



Høgskulen  
på Vestlandet

# BACHELOROPPGAVE

Design og dimensjonering av en elektromodul på Oseberg A

Design and Structural Analysis of an Electric Module on Oseberg A

**Eivind Staalesen**

**Sindre Vågenes**

Byggingeniør

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap/Institutt for byggfag/BYG350

Veileder: Jan Bernt Husebø

Innleveringsdato: 22.05.2023

Vi bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.


## Forord


Denne oppgaven er vårt avsluttende arbeid på bachelor-utdanningen som byggingeniører ved Høgskulen på Vestlandet ved institutt for byggfag. Bacheloroppgaven vektlegges 20 studiepoeng og er gjennomført våren 2023.

Vi, Eivind Staalesen og Sindre Vågenes, har begge spesialisert oss innen konstruksjonsteknikk, noe som har påvirket valget av oppgavens tema. I søket etter en relevant oppgave, oppdaget vi at Aibel var interessert i et samarbeid med en bachelorgruppe. Gitt Aibels kompetanse innen fagfeltet og tidligere erfaringer med studentprosjekter, søkte vi om å få utføre oppgaven i samarbeid med dem.

Etter kort tid mottok vi en foreløpig oppgavetekst og ble innkalt til et oppstartsmøte med Aibel-veileder Marte Holmboe Askeland, hvor vi fikk ytterligere informasjon om oppgaven. I løpet av prosjektperioden har vi hatt arbeidsplass i Aibels lokaler og fått tilgang til nødvendig programvare, noe som har forenklet arbeidet betydelig. Vi har mottatt verdifull veiledning fra Aibels ansatte, spesielt i forbindelse med problemer i programvaren GeniE.

Gjennom prosjektets løp har vi hatt gleden av å bli veiledet av flere dyktige fagfolk. Vi vil gjerne uttrykke vår takknemlighet overfor Aibels veileder, Marte Holmboe Askeland, for hennes tilgjengelighet, tålmodighet og støtte gjennom hele oppgavens utførelse. Vi vil også takke vår veileder ved Høgskulen på Vestlandet, Jan Bernt Husebø, som vi har hatt regelmessige møter med gjennom hele prosessen. Avslutningsvis ønsker vi å takke Aibel for muligheten til å samarbeide med dem på denne oppgaven.

  
Eivind Staalesen

  
Sindre Vågenes

## Sammendrag

I sammenheng med OGP-prosjektet skal det implementeres tre nye moduler på Oseberg A for å redusere klimautslipp og optimalisere gassutvinningen. Formålet med oppgaven er å utforme og dimensjonere en ny elektromodul på en hensiktsmessig måte. Modulen skal inneholde nytt utstyr, samt erstatte eksisterende lastedekke.

I første del presenteres prosjektinformasjon og relevant teori for å sikre tilstrekkelig bakgrunnsinformasjon for å forstå valgene og analysene som er gjort i oppgaven.

Det er undersøkt ulike utstyrs plasseringer under design, hvor der er fokusert på å opprettholde effektivitet, sikkerhet, gode lastoverføringer og symmetri. Modulen er videre utformet med hensyn på størrelseskrav, ønsker og valgt utstyrs plassering. Det er presentert tre ulike designalternativer, hvor en av de er valgt for videre analyser.

Ved dimensjonering av modulen er det benyttet programvaren GeniE for modellering og analyser av laster og hovedelementer. Modellen er kontrollert i henhold til relevante krav og standarder. Programvaren Stipla er brukt for beregning av andre mindre elementer. Det er foretatt kontrollberegninger for GeniE-resultatene for sammenligning og sikkerhet.

Til slutt er det regnet på nødvendige sveiser i hardt utnyttede knutepunkt, hvor mulige løsninger for knutepunkt design er presentert.

# Abstract

As part of the OGP project, three novel modules are to be implemented onto the Oseberg A-platform with the dual goal of minimizing climate emissions and enhancing gas extraction. The focus of this thesis is on the strategic design and robust structural analysis of a new electric module. This module is intended not only to accommodate additional equipment but also to supersede the existing laydown deck.

The initial section provides comprehensive project details and pertinent theoretical considerations. These insights equip readers with sufficient contextual knowledge to appreciate the decision-making processes and analyses that underpin this study.

The design phase entails a thorough exploration of diverse equipment placements, emphasizing efficiency, safety, optimal load distribution, and symmetry. The design process account for size constraints, specific preferences, and selected equipment positioning. This leads to the presentation of three different design options, one of which is subsequently selected for in-depth analysis.

The structural analysis of the module utilizes the advanced capabilities of the GeniE software for modeling and analyzing loads and primary elements. The resultant model undergoes rigorous verification in line with relevant regulations and standards. The Stipla software aids in calculating additional minor elements, further bolstering the analytical process. To ensure the accuracy and safety of the GeniE results, control calculations are performed.

In the concluding stages, the thesis provides calculations for essential welds in heavily utilized joints and provides potential design options for them.

# Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
Innholdsfortegnelse	IV
Figurliste	VIII
Forkortelser	XII
Ordforklaringer	XIII
Enheter	XIV
1. Introduksjon	1
1.1. Innledning	1
1.2. Problemstilling	2
1.3. Avgrensninger	2
1.4. Krav til prosjektering og utførelse	2
2. Prosjektinformasjon	3
3. Teori	5
3.1. Laster og grensetilstander i konstruksjonsdesign	5
3.1.1. Klassifisering av konstruksjonslaster	5
3.1.2. Grensetilstander i konstruksjonsdesign	6
3.1.3. Lastfaktorer og lastkombinasjoner	7
3.2. Bygningsmateriale	7
3.2.1. Stål	8
3.3. Knutepunkt	9
3.3.1. Kilsveis/K-sveis	10
3.3.2. Buttsveis	11
3.4. Programvare	11

3.4.1.	Sesam GeniE	12
3.4.1.1.	Finite element analysis (FEM)	14
3.4.2.	Stipla DNVGL	15
3.5.	Avstivning	16
4.	Design	17
4.1.	Generelt om modulen	17
4.2.	Utstyr (størrelse, vekt, plassering)	19
4.3.	Forskjellige design	21
4.3.1.	Alternativ 1	22
4.3.2.	Alternativ 2	23
4.3.3.	Alternativ 3	24
4.4.	Opplagerbetingelser	25
4.5.	Knutepunktsbetingelser	25
5.	Analyse	26
5.1.	Modell	26
5.1.1.	Generelt	26
5.1.2.	Geometri	27
5.1.3.	Materialer	29
5.1.4.	Profiler	29
5.1.4.1.	Sammensveiste profiler	30
5.1.4.2.	Standardprofil	30
5.1.5.	Platetykkelse	31
5.1.6.	Utstyr	31
5.2.	Laster	32
5.2.1.	Permanente laster	32
5.2.1.1.	Egenvekt	33

5.2.1.2.	Utstyr	33
5.2.2.	Variable laster	34
5.2.2.1.	Vind	34
5.2.2.2.	Lastedekk	37
5.2.2.3.	Nyttelast (last mellom utstyr)	38
5.2.2.4.	Trucklast	39
5.2.3.	Ulykkeslaster	39
5.2.3.1.	Ekstremvind	39
5.2.3.2.	Eksplosjon	40
5.3.	Lastkombinasjoner	41
5.4.	Stabilitetsfaktorer	45
5.4.1.	Knekk lengder	45
5.4.2.	Vipping	45
5.5.	Resultater	46
5.5.1.	ULS	48
5.5.1.1.	Code check	48
5.5.1.2.	Plater	50
5.5.1.3.	Kvalitetskontroll av kritisk bjelke og søyle	51
	Kontroll av bjelke	51
	Kontroll av søyle	52
5.5.2.	ALS	53
5.5.2.1.	Code check	53
5.5.2.2.	Plater	54
5.5.3.	SLS	55
5.5.3.1.	Nedbøying	55
5.6.	Stivere og platesjekk	56
5.7.	Knutepunktsdesign og beregninger	57

5.7.1.	Knutepunkt mellom I900x500 og I900x300	58
5.7.2.	Knutepunkt mellom HE300B og I900x300	60
5.7.3.	Knutepunkt mellom HE400B og I900x500	61
5.7.4.	Knutepunkt mellom I600x500 og I900x500	62
6.	Drøfting	64
7.	Konklusjon	65
8.	Videre arbeid	67
9.	Litteraturliste	68
	Vedleggsliste	72



## Figurliste

Figur 1: Oseberg B, A og D bundet sammen med gangbroer. [1] .....	1
Figur 2: Oseberg A. M05 markert i blått.....	3
Figur 3: Oversiktsbilde. Elektromodulen skal plasseres på M05.....	3
Figur 4: Oppbygning av modulen .....	4
Figur 5: Lastfaktorer. NORSOK N-001 Tabell 4 [8] .....	7
Figur 6: Typisk last-forlengelsekurve for duktile metaller og legeringer.....	8
Figur 7: Typisk sveiset knutepunkt mellom to stålprofiler [14].....	9
Figur 8: Styrke og duktilitet for kilsveiser.....	10
Figur 9: Kilsveis med a-mål [18]. .....	11
Figur 10: To ulike typer full-pen sveiser.....	11
Figur 11: Modul med lastfordeling visualisert. Krefter er visualisert i oransje farge. Hentet fra Sesam GeniE. ....	12
Figur 12: Kodesjekk i Sesam GeniE i henhold til NORSOK N-004. ....	13
Figur 13: Lastbilde i GeniE. ....	13
Figur 14: Ulike materialtyper i GeniE.....	14
Figur 15: FEM-modell av et knutepunkt av stål [21].....	14
Figur 16: Nedbøyning i GeniE. ....	15
Figur 17: Bilde av STIPLA DNVGL .....	15
Figur 18: Modul med alle strukturelle komponenter i GeniE .....	17
Figur 19: Hovedramme og opplegg i GeniE. ....	18
Figur 20: Hovedramme med bjelker i Geni.....	18
Figur 21: Hovedramme, bjelker og ytre plater i GeniE.....	19
Figur 22: Liste over utsyr i elektromodul ref oppgavebeskrivelse.....	19
Figur 23: Typisk transformator. Bilde tatt fra oppgavebeskrivelse.....	20
Figur 24: Skisser av plasseringsmuligheter.....	20

Figur 25: Valgt plassering. ....	21
Figur 26: Design - Alternativ 1 - GeniE.....	22
Figur 27: Design - Alternativ 2 - GeniE.....	23
Figur 28: Utstyrs plassering - Alternativ 2 - GeniE .....	23
Figur 29: Design - Alternativ 3 - GeniE.....	24
Figur 30: Valgt plassering av utstyr og design. Planlagte utganger markert i rødt. ....	25
Figur 31: Modulen med himmelretninger. ....	26
Figur 32: Modulens dimensjoner - GeniE.....	27
Figur 33: Søylevastander – Øst og Vest – GeniE.....	27
Figur 34: Bjelkevastander - Nivå 1 – GeniE .....	27
Figur 35: Søylevastander - Nord og Sør – GeniE .....	28
Figur 36: Bjelkevastander - Nivå 2 (Laydown area) – GeniE.....	28
Figur 37: Oversikt over profilbruk i modulen. ....	29
Figur 38: De ulike sammensveiste profilene. ....	30
Figur 39: Oversikt over de ulike platetykkelsene i modulen. (8mm og 10mm) .....	31
Figur 40: Eksempel på hvordan utstyr er implementert i GeniE.....	31
Figur 41: Eksempel på hvordan utstyr er implementert i GeniE.....	32
Figur 42: Utstyret plasser på nivå 1 – GeniE .....	32
Figur 43: Modulen og vekt + COG - GeniE.....	33
Figur 44: Utstyr med lastfordeling - GeniE.....	34
Figur 45: DNV - Formfaktor for vind [25].....	35
Figur 46: Utklipp av Tabell 7.2 i NS-EN 1991-1-4 [28].....	36
Figur 47: Figur 7.6 i NS-EN 1991-1-4 [28] .....	36
Figur 48: Vind ULS-a fra Øst – GeniE .....	37
Figur 49: Last på laydown area - GeniE.....	37
Figur 50: Tabell 1 i NORSOK N-003 – Area between equipment (Last mellom utstyr) [26].	38

Figur 51: Last mellom utstyr - GeniE .....	38
Figur 52: Punktlast - GeniE.....	39
Figur 53: Ekstremvind fra nord – GeniE.....	40
Figur 54: Eksplosjon fra øst - GeniE.....	40
Figur 55: ULS-a - øst - GeniE .....	41
Figur 56: Lastkombinasjon implementert i GeniE - ULS-a fra øst.....	41
Figur 57: Lastkombinasjon implementert i GeniE - ULS-b fra øst.....	41
Figur 58: ULS-b nord - GeniE .....	42
Figur 59: SLS - GeniE.....	42
Figur 60: ALS med eksplosjon - GeniE .....	43
Figur 61: ALS med ekstremvind fra øst - GeniE .....	43
Figur 62: Oversikt over de ulike lastkombinasjonene i GeniE .....	44
Figur 63: Oversikt over fordelte laster. ....	44
Figur 64: Oversikt over vindlaster og formfaktorer. Uten lastfaktorer. ....	45
Figur 65: Bilde av stabilitetsfaktorer og mer i GeniE. Det er endret på «Top flange» (toppflens) som er stivet av hver 0.1m. ....	46
Figur 66: Wireframe og solid – No flush .....	46
Figur 67: Utnyttelser i ULS - No flush.....	47
Figur 68: Utnyttelser i ALS - No flush .....	47
Figur 69: Wireframe og Solid - Flush top.....	47
Figur 70: Utnyttelser i ULS.....	48
Figur 71: Diagram for skjærkraft ( $N_{xz}$ ), normalkraft ( $N_{xx}$ ) og moment ( $M_{xy}$ ) for den mest utnyttede søylen. (Markert i rød).....	49
Figur 72: Krefter i ulike punkt i den mest utnyttede søylen(I600x500).....	49
Figur 73: Diagram for skjærkraft ( $N_{xz}$ ) og moment ( $M_{xy}$ ) for den mest utnyttede hovedbjelken (I900x300). (Markert i rød) .....	49
Figur 74: Krefter i ulike punkt i den mest utnyttede hovedbjelken (I900x300).....	50
Figur 75: Diagrammer for skjærkraft ( $N_{xz}$ ) og moment ( $M_{xy}$ ) for den mest utnyttede	

HE300B. (Markert i rød) .....	50
Figur 76: Krefter i ulike punkt i den mest utnyttede HE300B. ....	50
Figur 77: Oversikt over spenning i plater - ULS - GeniE .....	51
Figur 78: Utnyttelser i ALS.....	54
Figur 79: Oversikt over spenning i plater - ALS - GeniE .....	55
Figur 80: Nedbøyning i SLS (oppgitt i meter) - GeniE.....	55
Figur 81: Tabell 7.2.4 i NORSOK N-001 [8].....	56
Figur 82: Informasjon implementert i STIPLA.....	56
Figur 83: BF 140x8.0 profil – STIPLA.....	57
Figur 84: Utnyttelser av plater og stivere i STIPLA. ....	57
Figur 85: Knutepunkt i 5.8.1. ....	59
Figur 86: Bjelkekrefter. ....	59
Figur 87: Knutepunkt mellom I900x300 og I900x500. Full-pen sveis for steg og flenser.....	60
Figur 88: Knutepunkt mellom HE300B og I900x300.....	60
Figur 89: Knutepunkt med HE300B - Forenklet sveiset mot endeplate. ....	61
Figur 90: Knutepunkt mellom I600x500 og I900x500 .....	62
Figur 91: Knutepunkt mellom I600x500 og I900x500 .....	63

## Forkortelser

<b>ALS</b>	Accidental Limit State (Ulykkesgrense)
<b>DNV</b>	Det Norske Veritas
<b>DNVGL</b>	Det Norske Veritas og Germanischer Lloyd
<b>FEM</b>	Finite Element Method
<b>M05</b>	Modul nummer 5
<b>NA</b>	Nasjonale tillegg
<b>NORSOK</b>	Norsk sokkels konkurranseposisjon
<b>NS</b>	Norsk Standard
<b>OGP</b>	Oseberg Gas Capacity upgrade and Power from shore
<b>SFC</b>	Static Frequency converter (Statisk frekvens omformer)
<b>SLS</b>	Serviceability Limit State (Bruksgrense)
<b>TR</b>	Technical requirements
<b>ULS</b>	Ultimate Limit State (Bruddgrense)

## Ordforklaringer

<b>Boiler Skid / Boiler</b>	Utstyr - Kjeleramme
<b>Code Check (GeniE)</b>	Kodesjekk
<b>Elektromodul</b>	Prefabrikkert konstruksjon som inneholder elektrisk utstyr
<b>Flush Top (GeniE)</b>	Toppen av en komponent er i flukt med andre omkringliggende elementer
<b>Full-pen</b>	Buttsveis med full gjennombrenning
<b>Laydown dekke/deck</b>	Et oppbevarings- og lastedekk hvor containere, utstyr og andre gjenstander kan lagres og transporteres. Refereres også til som lastedekke.
<b>Load Interface (GeniE)</b>	Funksjon for å bestemme hvilke elementer som tar i mot lastvirkningen.
<b>Løfteøre</b>	Punkt på en konstruksjon designet for å trygt løfte den.
<b>Node</b>	Et punkt som brukes til beregninger og analyser av en struktur i henhold til FEM
<b>Rammebjelke</b>	Største bjelken som bygger opp hovedrammen i modulen. Profil - I900_500_25_30 også omtalt som I900x500
<b>Service-Space</b>	Vedlikeholdsområde/driftplass
<b>Skjærmateriale</b>	Teoretisk materiale som bare tar opp krefter på tvers av tverrsnittet.
<b>Solid</b>	Refererer til en visningsmetode i GeniE hvor elementene er vist som hele, ugjennomsiktige flater. Realistisk fremvisning.
<b>Tote tank</b>	Oppbevaringsbeholder for væsker
<b>Tverrbjelke</b>	Bjelke som spenner mellom rammebjelkene i modulen Profil - I900_300_20_25 også omtalt som I900x300
<b>Wireframe</b>	Refererer til en visningsmetode i GeniE hvor kun senterlinjene av elementet er vist.

## Enheter

°	Grader (vinkel)
Bar	Bar
kN	Kilo Newton
kNm	KiloNewtonmeter
m	Meter
m <sup>2</sup>	Kvadratmeter
mm	Millimeter
MPa	Megapascal
s	Sekund
Tonn	Tusen kilogram

# 1. Introduksjon

## 1.1. Innledning

I denne bacheloroppgaven vil det i sammenheng med OGP-prosjektet undersøkes designmuligheter samt dimensjonering av en ny elektromodul på Oseberg A-plattformen. For å møte økende energibehov og skiftende markedskrav, er det viktig å utvikle og optimalisere offshore-infrastrukturen for å håndtere fremtidige utfordringer.



*Figur 1: Oseberg B, A og D bundet sammen med gangbroer. [1]*

Målet med oppgaven er å studere designalternativene, lastene, materialvalgene og de tekniske løsningene for den nye modulen, og deretter dimensjonere den slik at den kan integreres med den eksisterende M05-modulen på Oseberg A-plattformen.

For å nå dette målet, vil oppgaven først gi en oversikt over Oseberg A-plattformen og OGP-prosjektet. Deretter vil det presenteres teori, diskutere designmuligheter og prosess, samt analysere de tekniske og strukturelle kravene til moduldesign. Til slutt vil det presenteres resultater for de strukturelle analysene og beregningene.

Ved å fokusere på design og dimensjonering av den nye elektromodulen, vil denne oppgaven gi verdifull innsikt og forståelse for prosessene og utfordringene knyttet til utvikling av nye moduler for eksisterende offshore-plattformer. Dette kan være et viktig bidrag til å sikre en bærekraftig og effektiv utnyttelse av olje- og gassressursene i Nordsjøen og vil kunne bidra til den kontinuerlige utviklingen av offshore-teknologi og -praksis.



## **1.2. Problemstilling**

Problemstillingen som er valgt for denne oppgaven er som følgende; Hvordan kan man utforme og dimensjonere en offshore modul på en måte som ivaretar effektivitet og sikkerhet, samtidig som den oppfyller relevante tekniske krav?

## **1.3. Avgrensninger**

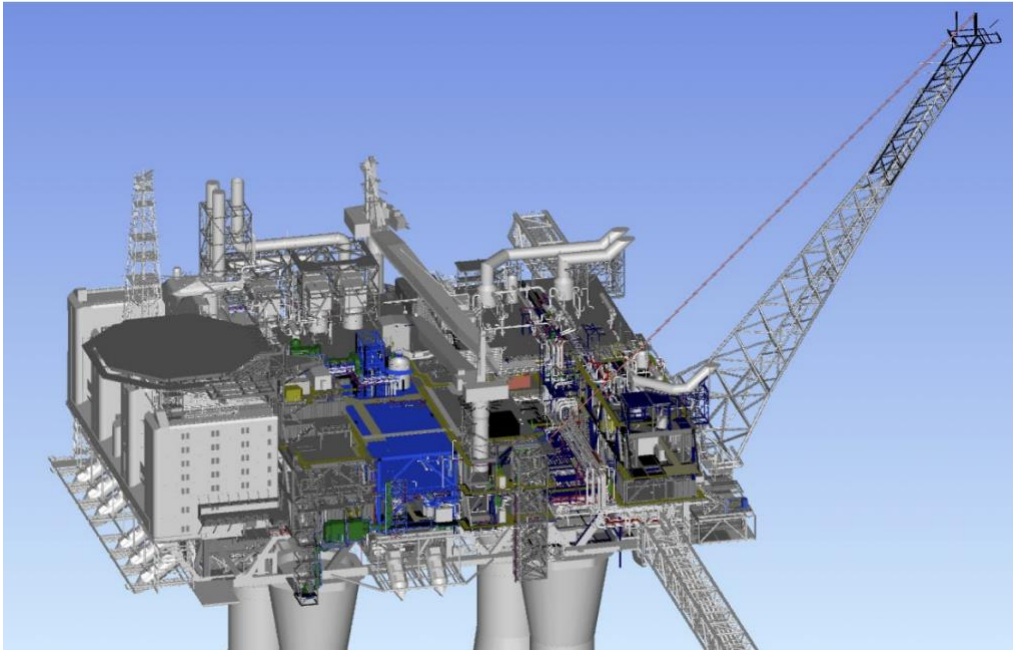
I denne oppgaven vil det være noen avgrensninger for å fokusere på kjerneaspektene ved design og dimensjonering. Strukturell integritet i den underliggende modulen vil ikke bli vurdert og jordskjelvpåvirkning vil heller ikke inkluderes i analysen. For bruksgrensetilstand vil kun nedbøyning bli undersøkt, mens utnyttelse og andre vurderinger vil bli adressert i grensetilstandene ULS og ALS. Brannfare vil ikke bli omtalt ettersom det ikke er relevant basert på erfaring. Det samme gjelder snølast, ettersom snø ikke samles på modulen. Dimensjoneringen av knutepunkter vil kun konsentreres rundt få utvalgte kritiske elementer, i stedet for å beregne alle. Hovedsakelig er det kun bjelke, søyle og knutepunktsdimensjonering som blir tatt hensyn til, mer komplekse detaljer er ikke inkludert.

## **1.4. Krav til prosjektering og utførelse**

I prosjekterings- og utførelsesfasen er det viktig å ta hensyn til relevante standarder og krav som sikrer at modulens design og dimensjonering er i tråd med industrielle forventninger og praksis. Dette inkluderer overholdelse av Eurokodene, NORSOK, nasjonale tillegg og kundekrav, som i dette tilfellet er fra Equinor.

## 2. Prosjektinformasjon

I forbindelse med OGP-prosjektet er det planlagt å montere tre nye moduler på Oseberg A [2]. En av disse er elektromodulen som prosjektet er sentrert rundt. Denne nye modulen skal plasseres på den allerede eksisterende M05. For en helhetlig oversikt, se figur 2 og 3.



Figur 2: Oseberg A. M05 markert i blått.



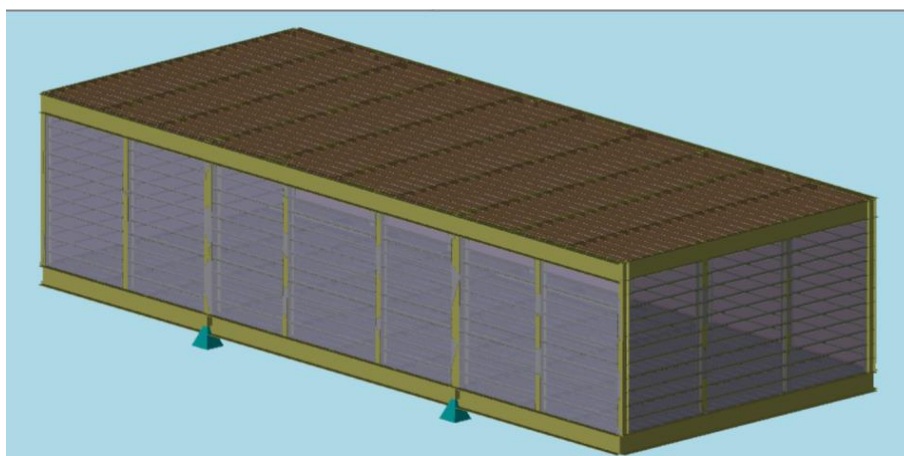
Figur 3: Oversiktsbilde. Elektromodulen skal plasseres på M05.

Oseberg A-plattformen er en del av Osebergfeltet, som ligger i den norske delen av Nordsjøen, ca. 130 km nordvest for Bergen [3]. Feltet ble oppdaget i 1979 og produksjonen startet i 1988 [4]. Oseberg-feltet er et av de største olje- og gassfeltene i Nordsjøen [5]. Hele plattformen, A, B og D, er en integrert bore-, produksjons- og boligplattform med et stål- og betong-understell [3]. Operatør for feltet er Equinor og lisenspartnerne inkluderer Petoro, TotalEnergies og ConocoPhillips [4].

Elektrifiseringen av plattformen vil gi økt gassutvinning, men også mindre utslipp av klimagassen CO<sub>2</sub> ved utvinning. Det anses at oppgraderingen vil øke gassutvinningen med rundt 50 prosent samtidig som klimagassutslippet kuttes med omtrent 320 000 tonn CO<sub>2</sub> årlig [6].

Elektromodulen som skal dimensjoneres har dimensjonene 37.3x15.3x8m (LxBxH) og vil inneholde nytt elektrisk utstyr som tilhører OGP-prosjektet. I tillegg til alt det nye utstyret som skal på plass, er det stilt krav fra kunden om å erstatte eksisterende lastdekke. Det blir gjort ved å dimensjonere et nytt lastdekke på toppen av denne elektromodulen.

Modulens bæresystem består av en hovedramme som er bygd opp av flere solide bjelker og søyler, samt flere store tverrgående bjelker som overfører kreftene videre til hovedrammen. I tillegg er det lagt inn flere små bjelker som skal overføre lastvirkningene fra utstyret til tverrbjelkene. For å kunne avstive hele modulen og gjøre den tett er det lagt inn horisontale og vertikale plater som dekker hele modulen. For å stive av platefeltene er det implementert mindre stivere som spenner mellom bjelker og søyler. Utformingen av en slik modul er vist på figur 4.



*Figur 4: Oppbygning av modulen*

## 3. Teori

For å løse problemstillingen er det viktig å ha en underliggende forståelse av nødvendig teori for laster, grensetilstander, konstruksjonsdesign og programvarer.

### 3.1. Laster og grensetilstander i konstruksjonsdesign

Forståelsen av laster og grensetilstander er avgjørende for å sikre stabilitet, styrke og komfort i konstruksjoner. Det er viktig at konstruksjonslaster, lastfaktorer og grensetilstander er i samsvar med Eurokodene, NORSOK, nasjonale tillegg og eventuelle kundekrav.

#### 3.1.1. Klassifisering av konstruksjonslaster

Laster på en konstruksjon kan deles inn i tre ulike hovedkategorier: permanente laster (G), variable laster (Q) og ulykkeslaster (A).

