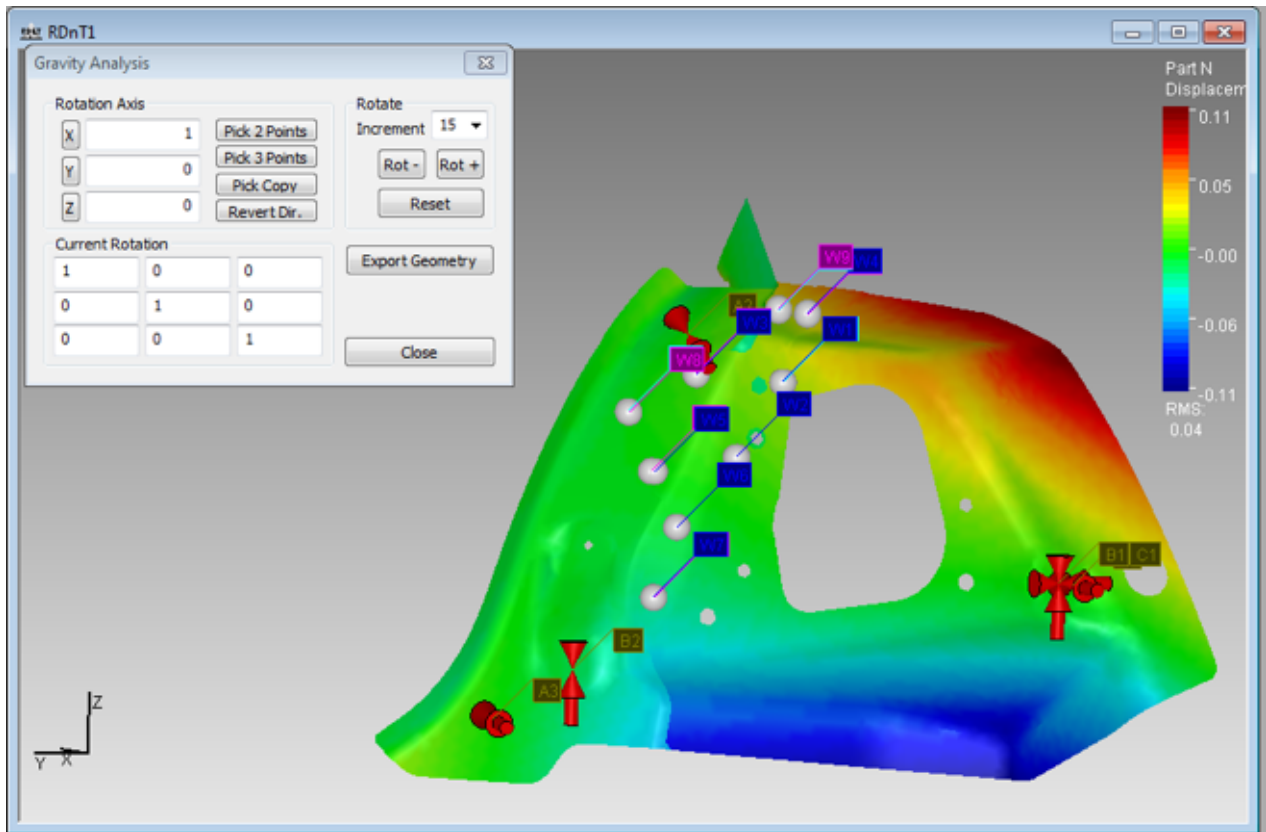




Gravitationskompensering vid icke-stel variationssimulering av plåtsammansättningar

Examensarbete inom Maskinteknik

CLAUDIA ARDELEAN
FILIP KLEVERUD

EXAMENSARBETE

Gravitationskompensering vid icke-stel variationssimulering av plåtsammansättningar

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

CLAUDIA ARDELEAN

FILIP KLEVERUD

Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling

Avdelningen för Produktutveckling

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2016

Gravitationskompensering vid Icke-stel Variationssimulering av Plåtsammansättningar
Gravity Compensation in Non-Rigid Variation Simulation of Sheet Metal Assemblies
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik
CLAUDIA ARDELEAN
FILIP KLEVERUD

© CLAUDIA ARDELEAN, FILIP KLEVERUD, Sverige 2016.

Handledare: Björn Lindau, Volvo Cars
Examinator: Lars Lindkvist, Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling

Examensarbete
Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling
Avdelningen för Produktutveckling
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Omslag:
Sammansättningsmodell av en lamppanel som
analyserats i Gravity Analysis. Vidare information på s.8.
Reproservice
Göteborg, Sverige 2016

FÖRORD

Under våren 2016 utförde vi vårt examensarbete på 15hp på Volvo Cars i Torslanda, Göteborg. Denna rapporten är resultatet av allt arbete som vi lagt ner under vårt sista halvår på maskinteknik 180hp på Chalmers Tekniska högskola, campus Lindholmen.

Vi vill rikta ett stort tack till alla som på något sätt har hjälpt och stöttat oss under den här tiden. Ett extra stort tack riktas till vår handlerade Björn Lindau på Volvo Cars, som under hela arbetets gång alltid sett till att vi har de verktyg vi behövt för att kunna utföra vårt arbete, alltid varit tillgänglig för oss, både vardagar som helger. Utan all den hjälp hade det aldrig blivit så bra och så roligt som det har varit, tack!

Vi vill också tacka Mikael Rosenqvist för hjälp vid simuleringarna i RD&T. Peter Fransson för hjälp och utbildning i scanning och Polyworks-programvaran och Lars Samuelsson för hjälp vid framtagande av meshar till våra modeller.

Slutligen skulle vi också vilja tacka vår examinerator och handledare på Chalmers Tekniska Högskola, Lars Lindkvist för alla råd och tips under arbetets gång och för de kontinuerliga möten vi haft under våren.

SAMMANFATTNING

Kontinuerliga kvalitetskontroller inom bilindustrin är mycket viktiga. Karossen av en bil tillverkas av fler än 300 detaljer. Detaljernas icke-stela beteende gör att varje plåtdetalj är mycket känslig och lätt kan deformeras och därmed också ändra form vid sammansättningar. Simuleringar genomförs för att uppnå en så robust design som möjligt. En robust design påverkas inte av eventuella variationer i tillverkningsprocessen och bidrar därmed till att tillverkade detaljer avviker mindre från dess nominella form. Simuleringarna som utförs sker i verktyget Robust Design & Tolerancing, kallat RD&T vilket är ett simuleringsprogram för geometrisäkring. Simuleringarna gör att eventuella fel i en konstruktion kan åtgärdas tidigt vilket ökar kvaliteten samtidigt som det även sparar resurser. Detta görs genom att tillverkade detaljer scannas och genom detta skapas en datormodell som kan jämföras med dess nominella motsvarighet. Ett stort bidrag till geometrivariation kommer från gravitationen. Verktyget Gravity Analysis i RD&T kan simulera gravitation på singeldetaljer. Men gravitationen kan ej tas med i sammansättningssimuleringarna. Syftet med arbetet var att ta fram en metod för att inkludera gravitationens påverkan i sammansättningssimuleringarna.

För att göra detta togs ett enkel testutförande fram där en sammanfogning av två detaljer skulle ske, en tunn, platt plåt skulle sammanfogas med en styvare plåt men som i testutförandet var ett tungt block. Genom att låta ena sidan av plåten hänga ner erhöles en modell som kunde scannas och jämföras med motsvarande modell i RD&T. Det togs fram en metod för att undersöka hur gravitationen kan simuleras på plåtsammansättningar. Resultaten som nåtts har visat att de simulerade modellerna och dess resultat ej helt stämmer överens med de scannade fallen, detta kan bero på många olika faktorer. Till exempel kan plåten avvika från nominell form till följd av inre spänningar och tillverkningsfel. Programmet RD&T saknar i dagsläget en inbyggd funktion som kan utföra de nödvändiga beräkningar som behövdes för metoden, vilket gjorde att genvägar behövdes tas i form av MATLAB beräkningar utanför RD&T. Den metod som togs fram beskriver en fungerande process för gravitationssimulering i RD&T. Efter ytterligare analyser av metoden kan förhoppningsvis gravitationskompenseringen inkluderas i RD&T.

SUMMARY

Continuous quality control in the automotive industry is very important. The body of a car is made of more than 300 parts. The non-rigid behavior of the details makes each sheet metal part very sensitive to deformations and can change form during assembly. Simulations are carried out to achieve such a robust design as possible. A robust design is not affected by variations in the manufacturing process, making the manufactured part deviate less from its nominal shape. The simulations are made in the tool Robust Design & Tolerancing, called RD&T, which is a simulation program for geometry assurance. The simulations allow any errors in an assembly to be resolved early in the product development process, which increases quality while also saving resources. This is done by scanning the manufactured parts and through this create a computer model that can be compared with its nominal counterpart. A large contribution to geometry variation comes from the gravity. The existing tool Gravity Analysis in RD&T can simulate gravity on single parts. But the gravity can not be included in the assembly simulations. The aim of this thesis was to develop a method that includes the gravitational influence in the assembly simulations.

To do this, a simple test method was developed where an assembly of two parts would occur, a thin, flat sheet would be joined to a more rigid sheet which in the test method where embodied by a heavy block. By allowing one side of the plate to deflect a model was obtained that could be scanned and compared with the corresponding model in RD&T. A method was developed to study how the gravity can be simulated on sheet metal assemblies. The results achieved showed that the simulated models and their results are not entirely identical to the scanned cases, this can be due to many different factors. For example, the sheet plate can deviate from its nominal shape due to internal stresses and errors in manufacturing. Also, RD&T did not have a built-in function that could perform the necessary calculations needed for the method, which made shortcuts needed in the form of MATLAB computations outside of RD&T. The results of the thesis work is a method describing a working process for gravity compensation in RD&T. After further analysis and improvements of the method it can hopefully be included in RD&T to simulate the gravitational influence on sub-assemblies.

BETECKNINGAR

ANSA - Automatic Net-generation for Structural Analysis,

CAD – Computer Aided Design

FEM – Finite Element Method

MCS – Monte Carlo Simulation

MLP – Master Locating Point

RD&T – Robust Design & Tolerancing

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND.....	1
1.2 SYFTE.....	1
1.3 AVGRÄNSNINGAR.....	2
1.4 PRECISERING AV FRÅGESTÄLLNING.....	2
2. TEORETISK REFERENS RAM.....	3
2.1 ROBUST DESIGN	3
2.2 SAMMANSÄTTNINGSPROCESS	4
2.3 POSITIONERINGSSYSTEM.....	4
2.3.1 3-2-1 positioneringssystem.....	5
2.3.2 N-2-1 positioneringssystem.....	5
2.4 VARIATIONSSIMULERING MED RD&T	6
2.5 SAMPROVNING	7
2.6 GRAVITY ANALYSIS	7
2.7 EXPORTERING AV FILER.....	8
2.8 MÄTFIXTUR OCH MONTERINGSFIXTUR	8
2.9 SCANNING OCH POLYWORKS	8
3. METOD.....	10
3.1 STUDIER	10
3.2 TESTUTFÖRANDE OCH SCANNING.....	10
3.2.1 Konstruering av fixtur	12
3.3 ANALYTISKA BERÄKNINGAR	14
3.3.1 Nedhångsmodellen.....	14
3.4 MODELLERING I RD&T	15
3.4.1 Måtnålar	15
3.4.2 Val av positioneringssystem.....	18
3.4.3 Metod 1 – Viktlöst tillstånd.....	20
3.4.4 Metod 2 – G-kraft i alla steg.....	21
4. TESTRESULTAT	24
4.1 ANALYTISKA BERÄKNINGAR	24
4.2 SCANNINGSRESULTAT	25
4.3 SIMULERING I RD&T	28
4.3.1 Val av positioneringssystem.....	28
4.3.2 Metod 1	29
4.3.3 Metod 2	30
5. ANALYS AV TESTRESULTAT	31
5.1 ANALYTISKA BERÄKNINGAR	31
5.2 SCANNINGSRESULTAT	31
5.3 SIMULERING I RD&T	32
5.3.1 Val av positioneringssystem.....	32
5.3.1 Metod 1	33
5.3.2 Metod 2	33
5.4 JÄMFÖRELSE AV RESULTAT	34
6. SLUTSATS OCH DISKUSSION	35
REFERENSER	36
BILAGOR	37

1. INLEDNING

Nedan presenteras bakgrunden till arbetet och dess syfte. Även avgränsningar och precisering av frågeställning presenteras.

1.1 Bakgrund

Volvo Cars är ett av världens ledande bilföretag som tillverkar premiumbilar. För att upprätthålla den höga kvalité som behövs inom denna bransch blir det allt viktigare att använda sig av virtuella simuleringar för att kunna säkra en robust konstruktion så tidigt som möjligt i produktutvecklingsprocessen. En viktig faktor för att öka kvalitén av produkterna är att tidigt implementera simuleringar för att förutse produktens slutliga form. Vid karosstillverkning kan man tydligt se hur viktigt detta är, alla plåtdetaljer har oftast redan från början en viss deviation från dess nominella form till följd av tillverkning och materialavvikelser vilket i sin tur kan leda till att hela karossen får en viss deviation i slutändan. För att kunna förutsäga hur stor variationen kommer att bli använder Volvo Cars simuleringsverktyget Robust Design and Tolerancing (RD&T).

En bilkaross tillverkas av mycket tunna plåtar vilket också gör varje plåtdetalj betar sig som en icke stel detalj, detta innebär att detaljerna är mycket känsliga och lätt kan böja och bända sig och därmed också helt ändra form vid sammansättningar. Detta innebär i sin tur att även simuleringarna i RD&T behöver utföras enligt dessa premisser och tillskillnad från simuleringar av stela detaljer är det mycket mer komplext med icke stel simulering. Utvecklingen av RD&T har dock kommit ganska långt i detta anseende och man kan idag simulera stora delar av den icke stela sammansättningen. Dock finns en viktig aspekt som ej modelleras i RD&T, det är gravitationens påverkan.

För att öka noggrannheten behöver gravitationens påverkan tas med vid variationssimuleringar. Detta kan göras med några olika metoder, några mer komplexa än andra. Det som söks är den mest effektiva metoden där balansering av vinningen i noggrannhet och modellernas komplexitet ställs mot varandra.

1.2 Syfte

Syftet med denna studie är att förstå hur dagens situation ser ut samt att beskriva hur en önskvärd situation kan se ut där gravitationskompensationen ingår i simuleringsmodellen. Förhoppningen är att kunna ta fram metoder och verktyg som kan bidra till en lösning. För att komma fram till bästa möjliga metod kommer det undersökas i vilket steg av simuleringen det är mest lämpligt att implementera gravitations beräkningarna.

1.3 Avgränsningar

För att kunna avgöra om resultaten från testerna som kommer göras ligger inom rimliga gränser kommer ett enkelt testutförande att tas fram. Testutförandet kommer att bestå av en sammansättning av två enkla plåtdetaljer. Plåtdetaljerna skall vara plana för att det skall gå att förutsäga hur de bör deformeras pga. gravitationen. Testerna kommer alltså inte att utföras på några komplexa detaljer då det i detta tidiga skede är för svårt att avgöra om gravitationens påverkan beter sig på det sätt det bör göra för en sådan detalj.

1.4 Precisering av frågeställning

Problemformuleringen lyder:

Hur kan gravitationens påverkan inkluderas vid variationssimulering av en plåtkonstruktion?

För att besvara huvudfrågan har två delfrågor formulerats:

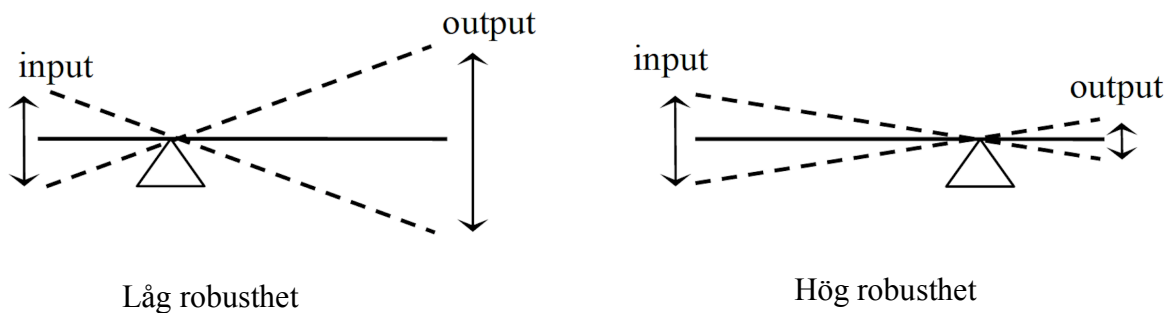
1. *Hur ser dagens simuleringsförfarande ut?*
2. *Hur påverkas noggrannheten vid olika typer av simuleringsförfaranden?*

2. TEORETISK REFERENSRAM

Nedan presenteras den bakgrund som behövs för att förstå de verktyg Volvo Cars använder för geometrisäkring i dagsläget.

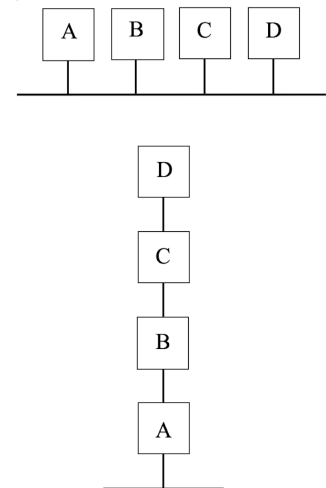
2.1 Robust design

Enligt Söderberg och Lindkvist [1] är robust design en design som inte påverkas av eventuella variationer eller andra störningar som kan komma från exempelvis tillverkning eller temperatur. För att en detalj skall hålla den höga kvalité som behövs kan det ibland krävas snäva toleranser, men genom att applicera robust design tidigt i produktutvecklingsprocessen kan man tillåta vida toleranser och på så sätt också hålla kostnaderna lägre. Den geometriska robustheten är ett mått på hur okänslig en design är. Där tittar man på hur dess input kommer att påverka dess output, detta har Söderberg och Lindkvist [2] illustrerat genom ett enkelt exempel där det visas hur förflyttningen av stödet under balken påverkar känsligheten i output, för variationen som kommer från input, se figur 1.



Figur 1. Visualisering av robusthet Söderberg och Lindkvist [2]

Det finns en mängd olika typer av design modeller. Ytterligheterna är okopplad design och frikopplad design, se figur 2, Söderberg och Lindkvist [1]. Okopplad design innebär att detaljerna har en egen grund och därmed inte påverkas av någon annan detalj vilket i sin tur betyder att hänsyn ej behöver tas till att de olika detaljerna positioneras olika. Frikopplad design innebär att detaljerna påverkar varandra från botten av kedjan och uppåt. Alltså påverkar A alla detaljer men C påverkar bara D. Detta beror på att detalj A har en egen grund, medan detalj B, C och D både har en egen grund samtidigt som de påverkas av de andra detaljerna under sig själva. Detta kan medföra stora variationsfel i en sammansättning då ett litet fel långt ner i kedjan kan medföra ett väldigt stort fel vid slutprodukt.



Figur 2. Okopplad- och frikopplad design (Söderberg och Lindkvist [1])

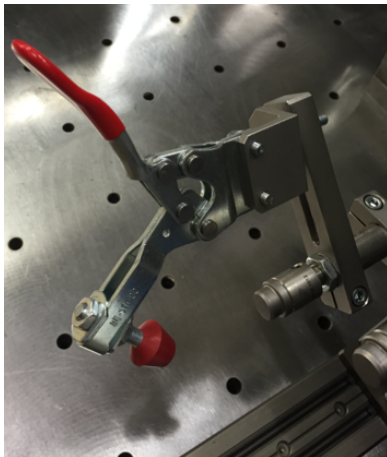
2.2 Sammansättningsprocess

En typisk kaross är uppbyggd av ca. 300 plåt detaljer vilka är sammansvetsade med ungefär 4000 punktsvetsar. Vid tillverkning av karossen behövs ca. 80 sammansättningsstationer. Dessa är nästan uteslutande robotautomatiserade, Dahlström [3].

