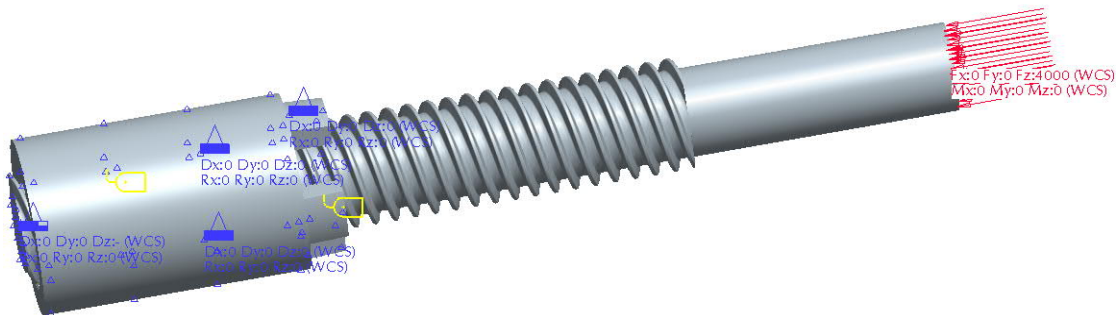




Simulering – FEM (Finita Elementmetoden)

FEM – Modellering med Pro/Mechanica

*Examensarbetet högskoleingenjörsexamen inom
Mekatronikingenjörsprogrammet*

Louise da Silva

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
Avdelning för Avancerad oförstörande provning
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sweden, 2013
Examinator: Gert Perrson
Examensarbete No. 107/2014

FÖRORD

Detta Examensarbete utfördes under 10 veckor som ett uppdrag från SKF Actuation Systems Göteborg. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng för mekatronikingenjörsprogrammet på Chalmers Tekniska Högskola.

Jag vill tacka Johanna Pauli och Sven Svensson för möjligheten att utföra examensarbetet på SKF Actuation Systems, konstruktör och handledare Pär Högberg för allt support och tid under arbetets gång, Gert Persson som var handledaren på Chalmers Tekniska Högskola och Alejandro Sampedro som var en stor källa till utbildningsmaterial.

Göteborg, januari 2014

Louise da Silva

SAMMANFATTNING

Målet med projektet var att utreda och undersöka om hållfasthet och termiskt beräkningsprogram Pro/Mechanica är ett bra program för användning under företagets olika projekt, samt att beskriva hur och när det borde användas. Programmet finns tillgängligt i SKF Actuation Systems men utnyttjas inte på grund av begränsad kunskap när det kommer till hur programmet borde användas.

För att hitta en lämplig arbetsmetodik på hur programmet borde användas gjordes flera övningsexempel. För att testa den framtagna arbetsmetodiken, samt förbättra den, genomfördes olika jämförelseberäkningar på en vanlig konstruktion med komplicerad geometri, bestående av en skruv samt en mutter.

De flesta beräkningar realiserades för att bestämma vilken typ av modell och metod som är mest lämplig under hållfasthetsberäkningar. Hållfasthetsberäkningar gjordes på en 2D-modell, en symmetrimodell (slice av 3D-modellen) och hela 3D-modellen, medan termiskberäkning utfördes bara på en 3D-modell av muttern.

Dessa beräkningar visade att arbetsmetodiken var funktionell och att man inte kunde få snabbhet och effektivitet på samma modell. 2D-modellen var snabbast följt av symmetrimodell, medan 3D-modellen var den som gav dem mest kompletta resultaten men att nå dessa tog betydligt längre tid.

ABSTRACT

The goal of the project was to investigate if the structural and thermal calculation program Pro/Mechanica is a good program to use under the company's projects and specified how and when it should be used. Pro/Mechanica is available in SKF Actuation Systems but is not exploited due limited knowledge when it comes to how the program should be used.

To find a proper working method on how the program should be used, several tutorials were made. To test the developed working method, and improve it, several comparison calculations were done on a standard construction with complicated geometry, consisting of a screw and a nut.

Most calculations were realized to determine the type of model and method that is most appropriate for structural calculations. Structural calculation were made on a 2D-model, a symmetric model (slice of a 3D- model) and the whole 3D- model while the thermal test were done only on a 3D- model of the nut.

These calculations showed that the working method was functional. It also highlighted that it was not possible to get speed and efficiency on the same model. The 2D- model was the fastest followed by the symmetric model. The 3D- model where considerable slower to calculate but demonstrated the most complete results

INNEHÅLL

1 INLEDNING	2
1.1 Bakgrund.....	2
1.2 Syfte.....	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Precisering av frågeställningen	2
2 TEKNISK BAKGRUND	3
2.1 FEM – Finita Elementmetoden.....	3
3 METOD.....	3
4 RESULTAT	3
4.1 När ska verktyget användas	3
4.2 Hur fungerar Pro/MS.....	3
4.2.1 Geometri	4
4.2.2 Material tilldelning	4
4.2.3 Assemblies	5
4.2.4 Randvillkor.....	6
4.2.5 Laster	7
4.2.6 Analys	8
4.2.7 Resultat	10
4.3 Hur fungerar Pro/MT.....	11
4.3.1 Geometri	12
4.3.2 Material tilldelning	12
4.3.3 Assemblies	12
4.3.4 Randvillkor.....	12
4.3.5 Laster	13
4.3.6 Analys	13
4.3.7 Resultat	13
4.4 Resultat och RMS	13
4.5 Hur ska Pro/MS och Pro/MT användas.....	14
4.5 Utvärderingsmodeller	17
4.5.1 2D-Analys	17
4.5.2 3D-Analys av symmetrimodell	23
4.5.3 3D-analys	28
4.5.4 Termisk Analys	30
5 SLUTSATSER	33
6 REFERENSER	34
BILAGA A: ARBETEMETODIKS FLÖDESESCHEMMA	
BILAGA B: RESULTAT ANALYS SPA 2D	
BILAGA C: RESULTAT ANALYS MPA 2D	
BILAGA D: RESULTAT SPA ANALYS SYMMETRIMODEL	
BILAGA E: RESULTAT MPA ANALYS SYMMETRIMODEL	
BILAGA F: RESULTAT ANALYS 3D	
BILAGA G: RESULTAT TERMISK ANALYS	

BETECKNINGAR

FEM – Finita Elementmetoden

Pro/E – Pro Engineer

Pro/M – Pro Mechanica

Pro/MS – Pro Mechanica Structure

Pro/MT – Pro Mechanica Thermal

SPA – Single-Pass Adaptive

MPA – Multi-Pass Adaptive

Assembly – sammanställning av två eller flera komponenter i Pro/E.

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Inom utvecklingsarbetet på SKF Actuation Systems utförs enklare fysiska tester av produkt- och komponentegenskaper i tidiga delar av ett utvecklingsprojekt. Dessa tester är idag av ytterst rudimentär art, och nyttjar inte de resurser som finns till förfogande. Önskvärt vore att tumregler och metodik för mer elaborerade simuleringar för spänning, deformation, vibrationer (ljud och kritiska förlopp) och värme kunde införas som rutin. För detta saknas idag en metodik för att avgöra när det skulle vara tidseffektivt att nyttja, hur man går till väga samt hur man ska tolka de simuleringsverktyg som finns tillgängliga.

Precisionen och optimeringen av utvecklingsarbeten skulle ha mycket att vinna på ett enhetligt förhållningssätt till nämnda simuleringar. För närvarande upptäcks för höga spänning och ljud nivåer ofta alltför sent i verifieringsfasen för att kunna avhjälpas effektivt.

1.2 Syfte

Examensarbetet i sig handlar om förslag till lämplighet och användande av FEM-verktyg och har som syfte punkterna nedan.

- Att kartlägga det verktyg som finns tillgänglig inom SKF Actuation Systems (Pro/Mechanica Wildfire V4.0) samt bedöma det utifrån användbarhet (frekvens) och användarvänlighet.
- Att utreda och föreslå arbetsmetodik för verktyget samt dokumentera rekommenderad teknik för användandet av dessa.
- Praktiskt använda valda delar av ovanstående verktyg och metoder på en del av en konstruktion för verifiera arbetsmetodiken.

1.3 Avgränsningar

Detaljerad beskrivning av nuvarande arbetssätt kommer inte att avhandlas i arbetet. Pro/Mechanica är ett väldigt komplicerat verktyg därför kommer inte alla funktioner av Pro/Mechanica att tas fram. Med tanke på att detta arbete skrivs till en grupp av ingenjörer kommer inte enkla mekaniska samt termiska begrep att förklaras. Hur resultaten av simulering tolkas kommer inte att ingå i arbetet.

1.4 Precisering av frågeställningen

Det saknas idag vägledning och kunskap runt användande av Pro/Mechanica. Detta kan brytas ner i två delar:

När: När ska verktyget användas? Vid vilka omständigheter är simulering värdefull?

Hur: Hur ska verktyget användas? Hur sätter man upp Pro/Mechanica? Hur förenklar man sin modell? Hur sätter man gränser för olika simuleringar (spänning, deformation, värmeledning)?

2 TEKNISK BAKGRUND

2.1 FEM – Finita Elementmetoden

Finita Element Metoden mest känd som FEM, är en matematisk metod för att lösa system av differential ekvationer. Det finns många exempel på tillämpningar där sådana ekvationer uppkommer som: strukturmekanik, dynamik, akustik, termiska problem och så vidare.

Integrering av FEM i moderna CAD-program hjälper konstruktörer att bestämma viktiga faktorer i sina konstruktioner som detaljutformning, vikt, kostnad och val av material. Dessutom kan användare genom att visualisera storheter som spänning, deformation, temperaturfördelning, osv. kontrollera om designad konstruktion följer vissa punkter i kravspecifikationer.

3 METOD

För att skapa kunskap inom Pro/Mechanica gjordes en två veckor lång online kurs (PRO/ENGINEER Mechanica - Simulation using PRO/ENGINEER Wildfire 4.0) via PTC. För att testa och utvärdera Pro/M som verktyg och hitta det mest lämpliga arbetssätt att använda programmet kördes flera olika analyser i både 2 och 3 dimensionella modeller. Datorn som användes till att köra analyserna var en HP-EliteBook 8560w. Slutligen användes ett flödesschema för att illustrera det bästa sättet att arbeta i Pro/M.

4 RESULTAT

4.1 När ska verktyget användas

Pro/Mechanica ska användas under tidig fas av projektet för att hjälpa konstruktören med val av material och design av sin komponent samt hitta svagheter i konstruktionen. Med Mechanica ska användaren kunna analysera om sin modell klarar av specificerade laster och temperaturer. Många gånger vill man veta spänning och deformation vid en viss punkt på sin komponent eller var den maximala spänningar och deformationer uppkommer. Med hjälp av programmet kan sådana beräkningar utföras väldigt snabbt och med resultatet ganska nära verkligheten vid rätt användning.

Pro/Mechanica ska användas när användaren vet precis vad det är för beräkningar och frågor han vill ha svar på.

4.2 Hur fungerar Pro/MS

Programmet följer en tydlig röd tråd, med det menas att det alltid finns specifika momenten som måste göras för att komma fram till ett resultat. Dessa kan självklart varieras lite beroende på vilken typ av analys man vill utföra.

En struktur analys initieras genom att välja - *Edit – Mechanica Model Set Up – Model Type – Struct.*

Det finns fyra olika typer av mode som kan användas i Pro/MS: 3D, 2D Plane Stress (Thin Plate), 2D Plane Strain (Infinitely Thick) och 2D Axisymmetric.

3D

Här kommer hela modellen att tas till hänsyn. Ideell för modeller med komplexa geometrier där 2D-mode inte räcker till.

2D Plane Stress

Ideell för modeller som är väldigt tunna mot en riktning (z-axel). Den valda geometri som ska analyseras måste ligga på xy-plan så som alla laster och randvillkor.

2D Plane Strain

Rekommenderas för modeller som har samma tvärsnitt mot en riktning (z-axel). Tvärsnittet måste ligga på xy-planen och alla laster och randvillkor ska inte variera genom z-axeln.

2D Axisymmetric

Används för modeller som är symmetriska runt y-axel när det kommer till geometri, laster och randvillkor. Även här ska tvärsnittet ligga i xy-planen (i positiv x-riktning). För användning av 2D axisymmetric krävs det att användare skapar ett snitt i sin modell (i Pro/E mode) för att exponera det tvärsnitt som ska analyseras.

4.2.1 Geometri

För att få resultaten när det gäller spänning och deformation så måste man först och främst skapa den geometriska modellen. Detta kan göras i Pro/E (integrated mode) eller direkt i Pro/MS (independent mode). I denna skrift kommer bara integrated mode att användas. Detta innebär att geometri kommer att skapas i Pro/E som vanligt och sedan kommer beräkningar att utföras med hjälp av Pro/M.

Geometri skapas alltid detsamma oberoende av vilken analys som kommer att användas i framtiden (2D eller 3D). Det enda som skiljer sig åt vid skapningen av geometrier, är att för en 2D modellen krävs skapning av ett snitt, som exponera tvärsnitt som önskas studeras i positiv xy-plan.

När det önskas att utnyttja 3D-modellens symmetrier är även här skapning av snittet nödvändigt.

4.2.2 Material tilldelning

Det är väldigt viktig att ange rätt material. Materialet kan skapas eller väljas direkt från Pro/M bibliotek, om det finns tillgängligt. Observera att det alltid är bra att kontrollera egenskaperna (densitet, E-modul, Poissons tal...) hos material som väljs från biblioteket innan dessa används för att försäkra att materialet har samma egenskaper som det som ska användas i verkligheten, annars kommer beräkningarna att vara felaktiga.

Med Pro/M finns det tre olika typer av material som kan skapas: isotropic, orthotropic och transversely isotropic.

Det är även möjligt att lägga till skapade material i biblioteket så att dessa kan användas i framtida modeller.

Olika material kan tilldelas till olika komponenter i en assembly och även till skapade volymer.

Material som tilldelats i Pro/Mechanica mode har inga samband med material som används i Pro/Engineer mode.

4.2.3 Assemblies

Connections

När man arbetar med assemblies i Pro/MS är det väldigt viktigt att definiera hur olika parter är ansluta till varandra. Detta görs när man kommer in i Mechanica mode med hjälp av *insert – Connections*. Det finns många olika typer av anslutning i Mechanica (*Interface*, *Weld*, *Rigid Link* och *Weighted Link*) just för att möjliggöra för användaren att ställa in sina anslutningar så nära verkligheten som möjligt. Om ingen anslutning anges där det behövs kommer Mechanica att skapa behövda anslutningar automatiskt med hjälp av sina default värden.

Interface

Här definiera man hur komponenterna i Assembly kommer att vara relaterad till varandra. Mechanica använder Bondet som default värden men detta kan ändras under kommandot - *Edit – Mechanica Model Set Up*. Vidare kan man visualisera hur Pro/M har relaterade komponenter till varandra med hjälp av kommandot - *Info – Model Connectivity*, vilket betyder att det kan kontrolleras att önskade interface används.

När man arbetar i 2D-mode så är det inte möjligt att ändra default värden from *Bonded*. Så därför rekommenderas att skapa ett litet mellanrum mellan komponenterna för att undvika default värden om så önskas.

- **Bonded**
Är det default värde som Mechanica använder automatiskt (om det inte ändras i ställningar). Här ser Pro/M alla komponenter som är sammanställda under assemblies skapning med hjälp av kommandot *Mate* eller *Coincidence* som en enda kropp.
- **Free**
Här anses Mechanica komponenterna fria från varandra dvs. under analysen så kommer Mechanica att analysera dessa som två independent kroppar.
- **Contact**
Här kan det skapas kontakter mellan ytor eller komponenter som följer angivna kriterier som separations gap och vinkelkriterier. När dessa typer av gränssnitt skapas så är det möjligt att analysera även kontaktkrafter.

Weld

Vid skapning av en svetsning så läggs det till material till modellen för att ansluta dessa till varandra. Det finns tre typer av svetsar: *End Weld*, *Perimetar Weld* och *Spot Weld*.

- **End Weld**
Används när man arbetar med skalelement för att ansluta dess medelyta när dessa inte ligger parallella mot varandra. När End Welds ställs in i Pro/M så krävs det endast val av referenserna som skall anslutas.
- **Perimetrar Weld**
Används när man arbetar med skalelement för att ansluta dess medelyta när dessa ligger parallella till varandra. När Perimetrar Welds ställs in i

Pro/M så krävs det val av referenserna, val av vilka kanter där svetsningen ska ligga samt tjocklek på svetsningen.

- **Spot Weld**

Här skapas en cirkulär balk av vald diameter mellan två ytor med hjälp av två punkter som referenser, en i varje yta. När Spot Welds ställs in i Pro/M så krävs det val av referenser, val av punkter där svetsningen ska ligga, inställning av svetsningens diameter samt vilket material svetsningen ska ha.

Rigid Link

Gör så att de valda referenserna blir fast ansluta till varandra på ett sätt att dessa inte upplever någon sorts spänning eller deformation. Rigid Link kan skapas mellan punkter, kanter och ytor. Vid användning i Pro/M krävs här bara val av referenserna.

Weighted Link

Här möjliggör Mechanics att användaren fördelar ett masselement över ytor, punkter eller kanter utan att ändra modellens styvhet. Vid användning av Weighted Link så behöver användaren välja *Dependent side* (punkten där massa ursprungligen angriper på) samt *Independent side* (punkter, kanter eller ytor där den massa som angriper på den valda punkt på *Dependent side* ska reflekteras).

Fastners

Fungeras som en skruvförband mellan valda referenser. Finns två typer av fästeanordningar: *Bolt* och *Screw*.

- **Bolt**

Rekommenderas att användas när man vill fästa två genomgående hål till varandra. När *Bolt Fastners* ska skapas i Pro/M så kan man välja att referenserna kommer att vara två kanter eller två punkter, därefter väljs kanter eller punkter som ska bultas ihop följt av diameter och material på bulten.

- **Skrew**

Rekommenderas att användas när man har ett genomgående hål följt av ett icke genomgående hål, och som namnet säger här kommer parterna att skruvas fast till varandra. Till skillnaden från Bolt Fastners kan bara kanter väljas som referenser följt av diameter och material på skruven.

4.2.4 Randvillkor

Randvillkor används för att förenkla modeller, begränsa frihetsgraderna och förhindra stela kroppsrörelser.

Det finns två typer av randvillkor som Pro/MS erbjuder *Displacement constraint* and *Symmetric constraint*.

Displacement constraint

Används för att begränsa frihetsgrader och förhindra kroppsrörelse. Det kan anges som rotations eller translationsfrihetsgrader men eftersom translationsfrihetsgrader

bara är aktuell vid modellering med skal så kommer dessa alltid att vara låsta när vi arbetar med solider.

Symmetric constraint

Används för att förenkla modellen när geometri, laster och randvillkor är symmetriska. Det finns två typer *Myrror symmetric* (när modellen är symmetrisk genom ett plan) och *Cyclic symmetric* (när modellen är rotationssymmetrisk runt en axel).

När dessa används krävs det att ett snitt läggs till i modellen vid skapandet av geometrin i Pro/E. För modeller som är symmetriska genom ett plan ska halva geometri tas bort. För rotationssymmetriska modeller så skall bara en tårtbit av modellen lämnas kvar.

När randvillkoren ska skapas finns det möjlighet att lägga grupper eller enskilda randvillkor i olika sets. När en analys ska definieras så kan det väljas vilken eller vilka set som ska ingå i analysen.

4.2.5 Laster

För att utföra strukturberäkningar behövs det laster. I Pro/MS kan det läggas till laster som krafter och moment, lagerkraft, centrifugalkrafter, gravitation, trycklaster, temperaturlaster och mekanislaster.

Kraft/Moment laster

Kan anses vara den vanligaste typ av last. I Pro/MS kan dessa appliceras på ytor, punkter, kanter/kurvor. När en kraft/moment last ska användas i Pro/MS finns det många valmöjligheter så att användare kan distribuera sina laster så exakt som möjligt.

Användare kan välja -

Var laster kommer att appliceras: ytor, punkter eller kanter/kurvor.

Hur laster kommer att fördelas: Total last, total last per area/längd enhet, total last i punkten, total last per punkt.

Hur laster kommer att variera (spatial variation): *Uniform* (varierar uniform över alla valda referenser) eller *function of coordinates* (varierar med hjälp av en ekvation eller tabell utifrån det valda koordinatsystemet).

Hur kraften ska appliceras: *Components* (med hjälp av koordinatsystem (x, y, z)), *direction vektor and magnitude* (användaren väljer hur direction vektor ska peka och hur stor den ska vara) och *direction points and magnitude* (användaren väljer två punkter som referenser som visar var vektor startar och slutar och sedan storleken på lasten/moment).

Trycklaster

Dessa typer av laster är väldigt vanliga och används när man vill utsätta en yta för en vinkelrätt last. Trycklaster är väldigt enkla att läggas på i Pro/MS, användaren behöver bara välja på vilken yta last kommer att ligga och hur stor den ska vara. Sedan kan man precis som i kraft/moment även välja hur lasten kommer att variera (spatial variation), men med trycklaster kan man även välja att importera variation från en annan fil.

Lagerkraft

Är kraften som appliceras på cirkulära ytor och kanter (hål och axel) när dessa får en last åt sidan. Dessa krafter kan bara appliceras i cirkulära ytor och cirkulära kanter. Krafterna appliceras på samma sätt som för kraft/moment laster. Observera att krafterna fördelas ojämnt längst referenser och att dessa alltid är vinkelrätt yta.

Centrifugalkrafter

Krafter som skapas genom rotation av kroppar. Här väljs det inga referenser utan en hel komponent utsätts för kraften. När dessa används i Pro/MS så skall *Angular velocity* och *Angular acceleration* anges.

Gravitationslaster

Den typ av last som allt och alla utsätts för varje dag, last som kommer ifrån gravitationen. Här väljs det inga referenser, gravitationslasten utsätts för hela modellen. Sedan är det bara att ange riktning och storlek på *Acceleration* (*Components, direction vektor and magnitude* och *direction points and magnitude*) med hjälp av valda koordinatsystem (*world* eller *selected*).

Temperaturlaster

Laster som skapas genom en temperaturförändring. När dessa används i Pro/M så utsätts hela modellen för temperaturskillnaden och detta kan bara undvikas om användaren ändrar den termiska koefficienten av expansion till noll hos komponentens materialegenskaper.

Det finns tre olika typer av temperaturlaster:

- **Global**
Här utsätts hela modellen för en temperaturändring. Indata som krävs i Pro/MS för att utföra en global temperaturlast är *Model temperature* (temperaturen man vill att modellen ska uppnå) och *Reference temperature* (temperaturen där spänningen för modellen är lika med noll).
- **External**
Importerar temperaturinformation från en PTC finita element neutralfil (FNF).
- **MCN-T**
Mechanica thermal laster importerar temperaturinformation från tidigare utförda Pro/MT analys.

Mekanismlaster

Importerar från Pro/Mechanism och kan inte användas för att beräkna spänning och deformation.

4.2.6 Analys

Pro/MS har fyra olika typer av analyser: *Static*, *Modal*, *Buckling* och *Contact*. Här kommer bara Static analys att tas fram, eftersom det är den som kan beräkna spänning och deformation.

