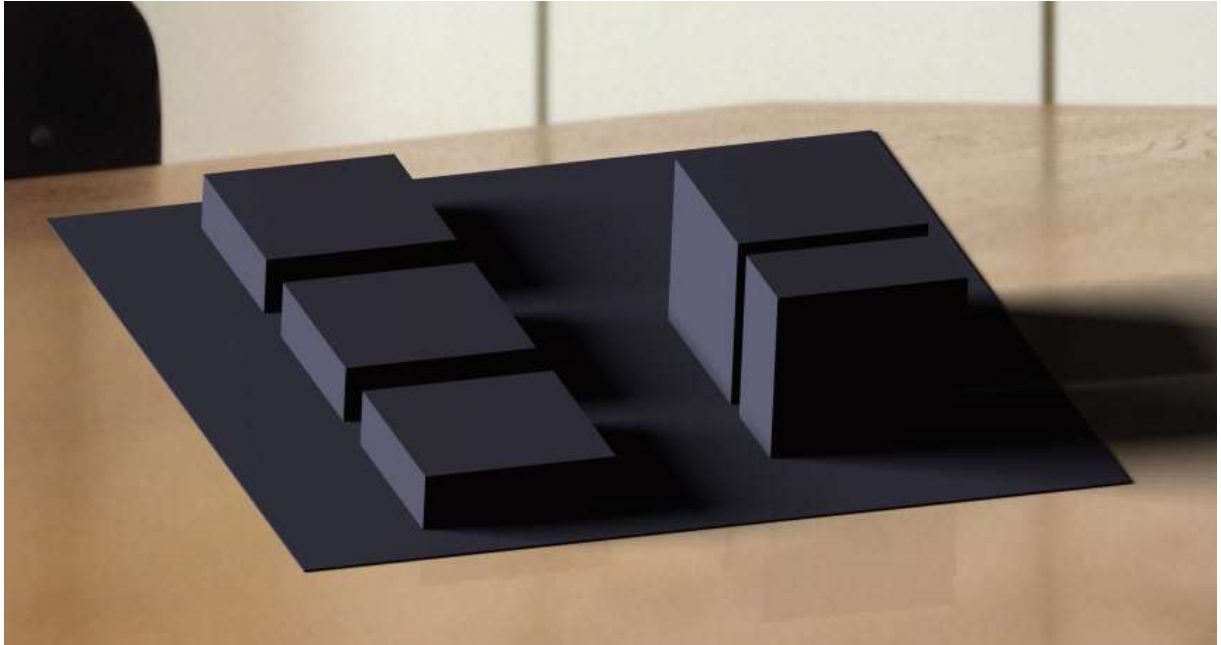




CHALMERS



Verifiering av design-anpassade 19"-enheter

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

Dominic Adamidis
Harald Hermansson

INSTITUTIONEN FÖR Mekanik och maritima vetenskaper
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE 2022:02

Verifiering av design-anpassade 19"-enheter

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

DOMINIC ADAMIDIS
HARALD HERMANSSON

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Avdelningen för dynamik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022

Verifiering av design-anpassade 19"-enheter
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik
DOMINIC ADAMIDIS
HARALD HERMANSSON

© DOMINIC ADAMIDIS, 2022
© HARALD HERMANSSON, 2022

Examensarbete 2022:02
Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Avdelningen för dynamik
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Tryckeri /Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Göteborg, Sverige 2022

Förord

Rapporten är skriven i anledning av att underlätta verifieringen av stöt- och vibrationstålighet hos nytillverkade enheter för konstruktörerna på Saab Business Unit Radar Solutions. Det ska ge en ökad förståelse för konstruktörerna gällande robusta konstruktioner. Detta kommer att göras genom att analysera en specifik del i enheten där det brister mer med hjälp av finita elementmetoden, (monteringsplattan i 19”enheten). Sedan tas underlag fram ur ett stöt- och vibrationsperspektiv och ge möjliga designförbättringar som kan vara till hjälp för alla anställda. Projektet innefattar 15 högskolepoäng och skrivs på vårterminen det tredje året på det maskintekniska högskoleingenjörsprogrammet på Chalmers Tekniska Högskola.

Vi skulle vilja tacka alla på Saab som funnits till hjälp, framför allt vår handledare Erik Wassén som bidragit med idéer och vägledning under arbetets gång. Vi vill även tacka Michaela Bergkvist, Emil Bäck, Henrik Junkell och Lena Kull för att de tog tiden till att ha intervjuer. Ett stort tack till vår examinator Peter Bövik, universitetslektor på Mekanik och maritima vetenskaper, avdelningen för dynamik som också varit stöttande under projektet.

Sammanfattning

Syftet med detta projekt är att utveckla verifieringen av Saabs design-anpassade enheter för radarsystem med avseende på verifiering av stöt och vibration. Nuvarande metoden för verifieringen av enheterna är fysiska tester, jämförelser med gamla enheter samt simuleringar och beräkningar med hjälp av FEM-analys, men med alla Anpassningar som gör är det varken ekonomiskt eller hållbart. Ett underlag ska framtas för konstruktörerna på Saab som ska underlätta verifieringsprocessen för nytillverkade enheter och sedan även möjliggöra designförbättringar. Arbetet är avgränsat till att endast undersöka hållfastheten i den så kallade monteringsplattan i enheten där nästan allt i enheten monteras på. Arbetet är ytterligare avgränsat till att fokusera på utmattningen kring skruvhålen på monteringsplattan som orsakas av stötar och vibrationer.

För att komma igång med projektet spenderades mycket tid till att få bra med kunskap om enheterna och vilka de största bristerna är. Detta gjordes genom att söka information i företagets intranät och även genom intervjuer med anställda. Efter detta blev det mer klart var bristerna ligger och det var främst utmattningen runt skruvhålen på monteringsplattan. Vidare behövde det väljas en lämplig metod för att analysera och simulera stötar och vibrationer på plattan. Simuleringar med Finita elementmetoden i programmet Ansys ansågs vara lämpligast. Plattan modellerades så att den efterliknar alla egenskaper på Saabs platta. Det har främst utgått från fyra olika befintliga enheter för att gå in på detalj hur olika enheter kan se ut för att även efterlikna placering av skruvhål och olika lastfall. Simuleringarna utgick från de krav som Saab har på verifieringen. På dessa fyra olika plattor gjordes det olika modifieringar för att se hur utfallen skiljer sig åt om egenskaperna på plattan är annorlunda. För varje platta gjordes en simulering på en dubbelt så tjock platta och en med tillsatt förstärkningsbalk.

Efter simuleringarna gjordes så sammanfattades alla värden från dem i en kalkyl. Skillnader och likheter hittades för att sedan dra slutsatser om vad plattan klarar av under de olika lastfallen, antal skruvhål, ändrad tjocklek eller tillsatt förstärkningsbalk.

Simuleringarna visade att styrkan hos plattan blev betydligt starkare av att fördubbla tjockleken, det vill säga att gå från en 2 mm tjock platta till en 4 mm tjock platta. Men det som visade sig var mest lönsamt, både i material och hållfasthet, var att lägga till en förstärkningsbalk under den 2 mm tjocka plattan. Vidare drogs ytterligare slutsatser som ger konstruktören en bättre uppfattning om hållfastheten hos plattan beroende på lastfall. Det påbörjades också en metod för att använda fjäderkonstanten hos plattan för att estimerar hur mycket last den klarar att bära.

Summary

The objective is to develop a verification method of Saab's customized radar units, mainly focusing on shock and vibration. The current method for verifying the units are physical tests and comparisons to old units, which is very expensive and not sustainable.

A tool is to be developed for the design engineers to facilitate the verification and possible design improvements are to be given. The project scope is limited to only analyzing the mounting plate in the unit, where almost all the components in the unit are mounted. The project is also limited to focusing on the fatigue around the screw holes caused by the shocks and vibrations.

To start the project off a large amount of the time was spent on obtaining knowledge about the units and what the biggest deficiencies are. This was done by searching information of the units internally through the company's network and through interviews with the employees. After this stage it was clearer what the biggest problem is, which is the fatigue around the screw holes on the mounting plate. Onwards an appropriate method was decided to implement the shock and vibration analyzes, which were simulations with the Finite Element Method in the software Ansys. For the analyzes to be made the plate was modeled to imitate the same features and aesthetics of the real mounting plate. Four plates from four different units were studied to imitate their appearance and loads for the analyzes. Every unit is different and therefore every plate looks different with various amounts of screw holes on it. For every plate two further versions of it were made, a plate which was twice as thick and a plate with an added reinforcement beam.

After the simulations were done, all values from them were summarized. Differences and similarities were found to then draw conclusions about what the plate can manage with the different load cases, number of screw holes, changed thickness or added reinforcement beam. The simulations resulted in the plate becoming stronger by doubling the thickness and it became even stronger by adding a beam. Further conclusions could be drawn to provide clarity on how much the plate can handle for the design engineers. A method using Hooke's law, and more precise the spring stiffness, to estimate the strength of the plate.

Innehållsförteckning

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Inledning | 1 |
| 1.1 | Bakgrund | 1 |
| 1.2 | Syfte | 2 |
| 1.3 | Avgränsningar | 2 |
| 2 | Teoretisk referensram | 3 |
| 2.1 | 19"-enheten | 3 |
| 2.2 | Stöt | 3 |
| 2.3 | Vibration | 4 |
| 2.3.1 | Resonans | 4 |
| 2.4 | Utmattning | 4 |
| 3 | Metod | 5 |
| 3.1 | Söka intern information om 19"-enheten | 5 |
| 3.2 | Intervjuer | 5 |
| 3.3 | Simuleringar och analyser | 6 |
| 4 | Förstudier | 7 |
| 4.1 | 19"-enheten hos Saab | 7 |
| 4.2 | Montering | 8 |
| 4.3 | Hållfasthet hos 19"-enheten | 8 |
| 4.4 | Materialdata | 8 |
| 4.5 | Krav och testning av 19"-enheterna | 9 |
| 4.5.1 | Vibration | 9 |
| 4.5.2 | Stöt | 10 |
| 4.5.3 | Kravspecifikation | 10 |
| 4.6 | Intervjuer | 11 |
| 4.6.1 | Emil Bäck | 11 |
| 4.6.2 | Michaela Bergqvist | 11 |
| 4.6.3 | Henrik Junkell | 12 |
| 4.6.4 | Emil Bäck | 12 |
| 4.7 | Monteringsplattor för analys | 12 |
| 4.7.1 | Enhet A | 14 |
| 4.7.2 | Enhet B | 15 |
| 4.7.3 | Enhet C | 16 |
| 4.7.4 | Enhet D | 17 |
| 5 | Resultat | 18 |
| 5.1 | Mätvärden vid FEM-analys | 18 |

| | | |
|--------|---------------------------------------|----|
| 5.2 | Sammanställning av mätvärden i kalkyl | 20 |
| 6 | Diskussion och Utvärdering | 22 |
| 6.1 | Undersök enhet A | 22 |
| 6.2 | Undersök enhet B | 23 |
| 6.3 | Undersök enhet C | 24 |
| 6.4 | Undersök enhet D | 24 |
| 6.5 | Jämför enhet A, B, C och D | 25 |
| 6.6 | Massa | 26 |
| 6.7 | Utmattning kring hål | 26 |
| 6.8 | Effekten av olika förstärkningsbalkar | 26 |
| 6.9 | Stöt | 28 |
| 6.10 | Egenfrekvens | 28 |
| 6.11 | Felkällor | 30 |
| 6.12 | Slutsats | 30 |
| 6.12.1 | Fortsatt arbete | 31 |

BILAGA A

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Saab AB, tidigare Svenska Aeroplan Aktiebolaget, är ett svenskt industriföretag och försvarskoncern som började som flygplanstillverkare med huvudkontor i Linköping, men har idag sitt huvudkontor i Stockholm. Idag fokuserar företaget främst på högteknologi inom försvarsindustrin, civil säkerhet och flyg. Företaget fokuserar på tre strategiska områden: försvars- och säkerhetslösningar, system och produkter och flyg. Tidigare har Saab även designat och tillverkat civila flygplan och personbilar och senare förvärvade Saab Automobile. 2010 var Saabkoncernen den 29:e största vapentillverkaren i världen och 2011 den 25:e största i världen och stod för mer än 60 % av Sveriges vapenexport. (Wikipedia, 2022)

Surveillance

Saabs Business Unit Radar Solutions tillhandahåller hela världsmarknaden med luftburna, markbundna och marina radar-lösningar. De har stort design-ansvar på alla nivåer av system inom radar-området som exempelvis mikrovågor och antenner, digitala funktioner, mjukvaruutveckling, mekanisk design, kablage, datorsystem etc. Mekanik- och kablagedesignavdelningen i Göteborg har omkring 75 anställda och ansvarar för den mekaniska delen av produkterna.

Problemet

I och med att utvecklingen går framåt skapas nya anpassade enheter av radar-enheter med samma bredd, 19", men olika djup, höjd och innehåll av komponenter. De nya anpassade enheterna har egna egenskaper ur en hållfasthetssynpunkt beroende på sin form och sitt innehåll, men det finns idag inget bra sätt att verifiera att varje enhet faktiskt klarar av de fysiska påfrestningar som de ska utsättas för hos konsumenten. Att tillverka varje enhet för att testa den i labb blir för dyrt i längden och det måste därför hittas ett sätt att verifiera vad enheten klarar av i designprocessen.

Det skapas ny teknik och olika kunder har olika krav på funktion och miljö hos produkten, därför måste många anpassningar göras hos enheterna.

Det är för hög belastning hos beräkningsavdelningen för att göra nya tester varje gång en ny anpassning skapas, så en annan metod för verifiering av konstruktionen i en hållfasthetssynpunkt måste användas.

Nuvarande metod, förutom delvis verifiering med hjälp av FEM-beräkning, är att jämföra nya konstruktioner mot tidigare som man vet har klarat av kraven, och därefter dimensionerat de nya. Men vid stora förändringar är detta inte en hållbar metod.

Det ska nu tas fram ett sätt att verifiera hållfastheten hos de anpassade enheterna, som även går att applicera på nya enheter som kommer att skapas i framtiden. Detta ska göras med avseende på stöt- samt vibrationstålighet med hjälp av FEM-modellering.

Slutligen ska detta ge en högre kompetens och förståelse hos konstruktörerna för hur enheterna beter sig under olika lastfall och konstruktioner.

1.2 Syfte

Saab anpassar ofta radar-moduler för att passa kunden och den nya tekniken som införs. Det rör sig snabbt framåt i utvecklingen och de har höga krav på hållfastheten. Att göra en fullständig FEM-analys av varje ny låda i alla steg är både tidskrävande och kostsamt. Därför ska ett underlag tas fram för att underlätta vid konstruktion av nya enheter. Det ska undersökas var bristerna hos enheten finns och hur man kan förebygga de vanliga skadorna.

1.3 Avgränsningar

- Vi kommer endast granska hållfastheten och designen på SAABs 19"-enhet.
- Enheten köps in av företaget nVent Schroff och måste finnas i deras standardsortiment, men den kan bearbetas och anpassas hos SAAB.
- Den finns i 15 olika storlekar som presenterades i bakgrunden, det är endast för dessa som beräkningar kommer göras
- Arbetet sker endast genom CAD- och FEM-modellering, inga fysiska tester eller prover kommer att göras.
- Enheternas hållfasthet kommer endast testas utifrån stöt- och vibrationstålighet och utmattning på grund av krafterna som uppkommer, inga andra tester kommer att göras.
- Ingen hänsyn till pris eller miljöaspekter kommer att göras under arbetet, men det ska hållas inom realistiska gränser.
- Vi inriktar oss endast till applicering i sjö- och landfordon

2 Teoretisk referensram

Här presenteras bakgrundsfakta om de ämnena som rapporten kommer att beröra.

2.1 19"-enheten

19"-enheten är en form av låda som används för att bära och koppla samman flera radarmoduler. De placeras i stativ tillsammans med andra moduler som kan stå i allt från bandvagnar, hjulfordon och båtar.

Den består av en front-, bakpanel, 2 sidopaneler, topp- och bottenpanel samt en monteringsplatta. Front- och bakpanelen används primärt för kontroller, säkringar, indikationslampor, kabelgenomföringar och kontakter. Frontpanel används också för att fästa enheten i framkant mot monteringshyllan, och bakpanelen för 2 bakre fästpunkter i monteringshyllan (vidare beskrivet i 3.2 *Montering*).

Topp- och bottenplattan används framför allt som skydd mot fukt och damm, samt lättare stabilitet. På en del modeller är de öppna för att öka luftflödet och kylningen av komponenter.

Sidopanelerna är av en tjockare extruderad aluminiumprofil med många möjliga fästpunkter på både in- och utsidan. En del komponenter fästs på insidan av sidopanelen. De yttre fästpunkterna är till för skenor eller andra speciella fästordningar mot monteringshyllan. (nVent Schroff, 2022)

Monteringsplattan sitter i mitten av lådan fäst i sidopanelerna, det är en bockad plåt med monteringshål på alla 4 sidor med en solid platta. Det är på denna majoriteten av komponenterna fästs, både på ovan- och undersidan. Från Schroff kommer den, som nämnt tidigare, utan monteringshål på den horisontella plattan. Vid konstruktion och anpassning hos SAAB beslutas var komponenterna ska sitta monterade, sedan borrar hål i plattan där det behövs. Detta gör att monteringsplattan i de flesta fall ser olik ut för varje ny modell av 19"-enheten.

2.2 Stöt

Stötar i projektets avseende handlar om plötsliga accelerationer mot ytan av ett system som kan orsakas av exempelvis kollision, fall, spark eller explosion. Vid testning av stöt på fysiska produkter används slag eller fall. När dessa tester görs används ofta en sågtandspuls. Den beskriver tiden för accelerationen i x-led, och kraften i y-led. Se figur nedan. (MIL-STD-810H, 2019)

2.3 Vibration

Vibrationer är en mekanisk förskjutning som går i vågor, liknande en gunga. Vibrationer kan vara önskade och oönskade. Exempel på önskade vibrationer är strängar på ett instrument, så som en gitarr eller på ett piano. Oönskade vibrationer är vanligare och uppkommer nästan hela tiden. De kan vara vibrationer från en motor eller andra mekaniska system, det resulterar sällan i någon vinning utan ger endast energiförluster. Man mäter vibrationer i Hertz som är definierat som $1/s$ där s är tid i sekunder, detta ger antalet svängningar per sekund. (Mekanik, 2018)

2.3.1 Resonans

Resonans kallas det fenomen som uppstår när en redan vibrerande kropp påverkas av en vibrerande kraft. Beroende på vilka frekvenser kroppen respektive kraften har kan olika resultat ske. Vid vissa frekvenser kan de ta ut varandra och kroppen stannar, men om frekvenserna stämmer överens kan de bidra till att höja amplituden, det vill säga "höjden" på svängningarna. Precis som när någon knuffar på en gunga i rätt takt, då går den högre och högre för varje sving, men knuffar man vid fel tillfälle kan det leda till att gungan stannar upp istället.

Vid konstruktion av produkter som kan utsättas för vibrationer måste detta tas hänsyn till. Om en produkt utsätts för vibrationer måste konstruktören ta reda på produktens egenfrekvens och se till att krafterna vid produktens lägsta egenfrekvens inte är för stora. Beroende på detta kan även små krafter leda till utmattning hos en produkt över tid.

2.4 Utmattning

Utmattning, eller utmattningsbrott som det också kallas, uppstår när ett material utsätts för varierande spänningar under en tid. Det kan vara i form av en konstruktion som lastas av och på i cykler, som gafflarna på en gaffeltruck. Det kan också uppkomma av spänningar från värmeutvidgning vid temperaturförändring beroende på hur en konstruktion är infäst, och vid påfrestningar i form av vibrationer, som kan ses som små återkommande laster. Även små spänningar kan det leda till brott. Trots att det är känt i över 100 år är det fortfarande den vanligaste orsaken till haveri i konstruktioner. (Dahlberg, 2001)

3 Metod

I det här kapitlet kommer arbetsmetoden gås in på i detalj. Detta kapitel kommer att delas upp i underkapitel som täcker olika delar av metoden i tur och ordning och presenteras i implementeringsordning.

3.1 Söka intern information om 19"-enheten

För att komma igång med projektet och förstå hur vi kan komma fram till ett användbart resultat krävdes en del grundkunskap om enheterna och allt som berör arbetet. Saab har framställt en egen databas med information om 19"-lådorna och därifrån samlades all information. Efter att ha fått bättre förståelse för hur lådan är sammanställd brainstormades det fram ideér på hur analysen ska göras och hur ett bra resultat kan framtas. Samtidigt under informationssökningen uppkom en del frågor och tankar kring den. Nästa steg blev därmed att boka in möten med personer som arbetar med lådan.

3.2 Intervjuer

För att få fram ytterligare information och skapa en bild av nuvarande problem hos 19"-enheten var det viktigt att kunna ha kontinuerlig kommunikation med olika anställda på Saab. Under arbetets gång hölls möten och intervjuer med diverse nyckelpersoner som är med under framtagningen av nya konstruktioner till enheten. Med denna information kunde en analys av 19"-enhetens brister tas fram för att ytterligare avgränsa arbetet till vad som behöver undersökas noggrannare och förbättras. Intervjuerna gav framför allt mer specifik information om lådans brister, vilket var att det sker utmattning kring skruvhålen på monteringsplattan. Detta ledde till att vi avgränsade oss ytterligare till att endast analysera monteringsplattan.

Med hänsyn därtill behövdes det tas reda på så mycket fakta som möjligt om Saabs monteringsplattor. Med tillgång till olika strukturanalys av olika enheter kunde det fås ut en del information om hur plattorna kan se ut i olika enheter med olika komponenter på. Det erhöles även materialdata för plattan och specifika laster som den kan utsättas för.

Nästa steg blev sedan att ta reda på vilka verifieringskrav gällande stöt och vibration Saab har på enheten. Dessa krav erhöles från en konstruktör på avdelningen. Kraven granskades och tolkades för att det senare skulle dras en slutsats om hur monteringsplattan bäst kan analyseras och verifieras med de satta stöt- och vibrationskraven.

3.3 Simuleringar och analyser

När det hade skaffats grundkunskap om enheterna och kraven de ska klara av blev nästa steg att tänka ut ett bra sätt att analysera monteringsplattan och dess brister. Simulering i Ansys ansågs vara bästa alternativet då det lärs ut på det Maskintekniska programmet på Chalmers och innebar att det fanns en viss grundkunskap sedan tidigare i programmet. Dock gjordes det ytterligare en fördjupning för att förstå sig på mer hur stöt- och vibrationsanalyserna skulle kunna utföras. Därefter blev sista steget att utföra stöt- och vibrationssimuleringarna på monteringsplattan i Ansys. Monteringsplattan modellerades med hjälp av CAD (Catia) och har efterliknat Saabs egen platta på bästa möjliga sätt. Monteringsplattan lades i XY-planet och med positiv Z-led riktat ur plattan ur ovansidan, det vill säga den sidan som komponenterna är placerade. Simuleringarna gjordes genom att plotta all given data enligt kraven och efterlikna de olika lasterna som enheten brukar utsättas för.

4 Förstudier

4.1 19"-enheten hos Saab

I och med att utvecklingen går framåt skapas nya anpassade enheter av radar-enheter med samma bredd, 19", men olika djup, höjd och innehåll av komponenter. De nya anpassade enheterna har egna egenskaper ur en hållfasthetssynpunkt beroende på sin form och sitt innehåll, men det finns idag inget bra sätt att verifiera att varje enhet faktiskt klarar av de fysiska påfrestningar som de ska utsättas för hos konsumenten. Tillverka varje enhet för att testa den i labb blir för dyrt i längden och det måste därför hittas ett sätt att verifiera vad enheten klarar av i designprocessen.

19"-enheten köps in ur företaget Schroffs standard-sortiment. Den har en specifik bredd, 19 tum, eller 482.6 mm, men höjden kan variera mellan 1U-5U, där U är en enhet med måttet 44.45 mm. Djupet varierar också, från 220 mm till 460 mm med 60 mm-intervaller. Alla djup finns inte till alla höjder, endast ett urval som presenteras nedan. Se *tabell 1*.

| Höjd [U] | Höjd [mm] | Djup [mm] |
|----------|-----------|--------------------|
| 1 | 44.45 | 220, 280, 340 |
| 2 | 88.90 | 220, 280, 340 |
| 3 | 133.35 | 280, 340, 400, 460 |
| 4 | 177.80 | 280, 340, 400, 460 |
| 5 | 225.25 | 460 |

Tabell 1: Storleksurval 19"-enheter

Detta ger 15 möjliga kombinationer som kan användas. De anpassas sedan på Saab efter behov, det kan innebära hål för kontakter och styrkomponenter, stag för kabeldragning och hållare till diverse komponenter inuti enheten. Detta gör att varje enhet kan variera både i last och hållfasthet, beroende på den

bearbetning som är gjord på enheten.

Enheten kan även förstärkas med en eller flera aluminium-balkar i olika storlekar undertill om lasten skulle vara för stor som monteras på plattans bredd.

Det finns flera olika förstärkningsbalkar hos saab beroende på ändamålet och den styrka som behövs. I denna undersökning valdes 2 dimensioner, en med 13 mm bredd och en med 30 mm bredd. De båda har en tjocklek på 10 mm och sträcker sig över hela monteringsplattans bredd (Saabs intranät, 2021)

4.2 Montering

Lådan fästs i den främre plattan på enheten mot stativet med 4 st M6 skruvar samt 2 hållare i den bakre panelen, nederst i varje hörn. Enheterna har även 2 handtag fastsatta i frontpanelen, vertikalt längst ut på varje sida, de finns till storlekarna 2U-5U.

Det finns även andra modifikationer vid montering, exempelvis utskjutbara skenor som gör installation och service enklare och gör konstruktionen starkare, fasta skenor och hyllplan. (Saabs intranät, 2021)

4.3 Hållfasthet hos 19"-enheten

Det stora problemet i konstruktionen hos 19"-enheten är monteringsplattan. Front-, bak-, och sidopanelerna sitter skruvade på ett sådant sätt att de inte brister vid de slag och vibrationer som de ska klara av. Frontpanelen är som tidigare nämnt (*2.1.1 Montering*) fäst i 4 skruvar och bakpanelen sitter med 2 hållare. Sidopanelerna är robust nog konstruerade för att inte ge vika, även om de fästs komponenter mot dem. Däremot finns det problem hos monteringsplattan. Vid vibrationer hamnar den lätt i självsvängning med stor amplitud, detta leder till utmattning eller ökad skada på kablage och elektronik inuti enheten. (Saabs intranät, 2021)

4.4 Materialdata

Monteringsplattan består av aluminiumlegeringen EN AW 5754 H22/H32. Följande materialdata gäller för en 0.2-40 mm platta av materialet. (Aalco, 2018). Se *tabell 2*.

| | |
|-------------------|-------------------------|
| Densitet | 2660 kg/m ³ |
| Elasticitetsmodul | 69 GPa |
| Sträckgräns | 130 MPa |
| Brottgräns | 220 MPa |
| Tillåten töjning | 7% |
| Utmattning | Se S-N kurva i BILAGA A |

Tabell 2: Materialdata EN AW 5754 H22/H32

4.5 Krav och testning av 19"-enheterna

19"-enheterna kan sitta i fordon och på platser som är fysiskt utmanande på konstruktionen, både i form av klimat och andra faktorer så som smällar och vibrationer, det är därför viktigt att de dimensioneras efter tydliga förhållanden med säkerhetsmarginal. Saab har tagit fram en kravspecifikation som innefattar allt från elektronik och strömförsörjning till vikt och mekaniska egenskaper.

I kravspecifikationen för denna studie tas endast hänsyn till de mekaniska kraven som uppkommer vid vibrationer och stötar hos enheterna.

Kraven kommer från *USA:s försvarsdepartement* och följer deras militär standard MIL-STD 810h. De krav som ska undersökas i studien syftar till vibrationstålighet respektive stöttålighet under operationstransport på landsystem.

(USA:s försvarsdepartement, 2019)

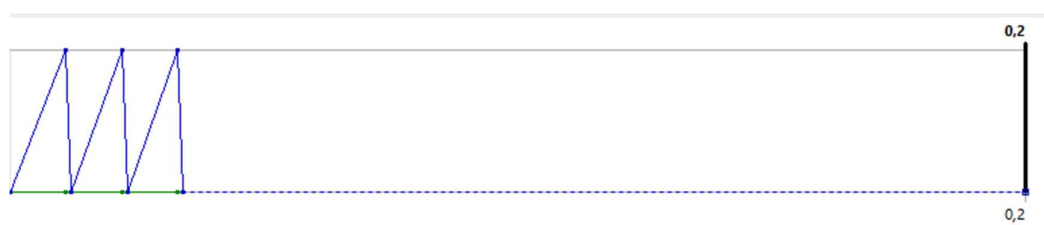
4.5.1 Vibration

För att testa utmattningen som beräknas ske under en 4 timmars transport på asfalt och lätt terräng under operation har en tabell med densitetspektrum för accelerationer tagits fram utgående från MIL-STD 810h, den kan ej presenteras här på grund av sekretess. Den innefattar både horisontella och vertikala

accelerationer uttryckta i gravitationskrafter för frekvenserna 5-500 Hz. Detta representerar exempelvis vibrationer som kan uppstå på grusvägar, stigar och asfalkörning.

4.5.2 Stöt

För att testa skadan som kan ske vid stötar under transporten används en acceleration i form av en sågtandspuls på x g-krafter (där x är döljt på grund av sekretess) under 11 ms gånger 3 stötar i rad både i positiv och negativ riktning i varje orthogonal axel. Det ger 6 stycken tester totalt med 3 stötpulsar i varje riktning. Dessa utgår från MIL-STD 810h likt vibrationerna. Varje stötanalys görs enskilt, det betyder att efter en stöt på 3 pulser så återställs enheten till nyskick innan nästa stöt påbörjas. Se *Figur 1* nedan.



Figur 1: Sågtandspuls

4.5.3 Kravspecifikation

Kravspecifikationen är framtaget efter 2 kriterier, stöt och vibration. Stöten får resultera i en töjning av monteringsplattan på maximalt 7% eftersom det är gränsen för töjning innan plastisering hos EN AW 5754 H22/H32.

Vid vibration får utmattningen maximalt uppnå 70% skada, vilket ger en säkerhetsfaktor på 30%.

Detta värde tas fram med hjälp av en S-N kurva för materialet.

Vid undersökning av hållfastheten hos enheten är detta de dimensionerande faktorerna. Se *tabell 3* nedan.

| Kriterier | Gränser |
|-----------|----------------|
| Stöt | Töjning 7% |
| Vibration | Utmattning 70% |

Tabell 3: Kriteriespecifikation för studien

4.6 Intervjuer

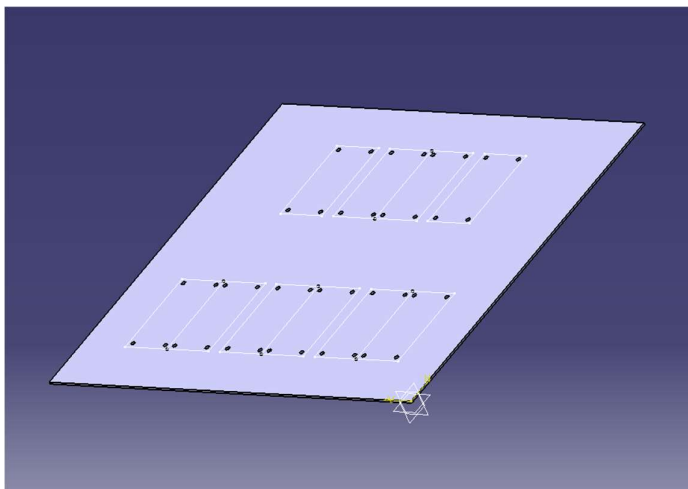
Även om mycket information om enheten fanns dokumenterat så finns det även mycket erfarenhet som är viktig att ta del av och använda vid analysen, därför hölls flera intervjuer med konstruktörer och beräknare på Saab.

4.6.1 Emil Bäck

För att få en bättre bild av bristerna hos 19"-enheterna hölls ett möte med Emil Bäck som är "Team leader och beräknare". Han har lång beräkningserfarenhet av enheterna och förklarade att det stora problemet ur en hållfasthetssynpunkt hos 19"-enheterna låg på monteringsplattan. Det är på den majoriteten av all elektronik och alla komponenter monteras. Det förekommer även att komponenter monteras på sidopanelerna, samt front- och bakpanelerna, men på grund av hur de monteras och styvheten i panelerna är det inget problem. I princip alla 19"-enheter som behöver konstrueras om på grund av att de inte uppfyller hållfasthetskraven brister i monteringsplattan. Detta gjorde att en avgränsning till att endast analysera monteringsplattan sattes.

4.6.2 Michaela Bergqvist

Vidare efter mötet med Emil planerades det in ett möte med Michaela Bergqvist som är "Team leader and mechanics designer". Av henne erhöles det ytterligare information om monteringsplattan och hur det kan gås tillväga för att analysera dess brister och sedan hur det möjligtvis kan förbättras. Monteringsplattan ser olika ut och belastas olika mycket för varje låda. På plattan konstrueras det skruvhål vilka är till för vidare montering av komponenter. Figur 2 nedan visar plattan med hål. Från början köps den in utan hål och därefter är det fritt för konstruktörerna att sätta dit hål utifrån 19"-enhetens funktion. Se monteringsplattan i *figur 2* nedan.



Figur 2: Monteringsplattan med exempelhål

4.6.3 Henrik Junkell

Efter mötena med Emil och Michaela hölls ett möte med Henrik Junkell som är beräknare inom miljötålighet och strukturanalys. Nu har redan en avgränsning till monteringsplattan gjorts, så fokus var på den. För att analysera var exakt bristerna hos monteringsplattan fanns togs tidigare strukturanalyser fram och granskades med hjälp av Henrik. De allra vanligaste fallet var spänningskoncentrationer och utmattningar kring skruvhål i monteringsplattan som konstruktörerna själva inför. I regel är det vibrationerna som leder till utmattningen kring skruvhålen, men i enstaka fall är det även stötarna, därför behöver båda tas hänsyn till.

4.6.4 Emil Bäck

I mötena med Michaela och Henrik hade ny information uppkommit som återkopplades med Emil för att vidare inriktas på problemet och hitta en bra analys. Detta ledde till en plan för att kartlägga de sista detaljerna inför simulering och analys av monteringsplattan.

Det beslutades att tillsammans med Michaela hitta de vanligaste och mest problematiska lastfallen genom att lokalisera det tyngsta och mest krävande komponenterna och undersöka hur de vanligen kombineras.

4.7 Monteringsplattor för analys

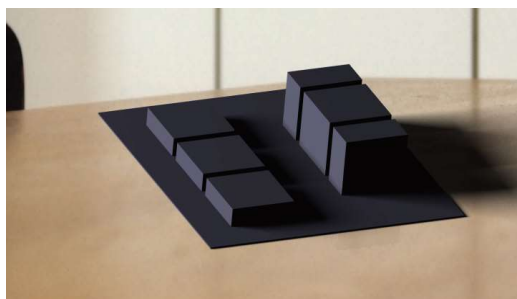
4 olika enheter hos Saab valdes att studera, de kallas enhet A, B, C och D. A, B och C är relativt lika i sina lastfall, men gav i vissa fall stora skillnader i resultat. De flesta enheterna har liknande egenskaper och lastfall vilket gör att detta blev

en bra bas för studien, även om det kan ses som avgränsat.

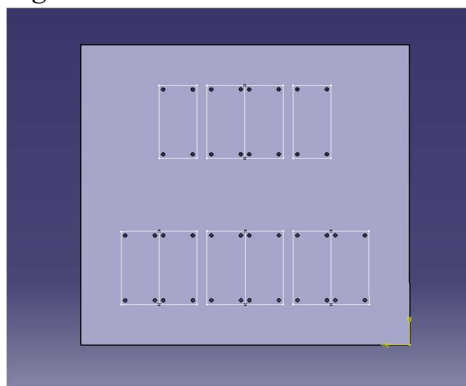
Alla enheter har analyserats med 2 mm och 4 mm tjock platta, samt en 2 mm platta med förstärkningsbalkar. Plattan är 390 mm bred och 370 mm djup.

4.7.1 Enhet A

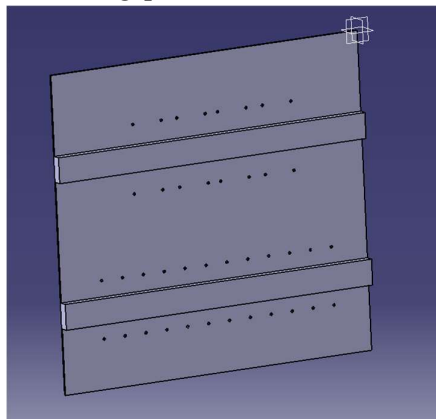
Här presenteras enhet A som består av 4 större komponenter till höger, med en massa på 1 kg per komponent, samt 6 mindre komponenter till vänster med massan 0.3 kg per komponent. Detta resulterar i en massa på 5,8 kg. (Rendringen gör att de 2 mittersta komponenten till höger samt de 6 till vänster ser ut att vara 1 respektive 3 bredare komponenter). Se *figur 3,4* och *5* nedan.



Figur 3: Modell av Enhet A



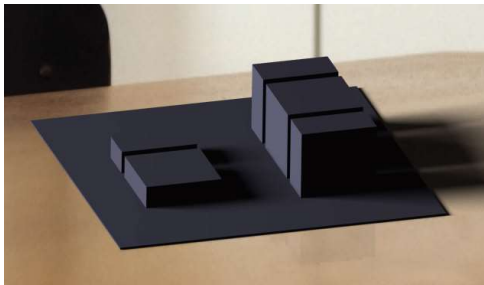
Figur 4: monteringsplatta enhet A 2 mm eller 4 mm tjock
Monteringsplattan för enhet A har 40 st M5 hål



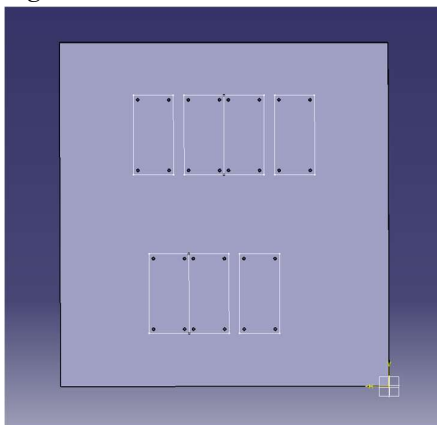
Figur 5: monteringsplatta enhet A 2 mm med förstärkningsbalkar

4.7.2 Enhet B

Här är enhet B som liknande enhet A har 4 större komponenter på höger sida, men endast 3 mindre komponenter till vänster. Det ger massorna 4 kg respektive 0,9 kg som resulterar i en total massa på 4,9 kg. Se *figur 6,7 och 8* nedan.

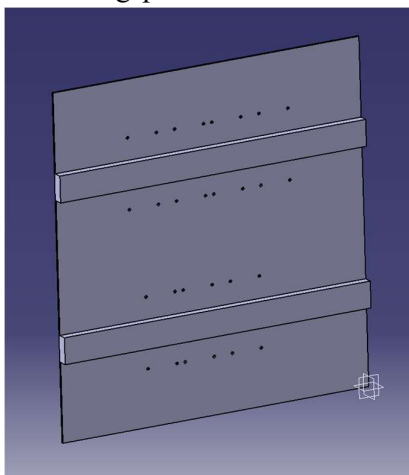


Figur 6: Modell av Enhet B



Figur 7: monteringsplatta enhet B 2 mm eller 4 mm tjock

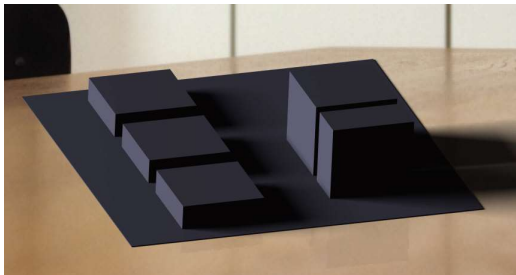
Monteringsplattan för enhet C har 28 st M4 hål.



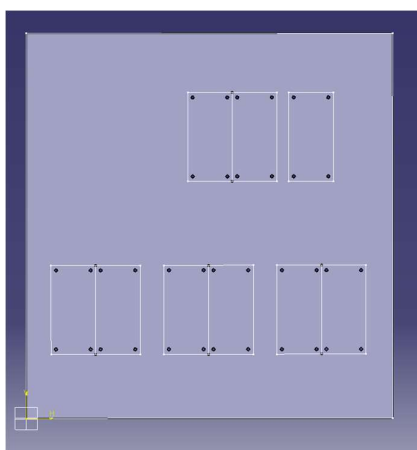
Figur 8: monteringsplatta enhet A 2 mm med förstärkningsbalkar

4.7.3 Enhet C

Enhet C har 3 större komponenter på 1 kg styck till höger, plus 6 st mindre komponenter till vänster på 0,3 kg styck. Detta resulterar i en total massa på 4,8 kg. Se *figur 9,10 och 11* nedan.

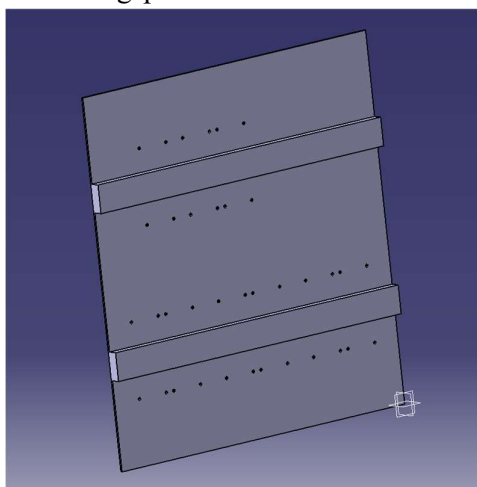


Figur 9: Modell av Enhet C



Figur 10: monteringsplatta enhet C 2 mm eller 4 mm tjock

Monteringsplattan för enhet C har 36 st M4 hål.



Figur 11: monteringsplatta enhet C 2 mm med förstärkningsbalkar

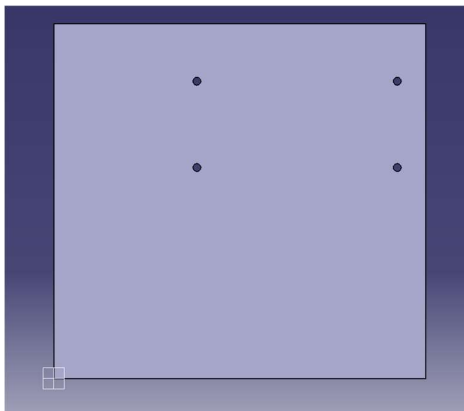
4.7.4 Enhet D

Enhet D har endast en komponent på 0,8 kg. Denna enhet är intressant för att se hur monteringsplattan reagerar med last på en mer koncentrerad yta. Se *figur 12,13 och 14* nedan.

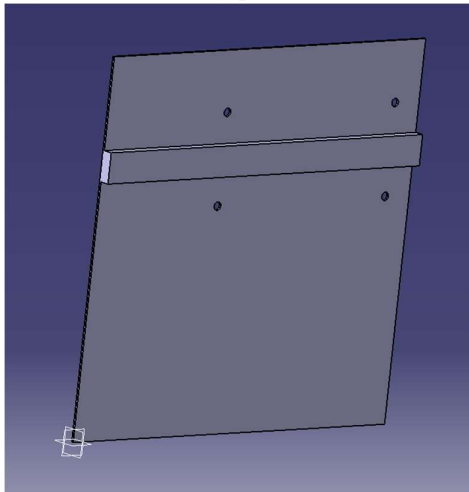


Figur 12: Modell av Enhet D

Monteringsplattan för enhet D har 4 st M8 hål.



Figur 13: monteringsplatta enhet D 2 mm eller 4 mm tjock



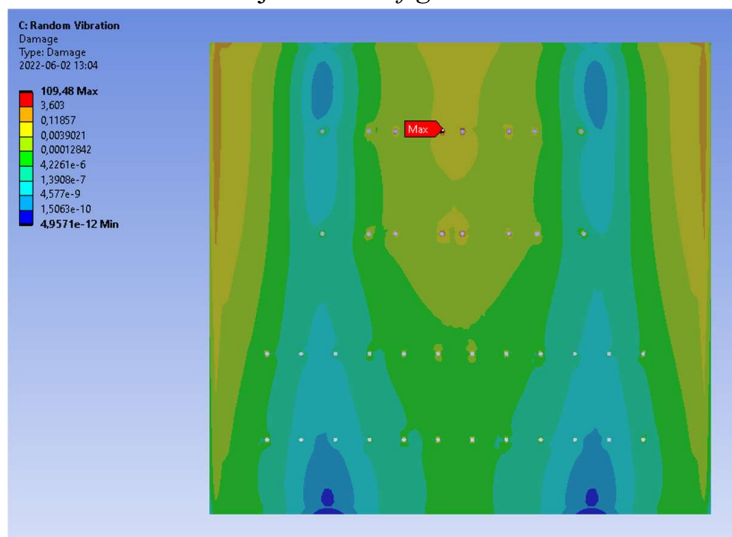
Figur 14: monteringsplatta enhet D 2 mm med förstärkningsbalk

5 Resultat

Resultatet innefattar tre utmattningsanalyser på Enhet A som visar hur värdet på utmattningen skiljer sig med olika tjocklekar och med en tillsatt förstärkningsbalk. Det presenteras även en förenklad kalkyl som visar alla dimensionerande värden från alla analyser av enheterna. Den fullständiga kalkylen med värden från alla analyser finns att se i bilaga A5.

5.1 Mätvärden vid FEM-analys

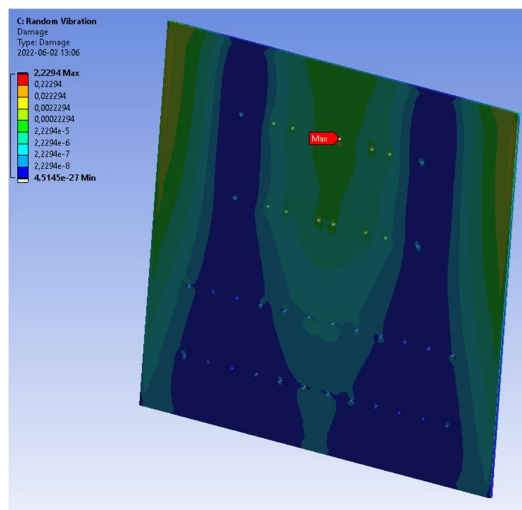
Nedan visas figur 15 som är en utmattningsanalys efter vibrationssimuleringen på Enhet A med 2 mm tjocklek. Se *figur 15* nedan.



Figur 15: Enhet A med 2 mm tjocklek

I detta fall ligger den maximala utmattningen på 10948% vilket är långt över kravet på 70%. Den maximala utmattningen sker runt ett skruvhål som kan ses i figuren ovan vid den röda pilen. Resterande hål är också röda vilket inte kan ses tydligt tack vare upplösningen men det är främst där störst utmattning sker.

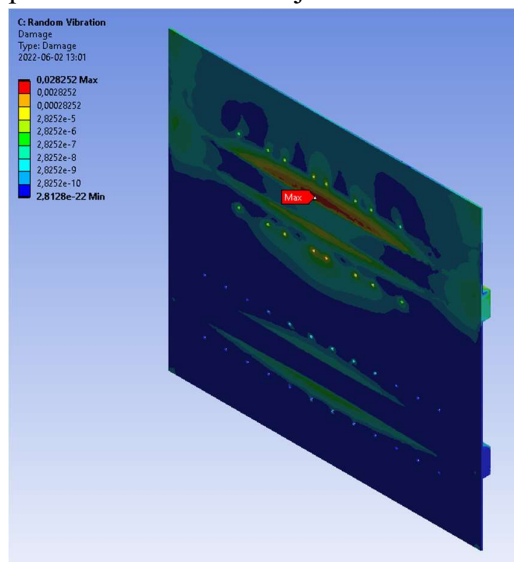
Nedan visas figur 16 som är en utmattningsanalys efter vibrationssimuleringen på Enhet A med 4 mm tjocklek. Se *figur 16* nedan.



Figur 16: Enhet A med 4 mm tjocklek

I detta fall har tjockleken fördubblats och den maximala utmattningen ligger på 223% vilket fortfarande är över kravet på 70%. Den maximala utmattningen sker fortfarande runt ett skruvhål.

Nedan visas figur 17 som är en utmattningsanalys efter vibrationssimuleringen på Enhet A med 2 mm tjocklek och tillsatt förstärkningsbalk. Se figur 17 nedan.



Figur 17: Enhet A med 2 mm tjocklek och tillsatt förstärkningsbalk

Den maximala utmattningen ligger på 2,28% vilket nu är under kravet på 70%. Den maximala utmattningen sker nu istället mellan den övre balken och de översta skruvhålen.

5.2 Sammanställning av mätvärden i kalkyl

Tabellen nedan visar en sammanställning av datan från simuleringen som gjorts på de 4 enheterna efter de stöt- och vibrationskrav som använts. Denna tabell visar endast värdena som anses som nyckeltal. Fullständig tabell med alla deformationer och spänningar vid stötar för X, Y och Z hittas i *Bilagor*. Valet av värden gjordes genom att endast kolla på de högsta värdena som är dimensionerande.

Det man kan titta noga på är kolumnen med utmattning och kolumnen med töjning, de grön-markerade har klarat kraven, och de rödmarkerade har inte klarat kraven. Se *tabell 4* nedan.

| Enhet | | | | Resultat | | | | |
|-----------------|--------------|-----------|-----------------|--------------------------|--------------------|----------------|----------------|---------|
| | | | | Vibration | | | Stöt | |
| | Modifikation | Antal hål | Total lastmassa | Lägsta Egenfrekvens [Hz] | Max Spänning [MPa] | Utmattning [%] | Spänning [MPa] | Töjning |
| Dimensionerande | | | | | | 70% | | 7% |
| A | t=2 mm | 40 | 5,8 kg | 19,3 | 350 | 10948% | 232 | 0,5% |
| A | t=4 mm | 40 | 5,8 kg | 58 | 90 | 223,00% | 100 | 0,14% |
| A | Förs. Balk | 40 | 5,8 kg | 113,2 | 123 | 2,80% | 35,8 | 0,05% |
| B | t=2 mm | 28 | 4,9 kg | 20,8 | 317 | 4100% | 238 | 0,34% |
| B | t=4 mm | 28 | 4,9 kg | 57 | 182 | 145,00% | 97 | 0,14 |
| B | Förs. Balk | 28 | 4,9 kg | 101,9 | 147 | 14,80% | 56,3 | 0,08% |
| C | t=2 mm | 36 | 4,8 kg | 22,3 | 303 | 3000% | 380,9 | 0,55% |
| C | t=4 mm | 36 | 4,8 kg | 60,8 | 181 | 71,00% | 86 | 0,13% |
| C | Förs. Balk | 36 | 4,8 kg | 113 | 128 | 16% | 47,6 | 0,07% |
| D | t=2 mm | 4 | 0,8 kg | 48,8 | 170 | 43,00% | 83 | 0,12% |
| D | t=4 mm | 4 | 0,8 kg | 160,3 | 24 | 0,00% | 10 | 0,02% |
| D | Förs. Balk | 4 | 0,8 kg | 87,6 | 34 | 0,00% | 14 | 0,02% |

Tabell 4: Mätvärden vid FEM-analys

Vid stöt var Z-led alltid högst och därmed dimensionerande. Det är töjningen i plattan som är intressant, deformationen, som går att se i den fullständiga tabellen, syftar till utböjningen på plattan som inte är dimensionerande.

Vid vibration är utmattningen dimensionerande. Spänningen visar bara den momentant högst uppmätta spänningen under en cykel.

Det ger inte nödvändigtvis större upphov till utmattning vid högre max

spänning.

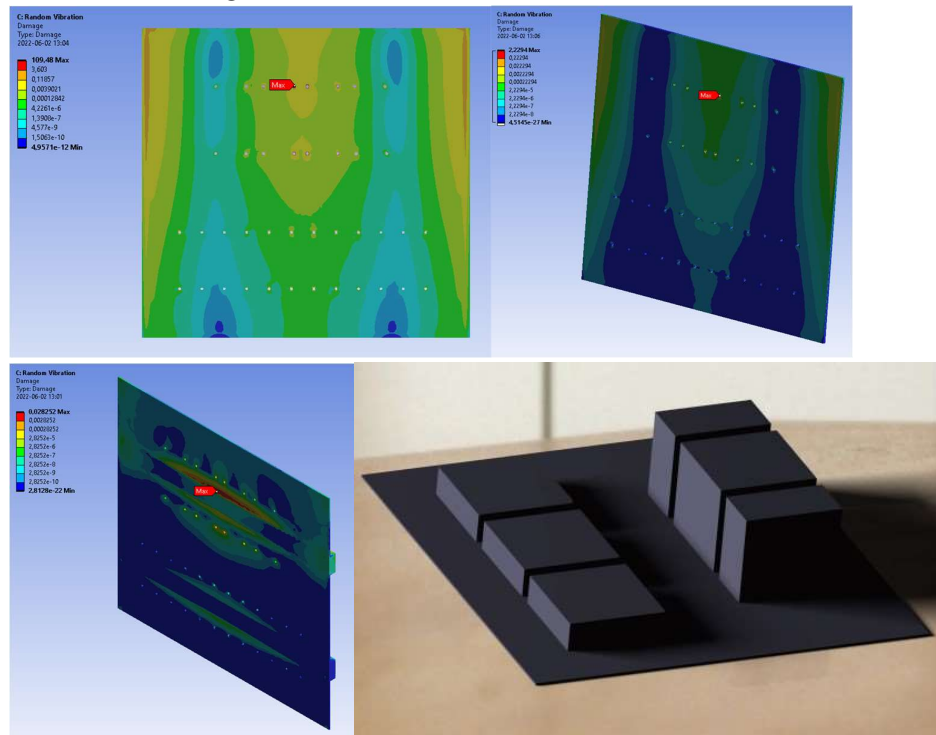
Lägsta egenfrekvens är intressant för att se om det finns ett samband mellan egenfrekvens, spänning och utmattning.

Det syns tydligt att det inte finns en risk för att stötarna kommer ge upphov till plastisk deformation eller annan förstörelse av plattan, det kan därmed bortses från under vidare studie.