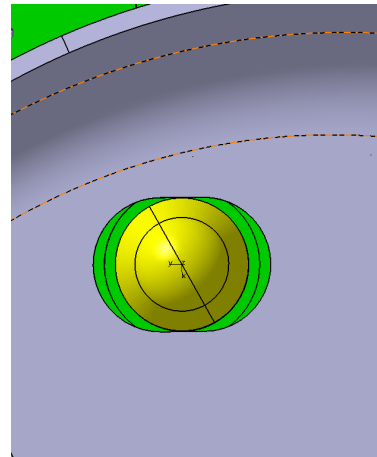
Enligt Dahlström [3] beskrivs sammansättningsprocessen enligt följande:

1. Placera detaljerna i sammansättningsfixtur
2. Fixering av detaljerna i fixturen
3. Sammanfogning av detaljerna
4. Återfjädring vid släpp av styrelement

Då detaljerna som skall sammanfogas spänns fast i en fixtur tvingas de till ett bestämt läge med hjälp av olika styrelement. De olika styrelementen är t.ex. ”spänne”, ”mothåll”, ”cirkulärt hål” eller ”avlångt hål”, se figur 3 och figur 4. Detta görs för att de olika detaljerna skall ligga i rätt position vid sammanfogning så att de inte förflyttas under sammanfogningsprocessen.



Figur 3. ”Spänne” som kan klämma fast plåten



Figur 4. Ett ”avlångt hål” som i detta fall endast styr i vertikal-led

En fixtur beskriver detaljens positionering och därmed hur detaljen är låst i rummet. Positionering förklaras i nästa avsnitt. Fixturen definieras i simuleringsmodellen av två uppsättningar av punkter, som kallas P-frames. Där det finns local P-frames som beskriver punkterna på ”huvuddetaljen”, denna har sedan motsvarande punkter på detaljen som den skall sammanfogas med, dessa kallas då target P-frames, Söderberg och Lindkvist [1].

2.3 Positioneringssystem

Att positionera en detalj betyder att den låses fast i rummet vilket innebär att dess koordinatsystem definieras i dess monteringsläge vilket används under tillverkning, inspektion och sammansättning, Söderberg, Lindkvist och Dahlström [4]. För att säkerställa robustheten är det som tidigare nämnts väldigt viktigt med detaljernas positioneringssystem. Eftersom det i de flesta fall används en design som till stor del är kopplad betyder det att detaljernas positioneringssystem kommer att påverka varandra från botten av kedjan och uppåt.

För att en detalj skall vara fast inspänd krävs det låsning i alla sex frihetsgrader, vilket innebär att translation- och rotationslåsning sker längs med och kring X, Y och Z-axlarna i sex punkter, detta kallas att detaljen är minimalt inspänd. Ibland krävs det dock att en detalj positioneras

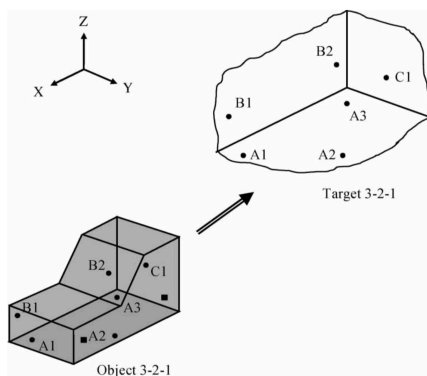
överinspönt vilket innebär att flera punkter behöver läggas till för att detaljen skall vara fast inspänd. Nedan beskrivs grundprinciperna i två olika system som ofta används i dagsläget.

2.3.1 3-2-1 positioneringssystem

Figur 5 nedan visar ett exempel av positioneringssystemet 3-2-1 som är ett vanligt förekommande system vid låsning av stela detaljer.

Detta exempel positionerar detaljen genom att följande frihetsgrader låses:

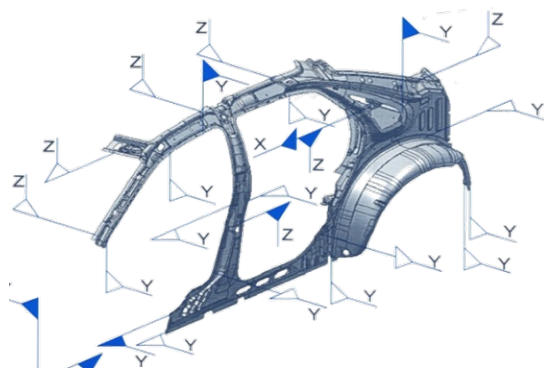
- Först, låsa tre punkter (A1,A2 och A3). Dessa punkter förhindrar translation i Z-led samt rotation i X-led och Y-led.
- I andra hand, låsa två punkter (B1 och B2). Dessa punkter låser translation i Y-led och rotation i Z-led.
- Slutligen, en punkt (C1). Denna punkt förhindrar translation i X-led.



Figur 5. 3-2-1 positioneringssystem.
(Söderberg, Lindkvist och Dahlström, 2007)

2.3.2 N-2-1 positioneringssystem

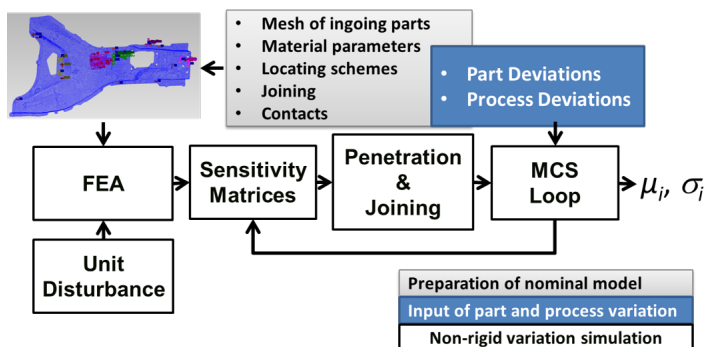
Detta system används vid låsning av icke-stela detaljer. Pga. att detaljerna då är mycket känsliga och böjbara krävs fler punkter för att hålla detaljerna på plats. Detta uppnås genom att sätta ut extra supportpunkter som krävs för att låsa detaljen till det läge den skall sammansättas i, detta läge sägs vara överinspönt. Nedan visas ett exempel från Dahlström [3] där detaljen är låst med ett 15-7-1 positioneringssystem, då låses detaljen i 15 punkter i Z-led, 7 punkter i Y-led och 1 punkt i X-led, se figur 6. De punkter som är skuggade i bilden är de punkter som låst detaljen i dess sex frihetsgrader, dessa kallas MLP (Master Locating Points).



Figur 6. N-2-1 positioneringssystem (Dahlström, 2005)

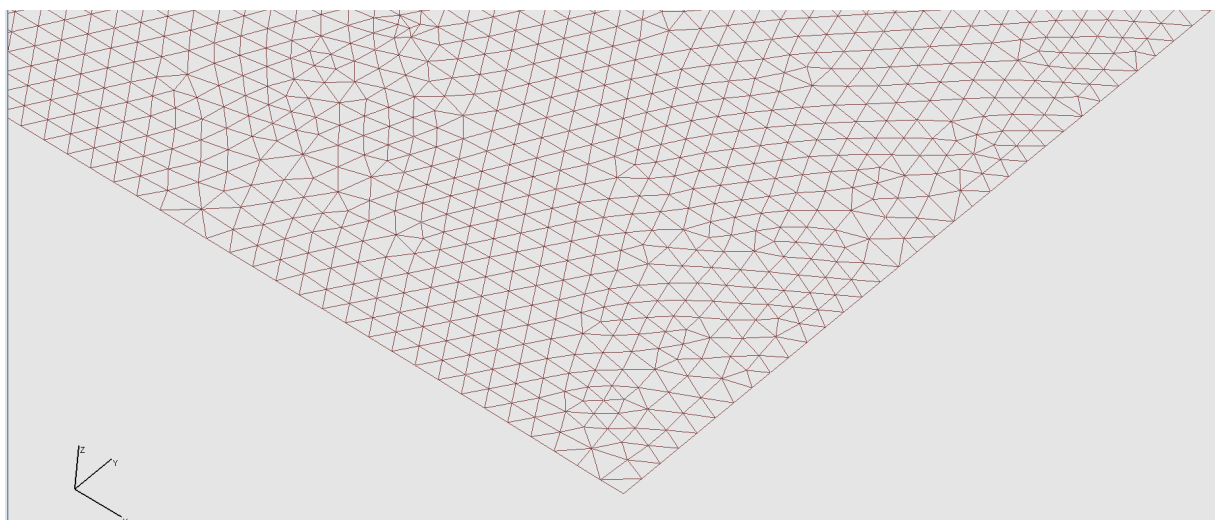
2.4 Variationssimulering med RD&T

RD&T – Robust Design and Tolerancing är en programvara som används för att förutsäga den geometriska variationen vid sammansättningar av både stela och icke-stela plåtdetaljer. Enligt Dahlström och Lindkvist [5] förekommer både detalj- och processvariation i sammansättningen som slutligen också kommer påverka den slutgiltiga geometrin. Icke-stel simulering i RD&T kan förenklat beskrivas enligt Lindau's [6] figur 7 nedan. Beräkningarna som sker i simuleringen baseras på statistiska beräkningar och kan exempelvis motsvara tillverkning av 1000 dörrar. Utifrån dessa beräkningar kan data tas fram på hur kravsatta mått kommer att variera, detta är output från simuleringarna, alltså μ och σ i figur 7 nedan.



Figur 7. Simuleringsprocess i RD&T. (Lindau, Lindkvist och Söderberg 2016)

Input i RD&T modellerna utgörs av finita element (FE) meshar. Enligt S.H. Lo [7] innebär en mesh att en detaljs yta inklusive dess kanter delas upp i flertalet polygonelement. De olika elementen överlappar aldrig varandra utan möts bara i dess kanter och noder där noderna utgörs av hörnen på varje polygon. Elementen kan variera både i storlek och i form, i detta fall har elementstorleken 5 mm använts och formen utgjorts av trianglar, se figur 8 nedan. Ju mindre elementstorlek som används desto noggrannare kan detaljerna beskrivas och därmed blir också beräkningarna noggrannare.



Figur 8. Illustration av polygonelementen i plåtens mesh

Innan simuleringarna i RD&T kan utföras kompletteras meshen med information om materialparametrar, positioneringssystem samt sammanfognings- och kontaktpunkter. Nästa steg i simuleringen är att enhetsstörningar i form av exempelvis en kraftenhet eller en längdenhet utförs. Då modellen enhetsstörs skapar RD&T en rad olika sensitivitetstriser som beskriver modellens reaktion till dessa enhetsstörningar. Sammansättningen och variationen är också beroende av vart de båda detaljerna kan tänkas penetrera varandra samt vart de sammanfogas, sammanfogningen kan exempelvis ske genom svetsning. Genom att göra ett antagande om hur modellen kommer att reagera på enhetsstörningarna och mata modellen med denna information ges det efter en Monte Carlo simulering ett resultat som beskriver detaljens medelvärde och dess standardavvikelser. Monte Carlo simuleringar är användbara då beräkningar skall utföras på problem som är för komplexa för att lösas analytiskt.

2.5 Samprovning

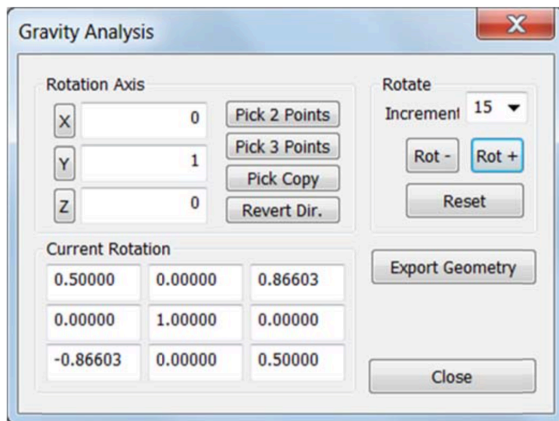
Samprovning är det namn som fått beskriva den aktivitet där simuleringsprocessen och sammansättningsprocessen ingår. Under samprovningen kontrolleras att plåtsammansättningarna är tillverkningsbara. För att testa detta krävs tillverkade prototypdetaljer samt fixtur bunden till de prototypdetaljerna. För att utvärdera detaljerna har Volvo Cars satt upp ett par frågor, några av dessa är:

- Är detaljerna fixerade på ett stabilt upprepningsbart sätt?
- Finns det någon oacceptabel detaljdeformation när spännena stängs och klämmer fast plåten i sin fixtur?
- Finns det några stora avstånd eller konflikter mellan detaljerna som är oacceptabla?
- Är rätt punktsvetsar valda för att säkra sammansättningens geometri?

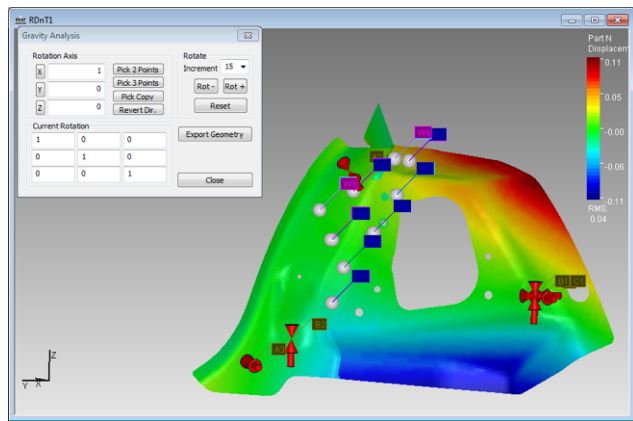
Då denna aktivitet är både tidskrävande och dyrbar och det finns krav på kortare ledtider (tiden från projektstart till färdig, tillverkad produkt) drivs utvecklingen mot virtuell samprovning. Utifrån nominella CAD (Computer Aided Design)-modeller byggs sammansättningsmodeller upp i RD&T som beskriver den verkliga monteringsprocessen. Genom att scanna tillverkade modeller, en process som beskrivs i avsnitt 2.9, kan information om detalj- samt processavvikelser matas in till dessa. Genom den här informationen kan det förutses hur sammansättningarna kommer bete sig.

2.6 Gravity Analysis

Beskrivet enligt RD&T Manual [8], finns det i dagsläget en funktion i programvaran RD&T som heter Gravity Analysis. Funktionen räknar ut hur mycket en detalj deformeras pga gravitationskraften. Standardläge för att visualisera detta är alltid i Z-led men det finns också en möjlighet att manuellt definiera gravitationens riktning i förhållande till detaljen, detta visas enligt formuläret i figur 9 nedan. Avvikelserna som uppstår till följd av gravitationen visas i arbetsfönstret med en färgskala, se figur 10. Denna avvikelse kan presenteras som magnituden av förflyttningen, alltså resultanten av förflyttningen i X, Y och Z-led. Den kan också beskrivas i normalens riktning, vilket visas i figur 10 nedan, slutligen kan den också presenteras i varje enskild riktning. Den av gravitationen deformerade formen kan exporteras som en textfil med knappen "Export Geometry" [8].



Figur 9. Gravity Analysis formulär



Figur 10. Resultat efter Gravity Analysis

2.7 Exportering av filer

RD&T behandlar många olika filtyper och i rapporten kommer det ofta nämnas att modeller exporteras och importeras från programmet. Filtyperna kan exempelvis beskriva positioneringen av en detaljs alla noder i ett koordinatsystem. En annan typ av textfil kan beskriva en detaljs nominella placering med dess avvikelser i respektive riktning och nod i separata kolumner.

2.8 Mätfixtur och monteringsfixtur

När man simulerar i RD&T sägs en detalj ibland ha två olika fixturer. Anledningen till att dessa två skiljs åt är att man ofta mäter (alltså scannar) en singeldetalj eller sammansättning i ett läge men sedan monterar den (sammanfogar med en annan detalj) i ett annat läge. Monteringsfixturen anpassas för att kunna användas vid sammansättningar i produktion medan mätfixturen används för att kunna utföra kvalitetskontroller och scannningar som sedan används som input i RD&T simuleringarna. I modelleringarna görs skillnaden mellan dessa två fixturer genom att definiera två olika positioneringssystem.

2.9 Scanning och Polyworks

För att verifiera att simuleringarna som utförs i RD&T är korrekta valideras och testas idag detta genom att scanna in delsammanställningar för att sedan kunna jämföra dessa i ett RD&T simulerat fall. För att scanna finns olika typer av scannrar att använda, en av dessa är NIKON Metrology Scanner, se figur 11 och figur 12 nedan.



Figur 11. Nikon Metrology Scanner



Figur 12. Nikon Metrology Scanner

Scannern läser av detaljerna i 3D, detta genom att skapa ett punktmoln som beskriver detaljens placering i X-, Y- och Z-led. Punktmolnet har i detta fall sedan läst in i programvaran Polyworks. I Polyworks finns möjligheten att analysera, rikta upp och jämföra modellen. Genom att konvertera det skapta punktmolnet till en polygonmodell kan den scannade modellen jämföras med RD&T modellen. Polygonmodellen bildar en mesh av alla punkter i punktmolnet och skapar därmed en yta, InnovMetric Software [9].

3. METOD

Nedan följer beskrivning av hur arbetet har fortskridit och hur metoderna som tagits fram utformats.

3.1 Studier

Litteraturstudier

Vid arbetets början lades en stor vikt på att förstå hur nuläget såg ut. Databas-sökning utfördes och den litteratur som hittades och lästes utvärderades med avseende på relevansen för arbetet. Kunskap som ansågs relevant var framförallt hur liknande tester utförts och med vilken utrustning. Förhoppningen var att finna en konstruktion där resultatet av gravitationspåverkan på detaljerna skulle kunna förutspås.

Programvarustudier

För att erhålla den kunskap om programvaran RD&T som behövdes för att utföra arbetet genomfördes studier tillhandahållna av Volvo Cars på plats i Torslanda. Studierna bestod av enkla tester där fokus låg på att förstå arbetsprocessen och placeringen av funktioner i programmet. Dessa utfördes med hjälp av kortare laborationer på en lamppanel där funktioner i RD&T förklarades i en PowerPoint och sedan testades.

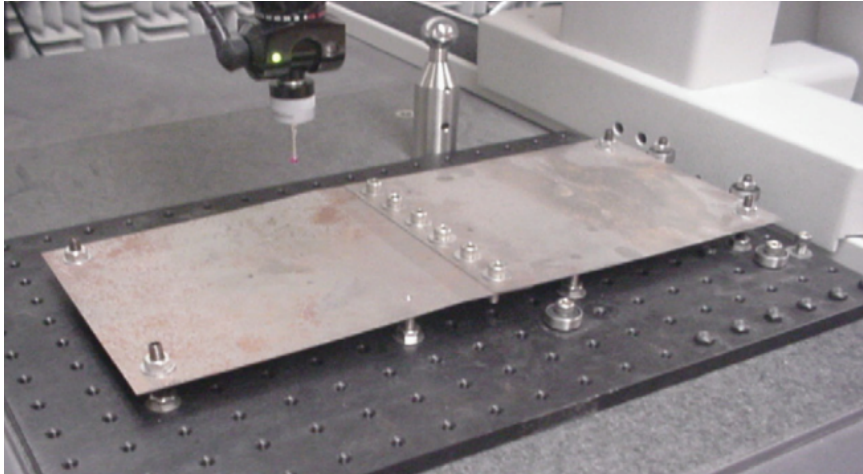
Scanningsstudier

De studier som krävdes i scanning utfördes på den tillverkade detaljen av lamppanel-modellen som studierna i RD&T tidigare utförts på. Scannern skapar, som nämnt i den teoretiska referensramen, ett punktmoln som representerar den scannade ytan. Detta lästes sedan in och konverterades med hjälp av Polyworks till en polygonmodell, detta gjordes på samtliga scannade modeller i arbetet.

