,  b.tot.TB/2-b.bje.un.TB,
k,5,      -l.tot.tb/2+l.ext.TB,-h.tot.TB/2+h.bje.un.TB-h.Ho.St.TB-Gr, b.tot.TB/2-b.bje.un.TB,
k,6,      -l.tot.tb/2+l.ext.TB,-h.tot.TB/2+h.bje.un.TB-Gr, b.tot.TB/2-b.bje.un.TB,
k,7,      -l.tot.tb/2+l.ext.TB,-h.tot.TB/2+h.bje.un.TB,  b.tot.TB/2-b.Ve.St.TB,
!
kgen,2,1,7,0,h.Ve.St.TB,0,0,7          !P2 (8-14)  Ve/ho-stag
kgen,2,1,7,0,Sp.Ve.SkSt.TB+h.Ve.St.TB,0,0,14          !P3 (15-21)  Ve-Skråstag 1
kgen,2,1,7,0,Sp.Ho.SkSt.TB+b.Ho.St.TB,0,0,21          !P4 (22-28)  Ho-Skråstag 1
kgen,2,1,7,0,Sp.Ve.SkSt.TB+h.Ve.St.TB+tverr.Ve.SkSt.TB,0,0,28!P5 (28-35)  Ve-Skråstag 2
kgen,2,1,7,0,h.Ve.St.TB+Sp.Ho.SkSt.TB+tverr.Ve.SkSt.TB,0,0,35!P6 (35-42)  Ho-Skråstag 2
!
!Speiling av knutepunkt
l.knp.TB=1250          !Avstand til Knutepunkt TB
wplane,-1,-l.tot.TB/2+l.knp.tb/2+l.ext.TB,0,0          !Nytt workplane
csys,wp          !Aktivt workplane
ksymm,x,8,42,1,43          !Symmetri av Keypoints om x-akse
!
!Arealer til bjelke for TB
!P1-P2
a,1,8,10,3
a,3,10,14,7
a,7,14,11,4
a,4,11,13,6
a,6,13,12,5
a,5,12,9,2
a,2,9,8,1
!
!P2-P3
a,9,16,15,8
a,12,19,16,9
a,13,20,19,12
a,11,18,20,13
a,14,21,18,11
a,10,17,21,14

```

a, 8, 15, 17, 10

!

! P3-P4

a, 23, 22, 15, 16

a, 23, 16, 19, 26

a, 20, 27, 26, 19

a, 18, 25, 27, 20

a, 21, 28, 25, 18

a, 17, 24, 28, 21

a, 15, 22, 24, 17

!

! P4-P5

a, 23, 30, 29, 22

a, 26, 33, 30, 23

a, 27, 34, 33, 26

a, 25, 32, 34, 27

a, 28, 35, 32, 25

a, 24, 31, 35, 28

a, 22, 29, 31, 24

!

! P5-P6

a, 30, 37, 36, 29

a, 33, 40, 37, 30

a, 34, 41, 40, 33

a, 32, 39, 41, 34

a, 35, 42, 39, 32

a, 31, 38, 42, 35

a, 29, 36, 38, 31

!

! P6-P7

a, 37, 80, 79, 36

a, 36, 79, 81, 38

a, 38, 81, 85, 42

a, 42, 85, 82, 39

a, 39, 82, 84, 41

a, 41, 84, 83, 40

a, 40, 83, 80, 37

!

! P7-P8

a, 80, 73, 72, 79

a, 79, 72, 74, 81

a, 81, 74, 78, 85

a, 85, 78, 75, 82

a, 82, 75, 77, 84

a, 84, 77, 76, 83

a, 83, 76, 73, 80

!

! P8-P9

a, 73, 66, 65, 72

a, 72, 65, 67, 74

a, 74, 67, 71, 78

a, 78, 71, 68, 75

a, 75, 68, 70, 77

a, 77, 70, 69, 76

a, 76, 69, 66, 73

!

! P9-P10

a, 66, 59, 58, 65

a, 65, 58, 60, 67

a, 67, 60, 64, 71

a, 71, 64, 61, 68

a, 68, 61, 63, 70

a, 70, 63, 62, 69

a, 69, 62, 59, 66

!

! P10-P11

```

a,59,52,51,58
a,58,51,53,60
a,60,53,57,64
a,64,57,54,61
a,61,54,56,63
a,63,56,55,62
a,62,55,52,59

arsym,y,1,85,1,86      !Symmetri av areal til bjelke om y-akse
arsym,z,1,140,1,172   !Symmetri av areal til bjelke om Z-akse
!
!Arealer til Vertikalt Stag for TB
a,7,93,100,14
a,14,100,96,10
a,10,96,89,3
a,3,89,93,7

!Arealer til Vertikalt Skråstag for TB
a,17,31,146,160
a,21,17,160,164
a,31,35,150,146
a,35,21,164,150

agen,2,281,288,1,0,0,-b.tot.TB+b.Ve.St.TB,344,      !Kopi av areal 281-288 Z-retning
nummrg,kp

!Horisontalt stag
a,13,185,178,6
a,6,178,177,5
a,5,177,184,12
a,12,184,185,13

!Horisonalt skråstag 1
a,26,27,256,255
a,40,26,255,241
a,27,41,242,256
a,41,40,241,242

agen,2,1,300,0,Dist.V.St.TB,0,0,343                  !Kopi av samtlige arealer i x-retning

!Horisontalt skråstag 2
a,556,542,427,413
a,542,541,426,427
a,541,555,412,426
a,555,556,413,412

agen,4,1,608,0,2*Dist.V.St.TB,0,0,687                !Kopier av element 1 TB
agen,2,1,7,,8*Dist.V.St.TB,
!
!Ende (Element 2 TB)
csys,0                                                !Aktivt workplane i gloabal cs
Ende.TB=400-10-Sp.Ve.SkSt.TB                          !Avstand på bjelkenden til TB
!Pl (1-7)      x (Lengde)                            y (Høyde)                            z (Bredde)
k,4001,1.tot.TB/2+1.ext.TB,-h.tot.TB/2,              b.tot.TB/2,
k,4002,1.tot.TB/2+1.ext.TB,-h.tot.TB/2,              b.tot.TB/2-b.bje.un.TB,
k,4003,1.tot.TB/2+1.ext.TB,-h.tot.TB/2+h.bje.ov.TB,  b.tot.TB/2,
k,4004,1.tot.TB/2+1.ext.TB,-h.tot.TB/2+h.bje.ov.TB,  b.tot.TB/2-b.bje.un.TB,
k,4005,1.tot.TB/2+1.ext.TB,-h.tot.TB/2+h.bje.ov.TB-Gr, b.tot.TB/2-b.bje.un.TB,
k,4006,1.tot.TB/2+1.ext.TB,-h.tot.TB/2+h.bje.ov.TB-h.Ho.st.TB-gr, b.tot.TB/2-b.bje.un.TB,
k,4007,1.tot.TB/2+1.ext.TB,-h.tot.TB/2+h.bje.ov.TB,  b.tot.TB/2-b.Ve.st.TB,
!
!-----
kgen,2,4001,4007,0,-b.Ho.st.TB,,,7                    !keypoint nummer (4008-4014)

!Pl Ende.TB
a,4008,4009,4002,4001
a,4009,4013,4006,4002

```

```

a,4013,4012,4005,4006
a,4012,4011,4004,4005
a,4014,4011,4004,4007
a,4014,4007,4003,4010
a,4010,4003,4001,4008

!P2 Ende.TB
a,44,132,4009,4008
a,132,130,4013,4009
a,130,86,4012,4013
a,86,49,4011,4012
a,47,49,4011,4014
a,45,47,4014,4010
a,45,44,4008,4010

anorm,2433,0
arsym,y,2433,2453,                                !Symmetri av arealer til bjelkende om y-akse

!vertikal stag 1
a,2457,2543,2547,2461
a,2461,2547,215,47
a,47,215,136,45
a,45,2457,2543,136

!vertikal stag 2

a,4010,392,389,4014
a,4014,389,390,4007
a,4007,390,391,4003
a,4003,391,392,4010

areverse,2478,0
arsym,z,2433,2482,                                !Symmetri av arealer til bjelkende om z-akse

!Horisontalt stag 2
a,2632,2631,2459,2460
a,2631,515,130,2459
a,2632,478,86,2460
a,86,130,515,478

!Horisontalt stag 2
a,4012,4013,565,644
a,565,601,4006,4013
a,4012,644,645,4005
a,4005,4006,601,645

areverse,2539,0
areverse,2537,0
areverse,2535,0

!keypoints sammenslåing
nummrg,kp

esize,85                                           !Element størrelse for T-boom mesh
amesh,1,2540                                       !Meshing av T-boom

!Punkt 1
esel,s,cent,x,l.ext.,l.ext.+200
esel,r,cent,z,b.tot.tb/2-300,b.tot.tb/2
esel,r,cent,y,h.tot.tb/2-300,h.tot.tb/2
erefine,all,3
esel,all

CM,T-boom,elem                                     !Gruppering av meshet T-boom
!
```

```

!Parametre for modellering av Main Boom (mm)
1.EL.MB=1550                !Lengde (x) Element 1

!Bjelke overkant
h.bje.ov.MB=200-70         !Høyde (y) Bjelkeprofil MB, Overkant
b.bje.ov.MB=170-30         !Bredde(z) Bjelkeprofil MB, Overkant

!Bjelke underkant
h.bje.un.MB=200-70         !Høyde (y) Bjelkeprofil MB, Underkant
b.bje.un.MB=170-30         !Bredde(z) Bjelkeprofil MB, Underkant

!Vertikalt Stag
h.Ve.St.MB=75+10           !Høyde (x) Vertikalt stagprofil MB
b.Ve.St.MB=75+10           !Bredde(z) Vertikalt stagprofil MB
Dist.Ve.St.MB=1600-10     !Distanse mellom vertikale stag MB i X-retning

!Horisontalt Stag
h.Ho.St.MB=75+10           !Høyde (y) Horisontalt stagprofil MB
b.Ho.St.MB=75+10           !Bredde(x) Horisontalt stagprofil MB

!Vertikalt Skråstag MB
b.Ve.SkSt.MB=75+10         !Bredde (z) Vertikalt skråstagprofil MB
Sp.Ve.SkSt.MB=69.64        !Startpunkt for skråstag i X-retning relativt til det ve-staget

!Horisontalt Skråstag MB
h.Ho.SkSt.MB=75+10         !Høyde (y) Horisontalt skråstagprofil TB
Sp.Ho.SkSt.MB=72.18        !Startpunkt for skråstag i X-retning relativt til det ho-staget

!
!-----
!Utregning for tverrsnitt med Skråe treffpunkt (Pytagoras' setning)
Vinkel.A.Ve.SkSt.MB=45      !Vinkel (grader) Vertikalt skråstag MB
Vinkel.B.Ve.SkSt.MB=45      !Motstående vinkel (grader) Vertikalt skråstag MB
l.a.Ve.SkSt.MB=75+10        !Tykkelse på tverrsnitt/Lengde på et katet til trekant a
Vinkel.A.Ho.SkSt.MB=32      !Vinkel på Horisontalt skråstag
Vinkel.B.Ho.SkSt.MB=58      !Motstående vinkel
l.a.Ho.SkSt.MB=75+10        !Tykkelse på tverrsnitt/Lengde på katet til trekant a

!Treffpunkt for Vertikalt Skråstag MB (Pytagoras)
trekant.h.Ve.SkSt.MB=l.a.Ve.SkSt.MB*sin(Vinkel.B.Ve.SkSt.MB)
l.b.Ve.SkSt.MB=trekant.h.Ve.SkSt.MB/sin(Vinkel.A.Ve.SkSt.MB)
tverr.Ve.SkSt.MB=sqrt((l.b.Ve.SkSt.MB)**2-
(trekant.h.Ve.SkSt.MB)**2)+sqrt((*l.a.Ve.SkSt.MB)**2-(trekant.h.Ve.SkSt.MB)**2)

!Treffpunkt for Horisontalt Skråstag (Pytagoras)
trekant.h.Ho.SkSt.MB=l.a.Ho.SkSt.MB*sin(Vinkel.B.Ho.SkSt.MB)
l.b.Ho.SkSt.MB=trekant.h.Ho.SkSt.MB/sin(Vinkel.A.Ho.SkSt.MB)
tverr.Ho.SkSt.MB=sqrt((l.b.Ho.SkSt.MB)**2-
(trekant.h.Ho.SkSt.MB)**2)+sqrt((*l.a.Ho.SkSt.MB)**2-(trekant.h.Ho.SkSt.MB)**2)

!
!-----
!keypoints, Fra negative verdier til positive (Element 1 MB)
!P1 (6001-6008)  x (Lengde)  y (Høyde)  z (Bredde)
k,6001,          -l.tot.MB/2,-h.tot.MB/2,          b.tot.MB/2,
k,6002,          -l.tot.MB/2,-h.tot.MB/2,          b.tot.MB/2-b.bje.un.MB,
k,6003,          -l.tot.MB/2,-h.tot.MB/2+h.bje.un.MB,  b.tot.MB/2,
k,6004,          -l.tot.MB/2,-h.tot.MB/2+h.bje.un.MB,  b.tot.MB/2-b.bje.un.MB
k,6005,          -l.tot.MB/2,-h.tot.MB/2+h.bje.un.MB-h.Ho.St.MB-Gr, b.tot.MB/2-b.bje.un.MB,
k,6006,          -l.tot.MB/2,-h.tot.MB/2+h.bje.un.MB-Gr,  b.tot.MB/2-b.bje.un.MB,
k,6008,          -l.tot.MB/2,-h.tot.MB/2+h.bje.un.MB,  b.tot.MB/2-b.Ve.St.MB,
!
!-----
kgen,2,6001,6008,0,h.Ve.St.MB,0,0,8                !P2.0 Ve/Ho-stag
kgen,2,6001,6008,0,Sp.Ve.SkSt.MB+h.Ve.St.MB,0,0,16  !P3.0 Ve-Skråstag 1
kgen,2,6001,6008,0,Sp.Ho.SkSt.MB+h.Ve.St.MB,0,0,25  !P4.0 Ho-Skråstag 1
kgen,2,6001,6008,0,Sp.Ve.SkSt.MB+h.Ve.St.MB+tverr.Ve.SkSt.MB,0,0,34!P5.0 Ve-Skråstag 2
kgen,2,6001,6008,0,Sp.Ho.SkSt.MB+h.Ve.St.MB+tverr.Ho.SkSt.MB,0,0,42!P6.0 Ho-Skråstag 2
!
!-----

```

```

!Speiling av Knutepunkt
l.knp.MB=50+25/2                                !Plassering av Workplane i Knutepunkt MB
wplane,-1,-1.tot.MB/2+1.EL.MB/2+1.knp.MB,0,0 !Nytt workplane
csys,4                                           !Aktivt workplane
ksymm,x,6009,6051,0,51                          !Symmetri av Keypoints om x-akse

!Arealer
!P1-P2
a,6002,6010,6009,6001
a,6005,6013,6010,6002
a,6006,6014,6013,6005
a,6004,6012,6014,6006
a,6008,6016,6012,6004
a,6003,6011,6016,6008
a,6001,6009,6011,6003
!
!P2-P3
a,6010,6018,6017,6009
a,6013,6021,6018,6010
a,6014,6022,6021,6013
a,6012,6020,6022,6014
a,6016,6024,6020,6012
a,6011,6019,6024,6016
a,6009,6017,6019,6011
!
!P3-P4
a,6017,6018,6027,6026
a,6021,6030,6027,6018
a,6030,6021,6022,6031
a,6020,6029,6031,6022
a,6024,6033,6029,6020
a,6033,6024,6019,6028
a,6017,6026,6028,6019
!
!P4-P5
a,6027,6036,6035,6026
a,6030,6039,6036,6027
a,6031,6040,6039,6030
a,6029,6038,6040,6031
a,6033,6042,6038,6029
a,6028,6037,6042,6033
a,6026,6035,6037,6028
!
!P5-P6
a,6036,6044,6043,6035
a,6039,6047,6044,6036
a,6039,6047,6044,6036
a,6040,6048,6047,6039
a,6038,6046,6048,6040
a,6042,6050,6046,6038
a,6037,6045,6050,6042
a,6035,6043,6045,6037
!
!P6-P7
a,6044,6095,6094,6043
a,6047,6098,6095,6044
a,6048,6099,6098,6047
a,6046,6097,6099,6048
a,6050,6101,6097,6046
a,6045,6096,6101,6050
a,6043,6094,6096,6045
!
!P7-P8
a,6095,6087,6086,6094
a,6098,6090,6087,6095
a,6099,6091,6090,6098

```

```

a, 6097, 6089, 6091, 6099
a, 6101, 6093, 6089, 6097
a, 6096, 6088, 6093, 6101
a, 6094, 6086, 6088, 6096
!
!P8-P9
a, 6087, 6078, 6077, 6086
a, 6090, 6081, 6078, 6087
a, 6091, 6082, 6081, 6090
a, 6089, 6080, 6082, 6091
a, 6093, 6084, 6080, 6089
a, 6088, 6079, 6084, 6093
a, 6086, 6077, 6079, 6088
!
!P9-P10
a, 6078, 6069, 6068, 6077
a, 6081, 6072, 6069, 6078
a, 6082, 6073, 6072, 6081
a, 6080, 6071, 6073, 6082
a, 6084, 6075, 6071, 6080
a, 6079, 6070, 6075, 6084
a, 6077, 6068, 6070, 6079
!
!P10-P11
a, 6069, 6061, 6060, 6068
a, 6072, 6064, 6061, 6069
a, 6073, 6065, 6064, 6072
a, 6071, 6063, 6065, 6073
a, 6075, 6067, 6063, 6071
a, 6070, 6062, 6067, 6075
a, 6068, 6060, 6062, 6070

!kp (6101-6202)
arsym, y, 2541, 2610, 1, 101          !Symmetri av arealer til bjelke MB om y-
akse
!
!Vertikalt stag MB
a, 6104, 6003, 6011, 6112
a, 6112, 6011, 6016, 6117
a, 6117, 6016, 6008, 6109,
a, 6109, 6008, 6003, 6104,

!Vertikalt Skråstag MB
a, 6037, 6042, 6176, 6171
a, 6019, 6037, 6171, 6189
a, 6042, 6024, 6194, 6176
a, 6024, 6019, 6189, 6194

!kp (6203-6404)
arsym, z, 2541, 2688, 1, 202          !Symmetri av arealer til bjelke MB om z-akse
!
!Horisontal stag
a, 6014, 6216, 6208, 6006
a, 6006, 6208, 6207, 6005
a, 6013, 6215, 6216, 6014
a, 6005, 6207, 6215, 6013

agen, 2, 2541, 2840, 0, Dist.Ve.St.MB, 0, 0, 404    !Kopi av første Element MB (6404-6808)

!Horisontalt skråstag 1
a, 6031, 6048, 6284, 6301
a, 6030, 6031, 6301, 6300
a, 6048, 6047, 6283, 6284
a, 6047, 6030, 6300, 6283

