

## **Mekanisk analyse av sitteseie for vognkommandør**

Pål Halvorsen

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)

22. august 2011

FFI-rapport 2011/01538

342601

P: ISBN 978-82-464-1965-7

E: ISBN 978-82-464-1966-4

## Emneord

Elementanalyse

Sittesele for vognkommandør

NM196F3 Hjelpelasspanservogn

FLO prosjekt 5026

## Godkjent av

Pål Halvorsen

Prosjektleder

Ole Fretheim

Forskningssjef

John-Mikal Størdal

Avdelingssjef

## Sammendrag

Denne rapporten omfatter mekaniske analyser av en sitteseie for vognkommandør i et pansret kjøretøy av typen M577.

Sitteselen er montert i åpningen for vognkommandørluken på NM196F3 Hjelpeplasspanservogn. Oppdragsgiver er prosjekt 5026 hos Forsvarets Logistikkorganisasjon. Analysen baserer seg på bruk av elementmetoden (Finite Element Method) og beregningsprogrammet Solid Works Simulation , samt håndberegninger av skrueforbindelsen mot tak.

Hensikten med analysen er å vurdere sitteselens styrke og 12 kN vertikalbelastning er valgt som beregningsgrunnlag. Resultatene viser at den begrensende komponenten er en sjakkel med ukjent materialkvalitet som det anbefales at byttes ut med en sjakkel med angitt bruddstyrke slik at styrken av denne blir i samsvar med de andre komponentene.

For de øvrige komponentene fører den påførte belastningen kun til lokal flyt rundt områdene hvor lasten påføres og ved innspenningspunktene.

## English summary

This report concerns mechanical analyses of a seating harness for the commander of the M577 armoured vehicle. The harness is mounted in the opening for the commander hatch of the NM196F3 vehicle. The task is commissioned by project 5026 at FLO, the Norwegian Defense Logistic Organization. The analyses are carried out by use of the Finite Element Method in combination with manual calculations. The program Solid Works Simulation is used for the FEA. The objective for the task is to find out what loads the harness will withstand and the results show that the limiting component is a shackle with a material of unknown quality. The recommendation is to replace this shackle with a certified shackle with a known working load that is coincident with the load capacity of the rest of the harness. The results of the calculations show that the rest of the components withstand a 12 kN vertical load.

## Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Materialeegenskaper</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Beskrivelse av modell</b>	<b>7</b>
3.1	Standard komponenter	8
<b>4</b>	<b>Analysemodell og grensebetingelser</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Resultater</b>	<b>10</b>
5.1	Venstre side med 6200N ved senter av skinne	10
5.2	Venstre side med 6200N ved enden av skinne	14
5.3	Høyre side med 6200N	17
<b>6</b>	<b>Kontrollberegning av skruer og gjenger i sveiseknaster</b>	<b>17</b>
6.1	Beregning med 4 skruer (2 pr. skinne)	19
6.1.1	Vurdering av skruen	19
6.1.2	Vurdering av de innvendige gjengene i sveiseknasten	20
<b>7</b>	<b>konklusjon</b>	<b>24</b>



## 1 Innledning

Sitteselen består av et antall standard komponenter med angitte bruddlaster sammen med egenproduserte opphengsprofiler og sveiseknaster festet til innvendig tak i vognen. Beregninger er utført på opphengsprofilene og sveiseknaster og boltene som forbinder disse. For de delene som har angitte brudd-/brukslaster har disse blitt lagt til grunn for å vurdere styrken. Det er utført lineære analyser og resultatene er vurdert opp mot materialenes flytegrenser.

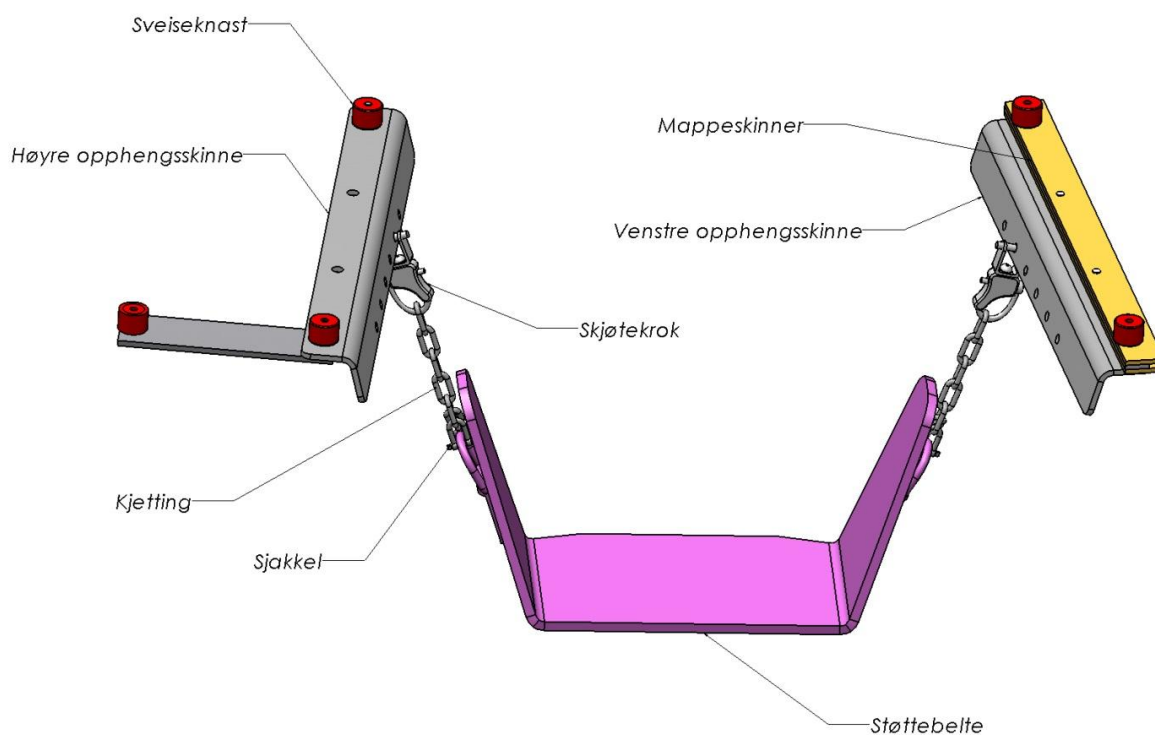
## 2 Materialelegenskaper

De delene som er beregnet har følgende materialkvaliteter:

Sveiseknaster:	Aluminium ENAW 6082-T6	Flytegrense: 260 MPa
Opphengsprofiler	Stål S355J2G3	“ :355 MPa
Bolter	St. 8.8	“ :640 MPa

## 3 Beskrivelse av modell

Opphengskinnene er festet til sveiseknastene med bolter som har følgende dimensjoner: Høyre side UNC 5/16” x 1-1/4” og venstre side UNC 5/16” x 1-1/2”. Sveiseknastene er sveist til innvendig tak. Vognkommandøren sitter på et støttebelte som er hengt opp i opphengskinnene via sjakler, kjettinger og skjøtekroker. Skjøtekrokene gir muligheten til raskt å frigjøre selen fra skinnene i taket.



