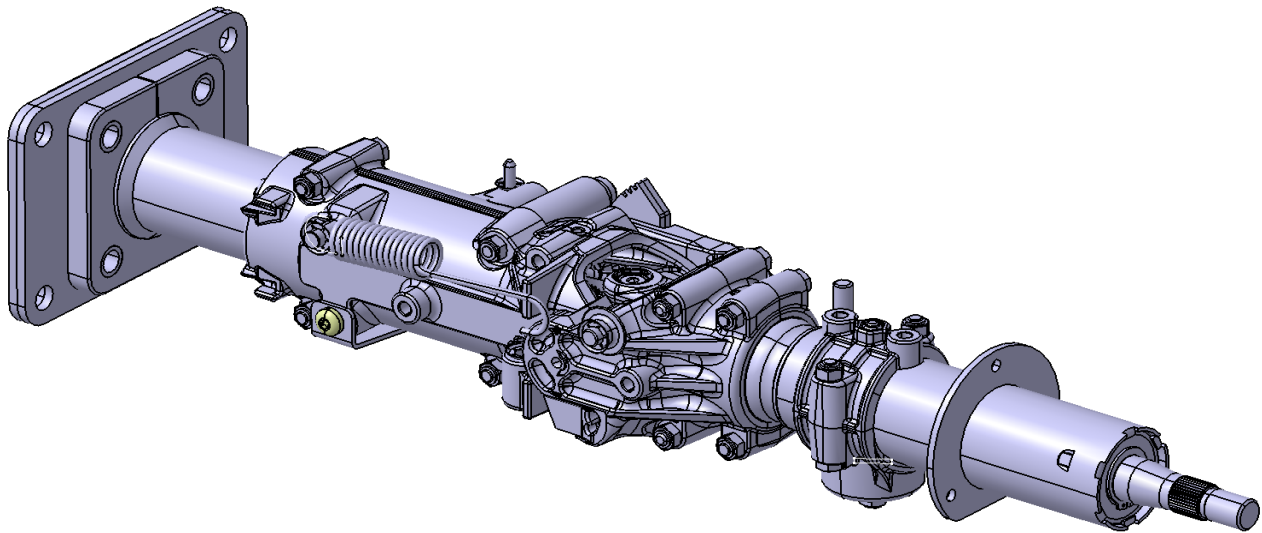


CHALMERS



Analys av hållfastheten i en styrkolonnsprototyp Strength analysis of a steering column prototype

**Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom
Maskiningenjörsprogrammet**

**JONATAN CONRADSSON
ROBIN PERSSON**

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
Avdelningen för Avancerad oförstörande provning
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2012
Examinator: Gert Persson Examensarbete No. 06/2012

FÖRORD

Vi som genomfört detta examensarbete heter Robin Persson och Jonatan Conradsson. I och med detta arbete avslutas våra studier på maskiningenjörsprogrammet med inriktning konstruktion vid Chalmers tekniska högskola. Utbildningen består av 180 högskolepoäng varav detta examensarbete innefattar 15 av dem.

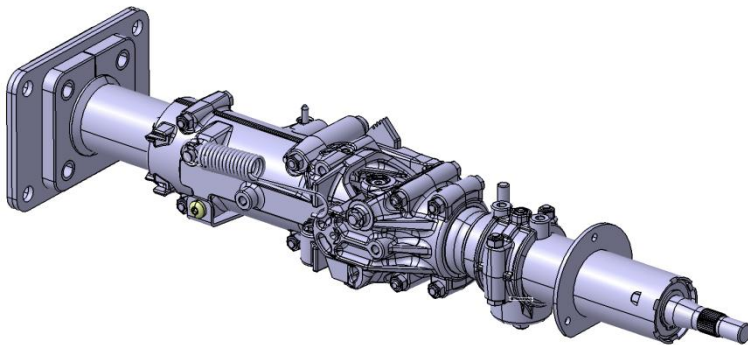
När undertecknade kontaktade företaget Kongsberg Automotive fanns det ett ömsesidigt intresse av att genomföra ett givande samarbete. Uppgiften utformades till en analys för att bidra till företagets fortsatta utveckling av produkten. Vi såg möjligheter i uppgiften att få värdefulla erfarenheter av ingenjörsarbete och fordonsbranschen.

Vi vill rikta ett tack till Gunnar Eriksson och Tobias Olsson som varit våra handledare på Kongsberg Automotive i Ljungsarp. Era erfarenheter har guidat oss i rätt riktning genom projektet.

Tack går också till examinator och handledare Gert Persson på Chalmers. Dina råd i samband med FEM-arbetet har varit en stor tillgång.

SAMMANFATTNING

Kongsberg Automotive (KA) är ett företag som levererar komponenter och produkter till fordonsindustrin. En del i KA:s verksamhet är inriktad på styrkolonner till industriella fordon. Den för uppdraget aktuella styrkolonnen är en ny modell som är i prototypstadiet. Uppdraget innefattade att undersöka och utvärdera prototypens hållfasthet genom FE-modellering. Prototypen har funktioner för att ändra rattens position i form av teleskopförlängning och vinkling, s.k. tiltning, i styrkolonnens mittpunkt. Dessa två funktioner ger fyra olika utföranden då funktionerna befinner sig i inner- respektive ytterläge. Detta uppdrag innefattar att undersöka hållfastheten vid dessa fyra utföranden för att motsvara samtliga möjliga utföranden.



Styrkolonnensprototypen

Enligt kravspecifikation ska styrkolonnen klara av flera moment, ett i bottenplattorna vid infästningen och ett i mitten vid tiltpunkten. Utifrån de två momentvärdena beräknades ansättningskrafter som genererar de böjande momenten varav den största av dem blir dimensionerande. Med en FE-modell simulerades den dimensionerande belastningen och följande uppstådda spänningskoncentrationer i styrkolonnen. Rimlighetsanalys ledde till att två resulterande spänningar anses orimligt höga som följd av modellfel. Övriga resulterande effektivspänningar anses rimliga och jämförs direkt med sträckgränsen för den aktuella delens material. De för uppgiften viktigaste resultaten är de som uppgår högre än sträckgränsen och visas nedan i tabell.

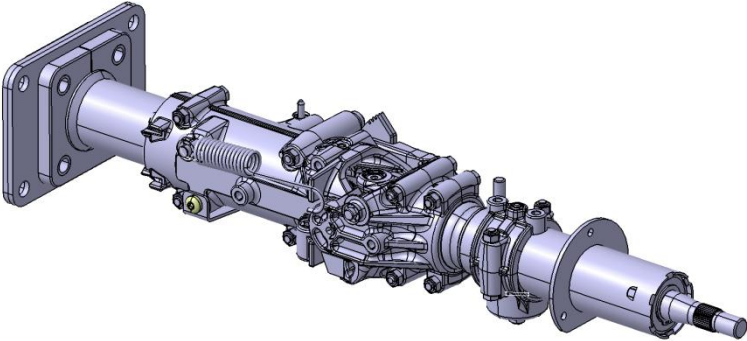
Tabell med de områden där spänningen uppgår högre än sträckgränsen

Område	Maximal effektivspänning, σ_{vM} [MPa]	Material, Sträckgräns, σ_s [MPa]	σ_{vM}/σ_s
Skänkeltapp	295	Al, 140	2,11
Bottenplattor	676	Fe, 355	1,90
Skänkelansats	245	Al, 140	1,75
Infästning av tandlåsning till skänkel	227	Al, 140	1,62
Nedre aluminiumhus	176	Al, 140	1,26
Nedre spårstopp	425	Fe, 355	1,20

Som man kan se i tabellen ovan så är det sex områden i konstruktionen som enligt resultaten inte håller eftersom dess kvot mellan effektivspänning och sträckgräns övergår ett. Förslagsvis borde utformningen av dessa områden förändras.

SUMMARY

Kongsberg Automotive (KA) is manufacturer of components and products for the vehicle industry. One area of KA’s business is developing and manufacturing of steering columns customized for industrial vehicles. This project analyzed and evaluated the strength of a steering column prototype by FE modeling. The prototype is designed with the ability to lengthen and tilt the upper half of it. Those two abilities and their end positions combine for four different models. This project focused on evaluating the strength of these four models.



The steering column prototype

According to the load case specifications the steering column shall resist two bending moments, one around the foot bracket and another in the tilt point. The applied forces that correlate with the two bending moments were calculated. The larger of the two was applied in the FE model which then was used in computing the effective stresses in the steering column. A probability analysis of the stresses implied that two of them were unreasonable as a result of an error within the FE model. The rest of the stresses were found reasonable and were compared to the yield strength of the current material. The most important results of the project are the stresses which exceed the yield strength and are shown in the table below.

Table with the areas where the stresses exceed the yield strength

Area	Maximum effective stress, σ_{vM} [MPa]	Material, Yield strength, σ_s [MPa]	σ_{vM}/σ_s
Pivot at shank	295	Al, 140	2,11
Foot brackets	676	Fe, 355	1,90
Chamfer at shank	245	Al, 140	1,75
Attachment of tilt locking device	227	Al, 140	1,62
Lower aluminum housing	176	Al, 140	1,26
Lower end stop of slot	425	Fe, 355	1,20

As you can see in the table above there are six different areas in the design that according to the results do not resist the applied loads. This is clear since the ratio between the effective stress and the yield strength is bigger than one. The design of these areas should therefore be modified.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Precisering av frågeställning	1
2 VERKTYG	2
3 METOD	3
3.1 Modellen	3
3.2 Beräkning	3
3.2.1 Ansättningskraft	3
3.2.2 Utböjning	3
3.3 Finita elementmetoden	4
3.3.1 Kontaktvillkor	4
3.3.2 Elementindelning	4
3.3.3 Simulering	4
3.4 Metod för resultat	5
3.5 Förändringsförslag	5
4 RESULTAT	6
4.1 Beräkning	6
4.1.1 Erfordrad ansättningskraft	6
4.1.2 Utböjning	8
4.2 Finita elementmetoden	9
4.2.1 Prototypen	9
4.2.2 Nya modellen	9
4.2.3 Kontaktvillkor	10
4.2.4 Ansättningskraft	10
4.3 Belastningsfall	11
4.3.1 X-riktning	12
4.3.1.1 Övre stålrörsansats	13
4.3.1.2 Skänkelansats	14
4.3.1.3 Nedre spårstopp	15
4.3.1.4 Skänkeltapp	16
4.3.1.5 Bottenplattor	17
4.3.1.6 Nedre stålrör	18
4.3.1.7 Infästning av tandlåsning till skänkel	19

4.3.1.8 Nedre aluminiumhus	20
4.3.1.9 Ansats nedre aluminiumhus	21
4.3.2 Y-riktning	22
4.3.2.1 Stålrörsansats.....	23
4.3.2.2 Nedre spårstopp.....	24
4.3.2.3 Skänkeltapp	25
4.3.2.4 Övre spårstopp.....	26
4.3.2.5 Bottenplattorna	27
4.3.2.6 Nedre stålrör	28
4.3.2.7 Ansats nedre aluminiumhus	29
4.3.3 Z-riktning	30
5 SLUTSATS	32
5.1 Spänningskoncentrationer vid x- och y-riktad belastning.....	32
5.1.1 Nedre stålrörsansats.....	32
5.1.2 Skänkelansats	32
5.1.3 Nedre och övre spårstopp	33
5.1.4 Skänkeltapp	34
5.1.5 Bottenplattorna	34
5.1.6 Nedre stålrör	35
5.1.7 Infästning av tandlåsning till skänkel.....	36
5.1.8 Nedre aluminiumhus	37
5.1.9 Ansats nedre aluminiumhus	37
5.2 Spänningskoncentration vid z-riktad belastning	38
5.3 Utböjning.....	39
5.4 Förändringsförslag	40
5.4.1 Skänkelansats	40
5.4.2 Nedre och övre spårstopp.....	40
5.4.3 Skänkeltapp	41
5.4.4 Bottenplattorna	41
5.4.5 Infästning av tandlåsnigen till skänkel	41
5.4.6 Nedre aluminiumhus	42
5.5 Besvarande av frågeställning.....	43
REFERENSER.....	44
BILAGOR	

1 INLEDNING

Nedan beskrivs inledningen av rapporten innehållande bakgrund, syfte, avgränsning och precisering av vilka frågor som skall besvaras.

1.1 Bakgrund

Kongsberg Automotive (KA) är ett företag som levererar komponenter och produkter till fordonsindustrin. Examensarbetet utförs i samarbete med en del av KA som tillverkar justerbara styrkolonner för off-highway fordon. En styrkolonn är huset för styrstången som går från ratt till servo och KA utvecklar och tillverkar dessa med justerbara funktioner för höjd samt vinkel, det vill säga tilt. I detta skede utvecklar KA en ny styrkolonn som är i prototypstadiet. Hållfastheten i denna produkt är i nuläget inte helt säkerställd mot de krav som finns se bilaga 1, detta är av yttersta vikt eftersom styrningen är en vital funktion ur säkerhetssynpunkt. Med kunskaper om var det uppstår spänningar i styrkolonnen kan prototypens hållfasthet förbättras innan den sätts i produktion.

1.2 Syfte

Syftet med uppdraget är att undersöka och utvärdera prototypens hållfasthet mot nedan givna lastfall, genom handberäkning och FE-modellering. Handberäkningar och datorstödda simuleringar ska leda till resultat vars trovärdighet skall diskuteras. Samtliga detaljer på prototypen ska klara av de krav som finns specificerade. Resultat som visar att konstruktionen inte klarar kraven ska kompletteras med förändringsförslag på hur man kan förbättra hållfastheten.

1.3 Avgränsningar

KA tillhandahåller en CAD-modell för prototypen. I arbetet undersöks prototypens befintliga hållfasthet genom FE-modellering. Om resultaten tyder på att konstruktionen inte håller enligt kraven innefattar inte uppdraget omkonstruktion, utan en diskussion kring förändringsförslag. Arbetet behandlar de statiska belastningar som anges i bilaga 1 med lastfall 4.1, 4.6 och 4.8.

1.4 Precisering av frågeställning

Arbetet ska resultera i att nedanstående frågor kan besvaras.

- Håller prototypen, med aktuella dimensioner, för de laster som beskrivs i bifogad kravspecifikation?
- Var uppstår de största effektiva spänningarna?
- Vilken typ av förändring i konstruktionen minskar de största spänningarna?
- Vilken maximala längd kan styrkolonnen ha och klara befintliga krav?

2 VERKTYG

CAD-verktyget Catia V5 används genomgående i hela arbetet. Produkten som arbetet behandlar består av flera delar vilket kallas en assembly. Eftersom uppgiften främst innefattar analys av hållfasthet så används också Catia V5:s delprogram GAS (Generative Assembly Structural) Analysis. Delprogrammet GAS Analysis använder Finita elementmetoden (FEM) för att omvandla assemblyn till en Finit elementmodell (FE-modell). GAS Analysis kan då simulera ett belastningsfall och beräkna olika storheter för samtliga element i modellen.

3 METOD

Arbetet har fortgått enligt beskrivningen i detta kapitel.

3.1 Modellen

Prototypen som KA konstruerat är en assembly som består av 65 parter. För de lastfall som ska undersökas påverkar inte alla delar hållfastheten märkbart. Därför kan många delar uteslutas ur modellen, antingen för att delarna inte har någon direkt inverkan eller för att det är lättare att simulera delarnas funktioner. En ny assembly sätts ihop med dessa delar för att användas som simuleringsmodell. Med tanke på att det är hållfastheten i prototypen som ska undersökas så är det viktigt att den nya modellen är lika eller mindre hållfast som den ursprungliga prototypen, detta för att ge ett konservativt resultat.

3.2 Beräkning

Inledningsvis beräknas de erforderade ansättningskrafterna.

3.2.1 Ansättningskraft

Enligt kravspecifikation från KA ska prototypen klara av böjande moment i flera angreppspunkter. Kraften ansätts i styrkolonnens topp där ratten monteras, utifrån denna beräknas momentet och hävarmen. Styrkolonnen kan förlängas och tiltas samt kravspecifikationen innehåller flera krav och därför kommer den erforderade ansättningskraften att variera. Denna beräknas genom programmering i Matlab för att returnera ansättningskrafter för samtliga belastningsfall.

3.2.2 Utböjning

Som följd av att ansättningskrafterna har beräknats kan en konservativ beräkning av utböjningen genomföras, konservativ på grund av att vi gör konstruktionen mindre hållfast i våra förenklingar. Genom att dela in den nya modellen i sektioner och approximera varje sektionens yttre moment beroende på tvärsnitt så kan utböjning beräknas med balkteori. Beräkningen genomförs för ett belastningsfall med syftet att jämföra resultatet från Matlab med resultatet från motsvarande FE-modell.

3.3 Finita elementmetoden

Den nya modellen förbereds med villkor för att sedan användas vid simulering av konstruktionens hållfasthet vid de olika belastningsfallen.

3.3.1 Kontaktvillkor

Innan simulering kan genomföras måste delarna tilldelas villkor för hur de ska reagera i förhållande till rummet och/eller varandra. Varje dels funktion avgör om den ska tilldelas ett villkor gentemot rummet eller en annan del. För att definiera hur två delar ska förhålla sig till varandra så är det deras kontaktytor som tilldelas villkor. Vissa delar som fyller en viktig funktion i prototypen finns inte med i den nya modellen, deras funktioner simuleras istället av villkor. För att avgöra vilka villkor som är relevanta genomförs tester med de villkoren som finns i Catias utbud. Resultaten avgör om det testade villkoret medför den funktion som delen fyller i verkligheten. Trots att tester visar på att ett villkor inte medför önskad funktion så kan det ändå användas i vissa fall. Det är acceptabelt om det felaktiga villkoret endast påverkar spänningsfältet lokalt.

3.3.2 Elementindelning

Inför simulering delas samtliga delar in i mindre element, formade som paraboliska tetraedrar, vilket utgör modellens mesh. Dess storlek bestäms beroende på hur noggrann simulering man vill göra. Till en början genereras en förhållandevis grov mesh, för att vid senare tillfälle förfina meshen vid intressanta områden.

3.3.3 Simulering

Efter modellens mesh genererats kan belastningsfallet simuleras. Datorn beräknar spänning och deformation för samtliga element i modellen. När resultat från en första simulering undersöks upptäcks det att resultaten inte blir tillräckligt noggranna. För att öka resultatens noggrannhet måste elementstorleken minskas i de intressanta områdena. Genom att markera de ytor där intressanta resultat upptäckts så kan meshen förfinas lokalt vid dessa. Detta ger ett noggrannare resultat än tidigare då grövre element använts.

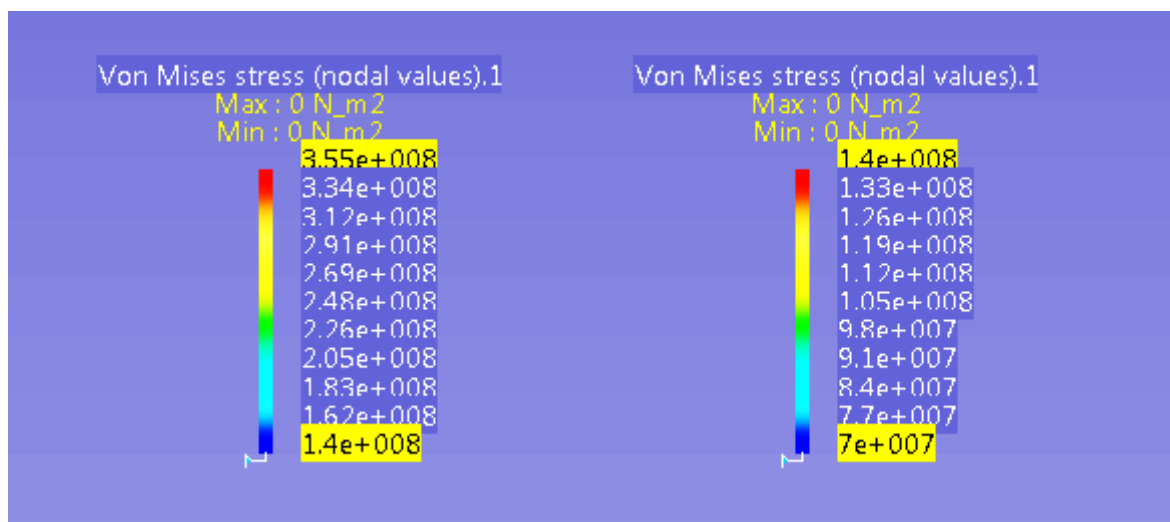
För att bekräfta att meshen förfinats tillräckligt och medfört trovärdiga resultat undersöks det om spänningen konvergerat. Den högsta spänningen i de intressanta områdena vid varje simulering dokumenteras för att jämföras med spänningen från simuleringen innan. Om spänningen blir ungefär densamma efter att mindre element har genererats så innebär det att resultatet konvergerat.

3.4 Metod för resultat

Spänningsfördelningen undersöks i hela modellen översiktligt för att ge en uppfattning om spänningarna uppkommer på rätt ställen. Utböjningens riktning och storlek undersöks för att se om inlagda villkor medför att modellen translaterar på ett trovärdigt sätt.

Sedan undersöks spänningskoncentrationerna i de intressanta områdena. Ett område betraktas som intressant om spänningen uppgår till värden nära sträckgränsen. Om området består av stora element kan en ökning av spänningen väntas vid minskning av elementstorlek. Därför anses vissa områden med spänningar ner till ungefär 65 % av sträckgränsen vara intressanta områden vid första simuleringen.

När spänningskoncentrationerna visas i form av spänningsbilder används olika färgskalor beroende på vilket material den aktuella delen är gjord av. För stål respektive aluminium används färgskalorna i figur 3.1 och figur 3.2.



Figur 3.1 Stålskala [N/m^2] med max enligt sträckgränsen i materialdatablad se bilaga 8

Figur 3.2 Aluminiumskala [N/m^2] med max enligt sträckgränsen i materialdatablad se bilaga 9

Eftersom samma arbetsgång har följts för fyra olika utföranden undersöks samma intressanta områden vid varje fall. Vid det av de fyra fallen där det uppkommer störst spänning blir dimensionerande.

3.5 Förändringsförslag

Resultat som visar att det uppstår kvarstående deformation uppfyller inte kraven. En diskussion förs angående hur man kan förändra konstruktionen för att förbättra styrkolonnens hållfasthet.

