

CHALMERS



Hållfasthetsberäkningar på fixtur

Finite Element Analysis of a Wall Carrier

**Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom
Maskiningenjörsprogrammet**

Jonas Norlin

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
Avdelningen för Avancerad oförstörande provning
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sweden, 2011
Examinator: Gert Persson
Examensarbete No. 51/2010

FÖRORD

Detta examensarbete omfattar 15 högskolepoäng och genomfördes år 2010 under det tredje året på maskiningenjörsprogrammet på Chalmers.

Stort tack till Ingvar Svensson och Rebase AB för förtroendet och möjligheten att få skriva detta arbete och till min handledare Gert Persson för synpunkter och konstruktiv kritik. Tack även till Kenneth Hamberg för all hjälp.

SAMMANFATTNING

I detta arbete analyseras hållfastheten av en konstruktion som används för att hänga upp vägghängda toaletter. Syftet är att undersöka den nuvarande konstruktionens hållfasthet och besvara om det finns utrymme för att använda en tunnare plåttjocklek.

Ett praktiskt lastprov har genomförts som visar att fixturen klarar en belastning på 600 kg utan brott.

Vidare görs analyser av både den nuvarande och en alternativ, lättare konstruktion i ett FEM-program. Även om det finns en del problem med dessa analyser står det klart att den lättare konstruktionen mister cirka 30 % i hållfasthet. Det slås fast att detta inte kan ses som acceptabelt.

SUMMARY

A wall carrier for wall mounted toilets is analyzed both in an experiment and using the finite element method. The purpose is to evaluate the capacity of the current construction and investigate the possibility of making a lighter construction.

A load test that has been conducted showed that the wall carrier can withstand a load of 600 kg without rupturing.

Both the current and alternative lighter construction are analyzed using FEM. There are some problems with the FEM models, but it is clear that the lighter construction loses about 30 % of its strength, which is unacceptable.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Avgränsningar	2
1.3 Precisering av frågeställningen	3
2 Teori	3
2.1 von Mises flytkriterie	3
2.2 Finita Element-metoden	3
3 Metod	4
4 Lastprov	5
4.1 Genomförande	5
4.2 Resultat	6
4.3 Slutsats av lastprov	7
5 Jämviktsekvationer	8
6 Modeller	9
6.1 Balkapproximation	9
6.2 Solidmodeller	11
6.2.1 Randvillkor	11
6.2.2 Solidmodell jämnt utbredd last	13
6.2.3 Solidmodell koncentrerad kraft 1	14
6.2.4 Solidmodell koncentrerad kraft 2	16
6.2.5 Solidmodell koncentrerad kraft 3	19
6.2.6 Solidmodell vid dåligt fastsatt bult	21
6.3 Diskussion av modeller	22
8 Jämförelse med tunnare konstruktion	22
Slutsats	25
Referenser	25
Appendix 1	

1. INLEDNING

I det här arbetet undersöks universalfixtur 20000 tillverkad av pressad plåt som är en fixtur som används för att hänga upp vägghängda toalettstolar.

En av frågorna som ska besvaras är om den kan tillverkas med tunnare plåttjocklek med acceptabel hållbarhet. Med tunnare plåt fås en lättare konstruktion som är både billigare och bättre ur bland annat miljö- och transportsynpunkt. Fixturen väger för närvarande 4,9 kg och skulle med den lättare konstruktionen väga 4 kg.

Den nuvarande konstruktionen ska testas i ett praktiskt prov. Provet ska ge svar på vad fixturen för nuvarande klarar.

Med hjälp av Finita Element-metoden kan den lättare konstruktionen utvärderas utan att göra en prototyp.

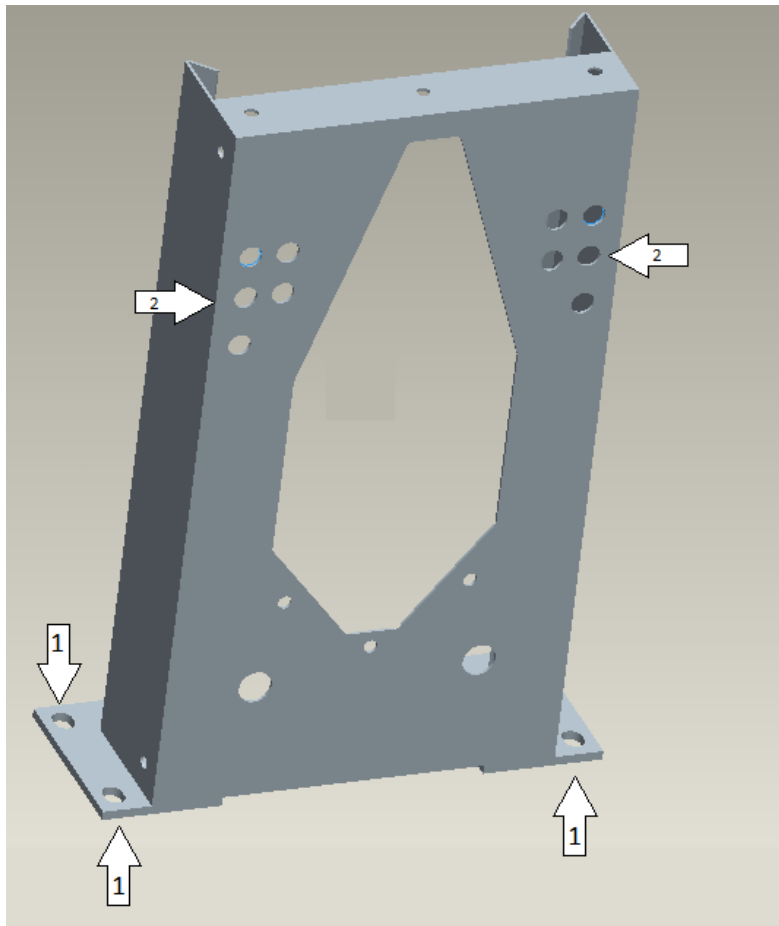
1.1 Bakgrund

Figur 1.1 visar en modell av fixturen. Detta är framsidan som vid bruk är i kontakt med väggen. Fixturen fäst i golvet genom hålen markerade med (1). Det finns sammanlagt åtta sådana hål, placerade symmetriskt på fotplattan.

Genom hålen markerade med (2) fästs två M12-bultar som går genom väggen och ut. WCn hängs sedan på dessa. Endast de tre yttre hålen används i Sverige. De mellersta hålen är för standardutförande, de övre för handikapptoiletter och de nedre för montering i exempelvis skolor. De inre används ibland utomlands.

Övriga hål är för passage av rör och dylikt.

Fixturen är tillverkad av ett stål med beteckningen DC01, äldre beteckning SS1142. Detta stål har en sträckgräns på max 280 MPa och brottgräns mellan 270 och 410 MPa [1]



Figur 1.1 Fixturen med hål för montering i golv (1) och montering av WC (2)

Kravet på fixturen är att den ska fristående klara av en belastning på 200 kg exklusive toalettens egen vikt. Med fristående menas här att den inte får något stöd av exempelvis en vägg. Detta är givetvis ett hårt ställt krav då väggen i praktiken tar upp mycket av kraften.

Det antas genomgående att lasten är koncentrerad till en punkt ovanför utloppet, denna antas genomgående vara 330 mm från kontaktytan mellan WC och fixtur. (I praktiken ytan mellan WC och vägg) .

1.2 Avgränsningar

Ringa uppmärksamhet kommer att ges till bultar och svetsar och dylikt. Dessa förutsätts hålla för belastningarna.

Vidare antas alla laster appliceras tillräckligt långsamt för att analyseras som statiska laster.

Materialet tänks vara isotropt, vilket innebär att materialet har samma egenskaper i alla riktningar. Tillverkningsmetoden för den här produkten kan tänkas införa anisotropier, vilket innebär att materialet har lite olika egenskaper i olika riktningar. Detta kommer att bortses ifrån.

Syftet med arbetet är att utvärdera nuvarande konstruktion och undersöka möjligheten att göra den lättare. Inga förslag på genomgripande förändringar av konstruktionen i sig kommer framföras.

1.3 Precisering av frågeställningen

1) Hur reagerar fixturen fribärande på en belastning av 200 kg med nuvarande konstruktion?

Fribärande innebär här att fixturen inte får något stöd från exempelvis en vägg.

- Vilka spänningar och töjningar uppstår?
- Var fås höga spänningar?
- Hur skulle man utifrån analysen kunna förbättra fixturen om eventuella svagheter upptäcks?

2) Finns det utifrån analysen utrymme att välja tunnare plåttjocklek?

Med de modeller som tas fram ska den relativa försvagningen av en sådan ändring förutsägas.

2. TEORI

2.1 von Mises flytkriterie

I analysen används von Miseskriteriet. Plasticering sker då i en punkt när deformationsenergin per enhetsvolym i punkten överstiger den som ger plasticering i ett dragprov.

Man kan visa att deformationsenergin per enhetsvolym i en punkt är relaterat till von Mises spänningen i punkten. von Mises spänningen är en skalär som ges av spänningstillståndet i punkten.

Det finns andra flytkriterier, exempelvis Trescas som jämför skjuvspänningen i en punkt med den som ger plasticering. Von Miseskriteriet är något mindre konservativt än Tresca men är med de metoder som används här lättare att tillämpa. Överlag ger de samma resultat. [2]

2.2 FEM

Förskjutningar som uppstår i en kropp till följd av applicerade laster beskrivs i hållfasthetslära av partiella differentialekvationer, som generellt inte kan lösas analytiskt. FEM-analys är ett sätt att göra om dessa partiella differentialekvationer till matrisekvationer, som kan lösas med hjälp av dator.

I varje FEM-analys introduceras numeriska fel. Ett sätt att hålla koll på storleken av detta fel är att studera hur väl analysen konvergerar. Konvergens innebär att när modellen på något sätt förfinas ska de resulterande värdena inte ändras allt för mycket. Problem med konvergens antyder något slags problem med modellen. [3]

Ibland fås områden, s.k. singulariteter, där konvergens inte kan uppnås trots att modellen i stort konvergerar. Detta gäller särskilt skarpa kanter som i verkligheten flyter ut något. Beräknade storheter i dessa områden ger då inte en bra bild av verkligheten, även om modellen i stort kan vara bra.

3. METOD

Det är svårt att räkna på konstruktionen analytiskt. Eftersom fixturens längd/breddförhållande inte är tillräckligt litet och har många hål kan inte konstruktionen ses som balk och behandlas med balkteori. Det varierande tvärsnittet gör också att vid en ändring av plättjocklek ändras böjstyvheten proportionellt sett olika i olika delar i fixturen. De många och olikformade hålen gör det också svårt att använda ekvationer för exempelvis en tunn platta. Därför kommer framförallt FEM att användas i analysen av konstruktionen.

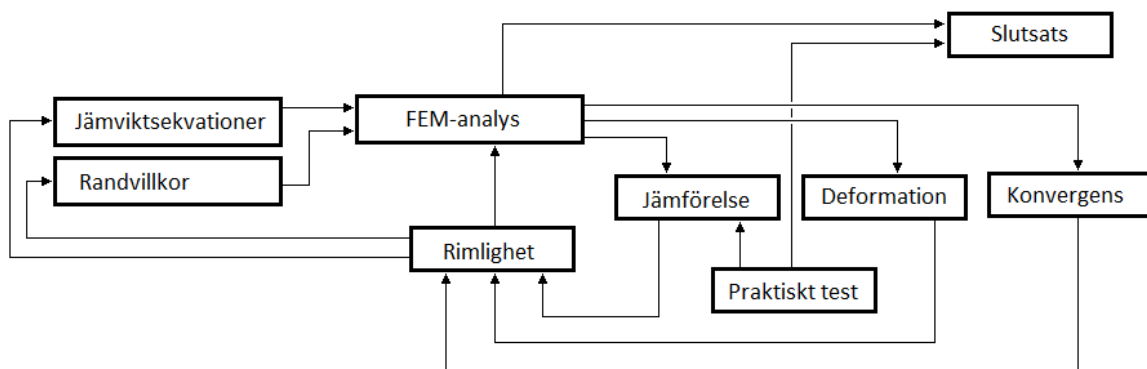
Utifrån belastningen tas jämviktsekvationer fram som ger en bild av belastningarna på fixturen.

