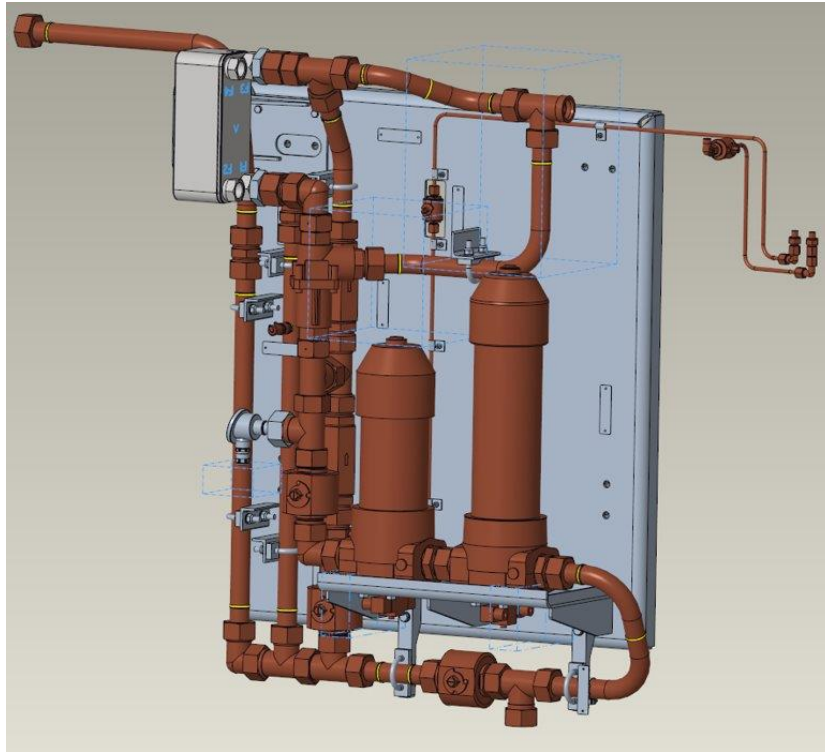




CHALMERS



Analys: Bearbetade kontra svetsade konstruktioner

Lönsamhetsanalys mellan svetsad produktionsmetod
kontra fräst produktionsmetod

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet maskinteknik

Joakim Tjärnlund Leppämäki
Daniel Särholm
Examinator: Christer Persson

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH
MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se

Förord

Denna rapport är vårt avslutande examensarbete för högskoleingenjörsutbildning inom Maskinteknik på Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg, Lindholmen. Arbetet har genomförts av Joakim Tjärnlund Leppämäki och Daniel Särholm, under vårterminen 2022 och motsvarar 15 högskolepoäng inom Industri- och Materialvetenskap.

Vi vill tacka Saab Kockums AB som gav oss möjligheten att utföra detta arbete, samt alla personer som har varit inblandade med detta arbete för deras hjälp och stöd.

Ett speciellt tack riktas till vår handledare Joakim Sandin på Saab Kockums AB och Christer Persson, vår handledare och examinator på Chalmers Tekniska Högskola.

Vi vill även tacka Saab Kockums AB för besöken i Karlskrona och det varma välkommandet vi fick och möjligheten att få se deras produktionshallar. Efter att främst ha arbetat teoretiskt i den maskintekniska utbildningen, var det mycket nyttigt och roligt att få se en del av verkligheten.

Sammanfattning

Saab Kockums AB efterfrågade en analys mellan två produktionsmetoder. Vid arbetets uppstart var deras konstruktioner svetsade, men de undrade om det skulle vara lönsamt att istället utnyttja maskinbearbetning. Därför söktes en jämförelse av de båda metoderna utifrån faktorer som kostnad, tid, hållfasthet med mera. Förhoppningsvis skulle arbetets resultat ge en indikation på vilken metod som bör användas för framtida konstruktioner.

Metoderna som analyserades var svetsning och 2D-fräsning för en mekanisk konstruktion i form av en "tavla". En tavla i detta sammanhang, är ett upphängningsstativ för komponenter i marina fordon/fartyg. Utan att förändra tavlans funktion, togs ett nytt bearbetningsbart utseende fram i CATIA V5. Denna design jämfördes sedan i Ansys Mechanical mot ursprungsutseendet. Till sist skapades en fräsningssimulering i Creo Parametric CAM för att uppskatta ledtid och kostnader.

Den nya designen upptog större spänningar vid de analyserade lastfallen, men dess ca 6 kilograms viktminskning skulle kunna utnyttjas till förstärkning. Fräsningsoptionerna uppskattades till 3h jämfört med svetsningens 4h där kostnadsjämförelserna visade en total operationskostnad för fräsning som var 9,9% dyrare jämfört med svetsning.

Slutsatsen blev att det inte var lönsamt med ett metodbyte för produktion av ett lågt antal tavlor samt att metoden var mindre anpassbar under produktion och mindre hanterbar jämfört med svetsning. Eventuella motresonemang skulle vara att fräsningen ger bättre strukturella fördelar, bättre ergonomi samt mindre mänskliga fel vilket skulle kunna godtas som anledning till den förhöjda kostnaden.

Eftersom de slutgiltiga kostnaderna inte skiljde sig markant ansågs att en potentiell vidareutveckling bör innehålla en undersökning av preparationstid för fräsning då detta var den största påverkningen för kostnaden, för en definitiv slutsats.

Summary

Saab Kockums AB requested an analysis between two production methods. At the start of this work, their constructions were welded, but they were wondering if it could be more beneficial to utilize machining instead. Therefore, a comparison was sought between both methods based on factors such as cost, time, strength, etc. Hopefully, the result of the work would give an indication of what method that should be used for future constructions.

The analysed methods were welding and 2D-machining, specifically for a mechanical construction called “frame”. A frame in this context is a board, which is used to mount components on in marine vehicles/ships. Without changing the function of the frame, a new machinable design was created in CATIA V5. This design was afterward compared in Ansys Mechanical to the original design. Finally, a machining simulation was created in Creo Parametric CAM to estimate lead time and cost.

The new design was exposed to more tensions for the analysed load, but the 6-kilogram weight reduction that was achieved could be exchanged for strengthening. The machining operations were estimated to be 3 hours compared to the welded time of 4 hours. Meanwhile, the total operation cost for machining was 9.9% more expensive than welding.

The result showed that it was not profitable for a change of method to produce a low quantity of frames and that the method was less modifiable and less manageable compared to welding. Eventual counter-arguments could be that the machining gives better structural advantages, better ergonomics, and fewer human faults which could be approved as a valid reason for the increased cost.

Because the final cost does not differ to a significant degree, there was a consideration for potential further development to contain an analysis of the preparation time for machining as this had the biggest impact on the total cost, to acquire a definitive conclusion.

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.3 Avgränsningar.....	1
1.4 Precisering av frågeställningen.....	2
2. Teoretisk Referensram	3
2.1 Tilldelad information om tavla och produktionsmetoder	3
2.1.1 Exempeltavlan och dess lastfall	3
2.1.2 Nuvarande svetsning och planerad fräsningsmetod.....	4
2.2 Svetsning.....	5
2.2.1 Säkerhet vid svetsning	6
2.2.2 Luftförorening vid svetsning.....	7
2.3 Bearbetning i form av fräsning	7
2.3.1 CNC (Computer Numerical Control).....	9
2.4 Använda datorprogram	9
3. Metod.....	10
3.1 Uppstart av arbetet.....	10
3.2 Modifiering av exempeltavlan i CATIA.....	10
3.3 Hållfasthetsberäkningar i Ansys	11
3.4 Fräsningssimulering i Creo CAM.....	12
3.5 Kostnadsanalys	12
4. Resultat.....	14
4.1 Modifiering av ursprungstavla.....	14
4.2 Ansys	16
4.2.1 Analys 1	16
4.2.2 Analys 2	18
4.3 Fräsningsanalys i Creo.....	24
4.4 Kostnadsanalys	25
5. Diskussion	29
5.1 Modellförändringar.....	29
5.2 Strukturella påverkningar	30
5.2.1 Resultat.....	30
5.2.2 Fördelar/nackdelar	30
5.2.3 Rimlighet och felfaktorer	31
5.3 CAM-analys.....	32
5.3.1 Resultat.....	32
5.3.2 Rimlighet/felfaktorer.....	32
5.4 Tider och kostnader	33
5.4.1 Resultat.....	33
5.4.2 Aspekter som inte togs hänsyn till och dess påverkningar	34
5.5 Externa påverkningar mellan metoderna	35
5.5.1 Hanterbarhet och Anpassbarhet	35
5.5.2 Mänskliga faktorn	35
5.6 Miljöpåverkningar och hållbarhet.....	36
6. Slutsats.....	37

7. Vidarearbetning	38
Referenser.....	39

1. Inledning

Denna rapport kommer undersöka en upphängningsplåt, en så kallad "tavla" tillfrågat av Saab Kockums AB, dotterbolag till Saab AB. Rapporten kommer att undersöka för och nackdelar mellan tillverkningsmetoderna svetsning och maskinbearbetning för en tavla samt undersöka hur dessa metoder skiljer sig åt med pris, tid och vikt.

Saab Kockums AB använder tavlor till alla olika typer av projekt och framgår i ett flertal olika variationer för olika ändamål. Denna rapport kommer alltså inte att lägga sitt fokus till ett specifikt fall, utan utnyttja en existerande tavla för att analysera det generella metodikbytet av produktionsmetod samt dess anpassbarhet på andra variationer av tavlor. Vid ett lönsamt resultat kommer därför denna rapport läggas som grundpelare för framtida design och tillverkning av tavlor.

1.1 Bakgrund

Saab AB är ett svenskt industriföretag och försvarskoncern som ursprungligen grundades 1937 som flygplanstillverkare med en lång historia bakom sig. Saab AB har haft stort inflytande för uppbyggnationen av den svenska armén och marinen. (Saab, u.å.). Saabs affärsområde till sjöss kallas för Kockums, vilket sedan 2014 är ett helägt dotterbolag till Saab AB (Stockholm TT, 2014). De är världsledande i utveckling och produktion av ytfartyg, ubåtar och marina system (Saab, u.å.). Tillverkningen av dessa sker i Karlskrona på Karlskronavarvet.

Saab Kockums AB efterfrågade en analys av en så kallad "Tavla". Definitionen av tavla i denna kontext beskriver en plåt traditionellt av stål med svetsade detaljer. Tavlor används som upphängnings stativ för moduler och system för ett flertal av de projekt som Saab Kockums AB genomför.

Tavlor är traditionellt svetsade konstruktioner, vilket enligt Saab Kockums AB är en metod som kräver tid, pengar och kan ge eventuella brister hos produkten som termisk utmattning och felaktiga toleranser då tillverkningsmetoden genomförs fullständigt manuellt. På grund av detta har Saab Kockums AB efterfrågat att undersöka och analysera för- och nackdelar mellan svetsade konstruktioner och maskinbearbetade konstruktioner. Denna analys kommer använda en teoretisk bearbetad produkt som jämförs i kostnad, hållbarhet, viktoptimering och toleranszon. Resultatet av denna analys kommer att användas som grundpelare för vidareutveckling och tillverkning av tavlor.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att undersöka om det skulle vara lönsamt för Saab Kockums AB att ta fram tavlor med bearbetningsmetoden 2D-fräsning istället för deras nuvarande svetsningsmetod.

1.3 Avgränsningar

Arbetet behandlar ett specifikt exempel av en tavla (se bild på rapportens framsida). Det vill säga att arbetet inte kommer att resultera i en helt ny design av en tavla. Saab Kockums AB

önskar en analys av denna specifika tavla, där de sedan kan utgå från rapportens resultat vid konstruktion av andra tavlor.

Komponenterna som hänger på tavlan, har förbestämda platser. Det vill säga att upphängningarna måste respekteras och arbetet kommer inte att försöka ta fram någon ny design eller placering av komponenterna. Arbetet kommer inte heller behandla hur tavlan kommer att hängas upp i det marina fordonet eller hur dess komponenter kopplas vidare.

Alla områden inom bearbetning av metaller kommer inte att behandlas, utan endast den metod som Saab Kockums AB har i avsikt att använda, vilket är 2D-fräsning. Det kommer inte heller undersökas alternativa svetsningsmetoder. Arbetet kommer inte att utföra någon materialanalys, då Saab Kockums AB har tänkt fortsätta konstruera med materialet "Stål S355J2+N".

Lastfall för tavlan kommer inte att analyseras i detalj, då sekretess förhindrar detta. Lastfallen kommer istället att analyseras som en linjär stöt ansatt till 10g acceleration på tavlan.

1.4 Precisering av frågeställningen

Utifrån syftet från 1.2, är frågeställningen som arbetets grund vilar på:

- Är det lönsamt för Saab Kockums AB:s att utnyttja bearbetning istället för svetsning vid konstruktion av tavlor?

Huvudfrågeställningen kan delas upp i följande underfrågor:

- Vad är för- och nackdelar med Saab Kockums AB:s nuvarande svetsningsmetod jämfört med 2D-fräsning av stål?
- Hur skulle kostnader och ledtider påverkas av ett metodbyte hos Saab Kockums AB:s produktion av tavlor?
- Bevaras hållfastheten för tavlan vid ett metodbyte?

2. Teoretisk Referensram

För att förstå den teoretiska metodikern som används igenom arbetets gång kommer detta kapitel att behandla vetenskapligt testad kunskap och relevant information som kommer användas i vidare analyser.

2.1 Tilldelad information om tavla och produktionsmetoder

Detta delkapitel presenterar den information som delades ut av Saab Kockums AB om ursprungstavlan, nuvarande svetsning och den förväntade bearbetningsmetoden.

2.1.1 Exempeltavlan och dess lastfall

En tavla i denna rapports sammanhang beskriver en plåt som används som en gemensam infästning av en samling systemkomponenter. Komponenterna på tavlan beror på tavlans placering, men kan bland annat inkludera rör, filter och ventiler.

