

# Simuleringbaserad Produktutveckling

---

Per Jäder

DIVISION OF PRODUCT DEVELOPMENT | DEPARTMENT OF DESIGN SCIENCES  
FACULTY OF ENGINEERING LTH | LUND UNIVERSITY  
2017

EXAMENSARBETE



# Simuleringsbaserad Produktutveckling

Metod för FlatFrog att implementera simulering i  
produktvecklingsprocessen

Per Jäder



**LUNDS**  
UNIVERSITET

# Simuleringsbaserad Produktutveckling

Metod för FlatFrog att implementera simulering i produktvecklingsprocessen

Copyright © Per Jäder 2018

*Publicerad av*

Institutionen för designvetenskaper  
Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet  
Box 118, 221 00 Lund

Ämne: Examensarbete i produktutveckling (MMKM05)

Avdelning: Produktutveckling

Huvudhandledare: Axel Nordin, LTH

Bitr. handledare: Daniel Gredinger, FlatFrog

Examinator: Giorgos Nikoleris, LTH

# Abstract

FlatFrog develops a system for interactive displays, containing a glass where its concave shape is critical for the functioning of the system.

By using simulation at an early stage of the product development process, the behavior of the glass and weak points in the structure can be detected even before prototyping. The purpose of the work was to simulate areas that, with relatively small means, can change the shape of the glass. Based on these analyzes, a method for FlatFrog has been developed, with the purpose for them to start using simulation effectively in the future. The analyzes show that the model is reliable, and can be modified by small means to test different variations of the design.

**Keywords:** Simulation, Product development, Interactive display

# Sammanfattning

FlatFrog utvecklar ett system för interaktiva displayer, med en påbyggnad innehållande bland annat ett glas vars konkava form är kritiskt för funktionen av systemet.

Genom att använda simulering i ett tidigt skede av produktutvecklingsprocessen kan glasets beteenden samt svaga punkter i strukturen upptäckas redan innan prototypbygge. Arbetet har haft som mål att genom simulering av befintligt system uppmärksamma områden som med relativt små medel kan ändra glasets form. Utifrån dessa analyser har en metod tagits fram för FlatFrog att i framtiden använda simulering på ett effektivt sätt. Analyserna visar att modellen är tillförlitlig, och kan med små medel ändras för att testa olika varianter på design.

**Nyckelord:** Simulering, Produktutveckling, Interaktiv display

# Förord

Jag vill tacka min mina handledare Axel Nordin och Daniel Gredinger.

Även stort tack till Scanscot Technology för deras uppbackning med kunskap, kontorslokal och mjukvara. Framförallt vill jag tacka Björn Lundin på Scanscot, som med sin expertis inom simulering samt med ett stort tålamod guidat mig genom arbetet.

Lund, Januari 2018

Per Jäder

# Innehållsförteckning

Akronym- och förkortningslista	10
1 Introduktion	11
1.1 FlatFrog Laboratories	11
1.2 Problembeskrivning	11
1.2.1 Bakgrund	12
1.2.2 Beskrivning av systemet	12
1.2.3 Mål	13
1.3 Avgränsningar/Osäkerheter	13
1.3.1 Glas	14
1.3.2 Packning	14
1.3.3 Display	14
1.4 Mjukvara	14
2 Metod	15
2.1 Teori	15
2.1.1 Beskrivning av ingående komponenter i ramen	15
2.1.2 Koordinatsystem vid mätning, montering och användning	16
2.2 Modellerings av glas och enkel ram med packning	16
2.2.1 Skapa konkav glasform utifrån fysiska mätdata	16
2.2.2 Klämning av glas utan moment	17
2.2.3 Klämning av glas med moment	17
2.2.4 Packningar	18
2.2.5 Testning av ändrad perimeter	19
2.2.6 Inverkan av gravitation	20
2.3 Mätning i rigg	20
2.4 Modellerings av mer komplex ram	21

2.4.1 Skapa skalmmodell av ramen	21
2.4.2 Kopplingar	24
2.4.3 Hopfästning av bakre och främre ram samt packning	24
2.5 Etablera metod för FF att använda simulering som stöd i framtida produktutveckling	26
2.5.1 Använda simulering i ett tidigt skede av produktutvecklingsprocessen	26
2.5.2 Genomförande i detta arbetet beskrivet kortfattat samt beskrivning på tänkt utfall	27
3 Resultat	29
3.1 Analys klämning på enkel modell, med och utan packning	29
3.1.1 Fritt stående glas	29
3.1.2 Klämd utan moment, utan inverkan av packning	29
3.1.3 Klämd utan moment, med packning	30
3.2 Verifiering mot fysisk testning	31
3.3 Analys klämning med ändrad perimeter	33
3.4 Klämning av ramverk	33
3.4.1 Fritt stående	34
3.4.2 Efter pålagd gravitation (monteringsläge)	34
3.4.3 Efter klämning	35
3.4.4 Upprest läge	35
3.5 Beteende packning	35
3.5.1 Friktion mellan packning och glas = 0	36
3.5.2 Friktion i mellan packning och glas = Rough (glidning sker ej)	36
3.5.3 Sammanställning förskjutning vid olika friktionskoefficient	37
4 Slutsats, Diskussion och vidare Rekommendation	38
4.1 Metod	38
4.2 Resultat	39
4.2.1 Förenklad modell	39
4.2.2 Jämförelse mot fysisk mätning	39
4.2.3 Mer komplex modell	39
4.2.4 Ändring av perimeterns böjning	40



4.3 Vidare rekommendationer	40
Referenslista	41
A.1 Data från Flatfrog, glas 1	42
A.2 Klämning med ändrad perimeter	43
Klämning med moment, perimeter: -1 mm långsida	43
Klämning med moment, perimeter: -1 mm långsida -0.5 mm kortsida	43
Klämning med moment, -0.5 mm nedre långsida	43
Klämning med moment, perimeter: -1 mm långsida -0.5 mm kortsida på plant glas	44
A.3 Klämning med ändrad friktionskoefficient	44
Friktion mellan packning och glas = 0	44
Friktion i mellan packning och glas = Rough (glidning sker ej)	45

# Akronym- och förkortningslista

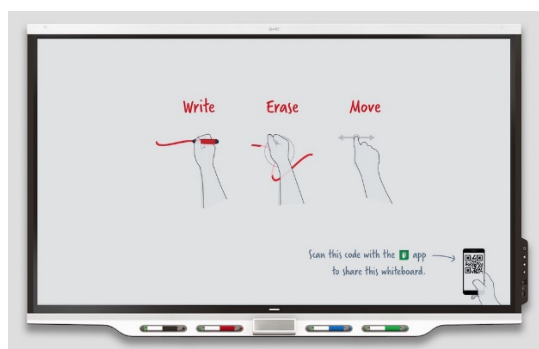
FF	FlatFrog
FK	Friktionskoefficient
FEM	Finita Elementmetod
FEA	Finita Element Analys

# 1 Introduktion

*Detta avsnitt beskriver en kortfattat introduktion till uppsatsen med information över företaget, problemformulering, avgränsningar och en beskrivning av rapportens disposition.*

## 1.1 FlatFrog Laboratories

FlatFrog grundades 2007 och är verksamma i Lund. Företaget utvecklar ett system för interaktiva skärmar med touchfunktion, lämpligen använda i konferenslokaler för att ersätta whiteboard och projektor. Systemet för den interaktiva skärmen är en påbyggnad till stora displayer, med ett glas som täcker hela displayens yta samt ett ramverk som håller det på plats.



**Figur 1. Display med beskrivning på tänkt användande. Bild från FF's hemsida [1]**

## 1.2 Problembeskrivning

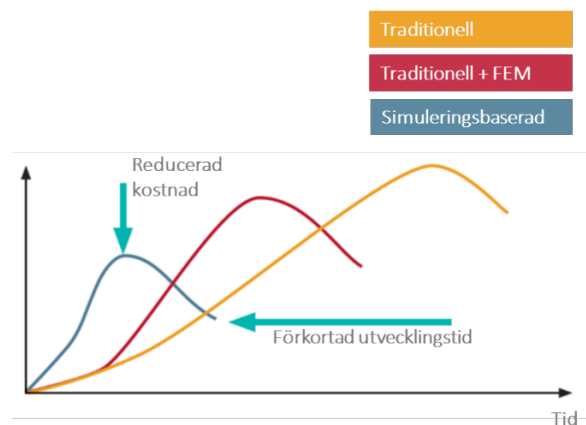
Projektet har som mål att integrera simulering i FlatFrog's befintliga utvecklingsprocess och genom detta kunna ge dem ett mer komplett underlag för hur deras design och montering bör vara för att glaset ska ha bibehållen form efter montering. Detta kommer ske genom att i ett digitalt FEM-verktyg bygga upp en enkel modell av glas och ramverk, verifiera mot fysiska tester samt att till sist utöka komplexiteten i modellen och försöka efterlikna systemets beteende i verkligheten.

### 1.2.1 Bakgrund

Systemet som FF utvecklar ska monteras på olika kunders displayer och slutmonteringen sker hos kunderna, vilket gör att systemet måste anpassas för varje specifik display. I dagsläget testas de mekaniska egenskaperna med hjälp av fysiska prototyper vilket är tidskrävande och dyrt. Det är även svårt att mäta vad som sker i strukturen i dolda delar av systemet, t.ex. packningar, vilket skapar osäkerhet.

Genom att ersätta fysiska tester med simulering minskar ledtider och kostnader i produktutvecklingsprocessen [2], vilket visualiseras i Figur 2. Detta framförallt då insatsen för att genomföra förändringar ökar exponentiellt med att processen fortlöper (Morgan & Liker, 2006).

Traditionell + FEM är en process där simulering inte är en naturlig del av produktutvecklingsprocessen, utan används först då problem uppstår. Detta t.ex. om prototyptestningen visar på brister och FEM används för att försöka ta reda på problemet. En simuleringsbaserad produktutveckling är en process där simulering används för att, till största möjliga mån, försäkra sig om att prototypen kommer visa önskat resultat.