6 Diskussion och Utvärdering

6.1 Undersök enhet A

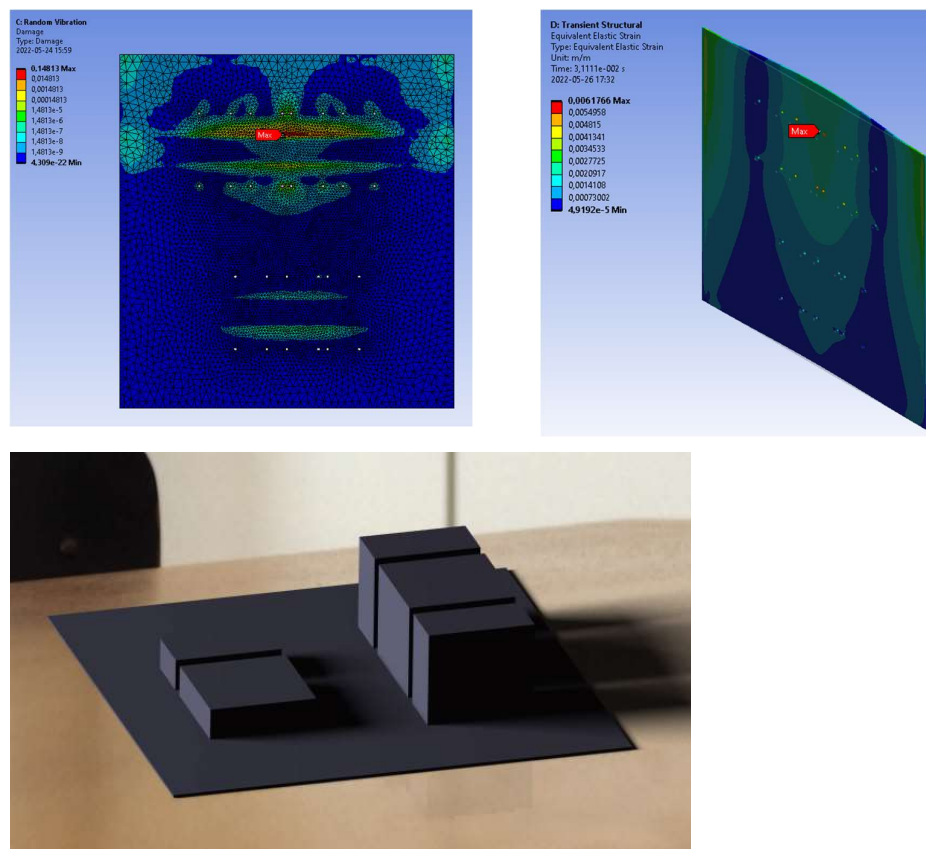
Med tillsatt förstärkningsbalk och oförändrad tjocklek minskar utmattningen så mycket att den hamnar under kravgränsen i alla fyra fall. Därmed är förstärkningsbalken det mest lämpliga alternativet för bäst hållfasthet i plattan. Om vi exempelvis tittar på Enhet A kan man se att utmattningen ligger på 10948% för en tjocklek på 2 mm, 223% för en tjocklek på 4 mm och 2,8% med tillsatt förstärkningsbalk.



Figur 18: Analyser av enhet A: Utmattning för 2mm överst till höger, 4mm överst till vänster, förstärkningsbalk nederst till vänster och bild på rendering av plattan nederst till höger.

6.2 Undersök enhet B

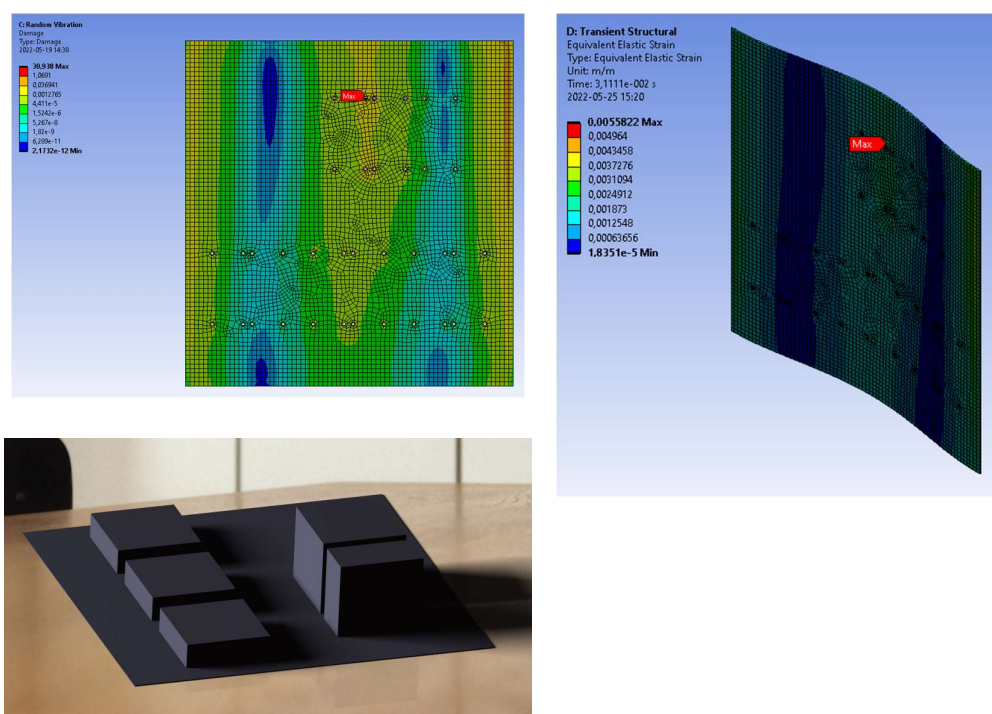
För enhet B ser utfallen ganska lika ut som för enhet A. Skillnaden är att alla värden på utmattningen för enhet B är lägre. Detta måste då bero på att plattan har färre hål och att lasten är mindre. Utmattningen ligger på 4100% för en tjocklek på 2 mm, 145% för en tjocklek på 4 mm och 14,80% med tillsatt förstärkningsbalk. Utmattningen minskar alltså kraftigt vid ökad tjocklek och minskar ännu mer vid tillsatt balk. Däremot till skillnad från enhet A så minskar inte utmattningen lika mycket efter tillsatt balk, då den ligger på 2,80% för enhet A och 14,80% för enhet B. Detta kan då bero på att lasten inte distribueras över lika många hål och att det blir mer koncentrerat kring ett hål. Töjningen efter alla stötsimuleringar ligger under 1% för alla de två olika tjocklekarna och med balk.



Figur 19: Analyser av enhet B: Utmattning för 2mm överst till vänster, töjning för 2mm överst till höger och bild på rendering av plattan nederst till vänster.

6.3 Undersök enhet C

För enhet C ligger den maximala utmattningen på 3000% för den 2 mm tjocka plattan och 71% för den 4 mm tjocka plattan vilket är precis över kravgränsen på 70%. Med en tillagd balk hamnade den maximala utmattningen på 16% vilket är under gränsen. Maximal utmattning sker runt skruvhålen för plattorna utan balk (2 & 4mm) och för plattan med balk sker det vid området mellan de övre skruvhålen och balken. Utmattningen minskar alltså ordentligt vid ökad tjocklek och ytterligare med en tillsatt balk. Efter stötsimuleringarna ligger töjningen under 1% för alla modifikationer på plattan vilket också är under kravgränsen på 7%.



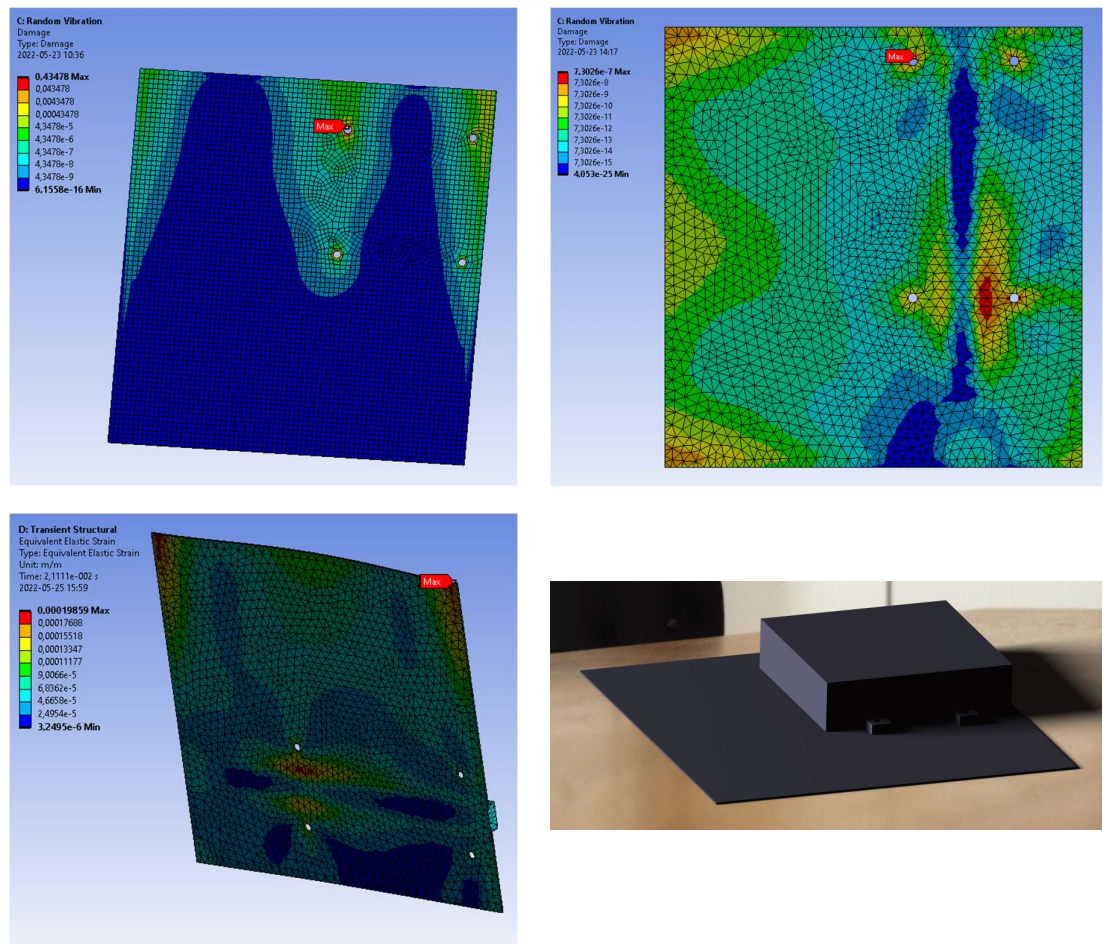
Figur 20: Analyser av enhet C: Utmattning för 2mm överst till vänster, töjning för 2mm överst till höger och bild på rendering av plattan nederst till vänster.

6.4 Undersök enhet D

Alla simuleringar för alla modifikationer för enhet D resulterade i värden som ligger under kravgränsen, både för utmattning och töjning. Den 2 mm tjocka plattan fick en maximal utmattning på 43% vilket är väl under kravgränsen. Simuleringarna för de resterande två modifikationer (4 mm och

förstärkningsbalk) gav näst intill ingen skada alls på plattan med en maximal utmattning på 0,00%. Alla töjningar hamnade under 0,2%. För plattorna utan förstärkningsbalk ligger maximal utmattning kring skruvhålen och för plattan med balk ligger den i området mellan balk och skruvhål.

Även vid mer koncentrerad last ligger utmattningen vid skruvhålen för plattorna utan förstärkningsbalk.



Figur 20: Analyser av enhet D: Utmattning för 2mm överst till höger, 4mm överst till vänster, töjning för förstärkningsbalk nederst till vänster och bild på rendering av plattan nederst till höger.

6.5 Jämför enhet A, B, C och D

Från resultaten av simuleringarna på alla enheter går det att göra en del observationer. Enheterna A, B och C har väldigt lika utfall jämfört med enhet D. Den maximala utmattningen för A, B och C ligger över gränsen för plattorna

utan balk och sedan under gränsen när en förstärkningsbalk är tillsatt. Max. utmatningen sker runt skruvhålen för alla plattor utan balk, även för enhet D. Ingen platta med balk har max. utmatning runt skruvhålen utan istället i området mellan balk och skruvhål. Vad gäller töjning gav ingen platta ett töjningsvärde över kravgränsen på 7%.

Det syns inte direkt något tydligt förhållande mellan distruberingen och utmatningen, men det kan bero på att enheterna i allmänhet är ganska lika vad gäller distruberingen och lastmassa. Enhet D har annorlunda distrubering jämfört med de övriga enheterna, och en väldigt låg utmatning, men det ger inte riktigt underlag nog för att dra några slutsatser.

6.6 Massa

En 2 mm tjock monteringsplatta väger 0,768 kg, en 4 mm tjock monteringsplatta väger 1,536 kg, alltså dubbelt så mycket. Förstärkningsbalken som använts i undersökningen väger 0,311 kg. Att använda en förstärkningsbalk ger därmed konstruktionen lägre massa än vid användning av en tjockare plåt. I de 3 av 4 fall i denna undersökningen har 2 förstärkningsbalkar används, vilket resulterar i en total massa på 1,390 kg, alltså fortfarande lägre trots att det ger ett större bidrag mot utmatning.

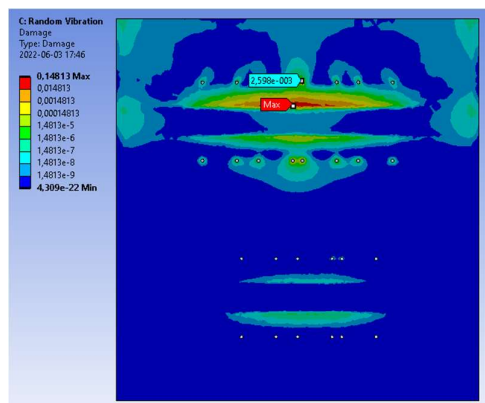
6.7 Utmatning kring hål

Som vi kan se på *Figur 15: Enhet A med 2 mm tjocklek* och *Figur 16: Enhet A med 4 mm tjocklek* är det framför allt kring skruvhålen som utmatningen sker, bara ett par millimeter från hålen minskar utmatningen till en hundradel. Spänningskoncentrationerna ökar väldigt mycket kring hål, speciellt kring hål med små radier.

Man kan även se att de små radierna vid förstärkningsbalkarna leder till utmatning mellan förstärkningsbalken och monteringsplattan. I 3 av 4 fall med förstärkningsbalk är det vid själva balken som utmatningen sker, detta stämmer inte nödvändigtvis med verkligheten eftersom de inte sitter ihop helt och hållet egentligen, utan det är en förenkling vid simuleringen som valt att göras

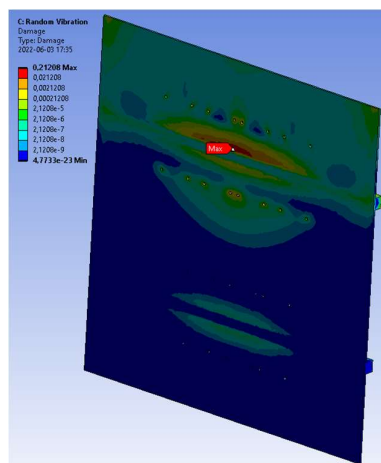
6.8 Effekten av olika förstärkningsbalkar

För att få bättre förståelse gjordes 2 nya simuleringar på enhet B med 3 andra varianter av balk. Enhet B valdes eftersom att den hade högst utmatning med balkar. Intill hålet är det endast 0,25%. Se figur



Figur 21: Utmattningsanalys av enhet B med balk

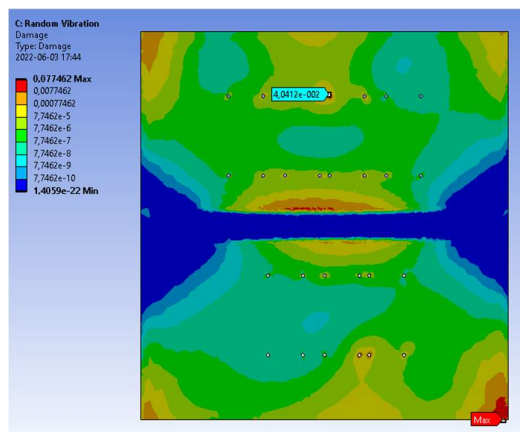
Den första varianten har 2 st balkar placerade på samma sätt som originalet, men de är 13 mm breda istället för 30 mm.



Figur 22: Utmattningsanalys av enhet B med balkvariant 1

Detta ledde till 6% högre utmattning jämfört med originalet, från 14,8% till 21%. Utmattningen sker fortfarande intill balken och inte på hålen.

Nästa balkvariant som gjordes var med en 30 mm balk i mitten av monteringsplattan emellan alla komponenter, istället för en balk under vardera komponentsammansättningen.



Figur 23: Utmattningsanalys av enhet B med balkvariant 2

Detta ledde till en utmattning som bara är hälften så stor som originalet, trots att denna bara har 1 balk istället för 2. Utmattningen är nu som högst vid ena hörnet intill infästningen. Denna kan överses eftersom infästningen inte är en helt korrekt modellerad efter monteringsplattan. Utmattningen intill hålen är nu 4%. Detta är ca 20 gånger högre än originalet, men fortfarande väldigt låg.

6.9 Stöt

Vad gäller stöt har plattan klarat av gränsen på töjningen som är 7%. Inget av fallen hamnade över 1%. Plattan klarar därmed av stötar väl. Så länge töjningen inte överstiger 7% sker ingen plastisk deformation, och därmed ingen bestående skada. Många stötar under lång tid skulle kunna leda till utmattning, men med den estimeringen som är gjord kommer vibrationerna leda till utmattning före stötarnas påverkan är betydande.

6.10 Egenfrekvens

Gränsen för att egenfrekvensen alltid är säker, verkar ligga runt 60 Hz. Går man upp mot 70-80 Hz är säkerhetsmarginalen ganska stor, men det är svårt att förutse vad som ger en hög eller låg egenfrekvens vid konstruktion.

Vi valde att undersöka om vi kunde få fram en gemensam fjäderkonstant för varje enhet vid respektive monteringsplatta. Detta gjordes med ekvationen för ett massa-fjäder-system vid harmoniska rörelser.

$$T = 2\pi\sqrt{(m/k)} \text{ där } T = 1/f$$

Ekvationen skrevs om för att beräkna fjäderkonstanten vid känd massa och frekvens enligt följande

$$f = (1/(2\pi\sqrt{(m/k)}))$$

| Enhet | Modifikation | Fjäderkonstant |
|-------|--------------|----------------|
| A | 2 mm | 85,3 kN/m |
| A | 4 mm | 770,3 kN/m |
| A | Först. balk | 2,9 MN/m |
| B | 2 mm | 83,7 kN/m |
| B | 4 mm | 628,5 kN/m |
| B | Först. balk | 1,99 MN/m |
| C | 2 mm | 94,2 kN/m |
| C | 4 mm | 700,5 kN/m |
| C | Först. balk | 2,4 MN/m |
| D | 2 mm | 75,2 kN/m |
| D | 4 mm | 808,5 kN/m |
| D | Först. balk | 242,3 kN/m |

Detta ger följande sammanställning av fjäderkonstanten för varje monteringsplatta

| Modifikation | Minimum | Maximum | Genomsnittlig |
|--------------|------------|------------|---------------|
| 2 mm | 75,2 kN/m | 94,2 kN/m | 84,6 kN/m |
| 4 mm | 628,5 kN/m | 808,5 kN/m | 727 kN/m |
| Först. balk | 242,3 kN/m | 2,9 MN/m | 1,88 MN/m |

Med denna sammanställning kan vi tydligt se samband mellan varje platta och dess fjäderkonstant. Detta gör att en konstruktör skulle kunna använda denna metodik för att redan i designprocessen ta reda på vilken monteringsplatta som är lämpligast för en viss last. Man kan också välja att skapa en tabell med olika monteringsplattor och rekommenderad maxlast för en lägsta egenfrekvens.

Vi ser att en egenfrekvens på ca 100 Hz är ett säkert värde för att motstå utmattning.

På grund av att enhet D endast har en förstärkningsbalk så har den ganska avvikande fjäderkonstant. Bortsett från detta måste en utvärdering kring vilken fjäderkonstant som är bäst att använda för respektive monteringsplatta. Vill man vara på den säkra sidan så är den lägsta fjäderkonstanten säkrast att utgå ifrån eftersom den antar en vekare monteringsplatta än de högre värdena. Men med tanke på att vibrationstestet redan ger höga krav som monteringsplattan kanske

inte nödvändigtvis kommer utsättas för, samt att en säkerhetsfaktor på 30% har lagts till så kanske inte den lägsta fjäderkonstanten alltid är representativ.

6.11 Felkällor

- När simuleringarna gjordes så distribuerades lasten från varje komponent på direkt på skruvhålen, i verkligheten tas en del av vikten upp mellan hålen på monteringsplattan där komponenten vilar. Här skulle även friktionen och geometriska samband mellan monteringsplattan och komponenten påverka.
- Vid varje skruvhål blir lasten väldigt koncentrerad runt skruvhålet, i verkligheten skulle lasten bli mer utbredd pga muttrar och skruvars diameter samt användning av brickor.
- Materialdatan är inte nödvändigtvis lik Saabs, vilket gör att resultaten inte är relativa till Saabs egna beräkningar.
- I verkligheten används en bockad plåt som skruvas med 5-10 skruvar på sidorna beroende på djup. Vi har förenklats det till en platta som är fast infäst längs två sidor. Detta leder både till andra infästningar och andra spänningskoncentrationer längs kanterna.
- Dimensionerna för förstärkningsbalken har förenklats och endast bredd och tjocklek har använts. För att förenkla infästningar så gjorde vi endast monteringsplattan tjockare där vi ville modellera förstärkningsbalken.
- Det var ett begränsat antal enheter och lastfall som undersöktes, sambanden som hittats stämmer inte nödvändigtvis med andra dimensioner och lastfall.

6.12 Slutsats

Nedan kommer slutsatser presenteras som utgår från resultaten i det tidigare kapitlet och som är kopplat till syftet.

En 4 mm tjock monteringsplatta minskar utmattningen avsevärt, men det som fungerar bäst är förstärkningsbalkar. De ger lättare vikt, ökad styrka och flyttar utmattningspunkten från hålen till plattan intill balken.

Även en mindre balk verkar ge ganska liknande styrka hos plattan, och man sparar mer än hälften av vikten hos förstärkningsbalken.

En balk i mitten av plattan istället för 2 st på plattan under komponenterna ser ut att ge ganska liknande styrka i förhållande till utmattningen.

En platta med 40 hål skiljer sig inte så mycket från en platta med 28 hål exempelvis, när det handlar om utmattning och töjning.

Däremot verkar det som att lastmassan har stor betydelse för utmattningen. Om

vi jämför enhet A (2 mm platta) med enhet B (2 mm platta) så sjunker utmattningen från ca 10 000% till ca 4 000% och där skiljer bara 1 kg och lastfallet ser ungefär likadant ut. Skillnaden mellan enhet B (2 mm platta) och enhet C (2 mm platta) är även den relativt stor, trots att det bara skiljer 0,1 kg, från 4 100% till 3 000%.

Vi rekommenderar att använda en förstärkningsbalk i mitten av monteringsplattan, detta ger lägre spänningskoncentrationer än vad 2 st förstärkningsbalkar gör. Vi har endast utgått ifrån 30 mm förstärkningsbalken för denna slutsats, en 13 mm kan göra jobbet, men det måste undersökas vidare.

Man bör inte välja att endast göra monteringsplattan tjockare, det är inte optimalt för vikten och det ger inte så mycket stabilitet som en förstärkningsbalk.

6.12.1 Fortsatt arbete

Utmattning sker nästan alltid runt skruvhålen och med tillsatt förstärkningsbalk kan det istället ske på ytan mellan balken och hålen. För ökad styrka är en möjlighet att göra balken större. Balken vi har tillsatt utgår från dimensionerna som Saab använder. Fortsatt arbete kan vara att undersöka balkfall, exempelvis att jobba vidare med att se hur väl en balk i mitten håller och hur mycket det påverkar att ändra dimensionerna på balken

För att uppnå ännu bättre hållfasthet är en möjlighet att ha både ökad tjocklek och en balk. Något som möjligtvis kan arbetas vidare på och undersökas.

Något som kan arbetas vidare på är kopplingen med massa, egenfrekvens och fjäderkonstant. Med formeln given ovan i 6.10 kan en fjäderkonstant beräknas för en platta med hjälp av att veta egenfrekvensen och massan.

$$f = (1/(2\pi\sqrt{m/k}))$$

Detta gör att man kan ta fram en tabell för ett antal monteringsplattor med en specifik dimension, bredd, djup och tjocklek, samt förstärkningsbalkar, dess position och dimension. Utifrån detta kan man bestämma maxlast för varje monteringsplatta vid en frekvens. Utifrån beräkningarna som gjorts bör man sätta en gräns vid 100 Hz, vid detta värde och uppåt finns ingen större risk för utmattning. Även vid lägre värden, exempelvis 60-90 Hz kan det vara säkert från utmattning beroende på vilken säkerhetsfaktor man vill utgå ifrån.

Fortsatt arbete på projektet kan vara att titta på hur olika lastfall påverkar utmattningen och töjningen efter för att kunna ge ytterligare verifieringsunderlag.

Referenser

nVent Schroff. (2022). Products.

<https://schroff.nvent.com/en-se/>

Aalco. (13 november 2018). Aluminum Alloy - Commercial Alloy - 5754 - H22 Sheet and Plate.

https://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-5754-H22-Sheet-and-Plate_153.ashx

Saab. (17 november 2021). Information for "Design Standardization (Byggsätt)".

[https://pd.gg.smw.saab.se/index.php5?title=Design_Standardization_\(Byggs%C3%A4tt\)&action=info](https://pd.gg.smw.saab.se/index.php5?title=Design_Standardization_(Byggs%C3%A4tt)&action=info)

Wikipedia. (11 augusti 2021). Chock (mekanik).

[https://sv.wikipedia.org/wiki/Chock_\(mekanik\)](https://sv.wikipedia.org/wiki/Chock_(mekanik))

Wikipedia. (19 september 2020). Vibration.

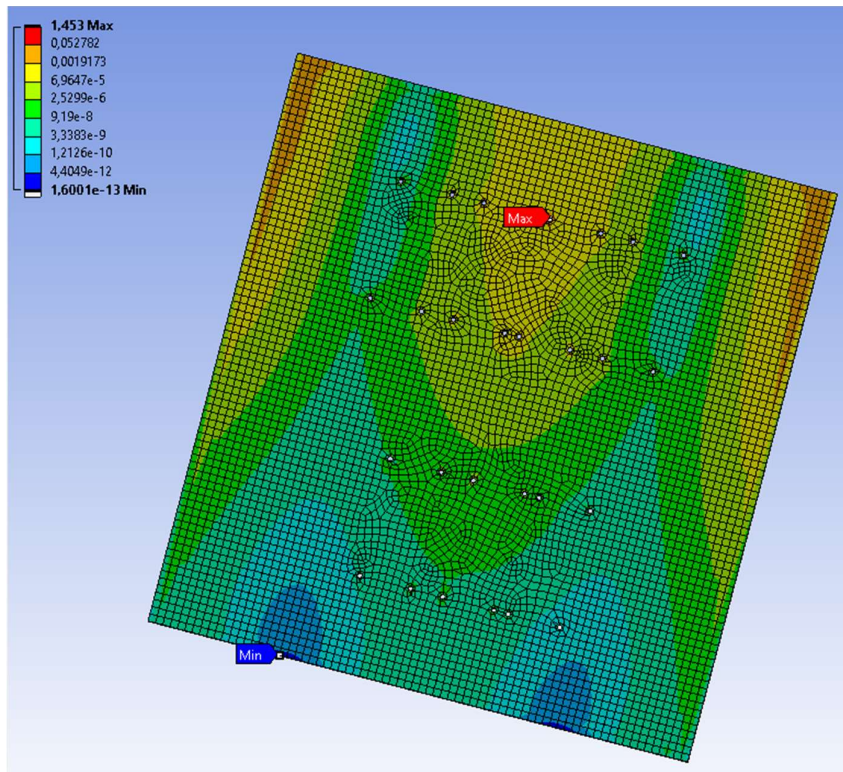
<https://sv.wikipedia.org/wiki/Vibration>

Jansson, P., Grahn, R., Enelund, M. (2018). *Mekanik static och dynamic* (4 uppl.). Studentlitteratur.

Dahlberg, T. (2001). *Teknisk hållfasthetslära* (3 uppl.). Studentlitteratur.

BILAGA A

SIMULERINGAR I ANSYS



Chalmers Tekniska Högskola

Dominic Adamidis

Harald Hermansson

Juni 2022

Innehållsförteckning

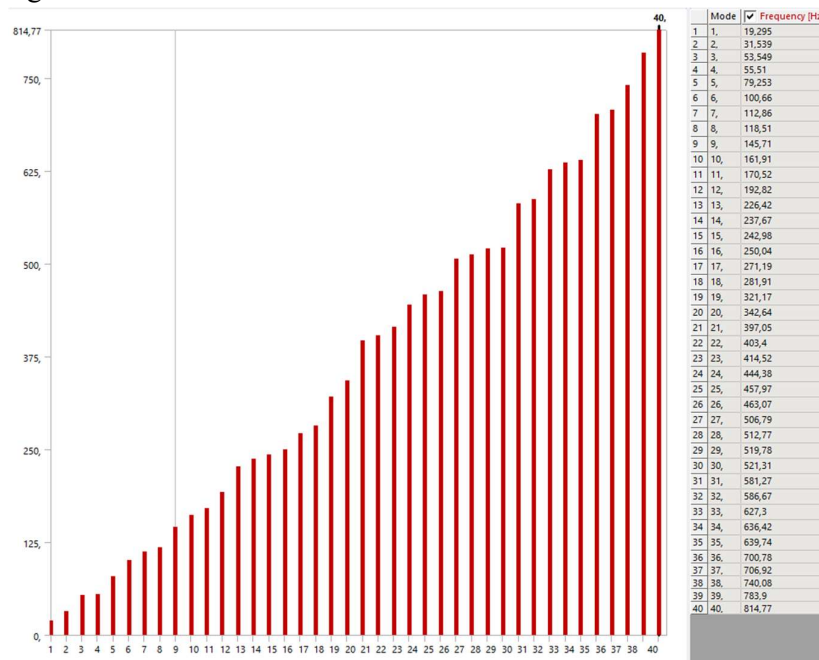
| | |
|---|------|
| A1.Enhet A..... | A1 |
| A1.1 Tjocklek: 2 mm..... | A1 |
| A1.2 Tjocklek: 4 mm | A9 |
| A1.3 Tjocklek: 2 mm med förstärkningsbalk | A18 |
| A2. Enhet B | A26 |
| A2.1 Tjocklek: 2 mm..... | A26 |
| A2.2 Tjocklek: 4 mm..... | A34 |
| A2.3 Tjocklek: 2 mm med förstärkningsbalk..... | A42 |
| A3.Enhet C | A51 |
| A3.1 Tjocklek: 2 mm..... | A51 |
| A3.2 Tjocklek: 4 mm | A59 |
| A3.3 Tjocklek: 2 mm med förstärkningsbalk..... | A67 |
| A4. Enhet D..... | A75 |
| A4.1 Tjocklek: 2 mm..... | A75 |
| A4.2 Tjocklek: 4 mm | A83 |
| A4.3 Tjocklek: 2 mm med förstärkningsbalk..... | A91 |
| A5. Fullständig mätdata från alla simuleringar..... | A99 |
| A6. S-N Kurva..... | A101 |

A1. Enhet A

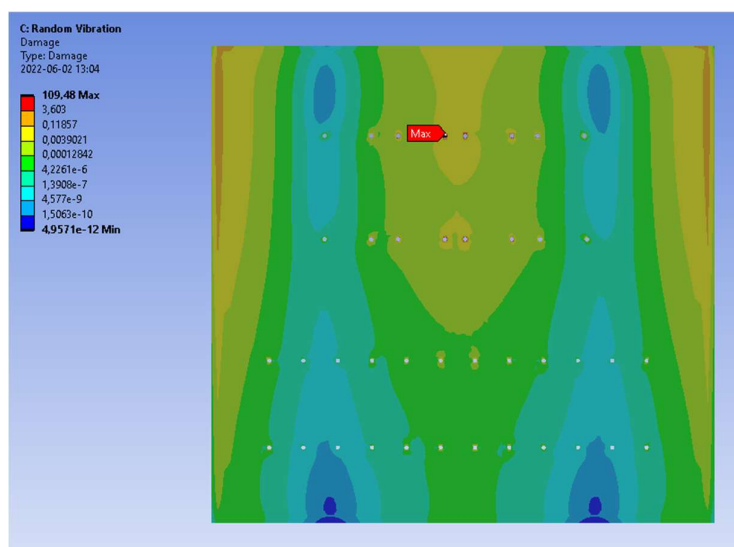
A1.1 Tjocklek: 2 mm

Last: 4+1,8 kg

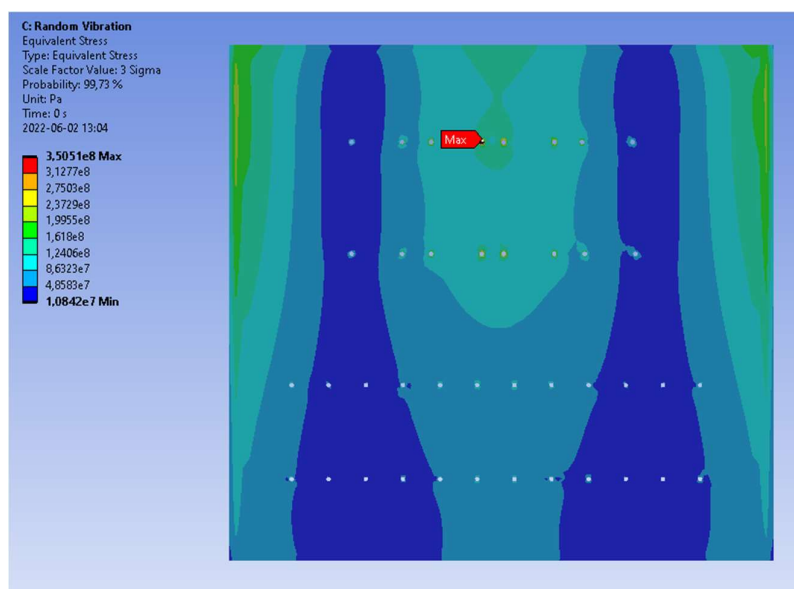
Egenfrekvens



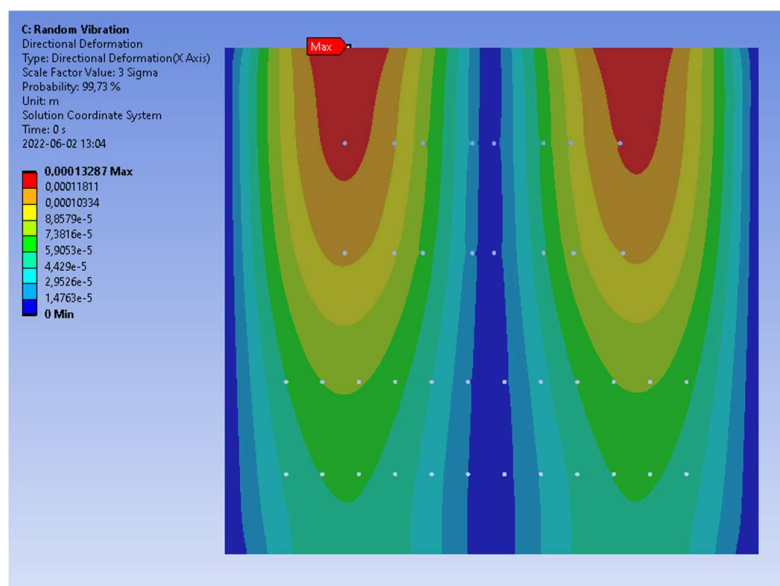
Vibration: Utmattning



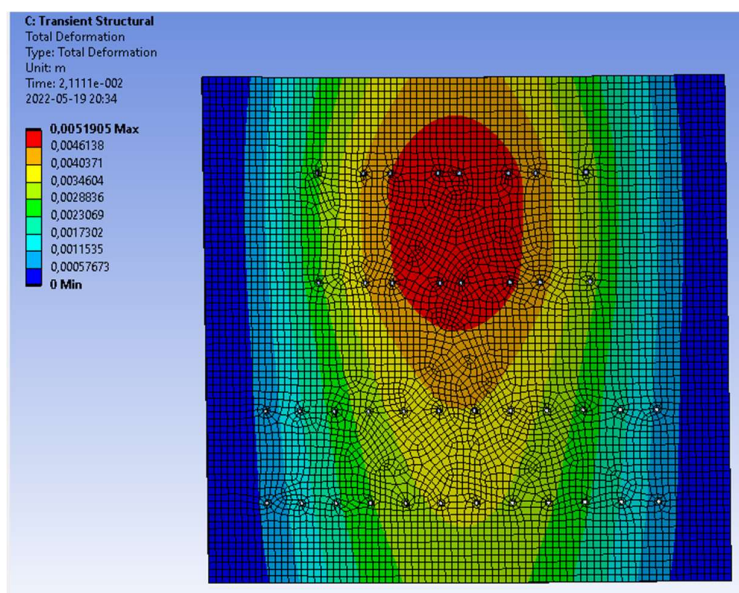
Vibration: von mises spänning



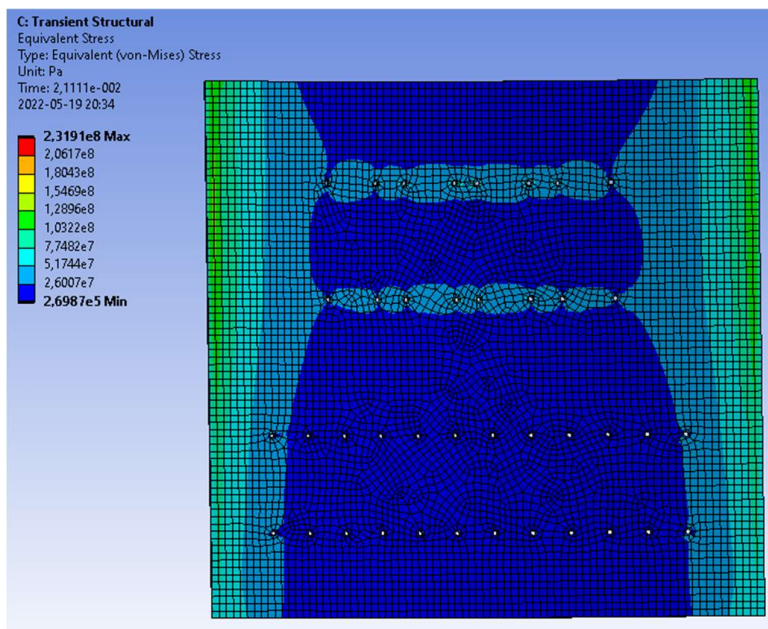
Vibration: Deformation i Z-riktning



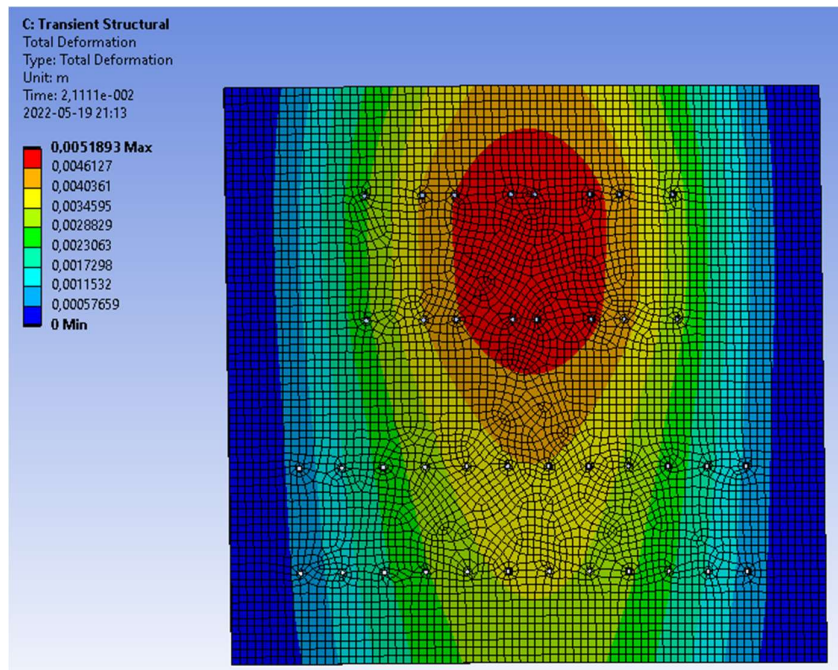
Stöt vertikal positiv: total deformation



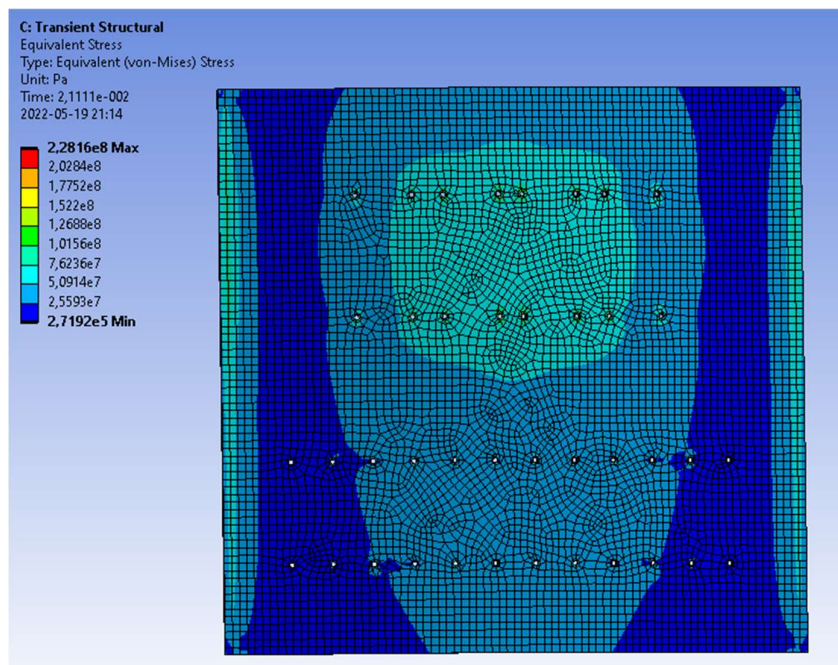
Stöt vertikal positiv: von mises spänning



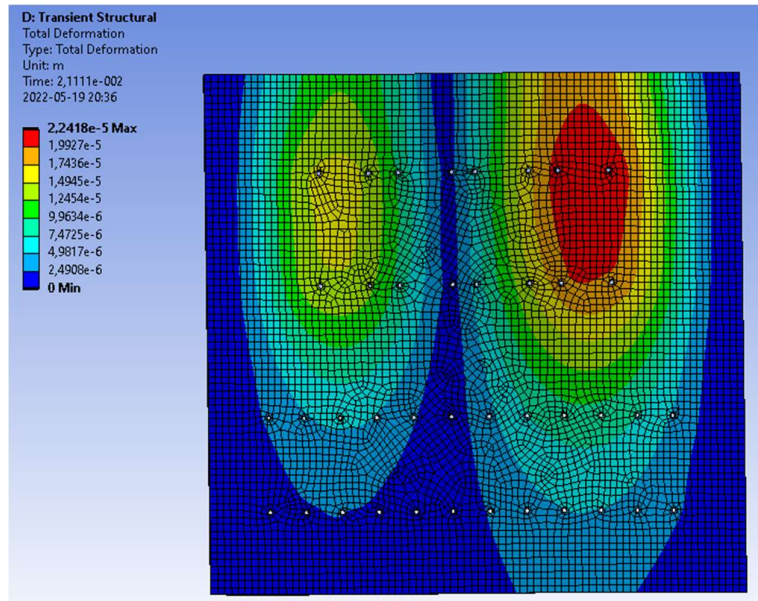
Stöt vertikal negativ: total deformation



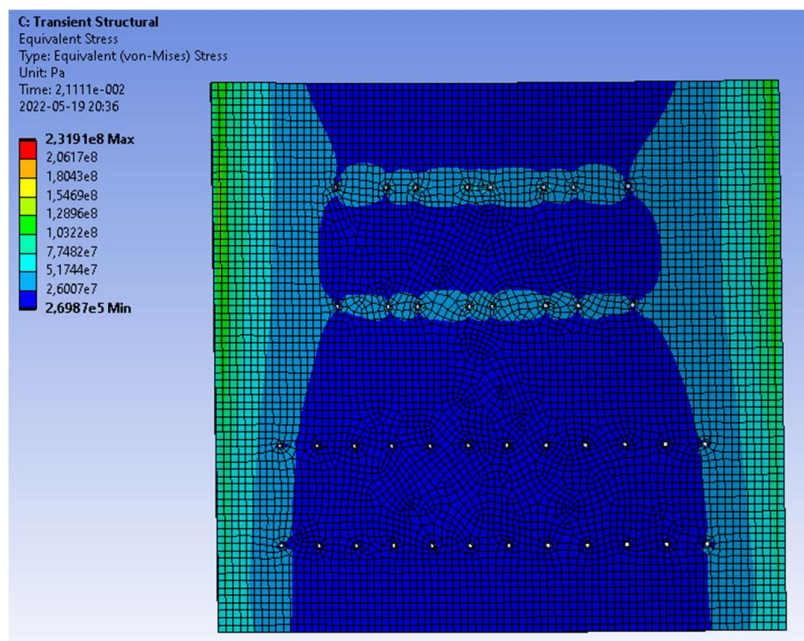
Stöt vertikal negativ: von mises spänning



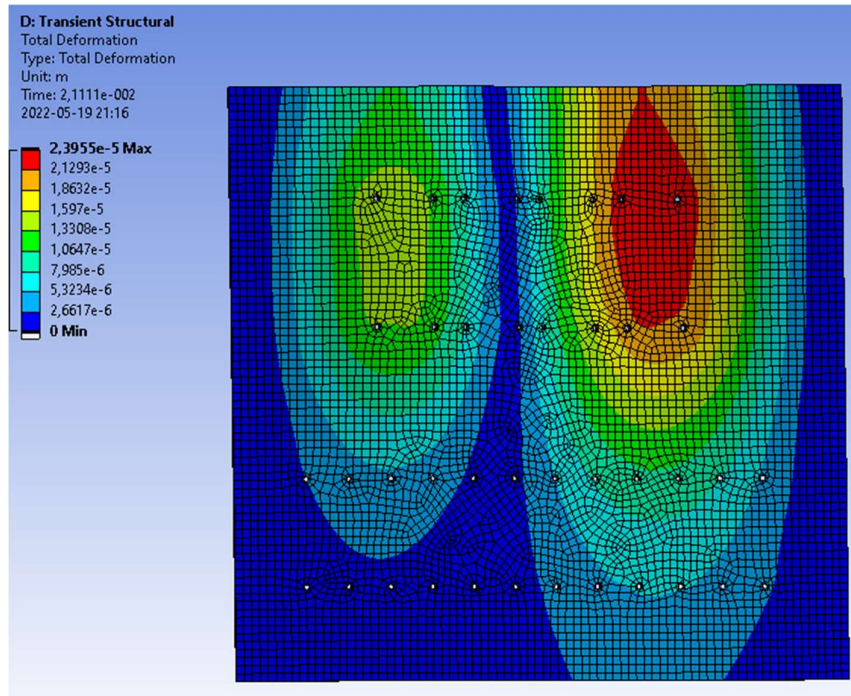
Stöt horisontell (X) positiv: total deformation



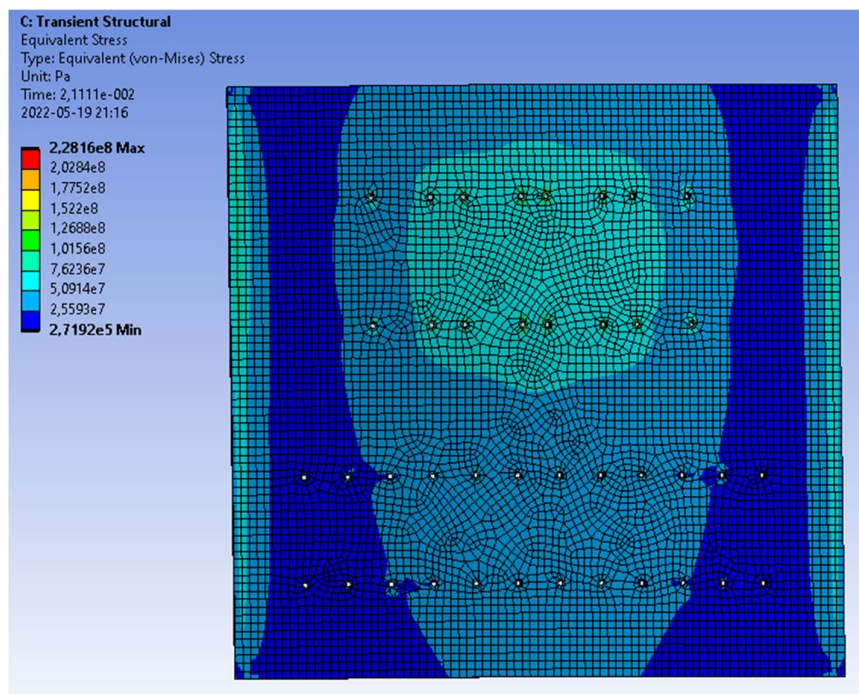
Stöt horisontell (X) positiv: von mises spänning



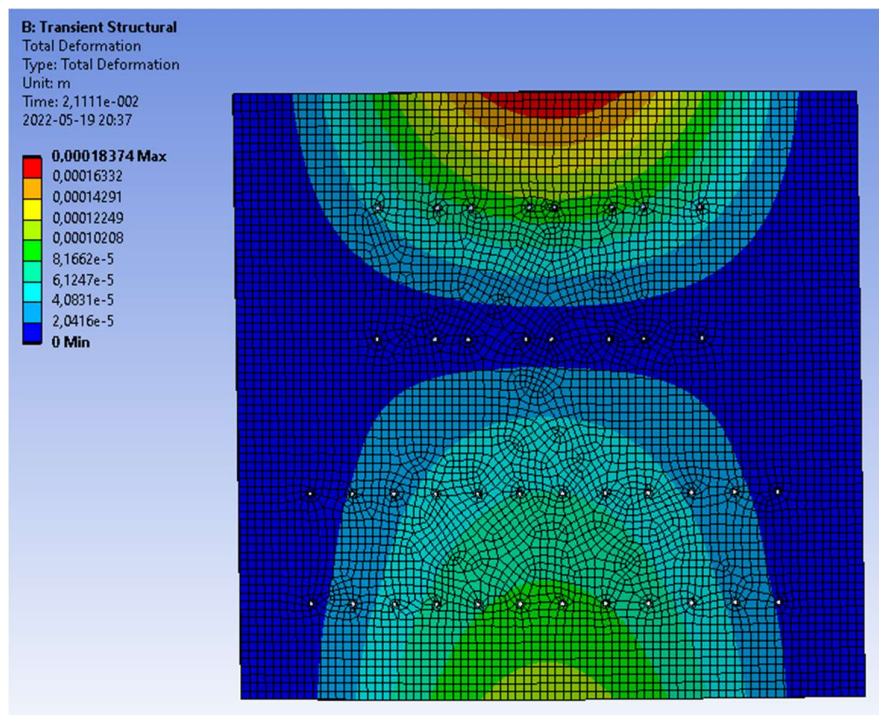
Stöt horisontell (X) negativ: total deformation



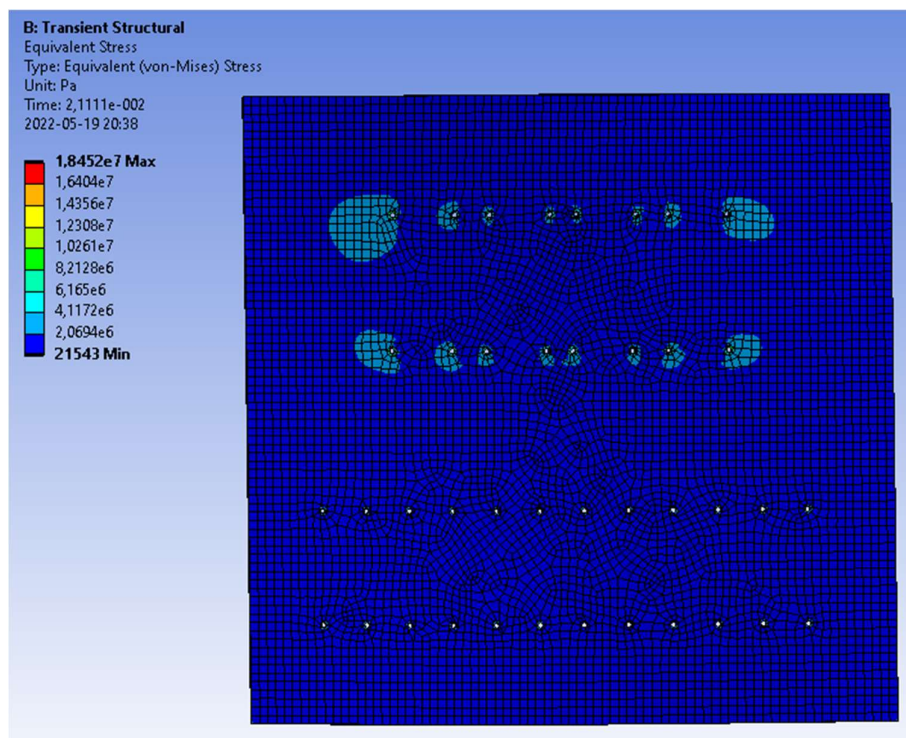
Stöt horisontell (X) negativ: von mises spänning



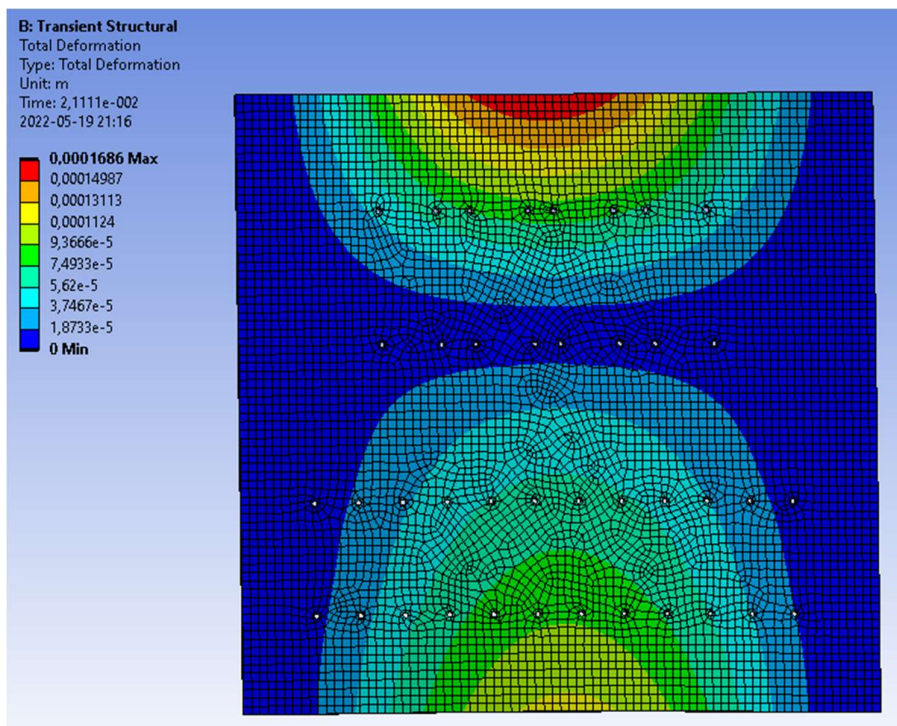
Stöt horisontell (Y) positiv: total deformation