Figur 3.1 Sittesele komplett

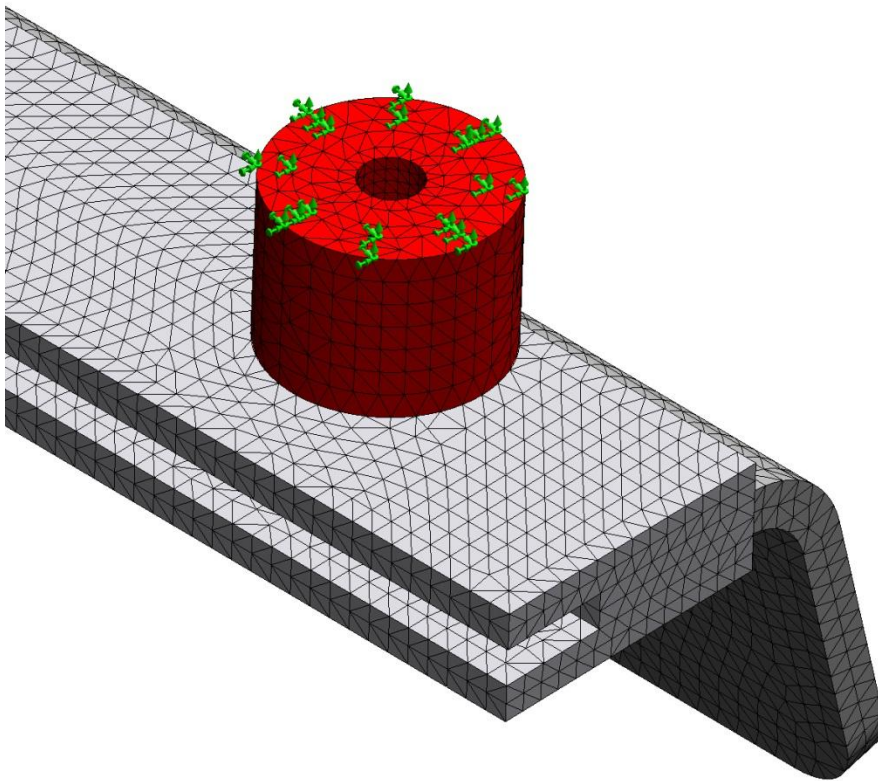
### 3.1 Standard komponenter

Følgende komponenter med angitte brudd-/brukslaster inngår i sitteselen:

<u>Betegnelse</u>	<u>Last</u>
Støttebelte Protekt PB 010	15kN (testlast iflg. NS-EN 358)
Kjetting ø5 Tools 10871-0401	14,1 kN (bruddlast iflg. leverandørkatalog)
Skjøtekrok type: Hovdan 0617094	37,2kN (bruddlast iflg. leverandørkatalog)

## 4 Analysemodell og grensebetingelser

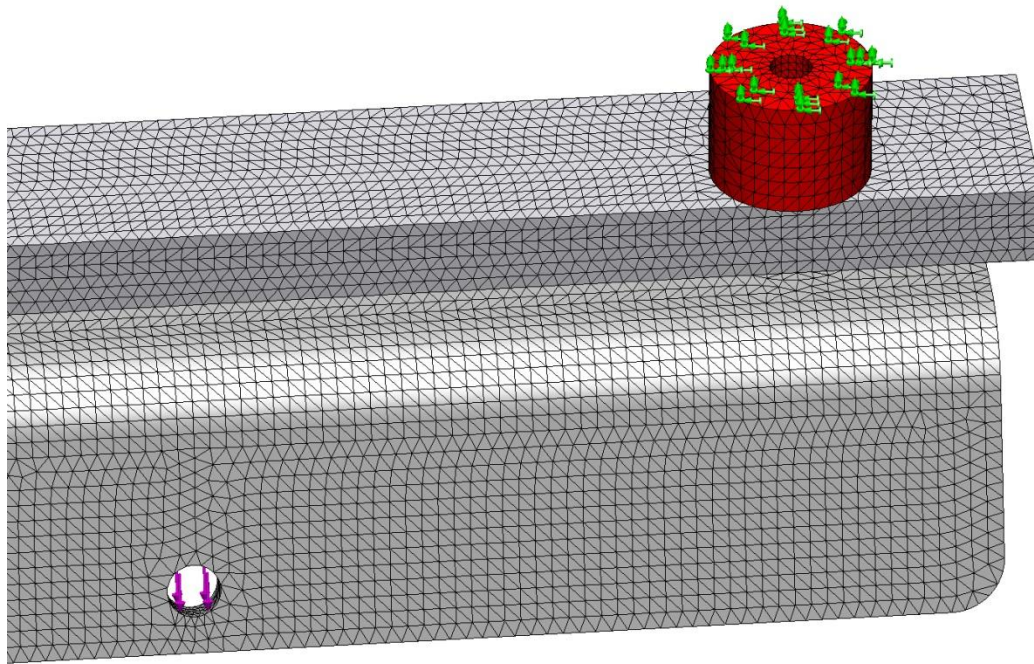
Modellen er delt i høyre og venstre side som beregnes hver for seg. Modellene fikseres ved å låse en flate på sveiseknastene mot translasjon og rotasjon i alle retninger som simulerer at sveiseknastene er sveist mot taket.



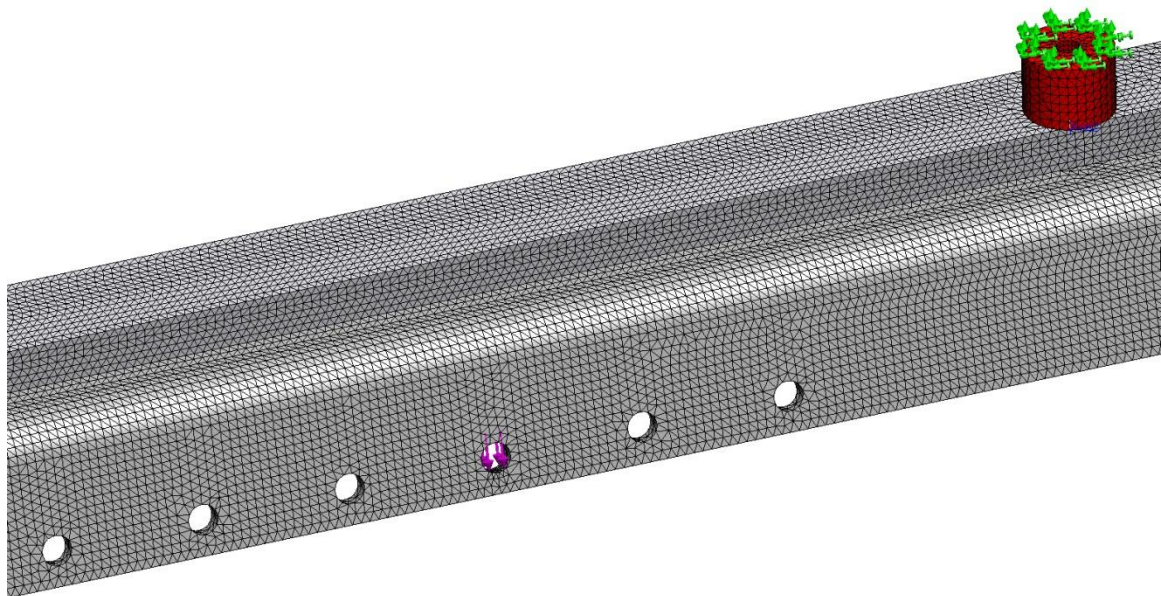
Figur 4.1 Innspenning av modell

Lasten påføres på et segment av flaten i et av hullene i opphengskinnene hvor skjøtekroken festes. Lasten virker vinkelrett på skinnens tykkelsesretning. Det er utført beregninger av 2 lasttilfeller for hver side. Et lasttilfelle med kraften virkende i et av de midtre hullene på skinnen og et med kraften ved et av hullene ved enden av skinnen. Hver av skinnene har 6 hull slik at det blir mulig å justere sitteposisjonen i forhold til lukeåpningen.