När en statisk analys ska initieras i Pro/MS är det viktigt att tänka på vad man är ute efter, en fel markerad ruta i Static Analysis Definition fönstret och beräkningen tar en helt annan riktning.

När Static Analys Definition fönstret dyker upp så ska man först namnge analysen, därefter kan man även ange en beskrivning av analysen vilket inte är obligatoriskt men kan underlätta identifiering av analysen i framtid.

Vidare ska det väljas vilken eller vilka *Constraints* och *Loads* sets som önskas analyseras. Rutan *Combine Constraints Sets* ger möjlighet att kombinera olika randvillkor sets i analysen, medan rutan *Sum Load Sets* kan summera olika laster sets i analysen.

Det kan även väljas att befria tröghet och analysera modellen strukturellt med hjälp av *Inertia Relief*, om alla komponenter är anslutna till varandra.

Konvergens

Visar hur väl Pro/M har löst det matematiska problemet som skapades med hjälp av geometrin, randvillkor och laster. Ett acceptabelt mått på konvergens brukar vara mindre än 15 %, Pro/M använder ett default värde på 10 % men detta kan ställas in för MPA till ganska små värde som till exempel 1 %. Det är väldigt viktigt att undersöka om lösningen för din matematiska modell har konvergerat, att ha polynomgrad nio (som är den högsta Pro/M arbetar med) i lösningen kan vara ett starkt tecken på att problemet inte har konvergerat. För O-konvergerade lösningar brukar Mechanica ge en upplysning kopplat till en feluppskattning. Med konvergens(*Convergence*) kan man välja att göra en *Single-Pass Adaptive*, *MultiPass Adaptive* eller *Quick Check*.

- **Single-Pass Adaptive**

Mechanica arbetar i två steg för att lösa problem med hjälp av SPA. På den första använder programmet sig av polynomgrad tre och på den andra används resultatet från den första beräkningen för att uppskatta en lämplig polynomgrad till varje element. Den typen av konvergens tar mindre plats i minnet och är mycket snabbt.

- **Multi-Pass Adaptive**

Här sätts ett konvergens kriterium, multi-pass mode ökar polynomgraden till varje enskild element kant och jämför dessa med varandra tills det angivna kriteriet eller maximala polynomgrad uppnåts.

- **Quick Check**

Genomför beräkningar bara en gång med polynomgrad tre till varje element. Dessa typer av beräkningar rekommenderas inte.

Under Output kan man välja vad man vill beräkna (spänning(*Stress*), *Rotation* och reaktion(*Reaction*)) och värde på plotting grid. Plotting Grid avgör antalet mellanrum längs varje kant av varje element som Pro/M använder som beräkningsområden. Desto högre värde på plotting grid desto mer minne och tid tar det att genomföra beräkningar.

När en analys ska genomföras kan det även väljas att exkludera vissa element från lösningen med avseende att göra beräkningar snabbare. Man kan välja att ignorera spänningar och deformation, och även element med polynomgrad högre än specificerad.

Pro/MS erbjuder stora deformationers analyser när man vill analysera modeller som är geometriskt icke-lineära. Dessa är lite komplicerade och accepterar inte all sorts indata. När det gäller laster så begränsas fördelning av de flesta till total last och total last i

punkt dessutom är inte lagerkrafter och temperatur beroende material tillåtna. När det gäller konvergens metoden är det bara *Single-Pass Adaptive* som gäller.

Medan analys körs kan man se en resumefil genom att trycka på - *info – status* (den filen sparas även automatiskt som .rpt). I denna fil kan man se hur analysen utvecklas, hur lång tid analysen tog, hur mycket diskutrymme analysen krävde, konvergens, feluppskattning och så vidare.

4.2.7 Resultat

När man har kört analysen kan man med hjälp av grafer och animering visualisera dem olika resultaten. Det finns fyra olika typer av resultat visualiseringar i Mechanica: Fringe, Vektor, Graf och Modell.

Oberoende av vilken typ av visualisering som används så måste det alltid när ett resultat förstärkt startar, ange ett namn för resultaten följt av en titel. Därefter ska det väljas för vilken analys resultatet ska visualiseras (det är möjligt att köra olika analyser till samma modell). Sedan väljs skärmtyp (*Display type*):

Fringe

Visar hur resultatet varierar med hjälp av färger, där varje färg representerar ett intervall av värden. Med fringeplott kan man visualisera 5 resultat: Stress(spänning), Displacement(deformation), Strain, Strain Energy and P-Level(polynomgrad). Beroende av vilken storhet som väljs ändras valmöjligheten hos *Component*. Vidare finns det många olika displayer alternativ för att ställa in resultatens utseende:

Continuous Tone - Ger färgerna i fringeplotten en kontinuerlig ton.

Legend Levels - Bestämmer i hur många olika färger modellen ska visualiseras.

Contour - Kan inte väljas tillsammans med *Continuous Tone*. Modellen visar konturlinje i olika färger i stället för en kontinuerlig färgändring.

Deformed - Visar modellen när den är i sitt slutliga tillstånd, dvs. efter krafterna har angripit på den.

Overly Undeformed - Aktiveras automatiskt när man väljer att se modellen i sitt deformerade tillstånd. Visar linjer av modellens konturer när den är O-deformerad.

Transparent Overlay - Kan bara aktiveras i koppling med alternativet "Deformed". Gör att modellens ursprungliga tillstånd visualiseras med en grad av transparens som är justerbar.

Show Elements Edges - Visar elementkanter i modellen.

Show Loads - Visar lasterna i modellen.

Show Constrains - Visar randvillkor i modellen.

Show Bonding Elements - Visar bindningselement i modellen

Animate - Visar en animering av modellen om hur den förändras, från obelastat tillstånd till fullbelastat. Under animering kan man välja hur många bilder animering ska innehålla och hur den kommer att röra sig (*Repeat*, *Reverse* eller *Alternate*). Det finns även möjligheten att sätta igång animeringen automatiskt utan behov av att trycka på start knappen med hjälp av ” *Auto Start*”.

Vektor

Denna typ av visualisering visar resultatet i form av färgade vektorer. Färgerna hjälper att visualisera hur resultatet varierar i samband med vektorns längd. Med hjälp av vektorerna kan man dessutom se åt vilket håll kraften påverkar modellen.

Med vektor plott kan tre olika resultat visualiseras: Stress(spänning), Displacement(Deformation) och Strain. Beroende av vilken storhet som väljs att studeras så ändras valmöjligheten hos *Component*.

Vidare finns det många olika displayer alternativ för att ställa in resultatens utseende:

Wireframe Vectors – Visar vektorerna som wireframe.

Shaded Vectors – Visar vektorerna shaded och kan naturligtvis inte aktiveras samtidigt som *Wireframe Vectors*.

Legend Levels – Precis som för fringeplotten bestämmer *Legend Levels* hur många olika färger modellen ska visualiseras.

Max Length – Bestämmer den maximala relativa längden som vektorerna får ha.

De övriga displayer alternativen (*Deformed*, *Overly Undeformed*, *Transparent Overlay*, *Show Elements Edges*, *Show Loads*, *Show Constrains*, *Show Bonding Elements*, *Animate*) fungerar på samma sätt som för fringeplotten.

Graf

Ger resultat för storheter som Stress, Displacement, Strain, Strain Energi and Reaction i en graf. När en graf ska skapas som resultat är det en hel del inställningar som är beroende av andra. Man kan få olika utseende på Quantity flik beroende på vilken typ av analys som valdes (SPA eller MPA). När det väljs att skapa en graf så blir *Display Location* samt *Display Options* på resultatfönstret avstängda.

Vidare när ett graf resultat har skapats så kan dess utseende kontrolleras med hjälp av kommandot - Format – Graf.

Grafer brukar var till stort hjälp under MPA analyser för att kontrollera konvergens.

Modell

Är den enklaste och ”fattigaste” typ av visualisering. Här kan helt enkelt modellen visualiseras som den är, med alla randvillkor och laster om så önskas. Tre olika typer av resultat kan visualiseras här: Stress Linearized (spänning linealizerad), Displacement och Reactions at point Constraint Linearized (reaktionen vid randvillkors punkt linjäriserade). Bara deformationsresultat ger möjlighet till animering.

4.3 Hur fungerar Pro/MT

Pro Mechanical Thermal är en del av Pro/M som ger användaren möjligheten att utföra termiska beräkningar som: temperaturfördelning, värmefflöde och temperaturgradienter.

Resultatet från dessa beräkningar kan sedan överföras till en struktur analys i Pro/MS för att beräkna spänningar och deformationer som uppkommer på grund av temperaturen.

Pro/MT analys följer samma röda tråd som Pro/MS fast alla typer av laster, randvillkor samt analys som utförs här är relaterade till temperaturen.

Man initierar en termisk analys genom att välja - *Edit – Mechanics Model Set Up – Model Type – Thermal*.

Det finns fyra olika typer av mode som kan användas i Pro/MT: 3D, 2D Plane Stress (Thin Plate), 2D Plane Strain (Infinitely Thick) och 2D Axisymmetric.

4.3.1 Geometri

Precis som för Mechanics Structure så kan geometri skapas i independent eller integrerad mode. Det finns inget som skiljer sig åt vid skapning av geometri för en Thermal eller Structure analys.

4.3.2 Material tilldelning

Material tilldelas och genereras på samma sätt vid skapning av en termisk analys. Det som skiljer sig åt är att vid en termisk analys så använder Pro/MT sig av materialens termiska egenskaper.

4.3.3 Assemblies

När man arbetar med assemblies i Pro/MT är det väldigt viktig att definiera hur olika parter är ansluta till varandra. Detta görs när man kommer in i Mechanics mode med hjälp av insert – Connections. Det finns en typ av anslutning i Mechanics Thermal (*Weld*) och tre typer av kontakter (*Bonded*, *Adiabatic* och *Thermal Resistance*). Om inga anslutningar anges där det behövs, kommer Mechanics att skapa behövda anslutningar automatiskt med hjälp av sin default värden.

4.3.4 Randvillkor

Randvillkor i Pro/MT används för att sätta gränser och simulera den miljö i term av temperaturer där modellen befinner sig. Det finns tre typer av randvillkor som Pro/MT erbjuder *Prescribed Temperature*, *Convection Condition* och *Symmetry Constraint*. Om inga termiska randvillkor definieras så kommer Pro/MT se modellen som ett adiabatiskt system, dvs. inget värmeutbyte.

Prescribed Temperature

Möjliggör för användare att specificera en temperatur som alltid kommer vara konstant för valda referenser (ytor, kanter eller punkter). Dessa kan inte variera som funktion av tiden.

Convection Condition

Till skillnad från Prescribed Temperature kan Convection Condition variera som funktion av tiden. Dessa används för att simulera värmetransport mellan en gas eller vätska och en fast yta. När dessa ska användas i Pro/MT behöver användaren ange en eller flera referenser (ytor, kanter/kurvor eller punkter), koefficient av konvektion och fluiders temperatur.

Symmetri Constraint

Det används precis som i Pro/MS för att förenkla modellen när den är symmetrisk runt en axel.

4.3.5 Laster

I Pro/MT finns det bara en typ av last som kallas för *Heat Load*.

Heat Load

När den definieras så krävs det val av referenser (komponenter, volymer, ytor, kanter/kurvor och punkter), hur lasten kommer att fördelas (Distribution), hur last kommer att variera (Spatial Variation) och storlek på värmebelastning. Sedan kan det även väljas om den kommer att varieras som funktion av tiden eller inte.

4.3.6 Analys

Pro/MT har två typer av analys: *Steady State Heat Transfer* och *Transient Heat Transfer*.

Steady State Heat Transfer

Dessa typer av analys används när temperatur och värmeflöde inte varierar som funktion av tiden och när systemet har nått sitt jämviktstillstånd.

Transient Heat Transfer

Till skillnad från Steady State analys så används Transient analys när temperaturen varierar som funktion av tiden. Detta fungerar bara när modeller har laster eller randvillor som är tidsberoende och kan inte användas för 2D-modeller, skalelement, balkelement eller under en MPA.

4.3.7 Resultat

Beroende av vilken typ av analys som utfördes (*Steady state* eller *Transient*) är det olika typer av resultat som kan fås fram.

För Pro/MT finns det tre olika typer av resultat visualisering: Fringe, Vektor och Graf. Därefter är övriga valmöjligheter för inställningar av dessa visualiseringar snarlik Pro/MS.

4.4 Resultat och RMS

Efter en analys har körts i Pro/M så kan man öppna en fil som heter ".rpt", den filen är en *summary*fil från analysen. Man kan även komma åt filen medan analysen körs genom att trycka på *status*. I den filen kan man hitta RMS Stress Error Estimates (se figur 1) som visar en "summa av fel" och kan vara till stor hjälp vid tolkning av resultat.

RMS Stress Error Estimates:		
Load Set	Stress Error	% of Max Prin Str
LoadSet1	5.93e+00	6.2% of 9.52e+01

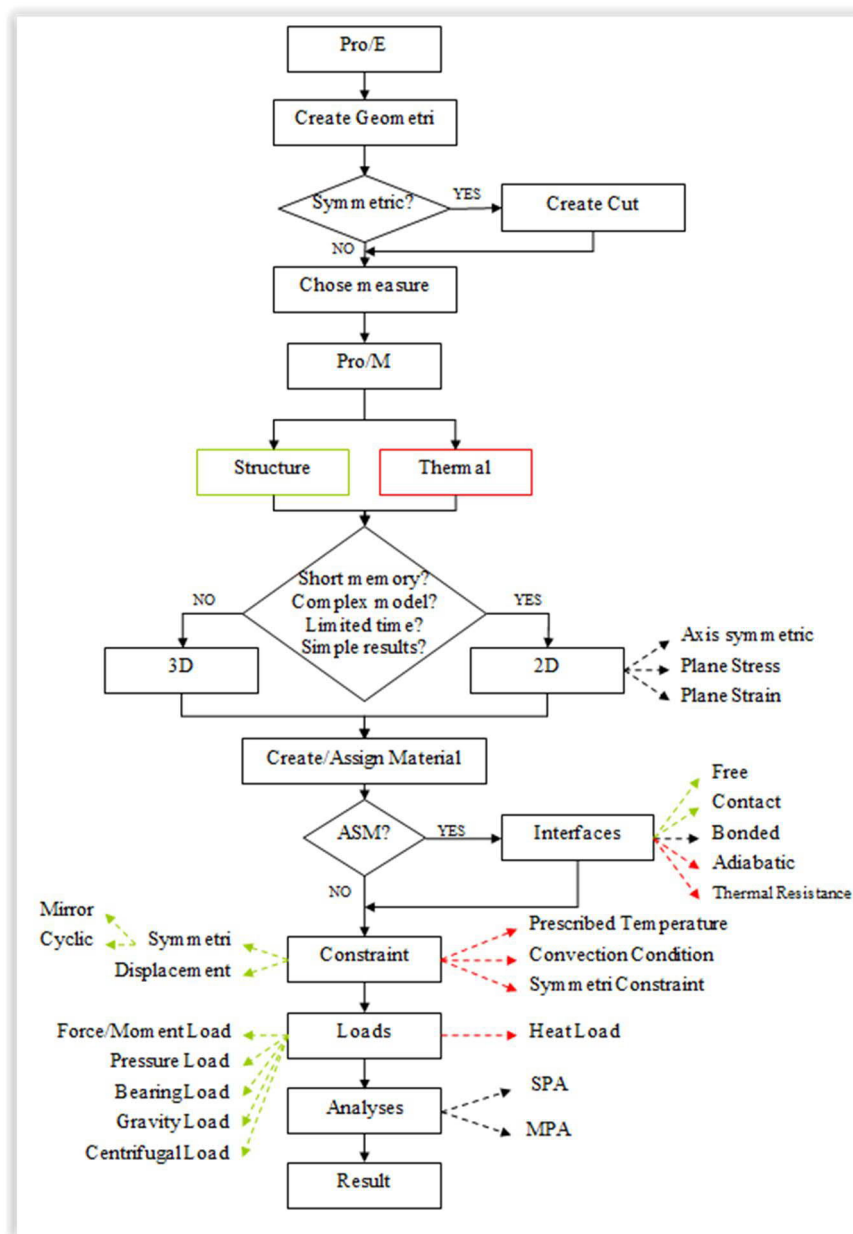
Figur 1: RMS spänning feluppskattning i summaryfilen.

Om feluppskattning (% of Max (se figuren1)) är >10% så rekommenderas att resultaten ignoreras. Är feluppskattning istället mellan 10 % och 5 % så rekommenderas att resultaten används varsamt utan att ta hänsyn till maximala värden (kritiska områden). Bra feluppskattning ska ligga under 5 %.

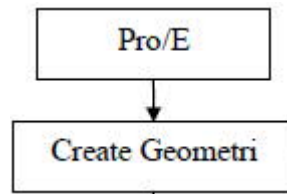
Observera, RMS feluppskattning är ett mått som är kopplat till von Mises Stress och att ha en bra feluppskattning kommer inte nödvändigtvis att ge bra kontakttryck resultat.

4.5 Hur ska Pro/MS och Pro/MT användas

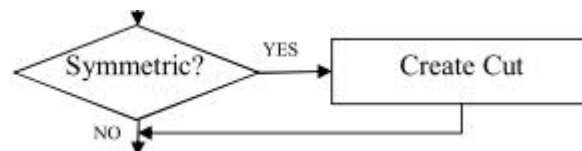
När man vill utföra en struktur eller termisk analys för att beräkna spänning, deformation, temperaturfördelning och så vidare i Pro/Mechanica så kan användaren använda sig av följande flödesschema(som även finns i bilaga A) tillsammans med beskrivningen nedan.



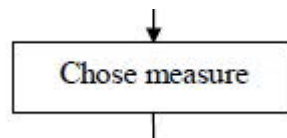
Figur 2: Arbetsmetodik flödelschema (Bilaga A)



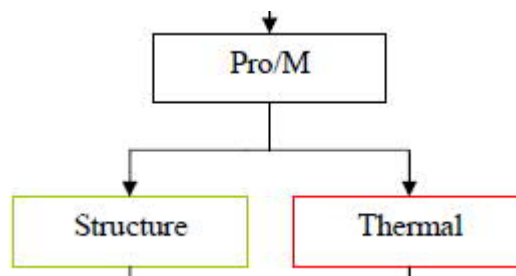
Starta Pro/Engineer och skapa en 3D-modell som vanligt. Efter att geometri är skapad försök att undertrycka så många ointressanta detaljer i modellen som möjlig.



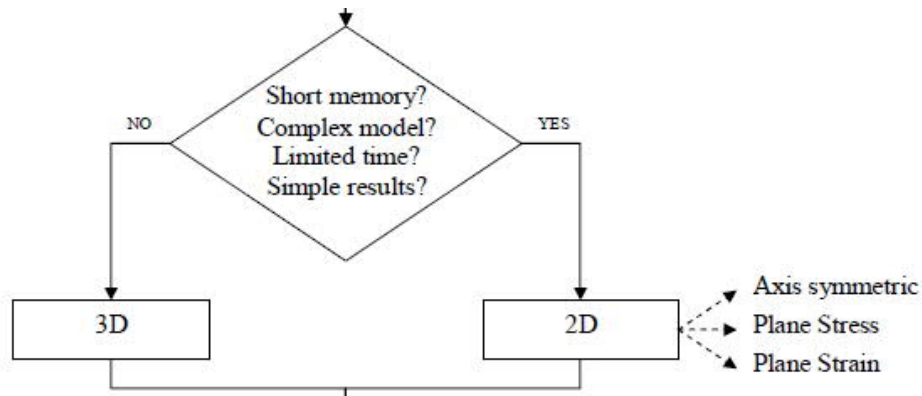
Om det finns symmetri i modellen, utför ett snitt.



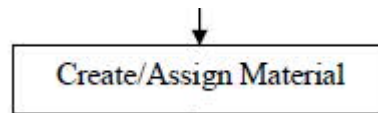
Innan Pro/M mode initieras så ska det kontrolleras att rätt storheter används genom att gå in i *Edit-Setup-Units*. Det vanligaste enhetssystemet är millimeter Newton sekund(mmNs), men andra möjligheter finns.



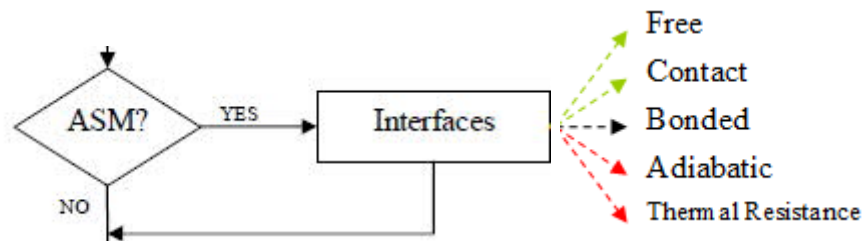
När geometri är skapad och storheter kontrollerade är man redo att initiera Pro/M. När Pro/M startar ska man välja vilket mode man önskar påbörja (Structure eller Thermal), programfönstret kommer att se annorlunda ut beroende på vilket mode som har blivit valt. Det är möjligt att ändra fram och tillbaka mellan Pro/M och Pro/E mode utan problem om man behöver ändra något i sin modell. Modellen kan bara sparas under Pro/E mode.



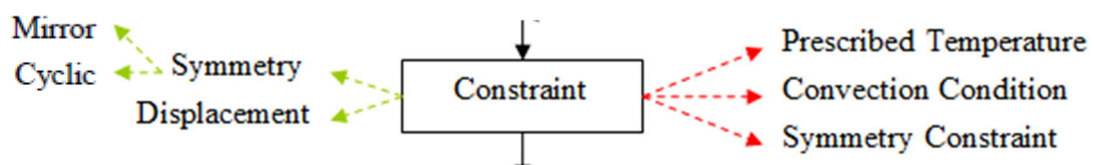
Därefter ska användare välja om han vill analysera en 3D eller 2D modell. Faktorer som kan vara till hjälp vid det valet är: modellens komplexitet, hur lång tid man kan vänta för att få fram ett resultat, hur mycket diskutrymme den dator som kommer att användas har tillgängligt och vilka krav man har på resultaten.



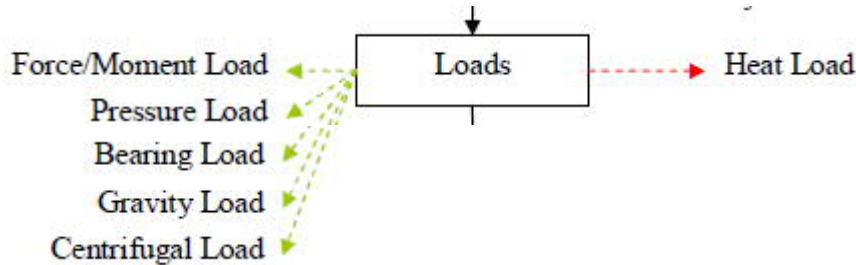
Nästa steg är att tilldela material. Om material inte finns tillgängligt i biblioteket så kan nya material skapas och sedan tilldelas till komponenterna.



