

REPORT

CLIENT(S): EasyForm AS	DATE: 2015-04-08
PROJECT: LITUSLUX	ISSUE: 02
REPORT NO: LITUSLUX-001	CLASSIFICATION:
AUTHOR(S): Nils Petter Vedvik	PAGES 18

TITLE:

LitusLux: design og dimensjonering

OPPSUMMERING OG KONKLUSJON:

LitusLux er et nytt konsept for fyr utviklet av EasyForm AS på oppdrag fra Kystverket. Denne rapporten beskriver design og beregninger for konstruksjonen.

Prosjektet har fokusert på produktutvikling hvor målet har vært en funksjonell prototyp men hvor det forutsettes at modifikasjoner basert på erfaringer med både utvikling, produksjon og testing er både relevant og sannsynlig. Denne rapporten har derfor forsøkt å gi en mest mulig generell og overordnet fremstilling av grunnlaget for design, og hvor både egenskaper og resultater må tas som omtrentlige verdier.

Denne rapporten konkluderer med at prototypen representerer en tilstrekkelig robust konstruksjon forutsatt at endelig kvalitetssikring av materialer og produksjon blir ivaretatt. Dette impliserer at produsenter må dokumentere minimumsegenskaper og konsistent produksjon på laminat og komponent. For lang-tids eksponering anbefales det videre at det utføres tester og eventuell optimalisering av konstruksjonsdetaljer og forbindelser.

Med de forutsetninger som er gjort vil maksimal horisontal forskyving for lykten være på ca. 4 mm. Merk at dette er med referanse til et uendelig stivt fundament.

REVISJONER:

01: Første utgave til gjennomgang

02: Revisjon etter innspill fra EasyFrom AS

1 Innhold

1	Innhold.....	2
2	Forkortelser og symboler	3
3	Introduksjon	4
4	Beregningsgrunnlag.....	5
5	Beregninger, analyse og resultat.....	6
5.1	Global analyse	6
5.1.1	Laster og grensebetingelser	7
5.1.2	Resultater og diskusjon	8
5.2	Fundament	11
5.3	Løft.....	11
5.4	Andre limte og boltede-forbindelser.....	13
6	Material og laminatkonfigurasjon	13
7	Referanser	16
8	Appendix.....	17
8.1	Implementert vindlast.....	17
8.2	Resultater	18

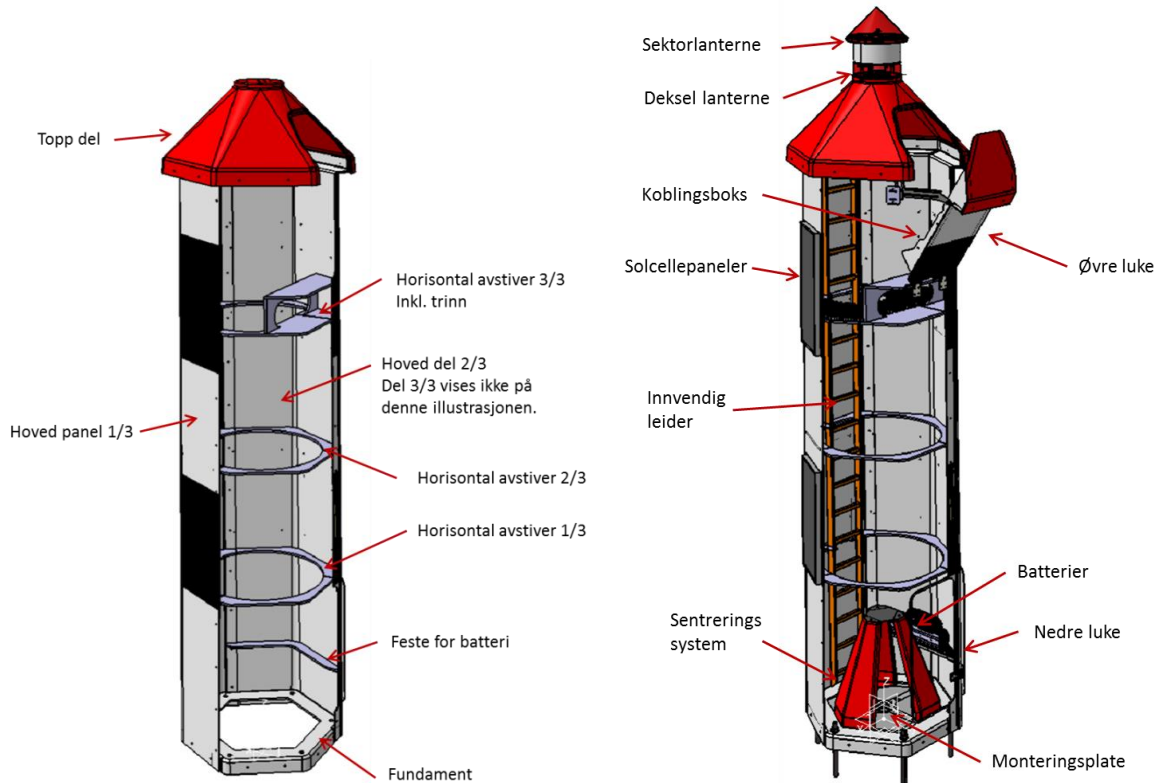
2 Forkortelser og symboler

ALS	Accidental Limit State
CSM	Chopped Strand Mat Laminate
CSYS	Coordinate System
FEA	Finite Element Analysis
FEM	Finite Element Model
GFRP	Glass Fiber Reinforced Polymers
GRP	Glass Fiber Reinforced Polymers
LPT	Load Proportionality Factor
LT	Longitudinal-Transverse, refers to knitted fabrics of such configuration
MSTRS	Maximum stress failure criterion index, load/strength ratio, exposure factor
RF	Reaction Force
RM	Reaction Moment
UD	Uni-directional, for fiber reinforcements in a ply material
UF	Utilization factor
ULS	Ultimate Limit State

ρ	Density
E_i	Young's modulus, direction $i = \{1,2,3\}$ or $\{x,y,z\}$
ν_{ij}	Poisson's number, $i,j = \{1,2,3\}$ or $\{x,y,z\}$
G_{ij}	Shear modulus, $i,j = \{1,2,3\}$ or $\{x,y,z\}$
X_t	Longitudinal tensile strength
Y_t	Transverse tensile strength
X_c	Longitudinal compressive strength
Y_c	Transverse compressive strength
S_{12}	In-plane shear strength
g	Gravity
ϵ_{ft}	Fiber failure strain, tensile
ϵ_{fc}	Fiber failure strain, compression

3 Introduksjon

En generell introduksjon og beskrivelse av prosjektet er gitt av EasyForm [1]. I denne rapporten gis en beskrivelse av produktet som er avgrenset til essensielle prinsipper for design, beregning og materialer. Komponenter med definisjoner er vist i Figur 3-1.