!Horisontalt skråstag 2

```

a, 6654, 6637, 6503, 6486
a, 6637, 6636, 6502, 6503
a, 6653, 6654, 6486, 6485
a, 6636, 6653, 6485, 6502

agen, 5, 2541, 3148, 0, 2*Dist.Ve.St.MB, 0, 0, 808 !Kopi fulle elementer (6809-10040)

!

!Siste element Main Boom

agen, 2, 2541, 2840, 0, 10*Dist.Ve.St.MB, 0, 0, 4040 !Kopi av første Element MB (6404-6808)

agen, 2, 3141, 3144, 0, 10*Dist.Ve.St.MB, 0, 0, 4430 !Kopi av Horisontalt skråstag

agen, 2, 2541, 2547, 0, 11*Dist.Ve.St.MB, 0, 0, 4731 !Kopi av begynnelse MB

!

!Bjelkeende MB

Ende.MB=325

WPAVE, 0, 0, 0

CSYS, 0

!Lengde Ende MB

!Workplane i Global CS

!Aktivt workplane

```

!Keypoints (10748-10754)
!          x (Lengde)  y (Høyde)                z (Bredde)
k, 10748, 1.tot.MB/2,-h.tot.MB/2,              b.tot.MB/2,
k, 10749, 1.tot.MB/2,-h.tot.MB/2,              b.tot.MB/2-b.bje.un.MB,
k, 10750, 1.tot.MB/2,-h.tot.MB/2+h.bje.ov.MB,  b.tot.MB/2,
k, 10751, 1.tot.MB/2,-h.tot.MB/2+h.bje.ov.MB,  b.tot.MB/2-b.bje.un.MB,
k, 10752, 1.tot.MB/2,-h.tot.MB/2+h.bje.ov.MB-Gr, b.tot.MB/2-b.bje.un.MB,
k, 10753, 1.tot.MB/2,-h.tot.MB/2+h.bje.ov.MB-h.Ho.St.MB-Gr, b.tot.MB/2-b.bje.un.MB,
k, 10754, 1.tot.MB/2,-h.tot.MB/2+h.bje.ov.MB,  b.tot.MB/2-b.Ve.St.MB,

!keypoint nummer (10466-10472)
kgen,2,10748,10754,0,-b.Ho.St.mb,,7

!P1 Ende MB
a,10741,10756,10755,10740
a,10744,10760,10756,10741
a,10745,10759,10760,10744
a,10743,10758,10759,10745
a,10747,10761,10758,10743
a,10742,10757,10761,10747
a,10740,10755,10757,10742

!P2 Ende MB
a,10756,10749,10748,10755
a,10760,10753,10749,10756
a,10759,10752,10753,10760
a,10758,10751,10752,10759
a,10761,10754,10751,10758
a,10757,10750,10754,10761
a,10755,10748,10750,10757

arsym,y,5885,5905,1,50          !Symmetri av arealer til bjelkeende om y-akse

!Vertikalt stag, Ende MB 1
a,10734,10784,10789,10739
a,10739,10789,10797,10747
a,10747,10797,10792,10742
a,10742,10792,10784,10734

!Vertikalt stag, Ende MB 2
a,10757,10807,10811,10761
a,10761,10811,10804,10754
a,10754,10804,10800,10750
a,10750,10800,10807,10757

arsym,z,5885,5934,1,80          !Symmetri av arealer til bjelkeende om z-akse

!Horistontalt stag, Ende MB 1
a,10737,10817,10816,10736
a,10745,10825,10817,10737
a,10736,10816,10824,10744
a,10744,10824,10825,10745

!Horistontalt stag, Ende MB 2
a,10759,10839,10840,10760
a,10760,10840,10833,10753
a,10752,10832,10839,10759
a,10753,10833,10832,10752

!keypoints sammenslåing
nummrg,kp

CMSEL,U,T-BOOM
esel,s,cent,y,-h.tot.mb/2,h.tot.mb/2
esel,r,cent,x,-l.tot.mb/2+Dist.Ve.St.MB-1100,-l.tot.mb/2+Dist.Ve.St.MB+1100
esel,r,cent,z,0,b.tot.mb/2,-100

```

```

!errefine,all,1
esel,all

eall
asel,s,area,,2541,5992
amesh,all
!Refined mesh i kritisk punk
!Punkt 1
CMSEL,U,T-BOOM
esel,r,cent,x,(-l.tot.mb/2),(-l.tot.mb/2)+300
esel,r,cent,z,-b.tot.mb/2,-b.tot.mb/2+400
esel,r,cent,y,-h.tot.mb/2,-h.tot.mb/2+350
errefine,all,3
esel,all

!Punkt 2
CMSEL,U,T-BOOM
esel,r,cent,x,(-l.tot.mb/2)+Dist.Ve.St.MB+h.Ve.St.MB/2-300,(-
l.tot.mb/2)+Dist.Ve.St.MB+h.Ve.St.MB/2+300
esel,r,cent,z,-b.tot.mb/2,-b.tot.mb/2+400
esel,r,cent,y,-h.tot.mb/2,-h.tot.mb/2+350
errefine,all,3
esel,all

!Punkt 3
CMSEL,U,T-BOOM
esel,r,cent,x,(-l.tot.mb/2)+2*Dist.Ve.St.MB+h.Ve.St.MB/2-300,(-
l.tot.mb/2)+2*Dist.Ve.St.MB+h.Ve.St.MB/2+300
esel,r,cent,z,b.tot.mb/2-400,b.tot.mb/2
esel,r,cent,y,h.tot.mb/2-350,h.tot.mb/2
errefine,all,3
esel,all

!Punkt 4
CMSEL,U,T-BOOM
esel,r,cent,x,(l.tot.mb/2)-300,(l.tot.mb/2)
esel,r,cent,z,b.tot.mb/2-400,b.tot.mb/2
esel,r,cent,y,h.tot.mb/2-500,h.tot.mb/2
errefine,all,5
esel,all

CMSEL,U,T-BOOM
CM,Main Boom,ELEM          !Gruppering av meshet Main boom

!
!Gruppering av bruens substruktruer og rotering av elementer

!Bjelker mb
CMSEL,S,Main Boom,Elem
esel,u,cent,z,-b.tot.MB/2+b.bje.un.MB+1,b.tot.MB/2-b.bje.ov.MB-1
esel,u,cent,y,-h.tot.MB/2+h.bje.un.MB+1,h.tot.MB/2-h.bje.un.MB-1
CM,Bjelker-MB,ELEM
emodif,all,sectype,1
local,100,0,,,,,0
emodif,all,esys,100
csys,0
eall
!
!Vertikal Stag MB
esel,s,cent,x,0*Dist.Ve.St.MB-l.tot.mb/2-1,0*Dist.Ve.St.MB-l.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,a,cent,x,1*Dist.Ve.St.MB-l.tot.mb/2-1,1*Dist.Ve.St.MB-l.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,a,cent,x,2*Dist.Ve.St.MB-l.tot.mb/2-1,2*Dist.Ve.St.MB-l.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,a,cent,x,3*Dist.Ve.St.MB-l.tot.mb/2-1,3*Dist.Ve.St.MB-l.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,a,cent,x,4*Dist.Ve.St.MB-l.tot.mb/2-1,4*Dist.Ve.St.MB-l.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,a,cent,x,5*Dist.Ve.St.MB-l.tot.mb/2-1,5*Dist.Ve.St.MB-l.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,a,cent,x,6*Dist.Ve.St.MB-l.tot.mb/2-1,6*Dist.Ve.St.MB-l.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1

```

```

esel,a,cent,x,7*Dist.Ve.St.MB-1.tot.mb/2-1,7*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,a,cent,x,8*Dist.Ve.St.MB-1.tot.mb/2-1,8*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,a,cent,x,9*Dist.Ve.St.MB-1.tot.mb/2-1,9*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,a,cent,x,10*Dist.Ve.St.MB-1.tot.mb/2-1,10*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,a,cent,x,11*Dist.Ve.St.MB-1.tot.mb/2-1,11*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1+Ende.MB
esel,r,cent,y,-h.tot.MB/2+h.bje.un.MB+1,h.tot.MB/2-h.bje.ov.MB-1
CMSEL,U,T-BOOM
CM,Ve-Stag-MB,ELEM
emodif,all,sectype,2
local,101,0,,,,90,,
emodif,all,esys,101
csys,0
eall
!

```

```

!Vertikalt Skråstag MB
CMSEL,S,Main Boom,Elem
esel,r,cent,y,-h.tot.MB/2+h.bje.un.MB+1,h.tot.MB/2-h.bje.ov.MB-1
esel,u,cent,x,0*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,0*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,u,cent,x,1*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,1*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,u,cent,x,2*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,2*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,u,cent,x,3*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,3*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,u,cent,x,4*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,4*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,u,cent,x,5*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,5*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,u,cent,x,6*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,6*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,u,cent,x,7*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,7*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,u,cent,x,8*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,8*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,u,cent,x,9*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,9*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,u,cent,x,10*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,10*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1
esel,u,cent,x,11*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,11*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ve.St.MB+1+Ende.MB
CM,Ve-Skråstag-MB,ELEM
emodif,all,sectype,2
local,102,0,,,,Vinkel.A.Ve.SkSt.MB,,
emodif,all,esys,102
csys,0
eall

```

```

!Endrer materialegenskapene i knutepunkt
esel,s,cent,y,-h.tot.mb/2,h.tot.mb/2
esel,r,cent,x,-l.tot.mb/2+Dist.Ve.St.MB-1000,-l.tot.mb/2+Dist.Ve.St.MB+1000
esel,r,cent,z,0,b.tot.mb/2,0
emodif,all,sectype,5
esel,all
!

```

```

!Horisontalt Stag MB
esel,s,cent,x,0*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,0*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,a,cent,x,1*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,1*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,a,cent,x,2*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,2*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,a,cent,x,3*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,3*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,a,cent,x,4*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,4*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,a,cent,x,5*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,5*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,a,cent,x,6*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,6*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,a,cent,x,7*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,7*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,a,cent,x,8*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,8*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,a,cent,x,9*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,9*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,a,cent,x,10*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,10*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,a,cent,x,11*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,11*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1+Ende.MB
esel,r,cent,z,-b.tot.MB/2+b.bje.un.MB+1,b.tot.MB/2-b.bje.ov.MB-1
CMSEL,U,T-BOOM
CM,Ho-Stag-MB,ELEM
emodif,all,sectype,2
local,103,0,,,,45,,
emodif,all,esys,103
csys,0
eall

```

```

!
!Horisontalt SkråStag 1 MB
CMSEL,S,Main Boom,Elem
esel,r,cent,z,-b.tot.MB/2+b.bje.un.MB+1,b.tot.MB/2-b.bje.ov.MB-1
esel,u,cent,x,0*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,0*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,u,cent,x,1*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,2*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,u,cent,x,3*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,4*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,u,cent,x,5*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,6*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,u,cent,x,7*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,8*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,u,cent,x,9*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,10*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,u,cent,x,11*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,11*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1+Ende.mb
CM,Ho-skråstag-MB 1,ELEM
emodif,all,sectype,2
local,104,0,,,,,Vinkel.A.Ho.SkSt.MB
emodif,all,esys,104
csys,0
eall
!
!Horisontalt SkråStag 2
CMSEL,S,Main Boom,Elem
esel,r,cent,z,-b.tot.mb/2+b.bje.un.mb+1,b.tot.mb/2-b.bje.ov.mb-1
esel,u,cent,x,0*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,1*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,u,cent,x,2*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,3*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,u,cent,x,4*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,5*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,u,cent,x,6*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,7*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,u,cent,x,8*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,9*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1
esel,u,cent,x,10*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2-1,11*Dist.Ve.St.MB-1.tot.MB/2+h.Ho.St.MB+1+Ende.mb
CM,Ho-skråstag-MB 2,ELEM
emodif,all,sectype,2
local,105,0,,,,,-Vinkel.A.Ho.SkSt.MB
emodif,all,esys,105
csys,0
eall
!
!Bjelker TB
CMSEL,S,T-BOOM
esel,u,cent,z,-b.tot.TB/2+b.bje.un.TB+1,b.tot.TB/2-b.bje.ov.TB-1
esel,u,cent,y,-h.tot.TB/2+h.bje.un.TB+1,h.tot.TB/2-h.bje.un.TB-1
CM,Bjelker-TB,ELEM
local,106,0,,,,,0
emodif,all,esys,106
emodif,all,sectype,3
csys,0
eall
!
!Stag TB Horisontalt
esel,s,cent,x,l.ext.TB+0*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+0*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2+h.Ho.St.TB+1
esel,a,cent,x,l.ext.TB+1*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+1*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2+h.Ho.St.TB+1
esel,a,cent,x,l.ext.TB+2*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+2*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2+h.Ho.St.TB+1
esel,a,cent,x,l.ext.TB+3*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+3*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2+h.Ho.St.TB+1
esel,a,cent,x,l.ext.TB+4*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+4*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2+h.Ho.St.TB+1
esel,a,cent,x,l.ext.TB+5*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+5*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2+h.Ho.St.TB+1
esel,a,cent,x,l.ext.TB+6*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+6*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2+h.Ho.St.TB+1
esel,a,cent,x,l.ext.TB+7*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+7*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2+h.Ho.St.TB+1
esel,a,cent,x,l.ext.TB+8*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+8*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2+h.Ho.St.TB+1+Ende.TB
esel,r,cent,z,-b.tot.TB/2+b.bje.un.TB+1,b.tot.TB/2-b.bje.ov.TB-1
CMSEL,U,Main Boom,Elem

```

```

CM, Ho-Stag-TB, ELEM
emodif, all, sectype, 4
local, 107, 0, , , , , 90
emodif, all, sectype, 4
emodif, all, esys, 107
csys, 0
eall
!
!Horistonalt Skråstag TB 1
CMSEL, S, T-BOOM
esel, r, cent, z, -b.tot.TB/2+b.bje.un.TB+1, b.tot.TB/2-b.bje.ov.TB-1
esel, u, cent, x, l.ext.TB+0*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2-1, l.ext.TB+0*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel, u, cent, x, l.ext.TB+1*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2-1, l.ext.TB+2*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel, u, cent, x, l.ext.TB+3*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2-1, l.ext.TB+4*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel, u, cent, x, l.ext.TB+5*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2-1, l.ext.TB+6*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel, u, cent, x, l.ext.TB+7*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2-1, l.ext.TB+10*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
CM, Ho-SkråStag-TB1, ELEM
local, 108, 0, , , , , Vinkel.A.Ho.SkSt.TB
emodif, all, sectype, 4
emodif, all, esys, 108
csys, 0
eall
!
!Horisontalt Skråstag TB 2
CMSEL, S, T-BOOM
esel, r, cent, z, -b.tot.TB/2+b.bje.un.TB+1, b.tot.TB/2-b.bje.ov.TB-1
esel, u, cent, x, l.ext.TB+0*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1, l.ext.TB+1*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel, u, cent, x, l.ext.TB+2*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1, l.ext.TB+3*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel, u, cent, x, l.ext.TB+4*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1, l.ext.TB+5*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel, u, cent, x, l.ext.TB+6*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1, l.ext.TB+7*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel, u, cent, x, l.ext.TB+8*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1, l.ext.TB+8*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1+Ende.TB
CM, Ho-SkråStag-TB2, ELEM
local, 109, 0, , , , , -Vinkel.A.Ho.SkSt.TB
emodif, all, sectype, 4
emodif, all, esys, 109
csys, 0
eall
!
!Vertikalt Stag TB
esel, s, cent, x, l.ext.TB+0*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1, l.ext.TB+0*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel, a, cent, x, l.ext.TB+1*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1, l.ext.TB+1*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel, a, cent, x, l.ext.TB+2*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1, l.ext.TB+2*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel, a, cent, x, l.ext.TB+3*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1, l.ext.TB+3*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel, a, cent, x, l.ext.TB+4*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1, l.ext.TB+4*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel, a, cent, x, l.ext.TB+5*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1, l.ext.TB+5*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel, a, cent, x, l.ext.TB+6*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1, l.ext.TB+6*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel, a, cent, x, l.ext.TB+7*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1, l.ext.TB+7*Dist.V.St.TB-1.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1

```

```

esel,a,cent,x,l.ext.TB+8*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+8*Dist.V.St.TB-
l.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel,a,cent,x,l.ext.TB+8*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+8*Dist.V.St.TB-
l.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1+Ende.TB
esel,u,cent,y,-h.tot.TB/2,-h.tot.TB/2+h.bje.ov.TB
esel,u,cent,y,h.tot.TB/2,h.tot.TB/2-h.bje.ov.TB
CMSEL,U,Main Boom,Elem
CM,Ve-Stag-TB,ELEM
local,111,0,,,,90,,
emodif,all,sectype,4
emodif,all,esys,111
csys,0
eall
!
!Vertikalt Stag TB
CMSEL,S,T-BOOM
esel,u,cent,y,-h.tot.TB/2,-h.tot.TB/2+h.bje.ov.TB
esel,u,cent,y,h.tot.TB/2,h.tot.TB/2-h.bje.ov.TB
esel,u,cent,x,l.ext.TB+0*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+0*Dist.V.St.TB-
l.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel,u,cent,x,l.ext.TB+1*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+1*Dist.V.St.TB-
l.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel,u,cent,x,l.ext.TB+2*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+2*Dist.V.St.TB-
l.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel,u,cent,x,l.ext.TB+3*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+3*Dist.V.St.TB-
l.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel,u,cent,x,l.ext.TB+4*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+4*Dist.V.St.TB-
l.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel,u,cent,x,l.ext.TB+5*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+5*Dist.V.St.TB-
l.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel,u,cent,x,l.ext.TB+6*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+6*Dist.V.St.TB-
l.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel,u,cent,x,l.ext.TB+7*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+7*Dist.V.St.TB-
l.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel,u,cent,x,l.ext.TB+8*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+8*Dist.V.St.TB-
l.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1
esel,u,cent,x,l.ext.TB+8*Dist.V.St.TB-1.tot.TB/2-1,l.ext.TB+8*Dist.V.St.TB-
l.tot.tb/2+h.Ho.St.TB+1+Ende.TB
CM,Ve-SkråStag-TB,ELEM
local,110,0,,,,Vinkel.A.Ve.SkSt.tb,,
emodif,all,sectype,4
emodif,all,esys,110
csys,0
eall
!
!Nodekoblinger mellom T-boom og M-boom
!kobling 1
nsel,s,loc,y,-h.tot.TB/2,-h.tot.TB/2
nsel,r,loc,x,l.tot.MB/2,l.tot.MB/2,
nsel,r,loc,z,-b.tot.TB/2,0
cp,0,all,all,
nsel,all

!kobling 2
nsel,s,loc,y,-h.tot.TB/2,-h.tot.TB/2
nsel,r,loc,x,l.tot.MB/2,l.tot.MB/2,
nsel,r,loc,z,b.tot.TB/2,0
cp,0,all,all,
nsel,all

!kobling 3
nsel,s,loc,y,-h.tot.TB/2,-h.tot.TB/2
nsel,r,loc,x,l.ext.,l.ext.
nsel,r,loc,z,-b.tot.TB/2,0
cp,0,all,all,
nsel,all

```