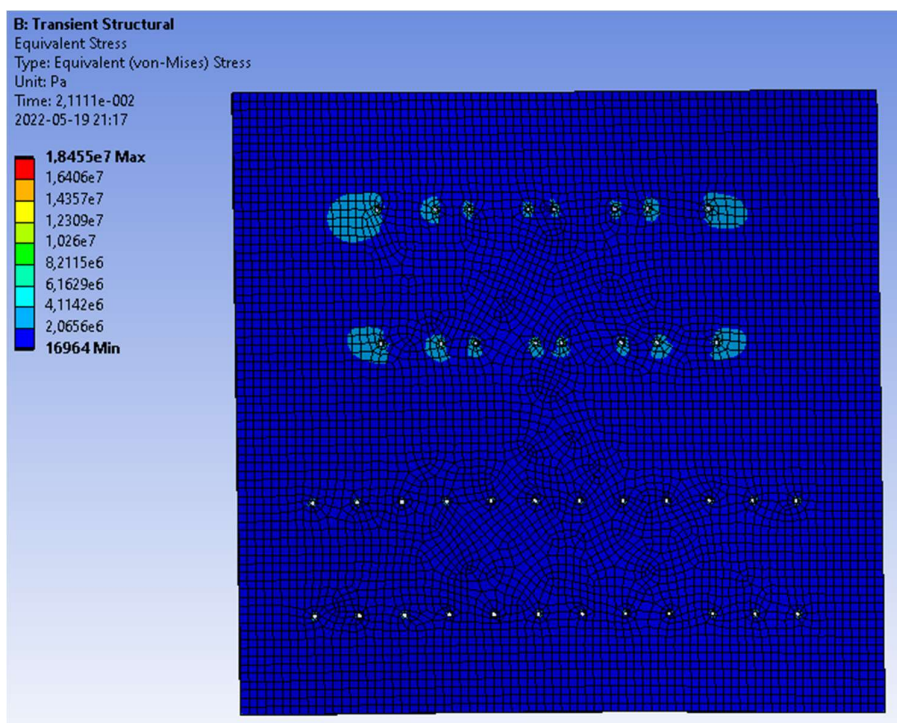
Stöt horisontell (Y) positiv: von mises spänning



Stöt horisontell (Y) negativ: total deformation



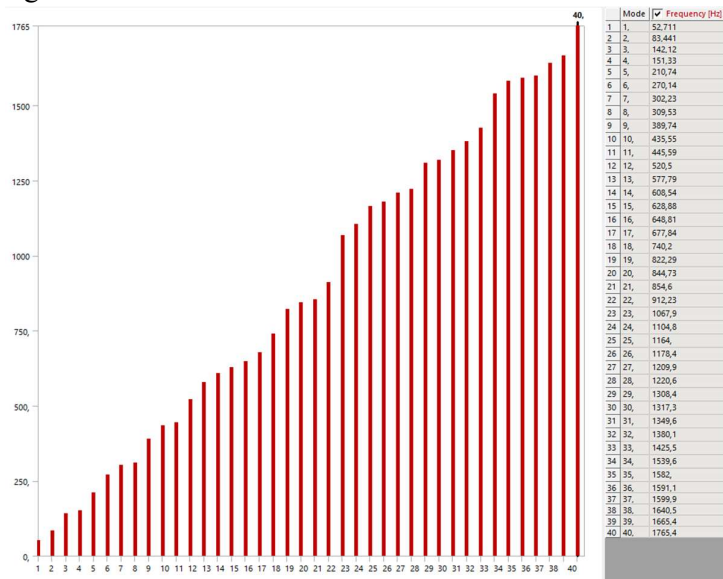
Stöt horisontell (Y) negativ: von mises spänning



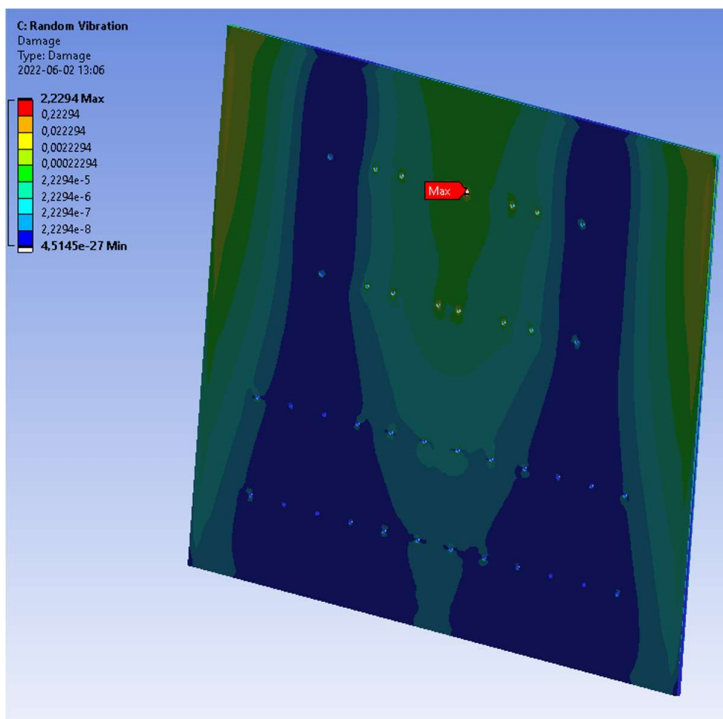
A1.2 Tjocklek: 4 mm

Last: 4+1,8 kg

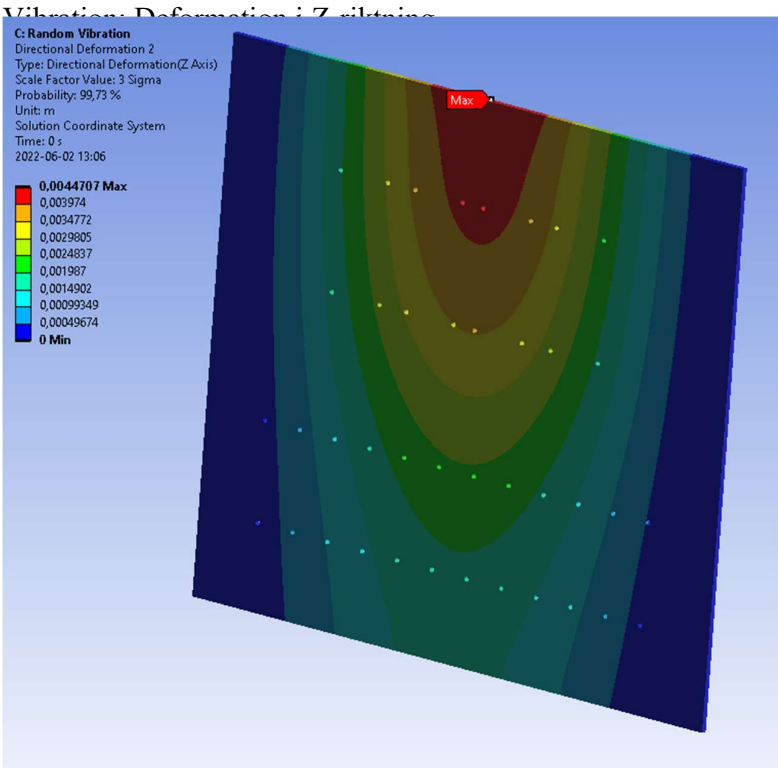
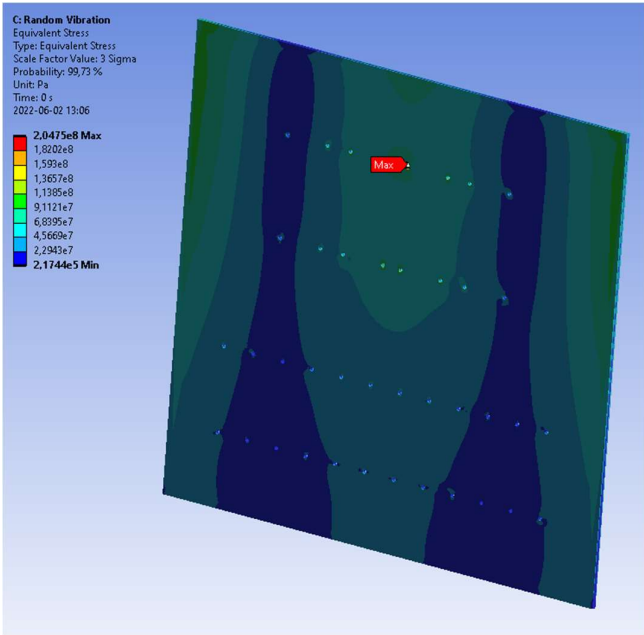
Eigenfrekvens



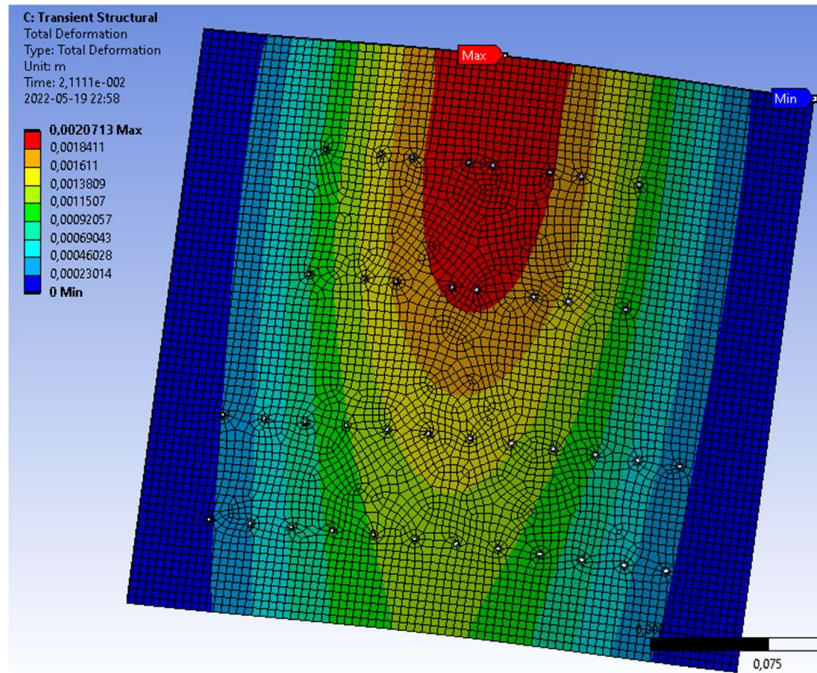
Vibration: Utmattning



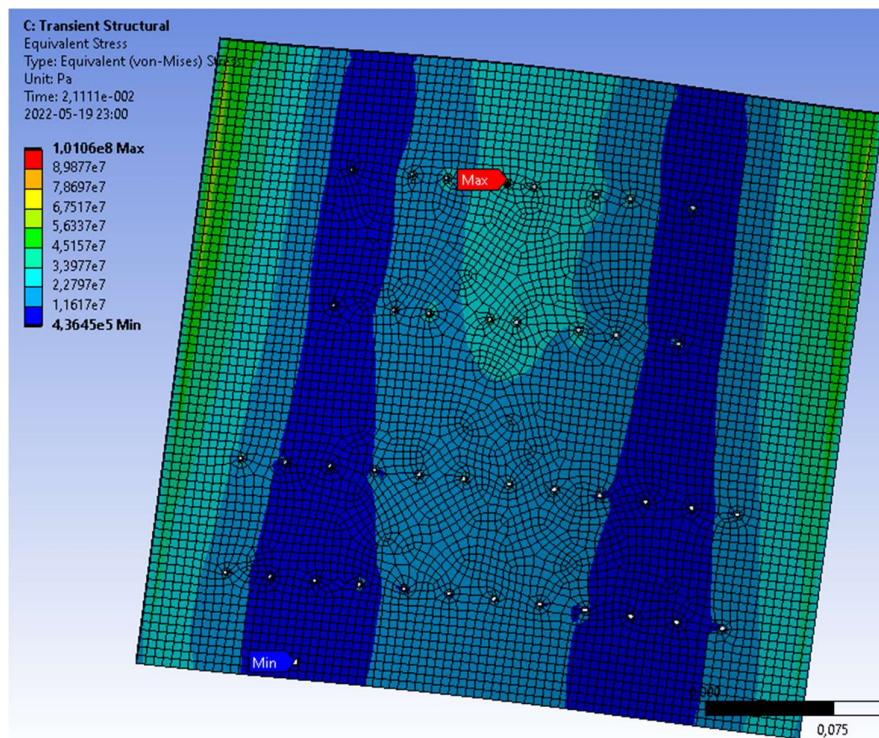
Vibration: von mises spänning



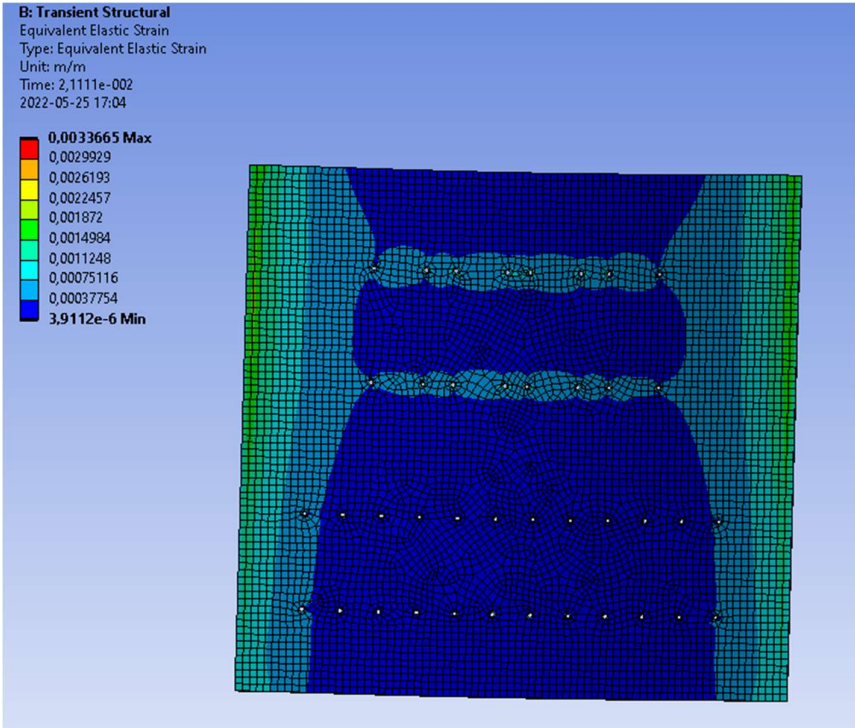
Stöt vertikal positiv: total deformation



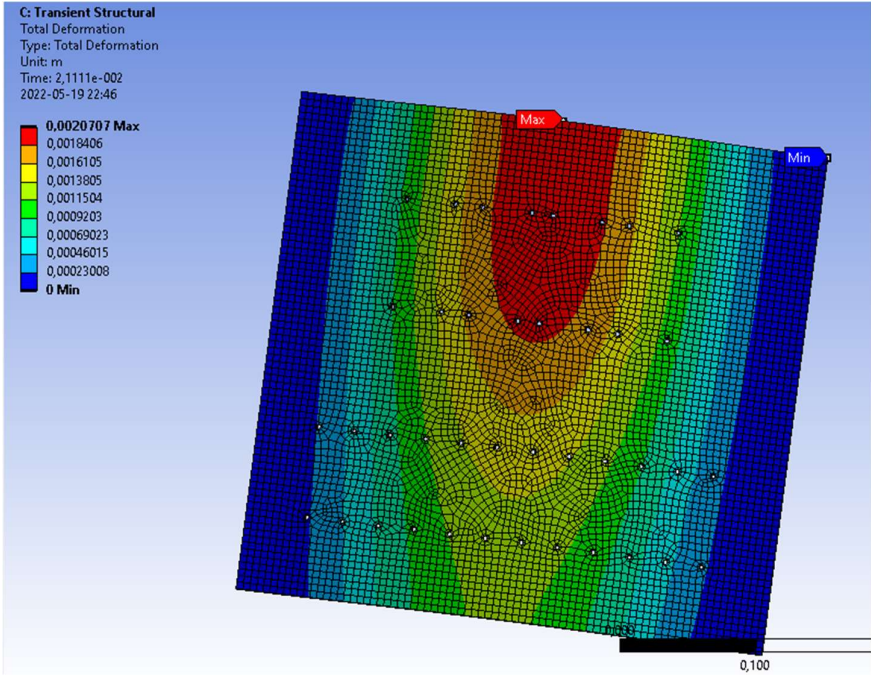
Stöt vertikal positiv: von mises spänning



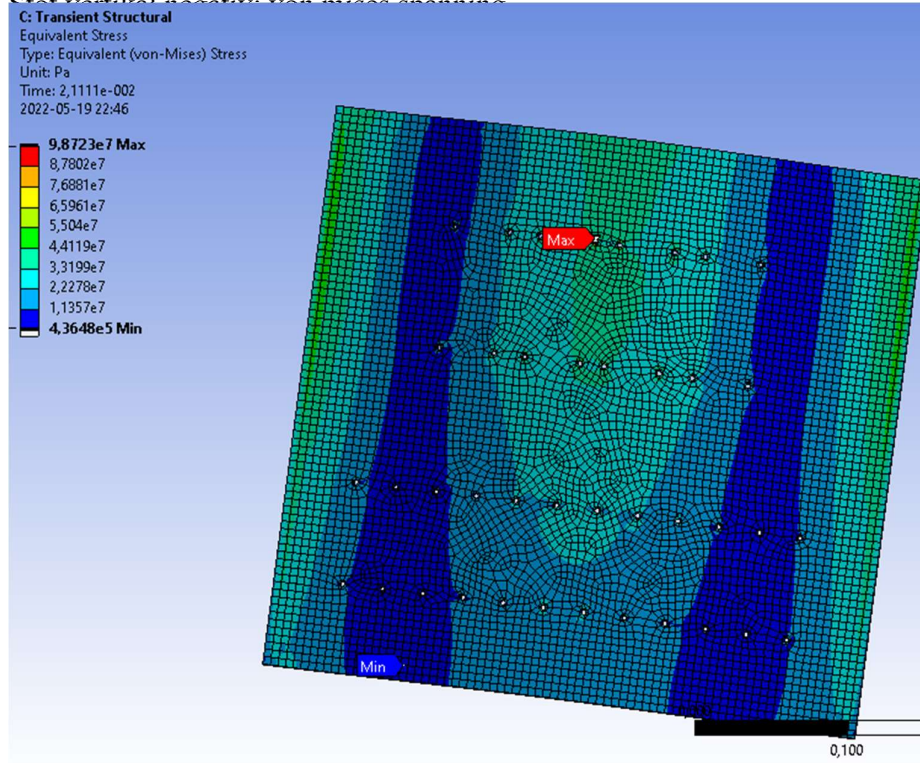
Stöt: von mises töjning



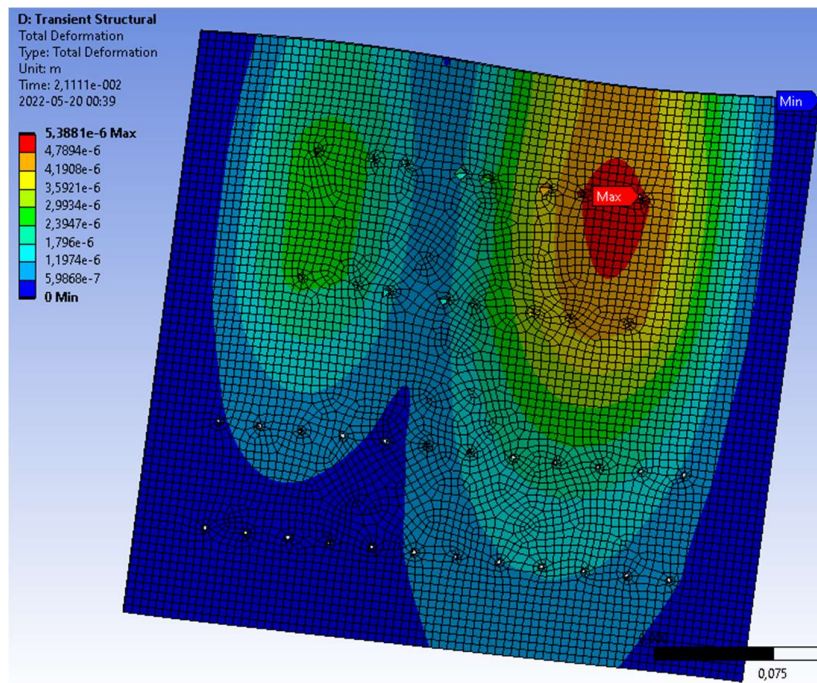
Stöt vertikalt negativ: total deformation



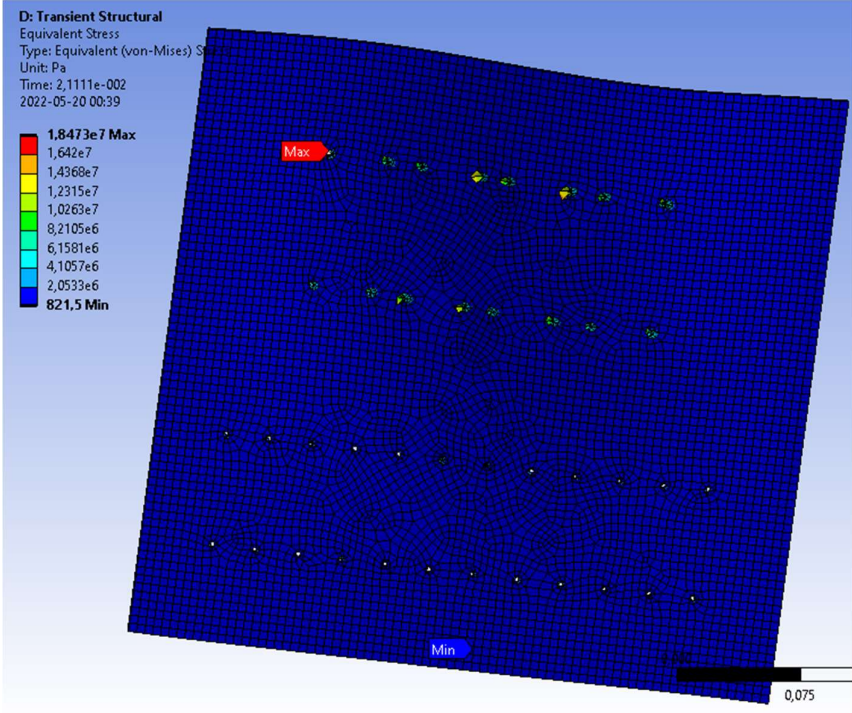
C44: positiv: von mises spänning



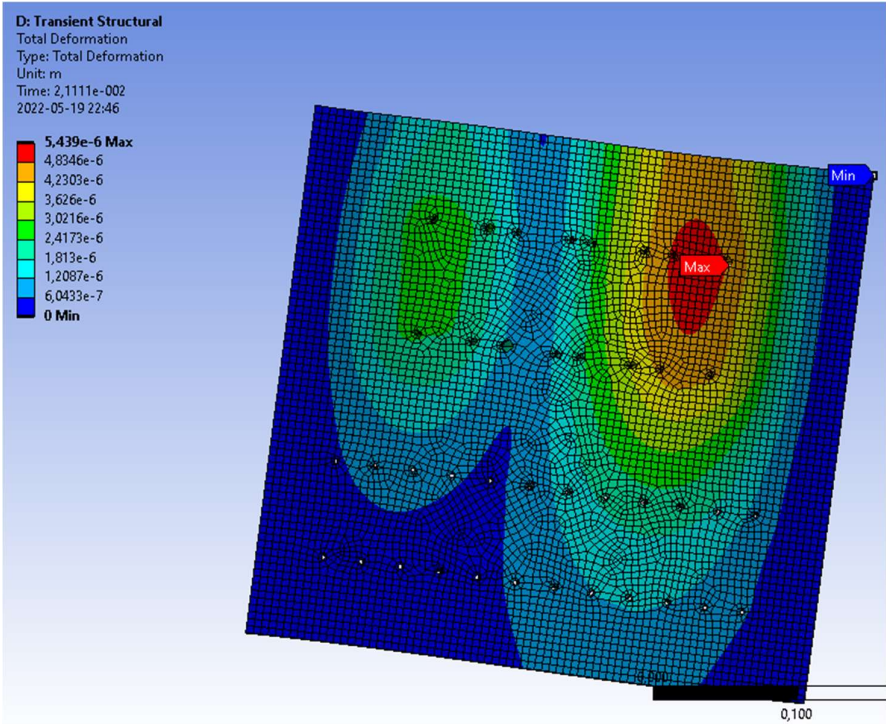
Stöt horisontell (X) positiv: total deformation

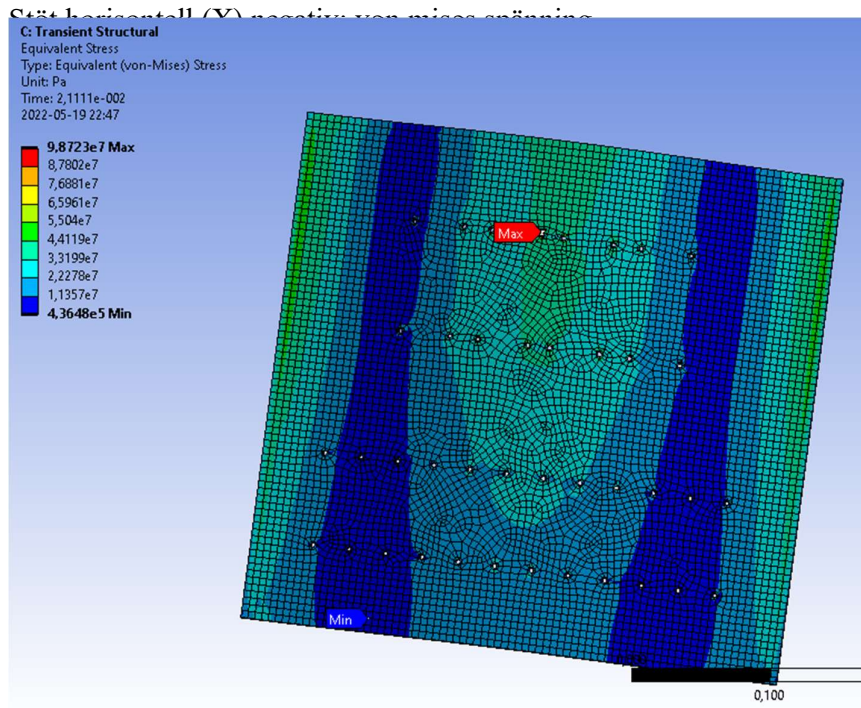


Stöt horisontell (X) positiv: von mises spänning

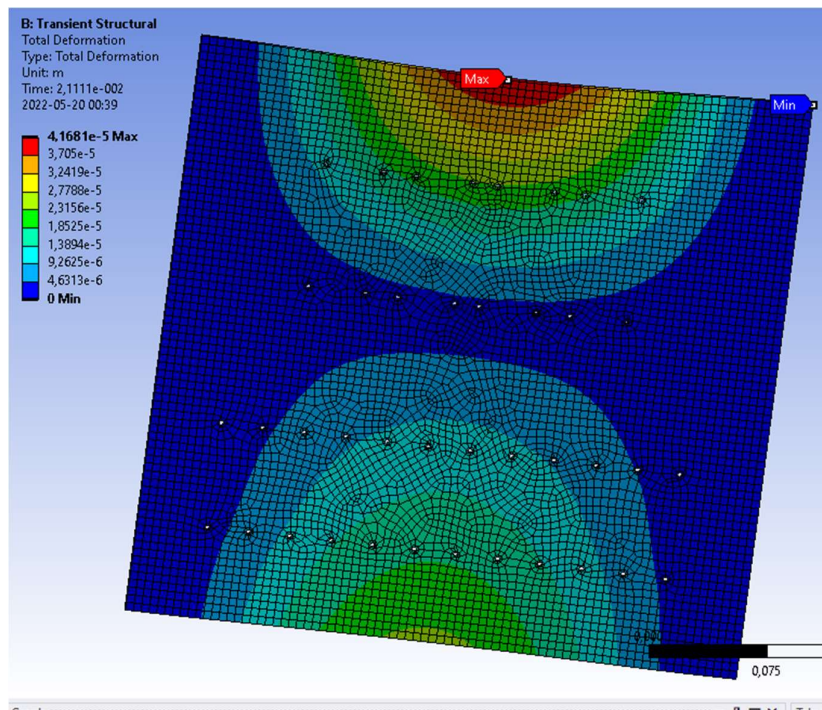


Stöt horisontell (X) negativ: total deformation

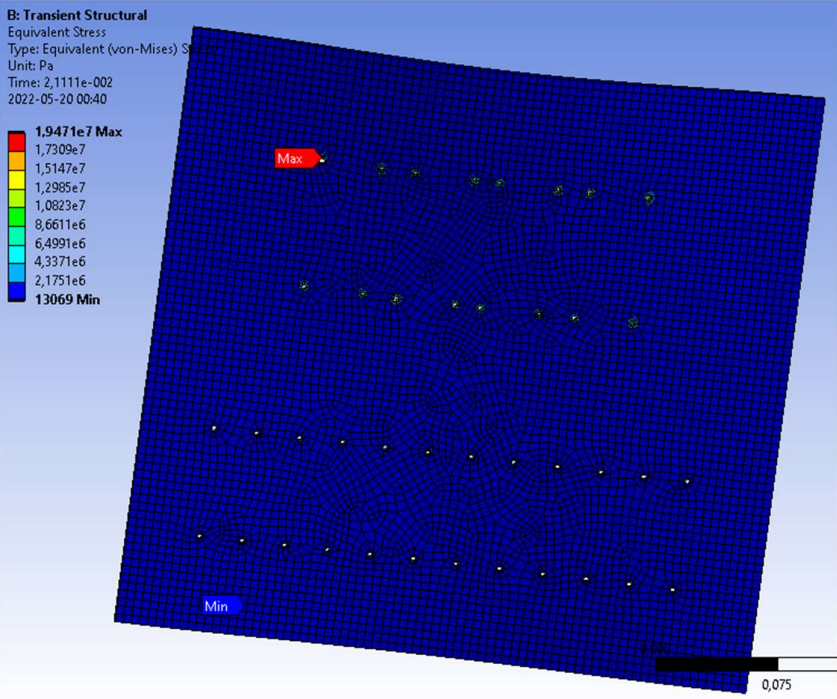




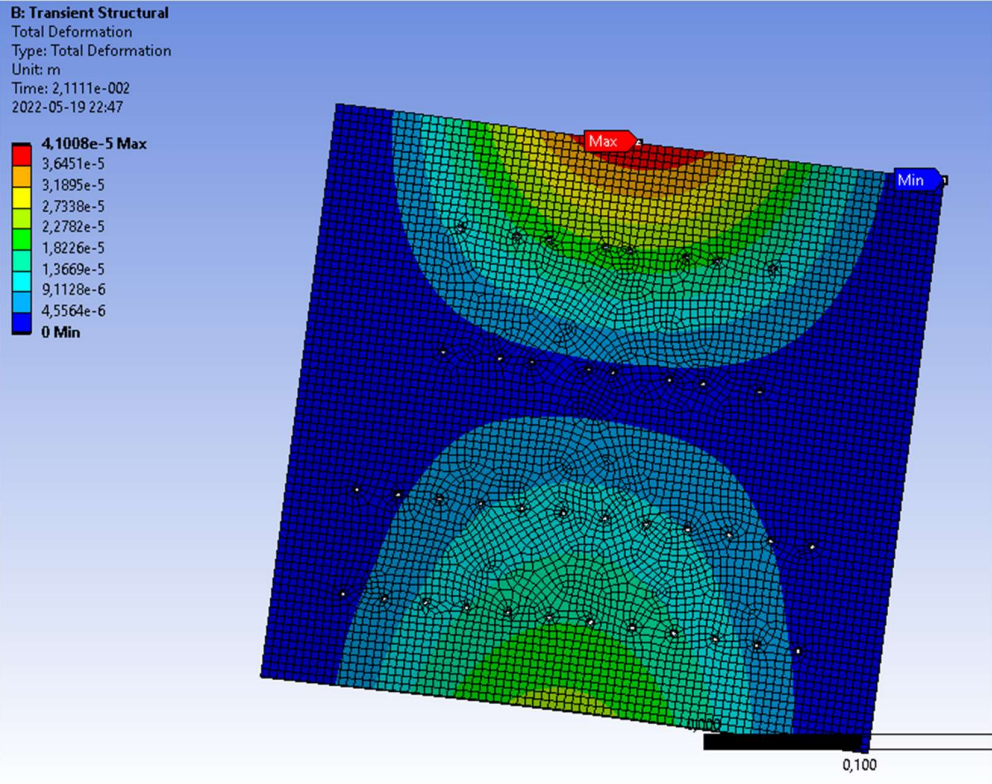
Stöt horisontell (Y) positiv: total deformation



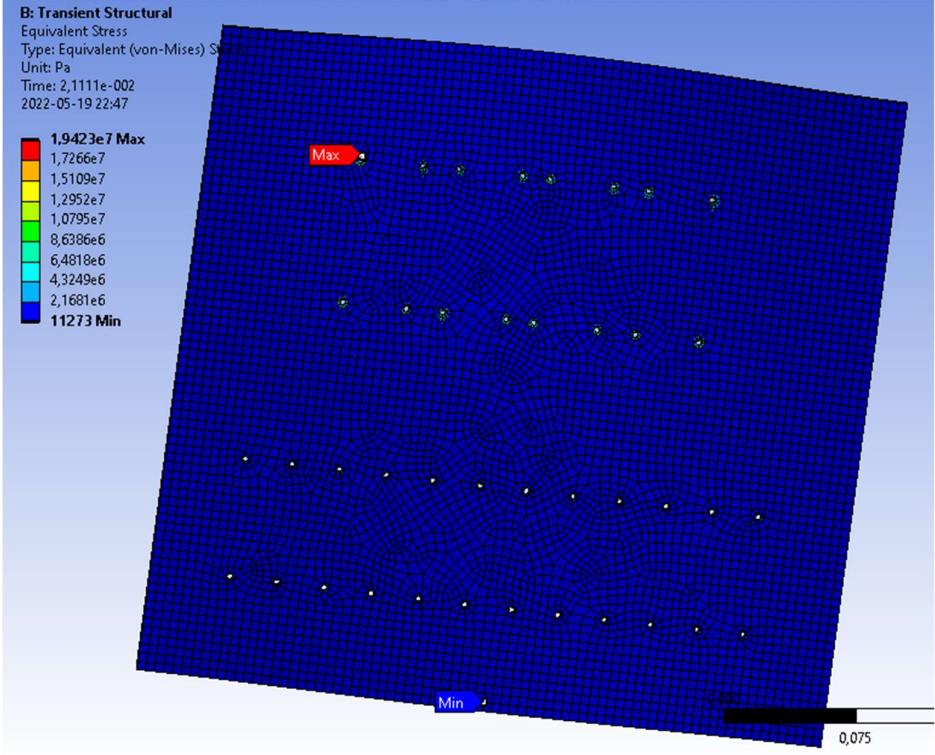
Stöt horisontell (Y) positiv: von mises spänning



Stöt horisontell (Y) negativ: total deformation



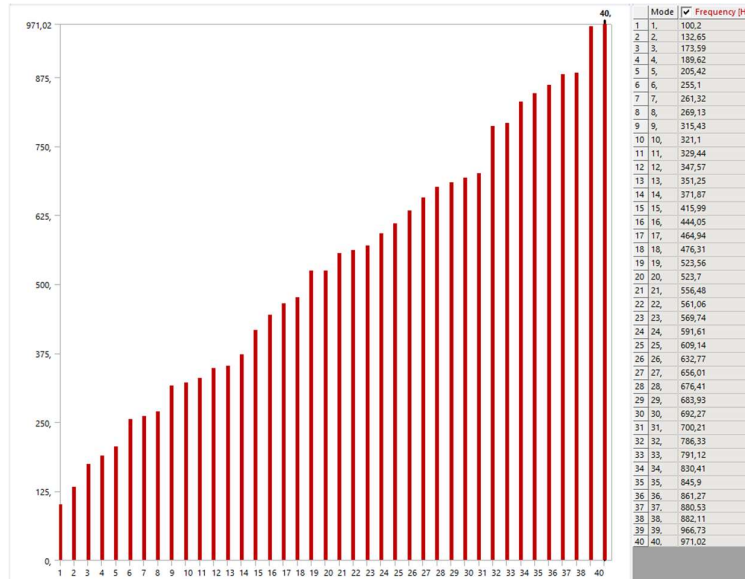
S44: Horizontale II (X) negative von-Mises-Größen



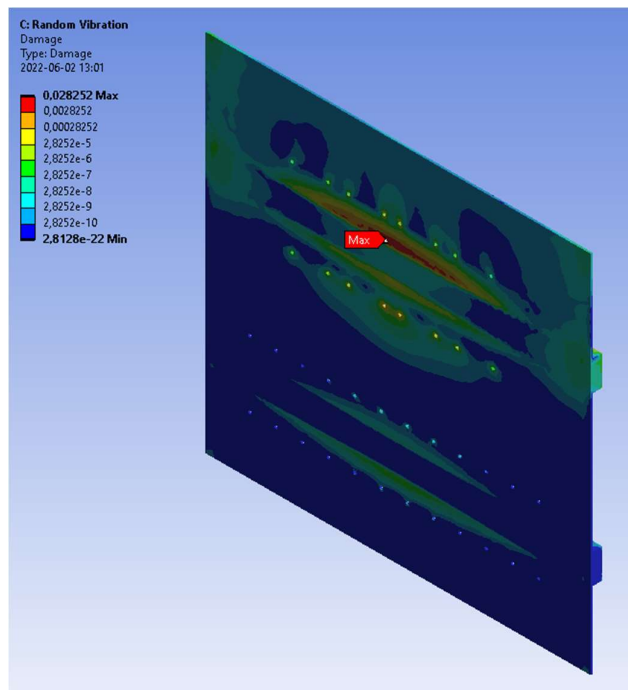
A1.3 Tjocklek 2 mm med förstärkningsbalk

Last: 4+1,8 kg

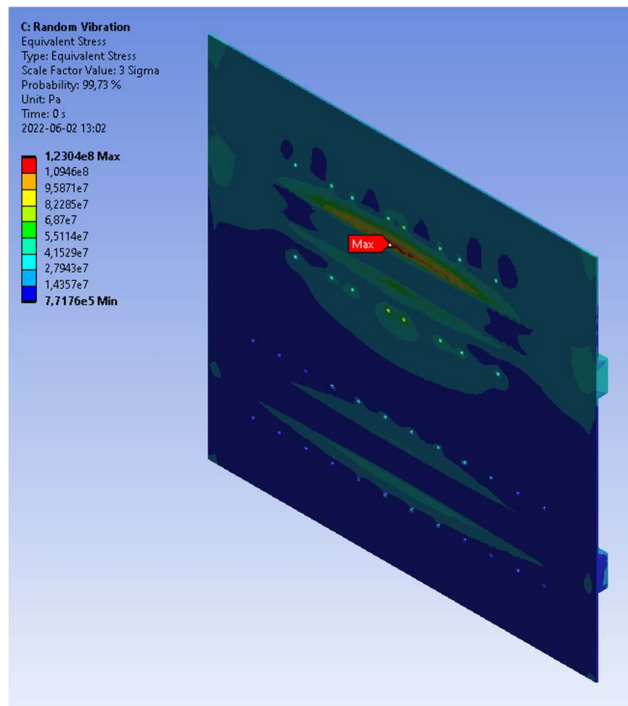
Egenfrekvens



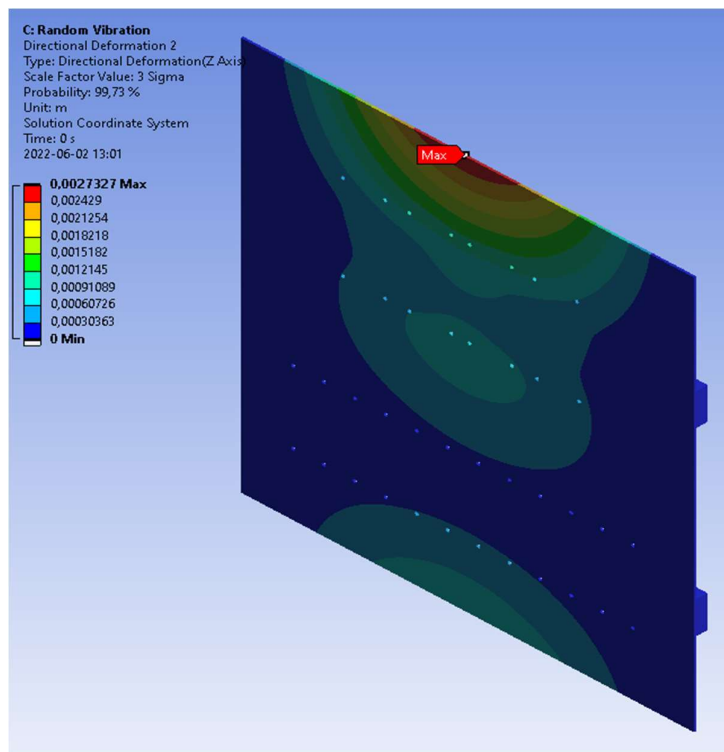
Vibration: Utmattning



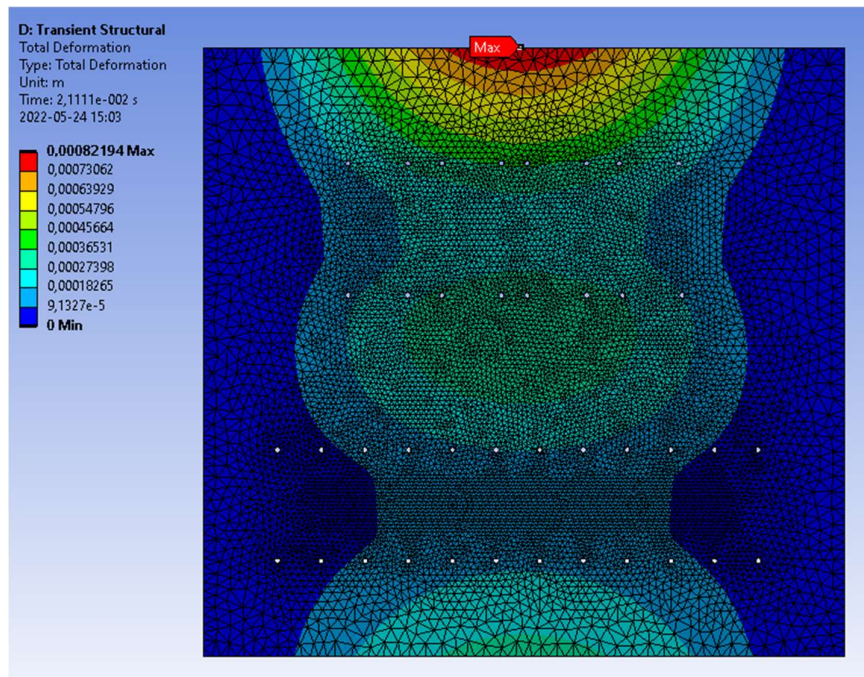
Vibration: von mises spänning



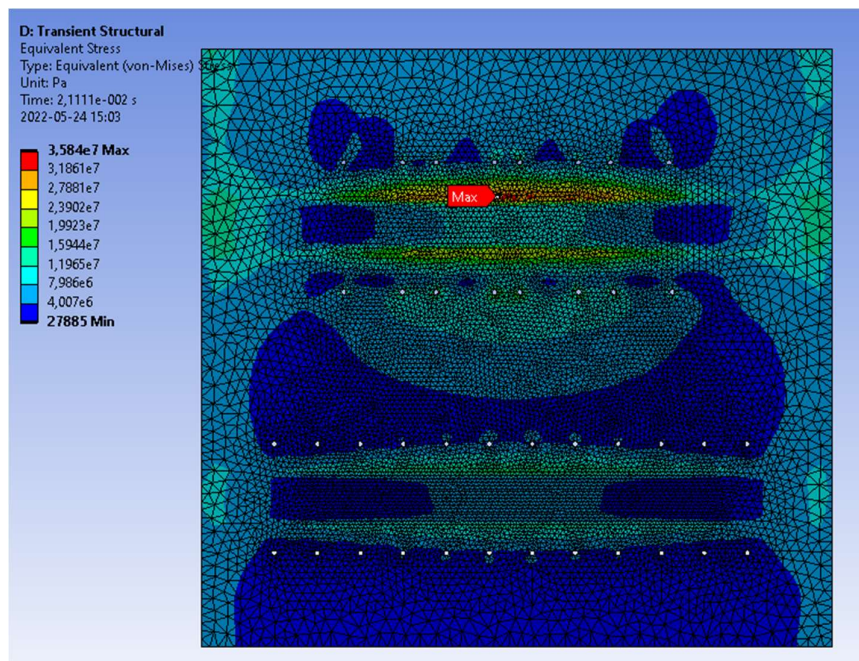
Vibration: Deformation i Z-riktning



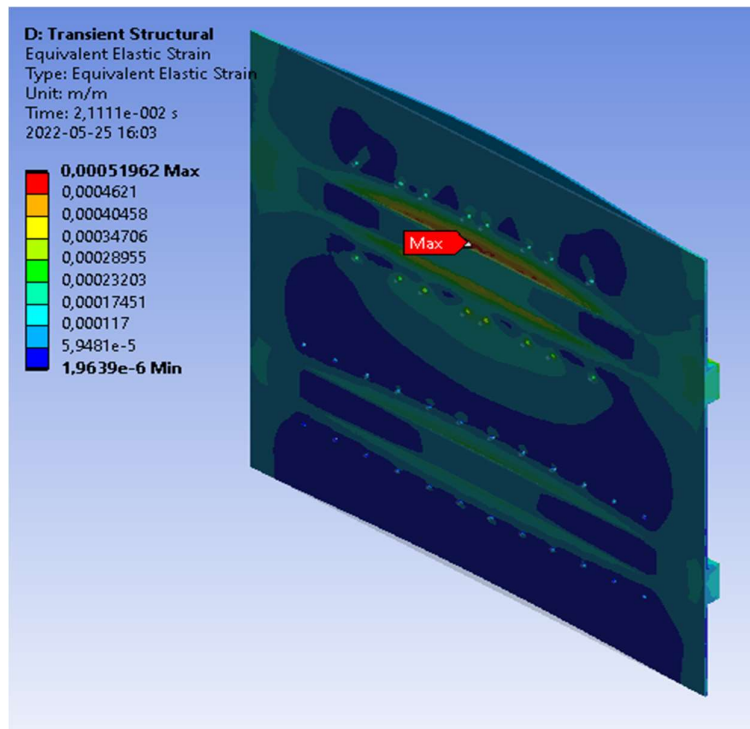
Stöt vertikal positiv: total deformation



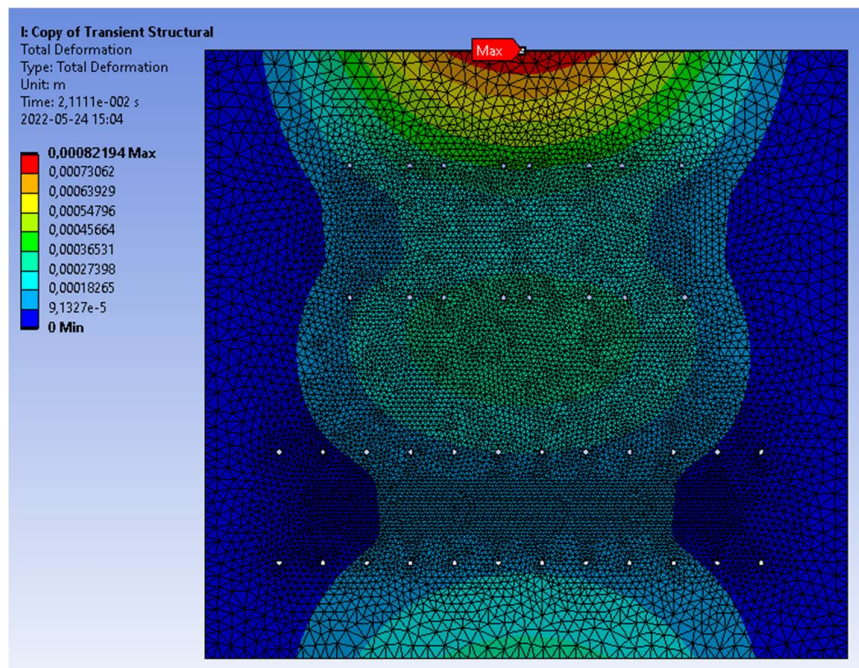
Stöt vertikal positiv: von mises spänning



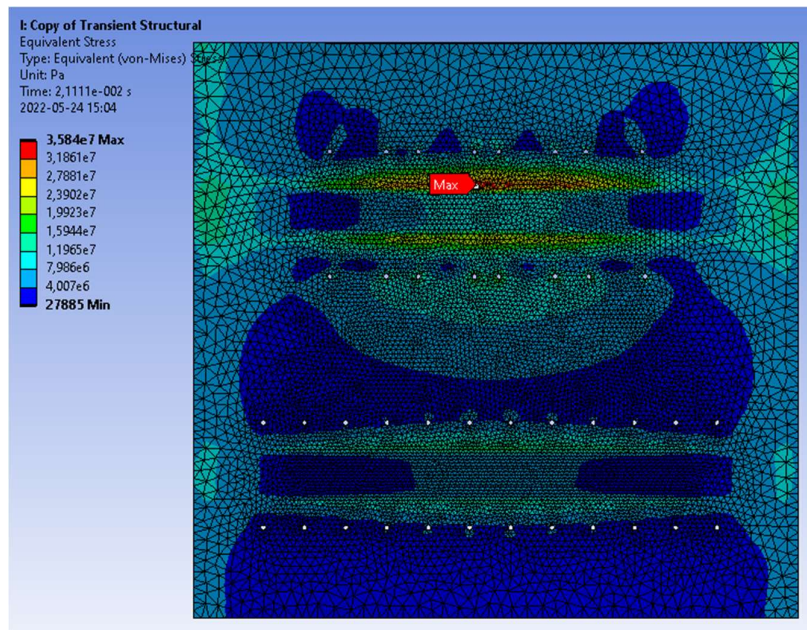
Stöt vertikal positiv: von mises tøjning



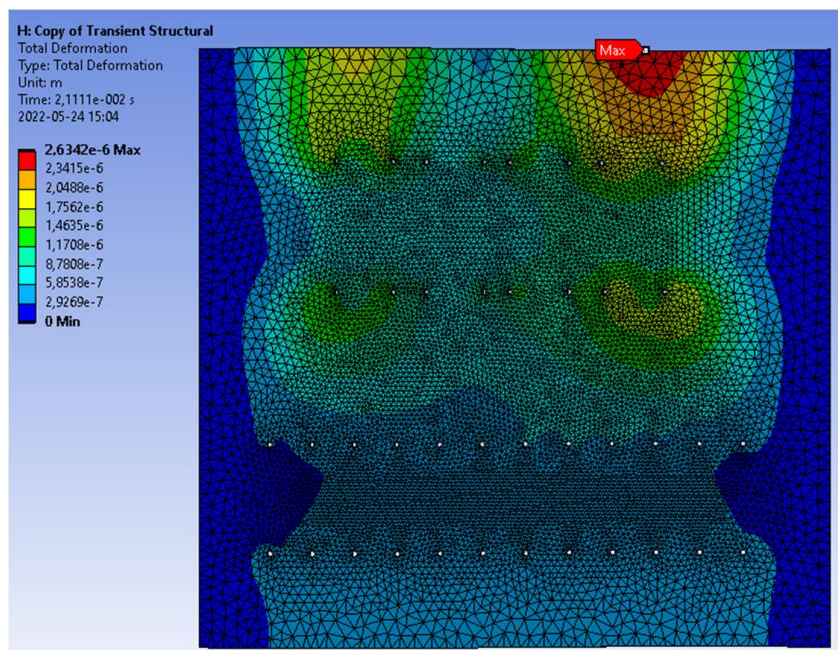
Stöt vertikal negativ: total deformation



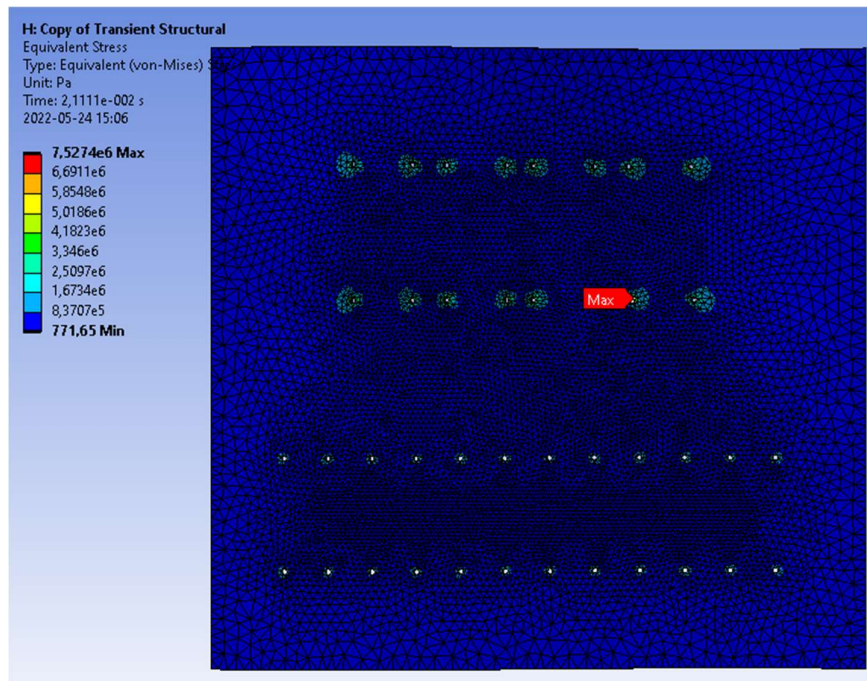
Stöt vertikal negativ: von mises spänning



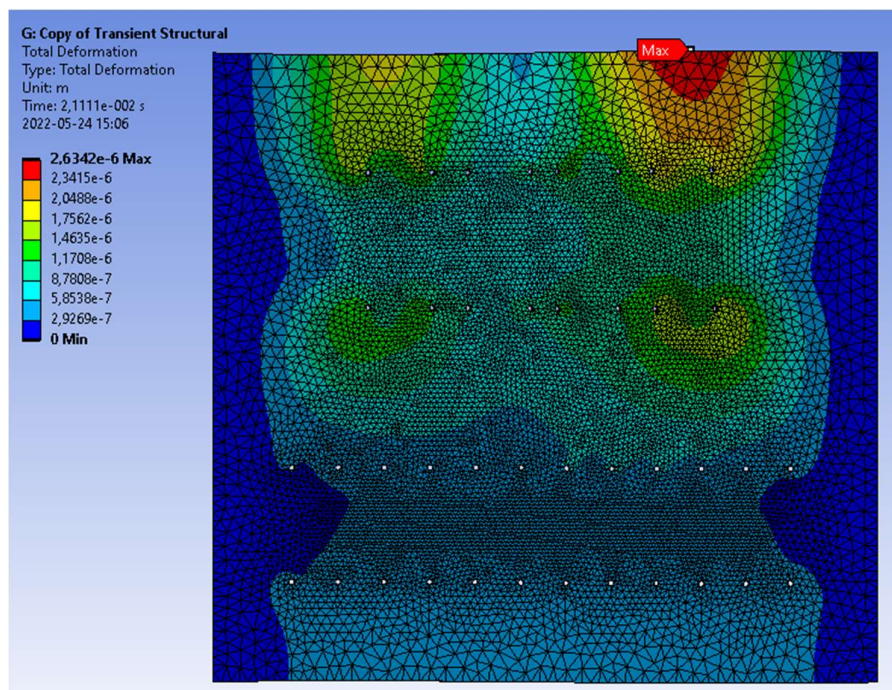
Stöt horisontell (X) positiv: total deformation