Hur fixturen är inspänd avgör vilka randvillkor man sätter på fixturen. Randvillkoren bör vara enkla men på ett bra sätt modellera verkligheten.

Randvillkor och krafter läggs in i ett FEM-program på en CAD-modell av fixturen och räknar ut spänningar och deformationer.

I bedömningen av rimligheten av FEM-anslyns resultat ska framförallt följande beaktas:

- Deformationsbilden. Ser den rimlig ut? Deformationer konvergerar snabbt och en konstig deformationsbild är ett tecken på något fel i analysen.
- Konvergens.
- Jämförelse med praktiskt prov. Ges förskjutningar som motsvarar de i praktiken uppmätta? Är spänningar rimliga i jämförelse med vad fixturen i praktiken klarar?



Figur 3.1 Karta över arbetets metod

Vi ser att problem med rimligheten i modellen främst kan härledas till:

- Felaktig modellering av krafter.
- Randvillkor som inte väl överensstämmer med verkligheten.
- Problem i FEM-programmet, exempelvis dålig elementindelning och singulariteter.

4 LASTPROV

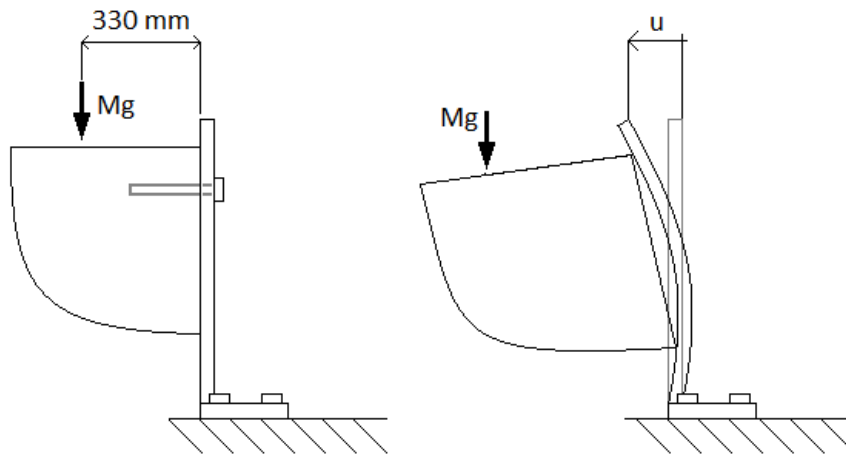
Ett lastprov genomfördes på företaget för att ta reda på vilka belastningar fixturen för nuvarande klarar. Fixturen belastades med vikter och dess deformation mättes med skjutmått.

4.1 Utförande



Figur 4.1 Testriggen som användes i lastprovet

Fixturen monterades i ett betonggolv med åtta bultar så som den monteras vid bruk. En ställning av stål, som fungerar som WC skruvades på i de mittersta standardhålen. En bild på testriggen syns i figur 4.1. Belastningen, bestående av lådor med skruv med vikten 24,3 kg lades sedan på denna, med tyngdpunkt 330 mm från fixturen, se t. v. i figur 4.2.



Figur 4.2 Belastning på fixturen samt den uppmätta utböjningen u

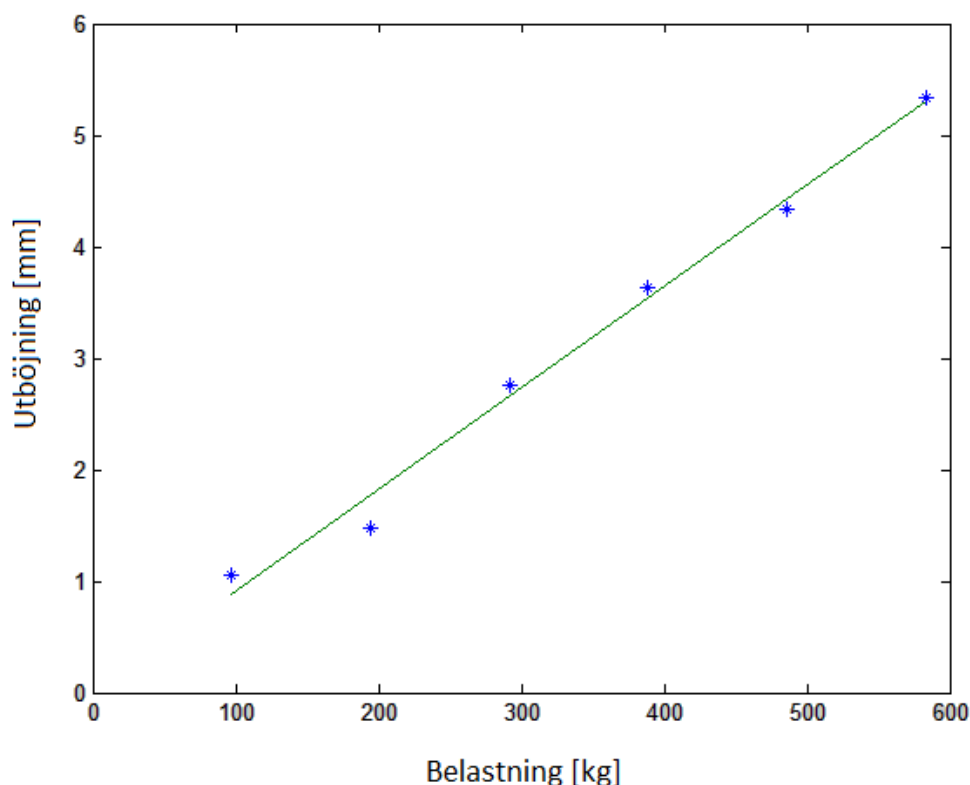
Ovankantens utböjning från utgångsläget, måttet u i figur 4.2 mättes sedan med skjutmått vid ungefär 100, 200, ... , 600 kg belastning.

4.2 Resultat

Resultaten visas i figur 4.3 och mer exakta siffror på belastning – utböjning i tabell 4.1. Resultaten antyder ett linjärt förhållande mellan utböjning och belastning, vilket vi förväntar oss.

Fixturen återgick efter att ha avlastats till 2,3 mm från utgångsläget. Den hade alltså plasticerats av 600 kg, dock utan brott.

När fixturen belastades med drygt 200 kg och sedan avlastades kunde ingen permanent deformation uppmätas. En viss sådan är dock möjlig då mätmetoden inte var exakt.



Figur 4.3 Uppmätta värden på utböjning i blått, minsta kvadrat- anpassad kurva i grönt.

Tabell 4.1 Uppmätta deformationer vid belastning

Belastning[kg]	97,2	194,4	291,6	388,8	486	583,2
Utböjning [mm]	1	1,5	2,8	3,6	4,3	5,3

4.3 Slutsats av lastprov

Det finns vissa svagheter i detta prov. Mätmetoden skulle kunna ha varit mer exakt, och för att försäkra sig om att fixturen inte deformeras permanent av belastningen 200 kg borde den ha belastats och avlastats ett stort antal gånger.

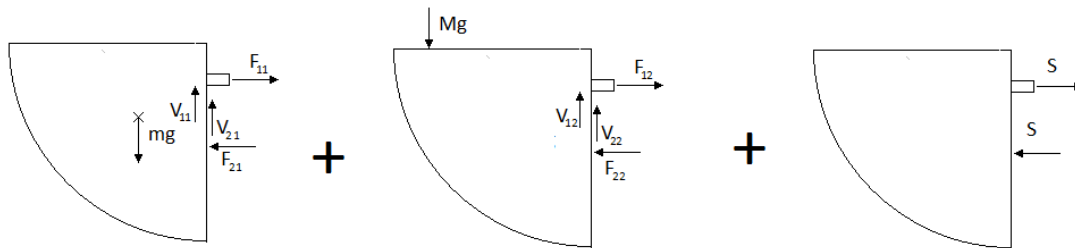
Vid belastningen deformeras eventuellt skruvarna vid fötterna på ett sätt som inte tas hänsyn till i analysen, där den undre delen kommer låsas helt. Deformationen kan därför bli mindre i analysen än i verkligheten.

Det står dock klart att fixturen klarar fristående en belastning på 583,2 kg utan brott. Det är rimligt att anta att spänningen vid 200 kg överlag håller sig under sträckgränsen, då en tredubbling av belastningen ej gav brott.

Detta ska beaktas i bedömningen av rimligheten i modeller som tas fram i kapitel 7.

5 JÄMVIKTSEKVATIONER

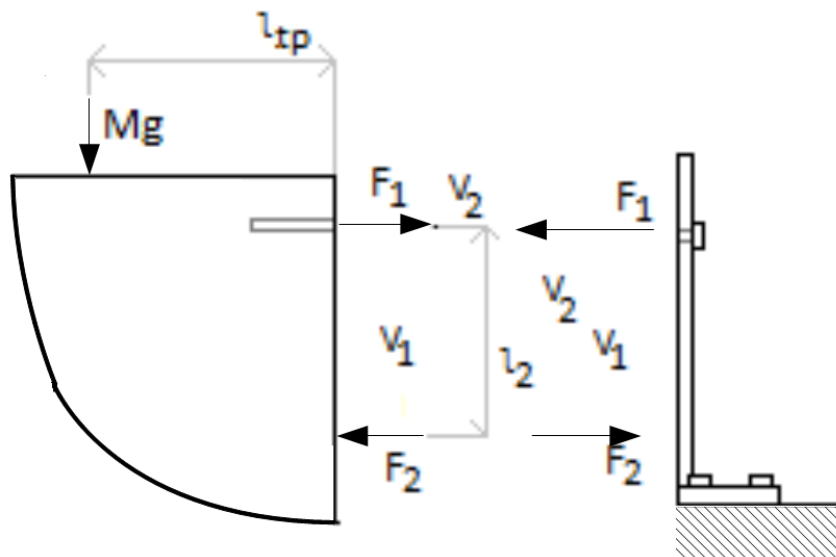
Den totala belastningen kan beräknas genom att betrakta de kombinerade lastfallen i figur 5.1.



Figur 5.1 Den sammanlagda belastning kan betraktas som en kombination av Wc :ns vikt m (vänster), lasten M samt en förspänning S .

Här är m toalettens vikt. M är den pålagda lasten. S är en förspänning i bulten. Tyvärr finns det ingen föreskriven förspänning utan det görs mest "på känn" utifrån vad porslinet kan tänkas klara. Den är rimligen försumbar.

Figur 5.2 är en friläggning av WC :n och fixturen. M inkluderar här både den pålagda lasten 200 kg och toalettens vikt, som tas som 20 kg. Toalettens tyngdpunkt tänks också konservativt ha samma tyngdpunkt som lastens tyngdpunkt.



Figur 5.2 Friläggning av fixtur och toalett.

Måttet l_{tp} kan antas vara 330 mm, vilket är ett vanligt mått på avståndet mellan väggen och toalettens utlopp, där lasten tänks vara koncentrerad. Detta mått var också det som användes i det praktiska testet.

Längden l_2 är avståndet mellan bultens centeraxel och den på fixturen verkande normalkraftens verkningslinje. Detta avstånd kommer att skilja sig åt beroende på hur lasten tänks fördelas.

V_1 och V_2 är vertikala krafter. De består av dels friktionskrafter, dels av tvärkrafter i bultarna. I analysen av uppkomna spänningar kommer extremfallen $V_1 = 0$ samt $V_2 = 0$ att betraktas.

Jämvikt för toaletten ger:

$$\rightarrow: \quad F_1 - F_2 = 0$$

$$\uparrow: \quad V_2 + V_1 - Mg = 0$$

$$\text{Momentjämvikt kring O:} \quad Mgl_{tp} - F_2 l_2 = 0$$

Vilket ger:

$$\begin{aligned} V_2 + V_1 &= Mg \\ F_1 = F_2 &= Mgl_{tp}/l_2 \quad (\text{ekvation 1}) \end{aligned}$$

Av ekvation 1 framgår att ju längre bort från bulten normalkraften är koncentrerad, desto mindre blir den. Ett stort värde på l_2 innebär dock att kraften är koncentrerad på en mindre yta, vilket kan leda till lokalt höga spänningar.

6 Modeller

Här diskuteras de modeller av nuvarande konstruktion som analyseras med FEM.

Eftersom experimentet genomfördes med belastningen på de mittersta standardhålen kommer endast detta lastfall att analyseras här.