De olika modellerna som skulle jämföras kunde av olika anledningar ligga i olika koordinatsystem vilket gjorde modellerna ojämförbara. De olika tekniker som används för att jämföra de olika modellerna med varandra kräver att formerna är beskrivna i samma koordinatsystem och därmed att origo skulle sammanfalla. För att få origo på samma plats i de olika modellerna gjordes uppriktningar direkt i Polyworks. Dessa genomfördes genom att använda riktmärken på modellerna. Till exempel genom att skapa en cirkel i ett hål på modellen kunde denna läggas mot en annan cirkel i en annan modell. Då fler sådana riktmärken skapats kunde de olika modellerna beskrivas i samma koordinatsystem. Ett annat sätt att rikta upp modellerna på kunde till exempel vara att skapa punkter placerade i korsningen mellan två skapta linjer.

3.2 Testutförande och Scanning

Innan testerna kunde påbörjas behövdes en passande testmodell där det både skulle vara enkelt att bygga en passande fixtur till och för att senare kunna modelleras i RD&T. Liaoa, Gary Wang [10], gav en idé om att endast utföra testerna på två tunna plåtar fastsatta enligt figur 13.

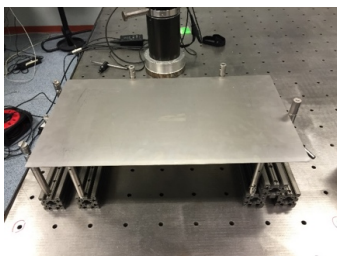


Figur 13. Testutförandet som (Liaoa, Gary Wang, 2007) använde.

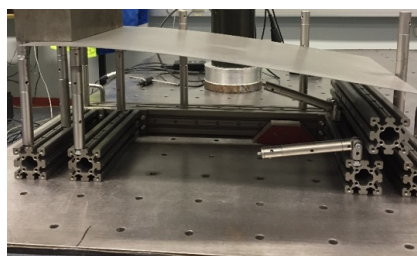
Deras modell bestod av två lika tunna plåtar sammanfogade med skruvar och upplagda på fyra stöd vardera. Detta väckte tankarna på att även modellen i detta arbete skulle kunna bestå av två plåtar. Det beslutades därmed att en tunn plåt med tjocklek 1 mm sammanfogad med en styv plåt med tjocklek 10 mm skulle användas. Sammanfogningen skulle genomföras på ett sätt som tillät att fixturen kunde ändras om något behövde scannas om och så att detaljerna kunde flyttas. Detta gav upphov till idén om att sammanfoga plåtarna med spännerna. Spännerna skulle agera som svetsar då svetsar inte tillät den anpassbarhet som eftersöktes.

Modellen skulle sedan analyseras i olika fall för att få med hur modellen betedde sig både som singeldetalj och som sammansatt modell. Fixturen som skulle byggas skulle därmed anpassas efter de olika fall som presenteras nedan och visas i figur 14 i respektive ordning:

1. **Singeldetaljsmodell** – Endast den tunna plåten liggandes i fixturen.
2. **Nedhängsmodell** – Tunn plåt sammanfogad med en styvare plåt. Dessa upplagda på ett antal stöd med ena sidan hängande enligt figuren.
3. **Avviksmodell** – Modell uppsatt med en magnet för att tillåta plåten att ligga så fritt som möjligt med förhoppningen att gravitationen skulle påverka så lite som möjligt. Modellen beskrivs närmre nedan.



Singeldetaljsmodell



Nedhängsmodell



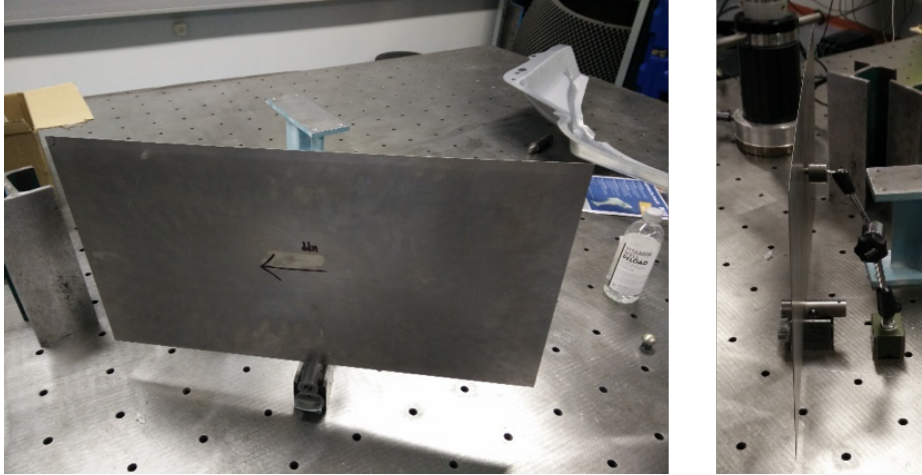
Avviksmodell

Figur 14. De tre olika fall som valts att scannas och analyseras

Vid scanningarna av singeldetaljsmodellen och nedhängsmodellen utfördes scanningarna både på plåtens upp- och nedsida. Detta gjordes för att kontrollera om plåten avvek olika beroende på vilken sida som scannats. Om så var fallet skulle det i sin tur medföra att även slutresultatet skulle skiljas. För att hålla koll på vilken sida som scannats ritades en pil på ena sidan av plåten och valdes därmed att kallas ”upp”.

Avviksmodellen

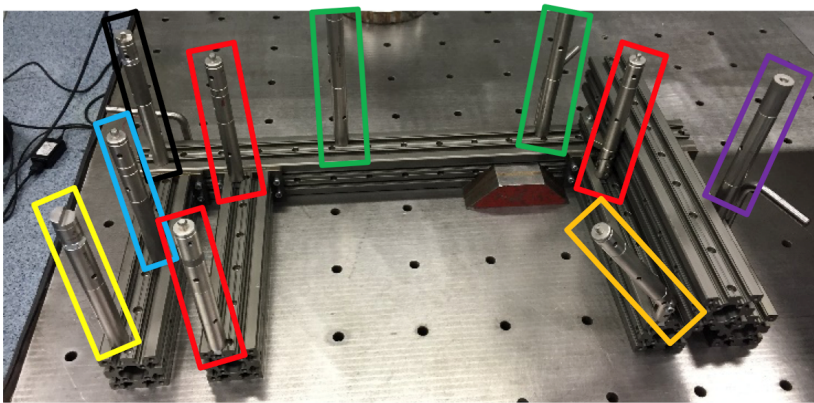
Då avviksmodellen sattes upp som i figur 15 kunde plåten mätas som om den var i stort sett viktlös. Detta gjorde att scanningsresultatet kunde analyseras som att plåten var viktlös, dvs. ej var påverkad av gravitationen. Därmed skulle en scanning i detta läge generera ett resultat där endast avvikelserna i plåten från exempelvis tillverkning och inre spänningar fanns.



Figur 15. Plåtuppsättning vid scanningen av avviksmodellen

3.2.1 Konstruering av fixtur

Fixturen som skulle byggas behövde tillåta mätning av både singeldetaljsmodellen och nedhängsmodellen utan att den skulle behöva modifieras mellan de olika scanningarna. Fixturen som skapades visas i figur 16. De olika referenspinnarna är i figuren markerade med olika färger efter vilken riktning de styr i och finns tydligare förklarade under beskrivningarna till de olika modellerna nedan.

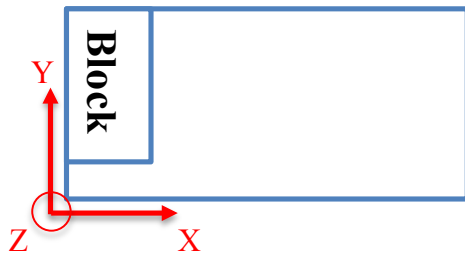


Figur 16. Fixturen som användes under samtliga analyser med referenspinnar markerade

Då spännena som skulle agera svetsar skulle byggas dök ännu en förenkling av sammanfogningsmetoden upp. Istället för att ha en styv plåt som spänns fast med den tunna plåten, klämdes den tunna plåten istället fast direkt mellan referenspinnarna och ett tungt block, detta visas under avsnittet "Nedhängsmodell" i figur 18. Blocket och referenspinnarna hindrade därmed den tunna plåten från att röra sig liknande som om den varit fastsvetsad med en styv plåt.

För att enkelt kunna byta mellan fixturen som skulle hålla singeldetaljsmodellen och nedhängsmodellen byggdes två fällbara pinnar in. Dessa är den orangea-markerade och högra rödmarkerade pinnen i figur 16. Dessa pinnar kunde fällas ner då nedhängsmodellen skulle analyseras och plåten behövde därmed inte flyttas mellan de olika scannarna.

Under arbetets gång har samma koordinatsystem använts, där X-axeln har definierats längs med långsidan av plåten, Y-axeln har definierats längs med kortsidan av plåten och Z-axeln i den nominella plåtens normalriktning. Origo har alltid varit i plåtens nedre vänstra hörn. Detta koordinatsystem visas i figur 17.



Figur 17. Koordinatsystem för plåten

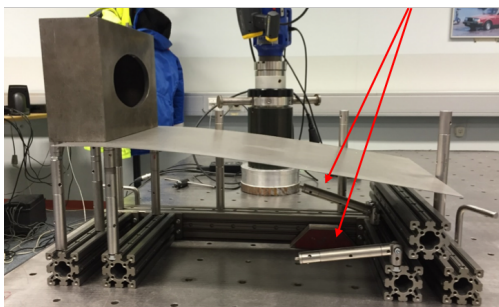
Singeldetaljsmodellen

Denna modell innehöll endast den tunna plåten och analyserades för att se hur plåten påverkades av gravitationen då den låg ensam i fixturen. De tre pinnarna markerade med rött och den orangea-markerade i figur 16 skulle hålla plåten i Z-led. Där de tre röda pinnarna utgör detaljens MLP och den orangea utgör detaljens supportpunkt vilket också medför att denna detalj är överinspänd, vilket förklarades under teoretisk referensram. De två gröna låste plåten i Y-led och den lila låste i X-led.

Nedhängsmodellen

Vid analysen av nedhängsmodellen placerades den tunna plåten initialt precis som under singeldetaljsanalysen. Sedan placerades det tunga blocket ovanpå den tunna plåten så att plåten klämdes mellan de två vänstra rödmarkerade pinnarna och den turkosmarkerade pinnen och blocket. De två fällbara pinnarna, markerade med två röda pilar i figur 18, fälldes sedan undan så att plåten hängde ner fritt och därefter scannades detaljen.

I det här läget styrdes både den tunna plåten och det tunga blocket i Z-led av de vänstra rödmarkerade pinnarna samt den turkosmarkerade pinnen. De två gröna låste den **tunna plåten** i Y-led och den lila låste i X-led. Den svarta pinnen låste det **tunga blocket** i X- och Y-led och den gula låste endast i X-led. Detta positioneringssystem medförde att sammansättningen var så lite inspänd som möjligt, alltså endast med dess MLP's.



Figur 18. Nedhängsmodellen innehållande den tunna plåten och det tunga blocket samt med de fällbara pinnarna markerade

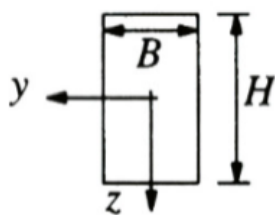
3.3 Analytiska beräkningar

För att få en uppfattning på om de analyserade modellernas resultat hamnade inom rimliga värden genomfördes analytiska beräkningar på de två olika fallen som nämnts tidigare. Genom detta skulle det synas om ett värde från RD&T simuleringarna var orimliga. För att utföra dessa beräkningar har Dahlbergs formelsamling [11] använts. Nedböjningen betecknas här $w(x)$.

Viss materialdata och vissa beräkningar var samma oberoende av vilket fall beräkningarna gjordes på. Dessa återkommande formler var nedanstående där B =bredd, H =höjd och L =längd var de varierande variablerna.

Volymen av plåten	$V = BHL$
Massan av plåten	$m = \rho V$
Kraften som plåten belastades med	$Q = mg$
Kraften på plåten fördelat på längden	$q = \frac{Q}{L}$

Även yttröghetsmomenten har beräknats enligt Dahlberg [11], se figur 19.



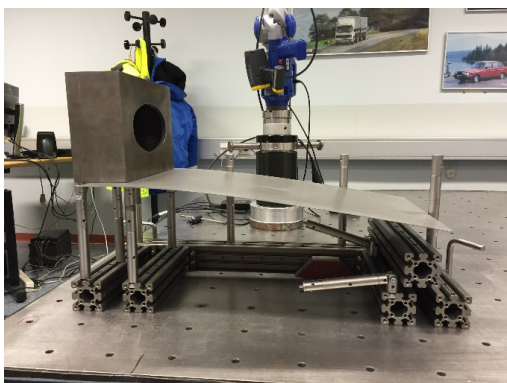
Rektangulärt tvärsnitt, bas B och höjd H :

$$I_y = \frac{BH^3}{12} \quad \text{och} \quad I_z = \frac{HB^3}{12}$$

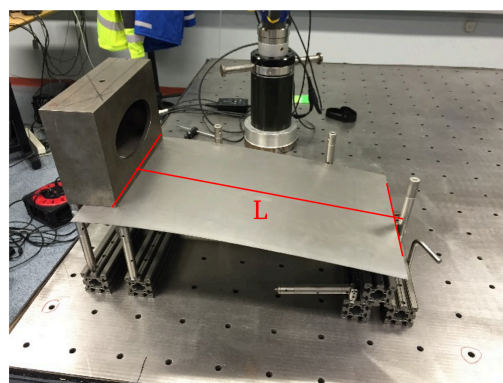
Figur 19. Formel för yttröghetsmoment (Dahlberg, 2001)

3.3.1 Nedhängsmodellen

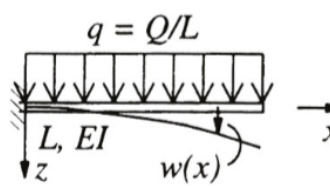
Det gjordes även beräkningar på nedhängsmodellen, där plåten hängde fritt i ena änden och hade det tunga blocket på sig, enligt figur 20 och 21. De analytiska beräkningarna baserades då på antagandet att plåten kunde liknas vid en fast inspänd balk enligt elementarfall 3 i formelsamlingen, Dahlberg [11], se figur 22. Vid bestämning av längden L var ursprungsläget enligt figur 21.



Figur 20. Nedhängsmodellen i sin fixtur



Figur 21. Nedhängsmodellen i sin fixtur med längden markerad



$$w(x) = \frac{qL^4}{24EI} \left(\frac{x^4}{L^4} - 4\frac{x^3}{L^3} + 6\frac{x^2}{L^2} \right)$$

$$w(L) = \frac{qL^4}{8EI} \quad w'(L) = \frac{qL^3}{6EI}$$

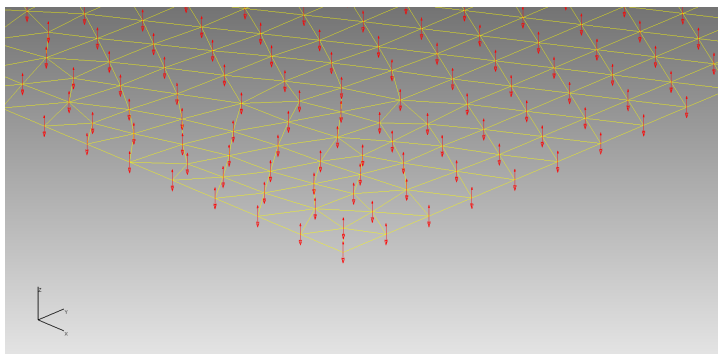
Figur 22. Formel för fast inspänd balk med utbredd last, elementarfall 3 (Dahlberg, 2001)

3.4 Modellering i RD&T

Då fixturen var byggd och plåt detaljen scannad och analyserad i Polyworks i de olika fallen, importerades resultatet till RD&T. Meshen för den nominella modellen skapades i programmet ANSA så att denna innehöll noder i exakt de koordinater där plåten var i kontakt med fixturen, detta för att simuleringarna i RD&T skulle kunna motsvara verkligheten. I dessa noder sattes positioneringssystemet in och sedan utfördes de olika analyserna av metoderna. Innan beskrivningen av metoderna som utförts presenteras följer nedan en beskrivning som behövs för att förstå hur metoderna och vissa steg utfördes.

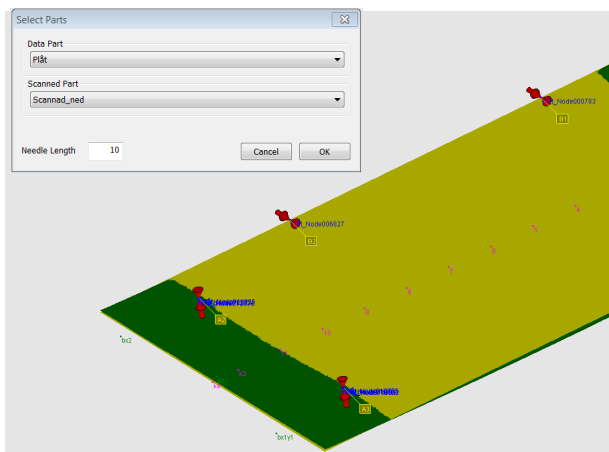
3.4.1 Mättnålar

För att beskriva detaljernas form och för att kunna jämföra dessa används så kallade mättnålar i RD&T, dessa skapas i varje nod. Detta görs genom att använda funktionen "Create Mesh Tolerances", RD&T Manual [8]. De skapta mättnålarna definierades i detta läge i Z-riktningen, vilket kan ses i figur 23.



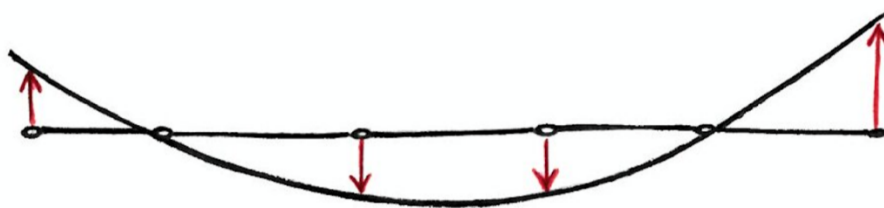
Figur 23. Mättnålar i varje nod

För att ange värden på mättnålarna och ta fram formen på exempelvis en scannad detalj användes funktionen "Scan Data from Measuring Program, New", RD&T Manual [8]. Den funktionen fungerar på så sätt att en modell väljs som "Data part", där skall alltid den nominella modellen anges, sedan väljs den scannade detaljen under "Scanned part", se figur 24.