```
!kobling 4
nse1,s,loc,y,-h.tot.TB/2,-h.tot.TB/2
nse1,r,loc,x,l.ext.,l.ext.
nse1,r,loc,z,b.tot.TB/2,0
cp,0,all,all,
nse1,all

!kobling 5
nse1,s,loc,y,h.tot.TB/2,h.tot.TB/2
nse1,r,loc,x,l.tot.MB/2,l.tot.MB/2,
nse1,r,loc,z,-b.tot.tb/2,0
cp,0,all,all,
nse1,all

!kobling 6
nse1,s,loc,y,h.tot.TB/2,h.tot.TB/2
nse1,r,loc,x,l.tot.MB/2,l.tot.MB/2,
nse1,r,loc,z,b.tot.TB/2,0
cp,0,all,all,
nse1,all

!kobling 7
nse1,s,loc,y,h.tot.TB/2,h.tot.TB/2
nse1,r,loc,x,l.ext.,l.ext.
nse1,r,loc,z,-b.tot.TB/2,0
cp,0,all,all,
nse1,all

!kobling 8
nse1,s,loc,y,h.tot.TB/2,h.tot.TB/2
nse1,r,loc,x,l.ext.,l.ext.
nse1,r,loc,z,b.tot.TB/2,0
cp,0,all,all,
nse1,all

!kobling 9
nse1,s,loc,y,-h.tot.TB/2,-h.tot.TB/2
nse1,r,loc,x,l.tot.mb/2-l.ext./4,l.tot.mb/2-l.ext./4
nse1,r,loc,z,-b.tot.TB/2,0
cp,0,all,all,
nse1,all

!kobling 10
nse1,s,loc,y,-h.tot.TB/2,-h.tot.TB/2
nse1,r,loc,x,l.tot.mb/2-l.ext./4,l.tot.mb/2-l.ext./4
nse1,r,loc,z,b.tot.TB/2,0
cp,0,all,all,
nse1,all

!kobling 11
nse1,s,loc,y,h.tot.TB/2,h.tot.TB/2
nse1,r,loc,x,l.tot.mb/2-l.ext./4,l.tot.mb/2-l.ext./4
nse1,r,loc,z,-b.tot.TB/2,0
cp,0,all,all,
nse1,all

!kobling 12
nse1,s,loc,y,h.tot.TB/2,h.tot.TB/2
nse1,r,loc,x,l.tot.mb/2-l.ext./4,l.tot.mb/2-l.ext./4
nse1,r,loc,z,b.tot.TB/2,0
cp,0,all,all,
nse1,all

!
!Laster
```

```

!LT 1b

!Areal
A.Ho.St.MB=b.Ho.St.MB*(b.tot.MB-b.bje.ov.MB-b.bje.un.MB)*10
A.Ho.SkSt.MB=l.a.Ho.SkSt.MB*1566*9
A.Ve.St.MB=h.Ve.St.MB*(h.tot.MB-h.bje.ov.MB-h.bje.un.MB)*12
A.Ve.SkSt.MB=l.a.Ve.SkSt.MB*1838*12
A.bje.MB=h.bje.ov.MB*1.tot.MB+h.bje.un.MB*1.tot.MB

A.Ho.St.TB=b.Ho.St.TB*(b.tot.TB-B.bje.ov.TB-B.bje.un.TB)*10
A.Ho.SkSt.TB=l.a.Ho.SkSt.TB*1244*8
A.Ve.St.TB=h.Ve.St.TB*(h.tot.TB-H.bje.ov.TB-H.bje.un.TB)*7
A.Ve.SkSt.TB=l.a.Ve.SkSt.TB*1499*6
A.bje.TB=H.bje.ov.TB*7000+H.bje.un.TB*7000

!Lastfaktorer
MOA=2
DFy=1.1
DFz=0.05

Q=3000*2
E=18750

!SLS
!Gf=1
!Qf=1
!Ef=1

!ULS a
!Gf=1.3
!Qf=1.3
!Ef=0.85

!ULS b
Gf=1.05
Qf=1.05
Ef=1.3

!Akselerasjon
ACEL,0,9.81*MOA*Gf,0

!Q (nyttelast)
asel,s,loc,y,-h.tot.mb/2+h.bje.un.mb-Gr-1,-h.tot.mb/2+h.bje.un.mb-Gr+1,1
asel,r,loc,x,-l.tot.mb/2,l.ext.,1
sfa,all,1,pres,-Q/(A.Ho.St.MB+A.Ho.SkSt.MB+A.Ho.St.TB+A.Ho.SkSt.TB)*MOA*Qf,

asel,s,loc,y,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb-Gr-1,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb-Gr+1,1
asel,r,loc,z,-b.tot.tb/2,b.tot.tb/2,1
sfa,all,1,pres,-Q/(A.Ho.St.MB+A.Ho.SkSt.MB+A.Ho.St.TB+A.Ho.SkSt.TB)*MOA*Qf,
asel,all

!Qb (Bumper last)
nsel,s,loc,x,l.ext.+1.tot.tb,l.ext.tb+1.tot.tb+1,1
nsel,r,loc,y,-h.tot.tb/2,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb,1
nsel,u,loc,z,-b.tot.tb/2+b.bje.un.tb+1,b.tot.tb/2-b.bje.un.tb-1,1
F,all,FX,-8000/16*Qf
nsel,all

!Ew (Vindlast)
asel,s,loc,z,b.tot.mb/2-1
sfa,all,1,pres,-E/(38260000)*Ef,
asel,all

asel,s,loc,z,b.tot.tb/2-1
asel,r,loc,x,l.tot.mb/2,l.ext.tb+1.tot.mb/2,1
sfa,all,1,pres,-E/(38260000)*Ef,

```

```

asel,all
!
!Opplager
lsel,s,loc,x,-1.tot.MB/2-1,-1.tot.MB/2
lsel,u,loc,z,-b.tot.MB/2+b.bje.un.MB+1,b.tot.MB/2-b.bje.un.MB-1
lsel,u,loc,y,-h.tot.MB/2+h.bje.un.MB+1,h.tot.MB/2-h.bje.ov.MB-1
dl,all,,ux,0
dl,all,,uy,0
dl,all,,uz,0
dl,all,,rotx,0
dl,all,,roty,0
dl,all,,rotz,0

```

F.2. Inputfiler til Materialer

```

!Layup Bjelker-C1 MB Alt B
sect,1,shell,,Bjelker-Eglass/vinylester
(Øverste i tabellen blir liggende innerst)
!secdata,      Tykkelse      ID Orientering Intergr.pts
secdata,      t1,           1,      45,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,     -45,          3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      45,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,     -45,          3
secdata,      t1,           1,      90,           3
secdata,      t1,           1,      45,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      90,           3
secdata,      t1,           1,     -45,          3
secdata,      t1,           1,      90,           3
secdata,      t1,           1,      90,           3
secdata,      t1,           1,     -45,          3
secdata,      t1,           1,      45,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      45,           3
secdata,      t1,           1,      90,           3
secdata,      t1,           1,     -45,          3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      45,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3
secdata,      t1,           1,      0,           3

```

```

secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,     -45,         3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,      45,         3

!Layup Bjelker-C1 MB Alt C
!secdata,      Tykkelse      ID Orientering Intergr.pts
secdata,      t1,          1,      45,         3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,     -45,         3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,      45,         3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,     -45,         3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,      45,         3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,     -45,         3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,      45,         3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,     -45,         3
secdata,      t1,          1,      90,         3
secdata,      t1,          1,      45,         3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,     -45,         3
secdata,      t1,          1,      90,         3
secdata,      t1,          1,      45,         3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,     -45,         3
secdata,      t1,          1,      90,         3
secdata,      t1,          1,      90,         3
secdata,      t1,          1,     -45,         3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,      45,         3
secdata,      t1,          1,      90,         3
secdata,      t1,          1,     -45,         3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,      45,         3
secdata,      t1,          1,      90,         3
secdata,      t1,          1,     -45,         3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,      45,         3
secdata,      t1,          1,      90,         3
secdata,      t1,          1,     -45,         3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,      45,         3
secdata,      t1,          1,      90,         3
secdata,      t1,          1,     -45,         3
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,      45,         3
secdata,      t1,          1,      90,         3
secdata,      t1,          1,     -45,         3

```

```
secdata,      t1,          1,      0,          3
secdata,      t1,          1,     45,          3
```

```
!Layup Bjelker-C1 TB Alt B
sect,1,shell,,Bjelker-Eglass/vinylester
(Øverste i tabellen blir liggende innerst)
!secdata,      Tykkelse      ID Orientering Intergr.pts
secdata,      t3,          3,     45,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,     -45,         3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,     45,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,     -45,         3
secdata,      t3,          3,     90,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,     90,          3
secdata,      t3,          3,     90,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,     90,          3
secdata,      t3,          3,    -45,         3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,     45,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,     -45,         3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,     45,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
```

```
!Layup Bjelker-C1 TB Alt C
sect,1,shell,,Bjelker-Eglass/vinylester
(Øverste i tabellen blir liggende innerst)
!secdata,      Tykkelse      ID Orientering Intergr.pts
secdata,      t3,          3,     45,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,    -45,         3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,     45,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,    -45,         3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,     45,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,    -45,         3
secdata,      t3,          3,      0,          3
secdata,      t3,          3,     45,          3
secdata,      t3,          3,      0,          3
```

```

secdata,      t3,          3,    -45,      3
secdata,      t3,          3,     90,      3
secdata,      t3,          3,     45,      3
secdata,      t3,          3,      0,      3
secdata,      t3,          3,    -45,      3
secdata,      t3,          3,     90,      3
secdata,      t3,          3,     90,      3
secdata,      t3,          3,    -45,      3
secdata,      t3,          3,      0,      3
secdata,      t3,          3,     45,      3
secdata,      t3,          3,     90,      3
secdata,      t3,          3,    -45,      3
secdata,      t3,          3,      0,      3
secdata,      t3,          3,     45,      3
secdata,      t3,          3,      0,      3
secdata,      t3,          3,    -45,      3
secdata,      t3,          3,      0,      3
secdata,      t3,          3,     45,      3
secdata,      t3,          3,      0,      3
secdata,      t3,          3,    -45,      3
secdata,      t3,          3,      0,      3
secdata,      t3,          3,    -45,      3
secdata,      t3,          3,      0,      3
secdata,      t3,          3,     45,      3

```

```
!Layup Stag MB Alt E
```

```
sect,1,shell,,Bjelker-Eglass/vinylester
```

```
(Øverste i tabellen blir liggende innerst)
```

```

!secdata,      Tykkelse      ID Orientering Intergr.pts
secdata,      t2,          2,     45,      3
secdata,      t2,          2,      0,      3
secdata,      t2,          2,    -45,      3
secdata,      t2,          2,     90,      3
secdata,      t2,          2,     45,      3
secdata,      t2,          2,      0,      3
secdata,      t2,          2,    -45,      3
secdata,      t2,          2,     90,      3
secdata,      t2,          2,     45,      3
secdata,      t2,          2,      0,      3
secdata,      t2,          2,    -45,      3
secdata,      t2,          2,     90,      3
secdata,      t2,          2,     45,      3
secdata,      t2,          2,      0,      3
secdata,      t2,          2,    -45,      3
secdata,      t2,          2,     90,      3
secdata,      t2,          2,     45,      3
secdata,      t2,          2,      0,      3
secdata,      t2,          2,    -45,      3
secdata,      t2,          2,     90,      3
secdata,      t2,          2,     45,      3
secdata,      t2,          2,      0,      3
secdata,      t2,          2,     45,      3
secdata,      t2,          2,     90,      3
secdata,      t2,          2,    -45,      3
secdata,      t2,          2,      0,      3
secdata,      t2,          2,     45,      3
secdata,      t2,          2,     90,      3
secdata,      t2,          2,    -45,      3
secdata,      t2,          2,      0,      3

```

```

secdata,      t2,          2,    45,          3
secdata,      t2,          2,    90,          3
secdata,      t2,          2,   -45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,    45,          3

```

```
!Layup Stag MB Alt F
```

```

!secdata,      Tykkelse      ID Orientering Intergr.pts
secdata,      t2,          2,    45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,   -45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,    45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,   -45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,    45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,   -45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,    45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,   -45,          3
secdata,      t2,          2,    90,          3
secdata,      t2,          2,    45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,   -45,          3
secdata,      t2,          2,    90,          3
secdata,      t2,          2,    90,          3
secdata,      t2,          2,   -45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,    45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,   -45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,    45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,   -45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,    45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,   -45,          3
secdata,      t2,          2,     0,          3
secdata,      t2,          2,    45,          3

```

```
!Layup Stag TB Alt E
```

```
sect,2,shell,,Bjelker-Eglass/vinylester
```

```
!(Øverste i tabellen blir liggende innerst)
```

```

!secdata,      Tykkelse      ID Orientering Intergr.pts
secdata,      t4,          4,    45,          3
secdata,      t4,          4,     0,          3
secdata,      t4,          4,   -45,          3
secdata,      t4,          4,    90,          3
secdata,      t4,          4,    45,          3
secdata,      t4,          4,     0,          3
secdata,      t4,          4,   -45,          3
secdata,      t4,          4,    90,          3
secdata,      t4,          4,    45,          3
secdata,      t4,          4,     0,          3
secdata,      t4,          4,   -45,          3
secdata,      t4,          4,    90,          3
secdata,      t4,          4,    45,          3

```

```

secdata,      t4,      4,      0,      3
secdata,      t4,      4,     -45,     3
secdata,      t4,      4,     90,     3
secdata,      t4,      4,     90,     3
secdata,      t4,      4,     -45,     3
secdata,      t4,      4,      0,     3
secdata,      t4,      4,     45,     3
secdata,      t4,      4,     90,     3
secdata,      t4,      4,     -45,     3
secdata,      t4,      4,      0,     3
secdata,      t4,      4,     45,     3
secdata,      t4,      4,     90,     3
secdata,      t4,      4,     -45,     3
secdata,      t4,      4,      0,     3
secdata,      t4,      4,     45,     3
secdata,      t4,      4,     90,     3
secdata,      t4,      4,     -45,     3
secdata,      t4,      4,      0,     3
secdata,      t4,      4,     45,     3

!Layup Stag MB Alt F
!secdata,      Tykkelse      ID Orientering Intergr.pts
secdata,      t4,      4,      45,      3
secdata,      t4,      4,      0,      3
secdata,      t4,      4,     -45,     3
secdata,      t4,      4,      0,      3
secdata,      t4,      4,     45,     3
secdata,      t4,      4,      0,      3
secdata,      t4,      4,     -45,     3
secdata,      t4,      4,      0,      3
secdata,      t4,      4,     45,     3
secdata,      t4,      4,      0,      3
secdata,      t4,      4,     -45,     3
secdata,      t4,      4,     90,     3
secdata,      t4,      4,     45,     3
secdata,      t4,      4,      0,      3
secdata,      t4,      4,     -45,     3
secdata,      t4,      4,     90,     3
secdata,      t4,      4,     90,     3
secdata,      t4,      4,     -45,     3
secdata,      t4,      4,      0,      3
secdata,      t4,      4,     45,     3
secdata,      t4,      4,     90,     3
secdata,      t4,      4,     -45,     3
secdata,      t4,      4,      0,      3
secdata,      t4,      4,     45,     3
secdata,      t4,      4,      0,      3
secdata,      t4,      4,     45,     3
secdata,      t4,      4,     -45,     3
secdata,      t4,      4,      0,      3
secdata,      t4,      4,     45,     3

```

F.3. Inputfiler til Laster

```

!LT 1a

!Areal
A.Ho.St.MB=b.Ho.St.MB*(b.tot.MB-b.bje.ov.MB-b.bje.un.MB)*10
A.Ho.SkSt.MB=l.a.Ho.SkSt.MB*1566*9
A.Ve.St.MB=h.Ve.St.MB*(h.tot.MB-h.bje.ov.MB-h.bje.un.MB)*12
A.Ve.SkSt.MB=l.a.Ve.SkSt.MB*1838*12
A.bje.MB=h.bje.ov.MB*1.tot.MB+h.bje.un.MB*1.tot.MB

```

```

A.Ho.St.TB=b.Ho.St.TB*(b.tot.TB-B.bje.ov.TB-B.bje.un.TB)*10
A.Ho.SkSt.TB=l.a.Ho.SkSt.TB*1244*8
A.Ve.St.TB=h.Ve.St.TB*(h.tot.TB-H.bje.ov.TB-H.bje.un.TB)*7
A.Ve.SkSt.TB=l.a.Ve.SkSt.TB*1499*6
A.bje.TB=H.bje.ov.TB*7000+H.bje.un.TB*7000

!Lastfaktorer
MOA=2
DFy=1.1
DFz=0.05

Q=3000*2
E=18750

!SLS
!Gf=1
!Qf=1
!Ef=1

!ULS a
Gf=1.3
Qf=1.3
Ef=0.85

!ULS b
!Gf=1.05
!Qf=1.05
!Ef=1.3

!Akselerasjon
ACEL,0,9.81*Gf,0,

!Q (nyttelast)
asel,s,loc,y,-h.tot.mb/2+h.bje.un.mb-Gr-1,-h.tot.mb/2+h.bje.un.mb-Gr+1,1
asel,r,loc,x,-l.tot.mb/2,l.ext.,1
sfa,all,1,pres,-Q/(A.Ho.St.MB+A.Ho.SkSt.MB+A.Ho.St.TB+A.Ho.SkSt.TB)*Qf,

asel,s,loc,y,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb-Gr-1,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb-Gr+1,1
asel,r,loc,z,-b.tot.tb/2,b.tot.tb/2,1
sfa,all,1,pres,-Q/(A.Ho.St.MB+A.Ho.SkSt.MB+A.Ho.St.TB+A.Ho.SkSt.TB)*Qf,
asel,all

!Qb (Bumper last)
lsel,s,loc,x,l.ext.+l.tot.tb,l.ext.tb+l.tot.tb+1,1
lsel,r,loc,y,-h.tot.tb/2,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb-Gr-h.Ho.St.TB,1
lsel,u,loc,z,-b.tot.tb/2+b.bje.un.tb+1,b.tot.tb/2-b.bje.un.tb-1,1
sfl,all,pres,(8000/(2*(B.bje.un.TB+h.bje.un.tb-Gr-h.Ho.St.TB)))*Qf
lsel,all
!
!Laster
!LT 1b

!Areal
A.Ho.St.MB=b.Ho.St.MB*(b.tot.MB-b.bje.ov.MB-b.bje.un.MB)*10
A.Ho.SkSt.MB=l.a.Ho.SkSt.MB*1566*9
A.Ve.St.MB=h.Ve.St.MB*(h.tot.MB-h.bje.ov.MB-h.bje.un.MB)*12
A.Ve.SkSt.MB=l.a.Ve.SkSt.MB*1838*12
A.bje.MB=h.bje.ov.MB*l.tot.MB+h.bje.un.MB*l.tot.MB