4 RESULTAT

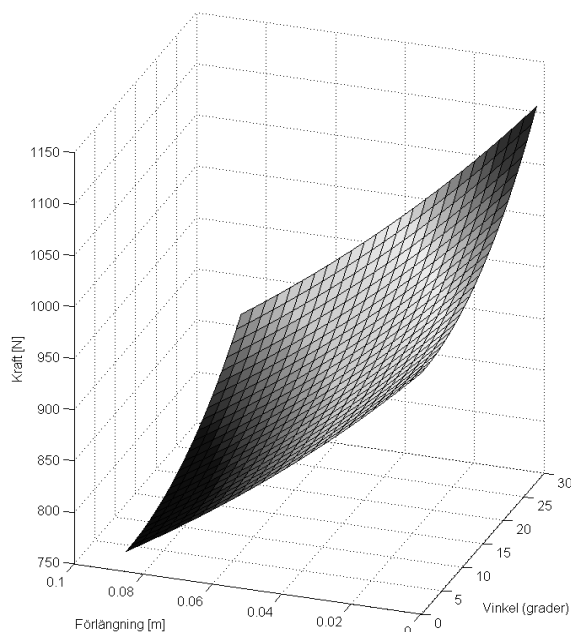
Nedan redovisas samtliga resultat som framkommit av arbetet.

4.1 Beräkning

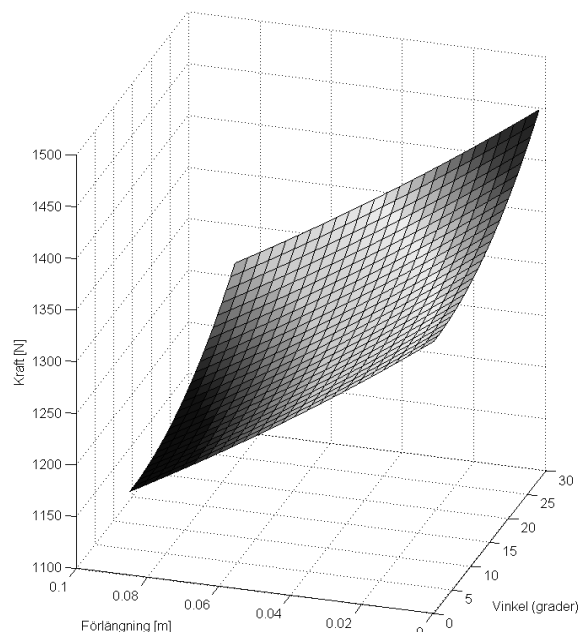
Här följer beräkning av ansättningskraft och sedan också en utböjning.

4.1.1 Erfordrad ansättningskraft

Enligt lastfall 4.1 i bilaga 1 skall styrkolonnen klara av att belastas med ett moment på 350 Nm i tiltpunkten. Enligt lastfall 4.8 i samma bilaga skall styrkolonnen också klara av att belastas med ett moment på 750 Nm i bottenplattorna. Utifrån dessa två krav kan erforderad ansättningskraft beräknas i Matlab enligt kod i bilaga 2. Ansättningskrafterna visas i figur 4.1 och figur 4.2 som funktionsytor av förlängning och tiltvinkel, undantag där hävarmen är annorlunda visas i tabell 4.5.



Figur 4.1 Ansättningskraft som funktion av förlängning och vinkel enligt lastfall 4.1.



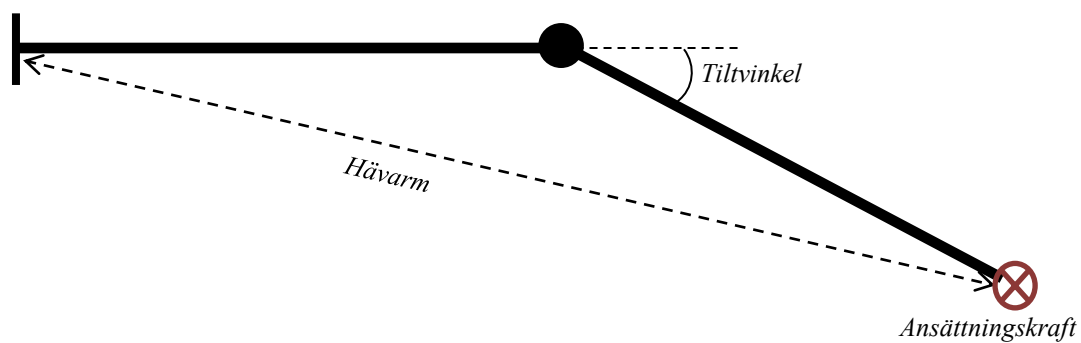
Figur 4.2 Ansättningskraft som funktion av förlängning och vinkel enligt lastfall 4.8.

Eftersom momentkravet för bottenplattorna erfordrar högre ansättningskrafter så blir dessa dimensionerande. Ansättningskrafter för samtliga belastningsfall kan därför avläsas ur funktionsyta i figur 4.2 och visas i tabell 4.3.

Tabell 4.3 Resulterande ansättningskrafter

Belastningsfall	Ansättningskraft
Vinkel: 0°, Förlängning: 0 mm, x- och y-led	1363,1 N
Vinkel: 0°, Förlängning: 85 mm, x- och y-led	1180,7 N
Vinkel: 28°, Förlängning: 0 mm, x-led	1457,6 N
Vinkel: 28°, Förlängning: 85 mm, x-led	1277,8 N

Undantagna funktionsytorna ovan är belastningsfallen med tiltad styrkolonn och y-riktad ansättningskraft. I dessa fall blir hävarmen annorlunda enligt figur 4.4.



Figur 4.4 Hävarm

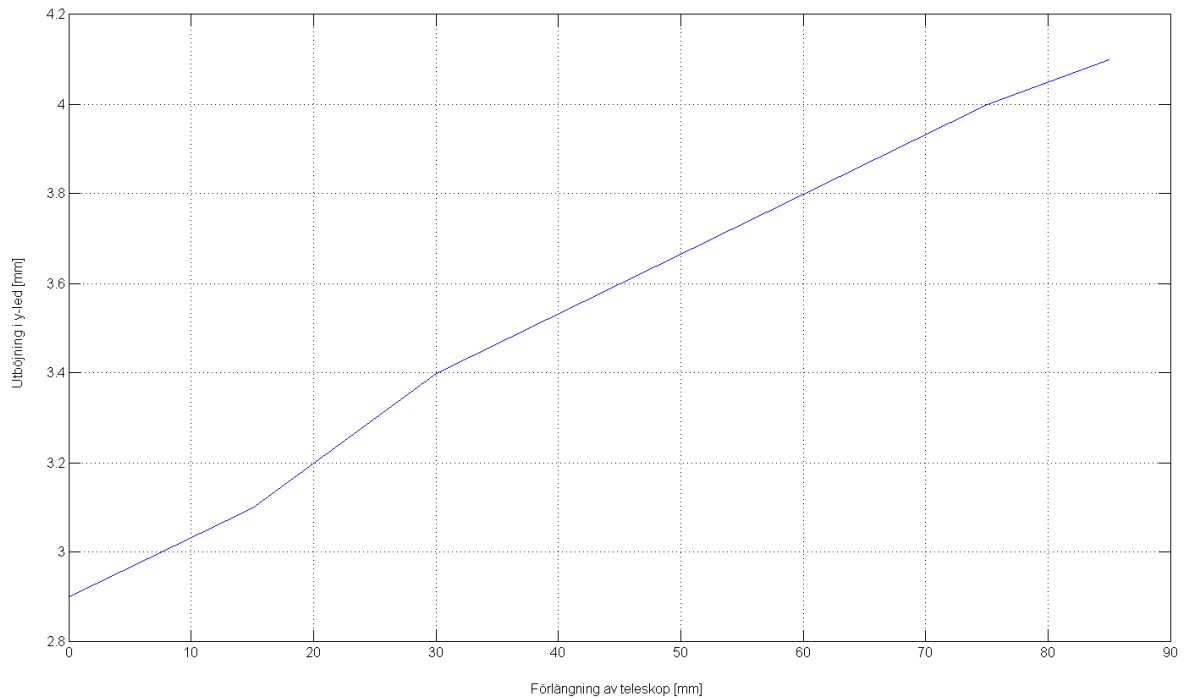
Ansättningskrafterna för dessa fall beräknas i Matlab enligt kod i bilaga 3.

Tabell 4.5 Resultande ansättningskrafter i y-riktning för tiltad styrkolonn

Belastningsfall	Ansättningskraft
Vinkel: 28°, Förlängning: 0 mm, y-led	1404,4 N
Vinkel: 28°, Förlängning: 85 mm, y-led	1214,9 N

4.1.2 Utböjning

För att beräkna en ungefärlig utböjning för belastning i y-led så har konstruktionen delats in i sektioner, vilka visas i bilaga 4. Varje sektionens yttre moment har beräknats för att sedan användas i en grov beräkning av utböjningen. Beräkningarna bygger på elementarfall för balkböjning [1]* och beräknas i Matlab med kod i bilaga 4. Utböjningen visas i figur 4.6 som funktion av förlängningen.



Figur 4.6 Resultande utböjning för handberäkningarna

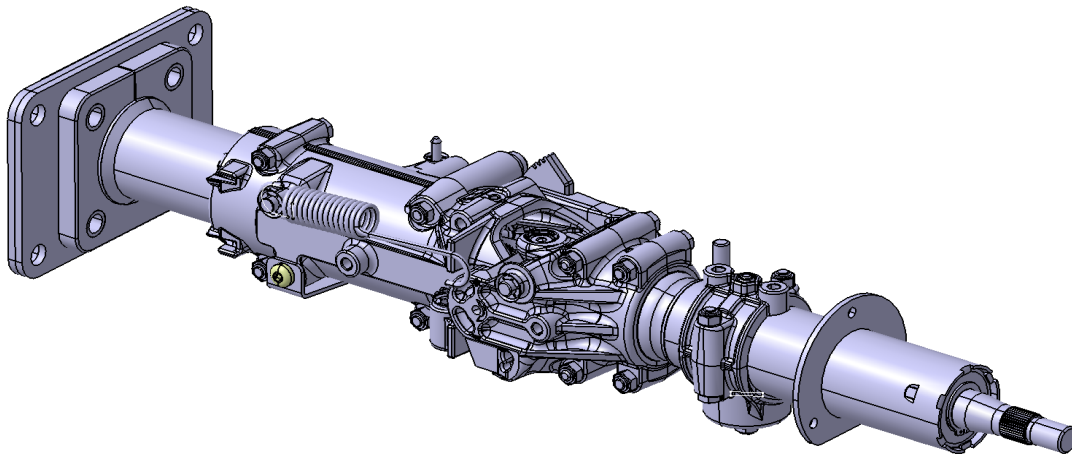
* Referens numreras och redovisas under kapitel Referenser.

4.2 Finita elementmetoden

I detta kapitel visas resultaten från arbetet med hur modellen har förändrats och sedan använts vid simuleringar.

4.2.1 Prototypen

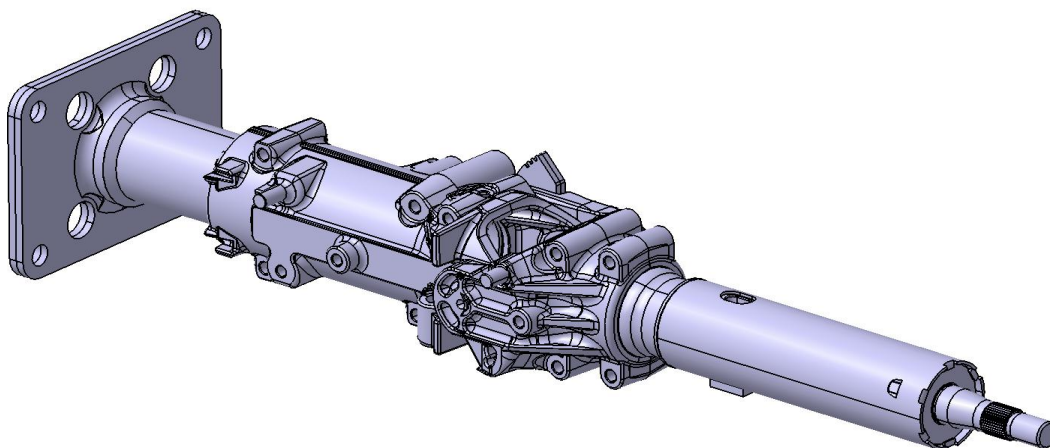
Prototypen som KA har konstruerat syns i figur 4.7.



Figur 4.7 Prototypen som KA tillhandahållit

4.2.2 Nya modellen

I figur 4.8 syns den nya modellens assembly med de delar som behövs vid simuleringarna. Delarna som utgör den nya modellen listas och visas i bilaga 5.



Figur 4.8 Nya modellen bestående av de relevanta delarna

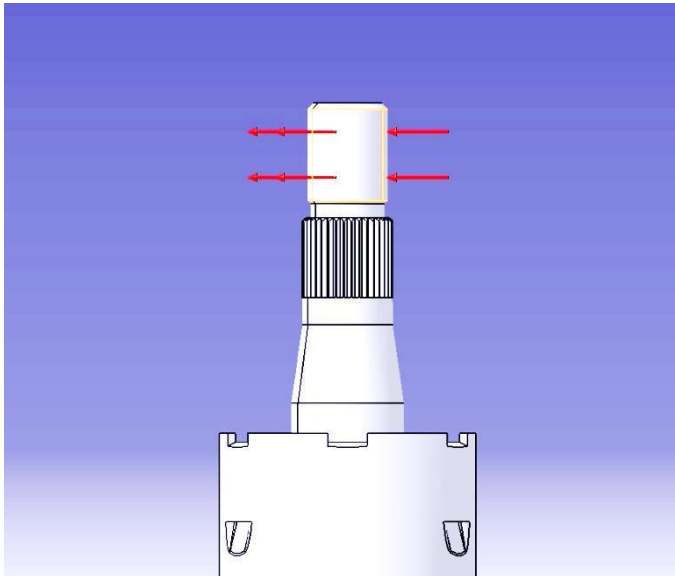
De delar som inte finns med i den nya modellen och varför listas i bilaga 6.

4.2.3 Kontaktvillkor

Alla delar i assemblyn har kopplats samman med villkor enligt bilaga 7.

4.2.4 Ansättningskraft

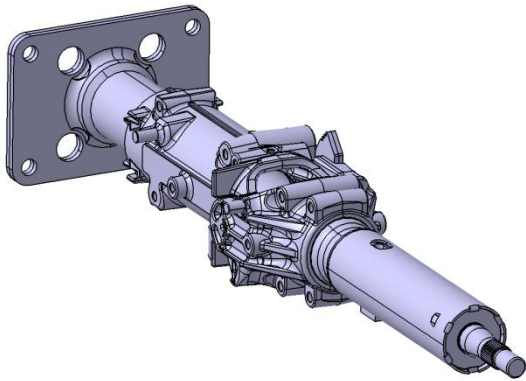
Kraften har i samtliga belastningsfall ansatts på mantelytan där ratten sitter monterad, vilket visas i figur 4.9. Detta motsvarar belastningen i ratten.



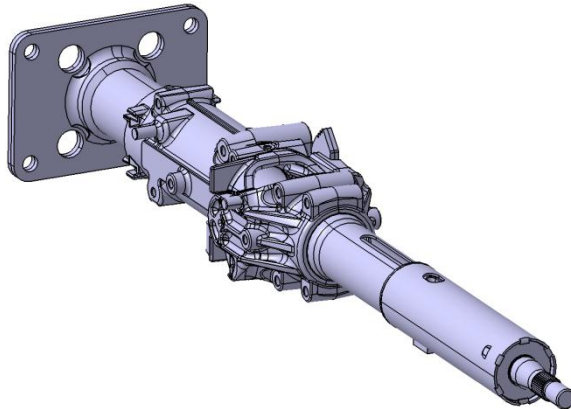
Figur 4.9 Ytan för ansättningskraft

4.3 Belastningsfall

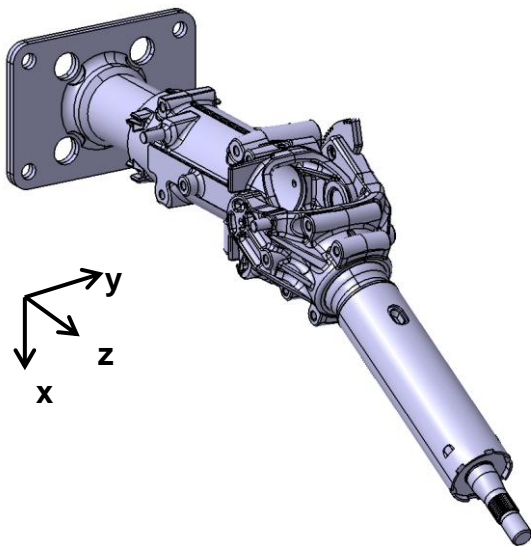
Lastfallen i kravspecifikationen medför ansättningskrafter i olika riktningar, vilket kombinerat med teleskop- och tiltfunktionen ger många olika fall som undersökts. Följande kapitel behandlar samtliga intressanta områden som uppstår vid de olika belastningsriktningarna. I figur 4.10, 4.11, 4.12 och 4.13 visas de fyra olika utförandena av styrkolonnen som har belastats. Respektive beteckning beskriver modellens tiltvinkel (V) uttryckt i grader och teleskopförlängning (F) uttryckt i millimeter.



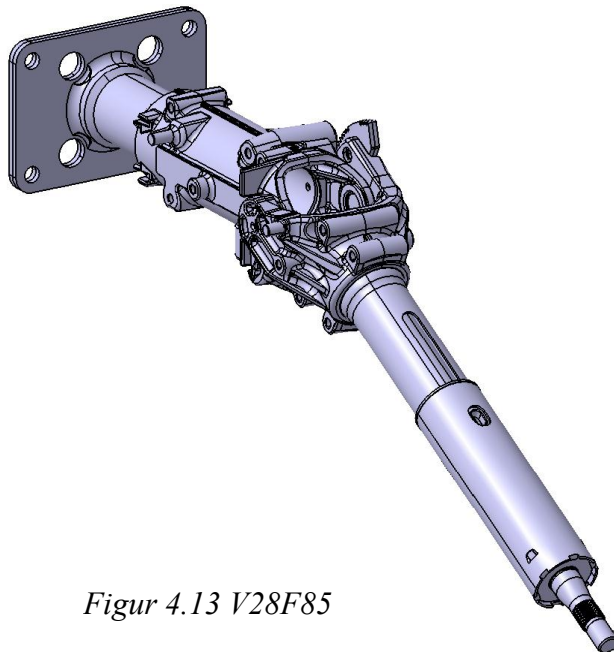
Figur 4.10 V0F0



Figur 4.11 V0F85



Figur 4.12 V28F0



Figur 4.13 V28F85

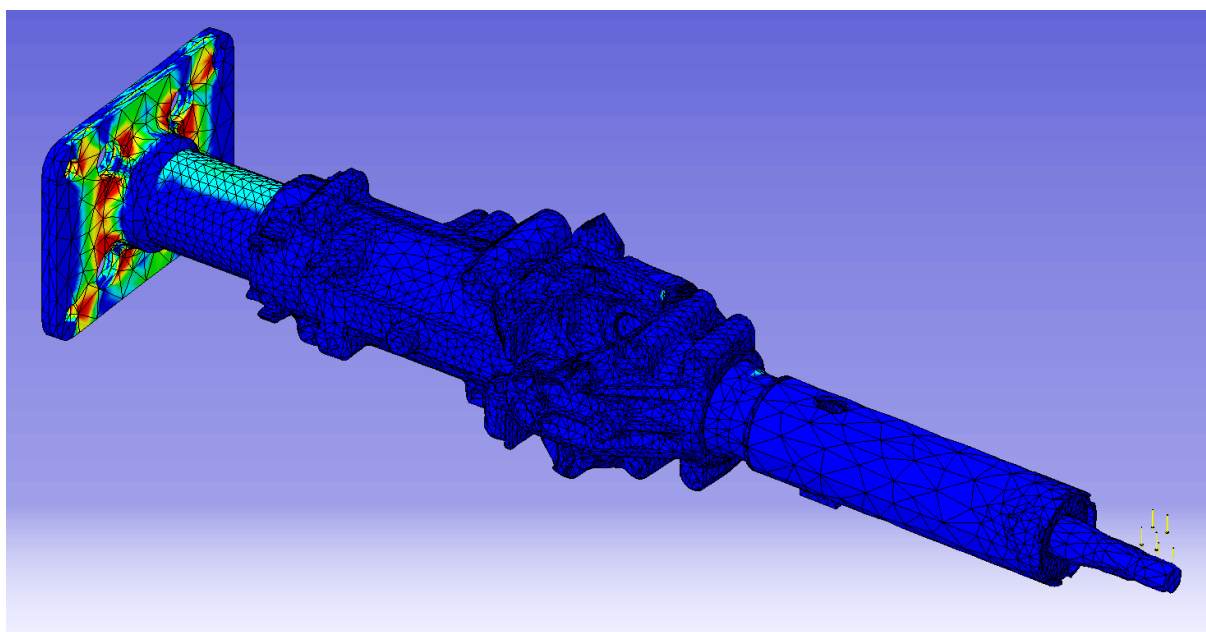
4.3.1 X-riktning

De fyra olika modellerna som visas i figur 4.10, 4.11, 4.12 och 4.13 har simulerats med ansättningskraft i x-led. Utböjning för respektive simulerat fall visas i tabell 4.14.

Tabell 4.14 Simulerad utböjning

Belastningsfall	Utböjning
Vinkel: 0°, Förlängning: 0 mm, y-led	16 mm
Vinkel: 0°, Förlängning: 85 mm, y-led	21 mm
Vinkel: 28°, Förlängning: 0 mm, y-led	15,8 mm
Vinkel: 28°, Förlängning: 85 mm, y-led	20 mm

Spänningsbild för hela styrkolonnen ser ut enligt figur 4.15.