Om det är en assembly som ska analyseras så rekommenderas att modellen förenklas så mycket som möjligt genom att använda Simplified Representation (som skapas i Pro/E innan man initierar Pro/M) i din analys där bara viktiga komponenter finns med. Därefter kan borttagna skruvar och muttrar ersättas för fästanordning i Pro/M, samt interface kan skapas för att definiera hur olika komponenter är kopplade till varandra. Interfaces ser annorlunda ut för Structure och Thermal mode.



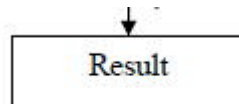
Nästa steg är att lägga på randvillkor i modellen för att förenkla och simulera modellens omgivning. Om man är i Structure mode så kan man använda två olika randvillkor (*Displacement Constraint* och *Symmetri Constraint* (*Mirror* eller *Cyclic*)). Om man är i termiskt mode är det tre olika randvillkor som kan användas (*Prescribed Temperature*, *Convection Condition* och *Symmetri Constraint*).



Sedan ska man lägga till laster. Stuctural mode erbjuder fem olika typer av laster medan termisk bara erbjuder en.



När allting ovan är gjort är modellen klar för att bli analyserad. SPA analys kräver mindre tid och diskutrymme. Nackdelen med en sådan analys är att användare inte kan välja ett konvergenskriterium till sina beräkningar. Dessutom kan inte resultat från dessa analyser kontrolleras på samma sätt som för en MPA analys.



Slutligen kan resultaten från analysen visualiseras i form av Fringe plotts, vektor plotts och graffs.

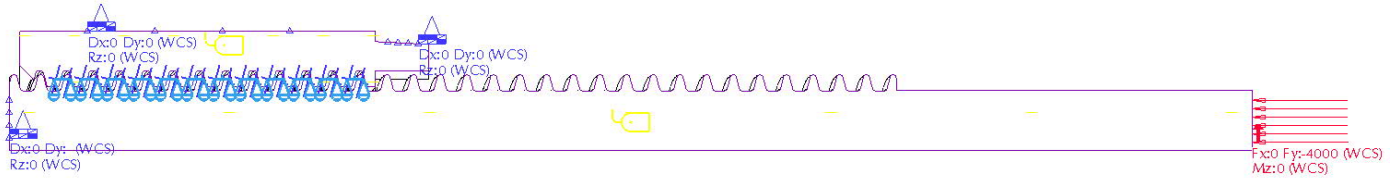
4.5 Utvärderingsmodeller

För att undersöka om Pro/MS var ett bra verktyg för användning i framtida projekt så kördes en testmodell på en assemblie bestående av en skruv tillsammans med en mutter. För att jämföra vilket arbetssätt som var lämpligaste så kördes 5 tester bestående av två 2D-analys (en SPA och en MPA), en 3D-analys och slutligen två analyser på en cyklisksymmetrisk 3D-modell (en SPA och en MPA). Eftersom slutresultatet från Mechanics inte skulle användas i något projekt så valdes materialen från PTC biblioteket. Valda material blev stål till skruven och PVC till muttern till alla genomförda analyser. Datorn som användes till att köra analyserna var en HP-EliteBook 8560w.

4.5.1 2D-Analys

För att realisera 2D-analysen så gjordes det ett snitt i positiv xy-plan för att exponera det önskade tvärsnitt som skulle analyseras. På grund av skruvens symmetri runt y-axeln så valdes att genomföra en 2 dimensionell axelsymmetriskanalys. Därefter skapades ett

gränssnitt av typ *Contact* mellan mutter och skruvens gängor för att även kunna få kontakttrycks resultaten. Vidare så låstes mutterns mantelyta i både x och y koordinat samt skruvens ena kant i x-riktning. Slutligen så applicerades en axialkraft på 4000N på skruven i negativt y-riktning.



Figur 3: Randvillkor för 2D-modell.

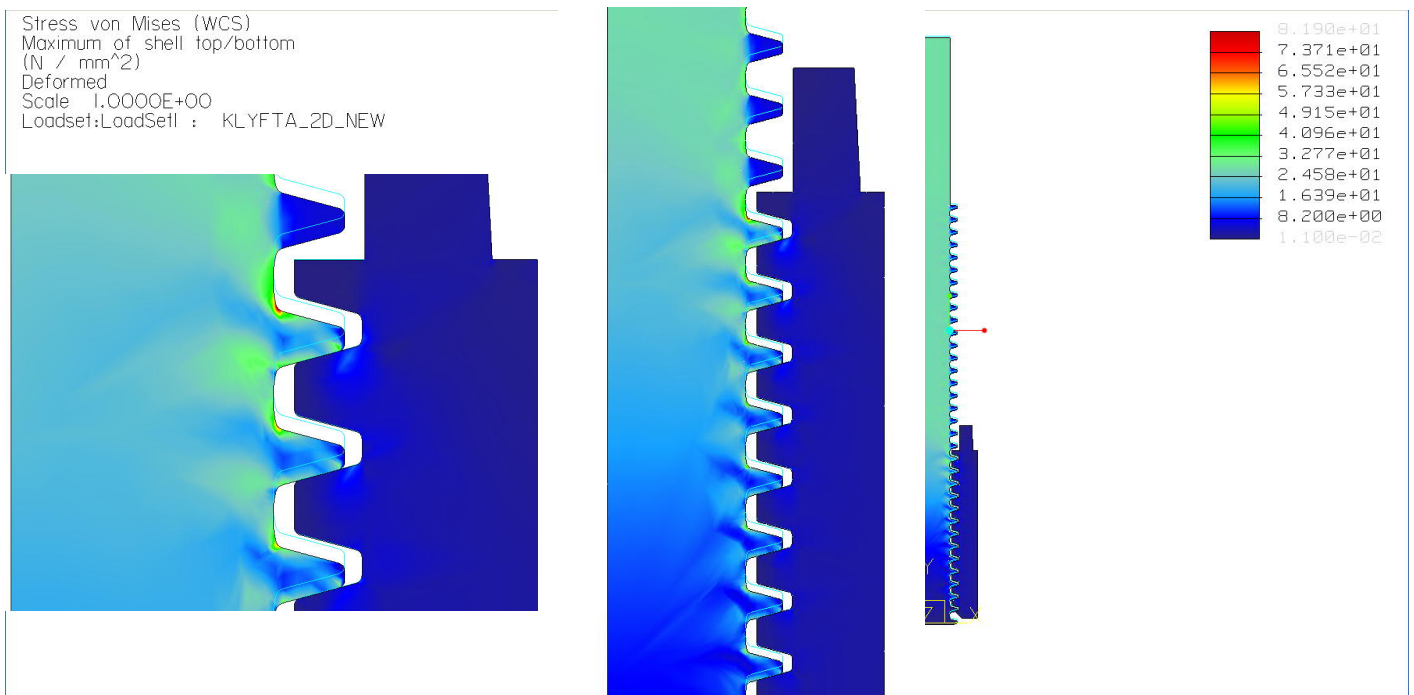
SPA

När alla material, kontakter, randvillkor och laster var definierad så startades en SPA statisk analys för modellen. Analysen slutfördes med 7,8 % feluppskattning och på mindre än 15 sekunder. Se summaryfilen i bilaga B.

På grund av det höga feluppskattning så rekommenderas inte att kritiska punkter tas till hänsyn när modellen läses av. En handberäkning i det här fallet skulle vara till stor hjälp för att kontrollera resultaten.

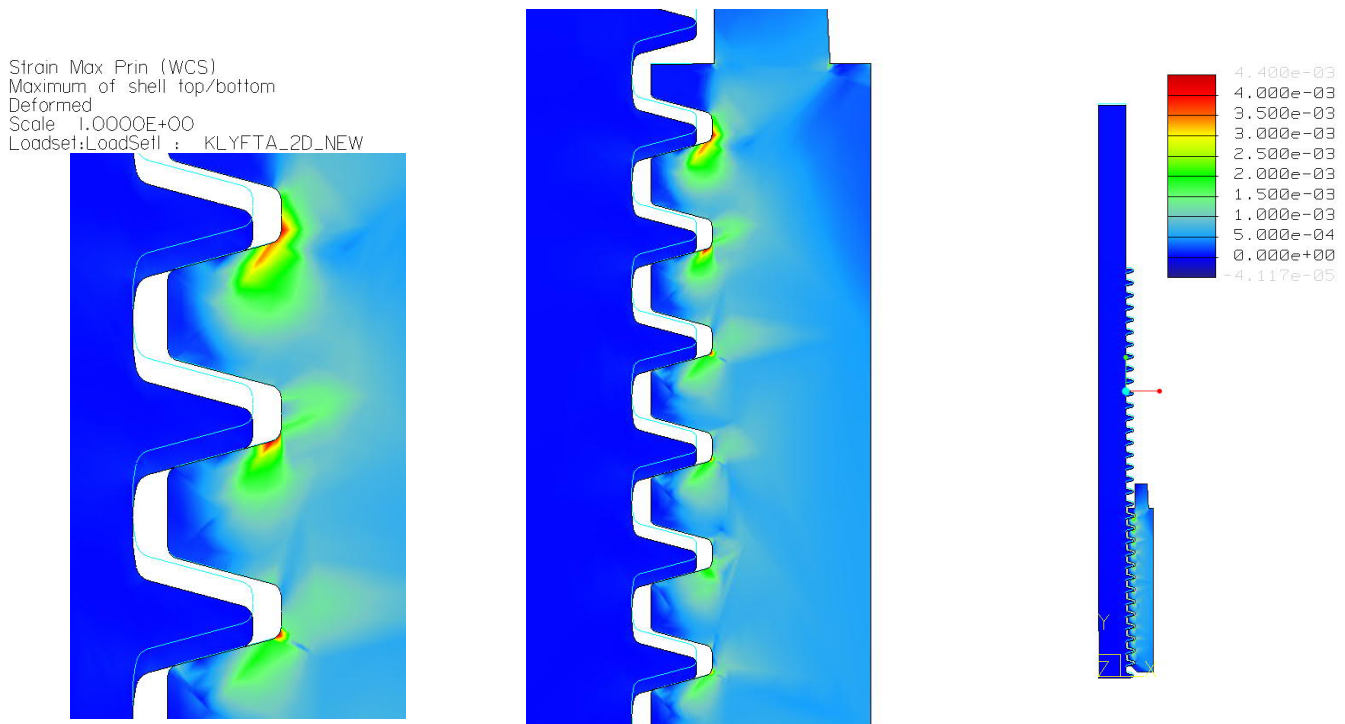
När man kollar på summaryfilen i bilaga B så kan man även se en varning som meddelar att resultat från vissa storheter kan vara felaktiga och att en ingenjörssåikt skulle vara bra för att hjälpa tolka dessa. Den varningen ska inte ignoreras.

I figuren 4 syns hur spänning fördelar sig i modellen. Det verkar rimligt att spänningen är större vid gängorna som ligger närmast applicerade last. För att tolka resultatet på hur stora dessa spänningar är, rekommenderas någon sorts kontroll(handberäkningar, ingenjörssåikt).



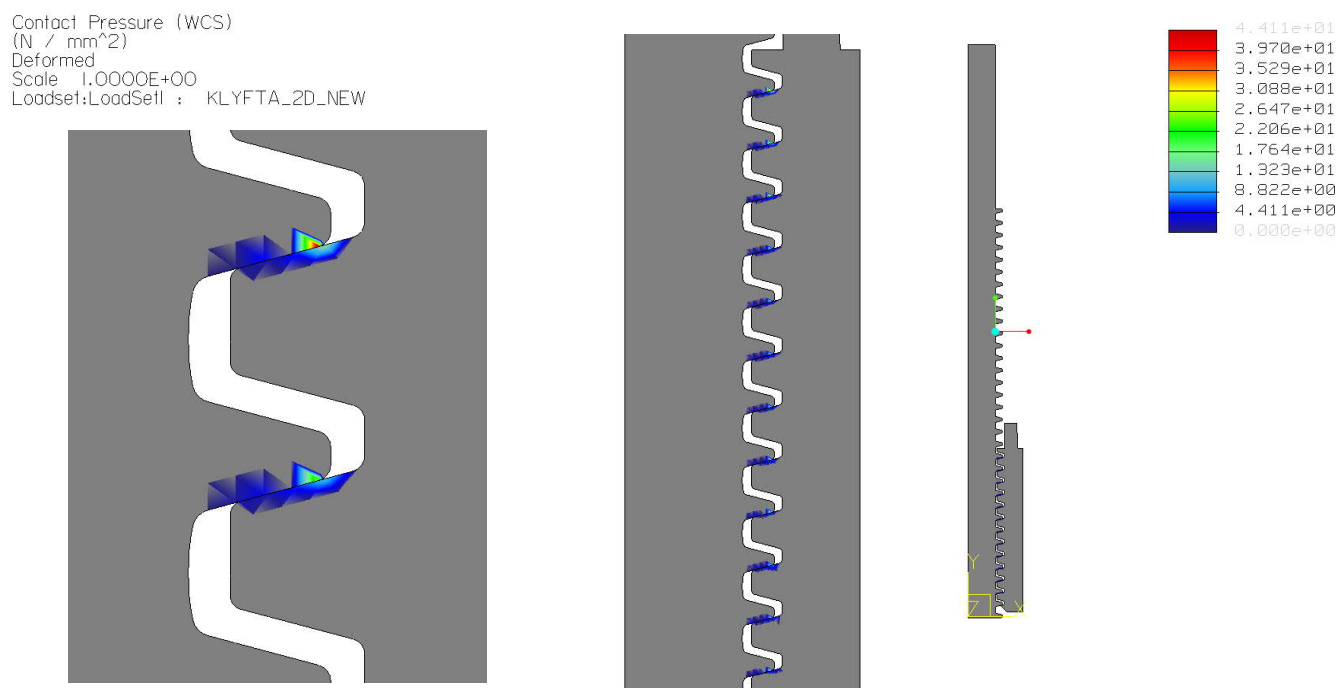
Figur 4: Fringe plott av Stress von Misses (vM Spänning) för 2D-modellen i deformerat tillstånd.

I figur 5 syns deformations resultat. Precis som för spänningsresultaten så rekommenderas inte att dessa studeras runt kritiska områden. Dessutom rekommenderas, att vid tolkning av resultaten använda någon sorts kontroll. Det som verkar rimligt med det resultat är att deformationen sker bara hos muttern, som har ett svagare material, dvs. PVC svagare än stål. Samt att vid dem gängorna som ligger närmast lasten så är deformationen större.



Figur 5: Fringe plott av Strain Maximum Principal (maximala principala deformation) för 2D-modellen i deformerat tillstånd.

I figuren 6 kan kontakttrycksresultat visualiseras. Kontakttrycksresultatet var inte ett krav till detta arbete, men det kan vara intressant att studera dessa när man arbetar med assemblies som har interfaces av typen *Contact*. I likhet med spänning och deformation så rekommenderas inte att dessa resultat används utan extra kontroll. Dessa resultat skulle vara bra vid jämförelse av olika material för muttern och skruven. Det brukar vara önskvärt att ha ett material som kan fördelar kontakttryck så jämt som möjligt längst gängorna. Så även om värdena som fås fram här inte är helt korrekta så kan fördelning av dessa värden vara ganska pålitliga. PVC i det här fallet visar sig inte vara så bra, eftersom kontakttrycken här koncentreras på de första gängorna.



Figur 6: Fringe plott av Contact pressure (Kontakt tryck) för 2D-modellen i deformerat tillstånd.

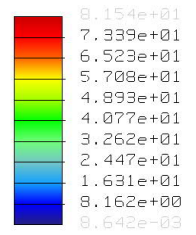
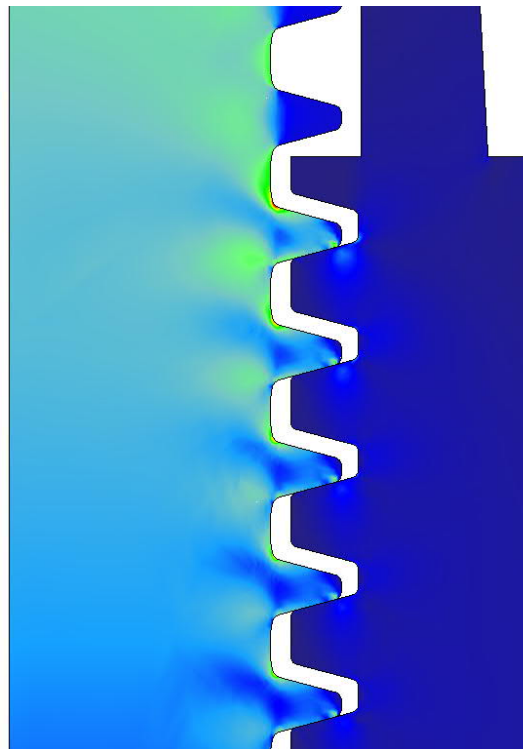
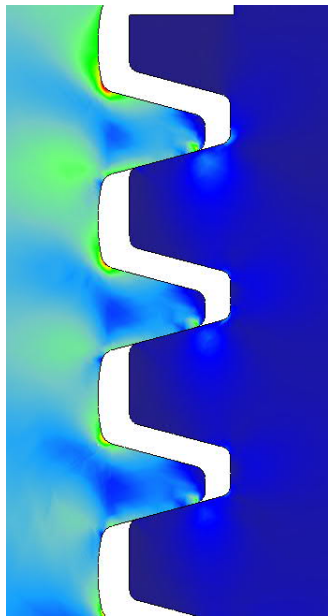
MPA

Vidare så utfördes en MPA statisk analys för modellen. Här angavs värdet till konvergenskriterium till 4 och plotting gridd ökades till 7. Analysen konvergerade med 6,2 % feluppskattning och inom 21 sekunder. Se summaryfilen i bilaga C.

MPA analys lyckades konvergera alla elementer inom angiven konvergenskriterium. Tyvärr är även här feluppskattning ganska hög ($> 5\%$), därför borde de maximala värdena och kritiska områdena hanteras varsamt.

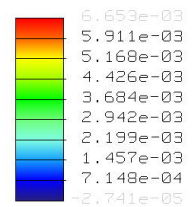
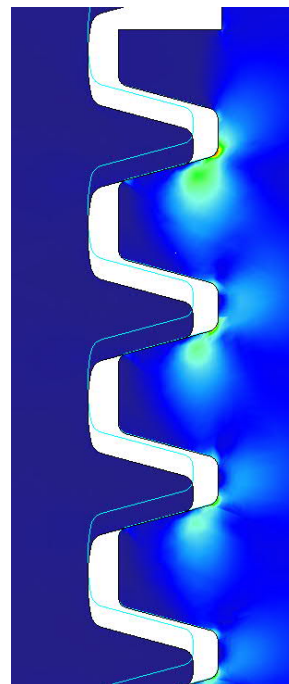
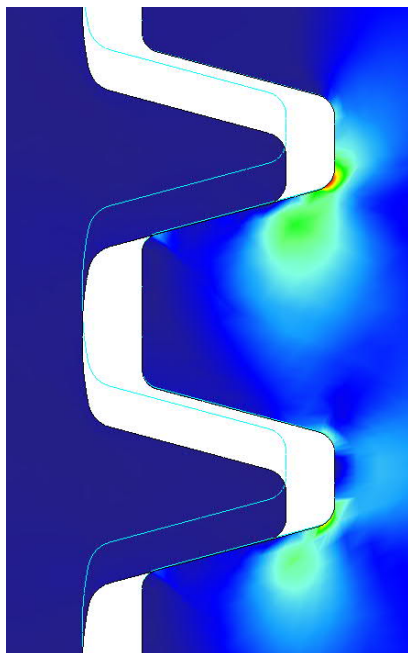
Om man jämför resultaten som togs fram med hjälp av SPA metoden och MPA metoden för spänning och deformation, är det inte så extremt stora skillnader mellan dessa. Slutsatserna som drogs för SPA analyser gäller även för figurerna 7 och 8 nedan. Fast här är resultanten mer pålitliga inte bara på grund av en mindre feluppskattning men även till följd av varningen som fanns hos SPA analysen och som försvann vid en MPA analys.

Stress von Mises (WCS)
Maximum of shell top/bottom
(N / mm²)
Deformed
Scale 1.0000E+00
Loadset:LoadSet1 : KLYFTA_2D_NEW



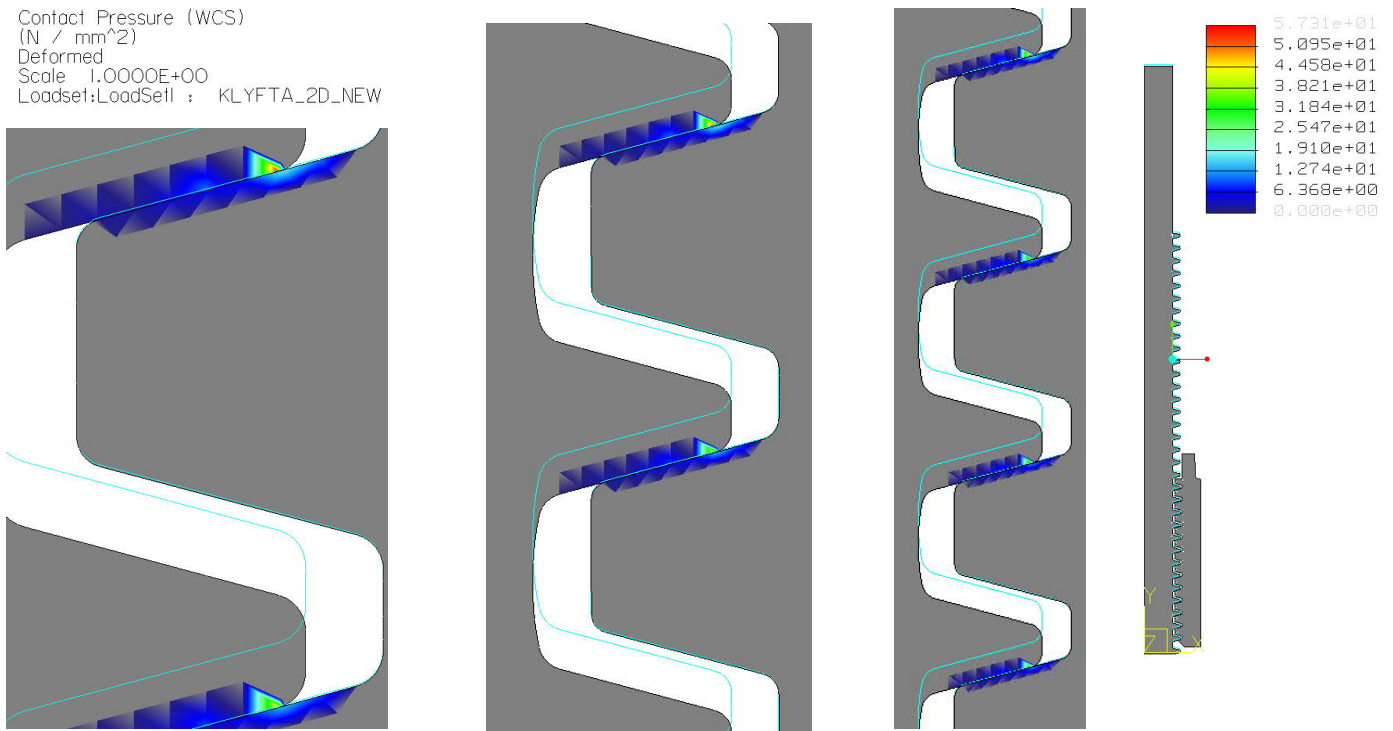
Figur 7: Fringe plott av Stress von Misses (vM Spänning) för 2D-modellen i deformerat tillstånd.