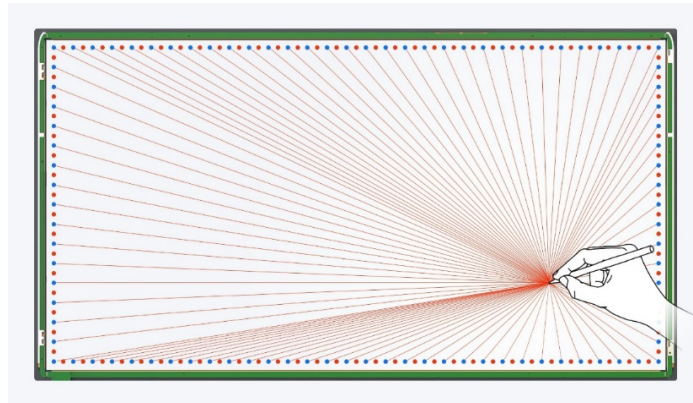
Figur 2. Värde med simuleringsbaserad produktutveckling. Bild från Scanscot Technology.

### 1.2.2 Beskrivning av systemet

Påbyggnaden består av ett glas som löper över hela displayens yta, samt en ram av extruderad aluminium som håller glaset på plats. I ramen sitter sändare/mottagare som skickar/tar emot IR-strålar längs glasets utbredning, vilket beskrivs i Figur 3. Genom att ta ut vektorer på strålarna kan en matris som beskriver vad som sker längs glasets utbredning skapas, för att sedan återspeglas i displayen.

Då strålarna ska ha fri väg över glaset är det kritiskt att glaset har en konkav form utan hinder i form av bubblor. Konkaviten möjliggör även att strålarna studsar på glaset och ger en höjd på ljusets väg över glaset.

Det finns många ingående komponenter i systemet som kan bidra till ändring av glasets slutliga form, men det här arbetet kommer fokusera på ram och inspänningen av glaset i denna.



Figur 3. Beskrivning på IR-strålarnas väg och tillika mappning av ytan. Bild från FF.

### 1.2.3 Mål

- Med hjälp av simulering på en förenklad modell påvisa områden i systemet där det är möjligt att styra formen på glaset. Resultaten från simulering av en enkel modell, där det är möjligt att jämföra med fysisk mätning, bör vara rimliga men inte nödvändigtvis exakta.
- Utveckla en metod för FlatFrog att använda simulering vid kommande modeller och därmed minska ledtider genom minskad fysisk testning. Detta genom att utöka den förenklade modellen till en mer komplex modell, där olika beteenden såsom gravitationens och packningars inverkan ska studeras.

## 1.3 Avgränsningar/Osäkerheter

Då systemet är komplext med många ingående komponenter ska en förenklad och generell modell skapas för att användas i framtida tester. Arbetet kommer fokusera på hur glasets form ändras och kan styras av de komponenter som har kontakt med glaset, dvs ramen och packningar. Två storlekar, från två olika system studeras. För system 1, som i arbetet benämns som glas 1, finns inget komplett CAD-underlag men däremot mätdata för glasets form vid klämning. För system 2, som benämns

som glas 2, finns vid arbetets uppstart ingen mätdata för glasets form men däremot komplett CAD-underlag för systemet.

### 1.3.1 Glas

För glas 1 finns mätdata som ej är fullständig för att beskriva glaset exakt (65 punkter, se bilaga), vissa punkter i glaset får extrapoleras samt låtas simuleras fram.

För glas 2 finns mer komplett data, hela vägen ut mot glasets rand, vilket gör att extrapolering ej är nödvändigt.

### 1.3.2 Packning

Viss osäkerhet finns gällande packningens beteende, vilket redovisas under arbetet. Packningen kommer antas ett visst beteende genom jämförelse av tillgängliga data av packning med liknande värden i känd kompression.

### 1.3.3 Display

Hur displayen påverkar glasets form kommer inte beaktas då det finns för stor osäkerhet kring denna. Displayens komplexa form, antalet ingående parter, massfördelning samt osäkerheten om styvheten i denna gör att displayen inte beaktas utan anses som oändligt styv.

## 1.4 Mjukvara

För simulering har Abaqus använts. Abaqus är en FEA-lösning som hanterar linjära och olinjära simuleringar i en 3D-miljö. CAD-underlag har hämtats med tillåtelse från FlatFrog och dess kunder, där CREO Parametrics har använts för att skapa dessa.

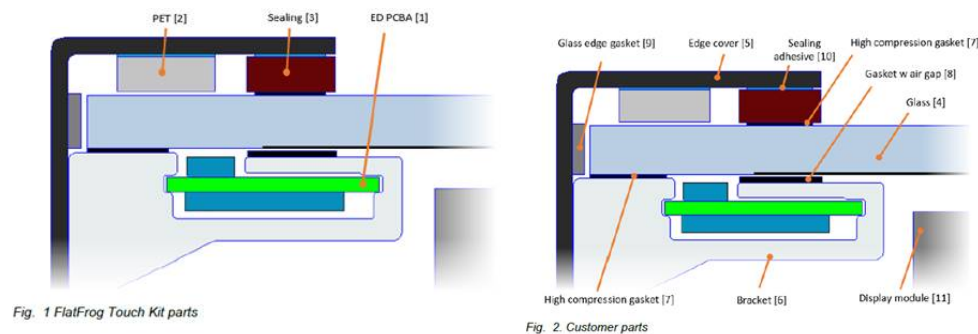
## 2 Metod

Detta avsnitt beskriver teori om systemets uppbyggnad, modellering i Abaqus på en enkell modell samt vidareutveckling mot en mer komplex modell.

### 2.1 Teori

#### 2.1.1 Beskrivning av ingående komponenter i ramen

Ramen består (grovt beskrivet) av åtta extruderade aluminiumprofiler, där de fyra på baksidan av glaset fäster in i resterande system via displayen. De fyra profilerna på framsidan skruvas ihop med motsvarande baksida vilket klämmer ihop glaset. I bilden nedan är aluminiumprofilen ”fram” beskriven som *Edge cover* och aluminiumprofilen ”bak” som *Bracket*. Längs *Edge cover* sitter *Sealing Window* som har som funktion att släppa igenom IR-ljus och blockera resterande våglängder. Där glaset och *Bracket* samt *Edge cover* har kontakt ligger en styv packning, beskriven som *High compression gasket*. I rapporten kommer *Edge cover* benämnas som främre ram och *bracket* som bakre ram.



Figur 4. Beskrivning av ingående komponenter som är aktuella för arbetet. I figur t.v. visas komponenter som ägs av FF, i figur t.h. komponenter som ägs av FF's kund. Bild från FF.

### 2.1.2 Koordinatsystem vid mätning, montering och användning

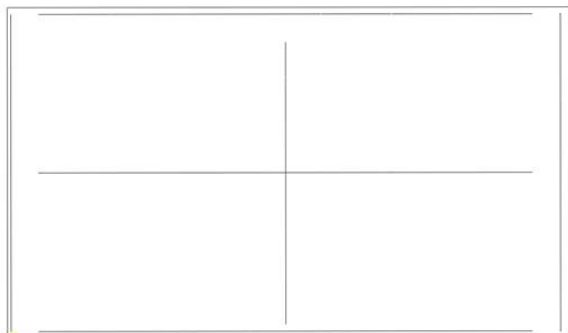
I arbetet är koordinatsystemet satt med x- och y-riktning i glasets utbredning samt z-riktning i glasets utböjning mot användaren. I vissa bilder benämns dem 1-,2-,3-riktning.

Vid fysisk mätning av glasets form ”fritt stående” samt efter klämning i rigg är glasets ståendes med en långsida på fast underlag, d.v.s. glasets utbredning är i x- och y-riktning. Glasets konkavitet där största förskjutning är omkring center av glasets, är i negativ z-riktning. Vid montering läggs systemet med användarsidan (positiv z-riktning) ner mot ett fast underlag. Vid användning är glasets upprätt likt vid mätning av glasets.

## 2.2 Modellering av glas och enkel ram med packning

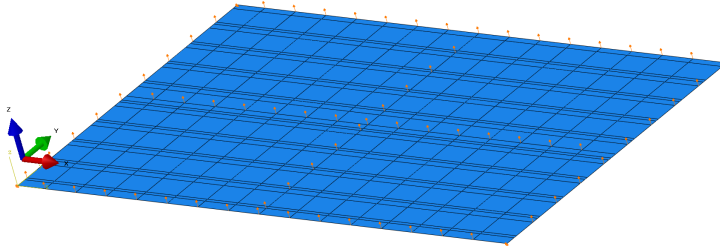
### 2.2.1 Skapa konkav glasform utifrån fysiska mätdata

Utifrån mätdata från FF där ett glas (glas 1) ståendes fritt med stöd längs den undre kanten skapas en modell i Abaqus. Glasets är i grundutförande från glasleverantör konkavt, detta för att slippa skapa konkavitet enbart genom inspanning. Då mätpunkter ej finns på hela glasets yta sätts kända värden som påtvingade förskjutningar, för att låta materialets styvhet forma glasets i icke kända punkter. I och med de pålagda förskjutningarna uppstår inre spänningar i glasets. För att undvika dessa skapas en spänningslös kopia på det deformerade glasets, då uppgifter om storleken på dessa spänningar i verkligheten saknas. Det nya glasets har då rätt form men utan inbyggda spänningar.



Figur 5. Glas 1600.68 x 929.25 mm med linjer med känd mätdata.





Figur 6. Pålagda förskjutningar (pilar) på en plan yta.

### 2.2.2 Klämning av glas utan moment

FF har sedan tidigare mätdata på glasets form efter klämning mellan två ramar med lika storlek, därför skapas en modell med samma förutsättningar för att avgöra rimligheten inför fortsatta simuleringar.