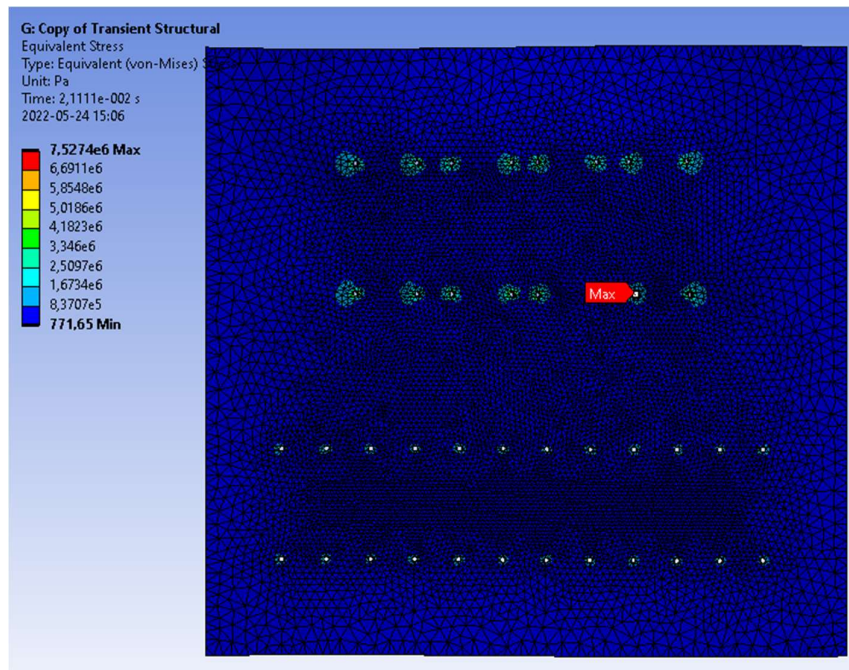
Stöt horisontell (X) positiv: von mises spänning



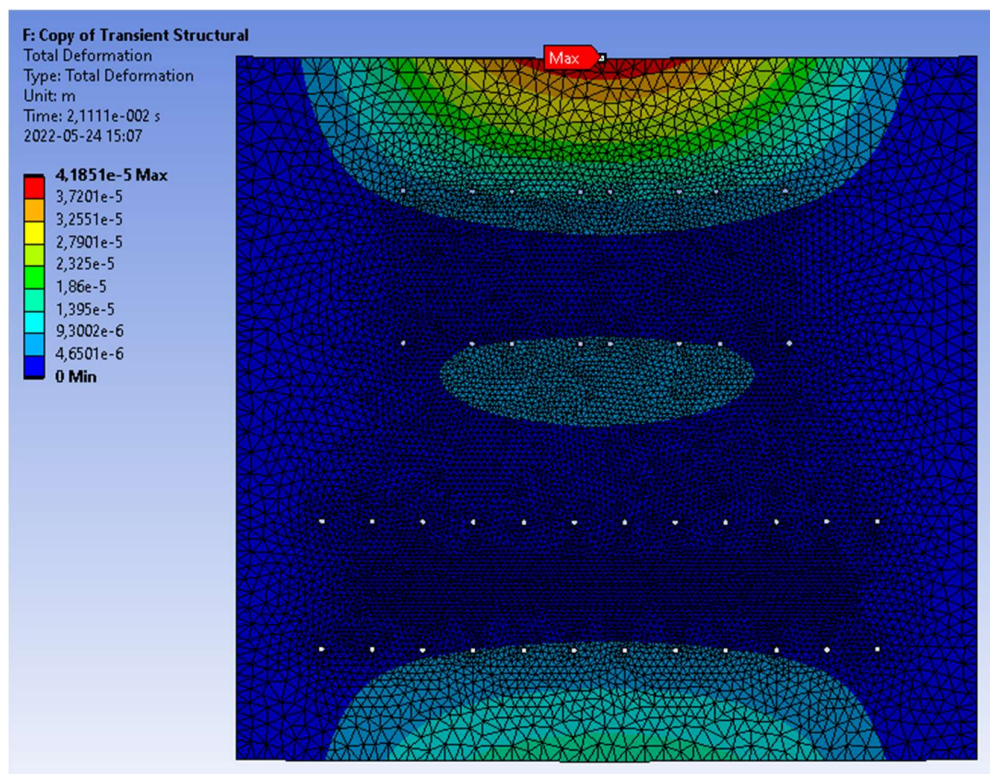
Stöt horisontell (X) negativ: total deformation



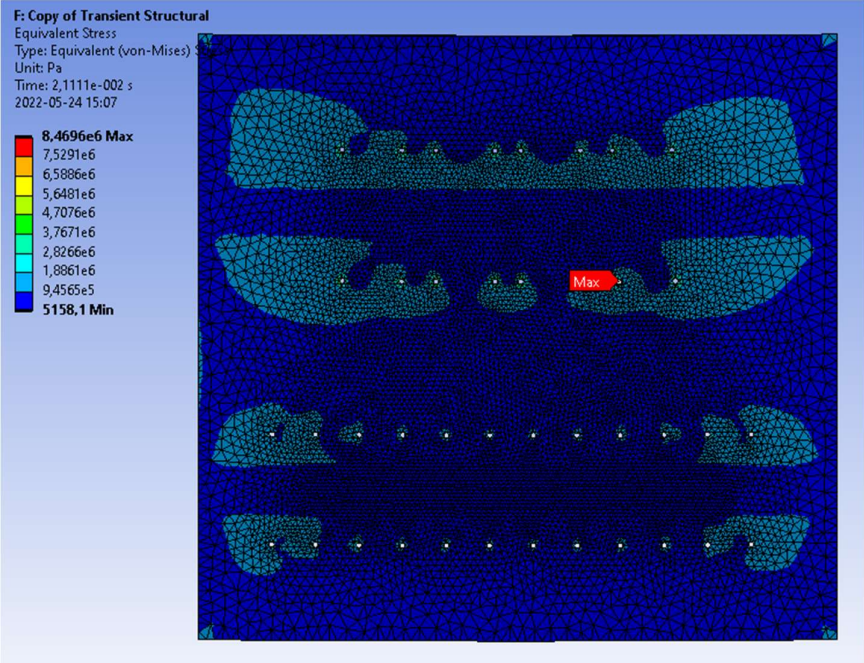
Stöt horisontell (X) negativ: von mises spänning



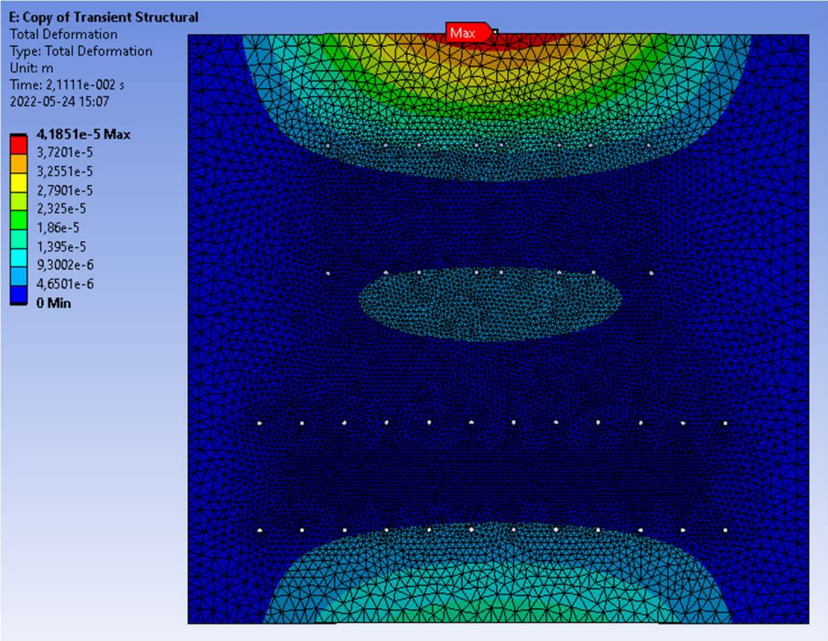
Stöt horisontell (Y) positiv: total deformation



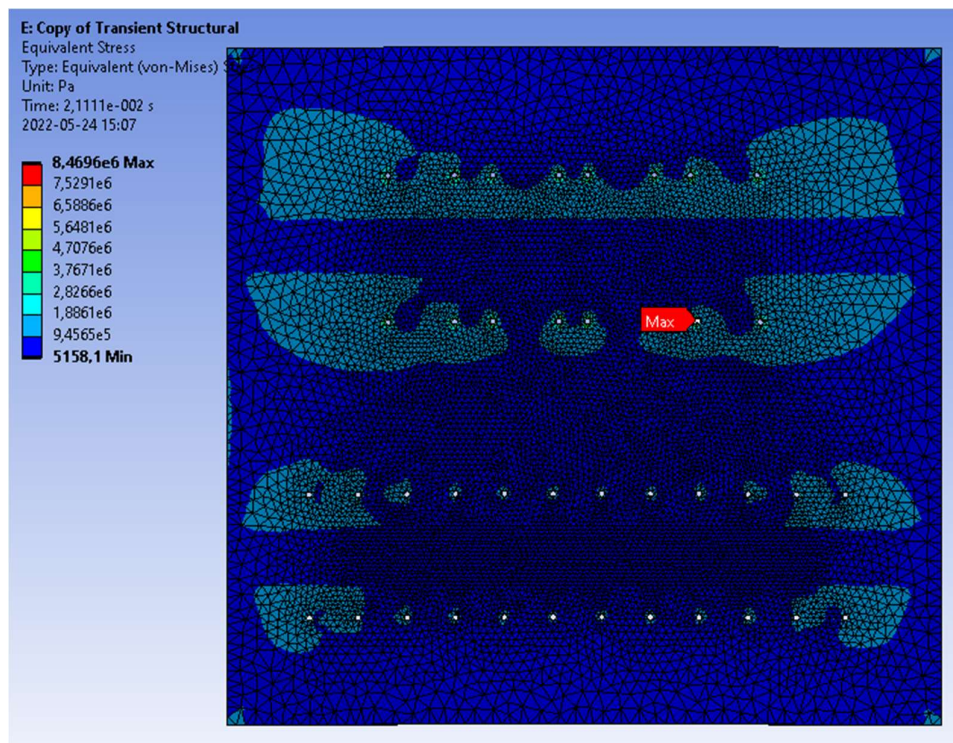
Stöt horisontell (Y) positiv: von mises spänning



Stöt horisontell (Y) negativ: total deformation



Stöt horisontell (Y) negativ: von mises spänning

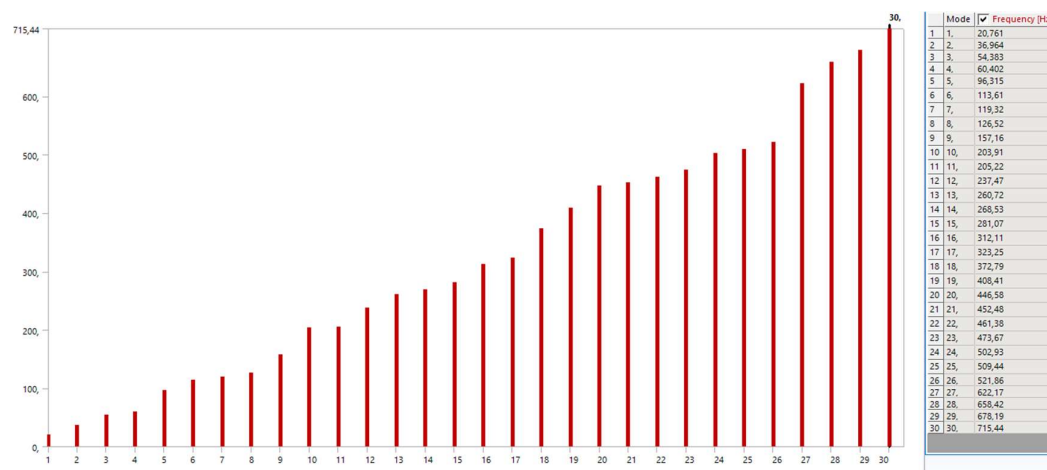


A2. Enhet B

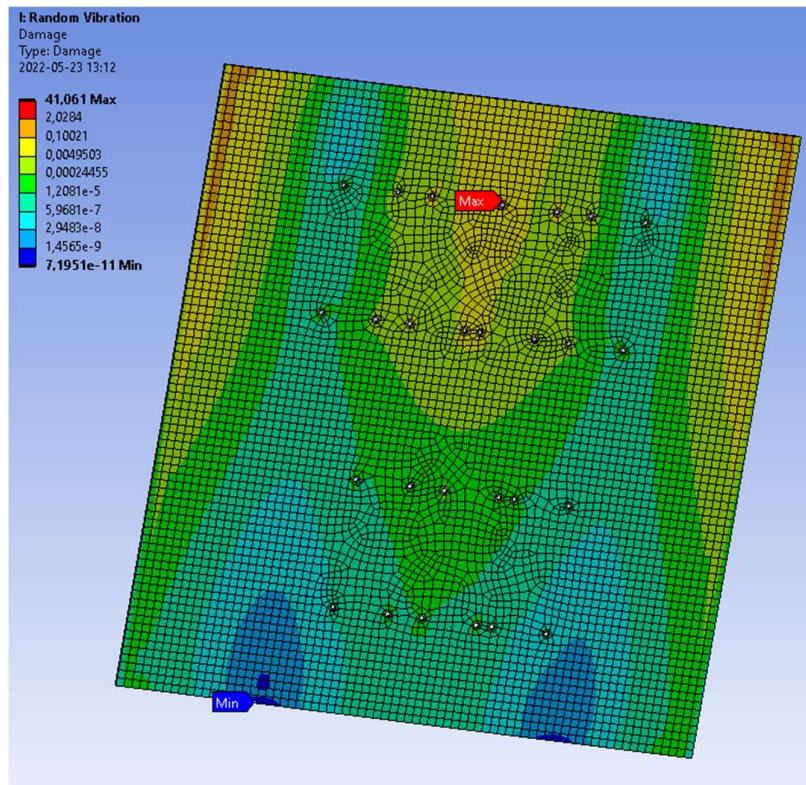
A2.1 Tjocklek: 2 mm

Last: 4+0,9kg

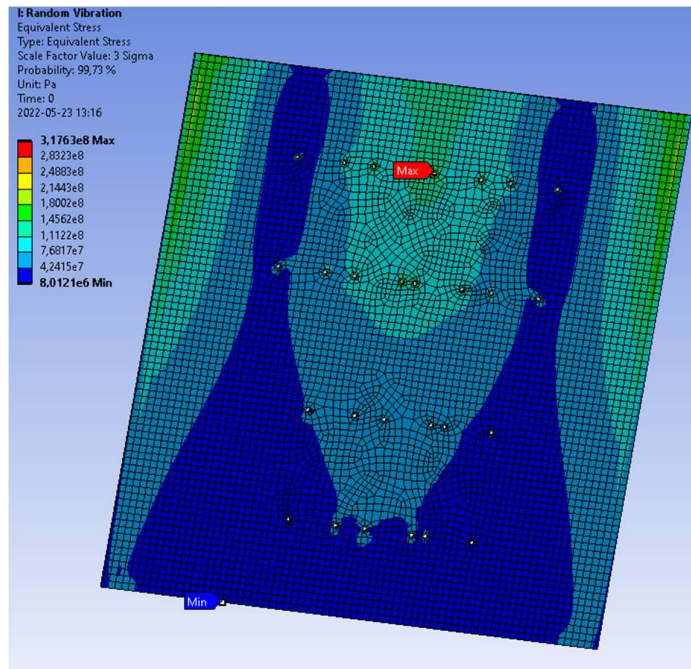
Egenfrekvens



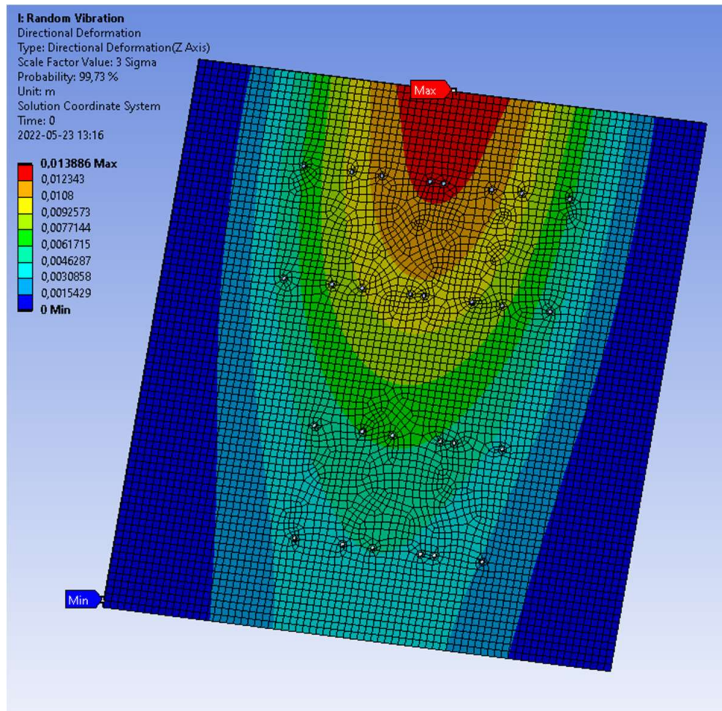
Vibration: Utmattning



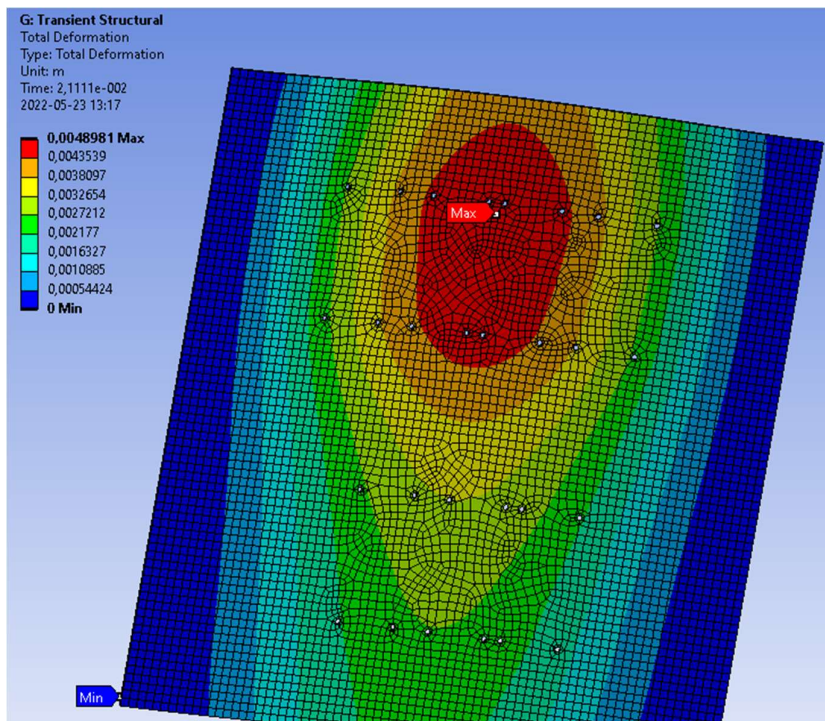
Vibration: von mises spänning



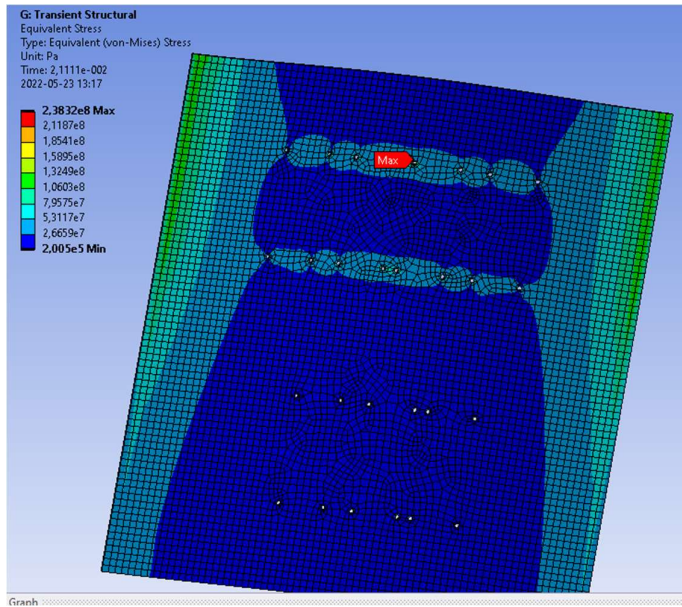
Vibration: Deformation i Z-riktning



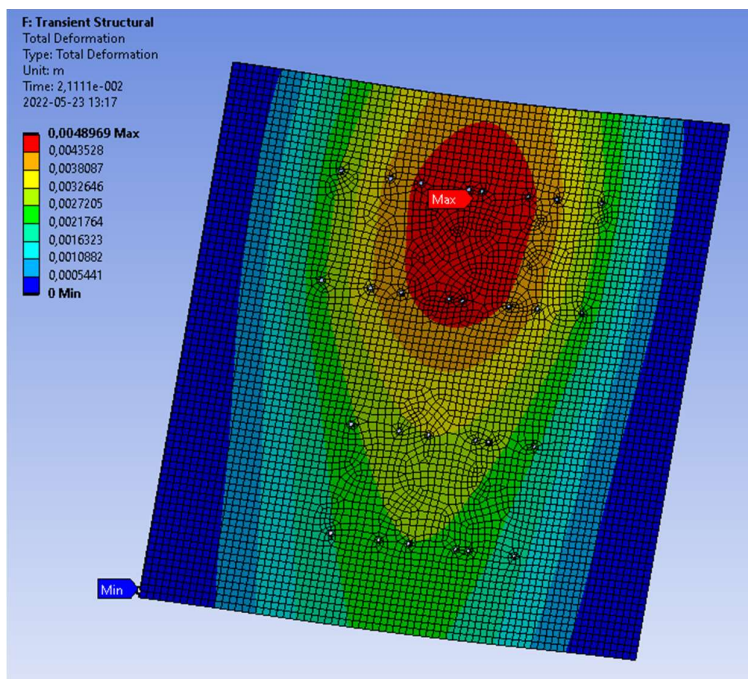
Stöt vertikal positiv: total deformation



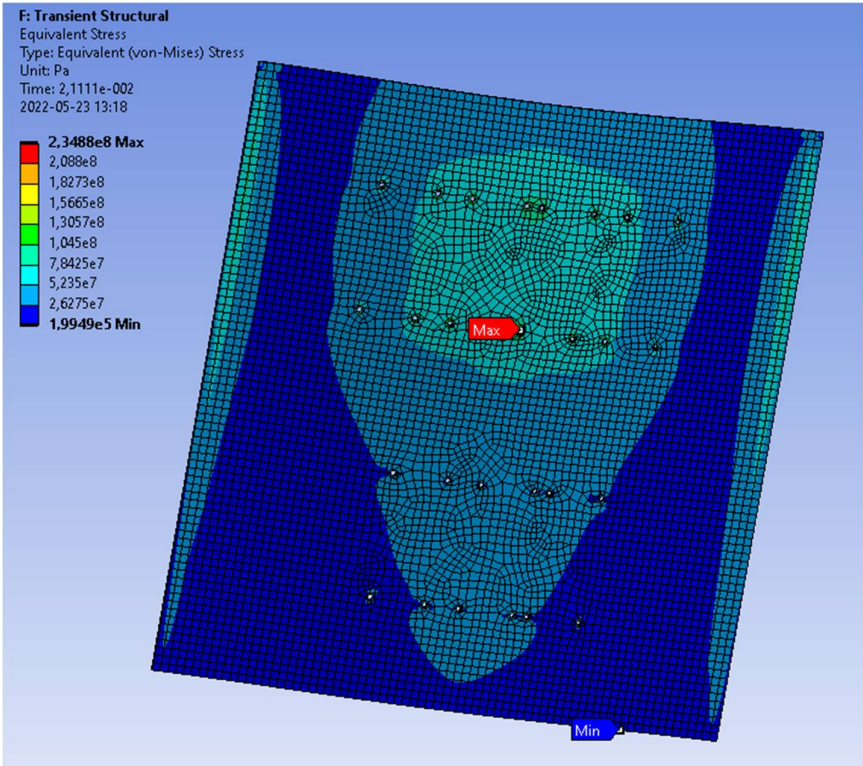
Stöt vertikal positiv: von mises spänning



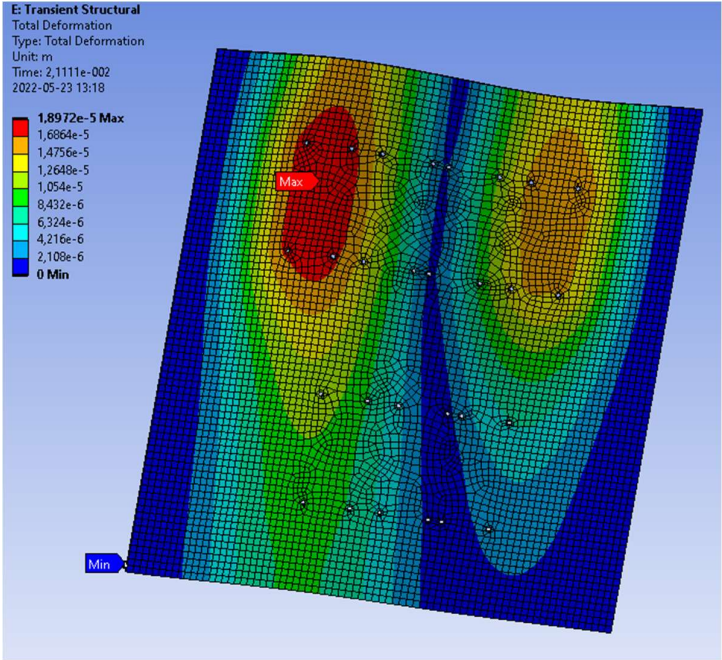
Stöt vertikal negativ: total deformation



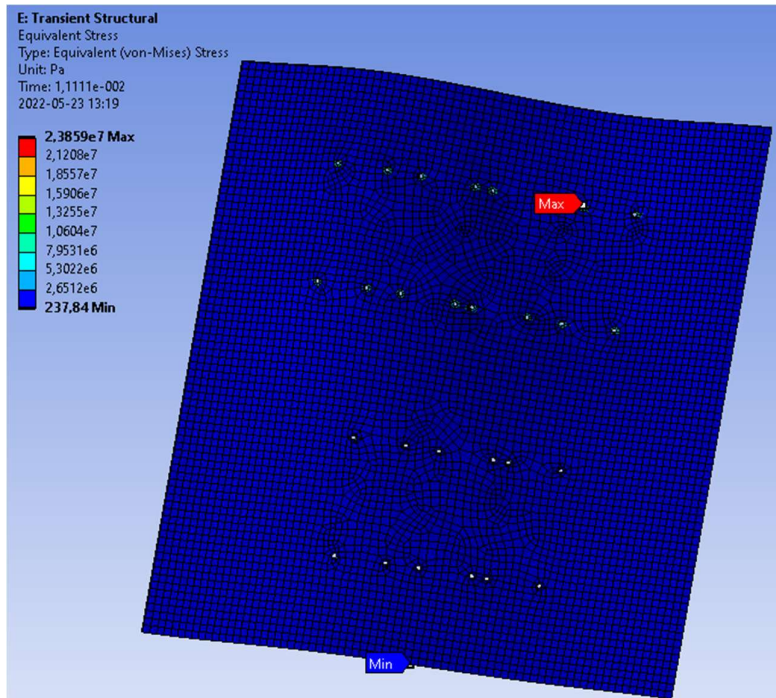
Stöt vertikal negativ: von mises spänning



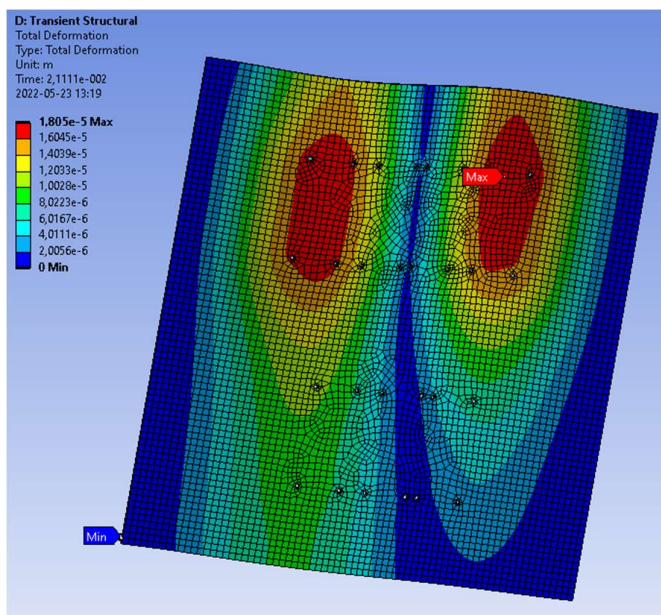
Stöt horisontell (X) positiv: total deformation



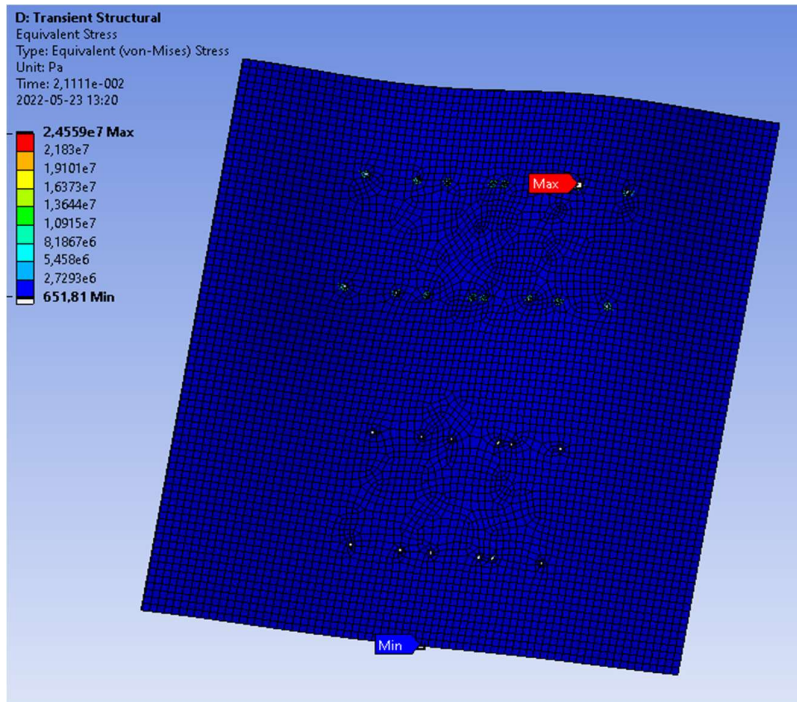
Stöt horisontell (X) positiv: von mises spänning



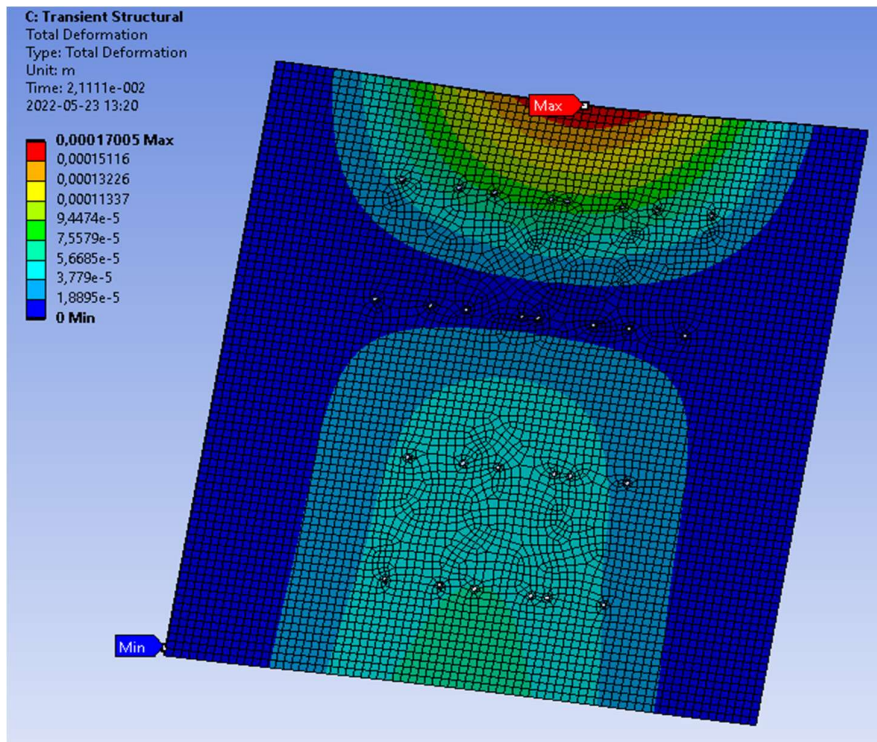
Stöt horisontell (X) negativ: total deformation



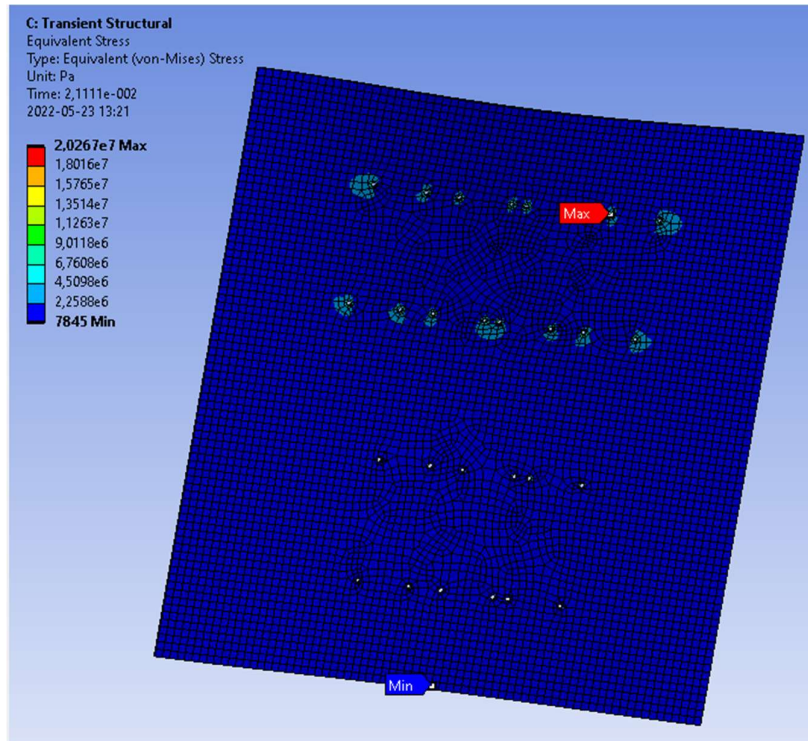
Stöt horisontell (X) negativ: von mises spänning



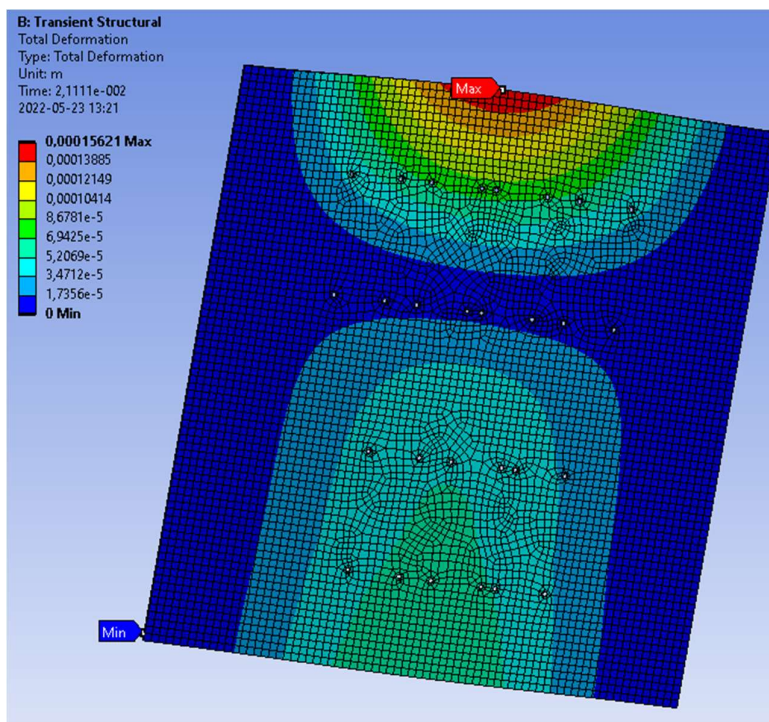
Stöt horisontell (Y) positiv: total deformation



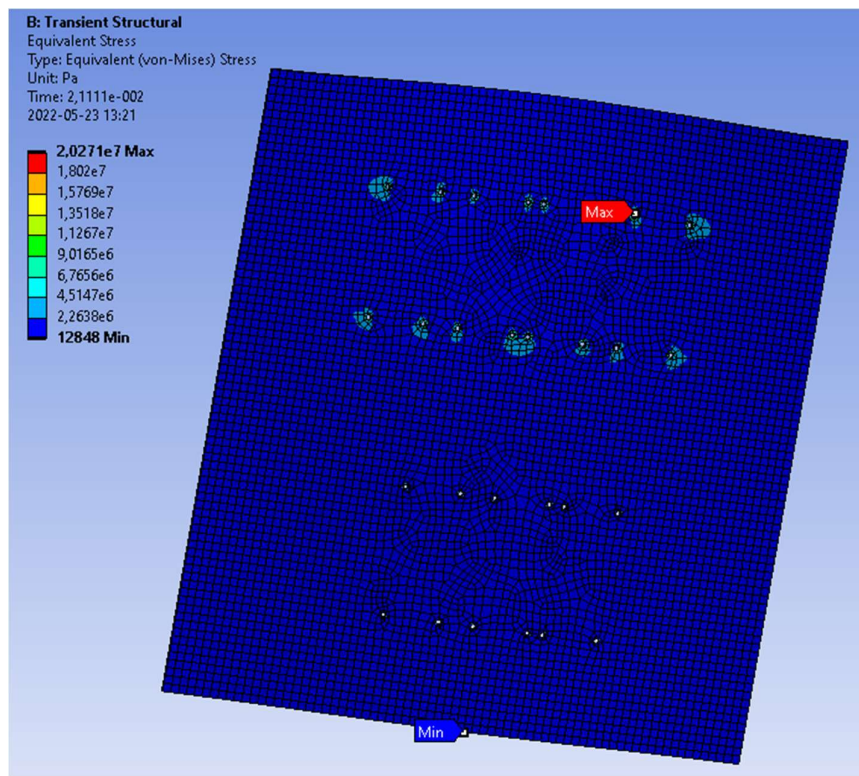
Stöt horisontell (Y) positiv: von mises spänning



Stöt horisontell (Y) negativ: total deformation



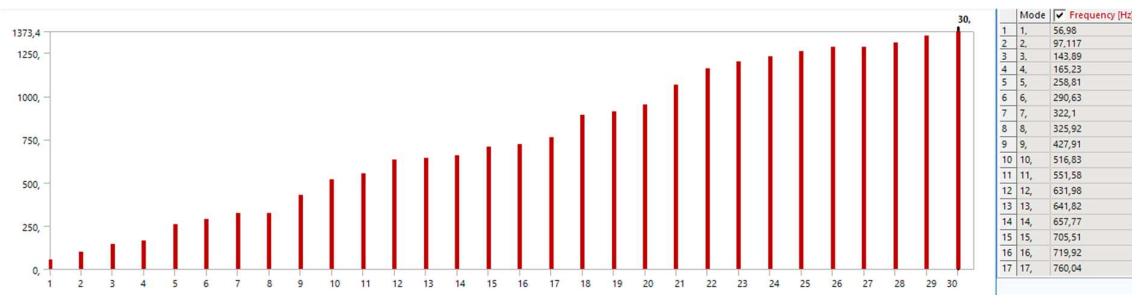
Stöt horisontell (Y) negativ: von mises spänning



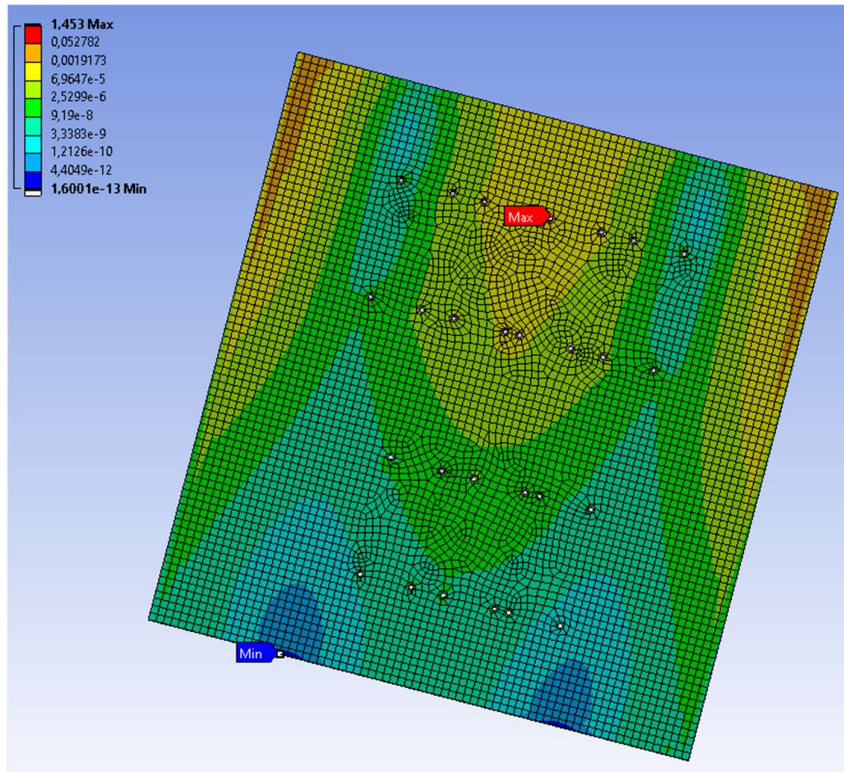
A2.2 Tjocklek: 4 mm

Last: 4+0,9kg

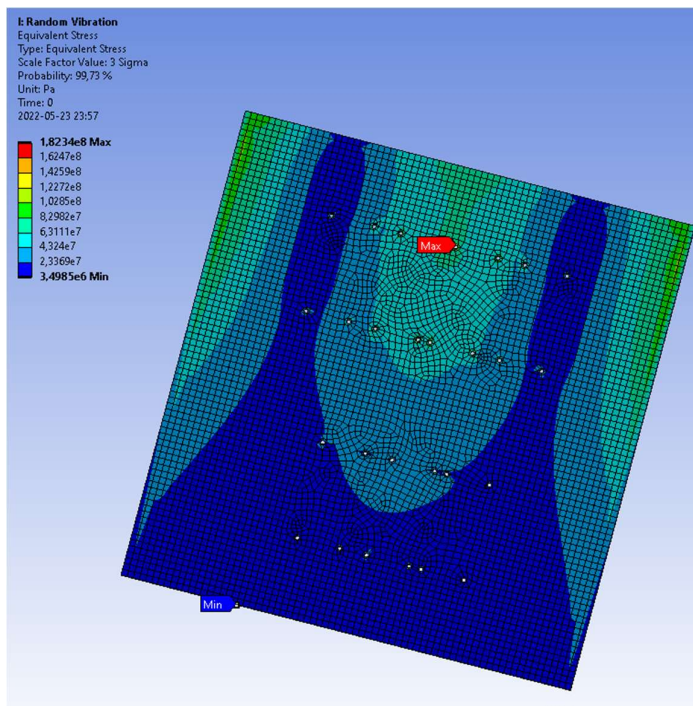
Egenfrekvens



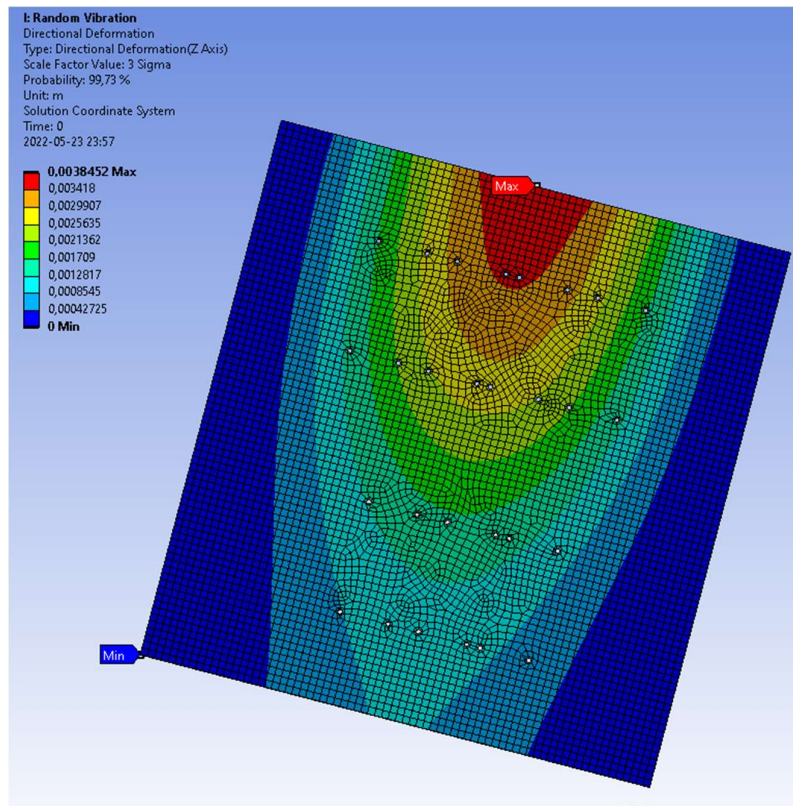
Vibration: Utmattning



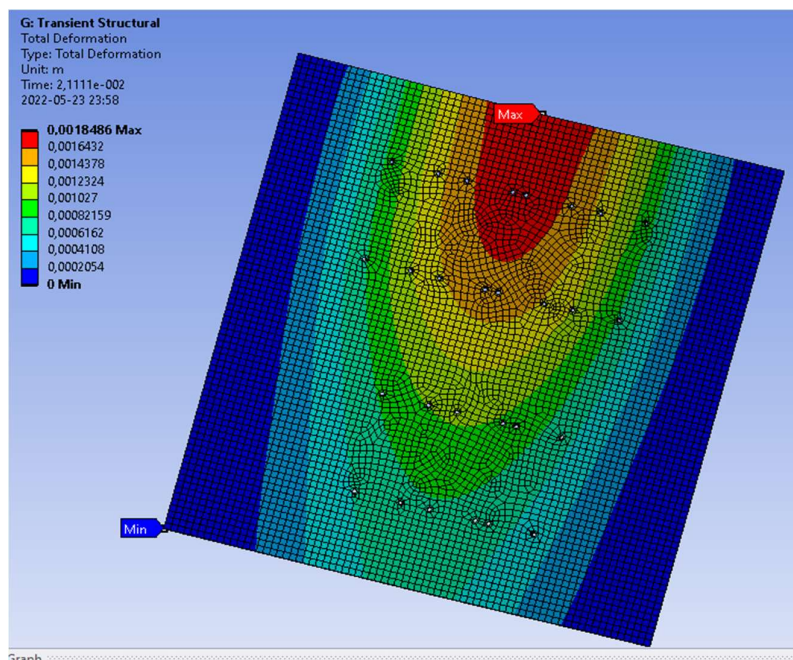
Vibration: von mises spänning



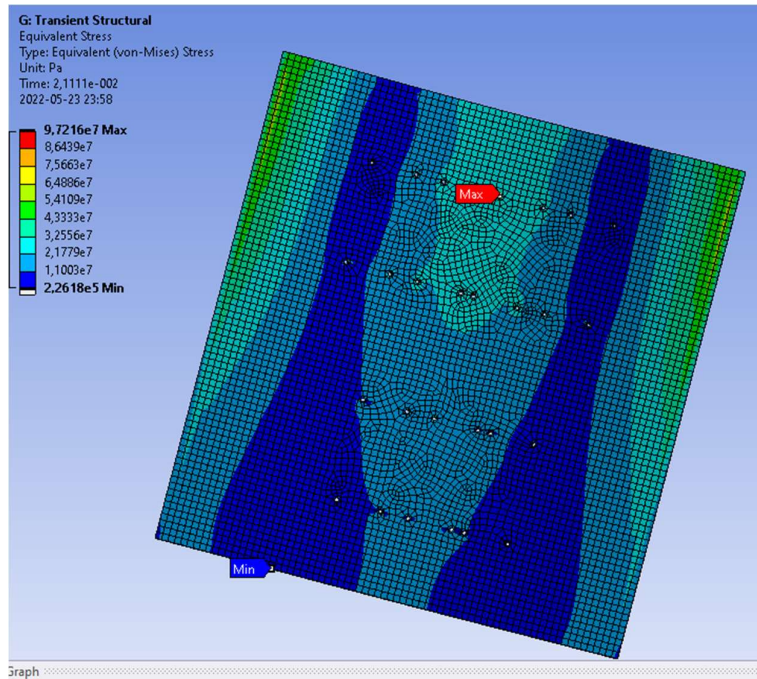
Vibration: Deformation i Z-riktning



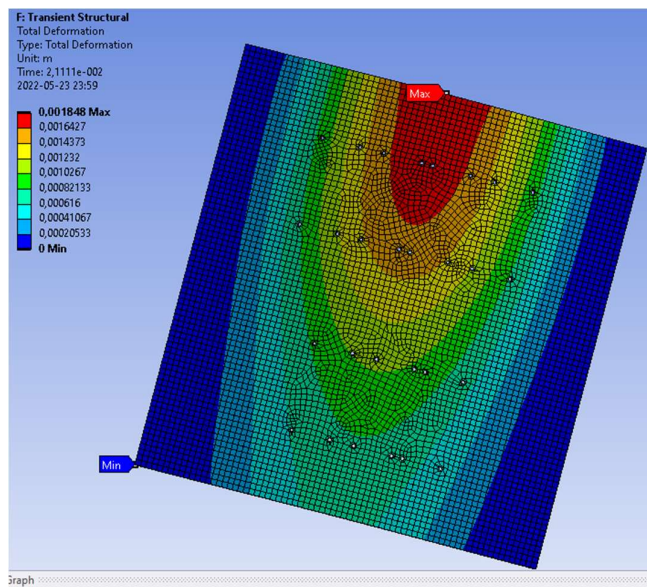
Stöt vertikal positiv: total deformation



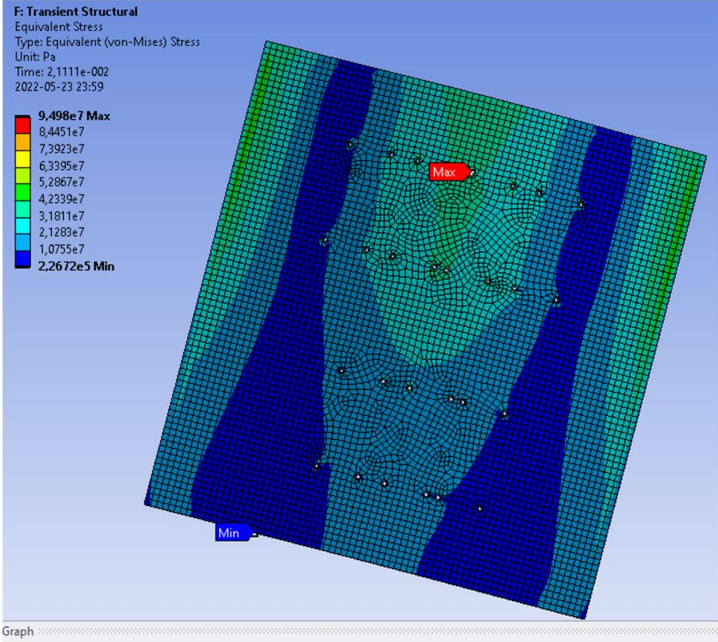
Stöt vertikal positiv: von mises spänning



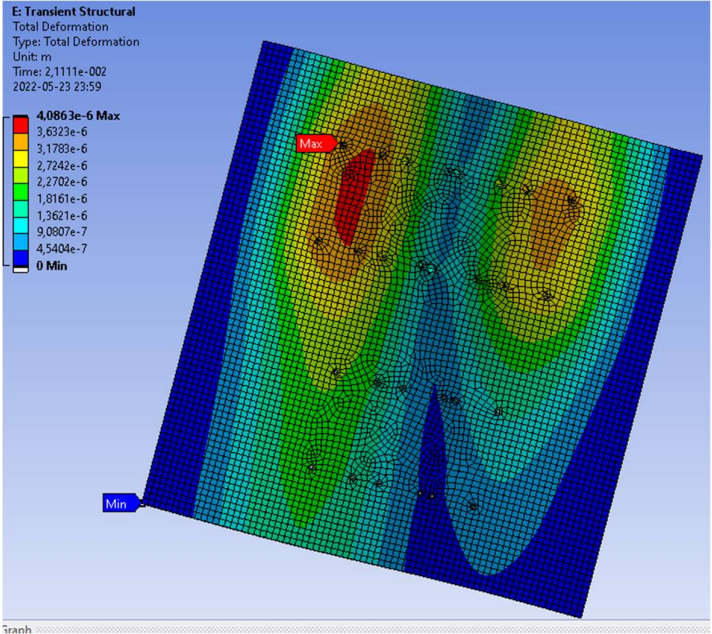
Stöt vertikal negativ: total deformation



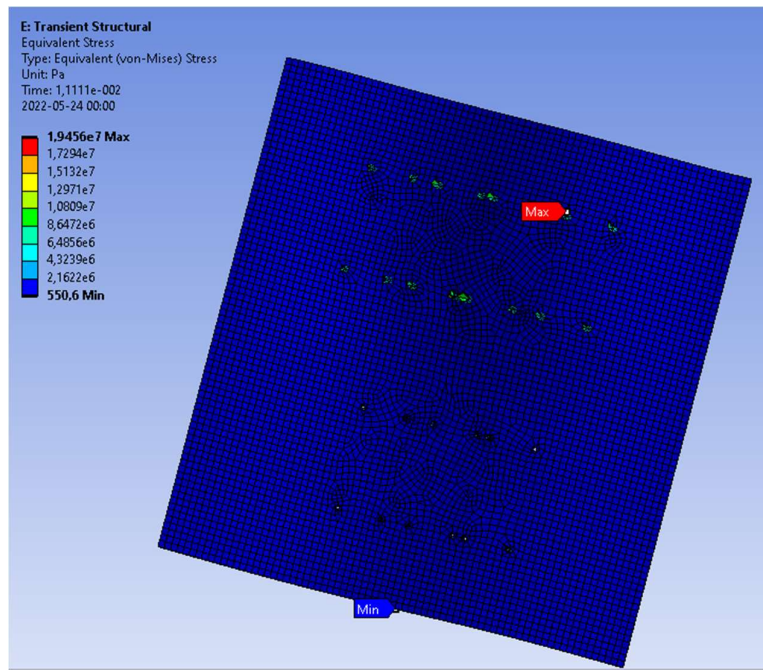
Stöt vertikal negativ: von mises spänning