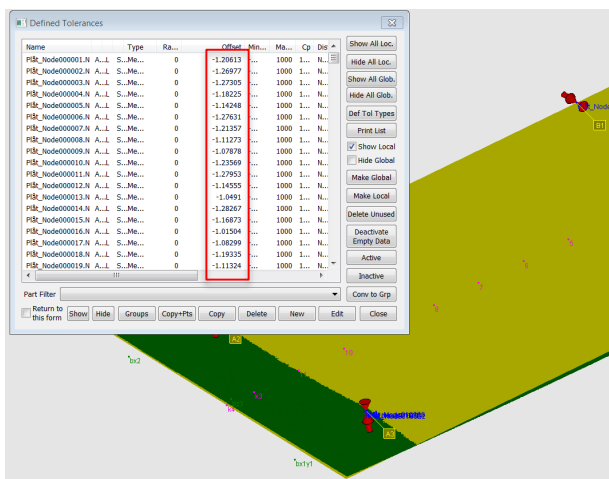
Figur 24. Scan Data from Measuring Program, New (RD&T Manual, 2011)

I detta fall användes den tunna plåten (den gula modellen) som "Data Part" samt ett av de scannade resultaten (den gröna modellen) som "Scanned Part". Vid beräkning av formavviken görs en sökning av närmsta träffpunkt i den riktning mätnålarna skapats, se figur 25. Den platta delen i figuren föreställer den nominella modellen, den kurviga linjen föreställer den uppmätta (scannade) modellen, ringarna föreställer varje nod i den nominella modellen och slutligen föreställer de röda pilarna mätnålarna som skjuts mot den uppmätta formen.



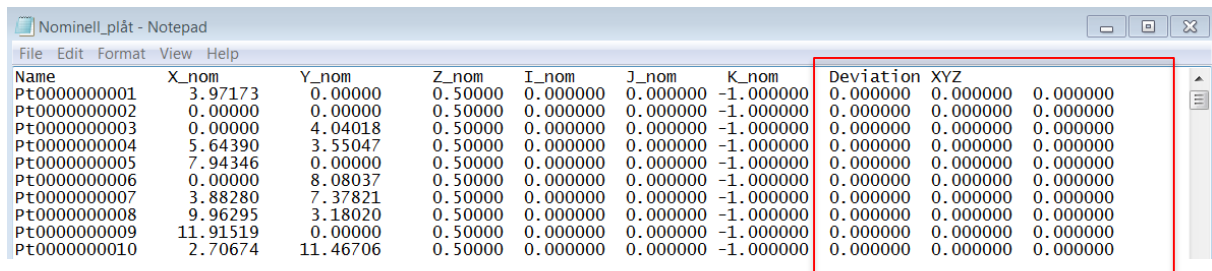
Figur 25. Mättnålarnas princip

Resultatet sparades sedan i en toleranslista. I toleranslistan beskrivs då varje nods avvikelse från den nominella formen, vilket exemplifieras i figur 26. Dessa formavvikelser beskriver den scannade modellens form och med detta resultat kan ytterligare beräkningar och simuleringar göras, där RD&T tar hänsyn till att plåten är deformerad.



Figur 26. Toleranslista

I metod 2 som beskrivs i avsnitt 3.4.4 användes ytterligare ett sätt att beskriva mätavvikelserna i varje nod. Där exporterades först en textfil ut från RD&T för att endast beskriva den nominella modellen utan några avvikelser sparade i toleranslistan. Denna textfil exporteras ut enligt formatet visat i figur 27.

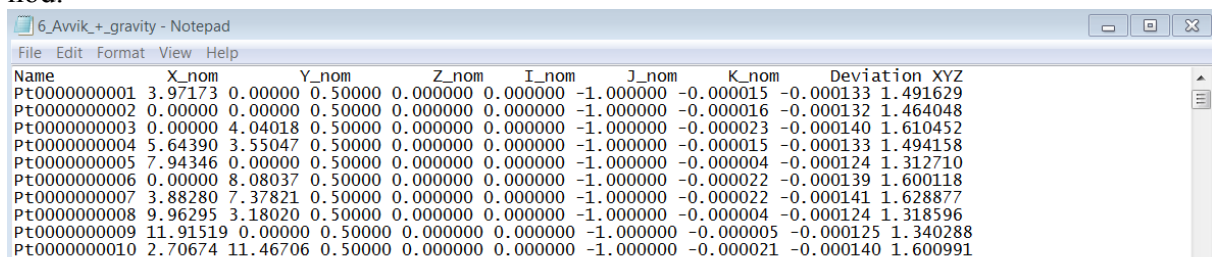


Name	X_nom	Y_nom	Z_nom	I_nom	J_nom	K_nom	Deviation XYZ
Pt0000000001	3.97173	0.00000	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	0.000000 0.000000 0.000000
Pt0000000002	0.00000	0.00000	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	0.000000 0.000000 0.000000
Pt0000000003	0.00000	4.04018	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	0.000000 0.000000 0.000000
Pt0000000004	5.64390	3.55047	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	0.000000 0.000000 0.000000
Pt0000000005	7.94346	0.00000	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	0.000000 0.000000 0.000000
Pt0000000006	0.00000	8.08037	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	0.000000 0.000000 0.000000
Pt0000000007	3.88280	7.37821	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	0.000000 0.000000 0.000000
Pt0000000008	9.96295	3.18020	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	0.000000 0.000000 0.000000
Pt0000000009	11.91519	0.00000	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	0.000000 0.000000 0.000000
Pt0000000010	2.70674	11.46706	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	0.000000 0.000000 0.000000

Figur 27. Textfil som beskriver nominell modell

Första kolumnen i denna textfil anger nodens nummer och namn. De tre påföljande kolumnerna beskriver den nominella modellens ursprungliga läge i koordinatsystemet, alltså att exempelvis nod nr1 är placerad i X=3.9173, Y=0.00000 och Z=0.50000. De tre påföljande kolumnerna som heter I_nom, J_nom och K_nom beskriver normalens riktning men har ej varit intressanta att titta på i detta arbete. Slutligen representerar de tre sista kolumnerna nodernas deviationer i X, Y respektive Z-riktningen. I figur 27 ses att deviationerna är 0, vilket är helt korrekt då det är den nominella modellen som är beskriven.

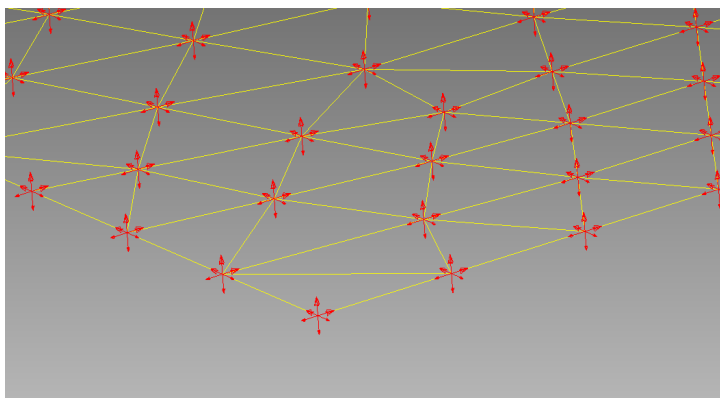
Denna textfil kunde sedan läsas in i MATLAB där avvikelser från andra modeller kunde adderas eller subtraheras. Varför detta gjordes förklaras närmre i avsnitt 3.4.4 där metod 2 presenteras men det beror främst på att RD&T inte har den möjligheten att i programmet göra vissa beräkningar och därför behövdes genvägar tas. Efter addition eller subtraktion i MATLAB kunde ett resultat exempelvis se ut enligt figur 28. Där ses tydligt att noderna fortfarande hade samma nominella placering i koordinatsystemet men nu med avvikelser i varje riktning i varje nod.



Name	X_nom	Y_nom	Z_nom	I_nom	J_nom	K_nom	Deviation XYZ
Pt0000000001	3.97173	0.00000	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	-0.000015 -0.000133 1.491629
Pt0000000002	0.00000	0.00000	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	-0.000016 -0.000132 1.464048
Pt0000000003	0.00000	4.04018	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	-0.000023 -0.000140 1.610452
Pt0000000004	5.64390	3.55047	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	-0.000015 -0.000133 1.494158
Pt0000000005	7.94346	0.00000	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	-0.000004 -0.000124 1.312710
Pt0000000006	0.00000	8.08037	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	-0.000022 -0.000139 1.600118
Pt0000000007	3.88280	7.37821	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	-0.000022 -0.000141 1.628877
Pt0000000008	9.96295	3.18020	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	-0.000004 -0.000124 1.318596
Pt0000000009	11.91519	0.00000	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	-0.000005 -0.000125 1.340288
Pt0000000010	2.70674	11.46706	0.50000	0.000000	0.000000	-1.000000	-0.000021 -0.000140 1.600991

Figur 28. Textfil som beskriver nominell modell + deviation i varje nod

Det resultat som gavs från MATLAB beräkningarna kunde sedan läsas in i RD&T där avvikelserna återigen lagrades som toleranser i varje mätetal, se figur 29 och 30. Skillnaden på de två olika ovan beskrivna sätten att använda mätnålar var att den ena endast lagrade avvikelserna i Z-led medan den senast beskrivna lagrar avvikelserna i alla led, alltså både X-, Y- och Z-led.



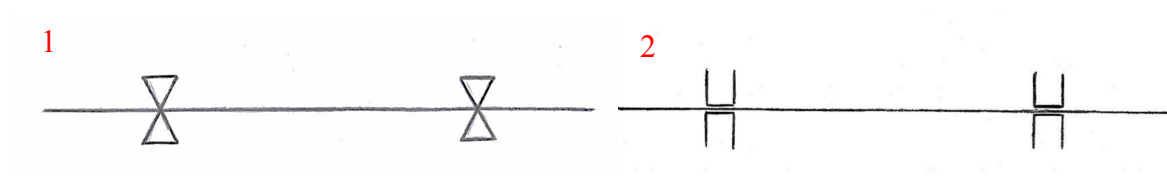
Figur 29. Mätndalar i respektive riktning, X, Y, Z

Defined Tolerances									
Name		Type	Ra...	Offset	Mi...	Ma...	Cp	Distr.	
Surf_Plåt_Node000001_X	A	L S...Me...	0	0.054528	...	1000	1...	N...	
Surf_Plåt_Node000001_Y	A	L S...Me...	0	-5.7e-005	...	1000	1...	N...	
Surf_Plåt_Node000001_Z	A	L S...Me...	0	-53.0674	...	1000	1...	N...	
Surf_Plåt_Node000002_X	A	L S...Me...	0	0.054473	...	1000	1...	N...	
Surf_Plåt_Node000002_Y	A	L S...Me...	0	-5.7e-005	...	1000	1...	N...	
Surf_Plåt_Node000002_Z	A	L S...Me...	0	-53.6419	...	1000	1...	N...	
Surf_Plåt_Node000003_X	A	L S...Me...	0	0.056158	...	1000	1...	N...	
Surf_Plåt_Node000003_Y	A	L S...Me...	0	-6.3e-005	...	1000	1...	N...	
Surf_Plåt_Node000003_Z	A	L S...Me...	0	-53.5054	...	1000	1...	N...	
Surf_Plåt_Node000004_X	A	L S...Me...	0	0.054444	...	1000	1...	N...	
Surf_Plåt_Node000004_Y	A	L S...Me...	0	-5.6e-005	...	1000	1...	N...	
Surf_Plåt_Node000004_Z	A	L S...Me...	0	-52.8433	...	1000	1...	N...	
Surf_Plåt_Node000005_X	A	L S...Me...	0	0.052203	...	1000	1...	N...	
Surf_Plåt_Node000005_Y	A	L S...Me...	0	-4.8e-005	...	1000	1...	N...	
Surf_Plåt_Node000005_Z	A	L S...Me...	0	-52.6993	...	1000	1...	N...	

Figur 30. Toleranslista med avvikelser i X-, Y- och Z-led

3.4.2 Val av positioneringssystem

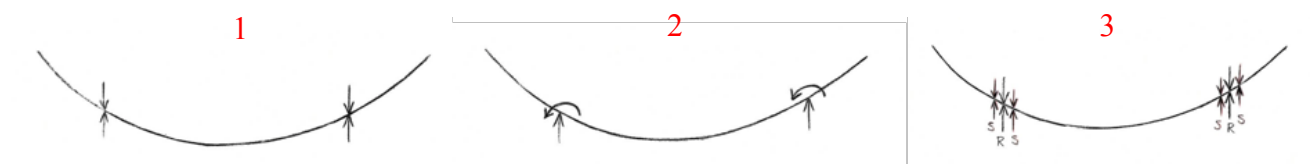
Oavsett vilken modell som skulle analyseras i Gravity Analysis behövdes ett positioneringssystem som representerade verkligheten så bra som möjligt. Detta betydde att referenspunkterna behövde sättas i rätt noder på RD&T-modellen. Det togs genom den scannade detaljen fram koordinater för var plåten mötte referenspinnarna. I dessa mötespunkter placerades därmed en nod där detaljen sedan kunde positioneras i RD&T, se (1) i figur 31. Dessutom definierades extra supportpunkter runt om dessa koordinater där ytterligare referenspunkter kunde sättas ut, dessa skulle då kunna simulera att plåten egentligen vilade på en utbredd yta, se (2) figur 31.



Figur 31. Beskrivning av skillnaden mellan att positionera i en nod eller med extra supportpunkter

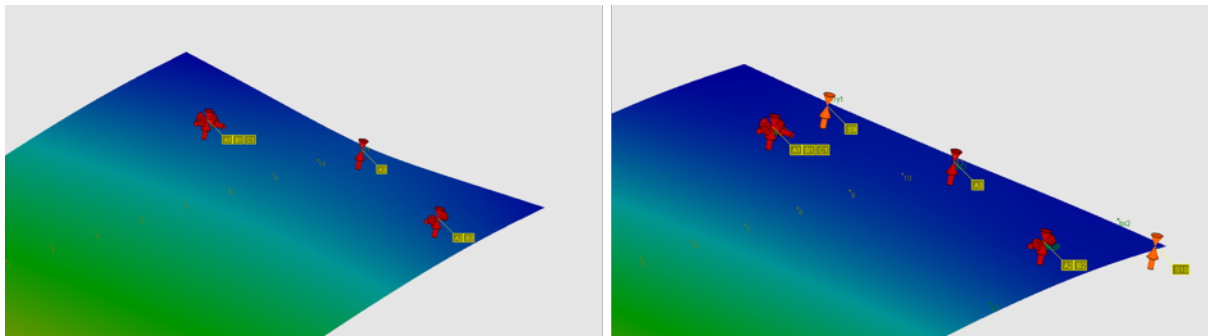
För att undersöka de olika positioneringsmöjligheterna under inverkan av gravitationen användes följande varianter, de olika positioneringarna är illustrerade i figur 32:

1. *En nod* – Referenspunkter sattes endast ut i noden motsvarande mitten av pinnen. Alltså där mötespunkten mellan pinne och plåt var.
2. *Rotationslåsnings* – Referenspunkter sattes ut i noder precis enligt 1 ”En nod” ovan. Dessutom var referenspunkterna låsta för rotation runt noden. Alltså kan då noden och området runt om ej rotera.
3. *Extra supportpunkter* – Precis som innan positioneras modellen med en referenspunkt, ”R” i (3), figur 32. Runt om placeras dessutom extra supportpunkter, ”S” i (3), figur 32. Detta skulle då göra att modellen agerar som om den låg på en utbredd yta istället för endast en punkt.



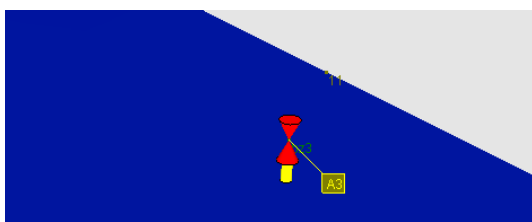
Figur 32. Positioneringsmöjligheter: 1) en nod, 2) rotationslåsnings, 3) extra supportpunkter

I RD&T analyserades sedan plåtens beteende i olika positioneringar under inverkan av gravitationen. Många olika kombinationer av de 3 positioneringssystemen ovan prövades. Vänstra bilden i figur 33 är nedhängsmodellen positionerad enligt 3-2-1 systemet. Detta fick de två hörnen i det blå området att avvika i positiv Z-led. I verkligheten ligger det tunga blocket över det området. Därför placerades två extra supportpunkter ut vid respektive hörn som i den högra bilden i figur 33 för att stoppa hörnen från att avvika i positiv Z-led.



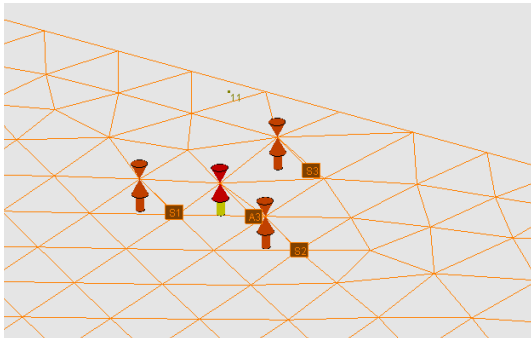
Figur 33. Positionering utan och med supportpunkter under ytan där blocket vilar

Rotationslåsningsen visas i RD&T genom att gulmarkera nedre delen av referenspunkten, se figur 34. Detta innebär som tidigare nämnt att området runt referenspunkten inte får rotera.



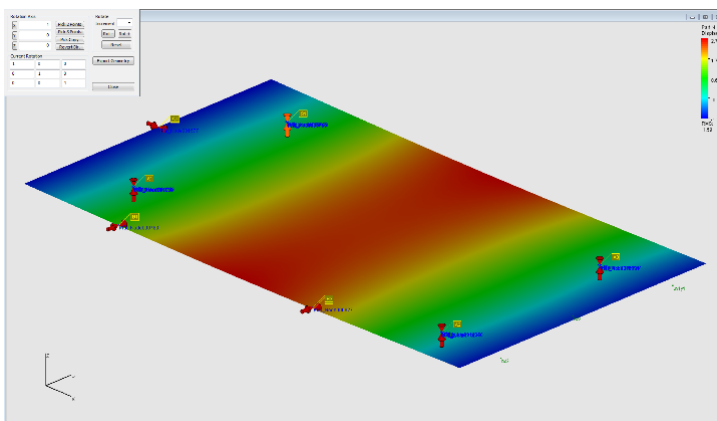
Figur 34. Visualisering av rotationslåsnings

En annan möjlighet var som sagt att simulera den utbredda ytan med hjälp av extra supportpunkter. Dessa supportpunkter placerades då i de tre noder som definierats runt om referenspunkterna vilket figur 35 visar exempel på.



Figur 35. Närbild av utbredda supportpunkter.

Samma metod användes för att analysera singeldetaljsmodellen. Både rotationslåsning och extra supportpunkter testades i Gravity Analysis även för denna modell. För singeldetaljsmodellen valdes att endast positionera modellen med referenspunkter i en nod, se figur 36, då detta var mest likt verkligheten. Det hade varit felaktigt att positionera detaljen med rotationslåsning eller utbredda punkter pga. att plåten ej klämdes fast och därmed kunde röra sig fritt pga. gravitation.



Figur 36. Singeldetaljsmodellen positionerad med 4-2-1-positionering

För att få en datamängd som var analyserbar och jämförbar med de analytiska beräkningarna valdes 10 noder ut på modellen med nedhäng och 15 noder på singeldetaljsmodellen. Dessa noder valdes ut längs mitten på modellerna med ett jämt avstånd mellan varje nod och jämfördes därefter med värdet i samma punkter på de scannade modellerna och med de analytiska beräkningarna. På det här sättet erhöles kurvor för de olika positioneringssystemen på avvikelserna i Z-led till följd av gravitationen, som då kunde jämföras med varandra.