Tavlan består av materialet "stål S355 J2+N". Vid frågan om varför detta material används svarade Saab Kockums AB att det är billigt och tillräckligt styvt. Tavlor har vanligtvis en plåttjocklek av 6 – 10 mm, och arbetet kommer utgå från att behålla ursprungstavlans tjocklek på 6 millimeter. Tavlans yttre mått är i dagsläget 1035x890x66 mm. Enligt BE Group (u.å), betyder stålets namn följande:

S = Konstruktionsstål

355 = Minimum sträckgräns i megapascal

J2 = Slagseghet på minst 27 J i –20 grader Celsius

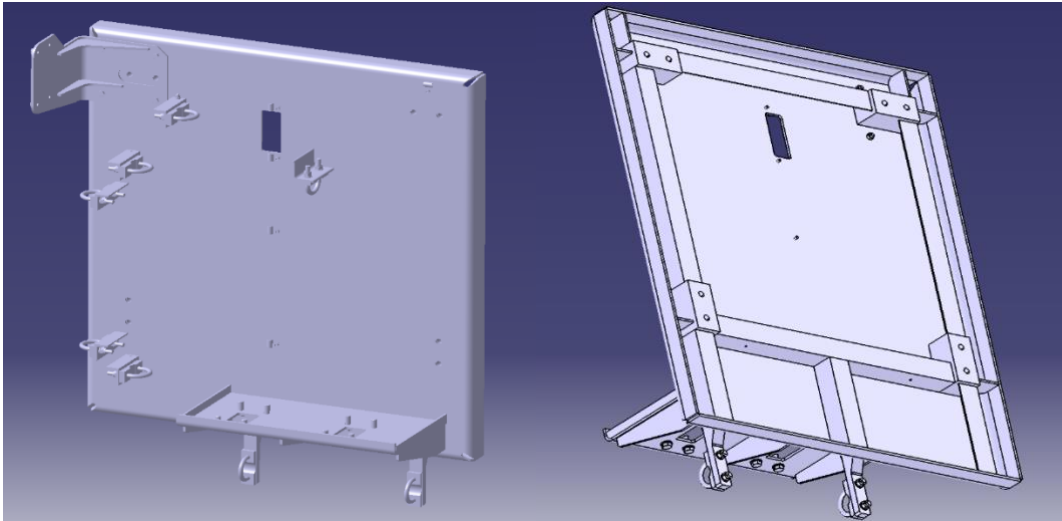
+N = Leveranstillståndet är normaliserande valsning

Tavlan utsätts för och förväntas klara av olika typer av lastfall. Delvis ska den klara av tyngden av de infästa komponenterna. Komponenterna kan ses på bilden på rapportens framsida. Ett annat lastfall som kommer att testas vid analys av tavlans hållfasthet är en större stöt. Saab Kockums AB har för detta ändamål ansatt en last på 10g acceleration. 10g innebär att tavlans massa påverkas av en acceleration 10 gånger större än gravitationskonstanten, som antas vara $9,82 \text{ m/s}^2$ i detta arbete. Saab Kockums AB gav inte ut några specifika krav på hållfastheten av tavlan utöver att den ska klara av stöten. De berättade dock att man i de flesta fall kan bortse från spänningskoncentrationer i resultatet. Saab Kockums AB önskade också att en modalanalys (eng: modal buckling analysis) skulle utföras. Det vill säga att man tar fram de frekvenser där tavlan hamnar i resonans och börjar själv svänga, vilket kan orsaka stora deformationer hos tavlan.

Exempeltavlan består i dagsläget av en plåt med bockade kanter, vars baksida består av påsvetsade förstyrningsprofiler och infästningsblock. Kantbockning är en tillverkningsprocess där man utsätter metallplåtar för ett böjande moment för att uppnå önskad geometri i form av vinkel och radie. Metoden utnyttjar sig av att plåten deformeras plastiskt (SSAB, u.å.).

Komponenterna på framsidan sitter fast delvis med skruvförband och delvis med påsvetsade infästningar. Komponenterna omfattas av rör, två filter, en värmewäxlare samt infästningar och övriga detaljer. Rörens material är rostfritt stål 316 med material nummer EN1.4404. De

två filtren och värmeväxlarens material var ej tillgängliga. Komponenternas infästningar på tavlan är av samma material som tavlan.



Figur 2.1: Ursprungstavlans framsida

Figur 2.2: Ursprungstavlans baksida

2.1.2 Nuvarande svetsning och planerad fräsningsmetod

I dagsläget är ursprungstavlan en svetsad konstruktion. Grundplåten bockas och förstävningar som motverkar böjning är påsvetsade på dess baksida. Även en del av komponenterna sitter fast med infästningar som är svetsade på tavlan. I sin helhet går tavlan igenom följande steg vid tillverkning:

Tabell 2.1: Arbetsmoment vid tillverkning av ursprungstavlan

Moment	Tid (h)
1. Utbränning	3,5
2. Slipning	3,75
3. Kapning	20,75
4. Bockning	4,03
5. Maskinbearbetning	14,39
6. Häftning och svetsning	53,11
7. OFP (Oförstörande provning)	4,42
8. Tvättning	2,62
9. Ytbehandling	4,23
Summa tid	110,8

Den största delen av de 53,11 timmar som används för “häftning och svetsning” är i praktiken uppriktning, häftning med mera, det vill säga förberedelser inför själva svetsningen. Svetsningen, eller bågtiden som det kallas, är estimerat till 5 timmar på själva tavlan. Bågtiden inkluderar inte bara svetsningen av förstävningprofilerna på tavelryggen, utan även tiden för häftning och uppriktning av komponenter och infästningar på tavlans “framsida”. Av dessa 5 timmar estimeras 3-4 timmar användas till svetsningen av tavlans baksida.

Svetskostnaden hos Saab Kockums AB approximeras till 1000 SEK/h, för samtliga 53,11 timmar.

Svetsmetoden som använts är TIG-svetsning och svetsaggregatet som användes är en Kemppi MasterTIG 2200 3-fas. Tillsatsmaterialet är OK Tigrod 12.46. Skyddsgasen som användes var Argon, där förbrukningen är 10 liter per minut. Det vill säga att ca 3000 liter argon användes för svetsningen av tavlan. Saab Kockums AB tyckte dock inte att det var relevant att räkna på Argonkostnaden.

Enligt Saab Kockums AB är det specifikt bearbetningsmetoden 2D-fräsning som skulle jämföras mot svetsningen. 2D-fräsning innebär att arbetsstycket rör sig i ett 2D-plan medan verktygets skärdjup bestäms med dess positionering i Z-planet, där 2D planet är vinkelrätt mot verktyget. (Hakan, 2020). Detta innebär att objekten som skapas är tredimensionella, men de kan inte innehålla komplexa profiler, som exempelvis de överhängande L-profilerna i exempeltavlan. Med andra ord kan objektet endast bestå av ett enda djup för varje punkt (x, y).

Fräsmaskin för arbetet antas finnas på Kockums redan. De parametrar som fanns tillgängliga togs fram från maskinen MAZAK VTC-800/20SR (Mazak, 2022). En maskin som motsvarar denna används på Kockums. Parametrarna som gavs var följande:

- Tillgängliga verktyg: Standard fräsverktyg med diametrarna 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16 och 20 (millimeter).
- Skärningsmatning: 0,35 m/sek
- 16 millimeters verktyg har 5 skärtänder
- Uppskattad livslängd är 1–2 verktyg för ursprungstavlan. Verktygen kostar ca 1400–1500 kr/styck
- Tid för byte av verktyg: ca 5 sek

Saab Kockums AB har estimerat att driftkostnaden för operatören som sköter fräsningen är 1074 SEK/h. Det krävs oftast bara en person som förbereder maskinen för fräsning.

Vid fräsning bildas det spill i form av metallspån. Saab Kockums AB har informerat att detta spill sedan säljs till Stena Recycling AB, som sedan kan återvinna materialet. Det uppgavs inget pris för sålt spill, och därför antogs värdet vara $\frac{1}{4}$ av inköpskostnaden.

Saab önskade även att fräsningsradierna skulle vara 3mm

2.2 Svetsning

Svetsning är en metod som används för att sammanfoga två material med varandra. Detta görs med hjälp av en värme- eller tryckkoncentration (eller en kombination) vid de punkter där materialen ska sammanfogas. Om svetsningen av två metaller är väl genomförd bör området inte bli svagare än grundmetallen. Svetsning kopplas ofta till metaller, men det går även att svetsa plastmaterial. Då materialet som används hos exempeltavlan i denna rapport är stål, beskrivs inte plastsvetsning något ytterligare.

Det finns många olika svetsmetoder för metaller. En stor grupp består av de som utnyttjar värme i form av att smälta metall vid punkten där de två metallerna ska sammanfogas. Man

kan även använda ett så kallat utfyllnadsmaterial för att koppla samman metallerna. Gruppen kan delas upp i homogena och heterogena metoder. Homogena innebär att metallen som används som utfyllnadsmaterial har samma egenskaper som grundmaterialen. Heterogena metoder innebär att utfyllnadsmaterialet har andra egenskaper än grundmaterialen, vilket oftast innebär att grundmaterialet inte smälts då utfyllnadsmaterialet har en lägre smältpunkt än grundmaterialen. Den andra gruppen av metoder fungerar genom att endast trycka materialen mot varandra vid sammanfogningspunkten. Metallen brukar vara värmd till ett plastiskt tillstånd vid sammanfogningen men vid rätta förutsättningar räcker det att sammanfoga dem endast genom att trycka ihop dem (Elshennawy & Weheba, 2015).

Processen att värma och kyla metaller kan medföra förändringar i materialets mikrostruktur. Självva området som svetsas agerar som en miniatyrversion av gjutning, det vill säga att smältning och stelning sker lokalt. Utöver detta påverkas mikrostrukturen i den solida regionen runt omkring svetsningsområdet. Det fungerar som en värmebehandlingsprocess, men vars värmecykel går på några sekunder istället för flera timmar. Detta område kallas för "heat-affected zone" (HAZ). Svetsning kan alltså ha konsekvenser för sammanfogningspunktens egenskaper, samt området omkring. Materialet kan bli mjukare, skörare eller tappa sina korrosionsegenskaper. Konsekvenserna beror på metallegeringen och processen som används. (Ashby et al., 2019)

Saabs nuvarande svetsningsmetod heter TIG-svetsning där TIG står för "Tungsten Inert Gas" Det är en homogen metod och är en bågs svetsningsmetod. Bågs svetsning innebär att en elektrisk ljusbåge skapas mellan en elektrod, vilket för TIG-svetsning är en icke-förbrukande volframelektrod, och arbetsstycket (Kemppi, 2022). Skyddsgasen är i detta fall Argon. Skyddsgaser används för att skydda den smälta metallen från att reagera med syre eller förorenas med andra partiklar vid stelningen. Argon är en inert skyddsgas, vilket innebär att den inte reagerar med smältbadet. Motsatsen är aktiva gaser som hjälper svetsprocessen med bland annat att stabilisera bågen och ser till att tillsatsmaterialet får en jämn överföring till fog punkten. TIG-svetsning behöver inte alltid använda tillsatsmaterial, men vid Saabs svetsning används OK Tigrod 12.46 och den tillförs manuellt.

Ett svetsarbete som utförs med TIG-svetsning metoden ställer krav på noggrannheten på utförandet, eftersom den brukar användas då kvalitet och utseende hos svetsförbandet spelar en avgörande roll. Metoden är även mer krävande än andra metoder på grund av flera parametrar. Att tillsatsmaterialet tillförs manuellt innebär att tillsatsmaterial matas med den ena handen till smältan medan den andra håller i brännaren. Det går alltså inte att använda en arm som stöd vid framföring av brännaren (Kemppi, 2022).

2.2.1 Säkerhet vid svetsning

Det finns risker vid yrkesmässig svetsning. Så länge en riskbedömning utförs och skyddsutrusning används bör svetsning vara säkert att utföra. (Kemppi, 2022)

Skyddsglasögon är viktigt eftersom ljusbågen kan orsaka brännskador i ögat, även vid en kort exponering. (Kemppi, 2022) Ljusbågen utstrålar ultraviolett och infraröd strålning, men det kan även stänka från det som kan skada både ögon och hud. Även lungorna behöver skyddas vid svetsning. Någon typ av ansiktsskydd behövs, vars luftventilationssystem skyddar

arbetaren mot giftiga gaser. Framförallt mot gaser innehållande cancerframkallande kemikalier som carcinogener.

När man jobbar med värme finns det givetvis alltid risk för brandskador. Brännskador till följd av sprut och stänk är en vanlig skada bland svetsare (Kemppi, 2022). Även hud behövs alltså skyddas på rätt sätt, och inte bara för synligt stänk. UV-strålning från ljusbågen kan orsaka solbränna, där bestående skador kan uppstå av långvarig exponering. En annan risk med svetsningsarbetet är elchocker. Har man otur kan elchocker leda till mycket svåra skador eller till och med dödsfall. Genom att endast använda utrustning som man är bekant med, och som även inspekterats för felaktigheter, kan risken för elchocker minskas.

Det finns även andra fysiska faror som klämda fingrar och tår, olyckor på grund av någon halkar eller snubblar och faran för fallande föremål. Ljudnivån är också något som kräver hörselskydd (Kemppi, 2022).

2.2.2 Luftförorening vid svetsning

Luftföroreningar i samband med svetsning består av damm, rök och gaser. Gaser är osynliga medan damm och rök är synliga för ögonen. Damm är partiklar som är större än 1 mikrometer och rökpartiklar är mindre än 1 mikrometer. När den smälta metallen förångas och sedan oxiderar bildas svetsrök, vilket normalt består av metalloxider. För TIG-svetsning bildas generellt mindre mängd svetsrök än med andra metoder (Linde, å.u).

Gaserna är det som är farligast, som svetsaren måste skyddas emot. Det är främst på grund av den höga temperaturen vid gasbågen, och dess UV-strålningen, som gör att de bildas.

Några av de gaser som skapas generellt vid svetsning (samtliga är kvävande och/eller giftiga):

- Ozon, O₃
- Kväveoxid, NO
- Kvävedioxid, NO₂
- Kolmonoxid, CO

2.3 Bearbetning i form av fräsning

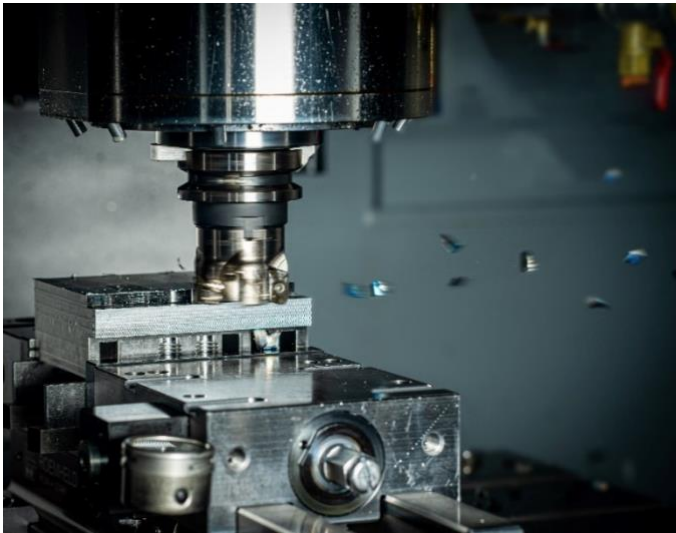
Bearbetning av metaller är ett ganska brett begrepp, men det som menas med bearbetning i detta arbete är att man istället för att sammanfoga flera olika komponenter, utgår från en enda komponent och formar denna till önskat utseende.