Permanente laster er konstante eller tilnærmet konstante gjennom hele konstruksjonens levetid, og inkluderer egenvekt, volumvekt av materialer og faste installasjoner. På elektromodulen inkluderer dette egenvekt av hovedstål, stivere og plater. I tillegg skal det elektriske utstyret regnes som en permanent last, i form av faste installasjoner.

Variable laster er laster som varierer over tid og inkluderer snølast, vindlast og andre laster som oppstår på grunn av menneskelig aktivitet. For prosjektet består disse lastene i hovedsak av vindlast, nyttelast, trucklast, og menneskelig aktivitet.

Ulykkeslaster er laster som oppstår ved uforutsette hendelser, som for eksempel brann, eksplosjoner, ekstremvær, kjøretøyskollisjoner eller jordskjelv. For modulen er det vurdert som nødvendig å ta med ekstremvind, samt eksplosjonslast, ettersom det er en reell fare for at det kan oppstå.

### 3.1.2. Grensetilstander i konstruksjonsdesign

Grensetilstander er viktige for å sikre stabilitet, styrke og komfort i en konstruksjon. Hver av disse grensetilstandene fokuserer på ulike aspekt av konstruksjonens ytelse og krav. De inkluderer:

Bruddgrensetilstand (ULS) er den grensetilstanden der en konstruksjon når sin maksimale kapasitet og ikke lenger kan motstå påkjenningene som påvirker den, og dermed går til brudd [7]. Ved dimensjonering for bruddgrensetilstand skal konstruksjonen tåle lastpåvirkningene uten å ta skade.

Under ULS er det to forskjellige varianter kalt ULS-a og ULS-b for å ta hensyn til hvilken type last som er dominerende. Kombinasjonene inkluderer ulike lastfaktorer, og det er viktig å sjekke begge for å se hvilken som er dimensjonerende for konstruksjonen. For både ULS-a og ULS-b er det for dette prosjektet inkludert fire ulike lastkombinasjoner grunnet variasjon i vindretning. Forenklet er det valgt å kun bruke hovedretningene nord, sør, øst og vest, og kun vinkelrett på flatene til konstruksjonen. Dette er for å unngå utallige lastkombinasjoner og kompliserte beregninger. Det antas at konstruksjonen også er mer aerodynamisk fra skrå vinkler, og det er derfor også unødvendig å inkludere annet enn de 4 hovedretningene.

Ulykkesgrensetilstand (ALS) er den grensetilstanden som fokuserer på konstruksjonens kapasitet til å tåle ulykkeslaster som brann, eksplosjoner, kjøretøyskollisjoner eller andre uforutsette hendelser [7]. Design for ALS innebærer å vurdere konstruksjonens ytelse under ekstreme og sjeldne situasjoner og implementere passende tiltak for å redusere risikoen for kollaps eller store skader som følge av slike hendelser. For elektromodulen er det kun aktuelt med ekstremvind fra alle 4 retninger, samt eksplosjon fra øst.

Bruksgrensetilstand (SLS) er den grensetilstanden som fokuserer på konstruksjonens ytelse under normale bruksforhold og komfort for brukerne. Design for SLS tar hensyn til deformasjoner, vibrasjoner, sprekker og andre forhold som påvirker bruken og levetiden av konstruksjonen, men som ikke nødvendigvis fører til kollaps eller brudd [7]. Målet med SLS-design er å sikre at konstruksjonen oppfyller brukernes forventninger og krav til komfort, funksjonalitet og estetikk. Som nevnt tidligere er det forenklet kun valgt å vurdere nedbøying i SLS for dette prosjektet.

### 3.1.3. Lastfaktorer og lastkombinasjoner

Lastfaktorer er koeffisienter som brukes til å justere lastene for å ta hensyn til usikkerheter knyttet til lastenes størrelse og varighet, samt variasjon i materialstyrke og byggepraksis.

Lastkombinasjoner refererer til ulike mulige kombinasjoner av permanente og variable laster som kan virke samtidig på en konstruksjon, og de gir et bilde på hvor store påkjenningene fra de forskjellige lastene vil bli når de oppstår samtidig.

NORSOK N-001: «Sikkerhet av offshore konstruksjoner» inneholder viktig informasjon om lastfaktorer og lastkombinasjoner som er avgjørende for å sikre pålitelighet og sikkerhet i konstruksjoner. I standarden gjelder andre krav enn i NS-EN 1990 «Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner», hvor det brukes kombinasjonsfaktorer ( $\psi$ ). Lastfaktorene i NORSOK er uavhengig av konstruksjonstype og de er fastsatt for hver enkelt grensetilstand. For offshore-konstruksjoner prioriteres NORSOK-standardene fremfor Eurokodene, og dermed hentes lastfaktorer og kombinasjoner fra NORSOK.

Table 4 — Partial action factor for the limit states

Limit state	Action combinations	Permanent actions (G)	Variable actions (Q)	Environmental actions (E) <sup>e</sup>	Deformation actions (D) <sup>f</sup>	Accidental actions (A) <sup>g</sup>
ULS	a <sub>a,b</sub>	1,3	1,3	0,7	1,0	
ULS	b <sub>b</sub>	1,0	1,0	1,3	1,0	
SLS		1,0	1,0	1,0	1,0	
ALS	Abnormal effect <sub>c</sub>	1,0	1,0	1,0	1,0	
ALS	Accidental effect <sub>c</sub>	1,0	1,0		1,0	1,0
ALS	Damaged condition <sub>d</sub>	1,0	1,0	1,0	1,0	

Figur 5: Lastfaktorer. NORSOK N-001 Tabell 4 [8]

## 3.2. Bygningsmateriale

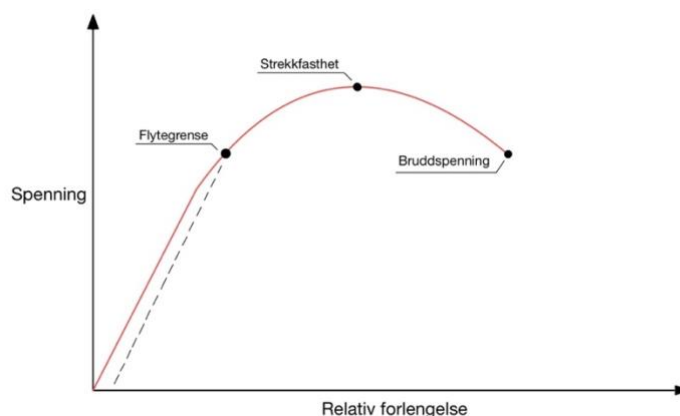
Både eksisterende moduler og den aktuelle modulen skal være av konstruksjonsstål. Dette valget begrunnes med at stål er det mest utbredte materialet innen offshoreindustrien og har vist seg å være et pålitelig og robust valg for slike konstruksjoner.

### 3.2.1. Stål

Stål er en legering som hovedsakelig består av jern og opptil 2 prosent karbon, i tillegg til mindre mengder av andre grunnstoff [9]. Ved å endre innholdet i legeringen kan egenskapene til stålet endres etter ulike krav, som for eksempel å øke korrosjonsbestandigheten til stålet [10].

Stål har høy styrke, seighet og duktilitet, noe som gjør det til et ideelt materiale for offshore-konstruksjoner som krever robuste og pålitelige materialer. Høy duktilitet vil si at det har høy evne til å deformere seg før det går til brudd [11]. Det finnes flere typer stål avhengig av hvilke egenskaper som kreves for et prosjekt. Dette kan innebære krav til styrke eller overflatebehandling. Ved å påføre ulike overflatebehandlinger kan en for eksempel forbedre brannmotstanden til stålet. Stål har altså et bredt spekter av bruksformål, og ved å bruke ulike tykkelser, profiler, legeringer og overflatebehandlinger kan stål brukes til de aller fleste formål.

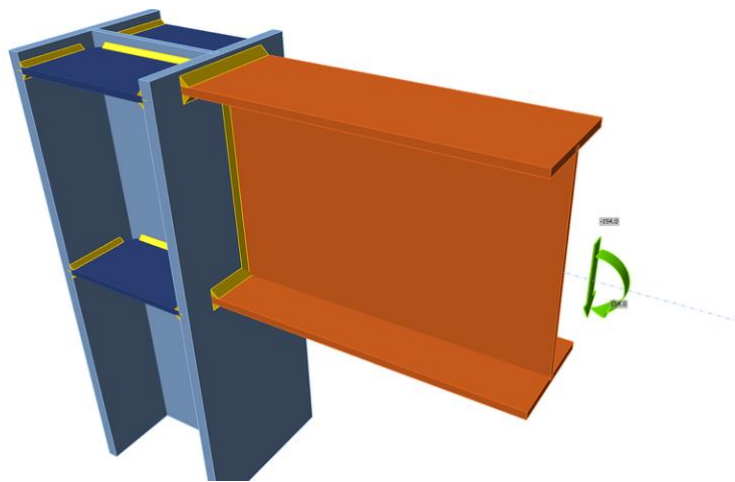
I modulen vil ståltypene S355 og S420 bli brukt. Forskjellen på disse to er deres respektive flytespenninger. Stålets flytespenning er grensen hvor det går over fra å være elastisk til plastisk [12]. S355 er det mest brukte konstruksjons stålet og brukes ofte i vanlige bygningskonstruksjoner, mens S420 er mer egnet for større og kraftigere konstruksjoner med høyere krav til styrke. Bearbeiding og sveising av S420 er mer tidkrevende og utfordrende enn med S355. Derfor er S355 ofte foretrukket om det er mulig. Dersom et stålprofil er for massivt kan dette gi utfordringer ved sveising og eller bruk av bolter. For eksempel vil det være lurt å forvarme et stålprofil før sveising om det er svært tykt. Dette er for at temperaturdifferansen i stålet ikke blir for stor [13].



Figur 6: Typisk last-forlengelsekurve for duktile metaller og legeringer.

### 3.3. Knutepunkt

Et knutepunkt utgjør et punkt der to eller flere deler av en større konstruksjon er tiltenkt å kobles sammen. Hensikten til et knutepunkt er å overføre laster og krefter fra en del av konstruksjonen til en annen. Knutepunkter i stålkonstruksjoner kan enten dimensjoneres ved hjelp av sveising eller bruk av bolter. Designet av et knutepunkt blir bestemt i forhold til om det skal være momentstivt eller rotasjonsfritt. I realiteten vil ingen knutepunkt være helt momentstive eller helt rotasjonsfrie, men et sted mellom disse tilstandene. For modulen vil det kun beregnes sveising når det gjelder design av knutepunktene, ettersom det er det mest utbredte for offshoremoduler. Derfor vil ikke bolter bli omtalt videre i oppgaven.



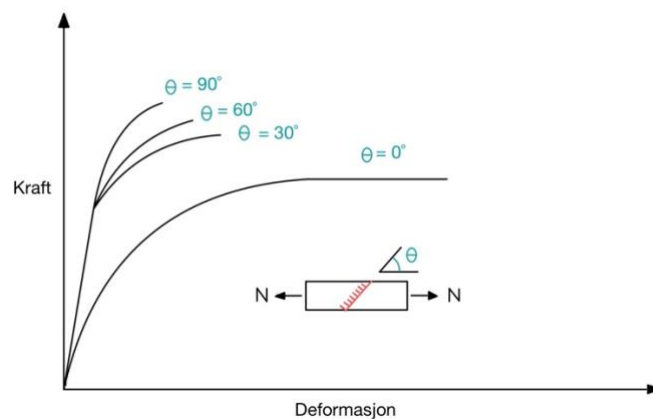
Figur 7: Typisk sveiset knutepunkt mellom to stålprofiler [14].

Et hovedaspekt ved sveising er at det skal skje under gode forhold for å få tilfredsstillende kvalitet. Sveising i dårlig miljø er det fare for at det kan oppstå utilstrekkelige sveiser og ulykker [15]. Dette kan føre til svekkelse av forbindelsen og til slutt brudd. Det er også dyrere og svært risikofylt å konstruere en slik modul ute på en plattform, ettersom det er verre arbeidsforhold samt mye større sjanser for feil under produksjon. De fleste moduler blir derfor konstruert på land i gode omgivelser [16].

Et knutepunkt blir designet i forhold til størrelse og utformingen av profilene som danner det bestemte knutepunktet i tillegg til hvilken type lastvirkninger som skal overføres. Ved dimensjonering av knutepunkt er det ønskelig at sveisene har bedre kapasitet enn det svakeste profilet i forbindelsen etter pkt. 4.9(5) [17]. Dette er for å unngå at konstruksjonen skal gå i brudd uten forvarsel. Sveiser som går til brudd gir ikke forvarsel, og siden en bjelke vil få synlige deformasjoner før den bryter sammen er det ønskelig å la den være den svakeste delen av forbindelsen.



Ved forenklet metode er det vanlig å fordele kreftene som virker på et knutepunkt etter ønske. I forenklet metode blir det ikke tatt hensyn til hvilken retning kraften har i forhold til sveisen. Likevel ønsker man å la kreftene gå langs sveisene og ikke på tvers av dem. At kreftene går langs sveisene vil forårsake at de oppfører seg mer duktilt [7]. Derfor er det vanlig å fordele momentet til sveis ved flenser, mens skjærkrefter går til sveisene i steget av et profil. Momenter som blir overført i knutepunktet vil bli gjort om til et kraftpar som virker normalt flenssveisene. På denne måten vil armen mellom kraftparet bli størst mulig og dermed vil trykk- og strekk-kraften fra momentet bli minst mulig. Aksialkreftene som virker i knutepunktene kan bli fordelt på alle sveisene, men blir ofte fordelt på flens-sveisene sammen med momentvirkningen, ettersom disse virker i samme retning.

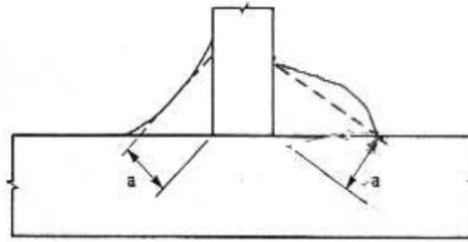


Figur 8: Styrke og duktilitet for kilsveiser.

Siden de mest brukte sveisetypene i konstruksjoner er kilsveis og buttsveis, vil disse typene bli brukt videre i oppgaven. Begge disse typene vil bli presentert i punktene under.

### 3.3.1. Kilsveis/K-sveis

Denne måten å sveise på gir en robust og sterk forbindelse mellom to deler av en konstruksjon. Måten en kilsveis blir påført er at de to delene som skal kobles sammen blir satt inntil hverandre. Deretter sveises det i hjørnene mellom dem som vist på figur 9. For å finne kapasiteten til en kilsveis er det nødvendig å regne ut et a-mål, som er en betegnelse på tykkelsen til sveisen. Dette kan enten gjøres ved retningsmetoden eller forenklet metode [18]. For at det skal være mulig å nytte kilsveis i en forbindelse må flatene som skal forbindes ligge mellom 60-120° [18].

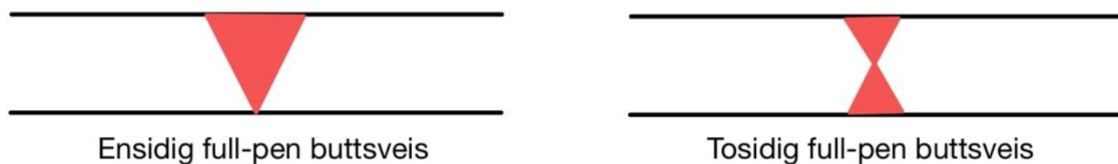


Figur 9: Kilsveis med  $a$ -mål [18].

### 3.3.2. Buttsveis

Ved buttsveising plasseres to metallplater eller profiler sammen og slipes ned slik de kan sveises i ett som vist på figur 10. Det finnes flere forskjellige metoder innenfor buttsveising, men for denne modulen vil det være avgrenset til full-pen buttsveis.

Ved full-pen buttsveising antas kapasiteten til sveisen å være lik dimensjonerende kapasitet for den svakeste delen av forbindelsen etter pkt 4.7.1 (1) [18].



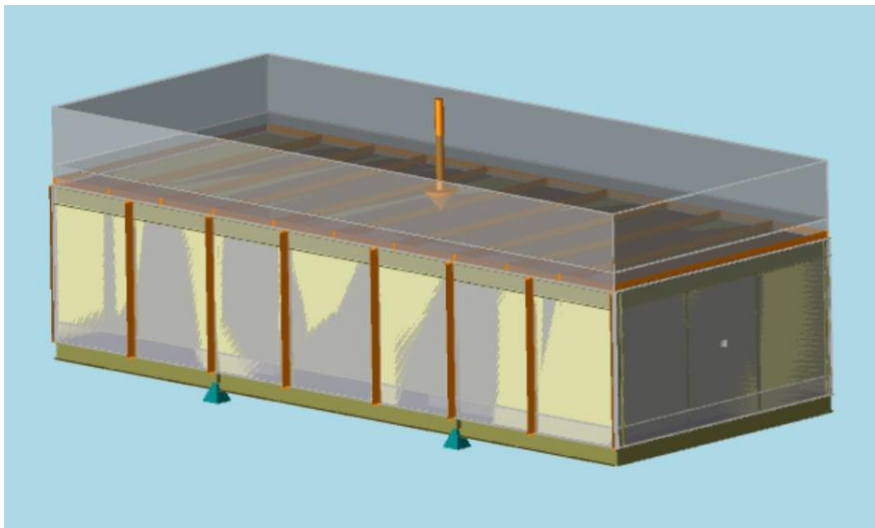
Figur 10: To ulike typer full-pen sveiser.

## 3.4. Programvare

Oppgaven er løst ved hjelp av flere programvarer som er utbredt i offshoreindustrien. Ved hjelp av disse beregningsprogrammene er det mulig å undersøke om den dimensjonerte modulen vil ha tilstrekkelig kapasitet for belastningene som er påført. Det er benyttet Sesam GeniE for design og analyser, Stipla for beregning av plateutnyttelse og stivere, samt Mathcad for å føre beregninger.

### 3.4.1. Sesam GeniE

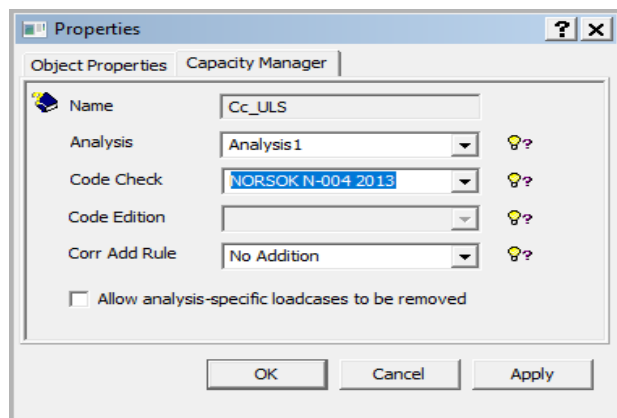
Sesam GeniE er en avansert programvare for design og analyse av konstruksjoner, spesielt utviklet for offshore og maritim industri [19]. Den er utviklet av DNV og er anerkjent for sin evne til å håndtere komplekse strukturer og laster. I prosjektet er Sesam GeniE benyttet i dimensjonering og design av modulen, spesielt på hensyn med bjelker, søyler og plater. Programvaren tilbyr en rekke funksjoner som er spesielt nyttige for slike formål, inkludert kodesjekk, FEM-analyse, lastbilder og mer.



Figur 11: Modul med lastfordeling visualisert. Krefter er visualisert i oransje farge. Hentet fra Sesam GeniE.

FEM-analyse: Sesam GeniE inneholder en kraftig FEM-analysemodell som lar brukerne utføre detaljerte strukturanalyser for å beregne spenninger, deformasjoner og andre resultater under forskjellige lasttilfeller. Denne funksjonen er avgjørende for å forstå konstruksjonens respons på de påførte lastene og å identifisere eventuelle svakheter eller problemområder i designet.

Code Check: Sesam GeniE gir muligheten for automatisk code checking, noe som betyr at man kan sjekke designet opp mot relevante standarder og forskrifter som Eurokodene og NORSOK. Dette sikrer at konstruksjonen oppfyller de nødvendige kravene til styrke, stabilitet og pålitelighet.



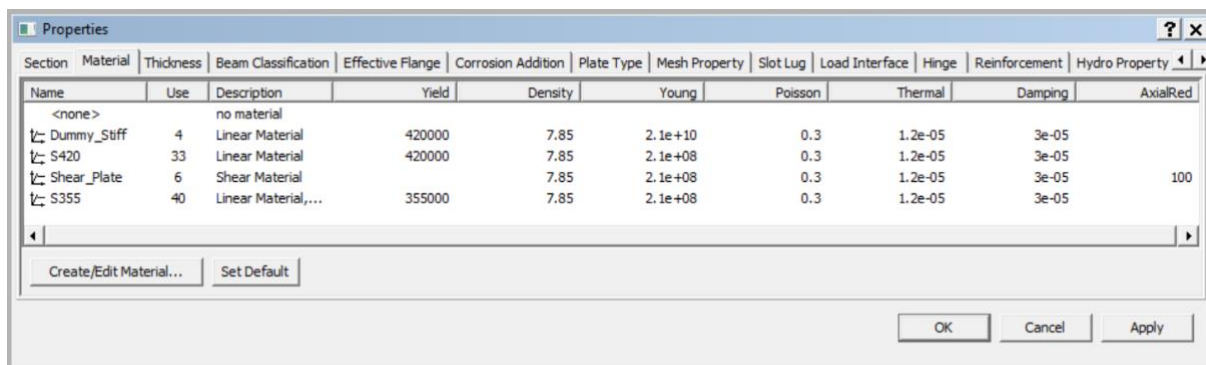
Figur 12: Kodesjekk i Sesam GeniE i henhold til NORSOK N-004.

Lastbilder: Sesam GeniE lar brukerne definere og generere lastbilder for ulike lasttilfeller og lastkombinasjoner. Disse lastbildene er viktige for å visualisere hvordan lastene fordeles i konstruksjonen og for å identifisere kritiske lastkombinasjoner som krever spesiell oppmerksomhet i designprosessen.



Figur 13: Lastbilde i GeniE.

Andre viktige funksjoner: Sesam GeniE tilbyr en rekke andre funksjoner som forenkler design- og analyseprosessen. Dette inkluderer støtte for ulike materialtyper og seksjonsegenskaper, lineære og ikke-lineære analyser, utmattingsevaluering, og integrasjon med andre DNV-programvarer.

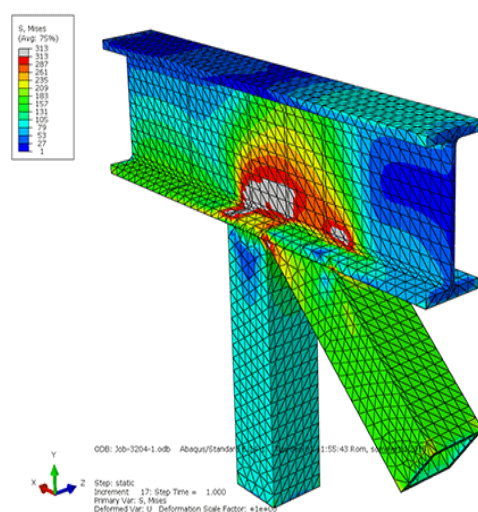


Figur 14: Ulike materialtyper i GeniE.

Ved å benytte Sesam GeniE har det vært mulig å utføre en grundig design- og dimensjonering av stålmodulen, samt å verifisere at den oppfyller alle kravene i henhold til gjeldende standarder og forskrifter. Programvaren har bidratt til å identifisere kritiske lastkombinasjoner og grensetilstander, og dermed sikre en robust og pålitelig konstruksjon.

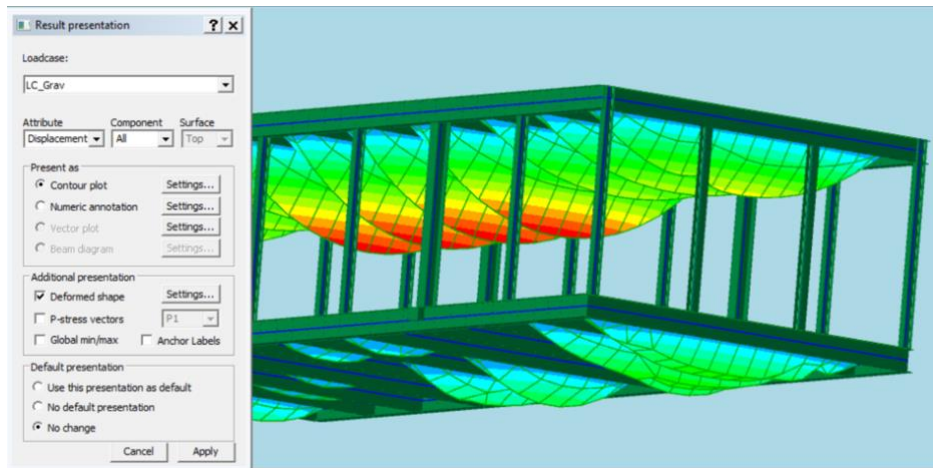
### 3.4.1.1. Finite element analysis (FEM)

Finite Element Analysis (FEM) er en kraftig numerisk metode som brukes til å løse komplekse problemer innen ingeniørvitenskap og fysikk, spesielt for å analysere spenninger, deformasjoner og temperaturfordeling i materialer og konstruksjoner [20]. FEM er basert på prinsippet om å dele noe, som en konstruksjon, inn i et diskret sett med elementer som er sammenkoblet i såkalte noder [20]. FEM har et bredt spekter av anvendelser innen ingeniørvitenskap og fysikk. For prosjektet er det brukt til strukturanalyse.



Figur 15: FEM-modell av et knutepunkt av stål [21].

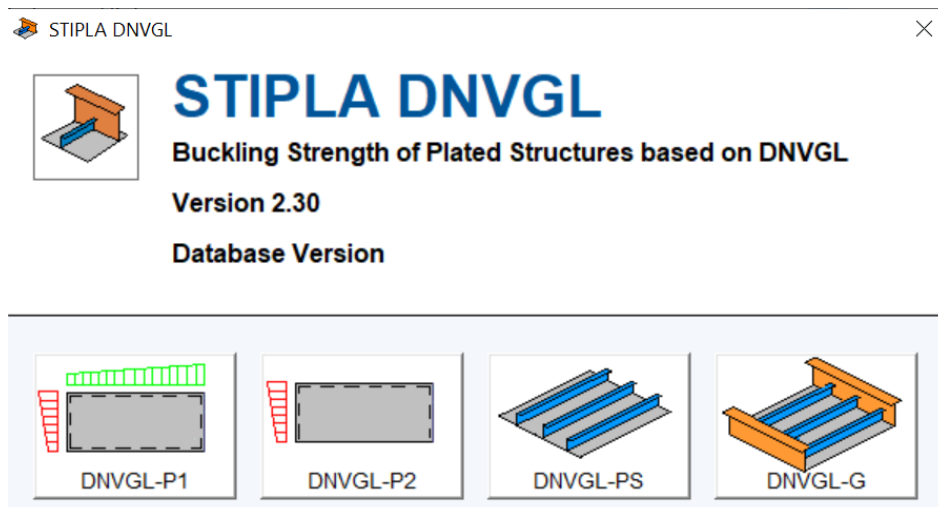
Ved å benytte FEM, har det vært mulig å utføre en grundig strukturanalyse av bjelker, søyler og stålplater under forskjellige lasttilfeller og lastkombinasjoner. Dette har bidratt til å identifisere kritiske lastkombinasjoner og grensetilstander og dermed sikre en robust og pålitelig konstruksjon. Gjennom FEM har det også vært mulig å studere deformasjoner i bjelkene, samt ta ut verdier for platespenning til videre bruk i beregninger.



Figur 16: Nedbøyning i GeniE.

### 3.4.2. Stipla DNVGL

STIPLA DNVGL er en programvare utviklet av DNV, spesielt designet for beregning og optimalisering av stivere og plater i konstruksjoner som plattformen, skip og offshore vindturbinfundamenter. Stivere er viktige komponenter som gir ekstra styrke og stabilitet til konstruksjoner ved å motstå spenninger. Programvaren er basert på DNVs omfattende database av stålprofiler og materialer, samt deres anerkjente regelverk og standarder.