A.Ho.St.TB=b.Ho.St.TB*(b.tot.TB-B.bje.ov.TB-B.bje.un.TB)*10
A.Ho.SkSt.TB=l.a.Ho.SkSt.TB*1244*8
A.Ve.St.TB=h.Ve.St.TB*(h.tot.TB-H.bje.ov.TB-H.bje.un.TB)*7
A.Ve.SkSt.TB=l.a.Ve.SkSt.TB*1499*6
A.bje.TB=H.bje.ov.TB*7000+H.bje.un.TB*7000

!Lastfaktorer

```

```

MOA=2
DFy=1.1
DFz=0.05

Q=3000*2
E=18750

!SLS
!Gf=1
!Qf=1
!Ef=1

!ULS a
Gf=1.3
Qf=1.3
Ef=0.85

!ULS b
!Gf=1.05
!Qf=1.05
!Ef=1.3

!Akselerasjon
ACEL,0,9.81*MOA*Gf,0

!Q (nyttelast)
asel,s,loc,y,-h.tot.mb/2+h.bje.un.mb-Gr-1,-h.tot.mb/2+h.bje.un.mb-Gr+1,1
asel,r,loc,x,-l.tot.mb/2,l.ext.,1
sfa,all,1,pres,-Q/(A.Ho.St.MB+A.Ho.SkSt.MB+A.Ho.St.TB+A.Ho.SkSt.TB)*MOA*Qf,

asel,s,loc,y,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb-Gr-1,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb-Gr+1,1
asel,r,loc,z,-b.tot.tb/2,b.tot.tb/2,1
sfa,all,1,pres,-Q/(A.Ho.St.MB+A.Ho.SkSt.MB+A.Ho.St.TB+A.Ho.SkSt.TB)*MOA*Qf,
asel,all

!Qb (Bumper last)
lsel,s,loc,x,l.ext.+l.tot.tb,l.ext.tb+l.tot.tb+1,1
lsel,r,loc,y,-h.tot.tb/2,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb-Gr-h.Ho.St.TB,1
lsel,u,loc,z,-b.tot.tb/2+b.bje.un.tb+1,b.tot.tb/2-b.bje.un.tb-1,1
sfl,all,pres,(8000/(2*(B.bje.un.TB+h.bje.un.tb-Gr-h.Ho.St.TB)))*Qf
lsel,all

!Ew (Vindlast)
asel,s,loc,z,b.tot.mb/2-1
sfa,all,1,pres,-E/(38260000)*Ef,
asel,all

asel,s,loc,z,b.tot.tb/2-1
asel,r,loc,x,l.tot.mb/2,l.ext.tb+l.tot.mb/2,1
sfa,all,1,pres,-E/(38260000)*Ef,
asel,all

!
-----
!LT 1c

!Areal
A.Ho.St.MB=b.Ho.St.MB*(b.tot.MB-b.bje.ov.MB-b.bje.un.MB)*10
A.Ho.SkSt.MB=l.a.Ho.SkSt.MB*1566*9
A.Ve.St.MB=h.Ve.St.MB*(h.tot.MB-h.bje.ov.MB-h.bje.un.MB)*12
A.Ve.SkSt.MB=l.a.Ve.SkSt.MB*1838*12
A.bje.MB=h.bje.ov.MB*1.tot.MB+h.bje.un.MB*1.tot.MB

A.Ho.St.TB=b.Ho.St.TB*(b.tot.TB-b.bje.ov.TB-b.bje.un.TB)*10
A.Ho.SkSt.TB=l.a.Ho.SkSt.TB*1244*8
A.Ve.St.TB=h.Ve.St.TB*(h.tot.TB-h.bje.ov.TB-h.bje.un.TB)*7
A.Ve.SkSt.TB=l.a.Ve.SkSt.TB*1499*6
A.bje.TB=h.bje.ov.TB*7000+H.bje.un.TB*7000

```

```

!Lastfaktorer
MOA=2
DFy=1.1
DFz=0.05

Q=3000*2
E=18750

!SLS
!Gf=1
!Qf=1
!Ef=1

!ULS a
Gf=1.3
Qf=1.3
Ef=0.85

!ULS b
!Gf=1.05
!Qf=1.05
!Ef=1.3

!Akselerasjon
ACEL,0,9.81*MOA*Gf,0

!Q (nyttelast)
asel,s,loc,y,-h.tot.mb/2+h.bje.un.mb-Gr-1,-h.tot.mb/2+h.bje.un.mb-Gr+1,1
asel,r,loc,x,-l.tot.mb/2,l.ext.,1
sfa,all,1,pres,-Q/(A.Ho.St.MB+A.Ho.SkSt.MB+A.Ho.St.TB+A.Ho.SkSt.TB)*MOA*Qf,

asel,s,loc,y,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb-Gr-1,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb-Gr+1,1
asel,r,loc,z,-b.tot.tb/2,b.tot.tb/2,1
sfa,all,1,pres,-Q/(A.Ho.St.MB+A.Ho.SkSt.MB+A.Ho.St.TB+A.Ho.SkSt.TB)*MOA*Qf,
asel,all

!Ew (Vindlast)
asel,s,loc,z,b.tot.mb/2-1
sfa,all,1,pres,-E/(38260000)*Ef,
asel,all

asel,s,loc,z,b.tot.tb/2-1
asel,r,loc,x,l.tot.mb/2,l.ext.tb+l.tot.mb/2,1
sfa,all,1,pres,-E/(38260000)*Ef,
asel,all
!
!LT 2a

!Lastfaktorer
MOA=2
DFy=1.1
DFz=0.05

!SLS
!Gf=1
!Qf=1
!Ef=1

!ULS a
Gf=1.3
Qf=1.3
Ef=0.85

!ULS b
!Gf=1.05

```

```

!Qf=1.05
!Ef=1.3

!Akselerasjon
ACEL,0,9.81*DFy*Gf,9.81*DFz*Gf,
!
!LT 2b

!Lastfaktorer
MOA=2
DFy=1.1
DFz=0.05

E=18750

!SLS
!Gf=1
!Qf=1
!Ef=1

!ULS a
Gf=1.3
Qf=1.3
Ef=0.85

!ULS b
!Gf=1.05
!Qf=1.05
!Ef=1.3

!Akselerasjon
ACEL,0,9.81*MOA*DFy*Gf,9.81*MOA*DFz*Gf,

!Ew (Vindlast)
asel,s,loc,z,b.tot.mb/2-1
sfa,all,1,pres,-E/(38260000)*Ef,
asel,all

asel,s,loc,z,b.tot.tb/2-1
asel,r,loc,x,l.tot.mb/2,l.ext.tb+l.tot.mb/2,1
sfa,all,1,pres,-E/(38260000)*Ef,
asel,all
!
!Laster
!LT 3

!Areal
A.Ho.St.MB=b.Ho.St.MB*(b.tot.MB-b.bje.ov.MB-b.bje.un.MB)*10
A.Ho.SkSt.MB=l.a.Ho.SkSt.MB*1566*9
A.Ve.St.MB=h.Ve.St.MB*(h.tot.MB-h.bje.ov.MB-h.bje.un.MB)*12
A.Ve.SkSt.MB=l.a.Ve.SkSt.MB*1838*12
A.bje.MB=h.bje.ov.MB*l.tot.MB+h.bje.un.MB*l.tot.MB

A.Ho.1St.TB=b.Ho.St.TB*(b.tot.TB-B.bje.ov.TB-B.bje.un.TB) !Areal for 1 stag
A.Ho.St.TB=b.Ho.St.TB*(b.tot.TB-B.bje.ov.TB-B.bje.un.TB)*10
A.Ho.SkSt.TB=l.a.Ho.SkSt.TB*1244*8
A.Ve.St.TB=h.Ve.St.TB*(h.tot.TB-H.bje.ov.TB-H.bje.un.TB)*7
A.Ve.SkSt.TB=l.a.Ve.SkSt.TB*1499*6
A.bje.TB=H.bje.ov.TB*7000+H.bje.un.TB*7000

!Lastfaktorer
MOA=2
DFy=1.1
DFz=0.05

!Qtip=3000*MOA*DFy

```

```

Qtip=3500
E=18750

!SLS
Gf=1
Qf=1
Ef=1

!ULS a
!Gf=1.3
!Qf=1.3
!Ef=0.85

!ULS b
!Gf=1.05
!Qf=1.05
!Ef=1.3

!Akselerasjon
ACEL,0,9.81*MOA*DFy*Gf,9.81*DFz*GF

!Qtip (nyttelast på tuppen)
asel,s,loc,y,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb-Gr-1,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb-Gr+1,1
asel,r,loc,x,l.tot.mb/2+tf-Ende.tb/2,l.tot.mb/2+tf
sfa,all,1,pres,-Qtip/A.Ho.1St.TB,
asel,all

!Ew (Vindlast)
asel,s,loc,z,b.tot.mb/2-1
sfa,all,1,pres,-E/(38260000)*Ef,
asel,all

asel,s,loc,z,b.tot.tb/2-1
asel,r,loc,x,l.tot.mb/2,l.ext.tb+l.tot.mb/2,1
sfa,all,1,pres,-E/(38260000)*Ef,
asel,all

!
-----
!Laster
!LK 4

!Lastfaktorer
MTA=2

E=69200

!SLS
!Gf=1
!Qf=1
!Ef=1

!ULS a
!Gf=1.3
!Qf=1.3
!Ef=0.85

!ULS b
Gf=1.05
Qf=1.05
Ef=1.3

!Akselerasjoner
ACEL,0,9.81*MTA*GF,0,

!Ew (Vindlast)
asel,s,loc,z,b.tot.mb/2-1
sfa,all,1,pres,-E/(29160000)*Ef,

```

```

asel,all
!
!LT 5

!Areal
A.Ho.St.MB=b.Ho.St.MB*(b.tot.MB-b.bje.ov.MB-b.bje.un.MB)*10
A.Ho.SkSt.MB=l.a.Ho.SkSt.MB*1566*9
A.Ve.St.MB=h.Ve.St.MB*(h.tot.MB-h.bje.ov.MB-h.bje.un.MB)*12
A.Ve.SkSt.MB=l.a.Ve.SkSt.MB*1838*12
A.bje.MB=h.bje.ov.MB*1.tot.MB+h.bje.un.MB*1.tot.MB

A.Ho.St.TB=b.Ho.St.TB*(b.tot.TB-B.bje.ov.TB-B.bje.un.TB)*10
A.Ho.SkSt.TB=l.a.Ho.SkSt.TB*1244*8
A.Ve.St.TB=h.Ve.St.TB*(h.tot.TB-H.bje.ov.TB-H.bje.un.TB)*7
A.Ve.SkSt.TB=l.a.Ve.SkSt.TB*1499*6
A.bje.TB=H.bje.ov.TB*7000+H.bje.un.TB*7000

Q=3750

!Akselerasjon
ACEL,0,9.81,0,

!Q (nyttelast)
asel,s,loc,y,-h.tot.mb/2+h.bje.un.mb-Gr-1,-h.tot.mb/2+h.bje.un.mb-Gr+1,1
asel,r,loc,x,-l.tot.mb/2,l.ext.,1
sfa,all,1,pres,-Q/(A.Ho.St.MB+A.Ho.SkSt.MB+A.Ho.St.TB+A.Ho.SkSt.TB),

asel,s,loc,y,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb-Gr-1,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb-Gr+1,1
asel,r,loc,z,-b.tot.tb/2,b.tot.tb/2,1
sfa,all,1,pres,-Q/(A.Ho.St.MB+A.Ho.SkSt.MB+A.Ho.St.TB+A.Ho.SkSt.TB),
asel,all

!
!Slagskade last
!Qs (slagskade)
nset,s,loc,x,l.ext.+1.tot.tb,l.ext.tb+1.tot.tb+1,1
nset,r,loc,y,-h.tot.tb/2,-h.tot.tb/2+h.bje.un.tb,1
nset,r,loc,z,b.tot.tb/2-1,b.tot.tb/2,1
F,all,Fz,-8000/3
nset,all

```

F.4. Inputfiler til øvrige analyser

```

!Kommando for analyse av Knekking
/post1
/solu
ANTYPE, BUCKLE
Bucopt, lanb, 10, 0, 1000, RANGE
Mxpand, 5, 0, 1000000, 1
Solve

!Kommando for analyse av egenfrekvens
/post1
/solu
ANTYPE, MODAL
MODOPT, LANB, 5
!EXTRACT 1ST 5 MODES
Solve

```

F.5. Verifisering av skallelement

```

/PRP7
!
!startinstillinger
!Analyse structural
/NOPR
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULTI,0
/GO
!*
/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering have been set to display:
/COM, Structural
!DOF
DOF,UX,UY,UZ,ROTX,ROTY,ROTZ
!
!Material Data for E-glass og vinylester (material 1.)
!Element type for kompositt skall elemnt, satt til 4 noders firkant
ET,1,SHELL181
K=1
!Stivhet i global retning hentet fra matlab dokument
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,181000
MPDATA,EY,1,,13000*K
MPDATA,EZ,1,,13000*K
MPDATA,PRXY,1,,.28*K
MPDATA,PRYZ,1,,.28*K
MPDATA,PRXZ,1,,.28*K
MPDATA,GXY,1,,7170*K
MPDATA,GYZ,1,,3000*K
MPDATA,GXZ,1,,7170*K
!Layup
sect,1,shell,,Eglass/vinylester
!secdata,      Tykkelse      ID      Orientering      Intergr.pts
secdata,      1,          1,      0,                3
!
!Modell
lengde=1000
bredde=100
hoyde=25

!keypoints
k,1, 0, 0, 0
k,2, lengde, 0, 0
k,3, lengde, bredde, 0
k,4, 0, bredde, 0
k,5, 0, 0, hoyde
k,6, lengde, 0, hoyde
k,7, lengde, bredde, hoyde
k,8, 0, bredde, hoyde

!Areal
a,1,2,3,4
a,5,6,7,8
a,5,6,2,1
a,4,3,7,8

!Mesh
esize,5
amesh,all
!
!Opplegg
nset,s,loc,x,0
d,all,all
!Last
nset,s,loc,x,lengde+1

```

```

nset,u,loc,y,1,bredde-1
f,all,fz,-8.33
nset,all

```

F.6. Verifisering av Stag MB

```

/PREP7
!
!startinstillinger
!Analyse Structural
/NOPR
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULTI,0
/GO
!*
/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering have been set to display:
/COM, Structural
!DOF
DOF,UX,UY,UZ,ROTX,ROTY,ROTZ
!
!Material Data for E-glass og vinylester (material 1.)
!Element type for kompositt skallelement, satt til 4 noders firkant
ET,1,SHELL181
K=1      !Stivhet i global retning hentet fra matlab dokument
!sectype 1
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,48074
MPDATA,EY,1,,7959*K
MPDATA,EZ,1,,7959*K
MPDATA,PRXY,1,,.324*K
MPDATA,PRYZ,1,,.054*K
MPDATA,PRXZ,1,,.324*K
MPDATA,GXY,1,,2908*K
MPDATA,GYZ,1,,1616*K
MPDATA,GXZ,1,,2908*K
!Layup
t2=0.2667
!
sect,1,shell,,Eglass/vinylester
!(Øverste i tabellen blir liggende innerst)
!secdata,      Tykkelse      ID      Orientering      Intergr.pts
secdata,      t2,          1,      45,              3
secdata,      t2,          1,      0,              3
secdata,      t2,          1,      -45,            3
secdata,      t2,          1,      0,              3
secdata,      t2,          1,      45,              3
secdata,      t2,          1,      0,              3
secdata,      t2,          1,      -45,            3
secdata,      t2,          1,      0,              3
secdata,      t2,          1,      45,              3
secdata,      t2,          1,      0,              3
secdata,      t2,          1,      -45,            3
secdata,      t2,          1,      0,              3
secdata,      t2,          1,      45,              3
secdata,      t2,          1,      0,              3
secdata,      t2,          1,      -45,            3
secdata,      t2,          1,      90,              3
secdata,      t2,          1,      45,              3
secdata,      t2,          1,      0,              3
secdata,      t2,          1,      -45,            3
secdata,      t2,          1,      90,              3
secdata,      t2,          1,      90,              3
secdata,      t2,          1,      90,              3
secdata,      t2,          1,      -45,            3
secdata,      t2,          1,      0,              3
secdata,      t2,          1,      45,              3

```

```

secdata,      t2,          1,      90,          3
secdata,      t2,          1,     -45,          3
secdata,      t2,          1,       0,          3
secdata,      t2,          1,      45,          3
secdata,      t2,          1,       0,          3
secdata,      t2,          1,     -45,          3
secdata,      t2,          1,       0,          3
secdata,      t2,          1,      45,          3
secdata,      t2,          1,       0,          3
secdata,      t2,          1,     -45,          3
secdata,      t2,          1,       0,          3
secdata,      t2,          1,      45,          3
secdata,      t2,          1,       0,          3
secdata,      t2,          1,     -45,          3
secdata,      t2,          1,       0,          3
secdata,      t2,          1,      45,          3
!

```

```

!Modell
lengde=85
bredde=85
hoyde=1300
!keypoints
!P1 (1-8)      x (Lengde)      y (Høyde)      z (Bredde)
k,1,          0,          0,          0
k,2,          0,          0,          bredde
k,3,          lengde,    0,          0
k,4,          lengde,    0,          bredde
k,5,          0,          hoyde,    0
k,6,          0,          hoyde,    bredde
k,7,          lengde,    hoyde,    0
k,8,          lengde,    hoyde,    bredde
!Areal
a,1,5,7,3
a,4,3,7,8
a,2,6,5,1
a,2,4,8,6
local,100,0,,,,,
emodif,all,esys,100
csys,0
!Mesh
esize,10
amesh,all

!Opplager
nset,s,loc,y,0
d,all,all
!Last
nset,s,loc,y,hoyde+1
nset,r,loc,x,lengde
f,all,fx,75*10/6
allsel,all
csys,0

```

F.7. Verifisering av Stag TB

```

/PREP7
!
!startinstillinger
!Analyse structural
/NOPR
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_FLUID,0
KEYW,PR_ELMAG,0
KEYW,MAGNOD,0
KEYW,MAGEDG,0
KEYW,MAGHFE,0
KEYW,MAGELC,0
KEYW,PR_MULTI,0
/GO
!*
/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering have been set to display:
/COM, Structural

```