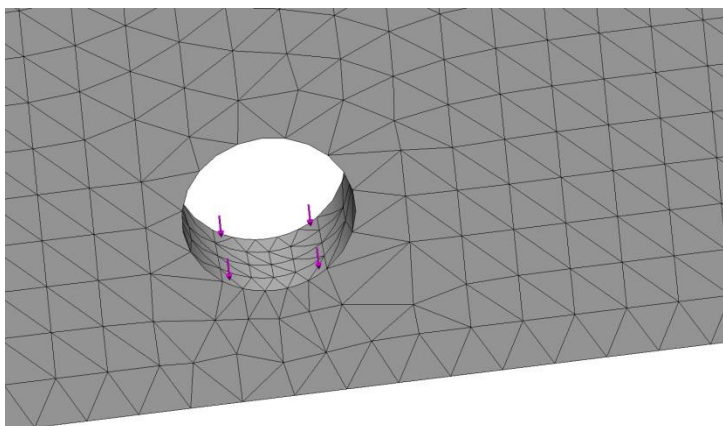




Figur 4.2 Last påført ved ende av skinne



Figur 4.3 Last påført ved senter av skinne



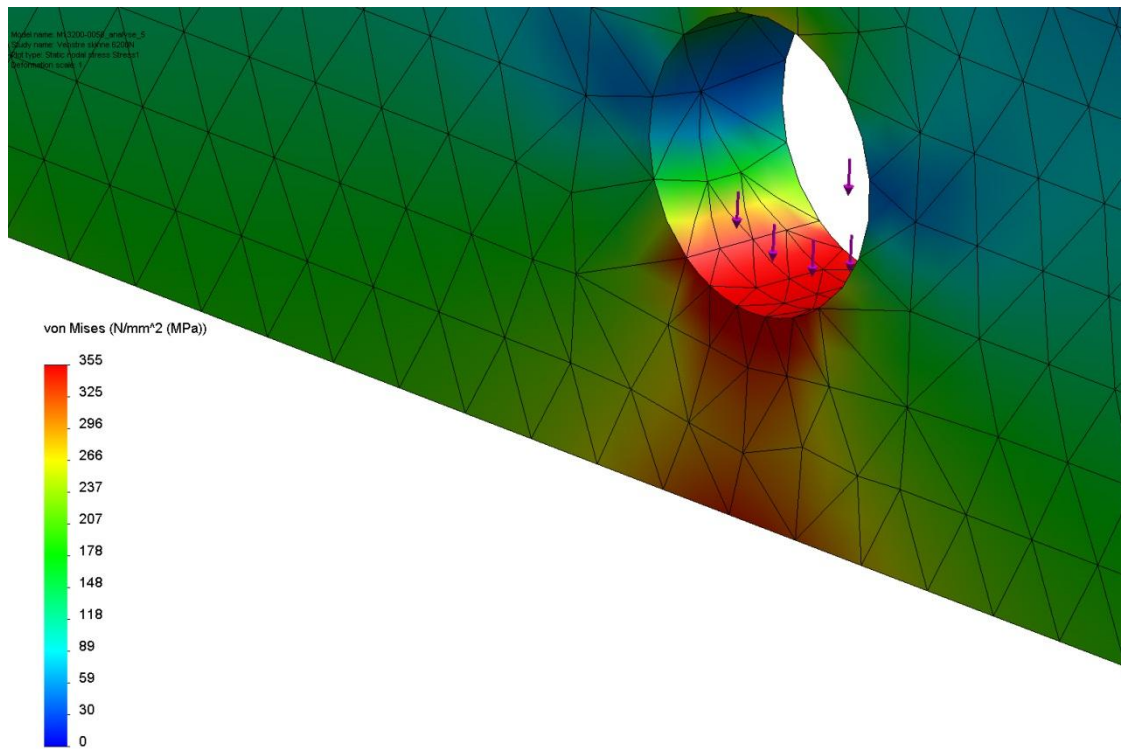
Figur 4.4 Detalj av hull med påført last

## 5 Resultater

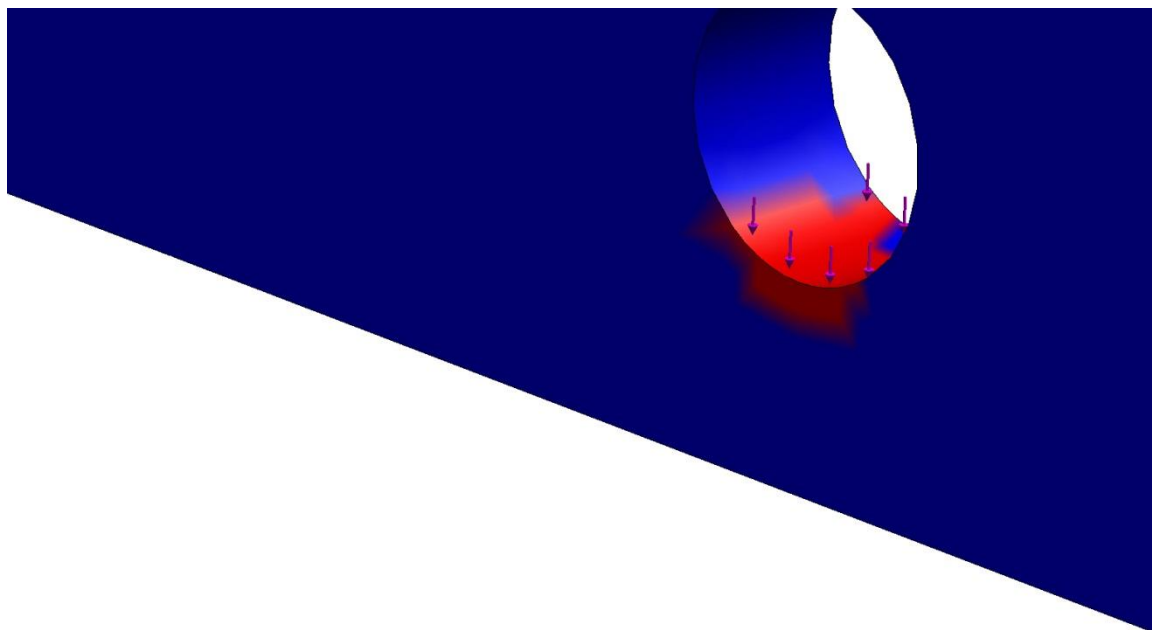
Resultatene presenteres i form av fargeplott av von Mises-spenningene hvor elementer med verdier over flytegrensen vises med rød farge. Hvor stor del av konstruksjonen som har en sikkerhetsfaktor mindre enn 1 vises med rød farge i egne plott.