Strain Max Prin (WCS)
Maximum of shell top/bottom
Deformed
Scale 1.0000E+00
Loadset:LoadSet1 : KLYFTA_2D_NEW



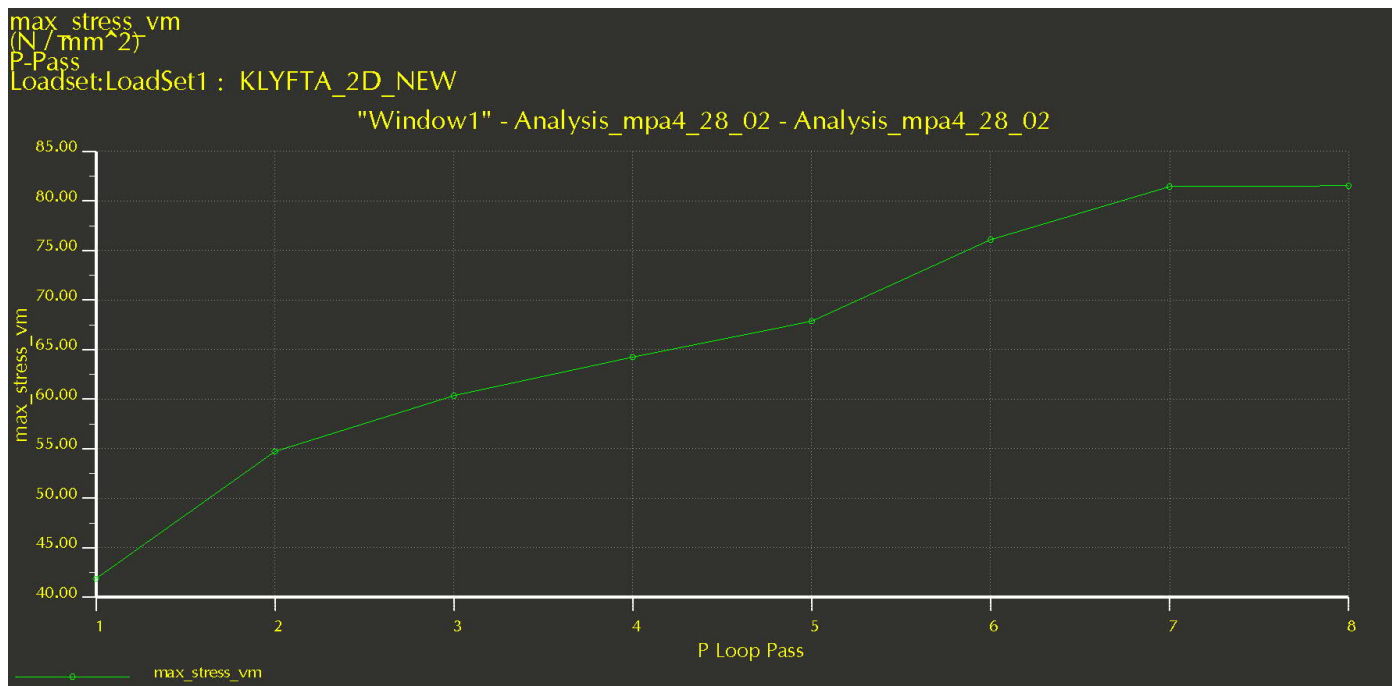
Figur 8: Fringe plott av Strain Maximum Principal (maximala principala deformation) för 2D-modellen i deformerat tillstånd.

Även för kontakttryck var inte skillnader mellan SPA och MPA analyser så stora, men i bilaga C kan det ses att vid pass 1 och 2 så kommer det fram varningar som klagar på för små kontaktarea. På grund av den varningen rekommenderas att framtagna värden från kontakttryck tolkas varsamt.



Figur 9: Fringe plott av Contact pressure (Kontakt tryck) för 2D-modellen i deformerat tillstånd.

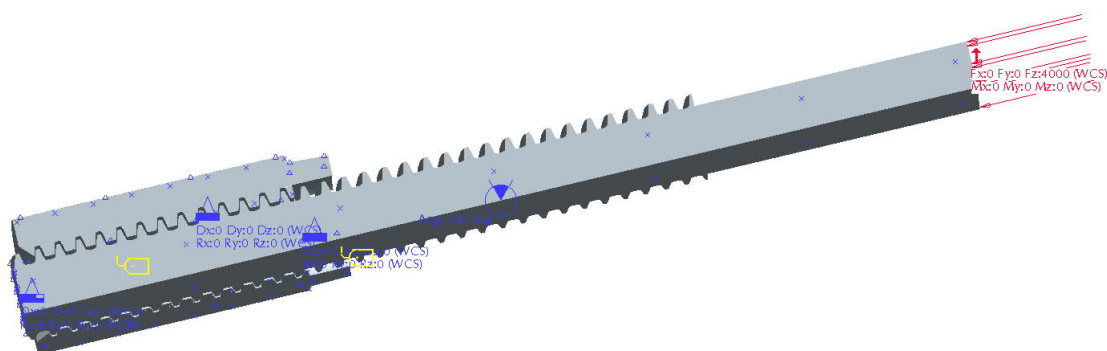
I figur 10 nedan kan syns en graf som visar maximal spänning von Mises som funktion av genomlöpta iterationer. Vid observation syns hur kurvan växer kontinuerligt som funktion av von Mises spänning och börjar stabilisera sig runt 81 N/mm². Att ha en sådan stabil kurva som i figuren nedan kan vara ett bra tecken på att analysen har konvergerat på ett bra sätt.



Figur 10: Test av measure. Graf av maximala Stress von Mises (Spänning vM) som funktion av P Loop Pass (genomlöpta iterationer). Används för att kontrollera modellens konvergens.

4.5.2 3D-Analys av symmetrimodell

För att realisera 3D-analysen av symmetrimodellen, utfördes först ett snitt i modellen (i Pro/E mode) som raderade två tredjedelar av modellen som i figuren 11. Snittet skapades för att exponera modellens tvärsnitt som är symmetrisk runt en axel. Modellen kunde inte reduceras mer än två tredjedelar på grund av gängornas in och utgångar. Därefter skapades ett gränssnitt av typ *Contact* mellan mutter och skruvens gängor för att även kunna få kontaktrycksresultaten. Sedan skapades ett cykliskt symmetrirandvillkor för modellen, vilket använder sig av ytorna som exponerades med hjälp av snittet som skapades i modellen. Vidare används randvillkor för att låsa mutterns mantelytor i alla riktningar. Skruvens ena ände låses i x och y axel, vilket lämnar skruven fri att röra sig bara genom z-axel (som är samma axel där lasten appliceras). Slutligen applicerades en axialkraft på 4000N (på z-axeln) på skruven som i figuren 11 nedan.

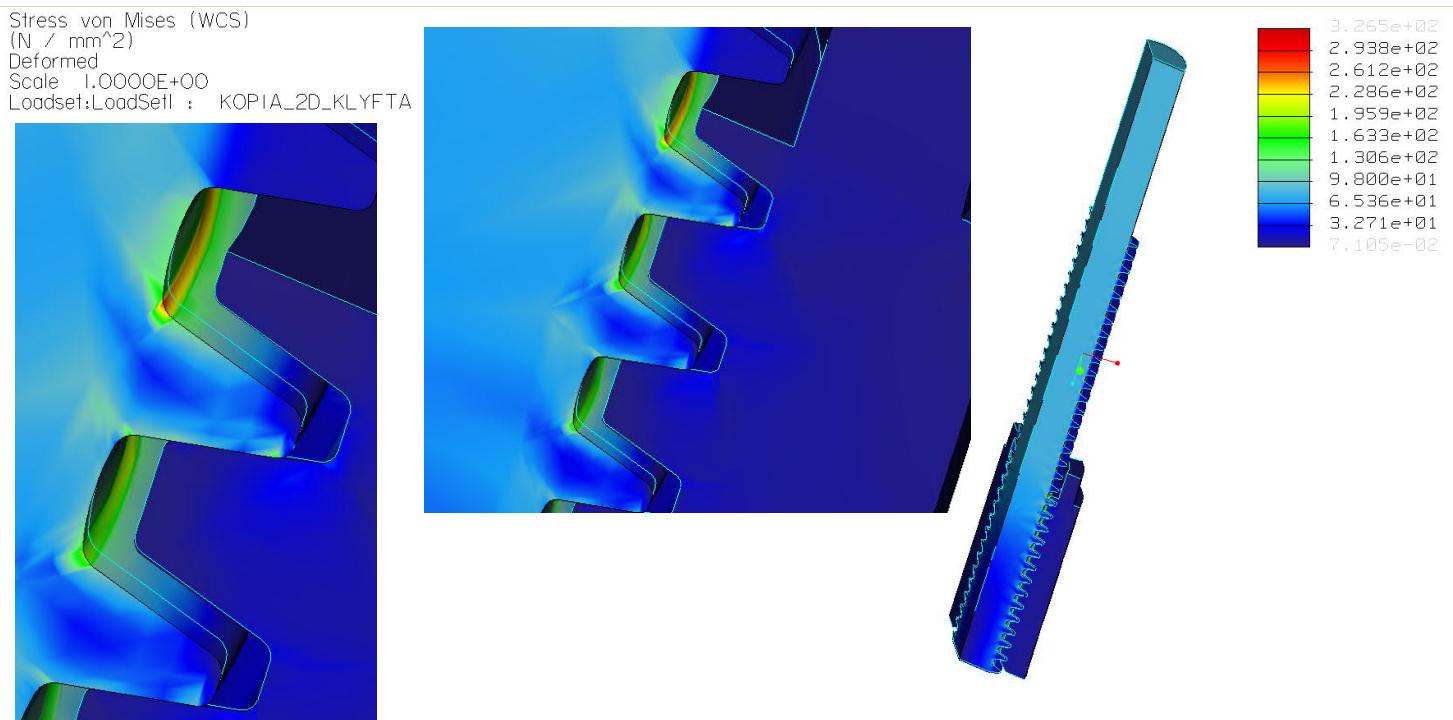


Figur 11: Randvillkor för symmetrimodell.

SPA

När allt material, alla kontakter, randvillkor och laster var definierade så startades en SPA statisk analys för modellen. Efter 105 minuter slutfördes analysen med 5 % feluppskattning. Se summaryfilen i bilaga D.

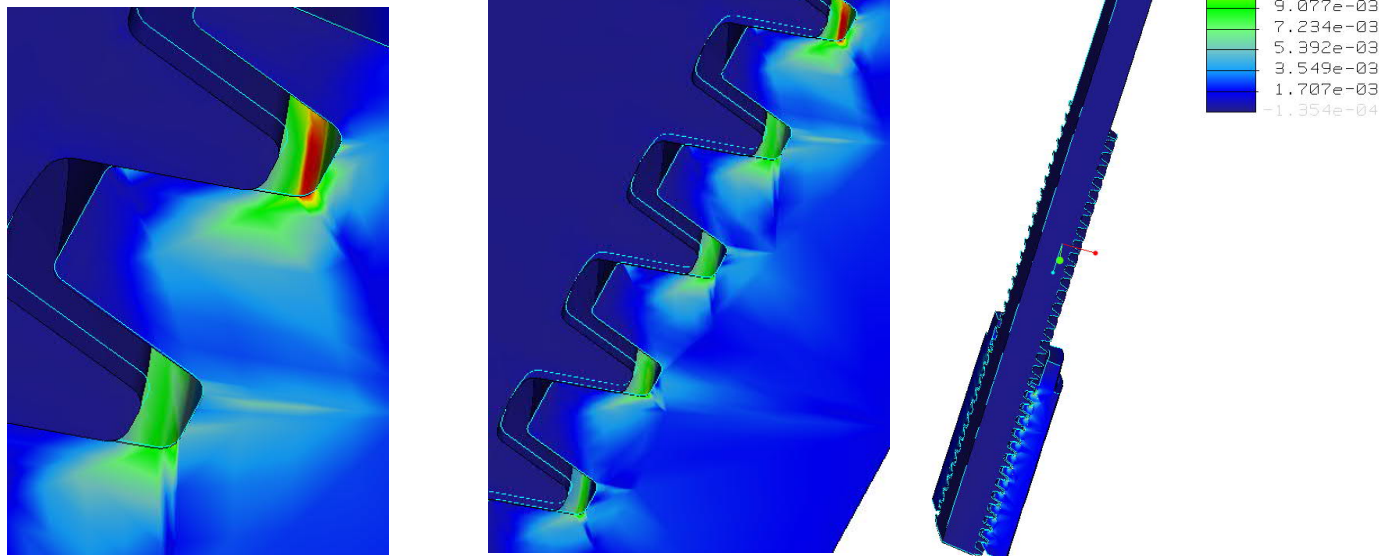
Om man ska tolka analysen utifrån feluppskattning så ligger den alldeles på gränsen för att vara en bra analys enligt avsnitt 4.4 i denna rapport. Tyvärr är inte feluppskattning den enda faktor som gäller vid tolkning av en analys. Vid jämförning av resultatet från figur 12 (3D - symmetrimodell) med resultatet från figur 4 (2D – modell), blir det tydligt att det finns en stor skillnad mellan dessa värden. En 3D-analys brukar ge bättre resultat än en 2D-analys.



Figur 12: Fringe plott av Stress von Misses (vM Spänning) för symmetrimodellen i deformerat tillstånd.

I figuren 13 kan man se resultatdiagram för modellens deformation. Resultatet verkar rimligt eftersom bara muttern deformerar. När det kommer till hur stora deformationerna är, rekommenderas att en handberäkning genomförs innan dessa används.

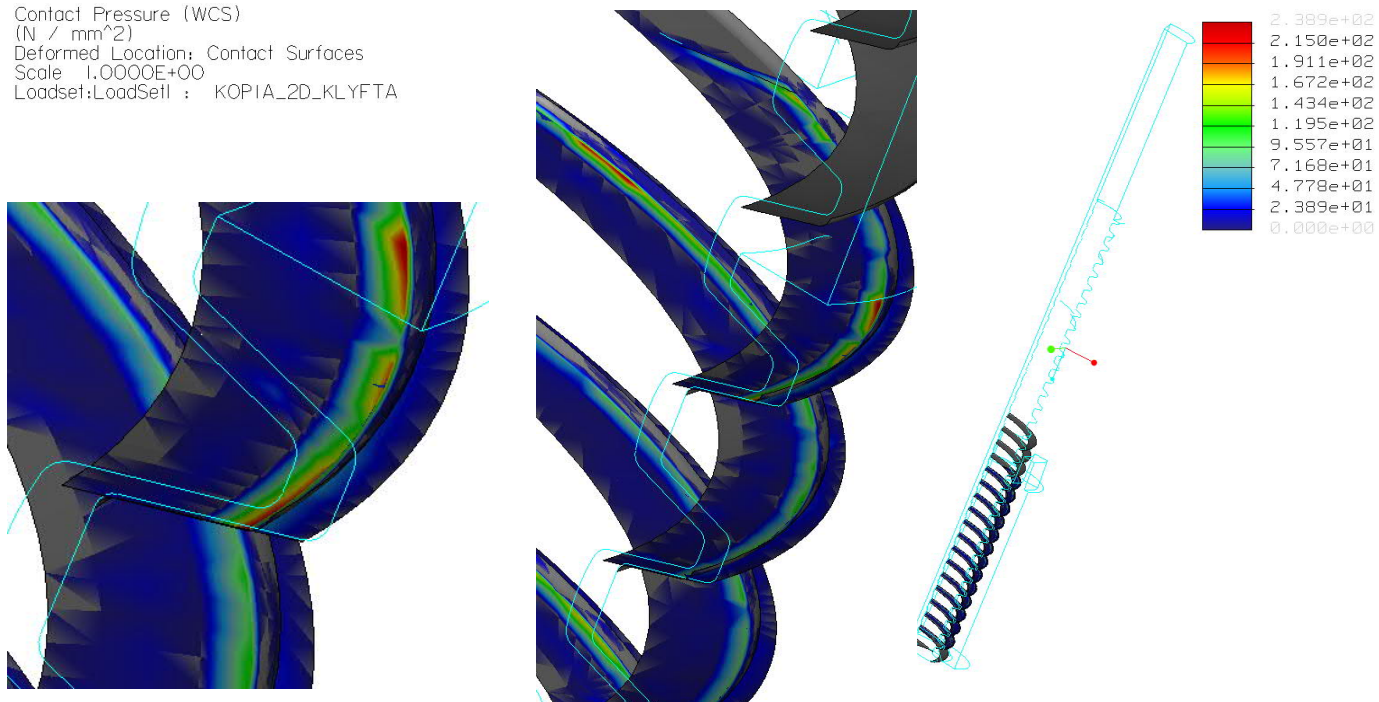
Strain Max Prin (WCS)
Deformed
Scale 1.0000E+00
Loadset:LoadSet1 : KOPIA_2D_KLYFTA



Figur 13: Fringe plott av Strain Maximum Principal (maximala principal deformation) för symmetrimodellen i deformerat tillstånd.

I summaryfilen för analysen så varnar Pro/M för kontaktarea och kontakttrycksresultat. Det rekommenderas att den varningen inte ignoreras, och att resultaten från figuren 14 inte tas till hänsyn. Om kontakttrycksresultat önskas så rekommenderas användare att följa Pro/Mechanicas rekommendationer i varningen. Detta arbete täcker inte "Mesh Refinement", för information kring det använd PTC university.

Contact Pressure (WCS)
(N / mm²)
Deformed Location: Contact Surfaces
Scale 1.0000E+00
Loadset:LoadSet1 : KOPIA_2D_KLYFTA



Figur 14: Fringe plott av Contact pressure (Kontakt tryck) för 3D-modellen i deformerat tillstånd.

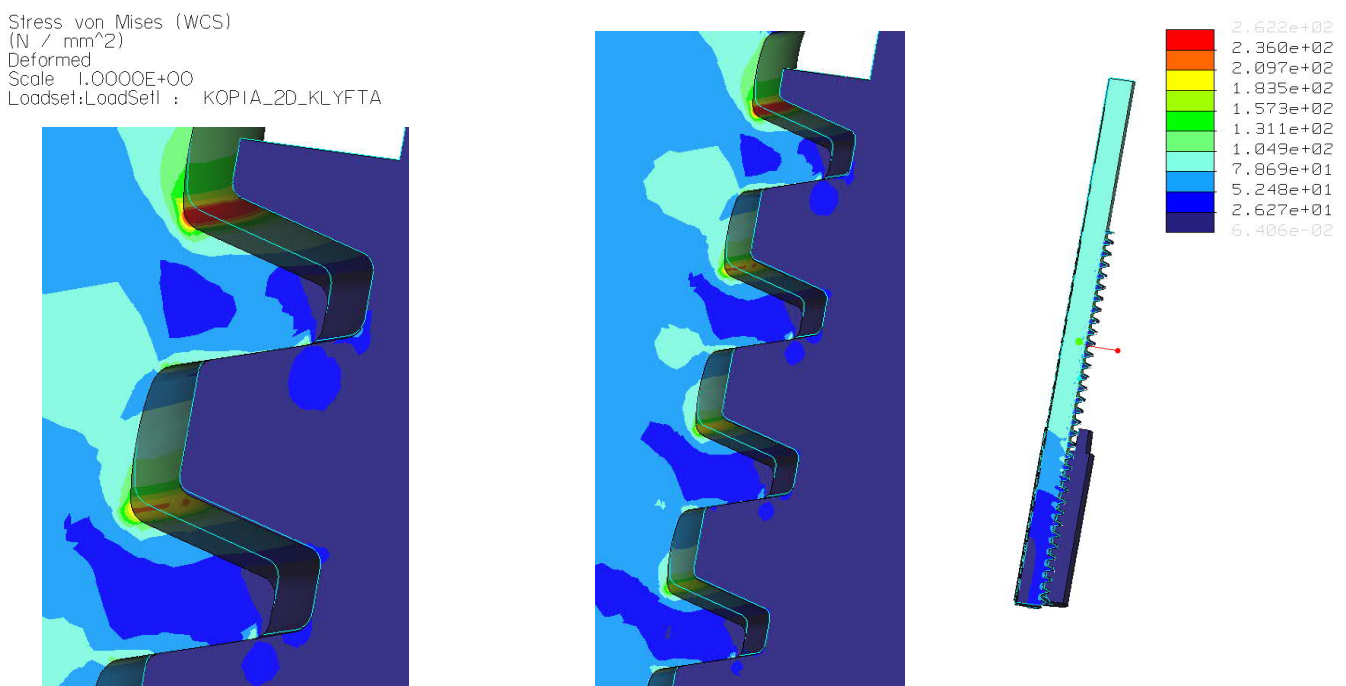
MPA

En MPA statisk analys utfördes för modellen. Här ställdes konvergenskriterium till 4 % och plotting gridd ökades till 7. Analysen fick bara 2 % feluppskattning och körningen tog 5 dagar och 6 timmar. Analysen har nått polynomgrad 9 och har inte konvergerat utifrån angiven konvergenskriterium på 4 %. I bilaga E kan man se att analysen inte har konvergerat inom 4 % på kantförskjutning, element deformationsenergi och global RMS spänning.

Utifrån feluppskattningen har analysen nått ett väldigt bra resultat på de storheter som har konvergerat. Om man skulle välja vilka resultat som bör användas, rekommenderas det att MPA resultaten används över SPA resultat för de konvergerad storheterna.

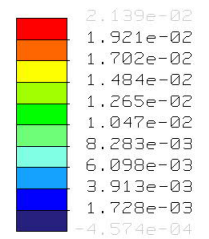
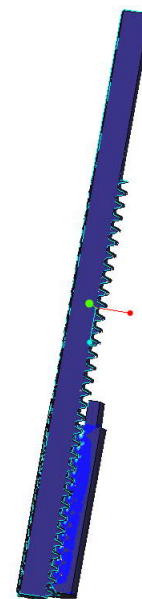
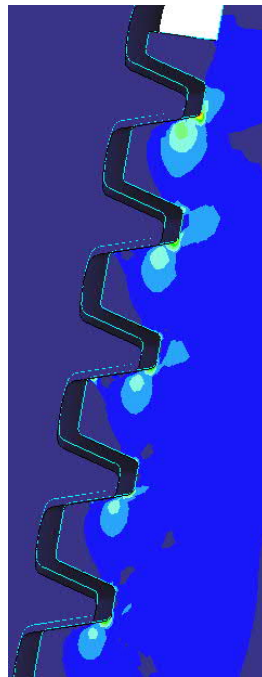
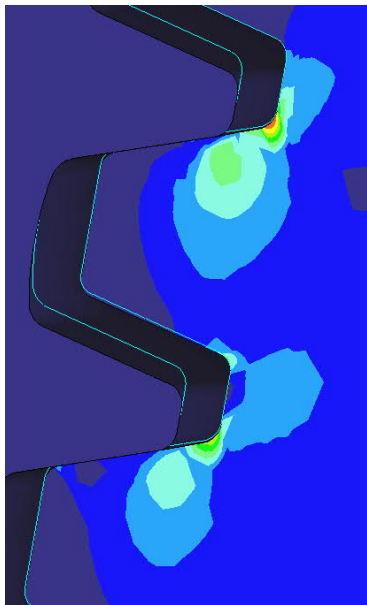
På grund av resultatmodellens storlek klarade inte den valda datorn av att illustrera diagrammet (i figur 15-17) i *Continuous Ton* som för alla andra modeller.