Det finns många olika sätt att forma ett stycke metall på. Exempelvis deformation av arbetsstycket där man utnyttjar metallers plastiska förmåga att byta form utan att materialet åtar sig någon skada (Ashby et al., 2019). Det finns även skärande bearbetning som innebär att material tas bort för att uppnå den önskade geometrin. Den bearbetningsmetod som arbetet behandlar är den skärande bearbetningsmetoden fräsning, eftersom det är denna metod Saab vill undersöka.

Fräsning är en mycket versatil metod då de allra flesta former kan bearbetas fram av det, såväl platta som runda. En fräsmaskin använder typiskt ett roterande verktyg, som består av ett

flertal “tänder” som skär materialet. Dessa tänder brukar därmed kallas för “skär”. Antingen kan verktyget stå still och arbetsstycket förs in i skäret på önskat sätt, eller så är arbetsstycket stilla och skäret rör sig över det. En yta kan oftast fräsas på flera olika sätt. Vilket sätt som ska användas brukar lämpligen väljas utifrån maskin man tänkt använda, arbetsstyckets utseende och ytans positionering.

Det finns två typer av fräsning, så kallad face milling och end milling. Dessa påverkas av ett antal variabler som cutting diameter, number of cutting edges, cutting speed, depth of cut, cutting width, feed/tooth, feed, fable feed och rotation speed (Sandvik Coromant, å.u).



Figur 2.3: *Fräsning*. Kommentar. Från CNC machining Milling steel and throwing chips clear [fotografi], av Daniel Smyth, 2022, <https://unsplash.com/photos/Hv0MoPomjic>. Återgiven med tillstånd.

Då fräsning orsakar stora friktionskrafter i materialet blir materialets temperatur mycket hög. Denna höga temperatur kan skada materialet och verktyget då det kan leda till termisk utmattning i materialet, samt termisk nötning av verktyget. För att motverka detta används olika metoder för att leda bort värmen.

Bearbetningsdjup beskriver djupet som verktyget har i kontakt. Detta djup påverkar ett flertal variabler så som friktion, bearbetningshastighet och spånstorlek. Målet är att minska friktionen och leda bort den friktionsenergi som skapas via de “chip” som bildas.

Eftersom en minskad friktion ges av hastigheten av verktyget samt kontaktytan av verktyget kommer den totala bearbetningstiden att påverkas baserat på dessa variabler. Det krävs alltså att hitta den bearbetningshastighet som ger minsta möjliga bearbetningstid samt behålla den materiella strukturen av det bearbetade materialet och undvika termisk nötning av verktyget. En annan metod för leda bort värme görs via tillförning av kylningsmedel för att möjliggöra snabbare bearbetningshastighet samt bevara verktygets effektivitet vid längre operationer.

2.3.1 CNC (Computer Numerical Control)

Det blir allt vanligare med fräsning med hjälp av CNC-styrning på fräsningsmaskiner. CNC innebär att maskinen styrs automatiskt genom att dess rörelser programmeras numeriskt. (UFAB, u.å.). CNC-maskiner tillåter ofta rörelsen av både verktyg och arbetsstycket, vilket inte är normalt för maskiner utan CNC-styrning. Datorstyrning av en fräsmaskin tillåter mycket hög precision med små toleranser, eftersom förflyttningarna är exakta enligt förbestämda mönster.

Creo Parametric CAM är ett av datorprogrammen som användes i arbetet. Utöver att det används till att simulera och visualisera en maskinprocess, kan det även användas för att skapa CNC-koden kopplad de utförda rörelserna.

2.4 Använda datorprogram

Datorprogrammen som använts i detta arbete har valts utifrån kunskap från den maskintekniska utbildningen. Samtliga användes med studentlicenser utdelade av Chalmers. Datorprogrammen som utnyttjades i arbetet är följande:

CATIA V5

CATIA står för Computer Aided Threedimensional Interactive Application och är ett program från Dassault Systems som huvudsakligen används för 3D-modellering. Programmet inkluderar även simuleringsmöjligheter men i detta arbete kommer det endast användas för att modifiera modellen av exempeltavlan (Dassault Systems, 2022).

Creo Parametric CAM

Creo Parametric CAM (Computer Aided Manufacturing) är ett program av PTC som kan simulera maskinprocesser. Fokus i detta arbete ligger inte på hur fräsningen genomförs men Creo CAM kommer att användas för uppskattningen av produktionens tid (PTC, 2022).

Ansys Mechanical

Mechanical av Ansys är en programvara som används för analyser av strukturer med finita elementmetoden (FEM). Programmet använder denna metod för att approximera lösningarna till komplexa strukturproblem. I detta arbete kommer det att användas för att analysera hur den modifierade exempeltavlan klarar av lastfallen. Studentlicensen har en maxgräns på noder och element som kan användas i meshen (Ansys, 2022).

Ansys Granta EduPack

Granta EduPack av Ansys är en databas för material och materialtillverkningsprocesser. I detta arbete användes det för beräkning av materialkostnad, samt för materialegenskaper i hållfasthetsanalyser (Ansys, 2022).

3. Metod

Under detta kapitel kommer metoden som användes för arbetet att presenteras. Upplägget utgick ifrån att besvara de frågeställningar som presenterats i 1.4.

Metoden beskriver först de inledande moment som behövdes för att förstå problemet och bestämma avgränsningar. Sedan undersöktes de specifika metoderna som Saab för närvarande använder och den fräsningsbearbetning de har tänkt sig.

Efter de teoretiska undersökningarna modifierades exempeltavlan med CATIA, som sedan analyserades och verifierades med Creo CAM och Ansys Mechanical.

3.1 Uppstart av arbetet

I samband med uppstarten av arbetet besökte Daniel och Joakim Saab Kockums AB i Karlskrona den 11 april 2022. Detta gjordes delvis för att skapa en fysisk kontakt mellan arbetsgivare och arbetare, men främst för att öka förståelsen för problemet och även få se hur en tavla ser ut i verkligheten. Utöver all information som samlades om problemet fick Daniel och Joakim se Saab Kockums AB:s produktionshallar. I produktionshallarna kunde exempel av tavlor åskådas, vilket gav en större förståelse av tavlors generella utseenden.

Efter besöket hos produktionen fördes en diskussion med handledare Joakim Sandin. Tillsammans definierades problemet i form av syfte, frågeställningar och avgränsningar. Dessa presenteras i kapitel 1.2 - 1.4. Saabs tillgängliga information om tavlan och metoderna delades ut. En del information var inte tillgängligt vid uppstarten och utdelades under arbetets gång. Denna info presenterades i kapitel 2.

En tidsplan på 10 veckor sattes upp, men denna kunde utökas vid behov. Det definierades ingen exakt deadline då arbetet skulle vara klart.

Nödvändig teori för att lösa problemet togs fram och presenterades i kapitel 2

3.2 Modifiering av exempeltavlan i CATIA

Exempeltavlan tilldelad av Saab Kockums AB var mycket detaljrik och komplexa geometrier simplifierades för att kunna möjliggöra 2D-fräsning hos den teoretiskt bearbetade tavlan.

En simplificerad modell skapades utifrån ursprungstavlan med hjälp av datorprogrammet CATIA V5. Arbetet här utfördes sedan iterativt med steg 3.3, det vill säga att efter en analys i Ansys anpassades denna modell ytterligare i CATIA beroende på resultaten. Utifrån detta skapades en tredje modell genom modifieringar av den andra modellen. Det vill säga att totalt jämfördes 3 modeller i slutändan: Modell 1: ursprungstavlan, modell 2: simplifierade tavlan och modell 3: modifierade tavlan.

3.3 Hållfasthetsberäkningar i Ansys

För att undersöka den strukturella integriteten genomfördes hållfasthetsberäkningar på modellerna av tavlan. Modellerna analyserades i Ansys Mechanical för att verifiera att den slutgiltiga modifieringen av modell 3 klarar av de lastfall som den ursprungliga tavlan designats för.

Materialen stål S355J och Stainless Steel 316LN importerades från Granta EduPack till Ansys.

Det utfördes totalt 2 analyser. Först analyserades de tre modellerna av tavlan endast med några få infästningskomponenter på. Efter det söktes dock ett mer realistiskt resultat eftersom komponenterna på tavlan förutspåddes orsaka större böjningsmoment på tavlan. Analys 2 bestod därför av tavlan inklusive dess komponenter.

Saabs utdelade komponent- och rörmodeller var för komplexa och tog upp nästan dubbla antalet noder än vad studentlicensen tillät. Det innebar att rören och vissa komponenter behövde modelleras om till enklare former där det inte krävdes lika liten mesh för att lösa. Även många små detaljer (exempelvis muttrar) som inte ansågs påverka analysen togs bort för att spara element och noder. Observera att rördelarna inte modellerades om för den slutgiltiga versionen utan modifieringen utfördes endast för att en mer realistisk spänningsanalys i Ansys skulle kunna genomföras.

Miljön för analysen i Ansys, som är konstant mellan olika simuleringar, såg ut som följande:

- Tavlan fixerad i de 8 infästningshål
- Utsätts för tyngdkraft (gravitationskonstant på $9,80666 \text{ m/s}^2$, Ansys programstandard)
- Utsätts av en acceleration (stöt) på $10g$.
 - g antas vara lika med $9,82 \text{ m/s}^2$ i Sverige. Det vill säga accelerationen som användes blev $a = 10g = 10 \cdot 9,82 = 98,2 \text{ m/s}^2 = 98200 \text{ mm/s}^2$
 - Accelerationen testades i både positiva och negativa x , y och z riktningar, det vill säga 6 riktningar totalt.
- Meshens storlek, som skapades med målet att minimera meshen på tavlans grundplåt och förstävningar

Resultaten som togs fram var:

- Totala deformationen för själva tavlan
- Von Mises Spänning för tavlan
- Säkerhetsfaktorn mot sträckgräns (behövdes egentligen inte enligt Saab men det gav enklare jämförelse mellan spänningarna)
- Reaktionskrafterna i infästningshål (för att verifiera att rätt lastfall använts)
- 10 första resonansfrekvenserna för varje modell, samt dess deformationer.

3.4 Fräsningssimulering i Creo CAM

Efter modellerna testats i Ansys skapades och analyserades en bearbetningsprocess i Creo CAM för modell 3. Utifrån simuleringen uppskattades ledtiden för fräsningen, och utifrån denna tid uppskattades de kostnader som beror på tiden. Egentligen låg inte arbetets fokus på hur fräsningen bör gå till, men det skulle ha varit svårt att uppskatta dessa aspekter på annat vis.

Modell 3 importerades till Creo, sedan skapades ett arbetsstycke lika stort som tavlans yttre dimensioner automatiskt av programmet.

En fräsningssimulering för modell 3 skapades bestående av 6 steg, där en "End mill" användes för samtliga operationer:

1. Grovfräsning med rekommenderade diametern 16mm på fräsverktyget
2. Finfräsning av hörnen med diameter 6mm på fräsverktyget, för att få 3mm fräsningsradie i hörnen
- 3–5. Borrnings operationer för hål av olika storlekar hos tavlan.
6. Utfräsning av det rektangulära hålet i mittenpartiet av tavlan

Eftersom operationerna 3–6 även utförs för ursprungstavlan, samt att borrningsparametrar ej är givna, analyserades inte dessa tider. Det skapades främst för visualiseringens skull.

Parametrarna för operationerna ställdes delvis in utifrån den data som är given från Saab, och delvis utifrån standardformlerna i Creo:

- Table feed: $V_f = 0,35 \text{ m/sek} = 21000\text{mm/min}$ (Antogs konstant för alla fräsoperationer)
- Step over: $0,5 * \text{verktygsdiameter}$ (förflyttning i sidled för varje ny rad av fräsning)
- Cutting depth: $0,1 * \text{verktygsdiameter}$ (Programstandard)
- Spindle speed (rpm): $150\,000 / (\pi * \text{verktygsdiameter})$ (Programstandard)
- 5 skärtänder på samtliga fräsverktyg
- Rapid traverse = 50m/min enligt maskin hemsida

Även modell 2 analyserades på samma sätt i Creo för att se hur resultaten skiljde sig mellan modellerna.

3.5 Kostnadsanalys

Efter att strukturanalyserna i datorprogrammen hade utförts, gjordes en jämförelse av kostnad och tid utifrån tidigare resultat och utdelad information som analyserats. Kostnadsanalysen delades in i två separata analyser, aktiv bearbetning och preparationsfas. Eftersom preparationsfasen inte förbrukar faktorer så som materialkostnad och el, delades dessa in i olika analyser. Kostnaderna presenterades i kostnad/tavla, det vill säga kostnaden för att ta fram en tavla.

Inför kostnadsanalysen genomfördes ett antal antaganden, dessa antaganden gjordes så det fanns osäkerheter kring ett antal faktorer som påverkade resultatet vilket hade krävt ytterligare undersökning.

- **Verktyg/Materialförbrukning för aktiv bearbetning**

Eftersom det finns ett flertal olika faktorer som påverkar den totala driftkostnaden, bortsågs alla dessa för att undvika "okända" påverkningar som kan påverkat det slutgiltiga resultatet. Dessa faktorer är exempelvis, verktygs nötning, kylningsmedel, gasförbrukning och underhåll av maskiner.

- **Materials spill**

Stena Recycling som är ansvarig för allt spillmaterial av Kockums AB kontaktades men någon specifik inköpskostnad för spill lyckades inte att erhållas innan analysen avklarades. Denna var därför satt som 1/4 av det ursprungliga materialpriset.

- **Driftkostnad**

Alla kostnader som analyserades antogs vara linjära. Den aktiva bearbetningen och kostnaden för preparation inför bearbetningen antogs därför vara samma. Dessa kostnader är som följande:

- Driftkostnad för fräsning: 1074 kr/h
- Driftkostnad för svetsning: 1000 kr/h

- **Preparationstid**

Preparationstiderna för de olika metoderna antogs vara samma med instruktion från Saab Kockums AB.

Observera att komponentinfästningars materialkostnader ej räknades med i svetsningen eftersom dessa inte har analyserats i fräsningsanalysen.

Eftersom den aktiva bearbetningen är en del utav dem totala 53.11 timmarna behöver den respektive driftkostnaden som medräknas för den aktiva bearbetningen att tas bort från den totala kostnaden. Formeln som användes för analysen blev därför.

$$\text{Driftkostnad} * \text{Total tid} + (\text{Fräs/svetskostnad} - (\text{Driftkostnad} * \text{Fräs/svetstid})) = \text{Total kostnad}$$

Där Fräs/svetskostnad är den sammanställda kostnaden av de faktorer som påverkat slutkostnaden.