En ram på fram- respektive baksidan av glasets modelleras, båda med avståndet 11 mm från glasets kant och med bredden 4 mm, som är bredden för packningen mellan främre/bakre ram och glas i verkligheten. I Figur 7 ses bägge ramarnas placering sett framifrån, där den större är placerad bakom glasets, och den mindre framför.



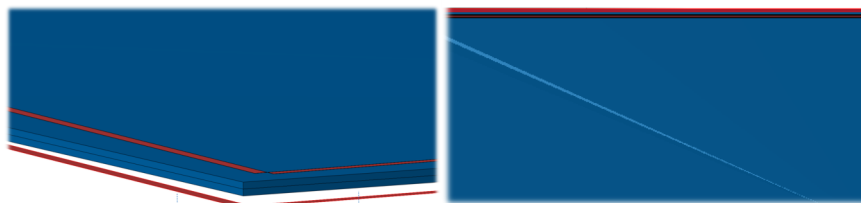
Figur 7. Ramens (inre röd linje) placering sett framifrån

Ramarna är stelkroppar, dvs. har oändligt hög styvhet. Detta för att endast beakta hur glasets beter sig vid en påtvingad klämning, utan att ta hänsyn till deformation i ramarna. Den bakre ramen är i analysen helt låst, medan den främre ramen endast är låst i glasets plan (d.v.s. x- och y-riktning). Klämning sker genom att förflytta den främre ramen mot den bakre (d.v.s. i negativ z-riktning). Förflyttningen slutar vid 3.88 mm från den bakre ramen, d.v.s. glasets tjocklek.

### 2.2.3 Klämning av glas med moment

Motsvarande görs för ramar med olika storlek, detta för att påtvinga ett moment i glasets mellan ramarna, vilket är förutsättningarna i verkligheten (se avsnitt 2.1.1 figur 4). Ramen på baksidan har samma mått som glasets, dvs 1600.68 x 929.25 mm,

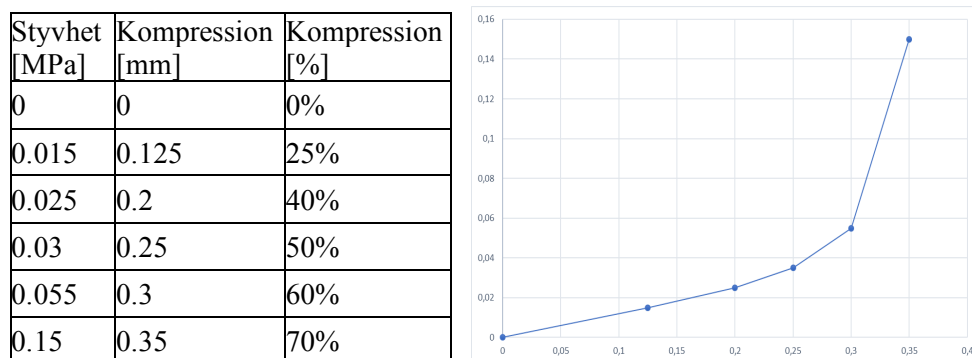
och med en bredd på 4 mm. Ramen på framsidan har måtten 1578.68 x 907.25 med bredden 4 mm. I Figur 8 visas placeringen för dessa.



Figur 8. Ramarnas placering sett framifrån (t.v.) samt från sidan (t.h.)

## 2.2.4 Packningar

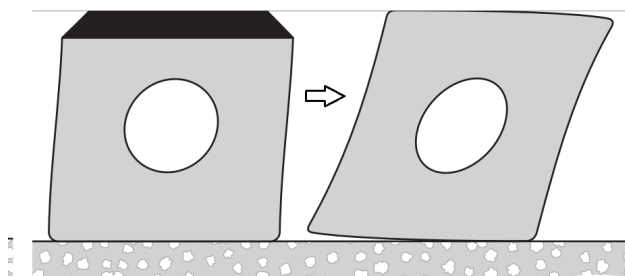
Packningens styvhet tros ha inverkan på glasets form och detta ska beaktas i modellen. FF använder sig av packning PORON SRS 40P från Rogers Corp. där det är känt att packningens styvhet är ca 0.025 MPa vid 40% kompression. Då kända packningsdata är begränsad i övrig kompression skapas en modell utefter kända värden på packning PORON 4790-92 Extra Soft, vilket har motsvarande styvhet vid 40% kompression. Packningen uppskattas genom tidigare tester av FF till att komprimeras 40%, d.v.s. från 0.5 mm till 0.3 mm.



Figur 9. Packningens styvhet i förhållande till kompression.

Packningens beteende i transversellt led, x- och y-riktning, finns ej data på. Det är sagt från leverantör av packning att glidning mellan packning och glas är mycket liten. Deformationen på en generell packning som utsätts för skjuvkrafter gör att glaset tillåts att flyta ut i transversellt led. Denna deformation kan beskrivas som en funktion av skjuvkraften, vilket i sin tur är en funktion av kontakttrycket, m.a.o. packningens deformation i normalriktning. Det är därför komplext att beskriva

packningens beteende i alla tre riktningar och har därmed förenklats till att endast beskriva beteendet i normalriktning.



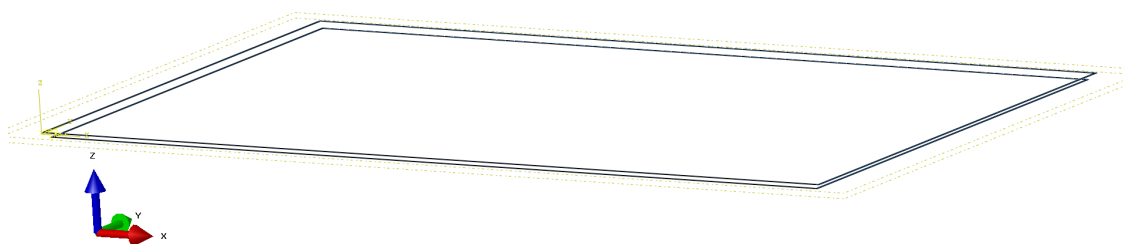
Figur 10. Deformation av generell packning vid skjuvkrafter på ovsidan

Modellen för packningen är beskriven med en exponentiell kontakt, likt en fjäder, där kraften från kontakten i z-riktning ökar exponentiellt med kompressionen. Då packningen är 0.5 mm tjock initieras kopplingen när glaset är 0.5 mm från ytan där kopplingen är tilldelad. I transversellt led är packningen helt styv.

### 2.2.5 Testning av ändrad perimeter

Glaset är, fritt ståendes, böjd längs perimetern med utböjning i negativ z-riktning. Vid klämning tvingas glaset att rätas ut längs kanterna, vilket medför att glasets globala konkavitet minskar.

För att kunna styra glasets form med relativt små insatser ska perimeterns utböjning i z-led testas i olika varianter. Detta testas i olika varianter med böjning på lång- eller kortsidor, eller både och. I Figur 11 visas ett ramverk med bägge långsidor böjda, där största förskjutning är 1 mm på mitten av långsidorna.



Figur 11. Ramverk utan glas. Långsidor böjda med största förskjutning 1 mm i negativ z-riktning.

#### 2.2.5.1 Långsidor -1 mm

Samtliga långsidor är böjda med största förskjutning 1 mm i negativ z-riktning. Samtliga kortsidor är raka.

#### 2.2.5.2 Långsidor -1 mm, Kortsidor -0.5 mm

Samtliga långsidor är böjda med största förskjutning 1 mm samt kortsidor 0.5 mm i negativ z-riktning.

#### 2.2.5.3 Undre långsida -0.5 mm

Övre långsida är böjd med största förskjutning 0.5 mm i negativ z-riktning. Resterande långsidor samt kortsidor är raka.

#### 2.2.5.4 Undre långsida +0.5 mm

Undre långsida är böjd med största förskjutning 0.5 mm i positiv z-riktning. Resterande långsidor samt kortsidor är raka.

### 2.2.6 Inverkan av gravitation

Den fysiska mätningen av FF har gjorts på ett stående glas, d.v.s. gravitationen verkar i negativ y-riktning. I simulerad klämning för verifiering av modellens rimlighet mot de fysiska testerna är gravitationen ej beaktad. Detta då indata på glasets form redan påverkats av gravitation vid mätning av det. Detta är något som endast kan undvikas genom att låta den fysiska mätningen av glaset ske i viktlost tillstånd.

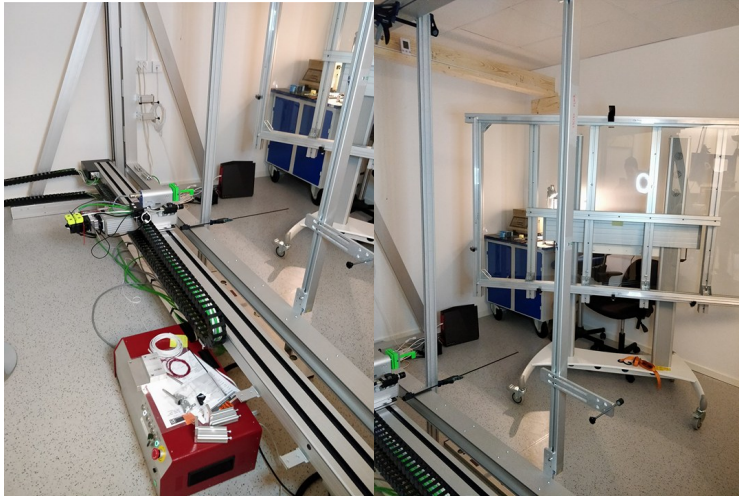
Rimligtvis har gravitationen störst inverkan på glasets form när glaset ligger med användarsidan ner, d.v.s. gravitation i positiv z-riktning. Detta är glasets läge vid montering, d.v.s. när klämning sker. Glasets konkava form (förskjutning i negativ z-riktning) tros minska som följd av gravitationens inverkan i detta läget. Efter montering reses displayen upp och gravitationen verkar återigen i negativ y-riktning.