Figur 17: Bilde av STIPLA DNVGL

Programvaren er brukt til å importere og analysere forskjellige parametere og data for å finne den optimale mengden og avstand mellom stivere, samt en passende profiltype for konstruksjonen. Stipla sjekker også utnyttelsen av platene i konstruksjonen. Følgende data og parametere har blitt importert og vurdert i programvaren:

Spenninger i plater: Spenningene i stålplatene som skal overføres til stivere, ble importert og analysert for å beregne de nødvendige størrelsene og mengden stivere for å motstå disse spenningene.

Platetykkelse: Det er importert platetykkelser fra konstruksjonen i programvaren for beregning av plateutnyttelse.

Spennvidde på bjelker og stivere: Spennviddene på bjelker og stivere ble importert og analysert for å bestemme en god stiveravstand og de nødvendige profilene for å motstå lastene.

Forskjellige profiler på stivere: Forskjellige stiverprofiler ble vurdert og sammenlignet i programvaren for å finne den mest egnede profilen som tilbyr optimal styrke og stabilitet for konstruksjonen.

### **3.5. Avstivning**

For at en konstruksjon skal være stabil, må den ha tilstrekkelig avstivning i forhold til kreftene som påvirker den. Avstivning kan defineres som elementer i en konstruksjon som gir stivhet og motvirker deformasjon og bevegelse [22].

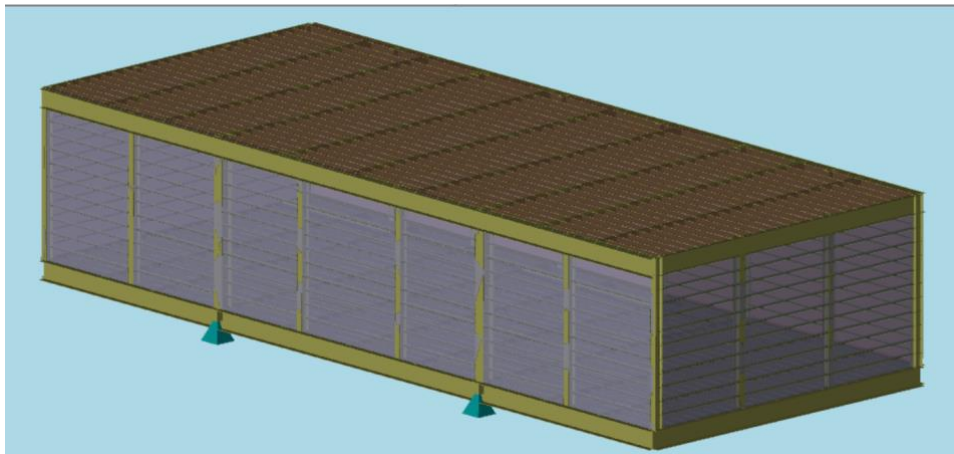
Det finnes flere måter å avstive bygninger globalt på. For større bygningskonstruksjoner er det ofte vanlig å bruke heissjakter som avstivning [23]. En typisk offshore-modul derimot, er ofte avstivet med skrå staver, plater på sidene av modulen eller en kombinasjon av begge.

## 4. Design

Designet av modulen vil bli gjennomført i henhold til NORSOK og Eurokode-krav i tillegg til relevante kundekrav i prosjektet. I de neste underkapitlene vil hovedaspektene til en modul diskuteres grundigere og det vil presenteres ulike designalternativer. Det vil også vurderes forskjellige utstyrsplasseringer som er undersøkt gjennom designprosessen.

### 4.1. Generelt om modulen

Elektromodulen som skal dimensjoneres befinner seg ca. 70 meter over havet og har et størrelseskrav på 37.3m x 15.3m x 8m. På innsiden av modulen skal det plasseres elektrisk utstyr og på toppen skal det være et lastedekk.

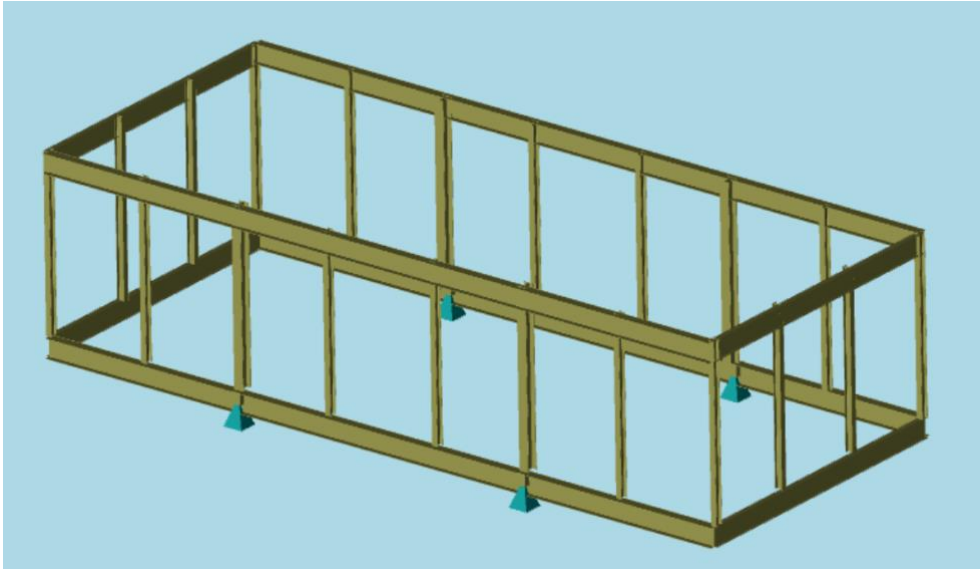


*Figur 18: Modul med alle strukturelle komponenter i GeniE*

Modulen som dimensjoneres, følger en etablert prosedyre som innebærer fullstendig montering på land før den transporteres ut til Oseberg A plattformen. Denne metoden er foretrukket og mye brukt innen industrien, da den gir mulighet for grundig inspeksjon, testing og kvalitetskontroll under trygge og kontrollerte omgivelser på land. På denne måten reduseres risikoen for feil og komplikasjoner under installasjonen på plattform, og man oppnår en mer effektiv og sikker konstruksjonsprosess [16].

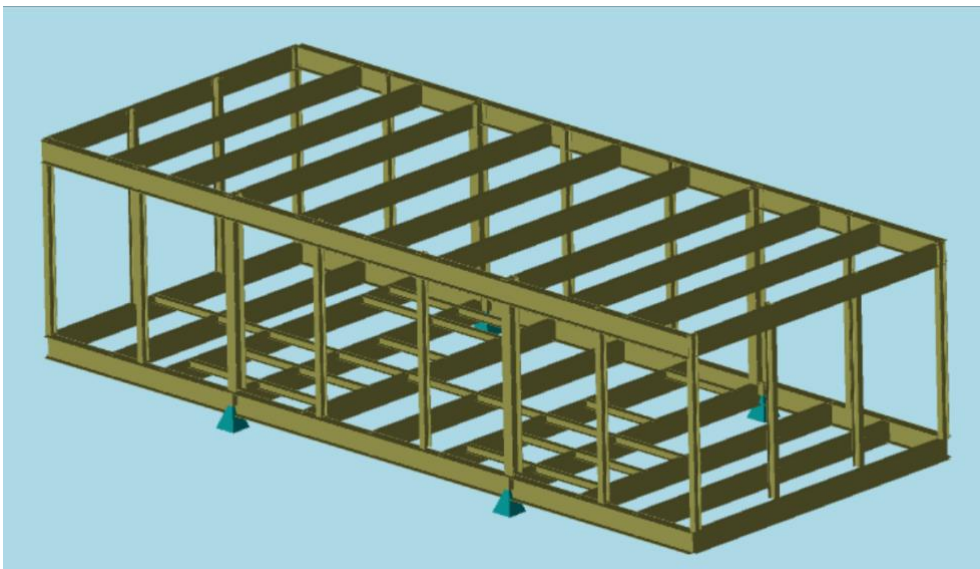
En modul består av flere nøkkelkomponenter som arbeider sammen for å opprettholde strukturell integritet og overføre laster fra utstyr og miljøpåvirkning. Hovedrammen er en viktig del av modulen og er konstruert av kraftige bjelker som omgir hele modulen, samt flere robuste søyler mellom de to nivåene. Denne rammen er designet for å bære og distribuere lastene effektivt.





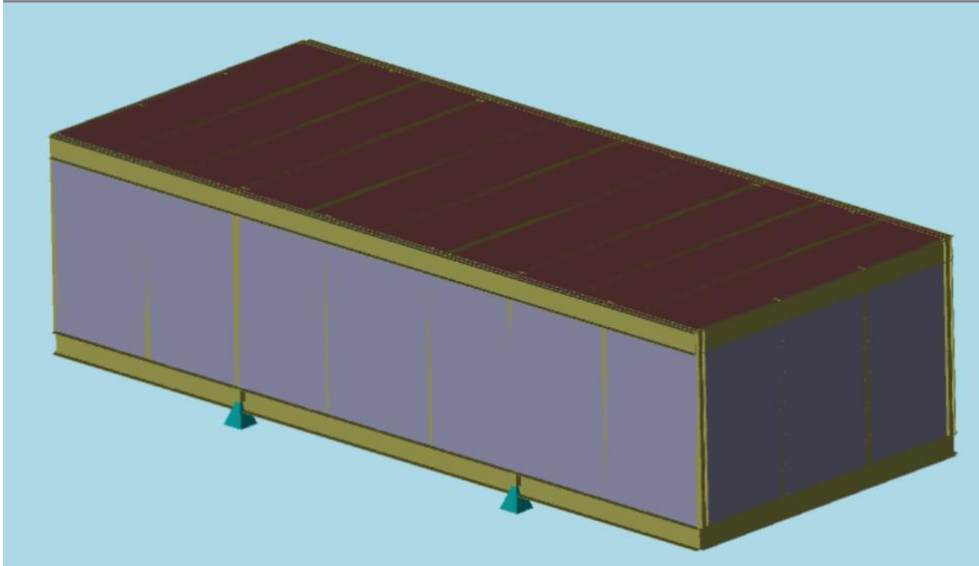
*Figur 19: Hovedramme og opplegg i GeniE.*

Innenfor hovedrammen er det tverrgående bjelker som overfører krefter videre inn i hovedrammen. Utstyrets spesifikke fotavtrykk har ført til at det er plassert ytterligere mindre bjelker for å overføre krefter fra utstyret inn i de tverrgående bjelkene og deretter inn i hovedrammen.



*Figur 20: Hovedramme med bjelker i Geni*

For å beskytte utstyret mot ulike ytre påkjenninger er modulen innkapslet av horisontale plater på topp og bunn av modulen, samt vertikale plater på alle sidene. Disse platene fungerer også som avstivning for modulen og bidrar til å fordele belastninger og motstå deformasjoner.



Figur 21: Hovedramme, bjelker og ytre plater i GeniE.

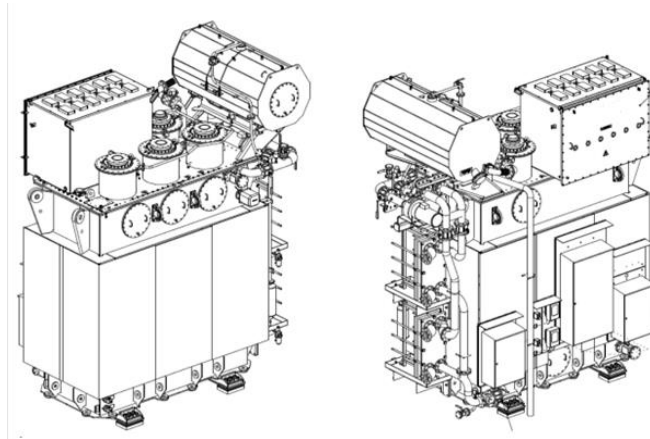
For å forhindre uønskede spenninger og deformasjoner i platene, for eksempel fra eksplosjonslaster, vil stivere bli plassert i alle platefelt. Stiverne hjelper med å overføre krefter til hovedbjelkene og bidrar til modulens strukturelle stabilitet. Se figur 18.

#### 4.2. Utstyr (størrelse, vekt, plassering)

Inne i modulen vil det komme mye nytt elektrisk utstyr for å elektrifisere Oseberg A plattformen. Dette utstyret omfatter Gas Insulated Switchgear, to SFC Transformers, to SFCer, en Boiler , en Boiler Transformer og seks Tote tanks.

Elektrisk utstyr	Vekt [tonn]	Størrelse (LxDxH) [mm]
Gas insulated switchgear (GIS)	35.1	11395x4349x4111
Transformer SFC A	72	4515x3117x4908
Transformer SFC B	72	4515x3117x4908
Static Frequency Converter A (SFC A)	12.1	12200x1069x2341
Static Frequency Converter B (SFC B)	12.1	12200x1069x2341
Boiler transformer	38	3550x2750x5000
Boiler	38.64	8700x4900x5900
Tote tanks (6 stk)	10	2990x1850x2290

Figur 22: Liste over utsyr i elektromodul ref oppgavebeskrivelse.



Figur 23: Typisk transformator. Bilde tatt fra oppgavebeskrivelse.

Som en del av designprosessen er det forsøkt flere ulike plasseringer av utstyret for å effektivisere/optimalisere kraftoverføring videre i modulen. Samtidig er det viktig med god symmetri, slik tyngdepunktet til modulen befinner seg nærmest mulig geometrisk senter. Dette vil føre til at en eventuell løfteprosess vil være enklere å dimensjonere og utføre på en sikker og hensiktsmessig måte.

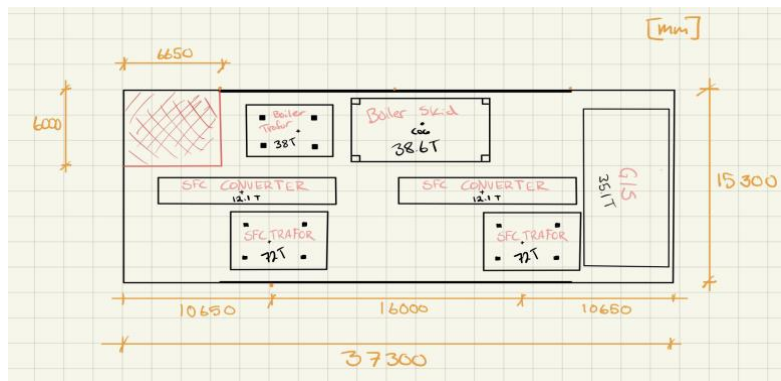
Et viktig aspekt av utstyrsplasing er nødvendigheten av å posisjonere visse komponenter i nærheten av hverandre på grunn av drifts- og brukskrav. Dette gjelder SFC-transformator med SFC, samt for Boiler skid med Boiler-transformator.

I et 6m x 6m område i sør-vest delen av konstruksjonen ønsket man å unngå utstyr ettersom det allerede er eksisterende utstyr/konstruksjon der. Grunnet usikkerheter angående dette, vil det ikke bli omtalt videre.

I startfasen er det brukt god tid til å tegne og planlegge ulike plasseringer av utstyret.



Figur 24: Skisser av plasseringsmuligheter



Figur 25: Valgt plassering.

En modul er avhengig av å ha flere innganger for å kunne være funksjonell. Ved en nødsituasjon er det viktig å kunne bevege seg raskt og fritt inne i modulen og ha flere muligheter for å komme seg ut. Plassering av utstyr har derfor vært essensielt for designet av modulen. Dårlig innvendig planløsning skaper funksjonalitetsproblemer og det kan i verste fall gi katastrofale følger. Inngangene vil ikke bli modellert inn i GeniE, men de tiltenkte inngangsplasseringene er vist på fig 30.

### 4.3. Forskjellige design

Under designprosessen er en rekke alternative løsninger utforsket, og etter grundige vurderinger er tre av disse alternativene valgt for videre analyse. Det første alternativet er designet med seks opplegg, og de to andre er designet med fire opplegg. Ved hjelp av programmet Sesam GeniE er designene modellert og gjennomgått i henhold til NORSOK og Eurokoder.

Det er bestemt noen punkt som designene bør vektlegge:

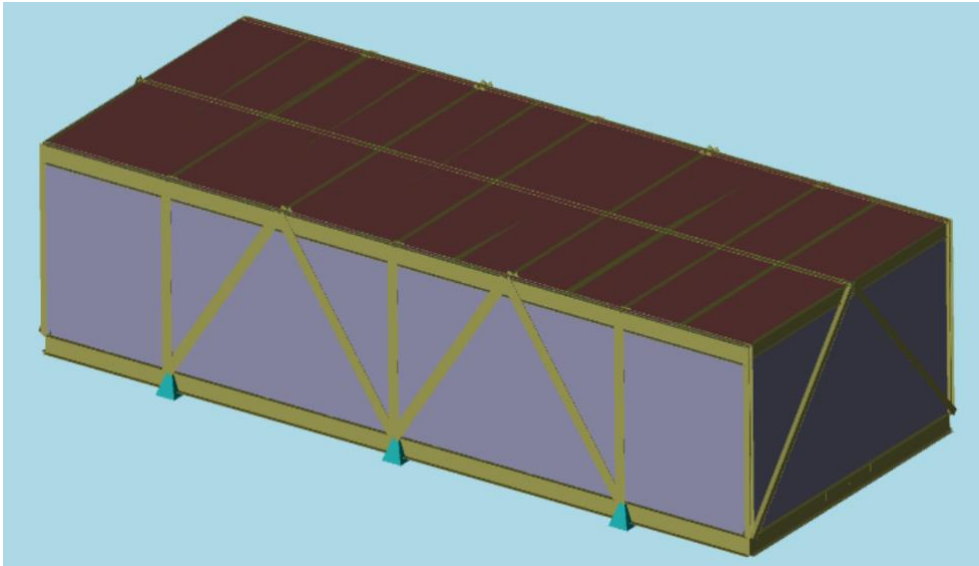
**Minimalisere mengden ulike profiler:** For å redusere sannsynligheten for feil i modulen, samt simplifisere dimensjonering- og konstruksjonprosessen, er det valgt å redusere antallet ulike profiler istedenfor å optimalisere hver enkelt.

**God planløsning:** For at det ikke skal oppstå problemer under drift eller i en krisesituasjon er det viktig at alt utstyr, samt utganger er lett tilgjengelig.

**Tunge laster nært opplegg:** For å få en mest mulig effektiv kraftoverføring i konstruksjonen er det valgt å ha det tyngste utstyret nærest mulig opplegg.

#### 4.3.1. Alternativ 1

Det første alternativet er forsøkt designet med seks opplegg. Basert på at lengden av modulen er på 37 m, vil en løsning med seks opplegg gjøre at spennet på rammebjelken reduseres. Plasseringen av oppleggene er valgt i forhold til de sterkeste punktene på den eksisterende modulen som skal ta imot kreftene.



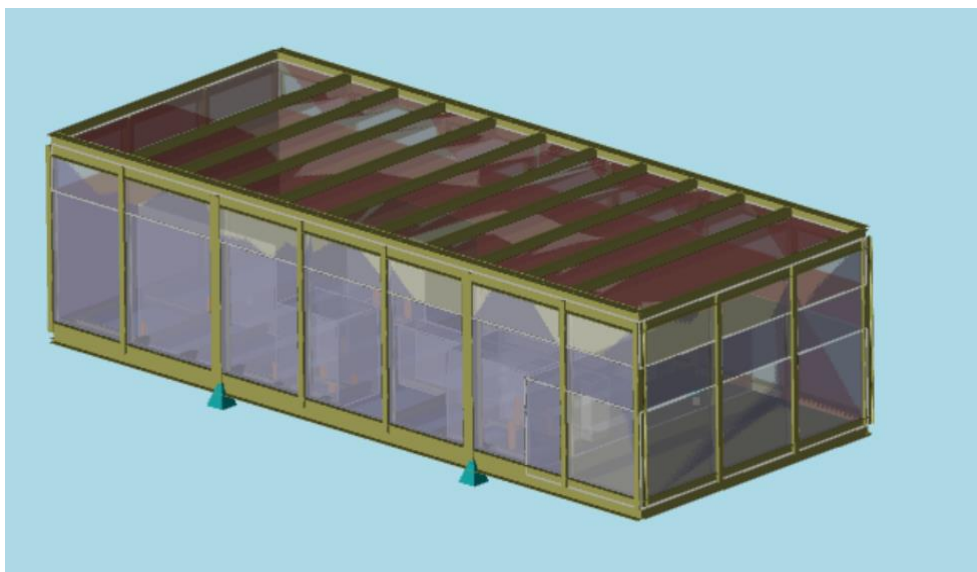
Figur 26: Design - Alternativ 1 - GeniE

Ved designet er det tegnet inn flere skråstaver, med hovedformål om å stive av konstruksjonen. Det er essensielt for en konstruksjon at den har nok avstiving i forhold til de horisontale kreftene som virker på konstruksjonen. Etter ytterligere undersøkelser er det konkludert med at de ytre platene tilbyr tilstrekkelig avstiving for å motstå de horisontale kreftene som oppstår i modulen. Dermed er skråstaver unødvendig for modulen. Etter nøye undersøkelser er det konkludert med at det også vil være bedre å kun ha to opplegg på hver side for å ha bedre kontroll på kraftfordelingen i konstruksjonen.

Ettersom det vil komme en del utsparinger i platene på modulen, er det nødvendig å innramme disse ved bruk av stiverbjelker. Det er gjort for å være sikker på at platene ikke får nedsatt avstivningskapasitet og opprettholder tilfredsstillende avstiving for konstruksjonen. Forenklet blir ikke utsparinger regnet på eller analysert.

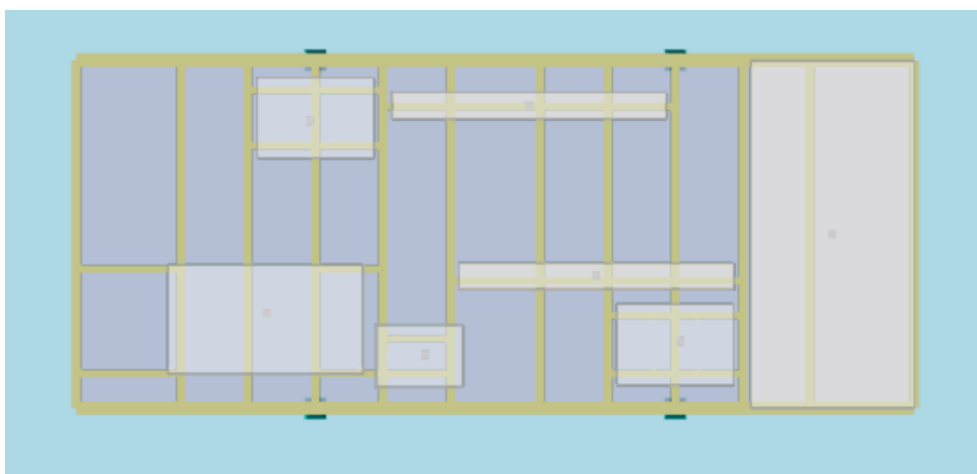
#### 4.3.2. Alternativ 2

Ettersom det er fastslått at fire opplegg i konstruksjonen vil være sikrere beregningsmessig, har det grunnlaget for videre design av modulen. Videre er det heller ikke benyttet skråstag for avstiving av konstruksjonen, grunnet platenes tilstrekkelige kapasitet for å tåle de horisontale kreftene.



Figur 27: Design - Alternativ 2 - GeniE

Avstandene mellom oppleggene er forsøkt optimalisert for å ta hensyn til både dimensjonering i bruddgrense, bruksgrense og ulykkesgrense. I praksis bør oppleggene plasseres i de beste kontaktpunktene på eksisterende modul, men for denne oppgaven er det valgt å prøve å finne en mer gunstig plassering i forhold til punktene nevnt over.

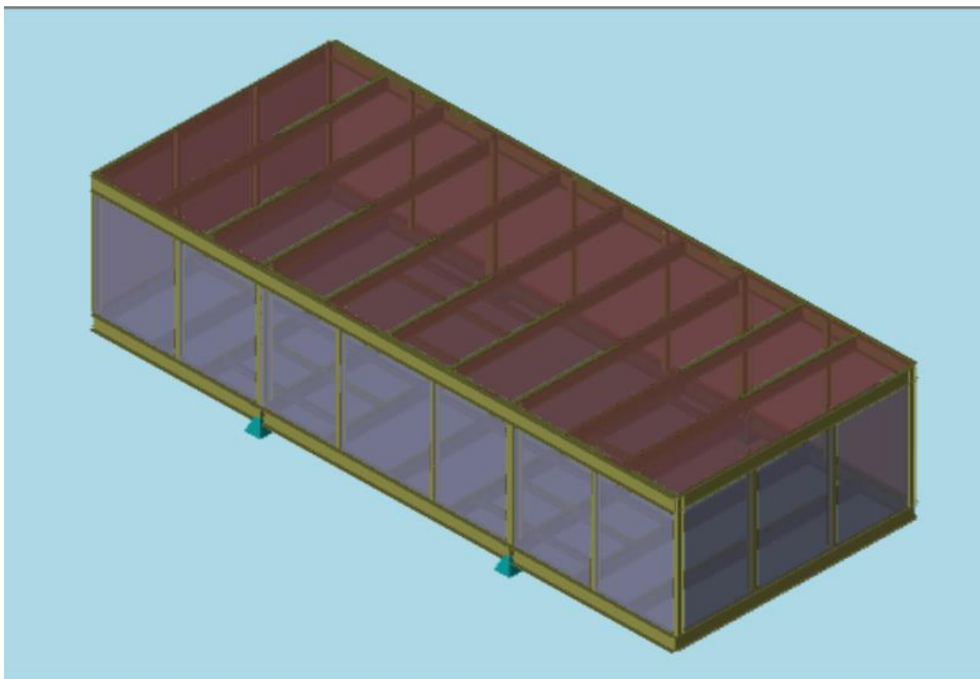


Figur 28: Utstyrsplassing - Alternativ 2 - GeniE

Ved bruk av to opplegg på hver side vil rammebjelken få to utkragere. I designet vil lengden av utkragerne være 10.65 m, mens avstanden mellom oppleggene er 16.0 m. Utstyret ble forsøkt plassert i henhold til hvor oppleggene er plassert. Plasseringen er god for tyngdepunktet og balansen, men i henhold til tilkomst og effektivitet er det mulighet for forbedring.

#### 4.3.3. Alternativ 3

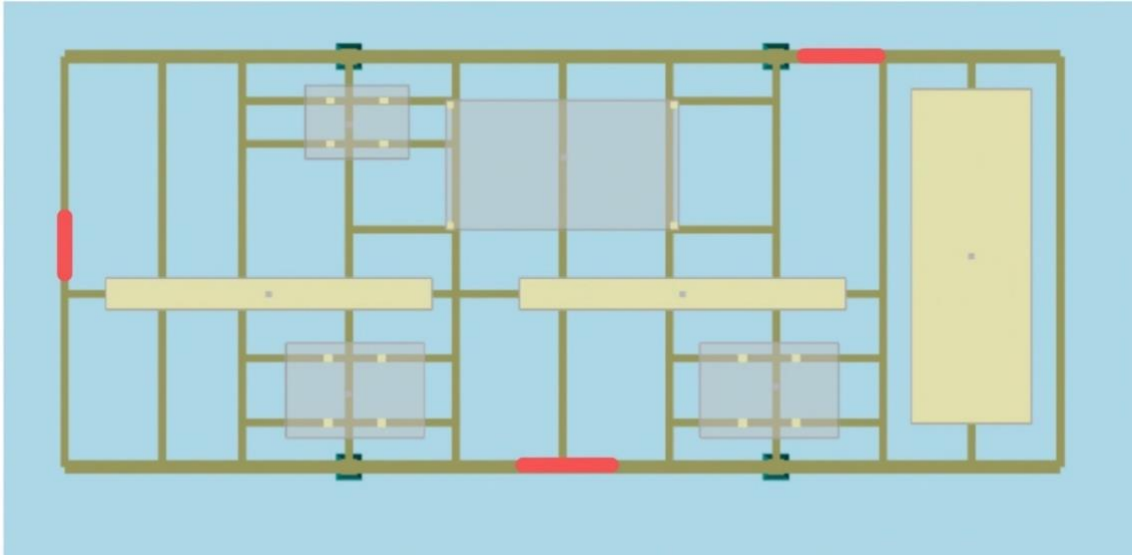
Etter fullførelsen av design i alternativ 2 er det foretatt en iterativ prosess med sikte på å forbedre plasseringen av utstyr samt optimalisering av bjelker og søyler i henhold til profiler og plassering. Forsøk er også gjort for å endre plasseringen av oppleggene, men etter flere iterasjoner er det konkludert med at plasseringene i design 2 er tilstrekkelig.