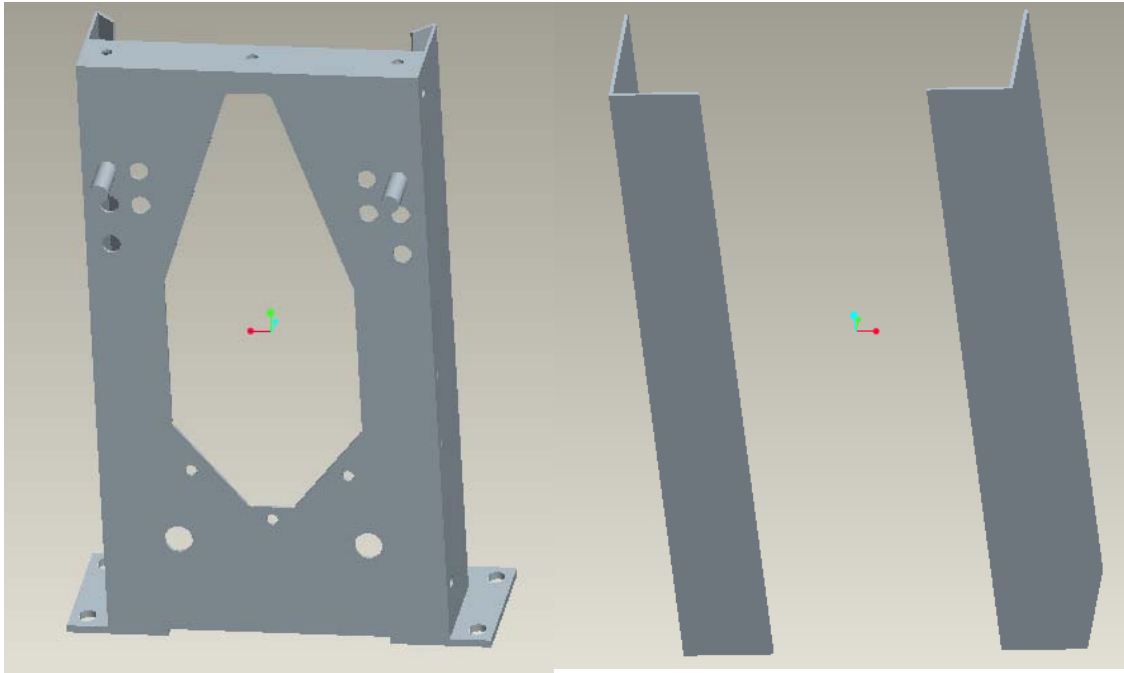
I kapitel 6.1 görs en grov balkapproximation. Balkmodeller är mycket lätta att genomföra och kan här ge en bild av den relativa försvagningen i den tunnare konstruktionen. Modellen är dock för grov för att få en bra bild av spänningsfördelningen.

Vidare i kapitel 6.2 görs solidmodeller där spänningar kan studeras mer i detalj. Ett antal olika lastfall provas.

6.1 Balkapproximation

Här approximeras fixturen mycket grovt med en balk. Fotplattorna tas bort och ersätts med en fast inspänning. Övriga hål och dylikt tas bort. Se figur 6.1. Laster läggs på i punkter på balken. Detta är givetvis en avsevärd försvagning.

Av symmetriskäl räcker det med att analysera halva lasten på en av balkarna. På grund av begränsningar i programmet lades alla laster på i ytterkanten. För att få en statiskt ekvivalent belastning fick då även vrid- eller böjmoment läggas på, motsvarande var kraften tänks angripa balken multiplicerat med sin hävarm med avseende på ytterkanten.

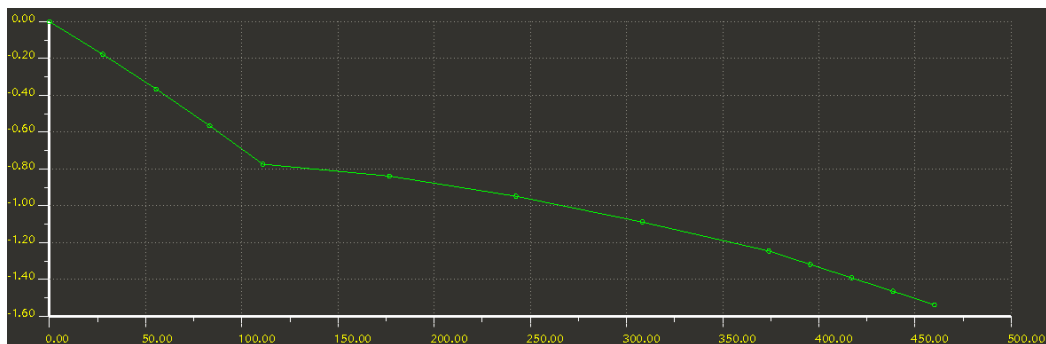
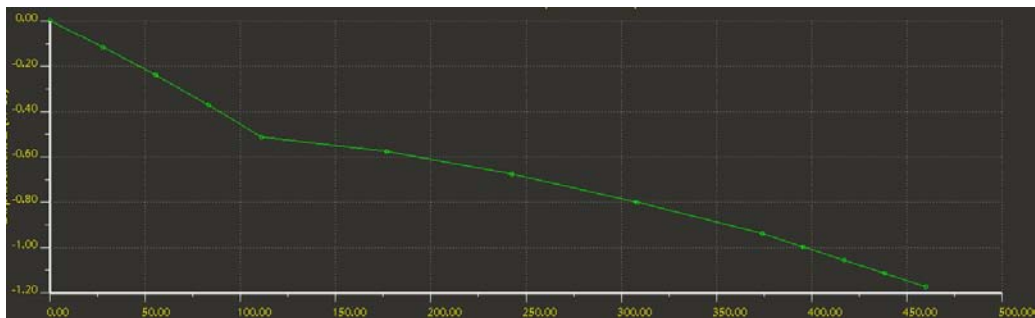


Figur 6.1 *Fixturen och motsvarande balkmodell.*

Figur 6.2 och 6.3 visar resulterande utböjningen för nuvarande respektive lättare konstruktion.

Utböjningen i överkant blev cirka 1,2 mm respektive 1,6 mm, att jämföra med uppmätta 1,5 mm i det praktiska provet. Trots den stora försvagningen ser vi här deformationer i samma storleksordning.

Balkmodellen antyder att en tunnare plåttjocklek innebär en relativ minskning av böjstyvhet med cirka 25 %.



Figur 6.2 *Utböjning med nuvarande konstruktion.*

Figur 6.3 *Utböjning med lättare konstruktion.*

6.2 SOLIDMODELLER

För att förhoppningsvis få en bättre bild av spänningar i fixturen görs här ett antal solidmodeller. Samtliga av dessa har samma randvillkor som redovisas i nästa kapitel.

De skiljer sig åt dels i om den vertikala lasten tänks tas upp av bulten eller av friktionen mellan fixtur och lastdonet, dels i hur den undre kraften F_2 i figur 5.2 tänks fördela sig. Kraftfördelningen påverkar även storleken på denna kraft enligt ekvation 1:

$$F_1 = F_2 = Mgl_{tp}/l_2$$

Olika randvillkor kommer att utvärderas, mer om dessa i följande kapitel. Tabell 6.1 är en förteckning över solidmodeller och vilka förenklingar som görs.

Tabell 6.1 Laster och randvillkor på de olika solidmodellerna.

Modell	l_{tp} [mm]	F_1 [N]	Vertikal last	Horisontell last	Randvillkor
6.2.2	134	5423	Friktion	Jämnt utbredd över hela främre ytan	Utan fötter
6.2.3	218	3300	Friktion	Koncentrerad över en mindre yta	Med fötter
6.2.4	218	3300	Bult	Koncentrerad över en mindre yta	Utan fötter
6.2.5	218	3300	Bult	Koncentrerad över en mindre yta	Med fötter
6.2.6	260	2800	Bult	Koncentrerad längs en linje	Utan fötter
Appendix 1	-	-	-	-	Utan fötter

6.2.1 Randvillkor

Detta kapitel diskuterar randvillkor för solidmodellerna.

Fixturen är praktiskt taget symmetrisk. Ett symmetrirandvillkor används därför i mitten av fixturen. Detta skär drastiskt ner beräkningstiden.

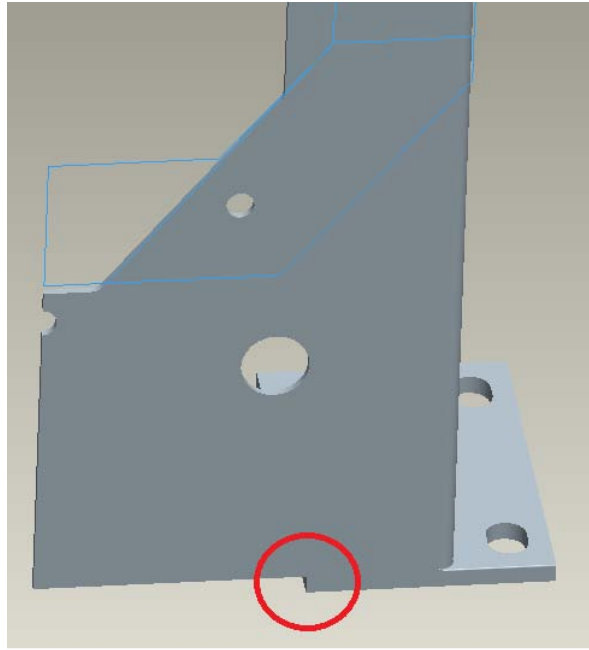
I analys 6.2.3 modelleras fötterna och fixturen som en solid och skruvhålen låses för deformation.

Ett problem med denna modell är den singularitet som uppstår i området markerat med rött i figur 7.1, vilket ger problem med konvergens vid lösning och kan få analysen att ta onödigt lång tid. Vi kommer därför för att försöka nå konvergens i vissa analyser ta bort fötterna och ersätta dem med följande randvillkor:

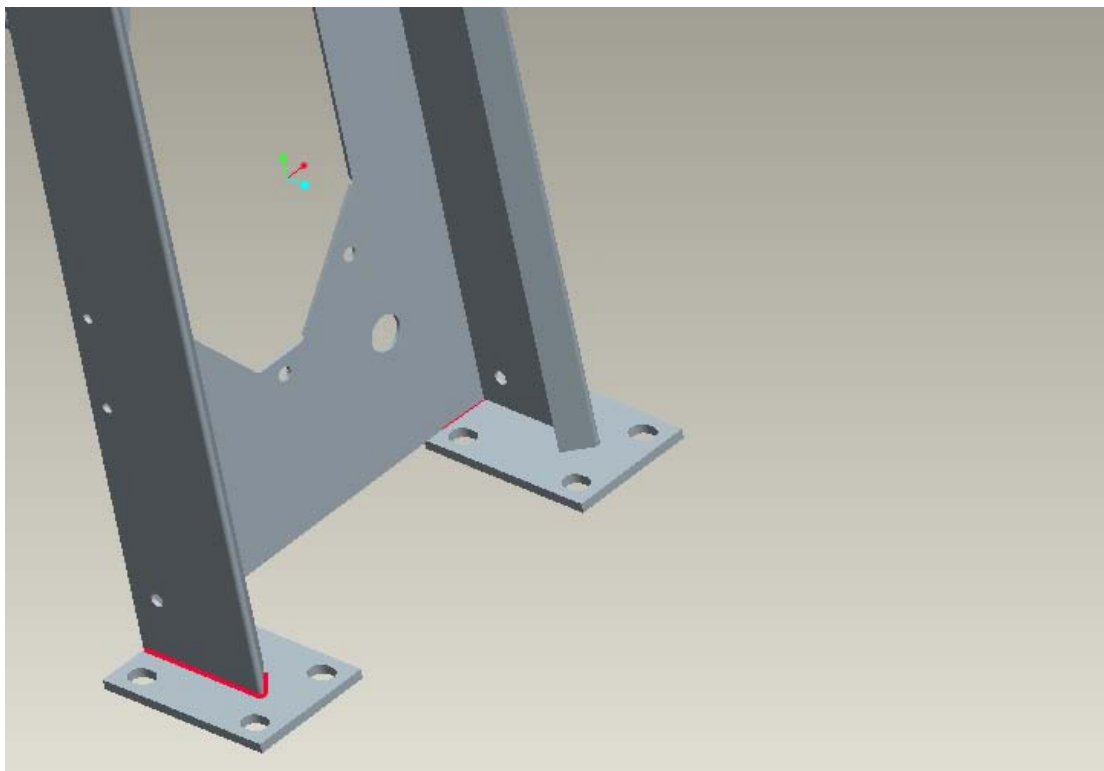
- Svetsade områden låses helt.
- Osvetsade områden låses enbart för deformation i vertikal led.