### 5.1 Venstre side med 6200N ved senter av skinne

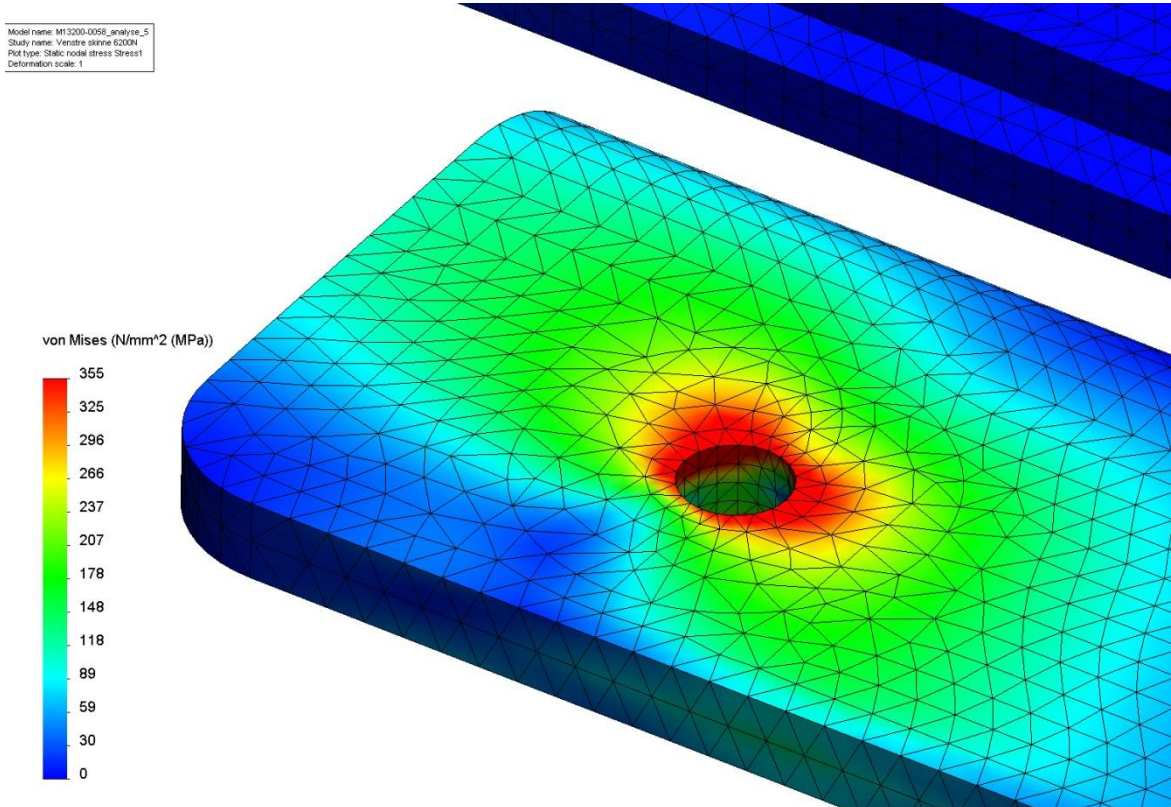
Beregningene viser en lokal flyt i materialet hvor kraften påføres i hullet og rundt kanten av festehullet mot taket. Festeboltene mot tak overskrider flytegrensen i et begrenset område ved overgangen mellom bolt og hode. Det må her tas hensyn til at det i modellen vil oppstå unormale spenningskonsentrasjoner i dette området på grunn av forenkling av geometrien (modellen er uten radius i overgangen mellom bolt og hode).



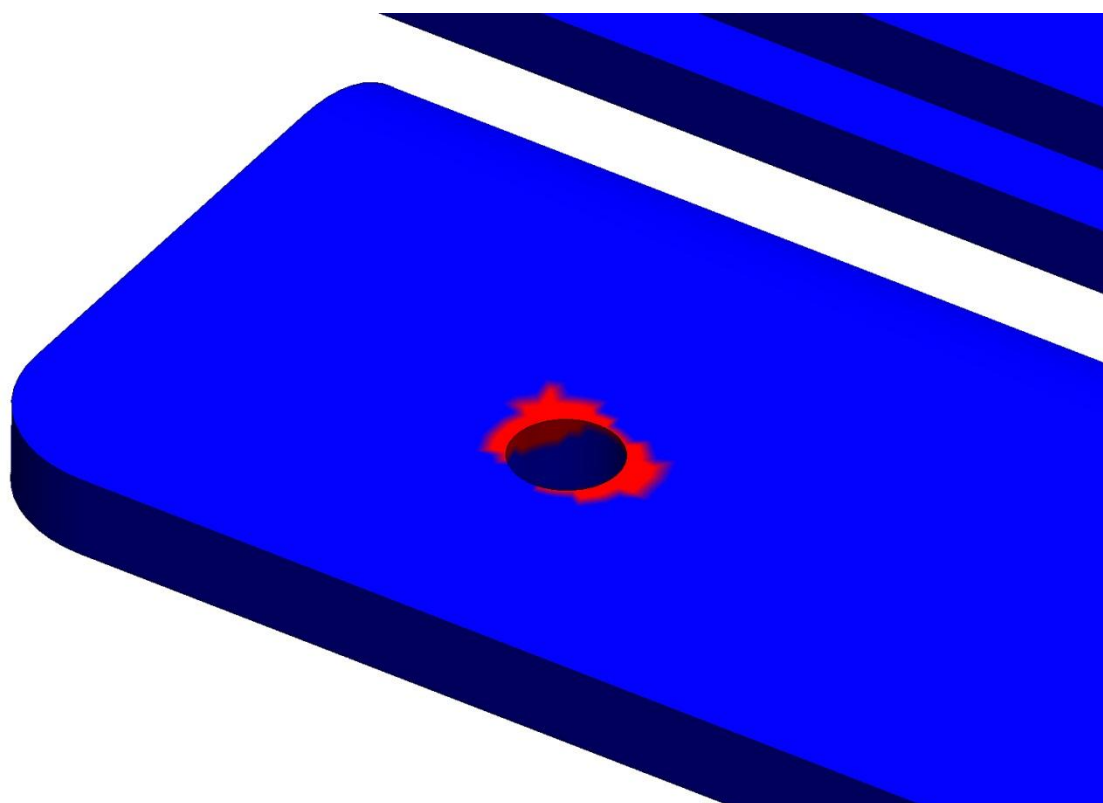
Figur 5.1 vonMises-spenninger ved hull med påført last



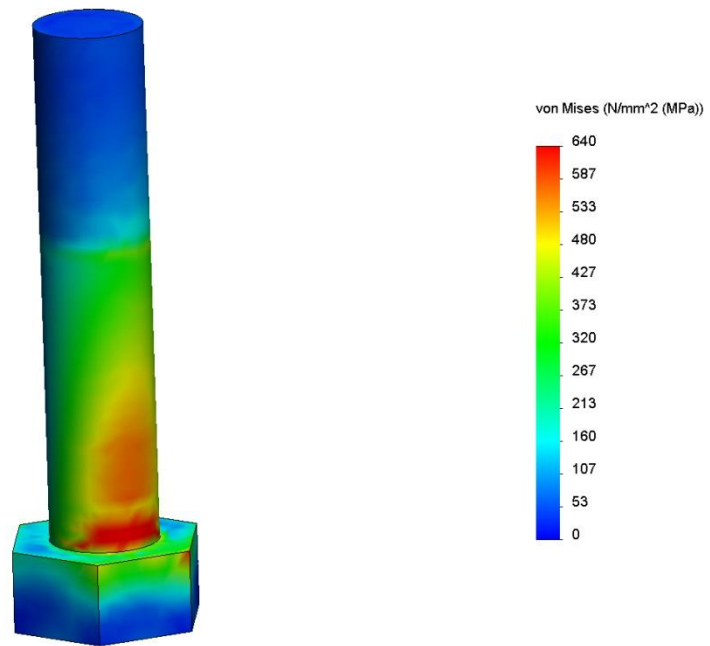
Figur 5.2 Elementer med sikkerhetsfaktor <1 ved hull med påført last



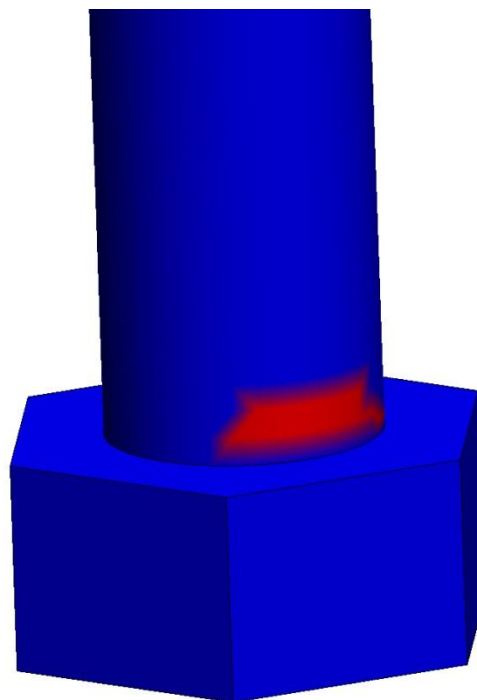
Figur 5.3 vonMises-spenninger ved festehull mot tak