4. Resultat

Här presenteras resultaten utifrån den metod som användes i kapitel 3

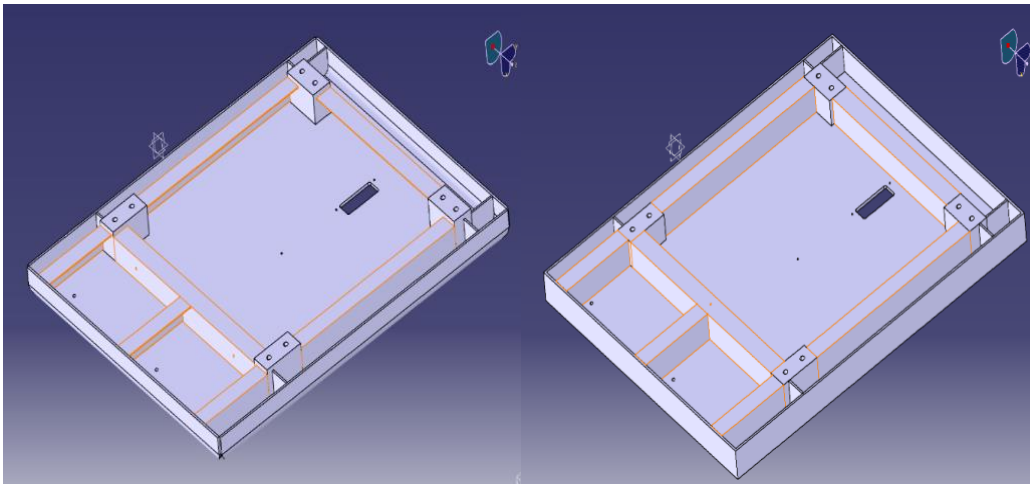
4.1 Modifiering av ursprungstavla

De första förändringar som gjordes på ursprungstavlan i CATIA var att på enklast möjliga sätt simplificera förstyvningarnas geometrier till ett utseende som kan 2D-fräsas fram. Denna första förändring kallades för modell 2

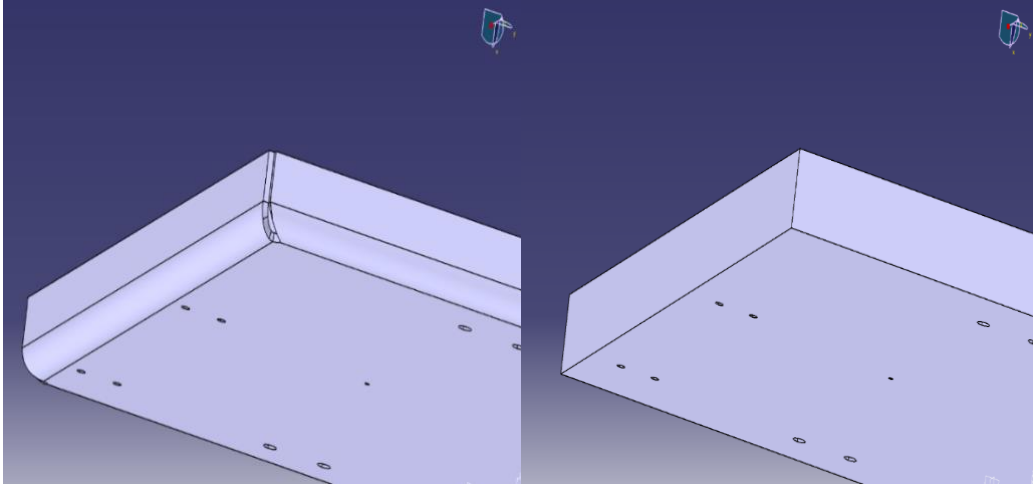
De markerade L-profilerna på originaltavlans baksida gjordes om till rektangulära block. Alla hål på modell 2:s grundplåt är identiska med originaltavlans hål.

De bockade kanterna på originaltavlan gjordes om till vinkelräta kanter, det vill säga att de ser ut som en "låda". I figur 4.3 syns också att infästningsblocken gjordes lika djupa som övriga profiler, samt de smala kanterna vid sidorna av dessa har gjorts helt rektangulära för att matcha väggarnas utseende.

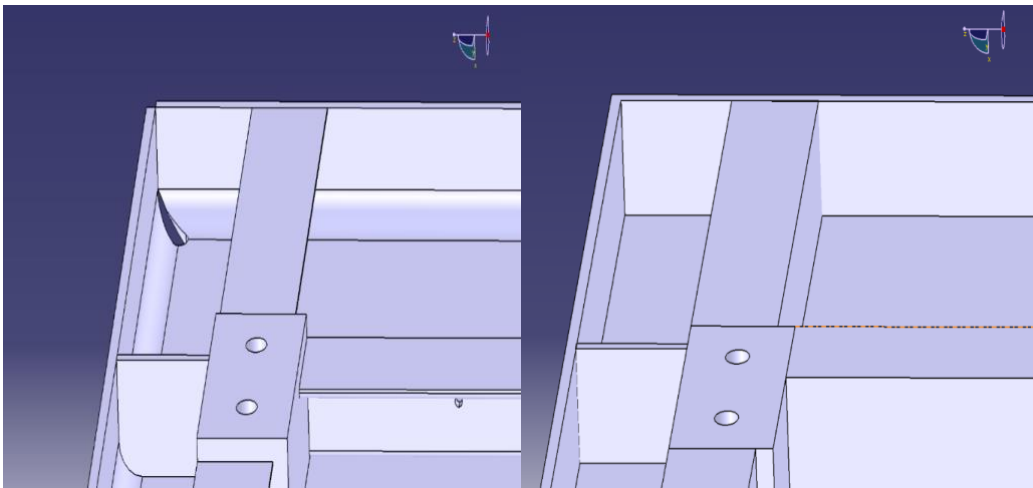
Totala djupet på tavlan blev 56mm, det vill säga att ett arbetsstycke vid fräsning kommer behöva vara minst 56mm djupt.



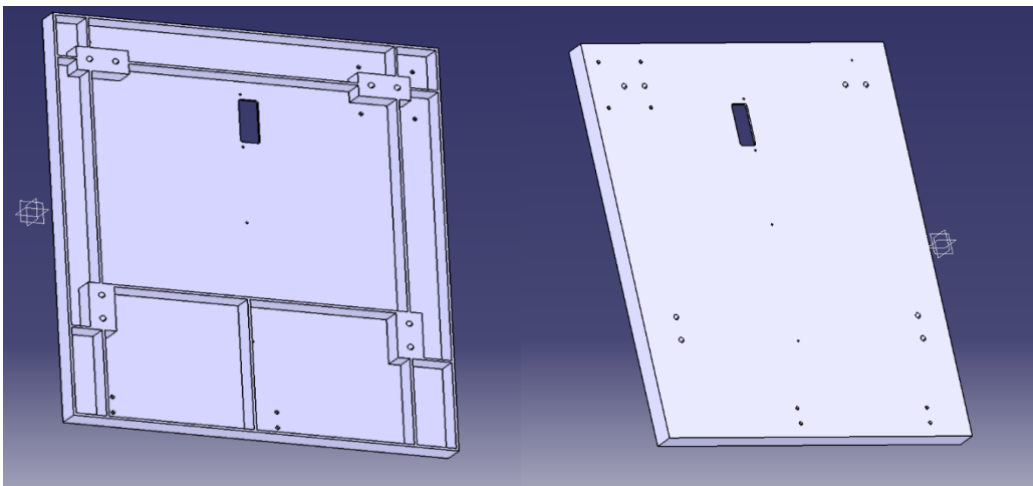
Figur 4.1: Förändringar i L-profiler på tavlan



Figur 4.2: *Förändringar i kanter på tavlan utifrån*



Figur 4.3: *Förändringar i kanter på tavlan inifrån*



Figur 4.4: *Resultat av förändringar*

4.2 Ansys

Detta delkapitel beskriver resultaten från analys 1 och analys 2 som utfördes i Ansys Mechanical

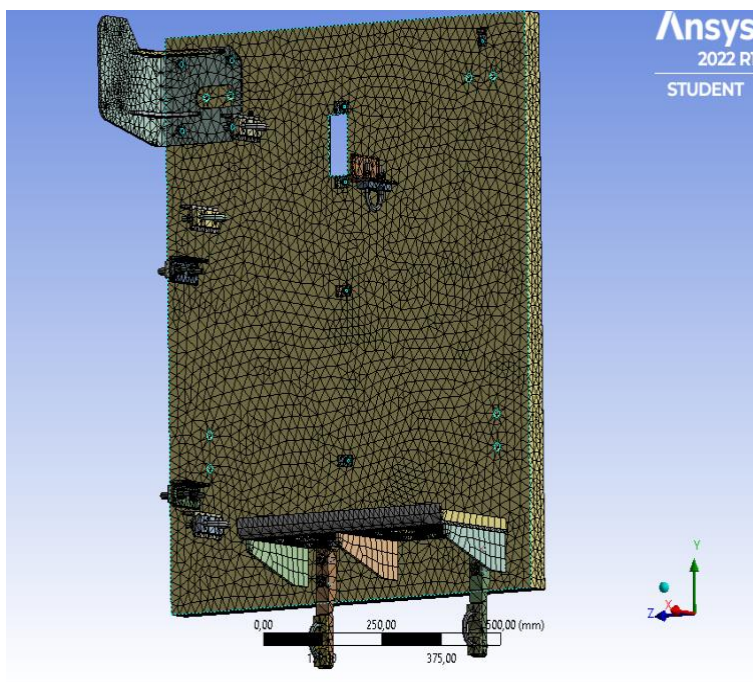
4.2.1 Analys 1

Det uppstod problem när modell 1 skulle analyseras, vilket verkade bero på de bockade kanterna. Programmet kunde inte utföra simuleringen på grund av kanternas utseende och kunskap saknades för att lösa problemet i Ansys. Modell 1 analyserades istället med likadana yttre kanter som på de två andra modellerna av tavlan.

Analyserna av modell 1 i Ansys gjordes alltså inte med exakt samma utseende som ursprungstavlan, men då den största skillnaden mellan tavlorna utgjordes av att L-profilerna gjorts om till rektangulära block, ansågs kanternas påverkan kunna försummas i detta fall. Efter att modell 2 hade analyserats i Ansys Mechanical, märktes det snabbt att dess viktökning var alldeles för stor. Den hade betydligt bättre hållfasthet än originalet, men Saab önskade inte en viktökning av tavlan. Modell 3 skapades genom att förstävningarna mellan infästningsblocken gjordes 6 mm smala istället (samma tjocklek som grundplåten). Dessa smalare "spalter" placerades så centralt på tavlan som möjligt, då det antogs vara den mest utsatta platsen för tavlans deformation. Samtidigt försöktes en viss symmetri mellan spalterna behållas.

Meshen blev som följande:

- 25mm på infästningar
- 20mm på tavlan



Figur 4.5: Mesh analys av tavlan

Tabell 4.1: Resultat från analys 1

Analys 1	Accelerationsriktning	X	Y	Z	Negativ X	Negativ Y	Negativ Z
Original tavla Vikt: 76,693 kg	Max deformation (mm)	0,48174	0,044834	0,025724	0,48214	0,054797	0,017576
	Max von Mises stress (MPa)	38,236	9,3034	5,3072	37,51	11,371	5,4901
	Säkerhetsfaktor mot sträckgräns	9,284	38,158	66,890	9,464	31,220	64,662
Simplifierad Tavla Vikt: 120,91 kg	Max deformation (mm)	0,267	0,016308	0,010344	0,26858	0,019932	0,0078877
	Max von Mises stress (MPa)	22,51	10,907	3,1231	23,362	13,33	3,6806
	Säkerhetsfaktor mot sträckgräns	15,771	32,548	113,669	15,196	26,632	96,452
Modifierad Tavla Vikt: 70,606 kg	Max deformation (mm)	0,29257	0,034007	0,035	0,29383	0,042	0,033
	Max von Mises stress (MPa)	35,464	10,106	6,605	37,551	12,352	5,449
	Säkerhetsfaktor mot sträckgräns	10,010	35,128	53,747	9,454	28,740	65,150

Tabell 4.2: Resultat från analys 1 av modal modes, modell 1

Mode	<input checked="" type="checkbox"/> Frequency [Hz]
1,	94,939
2,	187,94
3,	200,45
4,	261,14
5,	303,51
6,	322,13
7,	356,04
8,	452,28
9,	458,42
10,	465,22

Tabell 4.3: Resultat från analys 1 av modal modes, modell 2

Mode	<input checked="" type="checkbox"/> Frequency [Hz]
1,	126,48
2,	247,71
3,	267,11
4,	322,56
5,	385,6
6,	435,52
7,	473,18
8,	497,06
9,	574,59
10,	576,23

Tabell 4.4: Resultat från analys 1 av modal modes, modell 3

Mode	Frequency [Hz]
1.	116,48
2.	190,12
3.	210,94
4.	261,86
5.	333,12
6.	353,72
7.	378,03
8.	401,68
9.	418,57
10.	447,17

4.2.2 Analys 2

Rören gjordes om till en enda delkropp som bestod av olika tvärsnitt. Eftersom lastfallet är en acceleration försöktes vikten på den simplifierade versionen fås så lik originalet som möjligt. Original utseendet på rören vägde 79,664 kg då det är gjorda av Stainless Steel 316LN. Den modifierade versionen lyckades hamna på 79,614 kg. Även värmeväxlaren uppe i hörnet modellerades om till ett rektangulärt block med avrundade hörn. Hur komponenterna som analyserades i Ansys såg ut kan ses i Figur 4.6. I visualiseringen för deformationen och spänningsfördelningen av tavlan är rören gömda för få en tydligare förståelse.