Figur 3-1: LitusLux, komponenter og definisjoner

Tre hoved-panel står for hoveddelen av den strukturelle konstruksjonens masse og materialforbruk. En grunnleggende prioritering har derfor vært å legge til grunn et mest mulig effektivt designprinsipp for denne delen. Alternative oppbygninger til vurdering var:

- Håndlaminert CSM eller multi-aksiell glassfiber-armering
- Vakuumstøpt multi-aksiell armering
- Ulike kombinasjoner av sandwich laminat

På tross av at konstruksjonen er betydelig vekt-kritisk, ble sandwich design vurdert som mindre optimalt enn de andre alternativ av følgende årsaker:

- Sandwich design legger føringer og begrensninger på både produksjonsmetoder og design-detalljer som ble vurdert som mindre hensiktsmessige, og
- Det skaper betydelig større utfordringer for forbindelser og sammenstillinger. Produktet har et stort antall boltede forbindelser både mellom strukturelle komponenter og funksjonelt utstyr.

Håndlaminerte laminat er strukturelt mindre effektive enn vakuumstøpte laminat på grunn av lavere volumfraksjon av fiber. Den avgjørende årsaken for å forkaste håndlaminering på hoved-panel er imidlertid basert på repeterbarhet og uniform tykkelse som er nødvendig for en sammenstilling basert på limte og boltede flenser.

Grunnleggende laminatkonfigurasjon for hoved-panel har sekvens $[0/\pm 45]_n$, hvor forholdet mellom 0 og ± 45 er tilnærmet 1/1 (DBL) og hvor 0-retning er i lengderetningen av panelet. Denne oppleggingen er begrunnet i både strukturelle forhold og produksjonstekniske aspekt: Design-last fra vind gir primært en global bøyelast som med henholdsvis strekk og trykk på oppstrøms og nedstrøms retning som ivaretas av langsgående fiber. Skjærlast på sider ivaretas av ± 45 -lag, samtidig som denne konfigurasjonen er fordelaktig i forhold til knekking på paneler utsatt for trykk. Av produksjonstekniske årsaker er dessuten en DBL armering å foretrekke fremfor tilsvarende DBLT matter på grunn av draperbarheten. En tilstrekkelig draperbarhet er nødvendig i overgangen mellom hoved-panel og toppdel (tak).

På bakgrunn av ønske om enkel produksjon og sammenstilling ble det besluttet å gjennomføre hoved-paneler med konstant tykkelse. Ved innledende overslag ble 8 mm tykkelse vurderer som tilstrekkelig for komponentene, samtidig som denne tykkelsen tilfredsstillende vektkrav.

Horisontale avstivere ivaretar ringstivheten til tårnet. Disse komponentene limes/lamineres inn ved montasje og representerer derfor en fleksibel løsning hvor antall og avstand kan justeres etter både strukturelle og funksjonelle behov.

Toppdel (tak) er designet basert på hånd-laminert CSM-laminat ettersom denne komponenten har relativt kompleks geometri som gir store utfordringer i en eventuell vakuumbestøping. Innledende overslag viste at en tykkelse på om lag 8 mm var tilstrekkelig for denne komponenten med hensyn på miljølast (vind).

4 Beregningsgrunnlag

Beregningsgrunnlag i forhold til vindlast og betingelser ble utarbeidet av Brothers AS [2] basert på Kystverkets håndbok [3] og Norsk standard [4]. Det henvises til denne for videre detaljer om anvendte laster gitt i seksjon 6.

Det har vært antatt en generell lastfaktor på 1.3 for miljølast, en material-faktor på 1.25 for bolter og en materialfaktor på 1.3 for sveiste stålforbindelser.

For kontinuerlig fiberkompositt-komponenter antas en generell materialfaktor på 5.0 basert på fibersvikt i henhold til trykk/strekk. Merk at dette ikke er gitt av spesifikke standarder, men er kun en konservativ tilnærming hvor det gis relativt stor rom for variasjoner og/eller andre sett av materialparameter når eventuelt endelig produksjonsunderlag skal utarbeides. Tilsvarende faktor anvendes for CSM materialer og laminat.

For knekking antas en kombinert faktor for material, geometri (imperfeksjon), og løsningsmetode lik 4.0.

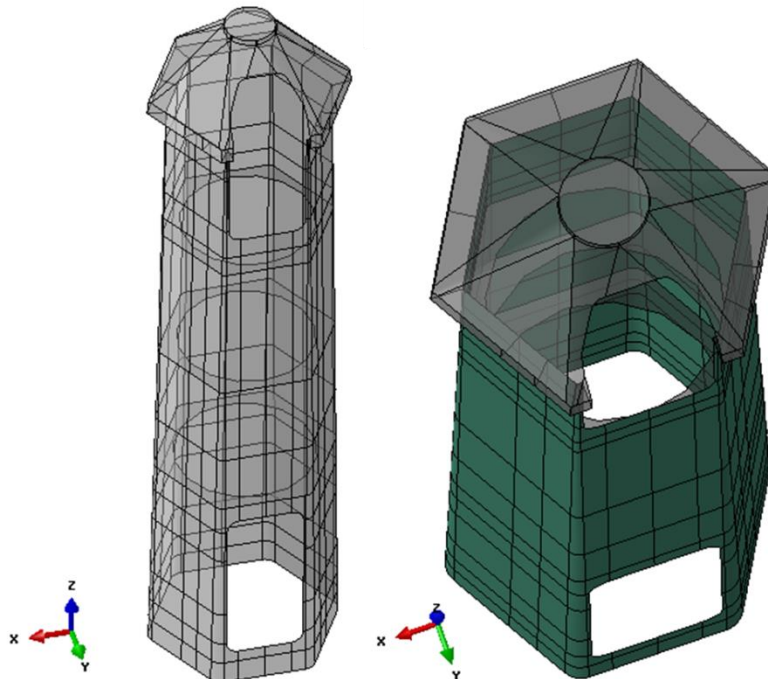
Materialdata og laminatkonfigurasjon er beskrevet nærmere i seksjon 6.