## 2.3 Mätning i rigg

För att säkerställa modellens rimlighet i ett tidigt stadie verifieras simuleringarna mot fysiska tester framtaget av FF. I test 1 mäts ett glas ståendes med minimal inspänning så att det kan anses stå fritt utan någon last utöver gravitation.

I test 2 kläms glaset ihop mellan två stela ramar på bak- och framsida 13 mm in från glasets kant.

Mätdata samlas in genom att en sensor sveper över glaset och tar ut z-värde för respektive x- och y-värde i en bestämd matris. Mätningen sker mekaniskt med en tapp som vid en viss x- och y-koordinat rör sig mot glasets yta med 0.1 mm per steg. Noggrannheten blir därmed 0.1 mm.



Figur 12. Rigg för mätning. Bild tagen på Flatfrog HQ.

## 2.4 Modellering av mer komplex ram

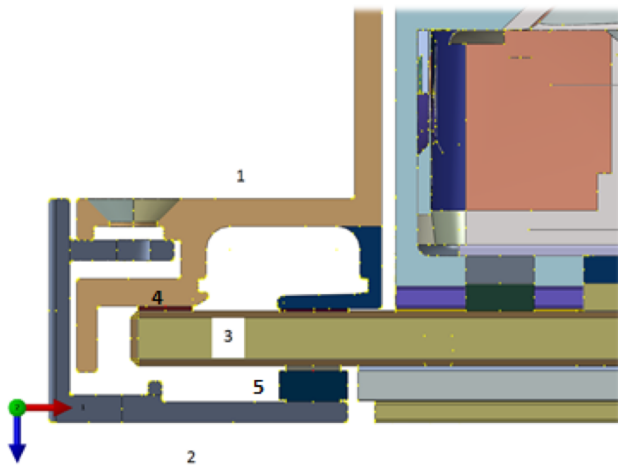
Systemet som valt att simuleras har större glas (glas 2, 1963.9 x 1147.5 mm) än tidigare simulerat glas (glas 1, 1600.7 x 929.3). Detta för att ha komplett CAD-underlag på hela systemet vilket inte finns för systemet med glas 1.

### 2.4.1 Skapa skalmodell av ramen

De delar i systemet som anses ha störst inverkan på glasets form är ramverket samt packning. Då ramens geometri är relativt komplex skapas en skalmodell av denna utifrån tvärsnittet på ingående delar. Återstående komponenter i systemet har viss inverkan på glasets form, men storleken och komplexiteten på resterande system gör att det är nödvändigt att förenkla den.

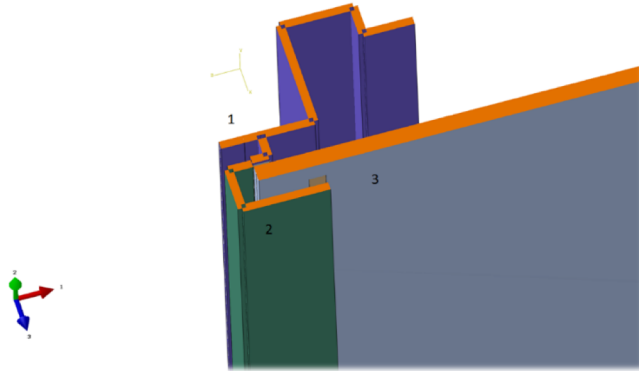
De delar i systemet som ej är med i modellen men trots det kan ha inverkan på glasets form är framförallt displayen, med dess stora vikt och det faktum att ramen fäster i in i denna. Osäkerheten kring displayens massfördelning och styvhet gör att modellen antar displayen som mycket styv, samt att infästning mellan ram och display approximeras till stela.

Genom att glaset vid montering minskar i konkavitet samt går att med handkraft trycka in i önskad position, är vissa mått i ramen inte nog stora för att hantera en hopklämning i endast en riktning, vilket är förutsättningarna i simuleringen. Därför modifieras ramen så att hopklämning i endast z-riktning möjliggörs. I Figur 13 visas tvärsnitt från CAD med bakre ram (1) med packning (4) längst ut på baksidan av glaset (3). Främre ram (2) med packning på *Sealing Window* (5).

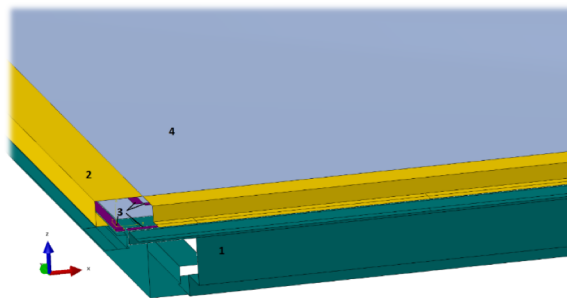


**Figur 13. Tvärsnitt av system i CAD från FF. 1= bakre ram, 2= främre ram, 3 = glas, 4= packning bak, 5= Sealing Window + packning fram.**

I Figur 14 visas den förenklade modellen i Abaqus i ett tvärsnitt där synliga ramdelar (renderad tjocklek) från modell i Figur 13 visas. I Figur 15 visas samtliga ramdelar (skal, ej renderad tjocklek), samt glas och ytor för packningar.



**Figur 14. Modell i Abaqus där ramens geometri är förenklad till skal (med renderad tjocklek 2 mm) . 1 = bakre ram 2 = främre ram 3 = glas.**

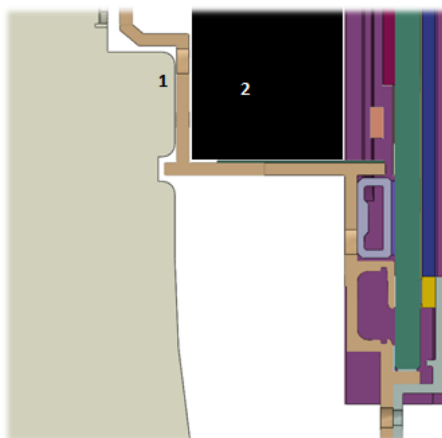


**Figur 15. Bakre ram (1), främre ram (2), yta packning (3) samt glas (4).**

## 2.4.2 Kopplingar

Koppling mellan främre och bakre ram ska agera likt att dessa är hopskruvade i 15 punkter längs respektive långsida, samt i 5 punkter längs respektive kortsida. Under analys rör sig dessa kopplingspunkter mot varandra för att sedan bli statiska när avstånd mellan bakre och främre ram vid packningens placering (i z-riktning) är 4.6 mm (glas 4 mm + 2 x 0.3 mm komprimerad packning). Detta visas i Figur 18 (1).

Då analysen avgränsats till glas och ram kan ej displayens styvhet beaktas. Modellen har därför låsts för förskjutningar på den yta som fäster in i display (2) och upphängningsanordning (1), vilket visas i Figur 16.

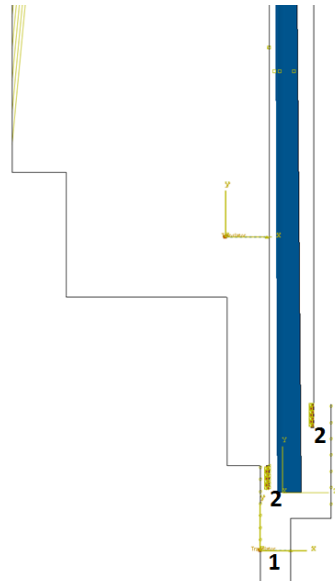


Figur 16. Tvärsnitt av system med infästning av bakre ram i resterande system (1). Display visas som en svart box (2).

## 2.4.3 Hopfästning av bakre och främre ram samt packning

I modellen finns ett mellanrum mellan ram och packning (2), detta för att det i färdig produkt och CAD-modell sitter en s.k. *Sealing Window*. Den har som funktion att släppa igenom IR-ljus till och från sensorerna. Då den anses ha försumbar inverkan på styvheten hos ramen är den borttagen ur modellen. Istället har ram och undre yta för packning, vilken har tilldelats en låg styvhet, låsts stelt till varandra mellan noder på packningsyta och närliggande noder på ram. Detta medför att ramen följer packningsytans deformation/förskjutning lokalt, och vice versa. Ramens förskjutning är därmed inte direkt beroende av packningens deformation, utan snarare av kontakttrycket (som ökar exponentiellt med packningens deformation) på packningens undre yta. I Figur 17 visas en förenklad modell av motsvarande CAD i Figur 16.



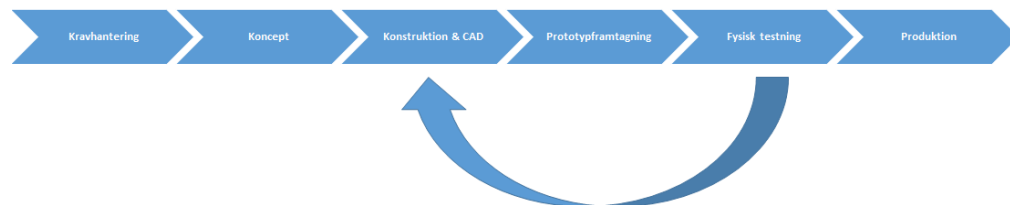


**Figur 17. Tvärsnitt av modell. 1 = mellan bakre och främre ram 2 = Placering packning (samt mellanrum mellan ram och packning).**

## 2.5 Etablera metod för FF att använda simulering som stöd i framtida produktutveckling

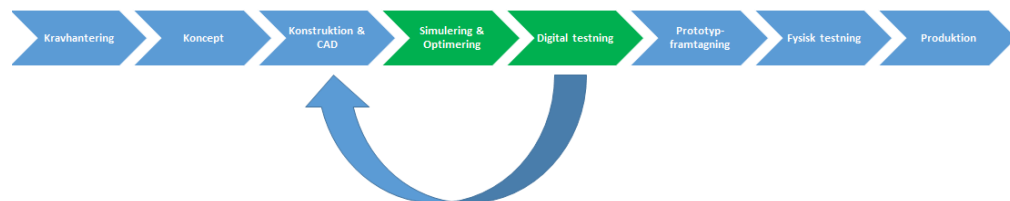
### 2.5.1 Använda simulering i ett tidigt skede av produktutvecklingsprocessen

I en traditionell produktutvecklingsprocess sker testning först på en prototyp, vilket gör att det i många fall finns stor osäkerhet om konstruktionen faktiskt har önskat resultat. Upptäcks fel får konstruktören ändra de parametrar som anses kunna ligga till grund till problemet, för att sedan på nytt bygga en prototyp som testas.