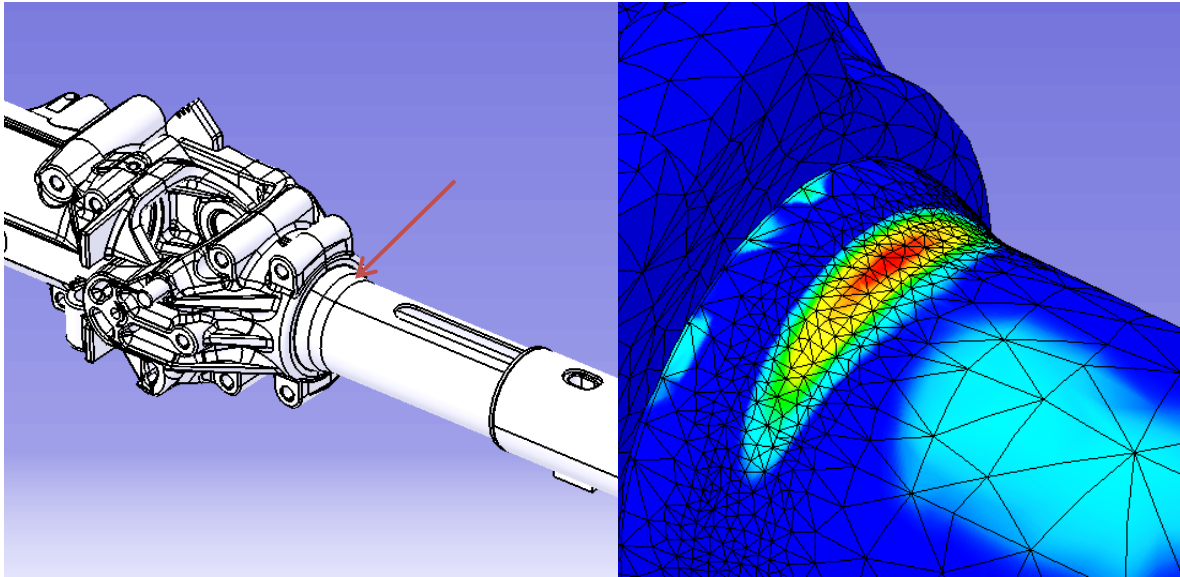


Figur 4.15 Spänningsbild för VOF0 vid belastning i x-riktning

I följande områden har intressanta spänningar uppstått.

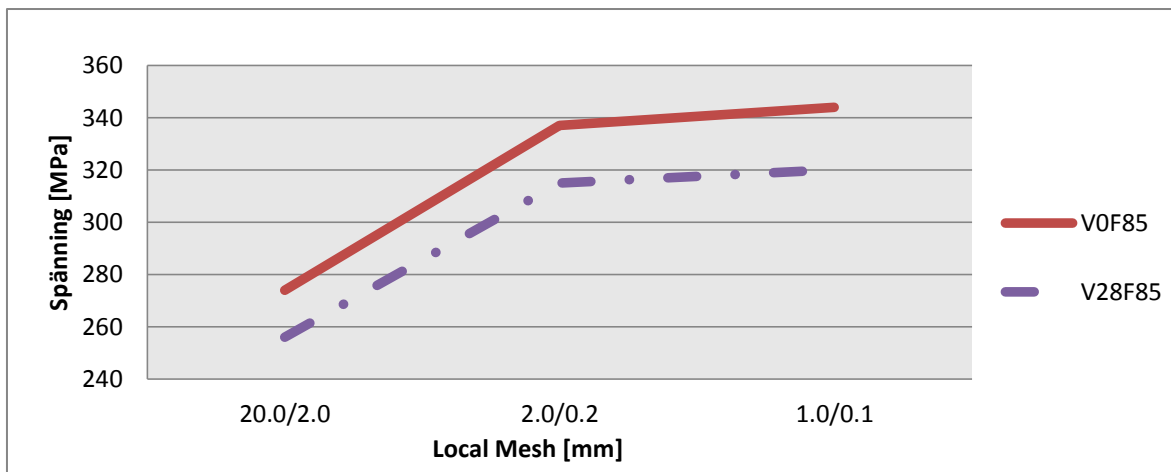
4.3.1.1 Övre stålrörsansats

I styrkolonnens övre del sitter ett tunnväggigt stålrör som utgör den inre delen av teleskopfunktionen. Detta stålrör har en diameterändring, alldeles vid nedre infästningen till aluminiumhuset, i vilken det uppstår spänningskoncentrationer vid böjning.



Figur 4.16 Översikt med förtydligande av aktuellt område och uppkommen spänningskoncentration

Som man kan se i figur 4.17 så har spänningen konvergerat. Stora spänningar uppstår då styrkolonnen är förlängd och allra störst blir den utan tilt.

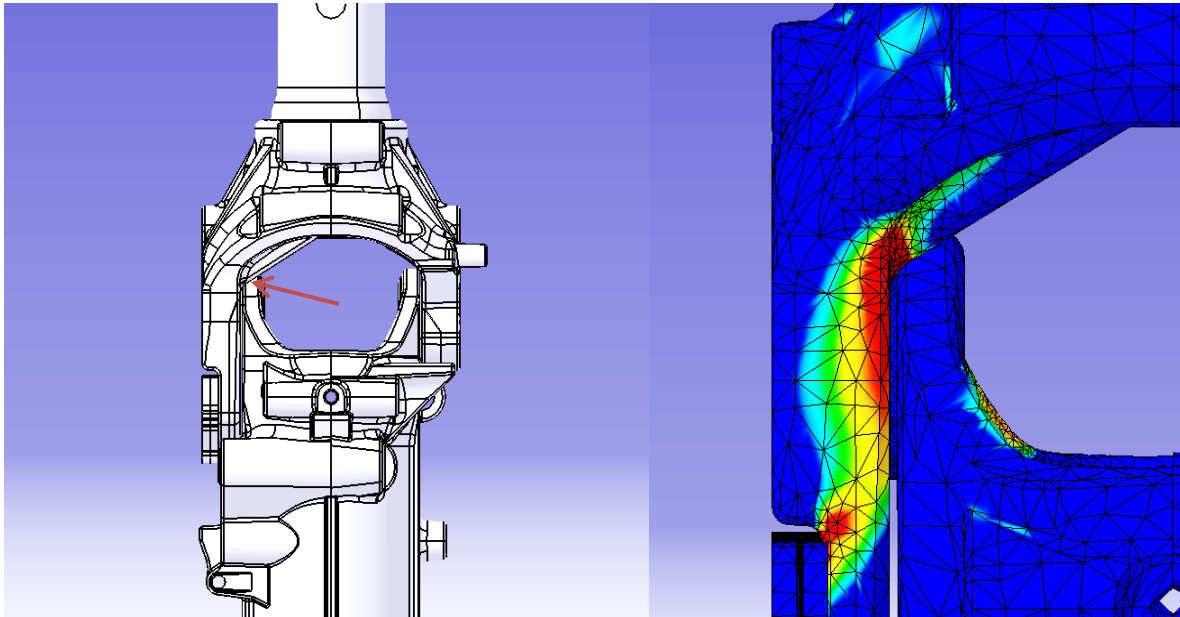


Figur 4.17 Spänningskonvergens för de två intressanta fallen

Den största beräknade spänningen i området blev **344 MPa**, där sträckgränsen är 355 MPa enligt bilaga 8.

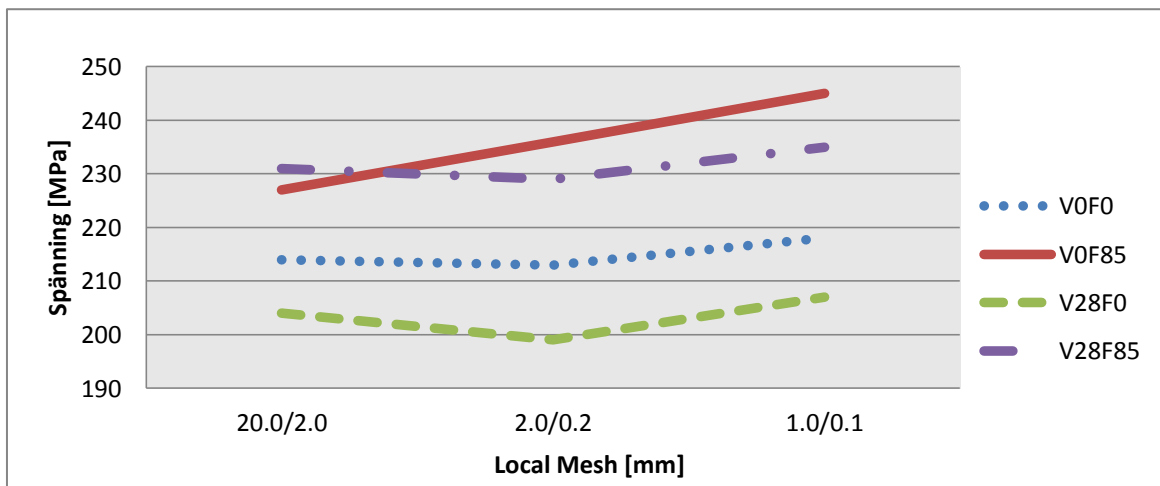
4.3.1.2 Skänkelansats

I den övre skänkeln som är gjuten i aluminium på samma sida som titlåsningen erhålls höga spänningar. Figur 4.18 visar var spänningskoncentrationen uppstår.



Figur 4.18 Översikt med förtydligande av aktuellt område och uppkommen spänningskoncentration

Som man kan se nedan i figur 4.19 så har spänningen konvergerat. Spänningar är störst då styrkolonnen är förlängd och utan tilt. Vid tilt uppstår lägre spänningar i området.

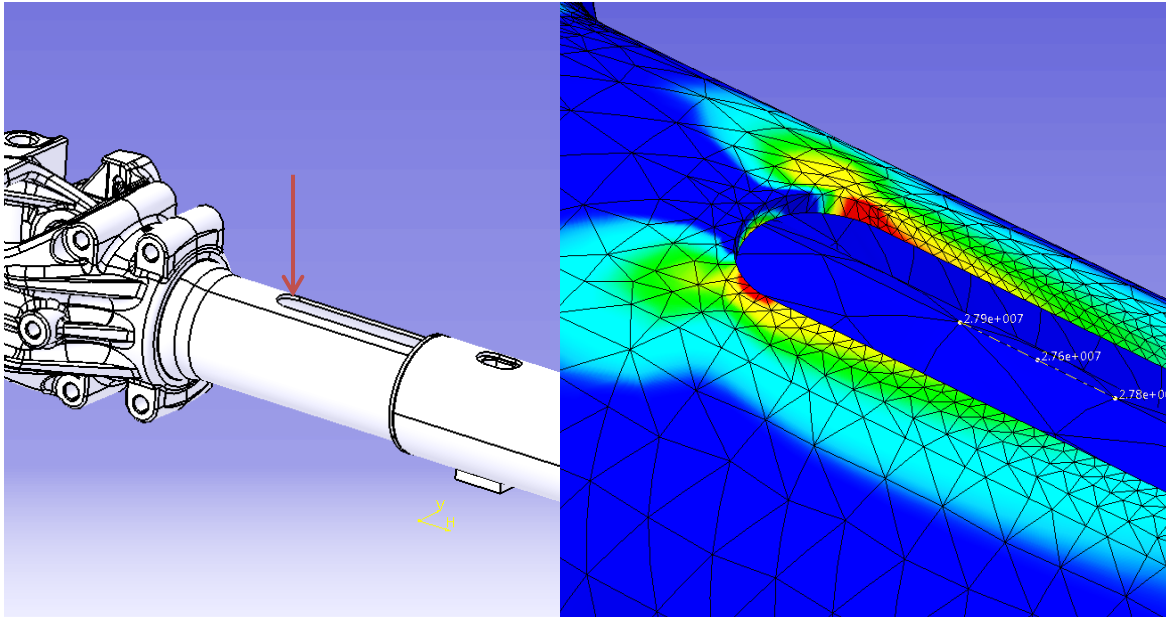


Figur 4.19 Spänningskonvergens för respektive fall

Den största beräknade spänningen i detta område blev **245 MPa**, där sträckgränsen är 140 MPa enligt bilaga 9.

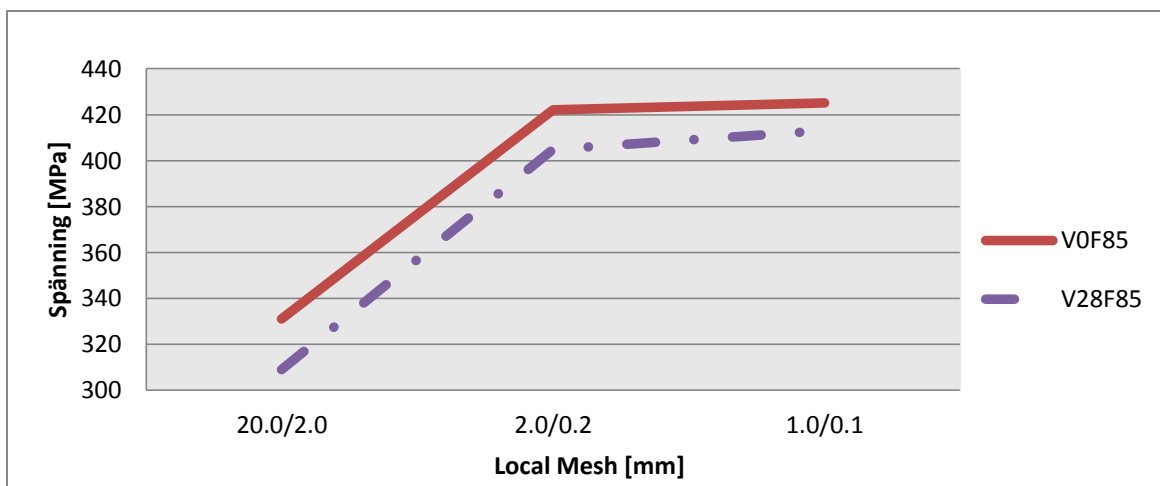
4.3.1.3 Nedre spårstopp

I styrkolonnens övre del sitter ett tunnväggigt stålrör som utgör den inre delen av teleskopfunktionen. Detta stålrör har ett spår som löper längs röret och i det nedre spårstoppet uppstår det spänningskoncentrationer, se figur 4.20.



Figur 4.20 Översikt med förtydligande av aktuellt område och uppkommen spänningskoncentration

Som man kan se nedan i figur 4.21 så har spänningarna konvergerat. Spänningar är störst då styrkolonnen är förlängd och utan tilt.

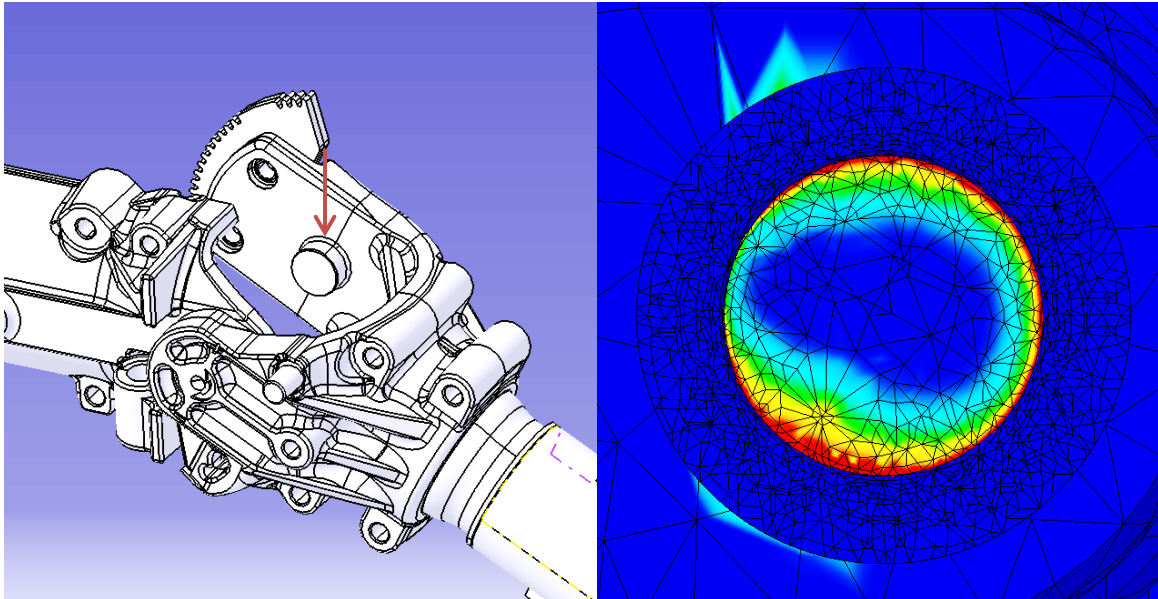


Figur 4.21 Spänningskonvergens för de två intressanta fallen

Den största beräknade spänningen i detta område blev **425 MPa**, där sträckgränsen är 355 MPa.

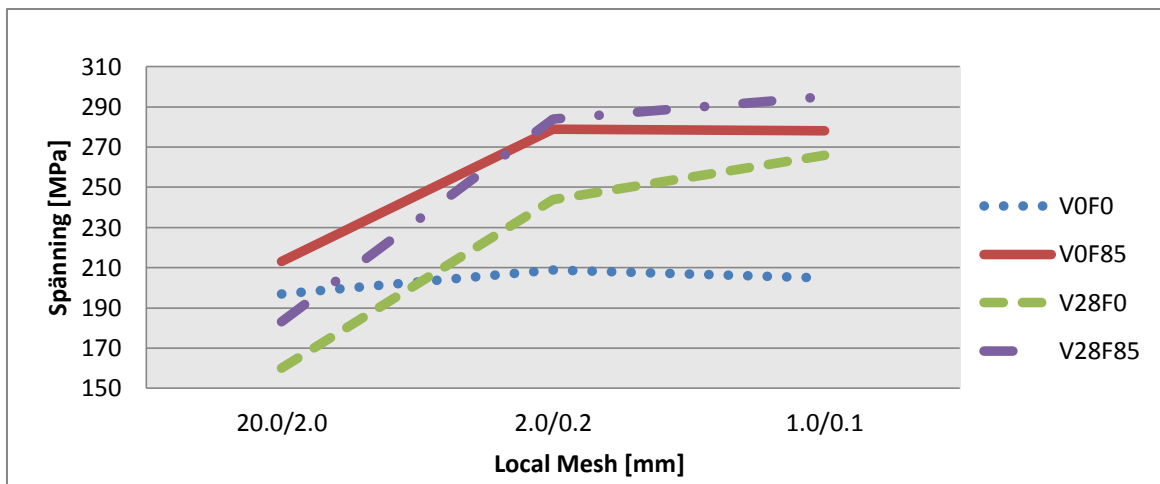
4.3.1.4 Skänkeltapp

I den yttre skänkeltappen på tittlåsningssidan uppstår spänningskoncentrationer i kanten där tappan sitter ihop med resten av skänkeln. Spänningsbilden har snittats för att spänningskoncentrationen ska synas.



Figur 4.22 Översikt med dolda delar för att visa tappan och uppkommen spänningskoncentration

Som man kan se nedan i figur 4.23 så har spänningen konvergerat. Spänningar är störst då styrkolonnen är förlängd och tiltad.

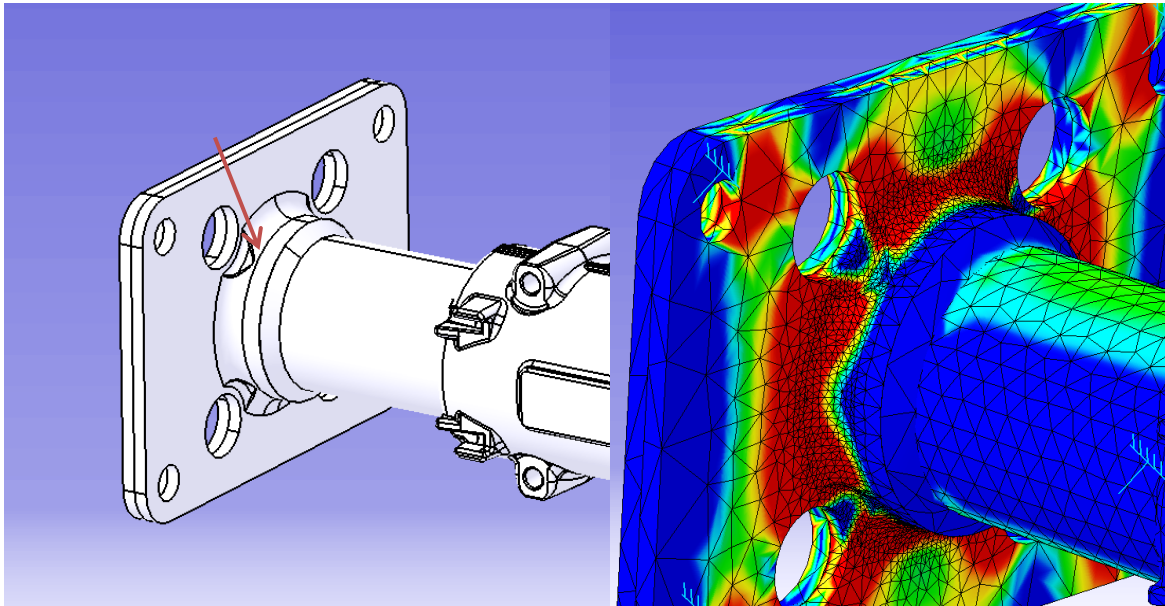


Figur 4.23 Spänningskonvergens för respektive fall

Den största beräknade spänningen i detta område blev **295 MPa**, där sträckgränsen är 140 MPa.

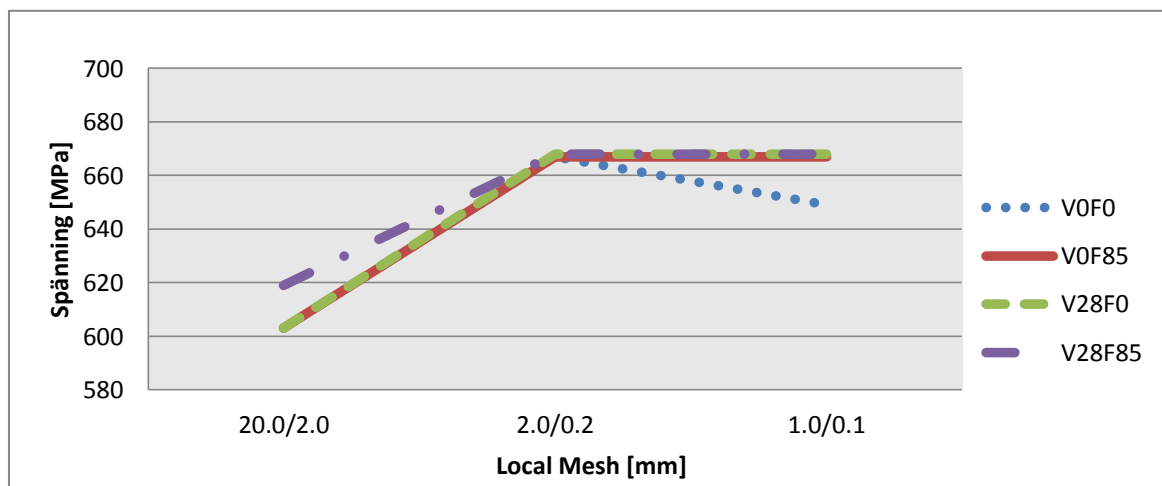
4.3.1.5 Bottenplattor

Styrkolonnens två bottenplattor sitter fastskruvande till jord genom fyra skruvförband i de yttersta hålen. Båda bottenplattorna är fastsvetsade på röret. Den övre bottenplattan har en utdragen ansats och det är här den största spänningskoncentrationen uppstår. De spänningar som uppstår i den undre bottenplattan är lägre än den i övre bottenplattan.