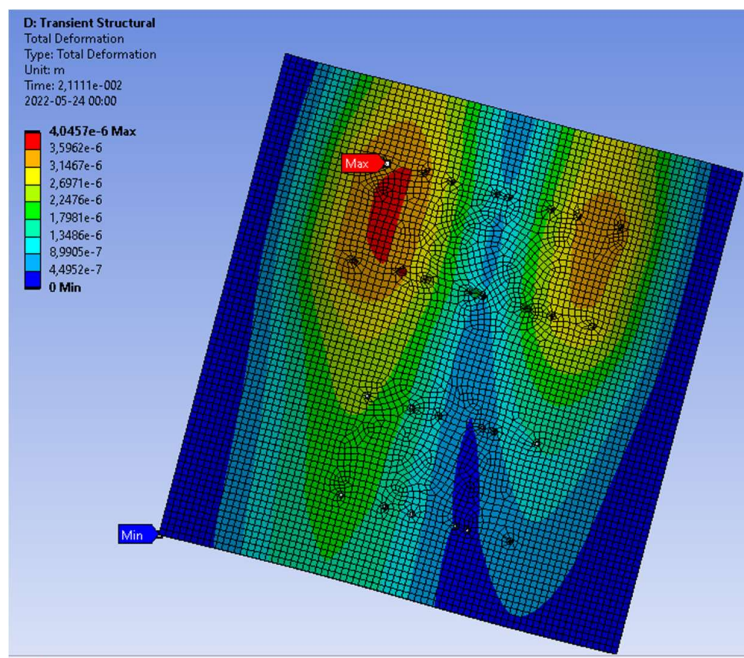
Stöt horisontell (X) positiv: total deformation



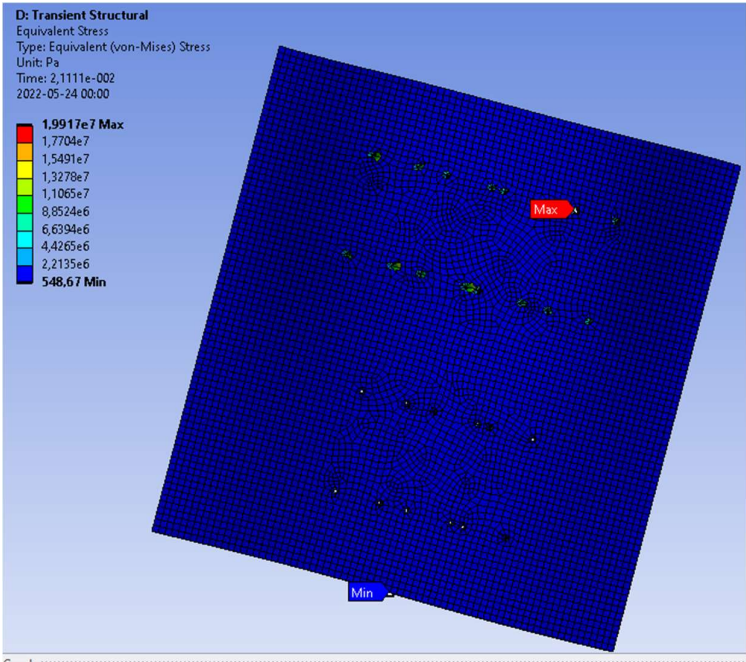
Stöt horisontell (X) positiv: von mises spänning



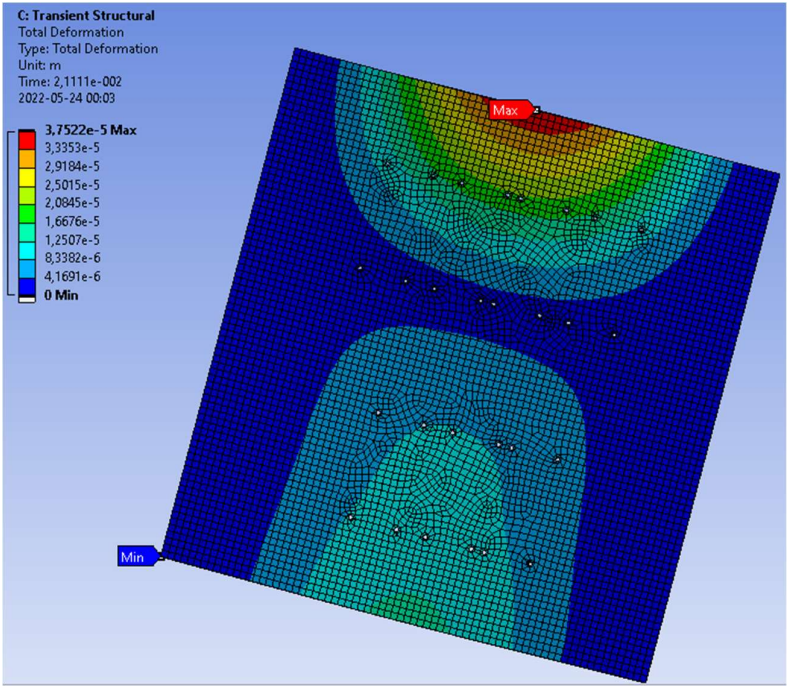
Stöt horisontell (X) negativ: total deformation



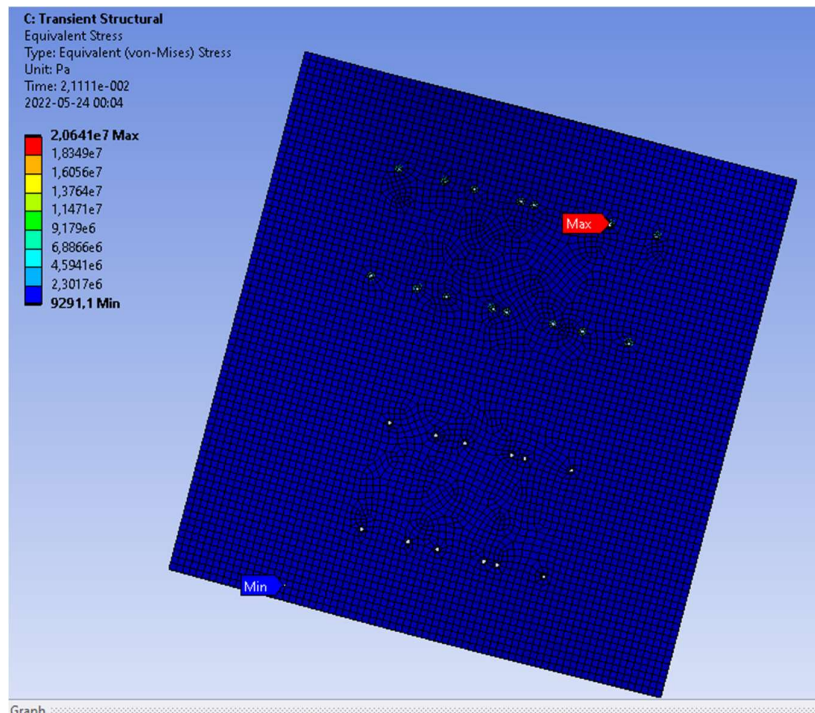
Stöt horisontell (X) negativ: von mises spänning



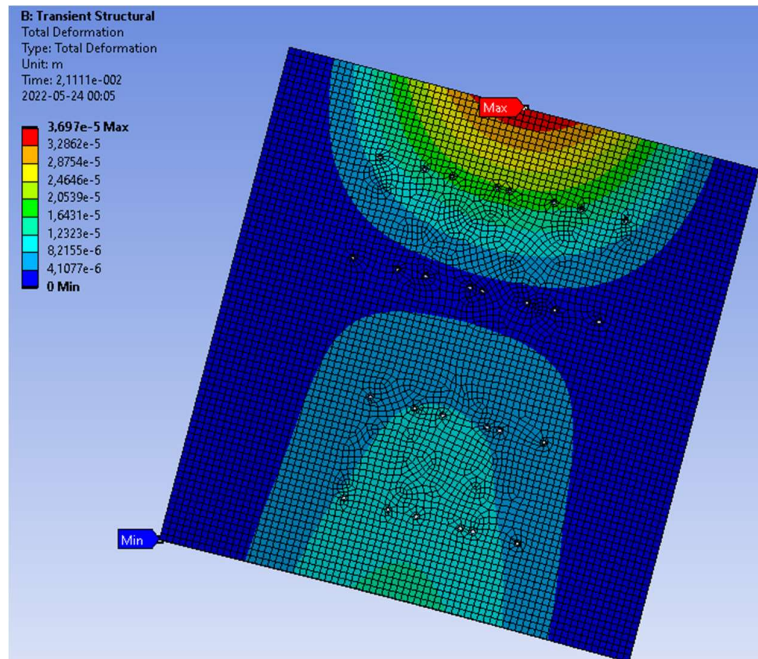
Stöt horisontell (Y) positiv: total deformation



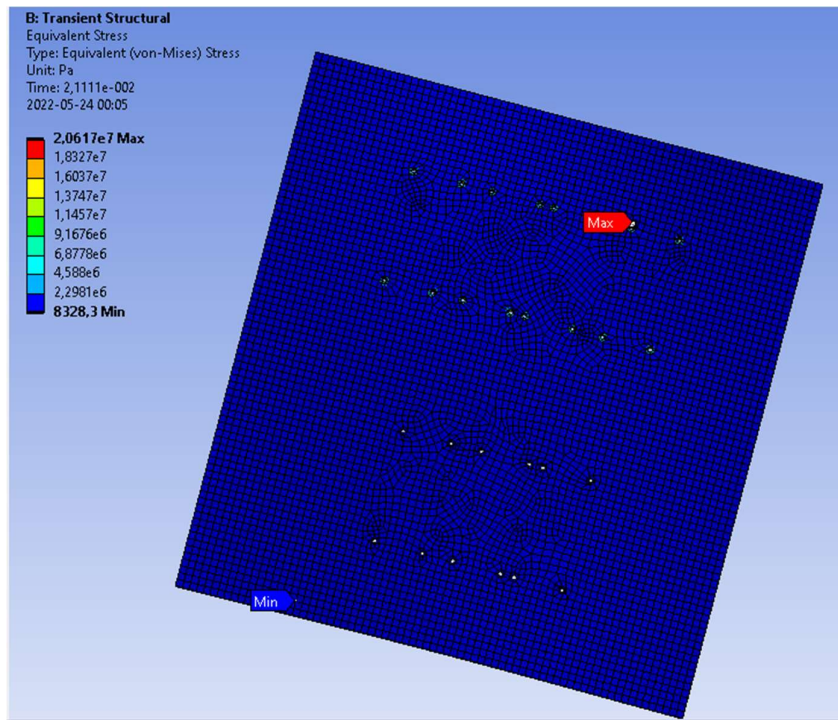
Stöt horisontell (Y) positiv: von mises spänning



Stöt horisontell (Y) negativ: total deformation



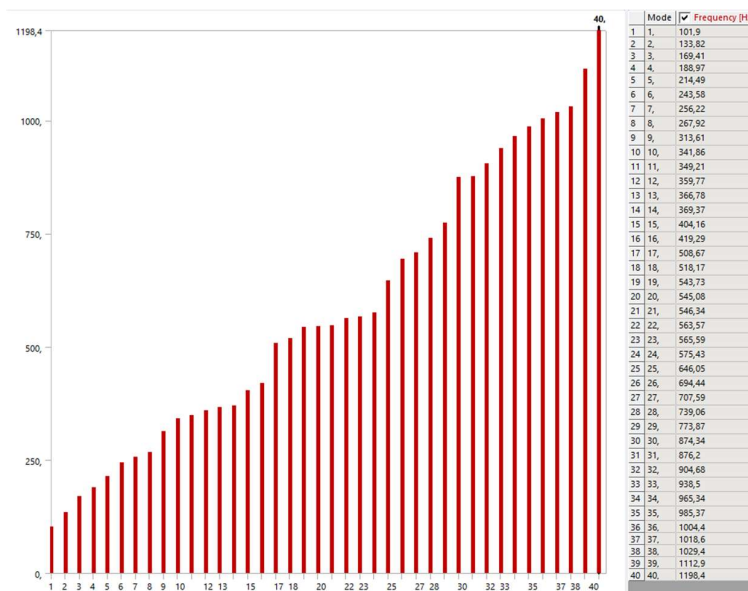
Stöt horisontell (Y) negativ: von mises spänning



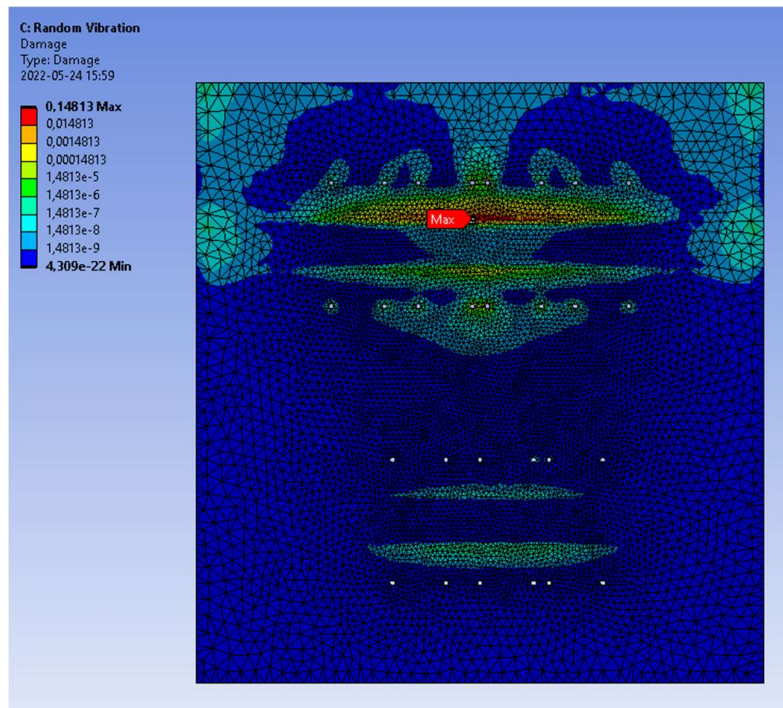
A2.3 Tjocklek 2 mm med förstärkningsbalk

Last: 4+0,9kg

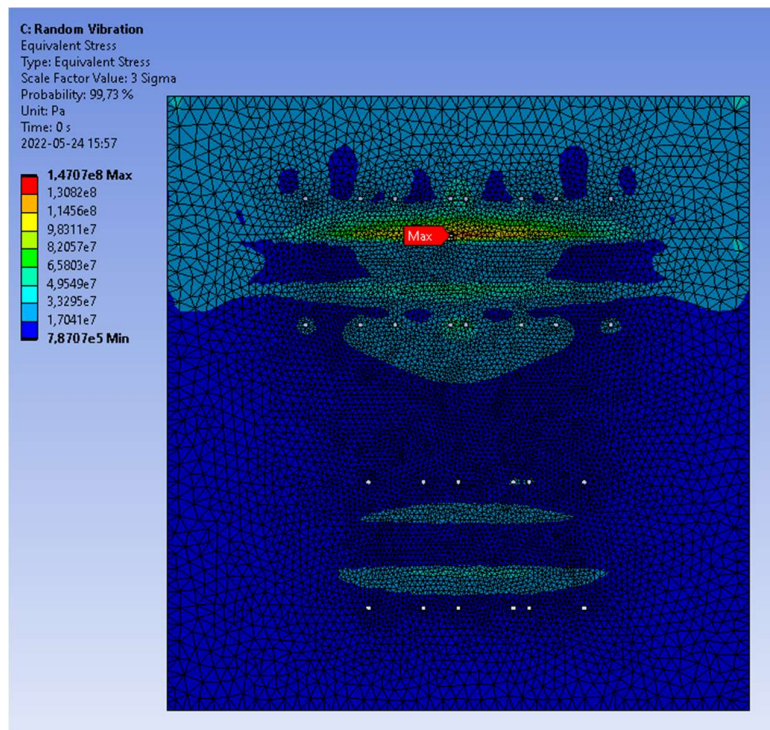
Egenfrekvens



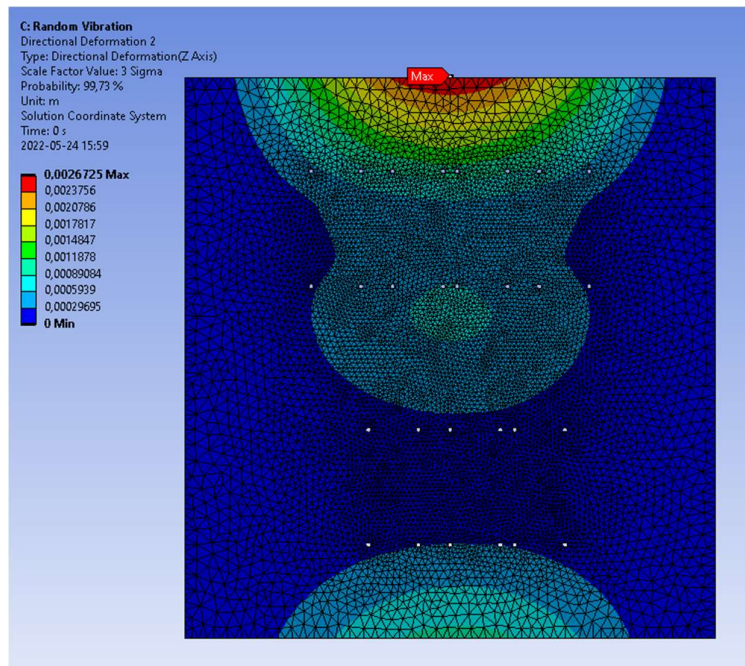
Vibration: Utmattning



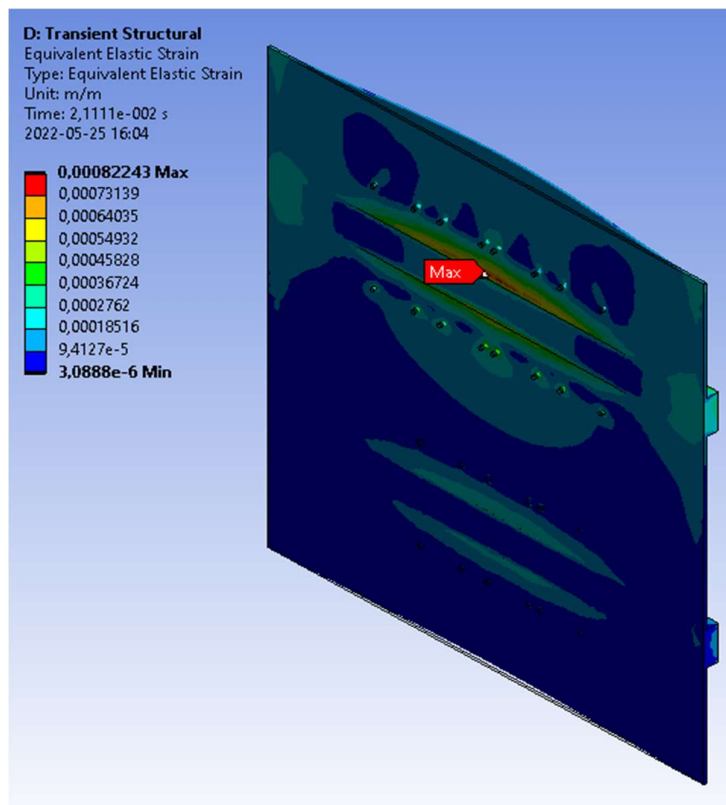
Vibration: von mises spänning



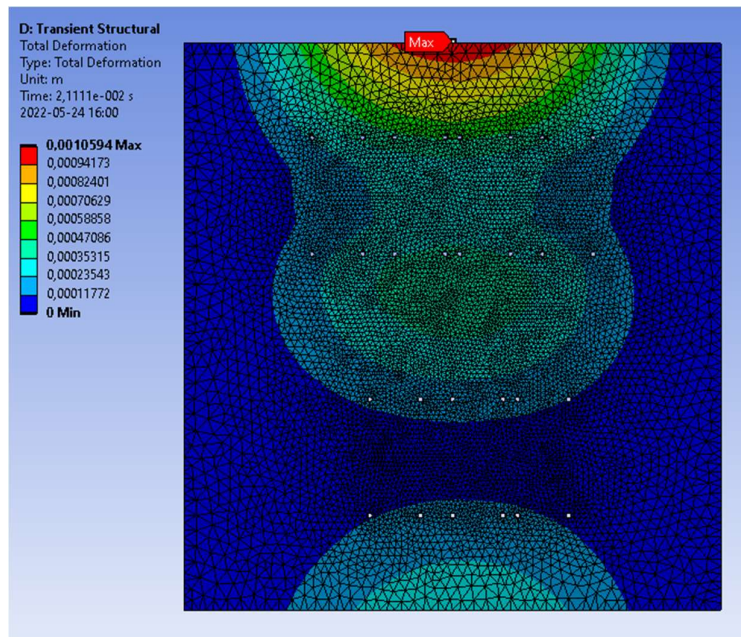
Vibration: Deformation i Z-riktning



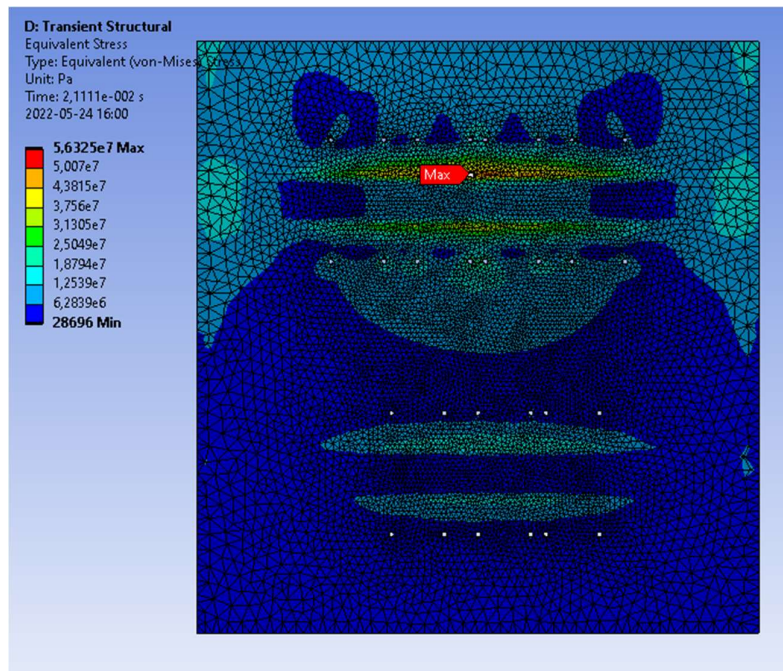
Vibration: von mises töjning



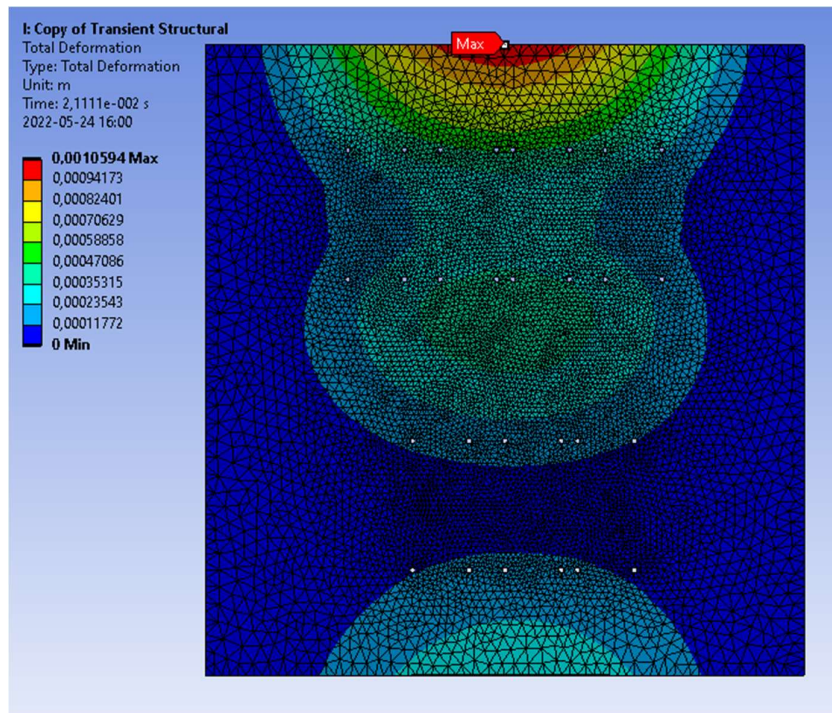
Stöt vertikal positiv: total deformation



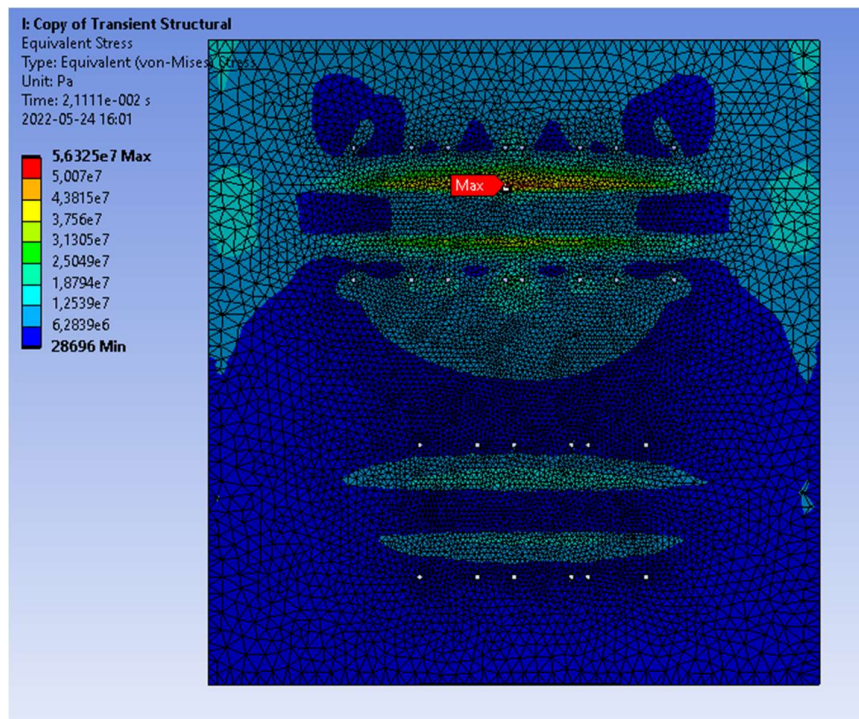
Stöt vertikal positiv: von mises spänning



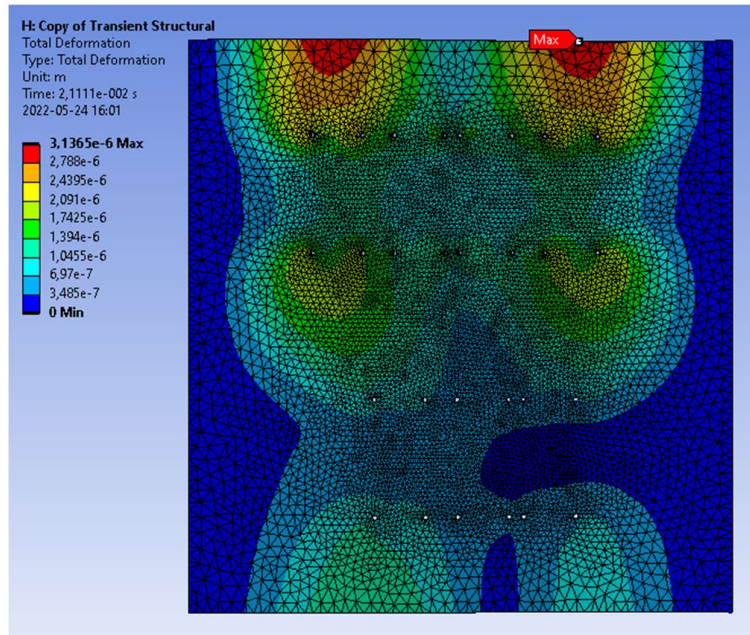
Stöt vertikal negativ: total deformation



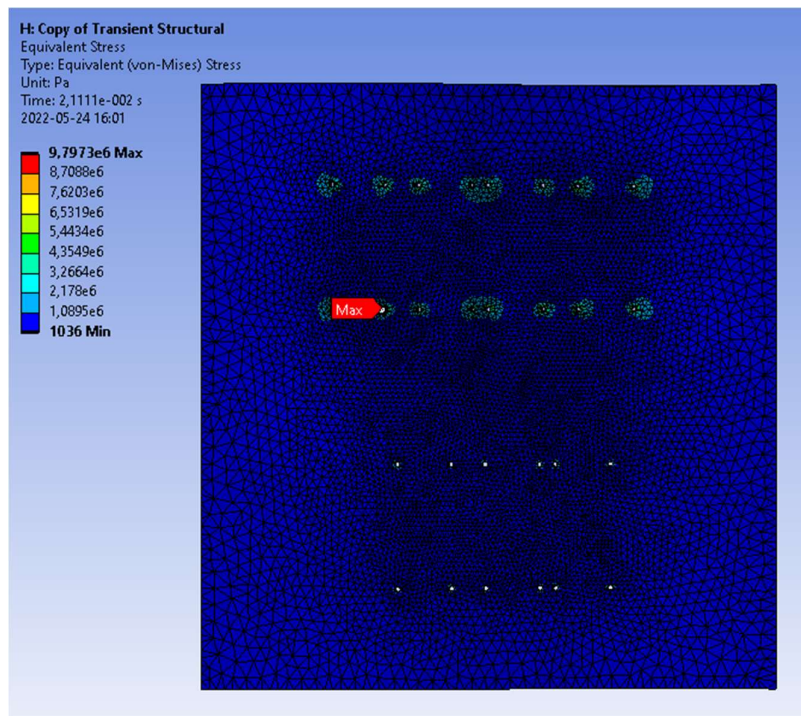
Stöt vertikalt negativ: von mises spänning



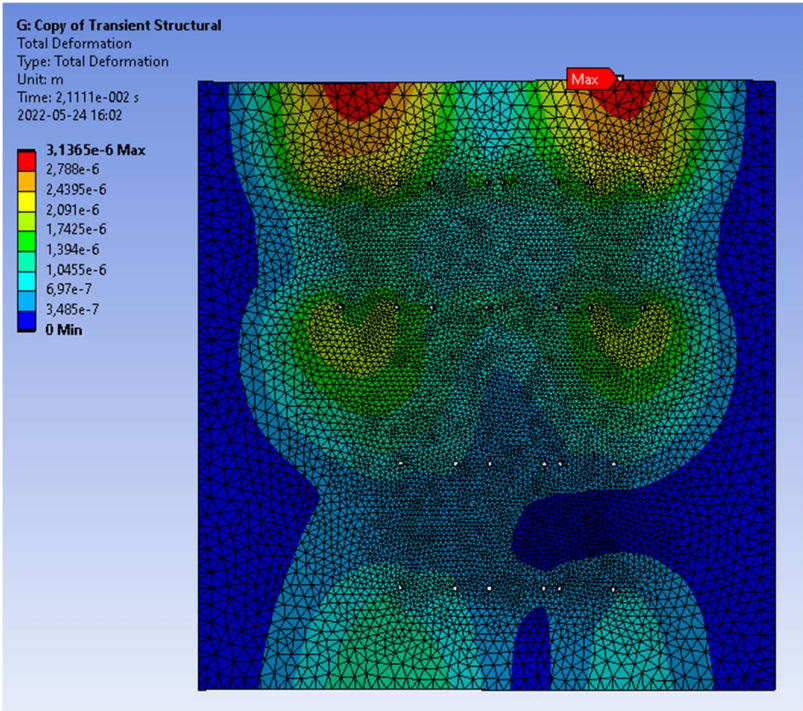
Stöt horisontell (X) positiv: total deformation



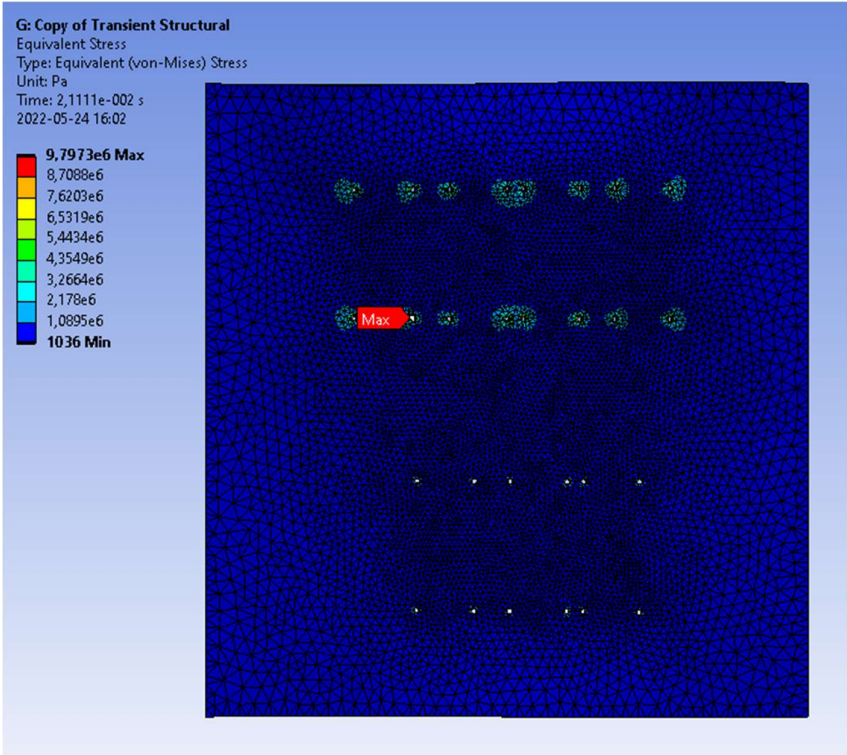
Stöt horisontell (X) positiv: von mises spänning



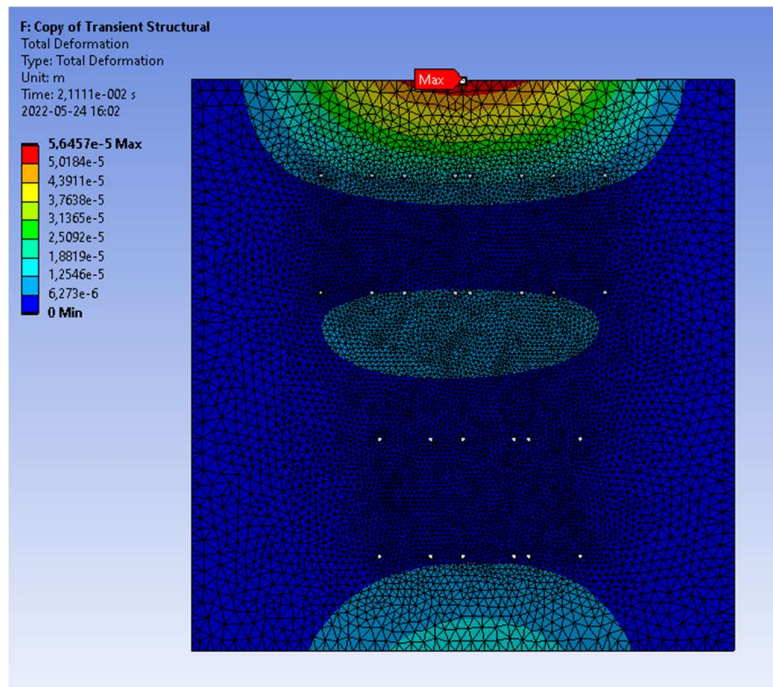
Stöt horisontell (X) negativ: total deformation



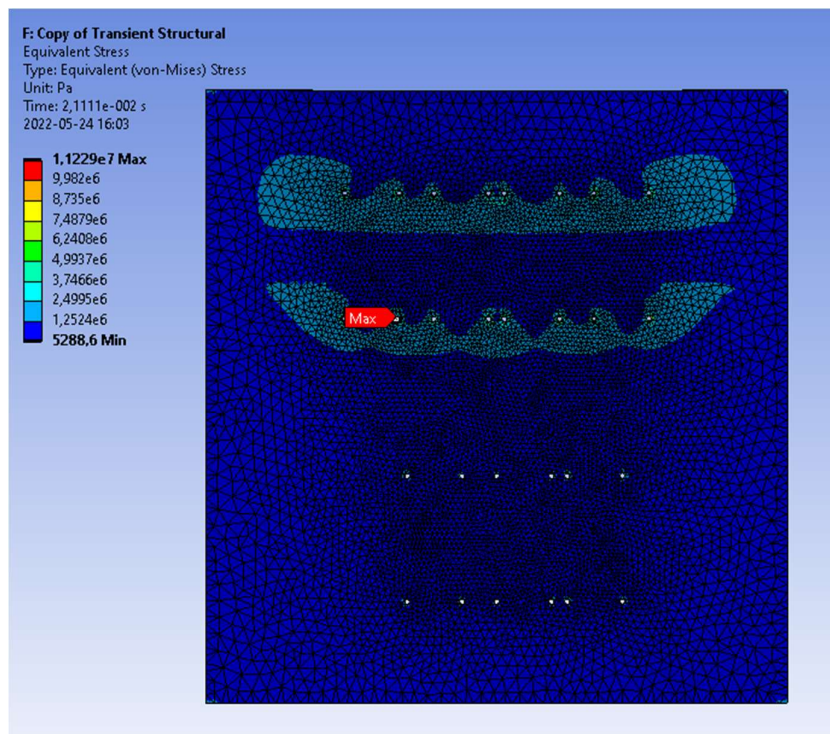
Stöt horisontell (X) negativ: von mises spänning



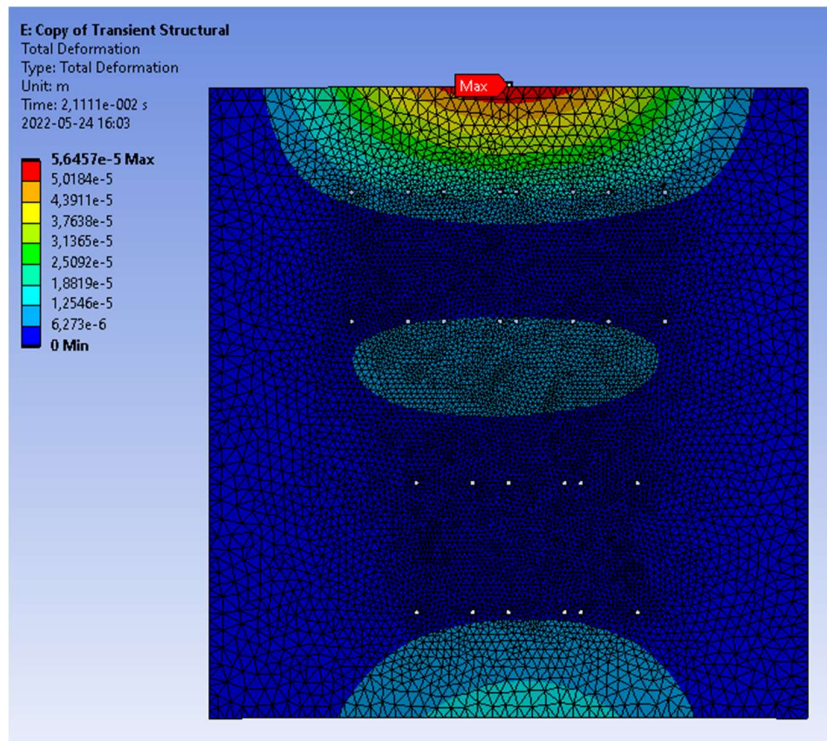
Stöt horisontell (Y) positiv: total deformation



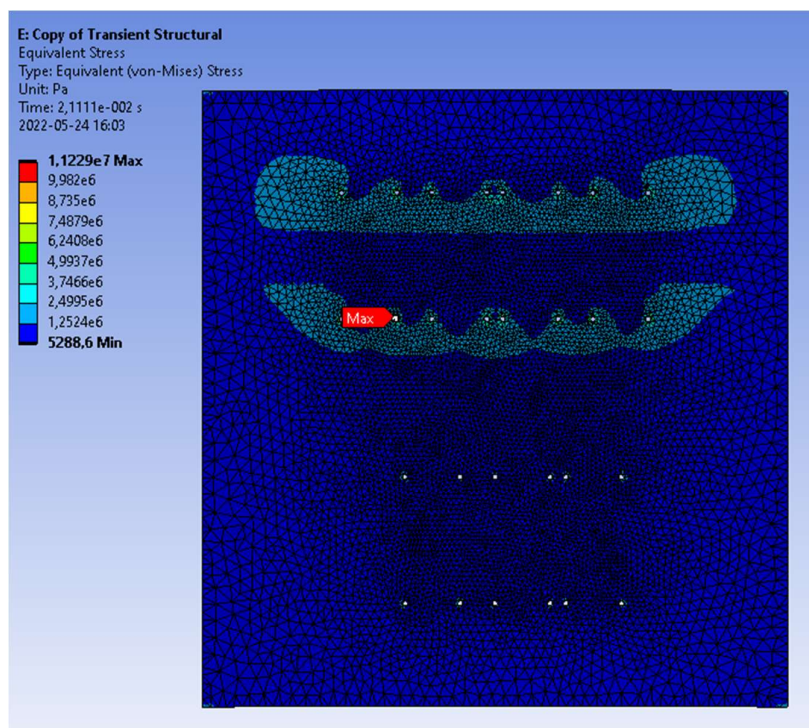
Stöt horisontell (Y) positiv: von mises spänning



Stöt horisontell (Y) negativ: total deformation



Stöt horisontell (Y) negativ: von mises spänning

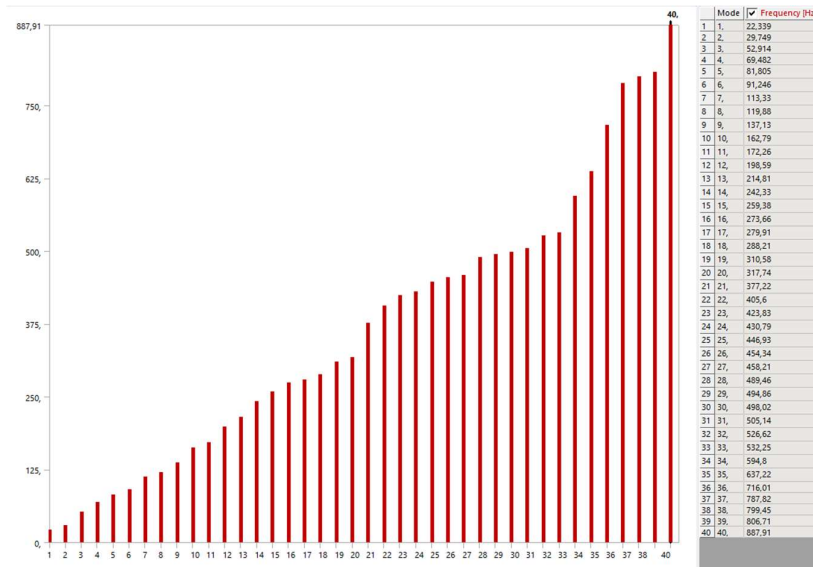


A3. Enhet C

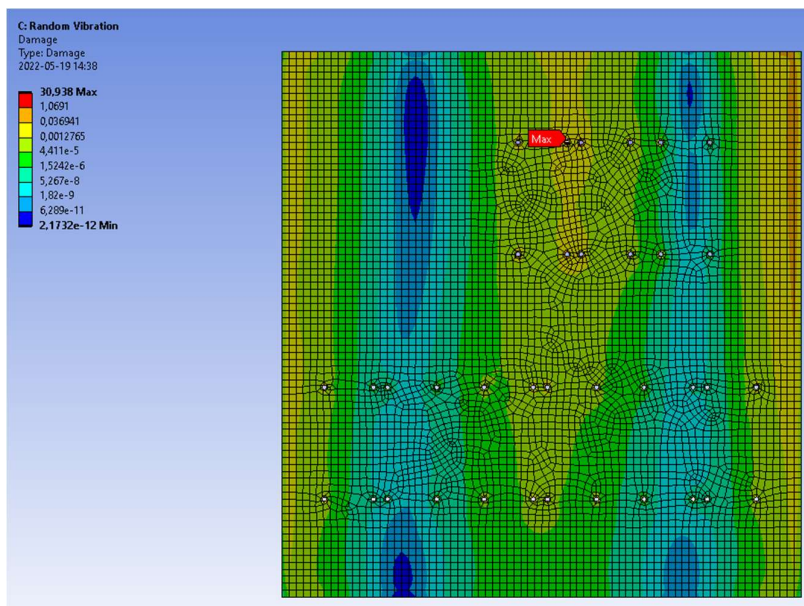
A3.1 Tjocklek 2 mm

Last: 3+1,8kg

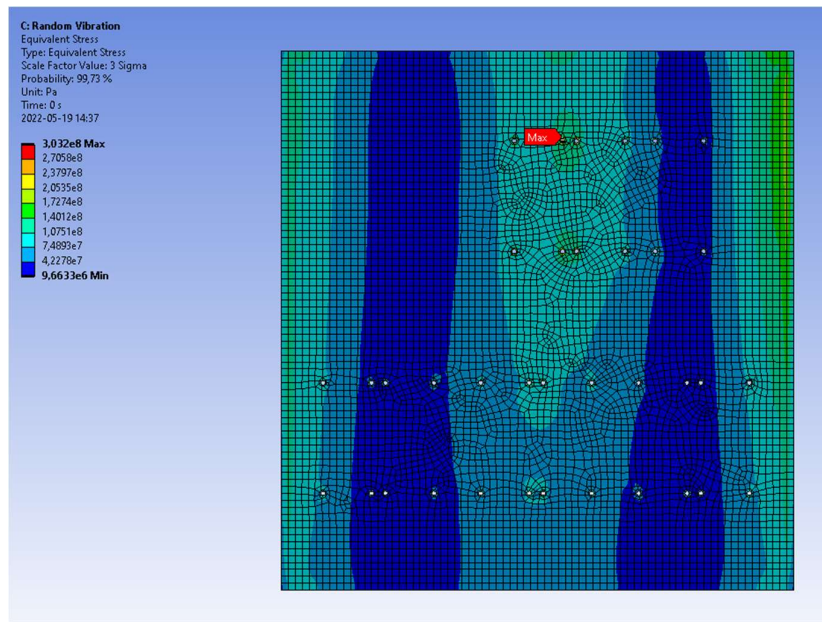
Egenfrekvens



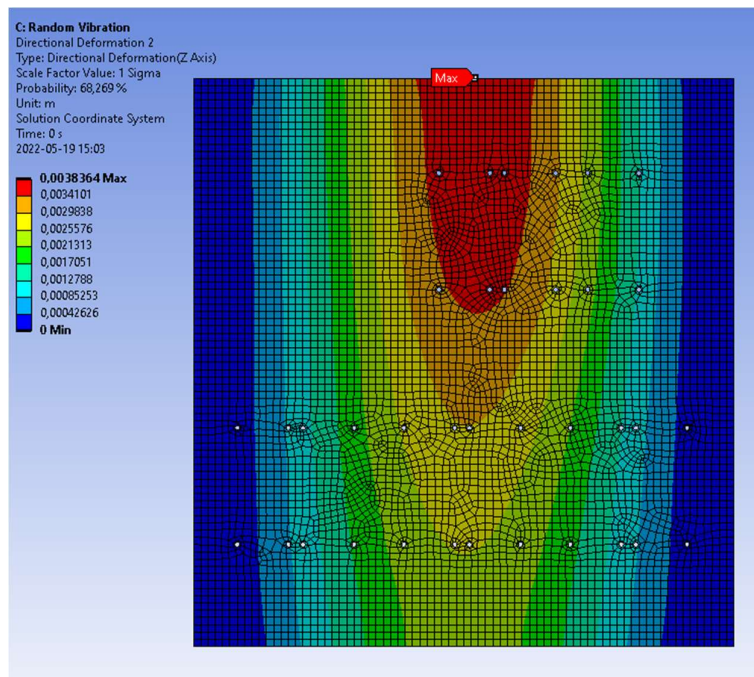
Vibration: Utmattning



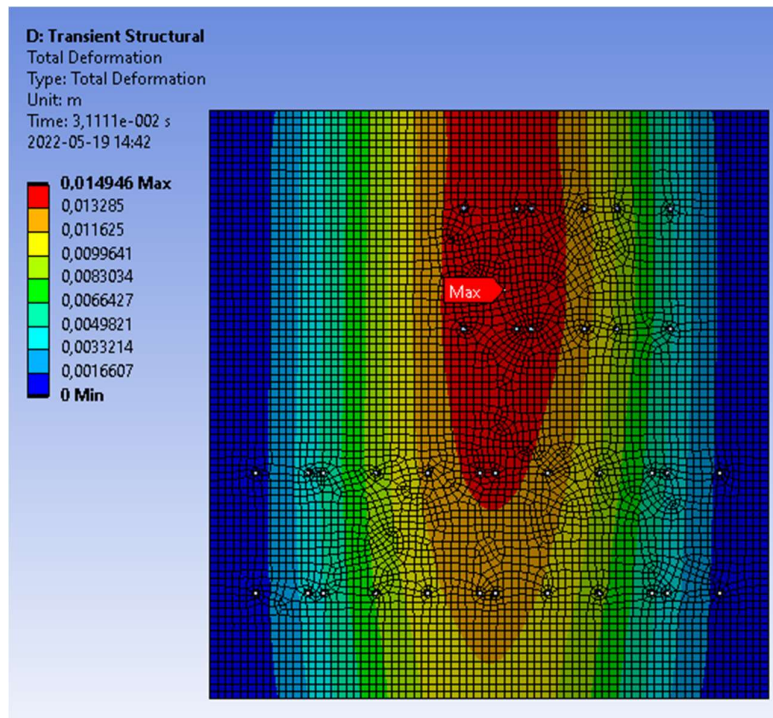
Vibration: von mises spänning



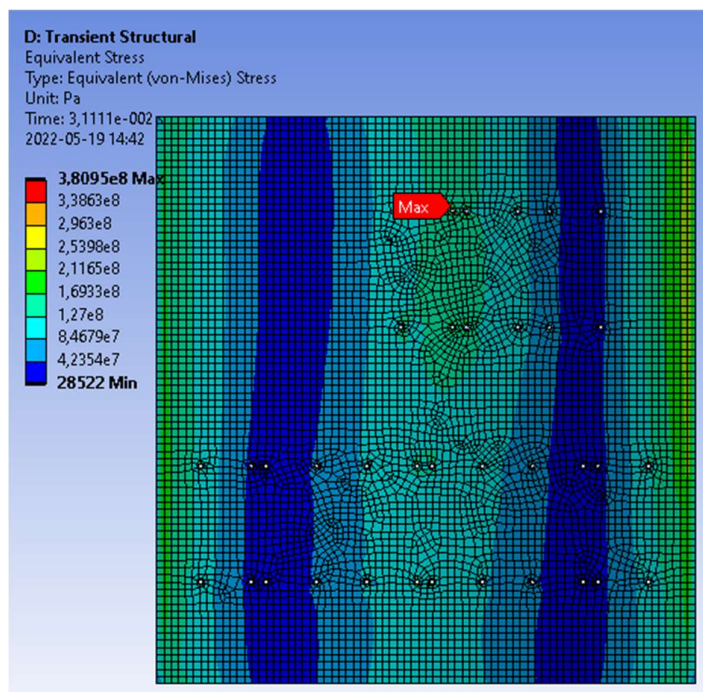
Vibration: Deformation i Z-riktning



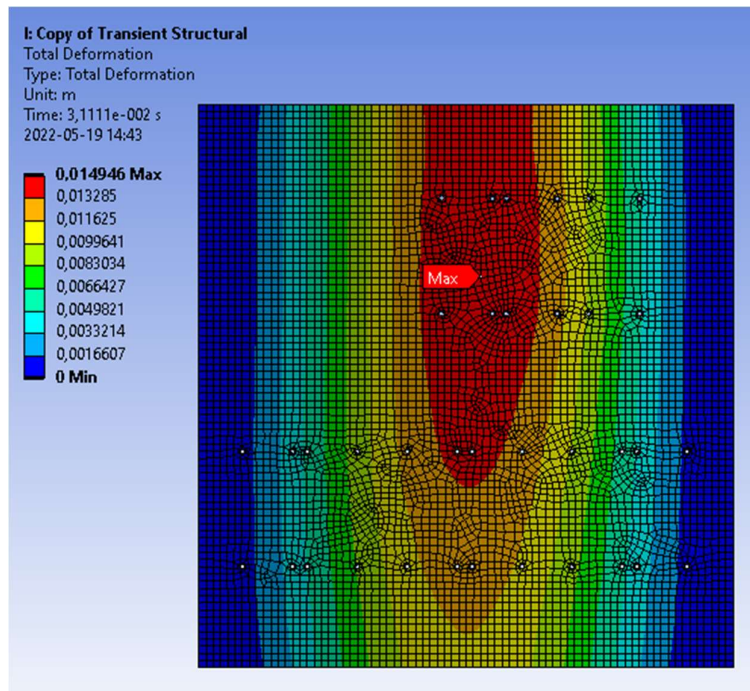
Stöt vertikal positiv: total deformation



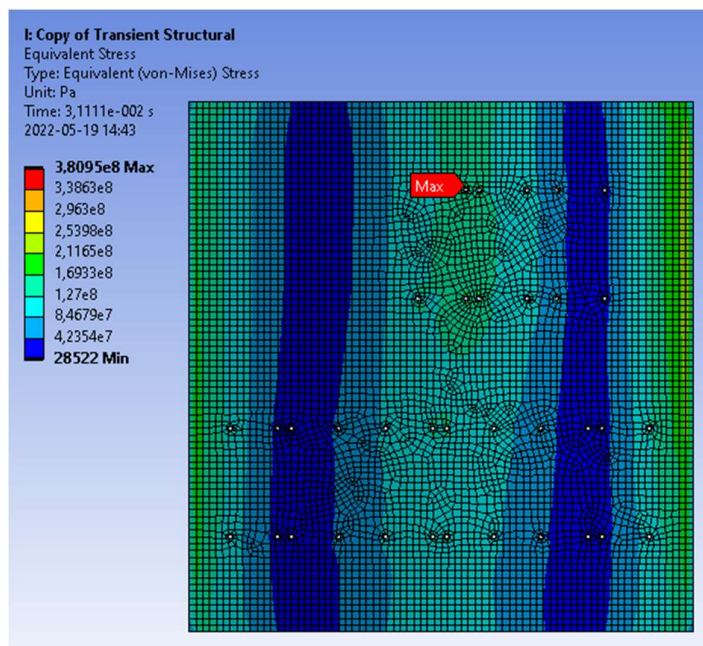
Stöt vertikal positiv: von mises spänning