**Figur 18.** Schematisk bild av traditionell produktutvecklingsprocess. Bild från Scanscot Technology.

Genom att använda simulering direkt efter konstruktionsfasen kan fel i konstruktionen tidigt uppdagas och ändras, och på så sätt undvika att testa systemets beteende först i prototypstadiet. När konstruktionen är godkänd efter simulering kan en prototyp byggas och testas för att bekräfta detta.



**Figur 19.** Schematisk bild av simuleringsbaserad produktutvecklingsprocess. Bild från Scanscot Technology.

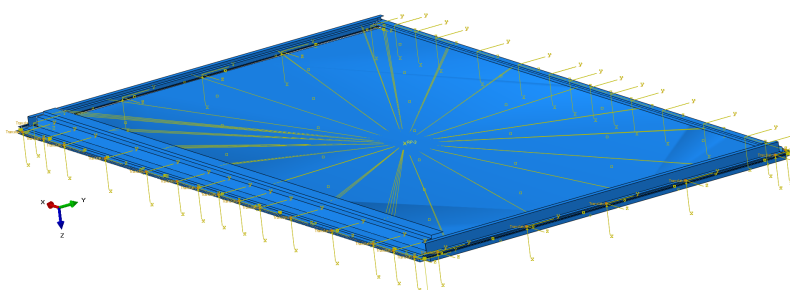
## 2.5.2 Genomförande i detta arbetet beskrivet kortfattat samt beskrivning på tänkt utfall

1. **Skapa glasets form.** Tidigare har begränsade mätdata funnits och vissa värden har extrapolerats fram. Med kända värden kan den globala formen på glaset tas fram genom att låta kända nollpunkter, dvs hörnen, vara låsta för att sedan lägga på tvingade förskjutningar i de kända punkterna. Glasets styvhet låter då resterande punkter följa efter och en global konkavitet skapas.
  - i) Under arbetets gång har FF uppgraderat sina mätinstrument och numera finns mer fullständiga data, beskrivet i kap. 2.3. Detta medför att mätdata kan importeras till förslagsvis Matlab för att skapa en yta som sedan importeras till Abaqus.
2. **Klämma ihop glas mellan två ramar med samma storlek, motsvarande mätriggens dimensioner.** För att verifiera glasets beteende vid enkel klämning mot fysiska tester kan ett enkelt test göras för att säkerställa att modellen är rimlig.
3. **Klämma ihop glas mellan två ramar motsvarande storlek/omkrets på kontaktytor (packning) på tänkt system.** I detta stadiet finns utrymme att testa olika böjning på perimetern (ramen) samt olika avstånd mellan packning på respektive sida om glaset. Ökas avståndet i x- och y-riktning skapas ett större moment, samt att om avståndet i z-riktning ändras, kan en mer ”tight” klämning skapas med större klämkraft och moment som utfall.

Då ytan för packning är skild från ramen kan den bytas ut mot en yta med önskad böjning utan att byta hela ramen.
4. **Testa olika styvhet på packning.** Med en styvare packning kan lokal gorm/buckling längs perimetern tvingas att följa ramens form. Med en mjukare har glaset större frihet att formas av egen styvhet, dock kan lokala bucklingar lättare uppstå.
5. **Inverkan av gravitation.** Då systemet under montering ändrar riktning från upprest till liggande samt återigen till stående, ändras riktningen för vilken gravitationen verkar i. Då gravitationen har stor påverkan på glasets utböjning i liggande läge är det ett beteende som bör beaktas och testas för att eventuellt kunna styra.
6. **Skapa modell av mer fullständigt system.** Om tidigare enkla simuleringar har givit önskat resultat, d.v.s. en godkänd konkavitet på glaset, bör detta även testas på ett mer komplext system. Ramen bör vara skalmodellerad för att få en enklare *meshning* med färre element vilket leder till snabbare analys. Kopplingar mellan ramens komponenter där skruvar finns bör förenklas till styva kopplingar då styvheten på skruvarna och den lokala styvheten kring hålen har liten inverkan på den globala styvheten och därmed glasets form.
  - 6.1. I verkligheten fäster den bakre ramen in i resterande system med hjälp av skruvar. I modellen kopplas hela den ytan där skruvhål finns till en gemensam punkt, som i sin tur låses i alla förskjutningar. Detta för att ytan

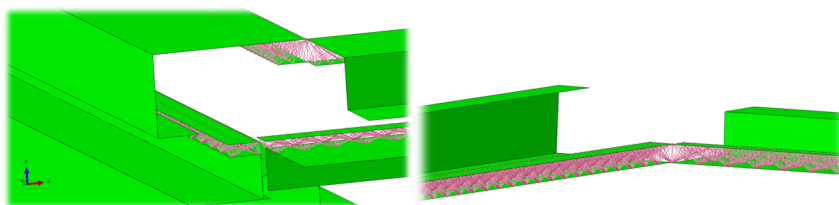
anses ha försumbart liten möjlighet att röra sig efter fastskruvning. I Figur 20 ses kopplingarna längs glasets plan från bakre ytan på bakre ramen sammanstråla till en mittpunkt.

- 6.2. Skruvar som sammankopplar främre och bakre ram approximeras till kopplingar som endast tillåts röra sig längs sin egen längsaxel. En styvare koppling med radie kring punkterna för infästning i respektive ramhalva motsvarande radien för skruvhuvud/mutter tilldelas. Detta för att kopplingen annars frestar på de närliggande elementen mer, i.o.m mindre utbredning. Vid hopklämning ges kopplingarna en förskjutning mot varandra, som avslutas när ytorna för packning är på önskat avstånd från varandra. I Figur 20 är kopplingarna fördelade runt glasets omkrets med godtyckligt antal och avstånd mellan varandra, och med längsaxel i y-riktning.



**Figur 20. Koppling från bakre ram till styv punkt samt kopplingar mellan bakre och främre ram**

- 6.3. Ram och packning tilldelas en styv koppling mellan ytorna, där varje nod i ram är kopplat till närmaste noder i packningens undre yta. Genom att låta ram och yta för packning vara separerade kan olika former (böjning) på kontaktytan testas och enkelt bytas ut, utan att ändra ramens globala form. I Figur 21 visas denna koppling där varje rött streck beskriver en koppling mellan noder på respektive yta. En nod på ytan för packning är kopplad till de närliggande noderna på ramens yta och påverkar därmed dessa lokalt vid deformation/förskjutning. Ramens globala form påverkas därmed av den ackumulerade kraften från samtliga noder, samt ramens styvhet.



**Figur 21. Koppling mellan ram och yta för packning**

## 3 Resultat

*Detta avsnitt redovisar resultat från simulering i Abaqus med teori och förklaring på dessa.*

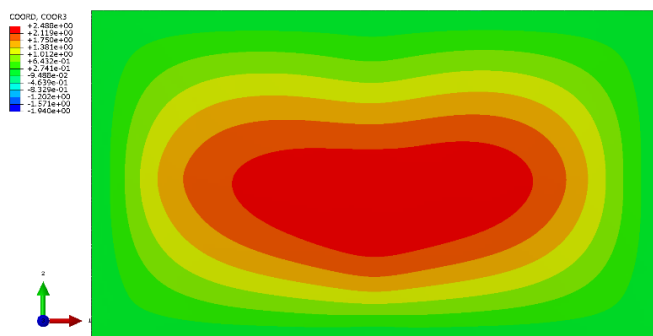
### 3.1 Analys klämning på enkel modell, med och utan packning

Nedan är resultaten från simuleringarna redovisade. Förskjutning Mid-LL/SS är skillnaden mellan z-värdet i mitten av glaset och medelvärdet av z-värdet på mitten av bägge långsidor/kortsidor längs randen, där enheten är i millimeter.

#### 3.1.1 Fritt stående glas

Förskjutning Mid-LL: 2.73 (mm)

Förskjutning Mid-SS: 3.88



Figur 22. Grafiska förskjutningsdata. Fritt stående glas.

#### 3.1.2 Klämd utan moment, utan inverkan av packning

Förskjutning Mid-LL: 2.72

Förskjutning Mid-SS: 2.7

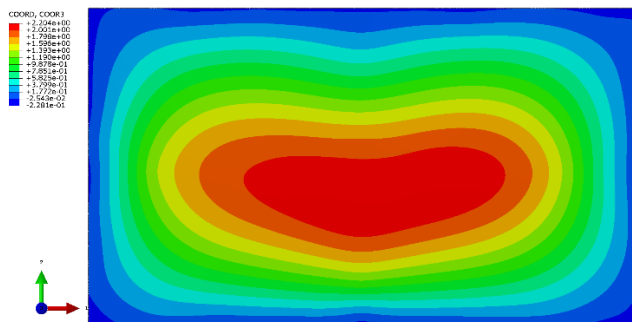


Figur 23. Grafiska förskjutningsdata. Klämd utan moment, utan packning.