Eftersom fixturen inte är svetsad i hela kontaktytan med foten, utan i endast en del av kanterna kan detta möjligtvis ge ett bättre modellering. Se rödmarkerade områden i figur 7.2.

På grund av bl.a. friktionskrafter är de osvetsade områdena dock inte i verkligheten helt fria att röra sig. Därför jämförs analysen med en analys med deformationsvillkoret att kontaktytan med foten låses helt.



Figur 6.4 I detta område uppstår en singularitet där t. ex. spänningar inte konvergerar.



Figur 6.5 Röda områden är svetsade.

6.2.2 Solidmodell vid jämnt utbredd last

Normalkraften består här av en jämnt utbredd last över hela den främre ytan.

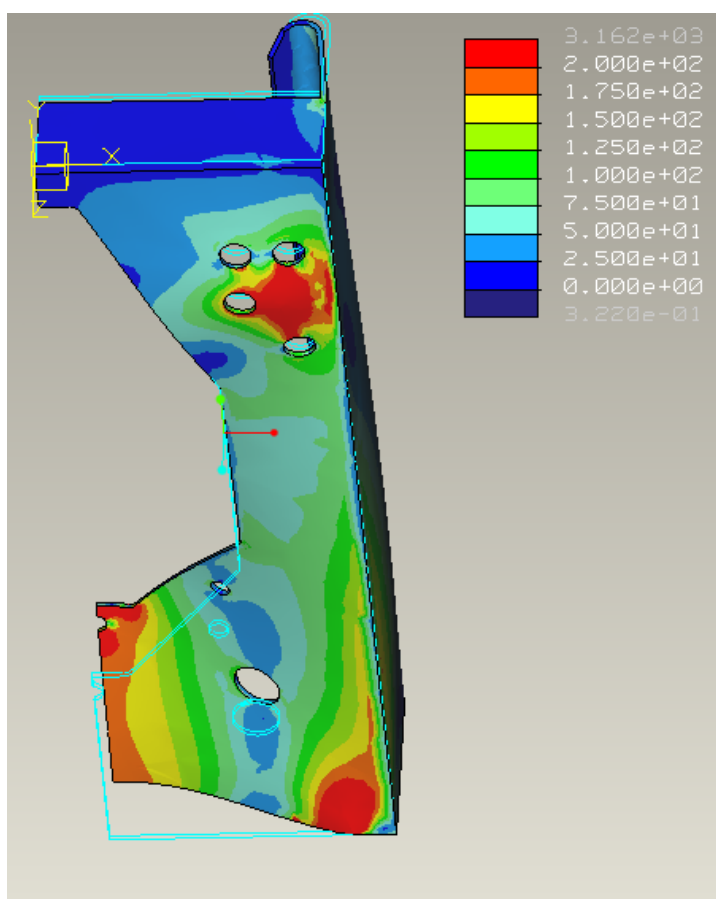
Normalkraften kommer då att ha sin verkningslinje genom ytans tyngdpunkt, vilket ger måttet $l_p = 134$ mm, och därmed m.h.a. ekvation 1 kraften F_1 . Vi får en kraft $F_1 = 5423$ N över ytan.

Friktionen antas här ta upp den vertikala lasten.

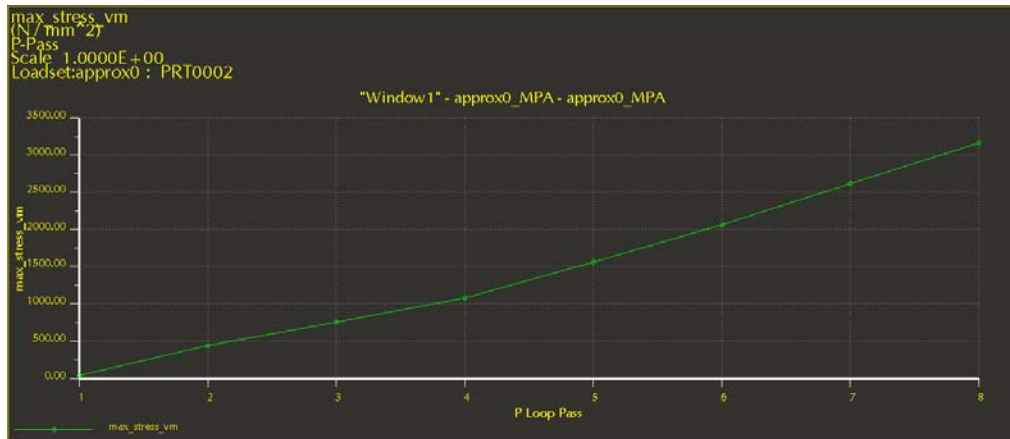
Den här modellen tar ej hänsyn till den kontakt som fixturen får med väggen, eller toaletten i det fribärande fallet, som kan styra deformationen på avgörande sätt.

Resultatet av en FEM-analys syns i figur 7.3. Områden i rött har von Mises-spänningar över 200 MPa och har en hög risk för plasticering. Maximala von Mises-spänningen är drygt 1500 MPa, vilket är suspekt högt. Ett antal svaga punkter kan ses, framförallt området där svetsen tar slut. Enligt dessa resultat skulle fixturen ej hålla för belastningen, vilket vi vet att den gör.

Förskjutningen som mättes upp i kapitel 4 överensstämmer inte heller, 0,4 mm mot omkring 2 mm i verkligheten. Detta är därför antagligen inte en särskilt bra modell av verkligheten.



Figur 6.6 von Mises-spänningar. Områden i rött har von Mises-spänningar över 200 MPa. Överdriven deformation.



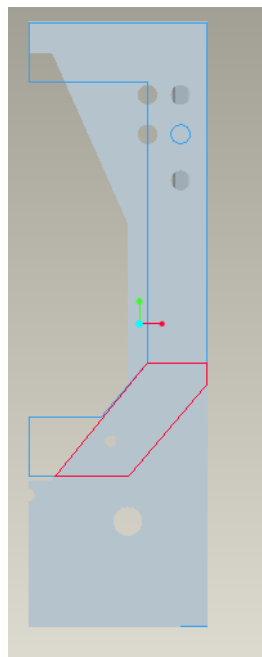
Figur 6.7 Max von Misesspänning konvergerar ej

6.2.3 Solidmodell koncentrerad kraft 1

I denna analys låses skruvhålen på fotplattorna för deformation. Vidare görs följande antaganden:

- Ingen förspänning
- All kraft i vertikalled tas upp av bulten
- Normalkraften fördelar sig jämnt på ett mindre område i kontaktytan mellan WC och fixtur

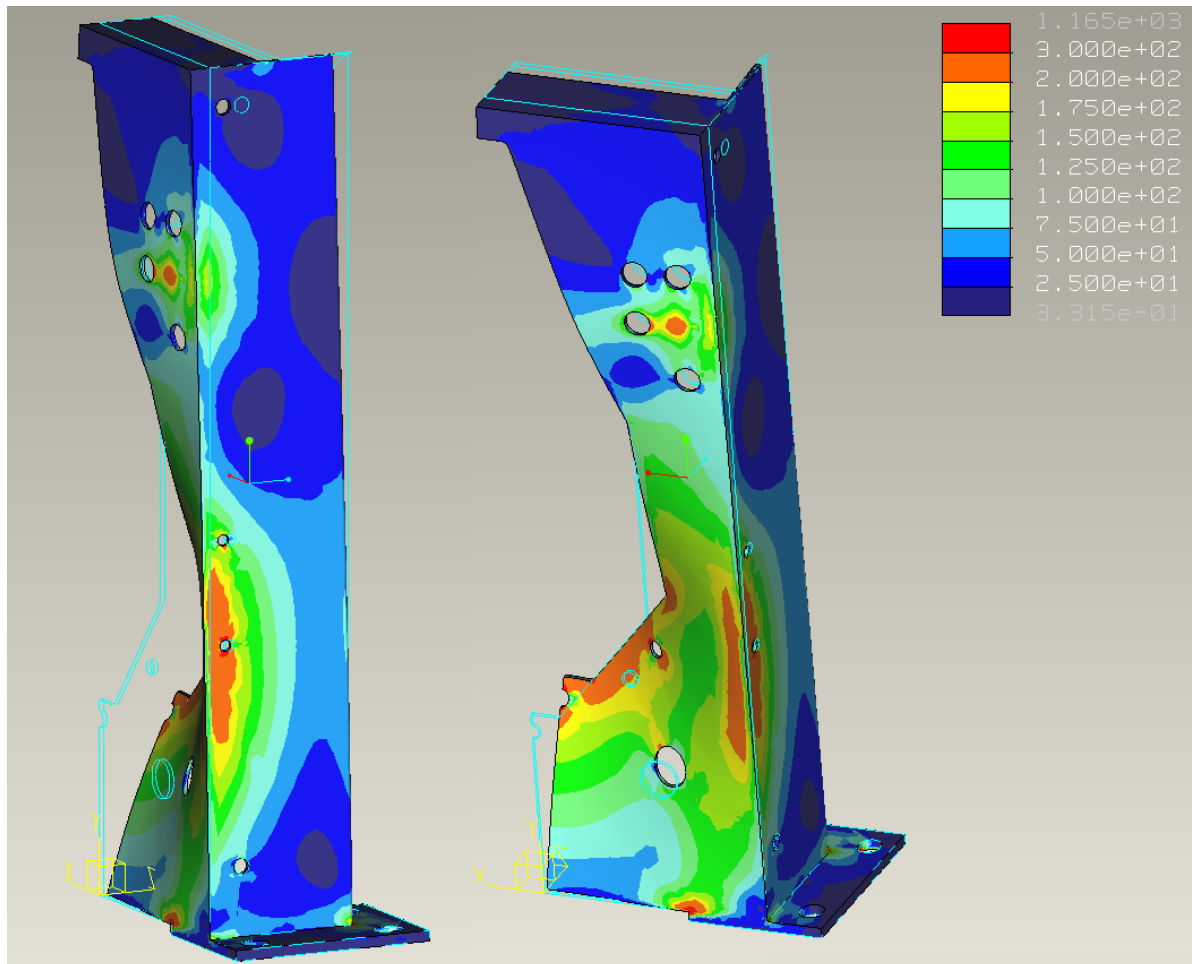
Området visas i rött i figur X och baseras på hur fixturen belastades i det praktiska provet. Blått är WCns profil. WCn och fixturen var då bara i kontakt på ett mindre område under bulten. l_2 blir ungefär 218 mm, så kraften F_2 ges av ekvation 1 att vara 3300 N.



Figur 6.8 Kraftens fördelningsområde markerat i rött.

Resultande spänningsfördelning syns i figur 6.9. Områden i orange har spänningar mellan 200 och 300 MPa. Här föreligger enligt modellen risk för plasticering. Områden i rött har von Mises-spänningar över 300 MPa. Dessa begränsar sig till områden nära singulariteten och är troligtvis överdrivna.

Utbøjningen som uppmättes i lastprovet blev här 1 mm, att jämföra med det uppmätta 1,5 mm.



Figur 6.9 Resultande spänningar. Områden i orange har spänningar mellan 200 och 300 MPa.