5 Beregninger, analyse og resultat

FEM-beregninger er utført med Abaqus 6.13 hvor to ulike løsningsmetoder er anvendt: generell statisk og lineær knekkingsanalyse (linear perturbation: buckling)

5.1 Global analyse

Basis-modell uten dør og luker er vist i Figur 5-1. Modellen er basert på geometri-filer fra EasyForm AS. Globale analyser av vindlast/løft er utført på skall-modeller hvor element-type S4R er anvendt. Om lag 15 000 elementer med maksimum størrelse på 50 mm gjelder for disse analysene.



Figur 5-1: Basis-modell representert som en skallmodell. Dør og luke er ikke inkludert i illustrasjonen.

Detaljerte beskrivelser av laminat og konstruksjonsdetaljer er gitt i [1]. Materialdata og sekvens for laminaer er gitt i seksjon 6. Endelig design av dør og luke var ikke tilgjengelig ved gjennomføring av analysene. Det har videre vært antatt at disse komponentene vil være gjenstand for modifikasjoner etter evaluering av prototype-fase. Det ble derfor besluttet å forenkle dør og luke til et nedre grensetilfelle med hensyn på stivhet og styrke der laminat-oppbygning er identisk med områder rundt tilsvarende åpninger og hvor rammer/karmer og andre avstivninger er heller ikke inkludert i beregningene. Kobling mellom dør/luke og karm er tilsvarende forenklet til punkt-koblinger som representerer hengsler og låsmekanismer.

Skallmodellen tar heller ikke hensyn til addert stivhet som følge av lim/bolt-flenser mellom hoved-paneler. Som argumenter i diskusjonen av resultat: problemet er grunnleggende et stivhets og stabilitetsproblem og ikke et materialstyrke problem. Ved å utelate flensene innfører vi derfor en konservativ representasjon av systemet.

På tilsvarende vis som for flensene mellom hoved-panel er flens mellom top-del (tak) og hoved-paneler forenklet til en butt-i-butt kobling mellom disse. Altså er faktisk tykkelse når sammenstilt modellert kun som tykkelse til laminat i hoved-paneler. Dette er nok en forenkling i konservativ retning.

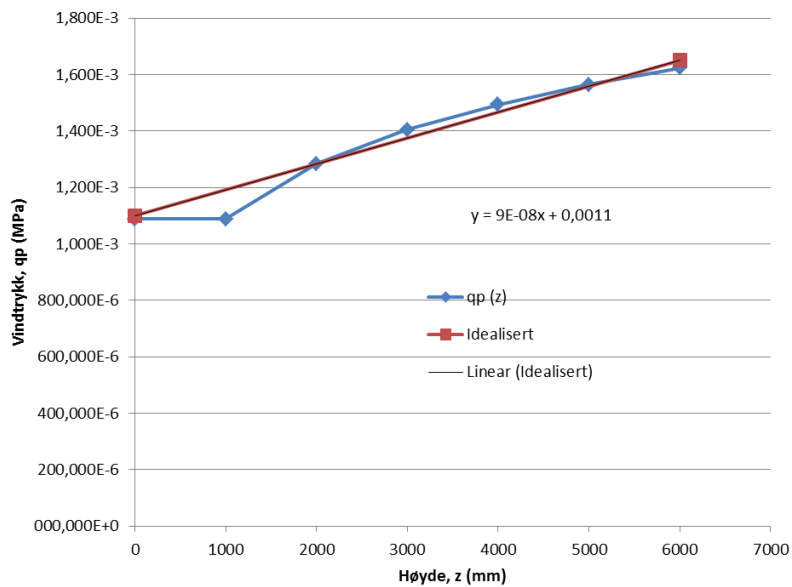
5.1.1 Laster og grensebetingelser

Vindlast er påført som fordelt trykk i henhold til beskrivelsen som er gitt i [2]. Her blir det antatt en trykkfordeling baser på følgende faktorer:

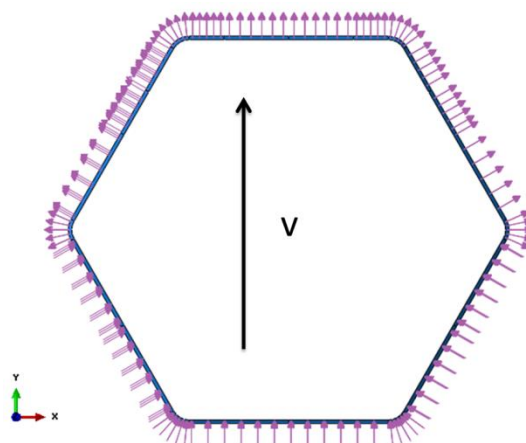
- Loside: $C_{pe} = +0.8$
- Leside: $C_{pe} = -0.6$
- Sidevegger: $C_{pe} = -1.0$
- Tak på loside: $C_{pe} = +0.7$
- Tak parallelt: $C_{pe} = -0.8$
- Tak på leside: $C_{pe} = -0.3$

Videre antas en idealisert lineær funksjon av vindlast med hensyn på høyde som vist i Figur 5-2.

Den fordelte trykklasten er implementert på de enkelte flatene av tårnet som vist for en gitt høyde i Figur 5-3. Detaljert implementasjon er beskrevet i Appendix, seksjon 8.1.



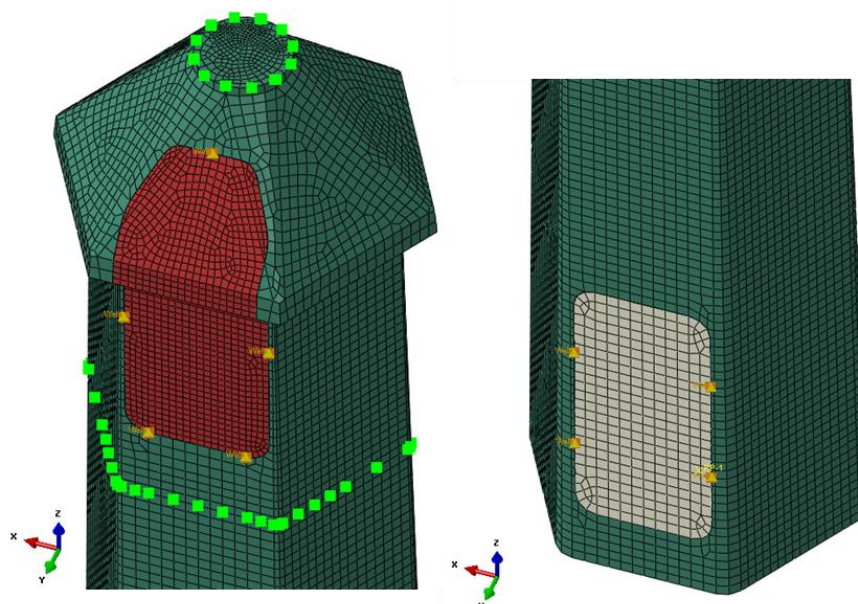
Figur 5-2: Idealisert vindlast som funksjon av høyde z.