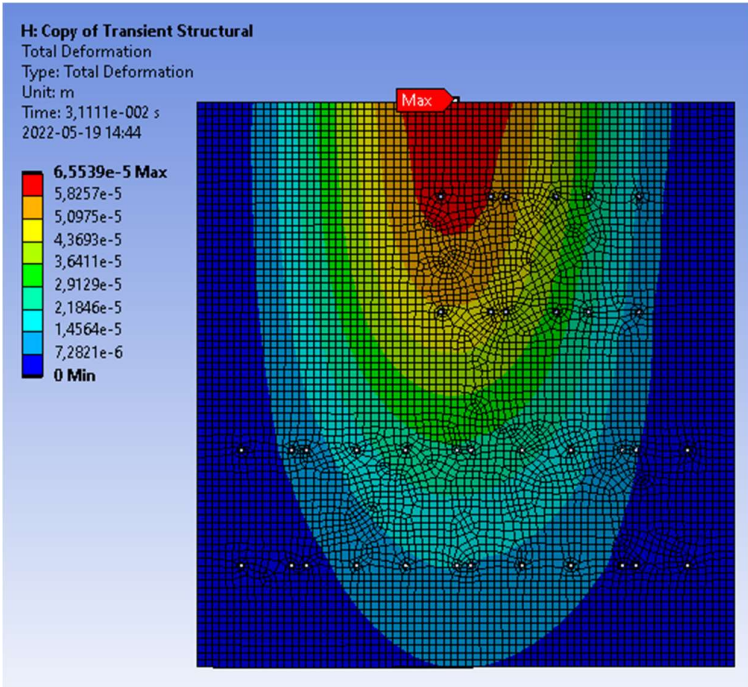
Stöt vertikal negativ: total deformation



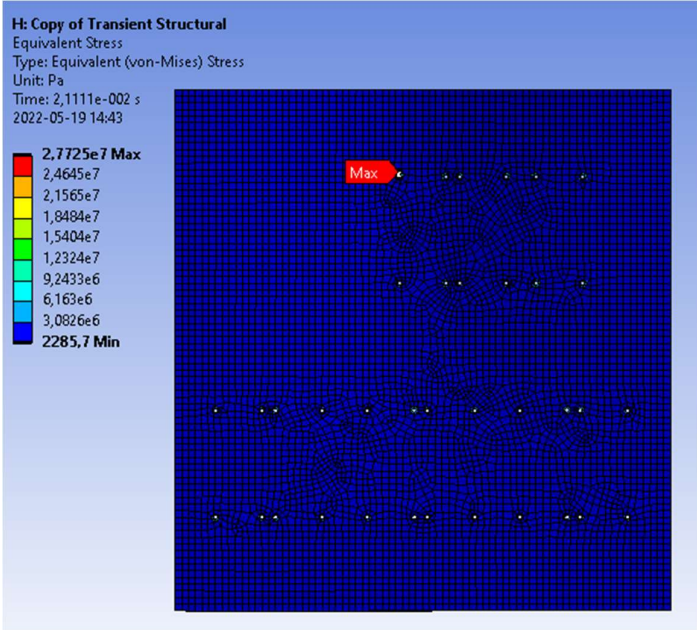
Stöt vertikal negativ: von mises spänning



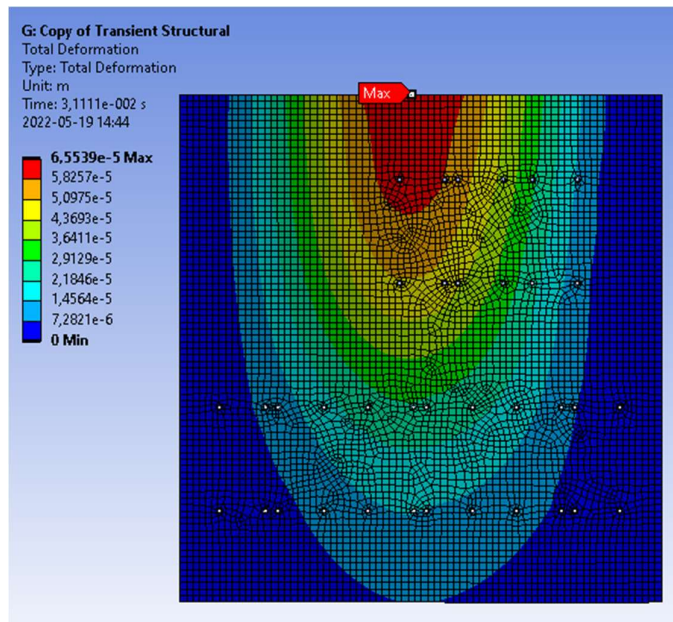
Stöt horisontell (X) positiv: total deformation



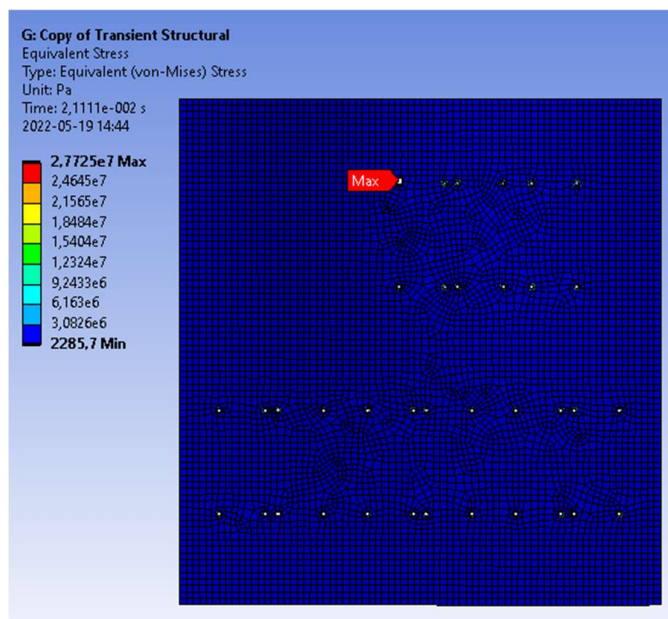
Stöt horisontell (X) positiv: von mises spänning



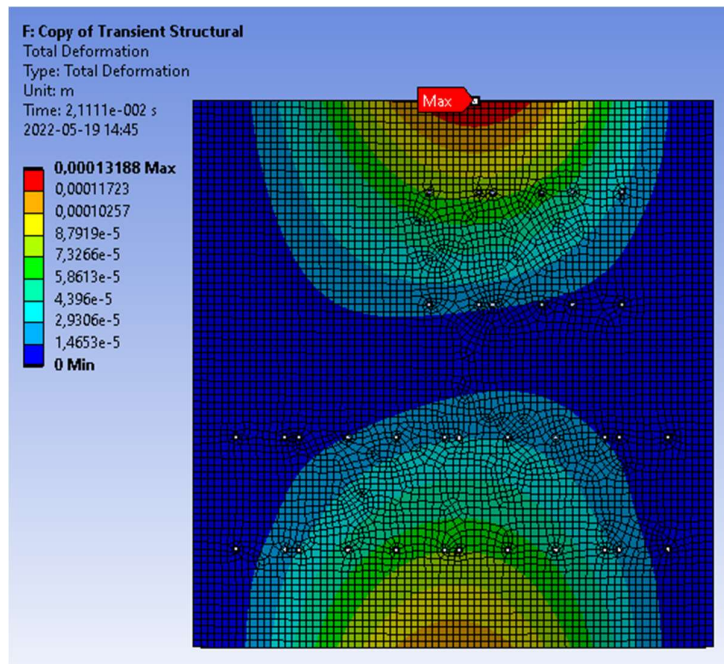
Stöt horisontell (X) negativ: total deformation



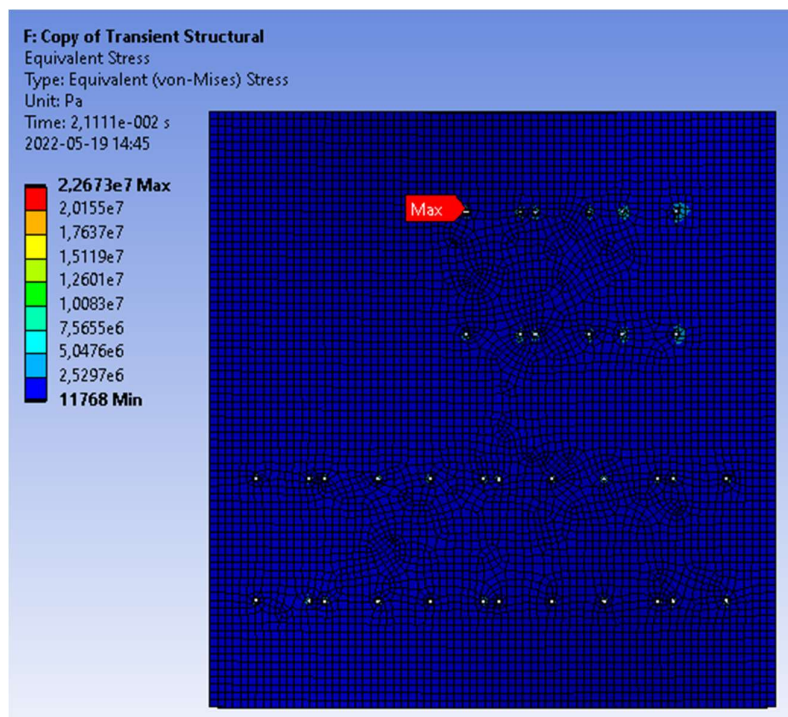
Stöt horisontell (X) negativ: von mises spänning



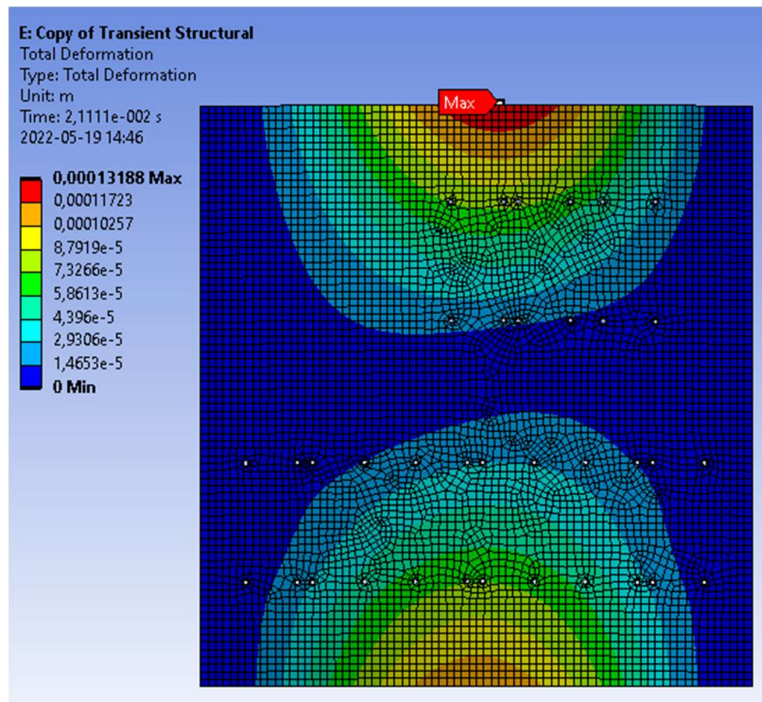
Stöt horisontell (Y) positiv: total deformation



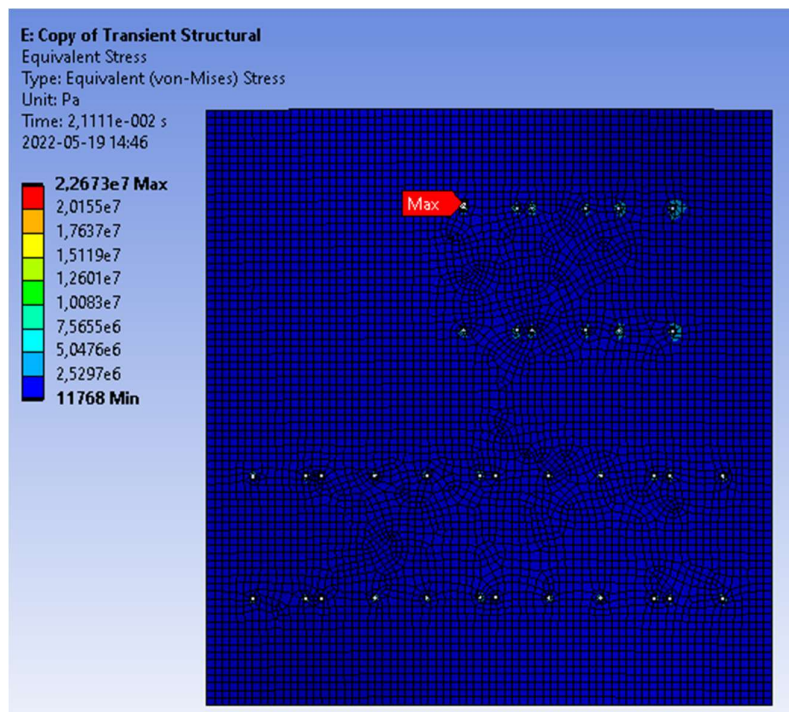
Stöt horisontell (Y) positiv: von mises spänning



Stöt horisontell (Y) negativ: total deformation



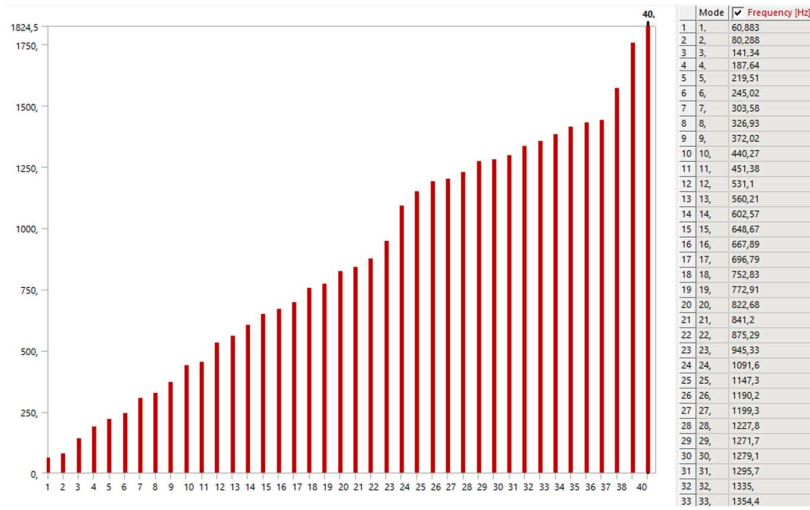
Stöt horisontell (Y) negativ: von mises spänning



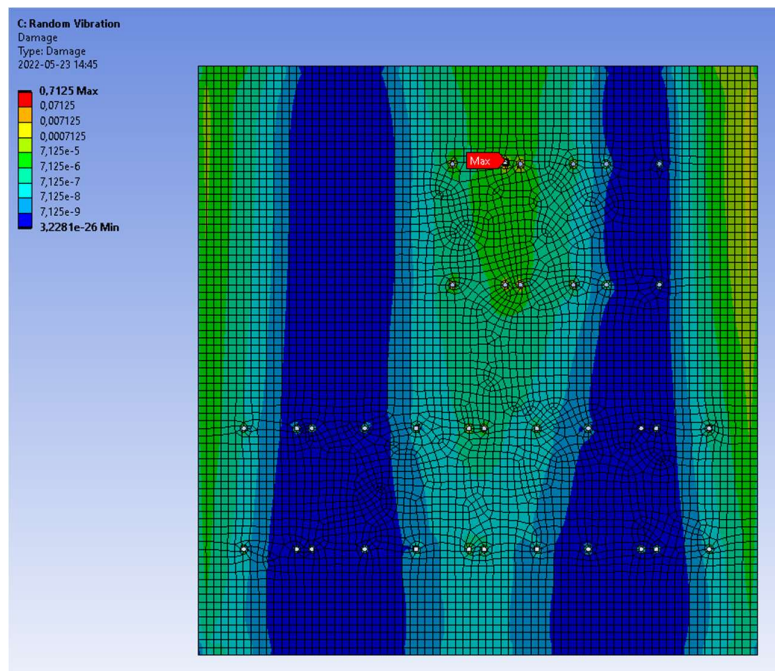
A3.2 Tjocklek 4 mm

Last: 3+1,8kg

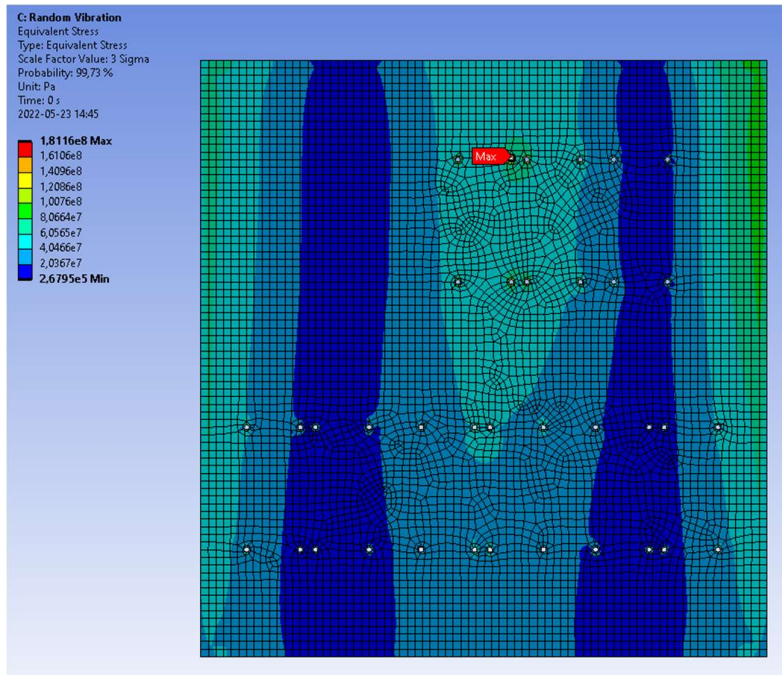
Eigenfrekvens



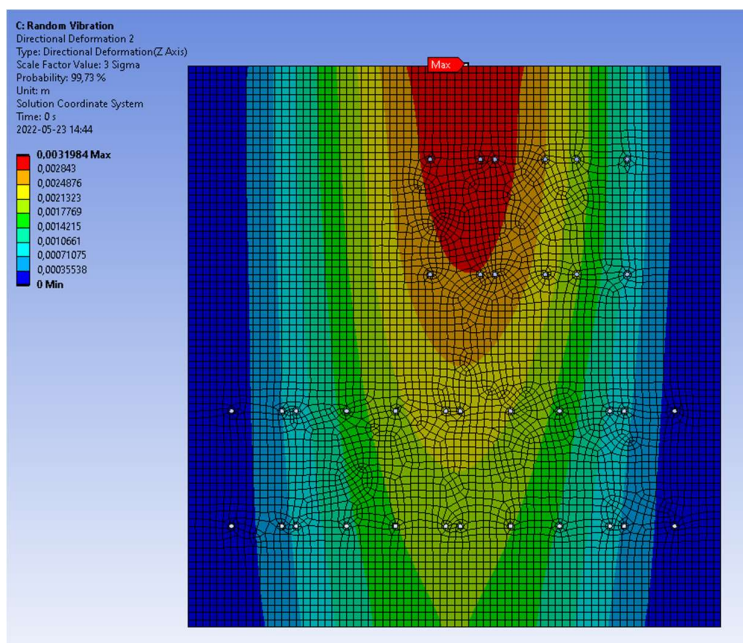
Vibration: Utmattning



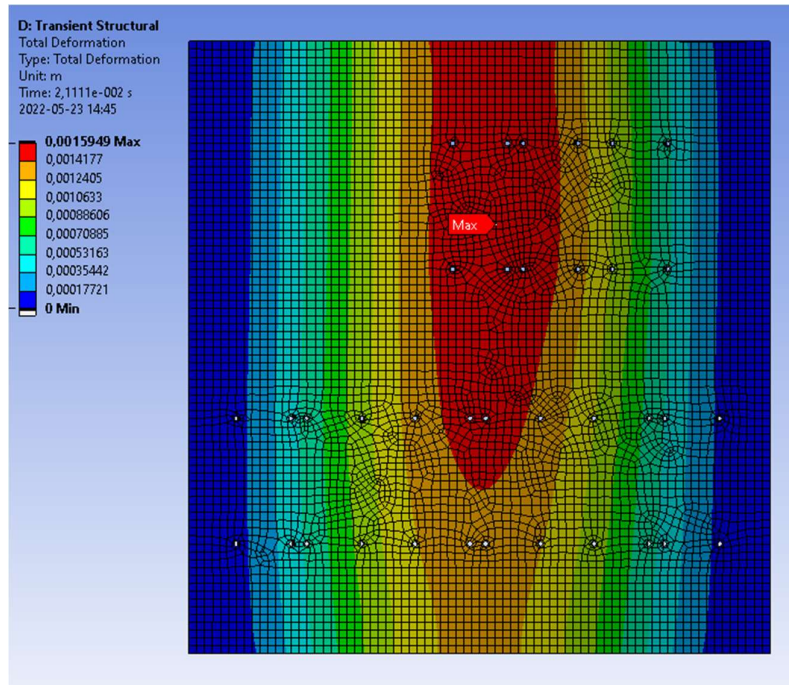
Vibration: von mises spänning



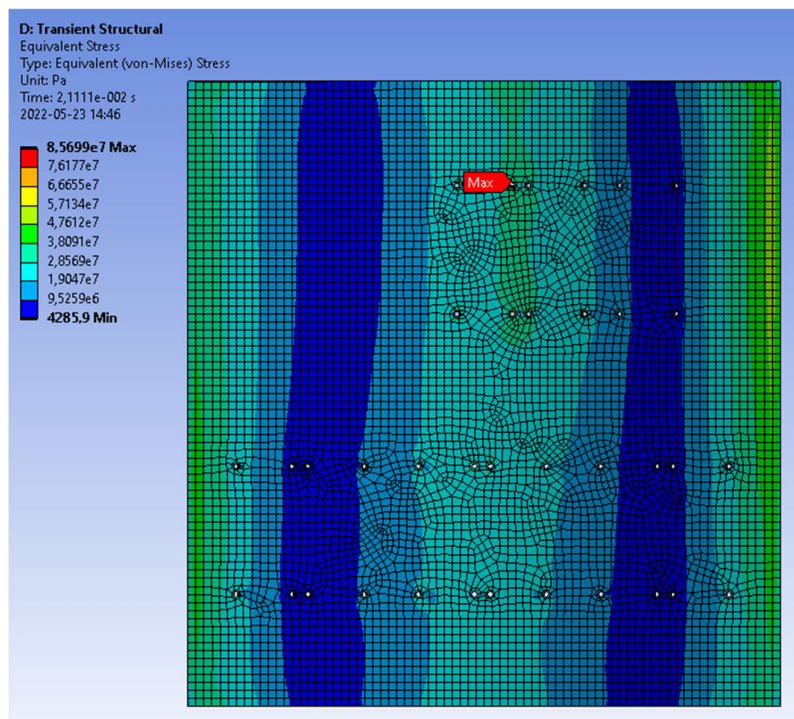
Vibration: Deformation i Z-riktning



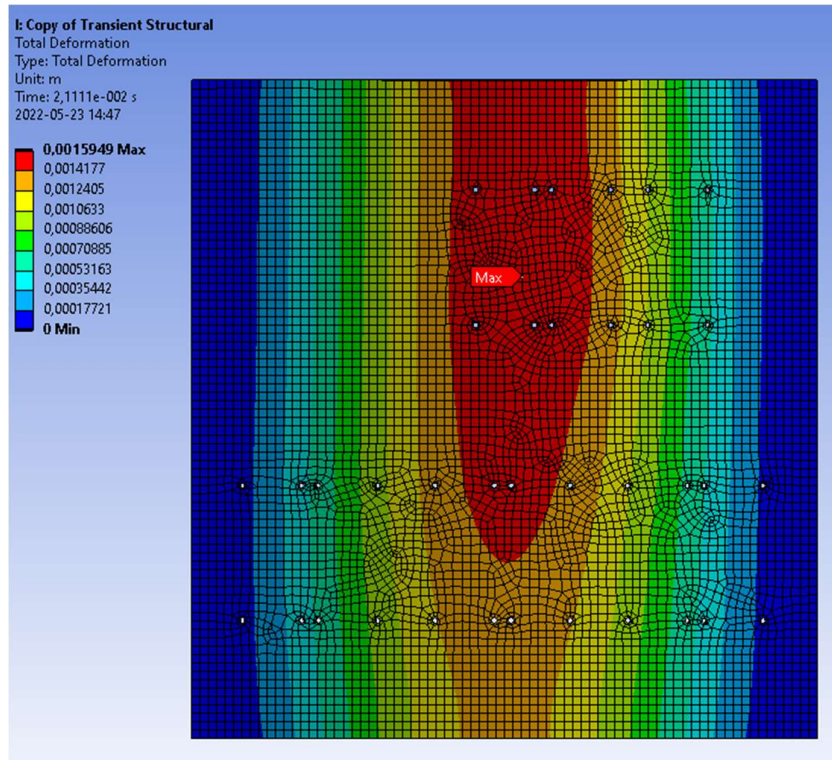
Stöt vertikal positiv: total deformation



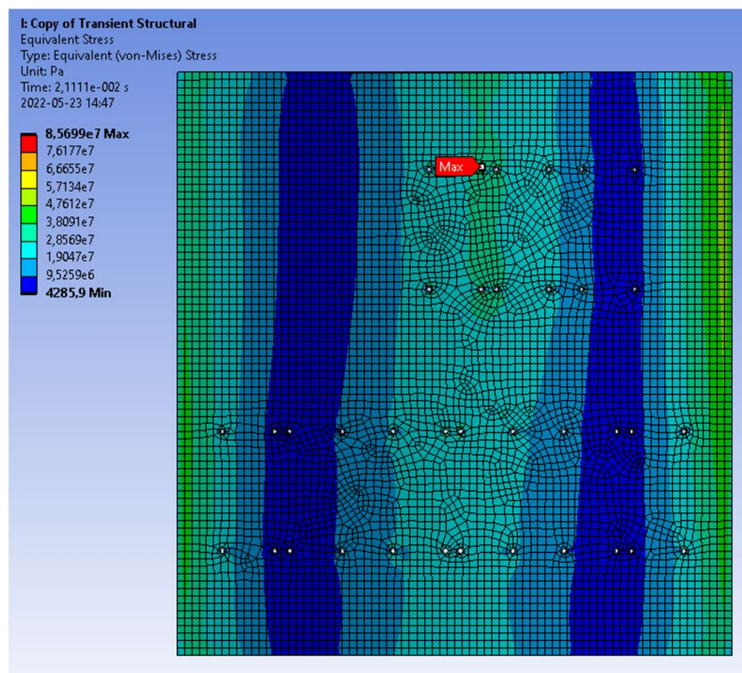
Stöt vertikal positiv: von mises spänning



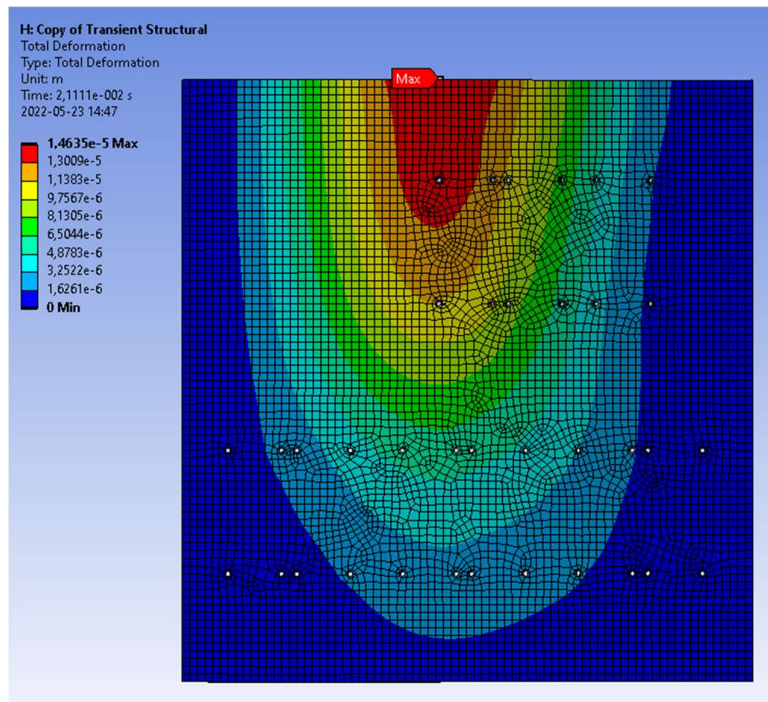
Stöt vertikal negativ: total deformation



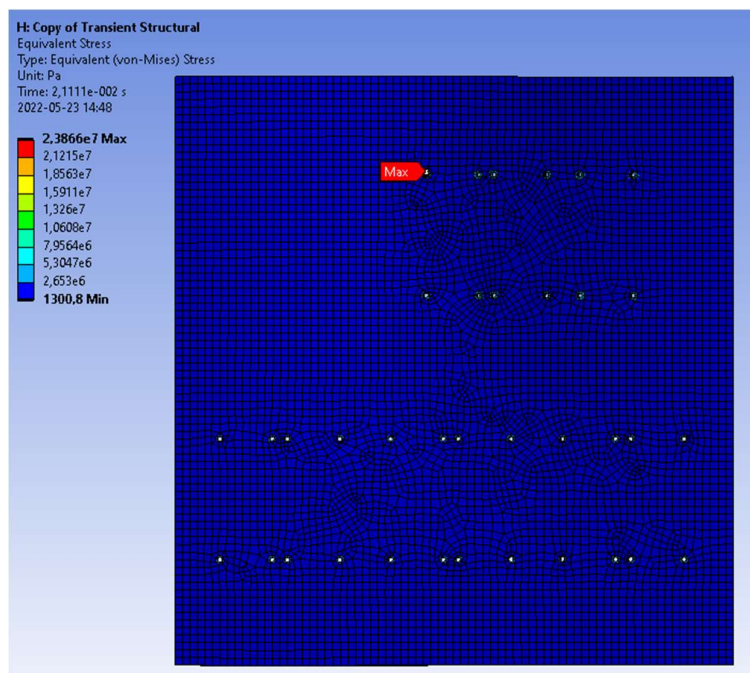
Stöt vertikal negativ: von mises spänning



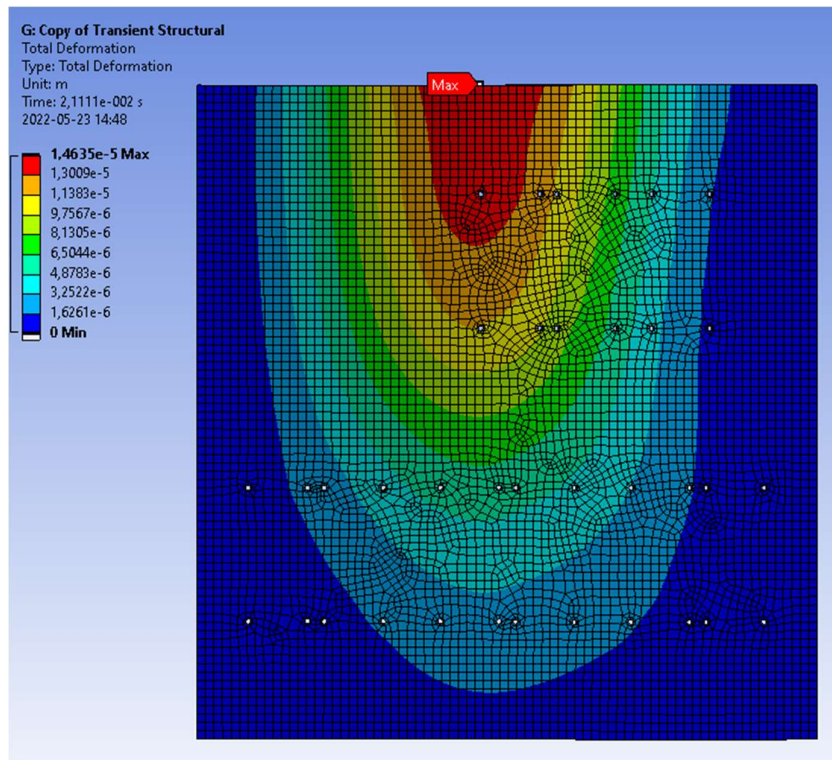
Stöt horisontell (X) positiv: total deformation



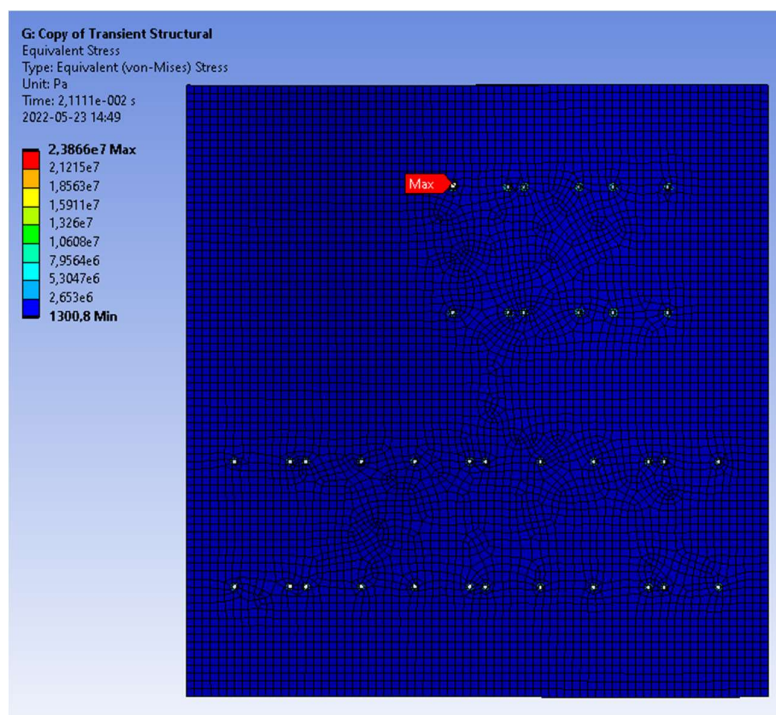
Stöt horisontell (X) positiv: von mises spänning



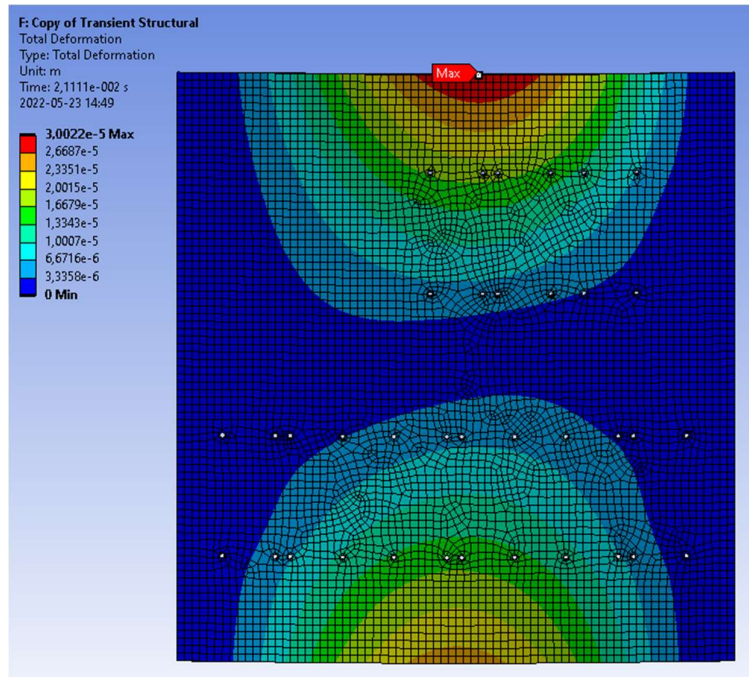
Stöt horisontell (X) negativ: total deformation



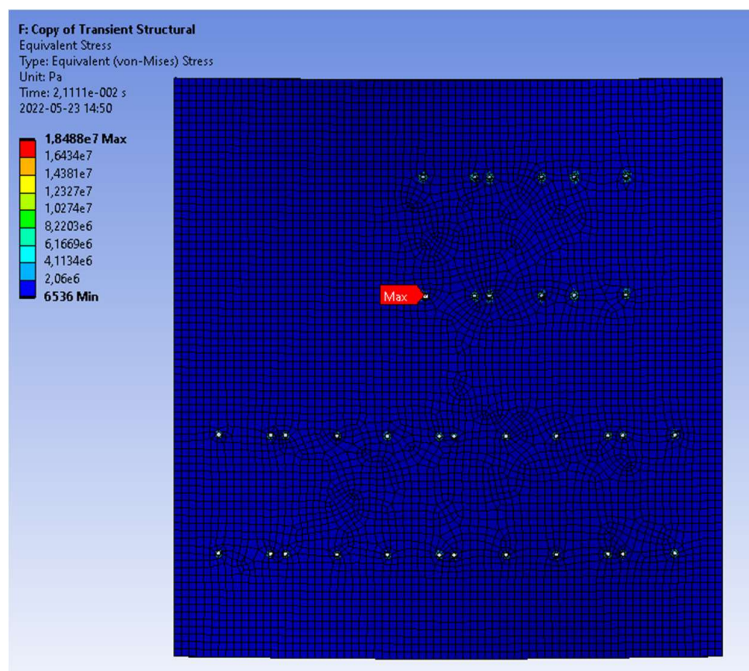
Stöt horisontell (X) negativ: von mises spänning



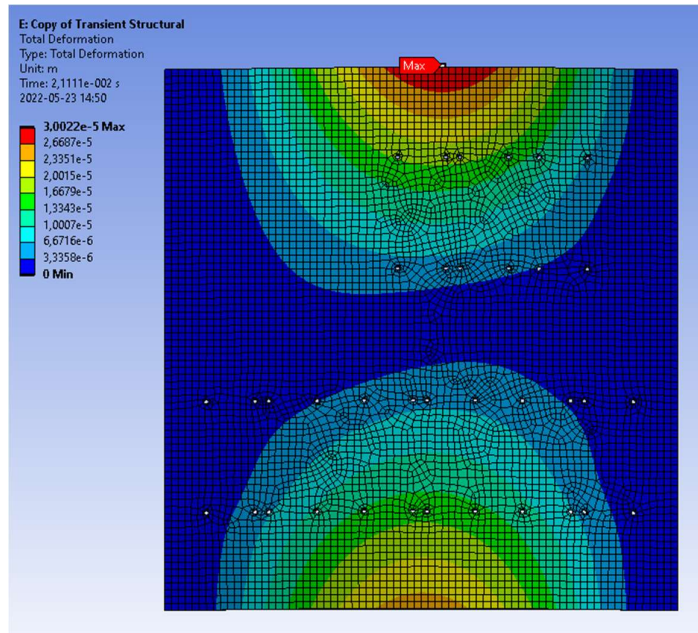
Stöt horisontell (Y) positiv: total deformation



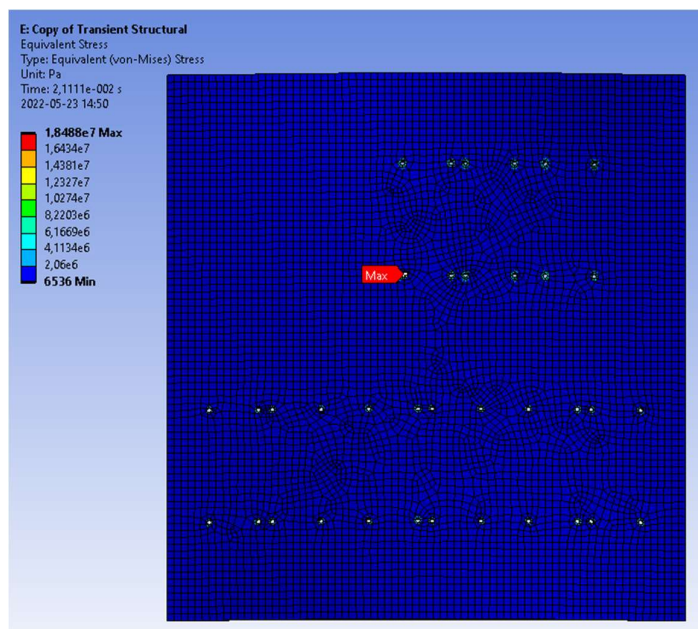
Stöt horisontell (Y) positiv: von mises spänning



Stöt horisontell (Y) negativ: total deformation



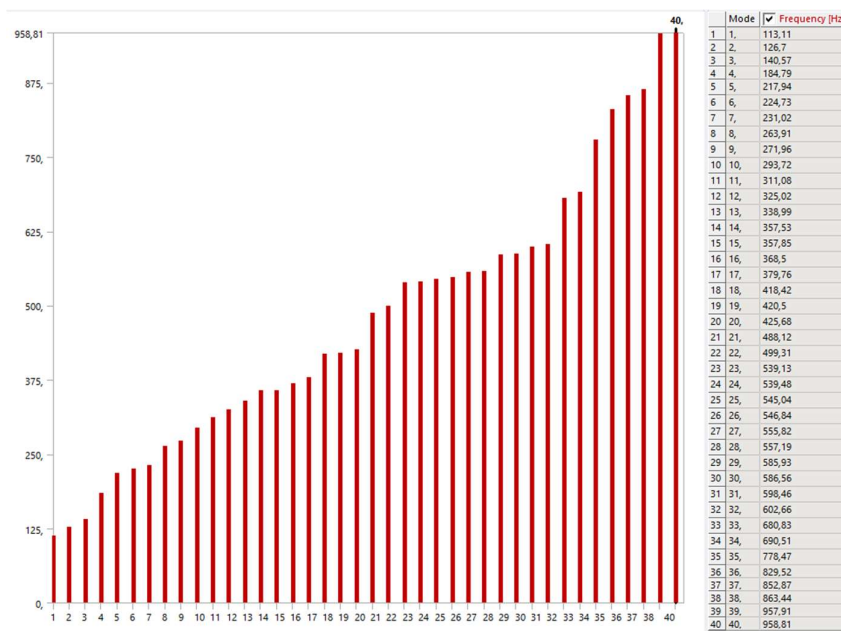
Stöt horisontell (Y) negativ: von mises spänning



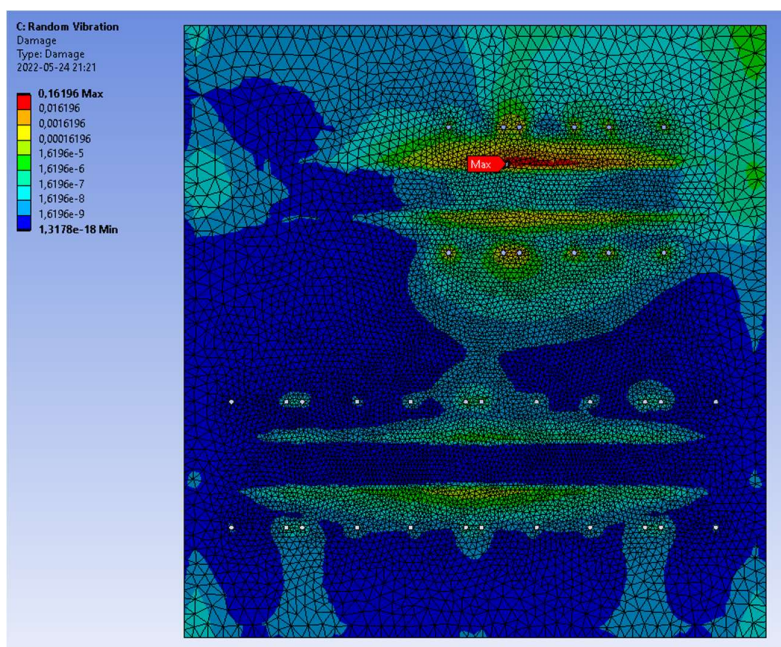
A3.3 Tjocklek 2 mm med förstärkningsbalk

Last: 3+1,8kg

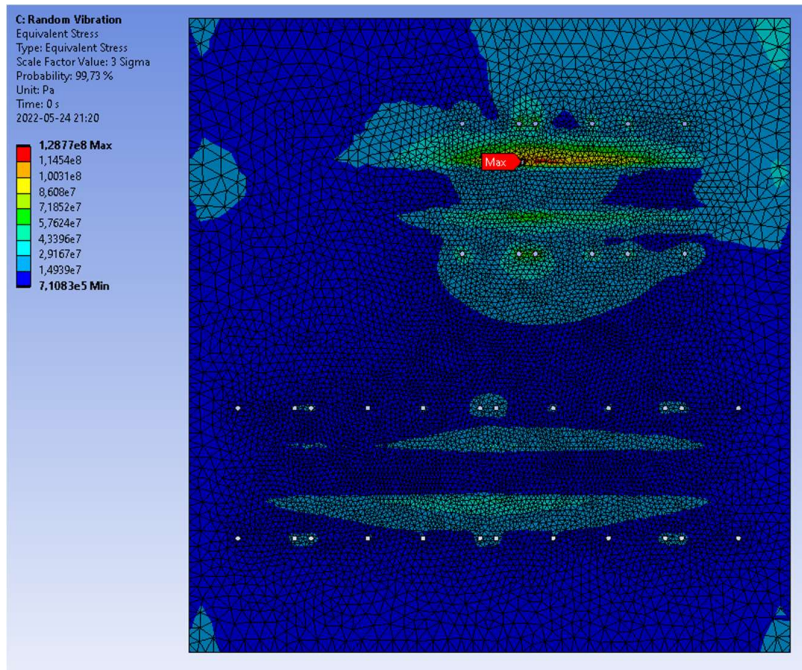
Egenfrekvens



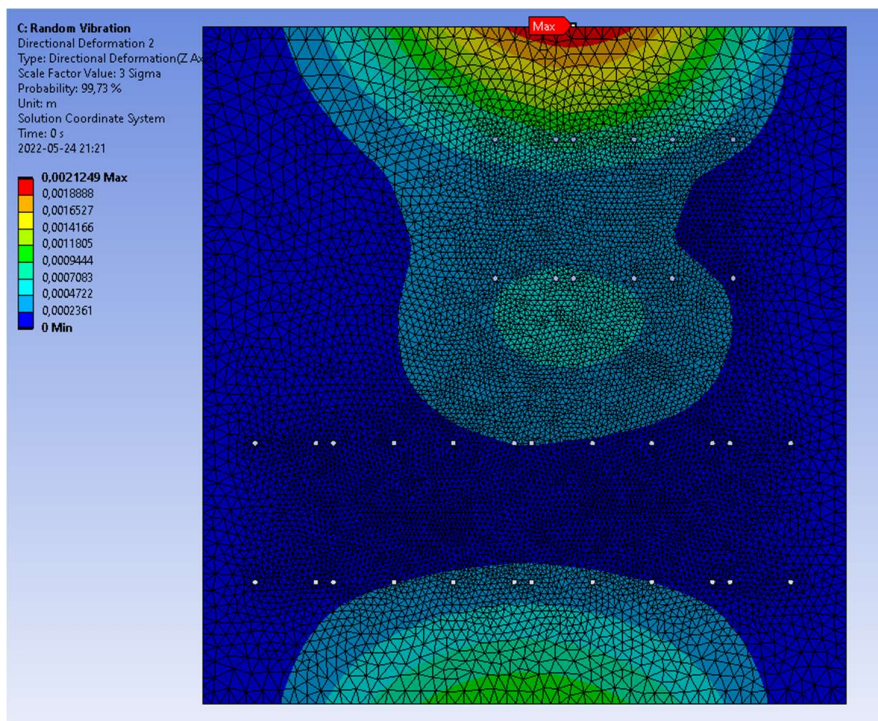
Vibration: Utmattning



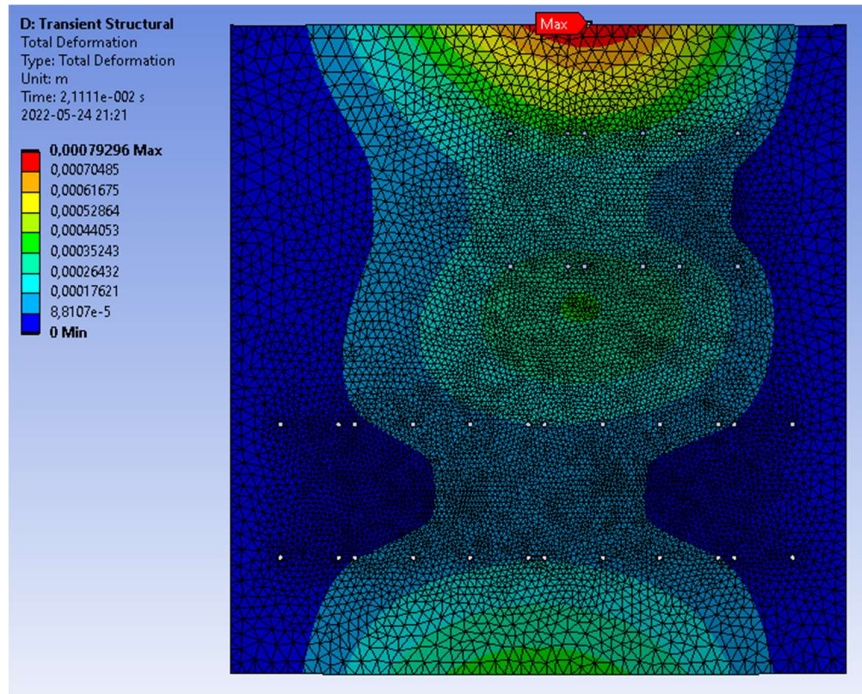
Vibration: von mises spänning



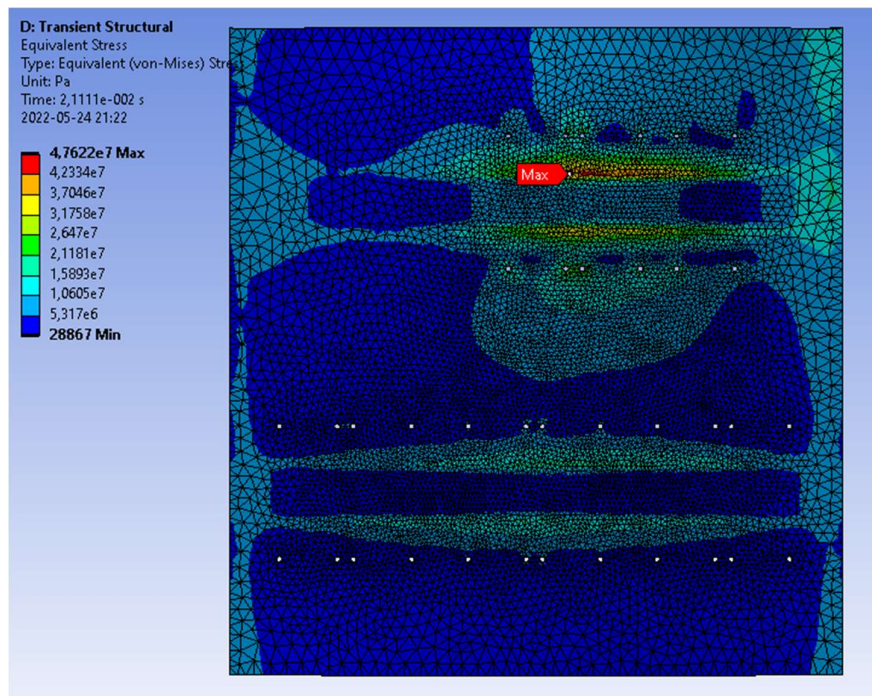
Vibration: Deformation i Z-riktning



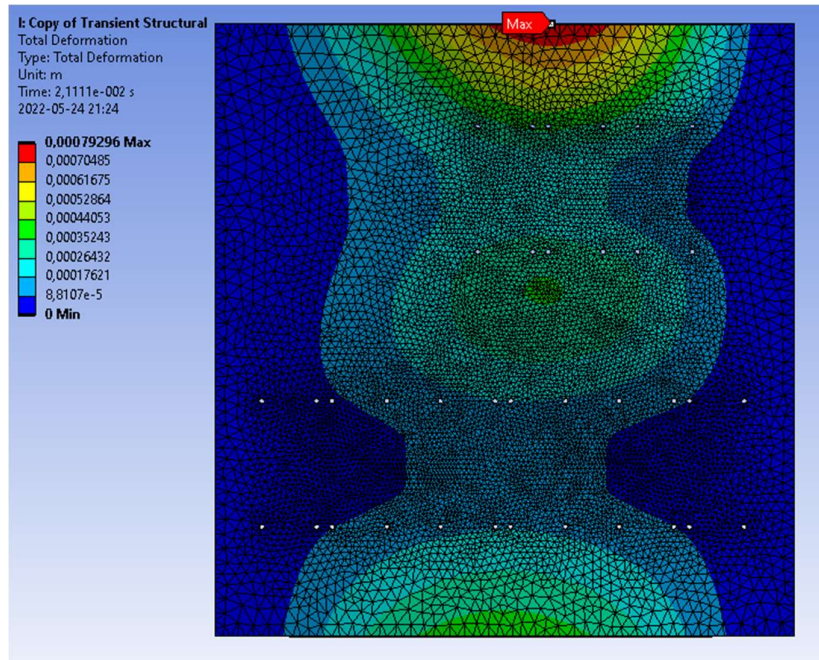
Stöt vertikal positiv: total deformation



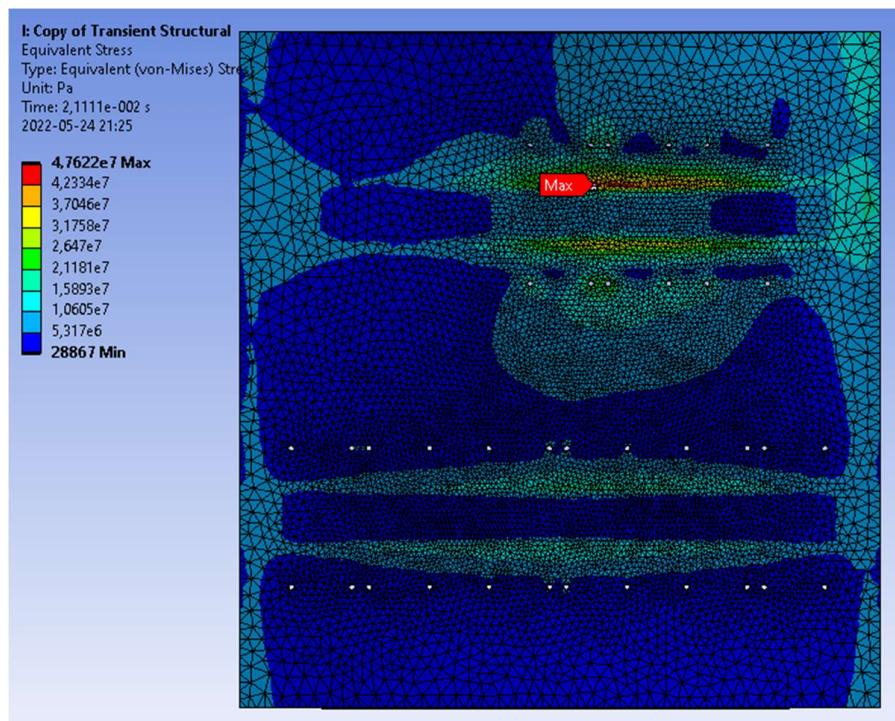
Stöt vertikal positiv: von mises spänning