3.4.3 Metod 1 – Viktlöst tillstånd

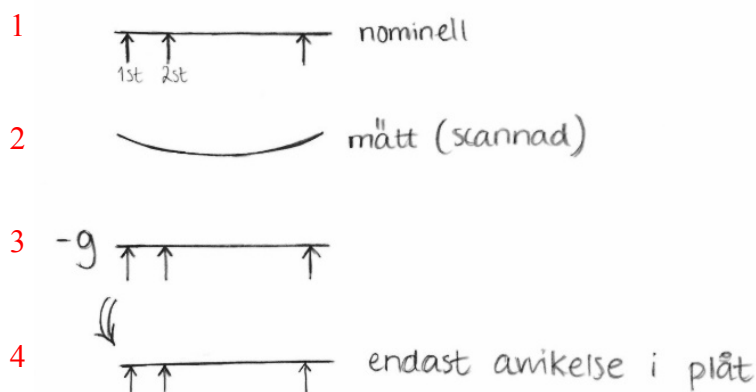
Arbetet gick ut på att utvärdera hur Gravity Analysis hanterar såväl singeldetaljer som sammansättningsmodeller. Metod 1 var en metod som gick ut på att sätta samman modellen som om den befann sig i ett viktlöst tillstånd. När modellen var sammansatt skulle gravitationen appliceras. Då Gravity Analysis inte kunde användas på sammansättningsmodeller behövde några genvägar tas för att få in gravitationen. Dessa beskrivs i bilaga A.

3.4.4 Metod 2 – G-kraft i alla steg

Denna metod utfördes i tre olika varianter, kallade A, B och C. Skillnaden mellan dessa var endast små modifikationer av hur plåten positionerades i RD&T. Nedan beskrivs dessa i respektive underrubrik. Metoden baserades på att delsimulera alla steg i sammansättningen och mellan stegen använda MATLAB för att utföra vissa beräkningar. Anledningen till användandet av MATLAB mellan stegen var för att RD&T i dagsläget inte hade någon inbyggd funktion för att utföra denna typ av beräkningar. Om metoden visade sig ge rätt resultat skulle denna information föras vidare till examinator och handledare för att sedan kunna programmeras in i RD&T permanent för att då kunna undvika beräkningar mellan stegen i annan programvara.

Version A

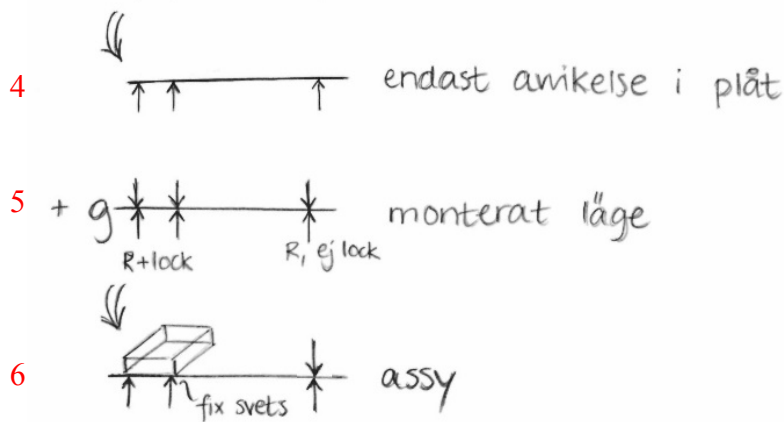
Förfarandet som kommer att beskrivas härnäst kan visuellt beskrivas med hjälp av figur 37 nedan. Metoden byggde på att utgå från nominell modell (1) skapad i RD&T samt från scannad detalj (2). Genom att skapa mättnålar på den nominella modellen och jämföra den med den scannade detaljen skapades ett resultat som beskrev den nominella modellen med den form den scannade modellen hade. Detta resultat exporterades sedan ut som en textfil som angav varje nuds placering i koordinatsystemet. På den nominella modellen beräknades också bidraget från gravitationen i mätt läge (3), detta genom att använda funktionen "Gravity Analysis", vilken också exporterades ut som en textfil. Genom att lyfta in dessa två textfiler i MATLAB kunde dess koordinater i varje nod subtraheras från varandra och därmed ge ett resultat som endast beskrev de avvikelser plåten hade från tillverkning (4). Eftersom förhoppningen var att simuleringarna i RD&T skulle ge samma resultat som den scannade detaljen var det viktigt att skapa en modell som endast beskrev avvikelserna i plåten från tillverkning oberoende av gravitationens påverkan.



Figur 37. Steg (1), (2), (3) och (4) i metod 2

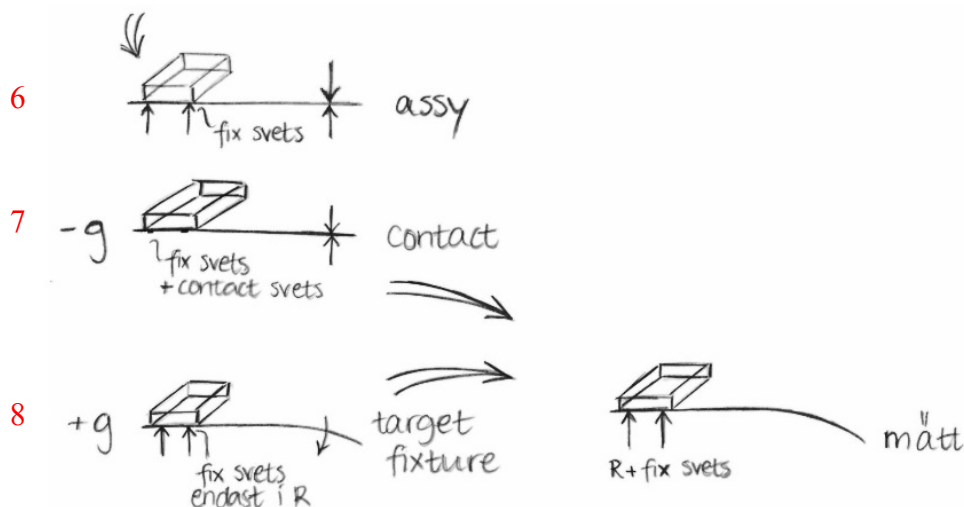
Fortsättningen på metoden kan även denna beskrivas visuellt med hjälp av figur 38 nedan. Genom att lyfta in resultatet som endast beskrev avvikelserna i plåten (4) kunde modelleringarna fortsätta. Nästa steg var då att räkna ut gravitationens påverkan i monterat läge (5), vilket innebär det läge som detaljen skulle ligga i vid sammansättningen. I detta fall definierades de högra punkterna i figuren (den sida som sedan skulle få hänga ner fritt) som supportpunkter, vilket innebär att detaljen här simulerades som att den var fastnypt mellan spänne och tillhållare i de båda punkterna. Även detta resultat exporterades ut till MATLAB för att sedan adderas till resultatet som endast beskrev avvikelset (4). Efter addering av (4) och (5) lyftes återigen den nya

formen (6) in i RD&T för att där sedan lägga till den styva plåten som i testutförandet var ett tungt block. Sammanfognings- och kontaktmodellering behövde också definieras, detta för att RD&T skall förstå hur de båda detaljerna sitter ihop och att de ej får penetrera varandra.



Figur 38. Steg (4), (5) och (6) i metod 2

Efter sammansättningssimulering med blocket exporterades återigen nodvärdena ut till MATLAB. Sedan utfördes beräkningar på den sammansatta modellen som beskrev gravitationens påverkan efter att den styva plåten lades på (7). Då den inbyggda funktionen Gravity Analysis ej är kompatibel med sammansättningar i dagsläget och det ej gick att exportera ut en fil beskrivande den nya formen behövdes då en genväg tas. Detta innebär att extra supportpunkter placerades ut på den nominella modellen, motsvarande kontaktpunkterna mellan de två detaljerna. Detta gjordes för att gravitationsberäkningen skulle motsvara att det tunga blocket faktiskt var placerat ovan den tunna plåten. Slutligen gjordes också en beräkning på gravitationens påverkan då plåten fick hänga ned fritt i ena änden (8), även denna utfördes med extra supportpunkter som skulle motsvara kontakten med det tunga blocket. Båda dessa två gravitationsberäkningar lyftes sedan in i MATLAB där (7) subtraherades och (8) adderades till (6), vilket ledde till ett resultat som skulle kunna jämföras med samma uppmätta, alltså scannade, modell. Detta förfarande kan likt de andra också beskrivas med hjälp av figur 39 nedan.



Figur 39. Steg (6), (7) och (8) i metod 2

Version B

För att utforska olika simuleringsförfarandet och positioneringssystem i RD&T gjordes vissa modifikationer av metoden, kallad B. Skillnaden på detta simuleringsförfarande var att de högra supportpunkterna togs bort från steg (5) och ersattes med mothållare i steg (6). Mothållarna agerar så att de endast håller plåtmodellen på undersidan vilket innebär att det tillåts ett avstånd mellan mothållaren och plåtmodellen, vilket det inte gör vid användande av supportpunkter, se figur 40 för jämförelse av de olika sätten att klämma fast plåten.



Figur 40. Jämförelse av supportpunkt och mothållare

Version C

Slutligen gjordes ett sista simuleringsförfarande där den nominella modellen istället antogs ha den form som det sista scannade resultatet hade (avsnitt 3.2 "Avviksmodellen"). Denna simulering innebar att steg (1), (2) och (3) kunde hoppas över i den metod som är beskriven ovan. Istället antogs uppsättningen vid den sista scanningen agera så viktlöst som möjligt och därmed kunde detta resultat användas direkt in i steg (4) för att vidare utföra metoden på samma sätt som B förfarandet ovan, med nedhäng i steg (5) och mothållare i steg (6).

4. TESTRESULTAT

I detta avsnitt presenteras de resultat som genererats från analytiska beräkningar, scanningar och simuleringar.

4.1 Analytiska beräkningar

För att beräkna ett teoretiskt värde av gravitationens påverkan på plåten gjordes analytiska beräkningar på nedhängsmodellen. Vid beräkningarna användes givna materialparametrar, se tabell 1.

Tabell 1. Materialparametrar som användes vid den analytiska beräkningen

E-modul	$210 \times 10^9 \text{ Pa}$
Densitet	7850 kg/m^3
Gravitation	9.81 N
Yttröghetsmomentet	$3.025 \times 10^{-11} \text{ kg/m}^2$

Värden på E-modul och densitet valdes utifrån tidigare erfarenheter och yttröghetsmomentet beräknades enligt Dahlberg [11]. Under metodavsnittet 3.3 visas formeln för yttröghetsmomentet och även det elementarfall som använts. Antagandet att plåten var fast inspänd som en balk gjordes och dess dimensioner var enligt följande:

$$\begin{aligned} B &= 363 \text{ mm} \\ L &= 568 \text{ mm} \\ H &= 1 \text{ mm} \end{aligned}$$

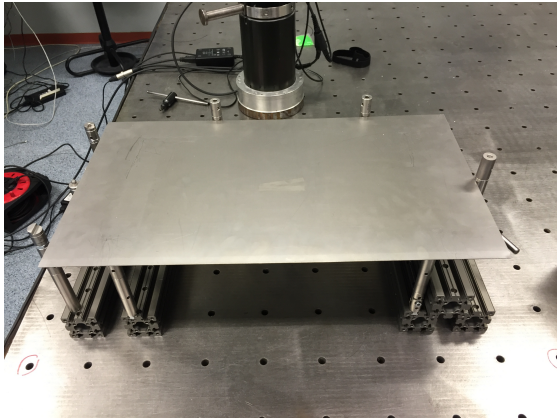
Beräkningarna utfördes i flertalet punkter längs med plåten. Den maximala nedböjningen uppgick till 55 mm. Resterande punkter presenteras i tabell 2 nedan.

Tabell 2. Resultat från analytiska beräkningar på nedhängsmodellen

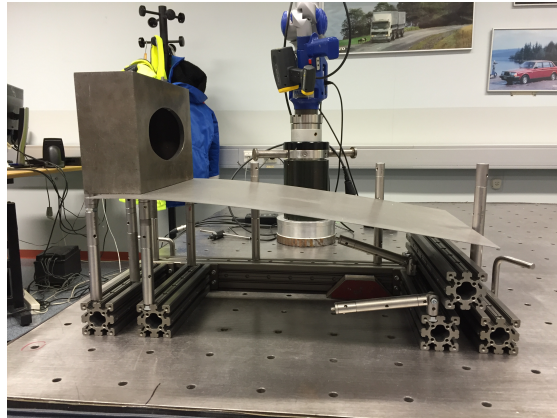
PUNKT	LÄNGD	NEDBÖJNING
1	0 mm	0 mm
2	51 mm	0.85 mm
3	115 mm	4.02 mm
4	179 mm	9.00 mm
5	243 mm	15.32 mm
6	307 mm	22.57 mm
7	371 mm	30.42 mm
8	435 mm	38.60 mm
9	499 mm	46.94 mm
10	563 mm	55.32 mm

4.2 Scanningsresultat

Nedan presenteras resultaten som fåtts från scannarna. Som tidigare nämnt i metoden utfördes några initiala försök för att kontrollera metoden och här presenteras slutresultatet. Scanningarna utfördes på singeldetaljsmodellen och nedhängsmodellen, se figur 41 och 42 nedan och dessutom utfördes de på både plåtens upp- och nedsida. Redan i Polyworks gjordes de första analyserna på hur mycket plåten hängde ned pga. gravitationen genom att ta fram färgskalor, dessa presenteras nedan.

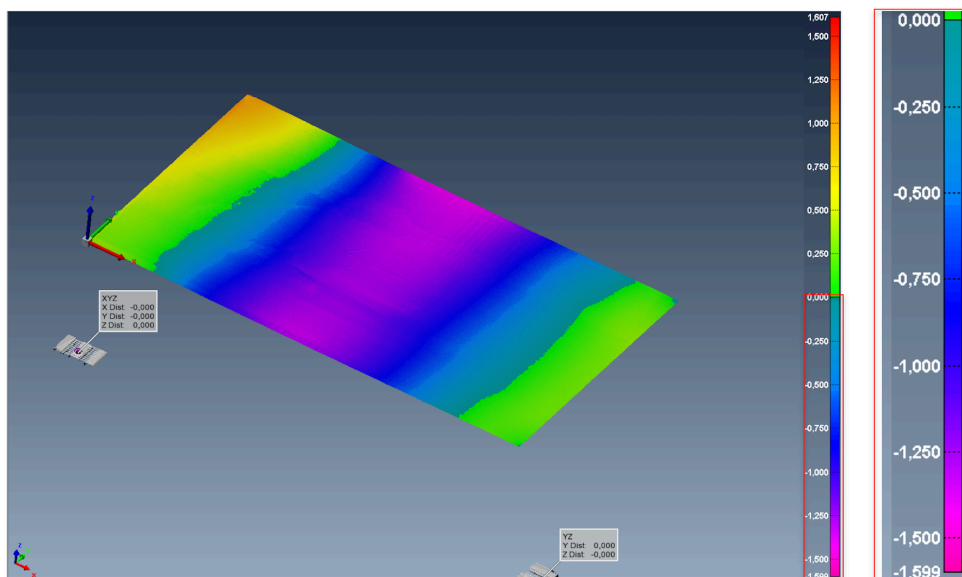


Figur 41. Scanningsförfarande 1



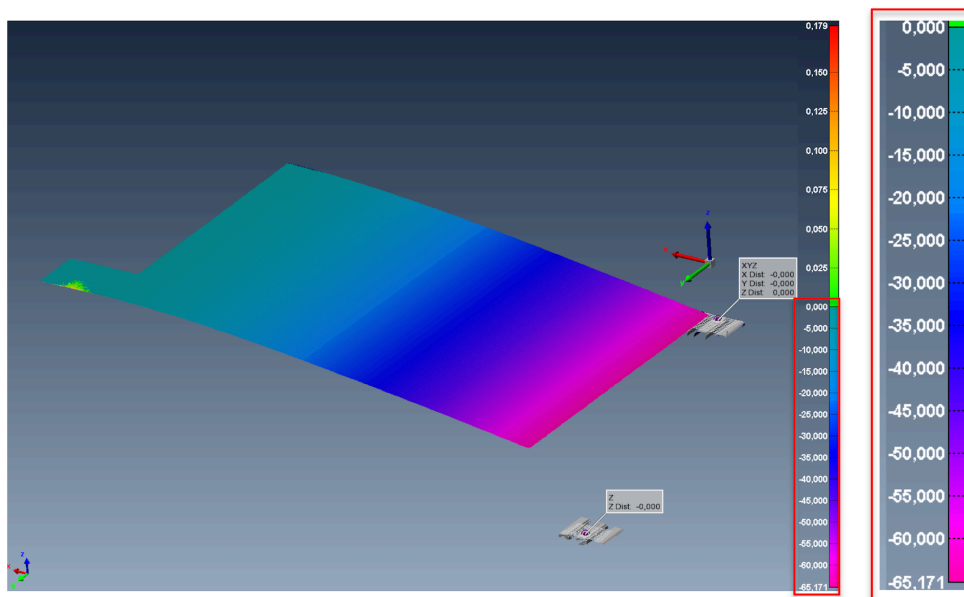
Figur 42. Scanningsförfarande 2

Nedan presenteras resultaten från de två olika scanningarna som utförts på den sida av plåten som har valts att kallas "upp". Alltså både resultaten från scanningen där plåten vilar på alla dess referenspinnar, se figur 43, samt när blocket ligger på den tunna plåten och de två fällbara referenspinnarna var nedfällda, figur 44.



Figur 43. Färgskala från scanning av plåtsidan som kallats "upp"

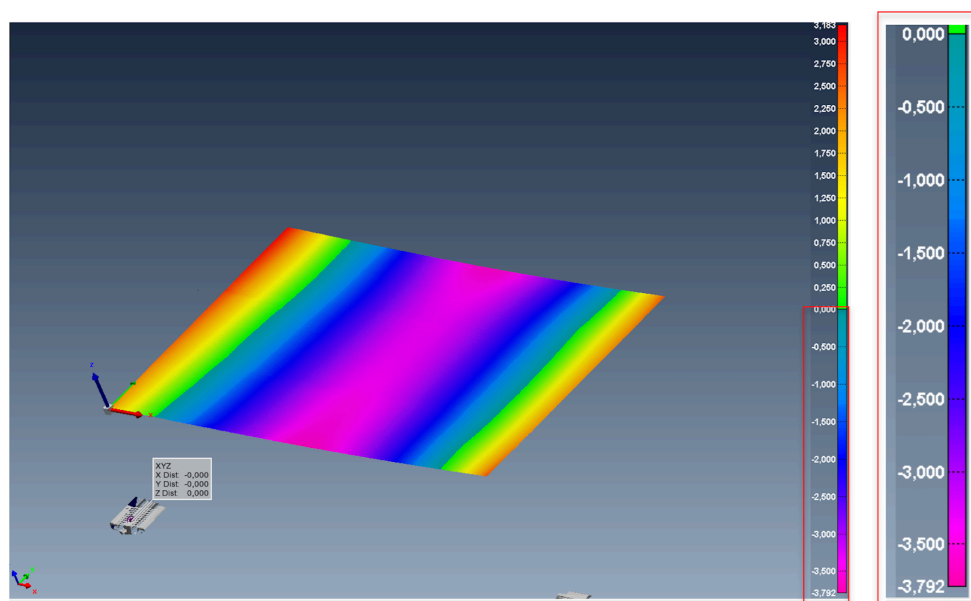
Det maximala nedhänget med plåten upplagd på alla dess referenspunkter uppgick till ca 1,60 mm.