### 3.1.3 Klämd utan moment, med packning

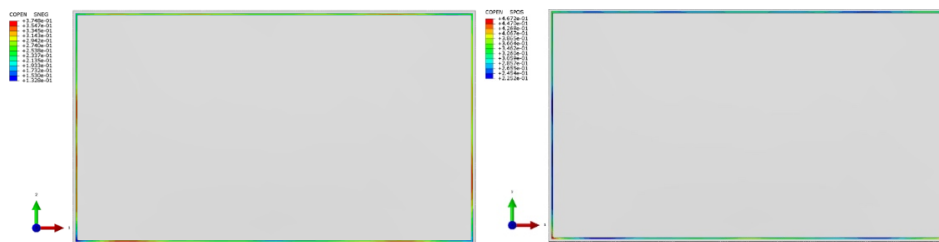
Förskjutning Mid-LL: 2.19

Förskjutning Mid-SS: 2.14



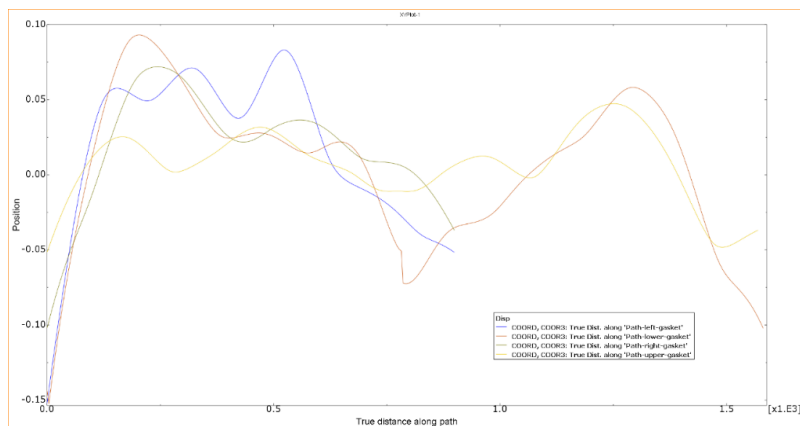
Figur 24. Grafiska förskjutningsdata. Klämd utan moment, med packning.

COPEN SNEG/SPOS är avstånd mellan ram och glas där packning sitter, vilket visas i Figur 25. Packning har kontakt med glas när COPEN SNEG/SPOS <0.5 mm. Önskad komprimering av packning ~0.3 mm. Större avstånd medför mindre komprimerad packning.



**Figur 25. Komprimering av packning längs perimetern. Vänstra bilden visar packning baksida. Högra bilden visar packning framsida.**

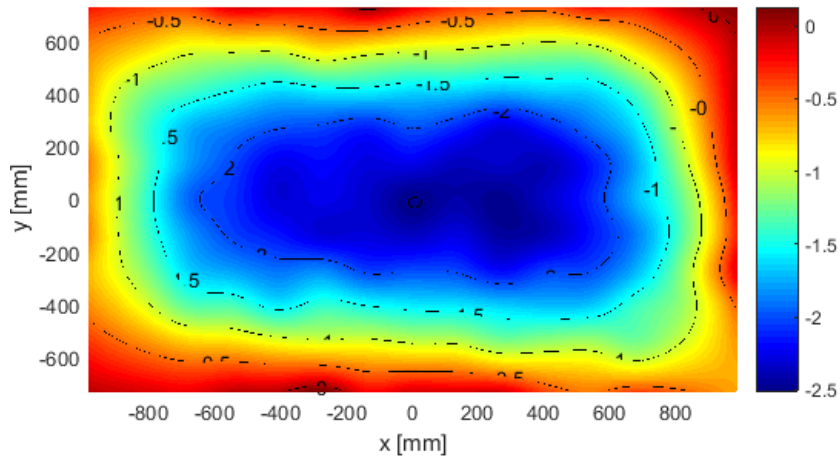
En studie över variationen i z-riktigt längs perimetern gjordes för att se hur packningens kompression varierar. Detta påvisar att packningen ej är jämt komprimerad längs perimetern, vilket kan kopplas till packningens styvhet/komprimering.



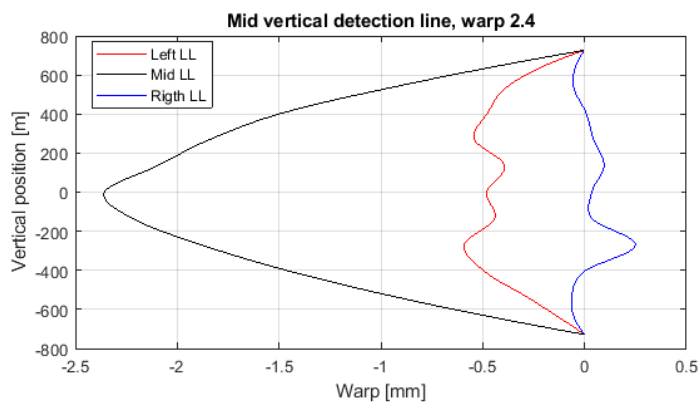
**Figur 26. Koordinater längs perimetern med de lokala "bucklorna".**

### 3.2 Verifiering mot fysisk testning

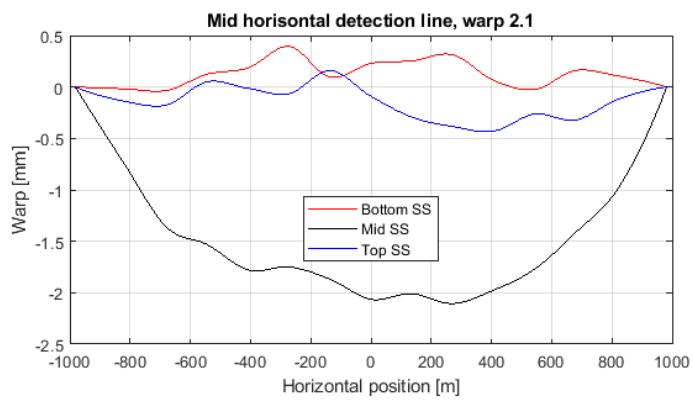
Resultat från fysisk mätning finns på motsvarande glas 2 i en rigg beskriven i avsnitt 2.3. I riggen är inget moment påtvingat vilket gör att testet mest liknar "Klämd utan moment, utan inverkan av packning". Osäkerhet finns gällande ramens planhet, som efter jämförelse mellan resultat av ett flertal glas visade sig skilja speciellt på den högra sidan av ramen. Det är tydligt i Figur 27 som har snarlikt utseende uppe-nere, men en viss skillnad vänster-höger. I Figur 28 och Figur 29 visas skillnaden i förskjutning i z-led vid respektive avstånd från mitten mot förskjutningen vid glasets mitt.



Figur 27. Resultat fysisk mätning efter klämning



Figur 28. Mid-LL fysisk mätning



Figur 29. Mid-SS fysisk mätning



### 3.3 Analys klämning med ändrad perimeter

Lång-, kort- eller båda sidor av ram (främre och bakre) är böjda med största förskjutning på mitten av ramen. M.a.o. är ”-1 mm långsidor” en perimeter med böjda långsidor med största förskjutning 1 mm in mot displayen (i samma riktning som glasets konkava böjning) samt raka kortsidor. För att undersöka hur en böjd perimeter kan skapa konkavitet på ett plant glas simulerades även det fallet. Det är tydligt att med tillräcklig klämkraft går att skapa en konkav form på ett plant glas, dock mindre än om glaset är format i förväg.

Förskjutning för de olika fallen är redovisade i Figur 30. Mid-LL är skillnaden mellan medelvärdet av glasets z-värde vid halva långsidan uppe respektive nere, och z-värde för glasets mittpunkt. Mid-SS är motsvarande för kortsidor. För grafisk beskrivning av de olika fallen, se Appendix 2.

Variant	Förskjutning Mid-LL (mm)	Förskjutning Mid-SS (mm)
-1 mm långsidor (uppe och nere)	2.40	2.36
-1 mm långsidor, -0.5 mm kortsidor	2.56	3.03
-0.5 mm nedre kortsida	2.25	2.71
-1 mm långsidor, -0.5 mm kortsidor, <b>plant glas</b>	0.37	0.87

Figur 30. Förskjutningsdata vid olika perimeterform

### 3.4 Klämning av ramverk

Som slutgiltig modell valdes perimeter med -1 mm förskjutning på mitten av långsidorna. Detta efter önskemål från FF då denna form anses vara aktuell för framtida system.

Sekvensen vid klämning är tänkt att efterlikna montering och följer därför 4 steg, vid vilka resultat är redovisade för följande händelser:

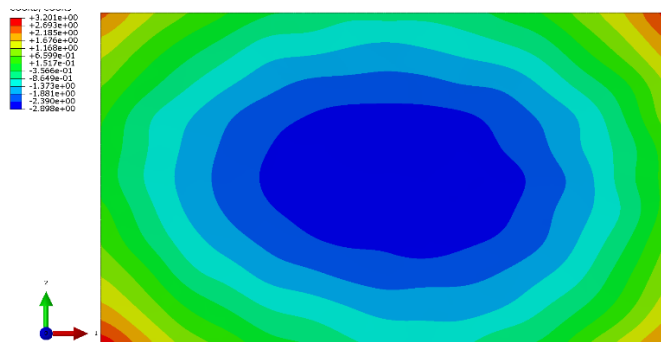
1. Fritt stående glas. Ingen inverkan av gravitation då glaset vid fysisk mätning redan är under inverkan av gravitation.
2. Gravitation i positiv z-riktning samt positiv y-riktning. Glaset kommer i kontakt med främre ramen så vid den här tidpunkten ligger mot underlaget vid montering, samt att formen på glaset skapat av gravitation i negativ y-riktning ”neutraliseras” av gravitationen i positiv y-riktning.

3. Glaset kläms ihop mellan ramarna. Gravitation i positiv z-riktning är fortfarande aktiv.
4. Glaset reses upp. Gravitationen verkar här i negativ y-riktning.

