



Avdeling for Teknologi, økonomi og ledelse
Ingeniørfag – Maskin

BACHELOROPPGAVE:

***Forsterking av elevert landingsplass for å
kunne lande nye redningshelikoptre***

*Utvikling av løsning for å øke den statiske kapasiteten til et fagverk
ved en elevert helikopterlandingsplass ved bruk av komposittmateriale*

FORFATTERE:

Philip Føyen, Kjetil Sletteberg Sunde og Ole Erik Tangen

DATO:

25.05.14

Sammendrag

Tittel:	Forsterking av elevert landingsplass for å kunne lande nye redningshelikoptre
Dato:	25.5.2014
Forfattere:	Philip Føyen, Kjetil Sletteberg Sunde og Ole Erik Tangen
Veiledere:	Terje Bokalrud og Henning Johansen
Oppdragsgiver:	Nasjonalt Senter for Komposittkompetanse
Kontaktpersoner:	Iver E. Jensen og Harald B. Jøsendal
Nøkkelord:	Elevert helikopterlandingsplass, forsterking, avstiving, kompositt, Elementmetoden
Antall sider/ord:	74 / 9949
Antall vedlegg:	24
Tilgjengelighet:	Åpen

Målet med prosjektet har vært å øke den statiske kapasiteten til en elevert helikopterlandingsplass ved bruk av komposittmateriale, fra dagens vektbegrensning til vekten av det nye redningshelikopteret. Den statiske kapasiteten har blitt målt gjennom nedbøying i fagverket og gjeldende standard har blitt benyttet for å sikre resultatet. Beregningene er utført med Elementmetoden og begynner med en global bjelkeanalyse for å lokalisere området med størst nedbøying. Videre velges en del av fagverket for en solidanalyse med og uten avstivingslementer. Avstivingsløsningen innebærer å lime flat glassfiberarmert plastkomposittbjelke til sidene i firkantprofilene i utvalgte deler av fagverket. Avstivingsløsningen er funnet etter mange iterasjoner i ANSYS. Avstivingen med glassfiberarmert plastkompositt øker den statiske kapasiteten til en utvalgt elevert helikopterlandingsplass ved OUS Ullevål slik at vektbegrensningen økes fra 15 000 kg til 16 000 kg slik at det nye redningshelikopteret kan lande.

Abstract

Title:	Strengthening of an elevated helipad to enable landing with the new rescue helicopter
Date:	25.5.2014
Participants:	Philip Føyen, Kjetil Sletteberg Sunde and Ole Erik Tangen
Supervisors:	Terje Bokalrud and Henning Johansen
Employer:	Nasjonalt Senter for Komposittkompetanse
Contact person:	Iver E. Jensen and Harald B. Jøsendal
Keywords:	Elevated helipad, strengthening, composite material, Finite Element Method
Number of pages/words:	74 / 9949
Number of appendix:	24
Availability:	Open

The project objective has been to increase the static capacity to an elevated helipad with the use of composite components, from today's weight limit to the weight of the new rescue helicopter. The static capacity has been measured through deflection in the frame work and current regulations are used to verify the result. Calculations are made with the use of Finite Element Method and starts with a global beam analysis to locate the area with the maximum deflection. Based on the global analysis, a part of the frame work is selected for a local solid analysis, both with and without strengthening composite components. The strengthening solution implies to glue flat fiberglass reinforced plastic composite beams to parts of the steel frame work. The best solution is found after several iterations in ANSYS. The strengthening with fiberglass reinforced plastic composite beams increase the static capacity to a selected elevated helipad at OUS Ullevål, so the weight limit can be increased from 15 000 kg to 16 000 kg, which is the weight of the new rescue helicopter.

Forord

Dette prosjektet er utført ved avdeling for Teknologi, økonomi og ledelse på Høgskolen i Gjøvik, ved studieprogrammet Ingeniørfag – Maskin. Oppdragsgiver for oppgaven er Nasjonalt Senter for Komposittkompetanse (NSK). Vi vil takke vår veileder Terje Bokalrud og Henning Johansen ved Høgskolen i Gjøvik for god og strukturert veiledning. Bokalrud har i tillegg bistått med god veiledning med modellering og beregninger ved hjelp av Elementmetoden i ANSYS.

Vi vil også rette en stor takk til oppdragsgiver Iver E. Jensen, daglig leder ved NSK og Harald B. Jøsendal, prosjektleder ved NSK, for en spennende og utfordrende oppgave. Jøsendal har også bidratt med gode råd og oppmuntrende møter.

I tillegg takker vi Knut Dyran og Sivilarkitekt Øystein Midtbø for nødvendig dokumentasjon om landingsplattformen ved Oslo Universitetssykehus Ullevål. Til slutt vil vi takke Roy Inge Jenssen fra Luftambulansetjenesten som sendte oss god informasjon om landingsforhold ved norske sykehus. Prosjektet har vært en lærerik prosess som har gitt et unikt innblikk i ingeniørens oppgaver og utfordringer.

Høgskolen i Gjøvik
Postboks 191
2802 Gjøvik


21.5.2014

Medforfatterdeklarasjon

Dette dokumentet viser til at alle medlemmene har et likeverdig medforfatterskap. Med likeverdig medforfatterskap, menes at alle har bidratt med planlegging, utforming, innhenting av data, analyse og tolking av data i like stor eller tilsvarende grad. Dette gjelder også for utarbeidelse av selve rapporten og kritisk revisjon av rapportens intellektuelle innhold.

Medlemmene har sammen godkjent endelig rapportversjon, og står for et gjensidig ansvar for innholdet i rapporten.


Philip Føyen


Kjetil Sletteberg Sunde


Ole Erik Tangen

Innholdsfortegnelse

1 Innledning	8
1.1 Organisering av rapporten	8
1.2 Presentasjon av oppdragsgiver	8
1.3 Oppgaven	9
1.3.1 Bakgrunn	9
1.3.2 Prosjektmål	9
1.3.3 Problemstilling	10
1.3.4 Avgrensninger	10
1.3.5 Fremgangsmåte	11
1.3.6 Definisjoner	12
2 Teoretisk grunnlag	13
2.1 Redningshelikoptre	13
2.2 Landingsplattformen ved Oslo Universitetssykehus Ullevål	15
2.3 Kompositt	16
2.4 Lover og forskrifter	18
2.5 Artikler	20
2.5.1 Forsterkning med komposittmaterialer	20
2.5.2 Forsterkning av korrosjonssvekket bjelke	20
2.5.3 Avstiving av stålstrukturer og broer med fiberforsterket plast	21
2.5.4 Liming	21
3 Metode	23
3.1 Elementmetoden	23
3.2 Beskrivelse og forutsetninger	23
4 Resultat	28
4.1 Global bjelkeanalyse	29
4.2 Solidanalyse	34

4.2.1 Alternativ 1 – Glassfiberarmert kompositt	40
4.2.2 Alternativ 2 – Karbonfiberarmert kompositt	40
5 Diskusjon	42
5.1 Videre arbeid	46
5.2 Konklusjon	47
6 Kilder	48
6.1 Litteraturliste	48
6.2 Støttelitteratur	50
7 Vedlegg	51
Vedlegg A - Kommandoliste global bjelkeanalyse	51
Vedlegg B - Kommandoliste lokal solidanalyse	66
Vedlegg C - Kommandoliste lokal solidanalyse	68
Vedlegg D - Parkeringshus	70
Vedlegg E - Fagverk	71
Vedlegg F - Bjelke dimensjon	72
Vedlegg G - Fagverksdel	73
Vedlegg H - Kompositt	74

1 Innledning

1.1 Organisering av rapporten

Bacheloroppgaven inneholder hovedkapitlene; innledning, teoretisk grunnlag, metode, resultater og diskusjon med konklusjon. Innledningen forklarer bakgrunnen for oppgaven og hva som er målet med dette prosjektet. Teoretisk grunnlag ser på teorien som ligger til grunn og metoden forklarer hvordan vi har kommet frem til resultatet. Teorien omhandler landingsplassen, helikoptrene, standardene og materialene. Resultatet består av beregninger gjort ved hjelp av Elementmetoden og blir presentert gjennom bilder og tabeller. Diskusjonen til slutt oppsummerer oppgaven og vi begrunner de valgene vi har gjort underveis. Vedlegg A, B og C er alle programkommandoene som er benyttet for å frembringe resultatene i ANSYS. Vedlegg D, E, F og G er dokumentasjon fra sivilarkitekt Midtbø om landingsplassen ved OUS Ullevål. Vedlegg H er en materialtabell fra Exel Composites.

1.2 Presentasjon av oppdragsgiver

Nasjonalt Senter for Komposittkompetanse (NSK) er en næringsdrivende stiftelse som har til hensikt å fremme næringsutviklingen i Norge basert på avanserte komposittmaterialer. Stiftelsen er etablert av Innovasjon Norge etter initiativ fra Nærings- og Handelsdepartementet i 2007. NSK har flere samarbeidspartnere og har skapt et nettverk av bedrifter som sammen skal øke kompetansen på kompositt. NSK tilbyr kompetanse på avanserte komposittmaterialer innenfor materialer, prosess, design og beregninger. Stiftelsen har sitt hovedkontor i Mustad Næringspark i Gjøvik.

1.3 Oppgaven

1.3.1 Bakgrunn

Norge skal i løpet av perioden 2016-2020 skifte ut dagens redningshelikoptre, Sea King, med nye, AW101. De nye er betydelig tyngre enn dagens helikoptre. Dette resulterer i at noen av helikopterlandingsplassene ved norske sykehus ikke er konstruert for vekten av det nye helikopteret. Det medfører at flere av landingsplassene ikke kan brukes av de nye redningshelikoptrene. Enkelte sykehus har landingsplass på taket eller på toppen av en tilhørende konstruksjon. Slike landingsplasser kalles eleverte landingsplattformer. NSK ønsket derfor at vi skulle undersøke om det er mulig å forsterke disse landingsplattformene ved hjelp av elementer bestående av komposittmateriale. Oppgaven vil se på hvordan en eksisterende plattform kan forsterkes.

1.3.2 Prosjektmål

Målet med prosjektet er å øke den statiske kapasiteten til en elevert helikopterlandingsplass ved bruk av komposittmateriale, fra dagens vektbegrensning til vekten av det nye redningshelikopteret. Slike plattformer består ofte av et fagverk i stål som holder selve landingsdekket hevet over underliggende konstruksjon. Fagverket skal ta opp lasten som påføres dekket og overføre kreftene til opplagrene. Fagverket vil på den måten være den bærende delen av plattformen. Oppgavens objekt vil være fagverket, og vi ser på hvordan stivheten i fagverket kan økes. Dette skal oppnås ved å utvikle en løsning som modifiserer det eksisterende fagverket ved en slik plattform, i den hensikt å øke konstruksjonens globale stivhet. Løsningen skal benytte komposittlementer som festes på dagens stålstruktur. Vektkapasiteten ved flere av plattformene er ved nåværende tidspunkt for lav for det nye helikopteret. Dette fører til at den statiske kapasiteten til landingsplattformen er en teoretisk variabel for oppgaven. For å sikre at løsningen har god relevans, vil vi se på tidligere forskning som anvender komposittmateriale i lignende konstruksjoner.

Videre skal konstruksjonen simuleres i ANSYS for å beregne kritiske områder ved hjelp av Elementmetoden. For å utføre mest hensiktsmessige beregninger vil vi arbeide med lover og forskrifter som omhandler regler og krav til utforming av landingsplattformer.

1.3.3 Problemstilling

Hvordan kan den statiske kapasiteten til fagverket ved en elevert helikopterlandingsplass økes ved bruk av komposittmateriale, fra dagens vektbegrensning til vekten av det nye redningshelikopteret?

Oppgaven tar for seg å øke statisk kapasiteten ved en elevert landingsplass. For å kunne utarbeide en løsning ble det valgt å se på helikopterlandingsplassen ved Oslo Universitetssykehus Ullevål. Dette er en av landingsplassene hvor redningshelikoptrene er en viktig ressurs, og plattformen har en generell struktur som er sammenlignbar med andre plattformer og er derfor et godt eksempel på en elevert landingsplass. Denne landingsplassen er i dag godkjent for helikopter opp til 15 000 kg, men ved kjøp av nye redningshelikoptre med vekt på 16 000 kg, vil disse ikke kunne benytte denne landingsplassen.

Oppgaven tar for seg løsninger som øker stivheten til denne eleverte landingsplattformen. Dette ved å lime komposittmateriale til fagverket, slik at de nye helikoptrene kan benytte seg av denne landingsplassen. Ved å bruke gjeldende standarder for beregning av ulykkeslast, som er den største dimensjonerende lasten, vil dette være en god måte å måle statisk kapasitet.

For å måle stivheten blir det sett på nedbøying i fagverket. Reliabiliteten sikres ved å benytte Elementmetoden, og vi utfører en sammenligningsanalyse. Fagverket vil da bli belastet med en kraft, ulykkeslast, som beregnes ut fra helikopterets masse. For å finne stivheten til fagverket ser en på den empiriske variabelen ulykkeslast. Dagens dimensjonerende helikoptervekt gir største aksepterte nedbøying og denne sammenlignes med nedbøyingen det nye redningshelikopteret gir. Flytegrensen i N/mm^2 og nedbøyning i mm vil være datavariabler, som må være under materialets egenskaper og godtatt nedbøyning.

1.3.4 Avgrensninger

Det er valgt å bruke komposittmateriale med plast som matriks. Oppdragsgiver ønsket at oppgaven skal ta utgangspunkt i glassfiberarmert plast som forsterkningsmateriale. Karbonfiberarmert plast vil bli vurdert hvis glassfiberarmert plast ikke har tilstrekkelig elastisitetsmodul og styrke til å stive av fagverket. Begge disse fiberarmerte plastene er mye brukt til avstiving av konstruksjoner tidligere. Dette kommer av materialenes gode styrke i forhold til vekt, som gjør de gunstige å implementere i eksisterende konstruksjoner.

For å utføre beregningene blir det valgt å se på landingsplattformen ved OUS Ullevål som et konkret eksempel. Ved å se på en bestemt plattform vil det være mulig å designe en løsning som kan stive av fagverket.

Det finnes mye støttelitteratur og tidligere forskning knyttet til liming av karbon- eller glassfiberarmerte plaster til stålstrukturer. Limfugen vil ikke være en del av beregningene, men vi vil vise til relevant forskning. Liming utnytter egenskapene til komposittmaterialer på god måte, og er en anerkjent sammenføyningsmetode mellom komposittmateriale og stål. Det forutsettes det videre at limingen mellom materialene er optimal, som gir en perfekt sammenføring.

Det blir forutsatt at de lokale miljøpåkjennningene, som blant annet støy, eksos og «down-wash», ikke vil være avgjørende for om AW101 får lande ved landingsplassen ved OUS Ullevål.

Kostnader knyttet til produksjon og implementering av løsningen vil ikke være en del av denne oppgaven.

1.3.5 Fremgangsmåte

For å danne et grunnlag til oppgaven har innhenting av nødvendig informasjon hatt en viktig rolle for prosjektet. For å innhente dokumentasjon tok vi tidlig kontakt med kontaktperson for landingsplassen ved OUS Ullevål. En annen viktig aktivitet har vært å finne forskning og teori som viser til at lignende metoder har vært gjennomført tidligere. FEM-analyse har hatt en sentral rolle under prosjektarbeidet. Ved hjelp av denne analysen har vi modellert og beregnet fagverkets største nedbøying og sett på ulike løsningsalternativer for å finne avstivingsmetoder. På denne måten har vi kunnet sammenligne resultatene før og etter bruk av løsningen. For at grunnlaget for beregningene skal være etterprøvbare har standarder, lover og forskrifter blitt innhentet og studert.

1.3.6 Definisjoner

Komposittelement:

Bjelkeprofil i fiberforsterket plastmateriale.

Definisjoner fra Annex 14 – Volume II

D-verdi:

Den største lengde eller bredde av et helikopter inklusive rotorer.

Elevert landingsplattform:

En landingsplattform som ligger på en hevet konstruksjon på land.

Landings- og løfteområde – TLOF (Touch-down and Lift-off Area):

Et område som et helikopter kan sette seg på eller løfte seg fra.

Landings- og startområde – FATO (Final Approach and Take-off Area):

Et definert område over hvilket avsluttende innflyging til hover eller landing finner sted eller hvorfra start kan foretas. Området innbefatter område for avbrutt start for helikopter i ytelsesklasse 1.

2 Teoretisk grunnlag

2.1 Redningshelikoptre

I dag er det redningshelikopteret Westland Sea King som brukes av redningstjenesten. Disse helikoptrene hører til under 330-skvadronen som opereres av Luftforsvaret. I Norge ble Sea King tatt i bruk i 1973, og har siden den gang utført søk og redningsoppdrag. Det er i dag 12 Sea King-helikoptre som er plassert på 5 baser rundt i landet, Banak, Bodø, Ørland, Sola og Rygge, pluss en enhet i Florø. Helikopteret ble produsert av det britiske selskapet Westland Helicopters, som i dag er en del av Agusta Westland som skal levere de nye redningshelikoptrene. (Forsvaret 2013)

Etter over 40 år i drift med Sea King, signerte regjeringen i 2013 en kontrakt med italienske Agusta Westland som inneholdt kjøp av nye redningshelikoptre av typen AW101. Disse skal i løpet av perioden 2016-2020 fase ut dagens Sea King. Det skal kjøpes inn inntil 16 nye redningshelikoptre av denne typen. (AgustaWestland 2013)

NH90 er et militært helikopter som produseres av NHIndustries. Dette helikopteret brukes i dag av Kystvakten og Sjøforsvaret. Tidligere ble dette ansett som en arvtager etter Sea King, men ble etter flere prosesser valgt bort som erstatning. (NHIndustries 2013)



Sea King. Foto: Nils P. Skipnes / Forsvarets mediesenter



NH90. Foto: Torgeir Haugaard / Forsvarets mediesenter

Tabellen under viser noen viktige fakta om de ulike helikoptrene.

Helikopter	Vekt (max takeoff)	Lengde (d-mål)	Maksimal rekkevidde uten ekstratanking
AW101	15 600 kg	22,83 m	1 300 km
Sea King	9 525 kg	22,15 m	1 230 km
NH90	10 600 kg	19,56 m	982 km

(AgustaWestland 2013) (NHIndustries 2013)



AW101. Foto: Agusta Westland

2.2 Landingsplattformen ved Oslo Universitetssykehus Ullevål

Oslo Universitetssykehus (OUS) er et av landets største og viktigste helseforetak for behandling av akutte pasienter. Dette er et av de sykehusene med elevert landingsplattform som har jevnlig besøk av redningshelikoptre. I rapporten *Landingsforhold ved sykehus* ble det kartlagt 112 oppdrag med redningshelikoptre til og fra landingsplattformen ved Ullevål i perioden 2005-2011.

Helikopterplattformen ligger på toppen av et 5 etasjer høyt parkeringshus og hele dekket på plattformen har en diameter på 30 meter. Vektbegrensningen er 15 tonn, hvilket er mindre enn kravet for det nye redningshelikopteret som er 16 tonn. Plattformen er en stålkonstruksjon. I rapporten ble det sett på hvilke tiltak som måtte iverksettes for å utbedre landingsplassene ved sykehusene for å tilfredsstille kravene med hensyn på et større og tyngre redningshelikopter. (Luftambulansetjenesten 2013)



Landingsplattform ved OUS Ullevål. Foto: Eget

2.3 Komposit

Et komposit er en fellesbetegnelse for et material som består av to eller flere heterogene faser. En av disse fasene kalles matriks, som danner grunnmaterialet i kompositten. Sammen med matriksen er det blandet inn en eller flere andre faser som er med på å gi kompositten ønskede egenskaper.

Allerede for flere tusen år siden benyttet mennesket en blanding av halm og leire for å bygge primitive stråhytter. Senere tok egypterne i bruk strå i mursteinene som et armeringselement i sine konstruksjoner. Videre har mennesket utviklet nye kompositter med egenskaper som gir muligheter for nye utforminger og bruksområder.

På 1900-tallet ble det som i dag forbindes med kompositter utviklet. Glassfiberkomposit ble utviklet på 1940-tallet, og senere på 50-tallet ble den tilgjengelig til kommersielt bruk. Selv om det er over 60 år siden de kjente komposittene ble utviklet, er det først i løpet av de 10-15 siste årene at kompositter har gjort sitt inntog i industrien. Dette kommer som et resultat etter forskning og utvikling på kompositter. Samtidig utvikles nye produksjonsmetoder, som er med på å gjøre fremstilling av kompositmaterialer mer kostnadseffektivt enn tidligere.

Kompositter kan deles inn i tre undergrupper etter hva som er dets matriks, metall matriks (MMC), keram matriks (CMC) og plast matriks (PMC).

Den største og viktigste gruppen i dag er komposittene med plast som matriks. Selv om bruken av keram- og metalbaserte kompositter øker innenfor enkelte områder, er det fortsatt plastbasert komposit som utgjør en stor andel innenfor dagens produksjon. Eksempler på forsterkningsmaterialer i plastbaserte kompositter er glass, karbon og aramid, men det brukes også andre polymerer som polyetylen og polyester. Disse forsterkningsmaterialene blandes sammen med matriksen i form av fibre. Lengden på fibre kan være korte eller lange, noe som gir ulike egenskaper til kompositmaterialet.

Det er flere fordeler med kompositmaterialer som gjør de fordelaktig å bruke i konstruksjoner fremfor materialene stål og tre. På grunn av lav vekt i forhold til stivhet og styrke, er materialet egnet for flere ulike konstruksjoner. Fibre og/eller duk legges lagvis og

kan orienteres i hvilken som helst retning. Dette gjør at materialet kan utformes etter ønskede egenskaper i forhold til blant annet strekk, trykk og vridning. (Johansen 2008)

To av de mest vanlige plastkomposittypene er glassfiberarmert plast (*glass fiber reinforced polymer*, GFRP) og karbonfiberarmert plast (*carbon fiber reinforced polymer*, CFRP).

Egenskaper til kompositter kan variere ved bruk av forskjellige plaster, og måten fibre og matriksen blir satt sammen. Dette gjør at det kan være store forskjeller på elementer, selv med lik geometri.

Generelt vil komposittelementer som GFRP og CFRP ha egenskaper som ligger i området vist i tabellen under.

	GFRP	CFRP
Elastisitetsmodul (GPa)	18 - 45	80 - 180
Bruddfasthet (MPa)	250 - 1 100	600 - 3 000

(Exel Composites – Material Comparison – Vedlegg H)

En standard profil laget i GFRP vil ha en elastisitetsmodul på 17-23 GPa. Dette er ved bruk av både duk og fibre, men ved bruk av bare fibre i en retning kan en oppnå en elastisitetsmodul på opptil 45 GPa. Dette vil føre til at de transversale egenskapene reduseres i noen grad.

Profiler eller elementer av denne typen vil kunne bli produsert ved profiltrekking, også kalt pultrusjon. Prosessen ved pultrusjon går ut på å trekke fibertråder og/eller duk i et bestemt mønster gjennom et bad av matriks. Deretter vil det varmebehandles, trekkes gjennom en dyse for ønsket form, herdes og til slutt kappes i ønsket lengde. Ved bruk av denne metoden kan Exel Composites produsere profiler etter ønske. (Exel Composites 2009)

2.4 Lover og forskrifter

Standard

Bygging av landingsplattform vil følge norske bygningsstandard NS-EN 1991.