6.2.4 Solidmodell koncentrerad kraft 2

I den här modellen gör vi samma antaganden som i 6.2.3:

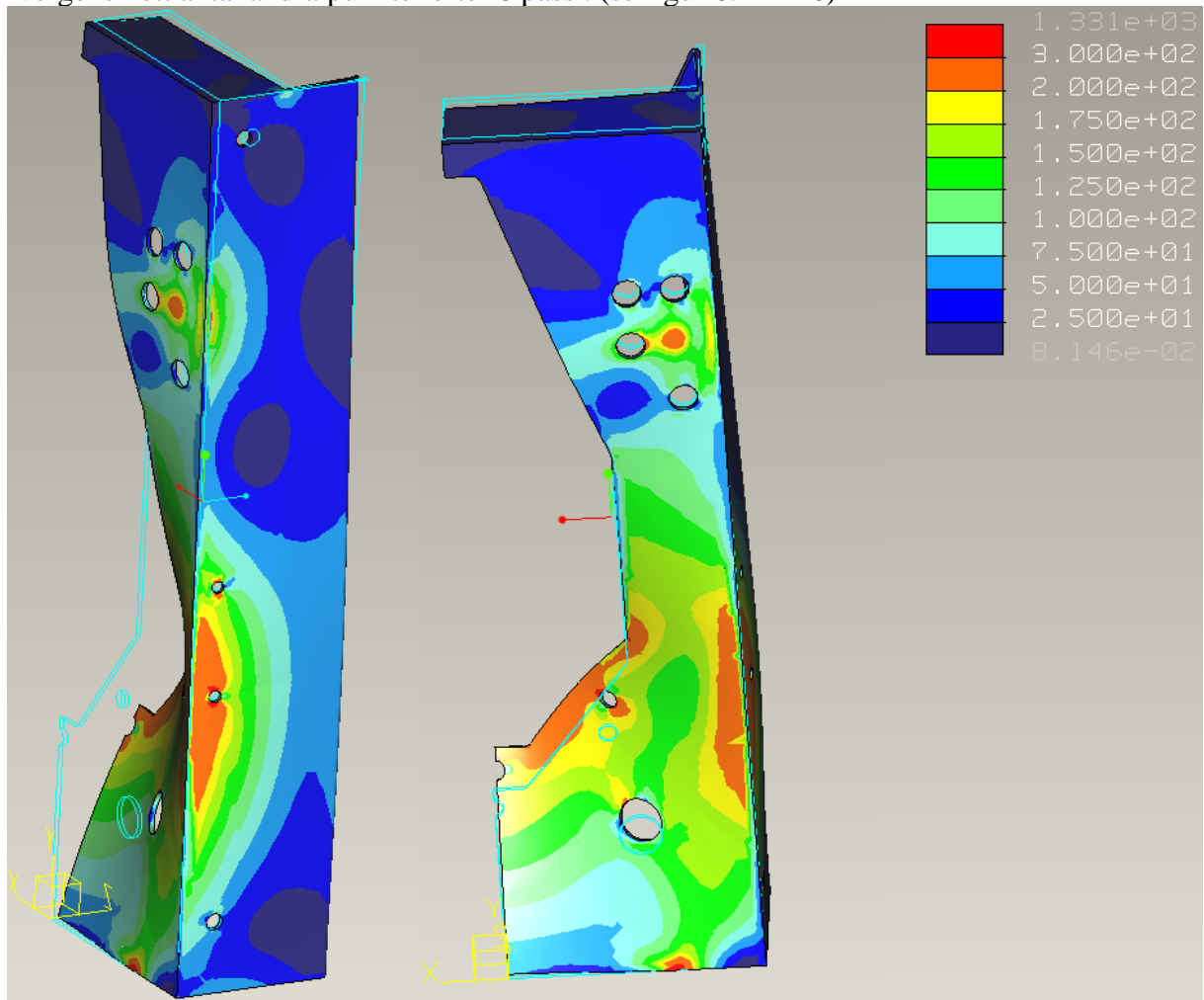
- Ingen förspänning.
- All kraft i vertikalled tas upp av bulten
- Normalkraften fördelar sig jämnt på ett mindre område i kontaktytan mellan WC och fixtur

Skillnaden är fötterna ersatts med de randvillkor som beskrivs i kapitel 6.2.1.

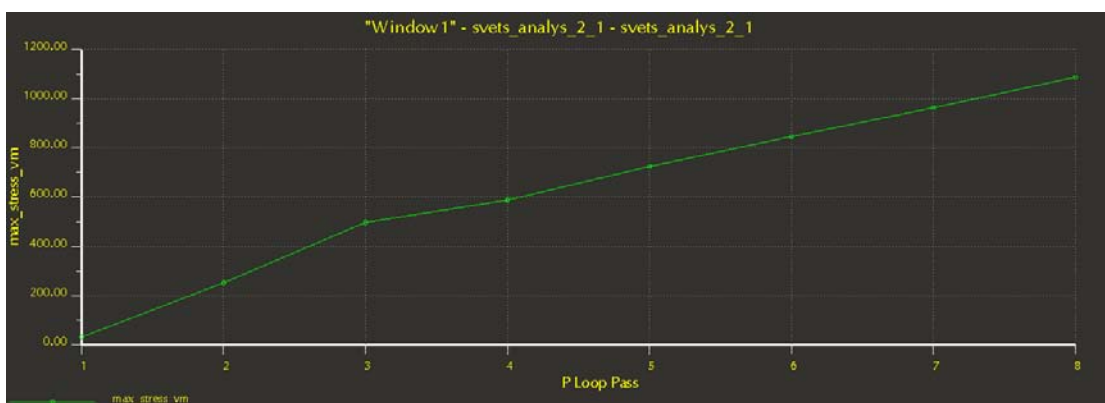
Resultande spänningsfördelning visas i figur 6.10. Områden i orange har spänningar mellan 200 och 300 MPa. Vi ser att spänningsfördelningen är likartad den som erhöles med randvillkoren i modellen i 6.2.3.

Däremot var dock utböjningen i ovankant än mindre än den som uppmättes i lastprovet i kapitel 4, 0,4 mm mot 1,5 mm.

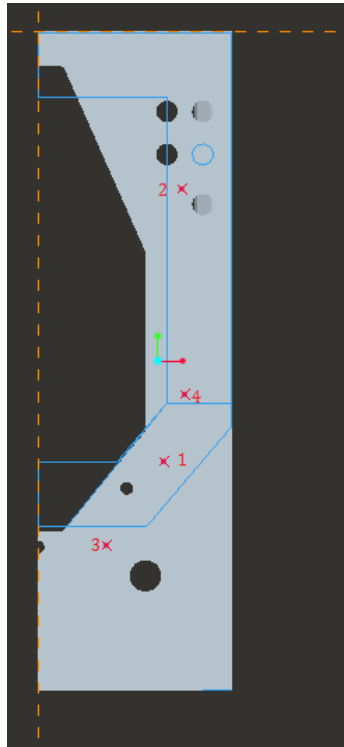
Vi fick inte heller här någon konvergens för max von Mises. Däremot uppnåddes konvergens i ett antal andra punkter efter 6 pass . (se figur 6.12 - 16)



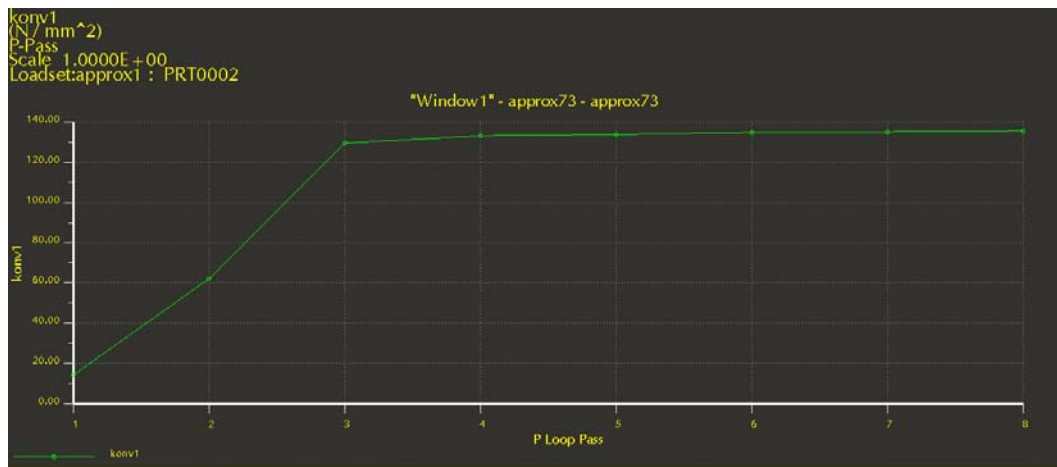
Figur 6.10 Områden i orange har von Misesstress mellan 200 och 300 MPa.



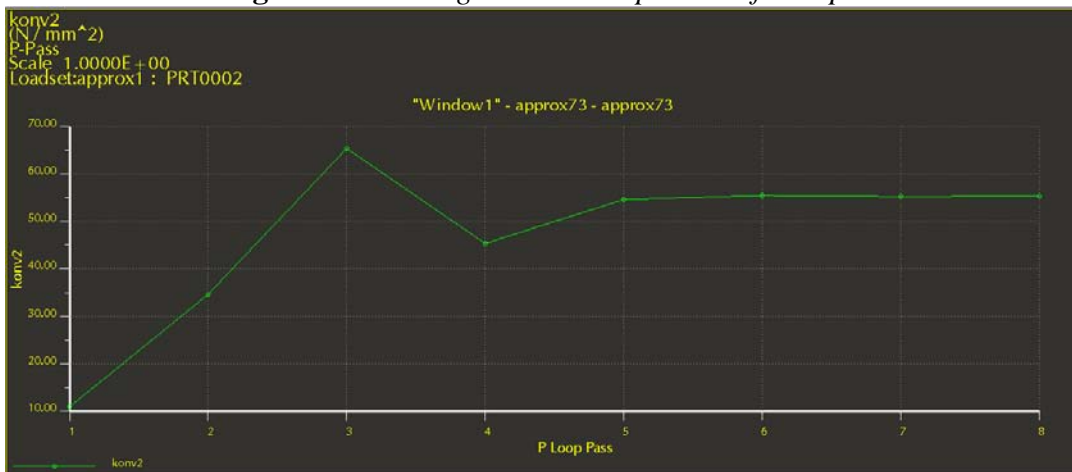
Figur 6.11 Max von Misesstress konvergerar ej



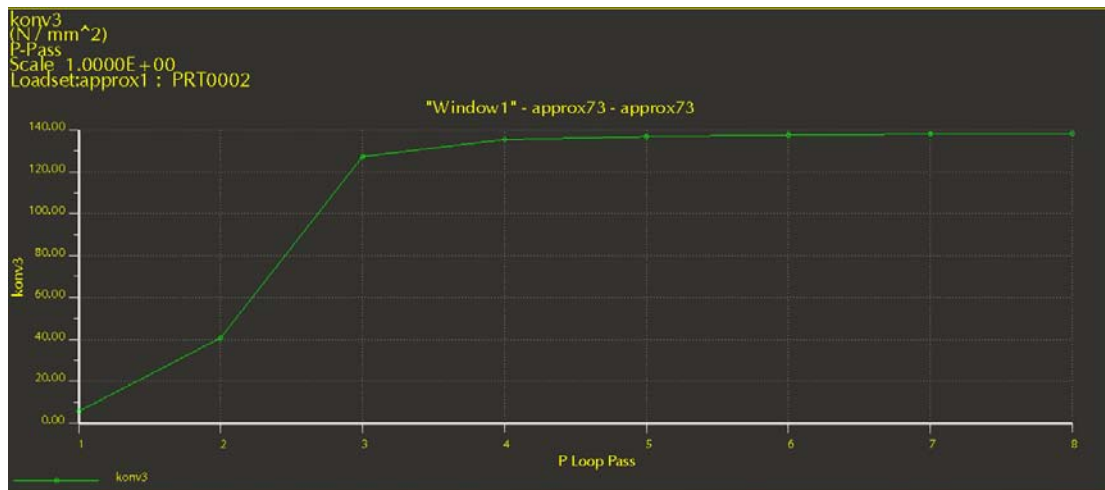
Figur 6.12 Måtpunkter för konvergens



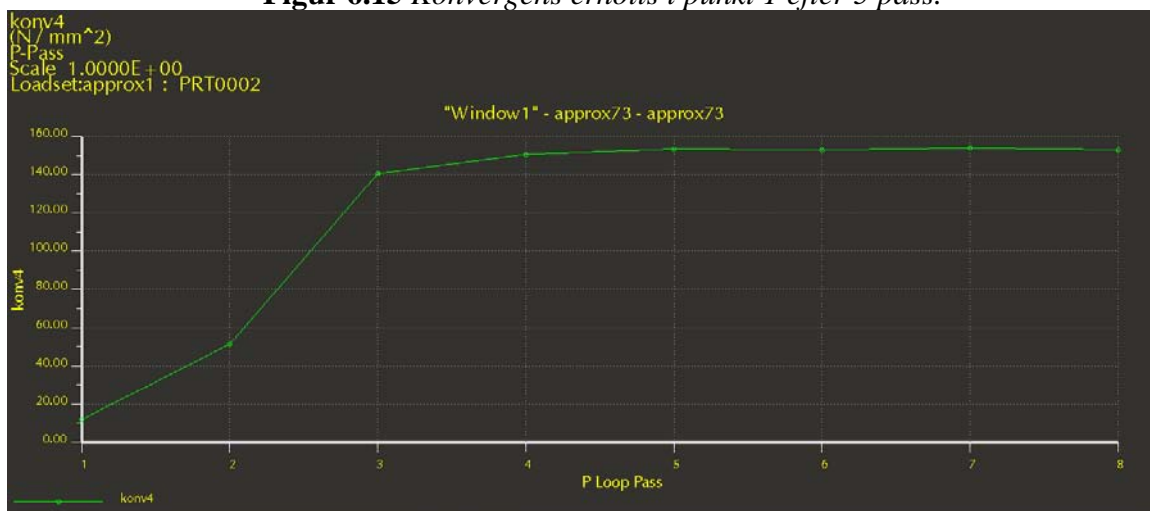
Figur 6.13 Konvergens erhålls i punkt 1 efter 4 pass.