Figur 4.24 Översikt med förtydligande av aktuellt område och uppkommen spänningskoncentration

Som man kan se i figur 4.25 så har spänningen konvergerat och ligger på liknande nivå för alla fyra fall.

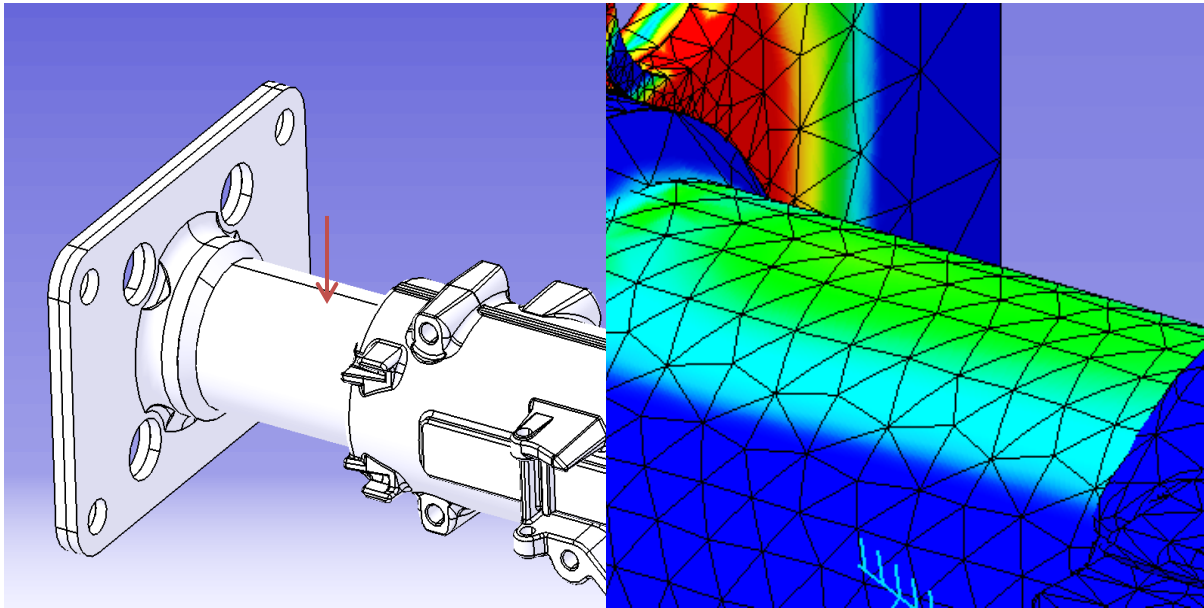


Figur 4.25 Spänningskonvergens för respektive fall

Den största beräknade spänningen i detta område blev **668 MPa**, där sträckgränsen är 355 MPa.

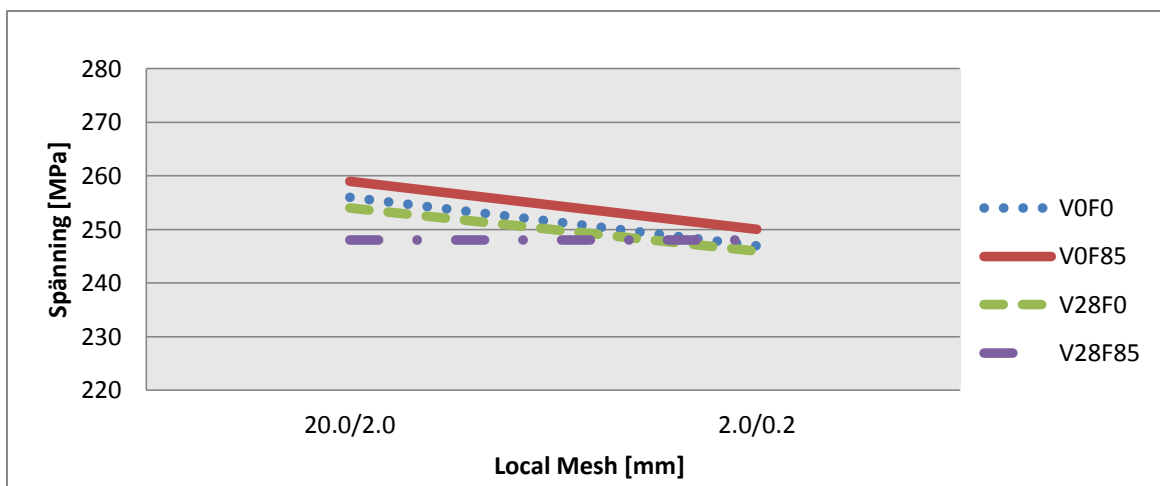
4.3.1.6 Nedre stålrör

Stålröret sitter fastsvetsat i bottenplattorna. Spänningarna som uppstår i röret är utbredda över ett stort område.



Figur 4.26 Översikt med förtydligande av aktuellt område och uppkommen spänningskoncentration

Enligt figur 4.27 så undersöks konvergensen ej fullt ut på grund av den låga spänningen jämfört med sträckgränsen. Vi kommer inte upp i några märkvärdiga spänningar i förhållande till andra områden och därför är vidare simulering onödig.

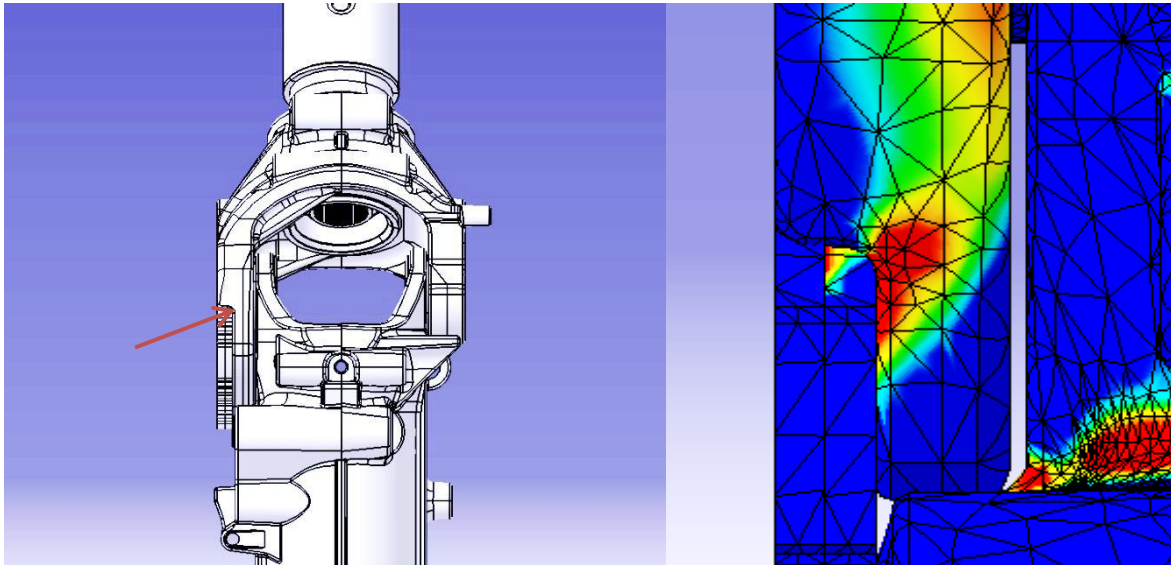


Figur 4.27 Spänningskonvergens för respektive fall

Den största beräknade spänningen i detta område blev **259 MPa**, där sträckgränsen är 355 MPa.

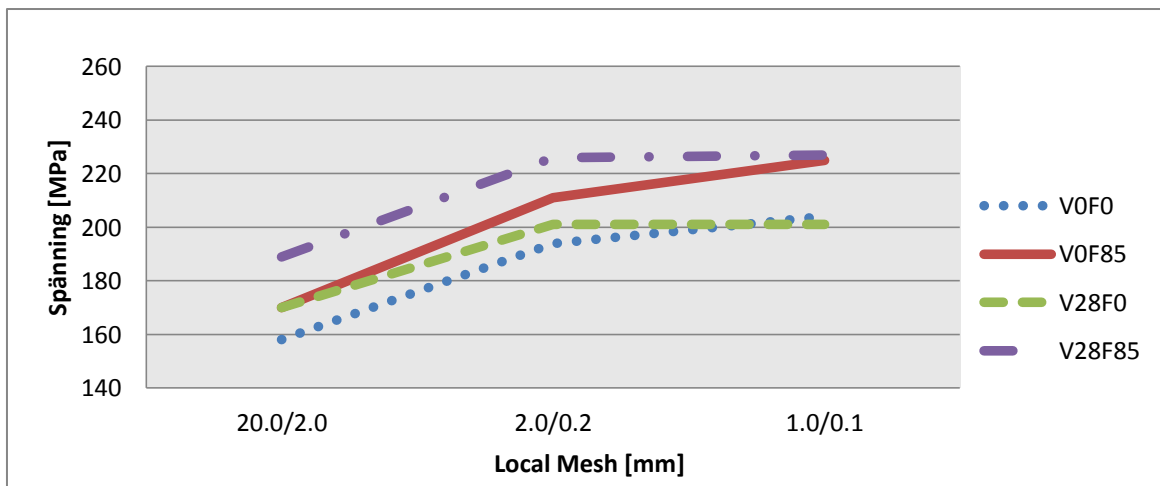
4.3.1.7 Infästning av tandlåsning till skänkel

På tillfästningssidan finns två tandplattor som sitter fästa på en tunnare del av skänkeln. Vid tjocklekförändringen i skänkeln så uppstår det en intressant spänning. KA har visat att tandlåsningen håller därför tillåts lokala felaktiga spänningar som uppkommer på grund av modellfel i plattorna och skruvförbanden för att generera en rimlig spänningsbild i skänkeln.



Figur 4.28 Översikt med förtydligande av aktuellt område och uppkommen spänningskoncentration

Som man kan se i figur 4.29 så är konvergensen god.

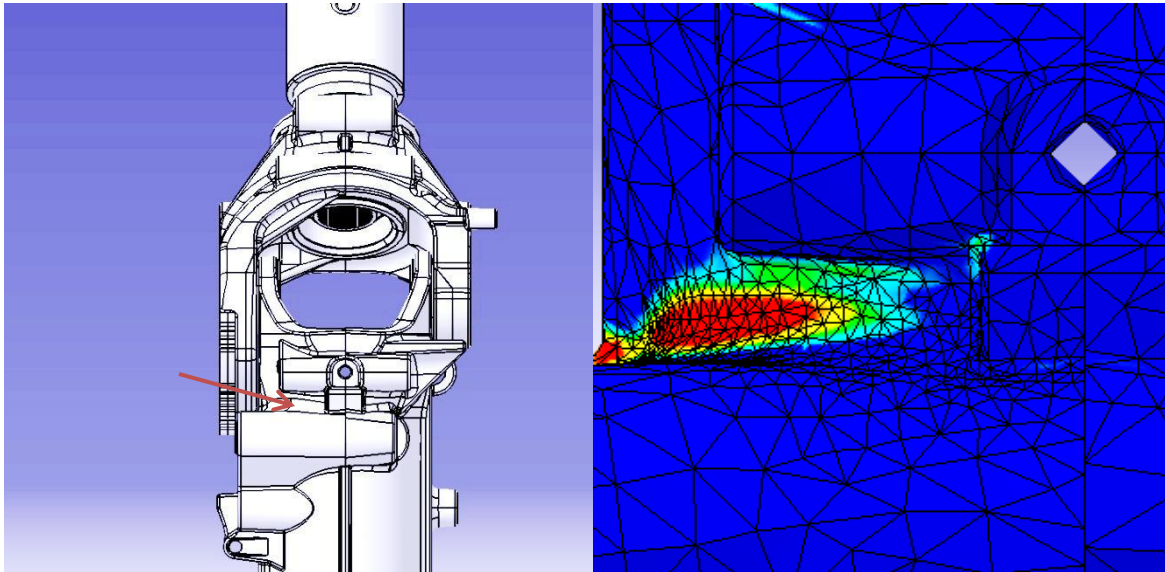


Figur 4.29 Spänningskonvergens för respektive fall

Den största beräknade spänningen i detta område blev **227 MPa**, där sträckgränsen är 140 MPa.

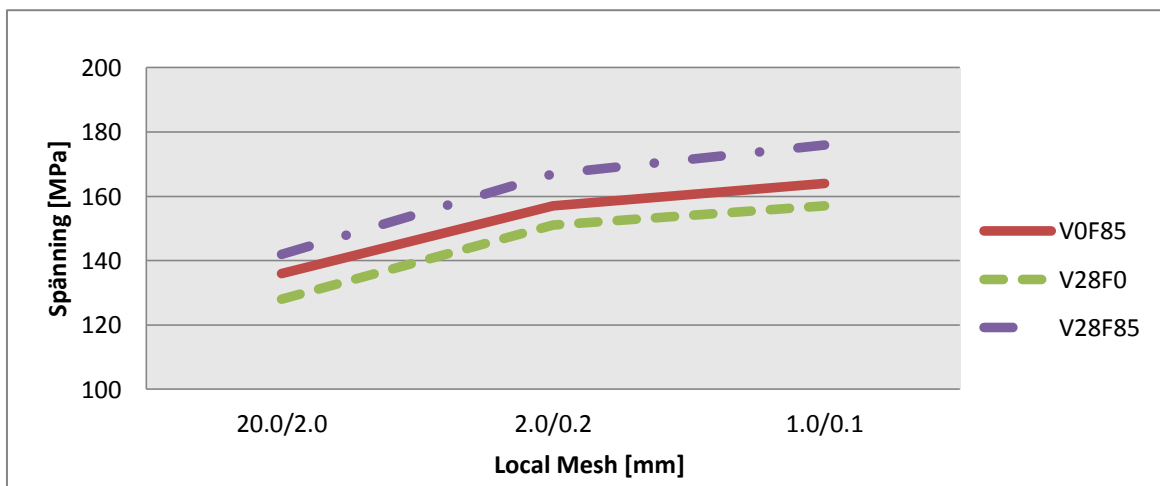
4.3.1.8 Nedre aluminiumhus

I det nedre aluminiumhuset på tittlåsningssidan uppstår det en spänningskoncentration. Som visas i figur 4.30 så uppstår spänningen i en sänka mellan två skruvhål.



Figur 4.30 Översikt med förtydligande av aktuellt område och uppkommen spänningskoncentration

Figur 4.31 visar att spänningen konvergerar. Spänningarna är låga för fallet utan förlängning och utan tilt. Övriga fall ger ett resultat över sträckgränsen.

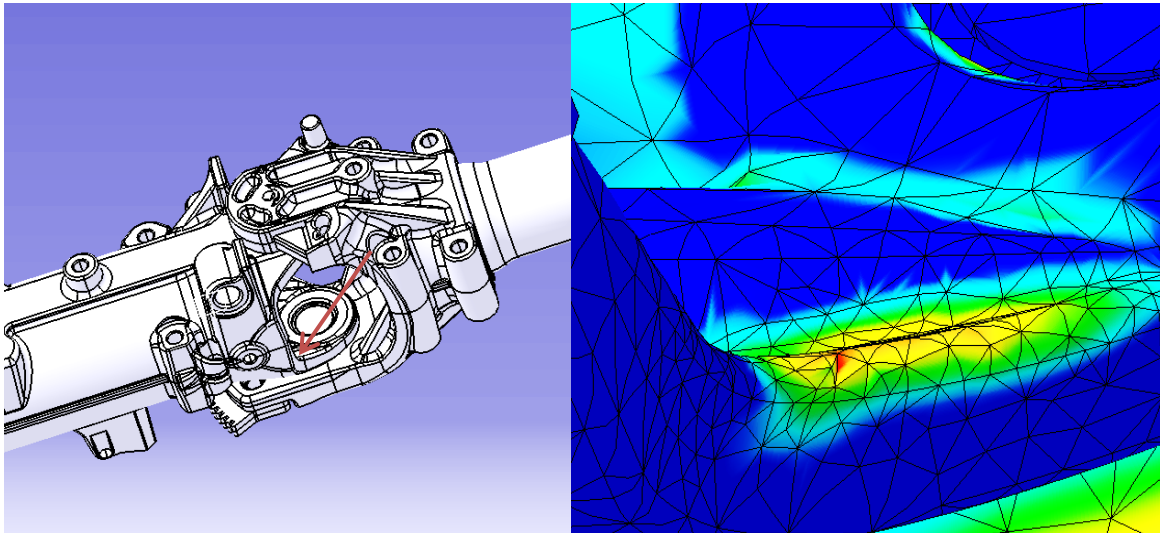


Figur 4.31 Spänningskonvergens för de tre intressanta fallen

Den största beräknade spänningen i detta område blev **176 MPa**, där sträckgränsen är 140 MPa.

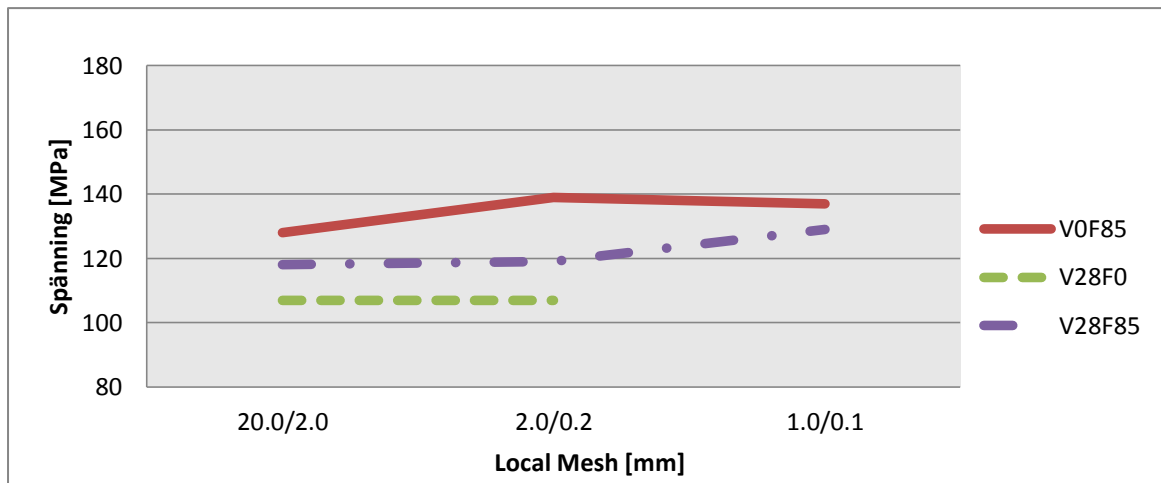
4.3.1.9 Ansats nedre aluminiumhus

I kanten av den inre skänkeln på tiltlåsningssidan uppstår spänningskoncentrationer.



Figur 4.32 Översikt med förtydligande av aktuellt område och uppkommen spänningskoncentration

Figur 4.33 visar spänningens konvergens. Spänningarna är relativt låga och passerar inte sträckgränsen. På grund av att spänningen är låg i ett fall är vidare simulering för det fallet onödig.



Figur 4.33 Spänningskonvergens för de tre intressanta fallen

Den största beräknade spänningen i detta område blev **139 MPa**, där sträckgränsen är 140 MPa.

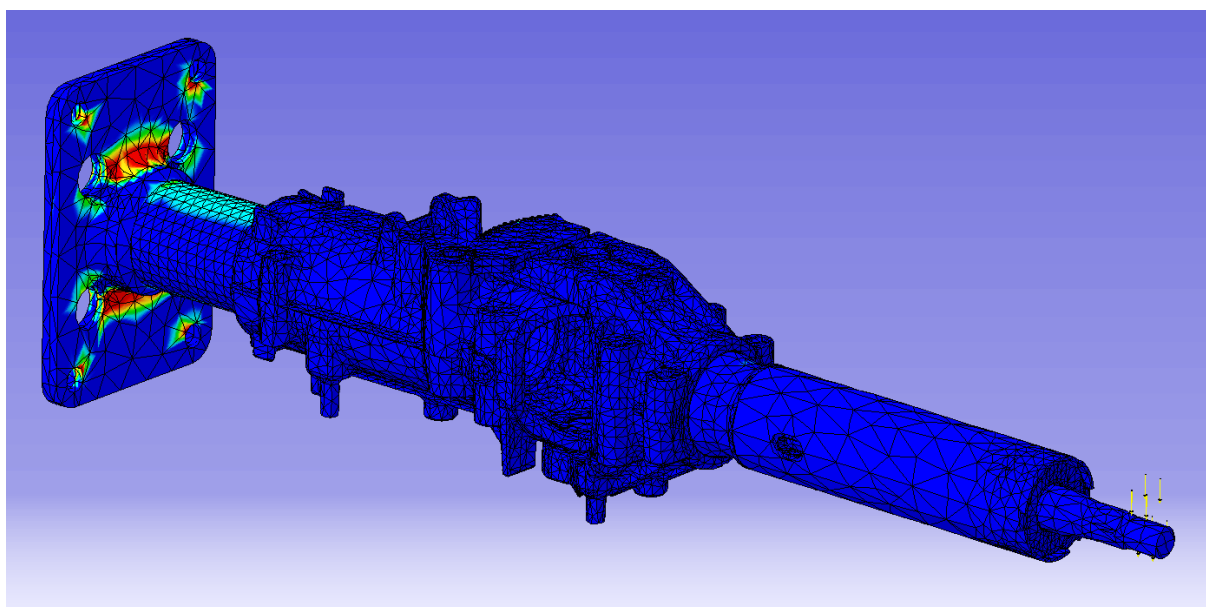
4.3.2 Y-riktning

De fyra olika modellerna som visas i figur 4.10, 4.11, 4.12 och 4.13 har simulerats med ansättningskraft i y-led. Utböjning för respektive simulerat fall visas i tabell 4.34.

Tabell 4.34 Resultande ansättningskrafter

Belastningsfall	Utböjning
Vinkel: 0°, Förlängning: 0 mm, y-led	10,3 mm 16
Vinkel: 0°, Förlängning: 85 mm, y-led	12,7 mm 21
Vinkel: 28°, Förlängning: 0 mm, y-led	9,9 mm 15,8
Vinkel: 28°, Förlängning: 85 mm, y-led	12,2 mm 20

Spänningsbild för hela styrkolonnen ser ut enligt figur 4.35.