Figur 5-3: Vindlast illustrert ved en gitt høyde av tårnet.

Kobling mellom dør/luke og karm er gjort som enkle punktkoblinger av sammenfallende noder. For døren er dette 4 punkt som representerer hengsler og lås mens for luken er det 5 punkt. Både translasjon og rotasjon er koblet. Det er rimelig å anta at dette representerer en svært konservativ nedre grense for bidrag til konstruksjonens stivhet, samt at punktlast representerer en konservativ øvre grense for lokal påkjenning. Merk at interaksjonen mellom dør og karm/list er fullstendig utelatt fra analysene. Videre vil dør og luke uten ramme og forsterkning vise en absolutt øvre grense for deformasjon av disse komponentene. Koblinger er illustrert i Figur 5-4.

For global analyse av vindlast er det rimelig å forenkle innfestning av mot fundament til full låsing av den nedre kanten av hoved-panelene hvor fundamentet er ekskludert fra analysene. Fundamentet vil representere en stivhet i systemet som er mye større en stivhet til hoved-paneler, noe som impliserer at en slik forenkling er rimelig å anvende. Denne grensebetingelsen ble implementert ved å anvende et kontrollpunkt for en MPC hvor slaver til kontrollpunktet er alle noder på nedre kant av hoved-paneler og hvor låsing av alle frihetsgrader er gjort i dette kontrollpunktet. På denne måten vil resultant-krefter og moment være direkte gitt som resultat i kontrollpunktet.



Figur 5-4: kobling mellom dør/luke og karm ved hjelp av punkt-kobling. Ikke-strukturell masse er også inkludert for øvre avstiver (200kg) og for lanterne (30k) illustrert med kvadratiske grønne symbol.

5.1.2 Resultater og diskusjon

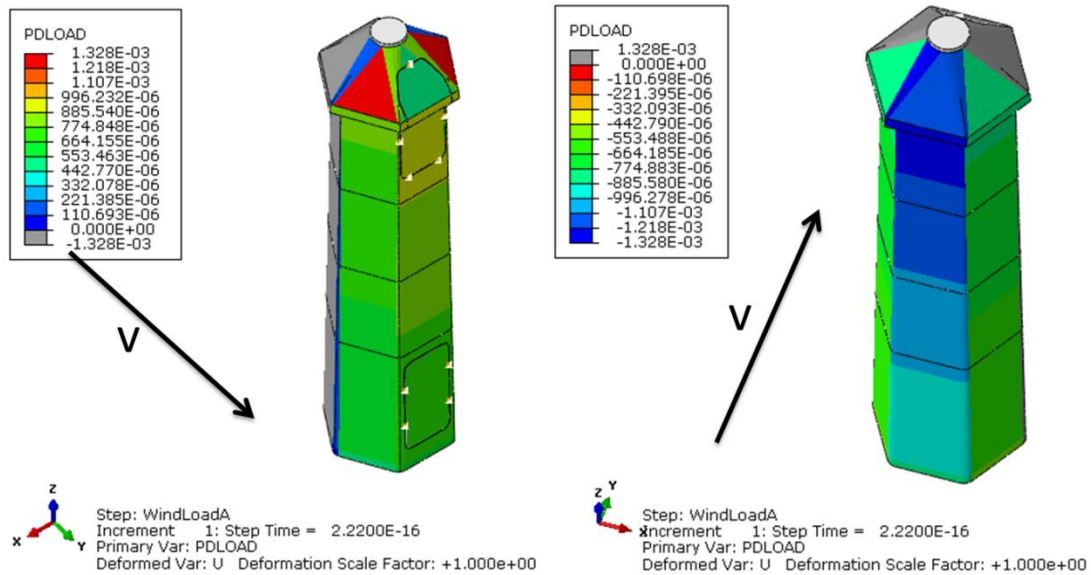
Generelt virker konstruksjonen lite følsom for vindretning. Det er derfor kun rapportert resultater fra simuleringer der dør/luke befinner seg på vindens leside, trykk fra resultat er vis i Figur 5-5. Resultatkraft og moment ved fundament er beregnet til henholdsvis 15 kN og 45 kNm.

Resultater fra statisk analyse og knekkingsanalyse viser tydelig at dette først og fremst er et stabilitetsproblem for konstruksjonen. Relativt til antatte styrkeparameter for materialer samt med last (1.3) og materialfaktor (5.0) er utnyttelsesfaktor for svikt i henhold til fibertøyning for hoved-panel lik $ULS = 0.22$. Dette er altså godt innenfor det som er satt som tillat utnyttelsesgrad ($ULS = 1$). Merk at dette også er begrenset til området i absolutt nærhet til koblinger for dør og luke.

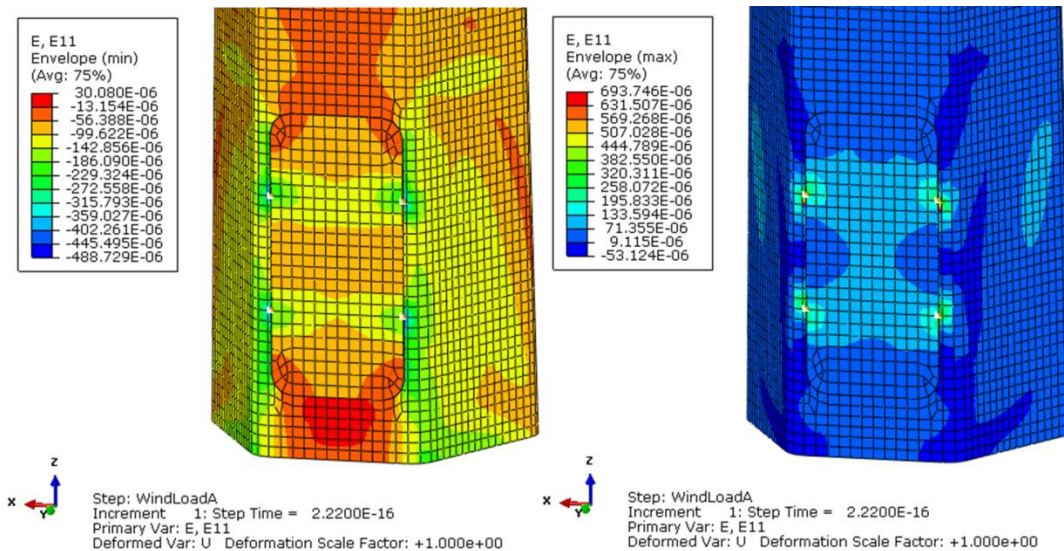
For CSM laminater er tilsvarende $ULS = 0.59$ hvor maksimal verdi er knyttet til områder ved punktkobling av luke. Merk at sviktkriteriet her er basert på absoluttverdi av maksimum prinsipiell spenning relativt til kompresjonsstyrke lik 80 MPa.