Figur 5.4 Elementer med sikkerhetsfaktor <1 ved festehull mot tak



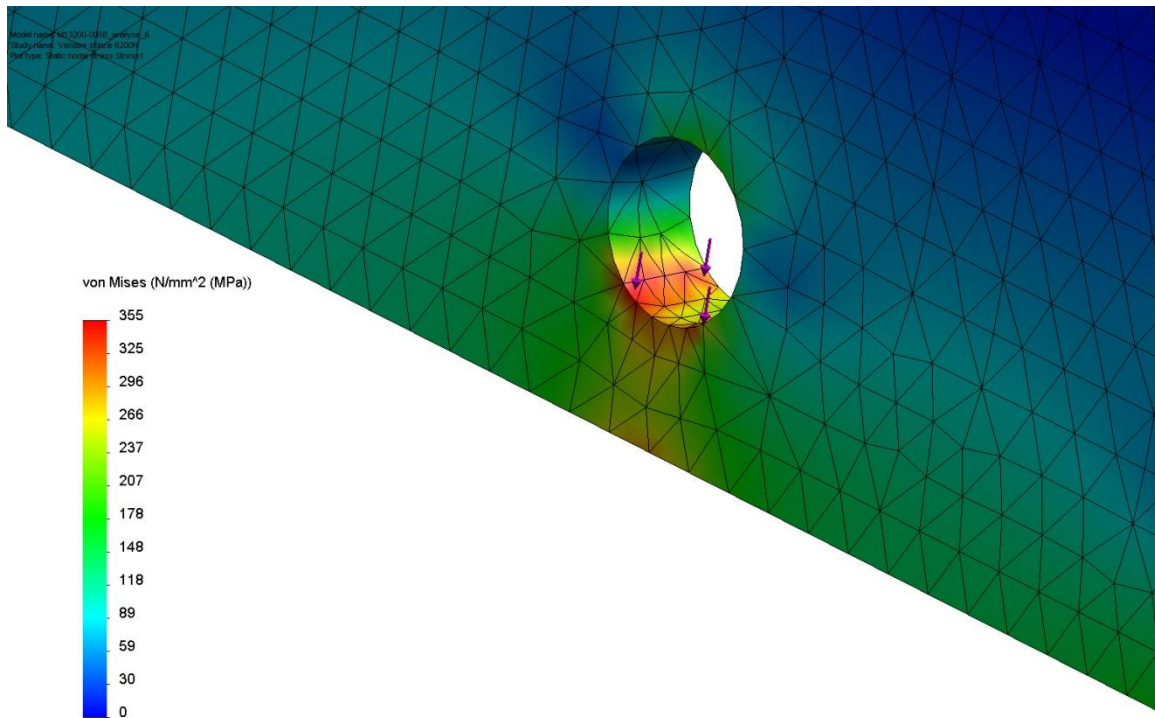
Figur 5.5 vonMises-spenninger i festbolt mot tak



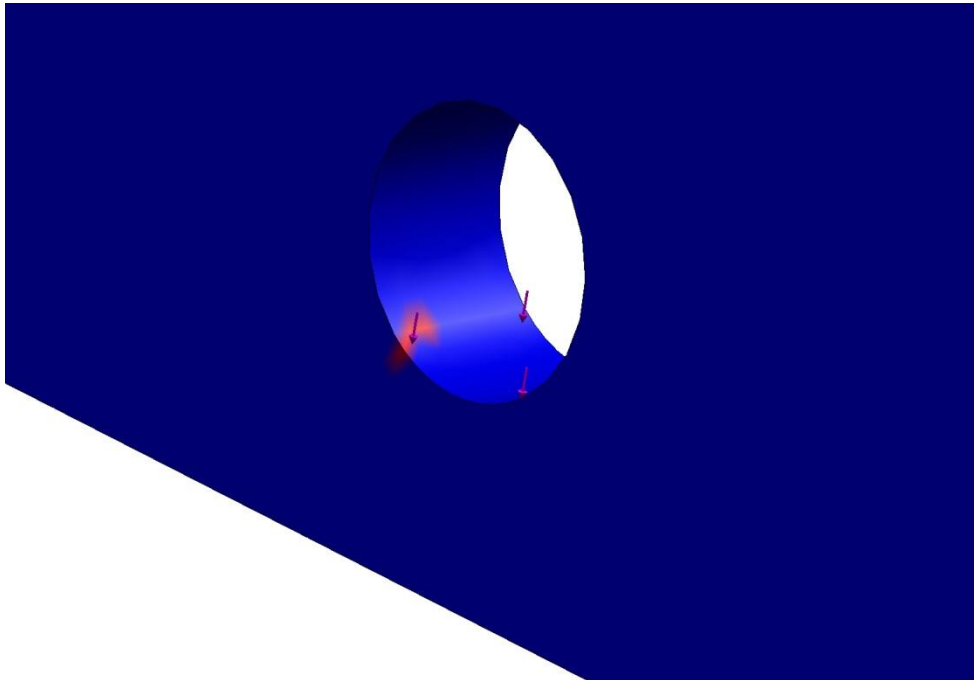
Figur 5.6 Elementer med sikkerhetsfaktor <1 i festbolt mot tak

## 5.2 Venstre side med 6200N ved enden av skinne

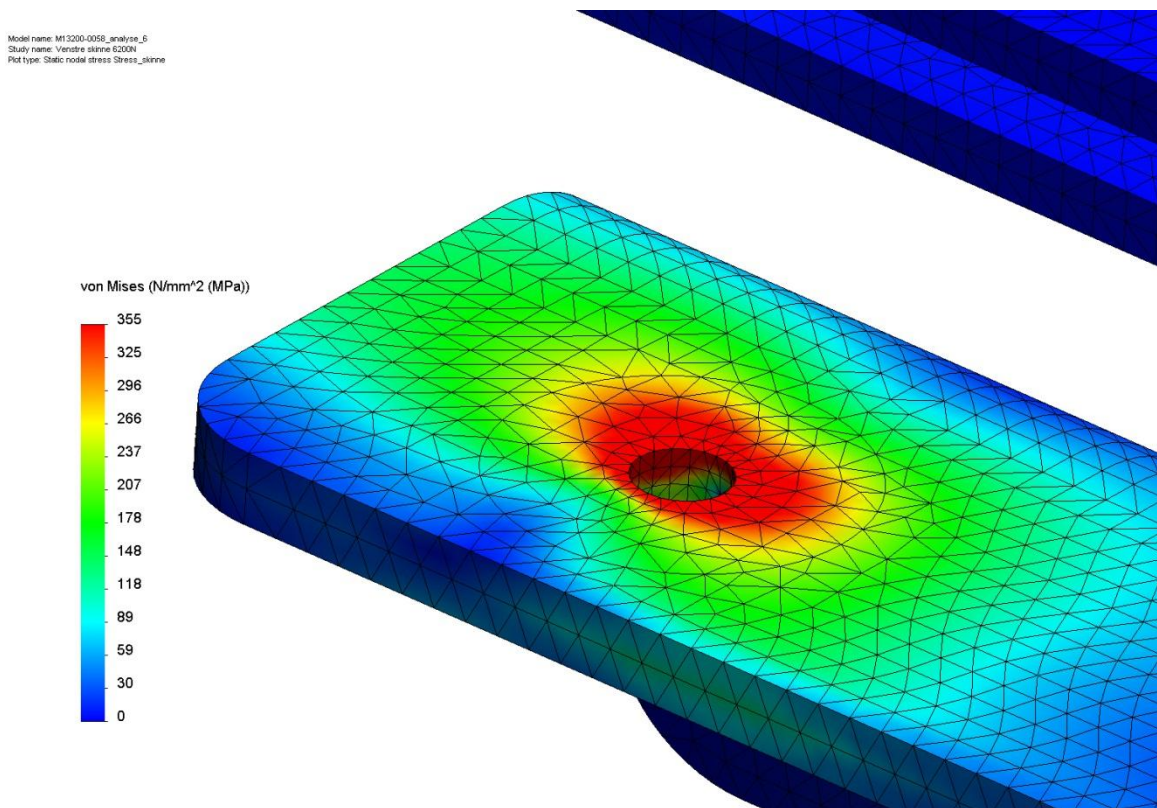
Som ved første lasttilfelle oppstår det lokal flyt i hullet hvor kraften påføres, men over et noe mer begrenset område, og naturlig nok en noe høyere spenning rundt det festehullet mot tak som er nærmest den påførte kraften. Dette gjelder også for festebolten i denne enden men områdene med lokal flyt har fortsatt en begrenset utstrekning.