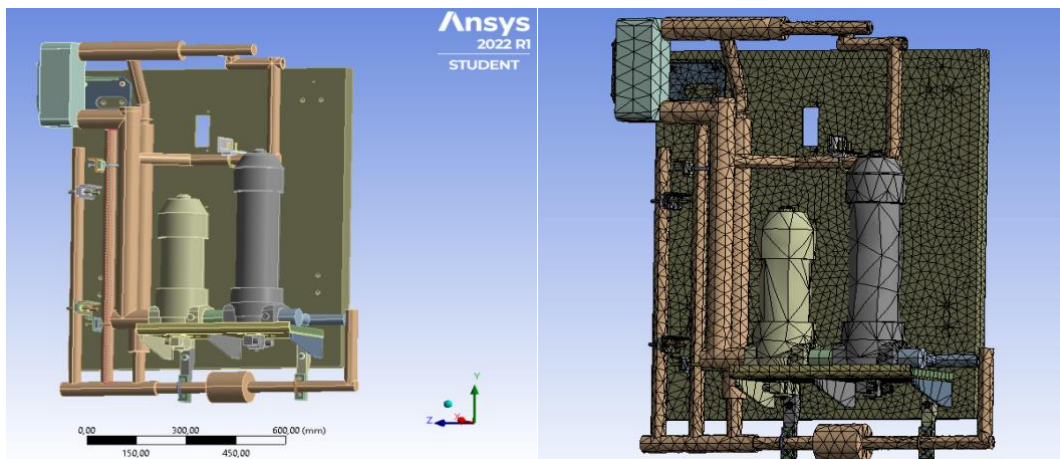
23mm mesh användes på samtliga tavlor

34-35mm mesh på rören

100mm mesh på filtren

50mm på värmeväxlaren

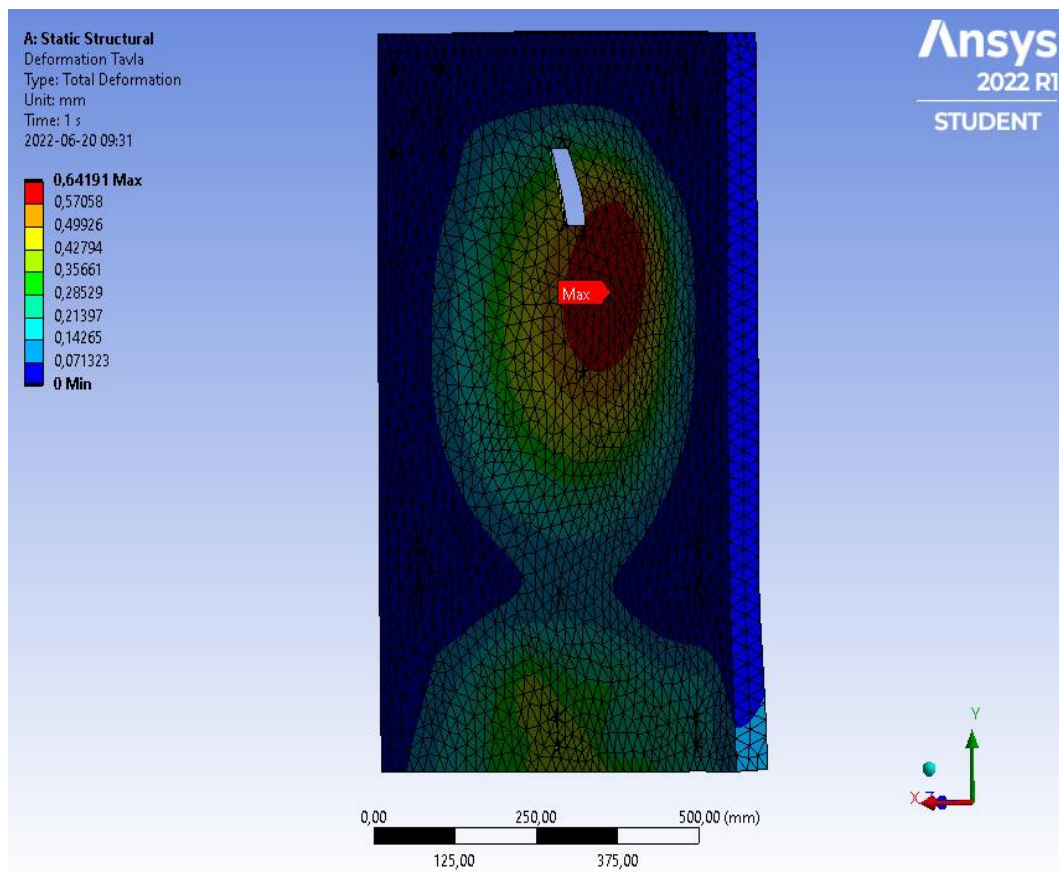
60mm på övrigt



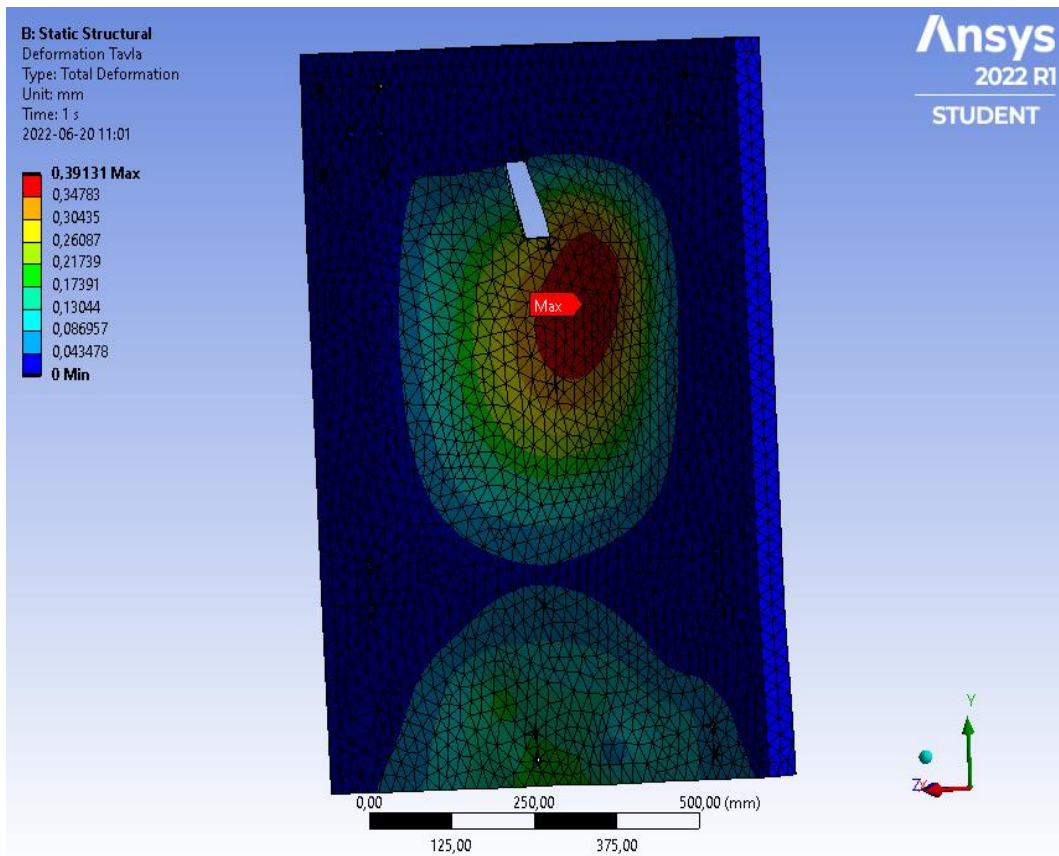
Figur 4.6: Förenklad version av komponenterna utan och med mesh

Tabell 4.5: Resultat Analys 2

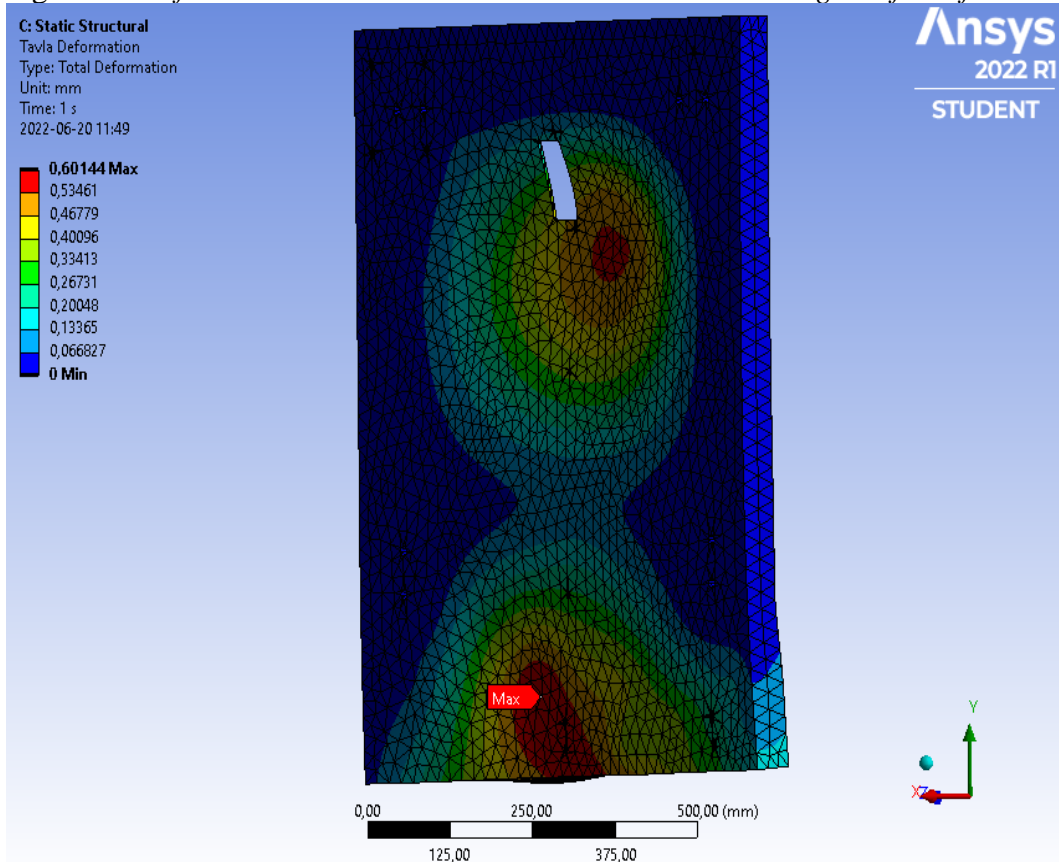
Analys 2	Accelerationsriktning	X	Y	Z	Negativ X	Negativ Y	Negativ Z
Original tavla Vikt: 76,693 kg	Max deformation (mm)	0,64191	0,50754	0,383	0,6558	0,41538	0,40316
	Max von Mises stress (MPa)	125,66	115,77	96,172	116,23	94,749	100,18
	Säkerhetsfaktor mot sträckgräns	2,825	3,066	3,691	3,054	3,747	3,544
Simplifierad Tavla Vikt: 120,91 kg	Max deformation (mm)	0,39131	0,23375	0,25482	0,3951	0,1913	0,26201
	Max von Mises stress (MPa)	99,21	89,217	63,917	112,61	73,016	61,46
	Säkerhetsfaktor mot sträckgräns	3,578	3,979	5,554	3,152	4,862	5,776
Modifierad Tavla Vikt: 70,606 kg	Max deformation (mm)	0,60144	0,5118	0,34995	0,55729	0,41886	0,41428
	Max von Mises stress (MPa)	154,43	142,24	115,01	132,36	116,41	140,83
	Säkerhetsfaktor mot sträckgräns	2,299	2,496	3,087	2,682	3,050	2,521



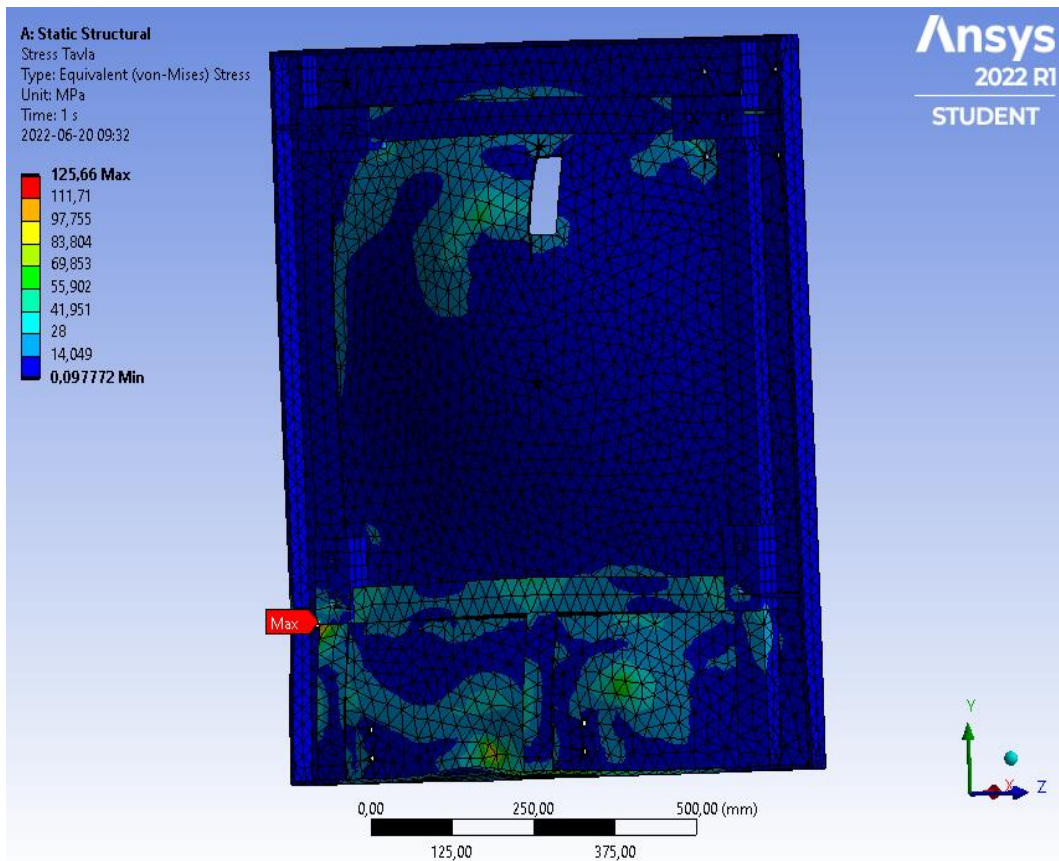
Figur 4.7: Deformation av modell 1 vid acceleration i X-riktning sett framifrån