```

!DOF
DOF,UX,UY,UZ,ROTX,ROTY,ROTZ
!
!Material Data for E-glass og vinylester (material 1.)
!Element type for kompositt skall elemnt, satt til 4 noders firkant
ET,1,SHELL181
K=1      !Stivhet i global retning hentet fra matlab dokument
!sectype 1
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,48074
MPDATA,EY,1,,7959*K
MPDATA,EZ,1,,7959*K
MPDATA,PRXY,1,,.324*K
MPDATA,PRYZ,1,,.054*K
MPDATA,PRXZ,1,,.324*K
MPDATA,GXY,1,,2908*K
MPDATA,GYZ,1,,1616*K
MPDATA,GXZ,1,,2908*K
!Layup
t4=0.2667
sect,1,shell,,Eglass/vinylester
!secdata,      Tykkelse      ID      Orientering      Intergr.pts
secdata,      t4,          1,      45,              3
secdata,      t4,          1,      0,              3
secdata,      t4,          1,      -45,            3
secdata,      t4,          1,      90,             3
secdata,      t4,          1,      45,             3
secdata,      t4,          1,      0,              3
secdata,      t4,          1,      -45,            3
secdata,      t4,          1,      90,             3
secdata,      t4,          1,      45,             3
secdata,      t4,          1,      0,              3
secdata,      t4,          1,      -45,            3
secdata,      t4,          1,      90,             3
secdata,      t4,          1,      45,             3
secdata,      t4,          1,      0,              3
secdata,      t4,          1,      -45,            3
secdata,      t4,          1,      90,             3
secdata,      t4,          1,      45,             3
secdata,      t4,          1,      0,              3
secdata,      t4,          1,      -45,            3
secdata,      t4,          1,      90,             3
secdata,      t4,          1,      45,             3
secdata,      t4,          1,      0,              3
secdata,      t4,          1,      -45,            3
secdata,      t4,          1,      90,             3
secdata,      t4,          1,      45,             3
secdata,      t4,          1,      0,              3
secdata,      t4,          1,      -45,            3
secdata,      t4,          1,      90,             3
secdata,      t4,          1,      45,             3
!
!Modell
lengde=40
bredde=40
hoyde=1060
!keypoints
!P1 (1-8)      x (Lengde)      y (Høyde)      z (Bredde)
k,1,          0,          0,          0
k,2,          0,          0,          bredde
k,3,          lengde,      0,          0
k,4,          lengde,      0,          bredde
k,5,          0,          hoyde,      0
k,6,          0,          hoyde,      bredde
k,7,          lengde,      hoyde,      0
k,8,          lengde,      hoyde,      bredde

!Areal
a,1,5,7,3
a,4,3,7,8
a,2,6,5,1

```

```
a,2,4,8,6
local,100,0,,,,,
emodif,all,esys,100
csys,0
!Mesh
esize,10
amesh,all