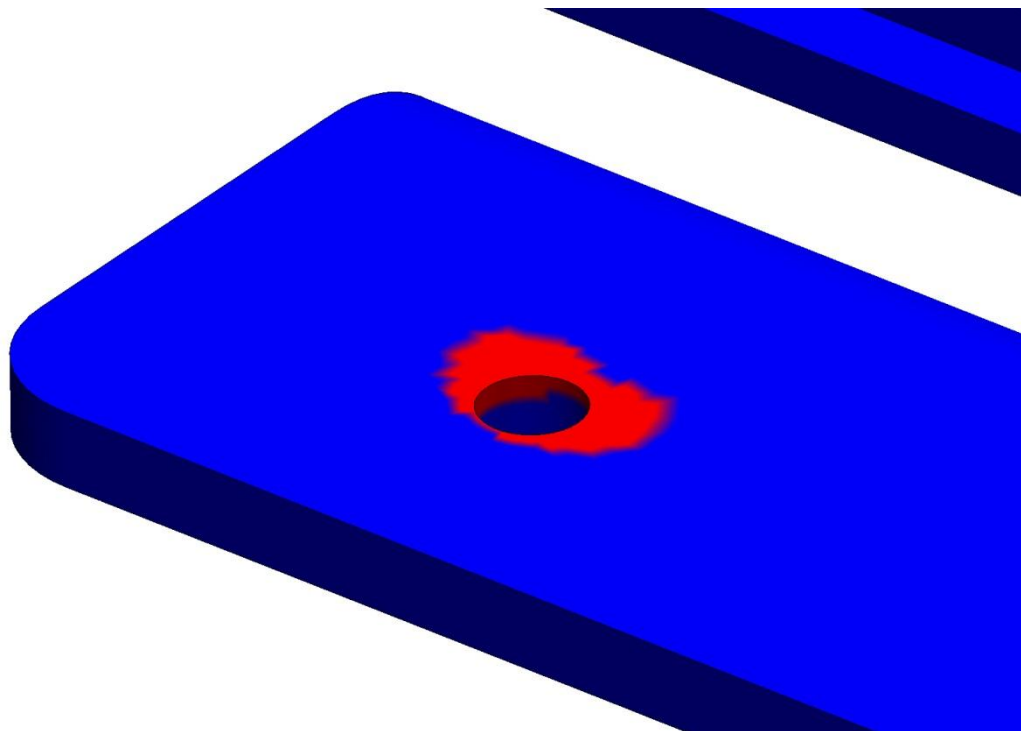
Figur 5.7 vonMises-spenninger ved hull med påført last



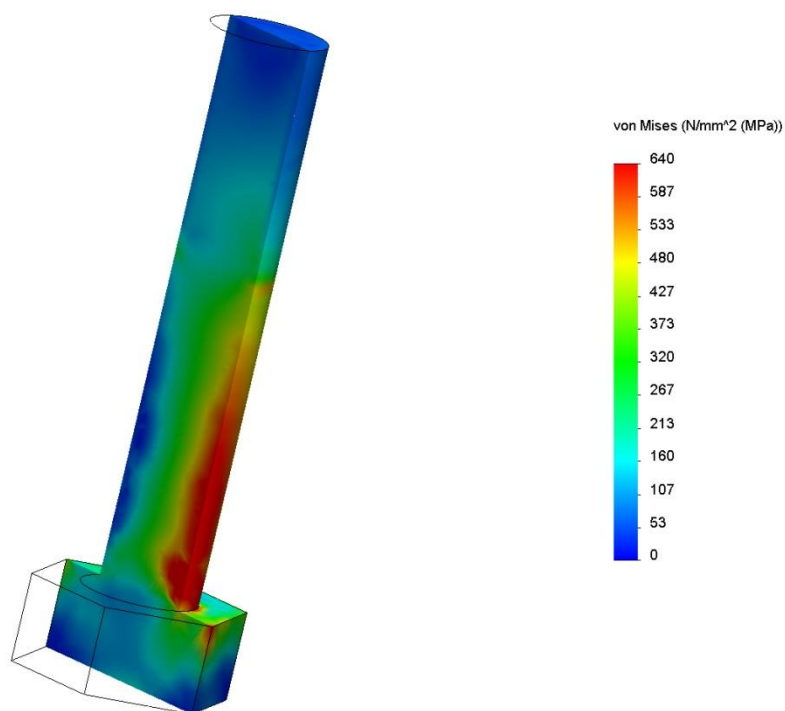
Figur 5.8 Elementer med sikkerhetsfaktor <1 ved hull med påført last



Figur 5.9 vonMises-spenninger ved festehull mot tak

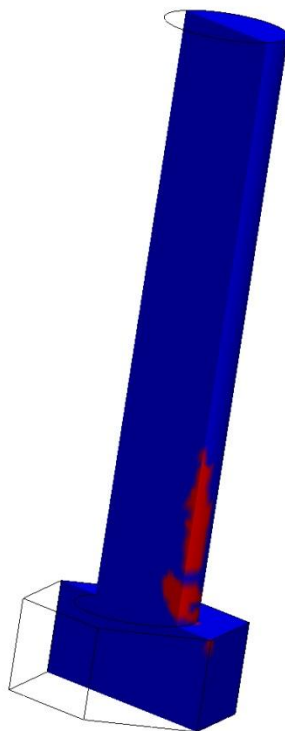


Figur 5.10 Elementer med sikkerhetsfaktor  $< 1$  ved festehull mot tak



Figur 5.11 vonMises-spenninger i festebolt mot tak





Figur 5.12 Elementer med sikkerhetsfaktor  $< 1$  i festebolt mot tak

### 5.3 Høyre side med 6200N

Det er foretatt tilsvarende beregninger av høyre side som for venstre side og resultatene av disse viser at spenningene er av samme størrelse og fordeling for begge sider.

## 6 Kontrollberegning av skruer og gjenger i sveiseknaster

Det er foretatt en manuell kontrollberegning av skruene hvor faktorene forspenningskraft og tiltrekkingsmoment tas med. Styrken i de innvendige gjengene i sveiseknastene mot tak er også beregnet.