Fra standarden EN 1991-1-7:2006 punkt 4.7, *Accidental actions caused by helicopters*, kommer det frem at nødlanding skal bli tatt med i betraktning ved konstruksjon av helikopterdekk. Denne påkjenningen tas hensyn til ved en statisk kraft som beregnes ut fra følgende uttrykk:

$$F_d = C \sqrt{m}$$

hvor:

$$C = 3 \text{ kN kg}^{-0,5}$$

$m = \text{massen til helikopteret [kg]}$

Denne kraften skal fordeles på et område 2 x 2 meter på dekket.

(European Committee for Standardization 2006)

Lover

Luftfartsloven og forskriften *Bestemmelser for sivil luftfart* (BSL) regulerer den sivile luftfarten i Norge. Lovverket tilknyttet konstruksjon av elevert landingsplattformer for helikoptre på norske sykehus er beskrevet i forskriften *Forskrift om utforming av små helikopterplasser BSL E 3-6*.

Forskriften BSL E 3-6 krever at størrelsen på *Final approach and take-off area* (FATO) minimum er en sirkel med diameter 1,5 D. FATO skal være bærende konstruksjon og fritt for hinder. En landingsplass skal også ha et fast sirkulært sikkerhetsområde utenfor FATO på 0,25 D. (Forskrift om små helikopterplasser BSL E 3-6 2008)

I 2012 ytret Luftfartstilsynet et ønske om å revidere dagens foreskrift om *Utforming av små helikopterplasser BSL E 3-6* i brev til Luftambulansetjenesten. I brevet kommer det frem at de vil gjøre endringer slik at de nasjonale reglene vil bli mer tilpasset de kravene som legges

frem av FN-organet *Den internasjonale organisasjonen for sivil luftfart (ICAO)* i standarden *Annex 14 – Volume II Heliports*. Dette dokumentet vil være grunnlag for ny revidert forskrift for små helikopterlandingsplasser, og dermed at kravene er mer i tråd med de internasjonale kravene. Det kommer frem at det norske regelverket er strengere enn de internasjonale kravene. Endringene vil da medføre at kravet om minste FATO, som i dag er 1,5 D, vil bli redusert til 1,0 D. De vil også endre kravet om at sikkerhetsområdet må være fast dekke, til at hele eller deler av området kan bestå av vann eller luft. De nye reglene vil også gjelde militær ferdsel på landingsplasser ved sykehus. (Luftfartstilsynet 2012)

I rapporten *Landingsforhold ved sykehus* av Luftambulansetjenesten (2013) anbefales det å legge til rette for de nye redningshelikoptrene hvor disse er en relevant ressurs.

I følge *ICAO Annex 14 – Volume II Heliports* (2009) skal FATO være dynamisk bærende. Det henvises videre til sitt styringsdokument *ICAO Heliport Manual* (1995) for strukturell utforming av plattform. I følge *Heliport Manual* skal lasten som påføres landingsplassen være to punktlaster, en last i senter av hvert hovedhjul for helikopteret. For å ta hensyn til dynamiske krefter vil det bli brukt en faktor på 2,5. I denne faktoren inngår vanlig landing og nødlanding. Det blir også tatt hensyn til plattformens treghet med en faktor på 1,3. Dermed blir lasten 2,5 x maks take-off-masse for helikopteret x 1,3.

ICAO Annex 14 – Volume II gir en lavere påkjenning enn bygningsstandarden for ulykkeslaster (EN-1991-1-7). Ved å bruke kraften fra EN-1991-1-7 til beregningene, vil ulykkeslasten være større enn hva det anbefales i Annex 14 – Volume II, og dermed vil dette være en sikker løsning for fremtidige endringer.

	Krav for AW 101	Landingsplass ved Ullevål
Fast bærende dekke (1 D)	22,8 meter	30 meter
Fast dekke*(1,25 D)	28,5 meter	30 meter

*Forsvaret ønsker at sikkerhetsområdet består av et fast dekke på 0,25D (Luftambulansetjenesten 2013).

2.5 Artikler

2.5.1 Forsterkning med komposittmaterialer

Elementer av fiberarmert kompositt er en kjent metode for å øke en stålkonstruksjons stivhet. Det er en metode som benyttes for å øke levetiden og belastningsevnen i for eksempel brukonstruksjoner, både i betong og stål. Dette er en attraktiv metode, siden det gir mulighet for ettermontering på eksisterende konstruksjoner.

Det er flere artikler som tar for seg komposittmaterialer som et forsterkningselement på allerede eksisterende konstruksjoner. Fernando, Teng og Yu ser på bruken av fiberforsterket polymer (FRP) som forsterkningselement til stålkonstruksjoner, samt gjør en kritisk gjennomgang og tolkning av forskning gjort på dette feltet. De henviser blant annet til at det allerede er gjennomført omfattende forskning for lignende metode for betongkonstruksjoner. De viser til at det er flere fordeler ved å benytte FRP. Materialet har høy styrke- til vektforhold og kan få skreddersydde materialegenskaper i ulike retninger. Dette gjør at FRP-komponentene er lette å arbeide med i forhold til tunge stålelementer, som har vært den tradisjonelle metoden for å forsterke en konstruksjon. Siden FRP-elementene limes til stålkonstruksjonen, unngås nye restpenninger som oppstår ved sveising. Det oppstår ikke en varmpåvirket sone (HAZ), som gir en lokal styrkereduksjon i materialet. Fernando, Teng og Yu viser óg til at denne metoden vil gi konstruksjonen en lav «nedetid». Å forsterke en konstruksjon, som i dette eksempelet var en bro, kan med denne metoden utføres på 4 timer. (Fernando, Teng og Yu 2012)

2.5.2 Forsterkning av korrosjonssvekket bjelke

Photiou, Hollaway og Chryssanthopoulos analyserte testdata etter laboratorietester som simulerte stålbjelker som var blitt utsatt for korrosjon/slitasje. Dette gjorde de ved å maskinere ned spenningsflensen til halvparten av sin opprinnelige tykkelse, fra 5 mm til 2,5 mm. Ved å feste på komposittlementer av glassfiber og karbonfiber ønsket de å se om dette kunne gi bjelken tilbake sin opprinnelige styrke, tilsvarende flensens tykkelse før den var frest ned. Bjelken ble deretter påført en 4-punkts kraft. Resultatet av forsøket ved å feste på U-formede komposittlementer, i dette tilfellet på undersiden hvor strekkspenninger oppstår og på sidene opp til nøytralaksen, var at en fikk tilbake bjelkens styrke. Alle bjelkene med

kompositt oppnådde resultater, opp til bjelkenes nivå for plastisk deformasjon, som de opprinnelige bjelkene. (Chryssanthopoulos, Hollaway og Photiou 2005)

2.5.3 Avstiving av stålstrukturer og broer med fiberforsterket plast

I studiet *Development of a carbon fiber reinforced polymer system for strengthening steel structures* fra *Composites: Part A* drøftes bruken av fiberforsterket plast til forsterking og reparasjon av eksisterende strukturer i stål. I denne rapporten brukes karbonfiberarmert plast med fiber med høy elastisitetsmodul (HM CFRP) som forsterkningselement. Ved å stive av en konstruksjon ved bruk av kompositt vil styrken og bøyeegenskaper forbedres. Det ble gjort flere tester, deriblant en fullskalatest av en bjelke, sammensatt av stål og betong, som indikerte at HM CFRP kan gi betydelig økning i elastisk stivhet og kapasitet. Resultatet av testen viser at de oppnådde å øke stivheten med 36 % og styrken med 45 % ved bruk av pålimte elementer. Dette studiet indikerer at forsterkning ved påliming av CFRP-elementer er en god måte for å forbedre stålets bøyeegenskaper, og liming en effektiv metode for ettermontering på stålstrukturer. (Dawood, Rizkalla og Schnerch 2007)

2.5.4 Liming

Sammenføyning av komposittmateriale og stål kan gjøres blant annet gjennom bolter, nagler og liming. Bolter og nagler gir spenningskonsentrasjoner rundt sammenføyningene hvilket øker sannsynligheten for brudd i kompositter. Liming er en bedre sammenføyningemetode for komposittmaterialer og blir derfor benyttet i mange konstruksjoner.

Det er mange artikler som omhandler liming av både stål og betong til komposittmateriale, og det er et omfattende materiale som omhandler limefugen og hvilke utfordringer som er knyttet til hvordan denne blir dimensjonerende for konstruksjonen. Schollmayer (2009, s. 58) beskriver i sin doktorgradsavhandling gjennom eksperimenter at sammenføyning med limfuger, som er utført på best mulig måte slik som beskrevet i artikkelen, vil overflatelagene i komposittmaterialet være den dimensjonerende delen av sammenføyningen. Her er limfugene utsatt for en belastning som skaper strekk i limfugen og konstruksjonen har kollapset ved at komposittmaterialet delamineres i overflaten.

En perfekt limfuge er en god sammenføyningsmetode for kompositt og stål, og blir benyttet i et stort spekter av konstruksjoner. Limfugens kvalitet avhenger av flere parameter, blant annet overflaterenhet, overflatefinhet, limets hefteevne til materialene som skal sammenføres og beskyttet herdemiljø. Disse parameterne ansees som en del av den praktiske gjennomføringen av limeprosessen og vil ikke beskrives i denne oppgaven. (Schollmayer 2009)

3 Metode

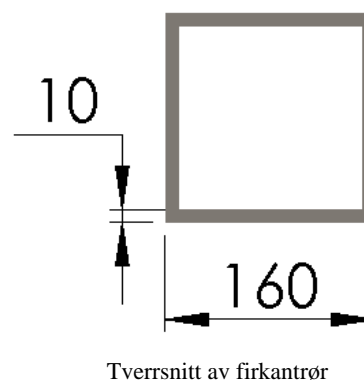
3.1 Elementmetoden

Finite Element Method (FEM) er en avansert numerisk metode for å løse fysiske problemstillinger som lar seg beskrive matematisk ved hjelp av partielle differensialligninger eller integralligninger. Elementmetoden er en av de viktigste metodene for å løse problemstillinger innenfor et stort utvalg av ingeniørfaglige fagområder. Elementmetoden begynte som en metode for å gjøre styrkeberegninger på kompliserte konstruksjoner innen flyindustrien, men har idag utviklet seg til å bli en universelt anvendelig metode som kan løse problemstillinger innenfor et stort utvalg av ingeniørfaglige områder. Blant annet kan metoden benyttes innenfor emner som strukturelle analyser, elektromagnetisme, varmeledning og fluidmekanikk. Metoden benytter seg av teknikken der konstruksjonen deles opp i mange små elementer som kobles sammen i noder. Nodene har tre frihetsgrader, og ved å se på hvordan noden beveger seg i disse tre dimensjonene kan en regne ut den totale deformasjonen i konstruksjonen. Det finnes mange ulike elementtyper med ulike egenskaper og bruksområder, som skal gjenspeile konstruksjonens egenskaper. (Bell 2009)

For å gjøre beregningene med Elementmetoden har vi benyttet ANSYS Mechanical APDL versjon 15 med studentlisens. Studentlisensen innebærer blant annet en begrensning på 32 000 noder hvilket begrenser muligheten for kompleksitet og størrelse på konstruksjonene som skal analyseres. Programmet har både grafisk og kommandobasert brukergrensesnitt.

3.2 Beskrivelse og forutsetninger

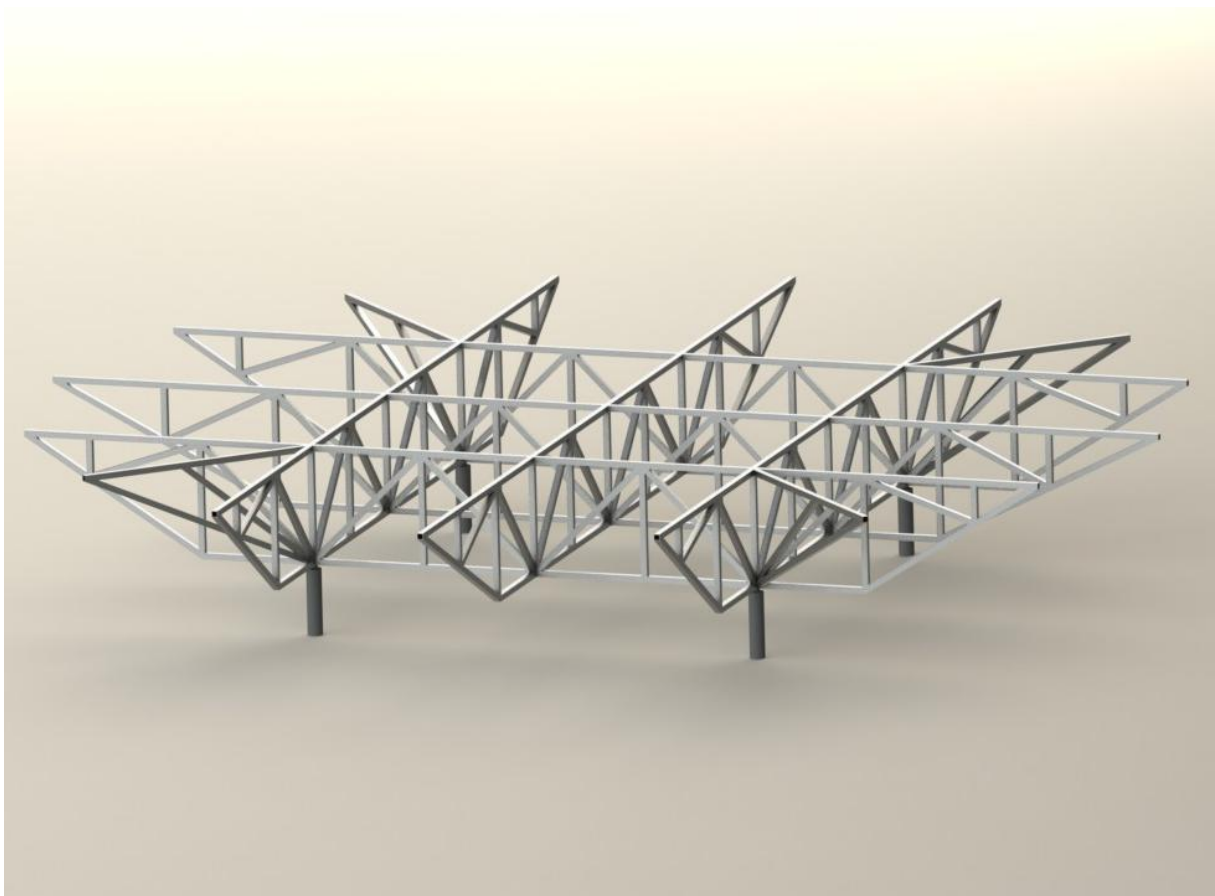
Landingsplassen ved Oslo Universitetssykehuset Ullevål er en elevert landingsplass med et fagverk i stål. Fagverket består av firkanttrør som har dimensjonen 160 mm x 160 mm og flytegrense 355 N/mm². Tykkelsen i tverrsnittet er 10 mm. Videre hviler landingsdekket på fagverket og overfører lasten fra helikopteret til fagverket som er den bærende strukturen i landingsplattformen. Fagverket er opplagret i fire punkter, hjørnene i en firkant med sider på 12 meter. Fagverket stikker utenfor firkanten slik at dekket får en diameter på 30 meter.



Fagverket er symmetrisk om fire symmetriakser sett ovenfra og aksene krysser i senter av fagverket. Fagverket er tre meter høyt. Se tegninger for utfyllende dimensjoner.

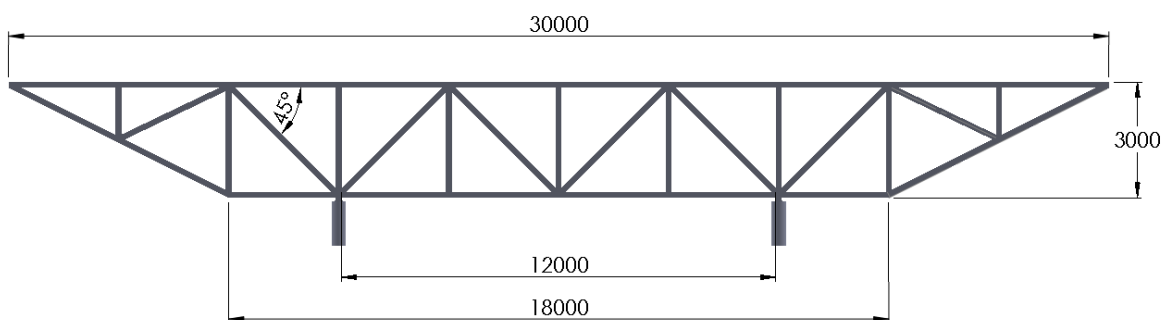
Lasten fra helikopteret fordeles utover dekket og overføres til fagverket. Dekket er ikke en del av den bærende strukturen siden det ikke er festet på en slik måte at det gir stivhet til fagverket.

Siden studentversjonene av ANSYS har en begrensning på antall ukjente begynder beregningene med en global analyse ved hjelp av bjelkeelementer. Bjelkeelementene gir en mindre detaljert nodestruktur og vil ikke kunne gi oss spenninger gjennom tverrsnittet. Den globale analysen benyttes for å fastslå hvor største nedbøyning i fagverket er. Videre vil en solidanalyse av det utvalgte området med størst nedbøyning konkretisere hvor de største spenningene og nedbøyningene er, og det vil være mulig å avgjøre hvor avstivning vil ha størst virkning.



Fagverket ved OUS Ullevål. SolidWorks

Bjelkeanalysen er utført ved å generere en nodestruktur som elementene festes til senere. Koordinatene til nodene er regnet ut manuelt for deretter å generere de i kommandolinjen i ANSYS. Bjelkeelementet som er benyttet er et BEAM188 og med en E-modul på $2,1 \times 10^{11}$ N/mm² som tilsvarer egenskapene til stål. Avstanden mellom nodene er 0,25 meter. Videre er nodestrukturen opplagret i den noden som har koordinat ved opplageret. Lasten er påkjent i utvalgte noder fra symmetrien i fagverket slik at de fem punktene som er valgt representerer alle alternativer og slik standarden beskriver bærende område for helikopterdekket. De fem punktene kommer frem på skisse i resultatkapittelet. Kommandoliste vedlagt.



Fagverksdel. SolidWorks

Den globale analysen fastslår hvilket område som har størst nedbøyning og vi velger det segmentet av fagverket som er aktuelt for solidanalysen. Solidanalysen er gjennomført med et tetraedrisk 3D-element, SOLID187 med 10 noder per element. E-modul er fortsatt $2,1 \times 10^{11}$ N/mm². Fagverket påkjennes ulykkeslasten, regnet ut etter formel fra standard beskrevet i teorigrunnlaget.

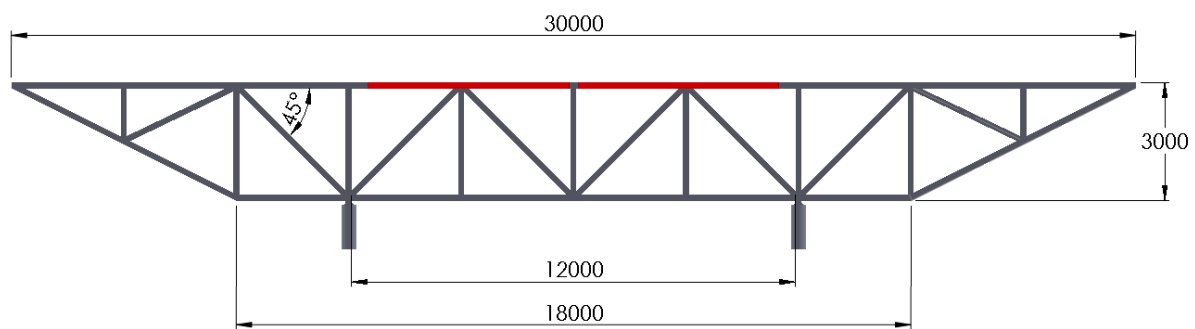
Landingsplassen på Ullevål er dimensjonert for et helikopter på 15 000 kg. Første avstivningsalternativ skal øke den statiske kapasiteten til 16 000 kg slik at AW101 blir det dimensjonerende helikopteret. Nedbøyningen i fagverket ved 15 000 kg blir satt som minste tillatte nedbøyning og nedbøyningen ved 16 000 kg må derfor stives av slik at nedbøyningen blir den samme eller mindre. Best avstivningsalternativ blir utformet ved å kjøre mange iterasjoner, der nedbøyningen og anvendt avstivningsmaterial skal være minst mulig.

Modelleringen er utført i SolidWorks og importert til ANSYS for deretter å modellere forsterkningen fra kommandolinjen i ANSYS. Elementstørrelsen er satt til 0,25 for å utnytte mest mulig av antall ukjente. Avstivningsalternativene ble modellert og sammenføyd med VGLUE-kommandoen som kobler anleggsflatene mellom volumene sammen.

Differensieringen av materialene ble utført gjennom VATT-kommandoen som spesifiserer volummaterialegenskaper. Materialet benyttet for avstivning har E-modul $4,0 \times 10^{10}$ N/mm² og tilsvarer et glassfiberarmert plastkomposittmateriale. Lasten blir påkjent et utvalg av noder i overflaten i øvre gurt. Opplagerne blir satt i overflaten i utvalgte noder i nedre gurt.

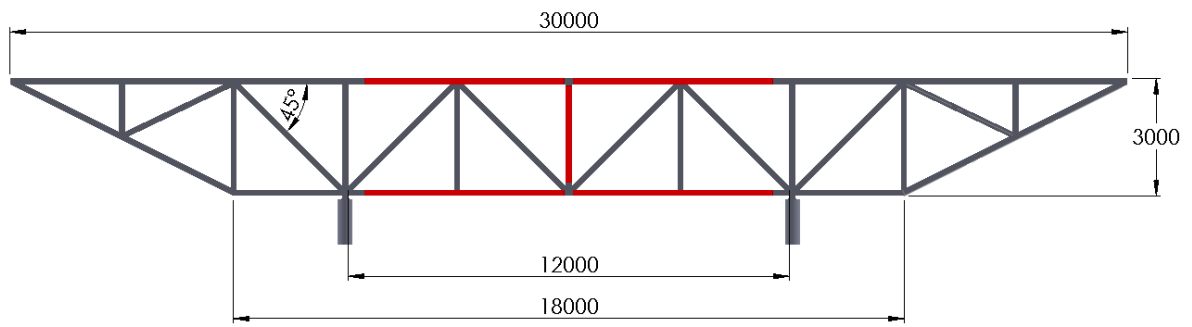
Avstivningen er modellert i øvre gurt med en flat bjelke med høyde og bredde på 160 mm og 10 mm på sidene i tverrsnittet. Avstivningen er 5,42 meter lang på hver side av midten med et opphold på 160 mm slik at koblingen videre til resten av fagverket ikke er i veien.

Kommandoliste er vedlagt. (ANSYS Inc 2013)



Fagverksdel med GFRP avstiving. SolidWorks

Vi har også sett på et alternativ der det benyttes et høyfast karbonfiberarmert plastkompositt med E-modul på $1,8 \times 10^{11}$ N/mm² som avstivingsmateriale. Denne avstivningen er utført på samme måte som med glassfiberarmert kompositt, med avstiving på siden av gurt. Dette alternativet har også forsterking på nedre gurt og på staven som går vertikalt midt i fagverksdelen. Tykkelsen er 20 mm. Videre ble 16 000 kg brukt som last, og nedbøyningen ble sammenlignet med nedbøyningen dersom Sea King med 9 525 kg landet på plattformen. Alternativet er utformet for å gjenspeile plattformer som er godkjent for Sea King og som skal avstives for landing med AW101.