Figur 29: Design - Alternativ 3 - GeniE

Designet til denne modulen er svært likt designet i punkt 4.3.2, men med små endringer i plassering av utstyr og bjelker, samt bruk av ulike profiler. Forskjellen i utstyrs plasseringen er hovedsakelig implementert for å oppnå en mer systematisk utseende modul, bedre tilkomst og for å plassere tyngdepunktet så nær modulens geometriske senter som mulig. Ettersom de fleste andre laster som påvirker modulen er jevnt fordelt utover arealet, er nøyaktig plassering av utstyr avgjørende for å oppnå ønsket tyngdepunkt.

Etter nøye vurderinger og undersøkelser i Sesam GeniE, er det konkludert med at denne plasseringen av utstyret både oppnår god symmetri og arealeffektivitet. Som et resultat av disse faktorene er dette designet valgt for videre utvikling og arbeid i prosjektet.



Figur 30: Valgt plassering av utstyr og design. Planlagte utganger markert i rødt.

#### 4.4. Opplagerbetingelser

Ettersom de vertikale kreftene i modulen er vesentlig større enn de horisontale kreftene fra miljøbelastninger, og det derfor ikke foreligger et stabilitetsproblem i form av velt, er det besluttet å ikke inkludere rotasjonsstivhet i støttepunktene. Dette valget, sammen med ønsket om å unngå overføring av momenter til den eksisterende modulen, fører til at fastlager er valgt som den foretrukne løsningen for støttepunktene.

#### 4.5. Knutepunktsbetingelser

Knutepunktene i modulen vil bli designet som momentstive. Dette vil bli gjort ved bruk av forskjellige sveiseteknikker. Et momentstivt knutepunkt vil si at det vil bli overført momenter fra den ene delen av knutepunktet til den andre. For å ha sterke og gode forbindelser skal det implementeres stivere på baksidene av hvert knutepunktene for å sikre god kraftoverføring.



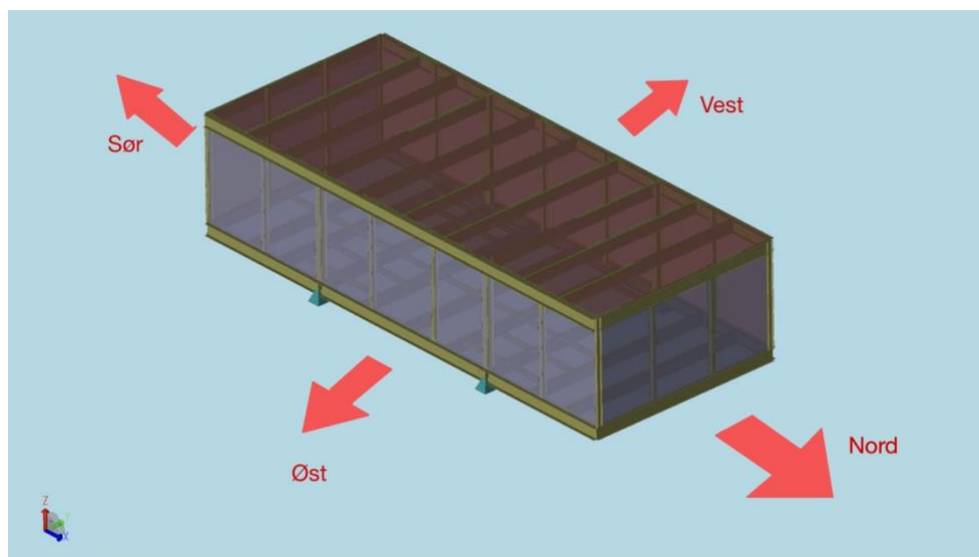
## 5. Analyse

Elektromodulen er kontrollert for utnyttelser i både ULS, ALS samt nedbøyning for SLS ved bruk av FEM-analyse i Sesam GeniE. Programvaren har blitt brukt til å modellere geometri, laster, lastkombinasjoner, samt kodesjekkning. Stivere er blitt dimensjonert i STIPLA og knutepunktsberegninger er gjort manuelt. Noen av de mest utnyttede elementene er kontrollberegnet for hånd. Alle analyser og kontroller har blitt gjort i henhold til NORSOK og Eurokodene.

### 5.1. Modell

#### 5.1.1. Generelt

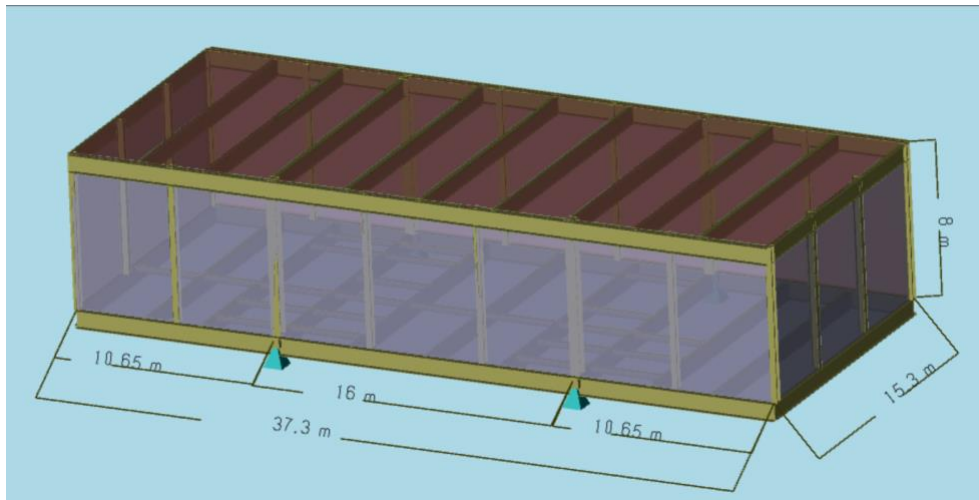
Sesam GeniE-modellen inkluderer alle hovedstålkomponenter, opplegg, laster, utstyr og plater. Stivere er ikke direkte inkludert i modellen, men er beregnet ved hjelp av STIPLA-programvaren, og vekten er implementert i analysemodellen.



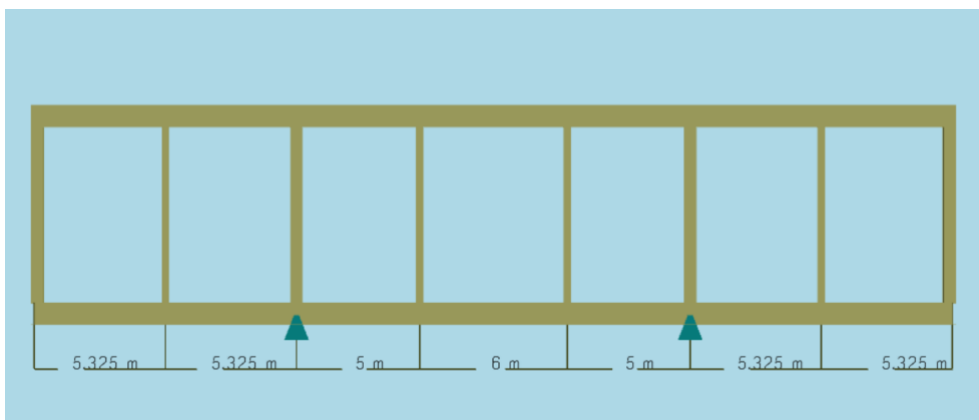
Figur 31: Modulen med himmelretninger.

### 5.1.2. Geometri

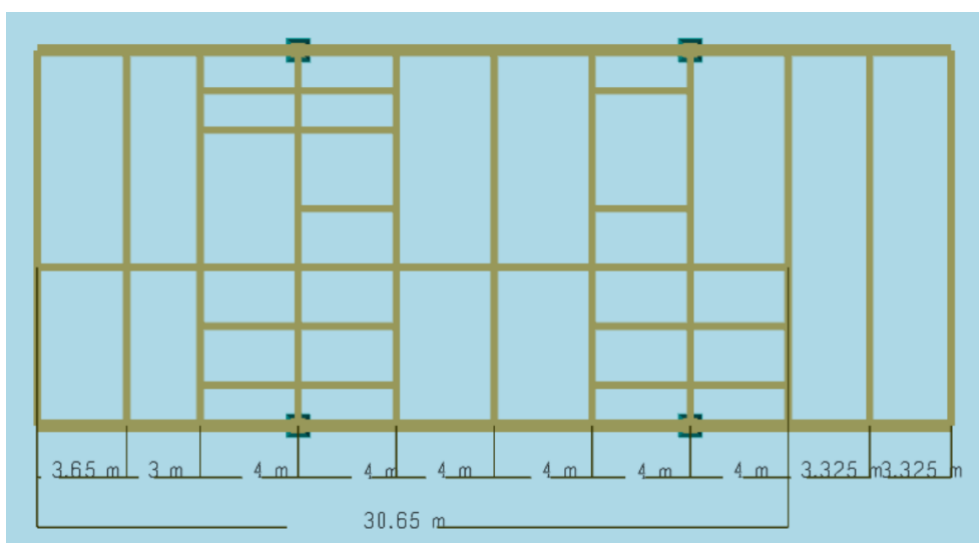
For nøyaktige avstander og geometri for modulen, se figur 32-36.



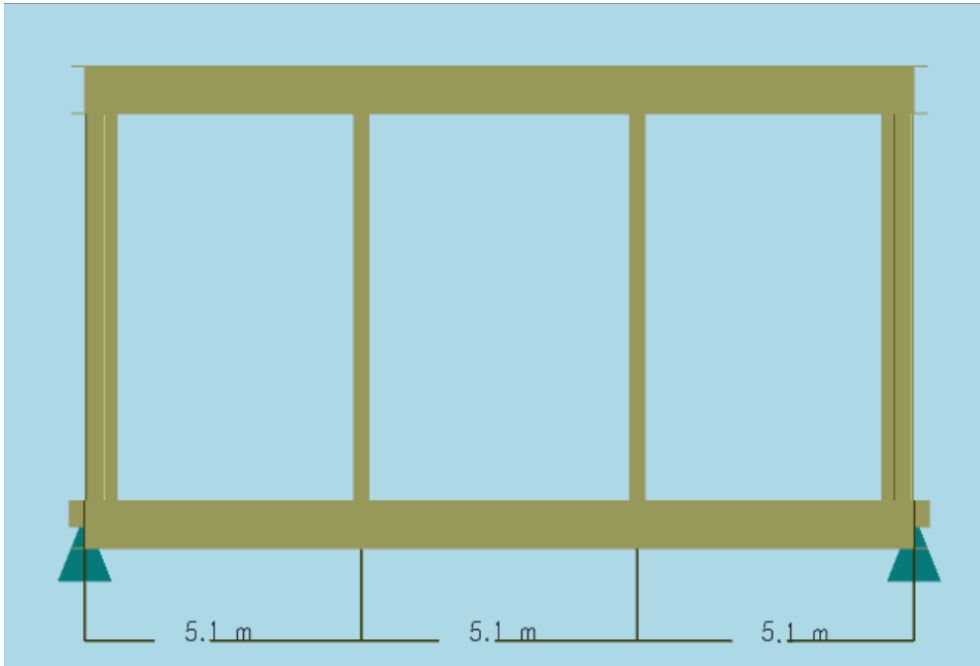
Figur 32: Modulens dimensjoner - GeniE



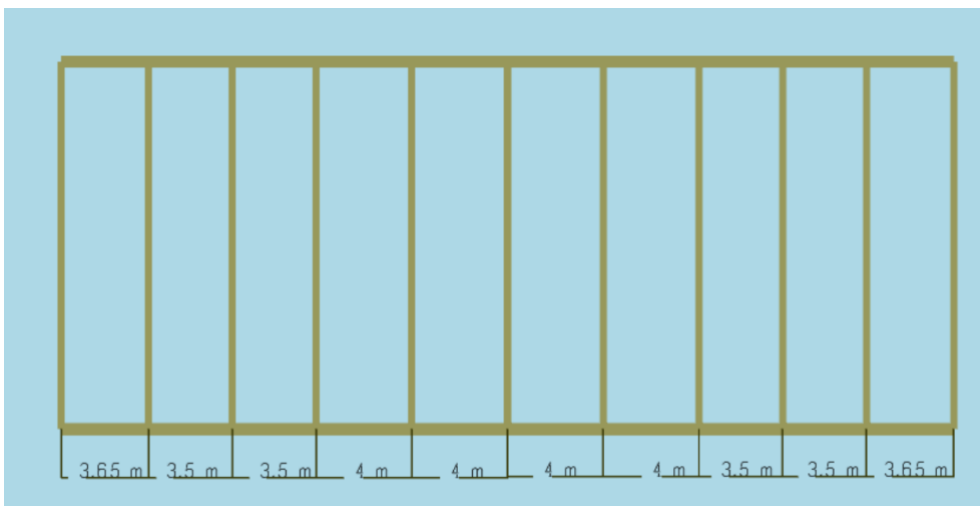
Figur 33: Søyleavstander – Øst og Vest – GeniE



Figur 34: Bjelkeavstander - Nivå 1 – GeniE



Figur 35: Søyleavstander - Nord og Sør – GeniE



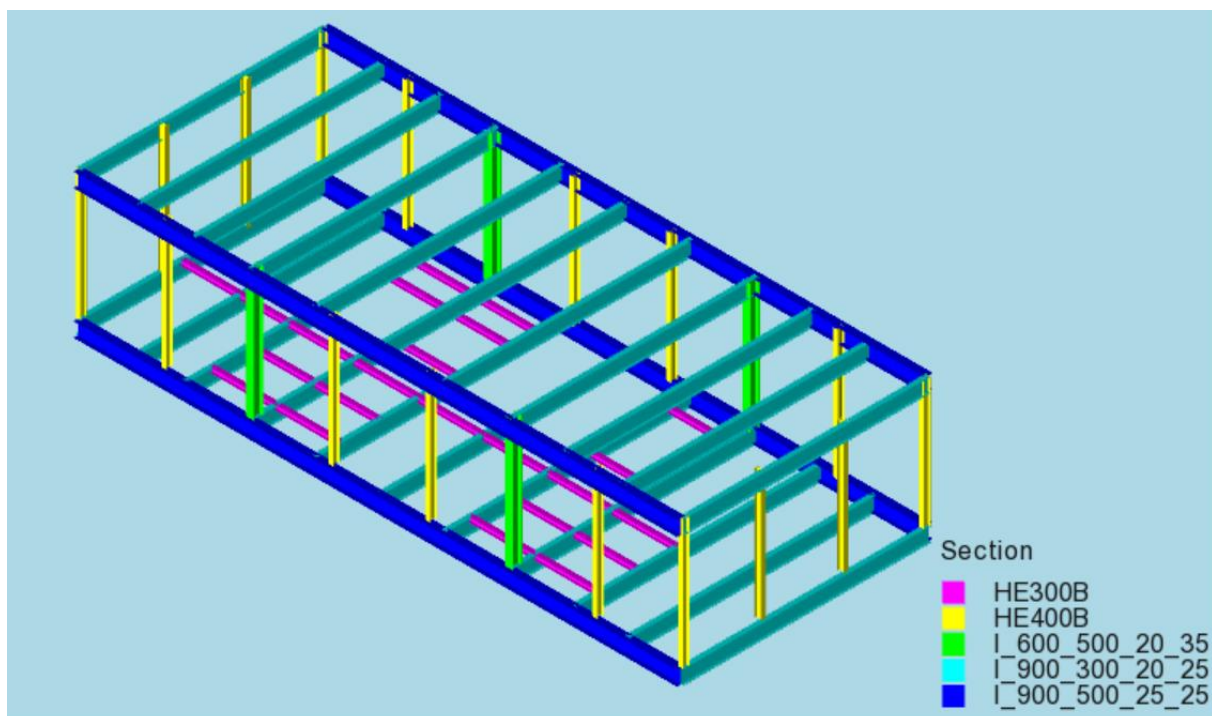
Figur 36: Bjelkeavstander - Nivå 2 (Laydown area) – GeniE

### 5.1.3. Materialer

Standardprofiler og stiverne i prosjektet er laget av S355-stål, mens de sammensveisede profilene er laget av S420. I den anvendte GeniE-modellen er platene innarbeidet med et såkalt "skjærmateriale". Dette teoretiske materialet er spesifikt konstruert for å unngå å ta opp aksialkraft. Dette er fordi aksialkraften på platene vil bli tatt opp av stiverne som ikke er modellert inn i GeniE. Denne metoden skaper det mest realistiske kraftbilde i GeniE.

### 5.1.4. Profiler

Ved å kontinuerlig overvåke kapasitetsmodellen og identifisere dimensjonerende faktorer for hver enkelt konstruksjonsdel i GeniE, har det vært mulig å raskt endre profiltipe og observere resultatene av endringene. Der det er mulig brukes standardprofiler, mens sammensveiste, spesiallagde profiler er brukt etter behov. Ettersom det ikke er spesifikke krav til profilstørrelser i prosjektet, er de derfor optimalisert for enkelhet og styrke. For å forenkle konstruksjonen, er antallet ulike profiler minimert, noe som resulterer i mange like knutepunkt, redusert sannsynlighet for feil og dermed en generelt sikrere konstruksjon.

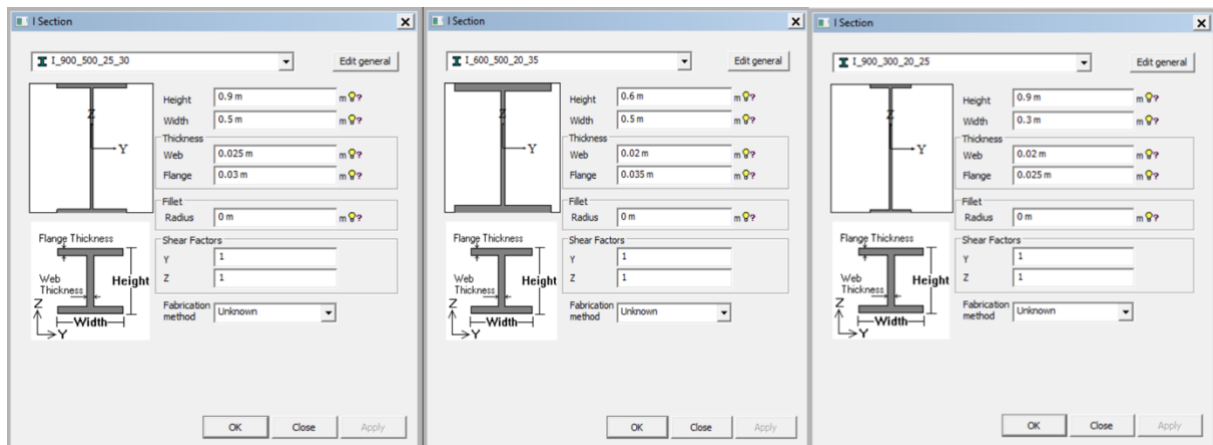


Figur 37: Oversikt over profilbruk i modulen.

#### 5.1.4.1. Sammensveiste profiler

Ved å analysere hvilke formler i NORSOK og Eurokoden som er dimensjonerende for elementene, har det vært mulig å optimalisere dem for de ulike opptredende lastvirkningene. For eksempel, dersom momentet om sterk akse er dimensjonerende og medfører en overskridelse av utnyttelsen, vil bjelkehøyden økes for å sikre tilstrekkelig kapasitet. Dersom skjærknemming deretter blir et problem, vil stegtykkelsen økes. Ettersom antallet ulike profiler holdes til et minimum, medfører det at hvert enkelt element ikke blir utnyttet like hardt. Det er absolutt mulig å øke utnyttelsen for ethvert element ved å øke antall ulike profiler, men etter ønske fra Aibel, er det ikke gjort.

Etter gjentagende kapasitetskontroller og nedbøyningsresultater er tre spesialdesignede profiler valgt for konstruksjonen. Profilen I\_900\_300\_25\_30 benyttes i hovedrammen, I\_600\_500\_20\_35 anvendes for de fire kraftigste søylene, og I\_900\_300\_20\_25 benyttes som tverrbjelker i konstruksjonen. Videre vill disse profilene bli referert til som I900x300, I600x500 og I900x500.



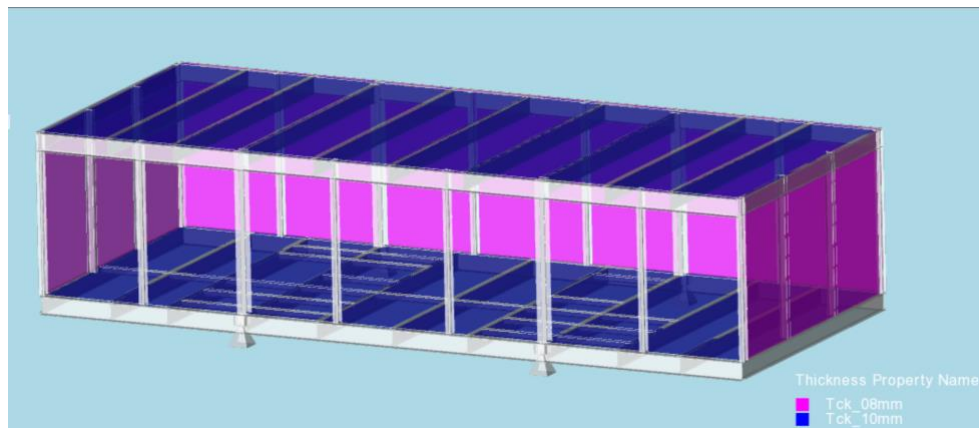
Figur 38: De ulike sammensveiste profilene.

#### 5.1.4.2. Standardprofil

Gjennom analysene konkluderes det med at HE300B er tilstrekkelig for å overføre krefter fra utstyr til de tverrgående bjelkene og HE400B er brukt for alle søylene, unntatt de fire kraftigste ved oppleggene.

### 5.1.5. Platetykkelse

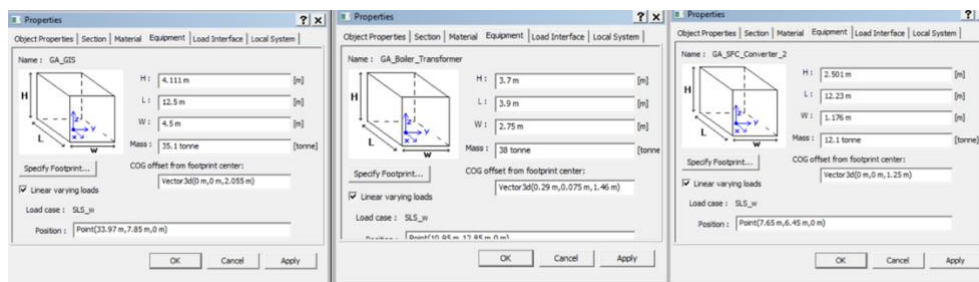
For platene i konstruksjonen er det benyttet to ulike tykkelser. De vertikale platene har en tykkelse på 8 mm, ettersom spenningene er lave og behovet for avstiving mot miljøpåvirkninger er lavt. Erfaringstall sier derimot at det er lurt å beholde 10 mm for horisontale plater.



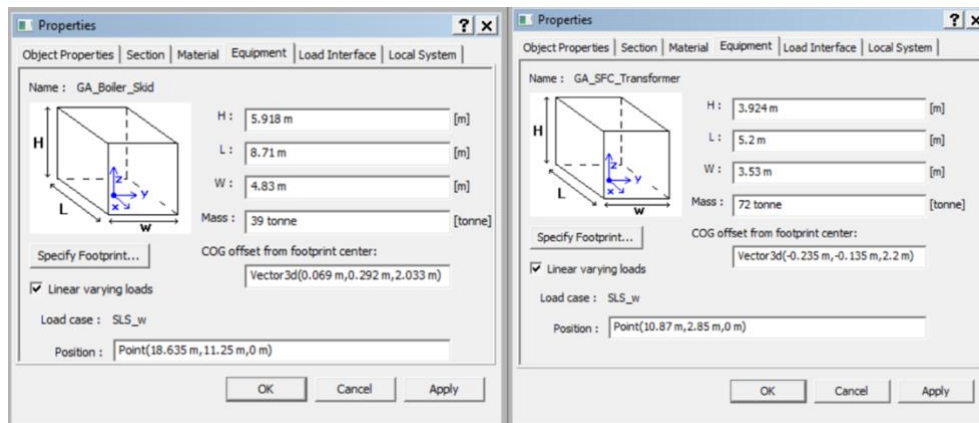
Figur 39: Oversikt over de ulike platetykkelsene i modulen. (8mm og 10mm)

### 5.1.6. Utstyr

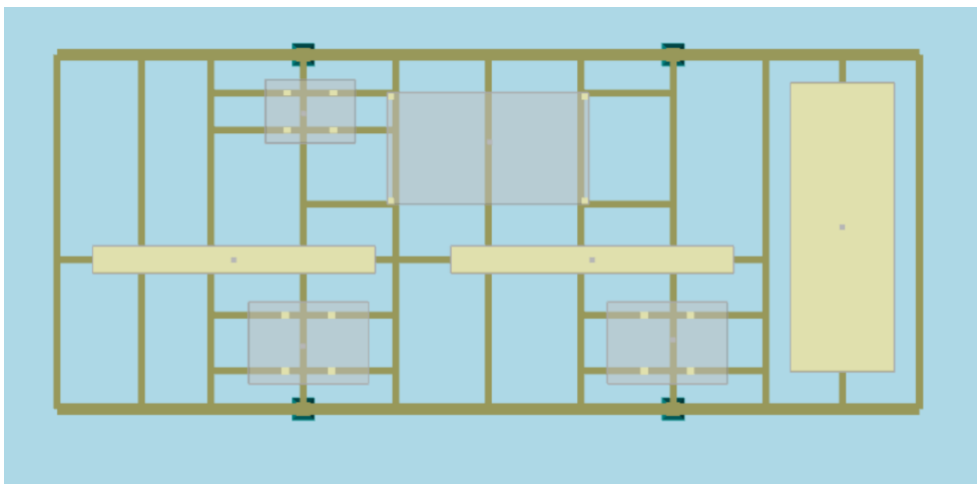
Utstyret er integrert i GeniE ved hjelp av dimensjoner, vekt, fotavtrykk og tyngdepunkt som er innhentet fra de tildelte tegningene. I GeniE ble størrelsene implementert med service-space for å sikre tilstrekkelig plass rundt alt utstyret.



Figur 40: Eksempel på hvordan utstyr er implementert i GeniE



Figur 41: Eksempel på hvordan utstyr er implementert i GeniE



Figur 42: Utstyret plasser på nivå 1 – GeniE

## 5.2. Laster

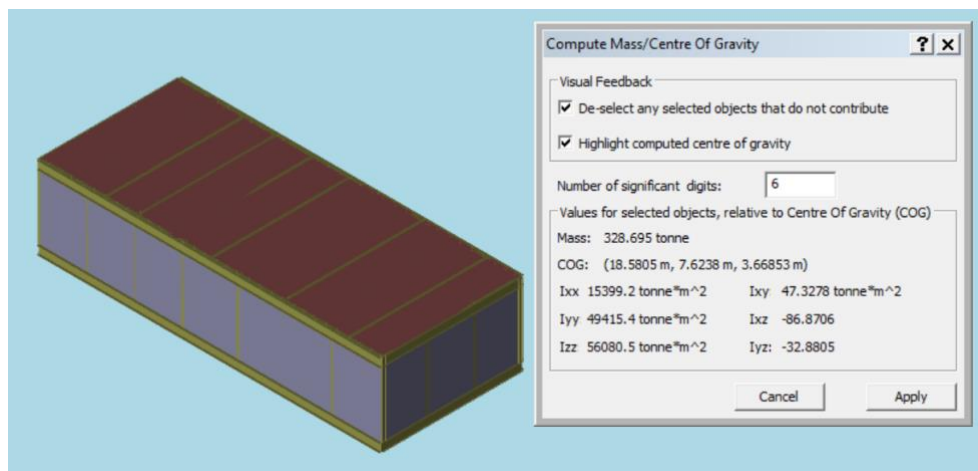
### 5.2.1. Permanente laster

De permanente lastene i modulen representerer en betydelig andel av de totale lastene som påvirker konstruksjonen og har blitt grundig evaluert gjennom design- og dimensjoneringsprosessen.