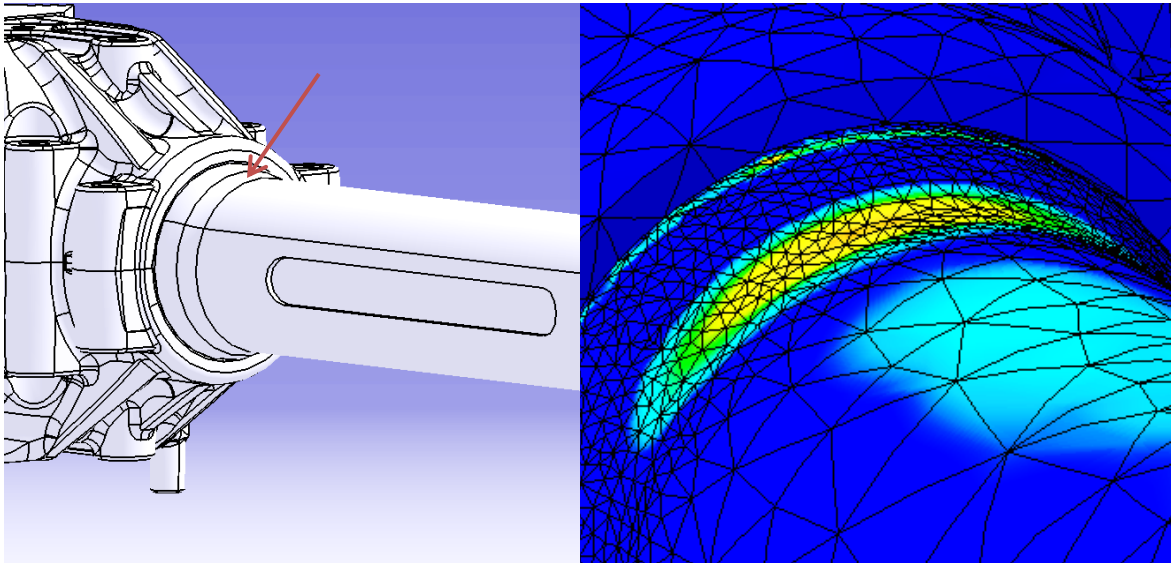


Figur 4.35 Spänningsbild för V0F0 vid belastning i y-riktning

I följande områden har intressanta spänningar uppstått.

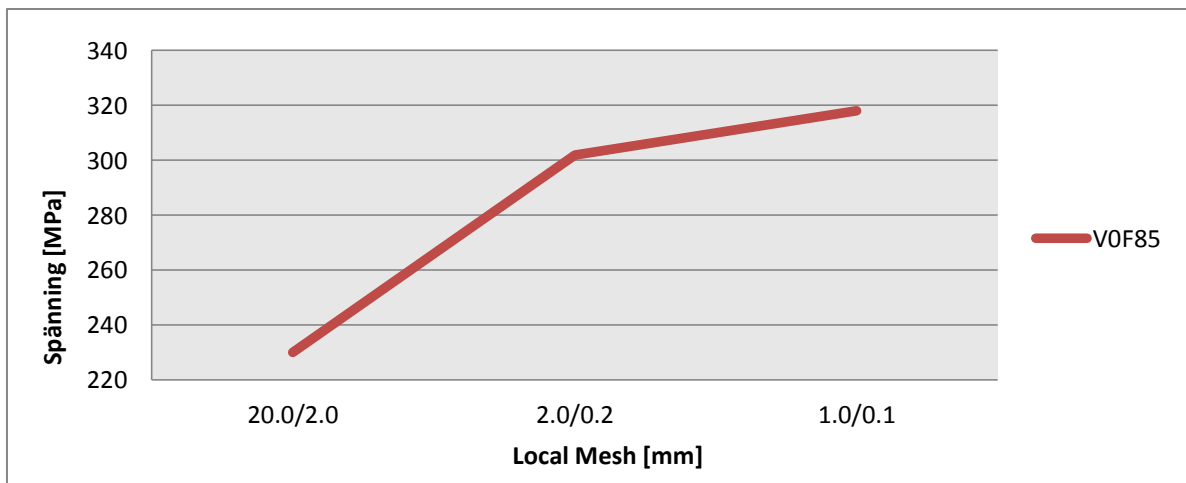
4.3.2.1 Stålrörsansats

På samma sätt som spänningar uppstod i detta område vid belastning i x-led 4.3.1.1 uppstår de vid belastning i y-led. Spänningarna koncentreras i ansatsen enligt figur 4.36.



Figur 4.36 Översikt med förtydligande av aktuellt område och uppkommen spänningskoncentration

Som man kan se i figur 4.37 så har spänningen konvergerat på ett acceptabelt sätt. Man kan också se att spänningar av denna storlek endast uppstår då styrkolonnen är förlängd och utan tilt.

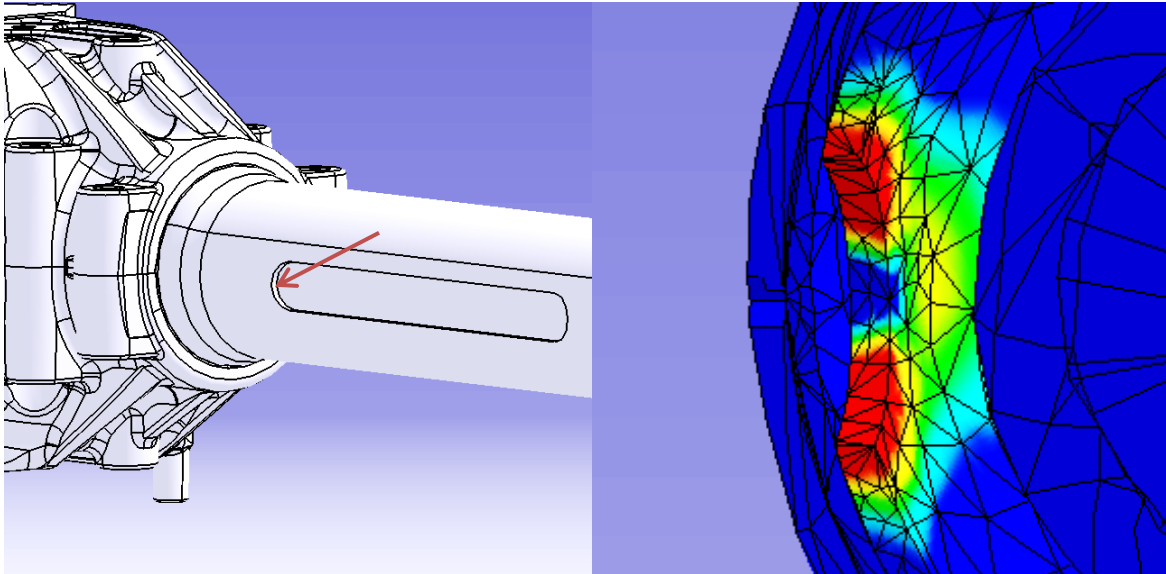


Figur 4.37 Spänningskonvergens för intressant fall

Den största beräknade spänningen i detta område blev **318 MPa**, vilket är lägre än sträckgränsen som är 355 MPa.

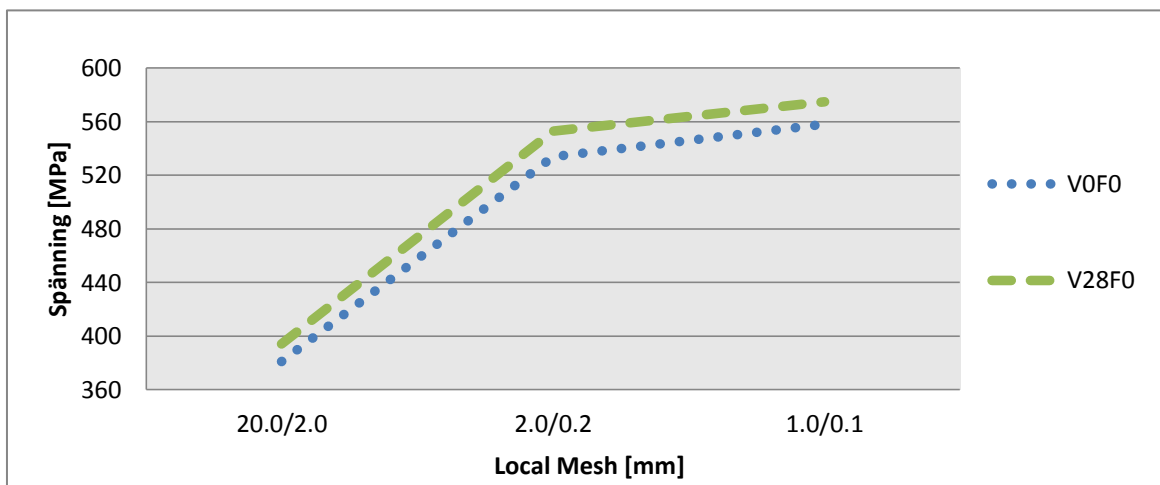
4.3.2.2 Nedre spårstopp

Samma rör som nämndes i förra stycket är en stor del av teleskopfunktionen. Som man kan se i figur 4.38 så uppstår spänningskoncentrationer vid nedre änden av spåret. Spänningsbilden har snittats för att spårets ände ska synas.



Figur 4.38 Översikt med dolda delar för att visa spåret och uppkommen spänningskoncentration

Spänningens konvergens är acceptabel vilket man kan se i figur 4.39. I samma figur kan man också se att spänningskoncentrationer med dessa höga värden endast uppstår i nedre änden då styrkolumnen inte är förlängd. Värt att notera är att det uppstår spänningskoncentrationer i området även då teleskopet är utfällt, på samma sätt som vid belastning i X-riktning. Spänningar för de fallen uppgår däremot inte till värden över sträckgränsen.

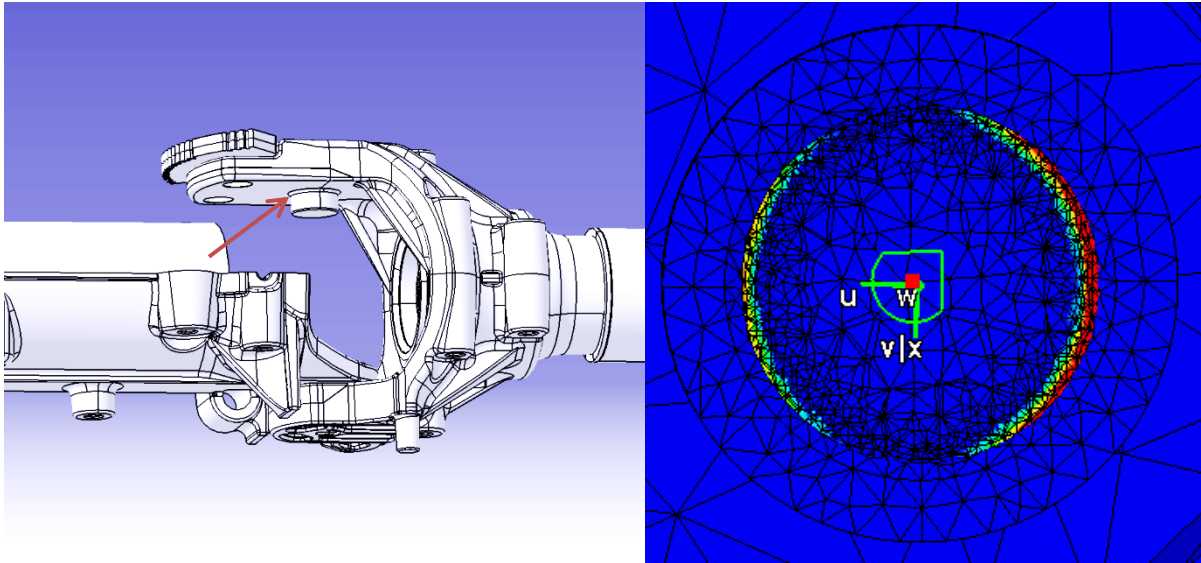


Figur 4.39 Spänningskonvergens för de två intressanta fallen

Den största beräknade spänningen i detta område blev **575 MPa**, vilket är tydligt över sträckgränsen som är 355 MPa.

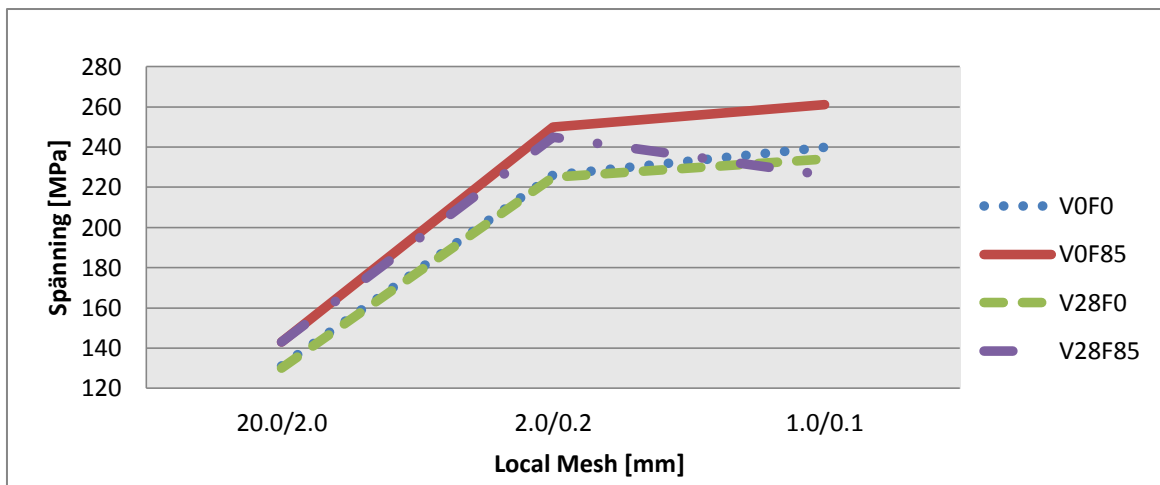
4.3.2.3 Skänkel tapp

När styrkolonnen belastas i y-riktning så uppstår spänningskoncentrationer i skänkel tapparna enligt figur 4.40. Största spänningen uppstår i den lilla radie som finns mellan tappen och skänkelkroppen. Spänningsbilden har snittats för att spänningskoncentrationen ska synas.



Figur 4.40 Översikt med dolda delar för att visa spåret och uppkommen spänningskoncentration

Som man kan se i figur 4.41 så har spänningarna konvergerat och då styrkolonnen är förlängd men utan tilt så uppkommer den största spänningen.

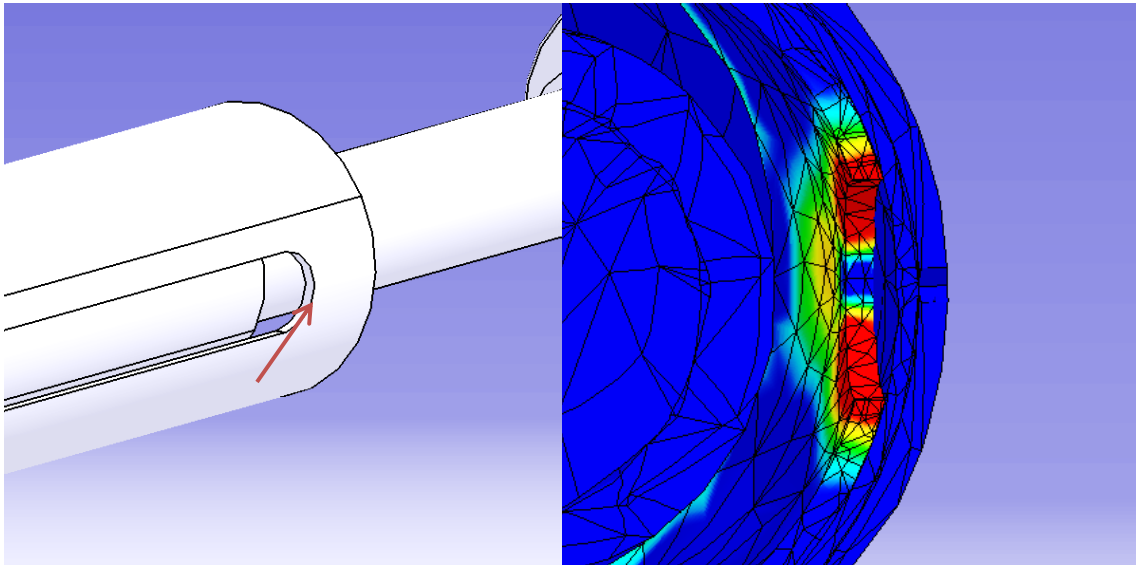


Figur 4.41 Spänningskonvergens för respektive fall

Den största beräknade spänningen i detta område blev **261 MPa**, vilket är tydligt över sträckgränsen som är 140 MPa.

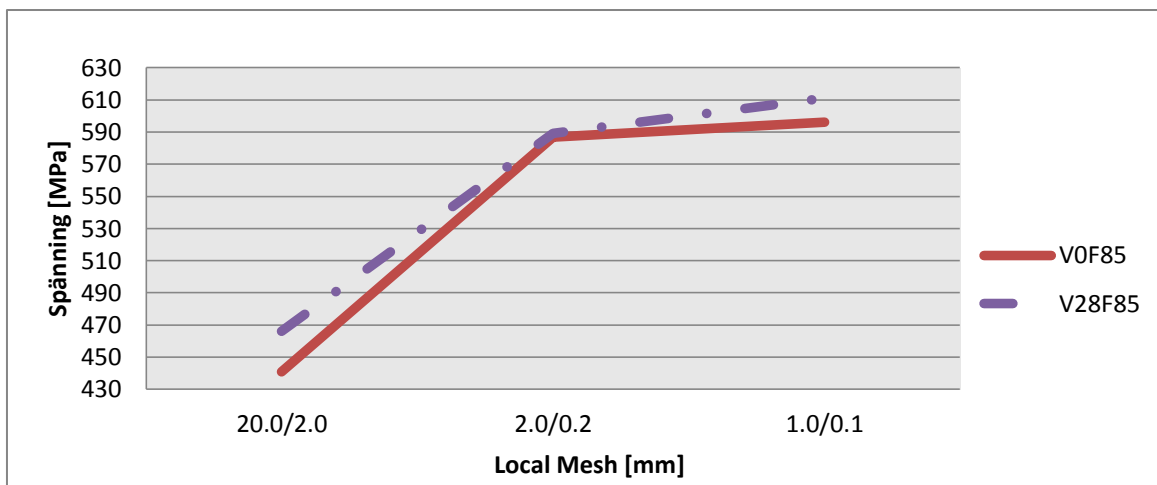
4.3.2.4 Övre spårstopp

I övre spårstoppet uppstår spänningar vid belastning i y-riktning som man kan se i figur 4.42. Spänningsbilden har snittats för att spårets ände ska synas.



Figur 4.42 Översikt med dolda delar för att visa spåret och uppkommen spänningskoncentration

Spänningskoncentrationer uppstår i den övre änden av spåret då styrkolonnen är utfälld till sin maximala längd, vilket man kan se i figur 4.43. I figuren kan man också se att spänningarna konvergerat.

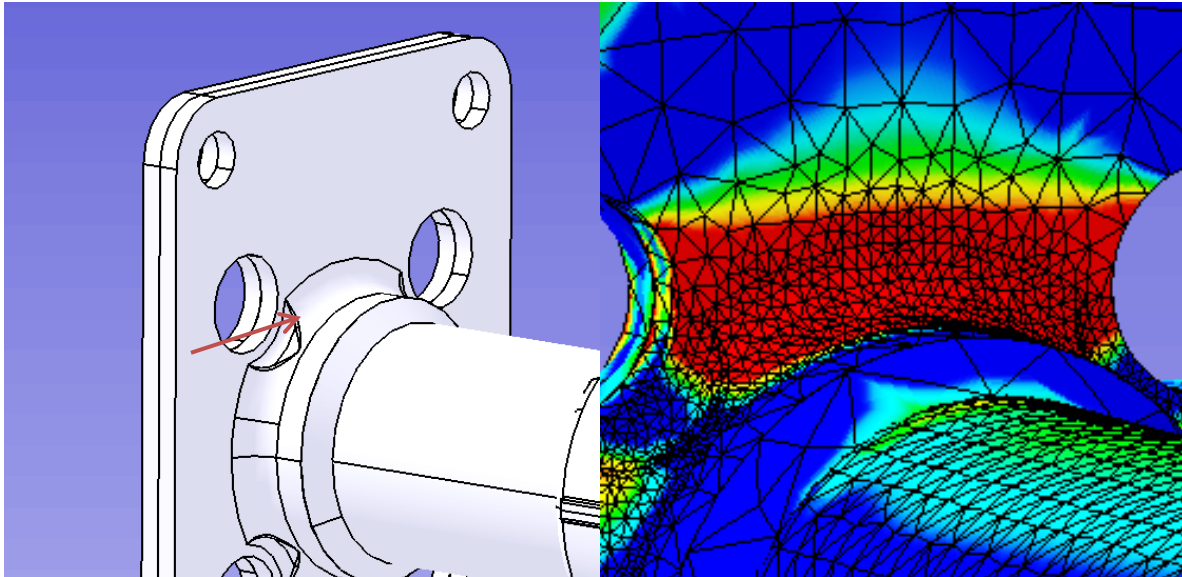


Figur 4.43 Spänningskonvergens för de två intressanta fallen

Den största beräknade spänningen i detta område blev **611 MPa**, vilket är långt över sträckgränsen som är 355 MPa.