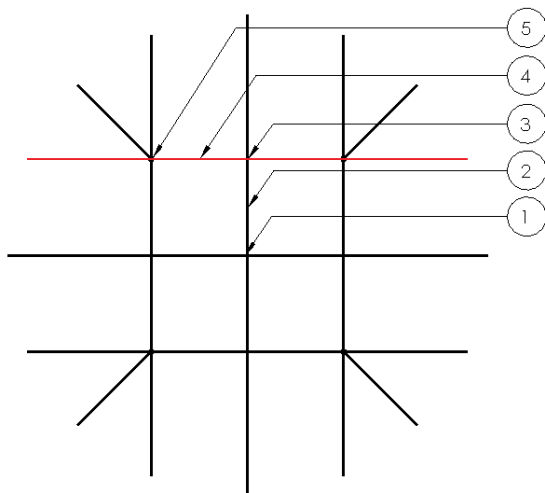


Fagverksdel med CFRP avstiving. SolidWorks

Resultatene er dokumentert gjennom skjermbilder fra ANSYS. Nedbøyingene og spenningene er samlet i tabeller for enklere sammenligning.

4 Resultat

Resultatet er presentert gjennom skjermbilder av ANSYS og tabeller for sammenligning av resultater. Den globale bjelkeanalysen er presentert først for å lokalisere området med størst global nedbøyning. Kraften er satt på i fem ulike punkter som beskrevet i metoden.



Fagverket sett ovenfra. SolidWorks

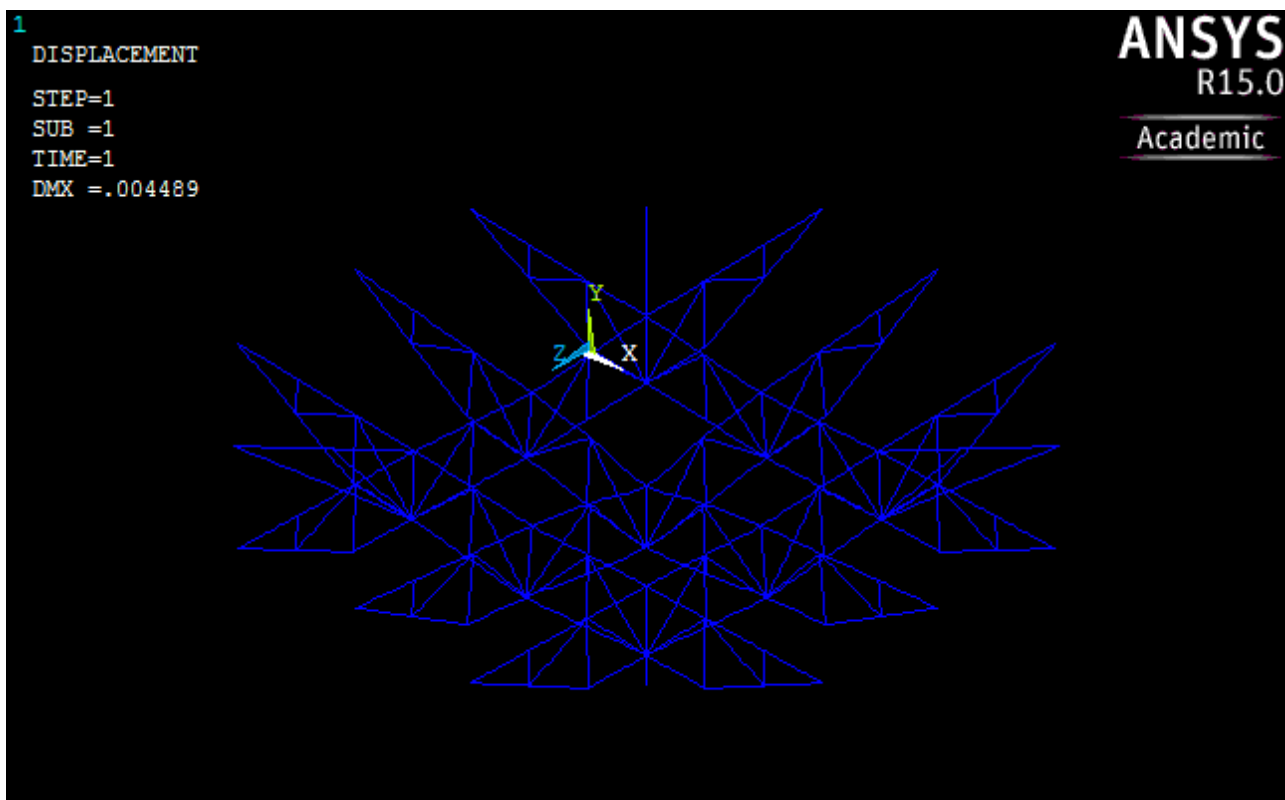
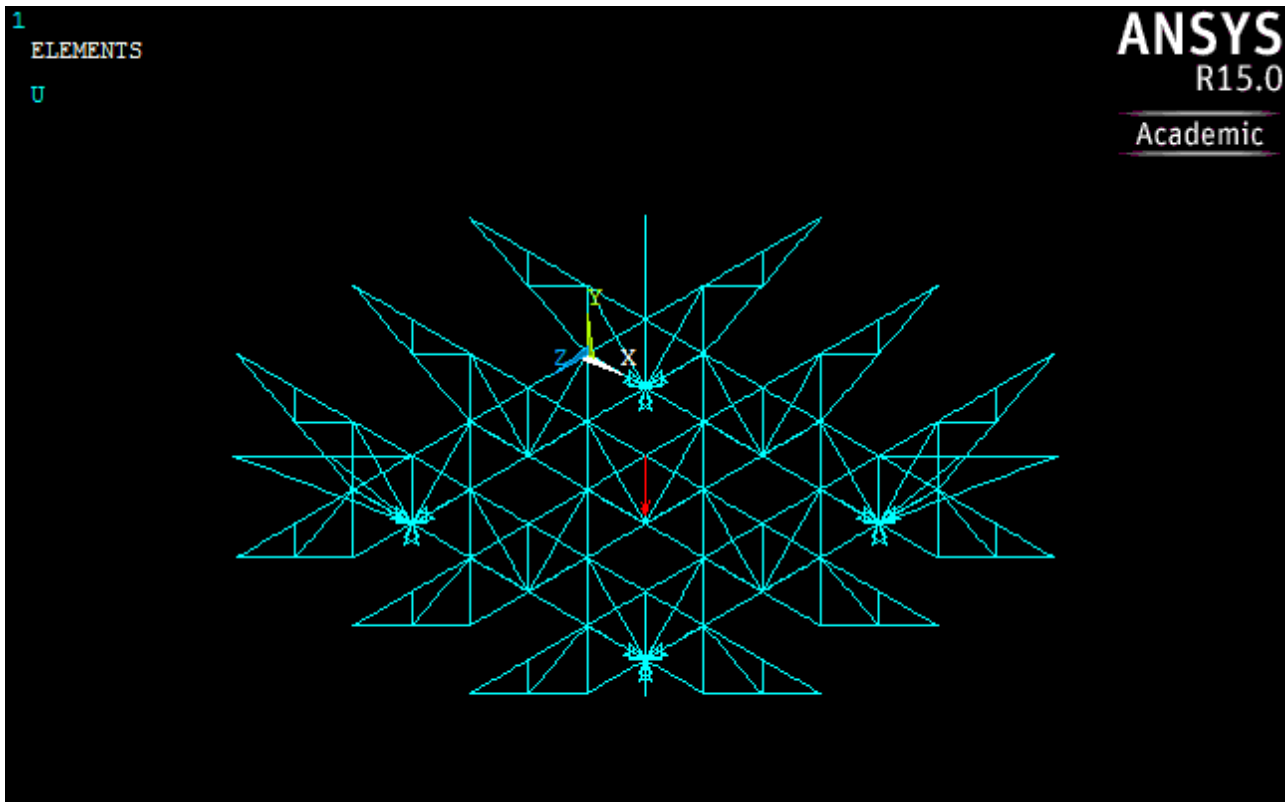
Laststed	Nedbøying [mm]
1	4,489
2	4,229
3	7,873
4	3,955
5	0,876

Ved å sette lasten i utvalgte fem punkter er alle punkter i fagverket dekket på grunn av symmetrien i strukturen. Nedenfor følger bildene som danner grunnlaget for tabellen ovenfor. Den største nedbøyningen er i punkt tre og den røde delen i fagverket velges ut for en solidanalyse

4.1 Global bjelkeanalyse

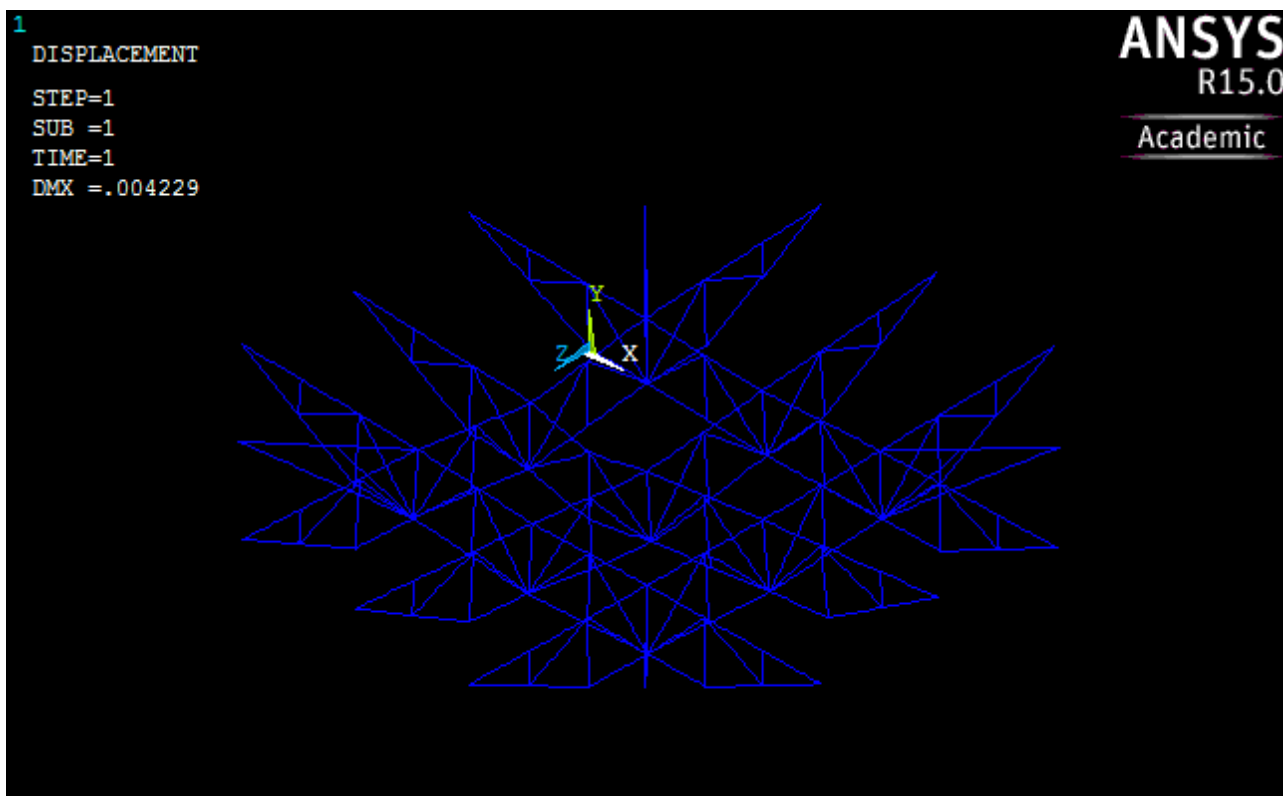
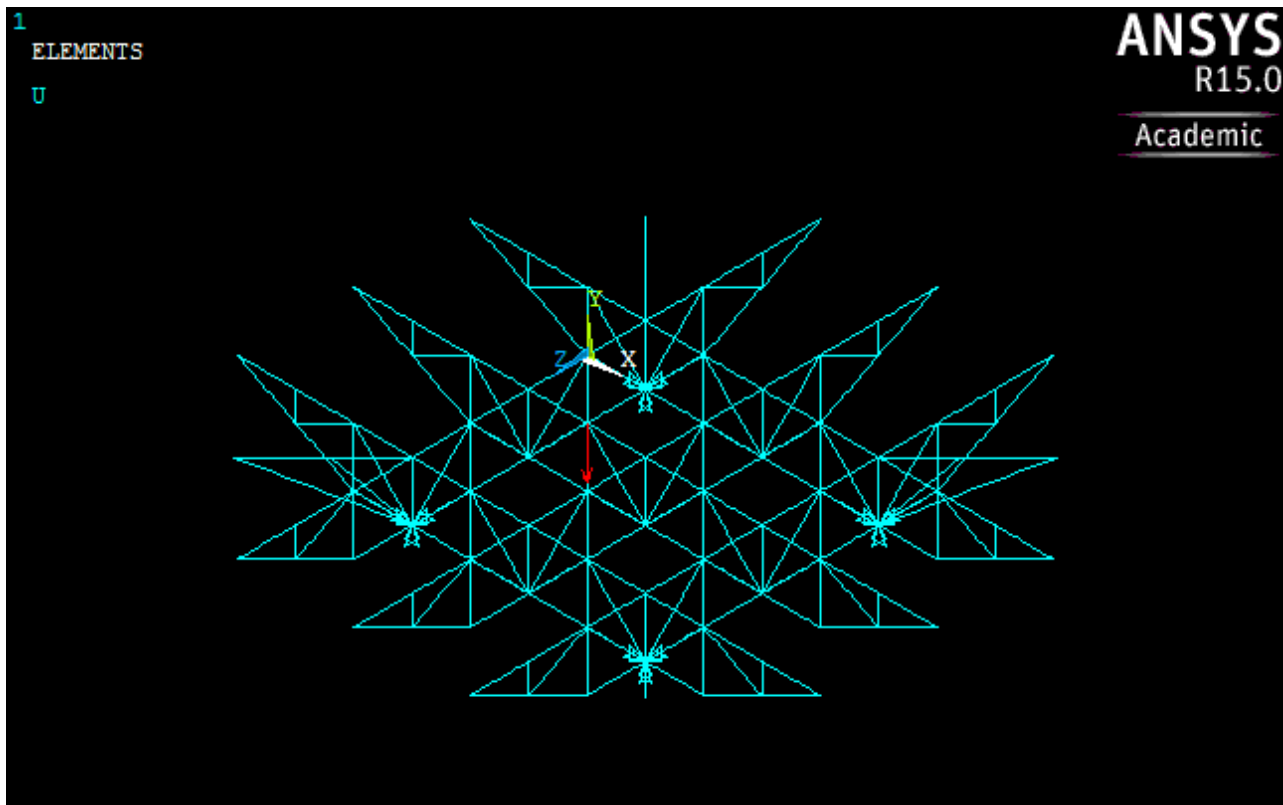
Oppsett og resultat – Laststed 1

Nedbøyningen i dette punktet er 4,489 mm.



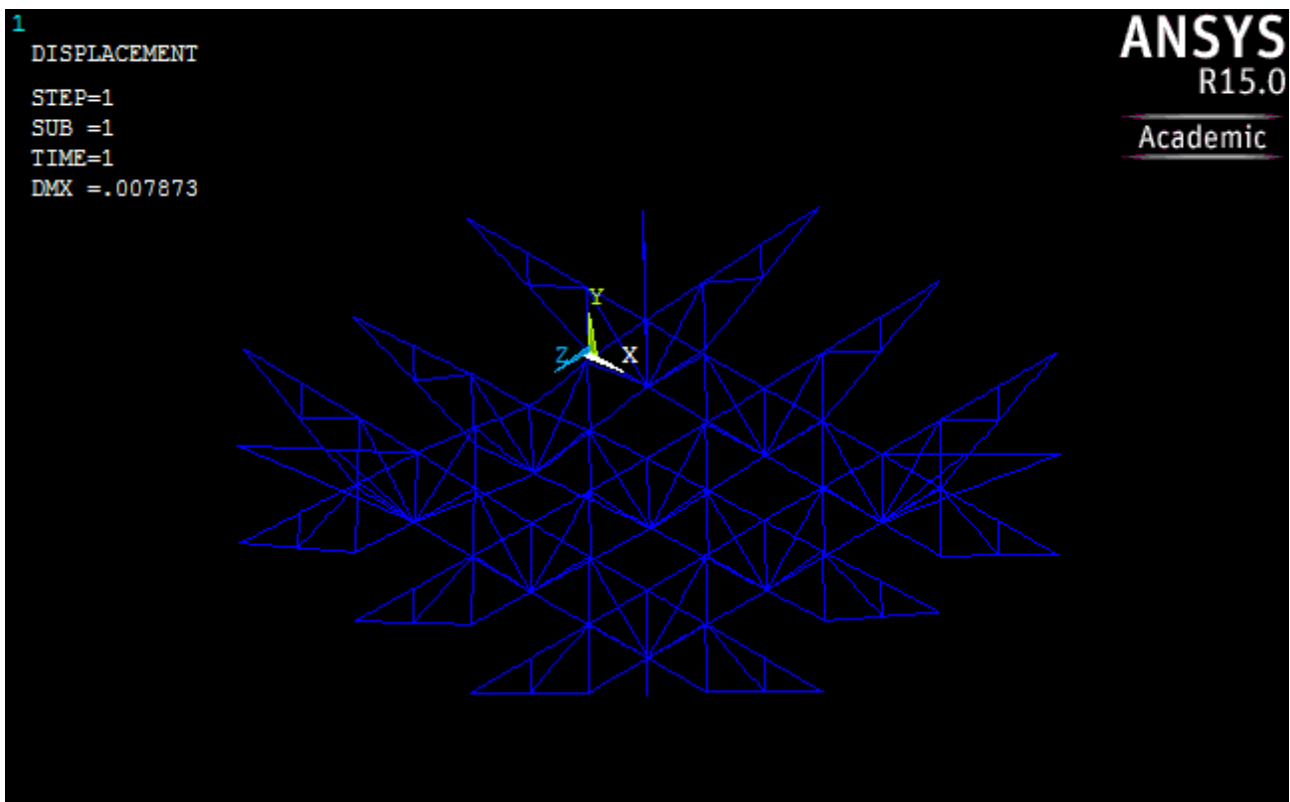
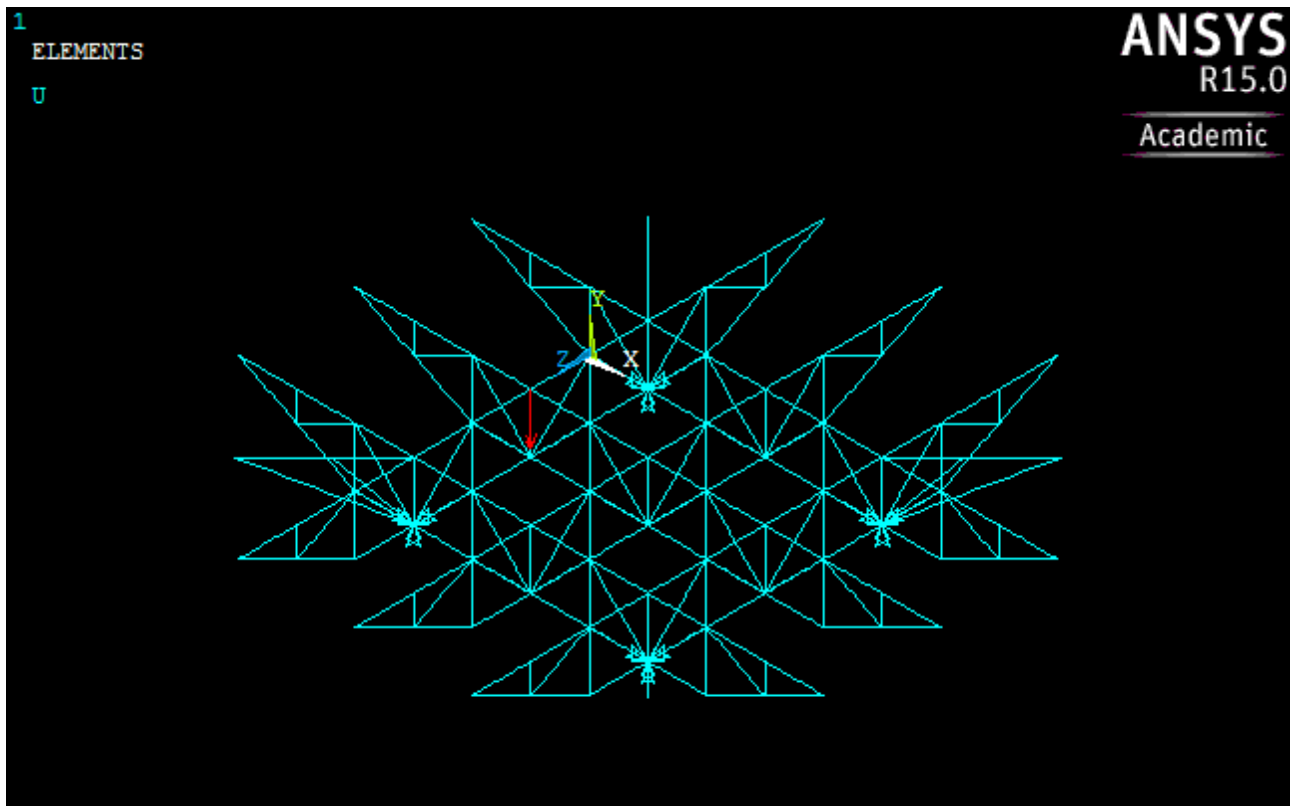
Oppsett og resultat – Laststed 2

Nedbøyningen i dette punktet er 4,229 mm.