Beregning av lastene fra stiverne har blitt utført manuelt, mens egenvekt av hovedstål og plater er beregnet ved hjelp av GeniE-programvaren. Lastene fra utstyret er oppgitt og integrert i den strukturelle modellen.

### 5.2.1.1. Egenvekt

Egenvekten inkluderer vekten av hovedstål, stivere og plater. På grunn av de store profilene utgjør hovedstålet betydelige laster. Stivernes vekt er beregnet manuelt og er lagt inn som en jevnt fordelt last på vegger, gulv og lastedekk. Totalt utgjør stiverne en vekt på 9.1 tonn for både lastedekk og gulv, 4.5 tonn ved begge langsider, og 1.8 tonn ved kortsidene. Det ble antatt konservative laster tidlig i designprosessen før profil og avstand ble bestemt, og de er derfor vesentlig større i modellen. Det gir derimot en god margin for eventuelle endringer i profil, stiveravstand, ekstra laster eller lignende. Vekten av hovedstål og plater er beregnet til 330 tonn ved bruk av GeniE.



Figur 43: Modulen, vekt og tyngdepunkt (COG) - GeniE

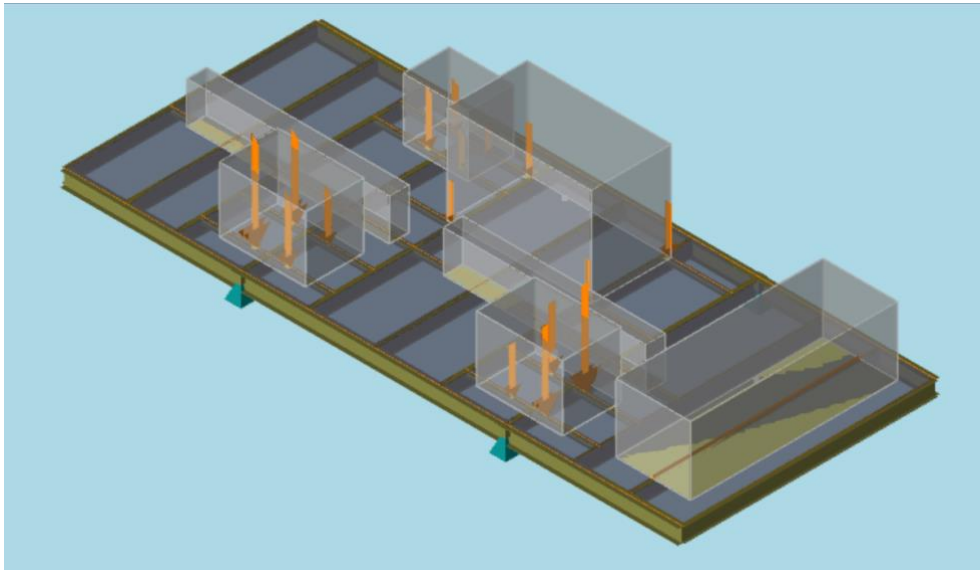
### 5.2.1.2. Utstyr

Vekt, tyngdepunkt og fotavtrykk for utstyret er angitt i plantegninger og er inkludert inn som utstyr i GeniE. Fotavtrykket og tyngdepunktet for utstyret har stor betydning for fordelingen av laster på bjelkene. GeniE tar hensyn til dette, men for å sikre riktig lastfordeling, er det valgt hvilke bjelker som skal bære kreftene fra utstyret ved hjelp av et såkalt Load Interface.

Tote tankene vil plasseres på toppen av modulen, men ved overslagsberegninger er det fastslått at lasten på dekke er større enn vekten av tote tankene. Ettersom disse ikke kan være på samme plass ved samme tid, er det valgt å neglisjere tote tankene, og de er dermed ikke lagt inn i GeniE.

$$Tote\ tank = \frac{10\ tonn}{2m * 3m} = 1.67 \frac{tonn}{m^2} < Last\ dekke = 2.2 \frac{tonn}{m^2}$$





Figur 44: Utstyr med lastfordeling - GeniE

## 5.2.2. Variable laster

### 5.2.2.1. Vind

Plattformer i åpent hav er særlig utsatt for betydelige vindlaster på grunn av deres eksponerte beliggenhet og fravær av naturlige barrierer som kan redusere vindhastigheten. Det er derfor viktig å utforme og dimensjonere slike konstruksjoner for å motstå sterke vindkrefter gjennom hele levetiden.

I denne spesifikke situasjonen befinner modulen seg på en høyde på ca. 70 meter over havoverflaten. Den økte høyden fører til en forsterkning av vindlasten, ettersom vindhastigheten generelt øker med høyden [24].

Ved beregning av vind er det blitt tatt hensyn til formfaktor for vind på den rektangulære modulen. Formfaktoren er beregnet til 1.1 for øst- og vest-retning, mens den for nord- og sør-retning er 0.75.

**Table 5-5 Shape coefficient C for three-dimensional bodies placed on a horizontal surface**

Plan shape	l/w	h/d	C for height/breadth ratio h/b						
			Up to 1	1	2	4	6		
	≥ 4	≥ 4	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6		
		≤ 1/4	0.7	0.7	0.75	0.75	0.75		
	3	3	1.1	1.2	1.25	1.35	1.4		
		1/3	0.7	0.75	0.75	0.75	0.8		
	2	2	1.0	1.05	1.1	1.15	1.2		
		0.5	0.75	0.75	0.8	0.85	0.9		
	1.5	1.5	0.95	1.0	1.05	1.1	1.15		
		2/3	0.8	0.85	0.9	0.95	1.0		
Plan shape	l/w	h/d	C for height/breadth ratio h/b						
	1	1	Up to 0.5	1	2	4	6	10	20
			0.9	0.95	1.0	1.05	1.1	1.2	1.4

*b* = the dimension of the member normal to the wind  
*d* = the dimension of the member measured in the direction of the wind  
*l* = the greater horizontal dimension  
*w* = the lesser horizontal dimension of a member  
 Example A: *l* = *b*, *w* = *d*. Example B: *w* = *b*, *l* = *d*.

Figur 45: DNV - Formfaktor for vind [25].

Tall for vindhastighet er hentet fra Meteocean data, som inneholder verdier basert på reelle erfaringer [26]. For konstruksjonen skal det i henhold til NORSOK-N003 regnes 3 sekunders vindkast. Det regnet ut en  $U_{cor}$ -verdi, som tar hensyn til at vindhastigheter over 15m/s kan være ukorrekt estimert ref. 6.4.2 [26]. Gjennomsnittshastigheten på 35 m/s er blitt brukt som utgangspunkt i beregning for vind ved ULS [27]. Før form-reduksjonsfaktor på konstruksjonen blir implementert er det blitt kalkulert at vindkast blir omtrent 65.7 m/s. Dette utgjør et trykk på 2.65 kN/m<sup>2</sup>. Etter formfaktor blir det henholdsvis ~ 2kN/m<sup>2</sup> fra nord og sør, og ~3kN/m<sup>2</sup> fra øst og vest. Se vedlegg B.

Grunnet de betydelige nedoverrettede lastene på modulen er det valgt å neglisjere løft/overtrykk på konstruksjonen. Om det antas at faktoren er lik 0.2, virker over hele dekke, tilsvarer det en oppadrettet last på 44 tonn ved ALS, noe som er mindre enn kun stålplaten på 45 tonn [28]. I tillegg til vekt av stålplaten, må egenvekt av stivere legges til. For ULS blir oppadrettet vindlast enda lavere og på omtrent 31 tonn. Dermed velges det konservativt å utelukke løft på tak, ettersom det ikke er dimensjonerende.

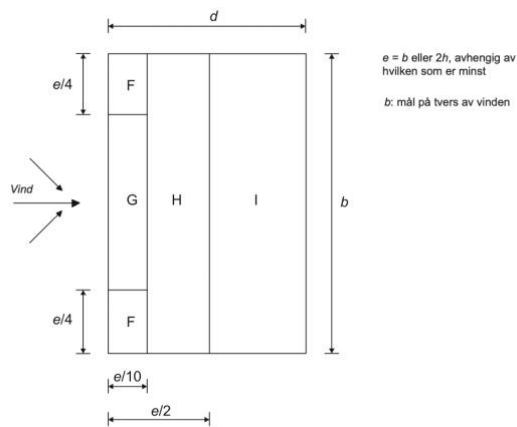
$$\text{Vekt av stålplate} = 0.01m * 37.3m * 15.3m * 8 \frac{\text{tonn}}{m^3} \approx 45 \text{ tonn}$$

Det vil derimot oppstå kraftige nedadrettede laster som en konsekvens av vind. Konservativt er det valgt faktor 1.8 i fra felt F i henhold til Tabell 7.2 for hele overflaten [28]. Lasten kunne altså ha blitt redusert ved bruk av faktorene for de andre feltene. Lasten er implementert i modellen som en jevnt fordelt last på toppen av modulen.

**Tabell 7.2 – Utvendige formfaktorer for flate tak**

Taktype	Sone							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Skarp takavslutning	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	
							-0,2	

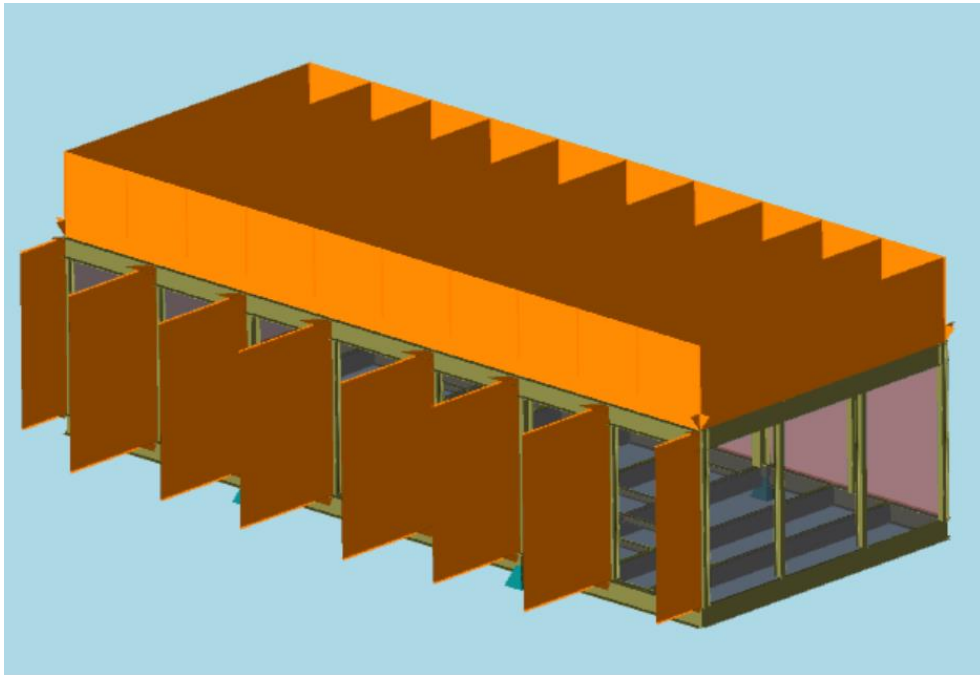
Figur 46: Utklipp av Tabell 7.2 i NS-EN 1991-1-4 [28]



Figur 7.6 – Formfaktorer for flate tak

Figur 47: Figur 7.6 i NS-EN 1991-1-4 [28]

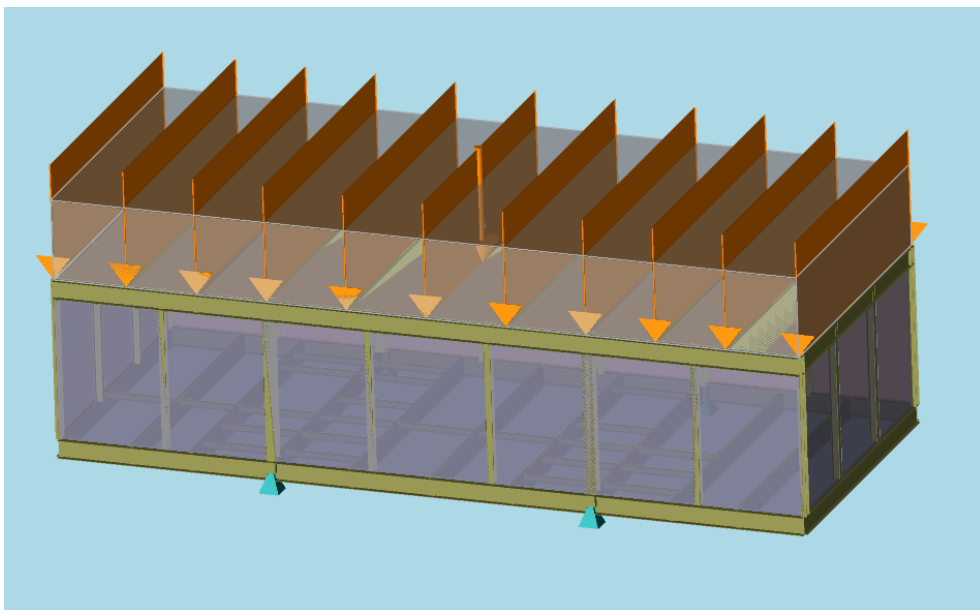
På modellen er vindlasten fra sidene ikke implementert som en flatelast ( $\text{kN/m}^2$ ), men omgjort og fordelt på hver søyle som en linjelast. Dette er fordi platene og stiverne skal føre kreftene over på søylene, og ettersom stiverne forenklet ikke er lagt inn i GeniE er dette den mest realistiske måten å legge inn lasten. Dette er blitt gjort ved å beregne tilnærmet lastbredde for hver av søylene. Hver søyle vil ta halvparten av lasten mellom hver søyle.



Figur 48: Vind ULS-a fra Øst – GeniE

#### 5.2.2.2. Lastedekk

På overflaten av modulen er det et kundekrav om en last på 2.2 tonn/m<sup>2</sup> over hele området. Dette området er designet for å fungere som et oppbevarings- og lastedekk hvor containere, utstyr og andre gjenstander kan lagres og transporteres. Dette krever en nøye vurdering av lastfordeling og styrke i konstruksjonen for å sikre tilstrekkelig bæreevne og stabilitet.



Figur 49: Last på laydown area - GeniE

### 5.2.2.3. Nyttelast (last mellom utstyr)

I henhold til NORSOK er det nødvendig å ta hensyn til nyttelast inne i modulen. Verdien for denne lasten er hentet fra tabell 1 [26]. Ettersom utstyr dekker store deler av gulvet, kan lasten justeres ved hjelp av en faktor beregnet i samme tabell. Dette tar hensyn til at lasten ikke påvirker hele området og gir en mer realistisk belastning på konstruksjonen.

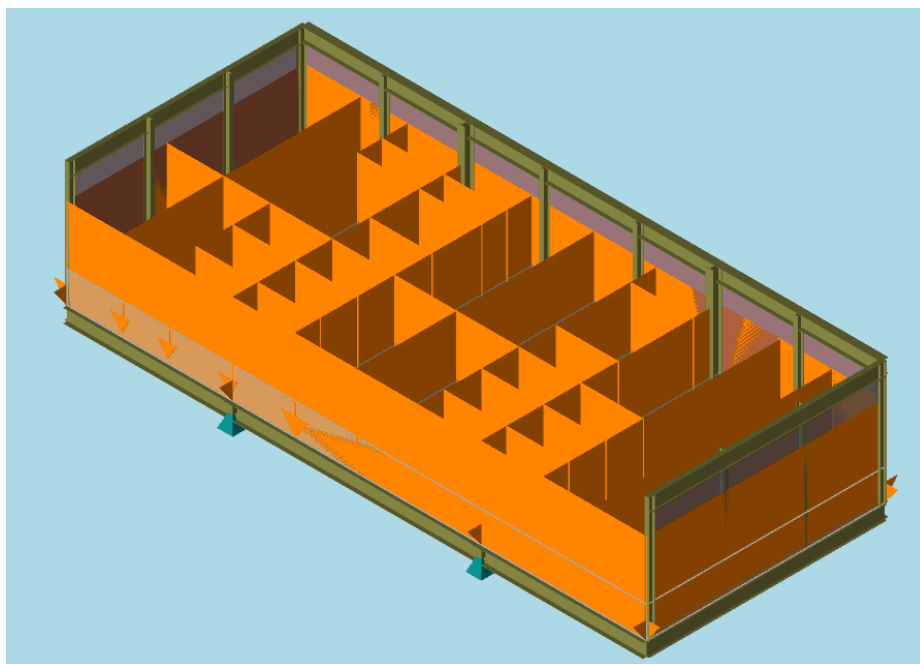
Ved beregningen av reduksjonsfaktoren er det til sikker side lagt til service-space for utstyret, slik at den påførte lasten er forhøyet. Dette fører til en konservativ nyttelast på 3.3 kN/m<sup>2</sup>.

Lasten er implementert i GeniE som en utstyrlast på totalt 190 tonn og er fordelt over hele nivå 1 slik all kraften fordeles riktig på bjelkene i analysen.

**Table 1 – Minimum variable actions in deck areas**

Area	Local structure design		Primary structure design	Global structure design
	See 1,2,3 and 5			See 4
	Distribution action, $p_d$ (kN/m <sup>2</sup> )	Point action, $P$ (kN)	Apply factor given below to distributed action, $p_d$ ( $A$ = the action area in m <sup>2</sup> )	Apply factor given below to distributed action, $p_d$
Storage areas, See 6	$p_d$	$1,5 \cdot p_d$	1,0	1,0
Laydown areas, See 6	$p_d$	$1,5 \cdot p_d$	$\min(1,0; (0,5 + 3/A^{0,5}))$	$\min(1,0; (0,5 + 3/A^{0,5}))$
Lifeboat platforms	9,0	9,0	1,0	may be ignored
Area between equipment	5,0	5,0	$\min(1,0; (0,5 + 3/A^{0,5}))$	may be ignored

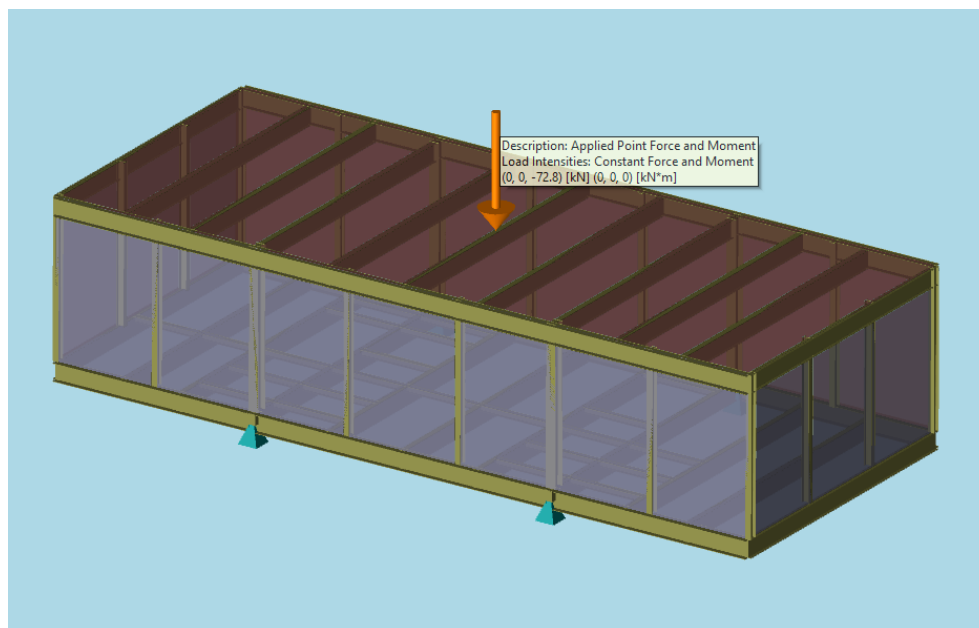
Figur 50: Tabell 1 i NORSOK N-003 – Area between equipment (Last mellom utstyr) [26]



Figur 51: Last mellom utstyr - GeniE

#### 5.2.2.4. Trucklast

Lastedekket skal benyttes av truck, og denne inkluderes som en punktlast. Denne plasseres på flere steder som gir størst mulig utnyttelse og deformasjon. I SLS plasseres punktlasten midt på den midterste bjelken, som er mest utsatt for nedbøyning. I ULS og ALS plasseres punktlasten midt på den mest belastede søylen for å sikre at konstruksjonen har tilstrekkelig styrke under ekstreme belastningssituasjoner. Trucken er oppgitt til å ha en aksellast på 7.28 tonn.

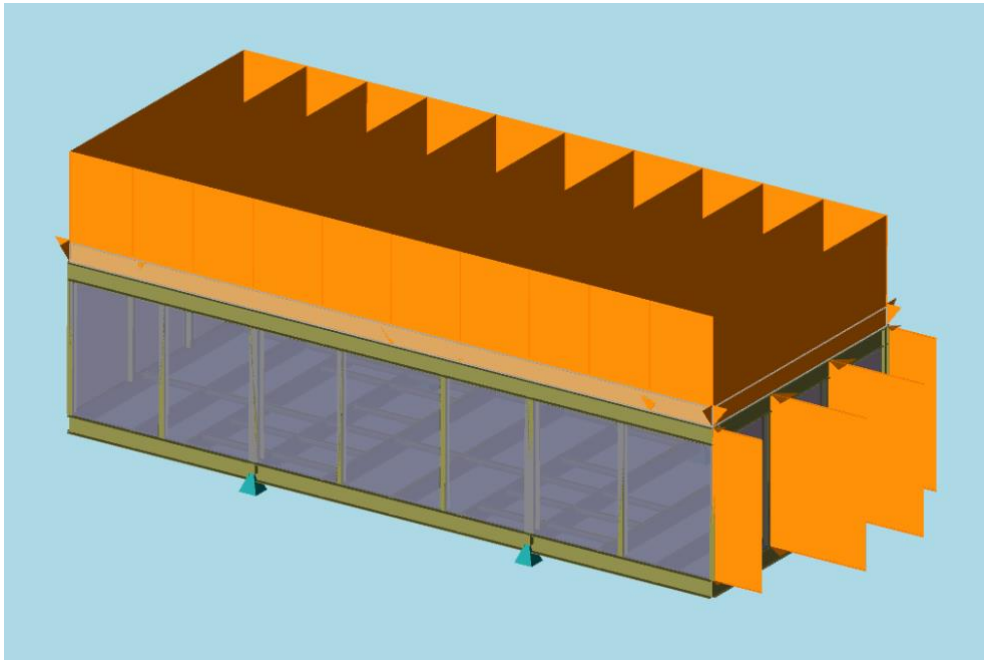


Figur 52: Punktlast - GeniE

#### 5.2.3. Ulykkeslaster

##### 5.2.3.1. Ekstremvind

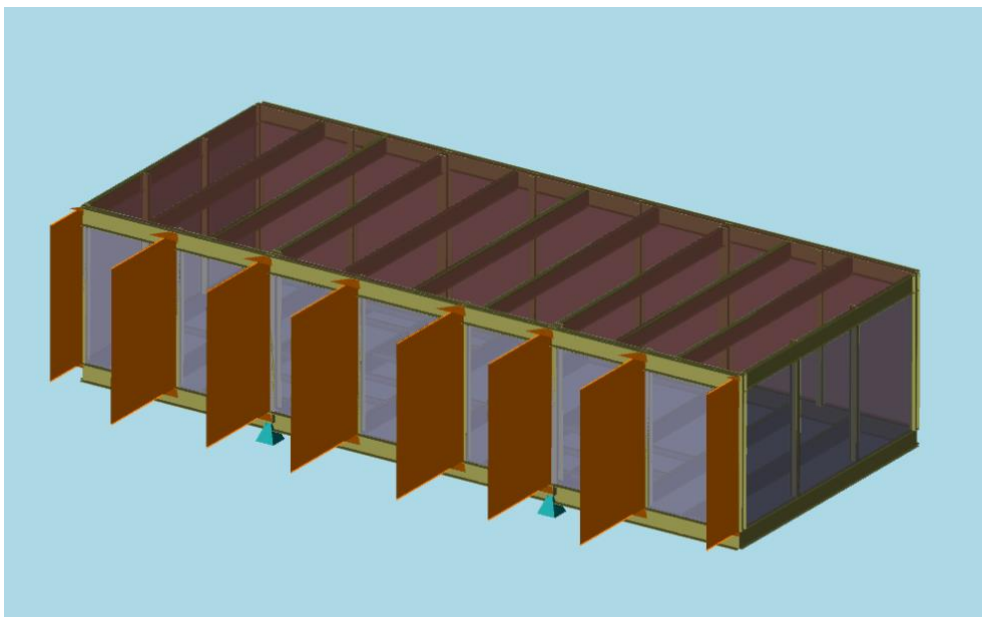
En type ulykkeslast som må vurderes er ekstremvind. Gjennomsnittsverdien for denne over en times periode er 40 m/s [27]. På samme måte som for variabel vindlast, er ekstremvind korrigert og omregnet til vindkast lik 78.6 m/s eller 3.8kN/m<sup>2</sup>. Det er viktig å fordele trykket på søylene, ettersom de er ansvarlige for å ta opp vindkreftene, likt som for vind i ULS og SLS.



Figur 53: Ekstremvind fra nord – GeniE

### 5.2.3.2. Eksplosjon

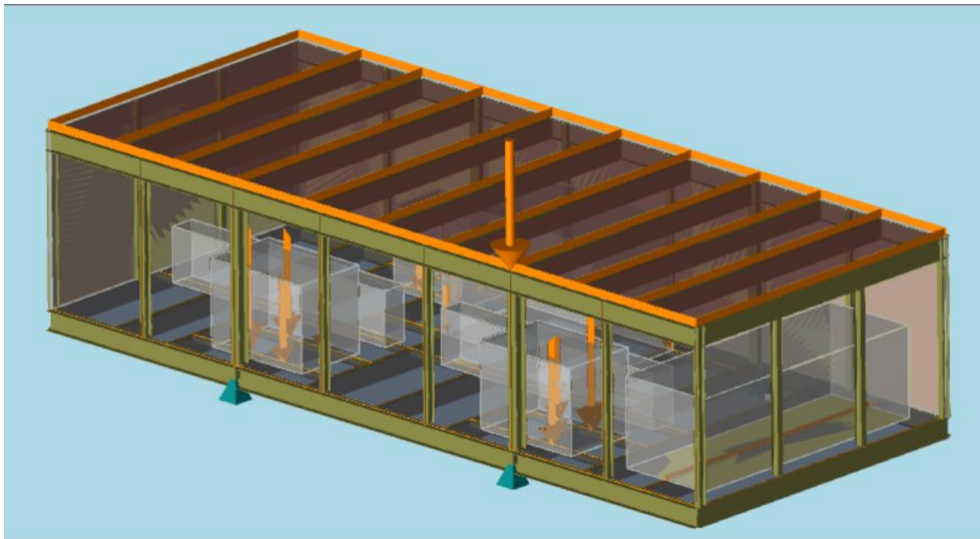
Eksplosjon er en annen ulykkeslast som må vurderes, men kun fra øst ettersom det er den eneste retningen hvor det er en betydelig risiko for eksplosjon. Prosjektet har oppgitt reelle tall på 0.15 bar for eksplosjonslasten. Lasten er beregnet og fordelt på samme måte som for ekstremvind, med unntak av formfaktorer.