Figur 6.14 Konvergens erhålls i punkt 1 efter 6 pass.



Figur 6.15 Konvergens erhöills i punkt 1 efter 5 pass.



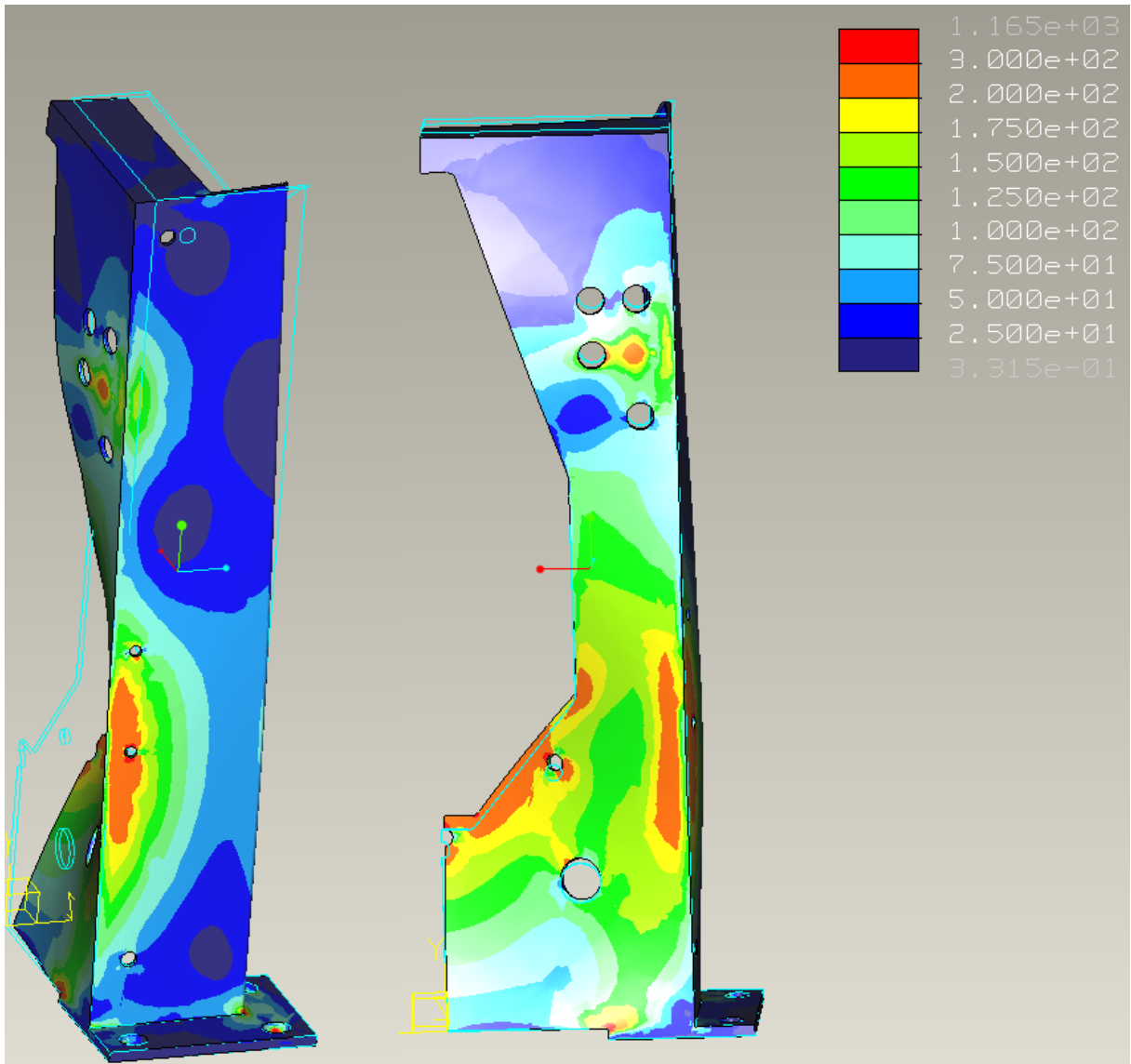
Figur 6.16 Konvergens erhöills i punkt 1 efter 5 pass.

6.2.5 Solidmodell koncentrerad kraft 3

I den här modellen gör vi följande antaganden:

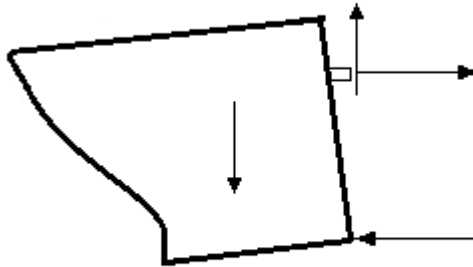
- Ingen förspänning
- All kraft i vertikal tas upp av bulten
- Normalkraften F2 består av en jämnt utbredd last

Samma som approximationen i kapitel 6.2.2 men den vertikala kraften tas helt upp av bulten. Resultande spänningar visas i figur 6.17. Ingen större skillnad kan ses, vilket tyder på att den vertikala kraftens fördelning är av mindre betydelse jämfört med de horisontella. Den utmäta utböjningen blev även här 1 mm.



Figur 6.17 Områden i orange har von Misesspänningar mellan 200 och 300 MPa.

6.2.6 Solidmodell vid dåligt fastsatt bult



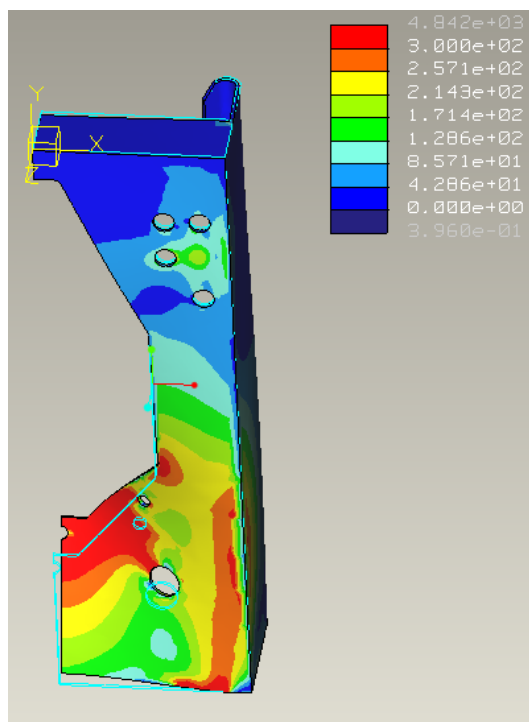
Figur 6.18 Kraftfördelning. Den nedre kanten tänks angripa längs en linje.

- Ingen förspänning
- All kraft i vertikalled tas upp av bulten
- Normalkraften F_2 består av en kraft koncentrerad till en liten yta på nedre delen av toaletten

Vi använder här randvillkoret utan fötter.

Detta lastfall motsvarar en dåligt fastsatt bult. Här gäller att $L_2 = 260$ mm, vilket innebär att $F_1 = F_2 = 2800$ N.

Som väntat fås här lokalt mycket höga spänningar i nedre delen av fixturen, i området där lasten appliceras. Detta är inte bra modell för vårt lastfall utan är ett extremfall.



Figur 6.19 Områden i rött har von Misesspänningar över 300 MPa.

6.3 Diskussion

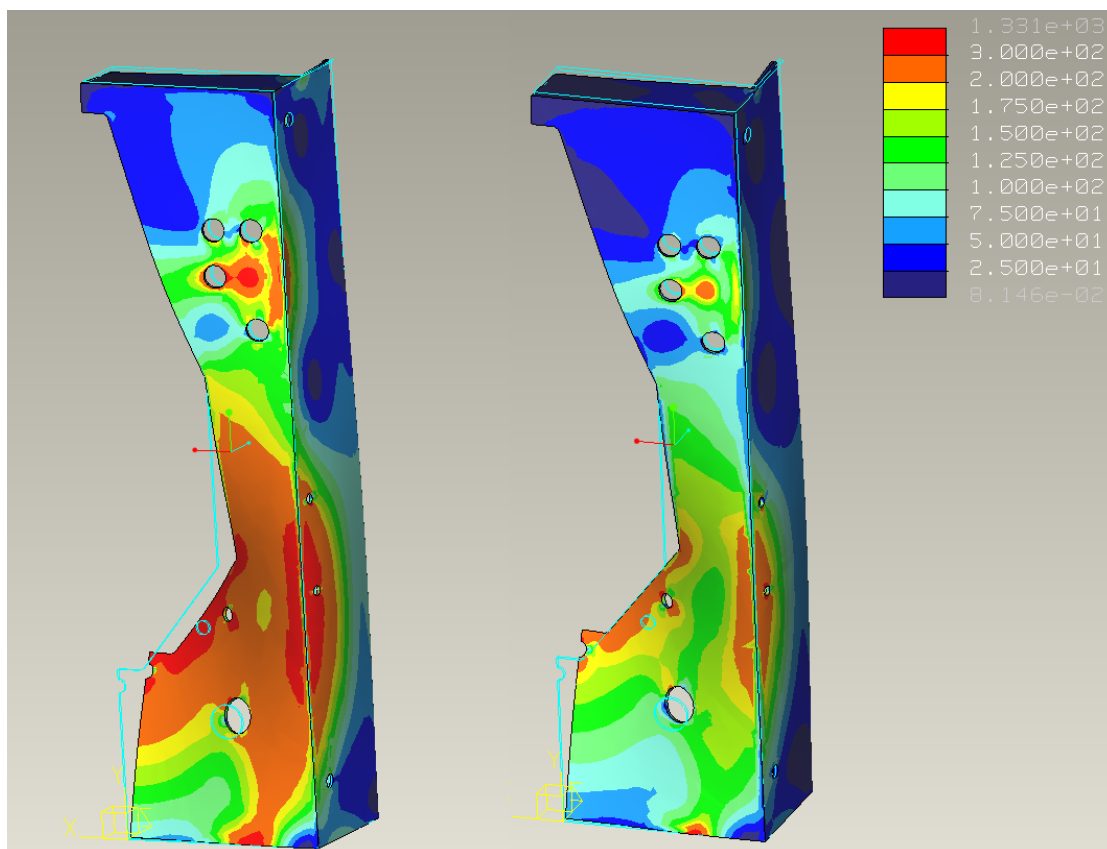
Modellerna har genomgående för små deformationer och för stora spänningar. I appendix 1 görs en solidmodell där även ramen ingår för att överföra kraft. Även här blir deformationerna för små, vilket antyder att skillnaden mellan analys och experiment kommer från randvillkoren.

Vi vet att analysen överdriver spänningarna, men det är svårt att avgöra hur mycket. Att göra mer korrekta randvillkor skulle vara komplicerat. Dock kan analyserna trots sina brister ge en bild av den relativa försvagningen av att gå över till tunnare plåt. Vi fortsätter därför i kapitel 7 med att titta på denna.