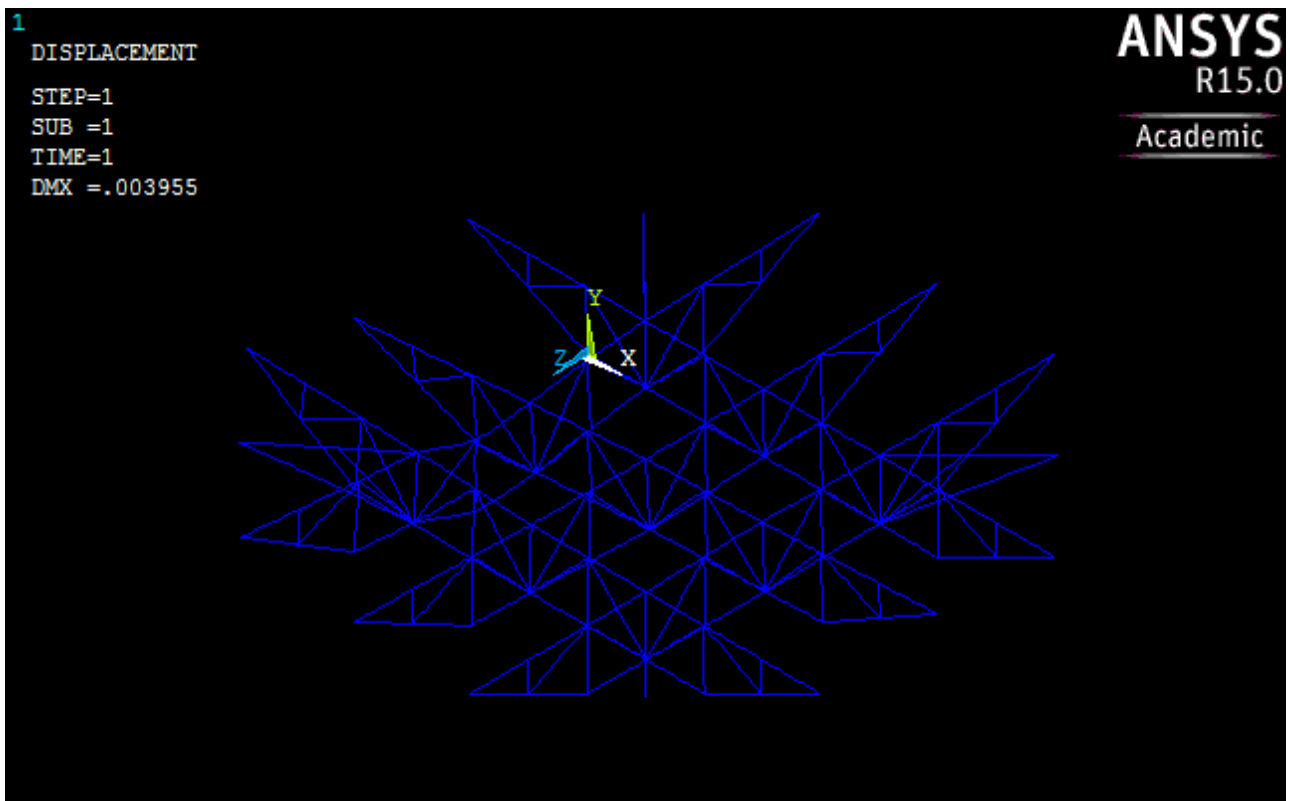
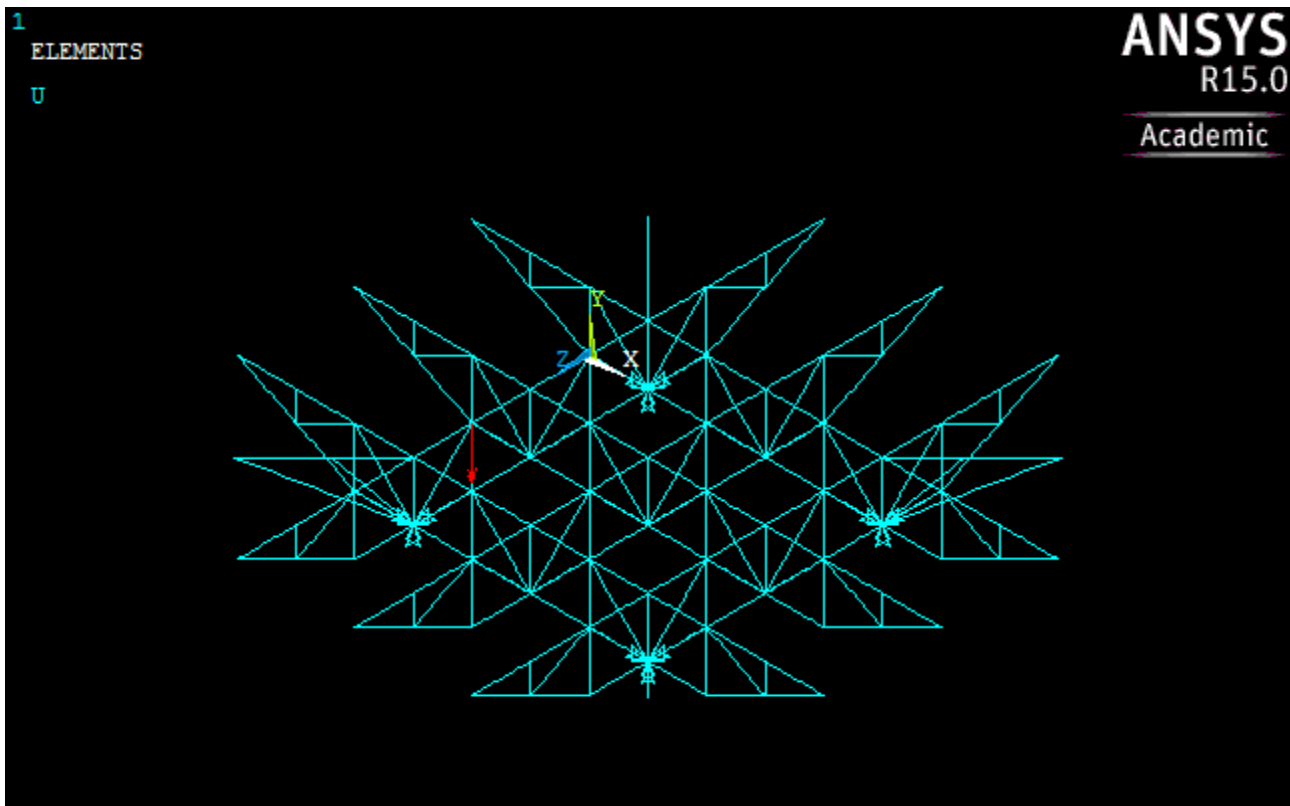
Oppsett og resultat – Laststed 3

Nedbøyningen i dette punktet er 7,873 mm.



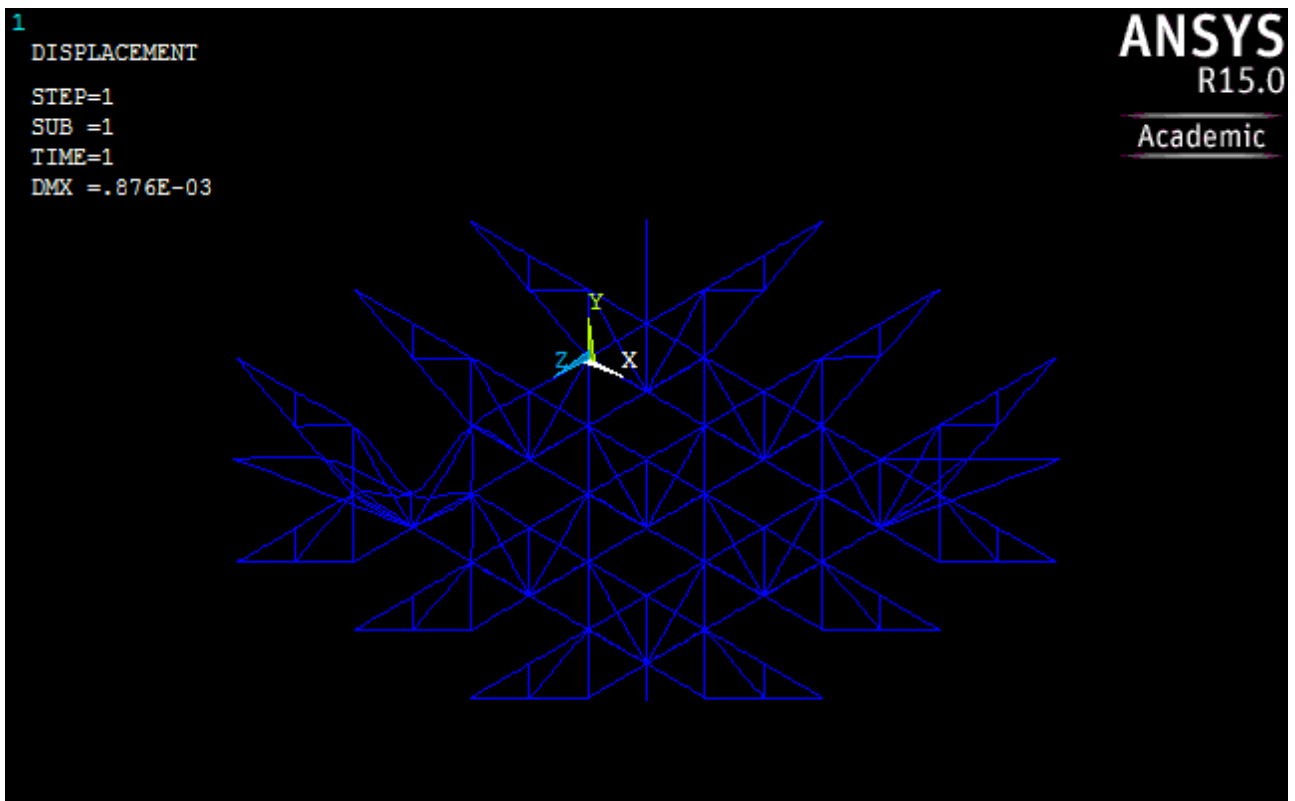
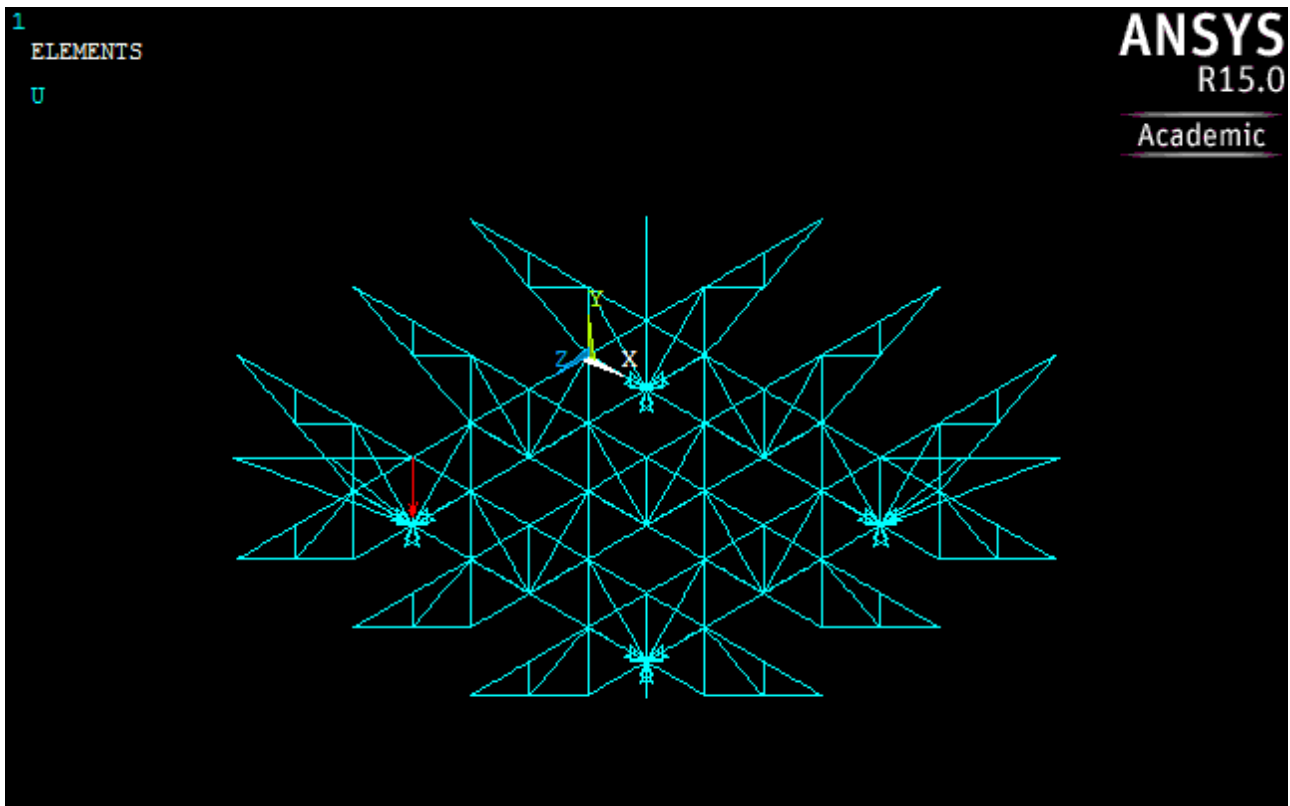
Oppsett og resultat – Laststed 4

Nedbøyningen i dette punktet er 3,955 mm.



Oppsett og resultat – Laststed 5

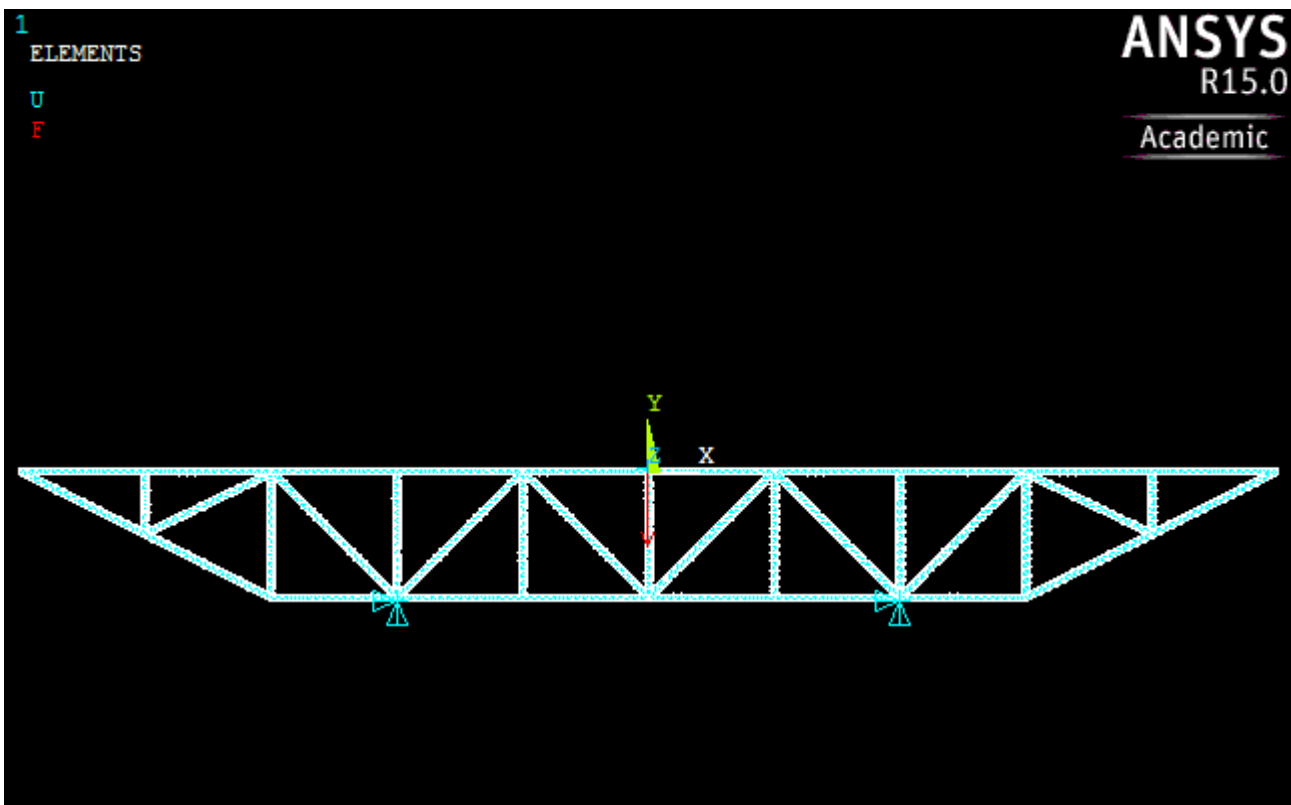
Nedbøyningen i dette punktet er 0,876 mm.



4.2 Solidanalyse

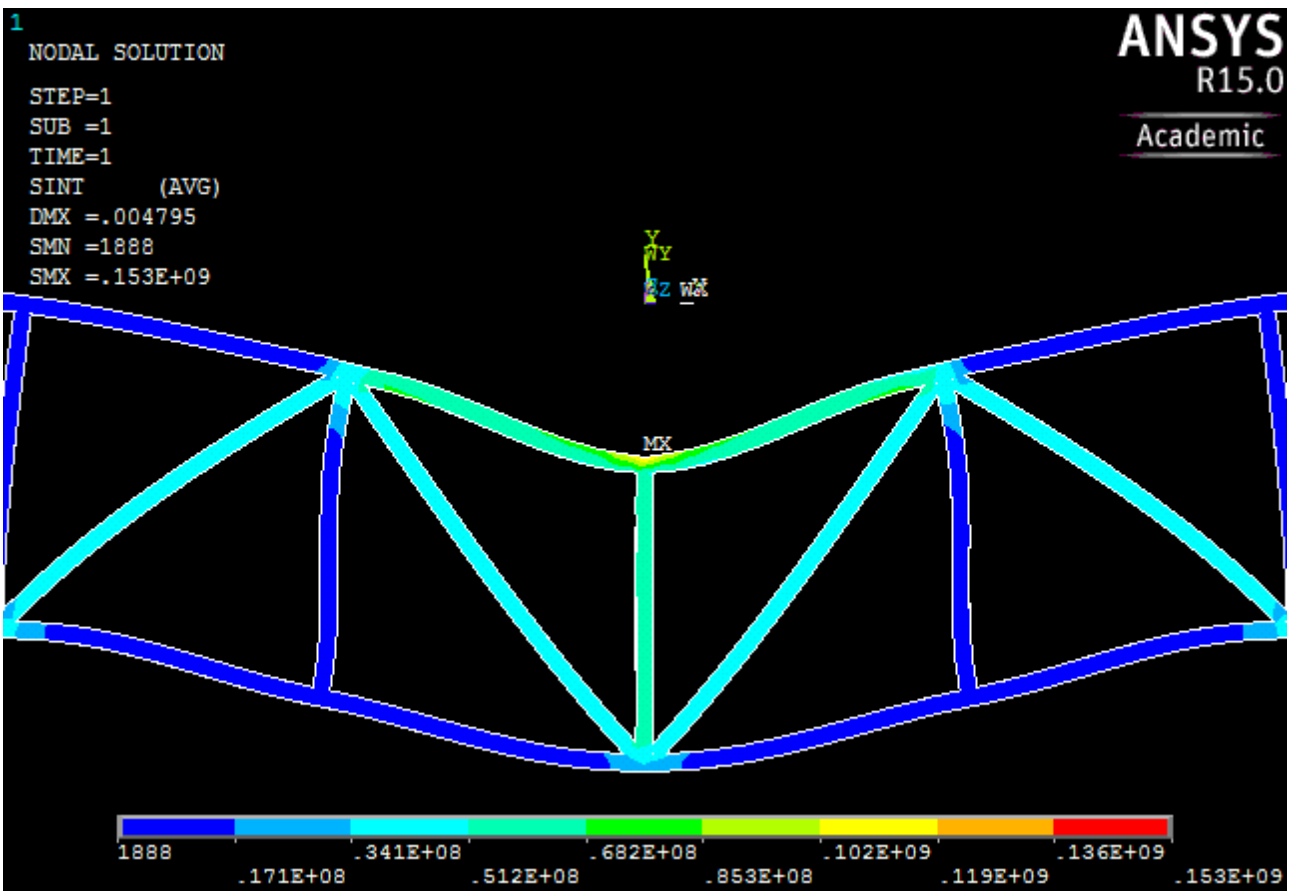
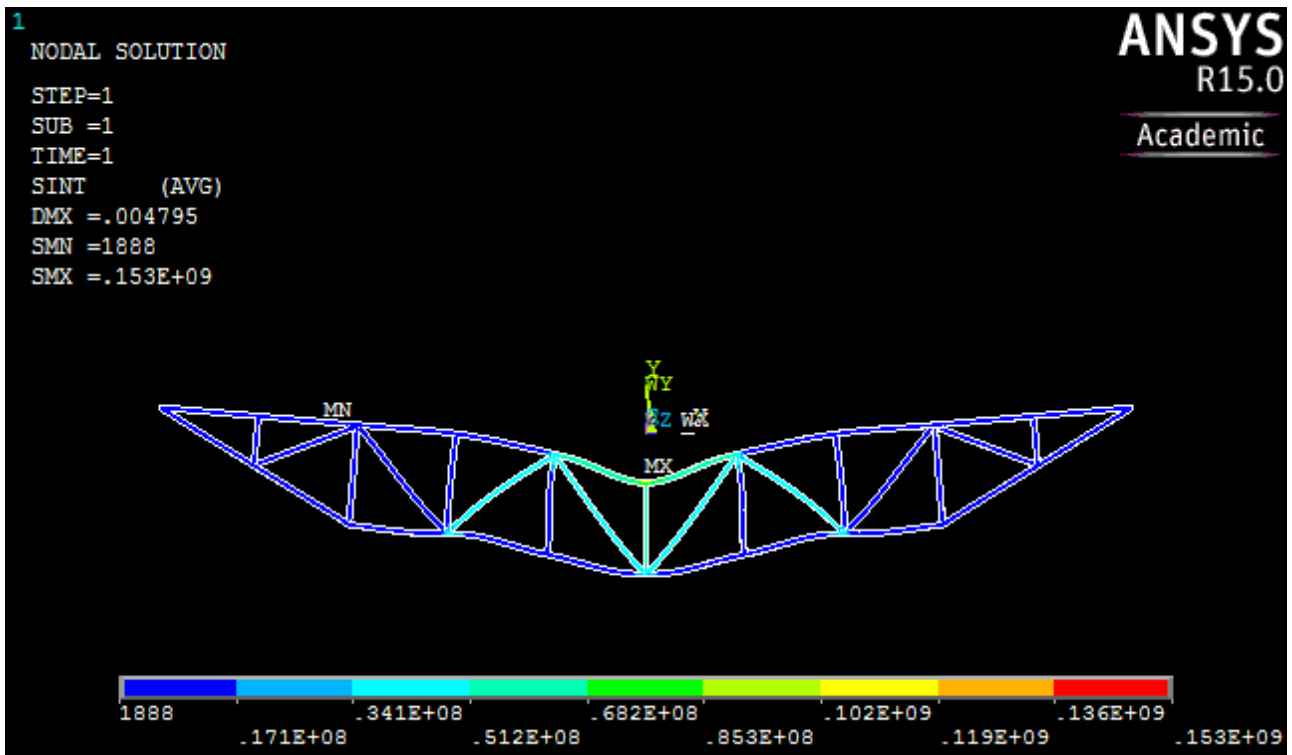
Oppsettet av solidanalysen er beskrevet på bildet nedenfor. Rød pil er ulykkeslasten og blå trekantsymboler er opplager. Fagverksdelen er også fastholdt for sidebevegelse i toppen av fagverket slik at eneste deformasjon skjer ved nedbøyning. Resultatene er samlet i tabell og henviser til bildenummer.