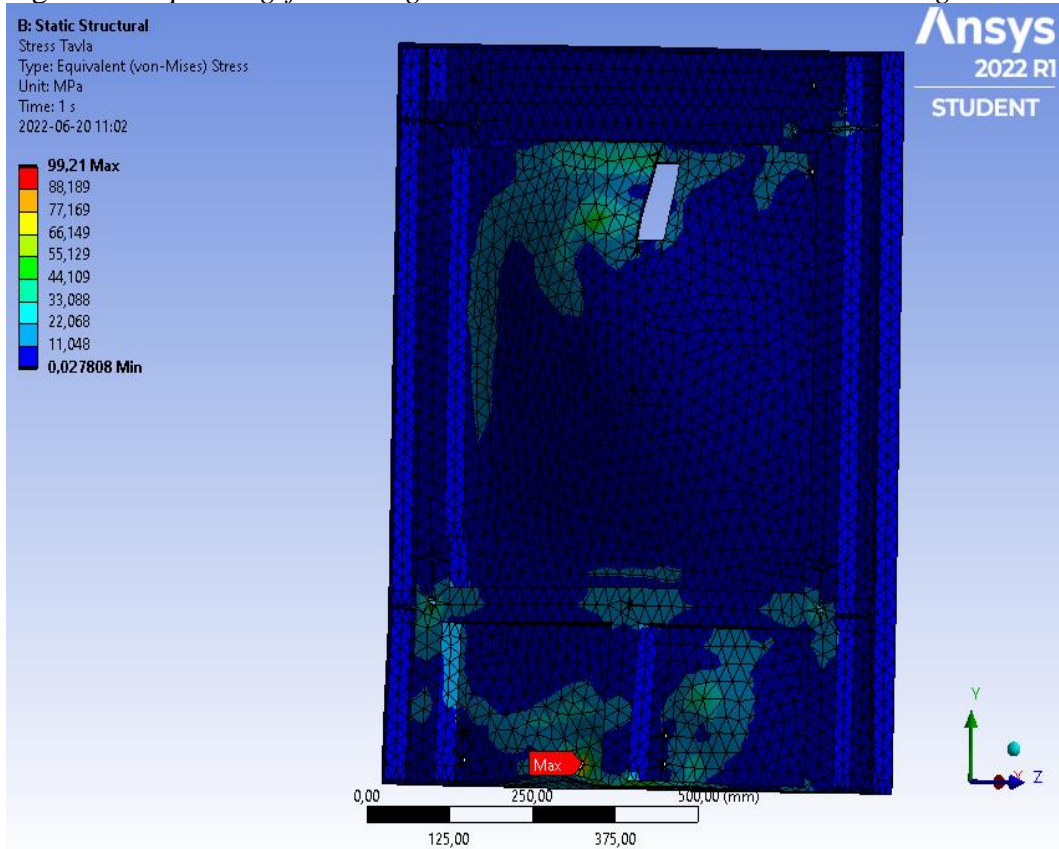
Figur 4.8: Deformation av modell 2 vid acceleration i X-riktning sett framifrån



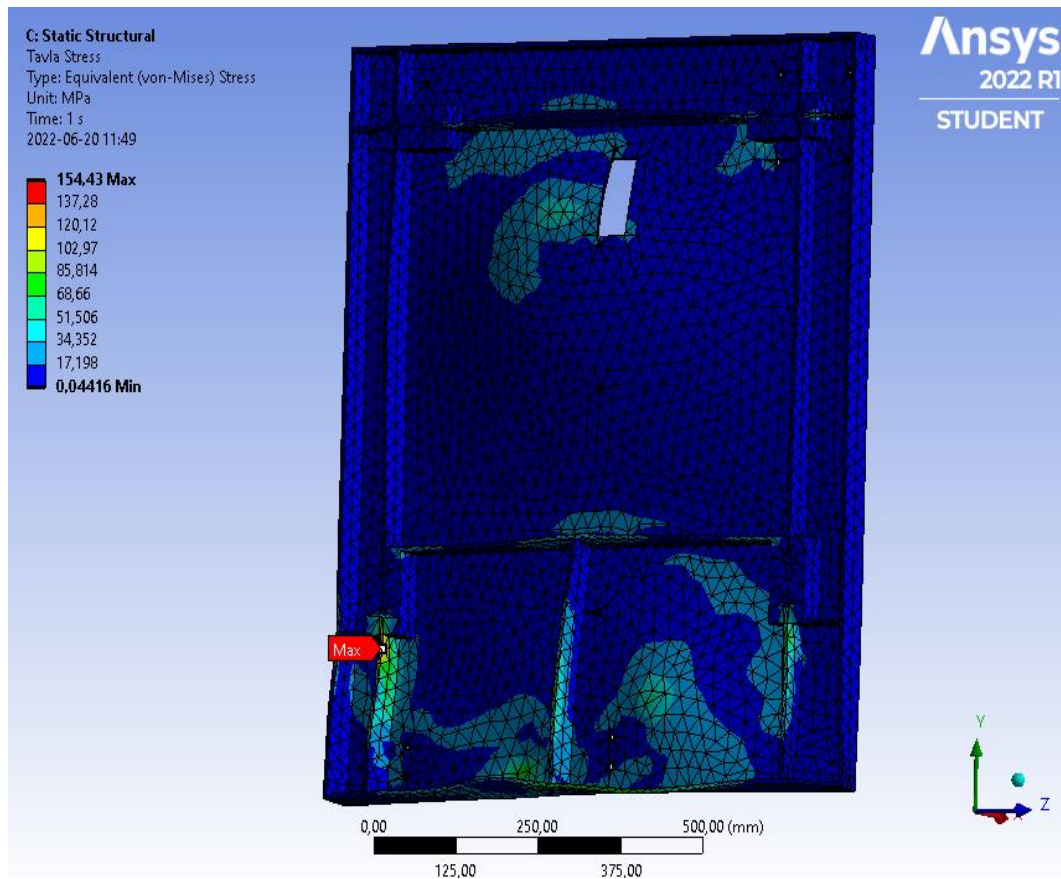
Figur 4.9: Deformation av modell 3 vid acceleration i X-riktning sett framifrån



Figur 4.10: Spänningsfördelning av modell 1 vid acceleration i X-riktning sett bakifrån



Figur 4.11: Spänningsfördelning av modell 2 vid acceleration i X-riktning sett bakifrån



Figur 4.12: Spänningsfördelning av modell 3 vid acceleration i X-riktning sett bakifrån

Modell 2 har tydliga minskningar i spänningar, men dess vikt är även drygt 44 kg tyngre.

Spänningarna ökade i samtliga riktningar hos modell 3, vilket antagligen beror på spalterna som är 6mm smala. Dock är deformationen för modell 3 mindre eller nästan lika stora som deformationerna för modell 1.

Tabell 4.6: Resultat från analys 2 modal modes, modell 1

	Mode	Frequency [Hz]
1	1,	58,944
2	2,	71,211
3	3,	75,07
4	4,	88,195
5	5,	112,69
6	6,	128,37
7	7,	144,5
8	8,	149,45
9	9,	163,63
10	10,	173,1

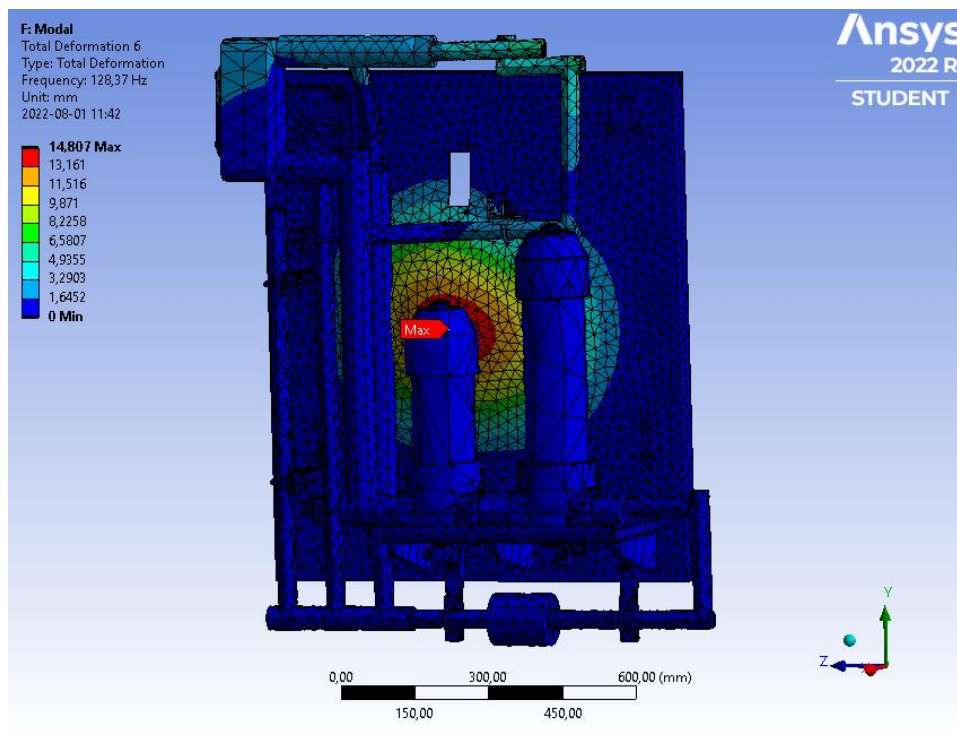
Tabell 4.7: Resultat från analys 2 modal modes, modell 2

	Mode	Frequency [Hz]
1	1,	62,169
2	2,	75,751
3	3,	91,093
4	4,	102,09
5	5,	120,19
6	6,	146,7
7	7,	153,17
8	8,	160,03
9	9,	172,35
10	10,	184,21

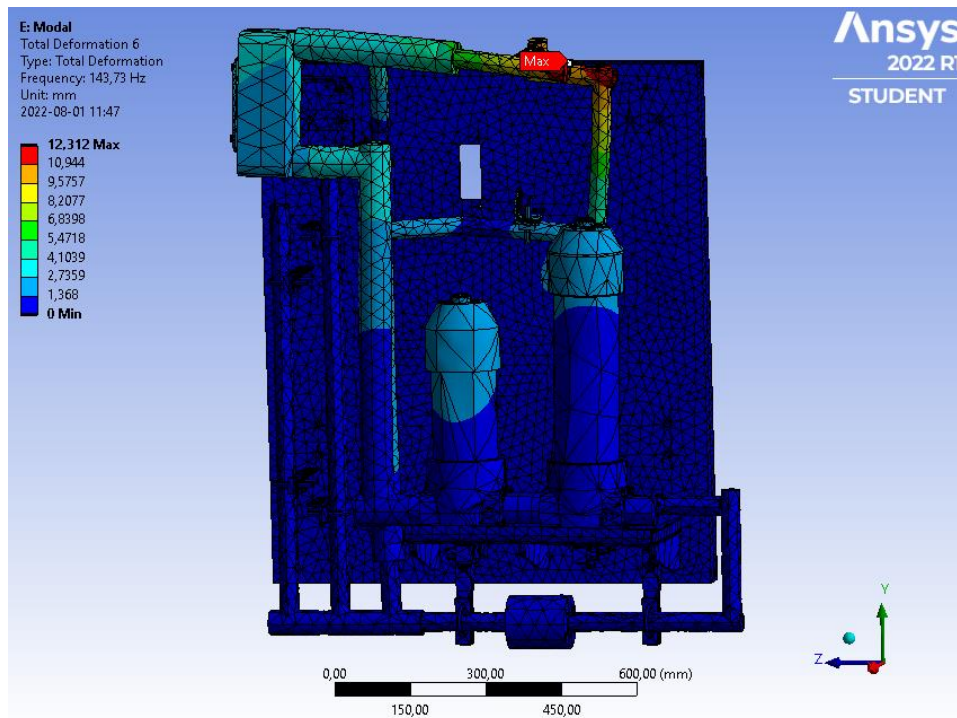
Tabell 4.8: Resultat från analys 2 modal modes, modell 3

	Mode	Frequency [Hz]
1	1,	56,76
2	2,	68,939
3	3,	69,879
4	4,	90,06
5	5,	108,87
6	6,	143,73
7	7,	148,5
8	8,	154,27
9	9,	166,31
10	10,	175,36

Deformationerna för samtliga modeller ligger mellan 3-15mm för deras 10 första resonansfrekvenser, där mode 6 är den största för modell 3. I modell 1 blev mode 6 också den största på 14,8mm men den svängde inte på samma sätt.



Figur 4.13: Modal mode 6 för modell 1 av tavlan



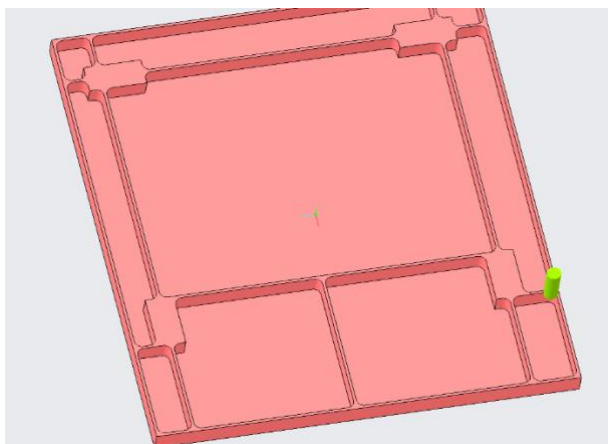
Figur 4.14: Modal mode 6 för modell 3 av tavlan

4.3 Fräsningsanalys i Creo

Arbetsstycket är lika stort som tavlans yttre mått:

- Längd: 1034,4 mm
- Bredd: 889,4 mm
- Djup: 56 mm

Dess vikt blev då 403,73 kg



Figur 4.15: Fräsningssimuleringen i Creo

Tabell 4.9: *Fräsningstider resultat*

Modell	Grovfräsning (min)	Hörnradie finshing (min)	Total (h)
Modell 2	145,9	5,22	2,51
Modell 3	171,2	5,22	2,94