### 3.4.1 Fritt stående

Förskjutning Mid-LL: 2.04

Förskjutning Mid-SS: 3.03

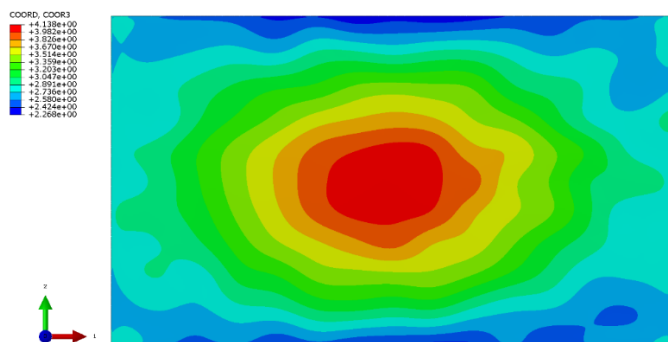


Figur 31. Grafiska förskjutningsdata. Fritt stående.

### 3.4.2 Efter pålagd gravitation (monteringsläge)

Förskjutning Mid-LL: 1.75

Förskjutning Mid-SS: 1.36

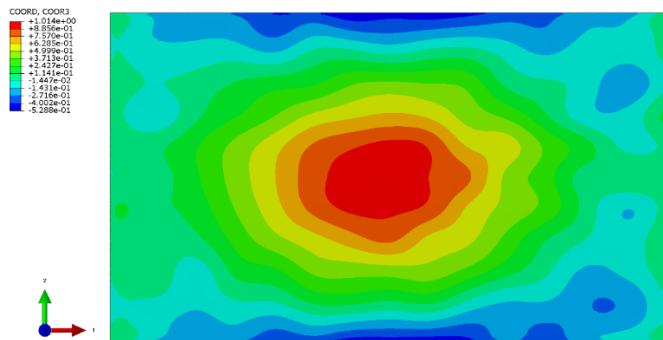


Figur 32. Grafiska förskjutningsdata. Efter pålagd gravitation.

### 3.4.3 Efter klämning

Förskjutning Mid-LL: 1.45

Förskjutning Mid-SS: 1.02

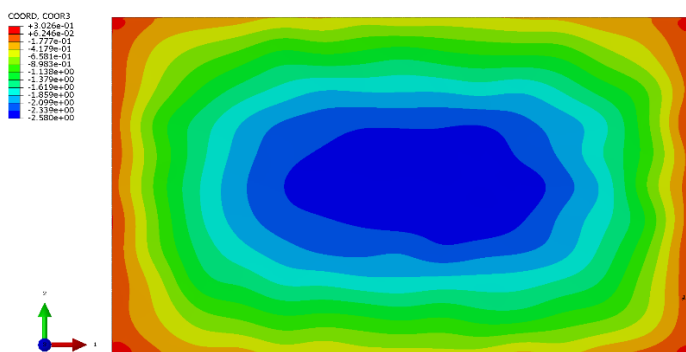


Figur 33. Grafiska förskjutningsdata. Efter klämning.

### 3.4.4 Upprest läge

Förskjutning Mid-LL: 2.04

Förskjutning Mid-SS: 2.5

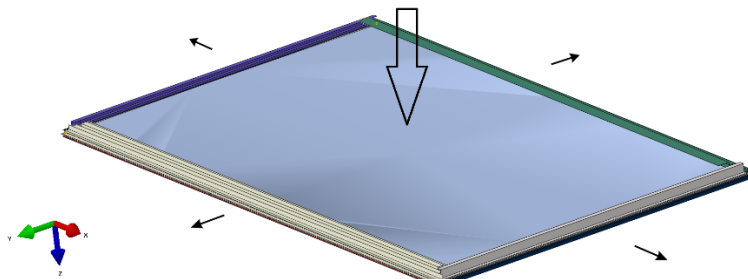


Figur 34. Grafiska förskjutningsdata. Upprest läge.

## 3.5 Beteende packning

Packningens skjuvning längs glasets utbredning har inte modellerats, därför testas istället olika friktionskoefficienter för att se om glasets glider ut och därmed får ändrad form. Detta för att uppskatta packningens skjuvning, d.v.s. deformationen

längs glasets utbredning. Om glaset i monteringsläget planas ut p.g.a. gravitation i glasets normalriktning, kan det göra att glaset förskjuts i glasets plan. Den här ”utflytningen” är då enligt denna teori dels beroende av friktionen mellan packning och glas i fallet när glaset ligger mot packning innan klämning. Under klämning sker då en växling från att friktionen är den största motverkande kraften, till att övergå mot att packningens deformation vid skjuvning är den största. Denna glidning sker om glasets utböjning ändras, då det materialet måste ta vägen någonstans i.o.m. att glaset är väldigt styvt i kompression.



**Figur 35. Gravitationens verkan (förenklat till att verka i en punkt, stor pil), samt glasets utflytning (små pilar)**

Den utflytning som kan uppstå när full klämning uppnåtts beror på både friktion samt deformation i packning p.g.a. skjuvning, men då resultaten visar att det är mycket liten skillnad mellan friktionsfritt och hög friktion visar det att dessa variabler har liten inverkan på glasets form.

### 3.5.1 Friktion mellan packning och glas = 0

Utan friktion mellan packning och glas kommer glaset ha möjlighet att glida fritt mot främre packning under hela monteringsfasen (i detta läget vilar glaset på främre packning), vilket medför att glaset planas ut endast beroende av gravitationen och glasets styvhet. I slutskedet av klämningen är kontaktrycket mellan glas och packningar som högst, men glaset har trots det fortfarande möjlighet att glida fritt mellan packningarna.

### 3.5.2 Friktion i mellan packning och glas = Rough (glidning sker ej)

Med oändligt hög friktion sker ingen glidning oavsett kontaktryck. Glaset tillåts därmed endast att flyta ut där glaset ej har kontakt med packning. Under klämning ökar arean på glaset som har kontakt med packning vilket gör att mot slutskedet av klämningen är glaset helt fixt.

### 3.5.3 Sammanställning förskjutning vid olika friktionskoefficient

För de två extremfallen, ingen eller maximal friktion, samt för  $FK=0.2$  är förskjutning redovisad i Figur 36.  $FK=0.2$  är den friktion som använts i avsnitt 3.4. Mid-LL är skillnaden mellan medelvärdet av glasets z-värde vid halva långsidan uppe respektive nere, och z-värde för glasets mittpunkt. Mid-SS är motsvarande för kortsidor.  $\Delta Z$  är skillnaden mellan glasets största och minsta z-värde.

Det är enligt detta test ingen signifikant skillnad mellan de olika fallen.

Friktionskoefficient	Mid-LL	Mid-SS	$\Delta Z$
0	2.05	2.5	2.33
0.2	2.04	2.5	2.28
Rough	2.03	2.49	2.27

Figur 36. Förskjutning för olika friktionskoefficient

## 4 Slutsats, Diskussion och vidare Rekommendation

*Detta avsnitt beskriver slutsats om arbetets moment, samt diskussion om fortsatt arbete.*

### 4.1 Metod

Systemet är komplext med många ingående delar, kontakter och kopplingar. För att använda simulering i FlatsFrogs produktutveckling på ett effektivt sätt bör modellen förenklas till endast ett glas som kläms mellan två ramar med samma omkrets, detta för att tidigt verifiera simuleringens rimlighet mot fysiska tester. Därifrån är det möjligt att vidareutveckla modellen och addera kopplingar, kontakter, gravitation samt packning.

Det är efter projektet fortfarande frågetecken kring hur gravitationen ska appliceras i modellen. Gravitationen har en viss inverkan på glasformen. Detta speciellt när systemet ligger ner, men även när glaset står upp. Vid fysisk mätning är glaset under inverkan av gravitation vilket kan vara orsaken till att glaset får en ”mage”, alltså största utböjning nedanför mitten på glaset. Då en neutraliserande gravitation, alltså i motsatt riktning mot när mätning skett, läggs på innan klämning borde detta ge glaset den form det hade haft i viktlös form. Detta är dock något som skulle behövas studeras ytterligare för att denna teori vara fullt tillförlitlig.

Packningen har inte fullständiga data, speciellt finns det inga uppgifter om hur den deformeras i x- och y-riktning, dvs. i glasets utbredning. Denna deformationen skulle ge en förskjutning av glaset i x- och y-riktning och därmed minska konkaviteten. Den förskjutningen uppstår rimligtvis även om glaset tillåts att glida mellan packningarna. Då olika friktion har studerats utan någon betydande skillnad är förskjutningen så pass liten att det inte påverkar konkaviteten, dock kan detta inte bekräftas utan att simulera systemet med fullständiga data på packning.

## 4.2 Resultat

### 4.2.1 Förenklad modell

Det är möjligt att med relativt enkla modeller se glasets beteende vid klämning, för att tidigt kunna ändra perimetern och därmed glasets form. Detta kommer till stor användning när man vill testa olika form på perimeter för många olika system. Även packning med olika styvhet kan testas i den förenklade modellen. För att få en effektiv och stor studie över hur olika parametrar i flertalet delar i modellen påverkar systemet kan en matris med olika kombinationer på indata jämföras med nyckelvärden på utdata, såsom utböjning och styvhet på ram kontra utböjning på glas och komprimering i packning, ställas upp för att se vilka varianter som ska tas vidare till en mer komplex modell.

### 4.2.2 Jämförelse mot fysisk mätning

Resultat på modell och fysisk mätning visar snarlika utseende, och får anses som bra. Det som går att jämföra mot den fysiska mätningen är glasets form, med förskjutningsdata i 2D-plan samt Mid-LL/SS. Mönstret på formen visar stor likhet, men med lägre förskjutningar som visas genom Mid-LL/SS. Det finns dock faktorer som gör att viss skillnad finns. För den fysiska mätningen är riggen styvare än i ett riktigt system, och det finns även kända ojämnheter i ramen. Då ramen är hopklämd utan moment, och med klämmor där klämkraften kan vara svår att beskriva fullständigt, skiljer sig det något mot simuleringen, där ramarna är klämda med en bestämd förskjutning. Detta medför att efter klämning är ramarna på ett avstånd mellan varandra motsvarande tjockleken på ramen samt packningar komprimerade 40%. Efter klämning med klämmor kan det avståndet vara något olik, då det är kraften från klämmorna mot glasets styvhet som bestämmer avståndet.