!Opplager
nset,s,loc,y,0
d,all,all

!Last
nset,s,loc,y,hoyde+1
nset,r,loc,x,lengde
f,all,fx,75*10/6

allset,all
csys,0
```

G. Mathcad

Hele Gangbruen (GB)

Forskyvning eller nedbøyning i brukstilstand

Variable

Partiell lasteffektfaktor $\gamma_f := 1$

Partiell systemfaktor $\gamma_s := 1.1$

Partiell lastmodellfaktor $\gamma_{sd} := 1$

LT 1B

Karakteristisk verdi for maks forskyvning $d_1 := 161.563 \text{ mm}$

Karakteristisk verdi for midtveis forskyvning $d_{m1} := 65.5371 \text{ mm}$

LT 3

Karakteristisk verdi for maks forskyvning $d_2 := 153.725 \text{ mm}$

Karakteristisk verdi for midtveis forskyvning $d_{m2} := 61.9332 \text{ mm}$

LT 4

Karakteristisk verdi for maks forskyvning $d_3 := 15.9757 \text{ mm}$

Maks forskyvning $d := \max(d_1, d_2, d_3) = 161.563 \cdot \text{mm}$
 $d_m := \max(d_{m1}, d_{m2}) = 65.537 \cdot \text{mm}$

Totallengde $l := 25 \text{ m}$

Lengde til midten $l_{\text{mid}} := \frac{l}{2} = 12.5 \cdot \text{m}$

Maksimalt tillatt forskyvning på enden $d_{\text{maks}} := \frac{l}{100} = 250 \cdot \text{mm}$

Maksimalt tillatt forskyvning på midten $d_{\text{midle}} := \frac{l_{\text{mid}}}{150} = 83.333 \cdot \text{mm}$

Utregning maksverdi

Utnyttelse $U := \gamma_f \cdot \gamma_{sd} \cdot \frac{d}{d_{\text{maks}}} = 0.646$

Funksjonstest maks forskyvning $\text{if}(U < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$

Utregning midtverdi (3,5m i ANSYS-modell)

Utnyttelse $U_m := \gamma_f \cdot \gamma_{sd} \cdot \frac{d_m}{d_{\text{midle}}} = 0.786$

Funksjonstest maks forskyvning $\text{if}(U_m < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$

Statisk Utmatting

Variabler

| | |
|--------------------------------|----------------------|
| Sikkerhetsfaktor for utmatting | $\gamma_{fat} := 50$ |
| Partiell motstandsmodellfaktor | $\gamma_{rd} := 1$ |

Strekk

LT 1B ULS

| | |
|---------------------------------------|---|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{ks1x} := \max(0.001972, 0.001632)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{ks1y} := \max(0.002865, 0.003059)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{ks1z} := \max(0.001772, 0.001579)$ |

LT 3 ULS

| | |
|---------------------------------------|---|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{ks2x} := \max(0.001699, 0.001411)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{ks2y} := \max(0.001558, 0.001644)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{ks2z} := \max(0.001526, 0.001703)$ |

LT 4 ULS

| | |
|---------------------------------------|---|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{ks3x} := \max(0.000606, 0.00074)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{ks3y} := \max(0.001286, 0.001757)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{ks3z} := \max(0.001745, 0.00239)$ |

LT 1B SLS

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{kss1x} := 0.001539$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{kss1y} := 0.002624$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{kss1z} := 0.00138$ |

LT 3 SLS

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{kss2x} := 0.001329$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{kss2y} := 0.001365$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{kss2z} := 0.001385$ |

LT 4 SLS

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{kss3x} := 0.000589$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{kss3y} := 0.001392$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{kss3z} := 0.001885$ |

Maks tøying i dødtid

$$\varepsilon_{\text{maks.dødtid.s}} := \max(\varepsilon_{\text{ks3x}}, \varepsilon_{\text{ks3y}}, \varepsilon_{\text{ks3z}}) = 2.39 \times 10^{-3}$$

Maks tøying i ULS

$$\varepsilon_{\text{maks.ULS.s}} := \max(\varepsilon_{\text{ks1x}}, \varepsilon_{\text{ks1y}}, \varepsilon_{\text{ks1z}}, \varepsilon_{\text{ks2x}}, \varepsilon_{\text{ks2y}}, \varepsilon_{\text{ks2z}}) = 3.059 \times 10^{-3}$$

Maks tøying i SLS

$$\varepsilon_{\text{maks.SLS.s}} := \max(\varepsilon_{\text{ks1x}}, \varepsilon_{\text{ks1y}}, \varepsilon_{\text{ks1z}}, \varepsilon_{\text{ks2x}}, \varepsilon_{\text{ks2y}}, \varepsilon_{\text{ks2z}}, \varepsilon_{\text{ks3x}}, \varepsilon_{\text{ks3y}}, \varepsilon_{\text{ks3z}}) = 2.624 \times 10^{-3}$$

Karakteristisk tøying i strekk

$$\varepsilon_{\text{ks}} := 0.028$$

Bruk i løpet av levetiden (år)

$$t_{\text{y.bruk}} := 4$$

Dødtid i løpet av levetiden (år)

$$t_{\text{y.dødtid}} := 36$$

Tid per år

$$T_{\text{tot}} := 3.1536 \cdot 10^7$$

Dødtid

$$T_{\text{dødtid}} := T_{\text{tot}} \cdot 0.9 = 2.838 \times 10^7$$

Brukstilid per år

$$T_{\text{bruk}} := T_{\text{tot}} \cdot 0.1 = 3.154 \times 10^6$$

Tid i ULS per år

$$T_{\text{bruk.ULS}} := T_{\text{bruk}} \cdot \frac{1200}{60 \cdot 60 \cdot 24} = 4.38 \times 10^4$$

Tid i SLS

$$T_{\text{bruk.SLS}} := T_{\text{bruk}} - T_{\text{bruk.ULS}} = 3.11 \times 10^6$$

Stigningstall for SN-kurve

[DNV OS501-appendix F.4.2.3]

$$\beta := 0.0423$$

Tid til utmattingsbrudd i dødtid

$$T_{\text{ch.dødtid.s}} := 10^{\left(\frac{\log(\varepsilon_{\text{ks}}) - \log(\varepsilon_{\text{maks.dødtid.s}})}{\beta} \right)}$$

Tid til utmattingsbrudd i SLS

$$T_{\text{ch.bruk.SLS.s}} := 10^{\left(\frac{\log(\varepsilon_{\text{ks}}) - \log(\varepsilon_{\text{maks.SLS.s}})}{\beta} \right)}$$

Tid til utmattingsbrudd i ULS

$$T_{\text{ch.bruk.ULS.s}} := 10^{\left(\frac{\log(\varepsilon_{\text{ks}}) - \log(\varepsilon_{\text{maks.ULS.s}})}{\beta} \right)}$$

Miners summering

$$MS_{\text{dødtid.s}} := \gamma_s \cdot \gamma_{\text{fat}} \cdot \gamma_{\text{rd}} \cdot t_{\text{y.dødtid}} \cdot \left[\frac{T_{\text{dødtid}}}{T_{\text{ch.dødtid.s}} \cdot 0.25 + (T_{\text{ch.dødtid.s}} \cdot 0.75 \cdot 0.9)} \right] = 3.291 \times 10^{-15}$$

$$MS_{\text{SLS.s}} := \gamma_s \cdot \gamma_{\text{fat}} \cdot \gamma_{\text{rd}} \cdot t_{\text{y.bruk}} \cdot \left(\frac{T_{\text{bruk.SLS}}}{T_{\text{ch.bruk.SLS.s}} \cdot 0.25 + T_{\text{ch.bruk.SLS.s}} \cdot 0.75 \cdot 0.9} \right) = 3.646 \times 10^{-16}$$

$$MS_{\text{ULS.s}} := \gamma_s \cdot \gamma_{\text{fat}} \cdot \gamma_{\text{rd}} \cdot t_{\text{y.bruk}} \cdot \left(\frac{T_{\text{bruk.ULS}}}{T_{\text{ch.bruk.ULS.s}} \cdot 0.25 + T_{\text{ch.bruk.ULS.s}} \cdot 0.75 \cdot 0.9} \right) = 1.929 \times 10^{-16}$$

Funksjonstest

$$\text{if}(MS_{\text{dødtid.s}} + MS_{\text{SLS.s}} + MS_{\text{ULS.s}} < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$$

Trykk - NodeLT 1B ULS

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nkt1x} := \max(0.002126, 0.001837)$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nkt1y} := \max(0.003502, 0.003288)$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nkt1z} := \max(0.001792, 0.00212)$

LT 3 ULS

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nkt2x} := \max(0.001872, 0.001633)$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nkt2y} := \max(0.002924, 0.003289)$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nkt2z} := \max(0.00177, 0.002367)$

LT 4 ULS

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nkt3x} := \max(0.001095, 0.001341)$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nkt3y} := \max(0.001775, 0.002063)$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nkt3z} := \max(0.001733, 0.002351)$

LT 1B SLS

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nks1x} := 0.001703$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nks1y} := 0.002953$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nks1z} := 0.001669$

LT 3 SLS

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nks2x} := 0.001508$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nks2y} := 0.002772$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nks2z} := 0.00189$

LT 4 SLS

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nks3x} := 0.0011$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nks3y} := 0.001721$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nks3z} := 0.00187$

Maks tøying i dødtid

$$\varepsilon_{\text{maks.dødtid.t}} := \max(\varepsilon_{\text{kt3x}}, \varepsilon_{\text{kt3y}}, \varepsilon_{\text{kt3z}}) = 2.351 \times 10^{-3}$$

Maks tøying i SLS

$$\varepsilon_{\text{maks.SLS.t}} := \max(\varepsilon_{\text{kts1x}}, \varepsilon_{\text{kts1y}}, \varepsilon_{\text{kts1z}}, \varepsilon_{\text{kts2x}}, \varepsilon_{\text{kts2y}}, \varepsilon_{\text{kts2z}}, \varepsilon_{\text{kts3x}}, \varepsilon_{\text{kts3y}}, \varepsilon_{\text{kts3z}}) = 2.953 \times 10^{-3}$$

Maks tøying i ULS

$$\varepsilon_{\text{maks.ULS.t}} := \max(\varepsilon_{\text{kt1x}}, \varepsilon_{\text{kt1y}}, \varepsilon_{\text{kt1z}}, \varepsilon_{\text{kt2x}}, \varepsilon_{\text{kt2y}}, \varepsilon_{\text{kt2z}}) = 3.502 \times 10^{-3}$$

Karakteristisk tøying i trykk

$$\varepsilon_{\text{kt}} := 0.015$$

Tid til utmattingsbrudd i dødtid

$$T_{\text{ch.dødtid.t}} := 10^{\left(\frac{\log(\varepsilon_{\text{kt}}) - \log(\varepsilon_{\text{maks.dødtid.t}})}{\beta} \right)} = 1.064 \times 10^{19}$$

Tid til utmattingsbrudd i SLS

$$T_{\text{ch.bruk.SLS.t}} := 10^{\left(\frac{\log(\varepsilon_{\text{kt}}) - \log(\varepsilon_{\text{maks.SLS.t}})}{\beta} \right)} = 4.856 \times 10^{16}$$

Tid til utmattingsbrudd i ULS

$$T_{\text{ch.bruk.ULS.t}} := 10^{\left(\frac{\log(\varepsilon_{\text{kt}}) - \log(\varepsilon_{\text{maks.ULS.t}})}{\beta} \right)} = 8.621 \times 10^{14}$$

Miners sum

$$MS_{\text{Dødtid.t}} := \gamma_s \cdot \gamma_{\text{fat}} \cdot \gamma_{\text{rd}} \cdot t_{\text{y.dødtid}} \cdot \left(\frac{T_{\text{dødtid}}}{T_{\text{ch.dødtid.t}}^{0.25} + T_{\text{ch.dødtid.t}}^{0.75} \cdot 0.9} \right) = 5.71 \times 10^{-9}$$

$$MS_{\text{SLS.t}} := \gamma_s \cdot \gamma_{\text{fat}} \cdot \gamma_{\text{rd}} \cdot t_{\text{y.bruk}} \cdot \left(\frac{T_{\text{bruk.SLS}}}{T_{\text{ch.bruk.SLS.t}}^{0.25} + T_{\text{ch.bruk.SLS.t}}^{0.75} \cdot 0.9} \right) = 1.523 \times 10^{-8}$$

$$MS_{\text{ULS.t}} := \gamma_s \cdot \gamma_{\text{fat}} \cdot \gamma_{\text{rd}} \cdot t_{\text{y.bruk}} \cdot \left(\frac{T_{\text{bruk.ULS}}}{T_{\text{ch.bruk.ULS.t}}^{0.25} + T_{\text{ch.bruk.ULS.t}}^{0.75} \cdot 0.9} \right) = 1.208 \times 10^{-8}$$

Funksjonstest $\text{if}(MS_{\text{Dødtid.t}} + MS_{\text{SLS.t}} + MS_{\text{ULS.t}} < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$

Dynamisk

Variabler

| | |
|-------------------------------------|---|
| Sykluser pr. år for vind | $n_{ac.vind} := 5250$ |
| Sykluser pr. år for vind i dødtid | $n_{ac.vind.dt} := n_{ac.vind} \cdot 0.9 = 4.725 \times 10^3$ |
| Sykluser pr. år for vind i dødtid | $n_{ac.vind.dt.mid} := n_{ac.vind.dt} \cdot 0.95 = 4.489 \times 10^3$ |
| Sykluser pr. år for vind i dødtid | $n_{ac.vind.dt.storm} := n_{ac.vind.dt} \cdot 0.05 = 236.25$ |
| Sykluser pr. år for vind i brukstid | $n_{ac.vind.bruk} := n_{ac.vind} \cdot 0.1 = 525$ |
| Sykluser pr. år for bumper | $n_{ac.bumper} := 146$ |
| Sykluser pr. år persontransport | $n_{ac.pt} := 365$ |
| Modellfaktor | $\gamma_{Sd} := 1.05$ |
| Motstandsfaktor | $\gamma_{Rd} := 0.1$ |

Strekk

| | |
|--|---|
| Stigningstall for S-N kurve (empirisk testet) | $\alpha := 0.15$ |
| Tøyning for vind (største vindtøyning i brukstid) | $\varepsilon_{s.ac.vind.bruk} := \max(0.000538, 0.001774, 0.001247)$ |
| Tøyning for stormvind i dødtid | $\varepsilon_{s.ac.vind.dt.storm} := \max(0.001098, 0.001764, 0.002087)$ |
| Tøyning for middelvind i dødtid | $\varepsilon_{s.ac.vind.dt.mid} := \max(0.000298, 0.000478, 0.000565)$ |
| Tøyning for bumper (største bumpertøyning 1B) | $\varepsilon_{s.ac.bumper} := \max(0.0000189, 0.000116, 0.000175)$ |
| Tøyning for persontransport (største personell transport er i brukstid) | $\varepsilon_{s.ac.pt} := \max(0.000433, 0.000418, 0.000389)$ |
| Log-skala for vindsykluser i brukstid | $\log_{s.n.ch.vind.bruk} := \frac{\log(\varepsilon_{ks}) - \log(\varepsilon_{s.ac.vind.bruk})}{\alpha} = 7.988$ |
| Log-skala for stormvind i dødtid | $\log_{s.n.ch.vind.dt.storm} := \frac{\log(\varepsilon_{ks}) - \log(\varepsilon_{s.ac.vind.dt.storm})}{\alpha} = 7.518$ |
| Log-skala for middelvind i dødtid | $\log_{s.n.ch.vind.dt.mid} := \frac{\log(\varepsilon_{ks}) - \log(\varepsilon_{s.ac.vind.dt.mid})}{\alpha} = 11.301$ |

$$\text{Log-skala for bumpersykluser} \quad \log_{s,n.ch.bumper} := \frac{\log(\varepsilon_{ks}) - \log(\varepsilon_{s.ac.bumper})}{\alpha} = 14.694$$

$$\text{Log-skala for personellsykluser} \quad \log_{s,n.ch.pt} := \frac{\log(\varepsilon_{ks}) - \log(\varepsilon_{s.ac.pt})}{\alpha} = 12.071$$

$$\text{Sykluser til brudd, vind i brukstid} \quad n_{s.ch.vind.bruk} := 10^{\log_{s,n.ch.vind.bruk}} = 9.728 \times 10^7$$

$$\text{Sykluser til brudd, stormvind i dødtid} \quad n_{s.ch.vind.dt.storm} := 10^{\log_{s,n.ch.vind.dt.storm}} = 3.293 \times 10^7$$

$$\text{Sykluser til brudd, middelvind i dødtid} \quad n_{s.ch.vind.dt.mid} := 10^{\log_{s,n.ch.vind.dt.mid}} = 1.999 \times 10^{11}$$

$$\text{Sykluser til brudd, bumper} \quad n_{s.ch.bumper} := 10^{\log_{s,n.ch.bumper}} = 4.945 \times 10^{14}$$

$$\text{Sykluser til brudd, persontransport} \quad n_{s.ch.pt} := 10^{\log_{s,n.ch.pt}} = 1.178 \times 10^{12}$$

Miners sum

$$MS_{s.vind.bruk} := \frac{n_{ac.vind.bruk}}{n_{s.ch.vind.bruk} \cdot 0.25 + (n_{s.ch.vind.bruk} \cdot 0.75 \cdot 0.9)} = 5.834 \times 10^{-6}$$

$$MS_{s.vind.dt.storm} := \frac{n_{ac.vind.dt.storm}}{n_{s.ch.vind.dt.storm} \cdot 0.25 + (n_{s.ch.vind.dt.mid} \cdot 0.75 \cdot 0.9)} = 1.751 \times 10^{-9}$$

$$MS_{s.vind.dt.mid} := \frac{n_{ac.vind.dt.mid}}{n_{s.ch.vind.dt.mid} \cdot 0.25 + (n_{s.ch.vind.dt.mid} \cdot 0.75 \cdot 0.9)} = 2.428 \times 10^{-8}$$

$$MS_{s.bumper} := \frac{n_{ac.bumper}}{n_{s.ch.bumper} \cdot 0.25 + (n_{s.ch.bumper} \cdot 0.75 \cdot 0.9)} = 3.192 \times 10^{-13}$$

$$MS_{s.pt} := \frac{n_{ac.pt}}{n_{s.ch.pt} \cdot 0.25 + (n_{s.ch.pt} \cdot 0.75 \cdot 0.9)} = 3.35 \times 10^{-10}$$

$$MS_{s.Dynamisk.dt} := \gamma_s \cdot \gamma_{fat} \cdot \gamma_{Rd} \cdot t_y \cdot d\ddot{t}id \cdot (MS_{s.vind.dt.storm} + MS_{s.vind.dt.mid}) = 5.154 \times 10^{-6}$$

$$MS_{s..Dynamisk.bruk} := \gamma_s \cdot \gamma_{fat} \cdot \gamma_{Rd} \cdot t_y \cdot bruk \cdot (MS_{s.vind.bruk} + MS_{s.bumper} + MS_{s.pt}) = 1.284 \times 10^{-4}$$

$$\text{if}(MS_{s.Dynamisk.dt} + MS_{s..Dynamisk.bruk} < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$$

Trykk

| | |
|--|---|
| Tøyning for vind (største vindtøyning i brukstid) | $\varepsilon_{t.ac.vind.bruk} := \max(0.00047, 0.001887, 0.00193)$ |
| Tøyning for stormvind i dødtid | $\varepsilon_{t.ac.vind.dt.storm} := \max(0.000975, 0.002014, 0.002081)$ |
| Tøyning for middelvind i dødtid | $\varepsilon_{t.ac.vind.dt.mid} := \max(0.000265, 0.000546, 0.000564)$ |
| Tøyning for bumper (største bumpertøyning 1B) | $\varepsilon_{t.ac.bumper} := \max(0.000221, 0.000108, 0.000101)$ |
| Tøyning for persontransport (største personell transport er i brukstid) | $\varepsilon_{t.ac.pt} := \max(0.000434, 0.000723, 0.000391)$ |
| Log-skala for vindsykluser i brukstid | $\log_{t.n.ch.vind.bruk} := \frac{\log(\varepsilon_{kt}) - \log(\varepsilon_{t.ac.vind.bruk})}{\alpha} = 5.937$ |
| Log-skala for vindsykluser i dødtid, storm | $\log_{t.n.ch.vind.dt.storm} := \frac{\log(\varepsilon_{kt}) - \log(\varepsilon_{t.ac.vind.dt.storm})}{\alpha} = 5.719$ |
| Log-skala for vindsykluser i dødtid, Middelvind | $\log_{t.n.ch.vind.dt.mid} := \frac{\log(\varepsilon_{kt}) - \log(\varepsilon_{t.ac.vind.dt.mid})}{\alpha} = 9.499$ |
| Log-skala for bumpersykluser | $\log_{t.n.ch.bumper} := \frac{\log(\varepsilon_{kt}) - \log(\varepsilon_{t.ac.bumper})}{\alpha} = 12.211$ |
| Log-skala for personellsykluser | $\log_{t.n.ch.pt} := \frac{\log(\varepsilon_{kt}) - \log(\varepsilon_{t.ac.pt})}{\alpha} = 8.78$ |
| Sykluser til brudd, vind i brukstid | $n_{t.ch.vind.bruk} := 10^{\log_{t.n.ch.vind.bruk}} = 8.648 \times 10^5$ |
| Sykluser til brudd, middelvind i dødtid | $n_{t.ch.vind.dt.mid} := 10^{\log_{t.n.ch.vind.dt.mid}} = 3.153 \times 10^9$ |
| Sykluser til brudd, stormvind i dødtid | $n_{t.ch.vind.dt.storm} := 10^{\log_{t.n.ch.vind.dt.storm}} = 5.234 \times 10^5$ |
| Sykluser til brudd, bumper | $n_{t.ch.bumper} := 10^{\log_{t.n.ch.bumper}} = 1.627 \times 10^{12}$ |

Sykluser til brudd, persontransport $n_{t.ch.pt} := 10^{\log_{10} n_{t.ch.pt}} = 6.021 \times 10^8$

Miners sum

$$MS_{t.vind.bruk} := \frac{n_{ac.vind.bruk}}{n_{t.ch.vind.bruk} \cdot 0.25 + (n_{t.ch.vind.bruk} \cdot 0.75 \cdot 0.9)} = 6.563 \times 10^{-4}$$

$$MS_{t.vind.dt.storm} := \frac{n_{ac.vind.dt.storm}}{n_{t.ch.vind.dt.storm} \cdot 0.25 + (n_{t.ch.vind.dt.storm} \cdot 0.75 \cdot 0.9)} = 4.88 \times 10^{-4}$$

$$MS_{t.vind.dt.mid} := \frac{n_{ac.vind.dt.mid}}{n_{t.ch.vind.dt.mid} \cdot 0.25 + (n_{t.ch.vind.dt.mid} \cdot 0.75 \cdot 0.9)} = 1.539 \times 10^{-6}$$

$$MS_{t.bumper} := \frac{n_{ac.bumper}}{n_{t.ch.bumper} \cdot 0.25 + (n_{t.ch.bumper} \cdot 0.75 \cdot 0.9)} = 9.703 \times 10^{-11}$$

$$MS_{t.pt} := \frac{n_{ac.pt}}{n_{t.ch.pt} \cdot 0.25 + (n_{t.ch.pt} \cdot 0.75 \cdot 0.9)} = 6.553 \times 10^{-7}$$

$$MS_{Dynamisk.dt} := \gamma_s \cdot \gamma_{fat} \cdot \gamma_{Rd} \cdot t_y \cdot d_{\text{dødtid}} \cdot (MS_{t.vind.dt.storm} + MS_{t.vind.dt.mid}) = 0.097$$

$$MS_{Dynamisk.bruk} := \gamma_s \cdot \gamma_{fat} \cdot \gamma_{Rd} \cdot t_y \cdot bruk \cdot (MS_{t.vind.bruk} + MS_{t.bumper} + MS_{t.pt}) = 0.014$$

$$\text{if}(MS_{Dynamisk.dt} + MS_{Dynamisk.bruk} < 1, "ok", "fail") = "ok"$$

MB-Bjelker

Designkriterier for fiberbrudd i lokal retning

Variabler

| | |
|--------------------------------|----------------------|
| Kombinert sikkerhetsfaktor | $\gamma_{fm} := 1.7$ |
| Partiell lastmodellfaktor | $\gamma_{sd} := 1$ |
| Partiell motstandsmodellfaktor | $\gamma_{rd} := 1$ |
| Systemfaktor | $\gamma_s := 1.1$ |

Strekk

LT 1B (ULS -a,ULS-b)

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nks1x} := \max(0.001972, 0.00163)$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nks1y} := \max(0.001705, 0.001576)$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nks1z} := \max(0.001772, 0.001579)$

LT 3 (ULS -a,ULS-b)

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nks2x} := \max(0.001699, 0.001411)$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nks2y} := \max(0.001558, 0.001644)$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nks2z} := \max(0.001526, 0.001703)$

LT 4(ULS -a,ULS-b)

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nks3x} := \max(0.000604, 0.000745)$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nks3y} := \max(0.001256, 0.001247)$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nks3z} := \max(0.001362, 0.001727)$

Karakteristisk tøyning i strekk $\epsilon_{ks} := 0.028$

Største opptredende strekk tøyning

$\epsilon_{maks.s} := \max(\epsilon_{nks1x}, \epsilon_{nks1y}, \epsilon_{nks1z}, \epsilon_{nks2x}, \epsilon_{nks2y}, \epsilon_{nks2z}, \epsilon_{nks3x}, \epsilon_{nks3y}, \epsilon_{nks3z}) = 1.972 \times 10^{-3}$