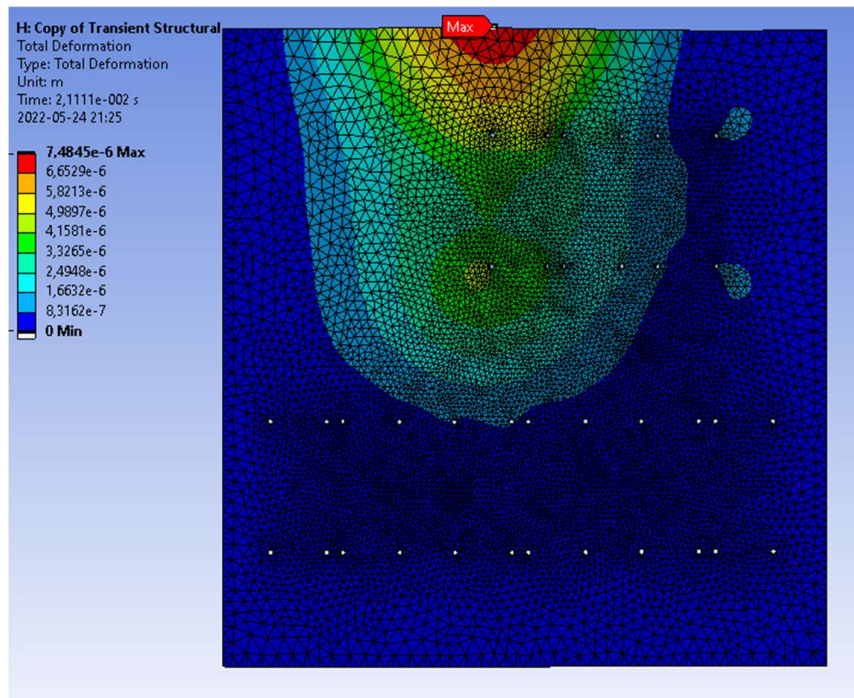
Stöt vertikal negativ: total deformation



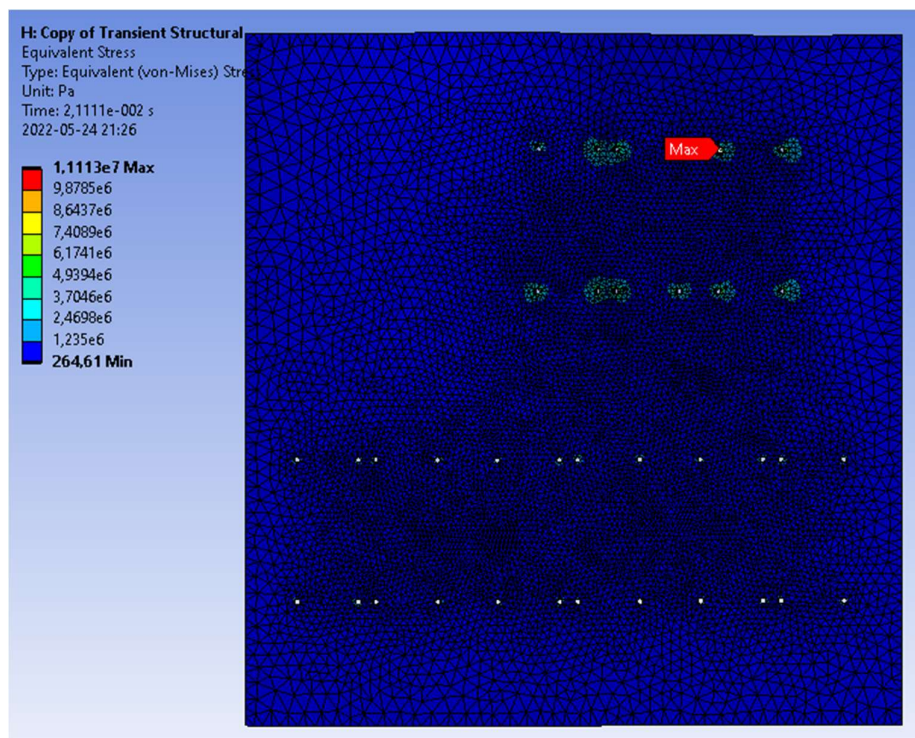
Stöt vertikal negativ: von mises spänning



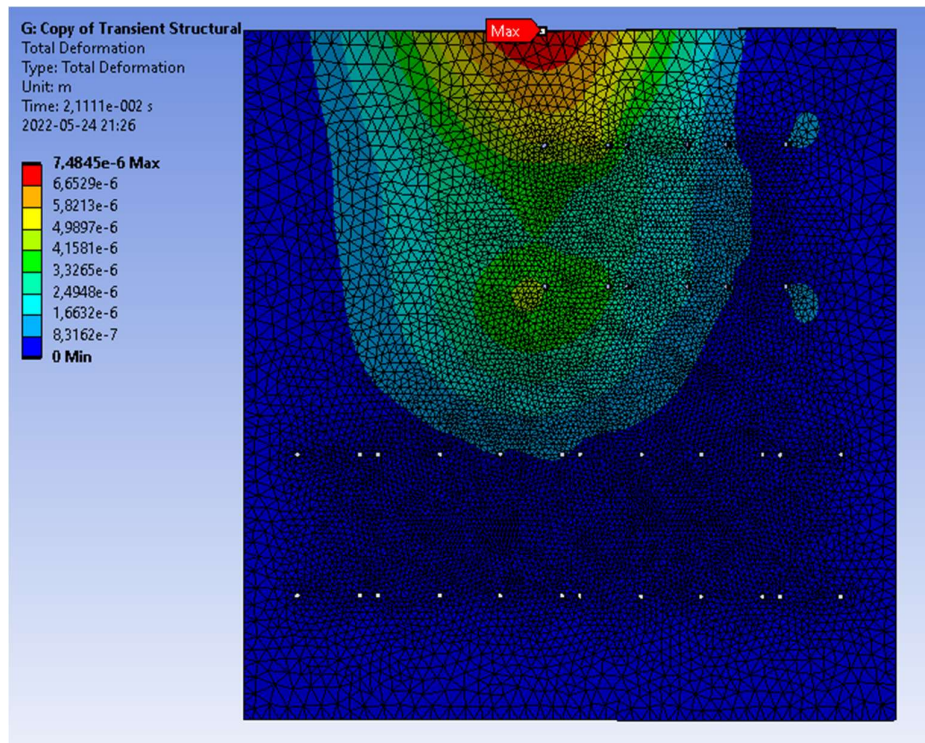
Stöt horisontell (X) positiv: total deformation



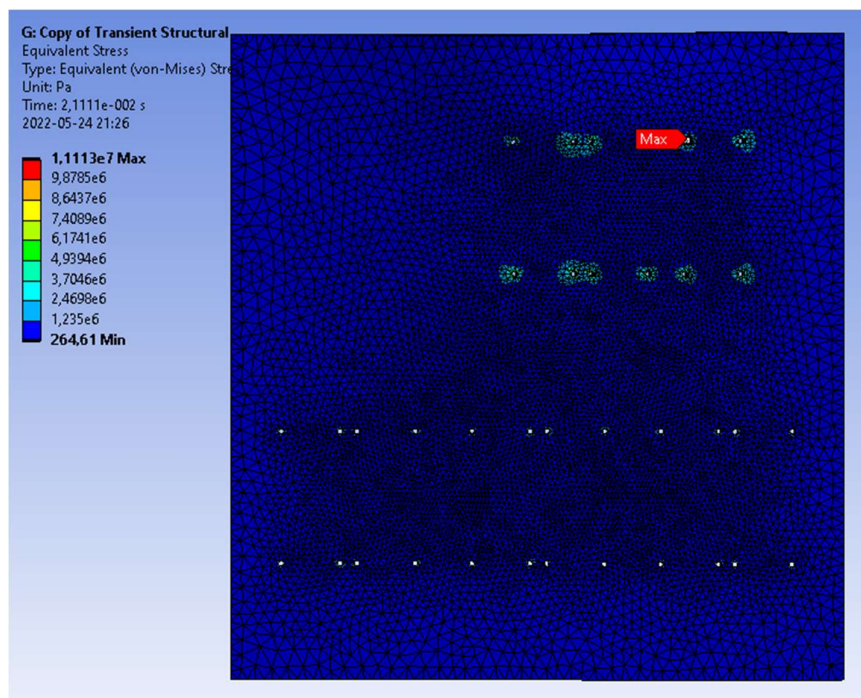
Stöt horisontell (X) positiv: von mises spänning



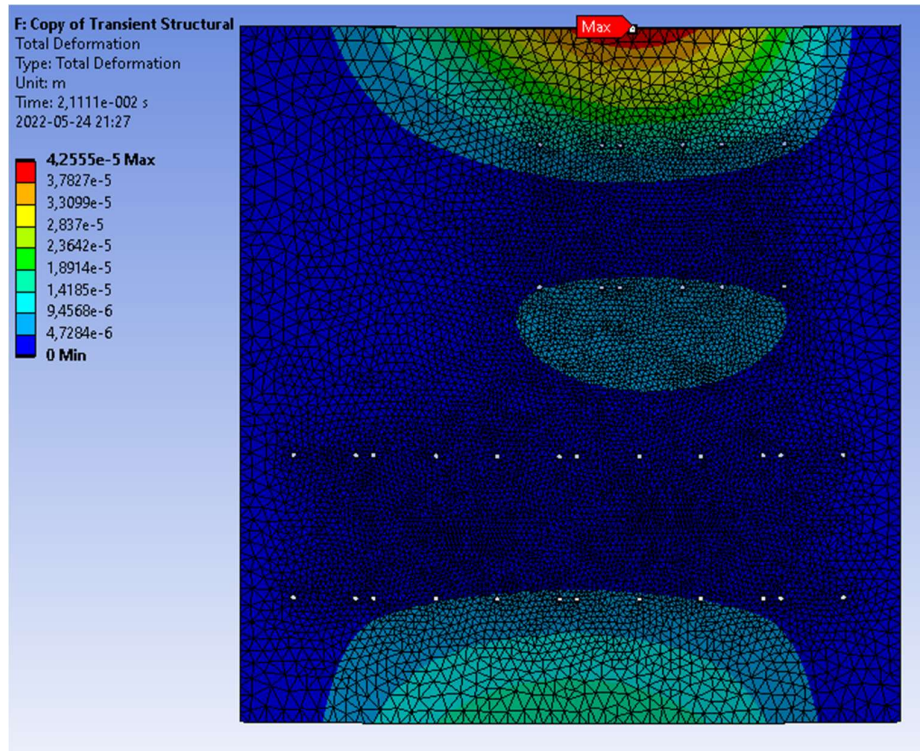
Stöt horisontell (X) negativ: total deformation



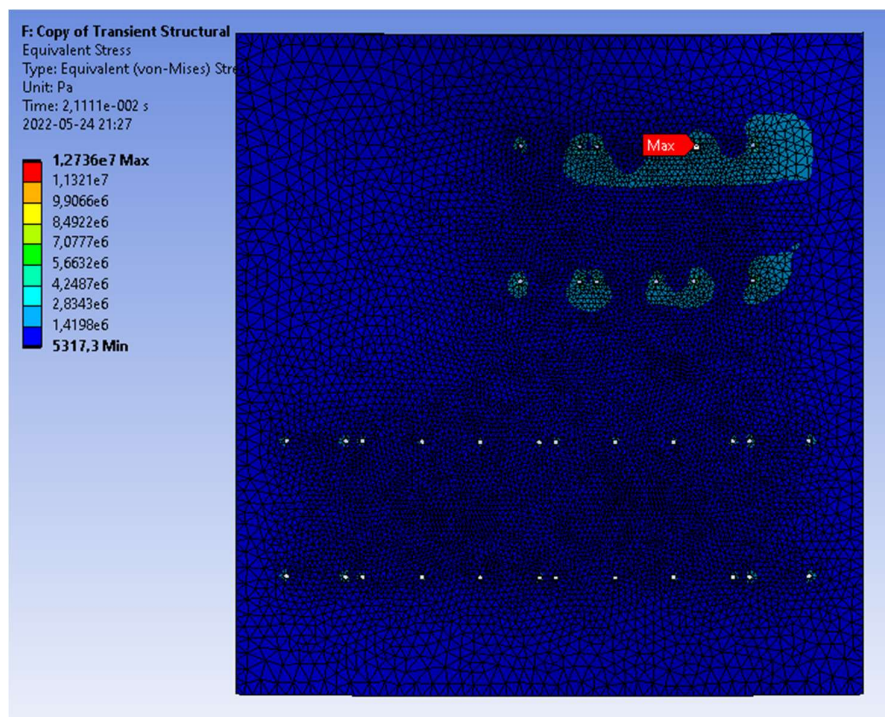
Stöt horisontell (X) negativ: von mises spänning



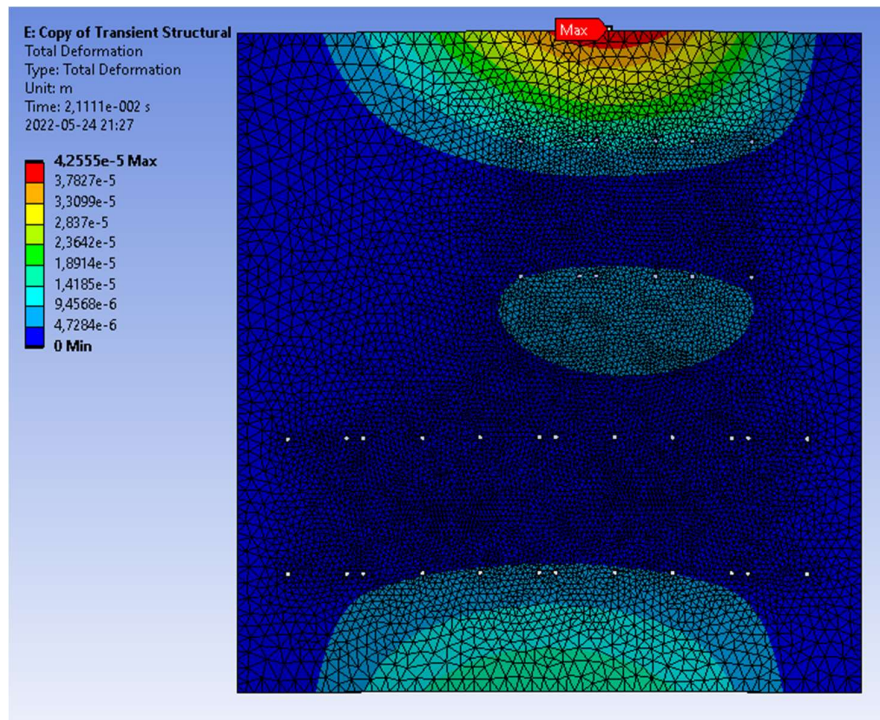
Stöt horisontell (Y) positiv: total deformation



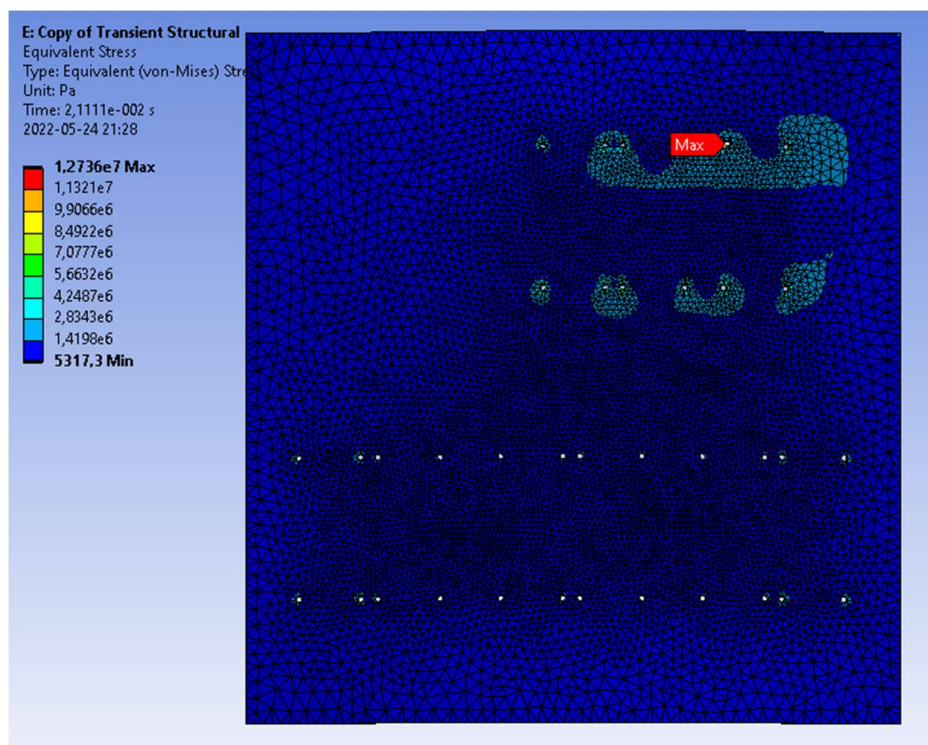
Stöt horisontell (Y) positiv: von mises spänning



Stöt horisontell (Y) negativ: total deformation



Stöt horisontell (Y) negativ: von mises spänning

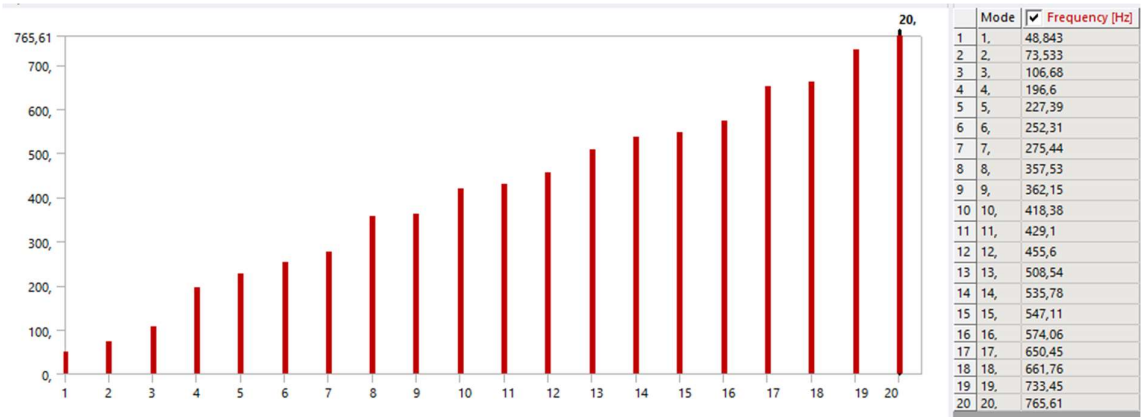


A4. Enhet D

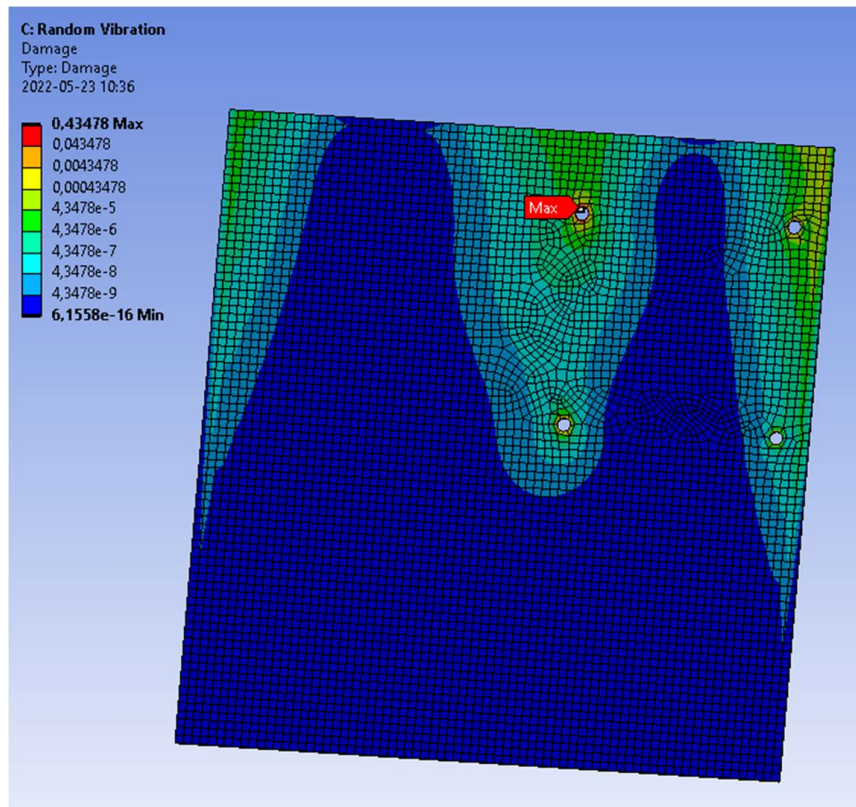
A4.1 Tjocklek 2 mm

Last: 0,8kg

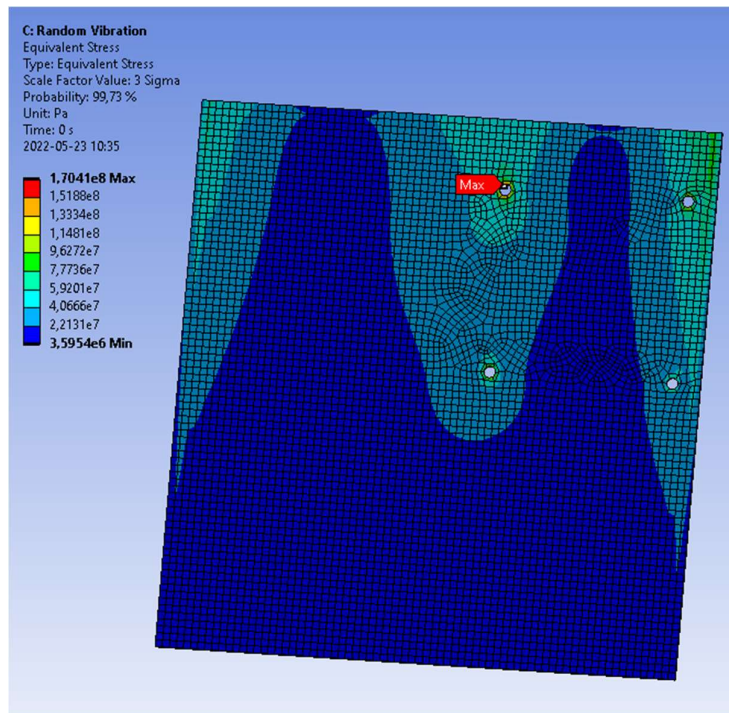
Egenfrekvens



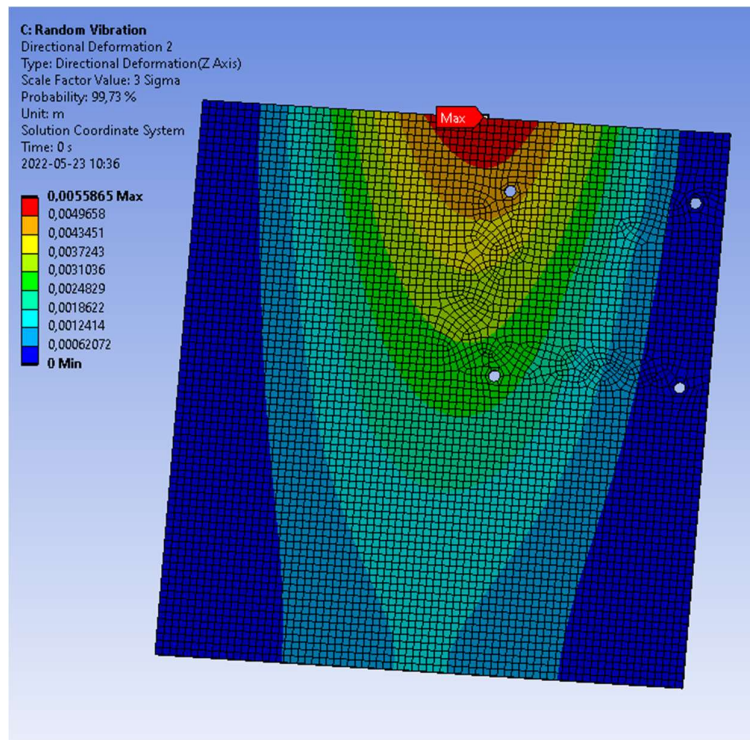
Vibration: Utmattning



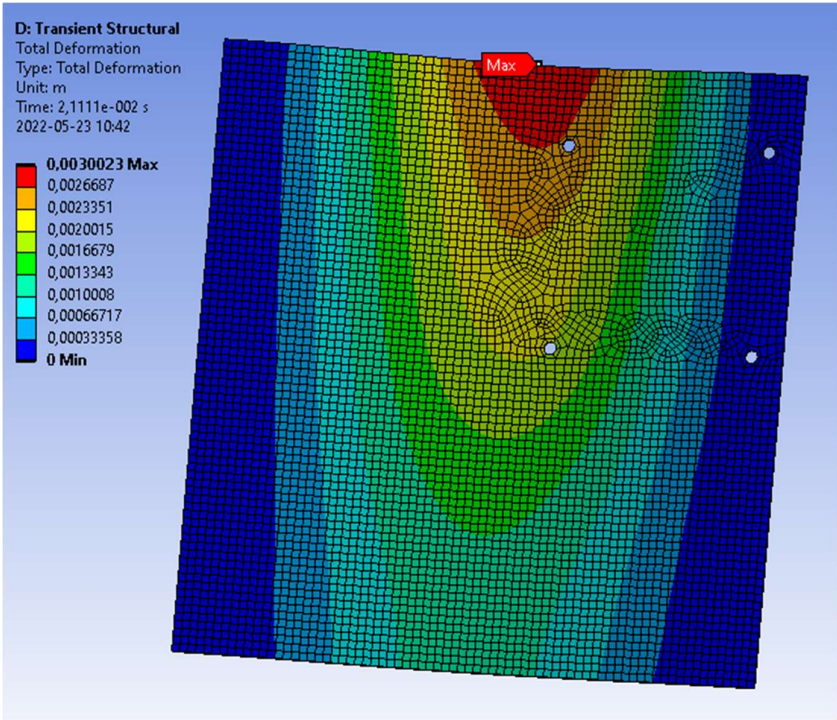
Vibration: von mises spänning



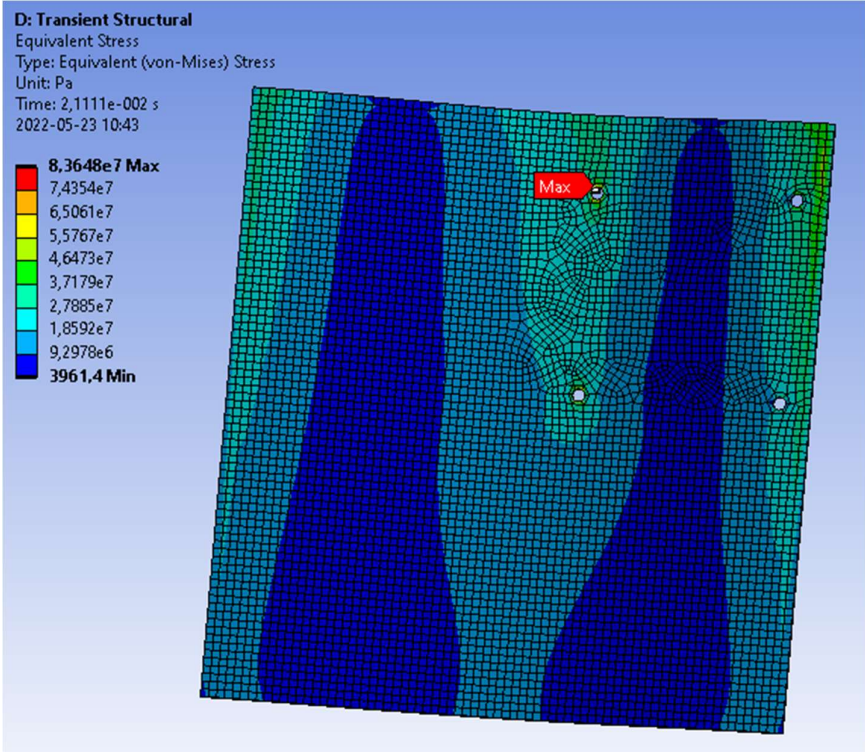
Vibration: Deformation i Z-riktning



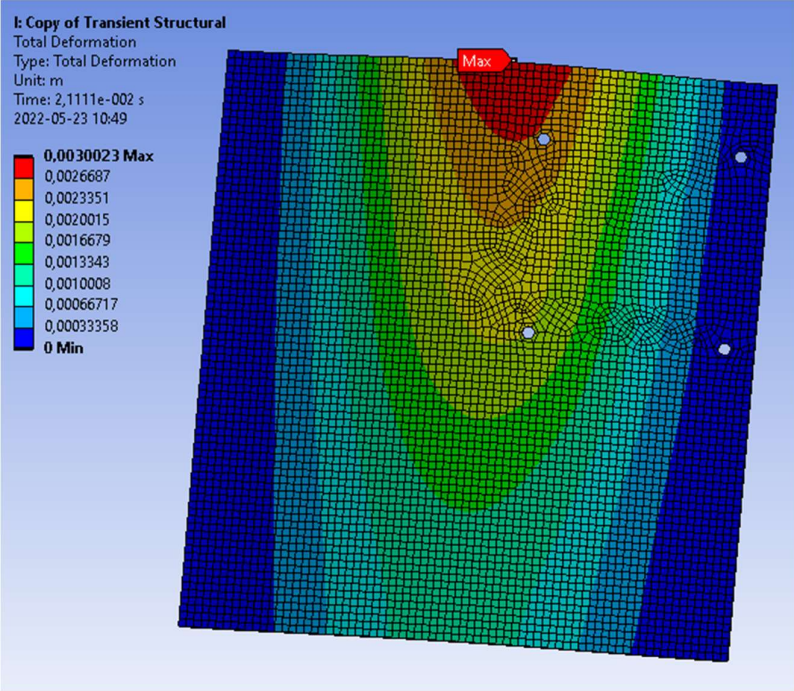
Stöt vertikal positiv: total deformation



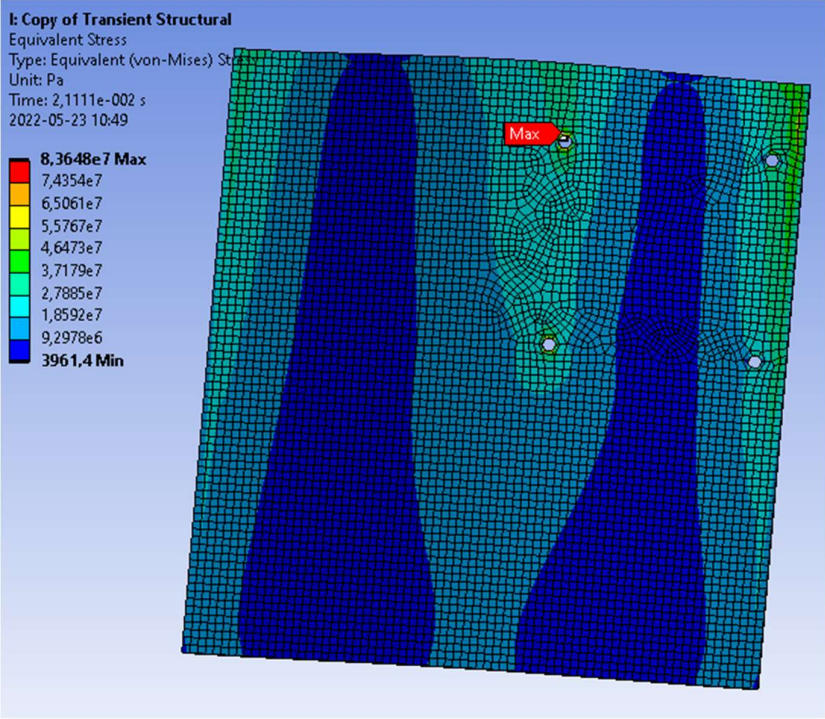
Stöt vertikal positiv: von mises spänning



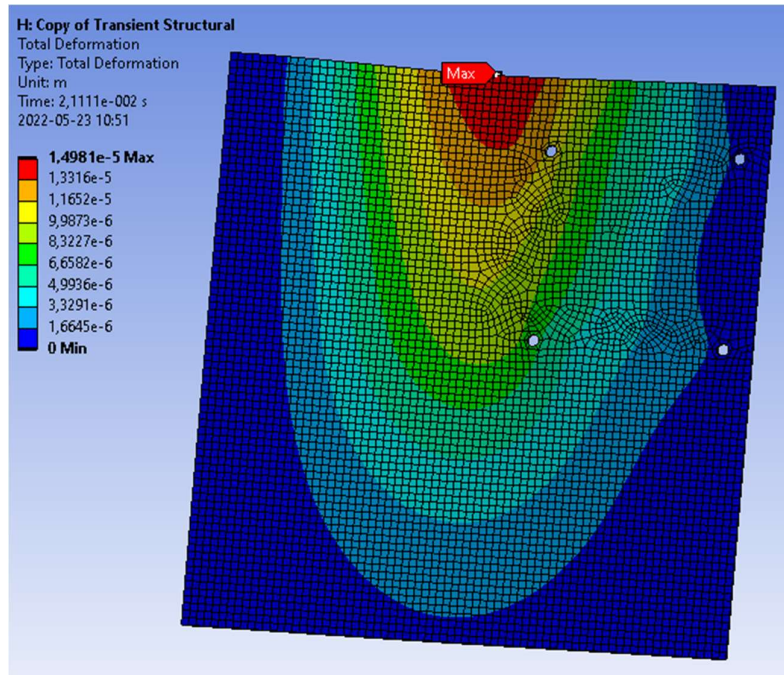
Stöt vertikal negativ: total deformation



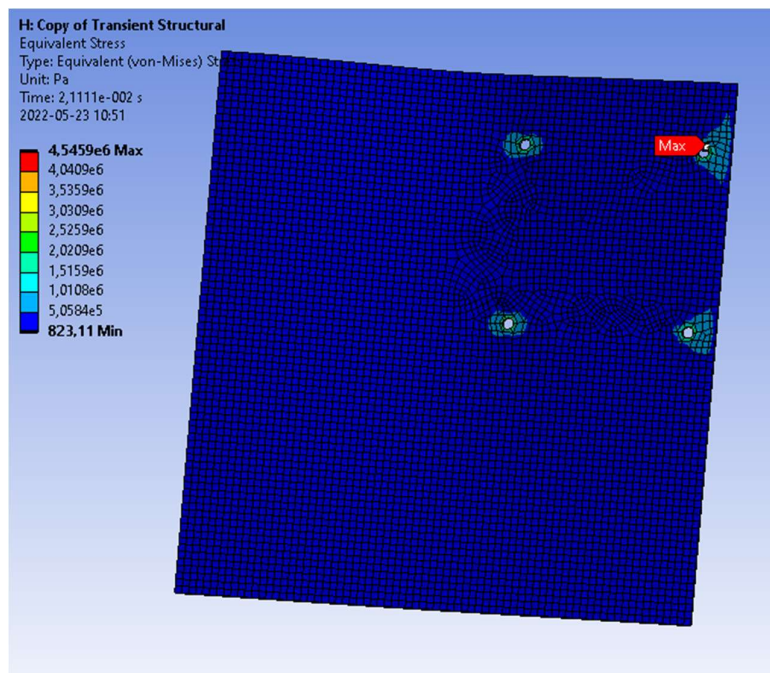
Stöt vertikal negativ: von mises spänning



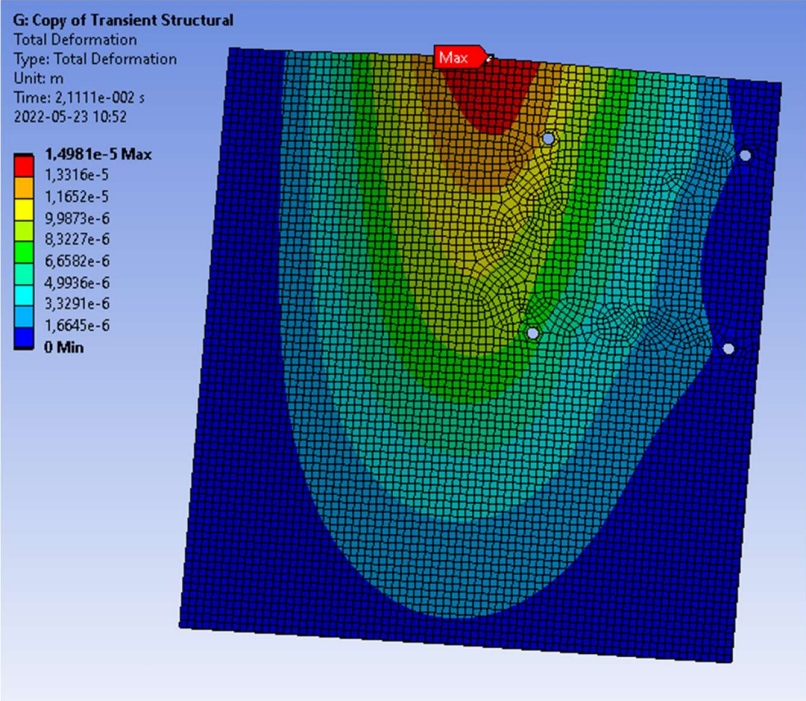
Stöt horisontell (X) positiv: total deformation



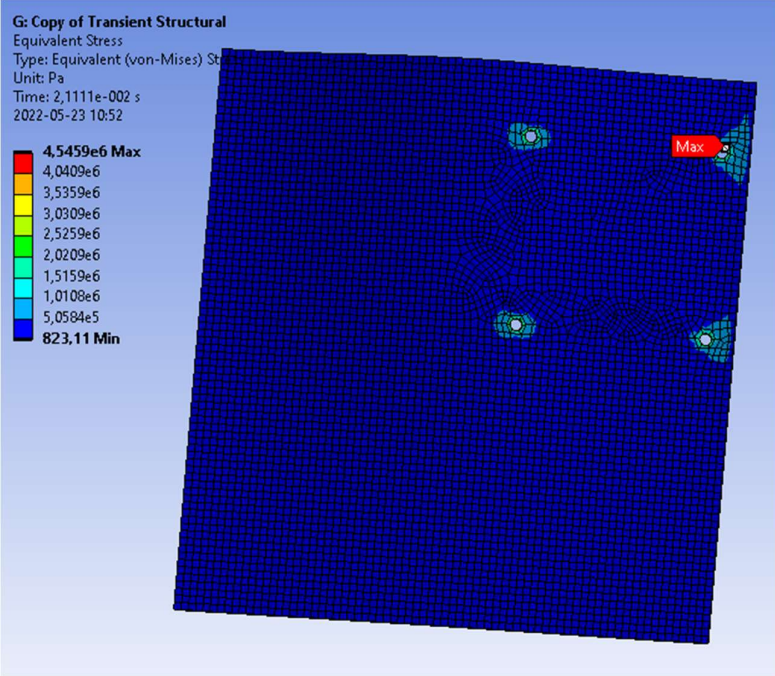
Stöt horisontell (X) positiv: von mises spänning



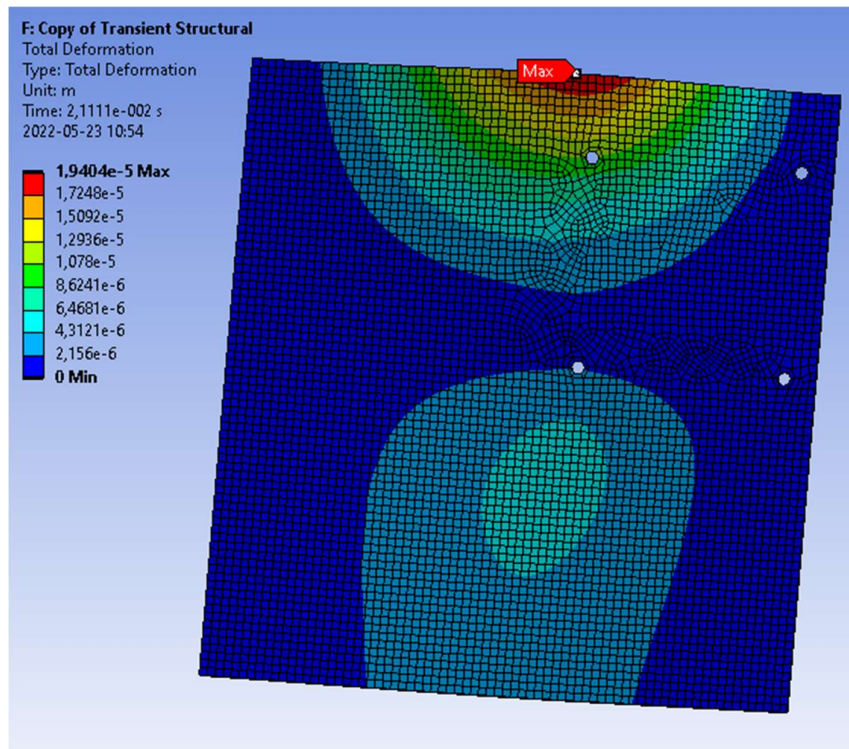
Stöt horisontell (X) negativ: total deformation



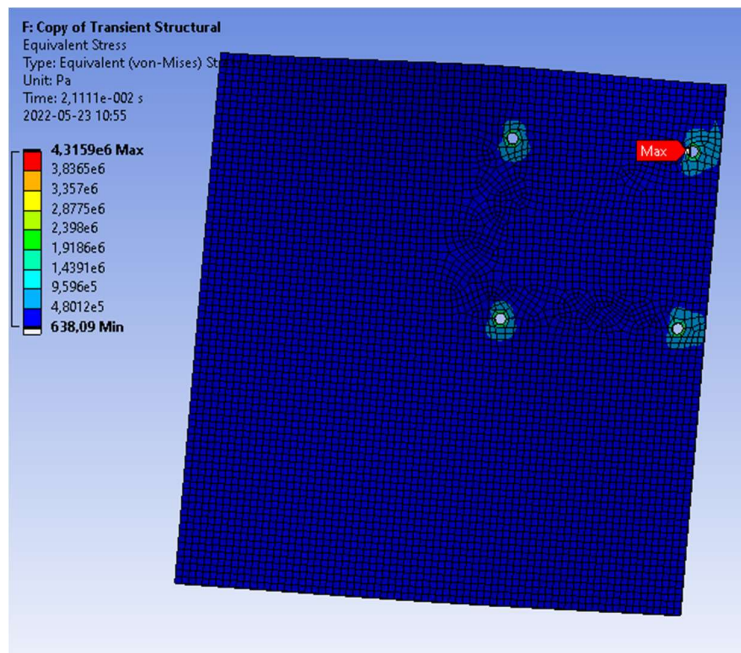
Stöt horisontell (X) negativ: von mises spänning



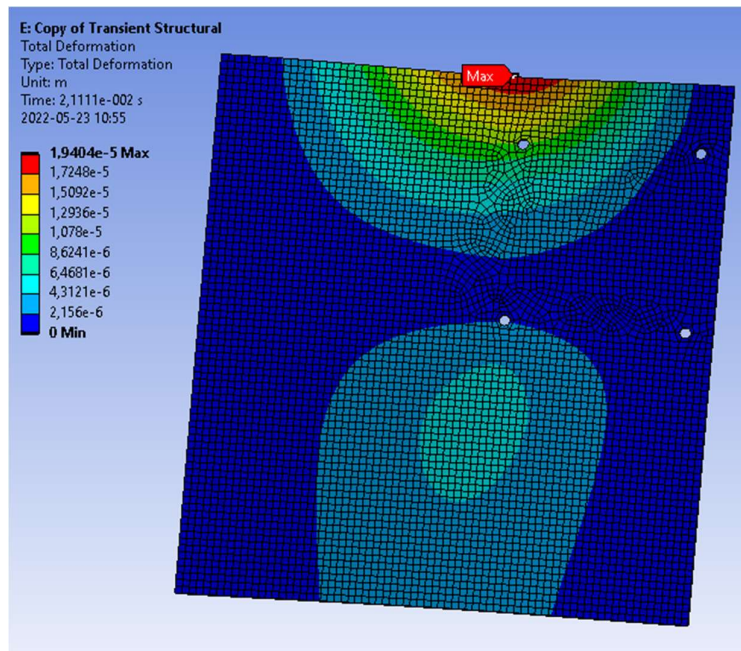
Stöt horisontell (Y) positiv: total deformation



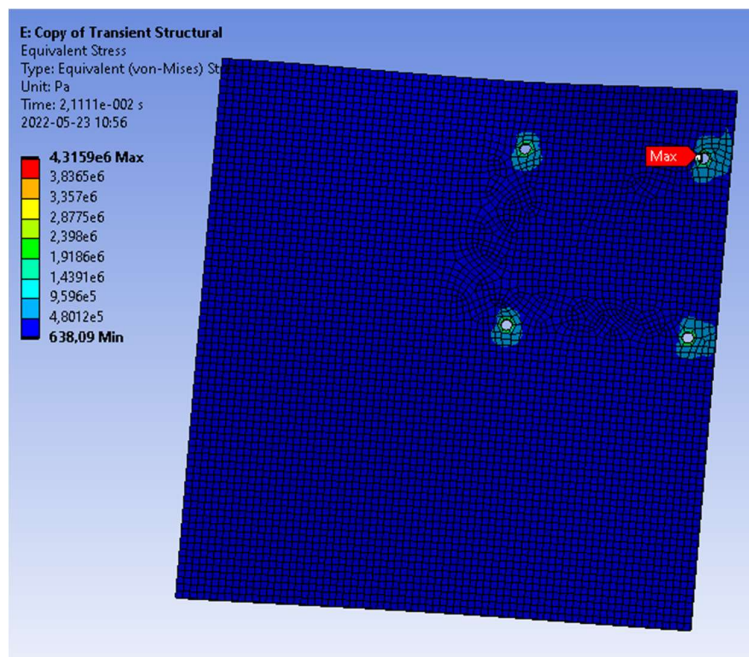
Stöt horisontell (Y) positiv: von mises spänning



Stöt horisontell (Y) negativ: total deformation



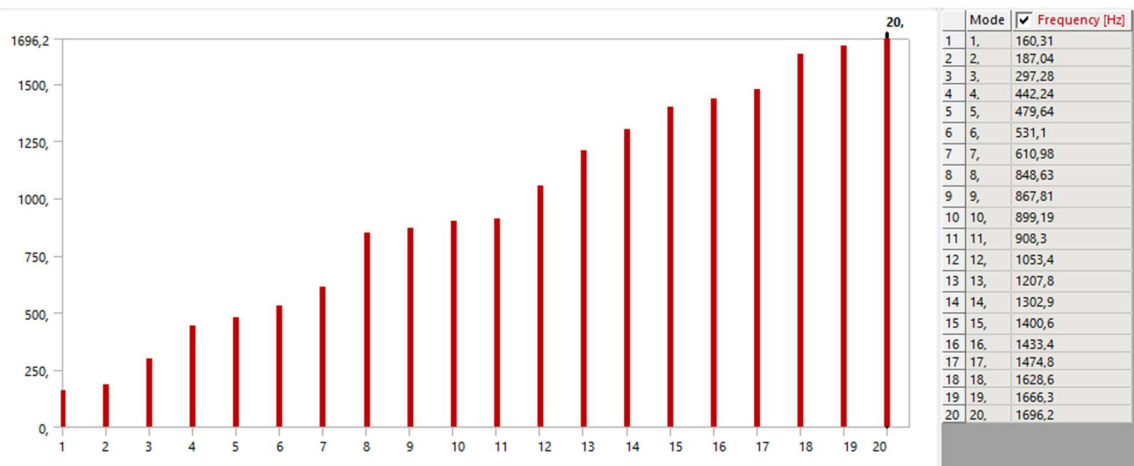
Stöt horisontell (Y) negativ: von mises spänning



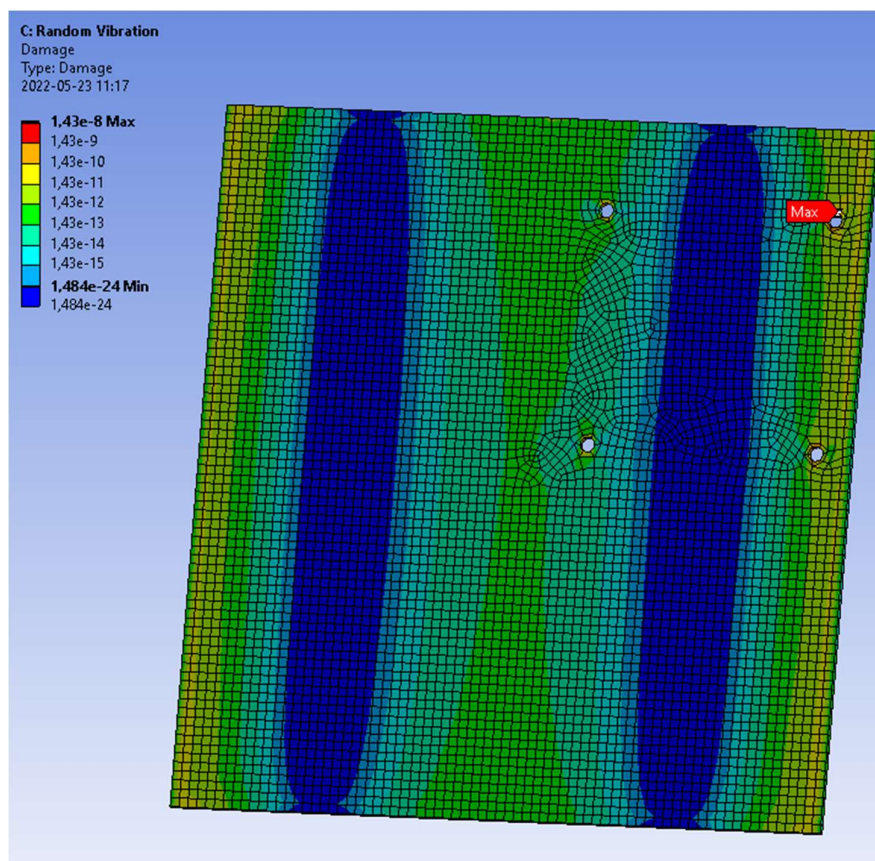
A4.2 Tjocklek 4 mm

Last: 0,8 kg

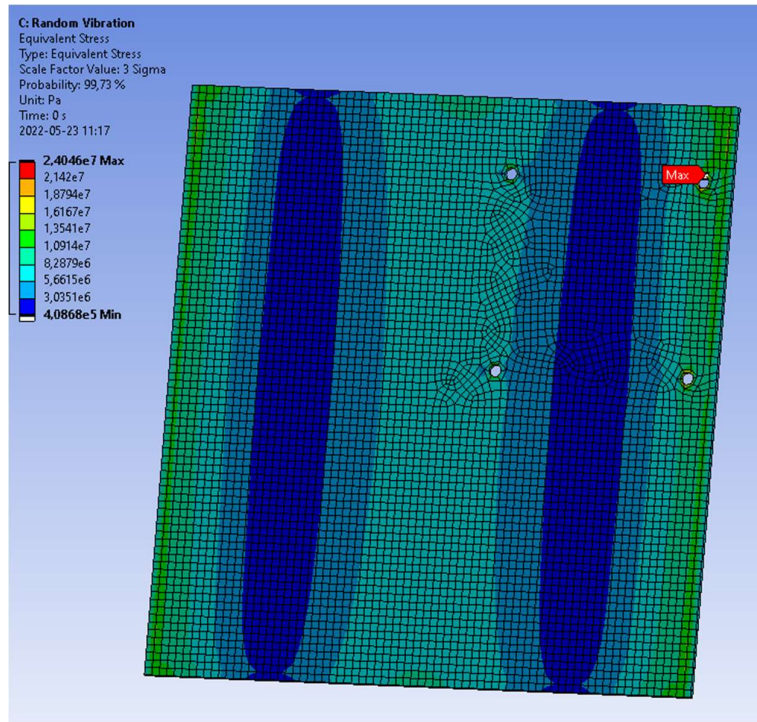
Eigenfrequens



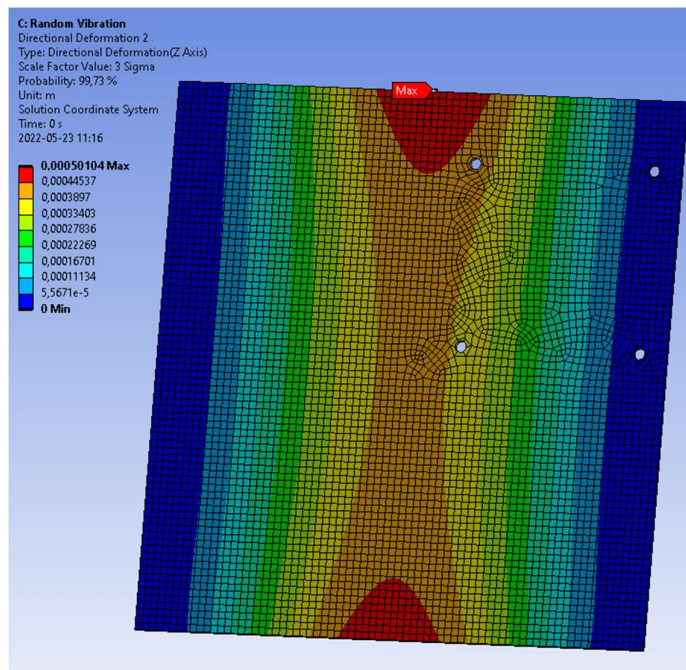
Vibration: Utmattning



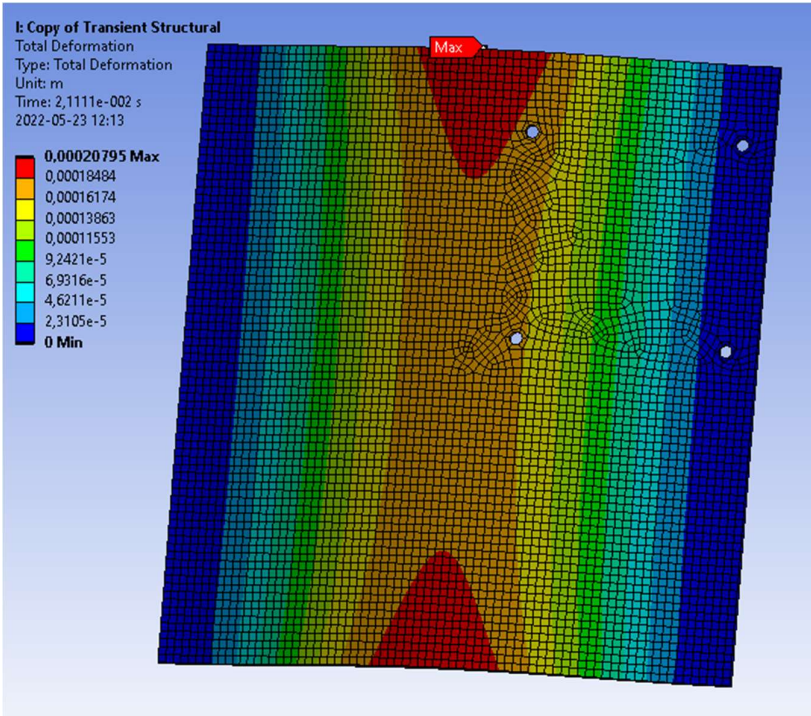
Vibration: von mises spänning



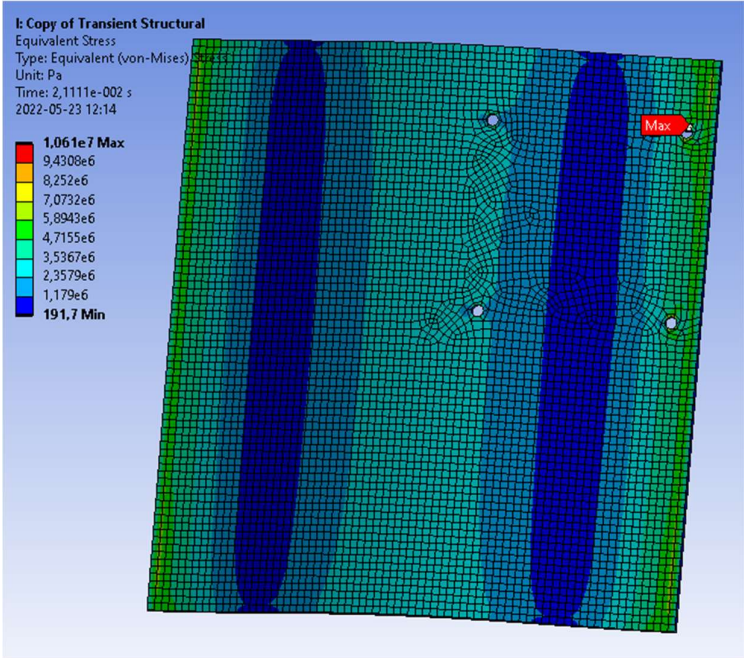
Vibration: Deformation i Z-riktning



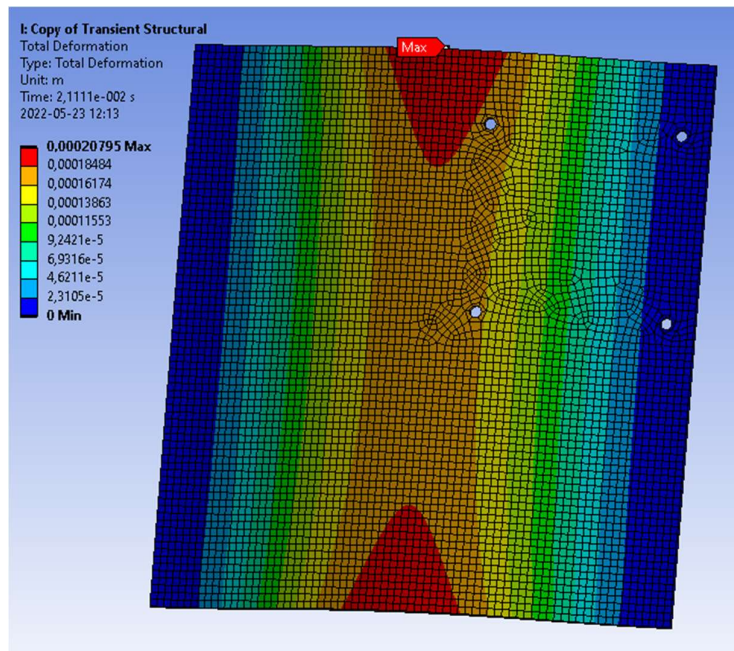
Stöt vertikal positiv: total deformation