Den lineære knekningsanalysen gir en absoluttverdi for LPF lik 5.5 for reversert last og hvor laveste positiv verdi er LPF= 6.75. Reversert last er imidlertid reell og denne kan legges til grunn for svikt-kriteriet. Dermed blir ULS = $(1/5.5)*4 = 0.72$.

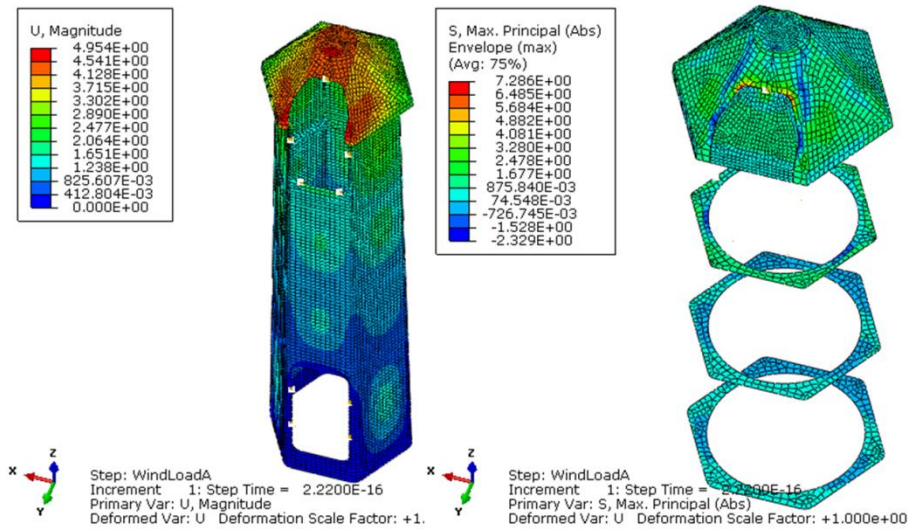
Vi konkluderer derfor med at høyeste utnyttelsesgrad avdekket for globale analyser er ULS = 0.72.



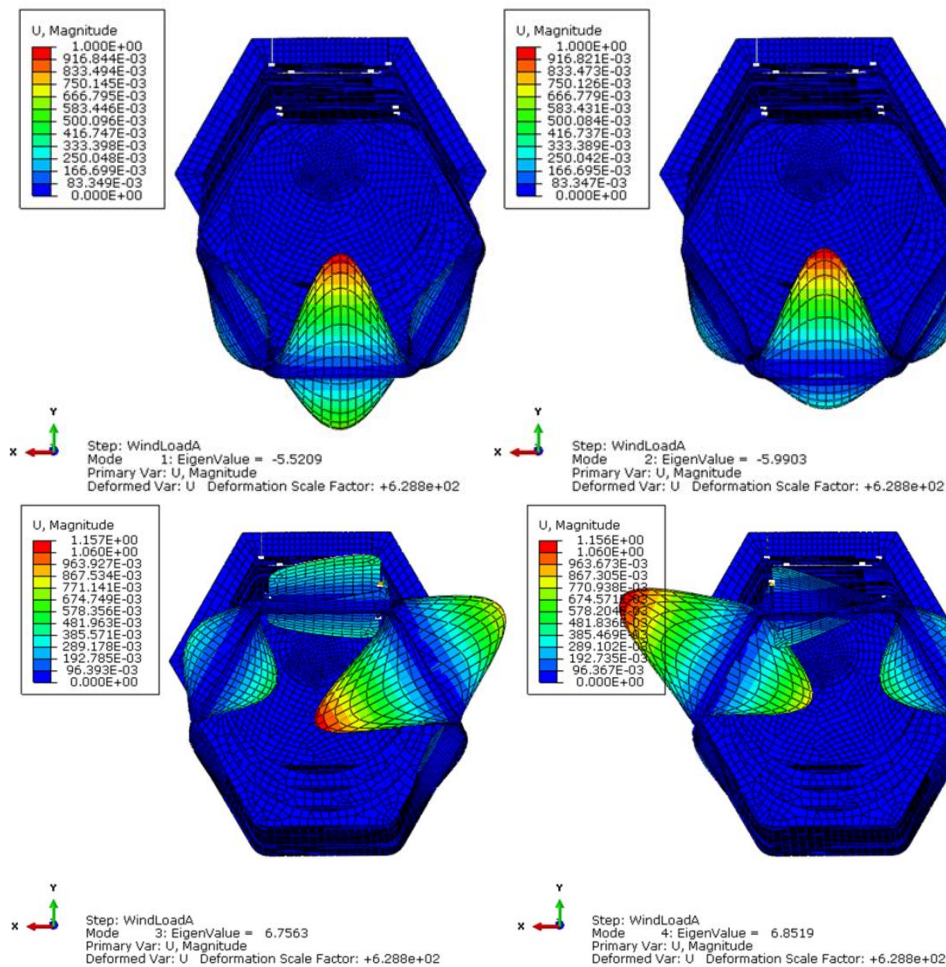
Figur 5-5: Trykkfordeling fra resultater. Viser undertrykk (venstre) og overtrykk (høyre)



Figur 5-6: Fibertøyning, henholdsvis maks kompresjon og maks strekk.



Figur 5-7: Maksimum forskyving (venstre) og absoluttverdi av maksimum prinsipiell spenning. Merk at forskyving har både en horisontal og en vertikal komponent hvor den horisontale komponenten er om lag lik 4.0 mm. Lukens deformasjon er ikke inkludert da denne vil representere en urealistisk høy deformasjon på grunn av de forenklete koblingene.