Utnyttelse $U_s := \frac{\gamma_{fm} \cdot \gamma_{sd} \cdot \epsilon_{maks.s} \cdot \gamma_{rd} \cdot \gamma_s}{\epsilon_{ks}} = 0.132$

Funksjonstest $\text{if}(U_s < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$

Trykk

LT 1B (ULS -a,ULS-b)

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nkt1x} := \max(0.002126, 0.001837)$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nkt1y} := \max(0.003207, 0.003223)$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nkt1z} := \max(0.001792, 0.002124)$

LT 3 (ULS -a,ULS-b)Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{\text{kt}2x} := \max(0.001872, 0.001633)$ Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{\text{kt}2y} := \max(0.002924, 0.003289)$ Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{\text{kt}2z} := \max(0.00177, 0.002367)$ LT 4 (ULS -a,ULS-b)Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{\text{kt}3x} := \max(0.001094, 0.001341)$ Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{\text{kt}3y} := \max(0.001763, 0.001575)$ Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{\text{kt}3z} := \max(0.001345, 0.001724)$ Karakteristisk tøyning i trykk $\epsilon_{\text{kt}} := 0.015$

Største opptredende strekk tøyning

 $\epsilon_{\text{maks.t}} := \max(\epsilon_{\text{kt}1x}, \epsilon_{\text{kt}1y}, \epsilon_{\text{kt}1z}, \epsilon_{\text{kt}2x}, \epsilon_{\text{kt}2y}, \epsilon_{\text{kt}2z}, \epsilon_{\text{kt}3x}, \epsilon_{\text{kt}3y}, \epsilon_{\text{kt}3z}) = 3.289 \times 10^{-3}$ Utnyttelse $U_t := \frac{\gamma_{\text{fm}} \cdot \gamma_{\text{sd}} \cdot \epsilon_{\text{maks.t}} \cdot \gamma_{\text{rd}} \cdot \gamma_{\text{s}}}{\epsilon_{\text{kt}}} = 0.41$ Funksjonstest $\text{if}(U_t < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$ **Knekkning****Variabler**Kombinert sikkerhetsfaktor $\gamma_{\text{fm.knekk}} := 1$ Partiell motstandsmodellfaktor $\gamma_{\text{rdknekk}} := 1$ Partiell last modellfaktor $\gamma_{\text{sd}} := 1$ Systemfaktor $\gamma_{\text{s}} := 1.1$ LT 1BKnekkingsfaktor fra ANSYS $F1 := \min(9.521, 11.726)$ LT 3Knekkingsfaktor fra ANSYS $F2 := \min(11.05, 11.919)$ LT 4Knekkingsfaktor fra ANSYS $F3 := \min(10.4608, 11.975)$ Største opptredende Knekkingsfaktor $F_{\text{maks}} := \min(F1, F2, F3) = 9.521$ **Utrekning**Utnyttelse $U_{\text{knekkning}} := \frac{\gamma_{\text{sd}} \cdot \gamma_{\text{rdknekk}} \cdot \gamma_{\text{fm.knekk}} \cdot \gamma_{\text{s}}}{F_{\text{maks}}} = 0.116$ Funksjonstest $\text{if}(U_{\text{knekkning}} < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$

MB-Stag

Design kriterier for fiberbrudd i lokal retning

Variabler

| | |
|---------------------------------|----------------------|
| Kombinert sikkerhetsfaktor | $\gamma_{fm} := 1.7$ |
| Partiell last modellfaktor | $\gamma_{sd} := 1$ |
| Partiell motstands modellfaktor | $\gamma_{rd} := 1$ |
| Systemfaktor | $\gamma_s := 1.1$ |

Strekk

LT 1B (ULS -a,ULS-b)

| | |
|---------------------------------------|--|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{nks1x} := \max(0.000666, 0.000593)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{nks1y} := \max(0.001651, 0.000447)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{nks1z} := \max(0.000605, 0.000504)$ |

LT 3 (ULS -a,ULS-b)

| | |
|---------------------------------------|--|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{nks2x} := \max(0.000571, 0.000462)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{nks2y} := \max(0.001409, 0.001167)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{nks2z} := \max(0.000519, 0.000440)$ |

LT 4(ULS -a,ULS-b)

| | |
|---------------------------------------|--|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{nks3x} := \max(0.000332, 0.000472)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{nks3y} := \max(0.001021, 0.001553)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{nks3z} := \max(0.000517, 0.000657)$ |
| Karakteristisk tøyning i strekk | $\epsilon_{ks} := 0.028$ |

Største opptredende strekk tøyning

$$\epsilon_{smaks} := \max(\epsilon_{nks1x}, \epsilon_{nks1y}, \epsilon_{nks1z}, \epsilon_{nks2x}, \epsilon_{nks2y}, \epsilon_{nks2z}, \epsilon_{nks3x}, \epsilon_{nks3y}, \epsilon_{nks3z}) = 1.651 \times 10^{-3}$$

$$U := \frac{\gamma_{fm} \cdot \gamma_{sd} \cdot \epsilon_{smaks} \cdot \gamma_{rd} \cdot \gamma_s}{\epsilon_{ks}} = 0.11$$

$$\text{if}(U < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$$

Trykk

LT 1B (ULS -a,ULS-b)

| | |
|---------------------------------------|--|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{nkt1x} := \max(0.001582, 0.001353)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{nkt1y} := \max(0.001497, 0.00121)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{nkt1z} := \max(0.000390, 0.000325)$ |

LT 3 (ULS -a,ULS-b)Lokal tøying av struktur i x-retning $\epsilon_{nkt2x} := \max(0.001389, 0.001167)$ Lokal tøying av struktur i y-retning $\epsilon_{nkt2y} := \max(0.001281, 0.001036)$ Lokal tøying av struktur i z-retning $\epsilon_{nkt2z} := \max(0.000337, 0.000363)$ LT 4 (ULS -a,ULS-b)Lokal tøying av struktur i x-retning $\epsilon_{nkt3x} := \max(0.000271, 0.000381)$ Lokal tøying av struktur i y-retning $\epsilon_{nkt3y} := \max(0.001763, 0.002058)$ Lokal tøying av struktur i z-retning $\epsilon_{nkt3z} := \max(0.000315, 0.000489)$ Karakteristisk tøying i trykk $\epsilon_{kt} := 0.015$

Største opptredende strekkøying

 $\epsilon_{tmaks} := \max(\epsilon_{nkt1x}, \epsilon_{nkt1y}, \epsilon_{nkt1z}, \epsilon_{nkt2x}, \epsilon_{nkt2y}, \epsilon_{nkt2z}, \epsilon_{nkt3x}, \epsilon_{nkt3y}, \epsilon_{nkt3z}) = 2.058 \times 10^{-3}$ Utnyttelse $U := \frac{\gamma_{fm} \cdot \gamma_{sd} \cdot \epsilon_{tmaks} \cdot \gamma_{rd} \cdot \gamma_s}{\epsilon_{kt}} = 0.257$ Funksjonstest $\text{if}(U < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$ **Knekkning****Variabler**Kombinert sikkerhetsfaktor $\gamma_{fm.knekk} := 1$ Partiell motstandsmodellfaktor $\gamma_{rdknekk} := 1$ Partiell last modellfaktor $\gamma_{sd} := 1$ LT 1BKnekkingsfaktor fra ANSYS $F1 := \min(9.521, 11.726)$ LT 3Knekkingsfaktor fra ANSYS $F2 := \min(11.05, 11.919)$ LT 4Knekkingsfaktor fra ANSYS $F3 := \min(10.3364, 11.975)$ Største opptredende Knekkingsfaktor $F_{maks} := \min(F1, F2, F3) = 9.521$ **Utregning**Utnyttelse $U_{knekkning} := \frac{\gamma_{sd} \cdot \gamma_{rdknekk} \cdot \gamma_{fm.knekk}}{F_{maks}} = 0.105$ Funksjonstest $\text{if}(U_{knekkning} < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$

TB-Bjelker

Design kriterier for fiberbrudd i lokal retning

Variabler

| | |
|---------------------------------|----------------------|
| Kombinert sikkerhetsfaktor | $\gamma_{fm} := 1.7$ |
| Partiell last modellfaktor | $\gamma_{sd} := 1$ |
| Partiell motstands modellfaktor | $\gamma_{rd} := 1$ |
| Systemfaktor | $\gamma_s := 1.1$ |

Strekk

LT 1B (ULS -a,ULS-b)

| | |
|---------------------------------------|---|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{ks1x} := \max(0.001157, 0.000995)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{ks1y} := \max(0.002865, 0.003059)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{ks1z} := \max(0.001057, 0.001178)$ |

LT 3 (ULS -a,ULS-b)

| | |
|---------------------------------------|---|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{ks2x} := \max(0.000501, 0.000479)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{ks2y} := \max(0.001136, 0.001408)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{ks2z} := \max(0.000593, 0.000836)$ |

LT 4(ULS -a,ULS-b)

| | |
|---------------------------------------|---|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{ks3x} := \max(0.000468, 0.000461)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{ks3y} := \max(0.001256, 0.001703)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{ks3z} := \max(0.001362, 0.001839)$ |
| Karakteristisk tøyning i strekk | $\epsilon_{ks} := 0.028$ |

Største opptredende strekk tøyning

$$\epsilon_{smaks} := \max(\epsilon_{ks1x}, \epsilon_{ks1y}, \epsilon_{ks1z}, \epsilon_{ks2x}, \epsilon_{ks2y}, \epsilon_{ks2z}, \epsilon_{ks3x}, \epsilon_{ks3y}, \epsilon_{ks3z}) = 3.059 \times 10^{-3}$$

$$U := \frac{\gamma_{fm} \cdot \gamma_{sd} \cdot \epsilon_{smaks} \cdot \gamma_{rd} \cdot \gamma_s}{\epsilon_{ks}} = 0.204$$

$$\text{if}(U < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$$

Trykk

LT 1B (ULS -a,ULS-b)

| | |
|---------------------------------------|---|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{kt1x} := \max(0.000694, 0.000600)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{kt1y} := \max(0.003502, 0.003288)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{kt1z} := \max(0.000973, 0.001152)$ |

LT 3 (ULS -a,ULS-b)Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nkt2x} := \max(0.000557, 0.000503)$ Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nkt2y} := \max(0.001147, 0.001289)$ Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nkt2z} := \max(0.000719, 0.000951)$ LT 4 (ULS -a,ULS-b)Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nkt3x} := \max(0.000327, 0.000372)$ Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nkt3y} := \max(0.001664, 0.00191)$ Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nkt3z} := \max(0.001345, 0.001824)$ Karakteristisk tøyning i trykk $\epsilon_{kt} := 0.015$

Største opptredende strekk tøyning

 $\epsilon_{tmaks} := \max(\epsilon_{nkt1x}, \epsilon_{nkt1y}, \epsilon_{nkt1z}, \epsilon_{nkt2x}, \epsilon_{nkt2y}, \epsilon_{nkt2z}, \epsilon_{nkt3x}, \epsilon_{nkt3y}, \epsilon_{nkt3z}) = 3.502 \times 10^{-3}$ Utnyttelse $U := \frac{\gamma_{fm} \cdot \gamma_{sd} \cdot \epsilon_{tmaks} \cdot \gamma_{rd} \cdot \gamma_s}{\epsilon_{kt}} = 0.437$ Funksjonstest $\text{if}(U < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$ **Knekkning****Variabler**Kombinert sikkerhetsfaktor $\gamma_{fm.knekk} := 1$ Partiell motstandsmodellfaktor $\gamma_{rdknekk} := 1$ Partiell last modellfaktor $\gamma_{sd} := 1$ Systemfaktor $\gamma_s := 1.1$ LT 1BKnekkingsfaktor fra ANSYS $F1 := \min(9.521, 11.726)$ LT 3Knekkingsfaktor fra ANSYS $F2 := \min(11.05, 11.919)$ LT 4Knekkingsfaktor fra ANSYS $F3 := \min(10.4608, 11.975)$ Største opptredende Knekkingsfaktor $F_{maks} := \min(F1, F2, F3) = 9.521$ **Utregning**Utnyttelse $U_{knekkning} := \frac{\gamma_{sd} \cdot \gamma_{rdknekk} \cdot \gamma_{fm.knekk} \cdot \gamma_s}{F_{maks}} = 0.116$ Funksjonstest $\text{if}(U_{knekkning} < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$

TB-Stag**Design kriterier for fiberbrudd i lokal retning****Variabler**

| | |
|---------------------------------|----------------------|
| Kombinert sikkerhetsfaktor | $\gamma_{fm} := 1.7$ |
| Partiell last modellfaktor | $\gamma_{sd} := 1$ |
| Partiell motstands modellfaktor | $\gamma_{rd} := 1$ |
| Systemfaktor | $\gamma_s := 1.1$ |

Strekk**LT 1B (ULS -a,ULS-b)**

| | |
|---------------------------------------|--|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{nks1x} := \max(0.000175, 0.000231)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{nks1y} := \max(0.000877, 0.001053)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{nks1z} := \max(0.000214, 0.000343)$ |

LT 3 (ULS -a,ULS-b)

| | |
|---------------------------------------|--|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{nks2x} := \max(0.000146, 0.000194)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{nks2y} := \max(0.000515, 0.000636)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{nks2z} := \max(0.000321, 0.000438)$ |

LT 4(ULS -a,ULS-b)

| | |
|---------------------------------------|--|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{nks3x} := \max(0.000214, 0.000328)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{nks3y} := \max(0.000915, 0.00129)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{nks3z} := \max(0.000172, 0.000255)$ |
| Karakteristisk tøyning i strekk | $\epsilon_{ks} := 0.028$ |

Største opptredende strekk tøyning

$$\epsilon_{smaks} := \max(\epsilon_{nks1x}, \epsilon_{nks1y}, \epsilon_{nks1z}, \epsilon_{nks2x}, \epsilon_{nks2y}, \epsilon_{nks2z}, \epsilon_{nks3x}, \epsilon_{nks3y}, \epsilon_{nks3z}) = 1.29 \times 10^{-3}$$

$$U := \frac{\gamma_{fm} \cdot \gamma_{sd} \cdot \epsilon_{smaks} \cdot \gamma_{rd} \cdot \gamma_s}{\epsilon_{ks}} = 0.086$$

$$\text{if}(U < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$$

Trykk**LT 1B (ULS -a,ULS-b)**

| | |
|---------------------------------------|--|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{nkt1x} := \max(0.000221, 0.000267)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{nkt1y} := \max(0.000345, 0.000476)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{nkt1z} := \max(0.000214, 0.000311)$ |

LT 3 (ULS -a,ULS-b)Lokal tøying av struktur i x-retning $\epsilon_{\text{kt}2x} := \max(0.000198, 0.000256)$ Lokal tøying av struktur i y-retning $\epsilon_{\text{kt}2y} := \max(0.000322, 0.000417)$ Lokal tøying av struktur i z-retning $\epsilon_{\text{kt}2z} := \max(0.000265, 0.000357)$ LT 4 (ULS -a,ULS-b)Lokal tøying av struktur i x-retning $\epsilon_{\text{kt}3x} := \max(0.000233, 0.000320)$ Lokal tøying av struktur i y-retning $\epsilon_{\text{kt}3y} := \max(0.000596, 0.000894)$ Lokal tøying av struktur i z-retning $\epsilon_{\text{kt}3z} := \max(0.000211, 0.000318)$ Karakteristisk tøying i trykk $\epsilon_{\text{kt}} := 0.015$

Største opptredende strekktøying

 $\epsilon_{\text{tmaks}} := \max(\epsilon_{\text{kt}1x}, \epsilon_{\text{kt}1y}, \epsilon_{\text{kt}1z}, \epsilon_{\text{kt}2x}, \epsilon_{\text{kt}2y}, \epsilon_{\text{kt}2z}, \epsilon_{\text{kt}3x}, \epsilon_{\text{kt}3y}, \epsilon_{\text{kt}3z}) = 8.94 \times 10^{-4}$ Utnyttelse $U := \frac{\gamma_{\text{fm}} \cdot \gamma_{\text{sd}} \cdot \epsilon_{\text{tmaks}} \cdot \gamma_{\text{rd}} \cdot \gamma_{\text{s}}}{\epsilon_{\text{kt}}} = 0.111$ Funksjonstest $\text{if}(U < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$ **Knekking****Variabler**Kombinert sikkerhetsfaktor $\gamma_{\text{fm.knekk}} := 1$ Partiell motstandsmodellfaktor $\gamma_{\text{rdknekk}} := 1$ Partiell last modellfaktor $\gamma_{\text{sd}} := 1$ LT 1BKnekkingsfaktor fra ANSYS $F1 := \min(9.521, 11.726)$ LT 3Knekkingsfaktor fra ANSYS $F2 := \min(11.05, 11.919)$ LT 4Knekkingsfaktor fra ANSYS $F3 := \min(10.3364, 11.975)$ Største opptredende Knekkingsfaktor $F_{\text{maks}} := \min(F1, F2, F3) = 9.521$ **Utregning**Utnyttelse $U_{\text{knekking}} := \frac{\gamma_{\text{sd}} \cdot \gamma_{\text{rdknekk}} \cdot \gamma_{\text{fm.knekk}}}{F_{\text{maks}}} = 0.105$ Funksjonstest $\text{if}(U_{\text{knekking}} < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$

Slagskade**Designkriterier for fiberbrudd i lokal retning****Variabler**

| | |
|--------------------------------|----------------------|
| Kombinert sikkerhetsfaktor | $\gamma_{fm} := 1.7$ |
| Partiell lastmodellfaktor | $\gamma_{sd} := 1$ |
| Partiell motstandsmodellfaktor | $\gamma_{rd} := 1$ |
| Systemfaktor | $\gamma_s := 1.1$ |

Strekk**LT 1B (ULS -a,ULS-b)**

| | |
|---------------------------------------|---|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{ks1x} := \max(0.002276, 0.002283)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{ks1y} := \max(0.004852, 0.005046)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{ks1z} := \max(0.005277, 0.005123)$ |

LT 3 (ULS -a,ULS-b)

| | |
|---------------------------------------|---|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{ks2x} := \max(0.002179, 0.002345)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{ks2y} := \max(0.002735, 0.003412)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{ks2z} := \max(0.005166, 0.005034)$ |

Karakteristisk tøyning i strekk $\epsilon_{ks} := 0.028$

Største opptredende strekktøyning

$$\epsilon_{maks.s} := \max(\epsilon_{ks1x}, \epsilon_{ks1y}, \epsilon_{ks1z}, \epsilon_{ks2x}, \epsilon_{ks2y}, \epsilon_{ks2z}) = 5.277 \times 10^{-3}$$

$$U_s := \frac{\gamma_{fm} \cdot \gamma_{sd} \cdot \epsilon_{maks.s} \cdot \gamma_{rd} \cdot \gamma_s}{\epsilon_{ks}} = 0.352$$

$$\text{Funksjonstest } \text{if}(U_s < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$$

Trykk

LT 1B (ULS -a,ULS-b)

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{\text{kt}1x} := \max(0.002576, 0.002297)$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{\text{kt}1y} := \max(0.005098, 0.005434)$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{\text{kt}1z} := \max(0.006488, 0.006372)$

LT 3 (ULS -a,ULS-b)

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{\text{kt}2x} := \max(0.002323, 0.0022)$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{\text{kt}2y} := \max(0.005238, 0.005602)$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{\text{kt}2z} := \max(0.006421, 0.006318)$

Karakteristisk tøyning i trykk $\epsilon_{\text{kt}} := 0.015$

Største opptredende strekk tøyning

$$\epsilon_{\text{maks.t}} := \max(\epsilon_{\text{kt}1x}, \epsilon_{\text{kt}1y}, \epsilon_{\text{kt}1z}, \epsilon_{\text{kt}2x}, \epsilon_{\text{kt}2y}, \epsilon_{\text{kt}2z}) = 6.488 \times 10^{-3}$$

Utnyttelse
$$U_t := \frac{\gamma_{\text{fm}} \cdot \gamma_{\text{sd}} \cdot \epsilon_{\text{maks.t}} \cdot \gamma_{\text{rd}} \cdot \gamma_{\text{s}}}{\epsilon_{\text{kt}}} = 0.809$$

Funksjonstest $\text{if}(U_t < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$

Knekking

Variabler

Kombinert sikkerhetsfaktor $\gamma_{\text{fm.knekk}} := 1.7$

Partiell motstandsmodellfaktor $\gamma_{\text{rdknekk}} := 1$

Partiell last modellfaktor $\gamma_{\text{sd}} := 1$

Systemfaktor $\gamma_{\text{svs}} := 1.1$

LT 1B

Knekkingsfaktor fra ANSYS $F1 := \min(3.612, 3.582)$

LT 3

Knekkingsfaktor fra ANSYS $F2 := \min(3.617, 3.5867)$

Største opptredende Knekkingsfaktor $F_{\text{maks}} := \min(F1, F2) = 3.582$

Utregning

Utnyttelse
$$U_{\text{knekking}} := \frac{\gamma_{\text{sd}} \cdot \gamma_{\text{rdknekk}} \cdot \gamma_{\text{fm.knekk}} \cdot \gamma_{\text{s}}}{F_{\text{maks}}} = 0.522$$

Funksjonstest $\text{if}(U_{\text{knekking}} < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$

Mangel av stag**Designkriterier for fiberbrudd i lokal retning****Variabler**

| | |
|--------------------------------|----------------------|
| Kombinert sikkerhetsfaktor | $\gamma_{fm} := 1.7$ |
| Partiell lastmodellfaktor | $\gamma_{sd} := 1$ |
| Partiell motstandsmodellfaktor | $\gamma_{rd} := 1$ |
| Systemfaktor | $\gamma_s := 1.1$ |

Strekk**LT 1B (ULS -a,ULS-b)**

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nks1x} := \max(0.002133, 0.001763)$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nks1y} := \max(0.00325, 0.003372)$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nks1z} := \max(0.002303, 0.001851)$

LT 3 (ULS -a,ULS-b)

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nks2x} := \max(0.001836, 0.001523)$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nks2y} := \max(0.002055, 0.001859)$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nks2z} := \max(0.001982, 0.001918)$