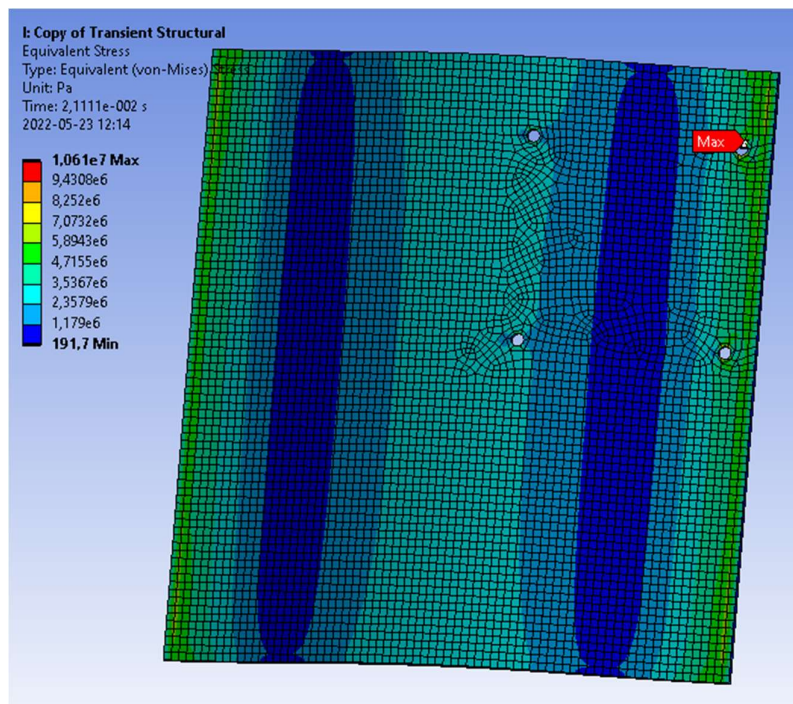
Stöt vertikal positiv: von mises spänning



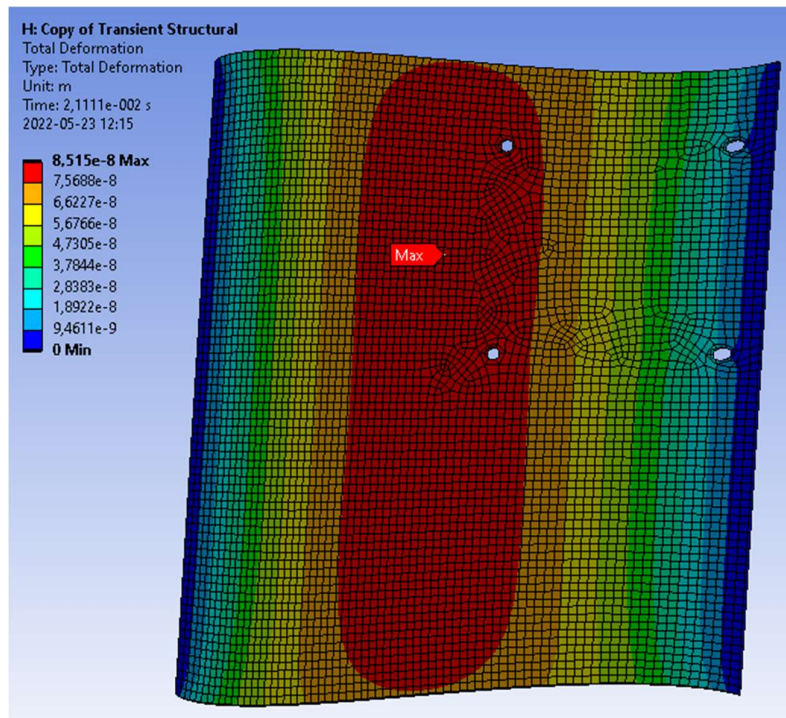
Stöt vertikal negativ: total deformation



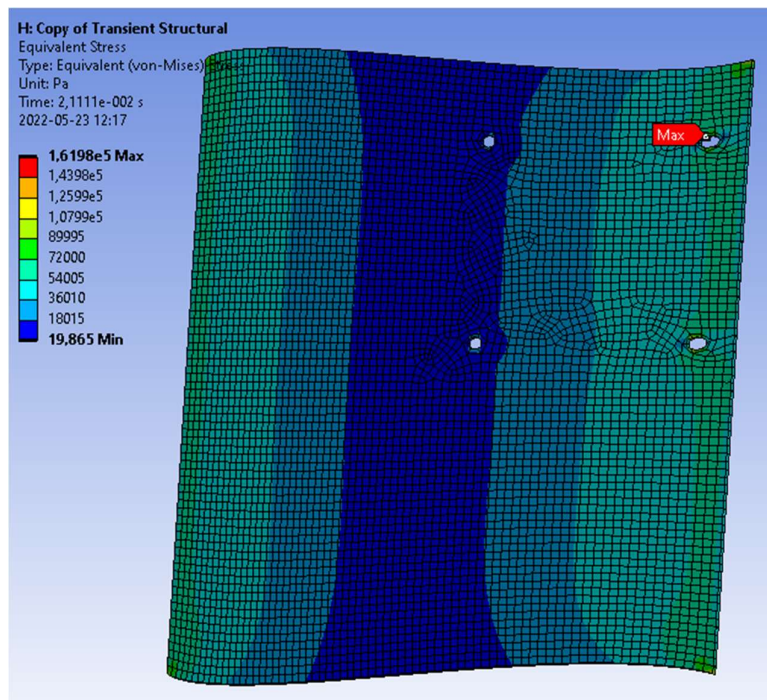
Stöt vertikal negativ: von mises spänning



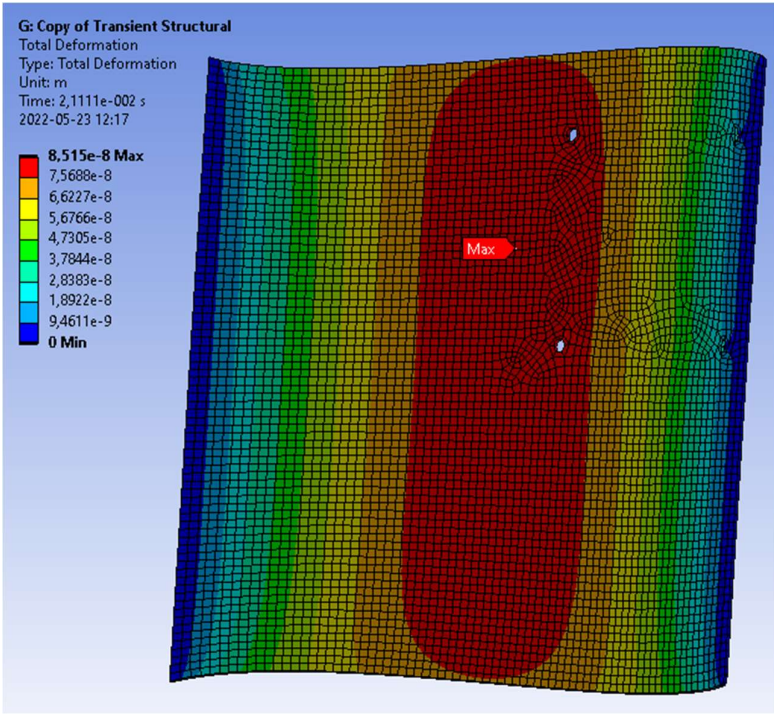
Stöt horisontell (X) positiv: total deformation



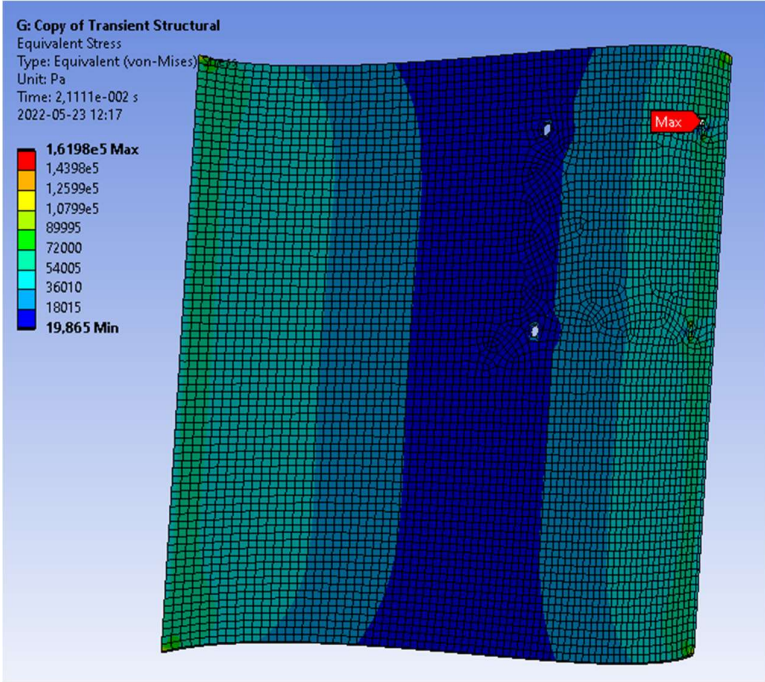
Stöt horisontell (X) positiv: von mises spänning



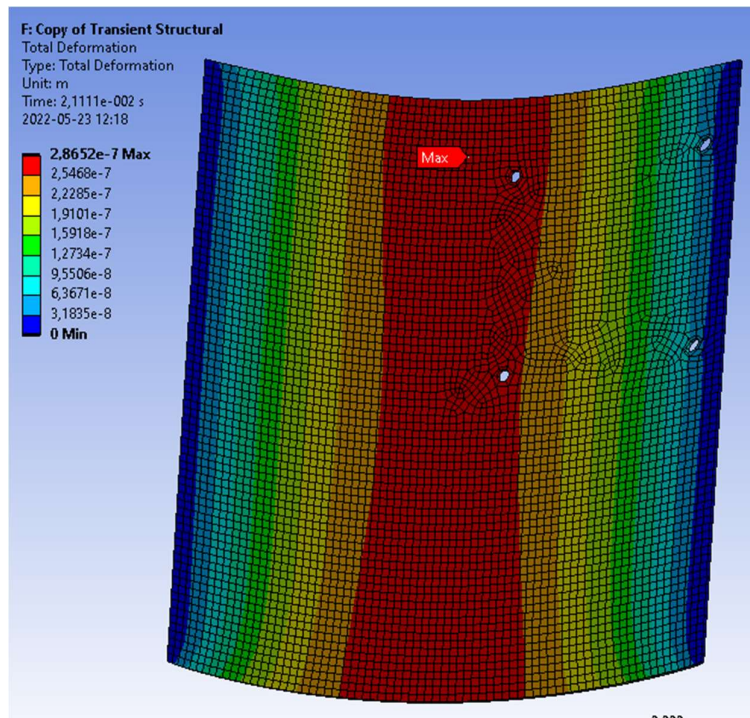
Stöt horisontell (X) negativ: total deformation



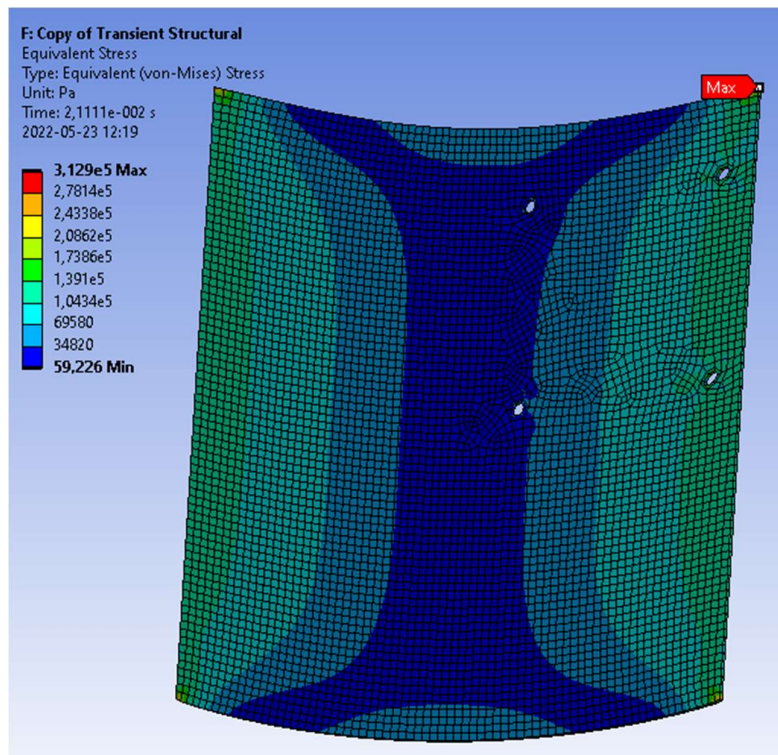
Stöt horisontell (X) negativ: von mises spänning



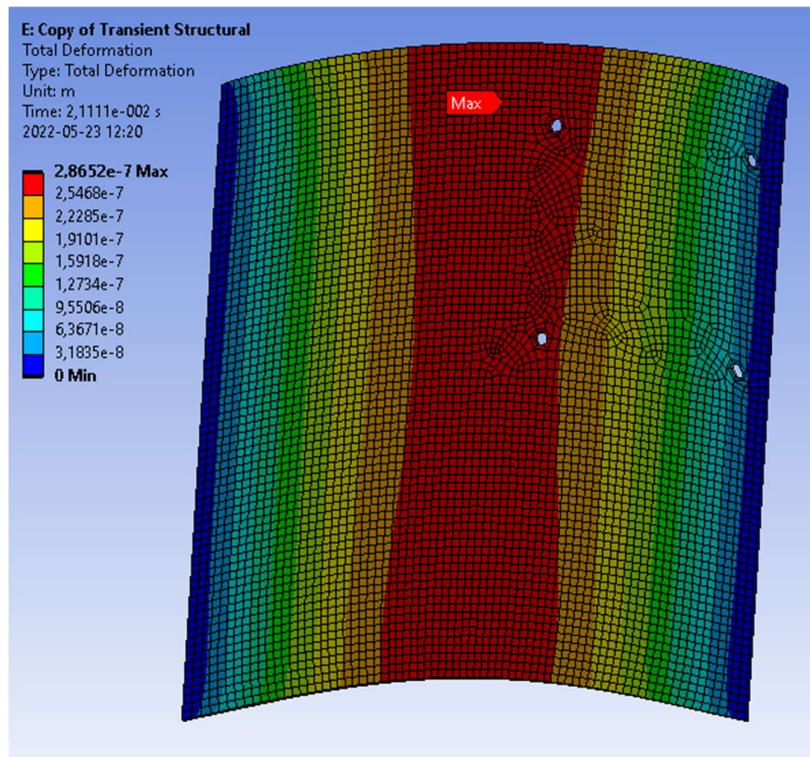
Stöt horisontell (Y) positiv: total deformation



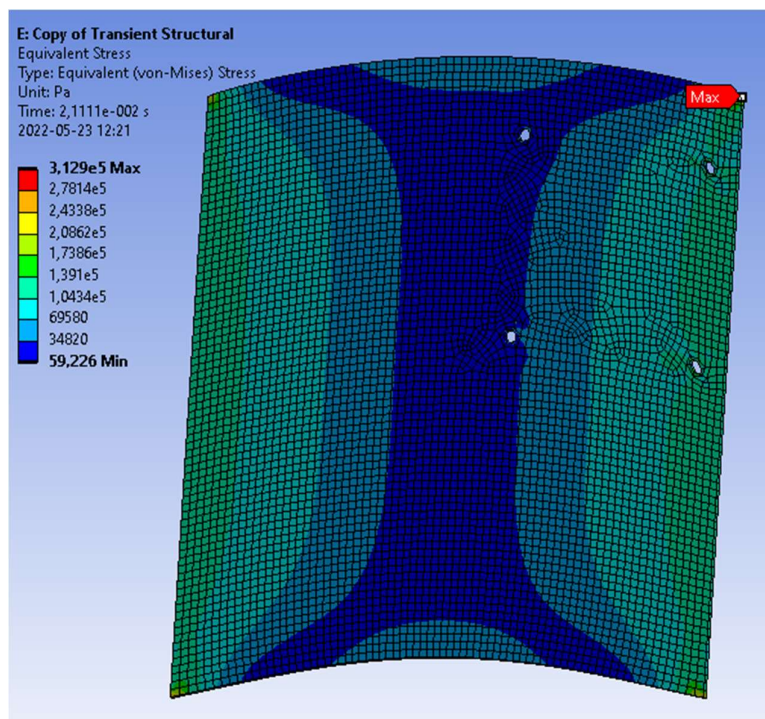
Stöt horisontell (Y) positiv: von mises spänning



Stöt horisontell (Y) negativ: total deformation



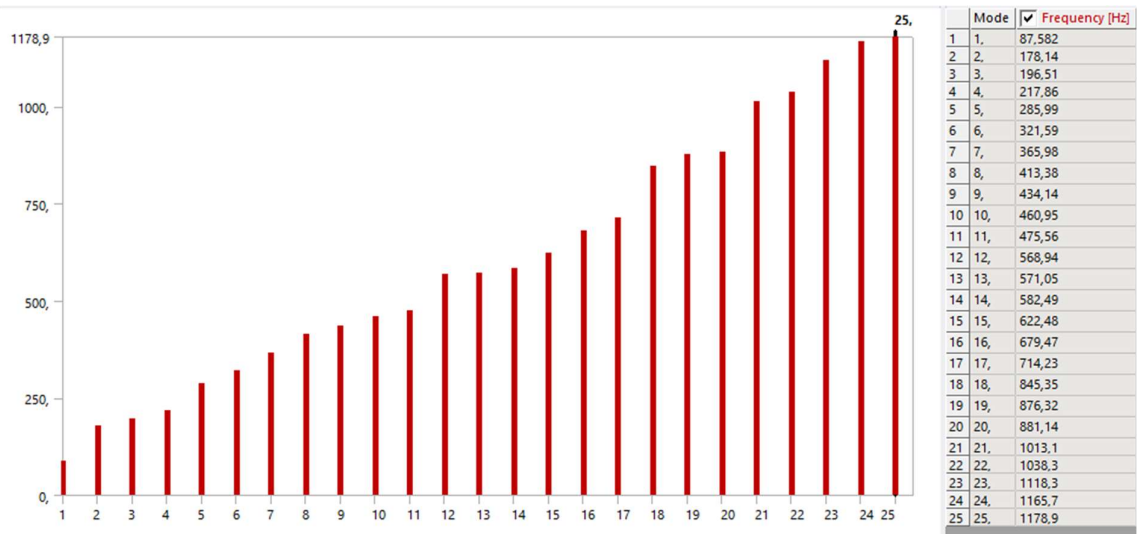
Stöt horisontell (Y) negativ: von mises spänning



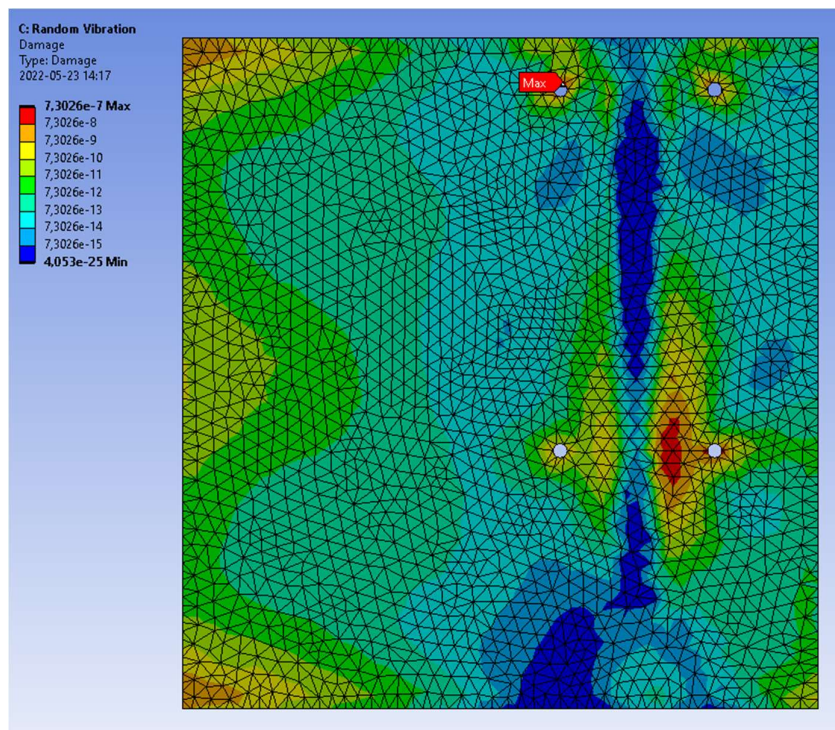
A4.3 Tjocklek: 2 mm med förstärkningsbalk

Last 0,8 kg

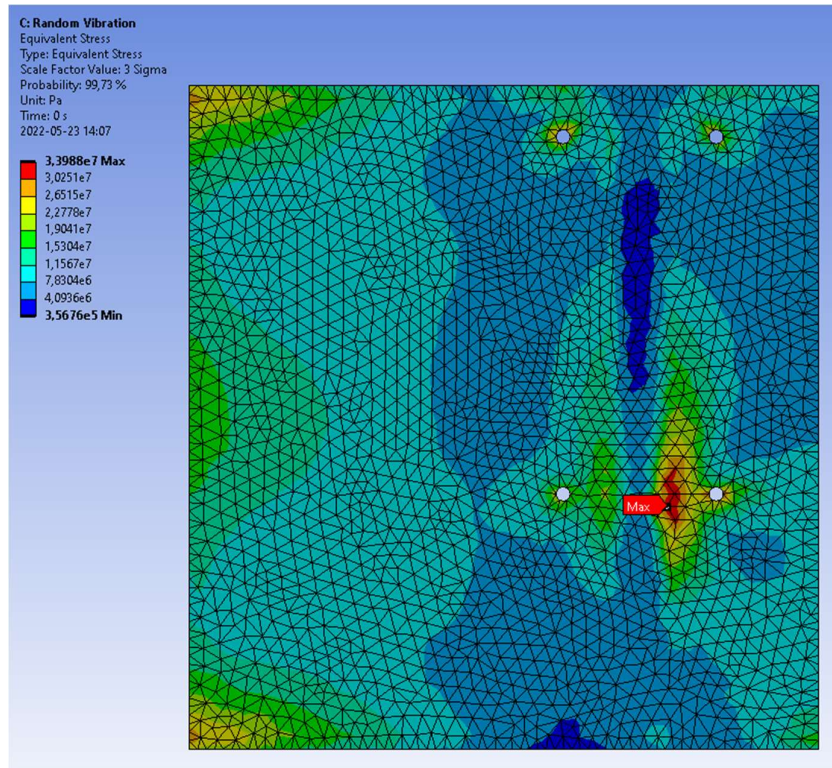
Eigenfrekvens



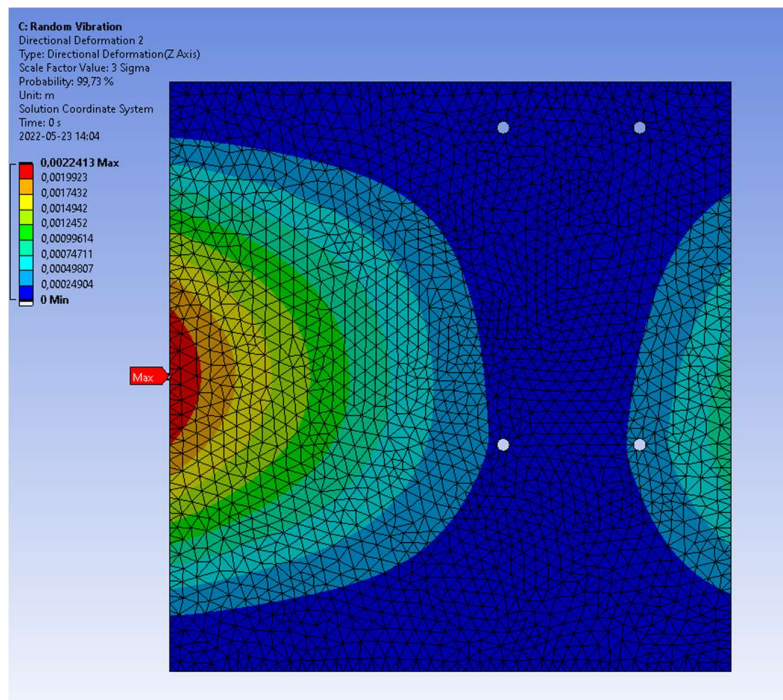
Vibration: Utmattning



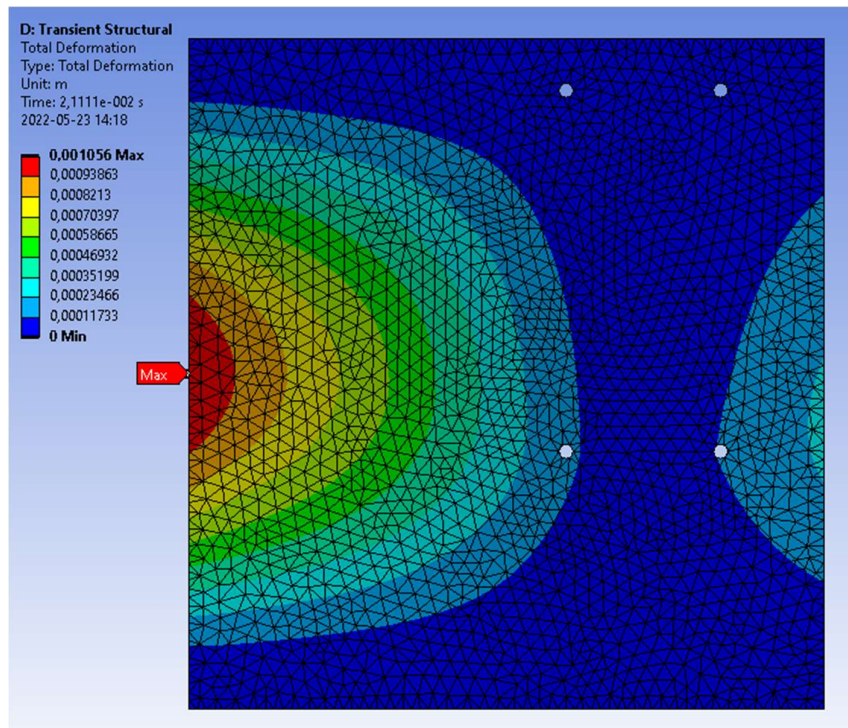
Vibration: von mises spänning



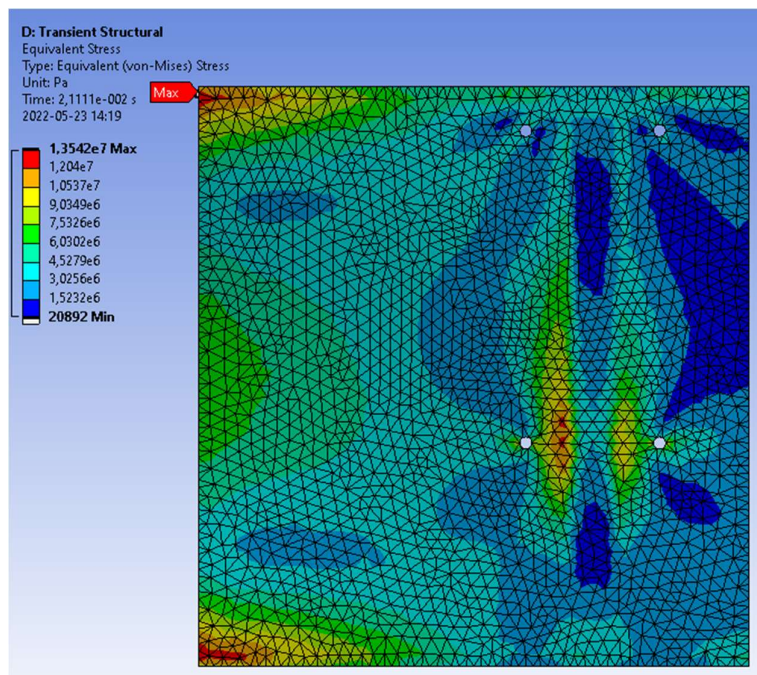
Vibration: Deformation i Z-riktning



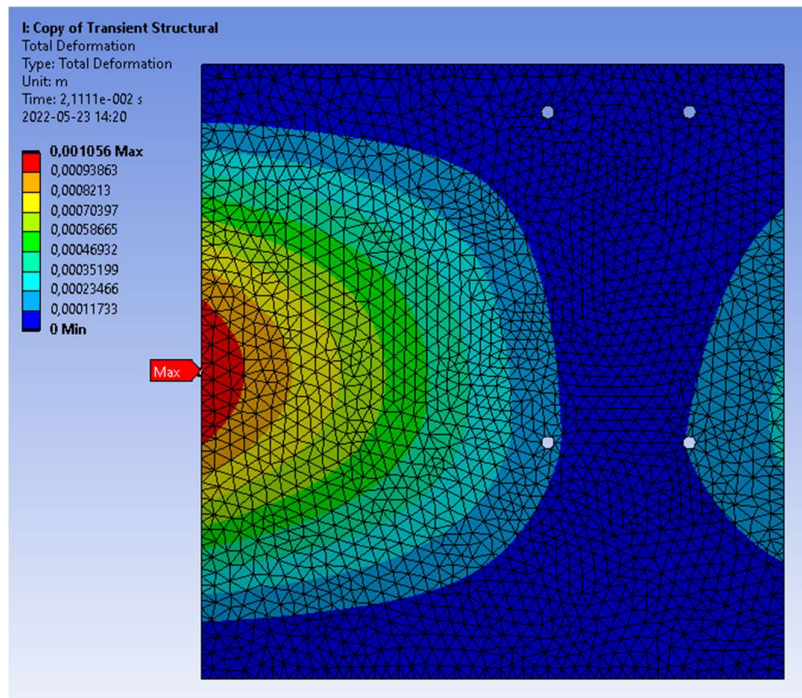
Stöt vertikal positiv: total deformation



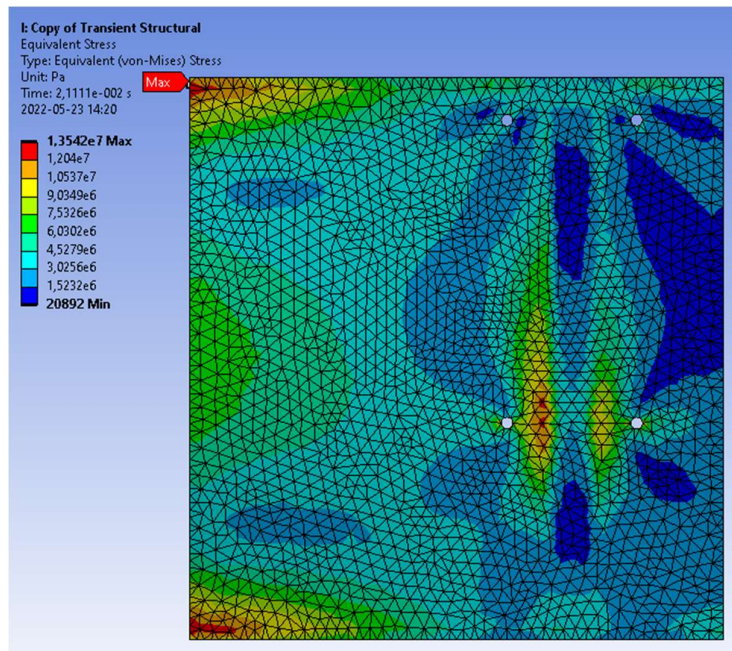
Stöt vertikal positiv: von mises spänning



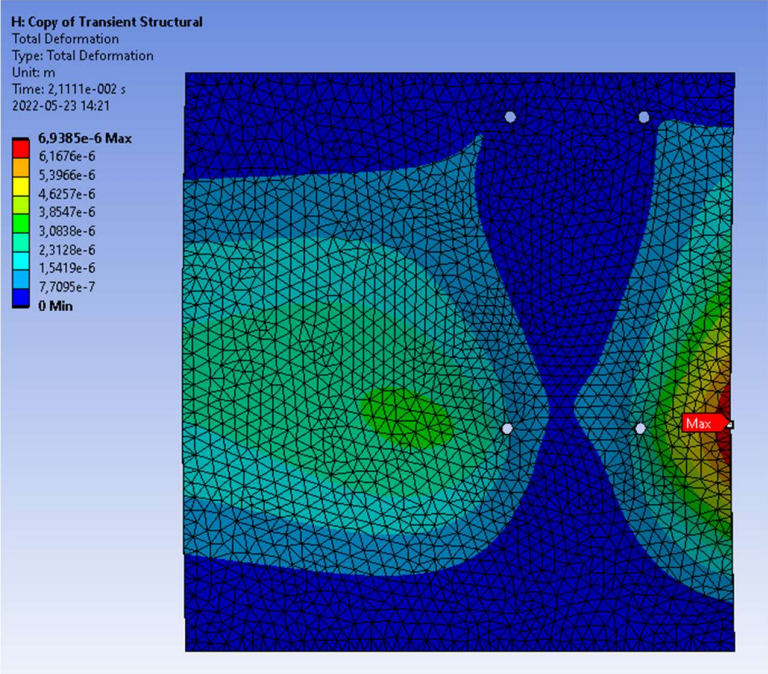
Stöt vertikal negativ: total deformation



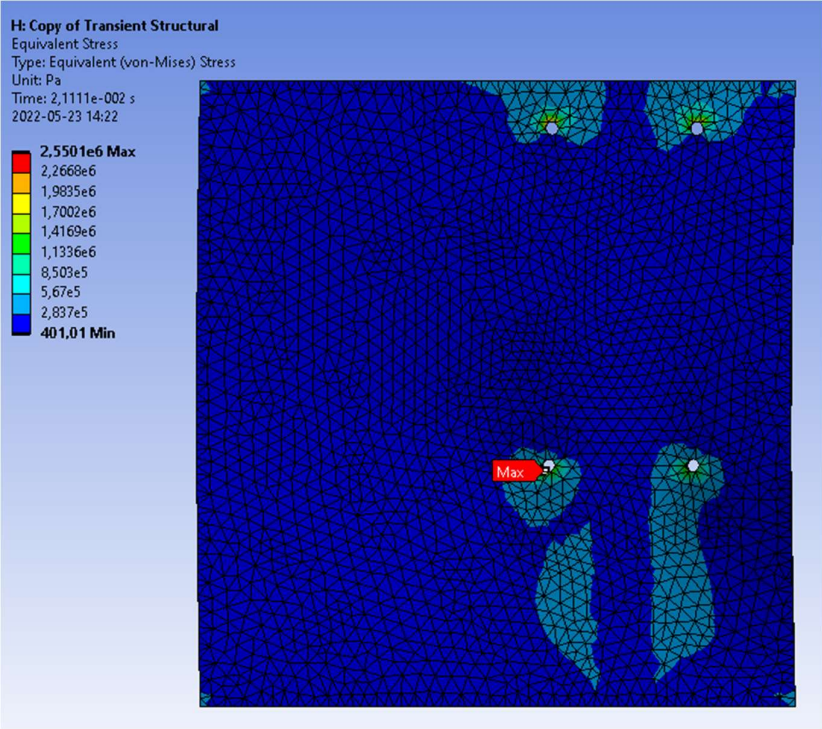
Stöt vertikalt negativ: von mises spänning



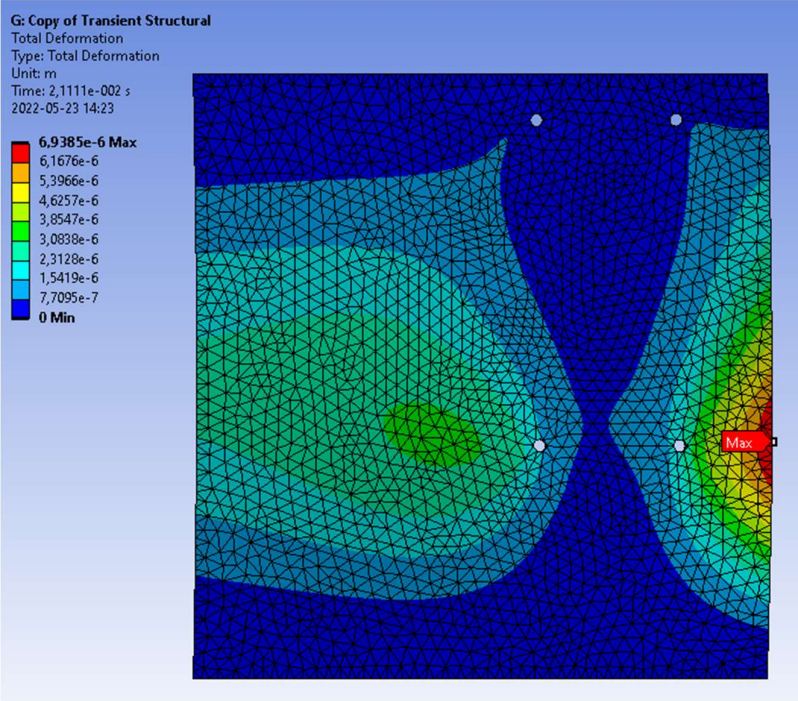
Stöt horisontell (X) positiv: total deformation



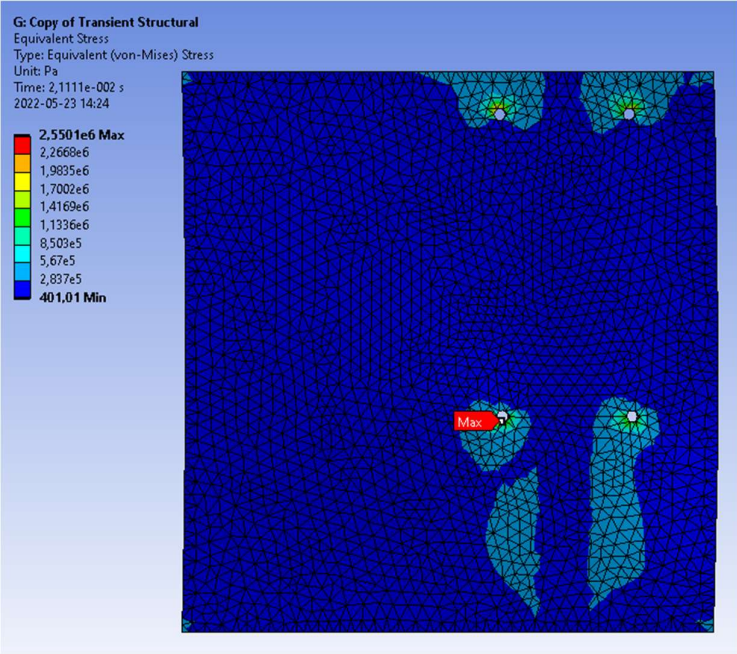
Stöt horisontell (X) positiv: von mises spänning



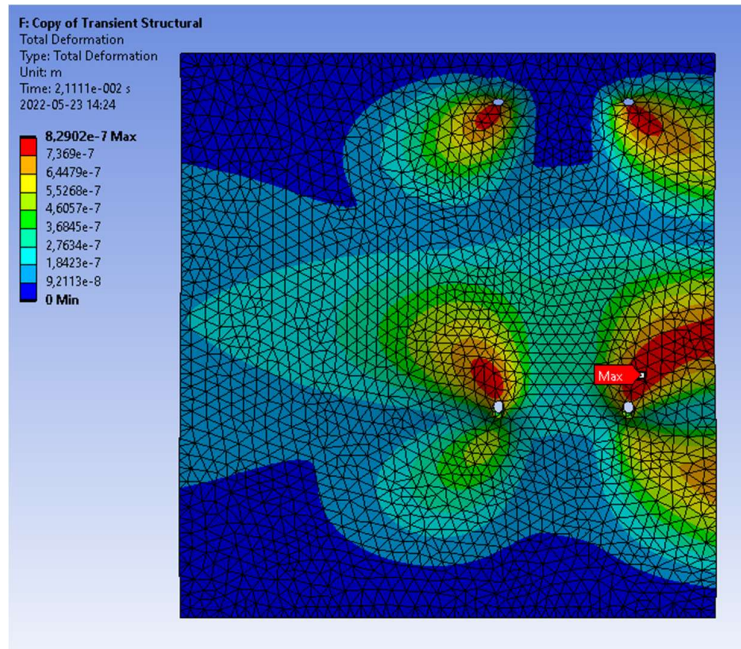
Stöt horisontell (X) negativ: total deformation



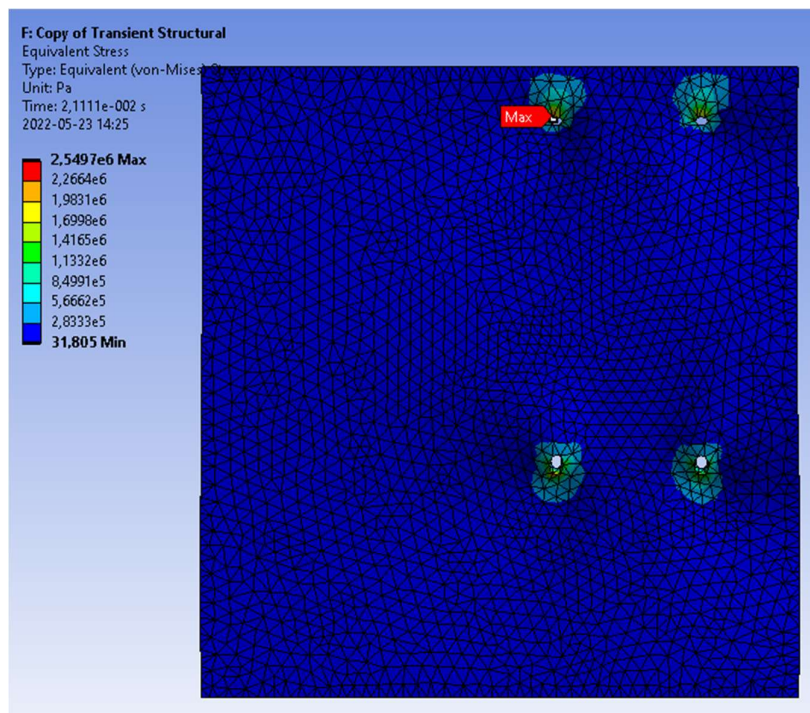
Stöt horisontell (X) negativ: von mises spänning



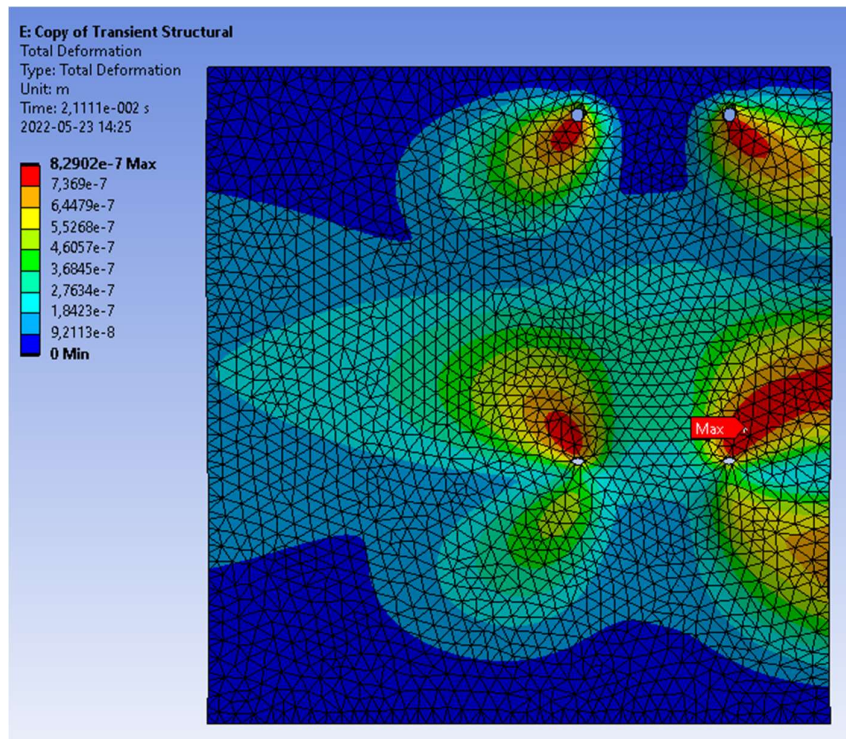
Stöt horisontell (Y) positiv: total deformation



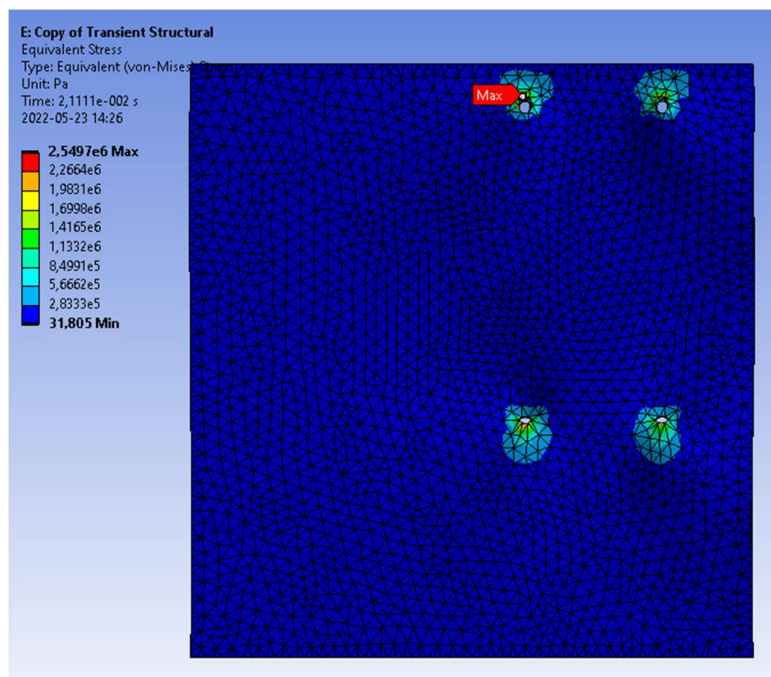
Stöt horisontell (Y) positiv: von mises spänning



Stöt horisontell (Y) negativ: total deformation



Stöt horisontell (Y) negativ: von mises spänning



A5. Fullständig mätdata från alla simuleringar

Fylltägningens resultatdel 1: Vibration

| Enhet/variant | Resultat | | | | | | |
|---------------|--------------|-----------|-----------------|-------------------------|---------------|-------------------|---------------|
| | Vibration | | | | | | |
| | Modifikation | Antal hål | Total lastmassa | Lägsta Egenfrekvens[Hz] | Spänning[MPa] | Deformation Z[mm] | Utmattning[%] |
| A | t=2mm | 40 | 5,8kg | 19,3 | 350 | 16 | 10948% |
| A | t=4mm | 40 | 5,8kg | 52 | 204 | 4,4 | 223,00% |
| A | Förs. Balk | 40 | 5,8kg | 100 | 123 | 2,7 | 2,80% |
| B | t=2mm | 28 | 4,9kg | 20,8 | 317 | 13,9 | 4100% |
| B | t=4mm | 28 | 4,9kg | 57 | 182 | 3,8 | 145,00% |
| B | Förs. Balk | 28 | 4,9kg | 101,9 | 147 | 2,7 | 14,80% |
| C | t=2mm | 36 | 4,8kg | 22,3 | 303 | 3,8 | 3000% |
| C | t=4mm | 36 | 4,8kg | 60,8 | 181 | 3,2 | 71,00% |
| C | Förs. Balk | 36 | 4,8kg | 113 | 128 | 2,1 | 16% |
| D | t=2mm | 4 | 0,8kg | 48,8 | 170 | 5,5 | 43,00% |
| D | t=4mm | 4 | 0,8kg | 160,3 | 24 | 0,5 | 0,00% |
| D | Förs. Balk | 4 | 0,8kg | 87,6 | 34 | 2,2 | 0,00% |

Fylltägningens resultatdel 2: Stöt Y-led

| Resultat | | | |
|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
| Stöt | | | |
| X | | | |
| positiv | | negativ | |
| Spänning[MPa] | Deformation[mm] | Spänning[MPa] | Deformation[mm] |
| 232 | 0,024 | 228 | 0,024 |
| 18 | 0,0054 | 18 | 0,0054 |
| 7,5 | 0,0026 | 7,5 | 0,0026 |
| 24 | 0,019 | 25 | 0,018 |
| 19 | 0,004 | 20 | 0,004 |
| 9,8 | 0,0031 | 9,8 | 0,0031 |
| 27,7 | 0,066 | 27,7 | 0,066 |
| 24 | 0,015 | 24 | 0,015 |
| 11 | 0,0075 | 11 | 0,0075 |
| 4,5 | 0,015 | 4,5 | 0,015 |
| 0,16 | 0,000000085 | 0,16 | 0,000000085 |
| 2,5 | 0,000007 | 2,6 | 0,000007 |

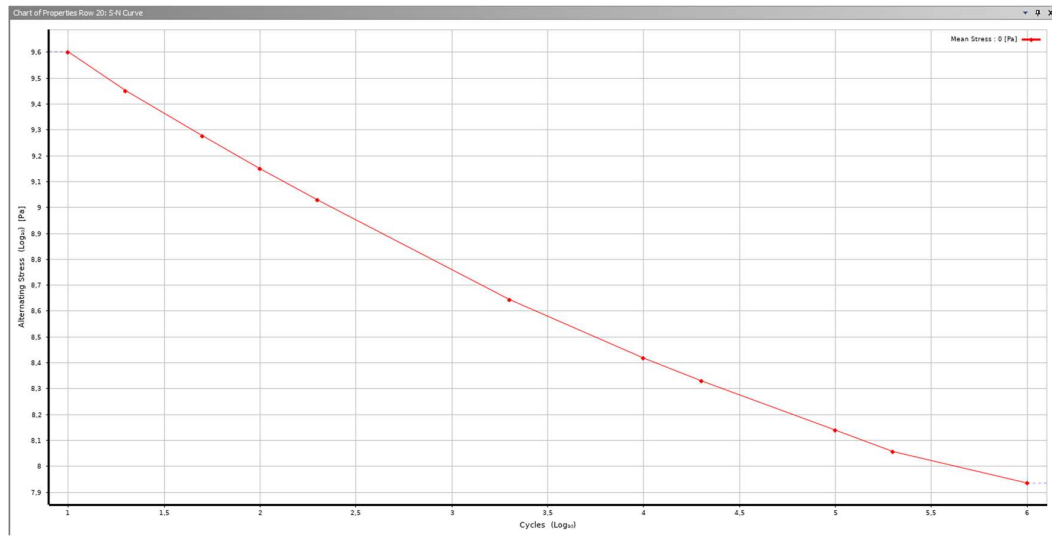
Fyllt i de närliggande cellerna i tabell 1.1.0. Sida 7 av 14

| Resultat | | | |
|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
| Stöt | | | |
| Y | | | |
| positiv | | negativ | |
| Spänning[MPa] | Deformation[mm] | Spänning[MPa] | Deformation[mm] |
| 18 | 0,18 | 18 | 0,17 |
| 19 | 0,0042 | 19 | 0,0041 |
| 8,4 | 0,042 | 8,5 | 0,042 |
| 20 | 0,16 | 20 | 0,17 |
| 21 | 0,038 | 21 | 0,037 |
| 11,2 | 0,056 | 11,2 | 0,056 |
| 22,6 | 0,13 | 22,6 | 0,13 |
| 18 | 0,03 | 18 | 0,03 |
| 12,7 | 0,043 | 12,7 | 0,043 |
| 4,3 | 0,019 | 4,3 | 0,019 |
| 0,31 | 0,00000029 | 0,31 | 0,00000029 |
| 2,6 | 0,00000083 | 2,6 | 0,00000083 |

Fyllt i de närliggande cellerna i tabell 1.1.0. Sida 7 av 14

| Resultat | | | | |
|---------------|-----------------|---------|-------------|-----------------|
| Stöt | | | | |
| Z | | | | |
| positiv | | | negativ | |
| Spänning[MPa] | Deformation[mm] | Töjning | Stress[MPa] | Deformation[mm] |
| 232 | 5,2 | 0,33% | 228 | 5,2 |
| 100 | 2 | 0,14% | 99 | 2 |
| 35,8 | 0,82 | 0,05% | 35,8 | 0,82 |
| 238 | 4,9 | 0,34% | 235 | 4,9 |
| 97 | 1,8 | 0,14 | 95 | 1,8 |
| 56,3 | 1,1 | 0,08% | 56,3 | 1,1 |
| 380,9 | 14,9 | 0,55% | 380,9 | 1,6 |
| 86 | 1,6 | 0,13% | 86 | 1,6 |
| 47,6 | 0,79 | 0,07% | 47,6 | 0,79 |
| 83 | 3 | 0,12% | 83 | 3 |
| 10 | 0,21 | 0,02% | 10 | 0,21 |
| 14 | 1,1 | 0,02% | 14 | 1,1 |

A6. S-N Kurva





CHALMERS