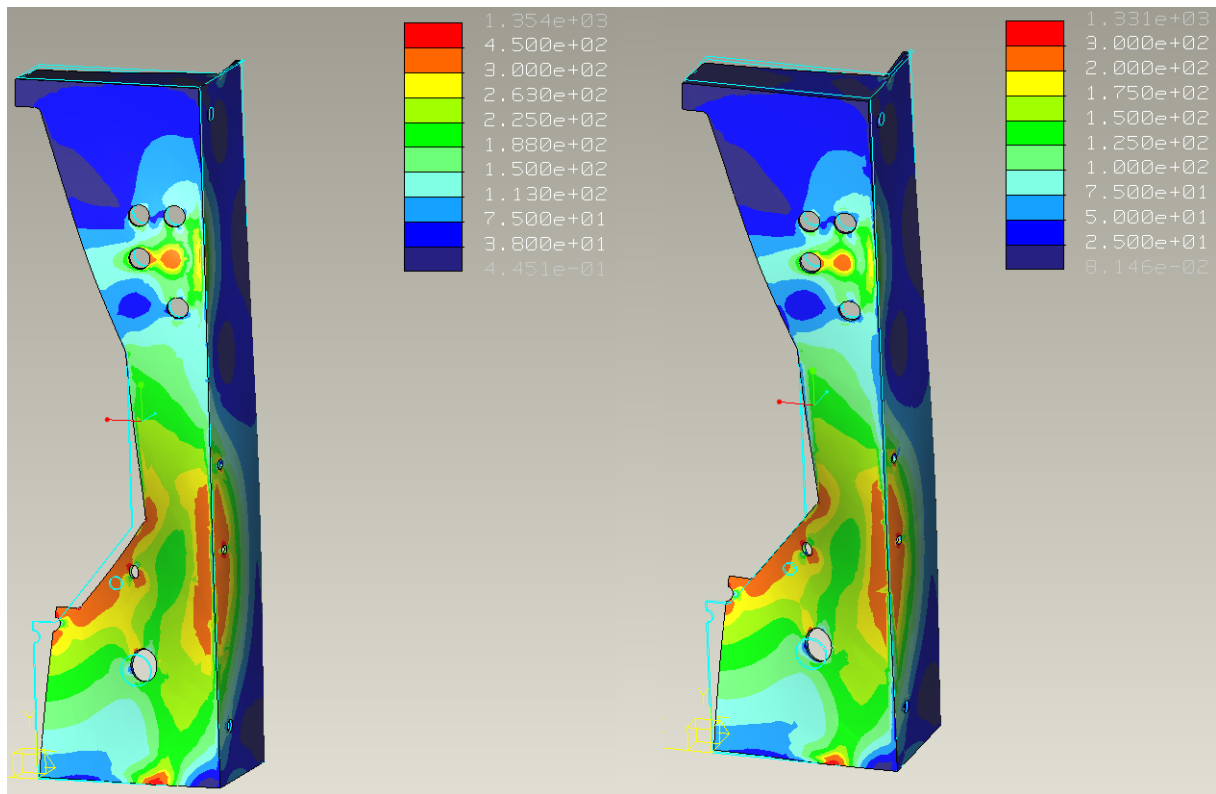
7 JÄMFÖRELSE MED TUNNARE KONSTRUKTION

Figur 7.1 visar en jämförelse mellan till vänster nuvarande konstruktion och till höger en med en tunnare plåttjocklek, med modellen som användes i kapitel 6.2.4 ovan. Analysen visar på en avsevärd försvagning.

Spänningarna verkar skalas upp med cirka 50 % med den tunnare konstruktionen. Se figur 7.2 där spänningarna på den tunnare modellen skalats ner med en faktor 1,5. Detta samband gäller även för andra laster med denna modell. Om man grovt tänker sig fixturen som en balk under böjning innebär den tunnare plåttjockleken en sänkning av böjstyhets med cirka 35 %, att jämföra med 25 % från balkmodellen.

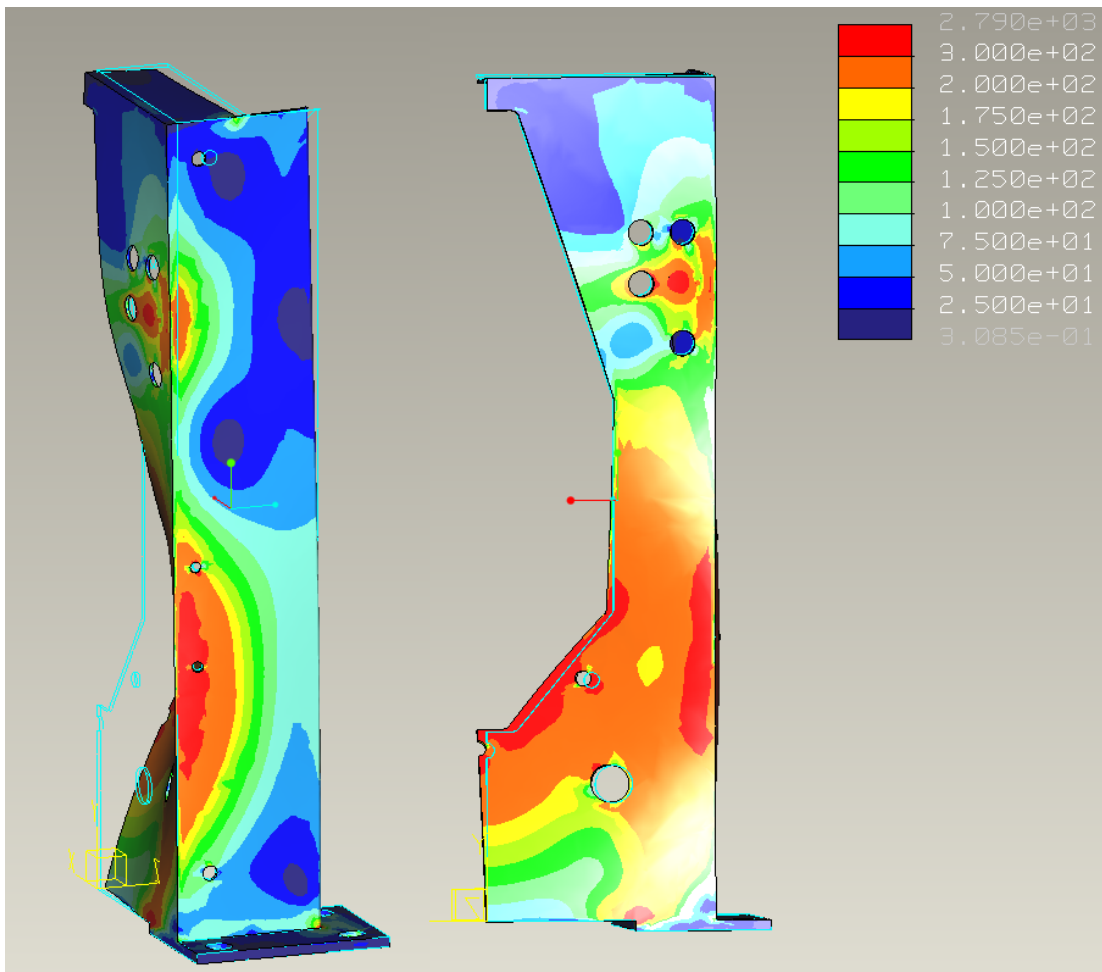


Figur 7.1 Spänningsfördelning på t. v. lättare konstruktion, t. h. nuvarande. Områden i orange har ν M-spänningar mellan 200 MPa och 300 MPa, områden i rött har ν M-spänningar över 300 MPa.

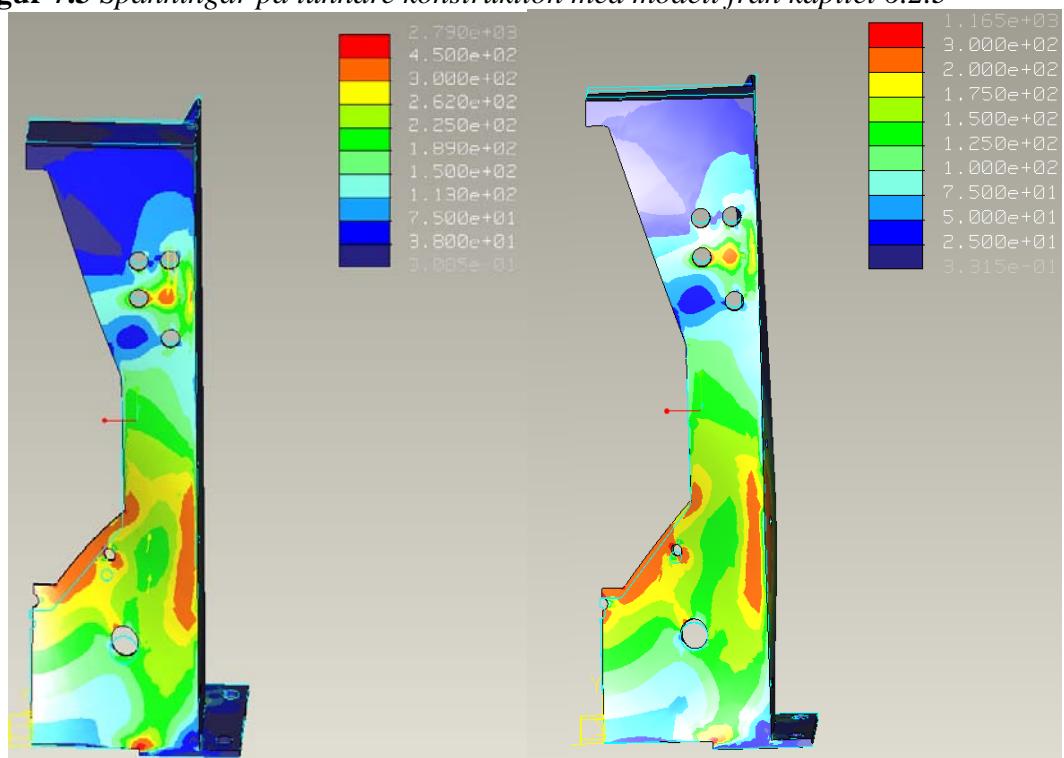


Figur 7.2 Spänningsfördelning på t. v. lättare konstruktion, t. h. nuvarande.

Den tunnare konstruktionen analyserades även utifrån modellen i kapitel 6.2.3. Analysen visar på betydligt ökande spänningar, se figur 7.3, i jämförelse med nuvarande konstruktion, figur 6.9. Jämfört med den ökar spänningarna även här globalt med cirka 50 %. I figur 7.4 har spänningarna i den tunnare modellen igen skalats ner med 1,5 och vi ser ungefär samma spänningsbild som i figur 7.2.



Figur 7.3 Spänningar på tunnare konstruktion med modell från kapitel 6.2.3



Figur 7.4 Spänningsfördelning på t. v. lättare konstruktion, t. h. nuvarande, med olika skalning på spänningar.

SLUTSATS

De numeriska analyserna tenderar att, i jämförelse med lastprovet, överskatta spänningar och underskatta deformationer. Fixturens styvhet har antagligen överdrivits i modellen. Den största felkällan är troligtvis randvillkoren. Modellen kan dock ge en fingervisning om den relativa försvagningen om en tunnare plåttjocklek används.

Både balkmodellen och solidmodellerna verkar antyda en relativ försvagning av cirka 30 %, vilket innebär att fixturen med tunnare plåttjocklek bör hålla för brott upp till 400 kg, det vill säga dubbla belastningen som fixturen bör hålla mot plasticering. Vi får med andra ord en säkerhetsfaktor mot plasticering mindre än två.

Det finns dock stål med mycket högre sträckgräns. Med ett sådant är det fullt möjligt att få en bättre säkerhetsfaktor och en fullgod hållfasthet även med lägre plåttjocklek.

Det kan inte med säkerhet uteslutas att fixturen lokalt plasticerar i små områden vid lastfallet 200 kg. Plasticeringen är dock inte stor nog för att kunna mätas vid praktiska prov, men under längre tid kan konstruktionen successivt försvagas. Det är dock vid ett extremt lastfall, utan stöd från en vägg och vid en belastning som nästan aldrig uppstår.

För att med säkerhet klara detta krav är det dock inte rekommendabelt att sänka plåttjockleken med nuvarande material.