Data:

Testlast:	12400 N
Materiale i sveiseknast:	Al 6082 T6, Flytegrense: 260 MPa
Gjengedybde i gods:	22.0 mm
Skivetykkelse:	1.6 mm
Antall skruer:	4
Skruetype:	UNC 5/16", fasthetsklasse 8.8
Skruelengde:	32/38 mm
Tiltrekningsmoment:	12 Nm
Spenningsarealet til skruen:	33.2 mm <sup>2</sup>
1 tomme:	25.4 mm

*Symbolliste:*

$F_{skru}$	Kraft pr. skrue.
$\sigma_{last}$	Strekkspenning i skruen pga. påført last.
$A_s$	Skruens spenningsareal.
$F_0$	Forspenningskraften.
$M_T$	Forspenningsmomentet.
$K$	Eksperimentelt bestemt faktor som bl.a. tar hensyn til friksjonen.
$d_s$	Skruediameteren som tilsvarer spenningsarealet.
$r_s$	Skrueradien som tilsvarer spenningsarealet.
$S_m$	Skruens stordiameter, dvs. 5/16".
$\sigma_0$	Skruens forspenning.
$\tau_s$	Skjærspenning i skruen pga. torsjon.
$\tau_{last}$	Skjærspenning i gjenge pga. torsjon.
$\tau_M$	Skjærspenning i gjenge pga. tiltrekningsmoment.
$\sigma_0$	Bøyespenning i gjengene.
$\sigma_j$	Ekvivalentspenning.
$\sigma_j^*$	Modifisert ekvivalentspenning.
$\sigma_{alt}$	Alternativ spenning.
$H$	Mål relatert til gjengedybden (ref. fig. 6.1).
$p_{gj}$	Gjengestigning.
$I_p$	Polart treghetsmoment.
$I_z$	Arealtreghetsmoment om z-aksen.
$B$	Bredden på rektangulært bjelketverrsnitt.
$h$	Høyden på rektangulært bjelketverrsnitt.
$Y$	Avstand fra bøyeaksen.

## 6.1 Beregning med 4 skruer (2 pr. skinne)

### 6.1.1 Vurdering av skruen

#### Kraft pr. skrue:

Elementberegningene viser at den skruen som blir mest belastet blir utsatt for en kraft på:

$$F_{skrue} = 4561 \text{ N} \quad (1)$$

#### Strekkspenning i skruen fra den påtrykte lasten:

$$\sigma_{last} = \frac{F_{skrue}}{A_s} = \frac{4561}{33.2} = 137.4 \text{ MPa} \quad (2)$$

#### Forspenning:

$$F_0 = \frac{M_T}{k \cdot d_s} = \frac{12}{0.2 \cdot 6.5 \cdot 10^{-3}} = 9231 \text{ N} \quad , \text{ der: } d_s = \sqrt{\frac{4 \cdot A_s}{\pi}} \quad (3) \text{ og } (4)$$

$$\sigma_0 = \frac{9231}{33.2} = 278 \text{ MPa} \quad (5)$$

#### Torsjonsspenning:

Ved tilsetting av skruen utsettes denne for et torsjonsmoment.

$$\tau_s = \frac{M_T \cdot 0.6 \cdot r_s}{I_p} = \frac{12 \cdot 0.6 \cdot 3.25 \cdot 10^{-3}}{17.5 \cdot 10^{-11}} = 134 \text{ MPa} \quad , \text{ der: } I_p = \frac{\pi \cdot r_s^4}{2} \quad (6)$$

Faktoren 0.6 skyldes måten tilsetningsmomentet fordeler seg på:

- 10% skyldes gjengestigning.
- 50% skyldes gjengefriksjon.
- 40% skyldes friksjon mellom skruehode og underlag (gir ikke momentbidrag til skruen).

### Ekvivalentsspenning i skruen:

$$\text{Total strekkspenning er gitt ved: } \sigma_{tot} = \sigma_{last} + \sigma_0 = 137.4 + 278 = 415.4 \text{ MPa} \quad (7)$$

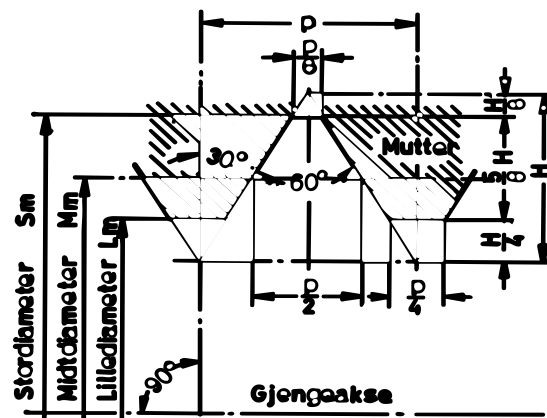
$$\text{Ekvivalentsspenningen er gitt ved: } \sigma_j = \sqrt{\sigma_{tot}^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{415.4^2 + 3 \cdot 134^2} = 475.8 \text{ MPa} \quad (8)$$

På grunn av at torsjonsbidraget er i samme størrelsesorden som forspenningen (dvs.  $\tau \cong 0.5\sigma_0$ ) vil skruen normalt flyte merkbart innen strekkspenningen har nådd flytegrensen til skruen. Uttrykket for ekvivalentsspenningen gjelder frem til begynnende flyting.

Ekvivalentsspenningen på 475.8 MPa, og skruens flytegrense på 640 MPa, gir en sikkerhetsfaktor på 1.35. Dette er akseptabelt for denne type lasttilfelle.

#### 6.1.2 Vurdering av de innvendige gjengene i sveiseknasten

Figur 6.1 viser karakteristiske mål på et innvendig ISO-gjengeprofil:



Figur 6.1 Innvendig ISO-gjengeprofil.

De innvendige gjengene er utsatt for tre forskjellige spenninger; skjærspenning pga. strekk-krefter på skruen, skjærkrefter pga. tiltrekningsmomentet på skruen og bøyesspenning pga. strekk-krefter i skruen. Forspenningen av skruen vil skape strekk-krefter i selve gjengen, men samtidig trykk-krefter i godset umiddelbart innenfor gjengen. Spenningstilstanden i gjengene betraktes i overgangen mellom gjenge og gods, ved stordiameteren,  $S_m$ .

### Skjærkrefter i gjengene:

Areal som skjærkreftene virker på (ref. fig. 6.1):

$$A_{gj} = 12 \cdot \pi \cdot S_m \cdot \frac{7}{8} \cdot p_{gj} = 12 \cdot \pi \cdot \frac{5}{16} \cdot 25.4 \cdot \frac{7}{8} \cdot 1.41 = 369.2 \text{ mm}^2 \quad (9)$$

Her regnes arealet, og dermed også spenningene som om kreftene tas opp av 12 gjenger.

Fra strekk-kreftene:

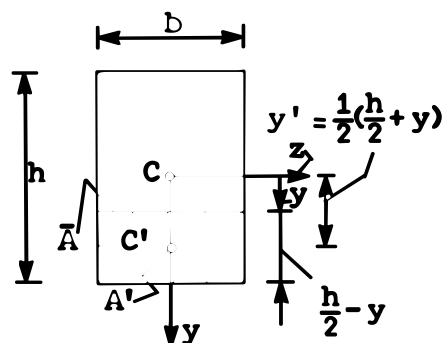
Disse regnes ut ved å ta en gjenge, og rette den ut, slik at den kan betraktes som en bjelke der

tverrsnittprofilen har en høyde lik  $\frac{7 \cdot p_{gj}}{8}$ , og en bredde lik  $\pi \cdot S_m$ .