Oppsett

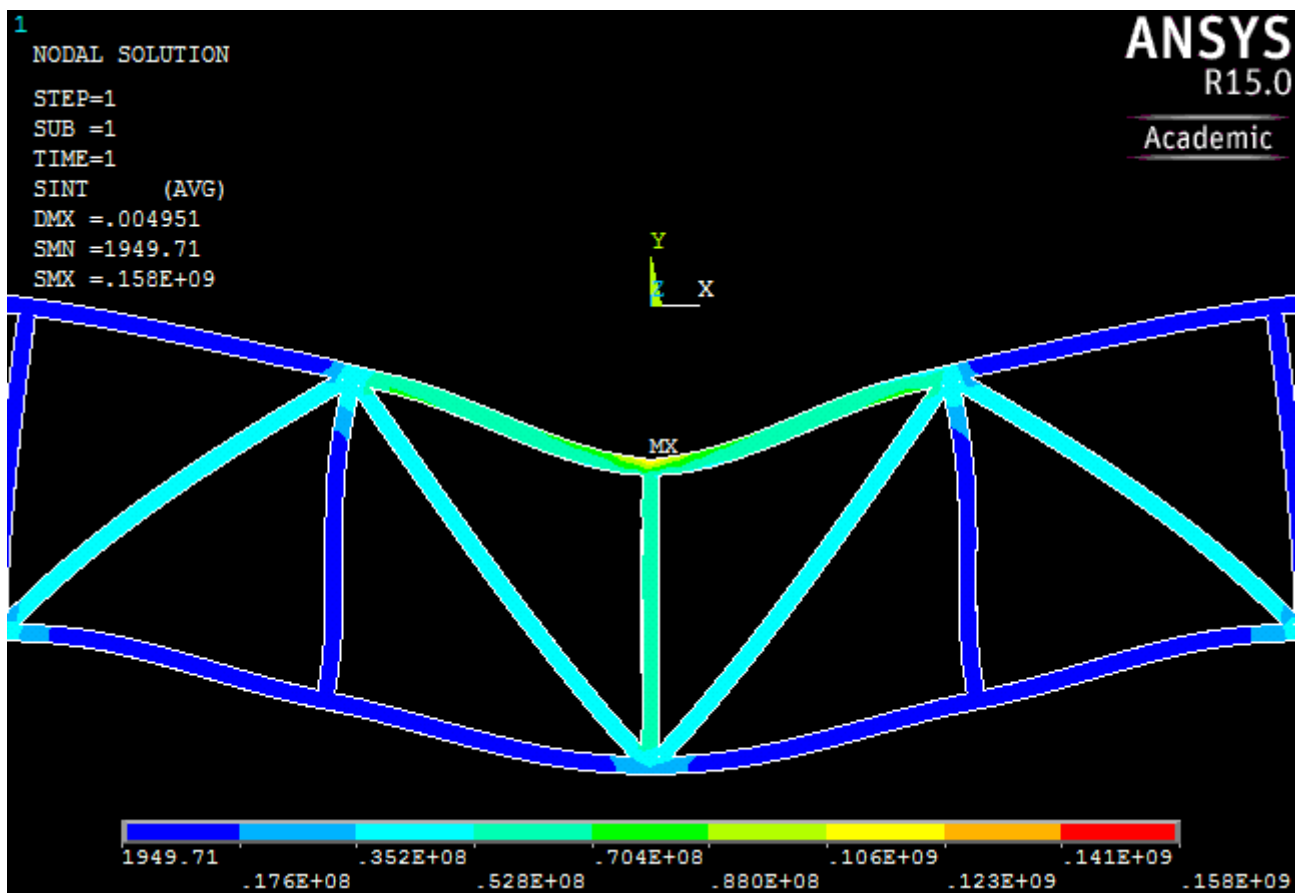
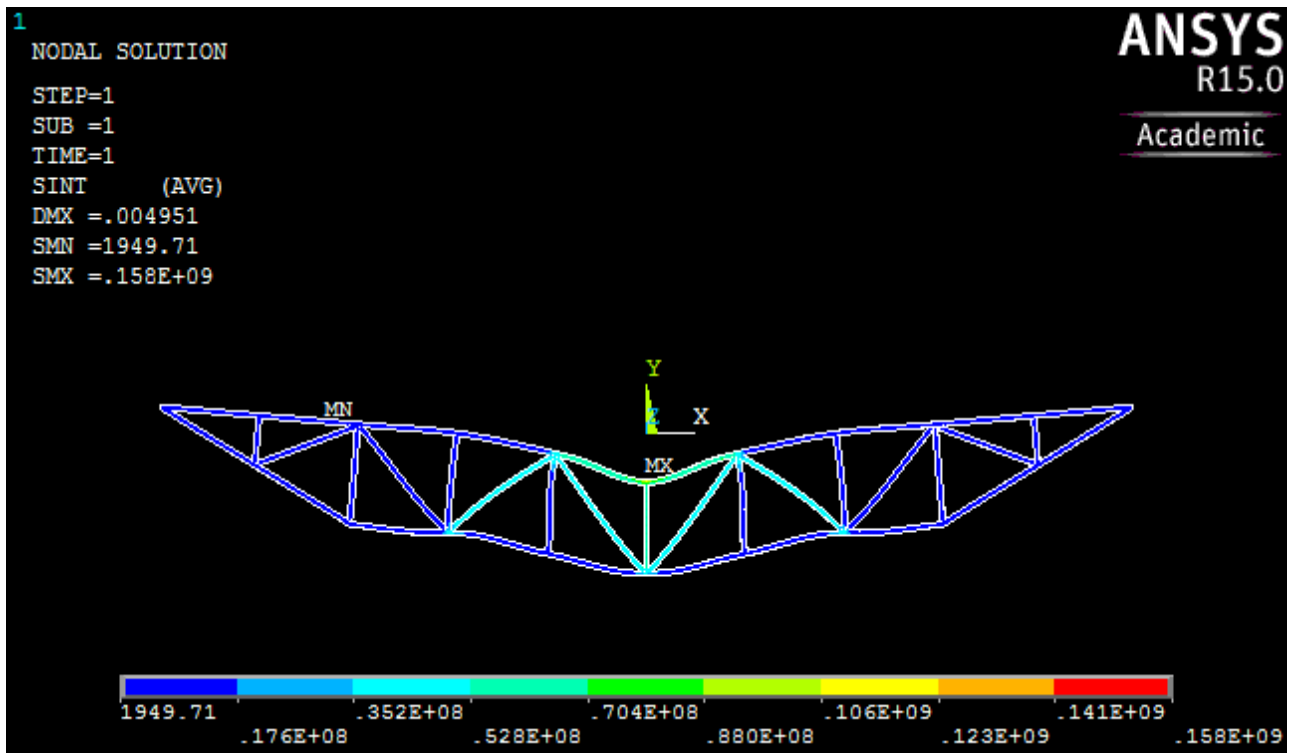


Solidanalyse 1, 2 og 3 viser avstivingsalternativer med glassfiberarmert plastkompositt, og solidanalyse 4 og 5 viser avstivingsalternativ med karbonfiberarmert plastkompositt.

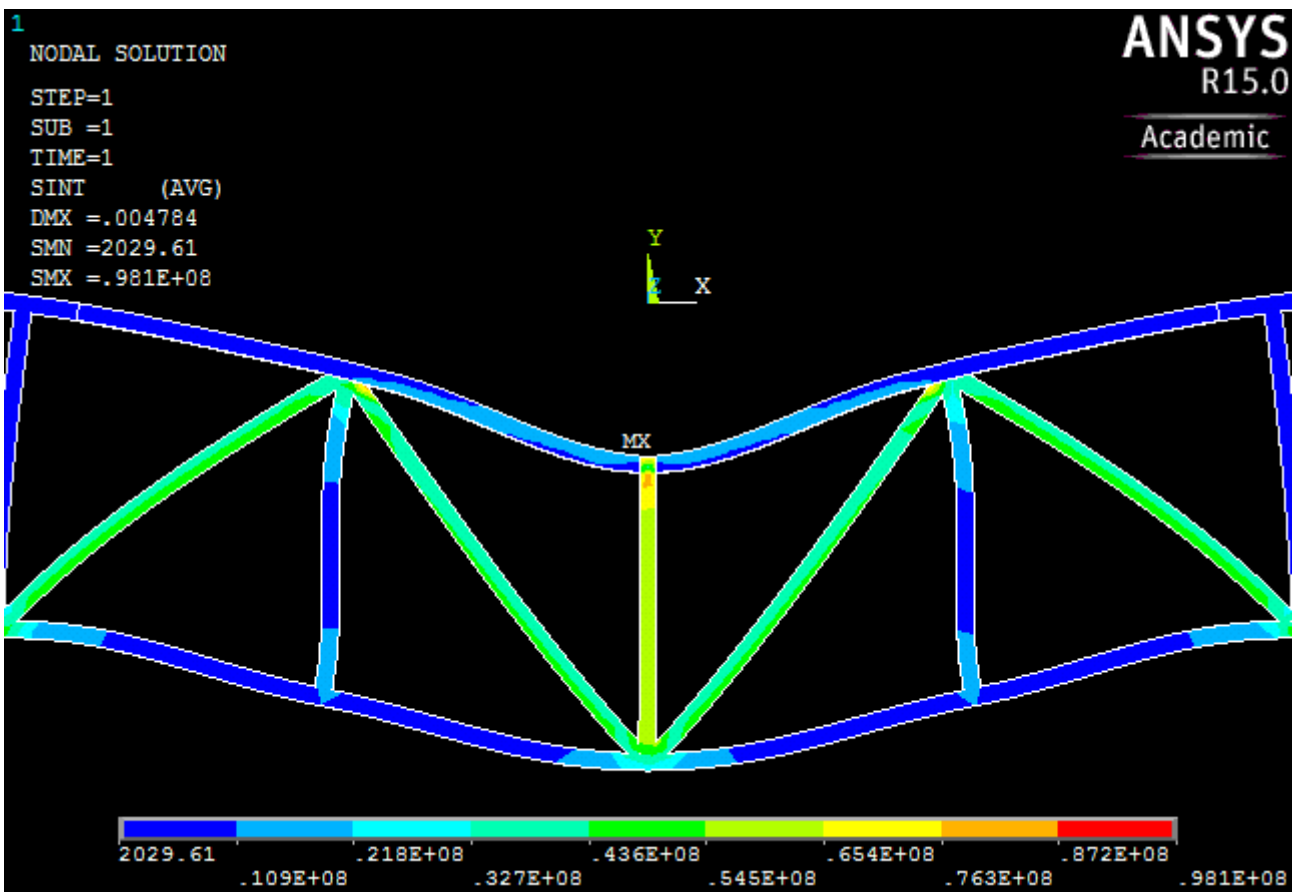
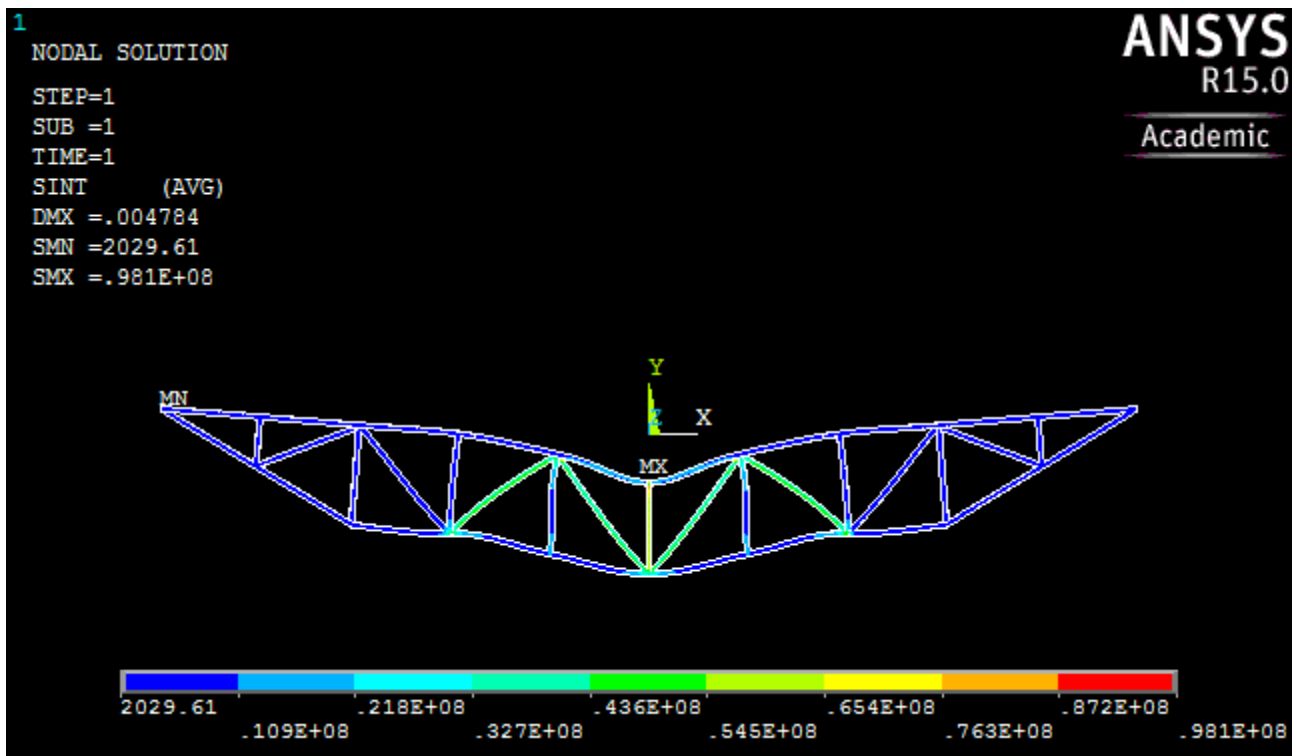
Solidanalyse 1 - Last 15 000 kg



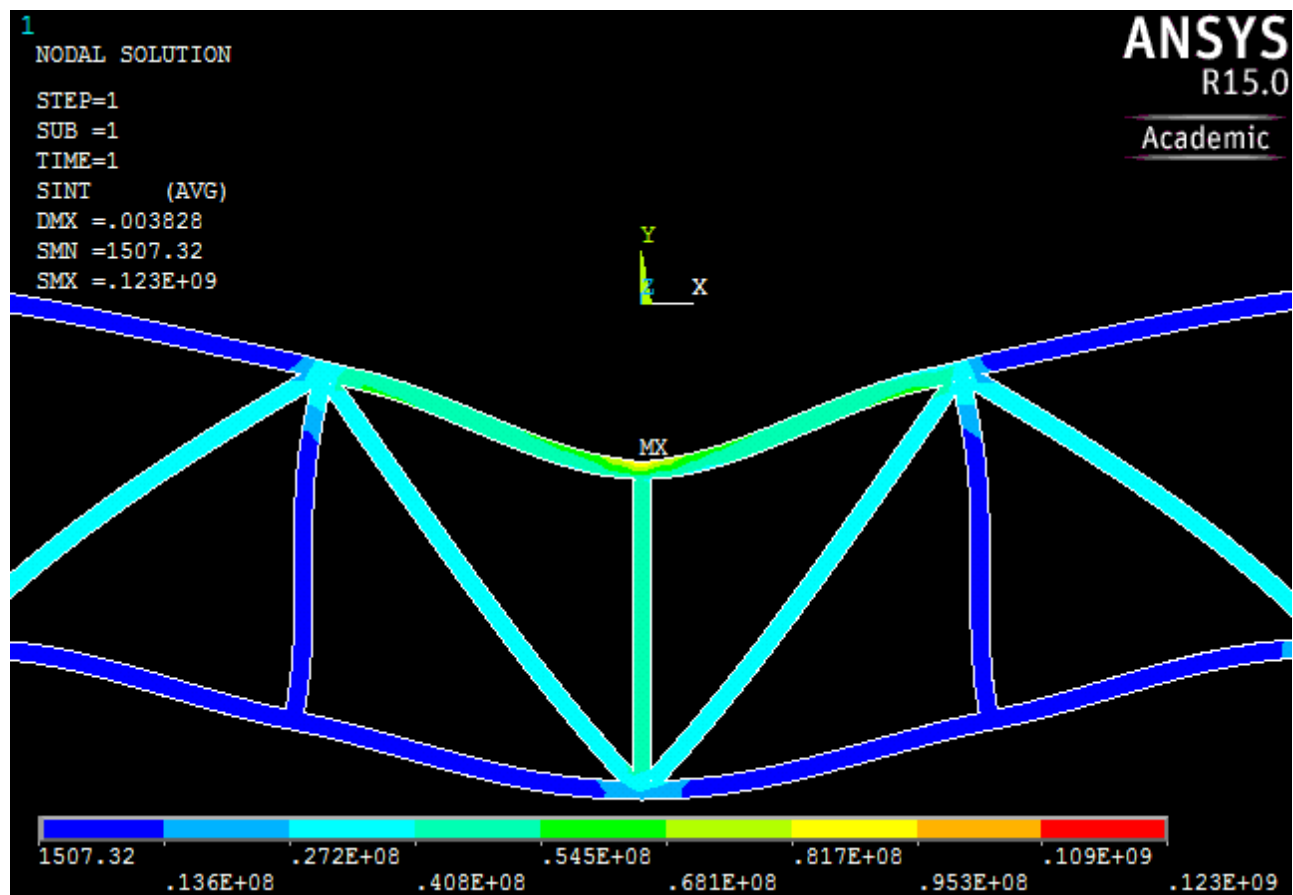
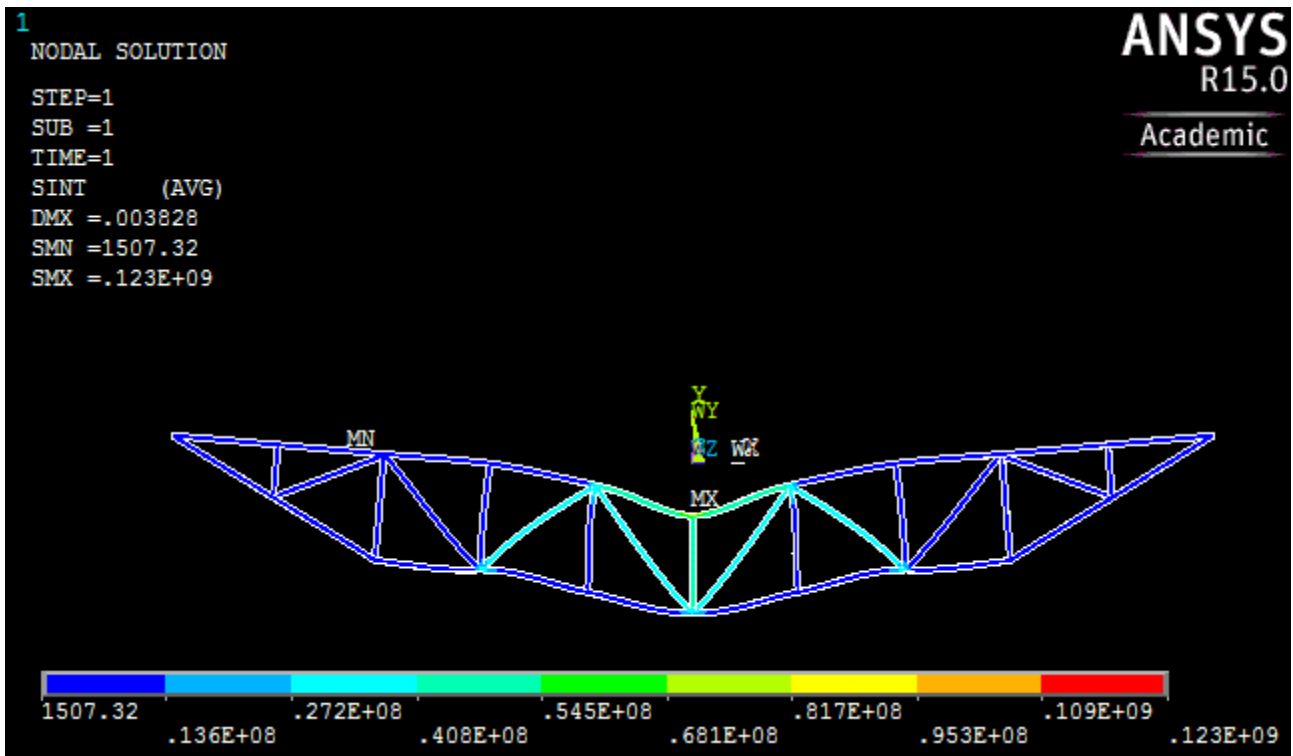
Solidanalyse 2 - Last 16 000 kg uten avstiving



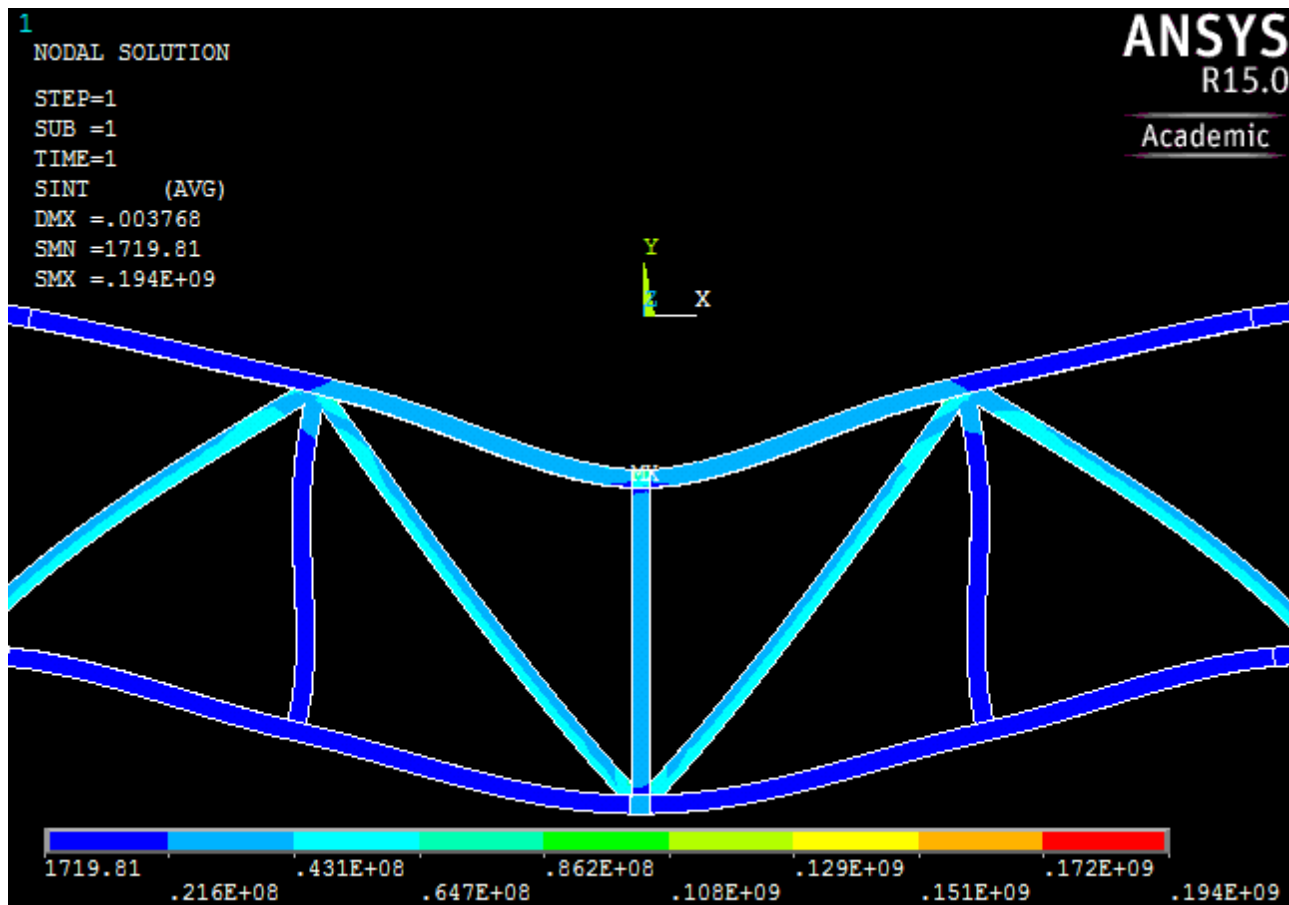
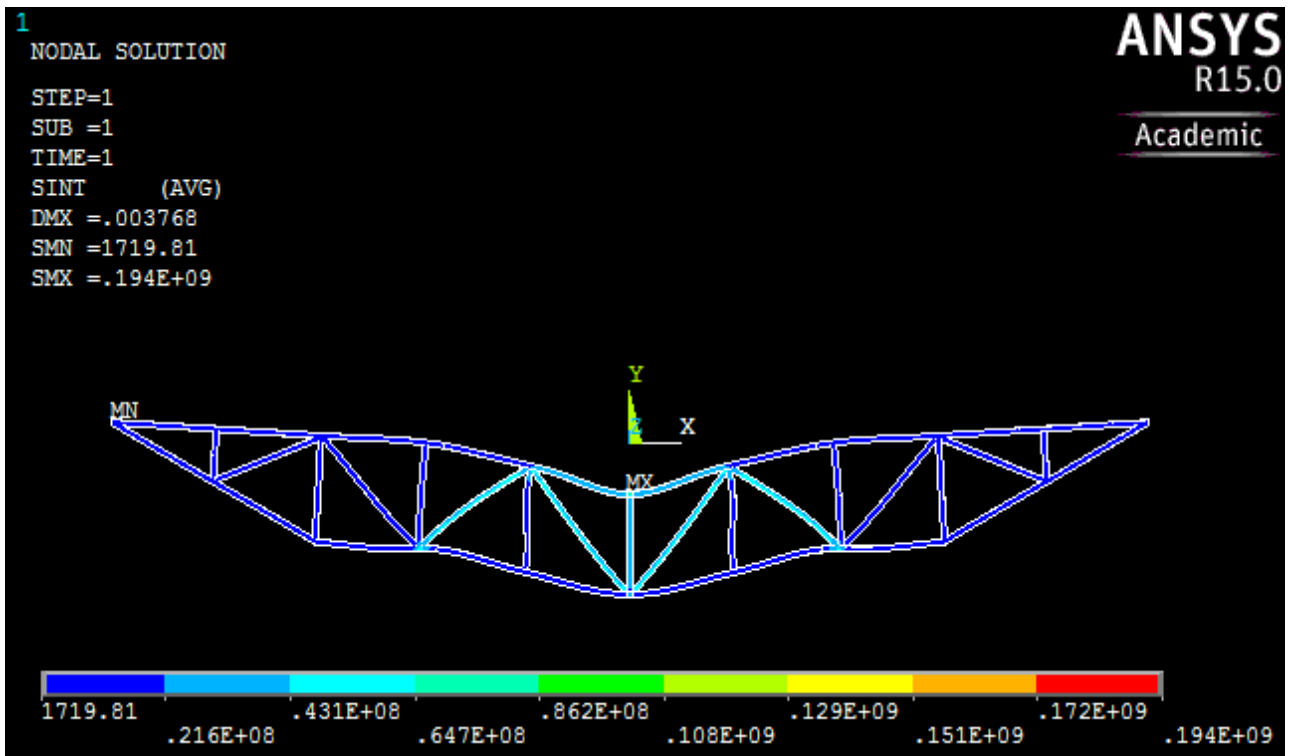
Solidanalyse 3 - Last 16 000 kg med avstiving