Om man jämför resultaten från SPA och MPA analyser för Spänning von Mises och deformationer, märkas det att dessa skillnader är ganska stora vid kritiska områden. Men om man går ifrån dessa kan man observera att resultaten inte skiljer sig åt särskilt mycket.



Figur 15: *Fringe plott av Stress von Misses (vM Spänning) för symmetrimodellen i deformerat tillstånd.*

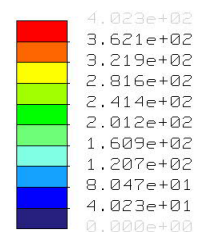
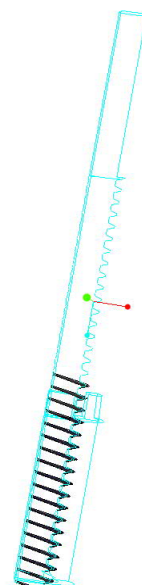
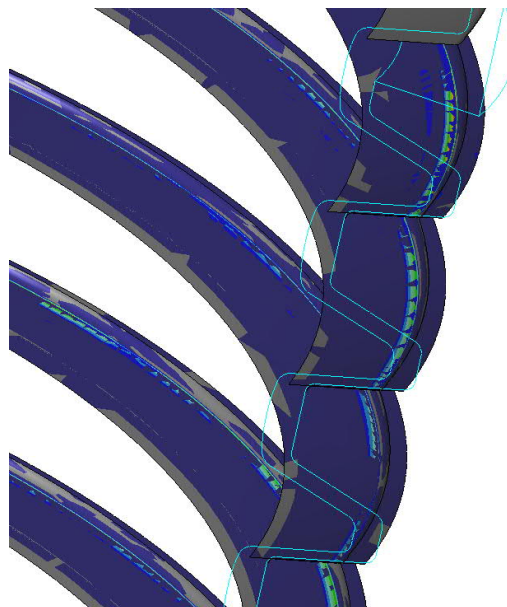
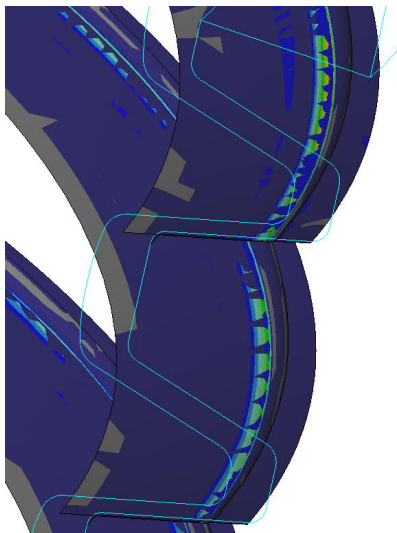
Strain Max Prin (WCS)
Deformed
Scale 1.0000E+00
Loadset:LoadSet1 : KOPIA_2D_KLYFTA



Figur 16: Fringe plott av Strain Maximum Principal (maximala principal deformation) för symmetrimodellen i deformerat tillstånd.

Precis som för SPA analys så ger Pro/M varningar kring kontaktarea och kontaktrycksresultat. Även här rekommenderas att resultaten från kontaktryck ignoreras och Pro/Mechanicas rekommendationer följs, vid behov av sådana resultat.

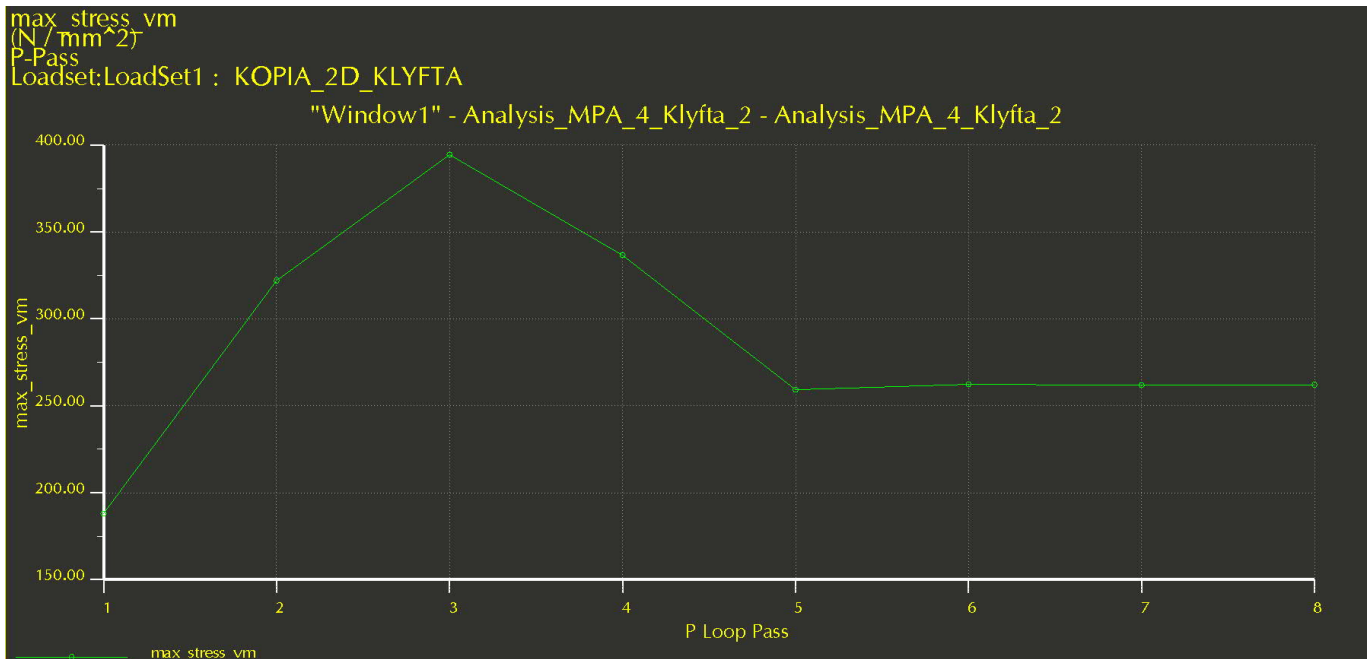
Contact Pressure (WCS)
(N / mm²)
Deformed Location: Contact Surfaces
Scale 1.0000E+00
Loadset:LoadSet1 : KOPIA_2D_KLYFTA



Figur 17: Fringe plott av Contact pressure (Kontakt tryck) för symmetrimodellen i deformerat tillstånd.

I figur 17 syns om/hur instabilt det maximala stress von Mises har konvergerat. Utifrån den grafen, rekommenderas det att resultatet från den analysen tolkas försiktigt.

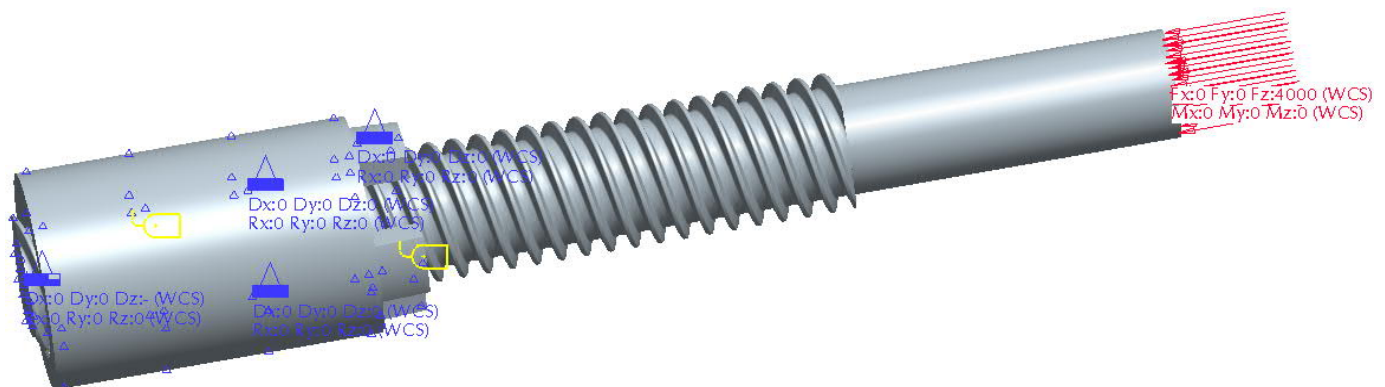
Att ha en sådan instabil analys kan vara ett tecken på att det är något som inte stämmer med modellen/analysen.



Figur 18: Test av measure. Graf av maximala Stress von Mises (Spänning vM) som funktion av P Loop Pass (genomlöpta iterationer). Används för att kontrollera symmetrimodellens konvergens.

4.5.3 3D-analys

För att realisera 3D-analysen behövdes det ingen ändring i geometrin. Kontaktrandvillkor skapades med hjälp av default, som ställdes in som *Contact*. Vidare används randvillkor för att låsa mutterns mantelytor i alla riktningar. Skruven ena ände låses i x och y axel, vilket lämnade skruven fri att röra sig bara i axial riktning genom z-axel (som är samma axel där lasten appliceras). Slutligen applicerades en axialkraft på 4000N (på z-axeln) på skruvens andra ände som i figuren 19 nedan.

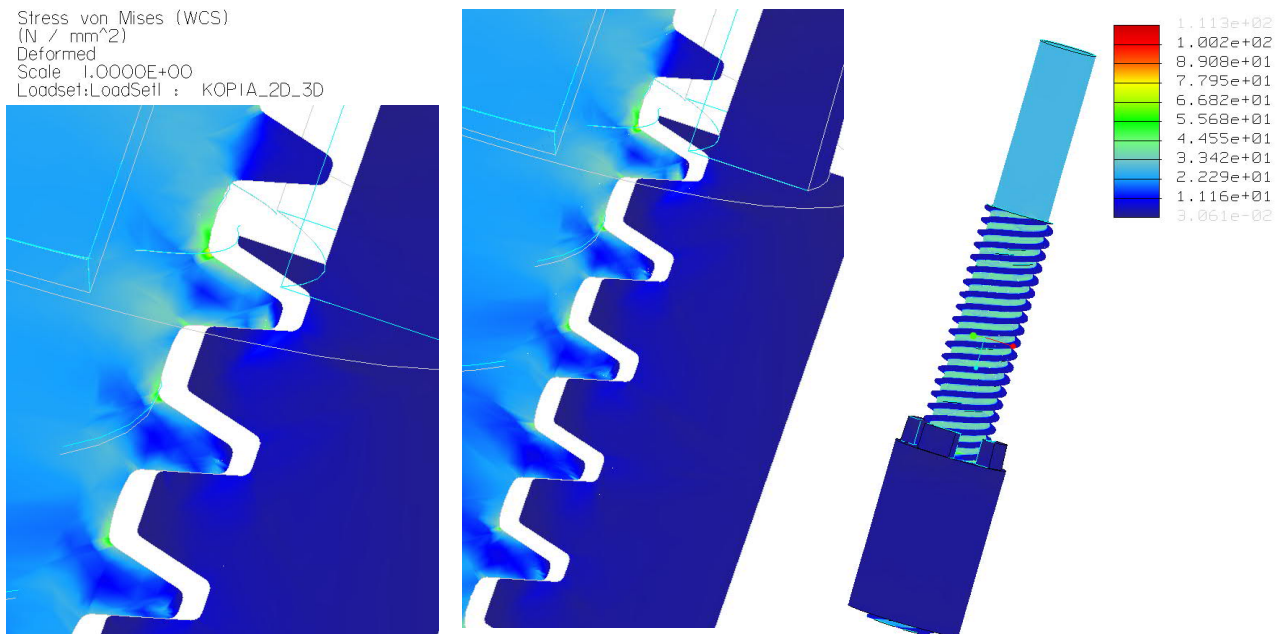


Figur 19: Randvillkor för 3D-modell.

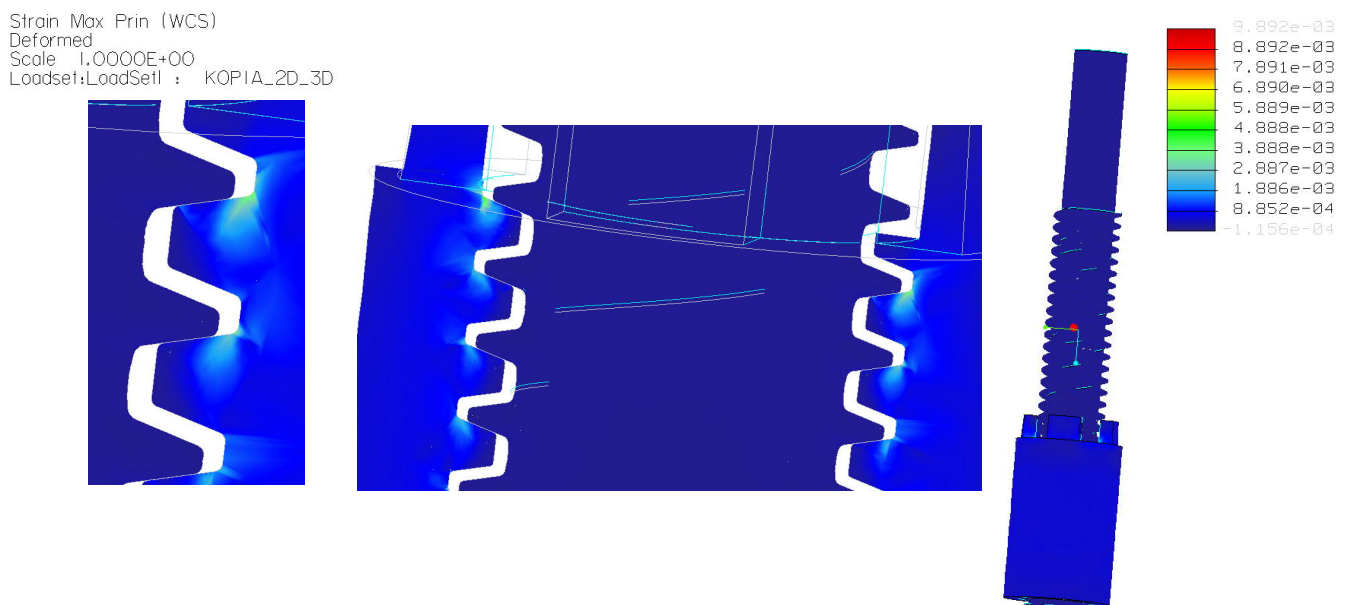
Efter 7,5 timmar var SPA analysen klar med 6 % feluppskattning. Se summaryfilen i bilaga D. En MPA analys utfördes inte på grund av begränsad tid.

En feluppskattning på 6 % är acceptabel. Alla resultat rekommenderas att tolkas varsamt. Handberäkningar skulle vara till stor hjälp vid tolkning av resultaten.

Vidare så är fördelning av spänning och deformationer (som visas i figuren 20 och 21) i modellen rimliga.

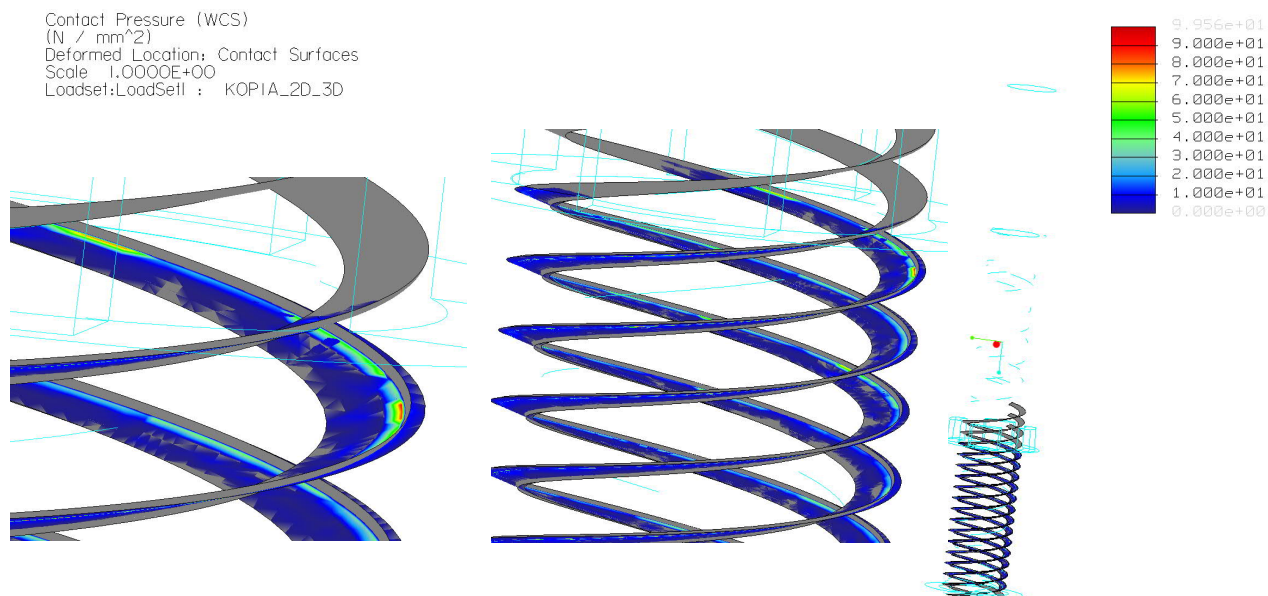


Figur 20: Fringe plott av Stress von Misses (vM Spänning) för 3D-modellen i deformerat tillstånd.



Figur 21: Fringe plott av Strain Maximum Principal (maximala principal deformation) för 3D-modellen i deformerat tillstånd.

Precis som för symmetrimodell så ger Pro/M varningar kring kontaktarea och kontaktrycksresultat. Även här rekommenderas att resultaten från kontaktryck ignoreras och Pro/Mechanicas rekommendationer följs vid behov av sådana resultat.

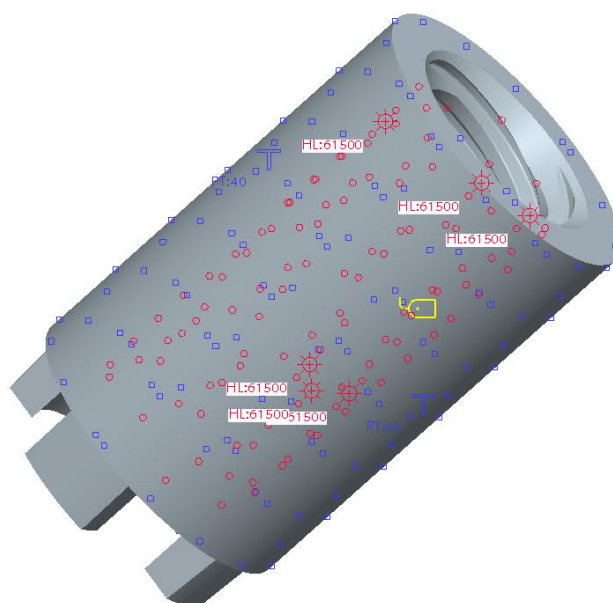


Figur 22: Fringe plott av Contact pressure (Kontakt tryck) för 3D-modellen i deformerat tillstånd.

4.5.4 Termisk Analys

För att utvärdera om Pro/MT var ett bra verktyg för användning i framtida projekt kördes en testmodell på en komponent bestående av samma mutter som användes för testning av Pro/MS.

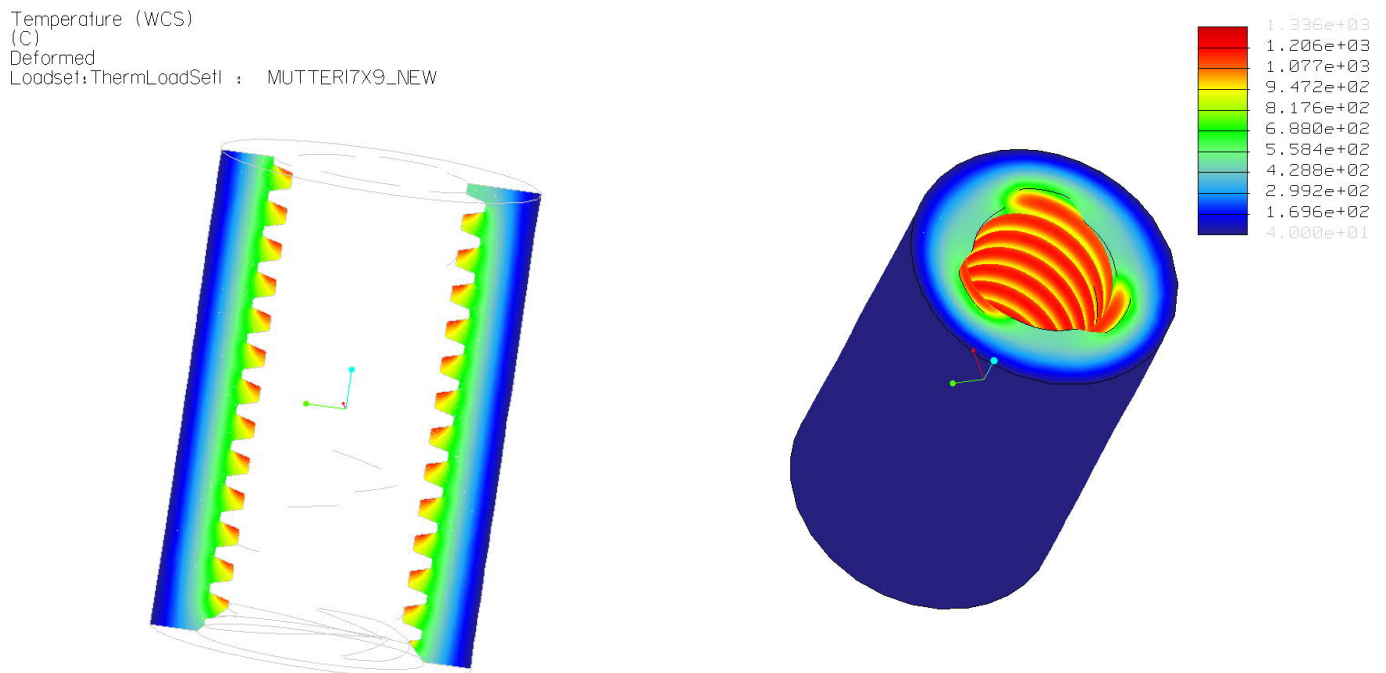
På grund av testets enkelhet på en enda komponent, valdes det att utföra testet på en 3D-model. Material blev även här PVC, en Prescribed Temperature på 40 grader applicerades på mutters mantelyta och en Heat Load på 61500mW applicerades på gängornas yta för att simulera kontakten från skruven med en last på 4000N, som i figuren 23.