Figur 5-8: De første 4 knekningsmoder. (LPF =EigenValue)

5.2 Fundament

Kobling mellom hoved-panel og fundament er basert på en kombinert limt og boltet forbindelse. For prototype-stadiet er det gjort følgende antagelser:

- Det er store lim-flater relativt til tykkelsen av hoved-panel. Nominelle seksjonslaster på hoved-panelet er moderate og netto gjennomsnittlig skjærlast i lim-forbindelsen blir svært liten, i størrelsesorden langt under 1 MPa.
- Dersom lim-forbindelsen svikter vil bolt-forbindelsen være tilstrekkelig innenfor ALS. I dette tilfelle antar vi et vanlig prinsipp der både lastfaktor og materialfaktor settes lik 1.0. En forenklet boltanalyse vil derfor være tilstrekkelig.
- Beregning basert på full interaksjon mellom komponenter i fundamentet og hoved-paneler krever omfattende modellering og beregning som det ikke ligger innenfor rammene av prototype-prosjektet. Eventuelt optimalisering av fundamentløsningen bør derfor gjennomføres etter evaluering av prototypen, samt at det bør vurderes fysisk testing som inkluderer dynamiske laster for levetidsevaluering av denne løsningen.

For en forenklet bolt-beregning tar vi utgangspunkt i resultant-moment ved fundamentet lik 45 kNm. Dermed:

$$M_B = F_B L_B / 2 + F_B L_B / 2 = F_B L_B \Rightarrow$$

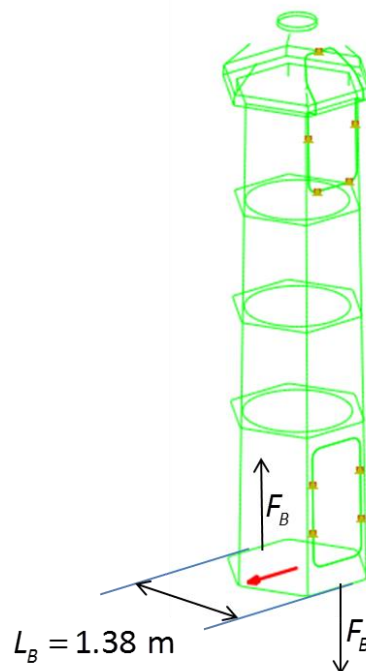
$$F_B = M_B / L_B = 45 \text{ kNm} / 1.38 \text{ m} = 32.6 \text{ kN}$$

$$F_B \text{ fordeles på minimum 2 bolter} \Rightarrow$$

$$\text{Skjærlast per bolt} = 16.3 \text{ kN.}$$

$$\text{Utnyttelsesfaktor (ULS) for M12 8.8 bolt er 0.61}$$

$$\text{Utnyttelsesfaktor (ALS) for M12 8.8 bolt er 0.38}$$



Merk at 8.8 bolt har flytespenning lik 640 MPa. For andre typer bolter og eventuelt andre dimensjoner må dette skaleres i forhold til styrke og dimensjoner.

Med utnyttelsesfaktor for ALS lik 0.38 med hensyn på en 8.8 bolt konkluderer vi ut fra erfaring, men uten videre argumentasjon og begrunnelse, bolt-forbindelsen har tilstrekkelig integritet i ALS for laminatet som er anvendt.

5.3 Løft

En forenklet lokal modell er anvendt i beregningene hvor formålet for analysene er begrenset til estimat av påkjenning rundt løftepunktet. Denne er basert på skall-elementer hvor den limte stålplaten (rustfritt stål 316, tykkelse = 4mm) inngår i laminatet i tillegg til oppbygningen som er

gjengitt i Tabell 5-1. Geometrien er antatt som rotasjonssymmetrisk og laminatet har en offset hvor modellens flate tilsvarer ytterflatene.

5.3.1 Laster og grenebetingelser

For løfteoperasjoner er det antatt at 700 kg inngår i løftet, og vi regner med en dynamisk faktor på 1.5. Dette tilsvarer en statisk last på 10.3 kN. Bolt-forbindelsen til løfteøret er modellert ved et kontrollpunkt hvor vertikal translasjon er koblet til en sirkel 15mm innenfor løftepunktets hull.

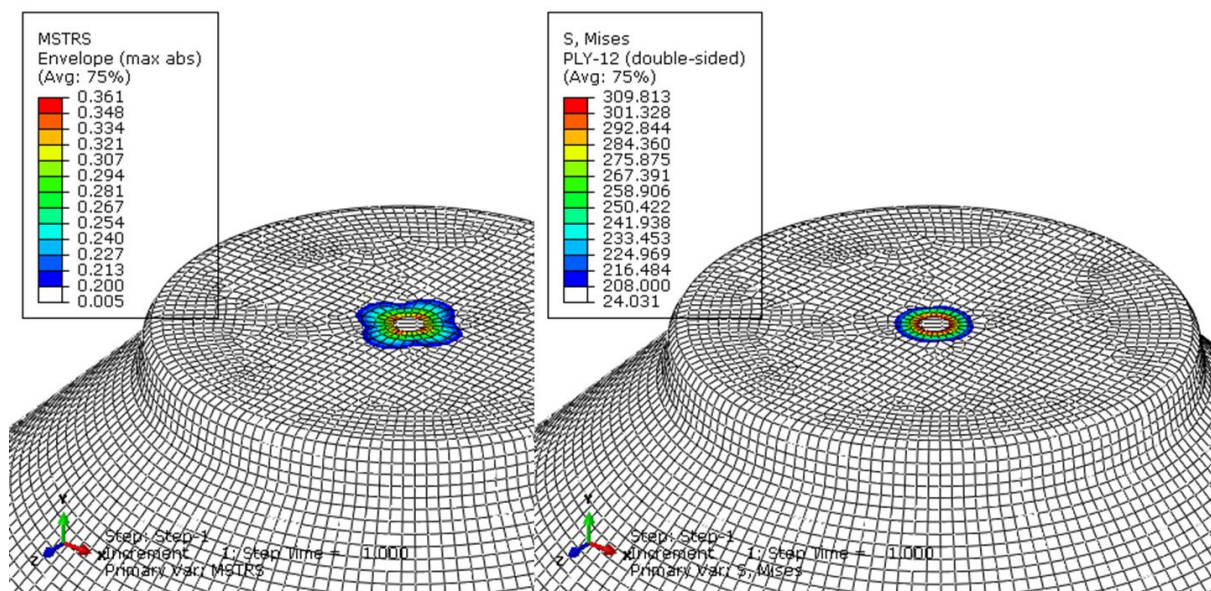
Merk at den generelle lastfaktoren (1.3) antas å være inkludert i den dynamiske faktoren (1.5)

Tabell 5-1: Laminatkonfigurasjon for toppdel

Stack ID 1	Laminate plan			
Outside:	Material:	No of plies:	Thickness:	Comments:
	Gelcoat	1	min. 0,5 mm	RAL 3028 (GU50)
	CSM 450	1	1	Hand layup
	LT 420	2	2	
	CSM 450	3	3	
	LT 420	2	2	
	CSM 450	1	1	
Inside:	Topcoat	1	min. 0,5	RAL 7035
	Total:		10 mm	Vekt ca 50 kg

5.3.2 Resultater og diskusjon

Figur 5-9 viser utnyttelsesgrad for henholdsvis kompositt og stålplate hvor det er lagt til grunn fibertøyningskriteriet for LT lag, maks spenning for CSM og von Mises kriteriet for stålplaten. Nedre grense for visning er satt til 1/5 av materialer estimerte styrke for kompositt, og 1/1.25 for stålplaten, dvs. 260 MPa/1.25 = 208 MPa.