REFERENSER

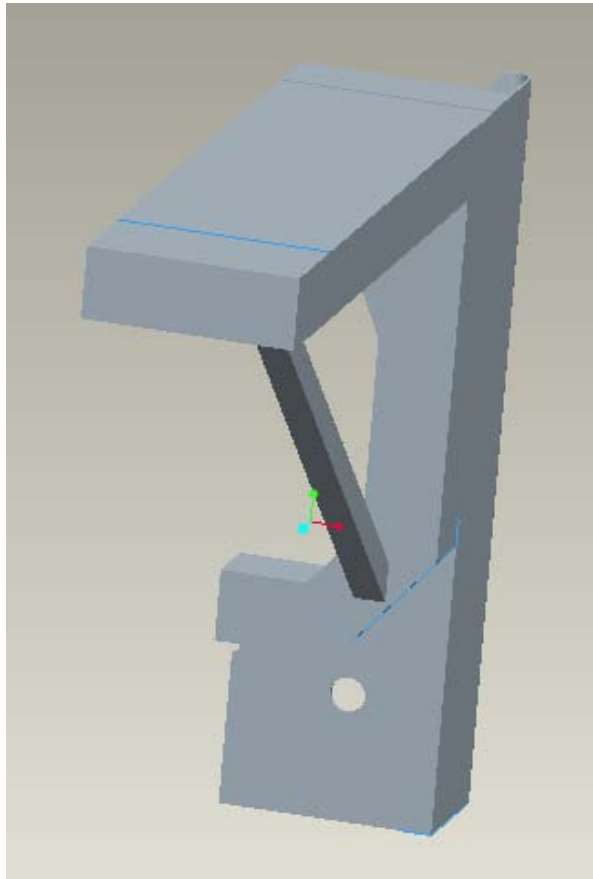
[1] Tibnor Tunnpått. Produktionsanpassning och materialval. http://www.nilabmora.se/wk_custom/documents/%7B5e0e97b9-0698-4205-9f9e-57777326f7a3%7D_tekniska_broschyren.pdf (Acc 2010-11-01)

[2] Ugural A.C, Fenster: Advanced strength and applied elasticity, Pearson Education, ISBN 0-13-047392-8. , 2003. Se speciellt kapitel 4.7.

[3] Forsman, Daniel: Avancerad konstruktion med Pro/ENGINEER och Pro/MECHANICA Wildfire 2.0, Studentlitteratur, ISBN 91-44-03874-7 , 2005

Appendix 1 – Solidmodell fixtur + ram

Modellen verkar få allt för höga spänningar och för låga deformationer, jämfört med praktiken. För att kontrollera var felet kan tänkas ligga görs här en modell där även ställningen som användes i det praktiska provet med, och det hela modelleras som en solid, se figur A.1. Värt att notera är att ställningen här beter sig som om den vore fastsvetsad i fixturen. Kraften appliceras som en linjelast på den blå linjen, med en hävarm på 330 mm.

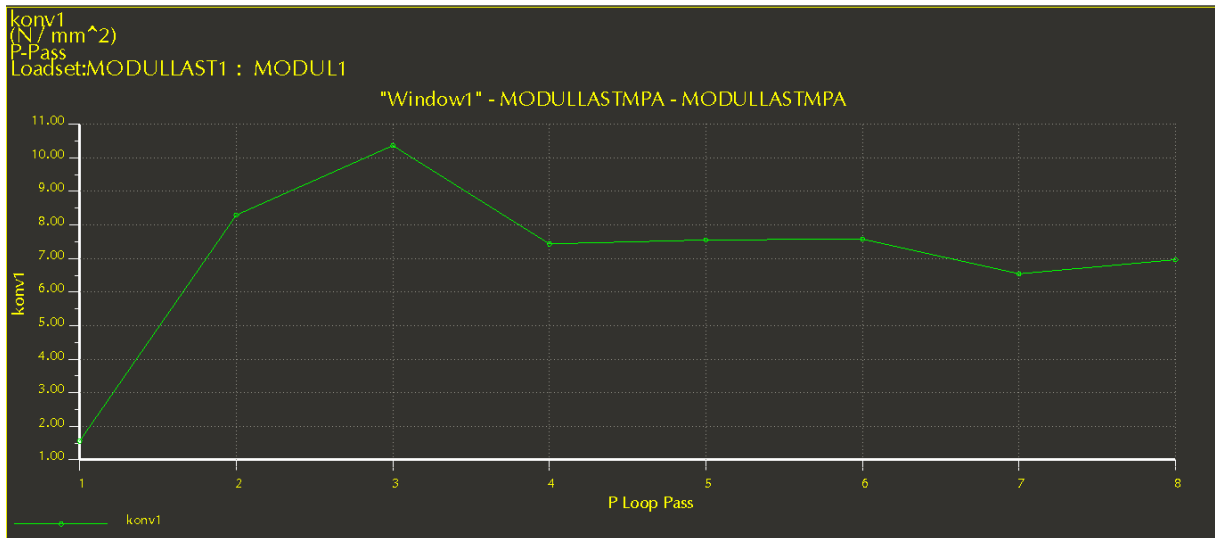


Figur A.1 *Fixturen med ställning*

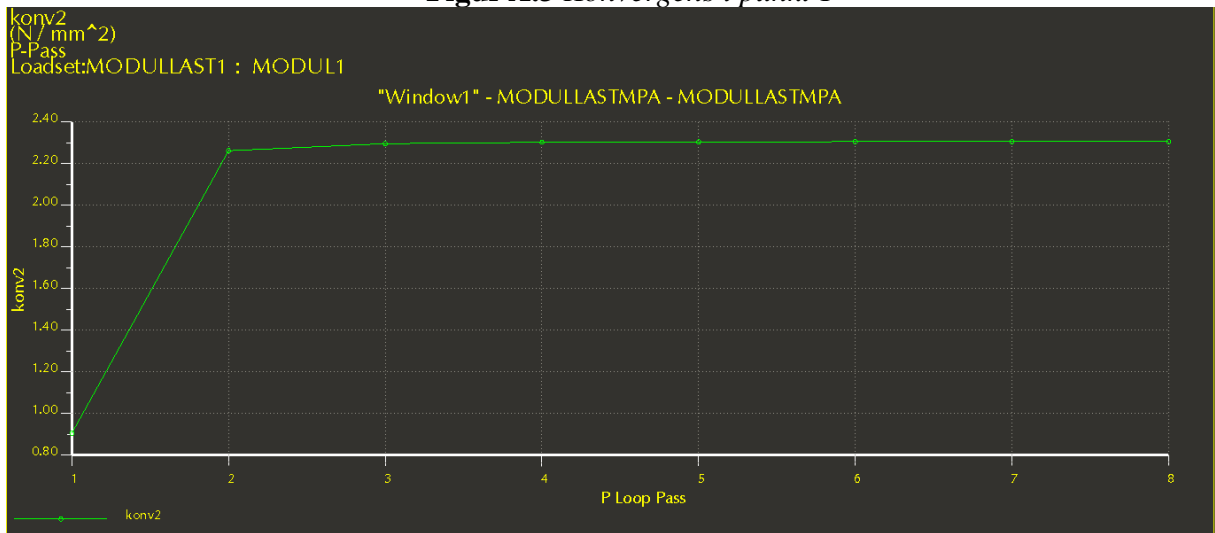
Även här fås en utböjning i ovankant på omkring 0,4 mm. Diskrepansen i denna utböjning gentemot vad som uppmätts i praktiken kan därmed troligen härledas till problem med för styva randvillkor och inte i en felaktig modellering av kraftfördelning.

Spänningarna blev överlag är mycket lägre i den här modellen. Detta beror på att modellering av hela systemet som en solid gör att lasterna på fixturen får en jämnare fördelning. Exempelvis bucklas inte figuren lika mycket i jämförelse med figur X.

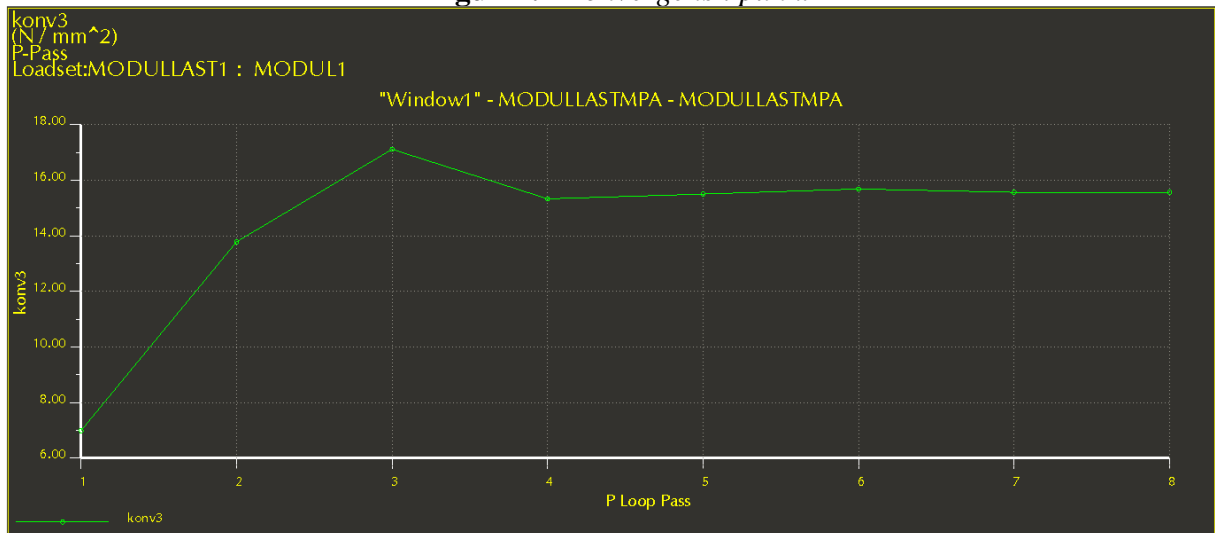
Konvergens i punkterna från figur 7.9 erhöles efter cirka 7 pass för denna modell. Se figur A.1-5.



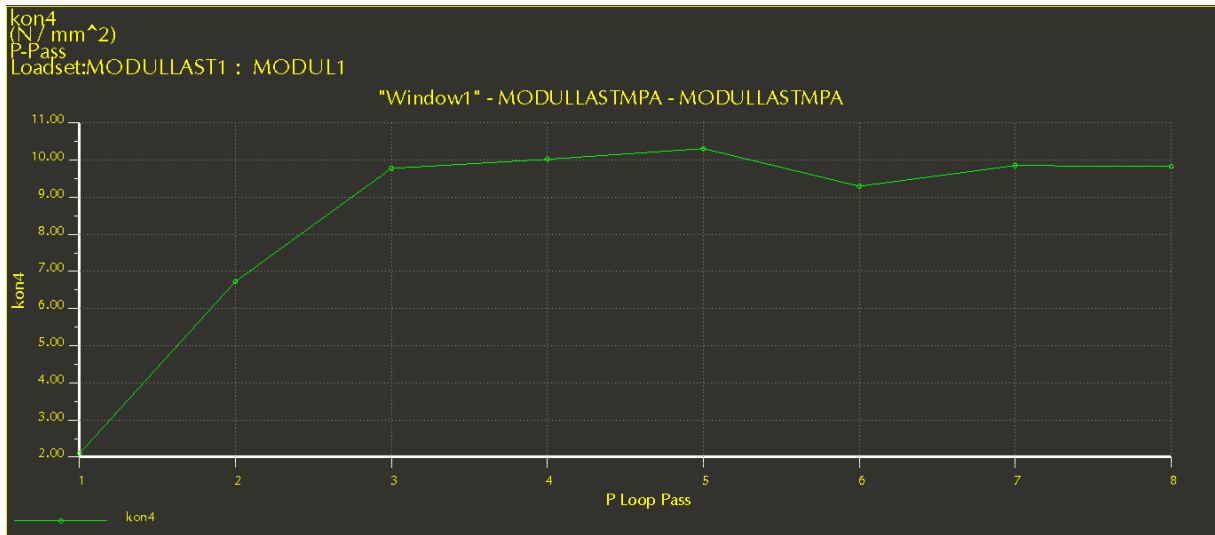
Figur A.3 Konvergens i punkt 1



Figur A.4 Konvergens i punkt 2



Figur A.5 Konvergens i punkt 3



Figur A.2 *Konvergens i punkt 4*