Figur 54: Eksplosjon fra øst - GeniE

### 5.3. Lastkombinasjoner

I GeniE er de ulike lastkombinasjonene lagt inn med lastfaktorer i henhold til tabell 4 [8]. Siden det er beregnet vind fra 4 retninger, er det henholdsvis 4 ulike lastbilder for hver grensetilstand. Altså ULS a-nord, ULS a-sør, ULS a-øst, ULS a-vest for ULS a, og det samme for ULSb.



Figur 55: ULS-a - øst - GeniE

Load Case Properties: ULS_a_E					
General   Loads   Combination   Design Condition					
Load Case	Factor	Phase Shift	Scan Case	Description	
<input checked="" type="checkbox"/> R:Kr LC_Grav	1.3	0	false	LoadCase	
<input checked="" type="checkbox"/> R:Kr LC_Last_mellom_utstyr	1.3	0	false	LoadCase	
<input checked="" type="checkbox"/> R:Kr LC_Nyttelast_Topp	1.3	0	false	LoadCase	
<input checked="" type="checkbox"/> R:Kr LC_Utstyr	1.3	0	false	LoadCase	
<input checked="" type="checkbox"/> R:Kr LC_Wind_E	0.7	0	false	LoadCase	

Figur 56: Lastkombinasjon implementert i GeniE - ULS-a fra øst

Load Case Properties: ULS_b_E					
General   Loads   Combination   Design Condition					
Load Case	Factor	Phase Shift	Scan Case	Description	
<input checked="" type="checkbox"/> R:Kr LC_Grav	1	0	false	LoadCase	
<input checked="" type="checkbox"/> R:Kr LC_Last_mellom_utstyr	1	0	false	LoadCase	
<input checked="" type="checkbox"/> R:Kr LC_Nyttelast_Topp	1	0	false	LoadCase	
<input checked="" type="checkbox"/> R:Kr LC_Utstyr	1	0	false	LoadCase	
<input checked="" type="checkbox"/> R:Kr LC_Wind_E	1.3	0	false	LoadCase	

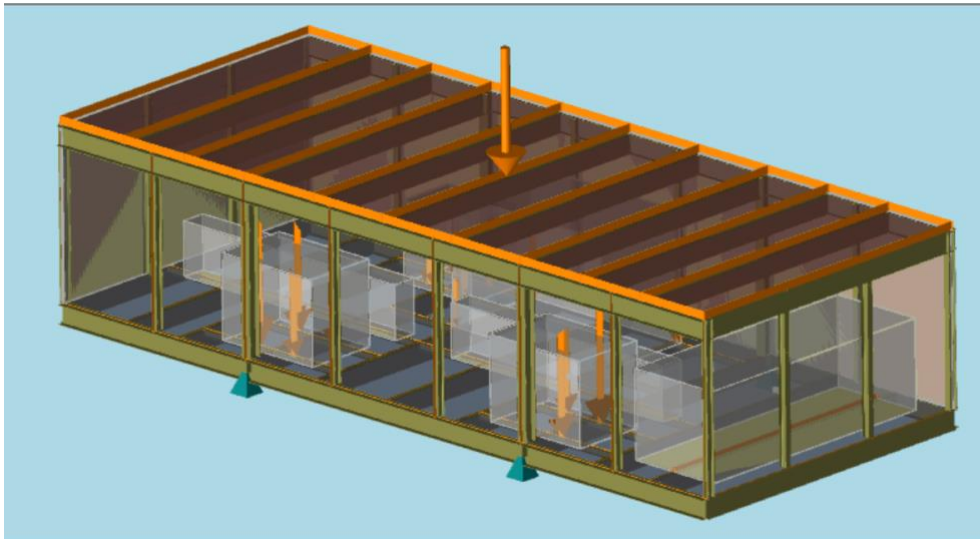
Figur 57: Lastkombinasjon implementert i GeniE - ULS-b fra øst





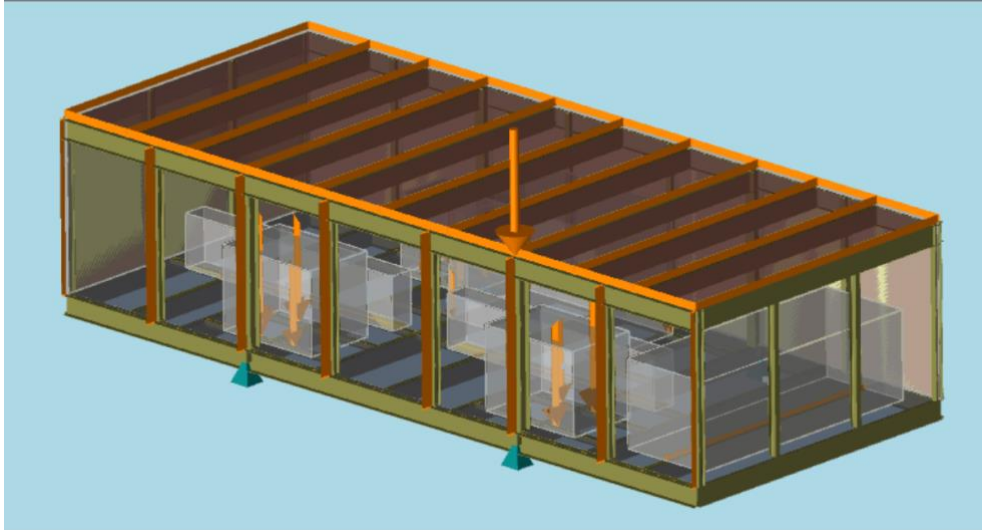
Figur 58: ULS-b nord - GeniE

I SLS er det forenklet kun en lastkombinasjon med vind fra en av retningene ettersom konstruksjonen ikke sjekkes for utnyttelse, men kun deformasjon. Den nedadrettede faktoren på 1.8 er til sikker side brukt for alle vindretningene, og nedbøyningen av konstruksjonen blir dermed uavhengig av hvilken retning som brukes. Utnyttelser er irrelevant i SLS, ettersom lastfaktorene er betydelig større i ULS.

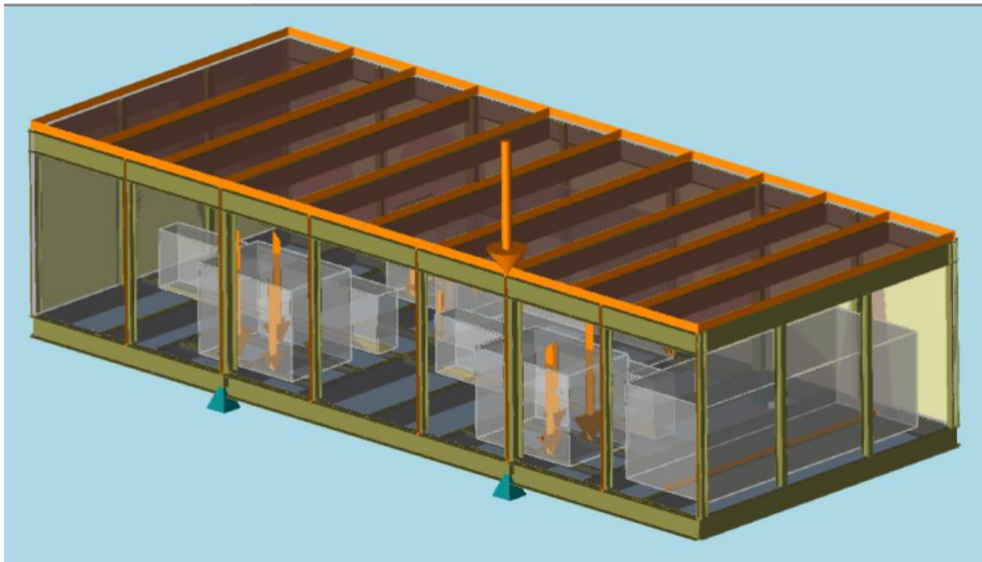


Figur 59: SLS - GeniE

I ALS er det 5 lastkombinasjoner; en for hver av ekstremvind-retningene, samt en for eksplosjon.



*Figur 60: ALS med eksplosjon - GeniE*



*Figur 61: ALS med ekstremvind fra øst - GeniE*

Name	Description	FEM Loadcase	FEM LC Rule
ALS_Blast_E	LoadCombination	14	Automatic
ALS_Storm_E	LoadCombination	15	Automatic
ALS_Storm_N	LoadCombination	16	Automatic
ALS_Storm_S	LoadCombination	17	Automatic
ALS_Storm_W	LoadCombination	18	Automatic
LC_all	LoadCombination	19	Automatic
SLS_w	LoadCombination	20	Automatic
ULS_a_E	LoadCombination	21	Automatic
ULS_a_N	LoadCombination	22	Automatic
ULS_a_S	LoadCombination	23	Automatic
ULS_a_W	LoadCombination	24	Automatic
ULS_b_E	LoadCombination	25	Automatic
ULS_b_N	LoadCombination	26	Automatic
ULS_b_S	LoadCombination	27	Automatic
ULS_b_W	LoadCombination	28	Automatic

Figur 62: Oversikt over de ulike lastkombinasjonene i GeniE

Oversikt - Laster - Uten lastfaktorer	
Lasttype	Kraft
Vindtrykk langsida	2,94 kN/m <sup>2</sup>
Vindtrykk kortside	2,00 kN/m <sup>2</sup>
Lastdekkelast	22,00 kN/m <sup>2</sup>
Last mellom utstyr	3,30 kN/m <sup>2</sup>
Eksplasjon	15,00 kN/m <sup>2</sup>
Nedadrettet vindlast	5,29 kN/m <sup>2</sup>
Egenlast av stivere horisontalt	0,38 kN/m <sup>2</sup>
Egenlast av plate	0,64 kN/m <sup>2</sup>
Egenlast av bjelker	0,75 kN/m <sup>2</sup>
Ekstremvindtrykk langsida	4,21 kN/m <sup>2</sup>
Ekstremvindtrykk kortside	2,87 kN/m <sup>2</sup>
Nedadrettet ekstremvindlast	6,89 kN/m <sup>2</sup>

Figur 63: Oversikt over fordelte laster.

Vind og ekstremvind					
Type	Vindtrykk	Nord	Sør	Øst	Vest
ULS, U	2,06 kN/m <sup>2</sup>	1,55 kN/m <sup>2</sup>	1,55 kN/m <sup>2</sup>	2,27 kN/m <sup>2</sup>	2,27 kN/m <sup>2</sup>
ULS, Ucor	2,67 kN/m <sup>2</sup>	2,00 kN/m <sup>2</sup>	2,00 kN/m <sup>2</sup>	2,94 kN/m <sup>2</sup>	2,94 kN/m <sup>2</sup>
ALS, U	2,84 kN/m <sup>2</sup>	2,13 kN/m <sup>2</sup>	2,13 kN/m <sup>2</sup>	3,12 kN/m <sup>2</sup>	3,12 kN/m <sup>2</sup>
ALS, Ucor	3,83 kN/m <sup>2</sup>	2,87 kN/m <sup>2</sup>	2,87 kN/m <sup>2</sup>	4,21 kN/m <sup>2</sup>	4,21 kN/m <sup>2</sup>
		Nord	Sør	Øst	Vest
	Formfaktor, C	0,75	0,75	1,1	1,1

Figur 64: Oversikt over vindlaster og formfaktorer. Uten lastfaktorer.

## 5.4. Stabilitetsfaktorer

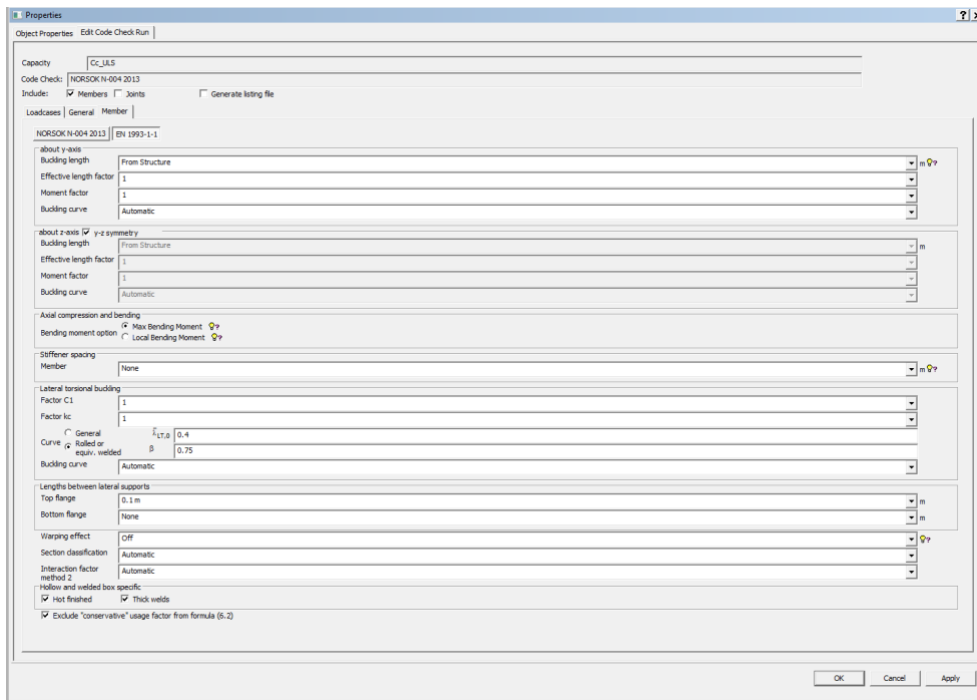
### 5.4.1. Knekk lengder

Siden alle knutepunktene i konstruksjonen er momentstive, kan knekk lengdene konservativt reduseres med en faktor på 0.7 [29]. I modellen er det uansett valgt fullstendig lengde (1L) for de aller fleste elementer, noe som er konservativt og gir en sikkerhetsmargin i designet. De 4 hovedsøylene er de eneste som er blitt modellert med redusert knekk lengde.

Alle bjelkene er avstivet for knekking om svak akse på grunn av stivere og plater, men det er igjen konservativt valgt en knekk lengde på 1.0•L. Bjelkene er påført svært lav aksialkraft i forhold til skjærkraft og moment, og knekking er dermed ikke en dimensjonerende faktor uansett.

### 5.4.2. Vipping

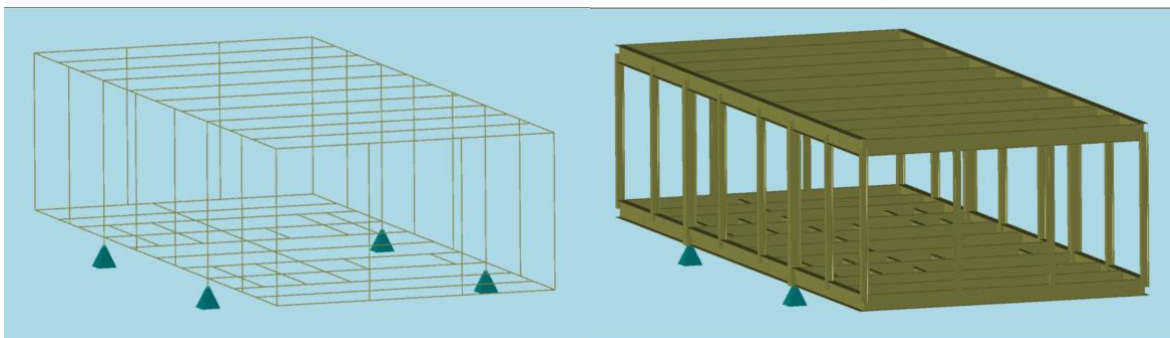
Siden alle platene er sveiset sammen med toppflensen av elementene i konstruksjonen, vil elementene være fastholdt mot vipping i overkant. Dette er fordi platene virker avstivende i toppflensen til alle elementene. Ved analysen i GeniE er det derfor satt en tilnæringsverdi for vippelengde lik 0.1 meter. Denne avstivningen av toppflensen medfører økt styrke og stivhet og dermed reduseres risikoen for lokal eller global svikt i konstruksjonen. Det er kun i svært korte lengder hvor det oppstår trykk i underkant av bjelkene, og dermed er vipping ikke et problem.



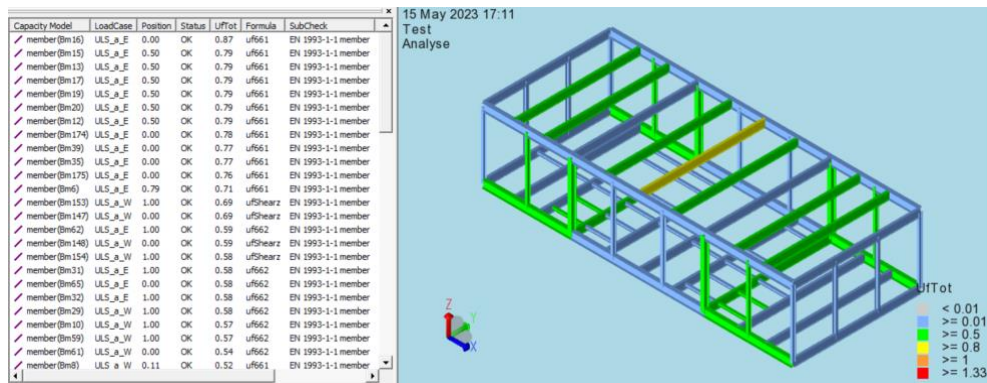
Figur 65: Bilde av stabilitetsfaktorer og mer i GeniE. Det er endret på «Top flange» (toppflens) som er stivet av hver 0.1m.

## 5.5. Resultater

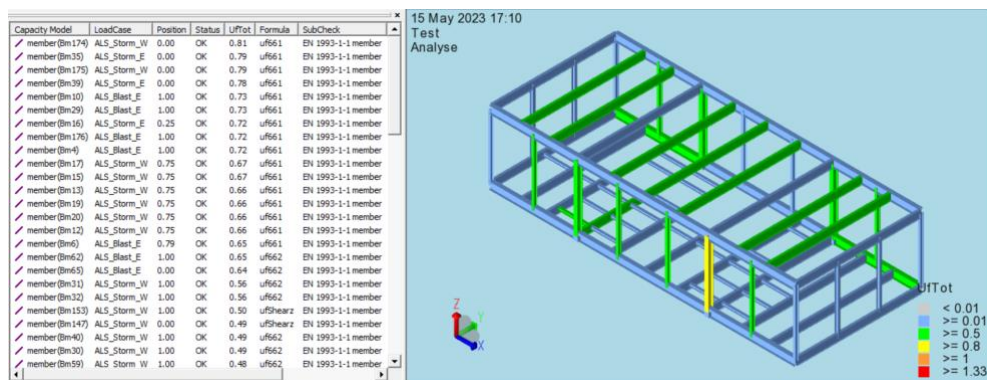
Designet av konstruksjonen er utført ved hjelp av programvaren GeniE. I første omgang ble modellen konstruert med bjelker og søyler som møtes ved deres senterlinjer, slik som vist i figur 66. Etter denne initielle designfasen ble en code check utført for å sikre at konstruksjonen oppfylte de nødvendige kravene i standardene. Resultatene fra denne sjekken viste at konstruksjonen var tilstrekkelig designet og i samsvar med kravene.



Figur 66: Wireframe og solid – No flush

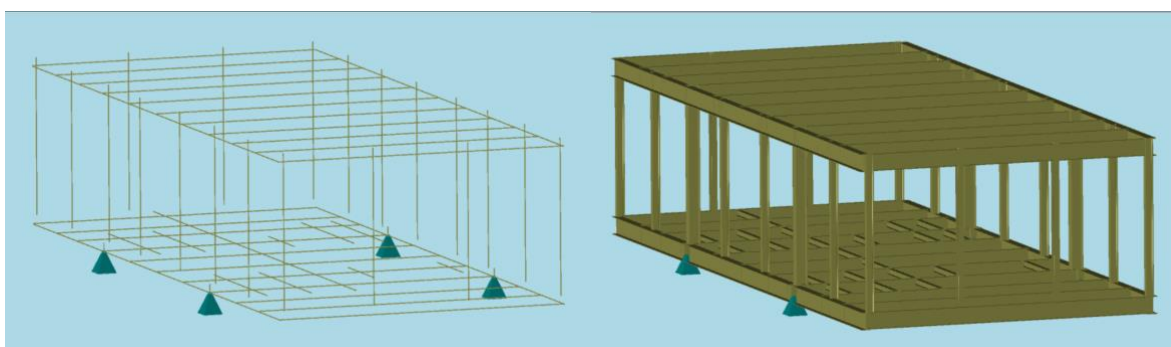


Figur 67: Utnyttelser i ULS - No flush



Figur 68: Utnyttelser i ALS - No flush

Videre er en justering gjort i modellen ved å flytte elementene slik at de er flukt med platene. Denne modifikasjonen kalles flush top og innebærer at overflaten av platene og bjelkene er i samme plan. Dette er en mer realistisk versjon av modellen. Denne endringen i designet introduserer imidlertid ekstra eksentrisiteter og andre belastningseffekter som potensielt kan påvirke konstruksjonens ytelse. Se figur 69.



Figur 69: Wireframe og Solid - Flush top

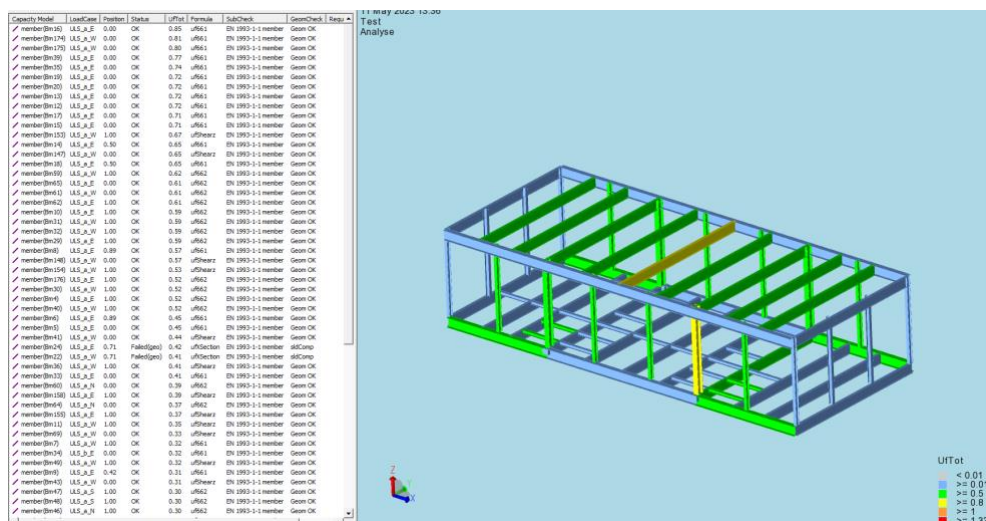
Etter å ha gjort justeringene i modellen, ble en ny kodesjekk utført for å evaluere konsekvensene av de endrede forholdene i konstruksjonen. Resultatene fra denne analysen viste en betydelig økning i utnyttelsen av visse deler av konstruksjonen. Dette er et viktig aspekt å ta hensyn til, ettersom det kan ha implikasjoner for konstruksjonens ytelse og levetid. Se punkt 5.6.1.1 og 5.6.2.1 for resultater.

For å sikre at konstruksjonen tilfredsstillter kravene i alle relevante grensetilstander, er sammenligninger av kodesjekk i ALS og ULS nødvendige. I denne analysen har både første og justert design blitt vurdert og sammenlignet i hver av grensetilstandene for å gi en grundig forståelse av konstruksjonens ytelse under ulike belastningssituasjoner. Dette gir et solid grunnlag for å vurdere nødvendigheten av ytterligere designjusteringer og for å sikre at konstruksjonen er optimalisert for både sikkerhet og funksjonalitet.

### 5.5.1. ULS

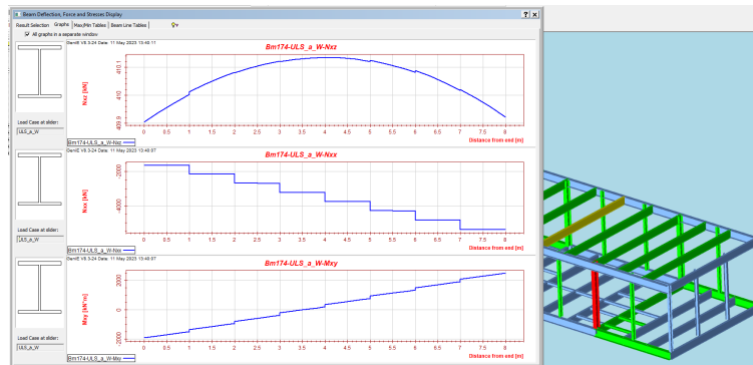
#### 5.5.1.1. Code check

Analyse og code check for denne offshore konstruksjonen er utført i samsvar med NS-EN 1993-1-1 og NORSOK N-004 [30] [31]. Resultatene fra analysene viser at kapasiteten til konstruksjonen er tilstrekkelig for å motstå de påførte lastene og kreftene fra de ulike scenarioene.



Figur 70: Utnyttelser i ULS

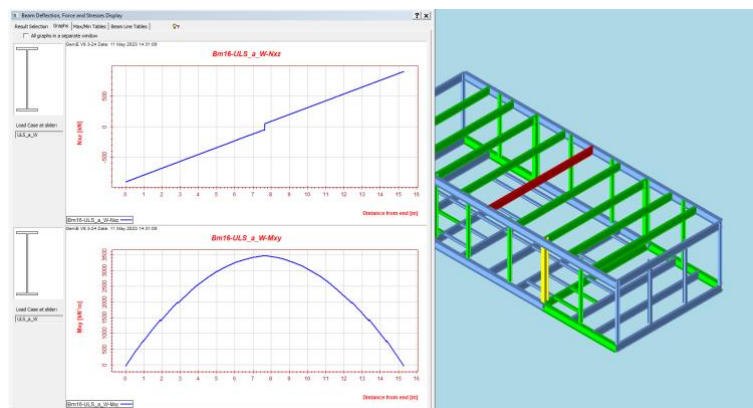
Den største utnyttelsen i analysen oppstår ved ULS-a med vind fra vest. Utnyttelsesgraden for dette elementet gjelder den ene tverrbjelken (gul i figur 72) og er beregnet til 0.85, noe som indikerer at konstruksjonen er tilstrekkelig dimensjonert og har en viss sikkerhetsmargin. En utnyttelsesgrad på 1,00 ville bety at konstruksjonen er fullt utnyttet og på grensen av sin kapasitet. En verdi på 0.85 viser dermed at det fortsatt er en tilstrekkelig margin for å håndtere variasjoner i laster, usikkerheter i beregningene eller fremtidige endringer.



Figur 71: Diagram for skjærkraft ( $N_{xz}$ ), normalkraft ( $N_{xx}$ ) og moment ( $M_{xy}$ ) for den mest utnyttede søylen. (Markert i rød)

Object Properties	Edit Member Data	Redesign	Phase	Position	$N_{XX}$ [kN]	$N_{XY}$ [kN]	$N_{XZ}$ [kN]	$M_{XX}$ [kN*m]	$M_{XY}$ [kN*m]	$M_{XZ}$ [kN*m]	Wpress [kPa]
Cc_ULS.member (Bm174)			0.0	0.00	-5401.95	-6.17413	409.922	-0.454846	2474.74	11.0492	0
Cc_ULS.run(1).member (Bm174)			0.0	0.25	-4844.32	-4.05838	410.088	0.177626	1491.98	0.817207	0
			0.0	0.50	-3756.53	-3.12383	410.135	0.457202	349.932	-6.75887	0
			0.0	0.75	-2681.03	-4.07449	410.08	0.172746	-788.419	-15.273	0
			0.0	1.00	-1623.56	-5.92581	409.905	-0.381757	-1921.11	-27.0859	0

Figur 72: Krefter i ulike punkt i den mest utnyttede søylen(1600x500).