Figur 5-9: Utnyttelsesgrad (UF) for henholdsvis kompositt og stålplate

Utnyttelsesgrad for ULS er altså større enn 1. Dette er imidlertid knyttet til et svært begrenset område, og vurderes som akseptabelt for konstruksjonen: Kombinasjonen av duktilt stål og multi-aksielt laminat gir et stort rom for omfordeling av last som eventuelt initieres ved plastisk

deformasjon av stålet. Vurderingen er derfor at det ikke eksisterer en vesentlig risiko for utrivning av bolt til løfteøret. Det anbefales dog at området inspiseres for matriks-sprekker i laminatets gelcoat etter en løfteoperasjon.

5.4 Andre limte og boltede-forbindelser

For andre boltede og limte forbindelser er lastene vurdert som svært små og trivielle. Det er derfor ikke gjort videre vurderinger av integriteten til disse

6 Material og laminatkonfigurasjon

Det er satt som forutsetning at hoved-panel utføres ved vakuurstøping hvor det anvendes en strikket armering med sekvens $[0/\pm 45]_n$ hvor forholdet mellom 0 og ± 45 er tilnærmet 1/1. Denne armeringen betegnes som DBL. Det forutsettes videre at det anvendes en egnet resin, polyester eller eventuelt vinylester i produksjonen, og at volumfraksjonen av glass er nær 0.5.

Ettersom prosjektet så langt har hatt utvikling og prototyping som formål er det ikke lagt videre føringer mot spesifikke materialer. Endelig materialspesifikasjon vil være naturlig å utarbeide i detalj i forbindelse med eventuell videreutvikling og i sammenheng med underlag for eventuell serieproduksjon. Vi har derfor antatt typiske og karakteristiske verdier som bør være oppnåelig for aktuelle produsenter. Parameter er gitt i Tabell 6.1. Observer at ved vurdering av gjeldende design er det lagt til grunn en relativt stor materialfaktor (5.0). Det er derfor mulig å avvike noe fra disse verdiene uten at konstruksjonens integritet kommer under diskusjon.

Endelig fortsettes det at produsenter kan fremskaffe tilstrekkelig dokumentasjon på minimumsverdier for materialparameter.

Kommentarer til styrkeparameter:

Styrkeparameter basert på spenning er ikke direkte anvendt i denne rapporten for strikket armering ettersom det er antatt at feilkriteriet er styrt av fiberbrudd basert på bruddtøyning. Ved eventuell detaljert beregning av lokale effekter vil det imidlertid kunne være nødvendig å inkludere matriks-dominert svikt. For prototype-fasen har ikke dette vært ansett som nødvendig.

Tabell 6.1: Anvendte verdier for lag i vakuumstøpt multi-aksiell glassfiberarmering.

ρ [kg/m ³]	2000
E_1 [MPa]	40000
E_2 [MPa]	8000
ν_{12}	0.3
G_{12} [MPa]	4500
G_{13} [MPa]	4500
G_{23} [MPa]	3333
X_t [MPa]	800
X_c [MPa]	600
Y_t [MPa]	30
Y_c [MPa]	120
S_{12} [MPa]	50
ϵ_{ft}	0.020
ϵ_{fc}	0.015

Detaljert laminatoppbygning vil være gitt av den spesifikke armeringen som anvendes. For prototypen er det antatt en arealvekt på 1000 g/m² og hvor tykkelse til hvert lag så blir beregnet ut fra antatt volumfraksjon og tettheten til glassfiber. For et 8 mm tykt laminat gir dette et relativt høyt antall lag og nøyaktig tykkelse, og antall, har ingen signifikant betydning for resultater. Det kan derfor forutsettes at det er et betydelig rom for å velge tilsvarende armeringssystem men med noe ulik arealvekt enn det som er antatt i analysene.

For CSM laminat anvendt i top-delen (tak) og horisontale avstivere er det forutsatt typiske karakteristiske verdier for håndopplag laminat, Tabell 6.2.

Det forutsettes at produsenter kan fremskaffe tilstrekkelig dokumentasjon på minimumsverdier for materialparameter.

Tabell 6.2: Anvendte verdier for håndlaminert CSM laminat

ρ [kg/m ³]	1450
E_1 [MPa]	6000
ν_{12}	0.32
G_{12} [MPa]	3750
G_{13} [MPa]	1500
G_{23} [MPa]	1500
X_t [MPa]	80
X_c [MPa]	110
Y_t [MPa]	80
Y_c [MPa]	110
S_{12} [MPa]	65

LT matter er anvendt ved håndlaminering av toppdelen. Estimerte materialdata for ensrettet lag av slike matter er gitt i Tabell 6-3