Karakteristisk tøyning i strekk $\epsilon_{ks} := 0.028$

Største opptredende strekktøyning

$\epsilon_{maks.s} := \max(\epsilon_{nks1x}, \epsilon_{nks1y}, \epsilon_{nks1z}, \epsilon_{nks2x}, \epsilon_{nks2y}, \epsilon_{nks2z}) = 3.372 \times 10^{-3}$

Utnyttelse $U_s := \frac{\gamma_{fm} \gamma_{sd} \cdot \epsilon_{maks.s} \cdot \gamma_{rd} \cdot \gamma_s}{\epsilon_{ks}} = 0.225$

Funksjonstest $\text{if}(U_s < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$

Trykk**LT 1B (ULS -a,ULS-b)**

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nkt1x} := \max(0.002462, 0.002076)$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nkt1y} := \max(0.004242, 0.003604)$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nkt1z} := \max(0.001965, 0.002352)$

LT 3 (ULS -a,ULS-b)

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{nkt2x} := \max(0.002121, 0.001836)$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{nkt2y} := \max(0.003611, 0.003626)$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{nkt2z} := \max(0.002017, 0.002569)$

Karakteristisk tøyning i trykk $\epsilon_{kt} := 0.015$

Største opptredende strekktøyning

$$\varepsilon_{\text{maks.t}} := \max(\varepsilon_{\text{kt1x}}, \varepsilon_{\text{kt1y}}, \varepsilon_{\text{kt1z}}, \varepsilon_{\text{kt2x}}, \varepsilon_{\text{kt2y}}, \varepsilon_{\text{kt2z}}) = 4.242 \times 10^{-3}$$

Utnyttelse

$$U_t := \frac{\gamma_{\text{fm}} \cdot \gamma_{\text{sd}} \cdot \varepsilon_{\text{maks.t}} \cdot \gamma_{\text{rd}} \cdot \gamma_{\text{s}}}{\varepsilon_{\text{kt}}} = 0.529$$

Funksjonstest

$$\text{if}(U_t < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$$

Knekkning

Variabler

Kombinert sikkerhetsfaktor

$$\gamma_{\text{fm.knekk}} := 1$$

Partiell motstandsmodellfaktor

$$\gamma_{\text{rdknekk}} := 1$$

Partiell last modellfaktor

$$\gamma_{\text{sd}} := 1$$

Systemfaktor

$$\gamma_{\text{sys}} := 1.1$$

LT 1B

Knekkingsfaktor fra ANSYS

$$F1 := \min(7.939, 9.792)$$

LT 3

Knekkingsfaktor fra ANSYS

$$F2 := \min(9.256, 11.33)$$

Største opptredende Knekkingsfaktor

$$F_{\text{maks}} := \min(F1, F2) = 7.939$$

Utrekning

Utnyttelse

$$U_{\text{knekkning}} := \frac{\gamma_{\text{sd}} \cdot \gamma_{\text{rdknekk}} \cdot \gamma_{\text{fm.knekk}} \cdot \gamma_{\text{s}}}{F_{\text{maks}}} = 0.139$$

Funksjonstest

$$\text{if}(U_{\text{knekkning}} < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$$

Konstruksjonen utsatt for temperaturendringer

Temperatur 350 grader

Designkriterier for fiberbrudd i lokal retning

Variabler

| | |
|--------------------------------|----------------------|
| Kombinert sikkerhetsfaktor | $\gamma_{fm} := 1.7$ |
| Partiell lastmodellfaktor | $\gamma_{sd} := 1$ |
| Partiell motstandsmodellfaktor | $\gamma_{rd} := 1$ |
| Systemfaktor | $\gamma_s := 1.1$ |

Strekk

LT 1B (ULS -a,ULS-b)

| | |
|---------------------------------------|---|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{ks1x} := \max(0.003783, 0.003121)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{ks1y} := \max(0.002577, 0.001999)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{ks1z} := \max(0.002486, 0.002009)$ |

LT 3 (ULS -a,ULS-b)

| | |
|---------------------------------------|---|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{ks2x} := \max(0.003275, 0.00271)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{ks2y} := \max(0.002113, 0.00164)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{ks2z} := \max(0.002124, 0.001717)$ |

Karakteristisk tøyning i strekk $\epsilon_{ks} := 0.028$

Største opptredende strekk tøyning

$$\epsilon_{maks.s} := \max(\epsilon_{ks1x}, \epsilon_{ks1y}, \epsilon_{ks1z}, \epsilon_{ks2x}, \epsilon_{ks2y}, \epsilon_{ks2z}) = 3.783 \times 10^{-3}$$

$$U_s := \frac{\gamma_{fm} \cdot \gamma_{sd} \cdot \epsilon_{maks.s} \cdot \gamma_{rd} \cdot \gamma_s}{\epsilon_{ks}} = 0.253$$

$$\text{Funksjonstest } \text{if}(U_s < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$$

TrykkLT 1B (ULS -a,ULS-b)

| | |
|---------------------------------------|---|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{kt1x} := \max(0.003273, 0.00248)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{kt1y} := \max(0.005831, 0.004709)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{kt1z} := \max(0.002582, 0.002175)$ |

LT 3 (ULS -a,ULS-b)

| | |
|---------------------------------------|---|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{kt2x} := \max(0.002651, 0.001978)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{kt2y} := \max(0.004963, 0.004008)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{kt2z} := \max(0.002241, 0.0019)$ |

Karakteristisk tøyning i trykk $\epsilon_{kt} := 0.015$

Største opptredende strekk­tøyning

$$\epsilon_{\text{maks.t}} := \max(\epsilon_{kt1x}, \epsilon_{kt1y}, \epsilon_{kt1z}, \epsilon_{kt2x}, \epsilon_{kt2y}, \epsilon_{kt2z}) = 5.831 \times 10^{-3}$$

Utnyttelse
$$U_t := \frac{\gamma_{fm} \cdot \gamma_{sd} \cdot \epsilon_{\text{maks.t}} \cdot \gamma_{rd} \cdot \gamma_s}{\epsilon_{kt}} = 0.727$$

Funksjonstest
$$\text{if}(U_t < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$$

Knekkning**Variabler**

| | |
|--------------------------------|--------------------------|
| Kombinert sikkerhetsfaktor | $\gamma_{fm.knekk} := 1$ |
| Partiell motstandsmodellfaktor | $\gamma_{rdknekk} := 1$ |
| Partiell last modellfaktor | $\gamma_{sd} := 1$ |
| Systemfaktor | $\gamma_{s} := 1.1$ |

LT 1B

Knekkingsfaktor fra ANSYS
$$F1 := \min(7.9727, 9.8799)$$

LT 3

Knekkingsfaktor fra ANSYS
$$F2 := \min(9.3348, 10.7087)$$

Største opptredende Knekkingsfaktor
$$F_{\text{maks}} := \min(F1, F2) = 7.973$$

Utregning

Utnyttelse
$$U_{\text{knekkning}} := \frac{\gamma_{sd} \cdot \gamma_{rdknekk} \cdot \gamma_{fm.knekk} \cdot \gamma_s}{F_{\text{maks}}} = 0.138$$

Funksjonstest
$$\text{if}(U_{\text{knekkning}} < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$$

Temperatur 450 grader

Designkriterier for fiberbrudd i lokal retning

Variabler

| | |
|--------------------------------|----------------------|
| Kombinert sikkerhetsfaktor | $\gamma_{fm} := 1.7$ |
| Partiell lastmodellfaktor | $\gamma_{sd} := 1$ |
| Partiell motstandsmodellfaktor | $\gamma_{rd} := 1$ |
| Systemfaktor | $\gamma_s := 1.1$ |

Strekk

LT 1B (ULS -a, ULS-b)

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{ks1x} := \max(0.007904, 0.006605)$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{ks1y} := \max(0.005197, 0.004053)$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{ks1z} := \max(0.00512, 0.004059)$

LT 3 (ULS -a, ULS-b)

Lokal tøyning av struktur i x-retning $\epsilon_{ks2x} := \max(0.006908, 0.005801)$

Lokal tøyning av struktur i y-retning $\epsilon_{ks2y} := \max(0.004321, 0.003345)$

Lokal tøyning av struktur i z-retning $\epsilon_{ks2z} := \max(0.004328, 0.00342)$

Karakteristisk tøyning i strekk $\epsilon_{ks} := 0.028$

Største opptredende strekk tøyning

$\epsilon_{maks} := \max(\epsilon_{ks1x}, \epsilon_{ks1y}, \epsilon_{ks1z}, \epsilon_{ks2x}, \epsilon_{ks2y}, \epsilon_{ks2z}) = 7.904 \times 10^{-3}$

Utnyttelse $U_s := \frac{\gamma_{fm} \cdot \gamma_{sd} \cdot \epsilon_{maks} \cdot \gamma_{rd} \cdot \gamma_s}{\epsilon_{ks}} = 0.528$

Funksjonstest $\text{if}(U_s < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$

Trykk

LT 1B (ULS -a,ULS-b)

Lokal tøyning av struktur i x-retning

$$\varepsilon_{kt1x} := \max(0.00679, 0.004943)$$

Lokal tøyning av struktur i y-retning

$$\varepsilon_{kt1y} := \max(0.012167, 0.009831)$$

Lokal tøyning av struktur i z-retning

$$\varepsilon_{kt1z} := \max(0.005065, 0.004276)$$

LT 3 (ULS -a,ULS-b)

Lokal tøyning av struktur i x-retning

$$\varepsilon_{kt2x} := \max(0.00537, 0.003796)$$

Lokal tøyning av struktur i y-retning

$$\varepsilon_{kt2y} := \max(0.010362, 0.008373)$$

Lokal tøyning av struktur i z-retning

$$\varepsilon_{kt2z} := \max(0.004418, 0.003753)$$

Karakteristisk tøyning i trykk

$$\varepsilon_{kt} := 0.015$$

Største opptredende strekk tøyning

$$\varepsilon_{maks,t} := \max(\varepsilon_{kt1x}, \varepsilon_{kt1y}, \varepsilon_{kt1z}, \varepsilon_{kt2x}, \varepsilon_{kt2y}, \varepsilon_{kt2z}) = 0.012$$

Utnyttelse

$$U_t := \frac{\gamma_{fm} \gamma_{sd} \cdot \varepsilon_{maks,t} \cdot \gamma_{rd} \cdot \gamma_s}{\varepsilon_{kt}} = 1.517$$

Funksjonstest

$$\text{if}(U_t < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"fail"}$$

Knekkning

Variabler

Kombinert sikkerhetsfaktor

$$\gamma_{fm,knekk} := 1$$

Partiell motstandsmodellfaktor

$$\gamma_{rd,knekk} := 1$$

Partiell last modellfaktor

$$\gamma_{sd} := 1$$

Systemfaktor

$$\gamma_s := 1.1$$

LT 1B

Knekkingsfaktor fra ANSYS

$$F1 := \min(5.608, 7.4749)$$

LT 3

Knekkingsfaktor fra ANSYS

$$F2 := \min(7.083, 7.65)$$

Største opptredende Knekkingsfaktor

$$F_{maks} := \min(F1, F2) = 5.608$$

Utrekning

Utnyttelse

$$U_{knekkning} := \frac{\gamma_{sd} \cdot \gamma_{rd,knekk} \cdot \gamma_{fm,knekk} \cdot \gamma_s}{F_{maks}} = 0.196$$

Funksjonstest

$$\text{if}(U_{knekkning} < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$$

Verifisering av stag

Design kriterier for fiberbrudd i lokal retning

Variabler

| | |
|---------------------------------|----------------------|
| Kombinert sikkerhetsfaktor | $\gamma_{fm} := 1.7$ |
| Partiell last modellfaktor | $\gamma_{sd} := 1$ |
| Partiell motstands modellfaktor | $\gamma_{rd} := 1$ |
| Systemfaktor | $\gamma_s := 1.1$ |

Strekk (MB, TB)

| | |
|---------------------------------------|---|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{ks1x} := \max(0.001093, 0.000436)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{ks1y} := \max(0.001163, 0.002139)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{ks1z} := \max(0.000830, 0.000667)$ |
| Karakteristisk tøyning i strekk | $\epsilon_{ks} := 0.028$ |

Største opptredende strekktøyning

$$\epsilon_{smaks} := \max(\epsilon_{ks1x}, \epsilon_{ks1y}, \epsilon_{ks1z}) = 2.139 \times 10^{-3}$$

$$U := \frac{\gamma_{fm} \cdot \gamma_{sd} \cdot \epsilon_{smaks} \cdot \gamma_{rd} \cdot \gamma_s}{\epsilon_{ks}} = 0.143$$

$$\text{Funksjonstest} \quad \text{if}(U < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$$

Trykk (MB, TB)

| | |
|---------------------------------------|---|
| Lokal tøyning av struktur i x-retning | $\epsilon_{ks1x} := \max(0.000507, 0.000434)$ |
| Lokal tøyning av struktur i y-retning | $\epsilon_{ks1y} := \max(0.001169, 0.002145)$ |
| Lokal tøyning av struktur i z-retning | $\epsilon_{ks1z} := \max(0.000706, 0.000673)$ |
| Karakteristisk tøyning i trykk | $\epsilon_{kt} := 0.015$ |

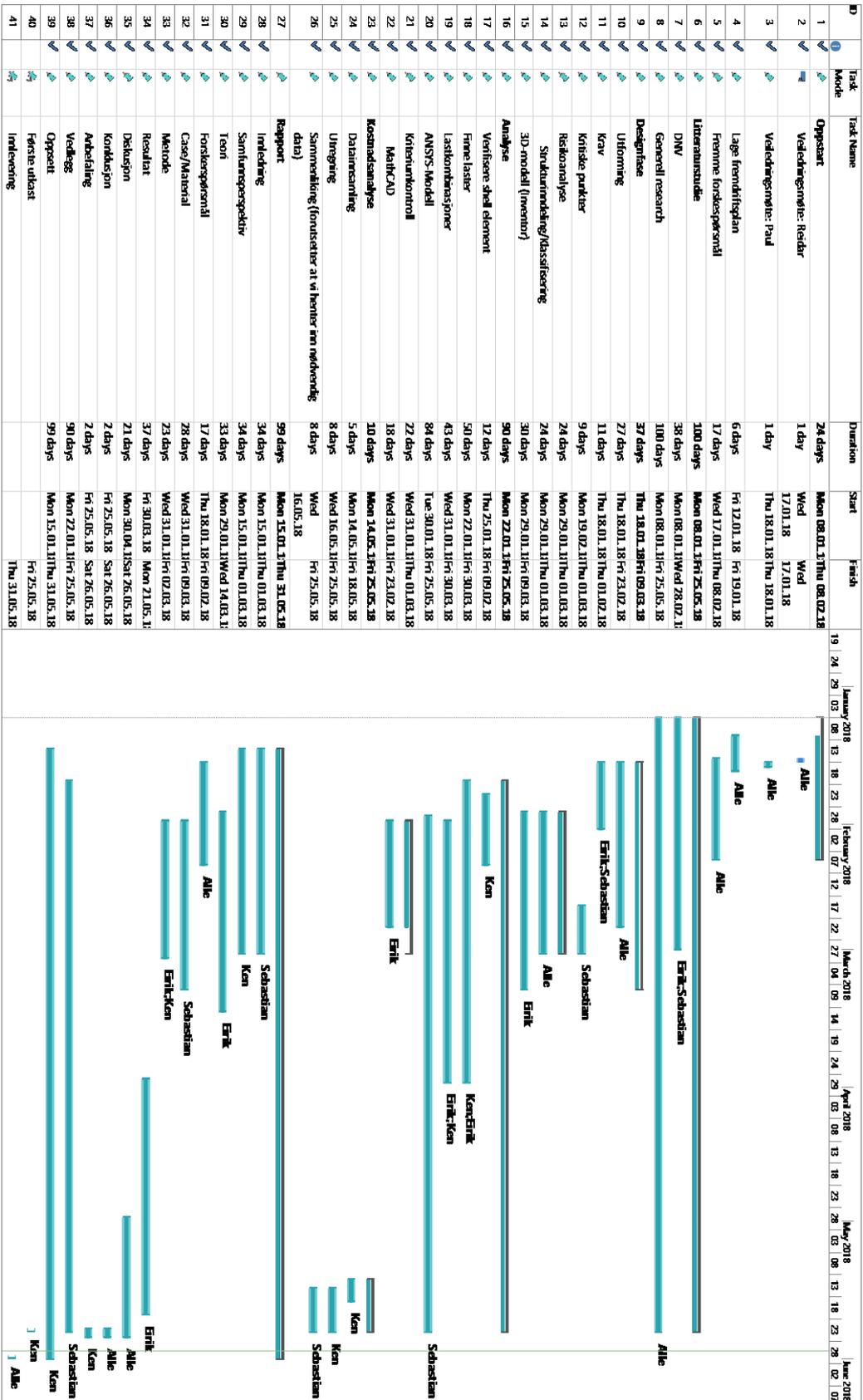
Største opptredende strekktøyning

$$\epsilon_{tmaks} := \max(\epsilon_{ks1x}, \epsilon_{ks1y}, \epsilon_{ks1z}) = 2.145 \times 10^{-3}$$

$$U := \frac{\gamma_{fm} \cdot \gamma_{sd} \cdot \epsilon_{tmaks} \cdot \gamma_{rd} \cdot \gamma_s}{\epsilon_{kt}} = 0.267$$

$$\text{Funksjonstest} \quad \text{if}(U < 1, \text{"ok"}, \text{"fail"}) = \text{"ok"}$$

H. Fremdriftsplan



I. Møtereferat

Referat fra møte med veileder

Tilstede:

Ken Tran, Sebastian Hamre, Eirik Rosseland og Reidar Andersen

Møteagenda med respons:

- Evaluering av forprosjekt.
 - Enighet i gruppen om at ambisjonsnivået skulle opp, og at det skulle legges i snitt en time mer per dag i masteroppgaven enn det hadde vært under forprosjektet. Settes av mer tid til å ta kritiske valg.
- Diskusjon rundt forskerspørsmål og problemstilling.
 - Forslag til Problemstillinger kan være: Krumming mellom hovedkonstruksjonen og den teleskoperende delen.
 - Hvordan løse konstruksjonen gjennom materialvalg og-kombinasjon, og geometri.
 - Hvordan reagerer en konstruksjon på slagskade og generell skade utvikling
- Diskusjon rundt gruppens målsettinger.

Resultat messig er gruppens målsetting å nå en B. Videre er det også ønskelig å bli ytterligere kjent med analyse verktøy og hvordan det virker.
- Diskutere produksjon av en prototype.

OPS trenger kan produsere en modell på alt fra en dag til en uke. Så lenge tegninger kan oppgis.
- Hvordan bør Ansys modellen bygges opp.
 - Modellen skal bygges opp med keypoints med rundt liggende arealer. Det skal bygges en modell som kan ta alle de aktuelle last tilfellene.
- Hvordan skal tegninger produseres.
 - Programmet Autodesk Inventor ble valgt som et visualiserende verktøy med tanke på bilder og tegninger, ettersom gruppen hadde erfaringer med dette programmet.
- Hvilke kriterier skal ligge til grunn for dimensjoneringen.

Gjeldende kriterier er å finne i DNV, også velges de en mangler informasjon på bort.

Tips fra veileder:

Ta kontakt med andre firmaer for å hente laster, akselerasjoner og priser.

Start med å skaffe oversikt over lastene. Lese seg opp på aktuelle standarder. Pass på element retningen i modellen slik at lagene blir liggende i riktig retning.

Referat fra møte med veileder

Tilstede:

Ken Tran, Sebastian Hamre, Eirik Rosseland og Paul Ragnar Svennevig

Møteagenda med respons:

- Evaluering av forprosjekt?
Egen innsats under forprosjektet var for svak. Oppførsel fra lyttere var ikke akseptabel under presentasjon.
- Forme forskerspørsmålet
-Diskuterte alternativ til forskerspørsmål.
«Hvordan løse brokonstruksjon i kompositt med hensyn til materialvalg/kombinasjon?»
«hvilke komposittmaterialer egner seg best til brukonstruksjonen»
«Hvordan utnytte egenskapene til forskjellige fiberarmerte polymerer til en offshore brukonstruksjon.»
-Avgrensninger:
Estimat av økonomien, ikke en fullverdig kost analyse.
- Møterplanlegging
Torsdager og en fredag er basis planen for møter med internveileder. Om de blir nødvendige eller ikke avtales etter hvert.

Tips fra veileder:

Avgrens oppgaven med tanke på kriterier og spiss det mer til neste møte. Forskerspørsmålet kan endres etter hvert.

Referat fra møte med veileder

Tilstede:

Ken Tran, Sebastian Hamre, Eirik Rosseland og Paul Ragnar Svennevig

Møteagenda med respons:

- Kan vi gjøre avgrensinger på design i forskerspørsmålet, men allikevel diskutere hvorfor vi valgte å gjøre valget som ble gjort senere i oppgaven?
Ja, men ikke utdypende
- Avgrense detaljer slik at de ikke trengs å beregnes.
Ja, Det kan også vurderes utovervåren.
- Forslag til firmaer en kan kontakte angående priser og erfaringer med offshore gangbruer.
Det ble foreslått å høre med Tom Lassen, Professor ved UIA.
- Avgrensninger med tanke på datavertøy og dimmensionerings kriterium.
Beskriv i casen hva som skal ses bort ifra.

Tips fra veileder:

Tildel ansvar for alle oppgavene til de forskjellige gruppe medlemmene slik at noen alltid kan påse at de blir gjort på en ordentlig måte.

Referat fra møte med veileder

Tilstede:

Ken Tran, Eirik Rosseland og Tom Lassen

Møteagenda med respons:

- Spørsmål angående laster i DNV GL 0358. Dynamic factor, bumper/push loads, green sea loads, virvel induisert tversvingninger?

Tom gav en vurdering på hva han mente det kunne være, men var selv ikke sikker.

Tips fra veileder:

Anbefalt å ta kontakt med DNV for å være sikre

Referat fra møte med veileder

Tilstede:

Ken Tran, Sebastian Hamre, Eirik Rosseland og Paul Ragnar Svennevig

Møteagenda med respons:

- Hvordan forme forskerspørsmålet?
Det ble diskutert hvordan en formulerer seg best mulig. For eksempel å starte forskerspørsmålet med hvordan kan en etc.
- Hvor går grensen for antatt grunnkunnskap for leseren.
Tidligere fått påpekt at generell bjelke teori manglet. Siden dette ble spesifikt bemerket kan det tas med, men vær kortfattet
- Hvordan plassere risiko analysen og lastkombinasjoner?
Dette kan plasseres i resultatet. Om noe virker overflødig, plasser det i vedlegg

Tips fra veileder:

Forskerspørsmålet er i hovedsak godkjent, men må spisses litt. Begrensningene kan tas på et senere tidspunkt siden de ikke skal sendes til sensor.

Referat fra møte med veileder

Tilstede:

Ken Tran, Sebastian Hamre, Eirik Rosseland og Reidar Andersen

Møteagenda med respons:

- Hvordan skal bruen løftes under montering?
De ble diskutert to måter:
 - Lage klamper med løfte ører som kan som kan festes til konstruksjonen.
 - Ha fastmonterte løfteører på konstruksjonen.Siste alternativet var å foretrekke for å unngå løse deler.
- Hvordan kontrollere at elementer står i samme retning og hvordan rette dem opp?
Den utvalgt layup blir påført materialet i elementets lokale kordinatsystem. Det betyr at alle elementene må orienteres i samme retning for at layup og materialgenskaper skal virke som forventet. En kan kontrollere retningen på alle elementene ved å endre elementenes translucency og i plotctrls legge til local cs. En må deretter lage et kordinatsystem som fungerer som referanse. Retningen kan endres ved å isolere de aktuelle elementene for så å bruke emodif kommandoen til å rette elementene etter kordinatsystemet.

Tips fra veileder:

Referat fra møte med veileder

Tilstede:

Ken Tran, Sebastian Hamre, Eirik Rosseland og Paul Ragnar Svennevig

Møteagenda med respons:

- Forskjell mellom teori og metode?
Teorien er bakgrunnen for det som gjøres, mens metoden er hvordan det utførtes.
- Inndeling av risiko analysen
Det ble besluttet at risiko analysen er et resultat og presenteres der. Den har også elementer som diskuteres og kan det kan tas opp i diskusjonskapittelet.

Tips fra veileder:

Referat fra møte med veileder

Tilstede:

Ken Tran, Sebastian Hamre, Eirik Rosseland og Reidar Andersen

Møteagenda med respons:

- Hvordan regne ut egenvekt?
Ansys har en egne funksjoner for å både regne med egenlast og faktisk regne den ut. Egenlasten legges til ved å tilføre en akselerasjon på 9.81 m/s^2 i y-retning. Egenvekten kan når kun egenlasten er aktiv leses av som en reaction force i list-fanen.
- Jevnt fordelte laster
Når det blir påført jevnt fordelte laster på linjer legger ansys dobbel last hvor to areal treffer linjen. Det ble valgt å unngå problemet med å la være å bruke de aktuelle linjene.
- Hvordan koble brodelene
Koblingen kan utføres ved areal kobling eller node kobling.

Tips fra veileder:

Referat fra møte med veileder

Tilstede:

Ken Tran, Sebastian Hamre, Eirik Rosseland og Paul Ragnar Svennevig

Møteagenda med respons:

- Endring av forskerspørsmålet?
Identifisere feilmekanismer til gangbruen og konsekvensene ved disse. Ordet å forebygge er blitt fjernet.
Hva slags fordeler og ulemper finnes ved å ta i bruk fiberarmert polymer sammenlignet med stål/aluminium, både med hensyn til pris og materialegenskaper?
Punktet blir fjernet mens enkel sammenligning av pris blir stående.
- Referering til forprosjektet
Det gikk rykter om at en ikke kunne referere til sitt eget forprosjekt og at dette måtte være en del av master oppgaven. Det ble slått fast at en kan referere til forprosjektet og at det kun skal leveres som en zip-fil.

Tips fra veileder:

Ta bort spørsmål, underspørsmål eller punkter som ikke blir besvart eller tatt høyde for.