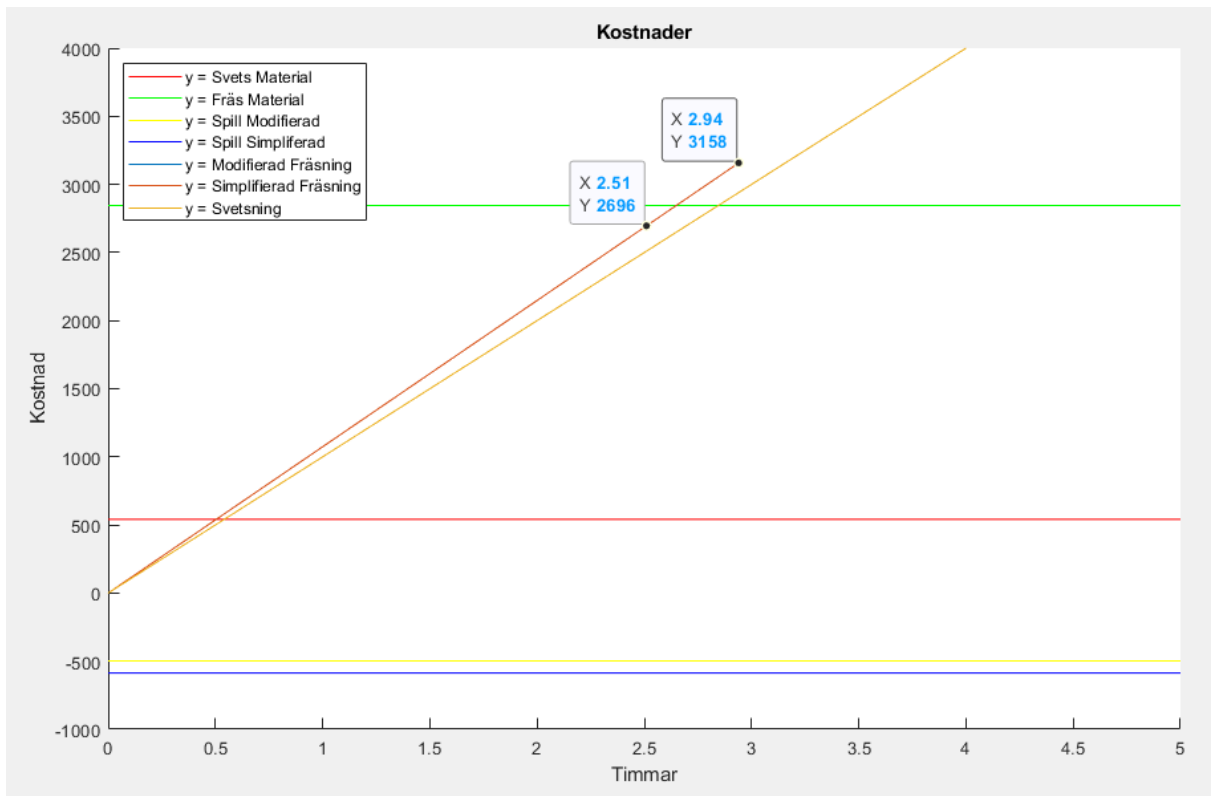
Tabell 4.10: *Bortfrästa volymer*

Modell	Volym (dm³)	Bortfräst volym (dm³)	Bortfräst volym (%)
Modell 2	15,43	36,09	70,1
Modell 3	9,01	42,51	82,5
Arbetsstycke	51,52	N/A	N/A

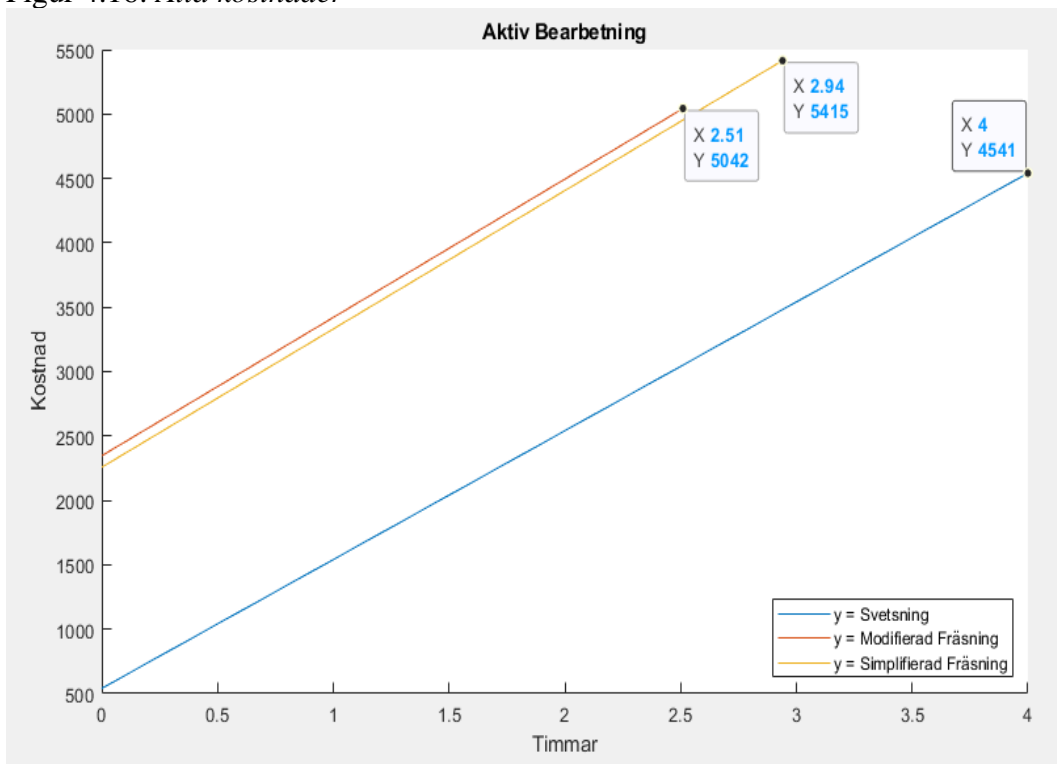
4.4 Kostnadsanalys

För att få en tydlig indikation på kostnader och lönsamhet över de två olika metoderna representeras dessa i ett diagram där man tydligt kan visualisera skillnaderna i kostnad. Diagrammen beskriver de två olika faserna aktiv bearbetning och preparationsfasen.

För att ge en tydligare visuell insikt på hur de olika kostnaderna har påverkat resultatet har alla kostnader presenterats i figur 4.16. Modifierad fräsning och simplifierad fräsning ger samma timkostnad och ligger därför proportionellt på varandra.

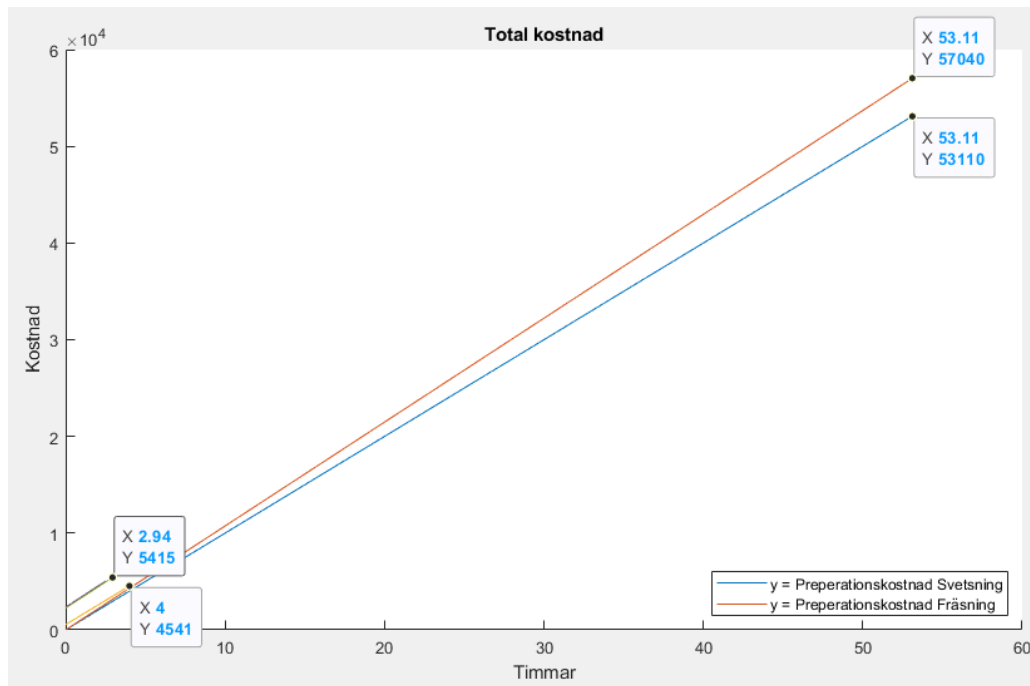


Figur 4.16: Alla kostnader



Figur 4.17: Kostnadsjämförelse under aktiv bearbetning

Den totala tiden då alla kostnader inklusive preparationstid tas i hänsyn, ges följande diagram:



Figur 4.18: Total kostnadsjämförelse

För att se den totala kostnadsskillnaden subtraherar vi bort differensen mellan den aktiva bearbetningskostnaden och respektive preparationstid som bearbetningen utförs på.

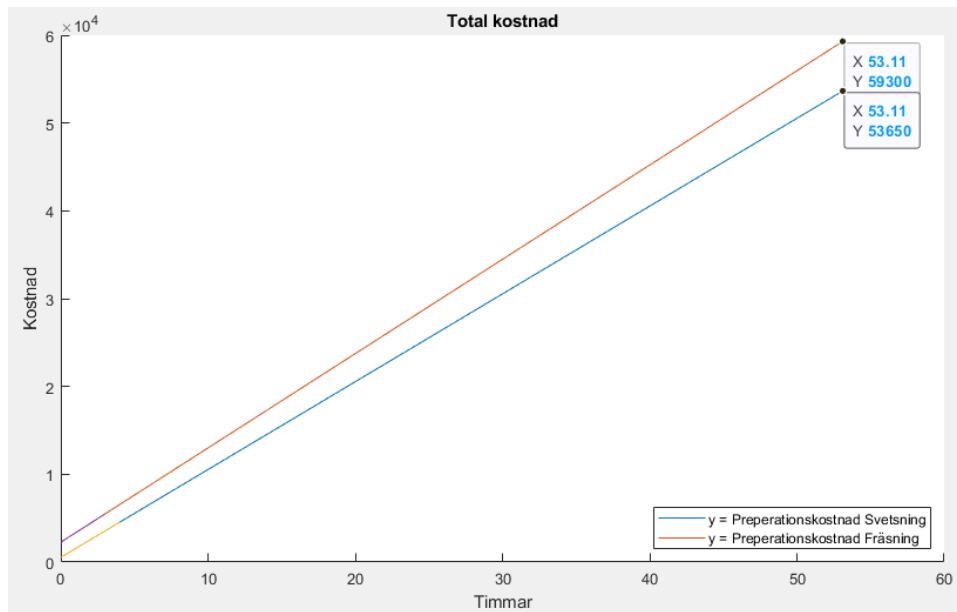
De totala kostnaden för fräsning ges då som:

$$57040 + (5415 - (1074 \cdot 2.94)) = 59297.44kr$$

Och den totala kostnaden för svetsning ger:

$$53110 + (4541 - (1000 \cdot 4)) = 53651kr$$

Vilket representeras i följande diagram:



Figur 4.19: *Total kostnad för produktionsmetoderna*

Genom detta resultat ser vi att fräsning utan medräknade ger en total kostnad som är 5643,44 kr dyrare jämfört med svetsning vilket ger en prisökning på 10,52%.

5. Diskussion

I detta kapitel kommer resultaten, metodernas fördelar och nackdelar, samt metodernas pålitlighet att diskuteras

Eftersom resultaten är tagna från en teoretisk framtagna metod kommer eventuella påverkningar så som materialdefekter, miljöpåverkningar, felaktiga materialegenskaper och liknande, att påverka det slutgiltiga resultatet vilket behöver diskuteras och värderas. Utöver dessa felfaktorer har även de program som används för beräkningar vissa begränsningar vilket avviker från det verkliga resultatet.

5.1 Modellförändringar

Sammanfattningsvis bestod designändringarna på ursprungstavlan av att L-profilerna gjordes om till rektangulära spalter, de bockade kanterna gjordes om till vinkelräta kanter och infästningsblockens djup minskades. De rektangulära spalterna hade varierande bredd och positionering mellan modellerna. Bredden av spalterna var givetvis den avgörande parametern till vikten hos modellerna.

Tyvärr kunde inte modell 1 analyseras med de bockade kanterna från ursprungstavlan. Resultaten blev mindre realistiskt hos testerna i Ansys Mechanical, men det ansågs också att det är främst först styrningsprofilernas utseenden som påverkade resultaten mest i hållfasthetstesterna.

Anledningen till att infästningsblocken gjordes grundare är att det sparar oerhört mycket material vid fräsning. De ursprungliga fästningsblocken var 10mm djupare än övriga profiler, inklusive väggarna, vilket innebär att man vid fräsning skulle behöva utgå från ett arbetsstycke som är 10mm djupare. Ett 10mm djupare arbetsstycke där allt fräses ner förutom 4 väldigt små ytor hade inneburit mycket onödigt arbete, samt materialspill.

Tavlans totala djup hos modell 2 och 3 blev därmed 56mm. Enligt Saab kommer förminskningen av infästningsblockens djup påverka uppfästningen av tavlan i fordonet, men det skulle kunna lösas genom användning av distanshylsor. Om det dock visar sig att arbetsstycket som skulle köpas in för fräsning är minst 66 millimeter, och djupet över 56 millimeter inte kapas innan fräsningsoperationerna, så kan man lika gärna behålla infästningsblockens original djup.

5.2 Strukturella påverkningar

Detta delkapitel diskuterar resultat, fördelar, nackdelar och pålitligheten för den strukturella analysen som utfördes i Ansys Mechanical.

5.2.1 Resultat

För att möjliggöra en ingenjörsmässig slutsats antogs den ursprungliga tavlan uppnå kraven för deformation och spänning med god marginal. Resultatet från modell 3 jämfördes därför med den ursprungliga tavlan för att undersöka eventuella avvikelser.

Resultaten av analys 1 och 2 visar att det var betydelsefullt att en andra analys utfördes, där den simplifierade versionen av rör och komponenter inkluderades. Detta eftersom analys 1 visar att modell 1 är svagare än modell 3, men med rör och komponenter blev modell 3 svagare än modell 1. Böj momenten som tavlan påverkades av från accelerationen och självtyngden hos komponenterna påverkade modell 3 mer än modell 1, vilket inte syntes i den första analysen.

Utifrån detta är det mest relevant att diskutera analys 2. Det syns tydligt att spänningarna ökade för samtliga riktningar hos modell 3 jämfört med modell 1, dock ökade inte deformationen något avsevärt. Det observerades att modell 3 var drygt 6 kg lättare än modell 1, medan modell 2 var drygt 42 kg tyngre. Modell 2 hade avsevärt bättre hållfasthet än modell 3 men dess viktökning var alldeles för stor.

Då i princip enda skillnaden mellan modell 2 och 3 är bredden och placeringen av förstyrningsspalterna, kan det antas att de är parametrarna som styr tavlans hållfasthet i detta fall. Vid behov finns därmed 6kg tillgodo att utföra en strategisk breddning och omplacering av dessa spalter. I testet med modell 3 verkade de vertikala spalterna i nedre delen av tavlan vara de mest utsatta, så det rekommenderas att dessa prioriteras vid breddning av spalterna.

När det kommer till modalanalyserna blev resultaten mellan tavlorna ganska lika varandra, för både analys 1 och 2. Samtliga resonansfenomen uppstår på mycket låga frekvenser. Frekvenserna i sig gav inte mycket information utan det är deformationerna som uppstod av de som är de viktigaste. Alla fall av resonans gav deformationer mellan 3-15mm, där den största deformationen skedde hos modell 1 var cirka 2 millimeter större än den största deformationen hos modell 3. Detta bör tolkas att som att modell 3 är minst lika stabil mot resonanssvängningar som modell 1.