Solidanalyse 4 - Last 9 525 kg uten avstiving



Solidanalyse 5 - Last 16 000 kg med avstiving i høyfast karbonfiberarmert kompositt



4.2.1 Alternativ 1 – Glassfiberarmert komposit

Før avstiving

Helikoptervekt	Ulykkeslast	Største nedbøying	Største spenning	Solidanalyse
15 000 kg	367 000 N	4,795 mm	153 N/mm ²	1
16 000 kg	379 000 N	4,951 mm	158 N/mm ²	2

Med avstiving, 10 mm, glassfiberkomposit

Helikoptervekt	Ulykkeslast	Største nedbøying	Største spenning	Solidanalyse
16 000 kg	379 000 N	4,784 mm	98,1 N/mm ²	3

Resultatet viser en nedbøying ved 15 000 kg helikoptervekt på 4,795 mm og ved 16 000 kg helikoptervekt en nedbøying på 4,951 mm. Avstivingen skal få nedbøyingen ved 16 000 kg helikoptervekt til mindre eller lik nedbøying som 15 000 kg helikoptervekt. Resultatet etter avstiving med 10 mm flat kompositbjelke på begge sider av overgurt er at nedbøyingen blir 4,784, hvilket er 11 hundredeler mindre enn nedbøyingen ved 15 000 kg helikoptervekt. Dette gir en økning i statisk kapasitet på 6,7 prosent, det vil si at helikoptervektbegrensningen øker fra 15 000 kg til 16 000 kg.

4.2.2 Alternativ 2 – Karbonfiberarmert komposit

Avstivingen i dette alternativet er utarbeidet for å se hvor høy kapasitet en kompositforsterking kan ha, og vi har satt opp en avstiving som er basert på første alternativ. Her er det benyttet avstiving med flat kompositbjelke med tykkelse 20 mm og karbonfiberarmert plastkomposit med ekstra høy E-modul, 180 GPa. Denne avstivingen er plassert inn på sidene i over- og undergurt, og i tillegg på staven som går vertikalt midt i fagverket. Nedbøyingen kan da sammenlignes med en plattform som har nedbøying etter last på 9 525 kg, hvilket tilsvarer landing med Sea King-helikopteret.

Før avstiving

Helikoptervekt	Ulykkeslast	Største nedbøying	Største spenning	Solidanalyse
9 525 kg	293 000 N	3,828 mm	123 N/mm ²	4
16 000 kg	379 000 N	4,951 mm	158 N/mm ²	2

Med avstiving, 20 mm, karbonfiberkompositt

Helikoptervekt	Ulykkeslast	Største nedbøying	Største spenning	Solidanalyse
16 000 kg	379 000 N	3,768 mm	194 N/mm ²	5

Her kan vi se at nedbøyingen er 3,768 mm etter avstivning hvilket er mindre enn 3,828 mm som er nedbøyingen før avstivning. Den statiske kapasiteten er økt med 60 prosent. Resultatet er kommentert i diskusjonskapittelet.

5 Diskusjon

Resultat

Denne oppgaven har sett på hvordan fagverket i en elevert helikopterlandingsplass kan få økt stivhet ved å benytte elementer i komposittmateriale. Resultatet vårt gjelder for landingsplattformen ved Oslo Universitetssykehus Ullevål da vi valgte denne for å konkretisere beregningene. Ullevål ble valgt ut siden landingsplassen har høyest frekvens av redningshelikopterlandinger og har geografisk nærhet til Gjøvik. I tillegg har plattformen en konstruksjon som vi har funnet ved flere andre eleverte landingsplasser og vi mener at resultatet, med noe individuell tilpasning, kan være relevant for andre landingsplasser. Vi har vært på befaring ved landingsplassen på OUS Ullevål.

Prosjektmål

Målet har vært å undersøke om den statiske kapasiteten kan økes slik at dagens vektbegrensning kan økes da det nye redningshelikopteret AW101 er tyngre enn dagens redningshelikopter Sea King. Vi har valgt å måle den statiske kapasiteten gjennom ulykkeslasten som er beskrevet i teorigrunlaget, siden dette er den største statiske påkjenningen som landingsplassen utsettes for.

Laster

Det er flere laster som plattformen også må dimensjoneres for, men slik vi har tolket standarden er det ulykkeslasten, i EN-1991, som er den største statiske lasten. Vind- og snølast har vi valgt å se vekk ifra siden det nye redningshelikopteret ikke endrer størrelsen på disse og plattformen allerede er dimensjonert for snø- og vindlast. I tillegg er det spesifisert flere mindre statiske laster i internasjonale standarder, men vi har benyttet ulykkeslasten, som er den største statiske lasten. Her må vi ta forbehold om at vår flytekniske kunnskap er begrenset og at vi kan ha tolket standarden uriktig.

Datavariabel

Videre har vi målt ulykkeslastens virkning i fagverket i nedbøying som har benevning millimeter. Spenningene som oppstår vil også være en datavariabel som vi har kontrollert mot flytegrensen til stålet og styrken til kompositten. Resultatene er beregnet ved hjelp av Elementmetoden og vi har utført både en global analyse og en lokal solidanalyse. Siden fagverket har fire symmetriakser vil resultatet fra den globale analysen være representativt for hele fagverket selv om den er utført i de fem utvalgte punktene beskrevet i resultatet. Ved å la beregningene være en sammenligningsanalyse vil vi sikre at grensebetingelsene er like i alle fem tilfellene og vi kan sikre at det globale resultatet får god reliabilitet. Vi kan være sikre på at vi har funnet det område med størst nedbøying i den globale analysen. Grunnlaget for den lokale solidanalysen er lagt ved å lokalisere den største globale nedbøyingen. Vi valgte ut en del av fagverket som inneholder området med største nedbøying. Ved å velge ut en hoveddel slik som beskrevet i metoden sikrer vi at grensebetingelsen blir riktig siden opplagerne er eneste sted som fastholdes i alle frihetsgrader. Delen holdes også fast slik at den ikke får bevege seg sideveis, for å simulere den faktiske bevegelsen til fagverksdelen.

Solidanalysen er også en sammenligningsanalyse siden vi sammenligner nedbøyingen ved 15 000 kg og 16 000 kg som vekt ved landing. Ved å benytte 15 000 kg som godkjent last sikrer vi at vi holder oss innenfor den påkjenningen som plattformen allerede er dimensjonert for. Da vil resultatet vårt være gyldig når nedbøyingen ved 16 000 kg med avstiving sammenlignes med nedbøying ved 15 000 kg uten avstiving. Analysen vil også ha god reliabilitet siden parameterne holdes like i begge analysene, da lasten er det eneste som endres.

Effekten av landingsdekket

I beregningene har vi modellert fagverket uten tilhørende landingsdekke. Dekket er ikke med i beregningene i hovedsak på grunn av at studentversjonen av ANSYS ikke takler så store konstruksjoner da vi går over antall noder. Stivheten i dekket vil tilføre en spredning av lasten og resultere i en mindre maksimal nedbøying. Den reduserte nedbøying vil relativt sett være lik med og uten avstiving, og vi ville hatt en mindre nedbøying å stive av til. Resultatet er på den måten konservativt når vi ser vekk fra dekket. Egenvekten er også utelatt fra beregningene da den øker i svært liten grad med avstiving og vil være tilnærmet lik i begge tilfellene. Egenvekten vil ikke være nødvendig å stive av og plattformen er dimensjonert for denne allerede.

Lastplassering

Lastene i den globale analysen er plassert innenfor, sett ovenfra, den indre firkanten i fagverket. Beskrevet i metode. Grunnen til at ingen punkter utenfor firkanten er valgt er standardens beskrivelse av fast dekke og størrelsen av dette område. Slik plattformen på Ullevål er i dag er fast dekke 30 meter og helikopterets D-mål er 22,8 meter. Vi forutsetter at hele helikopteret lander innenfor fast dekke. Det medfører at tyngden av helikopteret, som representeres gjennom en punktlast i tyngdepunktet til helikopteret, plasseres 12 meter fra kanten av landingsplassen. Da vil påkjenningen treffe innenfor denne firkanten. Her vil også dekket være med på å fordele lasten utover i fagverket. Vi mener derfor det vil være en god tilnærming å benytte punktene på og innenfor denne firkanten av fagverket.

Avstivingsalternativet

Avstivingsalternativet vi har kommet frem til er utarbeidet ved hjelp av kunnskaper om stivhet og resultatet fra den globale analysen. Den endelige løsningen er funnet etter mange iterasjoner ved hjelp av Elementmetoden, der vi kom frem til en avstiving som gir samme nedbøying som før avstiving. Vi forsøkte først å avstive den nedre gurt i fagverket siden denne er mer praktisk å avstive på undersiden. Flere tverrsnitt, blant annet flat bjelke og u-profilbjelke ble forsøkt uten at dette ga noen merkbar reduksjon i nedbøying. Den største nedbøying er i øvre gurt og videre avstiving ble fokusert her. Både u-profilbjelke og flat bjelke ble benyttet både under og på sidene. Den klart største reduksjonen i nedbøying ble frembrakt ved å avstive med flat bjelke på sidene i øvre gurt. Dette er også en relativt enkel avstiving å gjennomføre i praksis og det er ikke mye materiale som skal til sammenlignet med hvor stor reduksjonen i nedbøying er. Vi har valgt å bruke en flat profil som kan produseres hos en komposittbjelkeprodusent og er en del av deres sortiment. Vi har valgt å bruke allerede utviklede tverrsnitt for å gjøre produksjonen og implementering enklere. Dette har ikke vært et kriterium for valg av løsning, men vært en del av utviklingsarbeidet.

Teoretisk resultat

Resultatet er av teoretiske karakter og en praktisk gjennomføring er ikke en del av oppgavens løsning. Vi har likevel tenkt på dette når vi har utviklet løsningen der vi mener vi har laget et konsept som ikke har kompliserte tverrsnitt eller vanskelige momenter. Når det gjelder praktiske forsøk har vi valgt ikke å bruke tid på dette når mange har dokumentert lignende avstivningsalternativer tidligere som vi kan henvise til. Småskala tester vil ikke gi tilfredsstillende resultater og fullskala testing ville kreve ressurser vi ikke har tilgang til. I

tillegg vil fullskalatesting inneholde veldig mange testparametere som kan være vanskelig å ha kontroll over. Dette vil gi svak reliabilitet og vi kan ikke sikre at resultatet vil bekrefte våre resultater. Maskiningeniørstudiet er et teoretisk studium og inneholder ikke praktisk produksjon. Vi mener den teoretiske løsningen danner et godt grunnlag for videre arbeid med hvordan komposittlementene skal limes på stålkonstruksjonen.

Sammenligningsanalyse

Ved å sammenligne resultatene før og etter avstiving ser vi at den reduserte nedbøyningen er innenfor kravene slik at helikopterlandingsplassens vektbegrensning kan økes fra 15 000 kg til 16 000 kg ved avstiving med glassfiberarmert plastkompositt. Dette gir en økning på 6,7 prosent i statisk kapasitet og er i samme størrelsesorden som flere av artiklene vi har sett på. Når det gjelder alternativ 2 der avstivingen skjer ved hjelp av høyfast karbonfiberarmert plastkompositt vil den statiske kapasiteten øke fra 9 525 kg til 16 000 kg. Dette er en økning på 60 prosent i statisk kapasitet og er ikke innenfor område som vi har sett i andre artikler. Grunnen til resultatet er den høye stivheten til komposittmaterialet og den store mengden med avstiving. I tillegg er ikke kapasiteten i stålstrukturen fullt utnyttet ved 9 525 kg og stålstrukturen vil derfor ta opp deler av økningen i last. Vi mener resultatet kan inspirere til å gjennomføre avstiving av stålstrukturer med karbonfiberarmert plastkompositt, men at resultatet er utenfor det området som er realistisk å få til i praksis. Likevel er resultatet gyldig når en ser teoretisk på det og vi har ikke funnet noen feil i beregningene som skulle tilsi at resultatet er uriktig. Vi tar forbehold om at alternativ 2 kan være utfordrende å implementere i fagverket.

Liming

Limfugen er en kritisk del av hvordan avstivingen vil ta opp spenninger fra fagverket og redusere nedbøyningen. Limfugens kvalitet avhenger av mange faktorer og vi har forutsatt at kvaliteten er tilnærmet perfekt. Dette er gjort på bakgrunn av det omfattende omfanget med dokumentasjon der lim er brukt som sammenføyningsmetode for lignende avstivinger med komposittmateriale til stålbjelker. Vi mener resultatet har god gyldighet selv om vi har valgt å idealisere limfugen.

Standardens reguleringer

Landingsplassen på Ullevål er i dag godkjent for 15 000 kg og diameteren på plattformen er 30 meter. Dette medfører at både vekt og størrelse til AW101 er større enn det plattformen er godkjent for i dag. Luftfartstilsynet har varslet endringer i reguleringen av størrelsen på landingsområde og AW101 vil derfor få lande på plattformen ved å se på størrelsen i diameter. Tyngden er det eneste som vil påvirke resultatet og avstiving er en god måte å løse dette på. Ruukki har gjort en uforpliktende vurdering for Oslo Universitetssykehuset Ullevål og de mener økningen i helikoptervekt er akseptabel. Vi har valgt ikke å tillegge denne informasjonen særlig tyngde siden den offisielle godkjente vektbegrensningen er 15 000 kg.

Utmatting

Helikopterlandingsplassen står på land og er ikke en dynamisk påkjent konstruksjon der vi må ta hensyn til utmatting. Lastene vil opptre dynamisk i noen grad, men vil ikke ha høy nok frekvens til å utgjøre en risiko for utmattingsbrudd. Utmatting er derfor ikke en del av oppgaven.

Bruksområder

Resultatet vil gjelde for landingsplattformen ved OUS Ullevål, men vil også ha en betydning for andre konstruksjoner for å vise at avstiving med komposittlementer er mulig. Utenfor Norge har flere kjennskap til denne metoden, men den er ikke benyttet på konstruksjoner i Norge i betydelig grad av det vi kjenner til. Vi har ikke funnet dokumentasjon på at helikopterlandingsplasser er blitt avstivet med kompositt tidligere. Vi mener resultatet er nyskapende og håper andre kan se flere bruksområder for metoden.

5.1 Videre arbeid

Vi har bekreftet at det er teoretisk mulig å øke den statiske kapasiteten til en elevert landingsplattform. Videre vil de være relevant å se på hvordan komposittlementene praktisk skal implementeres og utarbeide prosedyre for limingen. I tillegg vil en beregning av kostnader være nødvendig for å se hvor stor den økonomiske besparelsen er sammenlignet med å bygge en ny landingsplattform.

5.2 Konklusjon

Problemstillingen har vært å se på hvordan en elevert helikopterlandingsplass kan få økt statisk kapasitet ved hjelp av komposittmateriale og om vektbegrensningen kan økes fra dagens 15 000 kg til 16 000 kg. Vi mener vi har klart å øke stivheten i en elevert helikopterlandingsplass ved å benytte komposittlementer. Dette har vi vist gjennom å utvikle et konsept der flate komposittbjelker limes på sidene i stålbjerkene og tilfører stivhet slik at nedbøyningen reduseres. Resultatet er gyldig for landingsplassen på Oslo Universitetssykehus Ullevål, men vi mener resultatet kan være relevant for andre landingsplasser med lignende struktur. Resultatet trenger noe individuell tilpasning for å kunne gjelde andre plattformer enn Ullevål, men vi håper det kan være til inspirasjon for hvordan lignende stålstrukturer kan få økt statisk bæreevne ved å benytte komposittlementer for avstiving.

6 Kilder

6.1 Litteraturliste

AgustaWestland (2013) *AW101 NAW SARH Brochure* [online]. URL: <http://no.agustawestland.com/documents/2974831/3733172/AW101+NAWSARH+Brochure.pdf> (11.02.2013)

ANSYS Inc (2013). *Help Topics. Command Reference*. Canonsburg

Bell, K. (2009). *Elementmetoden*. Store norske leksikon. [online]. URL: <http://snl.no/elementmetoden> (28.4.2014)

Dawood, M., S. Rizkalla og D. Schnerch (2007) *Development of a carbon fiber reinforced polymer system for strengthening steel structures* [online]. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X07002126/pdf?md5=afe1afcd801a8286f061cfc7043871f8&pid=1-s2.0-S1359835X07002126-main.pdf> (11.3.14)

European Committee for Standardization (2006) *EN 1991-1-7: Eurocode 1 - Actions on structures - Part 1-7: General actions - Accidental actions* [online]. URL: <ftp://law.resource.org/eur/ibr/en.1991.1.7.2006.pdf> (25.2.14)

Exel Composites (2009) *Pultrusion* [online]. URL: <http://www.exelcomposites.com/en-us/english/composites/manufacturingtechnologies/pultrusion.aspx> (5.5.14)

Forskrift om små helikopterplasser BSL E 3-6 (2008) *Forskrift om utforming av små helikopterplasser (BSL E 3-6)*. Fastsatt av Luftfartstilsynet 16. april 2004 nr. 629 med hjemmel i lov 11. juni 1993 nr. 101 om luftfart, jf. Delegeringsvedtak 10. desember 1999 nr. 1273 [online]. URL: <http://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-04-16-629> (25.2.14)

Luftfartstilsynet (2012) *Luftambulansetjenesten – Svar på forespørsel om avklaringer vedrørende krav til landingsplasser ved sykehus*. Brev [online]. URL: http://www.luftambulanse.no/system/files/internett-vedlegg/Brev%20fra%20Luftfartstilsynet%20-%20landingsplasser%20-%2019%20jan%202012_0.pdf (25.1.2014)

Forsvaret (2013) *Våre skvadroner* [online]. URL: <http://forsvaret.no/om-forsvaret/organisasjon/luftforsvaret/skvadroner/Sider/vare-skvadroner.aspx> (17.3.14)

International Civil Aviation Organization, ICAO (2009) *Annex 14 – Volume II Heliport* [online]. URL: [http://www.orga.nl/pdf/Annex%2014%20Volume%20II%20-%20Heliports%203rd%20Edition%20\(July%202009\).pdf](http://www.orga.nl/pdf/Annex%2014%20Volume%20II%20-%20Heliports%203rd%20Edition%20(July%202009).pdf) (25.2.14)

International Civil Aviation Organization, ICAO (1995) *Heliport Manual, Doc 9261* [online]. URL: http://www.bazl.admin.ch/dokumentation/grundlagen/02643/02644/index.html?download=NHZLpZeg7t,lnp6I0NTU04212Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCDe319gWym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--&lang=de (25.2.14)

Johansen, H. (2008) *Komposittermaterialer* [online]. Gjøvik: Høgskolen i Gjøvik. URL: <http://materialteknologi.hig.no/Materiallare/arbeidsplan/kompositter/Materiallaere-kompositter-kompendium.pdf> (25.2.14)

Luftambulansetjenesten (2013) *Landingsforhold ved sykehus* [online]. URL: http://www.luftambulanse.no/system/files/internett-vedlegg/landingsforhold_ved_sykehus-_rapport_versjon_ad-motet_16_des_2013_komplett.pdf (3.4.2014)

NHIndustries (2013) THE COMPANY [online]. URL: http://www.nhindustries.com/site/en/ref/The-Company_21.html (03.04.2014)

Photiou, N.K., L.C. Hollaway , M.K. Chryssanthopoulos (2005) *Strengthening of an artificially degraded steel beam utilising a carbon/glass composite system*. Composite Structures Research Unit, School of Engineering, Department of Civil Engineering, University of Surrey, UK, [online].URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061805002072/pdf?md5=e5c5089861ddd51b917cb3b1044df739&pid=1-s2.0-S0950061805002072-main.pdf> (25.2.14)

Schollmayer, Martin (2009), *Through-Thickness Performance of Adhesive Connections Between FRP Bridge Decks and Steel Main Girders*. Doktoravhandling. Swiss Federal Institutes of Technology, Lausanne [online]. URL: http://infoscience.epfl.ch/record/130367/files/EPFL_TH4300.pdf (22.04.14)

Teng, J., G. Yu, T. Fernando, D (2012) *Strengthening of steel structures with fiber-reinforced polymer composites*. Department of Civil and Structural Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China. School of Civil, Mining & Environmental Engineering, Faculty of Engineering, University of Wollongong, Northfields Avenue, Wollongong, NSW 2522, Australia. Institute of Construction and Infrastructure Management (IBI), Department of Structural, Environmental and Geomatic Engineering (D-BAUG), ETH Zürich, Zürich, Switzerland [online]. URL:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143974X12001423/pdf?md5=d00f3d125b0e685737e87d9b3aba453b&pid=1-s2.0-S0143974X12001423-main.pdf> (25.04.2014)

6.2 Støttelitteratur

Wikipedia (2012) *IMRAD* [online]. URL: <http://no.wikipedia.org/wiki/IMRAD> (10.4.2014)

Corneliussen, R.G. (2002) *Tilvirkningsteknikk*. Bergen: Fagbokforlaget.

Halvorsen, K. (2008) *Å forske på samfunnet - en innføring i samfunnsvitenskapelig metode*. Oslo: Cappelen akademisk forlag.