Figur 44. Färgskala från scanning med nedhäng av plåtsidan som kallats "upp"

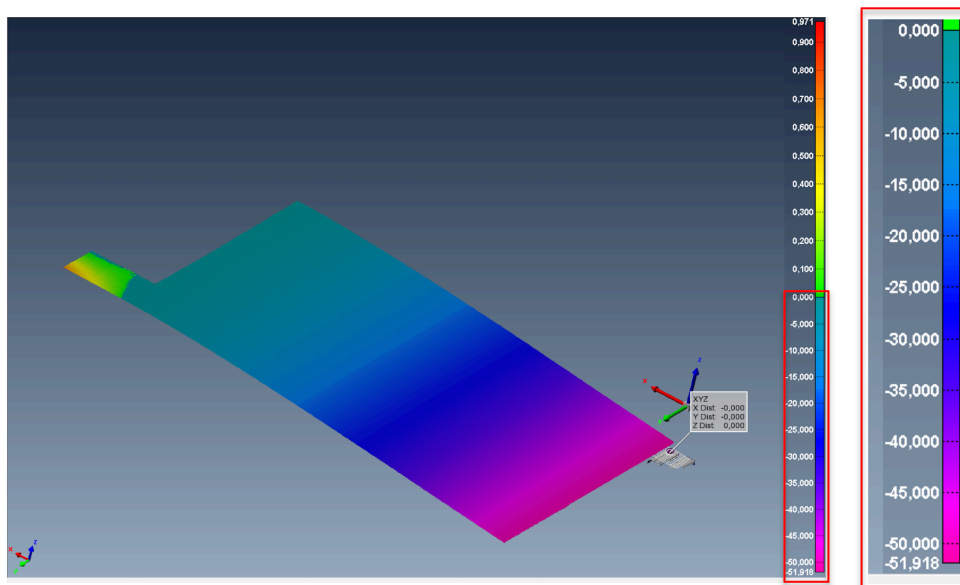
Det maximala nedhänget då det tunga blocket låg på plåten uppmättes till ca 65,17 mm.

Plåten scannades också på den sida som valts att kallas "ned". Nedan presenteras resultaten från den scanningen, se figur 45 för plåten upplagd på alla dess fyra referenspunkter och figur 46 för plåten med blocket pålagt.



Figur 45. Färgskala från scanning av plåtsidan som kallats "ned"

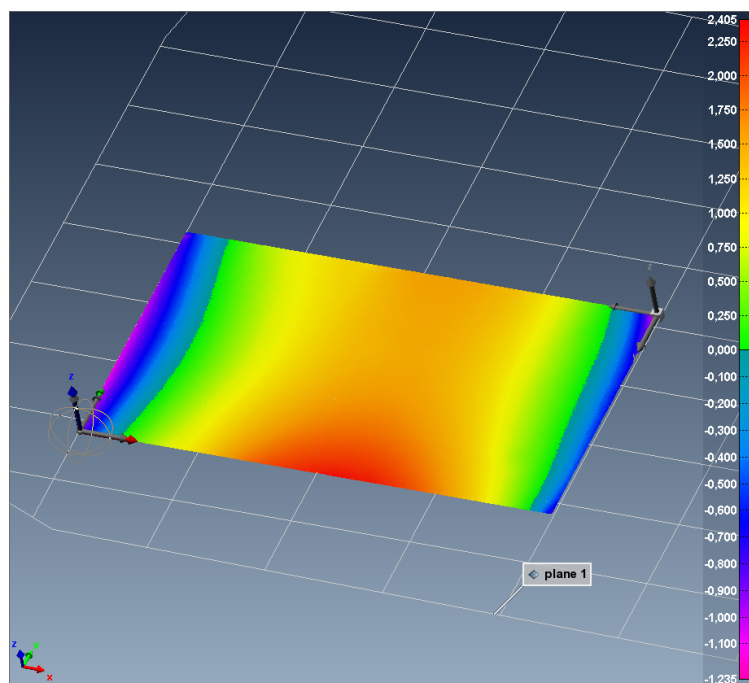
Med plåten upplagd på alla fyra referenspunkter och den scannade sidan som kallats "ned" fås ett maximalt nedhäng på ca 3,79 mm.



Figur 46. Färgskala från scanning med nedhäng av plåtsidan som kallats "ned"

Den maximala nedböjningen vid denna scanning uppgick till ca 51,92 mm.

Slutligen genomfördes också scanningen som kallats avviksmodell. Denna scanning utfördes för att få en uppfattning om plåtens form och avvikelser utan gravitationens påverkan. Färgskalan nedan visar hur dessa avvikelser var fördelade över plåten, se figur 47. Denna scanningsdata användes till beräkningarna vid metod 2C, vilken presenterats under avsnitt 3.4.4 "Version C".



Figur 47. Färgskala över plåten tyngdlöst upphängd, visar avvikelser från tillverkning

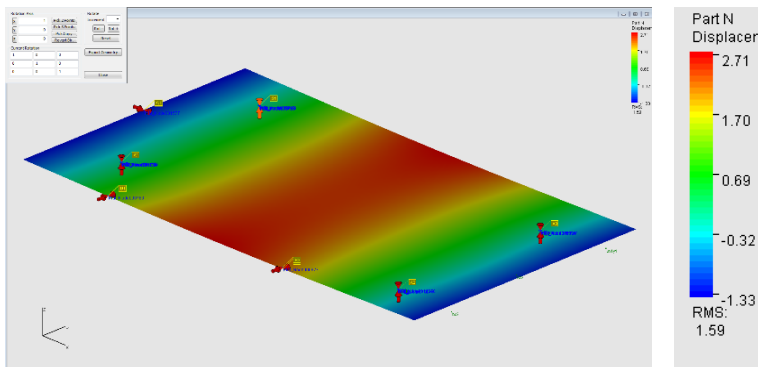
4.3 Simulering i RD&T

4.3.1 Val av positioneringssystem

Positioneringssystemen som analyserades varierade mellan att positioneras så lite inspänt som möjligt, enligt 3-2-1 systemet och genom att vara överinspänd med N-2-1 systemet där också låst rotation i Z-led och utbredda supportpunkter kring ordinarie referenspunkter lades till. Resultatet presenteras nedan för singeldetaljsmodellen och för nedhängsmodellen. De olika noderna som valdes att analyseras togs fram genom att beräkna påverkan av gravitationen med hjälp av Gravity Analysis och sedan plotta dessa i ett diagram.

Singeldetaljsmodellen

Modellen som låstes i dess MLP's plus en supportpunkt enligt N-2-1 systemet visas i figur 48 nedan. Tydligast i bilden syns att detaljen hänger ner maximalt i mitten med ett nedhäng på 2.71 mm.



Figur 48. Modellen positionerad enligt 4-2-1 system. Kallad "NOM" i bilaga B.

Resultatet från denna typ av positioneringssystem var mest verklighetstroget vilket ledde till att detta positioneringssystem valdes att användas vid fortsatta beräkningar och simuleringar i RD&T.

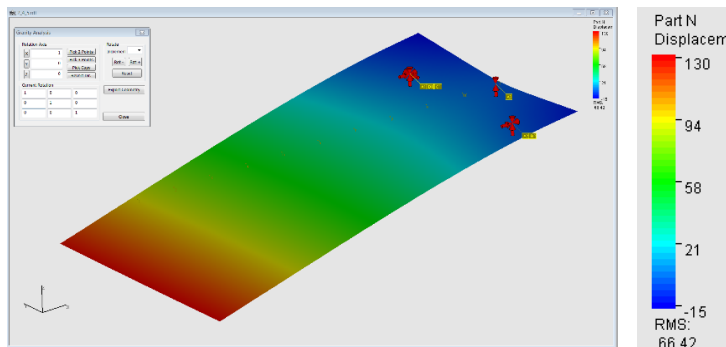
I bilaga B visas samtliga testade positioneringssystem, texterna under varje figur beskriver positioneringssystemet som valts att analyseras just i den specifika simuleringssmodellen. Värdena i de 15 noderna som analyserats för samtliga modeller finns representerade i en tabell samt plottade i ett diagram i bilaga C. Tabellerna och kurvorna i diagrammet visar även värdena för det analytiska beräknade värdena samt nedhänget i samma noder från de två olika scanningarna "upp" och "ned".

Nedhängsmodellen

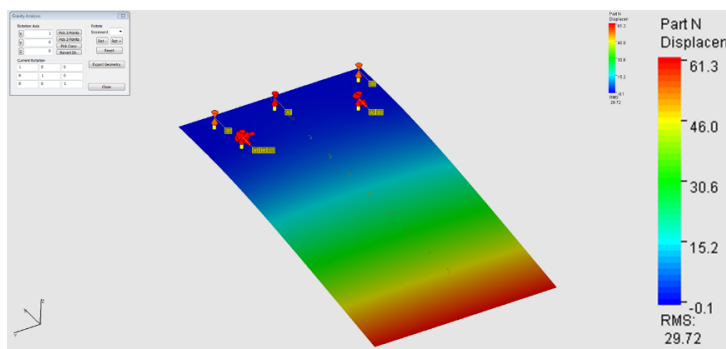
Olika positioneringssystem analyserades också på nedhängsmodellen på samma sätt som på singeldetaljsmodellen ovan. Detta genom att anteckna värdet av avvikelserna i de 10 noder längs med plåtens mitt som analyserats i Gravity Analysis på varje modell. Utifrån dessa punkter skapades en kurva per modell som sedan kunde jämföras med de andra modellerna i ett gemensamt diagram, se bilaga E.

Figur 49 och figur 50 visar ett nedhäng på 130 mm respektive 61.3 mm. Modellen i figur 49 positionerades med referenspunkter endast enligt 3-2-1 systemet i de noder där plåten i verkligheten vilade på referensspinnar, denna modell innehöll alltså inga extra supportpunkter eller punkter med låst rotation. Modellen i figur 50 positionerades med referenspunkter i de

noder där plåten var i kontakt med fixturen, samt extra supportpunkter för att simulera det tunga blocket och slutligen med rotationslåsning i samtliga punkter i Z-led. Skillnaden mellan dessa två visar hur viktigt det var att positionera detaljen på rätt sätt. Positioneringen som visas i figur 50 speglade verkligheten på bästa sätt och valdes därför till fortsatta beräkningar.



Figur 49. Nedhängsmodellen låst med 3 MLP

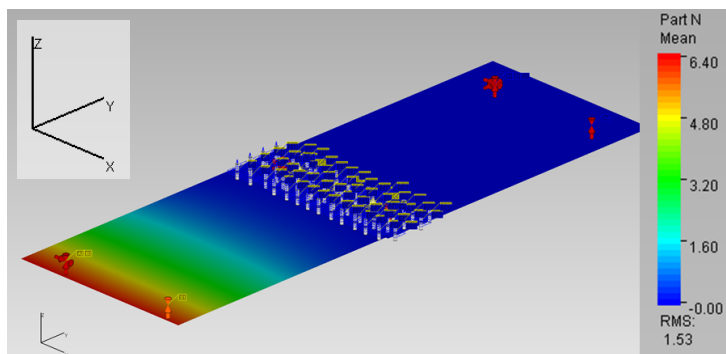


Figur 50. Nedhängsmodellen positionerad enligt 5-2-1 system. Kallad "X" i bilaga D.

Precis som för singeldetaljsmodellen finns samtliga analyserade positioneringssystem i bilaga D. Även de analyserade noderna för respektive positioneringssystem i figur 49 och figur 50 ovan finns redovisade i bilaga E tillsammans med ett diagram där även de analytiska beräkningsvärdena samt de scannade värdena från "upp" och "ned" redovisas.

4.3.2 Metod 1

Metoden resulterade i en felaktigt resultat från simuleringen som visade på att det inte kan tas några genvägar mellan funktionerna i RD&T. I figur 51 visas att ena sidan av plåten avviker 6.40 mm i positiv Z-led strax intill referenspunkterna, vilket inte är realistiskt då de borde givit nollavvikelse. Slutsatsen blev att en förbättrad modell behövdes vilket resulterade i metod 2.



Figur 51. Sammansatt modell enligt metod 1 analyserad i RD&T.

4.3.3 Metod 2

Analysen av metod 2 gjordes med de 3 olika simuleringsförfarandena A, B och C nämnda i avsnitt 3.4.4. Skillnaderna mellan dessa simuleringar var olika tillvägagångssätt vid modellering och positionering av de två punkter på den sida där den tunna plåten i slutändan hängde ned. Där positionerades A med två supportpunkter både i steg (5) och (6). Simuleringsförfarande B positionerades istället ett nedhäng i steg (5) och med två mothåll i steg (6). Modellen som analyserades med partavvikelse, C, använde sig som tidigare nämnt av samma positionering som hos modell B.

Positioneringen av A och B resulterade i samma nedhäng på 62.8 mm. Modell C gav ett nedhäng på 57.2 mm. Bilaga F visar de resterande noderna i en tabell samt ett diagram. Återigen finns samtliga analyserade noder längs mittlinjen redovisade i dessa.

5. ANALYS AV TESTRESULTAT

I detta avsnitt analyseras de testresultat som presenterats i kapitel 4.

5.1 Analytiska beräkningar

Då de analytiska beräkningarna utfördes med förutbestämda generella materialparametrar, som exempelvis densiteten på 7850 kg/m^3 och E-modulen på $210 \cdot 10^9 \text{ N}$ kan de analytiska beräkningarna avvika något från de resultat som fås från simuleringarna i RD&T och från de scannade detaljerna. I simuleringarna har exempelvis en densitet på 7800 kg/m^3 använts istället. Slutligen kan ytterligare avvik bero på att plåten som använts redan var uppklippt och klar vid testernas början och därmed saknas vetskap om plåtens faktiska värden på densitet och E-modul.

Beräkningarna har gjorts på antaganden av elementarfall från balkböjning, då plåten inte är en balk ställdes frågan om dessa förenklingar till elementarfall faktiskt var korrekta. Efter konsultation med hållfasthetsexpert Gert Persson kunde det konstateras att beräkningarna för nedhängsmodellen kunde anses vara godtagbara för de grova jämförelser som gjorts. Beräkningarna för singeldetaljsmodellen kunde däremot konstateras ha antagits för grova förenklingar vilket leder till att beräkningarna kan anses tveksamma och okorrekta.

5.2 Scanningsresultat

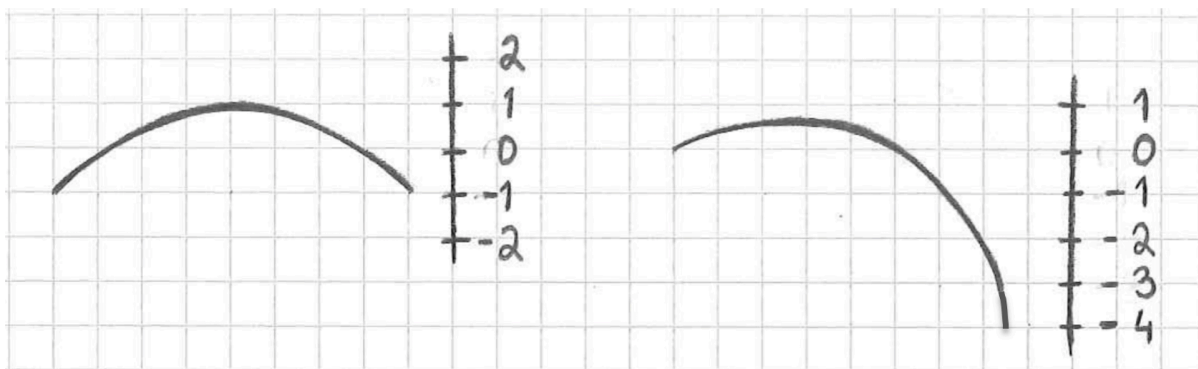
De initiala försök som gjordes var mycket viktiga då det gav indikationer på hur scanningarna skulle utföras på ett korrekt sätt. Det visade sig vara viktigt att se till att friktionen inte förhindrade detaljerna från att hänga fritt. Lika viktigt var det att se till att plåten och blocket vilade på rätt referensspinnar, som att blocket verkligen motsvarade en fastklämning av den tunna plåten på ett sätt som liknade svetspunkter.

Det visade sig vara väldigt stora skillnader på plåten beroende på om upp- eller nedsida hade scannats. Denna slutsats kan dras från de resultat som fåtts från de båda scanningarna, dessa presenteras tillsammans i tabell 3 nedan.

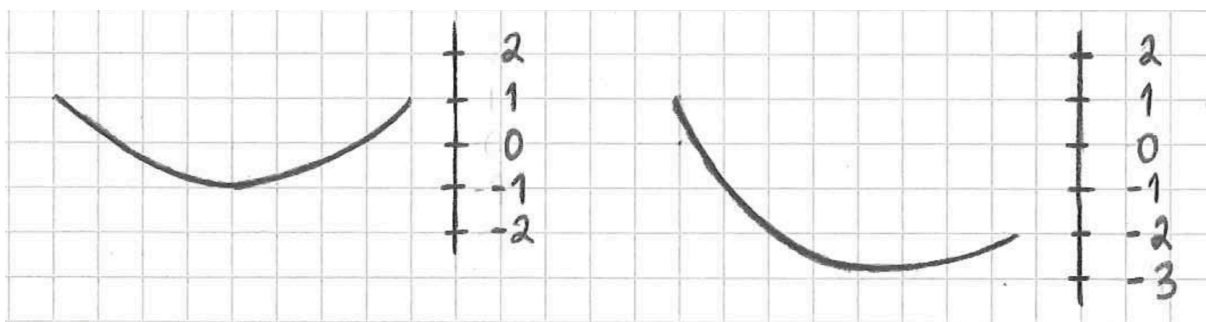
Tabell 3. Maximala nedböjningar från de olika scanningarna

	SCANNING "UPP"	SCANNING "NED"
SINGELDETALJSMODELL	1.60 mm	3.79 mm
NEDHÄNGSMODELL	65.17 mm	51.92 mm

Från tabell 3 kan det utläsas att ju mindre den maximala nedböjningen på singeldetaljen var desto större blev nedböjningen på nedhängsmodellen och tvärtom. Detta kan förklaras pga. att plåten var deformerad på olika sätt beroende på vilken sida som scannats. För att förtydliga extra varför detta händer visas de olika modellerna, singeldetaljsmodellen och nedhängsmodellen i en ritad figur nedan. Formen på plåtens olika sidor kan överdrivet beskrivas enligt figur 52 där plåtens "upp"-sida visas för både singeldetaljsmodellen (vänster) och nedhängsmodellen (höger) och enligt figur 53 visas samma förfarande för plåtens "ned"-sida. Skalan vid sidan av modellerna presenteras per längdenhet då figurerna endast skall visualisera det fenomen som skrev pga. plåtens olika sidor.



Figur 52. Plåtens beteende för singeldetaljsmodell och nedhängsmodell. Plåtsidan "upp"



Figur 53. Plåtens beteende för singeldetaljsmodell och nedhängsmodell. Plåtsidan "ned"

Från figurerna ses att maximala nedböjningen från nedhängsmodellen på plåtens sida "upp" hamnar på minus 4 längdenheter och på plåtens sida "ned" hamnar den maximala nedböjningen på ca. minus 3 längdenheter, alltså får plåtens "ned" sida minst nedböjning. Detta samtidigt som det för singeldetaljsmodellen visas att nedböjningen för plåtens sida "upp" är mindre än för plåtens sida "ned". Dessa slutsatser förklarar då varför resultaten av scanningarna ser ut just som de gör. I det fortsatta arbetet var det därför mycket viktigt att hålla koll på vilken sida av plåten simuleringarna i RD&T jämfördes med osv.

5.3 Simulering i RD&T

5.3.1 Val av positioneringssystem

De olika resultaten skilde sig mycket mellan de olika positioneringssystemen. Även de scannade värdena skilde sig mycket beroende på vilken sida av plåten som var scannad till följd av avvikelser från tillverkning. Detta var ett problem under valet av positioneringssystem då dessa RD&T-modeller analyserades nominellt utan partavvikelser. Ett mönster som upprepade sig i analys av de båda modellerna nedan var att deras resultat låg mellan de två scannade resultaten "upp" och "ned". Då valet av positioneringsmetod skulle göras var det positioneringssystemet som antogs simulera verkligheten bäst innan analysen och även låg närmst det scannade samt de analytiska värdena som användes.

Singeldetaljsmodell

I bilaga C syns kurvorna för samtliga analyserade positioneringssystem för singeldetaljsmodellen. Då modellen i verkligheten endast ligger på de fyra referenspinnarna är plåten varken låst för rotation eller ligger på en utbredd yta i det läget. De två positioneringssystemen med låst rotation och utbredda supportpunkter blir för styva när de låses fast vilket syns på att de inte heller följer formen hos resterande värden.