Tabell 6.3: Anvendte verdier for håndlaminert CSM laminat

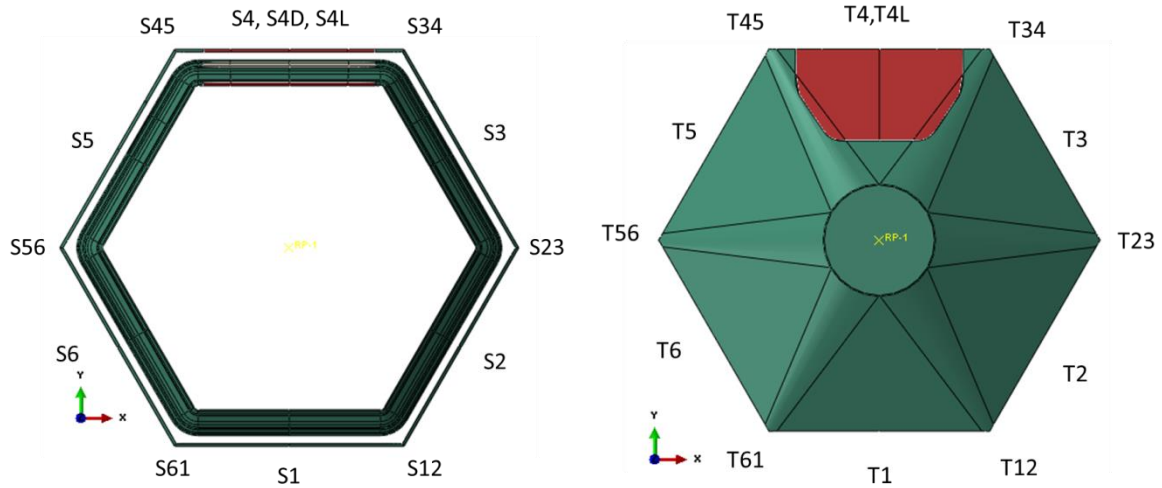
ρ [kg/m ³]	1850
E_1 [MPa]	30000
E_2 [MPa]	7000
ν_{12}	0.3
G_{12} [MPa]	3000
G_{13} [MPa]	3000
G_{23} [MPa]	3000
X_t [MPa]	600
X_c [MPa]	450
Y_t [MPa]	
Y_c [MPa]	
S_{12} [MPa]	
ϵ_{ft}	0.020
ϵ_{fc}	0.015

7 Referanser

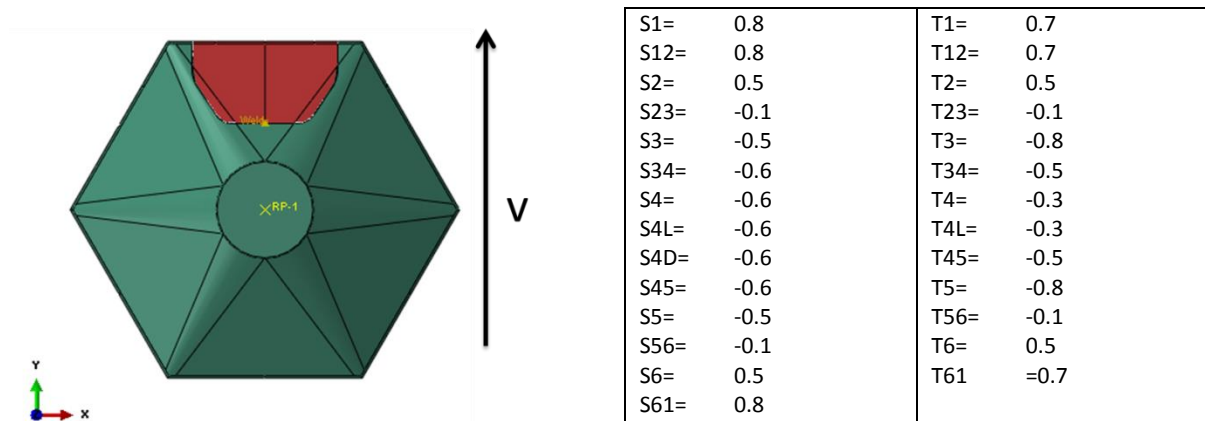
- [1] Kompositt kravspesifikasjon – Litus LUX.docx
- [2] Rapport Litus Lux_ET030215.docx
- [3] Kystverkets håndbok
- [4] Norsk Standard

8 Appendix

8.1 Implementert vindlast

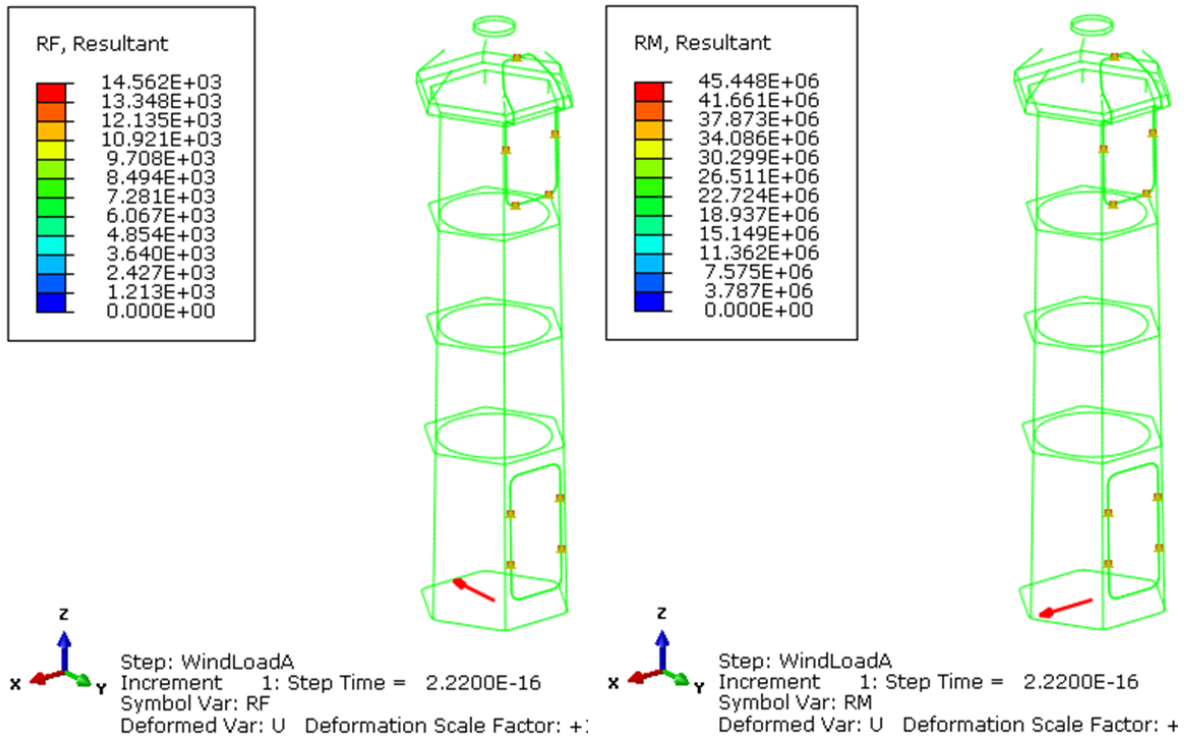


Figur 8-1: Definisjon av flater for påført trykk. S4/T4 er ved dør/luke. Sij/Tij er flater på respektive hjørner



Figur 8-2: Eksempel på vindlast-retning med tilsvarende faktorer på fordelt trykk.

8.2 Resultater



Figur 8-3: Resultantkraft og moment for vindlast. Enheter er henholdsvis N og Nmm