Johansen, H (2008). *Kompositter* [online]. Høgskolen i Gjøvik. URL:
<http://materialteknologi.hig.no/Materiallare/arbeidsplan/kompositter/Materiallaere-kompositter-kompedium.pdf> (25.2.14)

Vollen, Ø. (2010) *Statikk og fasthetslære - Mekanikk for ingeniører*. Bekkestua: NKI-forlaget.

7 Vedlegg

Vedlegg A - Kommandoliste global bjelkeanalyse

Basisdata

1. /units,si
2. et,1,188
3. mp,ex,1,2.1e11
4. sectype,1,beam,hrec
5. secdata,0.16,0.16,0.01,0.01,0.01,0.01

Genererer nettverk av noder del 1

6. n,1,0,0
7. n,73,18,0
8. n,87,21,1.5
9. n,101,24,3
10. n,221,-6,3
11. n,235,-3,1.5
12. fill,1,73,71,2,1
13. fill,73,87,13,74,1
14. fill,87,101,13,88,1
15. fill,101,221,119,102,1
16. fill,221,235,13,222,1
17. fill,235,1,13,236,1
18. fill,209,235,5,249,1
19. fill,235,197,13,254,1
20. fill,197,13,19,267,1
21. fill,13,173,19,286,1
22. fill,173,37,19,305,1
23. fill,37,149,19,324,1
24. fill,149,61,19,343,1
25. fill,61,125,19,362,1
26. fill,125,87,13,381,1
27. fill,87,113,5,394,1
28. fill,1,197,11,399,1
29. fill,13,185,11,410,1
30. fill,25,173,11,421,1
31. fill,37,161,11,432,1
32. fill,49,149,11,443,1
33. fill,61,137,11,454,1
34. fill,73,125,11,465,1

Modellere geometri av elementer del 1

35. e,1,2
36. egen,247,1,1,247,1
37. e,248,1
38. e,209,249
39. e,249,250

40. egen,4,1,250,253,1
41. e,253,235
42. e,235,254
43. e,254,255
44. egen,12,1,256,267,1
45. e,266,197
46. e,197,267
47. e,267,268
48. egen,18,1,270,287,1
49. e,285,13
50. e,13,286
51. e,286,287
52. egen,18,1,290,307,1
53. e,304,173
54. e,173,305
55. e,305,306
56. egen,18,1,310,327,1
57. e,323,37
58. e,37,324
59. e,324,325
60. egen,18,1,330,347,1
61. e,342,149
62. e,149,343
63. e,343,344
64. egen,18,1,350,367,1
65. e,361,61
66. e,61,362
67. e,362,363
68. egen,18,1,370,387,1
69. e,380,125
70. e,125,381
71. e,381,382
72. egen,12,1,390,401,1
73. e,393,87
74. e,87,394
75. e,394,395
76. egen,4,1,404,407,1
77. e,398,113
78. e,1,399
79. e,399,400
80. egen,10,1,410,419,1
81. e,409,197
82. e,13,410
83. e,410,411
84. egen,10,1,422,431,1
85. e,420,185
86. e,25,421
87. e,421,422
88. egen,10,1,434,443,1
89. e,431,173

- 90. e,37,432
- 91. e,432,433
- 92. egen,10,1,446,455,1
- 93. e,442,161
- 94. e,49,443
- 95. e,443,444
- 96. egen,10,1,458,467,1
- 97. e,453,149
- 98. e,61,454
- 99. e,454,455
- 100. egen,10,1,470,479,1
- 101. e,464,137
- 102. e,73,465
- 103. e,465,466
- 104. egen,10,1,482,491,1
- 105. e,475,125

Genererer nettverk av noder del 2

- 106. n,1001,0,0,6
- 107. n,1073,18,0,6
- 108. n,1087,21,1.5,6
- 109. n,1101,24,3,6
- 110. n,1221,-6,3,6
- 111. n,1235,-3,1.5,6
- 112. fill,1001,1073,71,1002,1
- 113. fill,1073,1087,13,1074,1
- 114. fill,1087,1101,13,1088,1
- 115. fill,1101,1221,119,1102,1
- 116. fill,1221,1235,13,1222,1
- 117. fill,1235,1001,13,1236,1
- 118. fill,1209,1235,5,1249,1
- 119. fill,1235,1197,13,1254,1
- 120. fill,1197,1013,19,1267,1
- 121. fill,1013,1173,19,1286,1
- 122. fill,1173,1037,19,1305,1
- 123. fill,1037,1149,19,1324,1
- 124. fill,1149,1061,19,1343,1
- 125. fill,1061,1125,19,1362,1
- 126. fill,1125,1087,13,1381,1
- 127. fill,1087,1113,5,1394,1
- 128. fill,1001,1197,11,1399,1
- 129. fill,1013,1185,11,1410,1
- 130. fill,1025,1173,11,1421,1
- 131. fill,1037,1161,11,1432,1
- 132. fill,1049,1149,11,1443,1
- 133. fill,1061,1137,11,1454,1
- 134. fill,1073,1125,11,1465,1

Modellere geometri av elementer del 2

- 135. numstr,elem,1001
- 136. e,1001,1002
- 137. egen,247,1,1001,1247,1
- 138. e,1248,1001
- 139. e,1209,1249
- 140. e,1249,1250
- 141. egen,4,1,1250,1253,1
- 142. e,1253,1235
- 143. e,1235,1254
- 144. e,1254,1255
- 145. egen,12,1,1256,1267,1
- 146. e,1266,1197
- 147. e,1197,1267
- 148. e,1267,1268
- 149. egen,18,1,1270,1287,1
- 150. e,1285,1013
- 151. e,1013,1286
- 152. e,1286,1287
- 153. egen,18,1,1290,1307,1
- 154. e,1304,1173
- 155. e,1173,1305
- 156. e,1305,1306
- 157. egen,18,1,1310,1327,1
- 158. e,1323,1037
- 159. e,1037,1324
- 160. e,1324,1325
- 161. egen,18,1,1330,1347,1
- 162. e,1342,1149
- 163. e,1149,1343
- 164. e,1343,1344
- 165. egen,18,1,1350,1367,1
- 166. e,1361,1061
- 167. e,1061,1362
- 168. e,1362,1363
- 169. egen,18,1,1370,1387,1
- 170. e,1380,1125
- 171. e,1125,1381
- 172. e,1381,1382
- 173. egen,12,1,1390,1401,1
- 174. e,1393,1087
- 175. e,1087,1394
- 176. e,1394,1395
- 177. egen,4,1,1404,1407,1
- 178. e,1398,1113
- 179. e,1001,1399
- 180. e,1399,1400
- 181. egen,10,1,1410,1419,1
- 182. e,1409,1197
- 183. e,1013,1410

- 184. e,1410,1411
- 185. egen,10,1,1422,1431,1
- 186. e,1420,1185
- 187. e,1025,1421
- 188. e,1421,1422
- 189. egen,10,1,1434,1443,1
- 190. e,1431,1173
- 191. e,1037,1432
- 192. e,1432,1433
- 193. egen,10,1,1446,1455,1
- 194. e,1442,1161
- 195. e,1049,1443
- 196. e,1443,1444
- 197. egen,10,1,1458,1467,1
- 198. e,1453,1149
- 199. e,1061,1454
- 200. e,1454,1455
- 201. egen,10,1,1470,1479,1
- 202. e,1464,1137
- 203. e,1073,1465
- 204. e,1465,1466
- 205. egen,10,1,1482,1491,1
- 206. e,1475,1125

Genererer nettverk av noder del 3

- 207. n,2001,0,0,12
- 208. n,2073,18,0,12
- 209. n,2087,21,1.5,12
- 210. n,2101,24,3,12
- 211. n,2221,-6,3,12
- 212. n,2235,-3,1.5,12
- 213. fill,2001,2073,71,2002,1
- 214. fill,2073,2087,13,2074,1
- 215. fill,2087,2101,13,2088,1
- 216. fill,2101,2221,119,2102,1
- 217. fill,2221,2235,13,2222,1
- 218. fill,2235,2001,13,2236,1
- 219. fill,2209,2235,5,2249,1
- 220. fill,2235,2197,13,2254,1
- 221. fill,2197,2013,19,2267,1
- 222. fill,2013,2173,19,2286,1
- 223. fill,2173,2037,19,2305,1
- 224. fill,2037,2149,19,2324,1
- 225. fill,2149,2061,19,2343,1
- 226. fill,2061,2125,19,2362,1
- 227. fill,2125,2087,13,2381,1
- 228. fill,2087,2113,5,2394,1
- 229. fill,2001,2197,11,2399,1
- 230. fill,2013,2185,11,2410,1
- 231. fill,2025,2173,11,2421,1

- 232. fill,2037,2161,11,2432,1
- 233. fill,2049,2149,11,2443,1
- 234. fill,2061,2137,11,2454,1
- 235. fill,2073,2125,11,2465,1

Modellere geometri av elementer del 3

- 236. numstr,elem,2001
- 237. e,2001,2002
- 238. egen,247,1,2001,2247,1
- 239. e,2248,2001
- 240. e,2209,2249
- 241. e,2249,2250
- 242. egen,4,1,2250,2253,1
- 243. e,2253,2235
- 244. e,2235,2254
- 245. e,2254,2255
- 246. egen,12,1,2256,2267,1
- 247. e,2266,2197
- 248. e,2197,2267
- 249. e,2267,2268
- 250. egen,18,1,2270,2287,1
- 251. e,2285,2013
- 252. e,2013,2286
- 253. e,2286,2287
- 254. egen,18,1,2290,2307,1
- 255. e,2304,2173
- 256. e,2173,2305
- 257. e,2305,2306
- 258. egen,18,1,2310,2327,1
- 259. e,2323,2037
- 260. e,2037,2324
- 261. e,2324,2325
- 262. egen,18,1,2330,2347,1
- 263. e,2342,2149
- 264. e,2149,2343
- 265. e,2343,2344
- 266. egen,18,1,2350,2367,1
- 267. e,2361,2061
- 268. e,2061,2362
- 269. e,2362,2363
- 270. egen,18,1,2370,2387,1
- 271. e,2380,2125
- 272. e,2125,2381
- 273. e,2381,2382
- 274. egen,12,1,2390,2401,1
- 275. e,2393,2087
- 276. e,2087,2394
- 277. e,2394,2395
- 278. egen,4,1,2404,2407,1
- 279. e,2398,2113

- 280. e,2001,2399
- 281. e,2399,2400
- 282. egen,10,1,2410,2419,1
- 283. e,2409,2197
- 284. e,2013,2410
- 285. e,2410,2411
- 286. egen,10,1,2422,2431,1
- 287. e,2420,2185
- 288. e,2025,2421
- 289. e,2421,2422
- 290. egen,10,1,2434,2443,1
- 291. e,2431,2173
- 292. e,2037,2432
- 293. e,2432,2433
- 294. egen,10,1,2446,2455,1
- 295. e,2442,2161
- 296. e,2049,2443
- 297. e,2443,2444
- 298. egen,10,1,2458,2467,1
- 299. e,2453,2149
- 300. e,2061,2454
- 301. e,2454,2455
- 302. egen,10,1,2470,2479,1
- 303. e,2464,2137
- 304. e,2073,2465
- 305. e,2465,2466
- 306. egen,10,1,2482,2491,1
- 307. e,2475,2125

Genererer nettverk av noder del 4

- 308. n,3001,3,0,-3
- 309. n,3073,3,0,15
- 310. n,3087,3,1.5,18
- 311. n,3101,3,3,21
- 312. n,3221,3,3,-9
- 313. n,3235,3,1.5,-6
- 314. fill,3001,3073,71,3002,1
- 315. fill,3073,3087,13,3074,1
- 316. fill,3087,3101,13,3088,1
- 317. fill,3101,3221,119,3102,1
- 318. fill,3221,3235,13,3222,1
- 319. fill,3235,3001,13,3236,1
- 320. fill,3209,3235,5,3249,1
- 321. fill,3235,3197,13,3254,1
- 322. fill,3197,3013,19,3267,1
- 323. fill,3013,3173,19,3286,1
- 324. fill,3173,3037,19,3305,1
- 325. fill,3037,3149,19,3324,1
- 326. fill,3149,3061,19,3343,1
- 327. fill,3061,3125,19,3362,1

- 328. fill,3125,3087,13,3381,1
- 329. fill,3087,3113,5,3394,1
- 330. fill,3001,3197,11,3399,1
- 331. fill,3013,3185,11,3410,1
- 332. fill,3025,3173,11,3421,1
- 333. fill,3037,3161,11,3432,1
- 334. fill,3049,3149,11,3443,1
- 335. fill,3061,3137,11,3454,1
- 336. fill,3073,3125,11,3465,1

Modellere geometri av elementer del 4

- 337. numstr,elem,3001
- 338. e,3001,3002
- 339. egen,247,1,3001,3247,1
- 340. e,3248,3001
- 341. e,3209,3249
- 342. e,3249,3250
- 343. egen,4,1,3250,3253,1
- 344. e,3253,3235
- 345. e,3235,3254
- 346. e,3254,3255
- 347. egen,12,1,3256,3267,1
- 348. e,3266,3197
- 349. e,3197,3267
- 350. e,3267,3268
- 351. egen,18,1,3270,3287,1
- 352. e,3285,3013
- 353. e,3013,3286
- 354. e,3286,3287
- 355. egen,18,1,3290,3307,1
- 356. e,3304,3173
- 357. e,3173,3305
- 358. e,3305,3306
- 359. egen,18,1,3310,3327,1
- 360. e,3323,3037
- 361. e,3037,3324
- 362. e,3324,3325
- 363. egen,18,1,3330,3347,1
- 364. e,3342,3149
- 365. e,3149,3343
- 366. e,3343,3344
- 367. egen,18,1,3350,3367,1
- 368. e,3361,3061
- 369. e,3061,3362
- 370. e,3362,3363
- 371. egen,18,1,3370,3387,1
- 372. e,3380,3125
- 373. e,3125,3381
- 374. e,3381,3382
- 375. egen,12,1,3390,3401,1

- 376. e,3393,3087
- 377. e,3087,3394
- 378. e,3394,3395
- 379. egen,4,1,3404,3407,1
- 380. e,3398,3113
- 381. e,3001,3399
- 382. e,3399,3400
- 383. egen,10,1,3410,3419,1
- 384. e,3409,3197
- 385. e,3013,3410
- 386. e,3410,3411
- 387. egen,10,1,3422,3431,1
- 388. e,3420,3185
- 389. e,3025,3421
- 390. e,3421,3422
- 391. egen,10,1,3434,3443,1
- 392. e,3431,3173
- 393. e,3037,3432
- 394. e,3432,3433
- 395. egen,10,1,3446,3455,1
- 396. e,3442,3161
- 397. e,3049,3443
- 398. e,3443,3444
- 399. egen,10,1,3458,3467,1
- 400. e,3453,3149
- 401. e,3061,3454
- 402. e,3454,3455
- 403. egen,10,1,3470,3479,1
- 404. e,3464,3137
- 405. e,3073,3465
- 406. e,3465,3466
- 407. egen,10,1,3482,3491,1
- 408. e,3475,3125

Genererer nettverk av noder del 5

- 409. n,4001,9,0,-3
- 410. n,4073,9,0,15
- 411. n,4087,9,1.5,18
- 412. n,4101,9,3,21
- 413. n,4221,9,3,-9
- 414. n,4235,9,1.5,-6
- 415. fill,4001,4073,71,4002,1
- 416. fill,4073,4087,13,4074,1
- 417. fill,4087,4101,13,4088,1
- 418. fill,4101,4221,119,4102,1
- 419. fill,4221,4235,13,4222,1
- 420. fill,4235,4001,13,4236,1
- 421. fill,4209,4235,5,4249,1
- 422. fill,4235,4197,13,4254,1
- 423. fill,4197,4013,19,4267,1

- 424. fill,4013,4173,19,4286,1
- 425. fill,4173,4037,19,4305,1
- 426. fill,4037,4149,19,4324,1
- 427. fill,4149,4061,19,4343,1
- 428. fill,4061,4125,19,4362,1
- 429. fill,4125,4087,13,4381,1
- 430. fill,4087,4113,5,4394,1
- 431. fill,4001,4197,11,4399,1
- 432. fill,4013,4185,11,4410,1
- 433. fill,4025,4173,11,4421,1
- 434. fill,4037,4161,11,4432,1
- 435. fill,4049,4149,11,4443,1
- 436. fill,4061,4137,11,4454,1
- 437. fill,4073,4125,11,4465,1

Modellere geometri av elementer del 5

- 438. numstr,elem,4001
- 439. e,4001,4002
- 440. egen,247,1,4001,4247,1
- 441. e,4248,4001
- 442. e,4209,4249
- 443. e,4249,4250
- 444. egen,4,1,4250,4253,1
- 445. e,4253,4235
- 446. e,4235,4254
- 447. e,4254,4255
- 448. egen,12,1,4256,4267,1
- 449. e,4266,4197
- 450. e,4197,4267
- 451. e,4267,4268
- 452. egen,18,1,4270,4287,1
- 453. e,4285,4013
- 454. e,4013,4286
- 455. e,4286,4287
- 456. egen,18,1,4290,4307,1
- 457. e,4304,4173
- 458. e,4173,4305
- 459. e,4305,4306
- 460. egen,18,1,4310,4327,1
- 461. e,4323,4037
- 462. e,4037,4324
- 463. e,4324,4325
- 464. egen,18,1,4330,4347,1
- 465. e,4342,4149
- 466. e,4149,4343
- 467. e,4343,4344
- 468. egen,18,1,4350,4367,1
- 469. e,4361,4061
- 470. e,4061,4362
- 471. e,4362,4363

- 472. egen,18,1,4370,4387,1
- 473. e,4380,4125
- 474. e,4125,4381
- 475. e,4381,4382
- 476. egen,12,1,4390,4401,1
- 477. e,4393,4087
- 478. e,4087,4394
- 479. e,4394,4395
- 480. egen,4,1,4404,4407,1
- 481. e,4398,4113
- 482. e,4001,4399
- 483. e,4399,4400
- 484. egen,10,1,4410,4419,1
- 485. e,4409,4197
- 486. e,4013,4410
- 487. e,4410,4411
- 488. egen,10,1,4422,4431,1
- 489. e,4420,4185
- 490. e,4025,4421
- 491. e,4421,4422
- 492. egen,10,1,4434,4443,1
- 493. e,4431,4173
- 494. e,4037,4432
- 495. e,4432,4433
- 496. egen,10,1,4446,4455,1
- 497. e,4442,4161
- 498. e,4049,4443
- 499. e,4443,4444
- 500. egen,10,1,4458,4467,1
- 501. e,4453,4149
- 502. e,4061,4454
- 503. e,4454,4455
- 504. egen,10,1,4470,4479,1
- 505. e,4464,4137
- 506. e,4073,4465
- 507. e,4465,4466
- 508. egen,10,1,4482,4491,1
- 509. e,4475,4125

Genererer nettverk av noder del 6

- 510. n,5001,15,0,-3
- 511. n,5073,15,0,15
- 512. n,5087,15,1.5,18
- 513. n,5101,15,3,21
- 514. n,5221,15,3,-9
- 515. n,5235,15,1.5,-6
- 516. fill,5001,5073,71,5002,1
- 517. fill,5073,5087,13,5074,1
- 518. fill,5087,5101,13,5088,1
- 519. fill,5101,5221,119,5102,1

- 520. fill,5221,5235,13,5222,1
- 521. fill,5235,5001,13,5236,1
- 522. fill,5209,5235,5,5249,1
- 523. fill,5235,5197,13,5254,1
- 524. fill,5197,5013,19,5267,1
- 525. fill,5013,5173,19,5286,1
- 526. fill,5173,5037,19,5305,1
- 527. fill,5037,5149,19,5324,1
- 528. fill,5149,5061,19,5343,1
- 529. fill,5061,5125,19,5362,1
- 530. fill,5125,5087,13,5381,1
- 531. fill,5087,5113,5,5394,1
- 532. fill,5001,5197,11,5399,1
- 533. fill,5013,5185,11,5410,1
- 534. fill,5025,5173,11,5421,1
- 535. fill,5037,5161,11,5432,1
- 536. fill,5049,5149,11,5443,1
- 537. fill,5061,5137,11,5454,1
- 538. fill,5073,5125,11,5465,1

Modellere geometri av elementer del 6

- 539. numstr,elem,5001
- 540. e,5001,5002
- 541. egen,247,1,5001,5247,1
- 542. e,5248,5001
- 543. e,5209,5249
- 544. e,5249,5250
- 545. egen,4,1,5250,5253,1
- 546. e,5253,5235
- 547. e,5235,5254
- 548. e,5254,5255
- 549. egen,12,1,5256,5267,1
- 550. e,5266,5197
- 551. e,5197,5267
- 552. e,5267,5268
- 553. egen,18,1,5270,5287,1
- 554. e,5285,5013
- 555. e,5013,5286
- 556. e,5286,5287
- 557. egen,18,1,5290,5307,1
- 558. e,5304,5173
- 559. e,5173,5305
- 560. e,5305,5306
- 561. egen,18,1,5310,5327,1
- 562. e,5323,5037
- 563. e,5037,5324
- 564. e,5324,5325
- 565. egen,18,1,5330,5347,1
- 566. e,5342,5149
- 567. e,5149,5343

- 568. e,5343,5344
- 569. egen,18,1,5350,5367,1
- 570. e,5361,5061
- 571. e,5061,5362
- 572. e,5362,5363
- 573. egen,18,1,5370,5387,1
- 574. e,5380,5125
- 575. e,5125,5381
- 576. e,5381,5382
- 577. egen,12,1,5390,5401,1
- 578. e,5393,5087
- 579. e,5087,5394
- 580. e,5394,5395
- 581. egen,4,1,5404,5407,1
- 582. e,5398,5113
- 583. e,5001,5399
- 584. e,5399,5400
- 585. egen,10,1,5410,5419,1
- 586. e,5409,5197
- 587. e,5013,5410
- 588. e,5410,5411
- 589. egen,10,1,5422,5431,1
- 590. e,5420,5185
- 591. e,5025,5421
- 592. e,5421,5422
- 593. egen,10,1,5434,5443,1
- 594. e,5431,5173
- 595. e,5037,5432
- 596. e,5432,5433
- 597. egen,10,1,5446,5455,1
- 598. e,5442,5161
- 599. e,5049,5443
- 600. e,5443,5444
- 601. egen,10,1,5458,5467,1
- 602. e,5453,5149
- 603. e,5061,5454
- 604. e,5454,5455
- 605. egen,10,1,5470,5479,1
- 606. e,5464,5137
- 607. e,5073,5465
- 608. e,5465,5466
- 609. egen,10,1,5482,5491,1
- 610. e,5475,5125

Genererer nettverk av noder del 7

- 611. n,6013,0.7,3,-2.3
- 612. n,6026,-1.6,3,-4.6
- 613. fill,185,6013,12,6002,1
- 614. fill,6013,6026,12,6014,1
- 615. fill,6026,13,29,6027,1

616. fill,6013,13,18,6056,1

Modellere geometri av elementer del 7

617. numstr,elem,6001
618. e,185,6002
619. e,6002,6003
620. egen,53,1,6002,6054,1
621. e,6055,13
622. e,6013,6056
623. e,6056,6057
624. egen,17,1,6057,6073,1
625. e,6073,13

Genererer nettverk av noder del 8

626. n,7013,17.3,3,-2.3
627. n,7026,19.6,3,-4.6
628. fill,137,7013,12,7002,1
629. fill,7013,7026,12,7014,1
630. fill,7026,61,29,7027,1
631. fill,7013,61,18,7056,1