Skjærspenningen er gitt ved: 
$$\tau_{last} = \frac{F_{Skrue} + F_0}{I_z \cdot b} \int y \cdot dA \quad (10)$$

Her er treghetsmomentet: 
$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (11)$$

Et rektangulært bjelketverrsnitt er vist i figur 6.2:



Figur 6.2 Bjelketverrsnitt for rektangulær bjelke.

Det kan vises at skjærspenningen for et rektangulært tverrsnitt er gitt ved:

$$\begin{aligned}\tau_{last} &= \frac{3 \cdot (F_{skruue} + F_0)}{2 \cdot A_{gj}} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{2 \cdot y}{h} \right)^2 \right] \\ &= \frac{3 \cdot 13792}{2 \cdot 369.2 \cdot 10^{-6}} \cdot \left[ 1 - \frac{2}{1.23 \cdot 10^{-3}} \cdot y^2 \right] = (5.6 \cdot 10^7 - 9.11 \cdot 10^{10} \cdot y^2) \frac{Pa}{m^2}\end{aligned}\quad (12)$$

Fra tiltrekningsmomentet:

$$V_M = \frac{M_T \cdot 0.6}{0.5 \cdot \left[ \frac{S_m}{2} + \left( \frac{S_m}{2} - \frac{5 \cdot H}{8} \right) \right]} = \frac{12 \cdot 0.6}{0.5 \cdot \left[ \frac{7.94}{2} + \left( \frac{7.94}{2} - 0.76 \right) \right]} \cdot 10^{-3} = 2006N \quad (13)$$

Faktoren 0.6 er den samme som i likning 6. Det går frem av figur 6.1 at  $H$  er gitt ved:

$$H = p_{gj} \cdot \sin 60^\circ \quad (14)$$

Skjærspenningen blir:

$$\tau_M = \frac{V_M}{A_{gj}} = \frac{2006}{369.2} = 5.4MPa \quad (15)$$

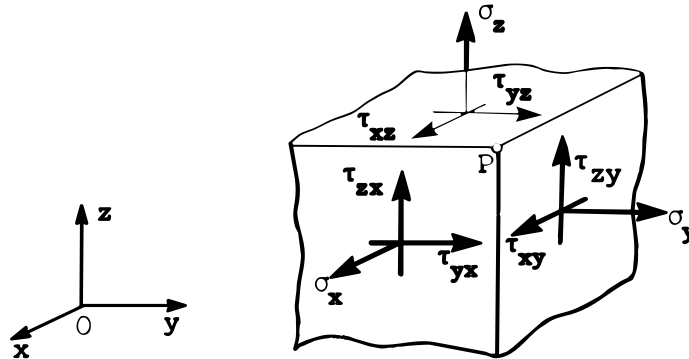
### Bøyespenninger i gjengene:

Bøyespenningen i gjengen når den betraktes som bjelketverrsnittet i figur 6.2, er gitt ved:

$$\sigma_b = \frac{M}{I_z} \cdot y = \frac{(F_{skruue} + F_0) \cdot 0.5 \cdot \frac{5 \cdot H}{8}}{12 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}} \cdot y = \frac{13792 \cdot 0.5 \cdot 0.76 \cdot 10^{-3}}{4.64 \cdot 10^{-11}} \cdot y = 1.13 \cdot 10^{11} \cdot y \frac{Pa}{m} \quad (16)$$

### Ekvivalentspenning i gjengen:

Vi har en 3-aksiell spenningstilstand i gjengen. Dette er vist i figur 6.3:



Figur 6.3 Spenningskomponenter i gjengene.

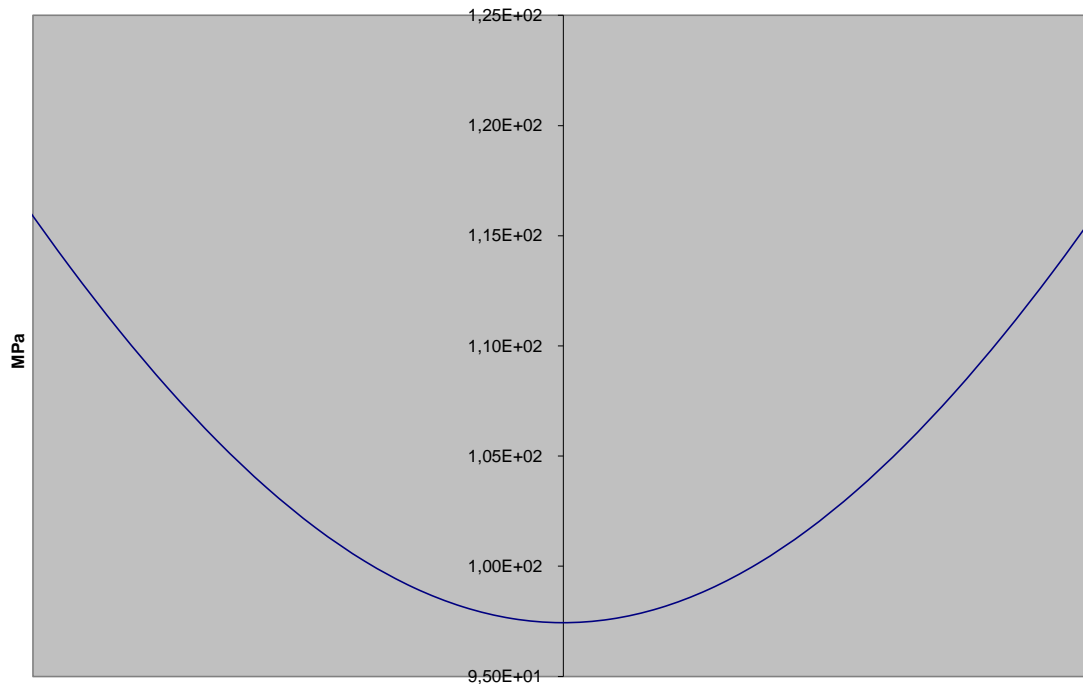
Vi lar her bøyespenningen være representert ved  $\sigma_y$ , skjærspenning pga. strekk være representert ved  $\tau_{zy}$ , og skjærspenning pga. torsjon være representert ved  $\tau_{xy}$ . Ekvivalentspenningen er således gitt ved:

$$\sigma_j \sqrt{\sigma_y^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2 + 3 \cdot \tau_{zy}^2} \quad (17)$$

Innsatt spenningskomponentene blir dette:

$$\sigma_j = \sqrt{(1.13 \cdot 10^{11} \cdot y)^2 + 3 \cdot (5.6 \cdot 10^7 - 9.11 \cdot 10^{10} \cdot y^2)^2 + 3 \cdot (5.4 \cdot 10^6)^2} \quad (18)$$

Dette gir følgende fordeling av ekvivalentspenningen over gjengetverrsnittet:



$-\frac{h}{2}$       *Figur6.4*      *Fordeling av ekvivalentspenningen over gjengetverrsnittet.*       $\frac{h}{2}$

Dette gir en maksimal ekvivalentspenning på 120 MPa.

Når knasten utsettes for varme under sveiseprosessen vil flytegrensen reduseres i en sone på ca. 25 mm fra sveisepunktet.

Vi regner her med at flytegrensen reduseres med 40 % og med en redusert flytegrense på 156 MPa gir dette en sikkerhetsfaktor på 1.3. Dette er akseptabelt for denne type lasttilfelle.

## 7 konklusjon

Bortsett i fra sjakkelen med uspesifisert materialkvalitet tåler sitteselen en belastning på 12kN. En belastning som tilsvarer at en masse på 120 kg utsettes for en akselerasjon på 10g.

Det anbefales at sjakkelen byttes ut med en sertifisert type med bruddlast på minimum 800 kg for at styrken i denne skal samsvare med styrken til resten av konstruksjonen.