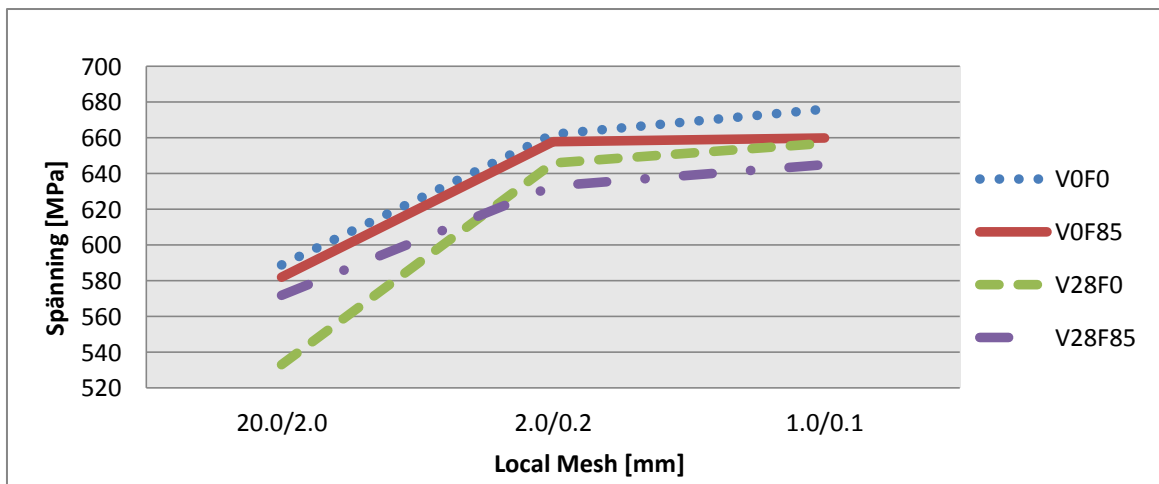
4.3.2.5 Bottenplattorna

I bottenplattorna uppstår det stora spänningar, allra störst blir de i den övre plattan. Spänningskoncentrationen blir utbredd över ett stort område nära ansatsen, se figur 4.44. Det största värdet på spänningen finner man intill de närliggande hålen.



Figur 4.44 Översikt med förtydligande av aktuellt område och uppkommen spänningskoncentration

Som man kan se i figur 4.45 så har spänningarna konvergerat i samtliga fall och spänningarna som uppstår blir omkring samma värde för alla fallen.

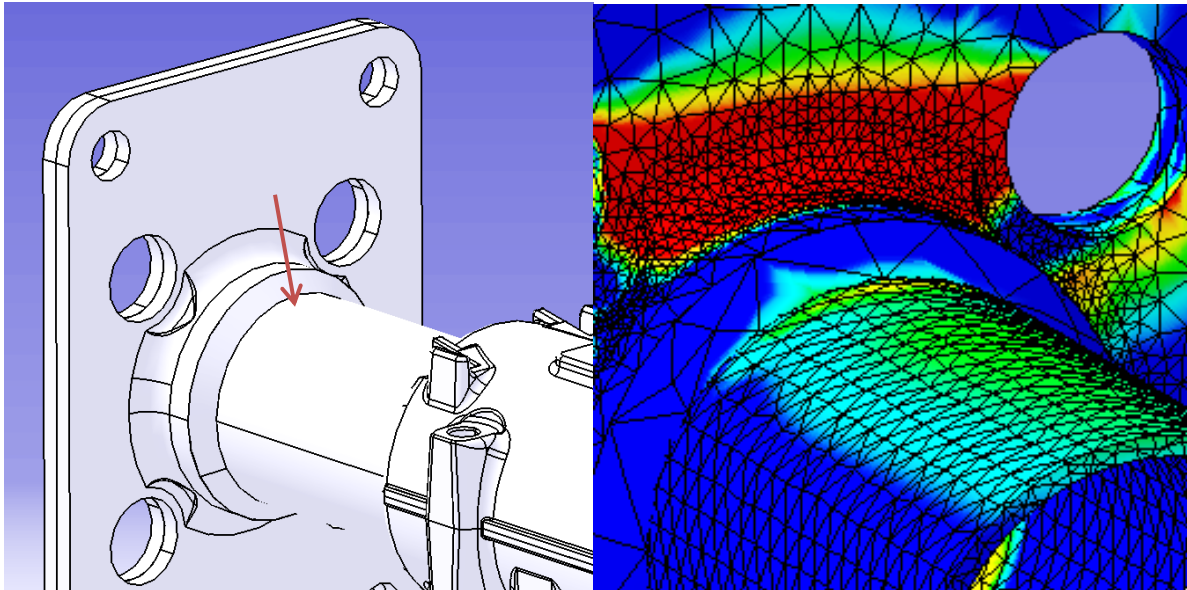


Figur 4.45 Spänningskonvergens för respektive fall

Den största beräknade spänningen i detta område blev **676 MPa**, vilket är långt över sträckgränsen som är 355 MPa.

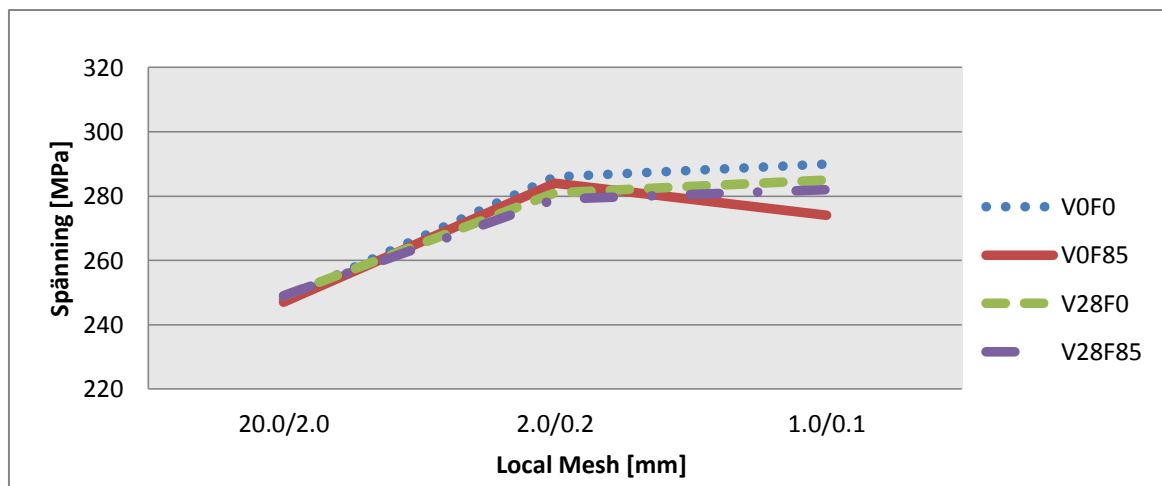
4.3.2.6 Nedre stålrör

Bottenplattorna är svetsade till ett stålrör där det uppstår spänningar vid böjning. Som man kan se i figur 4.46 så är spänningen utbredd över större delar av röret, men allra störst blir den nära inspänningen vilket i detta fall är svetsfogarna.



Figur 4.46 Översikt med förtydligande av aktuellt område och uppkommen spänningskoncentration

Figur 4.47 visar på att spänningarna har konvergerat väl och att denna spänningskoncentration uppstår vid samtliga utföranden av styrkolonnen oavsett längd och tiltvinkel.

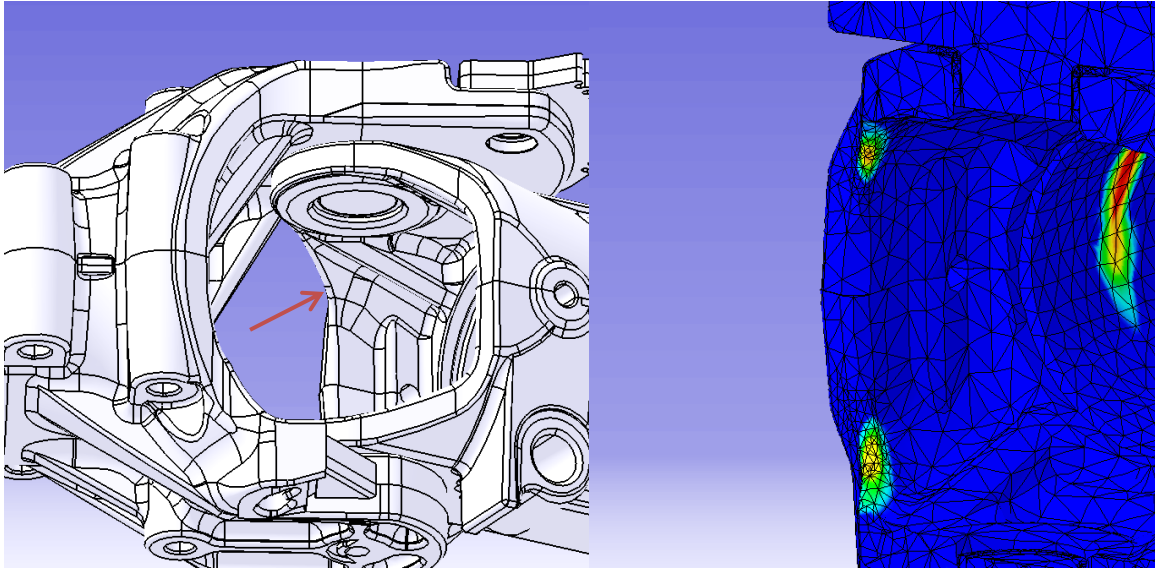


Figur 4.47 Spänningskonvergens för respektive fall

Den största beräknade spänningen i detta område blev **290 MPa**, vilket är under sträckgränsen som är 355 MPa.

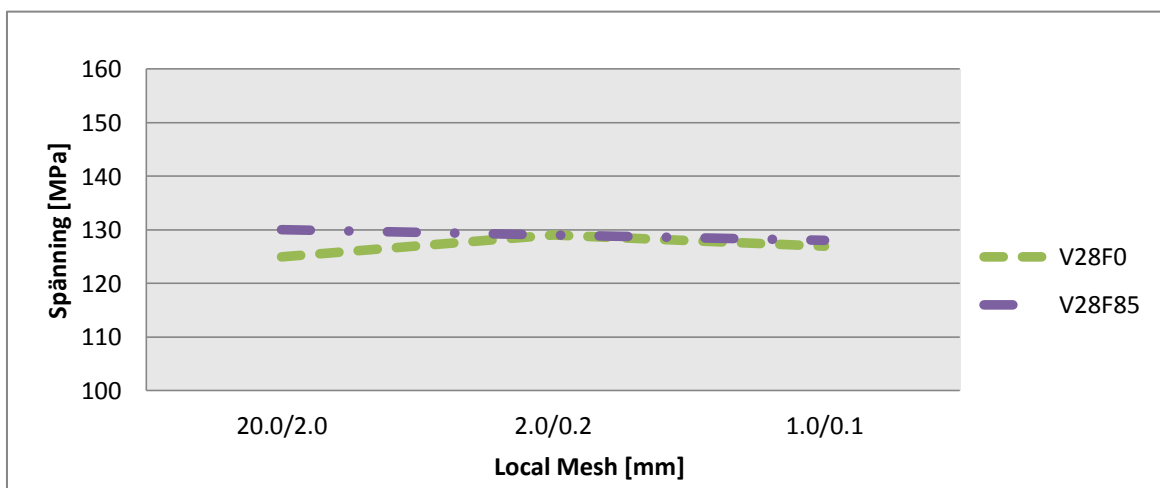
4.3.2.7 Ansats nedre aluminiumhus

De nedre aluminiumhusen som utgör den inre delen av tiltpunkten med inre skänklar. I ansatsen på sidan som styrkolonnen tiltas åt uppstår drag- respektive tryckspänningar när styrkolonnen belastas i y-riktning som man kan se i figur 4.48. Spänningsbilden har snittats för att ansatsen ska synas bättre.



Figur 4.48 Översikt med förtydligande av aktuellt område och uppkommen spänningskoncentration

Enligt figur 4.49 så kan man se att spänningarna ligger på stabila nivåer vilket visar på en god konvergens. Noterbart är också att dessa spänningskoncentrationer endast uppstår då styrkolonnen är tiltad.

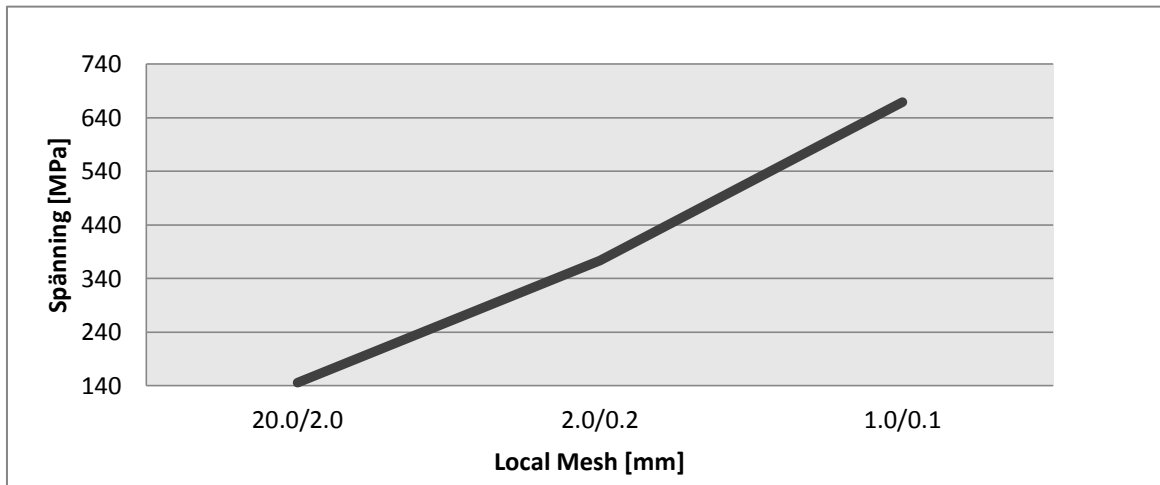


Figur 4.49 Spänningskonvergens för de två intressanta fallen

Den största beräknade spänningen i detta område blev **130 MPa**, vilket är under sträckgränsen som är 140 MPa.

4.3.3 Z-riktning

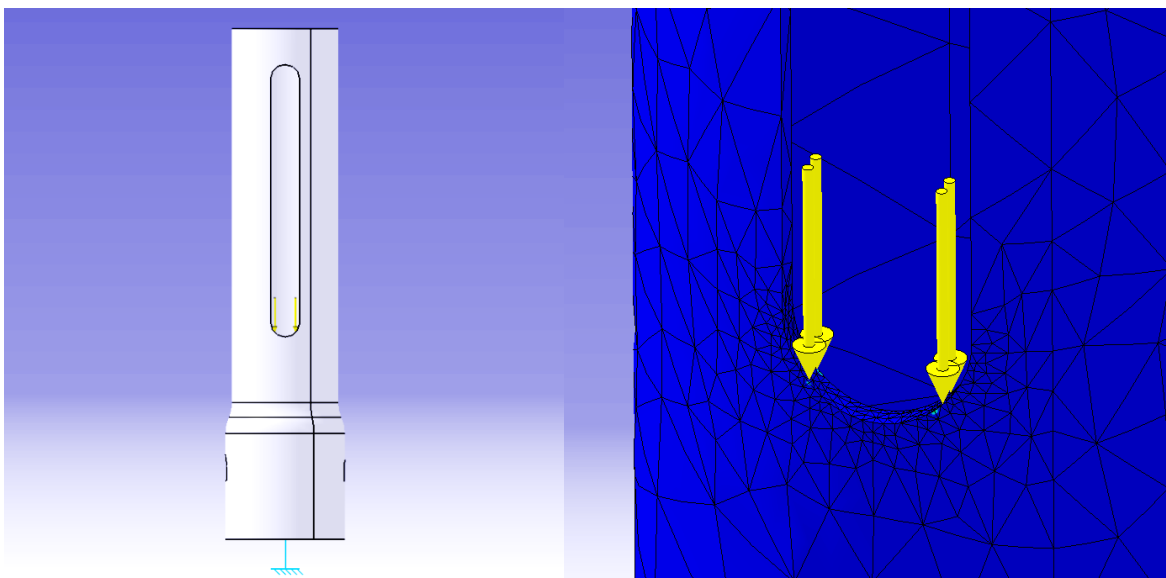
Vid belastning i z-led så är bromsklossen och dess funktion borttagna för att syftet med lastfallet är att undersöka hållfastheten för spårstoppen. Vid simuleringar med samma modell som tidigare med ansatt kraft i z-led så konvergerade inte spänningarna vid spårstoppen på ett acceptabelt sätt vilket figur 4.50 visar.



Figur 4.50 Spänningen för spårstoppet med oacceptabel konvergens

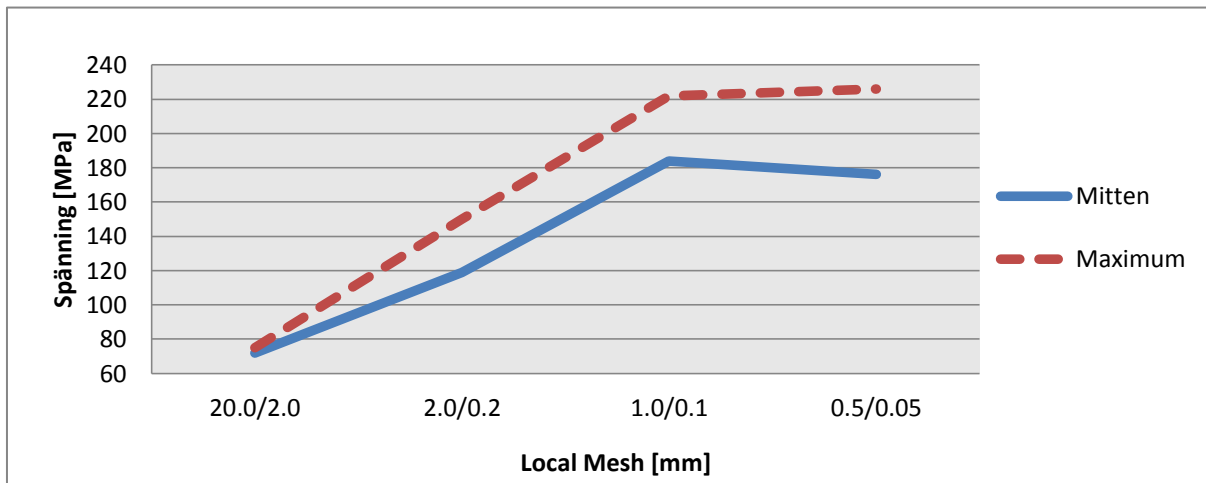
Som följd av den dåliga konvergensen har ytterligare approximerade och konservativa simuleringar genomförts. Vid dessa tester har lasten lagts enligt kravet direkt på spårstoppet för att undersöka de spänningskoncentrationer som uppstår.

Undre spårstoppet belastas med en kraft direkt på ändstoppets radie. Med tanke på att respektive spårstopp är identiska så simuleras endast ett av dem vilket visas i figur 4.51.



Figur 4.51 Översikt på belastningsfallet och avsaknad spänningskoncentration

Figur 4.52 visar konvergens för spänning i mitten och maximal uppkommen spänning.



Figur 4.52 Konvergens för uppmätt spänning i mitten och spårets maximala spänning

Den största beräknade spänningen i detta område blev **226 MPa**, vilket är under sträckgränsen som är 355 MPa.

5 SLUTSATS

Här följer slutsatser kring de mest relevanta resultaten, konstruktionsförslag, besvarande av frågeställning, samt diskussion kring uppfyllande av syfte.

5.1 Spänningskoncentrationer vid x- och y-riktad belastning

Enligt redovisat resultat så uppstår det spänningskoncentrationer i flera olika områden för belastning i både x- och y-riktning. Dessa spänningskoncentrationer uppstår i olika områden men vissa områden återkommer för båda belastningsriktningarna. I detta kapitel dras slutsatser kring resultatens rimlighet för respektive område.

5.1.1 Nedre stålöransats

Dessa slutsatser behandlar resultatkapitel 4.3.1.1 och 4.3.2.1.

Spänningskoncentrationer uppstår i två motsatta sidor av det tunnväggiga röret i form av drag- respektive tryckspänning enligt teori för böjspänningar.

Spänningen blir högre vid belastning i x-riktning, vilket beror på spårets och bromsklossens placering i förhållande till den anlagda kraften. I den modell som vi använt oss av så har bromsklossen modellerats som stelt låst till det yttre stålörret. Vid belastning i x-riktning så bidrar bromsklossen till att teleskopet blir styvare än området nedanför och därför påfrestas det området mer.

Dessa resultat är rimliga, med tanke på att de ligger nära en infästning till ett grövre tvärsnitt och i en diameterförändring vilken fungerar som en formfaktor, med andra ord så höjer den spänningsnivån. Spänningarna når inte upp till sträckgränsen men ligger strax under vilket bör vara i åtanke vid fortsatt utveckling av konstruktionen.

5.1.2 Skänkelansats

Dessa slutsatser behandlar resultatkapitel 4.3.1.2.

Vid belastning i x-riktning så är det endast tållåsningen som förhindrar styrkolonnen från att tiltas. Därför blir spänningsbilden inte symmetrisk utan spänningskoncentrationerna blir mer påtagliga på samma sida som låsningen sitter. Detta medför att spänningskoncentrationer uppstår i ansatsen på samma sida som låsningen.

Ansatsen är en förstärkning för detta område, vilken KA har konstruerat för att förebygga denna spänningskoncentration. Spänningarna uppgår till värden över sträckgränsen vilket tyder på att förstärkningen i området inte är tillräcklig för att hålla spänningarna nere. Trovärdigheten i resultatet anses vara god eftersom skänkeln på låsningssidan är en central del i konstruktionen som utsätts för ett stort böjande moment. Skänkeln på motsatta sidan kan rotera fritt och tar därför inte upp något moment.

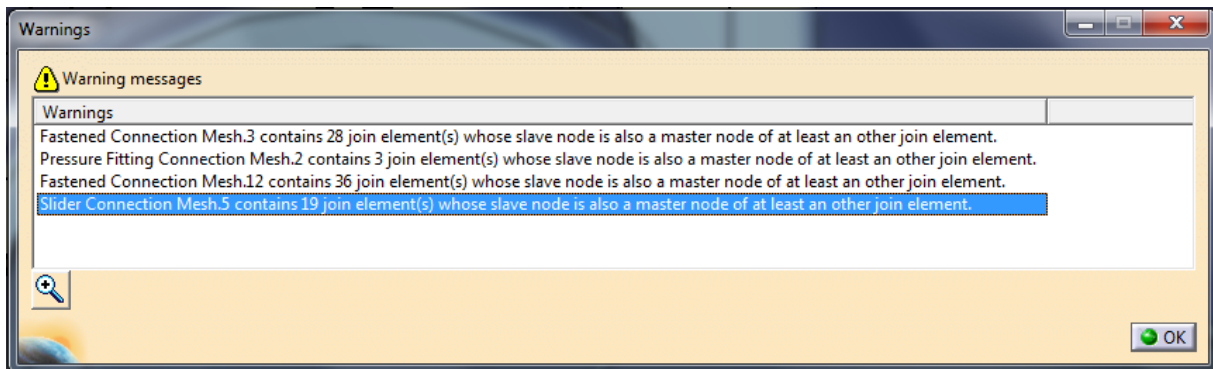
5.1.3 Nedre och övre spårstopp

Dessa slutsatser behandlar resultatkapitel 4.3.1.3, 4.3.2.2 och 4.3.2.4.