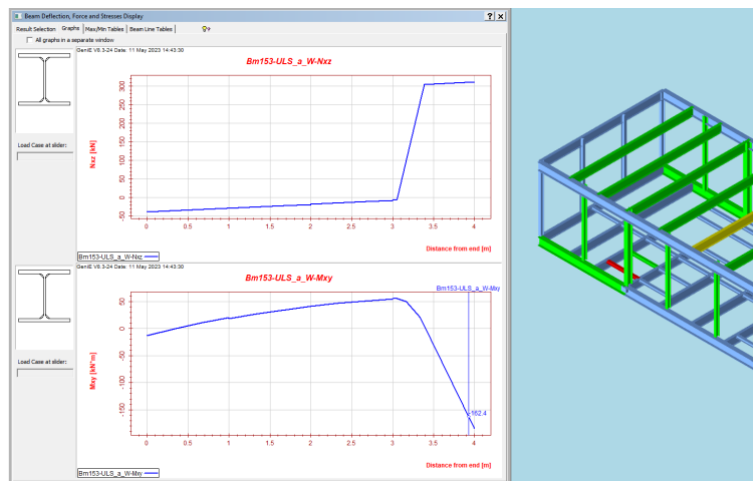


Figur 73: Diagram for skjærkraft ( $N_{xz}$ ) og moment ( $M_{xy}$ ) for den mest utnyttede hovedbjelken (1900x300). (Markert i rød)



Object Properties		Edit Member Data	Redesign							
Phase	Position	NXX [kN]	NXY [kN]	NXZ [kN]	MXX [kN*m]	MYX [kN*m]	MXZ [kN*m]	Wpress [t]		
0.0	0.00	-171.895	0.257164	-929.476	-0.00909456	-43.9242	-0.319157	0		
0.0	0.12	-81.6587	0.167775	-712.848	-0.00687367	1486.09	0.0869915	0		
0.0	0.25	131.601	-0.159469	-491.812	-0.039647	2540.71	-0.0879514	0		
0.0	0.50	131.233	0.0218575	-50.2972	-0.00226239	3571.94	0.0264682	0		
0.0	0.75	119.577	0.0276912	486.169	0.0119021	2554.59	0.0762257	0		
0.0	1.00	-142.412	0.000708034	927.259	0.0384641	-41.3382	0.0355755	0		

Figur 74: Krefter i ulike punkt i den mest utnyttede hovedbjelken (I900x300)



Figur 75: Diagrammer for skjærkraft (Nxz) og moment (Mxy) for den mest utnyttede HE300B. (Markert i rød)

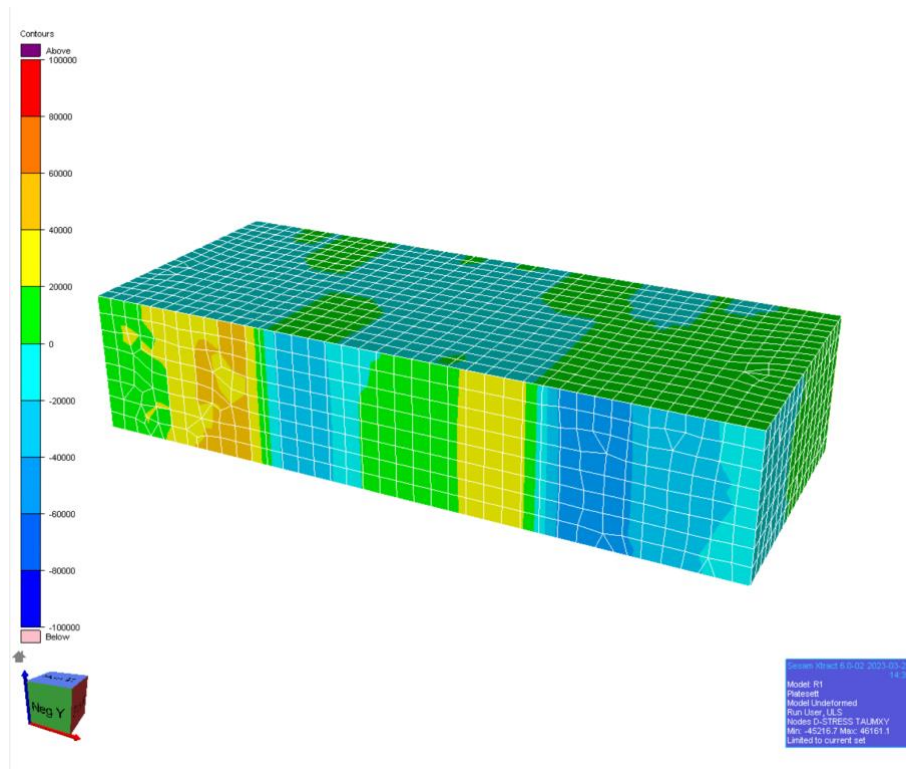
Object Properties		Edit Member Data	Redesign							
Phase	Position	NXX [kN]	NXY [kN]	NXZ [kN]	MXX [kN*m]	MYX [kN*m]	MXZ [kN*m]	Wpress [t]		
0.0	0.00	-8.27628	5.03921	-38.4921	0.24108	-13.3666	-9.57142	0		
0.0	0.25	-8.27628	5.03921	-29.6438	0.24108	20.7035	-4.53241	0		
0.0	0.50	6.37211	0.83064	-16.7797	-0.231759	41.8022	-1.57399	0		
0.0	0.76	-0.575729	0.668679	-4.5975	-0.181651	55.4342	-0.705901	0		
0.0	1.00	-0.575729	0.668679	311.648	-0.181651	-184.598	-0.0746949	0		

Figur 76: Krefter i ulike punkt i den mest utnyttede HE300B.

### 5.5.1.2. Plater

Det er viktig å overvåke spenningene i platene nøye og sammenligne dem med tillatte grenser. Under analysen av konstruksjonen i GeniE-programvaren, ble det observert at spenningene i platene ligger i underkant av 50 MPa. Denne verdien kontrolleres i 5.7.

Resultatet kan vike fra realistisk spenning, ettersom det ikke er tatt høyde for utsparinger til innganger og annet, og platene burde dermed kontrolleres igjen etter at utsparingene er integrert.



Figur 77: Oversikt over spenning i plater - ULS - GeniE

### 5.5.1.3. Kvalitetskontroll av kritisk bjelke og søyle

For å sikre gode resultater og for å kontrollere om GeniE har riktige resultater, er det blitt gjennomført en kvalitetskontroll på en kritisk bjelke og en kritisk søyle. Alle beregninger som er gjort på bjelken og søylen kan finnes i vedlegg E.

## Kontroll av bjelke

Bjelken som er valgt for kvalitetskontroll er den midterste tverrbjelken på lastedekket.

For beregningene er trucklasten plassert midt på bjelken for å oppnå det mest kritiske lastbilde. Bjelken er beregnet i lastkombinasjon ULS-a, ettersom det er det mest kritiske lastbildet for elementet. Lastvirkningene ble beregnet med en lastbredde på 4 meter, noe som tilsvarer halvparten av lengden til næreste bjelke i begge retninger. Den beskrevne bjelken kan ikke effektivt overføre momenter videre i konstruksjonen og vil dermed oppføre seg som en fritt opplagt bjelke. Beregningene viser at bjelken får et feltmoment på 4335 kNm og en skjærkraft på 1086 kN. Bjelken er samtidig påvirket av en liten aksialkraft fra de horisontale kreftene som virker på modulen, men disse neglisjeres fordi de er svært små i forhold til de nedrettede lastene.

Beregningene fra GeniE viser at den samme bjelken har et moment på 3572 kNm og en skjærkraft på 929 kN. Etter undersøkelser er det avklart at GeniE fordeler kraften ulikt fra virkeligheten, ettersom den fordeler lastene likt på alle bjelker, uavhengig av de forskjellige lastbreddene.

Ved kontroll av tverrsnittsklasse for profilet viser både GeniE og håndberegningene at profilet er i tverrsnittsklasse 1. Det betyr at det kan regnes plastiske kapasiteter under kontrollene. Etter utregning av bjelkens plastiske momentkapasitet mot opptredende momenter, er det fastslått at bjelken har en utnyttelse på 1.17 for moment om sterk akse, noe som overskrider lovlig utnyttelse på 1.0. I realiteten er det ikke mulig at trucklasten oppstår på samme område som lastdekke-lasten. Om man fjerner punktlasten reduseres utnyttelsen til 1.07. Denne utnyttelsen overskrider fortsatt kravet i Eurokoden. Analysene i GeniE viser en utnyttelse på bjelken på 0.85, noe som opprettholder krav.

Til slutt er bjelken sjekket for skjærkraft. Her viser beregningene at bjelken har en utnyttelse på 0.29, noe som er godt innenfor alle krav. Det er ikke behov for vippingskontroll ettersom det tidligere er avklart at det ikke er relevant.

Etter grundige undersøkelser er det konkludert med at bjelken sannsynligvis har god nok utnyttelse selv om beregningene tilsier at den ikke har det. Dette skyldes at det ved beregningene av lastene er tatt flere konservative betraktninger som høyner utnyttelsen. Kontrollberegningene er litt mer konservativ enn analysen i GeniE, men dette er fordi det er brukt en mer realistisk lastbredde.

## **Kontroll av søyle**

Søylen er valgt ut grunnet dens utnyttelse. Likt som for bjelken, er det den mest utnyttede av sin type.

Grunnet variert belastning på søylene i modulen, forårsaket av ulikt materiale og størrelse, er det forenklet benyttet lastvirkninger fra GeniE for kontrollen på søylene. Ved kontroll av søylen er det nødvendig å fastslå kapasiteten for bøyning, aksiallast, skjærkraft, kombinert bøyning og aksiallast, knekking og vipping. Søylen er fastholdt for vipping og knekking om svak akse på samme måte som bjelken og dermed kan disse kontrollene utelukkes.

Ved sjekk av tverrsnittsklasse er det til sikker side brukt kravene for et tverrsnitt som bare er trykkpåkjent. Det konstaterte at søylen er i tverrsnittsklasse 2. Beregningene i GeniE viser derimot at søylen er i tverrsnittsklasse 1. Mest sannsynlig bruker GeniE kravene for et tverrsnitt som er utsatt for bøyning og trykk, noe som er mindre konservativt, men er mer presist. For både tverrsnittsklasse 1 og 2 kan plastiske kapasiteter brukes. Derfor påvirker ikke tverrsnittsklasseberegningen videre resultater.

På søylen virker det et moment på 2500 kNm, en skjærkraft på 410 kN og en aksialkraft på 5400 kN. Kapasitetsanalysen viser at søylens utnyttelse er 0.61 for moment, 0.17 for skjær og 0.30 for aksial. Videre viser resultatene for kombinert bøyning og aksialkraft at søylen har en utnyttelse på 0.85, noe som fortsatt er innenfor anbefalingene og kravene som er gitt. Ved kontroll av knekking om sterk akse, er det brukt en knekk lengde på 0.7L i GeniE og ved kontrollberegningene. Dette medfører at søylen får en knekkfaktor på 0.95. Denne faktoren øker utnyttelsen for aksialkraft til 0.34.

Videre er det utført en stabilitetskontroll etter formel 6.61, hvor det er nødvendig å regne ut en kyy-faktor [31]. Ved beregninger er den funnet til å være lik 0.43. Det er konservativt å ikke bruke faktoren i dette tilfellet siden den vil minske utnyttelsen. GeniE beregnet faktoren til 0.98, men det antas at GeniE er veldig konservativ når det gjelder denne faktoren. Beregningene viser at søylen har en utnyttelse på 0.95 uten faktoren, mens den er 0.6 med. GeniE regnet en utnyttelse på 0.85, noe som kan være rimelig. Beregningene viser uansett at søylen har tilstrekkelig kapasitet.

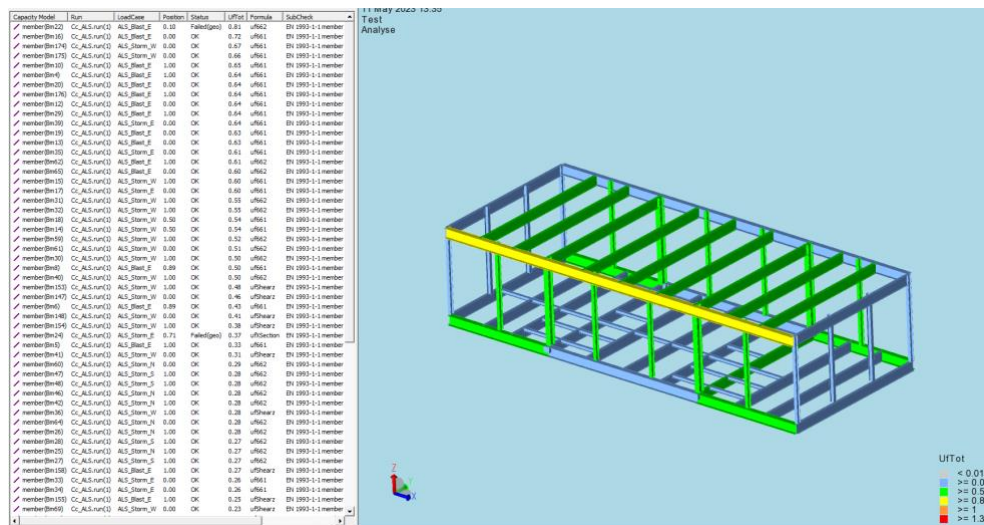
## 5.5.2. ALS

### 5.5.2.1. Code check

Analyse og code check for denne offshore konstruksjonen blir utført i samsvar med NS-EN 1993-1-1 og NORSOK N-004. Resultatene fra analysene viser at kapasiteten til konstruksjonen er tilstrekkelig for å motstå de påførte lastene og kreftene fra de ulike ulykkescenarier.

Den maksimale utnyttelsen av konstruksjonen oppstår under eksplosjonsscenarioet, hvor den øvre bjelken i hovedrammen er mest utsatt. Utnyttelsesgraden for dette elementet er beregnet til 0.81, noe som indikerer at konstruksjonen er tilstrekkelig dimensjonert samtidig som den har en viss sikkerhetsmargin. En utnyttelsesgrad på 1.00 ville bety at konstruksjonen er fullt

utnyttet og på grensen av sin kapasitet.

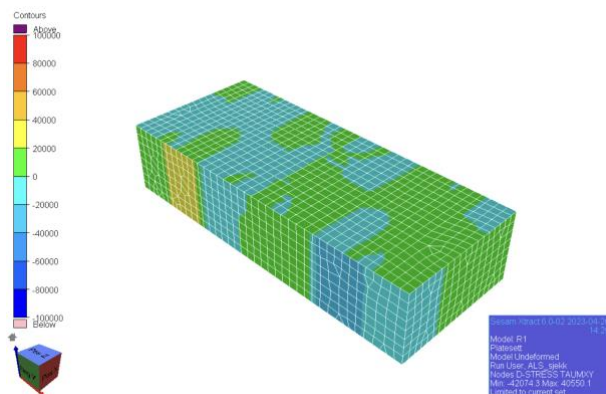


Figur 78: Utnyttelser i ALS

Alle bjelkene i konstruksjonen består kodesjekken, med unntak av den mest utnyttede bjelken i hovedrammen. Det oppstår en "Failed(geo)"-status, som vanligvis er et resultat av lange og slanke bjelker. Det er viktig å merke seg at denne statusen kan overses i dette tilfellet, ettersom den refererer til et krav som ikke er en del av Eurokode- eller NORSOK-standardene. Kravet er i henhold til de Amerikanske standardene API (American Petroleum Institute) og AISC (American Institute of Steel Construction) [32] [33].

### 5.5.2.2. Plater

Under analysen av konstruksjonen i GeniE-programvaren, ble det observert at spenningene i platene er i underkant av 50 MPa for ALS. Likt som for ULS kan verdiene avvike fra reelle verdier grunnet utsparinger. Utnyttelsen av platene blir vurdert i punkt 5.7.

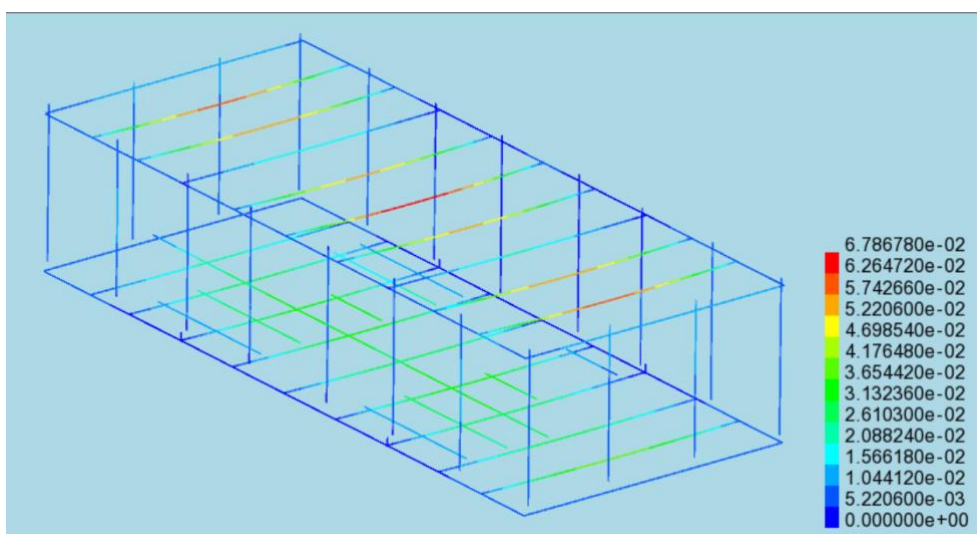


Figur 79: Oversikt over spenning i plater - ALS - GeniE

### 5.5.3. SLS

#### 5.5.3.1. Nedbøying

I bruksgrensetilstand er det primært nødvendig å vurdere nedbøying, ettersom lastene i denne grensetilstanden er betydelig lavere sammenlignet med bruddgrensetilstand. Det er viktig å sikre at konstruksjonen opprettholder tilstrekkelig funksjonalitet og komfort under normale driftsforhold, og at eventuelle deformasjoner ikke påvirker konstruksjonens bruk.



Figur 80: Nedbøying i SLS (oppgitt i meter) - GeniE

Tidligere analyser viste at nedbøyingen var dimensjonerende for bjelkene som spenner 15.3 meter på tvers av konstruksjonen, med trucklasten på midten. Selv om utnyttelsen av disse bjelkene under ULS-belastninger viste seg å være mer enn tilfredsstillende, måtte derfor høyden på tverrbjelkene økes for å redusere nedbøyingen. Dette sikrer at konstruksjonen opprettholder tilstrekkelig stivhet og motstand mot deformasjon under normale driftsforhold.

Ettersom kunden ikke har spesifikke krav til nedbøying, gjelder regler fra NORSOK N-001.

For nedbøyning er kravet akkurat tilfredsstilt i henhold til Tabell 2, hvor det for denne konstruksjonsdelen er  $L/200$  ( $15300\text{mm}/200 = 76.5\text{mm}$ ) mot den beregnede nedbøyningen på  $67.9\text{mm}$ .

For calculations in the SLS the material factor shall be 1,0.

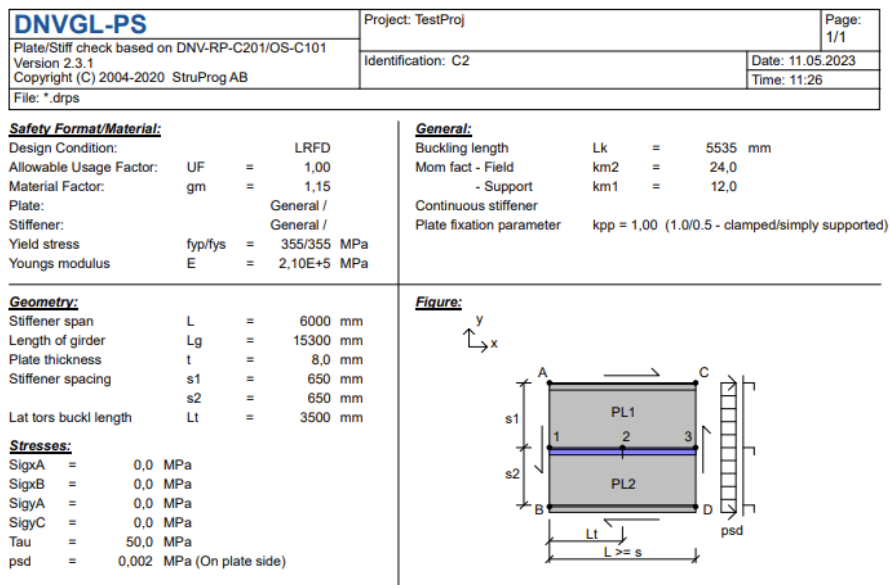
**Table 2 — Limiting values for vertical deflections**

Condition	Limit for $\delta_{\max}$	Limit for $\delta_2$
Deck beams	$L/200$	$L/300$
Deck beams supporting plaster or other brittle finish or non-flexible partitions	$L/250$	$L/350$

Figur 81: Tabell 7.2.4 i NORSOK N-001 [8]

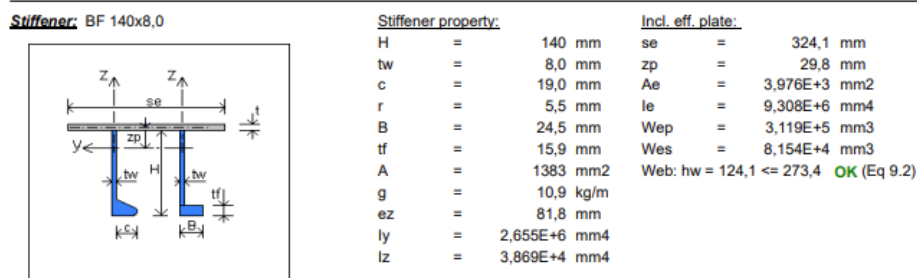
## 5.6. Stivere og platesjekk

Ved å integrere platespenningsresultatene fra GeniE inn i STIPLA-programvaren, er det utført en omfattende analyse for å bestemme nødvendige stivere og deres respektive avstander. For å ha et konservativt utgangspunkt, er det benyttet største stiveravstand på 6 meter, tatt fra spennet mellom de sentrale søylene på langsiden, samt det lengste bjelkespennet på 15,3 meter for samtlige stivere. Et utvalg av standardprofiler fra programvaren er nøye vurdert basert på deres kapasitet, vekt og strukturelle enkelhet.



Figur 82: Informasjon implementert i STIPLA.

Profilet BF140x8 ble identifisert som et robust og hensiktsmessig alternativ, med tilstrekkelig bæreevne og en akseptabel egenvekt, samtidig som det tilbyr en effektiv og enkel implementering i konstruksjonen. Ettersom stiverne sveises i underkant av platene, vil platen virke som en toppflens for profilet. Dermed danner det seg en slags H-profil.



Figur 83: BF 140x8,0 profil – STIPLA.

I Stipla er det i tillegg til valg av stivere blitt utført kapasitetskontroll av både plate og stiverne. I figur 86 kan man se resultatene. Stiverne har en utnyttelse på 0.49, og platene har en utnyttelse på 0.37. Begge elementtypene har dermed tilstrekkelig kapasitet og har en god sikkerhetsmargin.

<b>STIFFENER BUCKLING CHECK (DNV-RP-C201):</b> (1 = Support, 2 = field; s = stiffener, p = plate)	
se = 324,1 mm Sigxsd = 0,0 MPa Sigysd = 0,0 MPa p0 = 0,000 MPa z* = -113,0 mm	
UF1s=Nsd/Nks1Rd+(M1Sd-NSd*z)/(Ms1Rd*(1-Nsd/Ne))+u = 0,0/374,2+(3,9-0,0*-0,113)/(23,8*(1-0,0/629,7))+0,330 =	<b>0,49 &lt; 1,00 (Eq 7.50)</b>
UF1p=Nsd/Nkp1Rd-2*NSd/N1Rd+(M1Sd-NSd*z)/(Mp1Rd*(1-Nsd/Ne))+u =	
0,0/409,2-2*0,0/1227,4+(3,9-0,0*-0,113)/(96,3*(1-0,0/629,7))+0,330 =	<b>0,37 &lt; 1,00 (Eq 7.51)</b>
UF2s=Nsd/Nks2Rd-2*NSd/NRd+(M2Sd+NSd*z)/(Ms2Rd*(1-Nsd/Ne))+u =	
0,0/374,2-2*0,0/1227,4+(2,0+0,0*-0,113)/(25,2*(1-0,0/629,7))+0,330 =	<b>0,41 &lt; 1,00 (Eq 7.52)</b>
UF2p=Nsd/Nkp2Rd+(M2Sd+NSd*z)/(Mp2Rd*(1-Nsd/Ne))+u = 0,0/409,2+(2,0+0,0*-0,113)/(96,3*(1-0,0/629,7))+0,330 =	<b>0,35 &lt; 1,00 (Eq 7.53)</b>
Shear check: Vsd/Vrd = 3,9/176,9 =	<b>0,02 &lt; 1,00 (Ch 7.8)</b>
<b>PLATE YIELD CHECK (Points A-D) AND LATERAL CHECK:</b>	
Yield, max in point: A: UF = Sigjd/fyd = 86,6/308,7 =	<b>0,28 &lt; 1,00</b>
Lateral: PL1 - UF = p/pRd = 0,002/0,184 =	<b>0,01 &lt; 1,00</b>
<b>PLATE THICKNESS CHECK (DNVGL-OS-C101, Ch.2 Sec.4 [6.3]):</b> Check in points A-D (see figure)	
Point A: Sigjd = 86,6 MPa UF = tmin/t = 0,85/8,00 =	<b>0,11 &lt; 1,00</b>
<b>STIFFENER YIELD CHECK:</b> (check at points 1-3, plate(p) and stiffener(s)). Effective width se = 650,0	
Point 1p: UF = Sigjd/fyd = 86,9/308,7 =	<b>0,28 &lt; 1,00</b>
Point 1s: UF = Sigx/fyd = 45,8/308,7 =	<b>0,15 &lt; 1,00</b>
<b>STIFFENER SECTION MODULUS CHECK (DNVGL-OS-C101, Ch.2 Sec.4 [6.4]):</b> (check at points 1-3, plate(p) and stiffener(s)) Effective width se = 650,0 mm	
Point 1p: Sigjd = 86,6 MPa UF = Zs/Wp = 1,756E+4/5,950E+5 =	<b>0,03 &lt; 1,00</b>
Point 1s: Sigxd = 0,0 MPa UF = Zs/Ws = 1,500E+4/8,513E+4 =	<b>0,18 &lt; 1,00</b>

Figur 84: Utnyttelser av plater og stivere i STIPLA.

## 5.7. Knutepunktsgedesign og beregninger

I knutepunktene er det brukt sveiser av typen kilsveis og full-pen buttsveis.

Knutepunktsgedesigner gjøres for hånd ettersom GeniE ikke regner på knutepunkt. Ettersom punkt 4.9 i NS-EN 1993-1-8 er oppfylt, kan alle kilsveiser regnes på som plastiske med forenklet metode.



I TR3055(kilde) heter det at alle hovedknutepunkt i en modul skal ha full-pen buttsveis for delene som tar opp betydelige aksialspenninger [34]. Det kan vurderes å kun definere knutepunktene ved support og løfteører som hovedknutepunkt, men elektromodulen er avhengig av alle søylene for global integritet. Det medfører at de fleste flensene skal ha full-pen buttsveis, ettersom de er bestemt til å ta aksialspenninger. Samtidig vil det være nødvendig med full-pen i stegene for knutepunktene som er klassifisert som hovedknutepunkt. Videre i kapitlet er det undersøkt hvilke størrelser en kilsveis må ha dersom dette hadde blitt brukt.

Det er regnet på fire ulike knutepunkt, hvor alle er vurdert momentstive for å få et mest mulig realistisk knutepunkt. I denne delen er det beregnet forbindelsene mellom HE300B og I900x300, I900x500 og I600x500, I900x500 og I900x300, samt en HE400B søyle ned på hovedrammen I900x500. De fire knutepunktene som blir beregnet på er antatt til å være de mest utnyttede av sine typer.