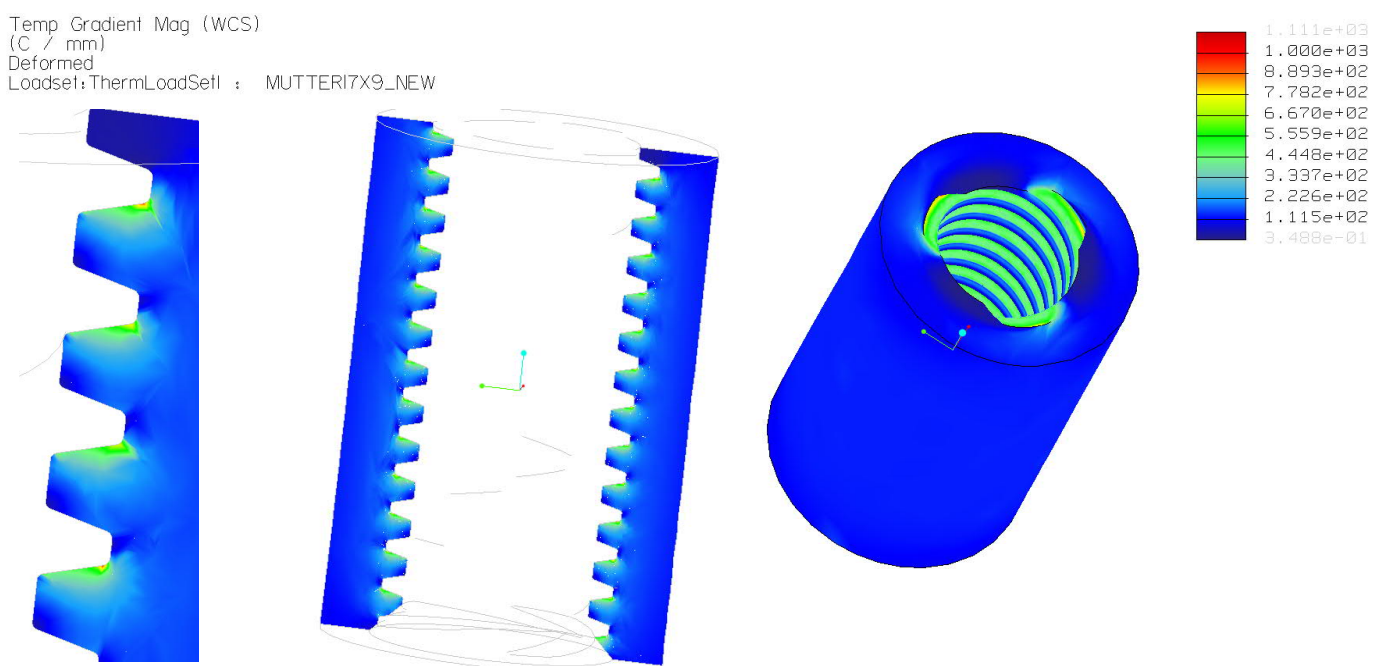
Figur 23: Randvillkor för termisk 3D-modell.

Efter 2 minuter var SPA analysen klar med 8,8 % feluppskattning. Se summaryfilen i bilaga G.

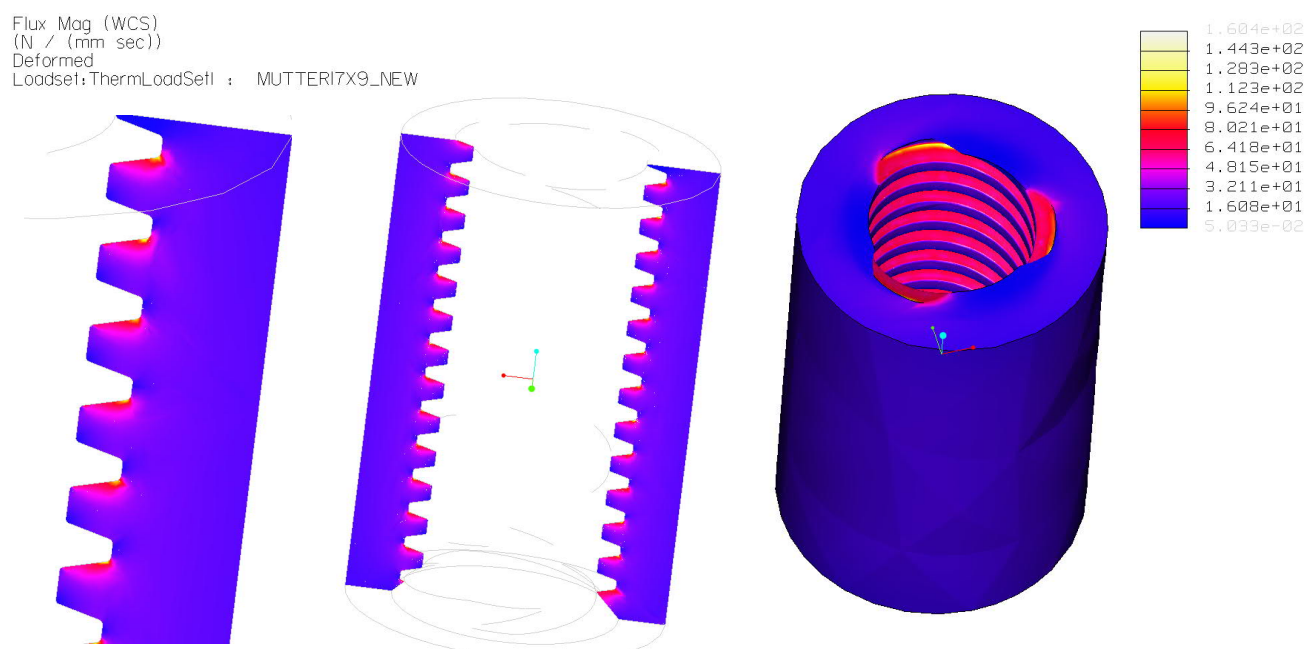
Analysen fick alldeles för hög feluppskattning, så därför ska dess resultat tolkas försiktigt. Användning av handberäkning och ingenjörjs åsikt rekommenderas vid tolkning av resultatet. En MPA analys skulle kunna hjälpa vid kontroll av resultaten. En sådan visas inte här på grund av begränsad tid.



Figur 24: Fringe plott av Temperature (Temperaturfördelning) för termiska 3D-modellen i deformerat tillstånd.



Figur 25: *Fringe plotts Temperature Gradient Magnitude för termiska 3D-modell.*



Figur 26: *Fringe plotts av Flux Magnitude (Värmefflöde) för termiska 3D-modell.*

Inga tester kördes för en Transient Thermal analys. Dessa kan vara komplicerade och det finns bättre programvaror än Pro/MT för att lösa sådana tidsberoende modeller.

5 SLUTSATSER

Pro/Mechanica är ett otroligt komplicerat verktyg med många möjligheter som rekommenderas för hållfastighetsberäkningar samt enkla termiska beräkningar. Programmet rekommenderas inte för stora assemblies med mycket komplicerade geometrier om användaren inte är väldigt erfaren inom Pro/Mechanica. Detta på grund av att många fel i modellen kan uppkomma som kan vara tidskrävande.

Det är extremt viktigt att förenkla sin modell. Detaljer i geometrin som är ointressanta för analysen borde undertryckas samt användning av förenklad representation av modellen förväntas användas. Desto enklare modell man har desto snabbare resultat får man.

När det gäller vilken typ av modell man ska använda (2D, symmetri eller 3D) så beror detta på vilken typ av geometrier och vilka resultat som förväntas från dem. Om tid och diskutrymme finns tillgängligt så är 3D modellen det bästa alternativet eftersom denna sorts modeller bara kräver att randvillkor och laster ska specificeras samt att resultaten från dessa brukar vara mycket mer noggrann i jämförelse med en 2D-analys.

Symmetri ska uppmärksam användas om dessa finns i modellen. Resultaten från dessa är ibland inte lika noggranna som för en hel tredimensionell modell men tid och diskutrymme kan här reduceras rejält, vilket kan vara till en stor fördel, samt applicering av symmetriska randvillkor brukar vara lätthanterliga.

Tvådimensionella modeller analyseras väldigt snabbt och dess resultat kan vara till stor nytta vid jämförelse av olika material till samma applikation.

Vidare till vilken sorts analys som borde utföras så beror det på vilka krav man har på sin modell. MPA analyser ger användare möjligheten att ange ett konvergenskriterium, vilket leder till att man kan kontrollera hur sin modell har konvergerat. Resultatets kvalitet för en MPA analys är betydligt bättre än för en SPA analys. Nackdelen med MPA analyser är att dessa kan ta otrolig lång tid att bli färdiga i jämförelse med en SPA analys. Dessutom kan det krävas lång tid för analysen att upptäcka vissa fel i CAD-modellen (om sådana finns) och med användning av SPA upptäcks felet betydligt snabbare.

När det arbetas med assemblies och man vill veta hur en specifik komponent reagerar i en konstruktion, kan det vara bra att studera bara komponenten för sig själv och utnyttja olika randvillkor för att simulera övriga komponenter.

Resultatet som fås fram med hjälp av programmet kommer inte att visa att ett material eller geometri fungerar eller inte. Resultatet fås i form av värden som kräver förkunskap för att kunna tolkas. Vidare kan resultatet som fås fram bara kontrolleras med hjälp av handberäkningar.

Programmet rekommenderas inte till mycket avancerade termiska tidsberoende beräkningar. En stor undersökning gjordes inte till dessa beräkningar, men utifrån övningsuppgifter och litteratur skulle inte dessa tillrådas utan andra FEM program som är mer inriktat mot termiska problem. Å andra sidan, enkla termiska beräkningar som inte är tidsberoende borde absolut användas för att simulera värmeledning samt konvektionsproblem.

6 REFERENSER

Skrifter

Gert Persson, FEM-Modelering med Pro/Mechanica Wildfire V4.0, kompendie, För maskiningenjörsprogrammet Mik2, Läsår 2010/2011 Lp3.

Tore Dahlberg, Teknisk hållfasthetslära, Studentlitteratur, Lund 2005, ISBN 91-44-01920-3.

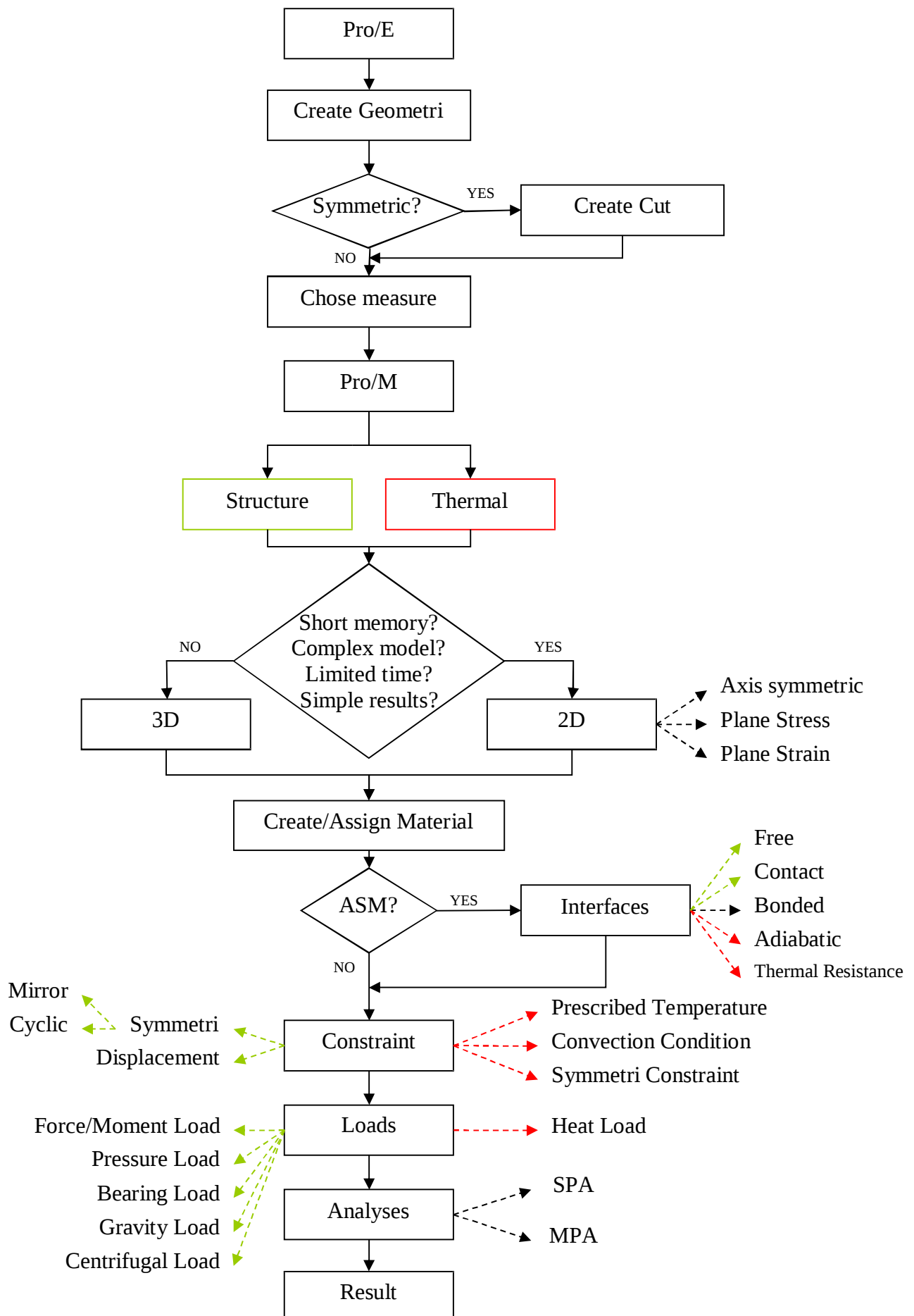
Yunus A. Cengel, Robert H. Turner och John M. Cimbala, Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences, Tredje utgåva, ISBN 978-007-126631-4

WWW-sajter

www.ptc.com

PTC:s hemsida. Innehåller online kursen "PRO/ENGINEER Mechanica - Simulation using PRO/ENGINEER Wildfire 4.0"

BILAGA A: ARBETEMETODIKS FLÖDESESCHEMMA



BILAGA B: RESULTAT SPA ANALYS 2D

Mechanica Structure Version L-01-54:spg
Summary for Design Study "Analysis_2D_sista"
Tue Jan 21, 2014 13:15:28

Run Settings

Memory allocation for block solver: 128.0

Parallel Processing Status

Parallel task limit for current run: 4
Parallel task limit for current platform: 64
Number of processors detected automatically: 4

Checking the model before creating elements...

These checks take into account the fact that AutoGEM will automatically create elements in volumes with material properties, on surfaces with shell properties, and on curves with beam section properties.

Generate elements automatically.

Checking the model after creating elements...

No errors were found in the model.

Mechanica Structure Model Summary

Principal System of Units: millimeter Newton Second (mmNs)

Length: mm
Force: N
Time: sec
Temperature: C

Model Type: 2D Axisymmetric

Points: 594
Edges: 1113
Faces: 521

Springs: 0
Masses: 0
2D Shells: 0
2D Solids: 521

Elements: 521

Contacts: 12

Standard Design Study

Static Analysis "Analysis_2D_sista":
Contact Analysis

Convergence Method: Single-Pass Adaptive
Plotting Grid: 4

Convergence Loop Log: (13:15:29)

>> Pass 1 <<

Calculating Element Equations (13:15:29)
Total Number of Equations: 6187
Maximum Edge Order: 3
Solving Equations (13:15:29)
Load Increment 0 of 1
Load Factor: 0.00000e+00
Contact Area: 0.00000e+00
Calculating Disp and Stress Results (13:15:30)
Load Increment 1 of 1
Load Factor: 1.00000e+00
Contact Area: 2.22287e+02
Calculating Disp and Stress Results (13:15:30)

Post-Processing Solution (13:15:31)
Checking Convergence (13:15:31)
Resource Check (13:15:31)
Elapsed Time (sec): 14.25
CPU Time (sec): 1.64
Memory Usage (kb): 175286
Wrk Dir Dsk Usage (kb): 4099

>> Pass 2 <<

Calculating Element Equations (13:15:31)
Total Number of Equations: 9177
Maximum Edge Order: 9
Solving Equations (13:15:31)
Load Increment 0 of 1
Load Factor: 0.00000e+00
Contact Area: 0.00000e+00
Calculating Disp and Stress Results (13:15:31)
Load Increment 1 of 1
Load Factor: 1.00000e+00
Contact Area: 2.31011e+02
Calculating Disp and Stress Results (13:15:32)

Post-Processing Solution (13:15:32)
Checking Convergence (13:15:32)

RMS Stress Error Estimates:

Load Set	Stress Error	% of Max Prin Str
-----	-----	-----

LoadSet1 8.23e+00 7.8% of 1.06e+02

Resource Check (13:15:32)

Elapsed Time (sec): 15.65

CPU Time (sec): 2.97

Memory Usage (kb): 176662

Wrk Dir Dsk Usage (kb): 5123

Total Mass of Model: 2.002348e-04

Total Cost of Model: 0.000000e+00

Mass Moments of Inertia about WCS Origin:

Ixx: 1.11344e+00

Ixy: 0.00000e+00 Iyy: 7.45158e-03

Ixz: 0.00000e+00 Iyz: 0.00000e+00 Izz: 1.11344e+00

Principal MMOI and Principal Axes Relative to WCS Origin:

Max Prin	Mid Prin	Min Prin
1.11344e+00	1.11344e+00	7.45158e-03

WCS X: 0.00000e+00 1.00000e+00 0.00000e+00

WCS Y: 0.00000e+00 0.00000e+00 1.00000e+00

WCS Z: 1.00000e+00 0.00000e+00 0.00000e+00

Center of Mass Location Relative to WCS Origin:

(0.00000e+00, 6.26393e+01, 0.00000e+00)

Mass Moments of Inertia about the Center of Mass:

Ixx: 3.27783e-01

Ixy: 0.00000e+00 Iyy: 7.45158e-03

Ixz: 0.00000e+00 Iyz: 0.00000e+00 Izz: 3.27783e-01

Principal MMOI and Principal Axes Relative to COM:

Max Prin	Mid Prin	Min Prin
3.27783e-01	3.27783e-01	7.45158e-03

WCS X: 0.00000e+00 1.00000e+00 0.00000e+00

WCS Y: 0.00000e+00 0.00000e+00 1.00000e+00

WCS Z: 1.00000e+00 0.00000e+00 0.00000e+00

Constraint Set: ConstraintSet1: KLYFTA_2D_NEW

Load Set: LoadSet1: KLYFTA_2D_NEW

Resultant Load on Model:

in global Y direction: -4.000000e+03

Measures:

```

contact_area:    2.310113e+02
contact_max_pres: 4.411145e+01
max_disp_mag:    3.774218e-01
max_disp_x:      2.127275e-03
max_disp_y:      -3.774218e-01
max_disp_z:      0.000000e+00
max_prin_mag*:   -1.060395e+02
max_rot_mag:      0.000000e+00
max_rot_x:        0.000000e+00
max_rot_y:        0.000000e+00
max_rot_z:        0.000000e+00
max_stress_prin:  5.375907e+01
max_stress_vm:    8.190169e+01
max_stress_xx:    -6.371414e+01
max_stress_xy:    4.469501e+01
max_stress_xz:    0.000000e+00
max_stress_yy*:   -9.036091e+01
max_stress_yz:    0.000000e+00
max_stress_zz*:   -2.928264e+01
min_stress_prin*: -1.060395e+02
strain_energy:    4.858745e+01
Interface10_area: 1.660007e+01
Interface10_force: 3.424181e+02
Interface11_area: 1.660007e+01
Interface11_force: 3.754116e+02
Interface12_area: 2.254543e+01
Interface12_force: 4.105808e+02
Interface13_area: 2.143352e+01
Interface13_force: 5.022038e+02
Interface2_area:  2.254543e+01
Interface2_force: 3.100069e+02
Interface3_area:  1.355099e+01
Interface3_force: 3.069284e+02
Interface4_area:  4.662612e+01
Interface4_force: 2.930572e+02
Interface5_area:  1.362740e+01
Interface5_force: 3.136477e+02
Interface6_area:  1.362740e+01
Interface6_force: 3.163602e+02
Interface7_area:  1.362740e+01
Interface7_force: 3.149369e+02
Interface8_area:  1.660007e+01
Interface8_force: 3.185105e+02
Interface9_area:  1.362740e+01
Interface9_force: 3.370426e+02

```

** Warning: The measures marked by an asterisk (*) were evaluated at (or close to) results singularities. The values of these measures may be inaccurate, and you must use engineering judgment

when interpreting them.

Analysis "Analysis_2D_sista" Completed (13:15:32)

Memory and Disk Usage:

Machine Type: Windows NT/x86
RAM Allocation for Solver (megabytes): 128.0

Total Elapsed Time (seconds): 15.71
Total CPU Time (seconds): 2.98
Maximum Memory Usage (kilobytes): 176662
Working Directory Disk Usage (kilobytes): 5123

Results Directory Size (kilobytes):
11233 .\Analysis_2D_sista

Maximum Data Base Working File Sizes (kilobytes):
3072 .\Analysis_2D_sista.tmp\kel1.bas
2048 .\Analysis_2D_sista.tmp\oel1.bas

Run Completed
Tue Jan 21, 2014 13:15:32

BILAGA C: RESULTAT MPA ANALYS 2D

Mechanica Structure Version L-01-54:spg
Summary for Design Study "Analysis_mpa4_28_02"
Sat Mar 01, 2014 12:18:13

Run Settings

Memory allocation for block solver: 128.0

Parallel Processing Status

Parallel task limit for current run: 4
Parallel task limit for current platform: 64
Number of processors detected automatically: 4

Checking the model before creating elements...

These checks take into account the fact that AutoGEM will automatically create elements in volumes with material properties, on surfaces with shell properties, and on curves with beam section properties.

Generate elements automatically.

Checking the model after creating elements...

No errors were found in the model.

Mechanica Structure Model Summary

Principal System of Units: millimeter Newton Second (mmNs)

Length: mm
Force: N
Time: sec
Temperature: C

Model Type: 2D Axisymmetric

Points: 594
Edges: 1113
Faces: 521

Springs: 0
Masses: 0
2D Shells: 0
2D Solids: 521

Elements: 521

Contacts: 12

Standard Design Study

Static Analysis "Analysis_mpa4_28_02":
Contact Analysis

Convergence Method: Multiple-Pass Adaptive
Plotting Grid: 7

Convergence Loop Log: (12:18:14)

>> Pass 1 <<

Calculating Element Equations (12:18:14)
Total Number of Equations: 1167
Maximum Edge Order: 1
Solving Equations (12:18:14)
Load Increment 0 of 1
Load Factor: 0.00000e+00
Contact Area: 0.00000e+00
Calculating Disp and Stress Results (12:18:14)
Load Increment 1 of 1
Load Factor: 1.00000e+00
*Contact Area: 1.30103e+02

** Warning: Contact area is small in comparison to size
of adjacent element edges for one or more
contacts for all load factors above
marked with a "*". Automatic localized mesh
refinement cannot be used for this model.
If you need pressure results near the contact
regions, you may need to refine the mesh in
independent Mechanical.