Vad som kan noteras är att i simulering utan packning är Mid-LL/SS större, alltså med större utböjning. Detta systemet är styvare än det med packning vilket kan vara en indikation på att den fysiska mätriggen är för styv för att anses vara helt tillförlitlig.

### 4.2.3 Mer komplex modell

Genom att ta den mest passande varianten efter simulering på enkel modell och utveckla till en mer komplex modell, kan tidskrävande tester på mindre lämpade utformningar undvikas. I den enkla modellen är ramen en stelkropp och glasets längs perimetern följer packningens form till stor del. I en mer komplex modell bör

styvheten hos ramen och kopplingar (skruvar) beaktas. Detta gör att ramen kan deformeras som i verkligheten och påverka glasets form.

I modellen är det en stel koppling mellan ram och resterande system. För att beakta displayens påverkan på systemet bör en förenklad modell av denna, med korrekt massfördelning och infästning tas med.

#### 4.2.4 Ändring av perimeterns böjning

Ändring av perimeterns böjning gav en viss ändring av glasets form. Störst skillnad gentemot en rak perimeter gav en perimeter med böjning på både lång- och kortsida, -1 mm respektive -0.5 mm. Även i fallet med böjd perimeter på plant glas gavs en viss konkavitet, dock för liten för att det ska kunna användas i systemet. Är glaset i ursprungsläget plant krävs det större kraft från ram vilket kan göra att ramen flexar tillbaka, så ett konkavt glas är fortsatt att föredra.

### 4.3 Vidare rekommendationer

Vad som framförallt är intressant att undersöka vidare är hur displayens styvhet påverkar ramens styvhet och därmed glasets form. Dessutom bör effekterna av hur egyptyngden av displayen påverkar systemet studeras. För att få en mer korrekt upphängning bör infästning mellan ram och display vara i infästningspunkter, ej på hela ytan. Displayen fäster även i stag som vidare fäster in i väggfästen. En uppskattning av displayens massafördelning samt även dess styvhet bör beaktas i modellen.

Packningens påverkan av skjuvning har visat sig ha liten eller ingen inverkan på glasformen, men detta skulle behöva verifieras i en mer utförlig kontroll av packningen.

Något som inte berörts i arbetet är påverkan av värme samt krypning i systemet. Då systemet under frakt kan värmas upp till temperaturer över den rekommenderade användningstemperaturen, kan det skapa inre spänningar och förskjutningar av glaset som ändrar formen. Även när systemet i användning under lång tid, där krypning är ett välkänt fenomen som ofta är svårt att förutse utan simulering.



# Referenslista

[1] [www.flatfog.com](http://www.flatfog.com)

[2] [www.scanscot.com](http://www.scanscot.com)

# Appendix A

## A.1 Data från Flatfrog, glas 1

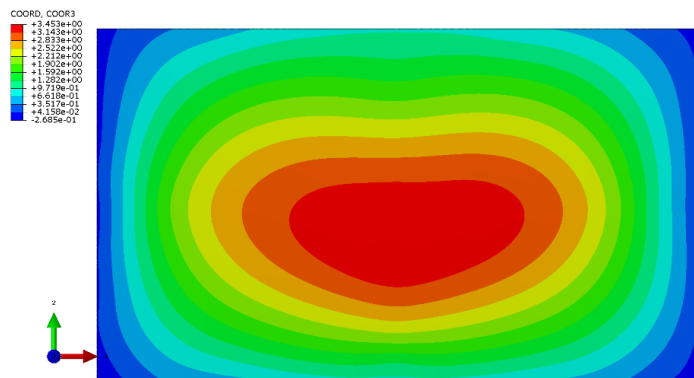
x (width)	y (height)	z (warp)	x	y	z	X	Y	z
90	10	-1,21	590	910	-2,45	1570	510	-2,05
190	10	-2,42	690	910	-2,51	1570	610	-1,77
290	10	-3,24	790	910	-2,51	1570	710	-1,3
390	10	-3,79	890	910	-2,48	1570	810	-0,75
490	10	-4,23	990	910	-2,4	1570	910	0
590	10	-4,48	1090	910	-2,23			
690	10	-4,58	1190	910	-2,05			
790	10	-4,59	1290	910	-1,71			
890	10	-4,55	1390	910	-1,18			
990	10	-4,4	1490	910	-0,56			
1090	10	-4,11	10	10	0			
1190	10	-3,65	10	40	-0,43			
1290	10	-3,03	10	140	-1,46			
1390	10	-2,14	10	240	-2,14			
1490	10	-1,07	10	340	-2,57			
90	460	-3,57	10	440	-2,61			
190	460	-4,64	10	540	-2,46			
290	460	-5,32	10	640	-1,89			
390	460	-5,78	10	740	-1,25			
490	460	-6,08	10	840	-0,57			
590	460	-6,28	10	910	0			
690	460	-6,36	790	30	-4,76			
790	460	-6,34	790	130	-5,82			
890	460	-6,3	790	230	-6,49			
990	460	-6,23	790	330	-6,7			
1090	460	-6,01	790	430	-6,48			
1190	460	-5,65	790	530	-5,96			
1290	460	-5,1	790	630	-5,14			
1390	460	-4,26	790	730	-4,19			
1490	460	-3,19	790	830	-3,28			
90	910	-0,59	1570	10	0			
190	910	-1,17	1570	110	-0,87			

## A.2 Klämning med ändrad perimeter

### Klämning med moment, perimeter: -1 mm långsida

Förskjutning Mid-LL: 2.40

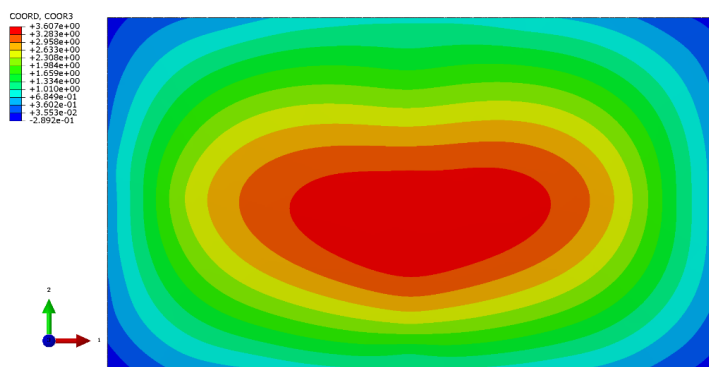
Förskjutning Mid-SS: 2.36



### Klämning med moment, perimeter: -1 mm långsida -0.5 mm kortsida

Förskjutning Mid-LL: 2.56

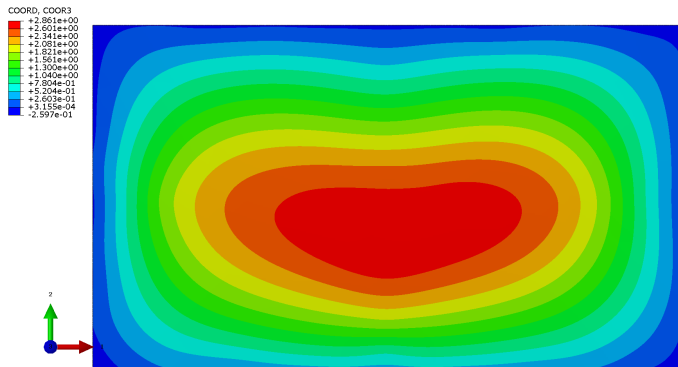
Förskjutning Mid-SS: 3.03



### Klämning med moment, -0.5 mm nedre långsida

Förskjutning Mid-LL: 2.25

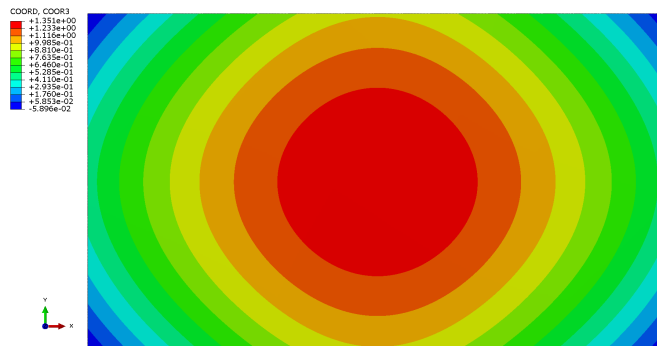
Förskjutning Mid-SS: 2.71



**Klämning med moment, perimeter: -1 mm långsida -0.5 mm kortsida på plant glas**

Förskjutning Mid-LL: 0.37

Förskjutning Mid-SS: 0.87

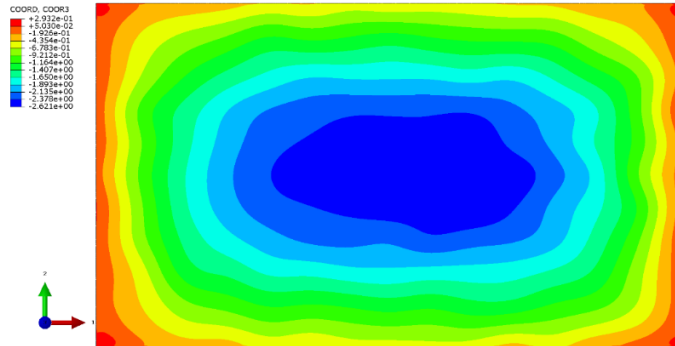


**A.3 Klämning med ändrad friktionskoefficient**

**Friktion mellan packning och glas = 0**

Förskjutning Mid-LL: 2.05

Förskjutning Mid-SS: 2.5



**Friktion i mellan packning och glas = Rough (glidning sker ej)**

Förskjutning Mid-LL: 2.03

Förskjutning Mid-SS: 2.49