I teleskopfunktionens inre stålrör uppstår det spänningar i spåret för flera olika fall. För detta område är det svårt att motivera varför det uppstår så pass höga spänningar vid alla dessa fall. Därför finns det anledning att vara tveksam till de använda villkoren i anslutning till spåret.

Vid belastning i x-riktning så uppstår en hög spänning vid det nedre spårstoppet om styrkolonnens teleskop är utdraget. Den spänningen uppstår i enlighet med teori för böjspänning med en dragspänning i ena sidan och en tryckspänning i den andra. Anledningen till att spänningen uppgår till värden över sträckgränsen är att spåret minskar rörets yttröghetsmoment och därför försämrar dess hållfasthet.

Vid belastning i y-riktning så uppstår det en väldigt hög spänning i det nedre spårstoppet då teleskopet är i sitt inre läge. När teleskopet är i sitt inre läge så befinner sig det nedre spårstoppet i kontakt med plastbussningen som i sin tur har kontakt med det yttre stålröret. Dessa delar borde bidra till att detta område blir mer hållfast då teleskopet är i sitt inre läge, vilket tyder på att detta resultat med y-riktad belastning inte är trovärdigt. För de fallen med teleskopet utdraget uppstår en spänning av liknande storlek vid det övre spårstoppet, då plastbussningen istället ligger i kontakt med det området. Vid närmare utvärdering av dessa resultat så kan en direkt koppling hittas till ett felmeddelande, se figur 5.1, som mottagits vid simulering av dessa belastningsfall.



Figur 5.1 Varningsmeddelande som mottagits efter avslutad simulering

Det markerade felmeddelandet i figur 5.1 anmärker på just det glidvillkoret som använts mellan stålröret med spåret och plastbussningen. Samtliga felmeddelanden i figur 5.1 anmärker på problem vid meshning av fyra olika kontaktvillkor som använts i modellen. De tre övre anmärker på kontaktvillkor långt ifrån intressanta områden och därför kan de ignoreras. Däremot så bekräftar det fjärde felmeddelandet att kontakten mellan plastbussningen och stålröret inte kan meshas utan att de två delarna använder samma element. Detta medför att simulering av detta område inte kan genomföras på ett acceptabelt sätt och därför anses dessa spänningar vara orimliga.

Trots att de spänningarna som uppstår i direkt kontakt med plastbussningen inte anses vara trovärdiga, så är inte alla resultat med Y-riktad belastning orimliga. Då teleskopet är i sitt yttre läge så uppstår spänningskoncentrationer i det nedre spårstoppet, på samma sätt som vid belastning i x-riktning. För y-riktad belastning uppgår inte spänningen till lika höga värden som vid x-riktad, eftersom spåret då inte befinner sig i ett område som utsätts för drag- eller tryckspänning. Att den spänningen uppstår för båda dessa belastningsriktningar tyder på att de är rimliga.

5.1.4 Skänkel tapp

Dessa slutsatser behandlar resultatkapitel 4.3.1.4 och 4.3.2.3.

Tapparna som tillsammans med glidlager utgör tilt punkten påfrestas vid belastning i både x- och y-riktning.

Vid belastning i y-riktning skjuvas tapparna eftersom styrkolonnen böjs runt en annan axel än den som styrkolonnen normalt tiltas runt. Tappen på den ena sidan skjuvas åt det ena hållet och den andra åt det motsatta hållet. Själva koncentrationen uppstår i tappens kant mot skänkelkroppen eftersom radien är liten.

När belastningen istället är x-riktad så är det (som tidigare nämnt) tiltåsningen som förhindrar styrkolonnen från att tiltas och eftersom den sitter vid ena sidan så blir styrkolonnen belastad asymmetriskt på samma sätt som spänningarna i skänkelansatsen. Vid detta fall så tar tappen på låsningssidan upp en större andel av den totala belastningen och därför är det där som den maximala spänningen uppstår. Till skillnad från vid belastning i y-riktning så skjuvas istället båda tapparna åt samma håll men olika mycket. Koncentrationen uppstår även vid detta fall i tappens kant mot skänkelkroppen.

Den maximala spänningen är alltså något högre vid x-riktad belastning, men oavsett belastning i x- eller y-riktning så uppgår spänningarna över sträckgränsen. Dessa spänningar anses vara rimliga eftersom spänningskoncentrationerna uppstår på förväntade sidor av båda tapparna vid samtliga fall.

5.1.5 Bottenplattorna

Dessa slutsatser behandlar resultatkapitel 4.3.1.5 och 4.3.2.5.

Eftersom momentfördelningen varierar linjärt från ansättningskraften så förväntas de största spänningarna uppstå nära infästningen. Då styrkolonnen belastas uppstår spänningar i enlighet med denna teori, eftersom bottenplattorna är så nära den fasta inspänningen man kommer. Spänningen i denna del av konstruktionen är mindre koncentrerad utan istället utbredd över ett större område och uppgår till värden motsvarande nästan dubbla sträckgränsen oavsett belastningsriktning. Utifrån dessa resultat kan man dra slutsatsen att bottenplattorna är alldeles för vecka.

Spänningen i både undre och övre bottenplattan uppgår till värden över sträckgränsen. Den maximala spänningen uppstår i ansatsen i den övre bottenplattan, vilken har totalt sett en större spänningsbild. Anmärkningsvärt att den maximala spänningen återfinns i samma punkt oavsett belastningsriktning. Den punkten återfinns mot kortsidan nära ett av de fyra större hålen, där ansatsen ändrar form. Anledningen till att de fyra hålen finns där och att ansatsen ändrar form går inte att undgå på grund av standarden för hur infästningen till styrservon ska se ut.

Med tanke på att det är ett längre avstånd mellan skruvhålen på långsidorna så kan den delen av bottenplattorna få en större utböjning. Mellan skruvhålen på kortsidorna är det däremot ett kortare avstånd vilket medför ett mindre utrymme för utböjning. Då styrkolonnen belastas i x-riktning så släpper bottenplattan från jorden på ena sidan med en utböjning mellan skruvhålen och därför uppstår den maximala spänningen istället mot kortsidan. Spänningsbilden är därför jämnt fördelad runt hela bottenplattan.

När belastningen istället är y-riktad så har spänningsbilden större kontraster. Här befinner sig kortsidan på den sidan där den maximala spänningen förväntas uppstå, vilket den också gör. Därför har också den maximala spänningen ett högre värde än vid belastning i x-riktning. Mot långsidan däremot så uppstår lägre spänningar, vilket ger spänningsbilden de större kontrasterna.

Tidigare erfarenheter hos KA bekräftar att dessa delar av konstruktionen är väldigt utsatta vid belastning. Dessa spänningar anses vara rimliga.

5.1.6 Nedre stålrör

Dessa slutsatser behandlar resultatkapitel 4.3.1.6 och 4.3.2.6.

I det nedre röret uppstår det en spänningskoncentration eftersom röret är nära de fast inspända bottenplattorna. Denna spänningsbild uppstår vid belastning i både x- och y-riktning, men med något högre värde vid det senare. Anledningen är densamma som för bottenplattorna, dess orientering som följd av att de är rektangulära vilket diskuteras i kapitel 5.1.5.

Spänningarna anses vara rimliga och den maximala spänningen som uppstår är lägre än sträckgränsen. Så länge röret fästs till bottenplattan med bra passning utan att bygga in ytterligare spänningar håller det.

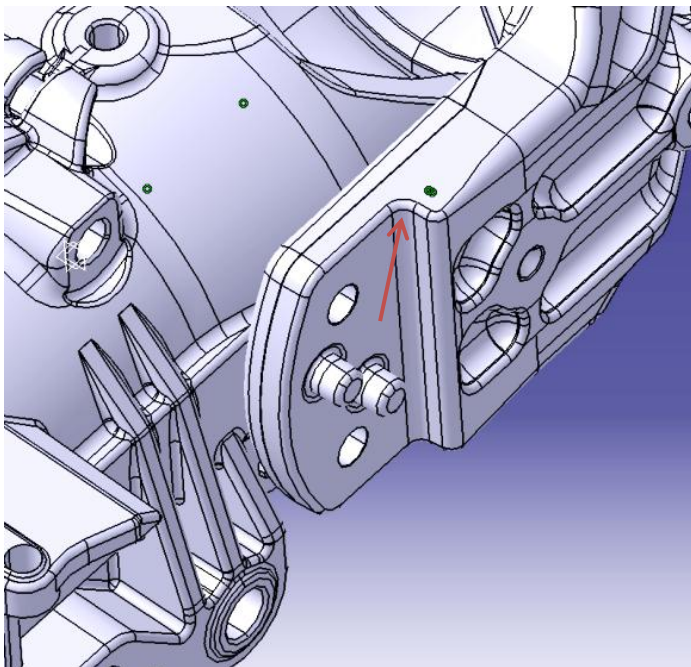
5.1.7 Infästning av tandlåsning till skänkel

Dessa slutsatser behandlar resultatkapitel 4.3.1.7.

Tandlåsningsskivorna är fästa till en av skänklarna genom två skruvförband, vilket medför att spänningen borde fördelas över hela skänkels tjocklek vid belastning i x-riktning. Flera tester av villkor har genomförts för att nå en modell som simulerar den spänningsfördelningen på ett rimligt sätt. Eftersom uppstående spänningar i skänkeln är det som för analysen är intressant så accepteras lokala fel och spänningskoncentrationer i själva tandskivorna.

Förutsatt att de två skruvförbanden är korrekt åtdragna så uppträder de två skivorna och skänkeln som en solid, vilket medför att höga spänningskoncentrationer i kontaktytan mellan skänkel och inre tandskiva är orealistiska. Då är också de två tapparna som sitter i anslutning till skivorna onödiga för hållfastheten, om någon av skivorna börjar glida så har skruvförbandets funktion redan brutit.

Vid belastning i x-riktning uppstår en spänning genomgående hela skänkeln med en koncentration nära det inre hörnet vid tandskivornas övre kant vilket är rimligt eftersom skänkeln har en tjockleksändring där som syns i figur 5.2.



Figur 5.2 Skänkeln med tandskivorna borttagna så tjockleksförändringen syns

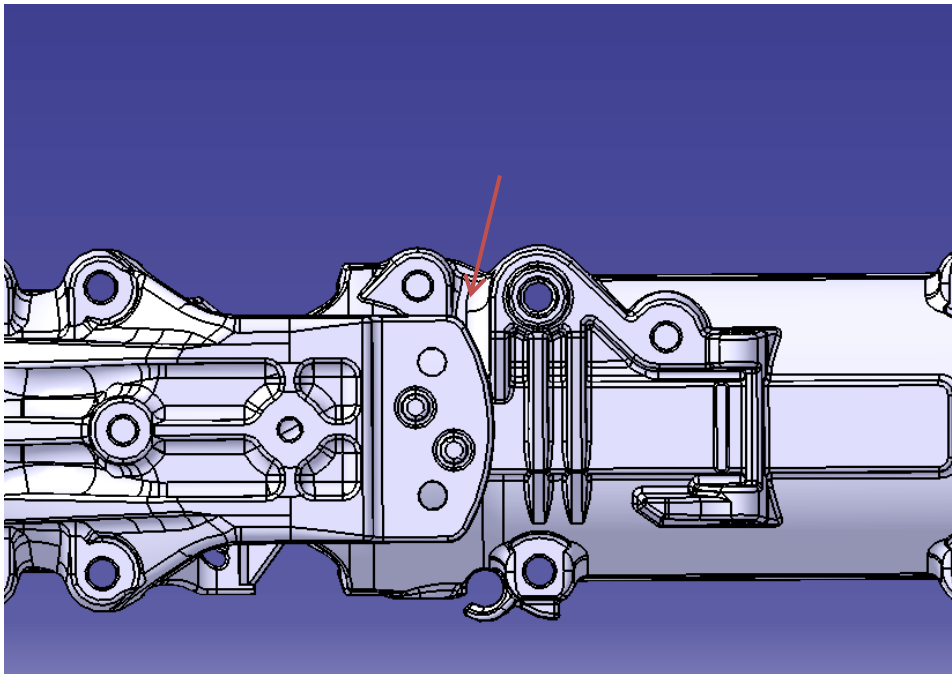
Den maximala spänningen i området uppgår till ett värde högre än sträckgränsen vilket innebär att skänkels hållfasthet inte är tillräcklig.

5.1.8 Nedre aluminiumhus

Dessa slutsatser behandlar resultatkapitel 4.3.1.7.

Vid belastningen i x-riktning uppstår en spänningskoncentration i aluminiumhuset på samma sida som tiltlåsningsmekanismen. Vid förenklingarna av styrkolonnen har många delar tagits bort vid tiltlåsningsmekanismen och den arm som överför kraften från tandplattorna till nedre aluminiumhuset ersätts med en virtuell del.

Spänningen är rimlig då den uppstår i ett område med kraftigt varierande tjockleken spänningskoncentrationen befinner sig där aluminiumhuset förväntas vara svagast vilket visas i bild 5.3.



Figur 5.3 Styrkolonnen med tandplattorna borttagna så att den varierande tjockleken syns väl

5.1.9 Ansats nedre aluminiumhus

Dessa slutsatser behandlar resultatkapitel 4.3.1.9 och 4.3.2.7.

Vid belastning i x-riktning så uppstår spänningen i den inre skänkeln på det nedre aluminiumhuset på samma sida som tiltlåsningsmekanismen. Då styrkolonnen tiltas och belastas i y-riktning så uppstår en vridning och därför belastar det nedre aluminiumhuset i de ansatserna som är på samma sida som styrkolonnen tiltas åt.

Spänningar för båda belastningsriktningarna når aldrig upp till sträckgränsen, men spänningskoncentrationerna är rimliga och uppstår eftersom ansatserna är väldigt små.

5.2 Spänningskoncentration vid z-riktad belastning

KA har vid tidigare tester belastat spårstoppet dynamiskt och brott har förekommit. Simuleringen av det statiska belastningsfallet ger inga indikationer på någon som helst deformation. Den stöt som uppstår vid dynamiskt test ger inte en kraft jämförbar med det statiska belastningsfallet.

Den maximala spänningen som uppkommer är extremt koncentrerad vilket tyder på att den är orimlig. Element angränsande till punkten med maximala spänningen har betydligt lägre spänningar vilket inte är realistiskt med tanke på att kraften är jämnt fördelad över hela ytan. Att spänningen blir större mot kanterna är realistiskt men inte att den varierar kraftigt längsmed radien.

Simuleringarna med den ursprungliga modellen och belastning i z-riktning visade inte på några utmärkande spänningar alls. I spårstoppet uppstod en spänningskoncentration som inte konvergerade. Anledningen till detta kan vara densamma som för de spänningskoncentrationer i spårstoppen som diskuteras i kapitel 5.1.3.

5.3 Utböjning

Den utböjningen som erhöles genom handberäkningar stämmer dåligt överens med de utböjningar som erhöles vid motsvarande simulering. Beräkningarna genomfördes i samband med en genomgång av styrkolonnens vitala delar ur hållfasthetssynpunkt. Efter samtal med KA så drogs slutsatsen att de resulterande utböjningarna var för låga.

I simuleringsarbetet överensstämde de utböjningsresultat som erhöles bättre med KA:s erfarenheter. Efter simulering av motsvarande belastningsfall som beräknats så bekräftades det att beräkningarna genomförts med för stora förenklingar eftersom skillnaden i resultat var så stor.

Utböjningarna från samtliga simuleringar anses vara rimliga grundat på god konvergens kombinerat med erfarenheten hos KA. Detta ger slutsatsen att en konstruktion som består av många olika delar och därför också har väldigt många kontaktytor är svår att genomföra handberäkningar på. Det är inte lämpligt att approximera så många sammansatta komponenter till en samling enkla tvärsnitt för att sedan beräkna en utböjning genom superpositionering.

5.4 Förändringsförslag

För vidare utveckling av prototypen följer här diskussion kring hur man kan förändra konstruktionen för att förebygga de spänningar som enligt resultat är högre än sträckgränsen.

5.4.1 Skänkelansats

Den förstärkningsansats som spänningskoncentrationen uppstår i bör förstärkas och göras större. En ökning av ansatsens tjocklek och/eller räckvidd skulle förbättra hållfastheten. Ansatsen skulle kunna förlängas så långt det går nedåt utan att kollidera med det nedre aluminiumhuset vid maximal tilt.

Anledningen till att denna kraftiga spänningskoncentration uppstår är den asymmetriska belastningen som följer att låsningsanordningen sitter på ena sidan. Om låsningsanordningen skulle sitta mer centralt eller fördelad på båda skänklarna så skulle spänningarna inte uppgå till lika höga värden. En tiltlåsningsanordning skulle med fördel placeras centralt på den sidan som styrkolonnen ska kunna tiltas åt. KA har tidigare använt centrala tiltlåsningsanordningar i andra modeller av styrkolonner. En sådan variant kan vara att föredra även i denna modell.

Spänningsbilderna vid skänkelansatsen och längre ut på skänkeln vid låsningsanordningen (se kapitel 5.4.6) beror mycket av varandra. Alltså skulle en konstruktionsförändring vid det ena området av dessa två också påverka spänningsbilden i den andra. För att öka hållfastheten i hela skänkeln bör båda områden förändras.

5.4.2 Nedre och övre spårstopp

Trots att stora delar av resultaten för spårstoppen anses vara orimliga så kvarstår det faktum att spänningar över sträckgränsen förekommer. Spänningarna i områdena för spårstoppen skulle minska vid ökad tjocklek av röret. Ett tjockare rör skulle samtidigt minska de spänningarna som uppstår i stålroresansatsen.

När teleskopfunktionen befinner sig i ändlägena ligger plastbussningens ”krage” an mot spårstoppet. Om anläggningsytan mellan plastbussningens krage och spårstoppet maximeras skulle kraftöverföringen vid böjning bli mindre koncentrerad. Maximal anläggningsyta där emellan skulle innebära att de två delarnas radier skulle behöva vara identiska.

5.4.3 Skänkel tapp

För att enklast minska spänningarna i tapparna kan radien vid tapparnas infästning till resten av skänkelkroppen ökas. Som följd måste då plastlagren och hålen dimensioneras med samma radie.

En annan förstärkande förändring som kan göras är att öka diametern på tapparna. Eftersom inga spänningskoncentrationer av anmärkningsvärd grad uppstår i närheten så skulle en större diameter inte riskera att skänkeln blir vekare.

Även denna spänningskoncentration påverkas av att skänklarna belastas asymmetriskt eftersom låsningsanordningen sitter på den ena sidan. Däremot så uppstår det spänningar högre än sträckgränsen även vid belastning i y-riktning, vilket innebär att man inte skulle bli kvitt alla hotande spänningskoncentrationer genom att förändra tittlåsningens position.

5.4.4 Bottenplattorna

Eftersom spänningarna i bottenplattorna uppgår till värden mycket högre än sträckgränsen kan de inte motverkas med små konstruktionsförändringar. Därför bör en grundlig omkonstruktion av styrkolonnens fasta inspänning övervägas.

I tidigare stadier så hade prototypen endast en bottenplatta, men som följd av genomfört förstärkande test av KA har infästningen förstärkts med ytterligare en platta. Eftersom de största spänningarna uppstår i den förstärkande övre plattan så fyller den en förstärkande funktion men den är inte tillräcklig.

Om den ansatsen på den övre bottenplattan skulle konstrueras större så skulle spänningarna minska. Med den typen av lösning uppstår en problematik med de fyra hålen som enligt standard måste finnas där. Prototypen har i dagsläget en så stor radiell ansats att de fyra hålen medför att en del av ansatsen tas bort. En ännu större radiell ansats skulle påverkas mer av de fyra hålen efter mycket av ansatsen skulle behöva tas bort för att inte täcka hålen.

För att förstärka inspänningen utan att täcka de fyra hålen är det en bra idé att använda andra utrymmen. Exempelvis skulle man kunna utnyttja utrymmet på insidan av stålörret genom att där placera en förstärkande cylinder eller konisk ansats som utgår från den undre bottenplattan. Vid en sådan konstruktion skulle stålörrets nedre kant ligga an mot bottenplattan och hålet mot styrservon skulle bli mindre.

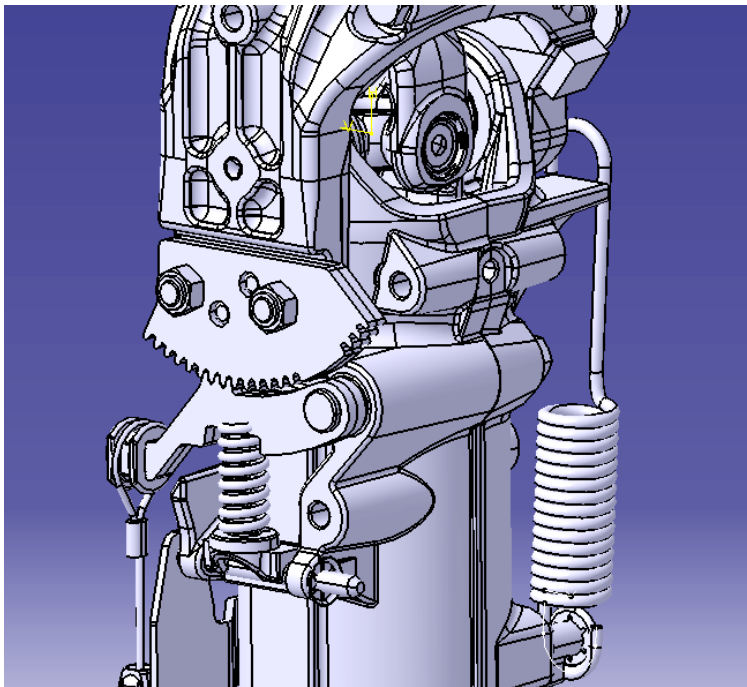
5.4.5 Infästning av tandlåsningen till skänkel

Som nämnt tidigare i kapitel 5.4.2 så beror spänningsskildern i detta område även av hur spänningsskildern ser ut vid ansatsen längre in på skänkeln. Konstruktionsförändringar i dessa två områden påverkar därför varandra.

Där tandplattorna sitter infästa så är skänkeln tunnare och för att minska de uppstående spänningskoncentrationerna där så kan kanterna göras mindre skarpa. Spänningen fördelas också över skänkels hela tjocklek, vilket innebär att en tjockare skänkel skulle sprida spänningarna bättre och därför vara mer hållfast.