Calculating Disp and Stress Results (12:18:15)

Post-Processing Solution (12:18:16)
Checking Convergence (12:18:16)
Elements Not Converged: 521
Edges Not Converged: 1113
Local Disp/Energy Index: 100.0%
Global RMS Stress Index: 100.0%
Resource Check (12:18:16)
Elapsed Time (sec): 7.70
CPU Time (sec): 2.08
Memory Usage (kb): 175350
Wrk Dir Dsk Usage (kb): 4099

>> Pass 2 <<

Calculating Element Equations (12:18:16)
Total Number of Equations: 3377
Maximum Edge Order: 2
Solving Equations (12:18:16)
Load Increment 0 of 1
Load Factor: 0.00000e+00
Contact Area: 0.00000e+00

Calculating Disp and Stress Results (12:18:16)

Load Increment 1 of 1

Load Factor: 1.00000e+00

*Contact Area: 1.66218e+02

** Warning: Contact area is small in comparison to size of adjacent element edges for one or more contacts for all load factors above marked with a "*". Automatic localized mesh refinement cannot be used for this model. If you need pressure results near the contact regions, you may need to refine the mesh in independent Mechanica.

Calculating Disp and Stress Results (12:18:17)

Post-Processing Solution (12:18:18)

Checking Convergence (12:18:18)

Elements Not Converged: 234

Edges Not Converged: 0

Local Disp/Energy Index: 99.4%

Global RMS Stress Index: 25.4%

Resource Check (12:18:18)

Elapsed Time (sec): 9.71

CPU Time (sec): 3.83

Memory Usage (kb): 176438

Wrk Dir Dsk Usage (kb): 4099

>> Pass 3 <<

Calculating Element Equations (12:18:18)

Total Number of Equations: 5705

Maximum Edge Order: 3

Solving Equations (12:18:18)

Load Increment 0 of 1

Load Factor: 0.00000e+00

Contact Area: 0.00000e+00

Calculating Disp and Stress Results (12:18:18)

Load Increment 1 of 1

Load Factor: 1.00000e+00

Contact Area: 2.22287e+02

Calculating Disp and Stress Results (12:18:19)

Post-Processing Solution (12:18:20)

Checking Convergence (12:18:20)

Elements Not Converged: 106

Edges Not Converged: 0

Local Disp/Energy Index: 36.3%

Global RMS Stress Index: 15.5%

Resource Check (12:18:20)

Elapsed Time (sec): 11.77

CPU Time (sec): 5.62

Memory Usage (kb): 177526

Wrk Dir Dsk Usage (kb): 4099

>> Pass 4 <<

Calculating Element Equations (12:18:20)
 Total Number of Equations: 8511
 Maximum Edge Order: 4
 Solving Equations (12:18:20)
 Load Increment 0 of 1
 Load Factor: 0.00000e+00
 Contact Area: 0.00000e+00
 Calculating Disp and Stress Results (12:18:20)
 Load Increment 1 of 1
 Load Factor: 1.00000e+00
 Contact Area: 3.04142e+02
 Calculating Disp and Stress Results (12:18:21)

Post-Processing Solution (12:18:22)
 Checking Convergence (12:18:22)
 Elements Not Converged: 39
 Edges Not Converged: 0
 Local Disp/Energy Index: 18.2%
 Global RMS Stress Index: 10.1%
 Resource Check (12:18:22)
 Elapsed Time (sec): 13.93
 CPU Time (sec): 7.62
 Memory Usage (kb): 177526
 Wrk Dir Dsk Usage (kb): 4099

>> Pass 5 <<

Calculating Element Equations (12:18:22)
 Total Number of Equations: 11945
 Maximum Edge Order: 5
 Solving Equations (12:18:22)
 Load Increment 0 of 1
 Load Factor: 0.00000e+00
 Contact Area: 0.00000e+00
 Calculating Disp and Stress Results (12:18:23)
 Load Increment 1 of 1
 Load Factor: 1.00000e+00
 Contact Area: 2.35787e+02
 Calculating Disp and Stress Results (12:18:24)

Post-Processing Solution (12:18:24)
 Checking Convergence (12:18:24)
 Elements Not Converged: 24
 Edges Not Converged: 0
 Local Disp/Energy Index: 7.6%
 Global RMS Stress Index: 6.8%
 Resource Check (12:18:24)
 Elapsed Time (sec): 16.28
 CPU Time (sec): 9.75

Memory Usage (kb): 186838
 Wrk Dir Dsk Usage (kb): 6147

>> Pass 6 <<

Calculating Element Equations (12:18:25)
 Total Number of Equations: 15037
 Maximum Edge Order: 6
 Solving Equations (12:18:25)
 Load Increment 0 of 1
 Load Factor: 0.00000e+00
 Contact Area: 0.00000e+00
 Calculating Disp and Stress Results (12:18:25)
 Load Increment 1 of 1
 Load Factor: 1.00000e+00
 Contact Area: 2.65188e+02
 Calculating Disp and Stress Results (12:18:26)

Post-Processing Solution (12:18:27)
 Checking Convergence (12:18:27)
 Elements Not Converged: 30
 Edges Not Converged: 0
 Local Disp/Energy Index: 14.9%
 Global RMS Stress Index: 8.1%
 Resource Check (12:18:27)
 Elapsed Time (sec): 19.02
 CPU Time (sec): 12.19
 Memory Usage (kb): 188790
 Wrk Dir Dsk Usage (kb): 7171

>> Pass 7 <<

Calculating Element Equations (12:18:27)
 Total Number of Equations: 18107
 Maximum Edge Order: 7
 Solving Equations (12:18:28)
 Load Increment 0 of 1
 Load Factor: 0.00000e+00
 Contact Area: 0.00000e+00
 Calculating Disp and Stress Results (12:18:28)
 Load Increment 1 of 1
 Load Factor: 1.00000e+00
 Contact Area: 3.73958e+02
 Calculating Disp and Stress Results (12:18:29)

Post-Processing Solution (12:18:30)
 Checking Convergence (12:18:30)
 Elements Not Converged: 10
 Edges Not Converged: 0
 Local Disp/Energy Index: 5.6%
 Global RMS Stress Index: 5.4%
 Resource Check (12:18:30)
 Elapsed Time (sec): 21.88

CPU Time (sec): 14.95
 Memory Usage (kb): 188790
 Wrk Dir Dsk Usage (kb): 9219

>> Pass 8 <<

Calculating Element Equations (12:18:30)
 Total Number of Equations: 20815
 Maximum Edge Order: 8
 Solving Equations (12:18:31)
 Load Increment 0 of 1
 Load Factor: 0.00000e+00
 Contact Area: 0.00000e+00
 Calculating Disp and Stress Results (12:18:31)
 Load Increment 1 of 1
 Load Factor: 1.00000e+00
 Contact Area: 3.18422e+02
 Calculating Disp and Stress Results (12:18:32)

Post-Processing Solution (12:18:33)
 Checking Convergence (12:18:33)
 Elements Not Converged: 0
 Edges Not Converged: 0
 Local Disp/Energy Index: 2.0%
 Global RMS Stress Index: 3.0%

RMS Stress Error Estimates:

Load Set	Stress Error	% of Max Prin Str
LoadSet1	5.93e+00	6.2% of 9.52e+01

Resource Check (12:18:34)
 Elapsed Time (sec): 25.38
 CPU Time (sec): 17.97
 Memory Usage (kb): 189814
 Wrk Dir Dsk Usage (kb): 11267

The analysis converged to within 4% on
 edge displacement, element strain energy,
 and global RMS stress.

Total Mass of Model: 2.002348e-04

Total Cost of Model: 0.000000e+00

Mass Moments of Inertia about WCS Origin:

Ixx: 1.11344e+00
 Ixy: 0.00000e+00 Iyy: 7.45158e-03
 Ixz: 0.00000e+00 Iyz: 0.00000e+00 Izz: 1.11344e+00

Principal MMOI and Principal Axes Relative to WCS Origin:

Max Prin	Mid Prin	Min Prin
1.11344e+00	1.11344e+00	7.45158e-03

WCS X: 0.00000e+00	1.00000e+00	0.00000e+00
WCS Y: 0.00000e+00	0.00000e+00	1.00000e+00
WCS Z: 1.00000e+00	0.00000e+00	0.00000e+00

Center of Mass Location Relative to WCS Origin:
(0.00000e+00, 6.26393e+01, 0.00000e+00)

Mass Moments of Inertia about the Center of Mass:

Ixx: 3.27783e-01
 Ixy: 0.00000e+00 Iyy: 7.45158e-03
 Ixz: 0.00000e+00 Iyz: 0.00000e+00 Izz: 3.27783e-01

Principal MMOI and Principal Axes Relative to COM:

Max Prin	Mid Prin	Min Prin
3.27783e-01	3.27783e-01	7.45158e-03

WCS X: 0.00000e+00	1.00000e+00	0.00000e+00
WCS Y: 0.00000e+00	0.00000e+00	1.00000e+00
WCS Z: 1.00000e+00	0.00000e+00	0.00000e+00

Constraint Set: ConstraintSet1: KLYFTA_2D_NEW

Load Set: LoadSet1: KLYFTA_2D_NEW

Resultant Load on Model:
 in global Y direction: -4.000000e+03

Measures:

Name	Value	Convergence
-----	-----	-----
contact_area:	3.184218e+02	17.4%
contact_max_pres:	5.731472e+01	12.8%
max_disp_mag:	3.779090e-01	0.0%
max_disp_x:	2.449902e-03	0.4%
max_disp_y:	-3.779089e-01	0.0%
max_disp_z:	0.000000e+00	0.0%
max_prin_mag:	-9.519451e+01	0.5%
max_rot_mag:	0.000000e+00	0.0%
max_rot_x:	0.000000e+00	0.0%
max_rot_y:	0.000000e+00	0.0%
max_rot_z:	0.000000e+00	0.0%
max_stress_prin:	5.384156e+01	0.9%
max_stress_vm:	8.153994e+01	0.1%

max_stress_xx:	-6.077674e+01	1.1%
max_stress_xy:	4.447898e+01	0.2%
max_stress_xz:	0.000000e+00	0.0%
max_stress_yy:	-7.042085e+01	0.1%
max_stress_yz:	0.000000e+00	0.0%
max_stress_zz:	-2.451814e+01	1.4%
min_stress_prin:	-9.519451e+01	0.5%
strain_energy:	4.959048e+01	0.1%
Interface10_area:	2.329937e+01	16.5%
Interface10_force:	3.473652e+02	0.1%
Interface11_area:	2.329937e+01	24.1%
Interface11_force:	3.725783e+02	0.0%
Interface12_area:	2.329937e+01	16.5%
Interface12_force:	4.130633e+02	0.1%
Interface13_area:	1.978017e+01	28.5%
Interface13_force:	4.965806e+02	0.0%
Interface2_area:	3.894623e+01	6.6%
Interface2_force:	3.045442e+02	0.1%
Interface3_area:	2.250737e+01	18.6%
Interface3_force:	3.098523e+02	0.2%
Interface4_area:	5.125485e+01	5.1%
Interface4_force:	3.035350e+02	0.4%
Interface5_area:	2.245002e+01	18.6%
Interface5_force:	3.093745e+02	0.1%
Interface6_area:	2.245002e+01	66.2%
Interface6_force:	3.124449e+02	0.3%
Interface7_area:	2.396461e+01	30.4%
Interface7_force:	3.163206e+02	0.1%
Interface8_area:	2.454838e+01	8.7%
Interface8_force:	3.218633e+02	0.2%
Interface9_area:	2.262207e+01	17.7%
Interface9_force:	3.335826e+02	0.1%

Analysis "Analysis_mpa4_28_02" Completed (12:18:34)

Memory and Disk Usage:

Machine Type: Windows NT/x86
RAM Allocation for Solver (megabytes): 128.0

Total Elapsed Time (seconds): 25.49
Total CPU Time (seconds): 18.05
Maximum Memory Usage (kilobytes): 189814
Working Directory Disk Usage (kilobytes): 11267

Results Directory Size (kilobytes):
18160 .\Analysis_mpa4_28_02

Maximum Data Base Working File Sizes (kilobytes):

8192 .\Analysis_mpa4_28_02.tmp\kel1.bas
3072 .\Analysis_mpa4_28_02.tmp\oel1.bas

Run Completed

Sat Mar 01, 2014 12:18:34

BILAGA D: RESULTAT SPA ANALYS SYMMETRIMODEL

Mechanica Structure Version L-01-54:spg
Summary for Design Study "Analysis_KL_sista"
Thu Jan 16, 2014 10:15:02

Run Settings

Memory allocation for block solver: 128.0

Parallel Processing Status

Parallel task limit for current run: 4
Parallel task limit for current platform: 64
Number of processors detected automatically: 4

Checking the model before creating elements...

These checks take into account the fact that AutoGEM will automatically create elements in volumes with material properties, on surfaces with shell properties, and on curves with beam section properties.

Generate elements automatically.

Checking the model after creating elements...

No errors were found in the model.

Mechanica Structure Model Summary

Principal System of Units: millimeter Newton Second (mmNs)

Length: mm
Force: N
Time: sec
Temperature: C

Model Type: Three Dimensional

Points: 5702
Edges: 27673
Faces: 39281

Springs: 0
Masses: 0
Beams: 0
Shells: 0
Solids: 17308

Elements: 17308

Contacts: 27

Standard Design Study

Static Analysis "Analysis_KL_sista":

Contact Analysis

Convergence Method: Single-Pass Adaptive

Plotting Grid: 4

Convergence Loop Log: (10:26:29)

>> Pass 1 <<

Calculating Element Equations (10:26:32)

Total Number of Equations: 289312

Maximum Edge Order: 3

Solving Equations (10:26:45)

Load Increment 0 of 1

Load Factor: 0.00000e+00

Contact Area: 0.00000e+00

Calculating Disp and Stress Results (10:30:49)

Load Increment 1 of 1

Load Factor: 1.00000e+00

*Contact Area: 1.22724e+02

** Warning: Contact area is small in comparison to size of adjacent element edges for one or more contacts for all load factors above marked with a "*". If you need pressure results near the contacts, use single-pass adaptive convergence and select Localized Mesh Refinement.

Calculating Disp and Stress Results (11:15:30)

Post-Processing Solution (11:16:12)

Checking Convergence (11:16:12)

Resource Check (11:16:17)

Elapsed Time (sec): 3677.70

CPU Time (sec): 3581.95

Memory Usage (kb): 508094

Wrk Dir Dsk Usage (kb): 1356272

>> Pass 2 <<

Calculating Element Equations (11:16:20)

Total Number of Equations: 409720

Maximum Edge Order: 6

Solving Equations (11:16:38)

Load Increment 0 of 1

Load Factor: 0.00000e+00

Contact Area: 0.00000e+00

Calculating Disp and Stress Results (11:22:55)

Load Increment 1 of 1

Load Factor: 1.00000e+00

*Contact Area: 1.21327e+02

** Warning: Contact area is small in comparison to size of adjacent element edges for one or more contacts for all load factors above marked with a "*". If you need pressure results near the contacts, use single-pass adaptive convergence and select Localized Mesh Refinement.

Calculating Disp and Stress Results (11:59:32)

Post-Processing Solution (12:00:17)
Checking Convergence (12:00:17)

RMS Stress Error Estimates:

Load Set	Stress Error	% of Max Prin Str
-----	-----	-----
LoadSet1	1.56e+01	5.0% of 3.15e+02

Resource Check (12:00:24)
Elapsed Time (sec): 6325.07
CPU Time (sec): 5977.84
Memory Usage (kb): 607746
Wrk Dir Dsk Usage (kb): 2052801

Total Mass of Model: 6.640156e-05

Total Cost of Model: 0.000000e+00

Mass Moments of Inertia about WCS Origin:

Ixx: 3.70149e-01
Ixy: 5.00396e-04 Iyy: 3.70146e-01
Ixz: 1.21576e-02 Iyz: -1.21794e-02 Izz: 2.45170e-03

Principal MMOI and Principal Axes Relative to WCS Origin:

	Max Prin	Mid Prin	Min Prin
	3.70648e-01	3.70452e-01	1.64696e-03
WCS X:	7.09055e-01	-7.04381e-01	-3.30009e-02
WCS Y:	7.05153e-01	7.08284e-01	3.30601e-02
WCS Z:	8.70959e-05	-4.67122e-02	9.98908e-01

Center of Mass Location Relative to WCS Origin:
(3.21293e+00, -3.21748e+00, -6.27444e+01)

Mass Moments of Inertia about the Center of Mass:

Ixx: 1.08047e-01

Ixy: -1.86031e-04 Iyy: 1.08047e-01
 Ixz: -1.22848e-03 Iyz: 1.22565e-03 Izz: 1.07884e-03

Principal MMOI and Principal Axes Relative to COM:

	Max Prin	Mid Prin	Min Prin
	1.08261e-01	1.07861e-01	1.05075e-03
WCS X:	7.07584e-01	7.06536e-01	1.14601e-02
WCS Y:	-7.06444e-01	7.07677e-01	-1.14337e-02
WCS Z:	-1.61884e-02	-5.60294e-06	9.99869e-01

Constraint Set: ConstraintSet1: KOPIA_2D_KLYFTA

Load Set: LoadSet1: KOPIA_2D_KLYFTA

Resultant Load on Model:

in global X direction: -1.150081e-09
 in global Y direction: 9.909680e-10
 in global Z direction: 4.000000e+03

Measures:

contact_area: 1.213273e+02
 contact_max_pres: 2.389231e+02
 max_beam_bending: 0.000000e+00
 max_beam_tensile: 0.000000e+00
 max_beam_torsion: 0.000000e+00
 max_beam_total: 0.000000e+00
 max_disp_mag: 2.295263e-01
 max_disp_x: 1.337179e-02
 max_disp_y: 1.349915e-02
 max_disp_z: 2.292828e-01
 max_prin_mag: -3.146289e+02
 max_rot_mag: 0.000000e+00
 max_rot_x: 0.000000e+00
 max_rot_y: 0.000000e+00
 max_rot_z: 0.000000e+00
 max_stress_prin: 2.313438e+02
 max_stress_vm: 3.264920e+02
 max_stress_xx: -1.821606e+02
 max_stress_xy: 4.773115e+01
 max_stress_xz: -1.390163e+02
 max_stress_yy: -1.779611e+02
 max_stress_yz: -1.567010e+02
 max_stress_zz: -2.190657e+02
 min_stress_prin: -3.146289e+02
 strain_energy: 1.511070e+02

Analysis "Analysis_KL_sista" Completed (12:00:24)

Memory and Disk Usage:

Machine Type: Windows NT/x86
RAM Allocation for Solver (megabytes): 128.0

Total Elapsed Time (seconds): 6325.94
Total CPU Time (seconds): 5978.25
Maximum Memory Usage (kilobytes): 607746
Working Directory Disk Usage (kilobytes): 2052801

Results Directory Size (kilobytes):
149755 .\Analysis_KL_sista

Maximum Data Base Working File Sizes (kilobytes):
55296 .\Analysis_KL_sista.tmp\gapel1.bas
1048576 .\Analysis_KL_sista.tmp\kblk1.bas
396288 .\Analysis_KL_sista.tmp\kblk2.bas
443392 .\Analysis_KL_sista.tmp\kel1.bas
9216 .\Analysis_KL_sista.tmp\l1da1.bas
12288 .\Analysis_KL_sista.tmp\l2sq1.bas
86016 .\Analysis_KL_sista.tmp\oel1.bas

Run Completed
Thu Jan 16, 2014 12:00:25

BILAGA E: RESULTAT MPA ANALYS SYMMETRIMODEL

Mechanica Structure Version L-01-54:spg
Summary for Design Study "Analysis_MPA_4_Klyfta_2"
Mon Feb 17, 2014 06:54:01

Run Settings

Memory allocation for block solver: 128.0

Parallel Processing Status

Parallel task limit for current run: 4
Parallel task limit for current platform: 64
Number of processors detected automatically: 4

Checking the model before creating elements...

These checks take into account the fact that AutoGEM will automatically create elements in volumes with material properties, on surfaces with shell properties, and on curves with beam section properties.

Generate elements automatically.

Checking the model after creating elements...

No errors were found in the model.

Mechanica Structure Model Summary

Principal System of Units: millimeter Newton Second (mmNs)

Length: mm
Force: N
Time: sec
Temperature: C

Model Type: Three Dimensional

Points: 5794
Edges: 28181
Faces: 40035

Springs: 0
Masses: 0
Beams: 0
Shells: 0
Solids: 17646

Elements: 17646

Contacts: 27

Standard Design Study

Static Analysis "Analysis_MPA_4_Klyfta_2":
Contact Analysis

Convergence Method: Multiple-Pass Adaptive
Plotting Grid: 7

Convergence Loop Log: (07:06:31)

>> Pass 1 <<

Calculating Element Equations (07:06:32)
Total Number of Equations: 15606
Maximum Edge Order: 1
Solving Equations (07:06:36)
Load Increment 0 of 1
Load Factor: 0.00000e+00
Contact Area: 0.00000e+00
Calculating Disp and Stress Results (07:07:11)
Load Increment 1 of 1
Load Factor: 1.00000e+00
*Contact Area: 4.76380e+01

** Warning: Contact area is small in comparison to size
of adjacent element edges for one or more
contacts for all load factors above
marked with a "*". If you need pressure results
near the contacts, use single-pass
adaptive convergence and select Localized
Mesh Refinement.

Calculating Disp and Stress Results (07:11:11)

Post-Processing Solution (07:14:58)
Checking Convergence (07:14:58)
Elements Not Converged: 17646
Edges Not Converged: 28181
Local Disp/Energy Index: 100.0%
Global RMS Stress Index: 100.0%
Resource Check (07:14:59)
Elapsed Time (sec): 1260.78
CPU Time (sec): 1026.08
Memory Usage (kb): 518869
Wrk Dir Dsk Usage (kb): 147801

>> Pass 2 <<

Calculating Element Equations (07:15:00)
Total Number of Equations: 96224
Maximum Edge Order: 2
Solving Equations (07:15:05)
Load Increment 0 of 1

Load Factor: 0.00000e+00
 Contact Area: 0.00000e+00
 Calculating Disp and Stress Results (07:16:08)
 Load Increment 1 of 1
 Load Factor: 1.00000e+00
 *Contact Area: 5.34911e+01

** Warning: Contact area is small in comparison to size
 of adjacent element edges for one or more
 contacts for all load factors above
 marked with a "*". If you need pressure results
 near the contacts, use single-pass
 adaptive convergence and select Localized
 Mesh Refinement.