Modellere geometri av elementer del 8

632. numstr,elem,7001
633. e,137,7002
634. e,7002,7003
635. egen,53,1,7002,7054,1
636. e,7055,61
637. e,7013,7056
638. e,7056,7057
639. egen,17,1,7057,7073,1
640. e,7073,61

Genererer nettverk av noder del 9

641. n,8013,17.3,3,14.3
642. n,8026,19.6,3,16.6
643. fill,2137,8013,12,8002,1
644. fill,8013,8026,12,8014,1
645. fill,8026,2061,29,8027,1
646. fill,8013,2061,18,8056,1

Modellere geometri av elementer del 9

647. numstr,elem,8001
648. e,2137,8002
649. e,8002,8003
650. egen,53,1,8002,8054,1
651. e,8055,2061
652. e,8013,8056
653. e,8056,8057
654. egen,17,1,8057,8073,1
655. e,8073,2061

Genererer nettverk av noder del 10

- 656. n,9013,0.7,3,14.3
- 657. n,9026,-1.6,3,16.6
- 658. fill,2185,9013,12,9002,1
- 659. fill,9013,9026,12,9014,1
- 660. fill,9026,2013,29,9027,1
- 661. fill,9013,2013,18,9056,1

Modellere geometri av elementer del 10

- 662. numstr,elem,9001
- 663. e,2185,9002
- 664. e,9002,9003
- 665. egen,53,1,9002,9054,1
- 666. e,9055,2013
- 667. e,9013,9056
- 668. e,9056,9057
- 669. egen,17,1,9057,9073,1
- 670. e,9073,2013

Grensebetingelser og last

- 671. nummrg,all

- 672. d,2061,ux,,,,,uy,uz
- 673. d,61,ux,,,,,uy,uz
- 674. d,13,ux,,,,,uy,uz
- 675. d,2013,ux,,,,,uy,uz

Plassering 1

- 676. f,1161,fy,-375000

Plassering 2

- 677. f,1173,fy,-375000

Plassering 3

- 678. f,1185,fy,-375000

Plassering 4

- 679. f,3149,fy,-375000

Plassering 5

- 680. f,2185,fy,-375000

Vedlegg B - Kommandoliste lokal solidanalyse

Glassfiberforsterket plastkompositt – 40GPa

Importerer solidmodell fra SolidWorks

Basisdata

1. /units,si
2. et,1,187
3. mp,ex,1,2.1e11
4. et,2,187
5. mp,ex,2,4.0e10

Genererer geometri

6. wpoffs,-0.085
7. wprota,,,-90
8. rectng,0.09,0.08,-0.075,0.08
9. k,401,-0.08,-0.08,0.08
10. k,402,-5.5,-0.08,0.08
11. l,401,402
12. vdrag,197,,,,,479
13. vsym,x,2
14. vsym,z,3
15. vsym,z,2

Materialegenskaper

16. vglue,all
17. vsel,s,volu,,10
18. vplot
19. vatt,1
20. allsel
21. vsel,s,volu,,6,9,1
22. vplot
23. vatt,2
24. allsel
25. vplot

Genererer noder og elementer

26. esize,0.25
27. vmesh,all

Grensebetingelser og last

28. nsel,s,loc,x,5.997,6.001
29. nsel,r,loc,y,-3.081,-3.069
30. d,all,ux,,,,,uy,uz
31. allsel
32. nsel,s,loc,x,-5.997,-6.001
33. nsel,r,loc,y,-3.081,-3.069

34. d,all,ux,,,,,uy,uz
35. allsel
36. nsel,s,loc,x,-0.001,0.001
37. nsel,r,loc,y,0.069,0.081
38. d,all,uz

39. f,all,fy,-63167
40. allsel

Vedlegg C - Kommandoliste lokal solidanalyse

Karbonfiberforsterket plastkompositt – 180GPa

Importerer solidmodell fra SolidWorks

Basisdata

1. /units,si
2. et,1,187
3. mp,ex,1,2.1e11
4. et,2,187
5. mp,ex,2,1.8e11

Genererer geometri

6. wpoffs,-0.085
7. wprota,,,-90
8. rectng,0.1,0.08,-0.075,0.08
9. k,401,-0.08,-0.08,0.08
10. k,402,-5.5,-0.08,0.08
11. l,401,402
12. vdrag,197,,,,,479
13. vsym,x,2
14. vsym,z,3
15. vsym,z,2

Align WP med globalt origo

16. wpoffs,,-0.085
17. wprota,,90
18. rectng,0.08,-0.08,0.1,0.08
19. k,501,0.08,-0.085,0.08
20. k,502,0.08,-2.915,0.08
21. l,501,502
22. vdrag,221,,,,,528
23. vsym,z,6

Align WP med globalt origo

24. k,601,-5.5,-3.08,0.08
25. k,602,-0.085,-3.08,0.08
26. l,601,602

27. wpoffs,-5.5,,
28. wprota,,,-90
29. rectng,0.1,0.08,-3.08,-2.92
30. vdrag,233,,,,,549
31. vsym,z,8
32. vsym,x,9
33. vsym,x,8

Materialeegenskaper

- 34. vglue,all
- 35. vsel,s,volu,,22
- 36. vplot
- 37. vatt,1
- 38. allsel
- 39. vsel,s,volu,,12,21,1
- 40. vplot
- 41. vatt,2
- 42. allsel
- 43. vplot

Genererer noder og elementer

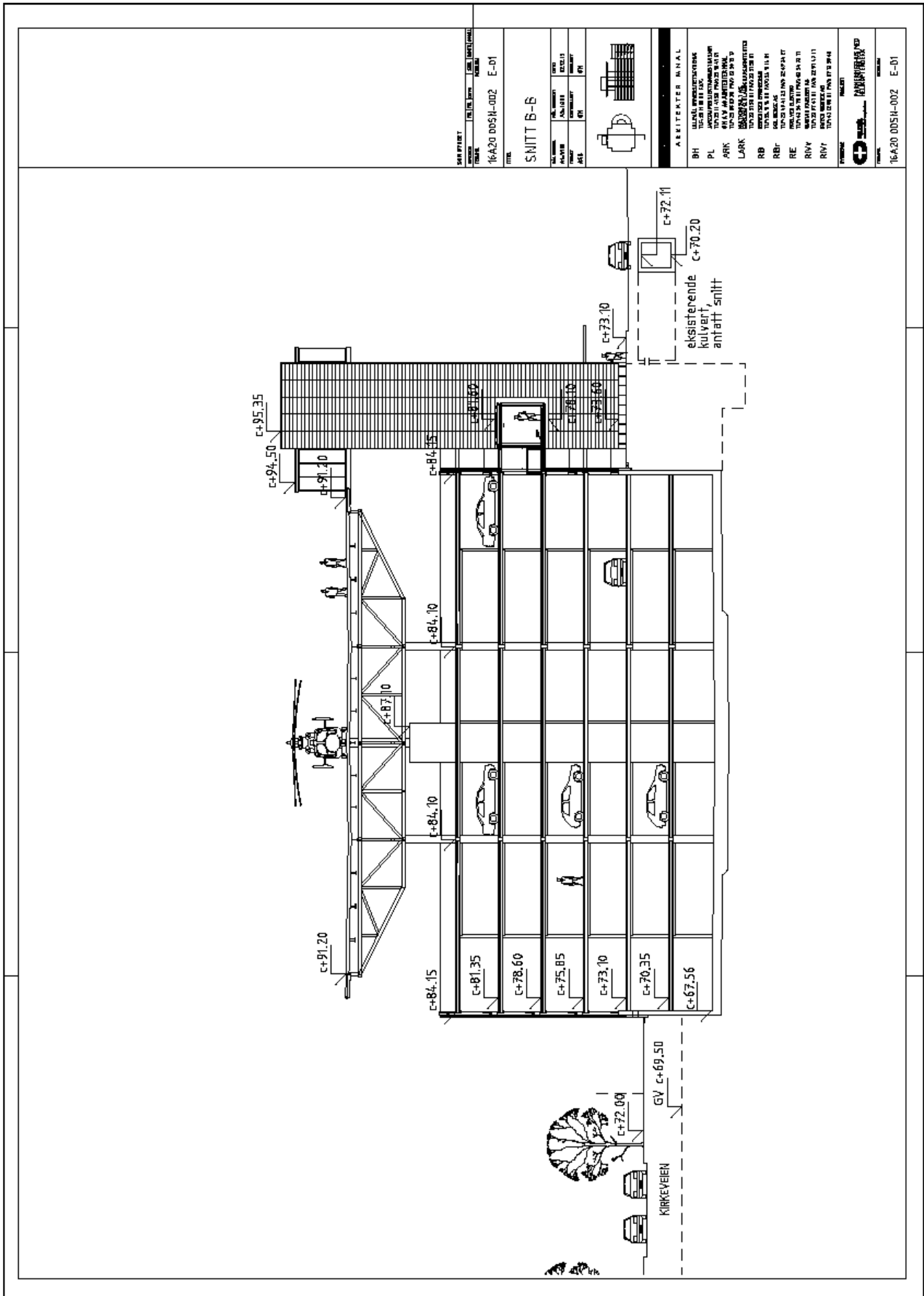
- 44. esize,0.25
- 45. vmesh,all

Grensebetingelser og last

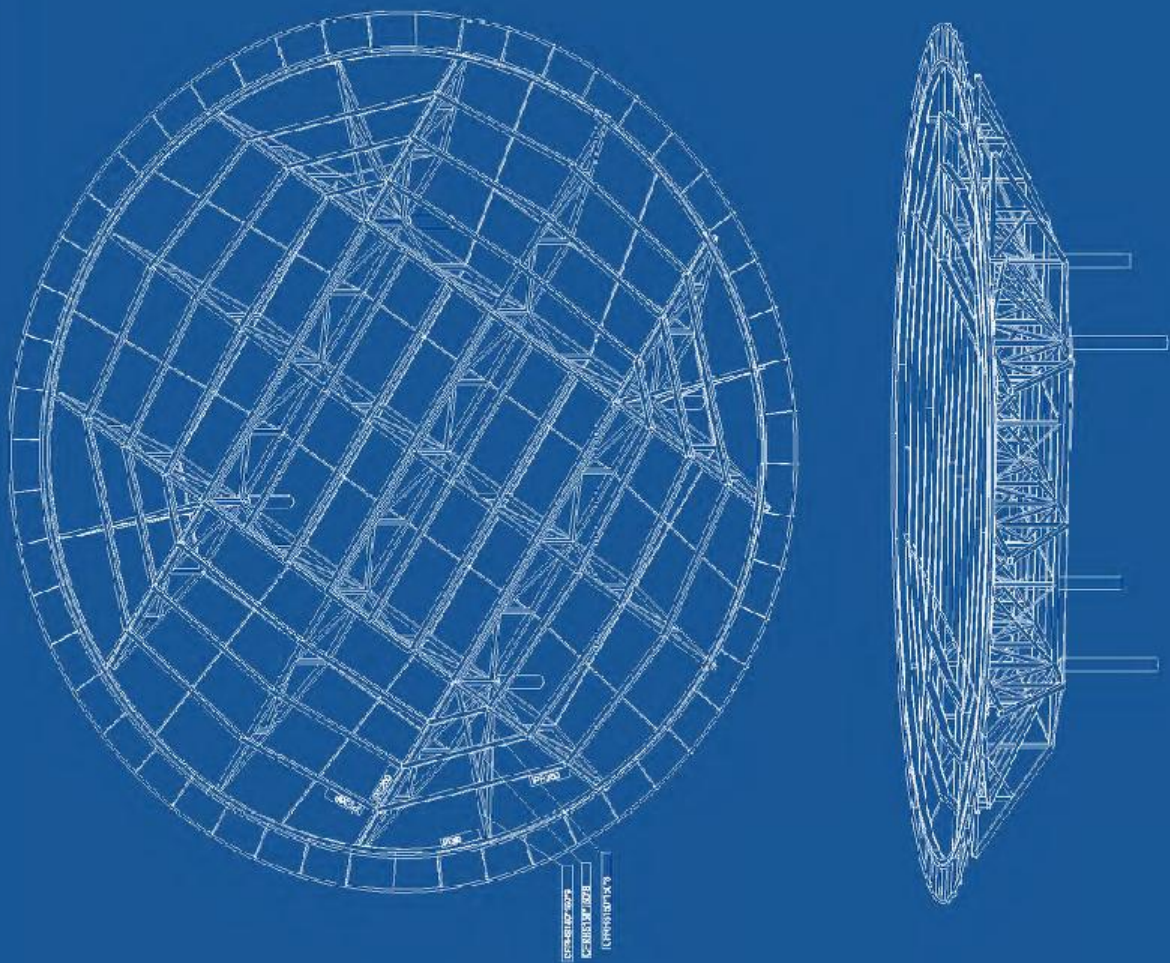
- 46. nsel,s,loc,x,5.997,6.001
- 47. nsel,r,loc,y,-3.081,-3.069
- 48. d,all,ux,,,,,uy,uz
- 49. allsel
- 50. nsel,s,loc,x,-5.997,-6.001
- 51. nsel,r,loc,y,-3.081,-3.069
- 52. d,all,ux,,,,,uy,uz
- 53. allsel
- 54. nsel,s,loc,x,-0.001,0.001
- 55. nsel,r,loc,y,0.069,0.081
- 56. d,all,uz

- 57. f,all,fy,-63167
- 58. allsel

Vedlegg D - Parkeringshus

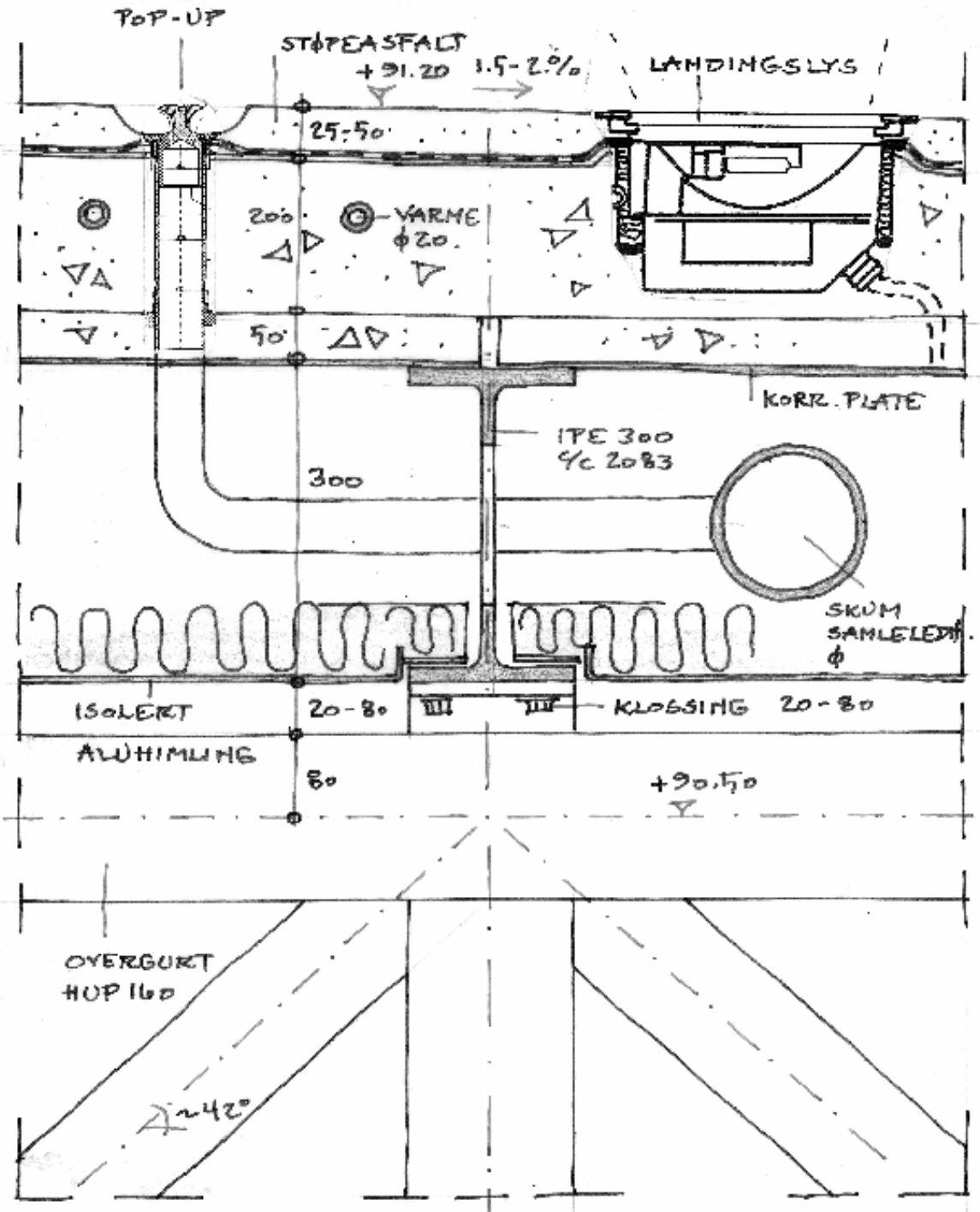


Vedlegg E - Fagverk



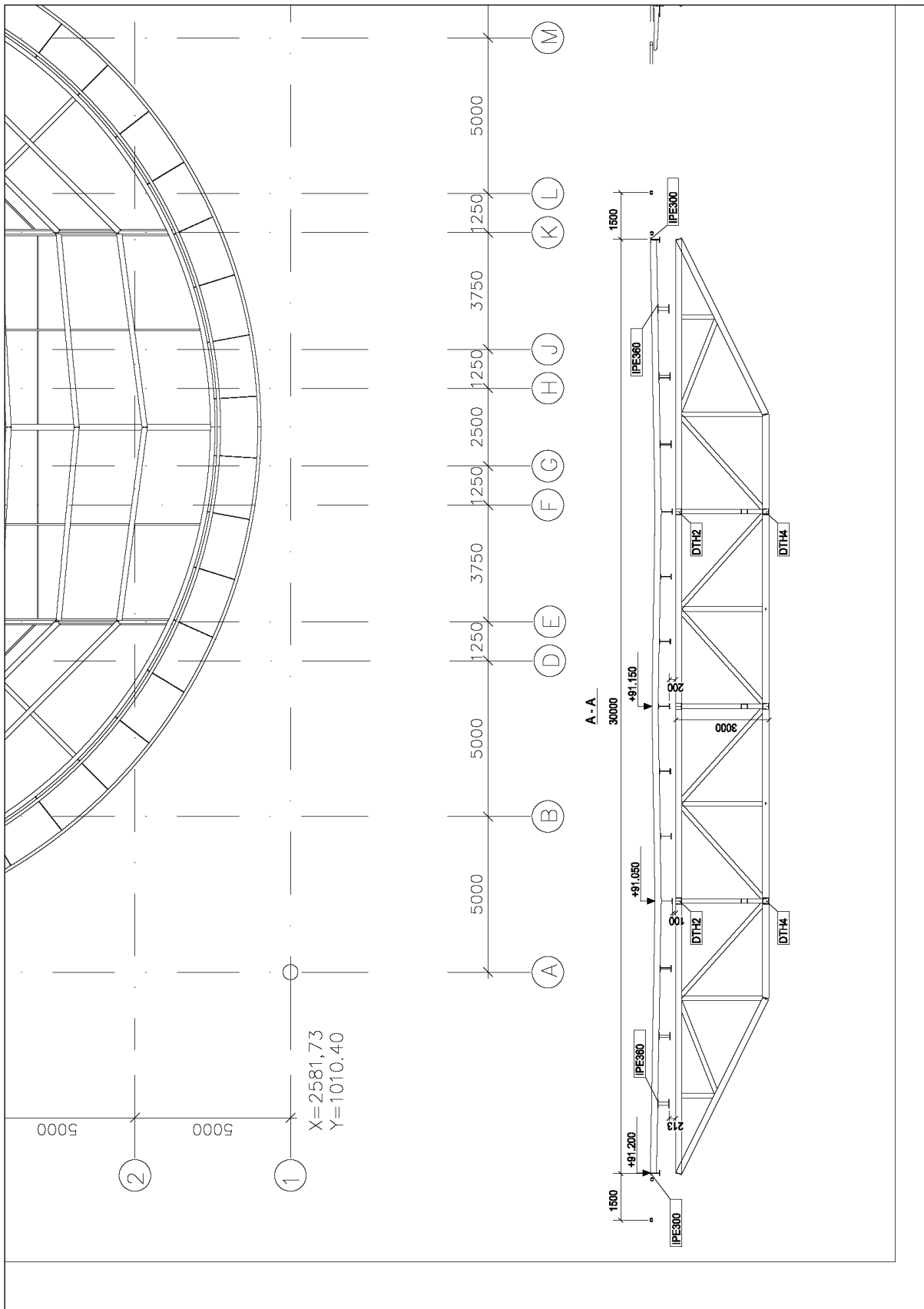
Vedlegg F - Bjelke dimensjon

USP	ULLEVAL SYKEHUS P-HUS MED HELIDREK	ØKAW AS Arkitekter MNAL Tlf. 23 08 83 30 Frederik Stangsgt. 4 0272 Oslo Fax 22 56 13 17				ARK	
Tegn. tittel GESIMS	Blad tittel HELIDREK	Mål 1:5	Dato 17.11.04	Tegn. nr. 16A2305DT	Blad. nr. 11	Rev D1	Rev. dato 03.12.04



USP/11.00T

Vedlegg G - Fagverksdel



Vedlegg H - Kompositt



	Profiles Glass	HS-Carbon	HM-Carbon	UHM-Carbon	PVC hard	Wood Birch C40	Aluminium AlSi1MgT6	Copper CuZn33Pb2	Steel Fe 37	Titanium Ti 5
Physical Properties										
Density	ρ [kg/cm ³]	1.5...1.6	1.5...1.6	1.9...2.0	1.3...1.45	0.35...0.50	2.7	8.4	7.85	4.5
Mechanical Properties										
Modulus of Elasticity	E [Gpa]	80...150	150...180	400	2...3.5	9.4	69...75	96	206	108
Shear Modulus	G [Gpa]	5...12	5...12	5	-	-	26...28	35	78.5	44
Poisson's ratio	ν [-]	0.3	0.3	0.3	-	-	0.33	-	-	0.33
Strength	σ [Mpa]	250...1100	600...3 300	600...2 500	50...63	40	290	480...600	360...440	890
Yield strength	σ [Mpa]	-	-	-	-	-	240	350...550	215	820
Elongation	ϵ [%]	>2	2	1.4	-	-	8	8	25	8
Thermal Properties										
Linear Thermal Expansion Coefficient	α [10 ⁻⁶ /K]	8...10	-0.3...-3	-0.3...-4	5...18.5	-	20...24	21	12	9.1
Thermal Conductivity	λ [W/Km]	0.0...0.70	8...20	8...20	0.13...0.29	-	84...170	115	52...63	17
Specific Heat	c [kJ/K kg]	1.0...1.4	-	-	-	-	0.9...1.0	0.375	0.50	0.58
Dielectric constant		1.0...4.5	190	190	140	-	-	-	-	-
Max. operating temperature		190	190	140	-	-	-	-	-	-
Electrical Properties										
Conductivity	γ [m/Ohm ²]	$2 \cdot 10^{14}$	-	-	-	-	18...35	16 (MS/m)	-	-
Resistivity	ρ [Ohm]	$2 \cdot 10^{14}$	-	-	-	-	$> 10^{14}$	-	-	-

Please note: The information in this table is not for design purpose. Product specific values should be asked from Exel technical support