Modellen som är låst med 3 MLP och 1 supportpunkt hade en kurva som följde formen de två scannade kurvorna väl. Värdet följde även formen av de analytiska värdena väl vilket inte positioneringssystemen med låst rotation och utbredda supportpunkter gjorde.

Nedhängsmodell

Analysen av nedhängsmodellen började med att detaljen endast var positionerad enligt 3-2-1 systemet, utan låst rotation och utbredda supportpunkter. Med ett nedhäng på 130 mm hade modellen mer än dubbelt så mycket nedhäng som de scannade modellerna där plåten var fastklämd mellan block och referenspinnar. Slutsatsen av detta var att positioneringen i RD&T behövde ske med extra supportpunkter för att simulera att blocket var placerat på den tunna plåten. I och med fastklämningen kunde slutsats dras att positioneringen med låst rotation och utbredda supportpunkter stämde överens med verkligheten bättre än att endast låsa detaljen enligt 3-2-1 systemet.

Trots att modellen med utbredda supportpunkter illustrerade verkligheten bättre än de andra modellerna valdes modellen med rotationslåsnings för samtliga fortsatta studier av nedhängsmodellen. Detta då varje supportpunkt som placerades förhöjde kalkyleringstiden 6 gånger. Eftersom modellen innehöll 3 supportpunkter per referenspunkt ansågs det ej vara värt den extra kalkyleringstiden för den lilla skillnad som dessa två positioneringssystem gav.

5.3.1 Metod 1

Metod 1 beskrivs med hjälp av figurerna i metodavsnittet 3.4.3. Måtnålarna som skapades i noderna på den nominella modellen i steg (10) matades med de avviken som räknats fram i steg (9). Vad detta egentligen gjorde var att noderna fick information om att avvika från sina nominella koordinater. I området som avvek 6,40 mm i positivt Z-led hade således noderna matats med information om att de skulle avvika så mycket. Problemet var att referenspunkterna borde ha förhindrat noderna från att avvika. Anledningen till att de inte förhindrade detta är troligen att metodiken inte är kompatibel med programmeringen bakom referenspunkterna. Därför behövdes en ny metod tas fram som fungerade med RD&T.

5.3.2 Metod 2

Metod 2 beskrivs med hjälp av figurerna i metodavsnittet 3.4.4. Om punkterna i bilaga F studeras läggs det märke till att punkterna i A och B är identiska. Detta trots att simuleringsförfarandena skiljer sig åt. I A var antagandet att plåten hela tiden var i kontakt med referenspinnarna. Fram tills att de två fällbara referenspinnarna fällts undan kan detta antagande göras. Det är rimligt att en plåt som endast har de fyra pinnarna att vila mot kommer ha kontakt med referenspinnarna. I en mer komplicerad modell som innehåller många fler referenspunkter, mothåll och detaljavvik är det mycket svårare att förutse detaljens beteende.

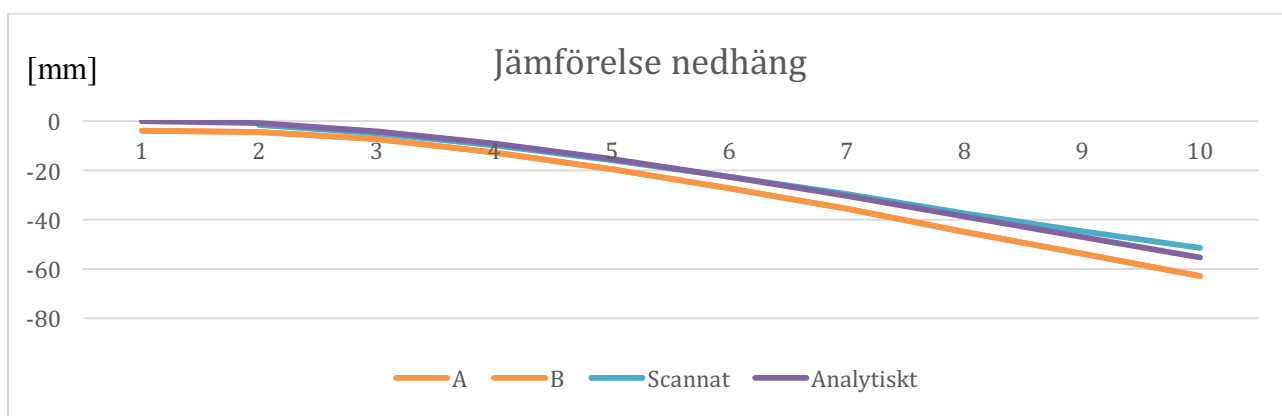
För ett mer generellt simuleringsförfarande genomfördes analys B då supportpunkterna i steg (5) togs bort och simuleringarna utfördes utan dem. Därefter positionerades modellen med två mothåll på sidan plåten hänger ner och på så sätt tvingades modellen upp till punkten där mothållen var positionerade. I slutändan blev resultatet identiskt, vilket konfirmerade antagandet att plåten ligger i kontakt med plåten. A och B hade däremot ett nedhäng som låg 11,44 mm från det scannade värdet. Detta ansågs vara för stort och anledningen till det stora felet diskuterades. En anledning kunde vara att avvikelser inte fångats korrekt pga. att scanningarna utfördes med gravitationens påverkan.

Det var i detta skede scanning nr 4 genomfördes. Den utfördes för att försöka få partavvikelseerna uppfångade så viktlöst som möjligt, denna modell kallades C. Genom att placera plåten som i figur 15, antogs plåten kunna analyseras som om den var så gott som viktlös. Då denna scannats kunde de nya värdena användas i samma förfarande som använts för modell B. Detta gav istället en skillnad mellan RD&T modellen och den scannade plåten på 7,58 mm.

Skillnaderna i de olika metoderna kan bero på ytterligare avvik som följd av inre spänningar i plåten, att plåten inte har positionerats rätt.

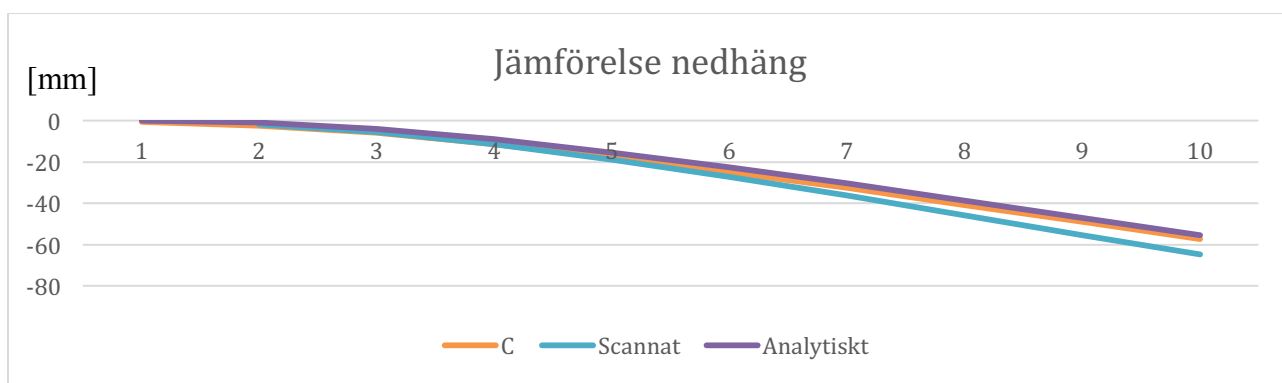
5.4 Jämförelse av resultat

Diagrammet i figur 54 visar resultaten från metod A och B jämfört med scannad ”ned” samt det analytiska värdet. Resultatet av A och B skiljer 11,44 mm från nedhänget av scannat värde.



Figur 54. Diagram som visar jämförelse av nedhäng

Diagrammet i figur 55 visar resultatet från C jämfört med scannad ”upp” och även här det analytiska värdet. A och B är identiska vilket visar på att antagandet att plåten var i kontakt med referenspinnarna var korrekt. Metod C använde sig av samma positioneringssystemet som B och resultatet av C gav ett bättre resultat än vad metod A och B gjorde jämfört med det scannade. Dessa resultat visualiserar att metod 2 simulerar gravitationspåverkan under sammansättningssimuleringen på ett korrekt sätt då diagrammen visar att kurvorna från de olika fallen följer varandra väl. Skillnaden på 7,58 mm visar dock att metoden behöver utredas och utvecklas ytterligare.



Figur 55. Diagram som visar jämförelse av nedhäng

6. SLUTSATS OCH DISKUSSION

I enlighet med syftet har en bild av dagens simuleringssituation skaffats och analyserats. För att utforska i vilket steg i simuleringarna av gravitationskompensationen bäst lämpar sig har fysiska tester och scannningar utförts och jämförts med såväl analytiska beräkningar som simuleringar i RD&T.

Resultaten som nåtts har visat att de simulerade modellerna och dess resultat ej helt stämmer överens med de scannade fallen, detta kan bero på många olika faktorer. Dels finns vetskapen om att den tunna plåten inte är helt platt och att den har inre spänningar och ytterligare parametrar som ej kunde tas hänsyn till i detta arbete. Programmet RD&T saknar också i dagsläget inbyggda funktioner som kan utföra de nödvändiga beräkningar som behövdes i metoderna, vilket gjorde att vissa genvägar behövde tas för att kunna utföra de tester som satts upp. Genvägar som exportering och importering utanför programmet till MATLAB kan exempelvis ha stor inverkan på de resultat som tagits fram. Funktionen Gravity Analysis som använts för att beräkna gravitationens påverkan kunde endast användas på singeldetaljer men testmetoderna krävde beräkningar på sammansättningar. En stor nackdel med detta var att all kontaktmodellering och andra sammanfogningsparametrar ej kunde tas hänsyn till i steg (11) och (12) på metod 1 samt i steg (7) och (8) på metod 2. Ytterligare en svårighet Gravity Analysis bidrog till var att de simuleringarna ej kunde ta hänsyn till importerade avvikelser från tidigare modeller, alltså de avvikelser som sparats i toleranslistor, enligt figur 30 som ligger under mätavsnittet 3.4.1.

Slutligen kan det också konstateras att de analytiska beräkningarna som utförts baserades på elementarfall vilket kan göra att även dessa förmodligen bidrar till en för grov jämförelse men då de analytiska beräkningarna ej var det viktigaste i detta arbete anses detta inte vara det största problemet.

Under arbetets gång upptäcktes också hur viktigt det var att skilja på vilken plåtsida, alltså ”upp” eller ”ned”, som användes från scannningarna för att jämföras med simuleringarna samt att det var extremt viktigt att positionerna plåten likadant varje gång, exempelvis med origo i samma hörn. Gjordes inte detta kunde resultaten skilja med flera millimeter.

Rekommendationer

Rekommendationen blir till utvecklare av RD&T att ta fram en funktion som kan utföra den typ av beräkningar som behövs för att efterlikna metoderna eller delvis förbättra den redan existerade funktionen Gravity Analysis. Detta så att den går att använda på sammansatta modeller och därmed också så att textfiler kan exporteras. En rekommendation är att utföra testerna i enlighet med metod 2 för att se om noggrannare resultat kan uppnås.

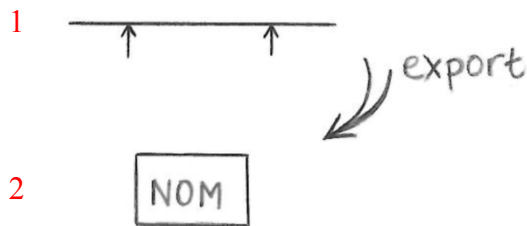
REFERENSER

- [1] Söderberg, R och Lindkvist, L., 1999, "Computer Aided Assembly Robustness Evaluation" Journal of Engineering Design, Göteborg, Sverige, vol 10, nr 2, ss. 165-181. ISSN 0954-4828.
- [2] Söderberg, R och Lindkvist, L., 2002. " Stability and seam variation analysis for automotive body design" , Journal of Engineering Design, Göteborg, Sverige, vol 13, nr 2, ss. 173-187.
- [3] Dahlström, S. 2005. "Variation Simulation of Sheet Metal Assemblies for Geometrical Quality. Parameter Modeling and Analysis". Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Sverige.
- [4] Söderberg, R, Lindkvist, L och Dahlström, S., 2006, "Computer-aided robustness analysis for compliant assemblies". Journal of Engineering Design, Göteborg, Sverige, vol 17, nr 5, ss. 411-428.
- [5] Dahlström, S och Lindkvist, L., 2007, "Variation Simulation of Sheet Metal Assemblies Using the Method of Influence Coefficients With Contact Modeling". Journal of Manufacturing and Engineering, Göteborg, Sverige, vol 129, ss. 615-622.
- [6] Lindau, B, Lorin, S, Lindkvist L och Söderberg R., 2016, "Efficient Contact Modeling in Nonrigid Variation Simulation". Journal of Computing and Information Science in Engineering, Göteborg, Sverige, vol 16, nr 1.
- [7] S.H. Lo, D., 2015. "Finite Element Mech Generation". CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA.
- [8] RD&T Technology AB, 2011, "RD&T Software Manual," Mölndal, Sverige.
- [9] InnovMetric Software (2016-04-25). "Scanning and Inspection Pty: Solving Leakage Problems on Car Door Assemblies" <http://www.innovmetric.com/en/case-studies/scanning-and-inspection-pty>
- [10] Liaoa, X., Gary Wang, G. 2007. "Non-linear dimensional variation analysis for sheet metal assemblies by contact modeling". Department of Mechanical & Manufacturing Engineering, The University of Manitoba, Winnipeg, MB, Canada.
- [11] Dahlberg, T., 2001, "Formelsamling i hållfasthetslära" från Tekniskt hållfasthetslära 3:e upplagan, Studentlitteratur AB, Sverige.

BILAGOR

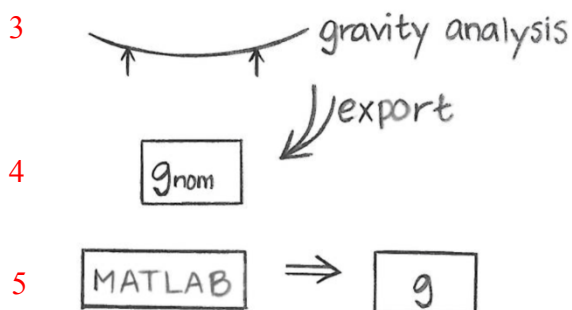
A – Metod 1 – Viktlöst tillstånd.

De första stegen i metod 1 kan beskrivas med hjälp av figur 56 nedan. Metoden innebar att singeldetaljsmodellen öppnades i RD&T där den positionerades med 3st MLP och 1st supportpunkt (1). Genom att exportera modellen som en textfil, erhöles en fil som enligt en matris beskrev nodernas placering i koordinatsystemet, denna matris kallades **NOM** (2).



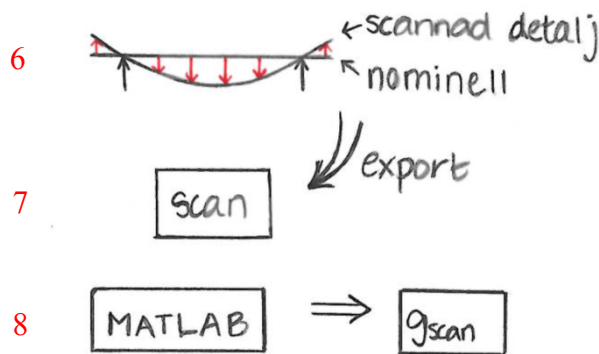
Figur 56. Steg (1) och (2) i metod 1

De efterföljande stegen kan beskrivas med figur 57. Nominella modellen simulerades då i Gravity Analysis för att få en modell som beskrev modellen med påverkan av gravitationen, (3). Även denna form exporterades från RD&T vilket gav en fil utifrån vilken koordinatvärdena i varje nod erhöles. Denna fil redigerades till en matris kallad $\mathbf{g}_{nom}$, (4). Genom MATLAB-beräkningar kunde **NOM** och $\mathbf{g}_{nom}$ ge skillnaden mellan nodernas koordinater, alltså hur långt noderna hade avvikit, i en matris kallad $\mathbf{g}$, (5).



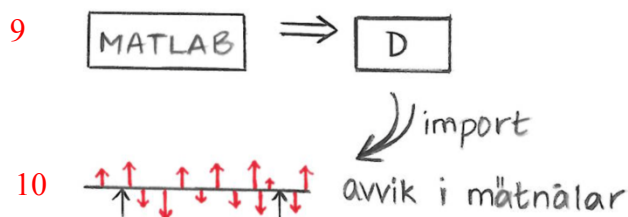
Figur 57. Steg (3), (4) och (5) i metod 1

Nästa steg beskrivs med hjälp av figur 58. Den tidigare scannade modellen importerades då in i RD&T tillsammans med den nominella modellen, (6). Eftersom den scannade modellen saknar noder (polygonmodellen beskriver endast en yta) kunde inte nodernas placering exporteras direkt som tidigare. Genom att skjuta mätnålar, illustrerade med pilar i (6), från alla noder på den nominella modellen mot den scannade modellen, som beskrivits under mätnålsavsnittet, kunde en fil med plåtens form exporteras, kallad **scan**, (7). Genom beräkningar i MATLAB kunde en matris beskrivande noderna förflyttning pga. gravitationens påverkan tas fram, denna kallades $\mathbf{g}_{scan}$, (8).



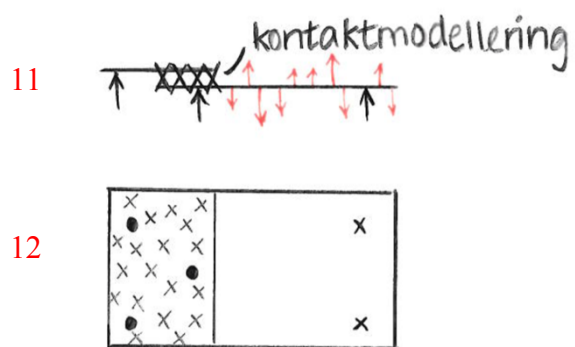
Figur 58. Steg (6), (7) och (8) i metod 1

Figur 59 illustrerar fortsättningen av metod 1. I MATLAB subtraherades $\mathbf{g}$ från $\mathbf{g}_{scan}$ vilket tog bort all påverkan gravitationen hade på plåten. Detta gav då en matris som endast beskrev nodernas avvik från nominella koordinater. Alltså en matris som beskrev de avvikelser i plåten som tillkommit till följd av tillverkningen eller genom spänningar i själva materialet. Denna nya matris kallades $\mathbf{D}$, (9). $\mathbf{D}$ kunde sedan återigen importeras i RD&T där avvikelserna lades in i mätstålarna på den nominella modellen, (10).