Calculating Disp and Stress Results (07:29:31)

Post-Processing Solution (07:32:08)
 Checking Convergence (07:32:08)
 Elements Not Converged: 9948
 Edges Not Converged: 17188
 Local Disp/Energy Index: 100.0%
 Global RMS Stress Index: 32.6%
 Resource Check (07:32:09)
 Elapsed Time (sec): 2290.76
 CPU Time (sec): 1984.00
 Memory Usage (kb): 572990
 Wrk Dir Dsk Usage (kb): 357165

>> Pass 3 <<

Calculating Element Equations (07:32:15)
 Total Number of Equations: 497058
 Maximum Edge Order: 4
 Solving Equations (07:32:44)
 Load Increment 0 of 1
 Load Factor: 0.00000e+00
 Contact Area: 0.00000e+00
 Calculating Disp and Stress Results (07:40:25)
 Load Increment 1 of 1
 Load Factor: 1.00000e+00
 *Contact Area: 9.25678e+01

** Warning: Contact area is small in comparison to size
 of adjacent element edges for one or more
 contacts for all load factors above
 marked with a "*". If you need pressure results
 near the contacts, use single-pass
 adaptive convergence and select Localized
 Mesh Refinement.

Calculating Disp and Stress Results (08:20:50)

Post-Processing Solution (08:24:08)

Checking Convergence (08:24:08)

Elements Not Converged: 6086

Edges Not Converged: 17

Local Disp/Energy Index: 98.8%

Global RMS Stress Index: 17.5%

Resource Check (08:24:10)

Elapsed Time (sec): 5412.11

CPU Time (sec): 5202.84

Memory Usage (kb): 728085

Wrk Dir Dsk Usage (kb): 2628676

>> Pass 4 <<

Calculating Element Equations (08:24:19)

Total Number of Equations: 926198

Maximum Edge Order: 5

Solving Equations (08:25:33)

Load Increment 0 of 1

Load Factor: 0.00000e+00

Contact Area: 0.00000e+00

Calculating Disp and Stress Results (08:46:42)

Load Increment 1 of 1

Load Factor: 1.00000e+00

*Contact Area: 1.04651e+02

** Warning: Contact area is small in comparison to size of adjacent element edges for one or more contacts for all load factors above marked with a "*". If you need pressure results near the contacts, use single-pass adaptive convergence and select Localized Mesh Refinement.

Calculating Disp and Stress Results (10:34:17)

Post-Processing Solution (10:36:55)

Checking Convergence (10:36:55)

Elements Not Converged: 1889

Edges Not Converged: 0

Local Disp/Energy Index: 32.5%

Global RMS Stress Index: 9.9%

Resource Check (10:37:23)

Elapsed Time (sec): 13405.00

CPU Time (sec): 14034.44

Memory Usage (kb): 864842

Wrk Dir Dsk Usage (kb): 6496294

>> Pass 5 <<

Calculating Element Equations (10:37:38)

Total Number of Equations: 1413848

Maximum Edge Order: 6

Solving Equations (10:40:40)

Load Increment 0 of 1

Load Factor: 0.00000e+00
 Contact Area: 0.00000e+00
 Calculating Disp and Stress Results (11:39:06)
 Load Increment 1 of 1
 Load Factor: 1.00000e+00
 *Contact Area: 1.02518e+02

** Warning: Contact area is small in comparison to size
 of adjacent element edges for one or more
 contacts for all load factors above
 marked with a "*". If you need pressure results
 near the contacts, use single-pass
 adaptive convergence and select Localized
 Mesh Refinement.

Calculating Disp and Stress Results (16:56:14)

Post-Processing Solution (17:00:05)
 Checking Convergence (17:00:05)
 Elements Not Converged: 1156
 Edges Not Converged: 0
 Local Disp/Energy Index: 30.9%
 Global RMS Stress Index: 7.7%
 Resource Check (17:00:51)
 Elapsed Time (sec): 36412.64
 CPU Time (sec): 39704.03
 Memory Usage (kb): 1136693
 Wrk Dir Dsk Usage (kb): 12537756

>> Pass 6 <<

Calculating Element Equations (17:01:11)
 Total Number of Equations: 1970599
 Maximum Edge Order: 7
 Solving Equations (17:06:02)
 Load Increment 0 of 1
 Load Factor: 0.00000e+00
 Contact Area: 0.00000e+00
 Calculating Disp and Stress Results (19:27:34)
 Load Increment 1 of 1
 Load Factor: 1.00000e+00
 *Contact Area: 1.29146e+02

** Warning: Contact area is small in comparison to size
 of adjacent element edges for one or more
 contacts for all load factors above
 marked with a "*". If you need pressure results
 near the contacts, use single-pass
 adaptive convergence and select Localized
 Mesh Refinement.

Calculating Disp and Stress Results (08:23:41)

Post-Processing Solution (08:31:29)

Checking Convergence (08:31:29)
 Elements Not Converged: 667
 Edges Not Converged: 0
 Local Disp/Energy Index: 16.2%
 Global RMS Stress Index: 7.1%
 Resource Check (08:34:43)
 Elapsed Time (sec): 92444.40
 CPU Time (sec): 104742.86
 Memory Usage (kb): 1317263
 Wrk Dir Dsk Usage (kb): 21826142

>> Pass 7 <<

Calculating Element Equations (08:35:15)
 Total Number of Equations: 2564173
 Maximum Edge Order: 8
 Solving Equations (08:47:34)
 Load Increment 0 of 1
 Load Factor: 0.00000e+00
 Contact Area: 0.00000e+00
 Calculating Disp and Stress Results (14:29:00)
 Load Increment 1 of 1
 Load Factor: 1.00000e+00
 *Contact Area: 1.47950e+02

** Warning: Contact area is small in comparison to size
 of adjacent element edges for one or more
 contacts for all load factors above
 marked with a "*". If you need pressure results
 near the contacts, use single-pass
 adaptive convergence and select Localized
 Mesh Refinement.

Calculating Disp and Stress Results (14:50:55)

Post-Processing Solution (15:03:20)
 Checking Convergence (15:03:20)
 Elements Not Converged: 140
 Edges Not Converged: 0
 Local Disp/Energy Index: 9.1%
 Global RMS Stress Index: 4.7%
 Resource Check (15:07:38)
 Elapsed Time (sec): 202419.51
 CPU Time (sec): 223522.80
 Memory Usage (kb): 1555735
 Wrk Dir Dsk Usage (kb): 33847441

>> Pass 8 <<

Calculating Element Equations (15:08:08)
 Total Number of Equations: 3201971
 Maximum Edge Order: 9
 Solving Equations (15:22:51)
 Load Increment 0 of 1

Load Factor: 0.00000e+00
 Contact Area: 0.00000e+00
 Calculating Disp and Stress Results (02:08:59)
 Load Increment 1 of 1
 Load Factor: 1.00000e+00
 *Contact Area: 1.40695e+02

** Warning: Contact area is small in comparison to size
 of adjacent element edges for one or more
 contacts for all load factors above
 marked with a "*". If you need pressure results
 near the contacts, use single-pass
 adaptive convergence and select Localized
 Mesh Refinement.

Calculating Disp and Stress Results (12:07:21)

Post-Processing Solution (12:19:39)
 Checking Convergence (12:19:39)
 Elements Not Converged: 174
 Edges Not Converged: 0
 Local Disp/Energy Index: 9.1%
 Global RMS Stress Index: 4.6%

RMS Stress Error Estimates:

Load Set	Stress Error	% of Max Prin Str
-----	-----	-----
LoadSet1	7.93e+00	2.0% of 4.03e+02

** Warning: Convergence was not obtained because the maximum
 polynomial order of 9 was reached.

Resource Check (12:26:26)
 Elapsed Time (sec): 451947.69
 CPU Time (sec): 480200.25
 Memory Usage (kb): 1966154
 Wrk Dir Dsk Usage (kb): 50907768

The analysis did not converge to within 4% on
 edge displacement, element strain energy,
 and global RMS stress.

Total Mass of Model: 6.640144e-05

Total Cost of Model: 0.000000e+00

Mass Moments of Inertia about WCS Origin:

Ixx: 3.70148e-01
 Ixy: 5.00393e-04 Iyy: 3.70145e-01
 Ixz: 1.21576e-02 Iyz: -1.21794e-02 Izz: 2.45170e-03

Principal MMOI and Principal Axes Relative to WCS Origin:

	Max Prin	Mid Prin	Min Prin
	3.70647e-01	3.70451e-01	1.64696e-03
WCS X:	7.09056e-01	-7.04379e-01	-3.30009e-02
WCS Y:	7.05152e-01	7.08285e-01	3.30601e-02
WCS Z:	8.71797e-05	-4.67121e-02	9.98908e-01

Center of Mass Location Relative to WCS Origin:
(3.21293e+00, -3.21748e+00, -6.27444e+01)

Mass Moments of Inertia about the Center of Mass:

Ixx: 1.08047e-01
 Ixy: -1.86033e-04 Iyy: 1.08047e-01
 Ixz: -1.22850e-03 Iyz: 1.22565e-03 Izz: 1.07884e-03

Principal MMOI and Principal Axes Relative to COM:

	Max Prin	Mid Prin	Min Prin
	1.08261e-01	1.07861e-01	1.05075e-03
WCS X:	7.07587e-01	7.06534e-01	1.14603e-02
WCS Y:	-7.06441e-01	7.07679e-01	-1.14337e-02
WCS Z:	-1.61885e-02	-5.66387e-06	9.99869e-01

Constraint Set: ConstraintSet1: KOPIA_2D_KLYFTA

Load Set: LoadSet1: KOPIA_2D_KLYFTA

Resultant Load on Model:

in global X direction: -8.054037e-10
 in global Y direction: 5.310161e-10
 in global Z direction: 4.000000e+03

Measures:

Name	Value	Convergence
contact_area:	1.406949e+02	5.2%
contact_max_pres:	4.023631e+02	3.3%
max_beam_bending:	0.000000e+00	0.0%
max_beam_tensile:	0.000000e+00	0.0%
max_beam_torsion:	0.000000e+00	0.0%
max_beam_total:	0.000000e+00	0.0%
max_disp_mag:	2.310222e-01	0.1%
max_disp_x:	1.335908e-02	0.0%
max_disp_y:	1.349172e-02	0.0%
max_disp_z:	2.307807e-01	0.1%

max_prin_mag:	-4.030232e+02	3.1%
max_rot_mag:	0.000000e+00	0.0%
max_rot_x:	0.000000e+00	0.0%
max_rot_y:	0.000000e+00	0.0%
max_rot_z:	0.000000e+00	0.0%
max_stress_prin:	1.846553e+02	1.7%
max_stress_vm:	2.621624e+02	0.1%
max_stress_xx:	-3.192436e+02	9.7%
max_stress_xy:	5.468846e+01	2.9%
max_stress_xz:	-1.405302e+02	0.4%
max_stress_yy:	-2.490121e+02	5.0%
max_stress_yz:	1.352535e+02	0.3%
max_stress_zz:	-3.843101e+02	3.5%
min_stress_prin:	-4.030232e+02	3.1%
strain_energy:	1.545075e+02	0.2%

Analysis "Analysis_MPA_4_Klyfta_2" Completed (12:26:28)

Memory and Disk Usage:

Machine Type: Windows NT/x86
RAM Allocation for Solver (megabytes): 128.0

Total Elapsed Time (seconds): 451952.98
Total CPU Time (seconds): 480202.56
Maximum Memory Usage (kilobytes): 1966154
Working Directory Disk Usage (kilobytes): 50907768

Results Directory Size (kilobytes):
709298 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2

Maximum Data Base Working File Sizes (kilobytes):
581632 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\gapel1.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk1.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk10.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk11.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk12.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk13.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk14.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk15.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk16.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk17.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk18.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk19.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk2.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk20.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk21.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk22.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk23.bas

1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk24.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk25.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk26.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk27.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk28.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk29.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk3.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk30.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk31.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk32.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk33.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk34.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk35.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk36.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk37.bas
686080 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk38.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk4.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk5.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk6.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk7.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk8.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kblk9.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kel1.bas
118784 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kel10.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kel2.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kel3.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kel4.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kel5.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kel6.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kel7.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kel8.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\kel9.bas
80896 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\l1da1.bas
101376 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\l2sq1.bas
1048576 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\oel1.bas
50176 .\Analysis_MPA_4_Klyfta_2.tmp\oel2.bas

Run Completed

Sat Feb 22, 2014 12:26:32

BILAGA F: RESULTAT SPA ANALYS 3D

 Mechanics Structure Version L-01-54:spg
 Summary for Design Study "Analysis_3D_29_01"
 Wed Jan 29, 2014 15:10:19

Run Settings

Memory allocation for block solver: 128.0

Parallel Processing Status

Parallel task limit for current run: 4
 Parallel task limit for current platform: 64
 Number of processors detected automatically: 4

Checking the model before creating elements...

These checks take into account the fact that AutoGEM will automatically create elements in volumes with material properties, on surfaces with shell properties, and on curves with beam section properties.

Generate elements automatically.

Checking the model after creating elements...

No errors were found in the model.

Mechanics Structure Model Summary

Principal System of Units: millimeter Newton Second (mmNs)

Length: mm
 Force: N
 Time: sec
 Temperature: C

Model Type: Three Dimensional

Points: 13642
 Edges: 70547
 Faces: 103292

Springs: 0
 Masses: 0
 Beams: 0
 Shells: 0
 Solids: 46386

Elements: 46386

Contacts: 27

 Standard Design Study

Static Analysis "Analysis_3D_29_01":
Contact Analysis

Convergence Method: Single-Pass Adaptive
Plotting Grid: 4

Convergence Loop Log: (16:12:23)

>> Pass 1 <<

Calculating Element Equations (16:12:24)
Total Number of Equations: 772306
Maximum Edge Order: 3
Solving Equations (16:12:54)
Load Increment 0 of 1
Load Factor: 0.00000e+00
Contact Area: 0.00000e+00
Calculating Disp and Stress Results (16:41:25)
Load Increment 1 of 1
Load Factor: 1.00000e+00
*Contact Area: 2.80963e+02

** Warning: Contact area is small in comparison to size
of adjacent element edges for one or more
contacts for all load factors above
marked with a "**". If you need pressure results
near the contacts, use single-pass
adaptive convergence and select Localized
Mesh Refinement.

Calculating Disp and Stress Results (19:44:59)

Post-Processing Solution (19:48:18)
Checking Convergence (19:48:18)
Resource Check (19:48:32)
Elapsed Time (sec): 16698.27
CPU Time (sec): 19199.97
Memory Usage (kb): 1019267
Wrk Dir Dsk Usage (kb): 4756810

>> Pass 2 <<

Calculating Element Equations (19:48:33)
Total Number of Equations: 930814
Maximum Edge Order: 7
Solving Equations (19:49:57)
Load Increment 0 of 1
Load Factor: 0.00000e+00
Contact Area: 0.00000e+00
Calculating Disp and Stress Results (20:19:30)
Load Increment 1 of 1
Load Factor: 1.00000e+00
*Contact Area: 2.82891e+02

** Warning: Contact area is small in comparison to size of adjacent element edges for one or more contacts for all load factors above marked with a "**". If you need pressure results near the contacts, use single-pass adaptive convergence and select Localized Mesh Refinement.

Calculating Disp and Stress Results (22:36:56)

Post-Processing Solution (22:40:27)

Checking Convergence (22:40:27)

RMS Stress Error Estimates:

Load Set	Stress Error	% of Max Prin Str
LoadSet1	6.01e+00	6.0% of 1.00e+02

Resource Check (22:41:04)

Elapsed Time (sec): 27049.94

CPU Time (sec): 30416.44

Memory Usage (kb): 1138908

Wrk Dir Dsk Usage (kb): 5752138

Total Mass of Model: 1.989746e-04

Total Cost of Model: 0.000000e+00

Mass Moments of Inertia about WCS Origin:

Ixx: 1.10997e+00

Ixy: -1.00510e-08 Iyy: 1.10997e+00

Ixz: 1.11637e-08 Iyz: 2.30626e-09 Izz: 7.32941e-03

Principal MMOI and Principal Axes Relative to WCS Origin:

Max Prin	Mid Prin	Min Prin
1.10997e+00	1.10997e+00	7.32941e-03

WCS X: -6.09629e-01 7.92687e-01 -1.01245e-08

WCS Y: 7.92687e-01 6.09629e-01 -2.09157e-09

WCS Z: -4.51423e-09 9.30066e-09 1.00000e+00

Center of Mass Location Relative to WCS Origin:

(8.89549e-06, -1.06629e-05, -6.27657e+01)

Mass Moments of Inertia about the Center of Mass:

Ixx: 3.26106e-01

Ixy: -1.00510e-08 Iyy: 3.26106e-01

Ixz: -9.99301e-08 Iyz: 1.35473e-07 Izz: 7.32941e-03

Principal MMOI and Principal Axes Relative to COM:

Max Prin	Mid Prin	Min Prin
3.26106e-01	3.26106e-01	7.32941e-03
WCS X: -6.09629e-01	7.92687e-01	3.13480e-07
WCS Y: 7.92687e-01	6.09629e-01	-4.24977e-07
WCS Z: 5.27980e-07	1.05869e-08	1.00000e+00

Constraint Set: ConstraintSet1: KOPIA_2D_3D

Load Set: LoadSet1: KOPIA_2D_3D

Resultant Load on Model:

in global X direction: -5.110669e-10
in global Y direction: -3.626990e-09
in global Z direction: 4.000000e+03

Measures:

contact_area: 2.828912e+02
contact_max_pres: 9.956052e+01
max_beam_bending: 0.000000e+00
max_beam_tensile: 0.000000e+00
max_beam_torsion: 0.000000e+00
max_beam_total: 0.000000e+00
max_disp_mag: 1.784931e-01
max_disp_x: 4.856017e-03
max_disp_y: -4.942895e-03
max_disp_z: 1.784508e-01
max_prin_mag: -1.000012e+02
max_rot_mag: 0.000000e+00
max_rot_x: 0.000000e+00
max_rot_y: 0.000000e+00
max_rot_z: 0.000000e+00
max_stress_prin: 6.702542e+01
max_stress_vm: 1.113382e+02
max_stress_xx: -6.651186e+01
max_stress_xy: -1.910812e+01
max_stress_xz: 4.392862e+01
max_stress_yy: -6.127409e+01
max_stress_yz: 4.424444e+01
max_stress_zz: -9.163003e+01
min_stress_prin: -1.000012e+02
strain_energy: 5.070159e+01

Analysis "Analysis_3D_29_01" Completed (22:41:04)

Memory and Disk Usage:

Machine Type: Windows NT/x86

RAM Allocation for Solver (megabytes): 128.0

Total Elapsed Time (seconds): 27051.36

Total CPU Time (seconds): 30417.73

Maximum Memory Usage (kilobytes): 1138908

Working Directory Disk Usage (kilobytes): 5752138

Results Directory Size (kilobytes):

369798 .\Analysis_3D_29_01

Maximum Data Base Working File Sizes (kilobytes):

123904 .\Analysis_3D_29_01.tmp\gapel1.bas

1048576 .\Analysis_3D_29_01.tmp\kblk1.bas

1048576 .\Analysis_3D_29_01.tmp\kblk2.bas

1048576 .\Analysis_3D_29_01.tmp\kblk3.bas

1048576 .\Analysis_3D_29_01.tmp\kblk4.bas

216064 .\Analysis_3D_29_01.tmp\kblk5.bas

958464 .\Analysis_3D_29_01.tmp\kel1.bas

23552 .\Analysis_3D_29_01.tmp\l1da1.bas

28672 .\Analysis_3D_29_01.tmp\l2sq1.bas

206848 .\Analysis_3D_29_01.tmp\oel1.bas

Run Completed

Wed Jan 29, 2014 22:41:06

BILAGA G: RESULTAT TERMISK ANALYS

Mechanica Thermal Version L-01-54:spg
Summary for Design Study "Test_1_thermal"
Fri Jan 17, 2014 13:15:08

Run Settings

Memory allocation for block solver: 128.0

Parallel Processing Status

Parallel task limit for current run: 4
Parallel task limit for current platform: 64
Number of processors detected automatically: 4

Checking the model before creating elements...

These checks take into account the fact that AutoGEM will automatically create elements in volumes with material properties, on surfaces with shell properties, and on curves with beam section properties.

Generate elements automatically.

Checking the model after creating elements...

No errors were found in the model.

Mechanica Thermal Model Summary

Principal System of Units: millimeter Newton Second (mmNs)

Length: mm
Force: N
Time: sec
Temperature: C

Model Type: Three Dimensional

Points: 4824
Edges: 26442
Faces: 39929

Beams: 0
Shells: 0
Solids: 18311

Elements: 18311

Standard Design Study

Steady-State Thermal Analysis "Test_1_thermal":

Convergence Method: Single-Pass Adaptive

Plotting Grid: 4

Convergence Loop Log: (13:16:44)

>> Pass 1 <<

Calculating Element Equations (13:16:45)
 Total Number of Equations: 97346
 Maximum Edge Order: 3
 Solving Equations (13:16:48)
 Post-Processing Solution (13:16:56)
 Calculating Temp and Flux Results (13:16:56)
 Checking Convergence (13:17:01)
 Resource Check (13:17:05)
 Elapsed Time (sec): 134.82
 CPU Time (sec): 113.84
 Memory Usage (kb): 420840
 Wrk Dir Dsk Usage (kb): 205824

>> Pass 2 <<

Calculating Element Equations (13:17:05)
 Total Number of Equations: 195684
 Maximum Edge Order: 6
 Solving Equations (13:17:12)
 Post-Processing Solution (13:17:28)
 Calculating Temp and Flux Results (13:17:28)
 Checking Convergence (13:17:33)

RMS Flux Error Estimates:

Load Set	Flux Error	% of Max Flux
ThermLoadSet1	2.74e+01	8.8% of 3.10e+02

Resource Check (13:17:38)
 Elapsed Time (sec): 168.43
 CPU Time (sec): 151.11
 Memory Usage (kb): 481192
 Wrk Dir Dsk Usage (kb): 420864

Total Mass of Model: 2.035552e-05

Total Cost of Model: 0.000000e+00

Constraint Set: BndryCondSet1: MUTTER17X9_NEW

Load Set: ThermLoadSet1: MUTTER17X9_NEW

Measures:

energy_norm: 3.260539e+07
max_flux_mag: 3.102966e+02
max_flux_x: -1.931637e+02
max_flux_y: -2.019534e+02
max_flux_z: 2.774395e+02
max_grad_mag: 2.150618e+03
max_grad_x: 1.338788e+03
max_grad_y: 1.399708e+03
max_grad_z: -1.922890e+03
max_temperature: 1.336071e+03
min_temperature: 4.000000e+01

Analysis "Test_1_thermal" Completed (13:17:38)

Memory and Disk Usage:

Machine Type: Windows NT/x86
RAM Allocation for Solver (megabytes): 128.0

Total Elapsed Time (seconds): 168.90
Total CPU Time (seconds): 151.45
Maximum Memory Usage (kilobytes): 481192
Working Directory Disk Usage (kilobytes): 420864

Results Directory Size (kilobytes):
119849 .\Test_1_thermal

Maximum Data Base Working File Sizes (kilobytes):
304128 .\Test_1_thermal.tmp\kblk1.bas
116736 .\Test_1_thermal.tmp\kel1.bas

Run Completed
Fri Jan 17, 2014 13:17:39