5.4.6 Nedre aluminiumhus

Genom att göra aluminiumhusets tjocklek mindre varierande och som följd få en slätare yta koncentreras spänningen inte lika mycket och blir därför mer hållfast. Anledning till att husets utformning varierar så mycket beror på att utrymme behövs för skruvhål. Det stora skruvhålet närmast området med spänningskoncentrationen används för infästning av tillåsningsarmen, se figur 5.4. Om man skulle använda sig av en annan variant på låsningsanordning med en tillåsningsarm på en annan position så skulle inte denna spänningskoncentration uppstå.



Figur 5.4 Styrkolonnens tillåsning med arm

5.5 Besvarande av frågeställning

För att verifiera att frågeställningen besvarats så följer här direkta svar.

- Håller prototypen, med aktuella dimensioner, för de laster som beskrivs i bifogad kravspecifikation?

Prototypen håller inte vid belastningar enligt kravspecifikationen. Resultaten visar att spänningarna är större än sträckgränsen vid flera områden, se kapitel 4.3.

- Var uppstår de största effektiva spänningarna?

Våra resultat visar att den största spänningen uppstår i bottenplattan, se kapitel 4.3.2.5.

- Vilken typ av förändring i konstruktionen minskar de största spänningarna?

Se konstruktionsförslag i kapitel 5.4.

- Vilken maximala längd kan styrkolonnen ha och klara befintliga krav?

Eftersom prototypen inte håller för kraven så blir denna frågeställning ointressant.

REFERENSER

[1] Dahlberg, T. (2001) *Teknisk hållfasthetslära*. 3. Lund: Studentlitteratur.

BILAGA 1: Kravspecifikation

Kravspecifikationen publiceras ej.

BILAGA 2: Matlabkod 1

```
clear all, clc, clf

f=input('Ange förlängning (max 85) [mm]: ');
f=f*0.001;
Ltot=0.5502+f;           % Totala längd vid innersta läget.
l1=0.2455;              % Avstånd till tiltpunkten
m1=300; m2=750;        % Villkor enligt spec.
fy1=m1./(f+0.3047);
fy2=m2./(f+0.3047+l1);

if fy1>fy2
    F=fy1
else
    F=fy2
end

z=0:0.001:(Ltot+f);
M=@(z) F*(0.5502+f-z);
plot(z,M(z))
title('Momentfördelning')

% E-moduler
Eaxel=210e9;
Ealu=140e9;
Error=205e9;
EI=zeros(12,1); % Antalet sektioner

% Yttröghetsmomenten
I2=pi*0.022^3*0.002;           % Nedre axelhus (stål)
I3=pi/64*(0.064^4-0.054^4);   % Nedre aluhus
I4=(0.0354*0.014^3)/6 + 0.041^2*0.0354*28; % Gafflarna
I5=pi/64*(0.0568^4-0.048^4);  % Gaffelfäste
I6=pi/64*(0.0276^4-0.0212^4); % Splinesröraxel
I7=pi*0.0276^4/64;           % Splinesaxel (kontakt)
I8=pi*0.019^4/64;           % Rattaxel
I9=pi*0.01925^3*0.0015;     % Inre teleskoprör
I10=pi*0.02175^3*0.0015;    % Yttre teleskoprör

% Styvheter för resp. sektion
EI(1)=Error*I2;
EI(2)=Error*I2+Ealu*I3;
EI(3)=Ealu*I3;
EI(4)=Ealu*I4;
EI(5)=Eaxel*I6+Error*I9+Ealu*I5;
EI(6)=Eaxel*I6+Error*I9;
EI(7)=Eaxel*I7+Error*I9;
EI(8)=Eaxel*I7+Error*(I9+I10);
EI(9)=Eaxel*(I6+I8)+Error*(I9+I10);
EI(10)=Eaxel*I8+Error*(I9+I10);
EI(11)=Eaxel*I8+Error*I10;
EI(12)=Eaxel*I8;

% Resp. sektionens längd
L=[0.0755; 0.134; 0.026; 0.043; 0.0425; 0.0089+f; 0.0066; 0.0472; 0.075-f;
0.0128; 0.021+f; 0.0577];
if f>0.075
    L(8)=(0.0472-f+0.075);
```

```
L(9)=0;
end

w=zeros(12,1);           % Utböjning
v=0;                     % Vinkel
ltot=sum(L)

for i=1:12
    z=sum(L(1:i));
    w(i)=M(z)*L(i)^2/(2*EI(i))+L(i)*v;
    v=v+M(z)*L(i)/EI(i);
end

disp('Utböjningen blir')
disp(sum(w))
```

BILAGA 3: Matlabkod 2

```
clc
clear all

l1=245.5e-3; % undre
l2=389.7e-3; % övre
teta=28;
m1=300; m2=750; % villkor enl. spec

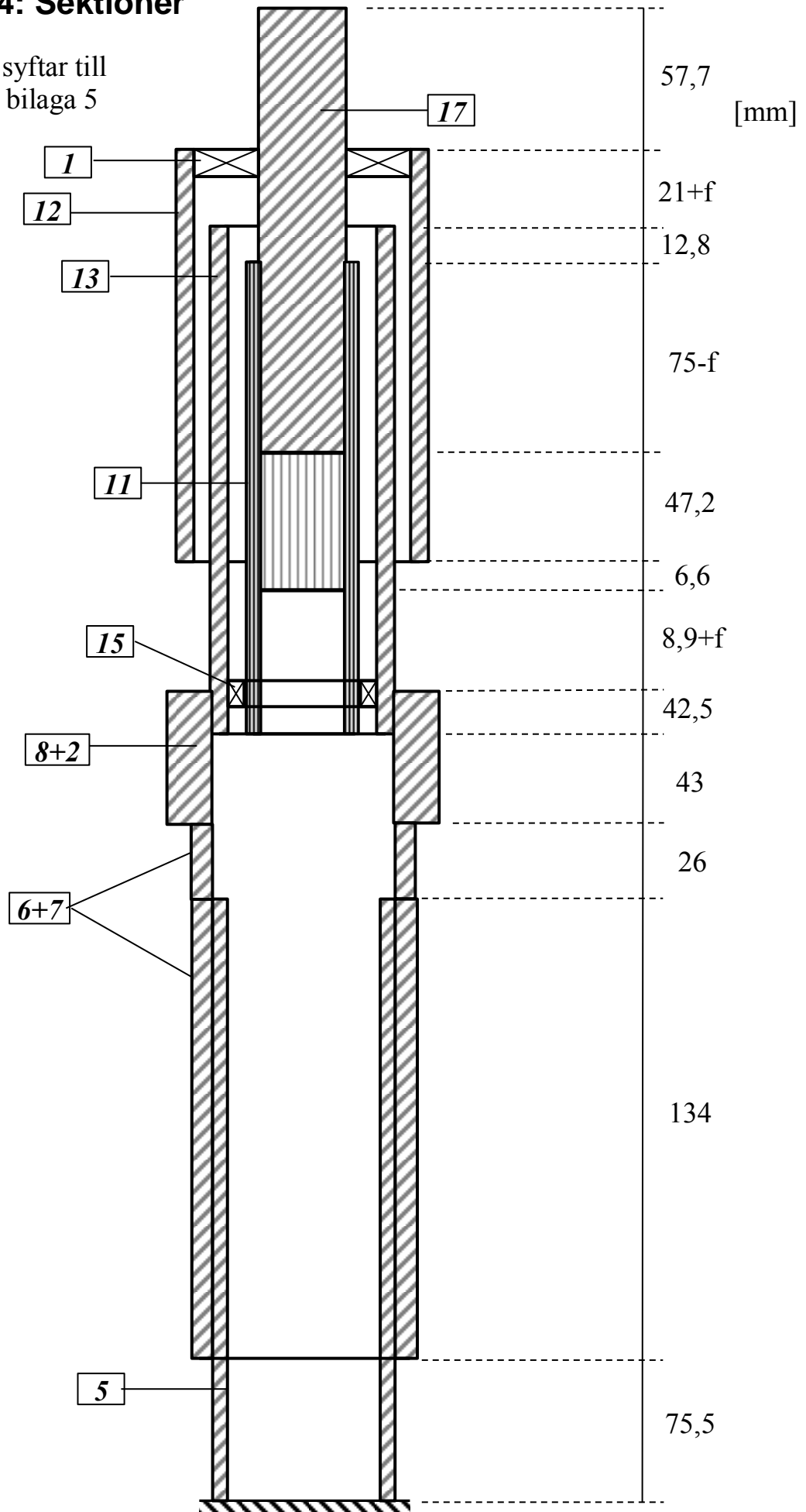
l3=sqrt((l1+l2*cosd(teta))^2+(l2*sind(teta))^2);

fy1=m1/l2;
fy2=m2/l3;

if fy1>fy2
    f=fy1
else
    f=fy2
end
```

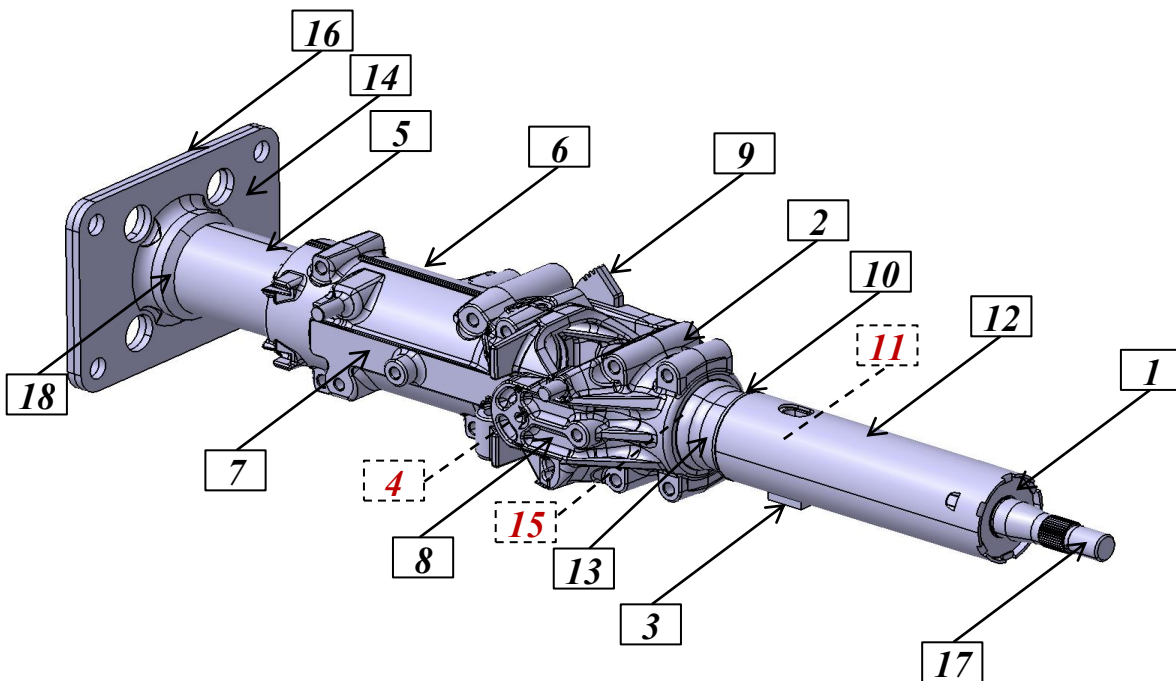
BILAGA 4: Sektioner

Numrering syftar till delar enligt bilaga 5



BILAGA 5: Nya modellen

Nummer	Part	Beskrivning
1	4065	Övre lager mellan rattstång och teleskop
2	9038	Aluminiumskänkel höger (tiltlåsningssidan)
3	9128	Bromskloss i teleskopfunktionen
4 (Dold)	9140	Plastbussningar/glidlager vid tiltpunkten
5	9334-190	Nedre stålrör
6	11048	Nedre aluminiumhus, höger
7	11049	Nedre aluminiumhus, vänster
8	11219	Aluminiumskänkel vänster
9	11220	Tandlåsningssplatta
10	22018	Plastbussning teleskophus
11 (Dold)	22040	Splinesrör
12	22133-03	Yttre teleskophus
13	22134	Inre teleskophus
14	22272	Övre bottenplatta med ansats
15 (Dold)	22287	Plastbussning nedre teleskop
16	22325	Undre bottenplatta
17	22657	Rattaxel, i dess topp anläggs kraften
18	CATPRT-0257	Svetsfog mellan resp. bottenplatta och stålrör



Nya modellen

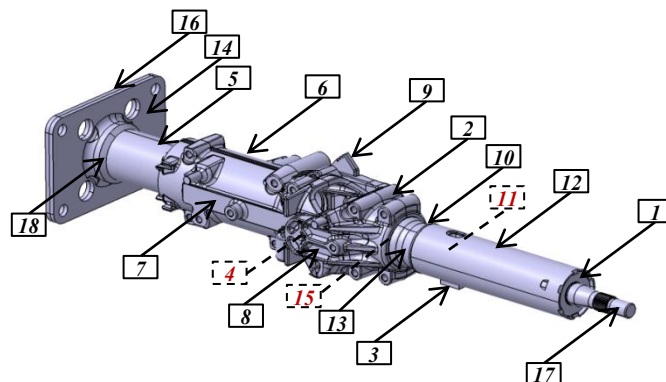
BILAGA 6: Borttagna delar

Part	Beskrivning	Funktion		
		Ingen	Försummas	Ersätts
_NPart#44XXXX	Vajerdel	x		
_NPart#445032	Vajerdel	x		
_NPart#445680	Vajerdel	x		
28-0186	Vajerdel	x		
4034_01	Vajerdel	x		
5523	Lagerlåsning			x
5572_5	Fjärderlås	x		
5572_8	del i tilt	x		
6695-XX	nedre styrstag	x		
7098-58	Låstapp			x
7098-XX	Endstopp			
7610_02	Håltapp servo	x		
7975	Fjärderlås	x		
8171-645	Bult			x
8171-660	Bult			x
8287_03	Gångbult	x		
9134_02	Pinnbult			x
9141_24	Tiltstopp	x		
9149-555	Pinnbult	x		
9332	Bult			x
9337_6	Mutter			x
9339	Wirefäste	x		
9538	Fjäder	x		
9713	Fjädersäte	x		
9758_01	Låsarm	x		
10529_5	Mutter			x
11047	Knut	x		
11240	Fjäder	x		
21302	Platt	x		
22015	Låsningshus		x	
22017	Låsmek.	x		
22030	Låsningshus		x	
22034	Knutlager	x		
22037	Knutlager	x		
22042	Knut	x		
22043	Knut	x		
22148	Skruv	x		
22255	Servogummi	x		
22256	Servogummi	x		
22271	Vajerfäste	x		
22275	Teleskopplatta	x		
22276	Bromsarm	x		
22278_01	Gänghuvud	x		
22280	Bromsarmfäste	x		
CATPRT-0323	Svetsfog under knut	x		
WELD STEERING SHAFT	Svetsfog	x		
WIRE JUSTERING	Vajernippel	x		

BILAGA 7: Villkor

	Part	22325	CATPRT-0257	22272	CATPRT-0257	9334-190	11048	11049	9140	9038	11219	22287	22134	22040	22657	4065	9128	22018	22133-03	11220	Jord	
16	22325		F	R																		CV
18	CATPRT-0257	F				F																
14	22272	R			F																	
18	CATPRT-0257		F																			
5	9334-190	F					P	P														
6	11048					P		F	F												R	
7	11049					P	F		F													
4	9140						F	F		S	S											
2	9038								S				F									B
8	11219								S				F									
15	22287												F	F								
13	22134									F	F	F						F	S			
11	22040											F			S							
17	22657													S		F						
1	4065															F						CF
3	9128												F								R	
10	22018											S										
12	22133-03															CF			R			
9	11220							R		B												
	Jord	CV																				

- B** = Bolt tightening (simulerade skruvförband)
- CV** = Clamped virtual part (virtuella skruvar fäst till jord)
- F** = Fastened (sammansvetsar delarna till en solid)
- P** = Pressure fitting (pressförband med överlapp enligt dimension)
- S** = Slider (delarnas valda ytor glider fritt)
- CF** = Contact friction (delarnas ytor har kontakt med friktionstal 0,3)
- R** = Rigid connection (kopplar valda ytor stelt mot varandra)



BILAGA 8: Materialblad stål

DATASHEET: 11-02-03 GB8413 DOMEX

Domex 355 MC

Hot rolled, high strength, cold forming steel

Page 1/2

PRODUCT

Domex cold forming steels are thermo-mechanically rolled in modern plants where the heating, rolling and cooling processes are carefully controlled.

The chemical analysis, consisting of low levels of carbon and manganese has precise addition of grain refiners such as niobium, titanium or vanadium. This together with a clean structure, makes Domex Steels the most competitive alternative for cold formed and welded products.

Domex 355 MC with designation D and E meet and exceed the demands for steel S355 MC in EN-10149-2.

APPLICATION

The high strength steel grades are used in applications such as truck chassis, cranes and earth-moving machines. In these applications, the high strength of the steels is used to save weight and/or to increase the payload.

As a result of this and the good formability of the steels, the total costs can be reduced.

MECHANICAL PROPERTIES

Yield strength	Tensile strength	Elongation on failure	
		< 3 mm	≥ 3 mm
R _{eH} N/mm ² min	R _m N/mm ² min - max	A ₉₀ % min	A ₅ % min
355	430 - 550	19	23

DIMENSIONS PROGRAM

Domex 355 MC is available in the range of sizes tabulated below in as rolled or pickled condition with mill edge.

For material with trimmed edges, the width is reduced by 35 mm.

Some exceptions may occur.

Thickness (mm)	Width (mm)	Length (mm)
1,80 - (2,00)	800 - 1100	1500 - 13000
2,00 - (2,25)	800 - 1250	1500 - 13000
2,25 - (2,50)	800 - 1250	1500 - 13000
2,50 - (2,75)	800 - 1350	1500 - 13000
2,75 - (3,00)	800 - 1450	1500 - 13000
3,00 - (3,25)	800 - 1550	1500 - 13000
3,25 - 15,00	800 - 1600	1500 - 13000

IMPACT STRENGTH

The Charpy V-notch test is carried out according to EN 10045-1.

Designation	Test temperature	Energy level
B	Not impact tested	
D	- 20 °C	40J
E	- 40 °C	27J

1) Other test temperatures and impact strengths are available subject to special agreement.

BENDABILITY

	Nominal sheet thickness, t		
	≤ 3 mm	3 mm < t ≤ 6 mm	> 6 mm
Min. recommended bending radius (≤ 90 °)	0,2 xt	0,3 xt	0,5 xt

Domex 355 MC

Hot rolled, high strength, cold forming steel

WELDING

The low contents of carbon, phosphorus and sulphur enable all conventional welding methods to be readily used for Domex 355 MC. No preheating is necessary.

There are a large number of filler metals that can be used for welding of Domex 355 MC, which gives a weld that can meet the same minimum tensile strength requirements as the base metal. Some examples of different filler metals that can be used are tabulated below.

CHEMICAL COMPOSITION

C % max	Si % max	Mn % max	P % max	S % max	Al % min	Nb % max	V % max	Ti % max
0,10	0,03 ¹⁾	1,50	0,025	0,010	0,015	0,09 ²⁾	0,20 ²⁾	0,15 ²⁾

1)For hot-dip galvanizing and thin Zn layer (50-80 µm).

2)Sum of Nb, V and Ti = 0,22% max.

HEAT TREATMENT

Stress relief annealing should be carried out within the temperature range of 530 - 580°C. Heat treatment above this range, e.g. normalizing and hot forming, reduces the strength and should be avoided.

TECHNICAL SERVICE AND INFORMATION

Knowledge Service Center will be pleased to assist with additional information concerning this product and other products from SSAB.

EXAMPLES ON DIFFERENT FILLER METALS

Manual metal arc welding coated electrode	Gas shielded metal arc welding		Submerged arc welding Wire/powder	Manufacturer
	Cored electrode	Wire/electrode		
OK 48.00	OK Tubrod 15.00	OK Autrod 12.51	OK 12.24/OK Flux 10.62	ESAB
Filarc 88 S	Filarc PZ6103	Filarc PZ6000S	-	Filarc
P 48 S, Maxeta 22	DWA 50	Elgamatic 100	-	ELGA
Supercord	Fluxofil 12	Spoolcord 21	OE-S2 MO/OP120TT	Oerlikon

The particulars in this data sheet are correct at the time of going to print and are intended to give general guidance for the use of the product. Subject to changes arising from continual product development. The information and data must not be regarded as guaranteed values, unless specially confirmed in writing.

SSAB EMEA AB
SE-781 84 Borlänge
Sweden

Tel +46 243 700 00
Fax +46 243 720 00

help@ssab.com

BILAGA 9: Materialblad aluminiumlegering EN AB-46000

Kemisk beteckning: EN AB- AlSi9Cu3(Fe)

Äldre svensk standard: Typ 4250

Kemisk sammansättning:

Ämne	Min %	Max %
Si	8,0	11,0
Fe	0,6	1,1
Cu	2,0	4,0
Mn	-	0,55
Mg	0,15	0,55
Cr	-	0,15
Ni	-	0,55
Zn	-	1,2
Pb	-	0,35
Sn	-	0,25
Ti	-	0,20

Övriga ämnen vardera max 0,05%
och totalt max 0,25%

Allmän beskrivning av egenskaper:

Mycket god gjutbar universallegering, särskilt lämplig vid pressgjutning. Liten benägenhet till insjunkning och till att bilda inre håligheter. God skärbarhet.

Användningsmöjligheter:

För mångsidig användning. Även för komplicerat och tunnväggigt gjutgods. Speciellt för pressgjutgods med höga påfrestningar.

Värmebehandling:

Åldringshärdas vanligtvis ej

Gjutegenskaper:

Stelningsintervall, °C c:a	Gjuttemperatur °C c:a	Flytbarhet	Varmsprickbeständighet	Krympning % c:a	Trycktätthet
600-490	650-700	God	God	0,5-0,8	God

Mekaniska egenskaper för separatgjutna provstavar:

Brottgräns, R_m , MPa, min.	Sträckgräns $R_{p0,2}$, MPa, min.	Förlängning $A_{50\%}$, %, min.	Brinellhårdhet HBS, min.
240	140	<1	80

Mekaniska och fysikaliska egenskaper:

Densitet kg/dm^3	Hållfasthet	Skärbarhet	Svetsbarhet	Korrosionsbeständighet
2,75	God	God	Dålig	Dålig

Dekorativ anodisering	Polerbarhet	Längdutvidgningskoefficient 293-373°K, $^{\circ}\text{K}^{-1}$	Elektrisk ledningsförmåga MS/m	Värmeledningsförmåga $\text{W/m}^{\circ}\text{K}$
Rek. ej	Tilfredsst.	21×10^{-6}	13 - 17	110 - 120