Figur 59. Steg (9) och (10) i metod 1

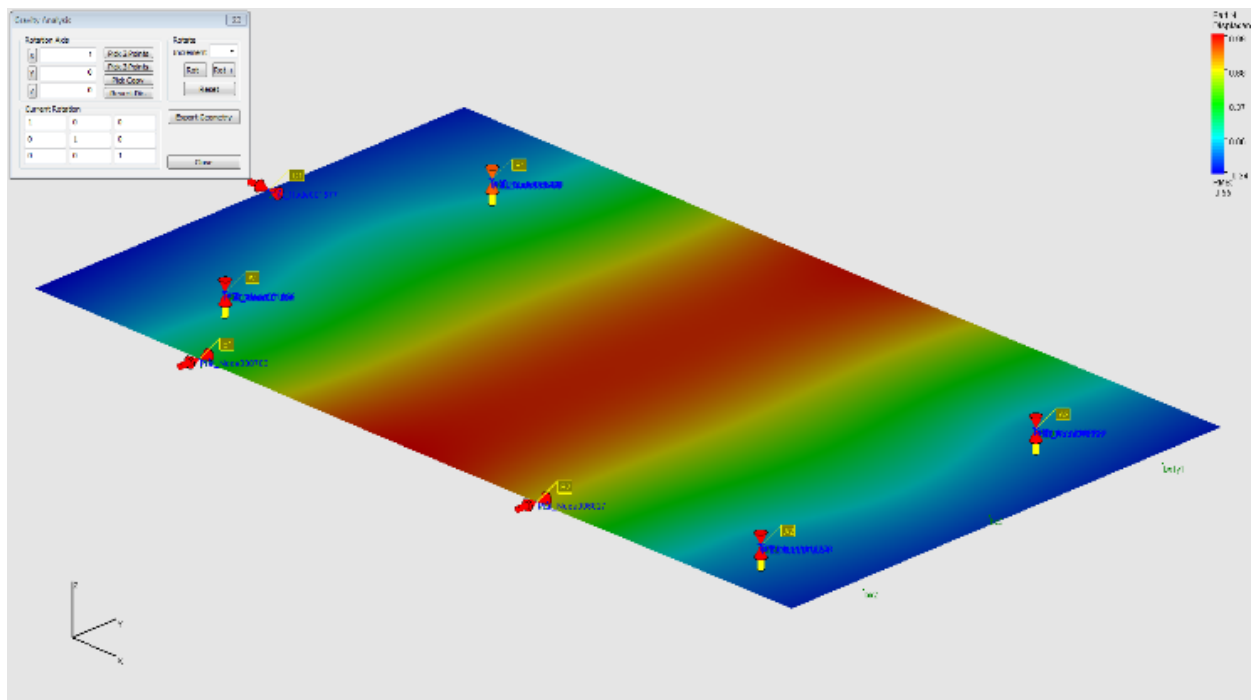
Figur 60 beskriver slutligen de sista stegen. Med detaljavviken, beskrivna av $\mathbf{D}$, importerade på den nominella modellen kunde sammansättningsmodellen skapas. Det skapades då en mesh för den styva plåten, i fixturen gestaltad av det tunga blocket, som importerades till RD&T. Denna placerades ovanpå den tunna plåten, där även denna positionerades med 3st MLP enligt 3-2-1 systemet, (11). För att förhindra att de två modellerna penetrerar varandra utfördes en kontaktmodellering, illustrerad med kryssen mellan den styva modellen och den nominella modellen, (11). Vid kontaktmodelleringen lades även svetspunkter in utspritt mellan referenspunkterna för att simulera att plåtarna skulle sitta ihop, illustrerade i (12) som de svarta punkterna. RD&T fick sedan utföra en sammansättningssimulering av detaljerna, där alla sensitivitetsmatriser, penetrationsförhindranden och alla detaljavviken tas hänsyn till.



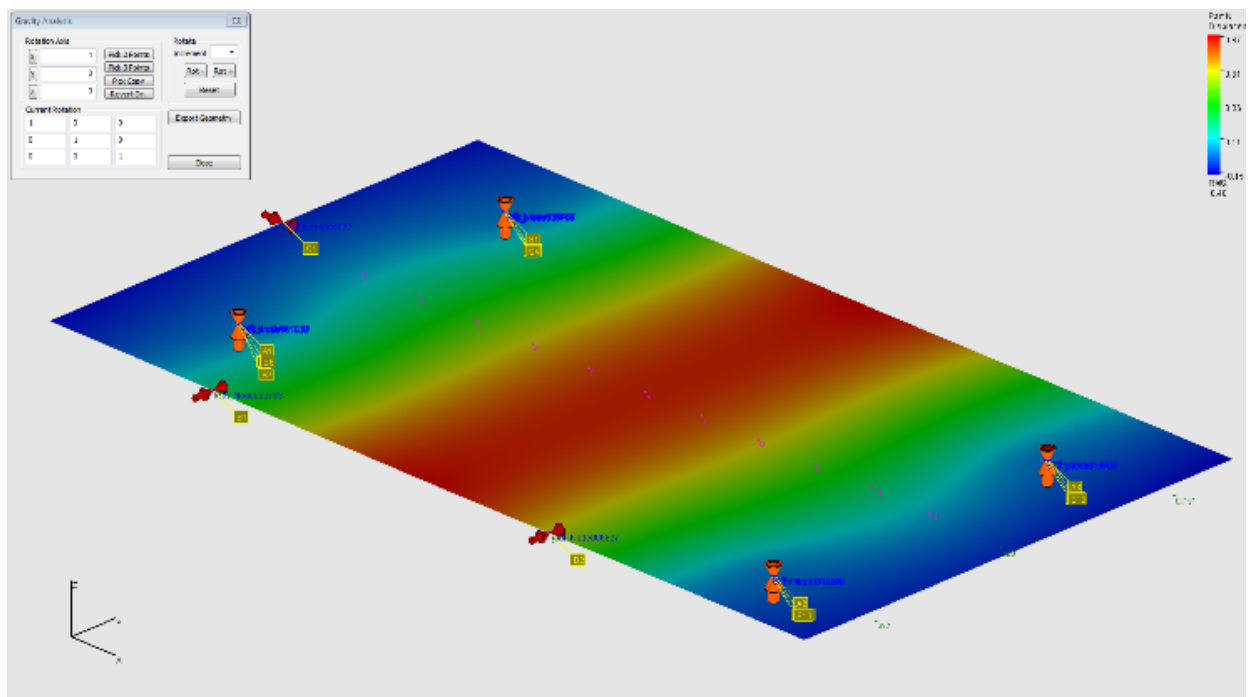
Figur 60. Steg (11) och (12) i metod 1

Med detta hade RD&T information om hur sammansättningen påverkade plåtarna. Då sammansättningen analyserades upptäcktes att metod 1 inte gav förväntade resultat och därför togs ytterligare en ny metod fram, vilken presenteras i avsnittet nedan.

B – Olika positioneringssystem för singeldetaljsmodellen



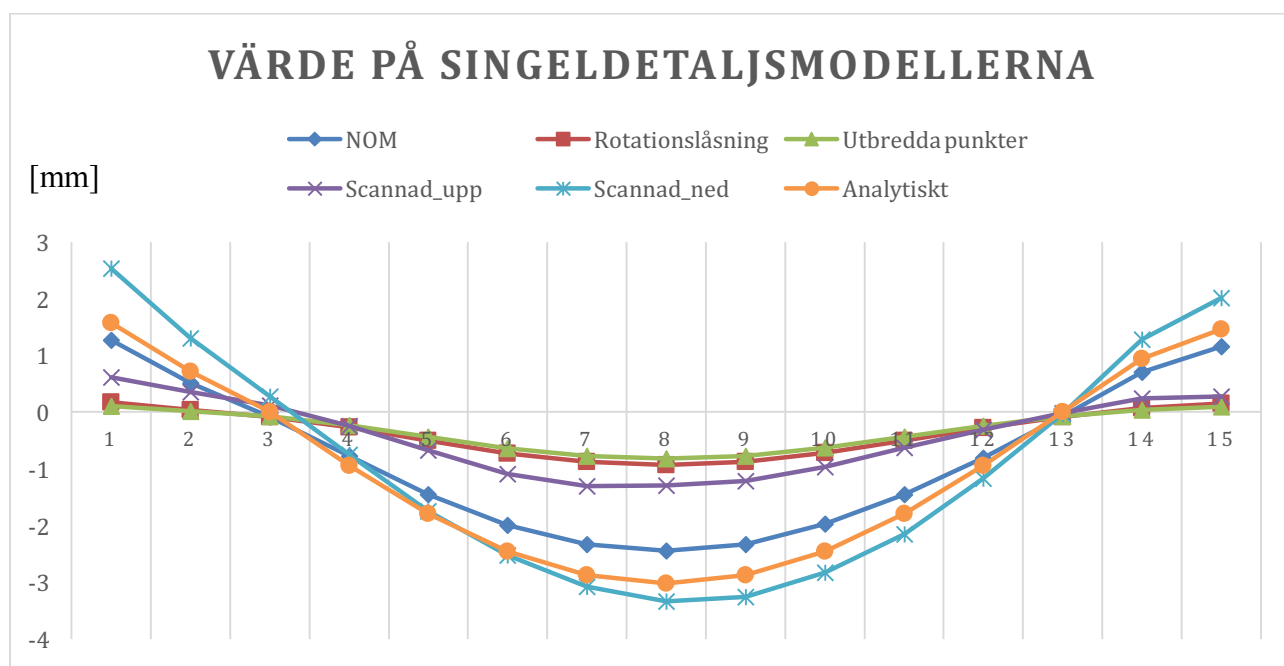
Positionerad enligt 4-2-1 system med rotationslåsning i samtliga punkter som låser i Z-led. Kallad "Rotationslåsning" i nästa bilaga.



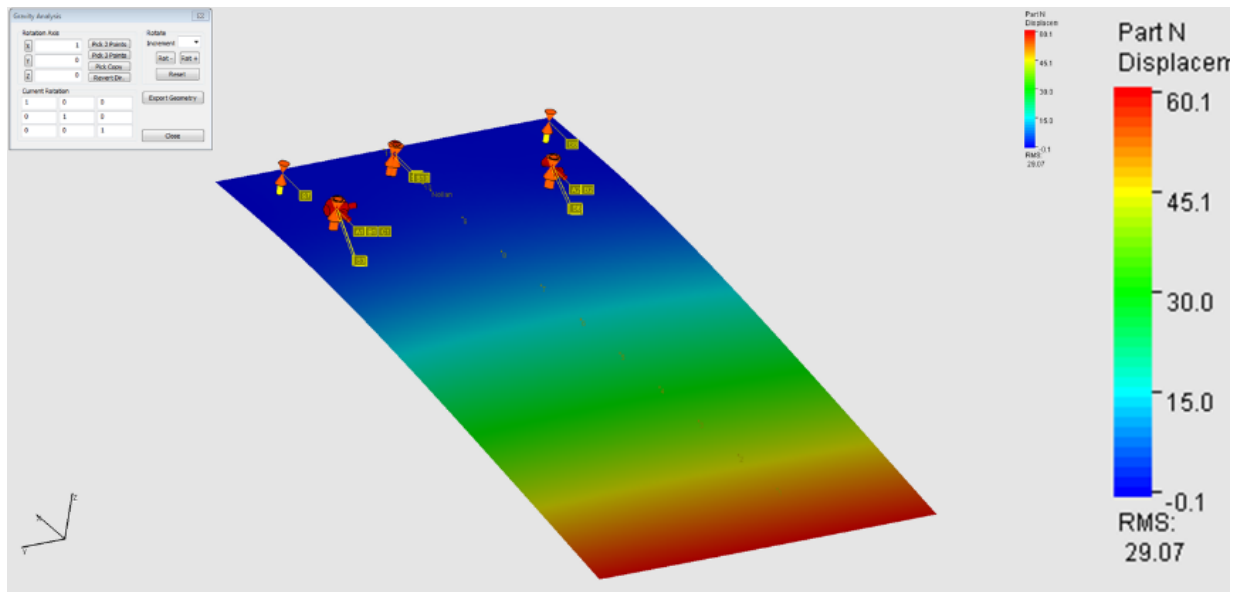
Positionerad enligt 16-2-1 system. Vilket innebär att varje referenspunkt som låser i Z-led har tre extra supportpunkter vardera runt om. Kallad "Utbredda punkter" i nästa bilaga.

C – Tabell och diagram över de 15 analyserade punkterna

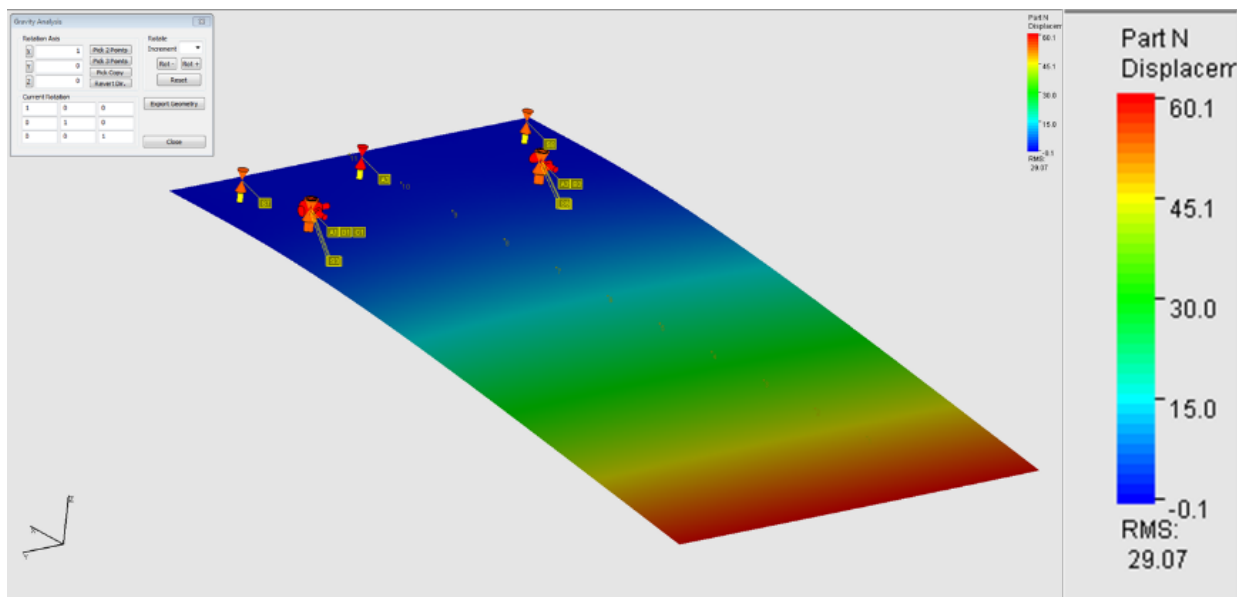
	NOM	Rotationslåsning	Utbredda punkter	Scannad_upp	Scannad_ned	Analytiskt
1	1.26877	0.17586	0.10391	0.61502	2.53716	1.57944
2	0.51351	0.04031	0.01306	0.3548	1.30679	0.71887
3	-0.08252	-0.08472	-0.07809	0.11642	0.27723	0
4	-0.77185	-0.27113	-0.2292	-0.24708	-0.75354	-0.94689
5	-1.45052	-0.50688	-0.43492	-0.66823	-1.7441	-1.79147
6	-1.99036	-0.72713	-0.63497	-1.08892	-2.52483	-2.45265
7	-2.32712	-0.87609	-0.77294	-1.3004	-3.0781	-2.87252
8	-2.44616	-0.92953	-0.82376	-1.29432	-3.33212	-3.01634
9	-2.33666	-0.8772	-0.77685	-1.21911	-3.25968	-2.87252
10	-1.97477	-0.71496	-0.62895	-0.9652	-2.82854	-2.45265
11	-1.45584	-0.50359	-0.43796	-0.62633	-2.15344	-1.79147
12	-0.80588	-0.2789	-0.24021	-0.30782	-1.17115	-0.94689
13	-0.06996	-0.08276	-0.07721	-0.01436	-0.02667	0
14	0.70378	0.07196	0.04049	0.24333	1.28486	0.94496
15	1.15678	0.15202	0.09858	0.27961	2.0107	1.46499



D - Olika positioneringssystem för nedhångsmodellen



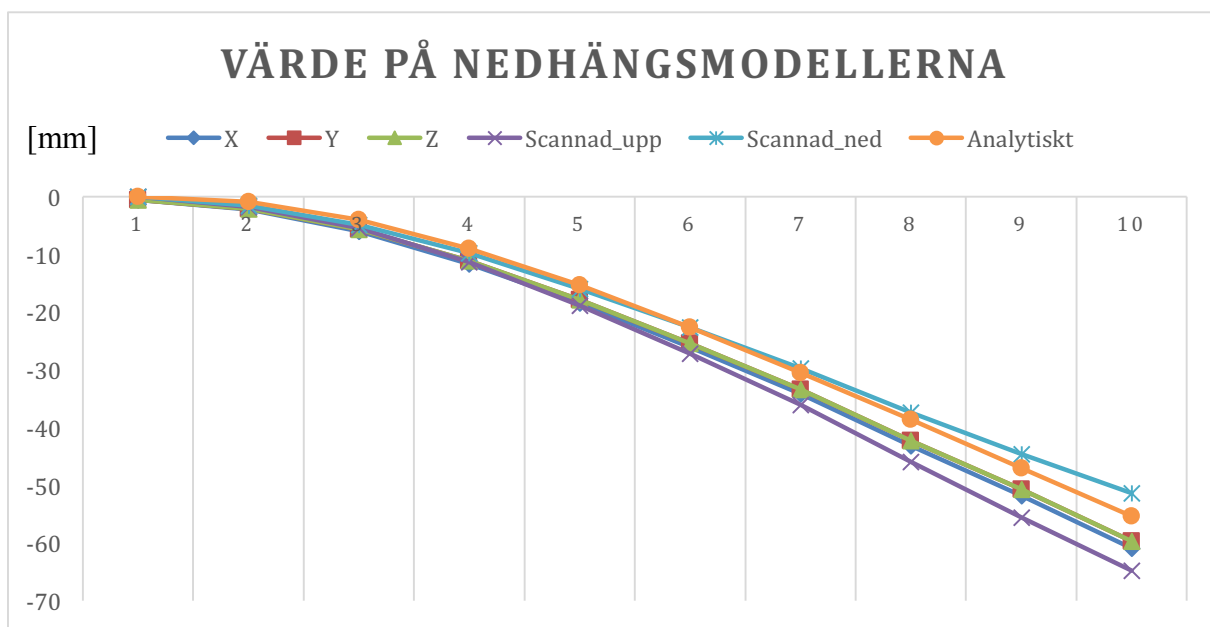
Positionerad enligt 14-2-1 system. Vilket innebär att tre av referenspunkterna som styr i Z-led har extra utbredda supportpunkter och att två av dem har rotationslåsning. Kallad "Y" i nästa bilaga.



Positionerad enligt 11-2-1 system. Vilket innebär att två av referenspunkterna som styr i Z-led har extra utbredda supportpunkter och att tre av dem har rotationslåsning. Kallad "Z" i nästa bilaga.

E - Tabell och diagram över de 10 analyserade punkterna

	X	Y	Z	Scannad_upp	Scannad_ned	Analytiskt
1	-0.5781	-0.5115	-0.5115	-	-	-
2	-2.2098	-2.057	-2.057	-1.6925	-1.5334	-0.8543
3	-5.9135	-5.6418	-5.6418	-5.3877	-4.8059	-4.0198
4	-11.6292	-11.0371	-11.0371	-11.2977	-9.7432	-9.002
5	-18.3645	-17.8308	-17.8308	-18.8285	-15.8968	-15.3206
6	-25.9856	-25.3193	-25.3193	-27.1288	-22.62	-22.5691
7	-34.1417	-33.3418	-33.3418	-36.0559	-29.6489	-30.415
8	-43.1271	-42.1849	-42.1849	-45.9129	-37.372	-38.5997
9	-51.741	-50.6642	-50.6642	-55.5449	-44.5388	-46.9383
10	-60.8274	-59.6093	-59.6093	-64.7791	-51.3635	-55.32



F – Tabell och diagram över de 10 analyserade punkterna i modell A, B och C

	A	B	C
1	-3.73	-3.73	-0.387
2	-4.39	-4.39	-2.22
3	-7.33	-7.33	-5.87
4	-12.7	-12.7	-11.2
5	-19.4	-19.4	-17.8
6	-27.1	-27.1	-25
7	-35.5	-35.5	-32.6
8	-44.8	-44.8	-40.9
9	-53.6	-53.6	-48.8
10	-62.8	-62.8	-57.2