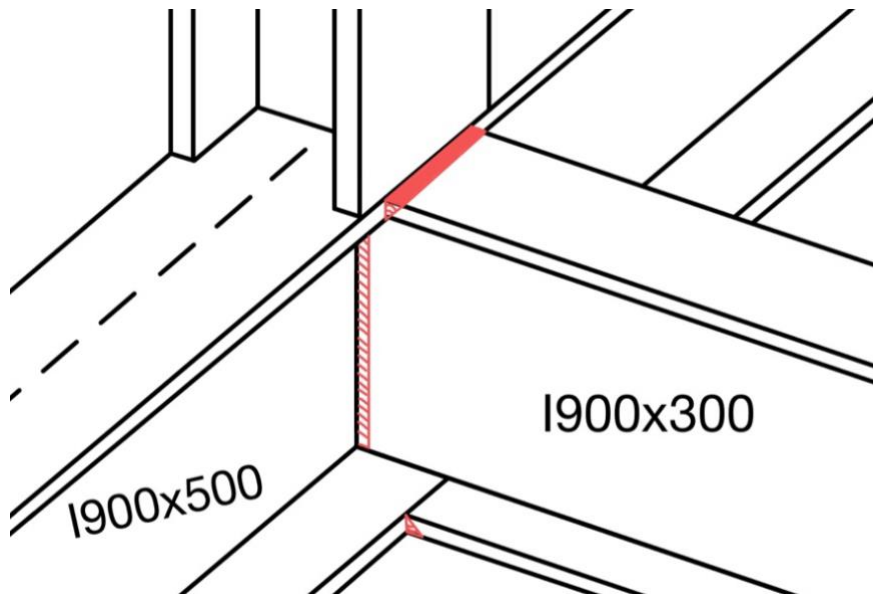
Forenklet er knutepunktene sett på som sveist til en endeplate, dermed blir det ikke nødvendig å sjekke for sveiser mellom steg og flens. I realiteten er det nødvendig å regne på sveiser i tre dimensjoner, ettersom det vil komme en sveis mellom toppflensen til den ene bjelken til toppen av steget til den andre bjelken. For å forsterke knutepunktene er det planlagt å sveise inn stivere på baksiden av forbindelsene for å stive av og gi ekstra stabilitet til forbindelsen. For at oppgaven ikke skal bli for kompleks, er det ikke tatt hensyn til beregningene av stiverne som blir plassert inn.

Alle sveiseberegningene er vist i vedlegg G.

#### *5.7.1. Knutepunkt mellom I900x500 og I900x300*

I knutepunktet vil lastvirkningene overføres fra den tverrgående bjelken videre til rammebjelken og videre ned i opplegget. Momentet kan ikke overføres ned i opplegg og vil dermed føres opp i søylen. Gjennom analysen i GeniE er det hentet ut kreftene som virker i knutepunktet. Se figur 88 for bjelkekrefter

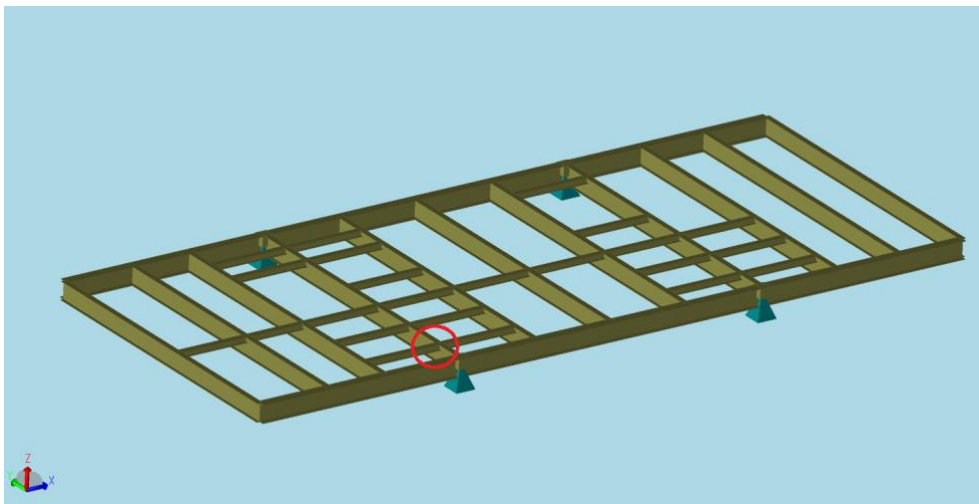




Figur 87: Knutepunkt mellom I900x300 og I900x500. Full-pen sveis for steg og flenser.

### 5.7.2. Knutepunkt mellom HE300B og I900x300

Gjennom knutepunktet skal lasten fra den ene SFC-transformatoren overføres fra en HE300B bjelke til en tverrgående hovedbjelke. Kraftene som virker i knutepunktet er hentet ut fra analysen i GeniE, der det ble valgt verst mulig lastkombinasjon.



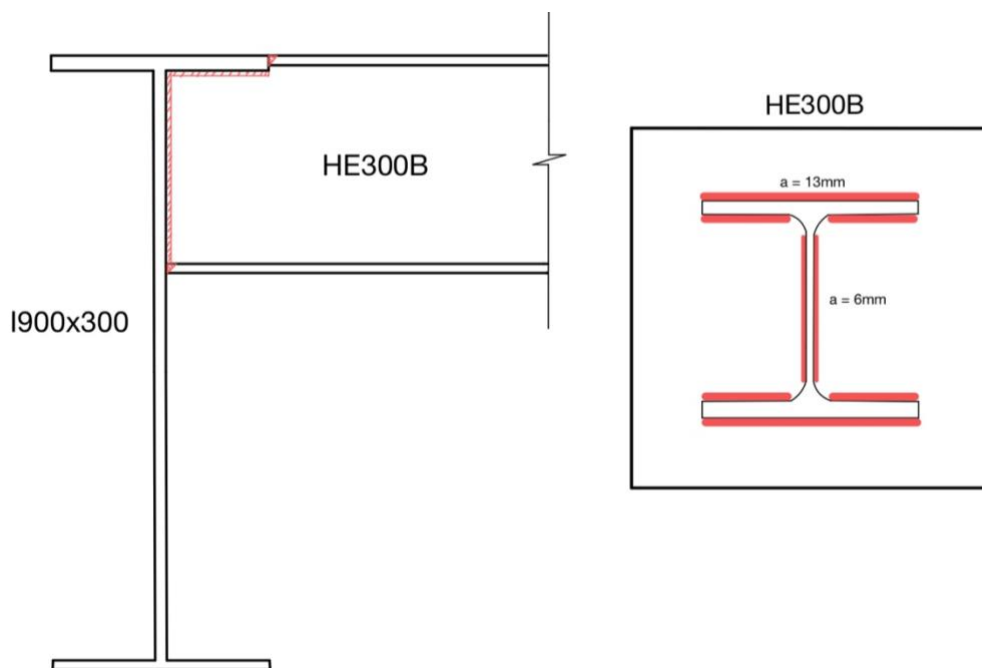
Figur 88: Knutepunkt mellom HE300B og I900x300

Som nevnt tidligere skal toppflensene buttsveises til hverandre for å få en jevn overgang mellom elementene i forbindelsen. Videre er det dermed gjort beregninger for kilsveis for resten av forbindelsen. For å sikre god nok kapasitet i sveisene er det brukt aksialkapasiteten til flensene og skjærkapasiteten til steget som dimensjonerende kraft, istedenfor påførte lastvirkninger.

Beregningene viser at det er nødvendig med et a-mål på 6 mm ved steget. Det medfører at sveisene har en utnyttelse på 0.5 i forhold til den opptredende skjærkraften.

For flensene viser beregningene at det er god nok kapasitet med et a-mål på 13 mm på hver side av bunnflensen, hvor sveisene vil være utnyttet 0.35.

Knutepunktet er ikke et hovedknutepunkt og dermed er løsningen for knutepunktet at stegsveisene vil få et a-mål på 6mm langs begge sider, mens flenssveisen får et a-mål på 13 mm.



Figur 89: Knutepunkt med HE300B - Forenklet sveiset mot endeplate.

### 5.7.3. Knutepunkt mellom HE400B og I900x500

Det er kontrollert om flensene og steget vil tåle de opptredende kreftene som virker i forhold til lastfordelingen som er bestemt. Beregningene viser at steget har en utnyttelse på 0.1, mens flensene har en utnyttelse på 0.31. Dette høres rimelig ut grunnet en lav opptredende skjærkraft. Siden flensene tar opp momentet og aksialkraften på 1140 kN, høres dette også rimelig ut.

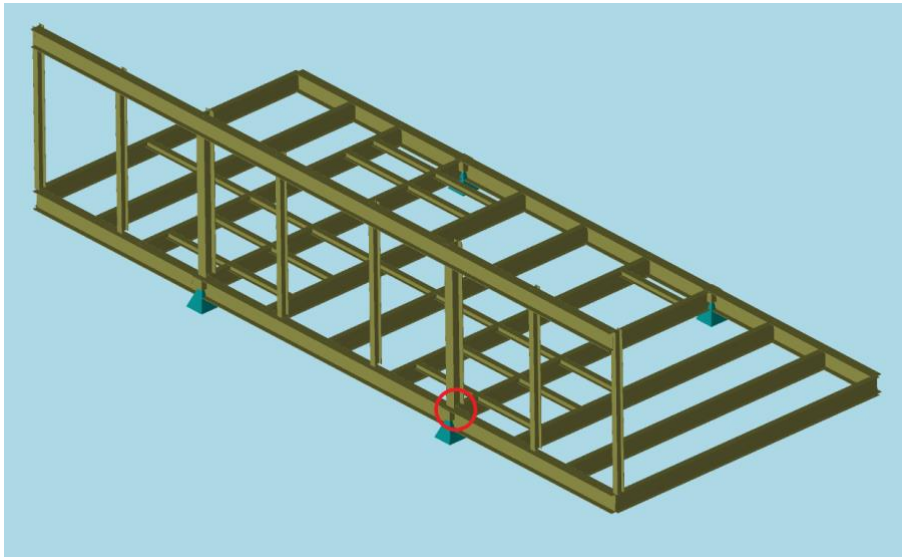
Videre ble det beregnet størrelse på nødvendig a-mål for at sveisene skal ha større kapasitet enn de respektive delene i HE400B-profilet. Resultatene viser at nødvendig a-mål på stegsveisene er 5 mm, mens det for flensene trengs 16 mm. Ved bruk av disse a-målene vil

utnyttelsen av sveisene henholdsvis bli 0.09 ved steget, og 0.30 ved flensene.

HE400B søylen regnes som et hovedknutepunkt og dermed vil flensene egentlig ha full-pen buttsveis. I lastfordelingen brukt i beregningene er det ikke plassert aksialspenninger i steget, men siden dette er en søyle vil det i realiteten gå aksialspenninger på hele tverrsnittet. Dette medfører at steget også må ha full-pen buttsveis etter TR 3055.

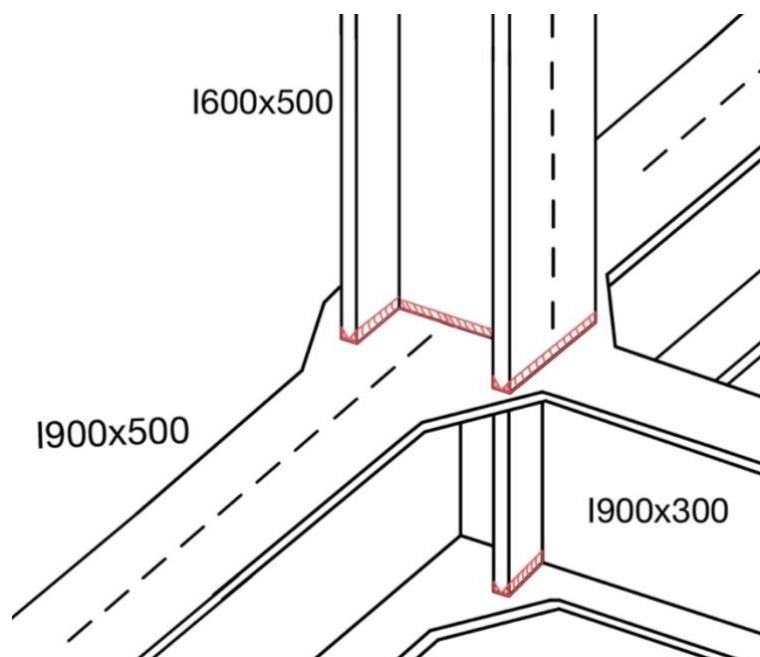
#### 5.7.4. Knutepunkt mellom I600x500 og I900x500

I knutepunktet føres kreftene fra den ene hovedsøylen til rammebjelken i bunn.



Figur 90: Knutepunkt mellom I600x500 og I900x500

Det er valgt å forsterke knutepunktet lokalt ettersom høyden av søyleprofilet er større enn flensbredden til både rammebjelken og den tverrgående bjelken. Dette løses med å øke bredden på flensene lokalt, samt putte inn lokale støtter for å styrke knutepunktene under de største søylene. For å ikke gjøre oppgaven for kompleks er dette ikke regnet på, men dette kan bli løst som vist på figur 93.



Figur 91: Knutepunkt mellom I600x500 og I900x500

Beregningene viser at flensene ikke tåler spenningene den vil få dersom lastbildet er som antatt. Spenningene er også for høye dersom aksialkraften fordeles over hele tverrsnittet. Dermed er det nødvendig å fordele både spenningene fra aksialkraft og bøyning på hele tverrsnittet. Det er ikke nødvendig å sjekke tverrsnittet for lastpåkjenningene på nytt, ettersom det allerede er kontrollert i 5.5.1.3 for det samme lastbildet. Dette vil bety at også stegsveisene må ta opp litt normalspenning fra momentet, men ettersom de har god kapasitet vil det være tilstrekkelig ikke være et problem.

Videre viser beregningene at flensene vil ha behov for en sveis med a-mål 29 mm på flens og 10 mm på steget. Grunnet de store størrelsene, samt kravet i TR3055 vil det bli brukt full-pen buttsveis i både steg og flens.

## 6. Drøfting

Fokuset i oppgaven har hovedsakelig vært analyse og design i programvaren GeniE. En stor del av prosessen har dermed gått til å lære programmet. Som følge av dette er ikke håndberegningene vektlagt over GeniE-analysen i dimensjonering av modellen. Kontrollene er kun gjort for å sammenligne og sjekke om GeniE gjør de samme vurderingene som tiltenkt. Lastfordelingen er hovedforskjellen på våre beregninger og GeniE sin analyse, som medfører en ulik utnyttelse av elementene. Dette burde bli ytterligere kontrollert og testet i programvaren.

De ulike designene ble laget tidlig i prosessen og det valgte alternativet burde hatt noen endringer for å forbedre modellen. I hovedsak burde alle tverrbjelkene kobles sammen i knutepunkt med søyler. Dette er for å sikre bedre kraftoverføring. Det ville senket utnyttelsen på flere av tverrbjelkene og de kraftigste søylene, som videre fører til behov for større søyledimensjoner på de andre søylene. I tillegg kunne det blitt vurdert å dimensjonere søyler inne i modulen for å redusere utnyttelsen av tverrbjelkene samt de andre søylene. Det kunne dermed blitt valgt likt profil for alle søylene og oppnådd et mer estetisk utseende og et bedre design.

Forenklet ble tote tankene utelatt fra modellen i GeniE ettersom lastdekke-lasten er større. Derimot burde det blitt tatt hensyn til at tote tankene kan stables i høyden, noe som gir en høyere last. Utstyret Boiler skid ble også kun oppgitt med en dødvekt, og kan vike fra operativ vekt, noe som medfører en større last. Derimot vil dette ha en positiv påvirkning av tyngdepunktet, ettersom det flyttes nærmere geometrisk senter.

I realiteten vil opplagere være plassert i de beste kontaktpunktene på eksisterende modul. Det ble derimot tatt en vurdering på å velge de beste oppleggspunktene for elektromodulens rammebjelker. Plasseringen reduserer spennet til rammen, noe som minsker dens utnyttelse, grunnet økt stabilitet.

Det er blitt gjort flere forenklinger med hensyn på laster i modellen. Dette er gjort til sikker side, men burde gjøres ordentlig ved en mer komplett analyse. Forenklinger, som for eksempel vindlastfaktor lik 1.8 på tak er gjort grunnet at det er svært tidskrevende å legge flere ulike laster inn i GeniE. Dermed er det også mulig at utnyttelsene ved håndberegningene kunne vært tilstrekkelige.

## 7. Konklusjon

I denne bacheloroppgaven er det utforsket muligheten for å designe og dimensjonere en elektromodul på en måte som ivaretar effektivitet og sikkerhet, samtidig som den oppfyller alle nødvendige tekniske krav og standarder.

Utstyrs plasseringen har vært et kjerneaspekt gjennom designprosessen og er gjort med hensyn på sikkerhet og arealeffektivisering. Plasseringene ses an til å være svært gode for lastoverføringer og tyngdepunkt, samt tilkomst til utstyr og utganger. Den valgte løsningen er derfor konkludert som tilstrekkelig.

Design er gjort i henhold til størrelseskrav, gode lastoverføringer, estetikk og enkelhet. Det ble laget tre alternative løsninger, hvor alternativ 3 ble ansett til å være den beste løsningen. I modulen er det brukt 5 ulike profiltyper, hvorav to er standardprofiler og tre er sammensveiste. Det valgte alternativet er ansett som hensiktsmessig ifølge ønsker og krav.

Resultatene fra analysene i GeniE viser at modulen er i stand til å håndtere de forventede lastene og påkjenningene som vil oppstå under normale driftsforhold og i potensielle ekstreme situasjoner. Undersøkelsene for ULS og ALS indikerer betydelig kapasitet, noe som er fordelaktig med tanke på eventuelle endringer eller uforutsette hendelser som kan oppstå. I SLS er det kontrollert nedbøyning, hvor kravet er opprettholdt.

Ved håndberegnete kontroller, overskrider derimot den ene bjelken i konstruksjonen kravene for utnyttelse i ULS med sju prosent. Ettersom flere av lastene er konservative vil derimot elementet mest sannsynlig ha tilstrekkelig kapasitet. Dette må derimot kontrolleres grundig. Om videre kontroller viser at elementet ikke tåler påkjenningene, bør valgt profil revurderes.

Plater og stivere i konstruksjonen er valgt og dimensjonert for å tåle lastpåkjenningene. Kontrollene i Stipla viser at de er tilstrekkelige for å ta opp spenningene som oppstår i konstruksjonen. Stiveravstandene og profilet valgt, samt tykkelsene på platene er dermed hensiktsmessige valg.

Knutepunktene i modulen er kontrollert ved håndberegninger. De fleste forbindelsene vil anses som hovedknutepunkt, og i henhold til TR3055 vil det dermed bli brukt full-pen buttsveis i både steg og flenser. Ettersom analysene viser at elementene har tilstrekkelig kapasitet vil også dermed sveisene være gode nok. Det er brukt en kombinasjon av kilsveis og



full-pen buttsveis for de mindre knutepunktene, og beregningene viser at de valgte sveisestørrelsene har tilstrekkelig kapasitet.

Det er verdt å merke seg at denne oppgaven har noen begrensninger, blant annet at det ikke er tatt hensyn til jordskjelv og brannfare, samt at det kun er beregnet utvalgte knutepunkt.

Modulen er også forenklet for å holde oppgaven innenfor et håndterbart omfang. Til tross for disse begrensningene, gir resultatene fra oppgaven et solid fundament for videre arbeid og potensielle forbedringer av modulens design.

Det konkluderes med at designet presentert gjennom oppgaven vil være en hensiktsmessig løsning for problemstillingen. Dersom utfyllende kontroller blir gjennomført vil løsningene ivareta effektivitet og sikkerhet, samt opprettholde relevante tekniske krav.

## 8. Videre arbeid

Under arbeidet med problemstillingen var det utilstrekkelig tid til å dekke flere ulike tema.

Videre burde det derfor blitt foretatt flere kontroller:

Det kan utføres fullstendige grensetilstandskontroller, hvor det inkluderes jordskjelv, brann, utmatting osv. Det er ikke gjort i oppgaven grunnet prioritering av andre temaer.

I oppgaven er det kun foretatt primærkontroll av konstruksjonen. Lokale kontroller kan gjøres for å sjekke spesifikke elementer eller områder i modulen. Dette kan for eksempel innebære å plassere punktlast direkte på stivere.

Det ble tidlig i oppgaven vurdert å ta med løft, men grunnet utilstrekkelig tid er et ikke gjort løfteberegning og dimensjonering. Derimot er det valgt kraftige hovedsøyler hvor det kan plasseres løfteører for et potensielt løft. Samtidig er det fokusert på å ha et mest mulig sentrisk tyngdepunkt. Dermed er det mulig å gjøre videre beregninger for løft for modulen.

Forenklet er det kun dimensjonert sveiser for knutepunktene med de mest utnyttede elementene. Videre burde det blitt foretatt en fullstendig knutepunktsdimensjonering som innebærer lokal forsterkning, stivere og sveis i tre dimensjoner. I tillegg bør det kontrolleres alle elementers knutepunkt, for å finne de verst mulige.

Til slutt kan det være mulig å implementere stablede tote tanker i GeniE. Det bør da bestemmes et område for oppbevaring av disse på lastedekke. Her skal det da ikke være lastedekke-last samtidig som tote tankene står der.

## 9. Litteraturliste

- [1] Aibel, «Oseberg Portfolio Agreement,» 2023. [Internett]. Available: <https://aibel.com/project/oseberg-portfolio-agreement>.
- [2] Equinor, «Investing NOK 10 billion in further developing the Oseberg field,» 26 November 2021. [Internett]. Available: <https://www.equinor.com/news/archive/20211126-oseberg-pdo-amendment>.
- [3] Equinor, «Oseberg Feltsenter,» 2023. [Internett]. Available: <https://www.equinor.com/no/energi/oseberg>.
- [4] Norsk Petroleum, «Oseberg,» 18 Mai 2023. [Internett]. Available: <https://www.norskpetroleum.no/fakta/felt/oseberg/>.
- [5] Norsk Petroleum, «Felt,» 18 Mai 2023. [Internett]. Available: <https://www.norskpetroleum.no/fakta/felt/>.
- [6] Energi24, «Ny PUD godkjent – oppgraderer Oseberg for 10 milliarder kroner,» 1 Desember 2022. [Internett]. Available: <https://energi24.no/nyheter/ny-pud-godkjent-oppggraderer-oseberg-for-10-milliarder-kroner>.
- [7] P. K. Larsen, Dimensjonering av stålkonstruksjoner, Bergen: Fagbokforlaget, 2020.
- [8] Standard Norge, *NORSOK N-001 - Sikkerhet av offshore konstruksjoner*, 2021.
- [9] Ø. Grøndalen, Materiallære, Bergen: Fagbokforlaget, 2017.
- [10] J. K. Solberg, N. Christensen og A. Almar-Næss, «Stål,» 3 Juni 2022. [Internett]. Available: [https://snl.no/st%C3%A5l#-Egenskaper\\_og\\_anvendelser](https://snl.no/st%C3%A5l#-Egenskaper_og_anvendelser).
- [11] O. Lohne, «Duktilitet,» 9 Juni 2020. [Internett]. Available: <https://snl.no/duktilitet>.
- [12] O. Lohne, «flytegrense,» Store norske leksikon, 16 Juni 2020. [Internett]. Available: <https://snl.no/flytegrense>. [Funnet April 2023].

- [13] A. Almar-Næss, «Forvarming,» Store norske leksikon, 24 November 2017. [Internett]. Available: <https://snl.no/forvarming>. [Funnet April 2023].
- [14] F. Wald, «Welded portal frame eaves moment connection,» 2021. [Internett]. Available: <https://www.ideastatica.com/support-center/welded-portal-frame-eaves-moment-connection>.
- [15] Welder Academy, «Can You Weld Outside?,» 2023. [Internett]. Available: <https://welderacademy.com/can-you-weld-outside/>.
- [16] J. K. Paik og A. K. Thayamballi, Ship-Shaped Offshore Installations - Design, Building, and Operation, Cambridge University Press, 2007.
- [17] Standard Norge, *Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner Del 1-8: Knutepunkter og forbindelser*, 2009.
- [18] Standard Norge.
- [19] Det Norske Veritas, «Conceptual modelling of offshore and maritime structures - GeniE,» 2023. [Internett]. Available: [https://www.dnv.com/services/conceptual-modelling-of-offshore-and-maritime-structures-genie-89128?gad=1&gclid=CjwKCAjwvJyjBhApEiwAWz2nLT9SebAiZ58uzdK7whQhiZz0Nj1qtNLBTJ48t91tX\\_kai9lrgVEJnxoC-4QQAxD\\_BwE&gclsrc=aw.ds](https://www.dnv.com/services/conceptual-modelling-of-offshore-and-maritime-structures-genie-89128?gad=1&gclid=CjwKCAjwvJyjBhApEiwAWz2nLT9SebAiZ58uzdK7whQhiZz0Nj1qtNLBTJ48t91tX_kai9lrgVEJnxoC-4QQAxD_BwE&gclsrc=aw.ds).
- [20] R. D. Cook, D. S. Malkus, M. E. Plesha og R. J. Witt, Concepts and Applications of Finite Element Analysis, 2001.
- [21] KI Consulting Engineers, «Your Finite Element Expert,» 2023. [Internett]. Available: <https://ki.dk/en/fea/>.
- [22] J. J. Jensen, Et Idé- og veiledningshefte i teknologi & design - Bærende konstruksjoner - Om bygg og bygningskonstruksjoner, Teknologi i Skolen, 2004.
- [23] H.-K. Dalheim og E. Listøl, «Dimensjonering av globale avstivningssystemer i betong - Sammenligning av to systemer,» Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet,

2020.

- [24] P. Dannevig og K. Harstveit, «Vind,» 12 Oktober 2020. [Internett]. Available: <https://snl.no/vind>.
- [25] Det Norske Veritas, «RECOMMENDED PRACTICE DET NORSKE VERITAS DNV-RP-C205 - ENVIRONMENTAL CONDITIONS AND ENVIRONMENTAL LOADS,» 2010.
- [26] Standard Norge, *NORSOK N-003 - Actions and Action Effects*, 2017.
- [27] Statoil, «Oseberg Field Metocean Design Basis,» 2014.
- [28] Standard Norge, *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-4: Almenne laster Vindlaster*, 2009.
- [29] Ø. Vollen, *Mekanikk for ingeniører; statikk og fasthetslære*, NKI, 2010.
- [30] Standard Norge, *NORSOK N-004 - Design av offshore konstruksjoner*, 2022.
- [31] Standard Norge, *Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner Del 1-1: Almenne regler og regler for bygninger*, 2015.
- [32] American Petroleum Institute, «Standard,» American Petroleum Institute, [Internett]. Available: <https://www.api.org/products-and-services/standards>. [Funnet May 2023].
- [33] American Institute of Steel Construction, «Current standards,» American Institute of Steel Construction, [Internett]. Available: <https://www.aisc.org/publications/steel-standards/>. [Funnet May 2023].
- [34] Equinor, *TR3055 - Requirements to offshore topside structures*, 2021.
- [35] M. Dahl, «Aibel slutter seg til globalt initiativ for å kutte metanutslipp,» 7 September 2022. [Internett]. Available: [https://www.metalsupply.no/article/view/865960/aibel\\_slutter\\_seg\\_til\\_globalt\\_initiativ\\_for\\_a\\_kutte\\_metanutslipp](https://www.metalsupply.no/article/view/865960/aibel_slutter_seg_til_globalt_initiativ_for_a_kutte_metanutslipp).

[36] ABB, «PCS100 SFC Highlights,» 2023. [Internet]. Available:  
[https://new.abb.com/power-converters-inverters/grid-  
interconnections/industrial/pcs120-sfc/highlights](https://new.abb.com/power-converters-inverters/grid-interconnections/industrial/pcs120-sfc/highlights).

# Vedleggsliste

**Vedlegg A** – Vekt av stivere

**Vedlegg B** – Vindlast og eksplosjonslast

**Vedlegg C** – Reduksjonsfaktor nyttelast

**Vedlegg D** – Code check ULS

**Vedlegg E** – Kontrollberegning

**Vedlegg F** – Code check ALS

**Vedlegg G** – Sveis

**Vedlegg H** – GeniE input fil