5.2.2 Fördelar/nackdelar

I strukturellt skydd mot spänningar är modell 1 och 3 nästan jämbördiga. Modell 3 är aningen sämre men antas nå upp i minst lika bra spänningsbelastning om de "sparade" 6kg från viktminskningen skulle utnyttjas för breddning av spalterna. Det är alltså ingen av modellerna som sticker ut när det gäller denna aspekt.

Om man tittar på materialets egenskaper hos de båda metoderna så har fräsningen en klar fördel, eftersom svetsningen utförs vid mycket högre temperaturer. Som beskrivits i kapitel 2.1, finns det en risk för att materialets egenskaper påverkas negativt av att det värms och kyls. Det bildas värme vid fräsning också, men inte till nivåer som gör att materialet smälter.

5.2.3 Rimlighet och felfaktorer

För att det skulle vara möjligt att göra en tämligen realistisk strukturell analys med studentlicensen för Ansys krävdes att den ursprungliga tavlans detaljer simplificerades eller togs bort. Rören, komponenter och infästningar innehöll en stor mängd detaljer och separata delar, vilket gjorde att det valdes att skapa en liknande simplificerad modell för rören med ungefär samma vikt. Resterande detaljer som ej påverkade tavlan strukturellt togs bort. Detta gjordes på grund av tidsbrist och för att en exakt analys av tavlan ej var möjlig då lastfallen som användes ej var exakta. Att rören simplificerades innebär att resultat från dessa analyser inte stämde överens med verkligheten utan användes endast för att jämföra avvikelser mellan de olika versionerna av grundplåten. Detta ansågs mer realistiskt än att jämföra modellerna av tavlan mot varandra utan dess komponenter.

Meshen som valdes i Ansys har stor påverkan på de presenterade resultaten. En mindre storlek på meshen gör att objekten består av fler element och noder. Då resultaten baseras på genomsnittliga värden mellan elementen är det större chans att en liten storlek på meshen hittar spänningskoncentrationer. Eftersom arbetet handlar om tavlan och inte dess komponenter, var det prioriterat att ge tavlan en så liten mesh som möjligt, då det skulle spegla ett så realistiskt resultat som möjligt. På grund av många detaljerade komponenter (som krävde en viss mesh-storlek för att analysen skulle funka), i kombination med studentlicensens begränsningar, blev inte den använda meshen önskvärt liten. Då modell 2 och 3 analyserades med samma storlek på meshen och jämfördes relativt modell 1, borde inte ovanstående problem påverka jämförelsen av tavlorna emellan, men resultaten för sig själva blev antagligen inte tillräckligt realistiska. Det som inte syntes är de höga värdena hos spänningskoncentrationer som uppstod, men samtidigt hade Saab meddelat att spänningskoncentrationer kan oftast bortses ifrån vid spänningsanalyser av tavlur.

Det är viktigt att observera att Ansys Mechanical, som många andra datorprogram som används för strukturella analyser, endast grundar sig i approximationer av verkligheten. Det kan därför inte ersätta verkliga tester helt och hållet. Då Ansys Mechanical utnyttjar sig av finita elementmetoden beror precisionen av dess approximerade resultat främst på meshens storlek. Detta eftersom resultatet brukar presenteras som genomsnitt av flera noder, och ju fler noder meshen innehåller desto mer rätt blir detta genomsnittliga värde.

En annan felkälla hos analysen i Ansys jämfört med verkligheten är att materialens egenskaper hämtades från Granta EduPack. Det är inte säkert att standardvärdena där stämde överens med hur materialet reagerar i verkligheten. I analysen blir det heller ingen skillnad mellan materialegenskaperna mellan modell 1 och modell 3, medan det sen tidigare diskuterats om att svetsning kan påverka materialegenskaperna negativt.

Modalanalysen i analys 2 är inte helt pålitlig på grund av de modifierade utseendet på komponenterna. Det är inte säkert att originalutseendet skulle påverkats på samma sätt vid frekvenserna i resultatet.

5.3 CAM-analys

I detta delkapitel diskuteras resultat från fräsningssimuleringen i Creo Parametric CAM, samt simuleringens pålitlighet.

5.3.1 Resultat

Både modell 2 och 3 valdes att analyseras i fräsningssimuleringen, även fast modell 2 inte är en modell som kommer tillverkas. Detta för att tidsskillnader i fräsning mellan de olika volymerna skulle åskådliggöras. Det visade sig att det inte skiljde sig särskilt mycket mellan dem med endast en skillnad på 25,3 minuter. Det bör alltså vara billigare att fräsa modell 2, och det ger mindre spill, men den väger också 42 kg mer. 25 fler fräsningsminuter är en marginell skillnad i jämförelse med att öka vikten med 42 kg i användning av tavlan.

Verktygsanvändningen spelar stor roll på både tid och kostnad. Arbetet valde att använda sig av halva verktygsdiametern vid förflyttning i sidled. Om man hade använt hela verktyget skulle fräsningstiden minska, men samtidigt skulle slitningen på verktyget öka.

5.3.2 Rimlighet/felfaktorer

Programmet som användes för att genomföra fräsningsanalysen har ett flertal olika faktorer som kan ha påverkat resultatet.

Programmet analyserade volymskillnaden mellan en "workpiece" och modellen i fråga för att beräkna förväntad tid. Det går även att ställa in vilket mönster som programmet kommer att arbeta med. Det finns ett antal olika mönster som är olika bra vid olika tillfällen. Då majoriteten av den volym som fräs för denna tavla är ett solitt block kommer detta mönster ej att påverka fräsningstiden något markant. Fräsningsmönster är mer relevant att kolla då ett mer komplext mönster ska fräsas ut.

Resultatet på den totala tiden av fräsningsoperationerna verkade ganska snabbt. Parametrarna som påverkar tiden mest är fräsningshastigheten och fräsningsdjupet. Fräshastigheten var en konstant som var given av Saab medan fräsningsdjupet antog ett värde utifrån en standardformel från Creo. Denna formel är 0,1 gånger verktygets diameter, det vill säga ett ganska litet skärdjup.

Det var inte helt tydligt i Creo vilka enheter som skulle användas för fräshastigheten och det finns en möjlighet till att fel uppstått där som orsakat den mycket snabba frästiden. Det tolkades att Creo ville ha värdet i mm/min vilket för 0,35 m/s blir 21 000 mm/min. Om Creo skulle vilja haft det i mm/s skulle det värdet vara 350 mm/s. Vid experimentering av värden omkring detta område hamnade totala tiden på 15+ dygn, vilket kändes mer orimligt än den korta tiden på ungefär 3h.

Då en del parametrar för fräsningsoperation inte fanns tillgängliga så är resultatet från Creo inte så pålitligt som önskats. Bland annat uppskattades värdena för verktygets rotationshastighet och skärdjupet via Creos programstandarder, där det inte heller fanns någon förklaring varför dessa formler användes. Vid experimentering av olika värden på rotationshastigheten påverkades inte tids-resultatet som gavs av programmet. Skärdjupet testades inte med olika värden, men dess värde har stor påverkan på resultatet. En utbildad CNC-operatör skulle med stor sannolikhet kunna optimera fräsoperationen ytterligare.

5.4 Tider och kostnader

I detta delkapitel diskuteras resultaten angående kostnader och tider.

5.4.1 Resultat

Den simulerade fräsningstiden är lite snabbare än de estimerade 3–4 timmar för bågtiden hos tavlans baksida. Den största tiden av processerna går åt för prepareringen för operationerna. Ca 48h används till prepareringen av svetsningen, det vill säga mer än en arbetsvecka på 40h. Den totala tiden för preparerande operationer för fräsning kunde inte tas fram då det kan skilja sig väldigt mycket från en operatör till en annan. Tid kommer gå åt för att skapa CNC-koden för operationerna, men när den är klar kan den återanvändas, eller modifieras för eventuella ändringar hos tavlans utseende. Simuleringen som skapades i detta arbete för uppskattning av tiden, tog mycket mindre tid än 48h att skapa. Det vill säga att en person som jobbar som CNC-operatör för fräsmaskinen, bör klara av det på ännu kortare tid.

Om tavlan tas fram med fräsning består den endast av en enda del, jämfört med svetsningen. Det vill säga att de preparerande operationerna för svetsningen behöver hantera och transportera fler delkomponenter än fräsningen, vilket troligtvis innebär att fräsningens prepareringstid är kortare i denna aspekt.

Det som påverkar kostnaderna mest är:

- Preparationstid

Den största faktorn som påverkar kostnaden är preparationstiden. Då driftkostnaderna är mycket lika varandra, och bågtiden och fräsningstiden nästan är samma, beror skillnaden i kostnader främst på hur lång tid som behövs för att preparera fräsningen. Exempelvis om preparationstiden skulle vara 28h för fräsningen skulle 20 000 SEK sparas jämfört med svetsningen. En skillnad som denna skulle i princip göra övriga kostnader irrelevanta.

- Materialkostnaden

Den andra stora faktorn till kostnaden är inköpskostnaden av materialet. Det går åt mycket mer material vid fräsning jämfört med svetsning på grund av det djupa arbetsstycke som behövs. Arbetet antog att materialkostnaden för svetsningen är lika med exakt den mängd material som behövs för originaltavlan volym. Antagligen köps mer material in än vad som faktiskt används, men till skillnad från fräsningen så kan materialet som blir över användas till kommande konstruktioner. För fräsningen försvinner ca 82,5% (modell 3) av det inköpta materialet som spill i form

av metallspån, som inte Saab själva kan återanvända. Dock så kan de sälja spillet till Stena Recycling

Det har inte specificerats vilka tjocklekar på arbetsstycken av materialen som Saab har möjlighet att anskaffa, och därför beräknades arbetsstyckets kostnad utifrån yttre måtten av tavlans. Det vill säga att det är en minimumkostnad av materialet som presenteras. Då materialkostnaden hämtades hos Granta EduPack och inte utifrån den leverantör Saab Kockums AB beställer från, är det inte säkert att priserna är exakta heller.

Både fräsningen och materialkostnaden utgick från att arbetsstycket är så litet som möjligt. Ett större arbetsstycke skulle alltså ge högre materialkostnad och längre fräsningstid.

Eftersom preparationstiden estimeras vara lika över det olika metoderna måste detta tas i hänsyn då denna uppskattning inte stämmer överens med verkligheten. Eftersom skillnaden i kostnad mellan de olika metoderna skiljer 10,5% så motsvarar en total preparationstid för fräsning på ungefär 5,25 timmar. Detta är alltså en minskning på ca 9,9% i total tid för fräsning. Skulle det därför visa sig att preparationstiden för fräsning är minst 10% kortare än svetsningens preparationstid, så kommer fräsning att bli lönsamt.

I detta arbete antogs fräsmaskinen redan finnas på företaget, och därmed behövdes inte dess kostnader räknas med i analysen. Detta är en avgörande faktor till resultatet eftersom det är en enorm kostnad att köpa eller hyra in nya maskiner. Om fallet skulle varit att en maskin skulle behövtas köpas, skulle det antagligen inte vara värt att byta till fräsning på grund av den lilla volym av tavlor som tillverkas.

5.4.2 Aspekter som inte togs hänsyn till och dess påverkningar

- Operationer som försvinner

Av de operationer som existerat för tavlans enligt tabell 2.1, så kan det finnas fler som ersätts av fräsningen än endast "svetsning och häftning". Bland annat försvinner även bockningen av plåten, men eftersom det inte finns någon information om hur mycket dessa processer kostar har de inte tagits med i beräkningarna. Det innebär att det finns mer kostnader som fräsningen sparar in gentemot svetsningen, men som inte syns i arbetets resultat.

- Verktygskostnad mot argonkostnader

Saab hade angivit ett uppskattat värde på verktygskostnaderna för fräsningen. Det hade även angivits att 3000 liter argon går åt vid svetsning av tavlans, men enligt Saab Kockums AB var det inte relevant att räkna på detta. Då verktygskostnaderna endast är ett uppskattat värde från Saab, som inte med säkerhet stämmer överens med arbetets fräsningssimulering, försumrades dessa kostnader. Även andra hjälpmedelskostnader som exempelvis eventuellt kylmedel vid fräsning försumrades. Det innebär givetvis att vissa externa kostnader som kan uppkomma i verkligheten, saknas i analysen.

- Maskinernas driftkostnader i form av el

Det fanns ingen given information om vare sig svetsmaskinen eller fräsmaskinens

elförbrukning och därför kunde inte denna aspekt tas hänsyn till. Vid jämförelse av liknande maskiners förbrukning verkar dock elkostnaden i detta fall var liten relativt övriga kostnader. Detta på grund av de korta maskintiderna och att en tavla inte är en produkt som massproduceras.

5.5 Externa påverkningar mellan metoderna

Detta delkapitel diskuterar skillnaderna i anpassbarhet och hanterbarhet för fräsning jämfört med svetsning, samt även hur den mänskliga faktorn påverkas.

5.5.1 Hanterbarhet och Anpassbarhet

Hanterbarhet kan definieras som hur enkelt eller svårt det är att hantera maskiner och förflyttning av material för en viss metod. Anpassbarhet definieras som möjligheten att ändra upplägget eller design av en tavla under aktiv produktion.

Fräsningen ger utmaningar i form av utrustning och transporter. Eftersom fräsning kräver en mycket större materiemängd måste därför hantering av detta material kräva ytterligare metoder och maskiner då tyngden som hanteras ej går att bära manuellt. Det krävs även storskaliga fräsningsverktyg för att möjliggöra fräsning med dessa dimensioner vilket kommer att ta upp stora ytor och kräva expertis för att hantera. Jämfört med svetsning har fräsning mycket liten anpassbarhet, när produktionen väl har börjat är det mycket svårt att göra förändringar. Det positiva med detta är att det går att uppnå en väldigt god tolerans upp till 0,2 mm och kan därför skapa detaljer med stor precision.

Om man skulle välja att även fräsa fram infästningsdetaljerna på tavlans framsida, kommer den totala mängden material att öka proportionellt med den totala höjden av detaljen. Vad som menas med detta är alltså vid en liten detalj av bredd 20mm som krävs på tavlans front kommer den ursprungliga volymen av arbetsstycket innan fräsning att behövas ökas med 20mm i djup. Vid en tavla av dimensionerna 1000x600 i millimeter skulle detta betyda en ökning på 0.6 dm³ per millimeter, vilket snabbt kan leda till väldigt stora arbetsstycken och stora materialspill beroende på storlek av detaljerna. Utöver detta krävs varje detalj att digitalt förberedas innan fräsning vilket ger en proportionell ökad tid som krävs för preparation vid varje tillagd detalj.

5.5.2 Mänskliga faktorn

Vid jämförelse av rent funktionella skillnader mellan de olika metoderna kan man få ett antal slutsatser hur de olika produktionsmetoderna påverkar produkt och arbetsmiljö. Den största skillnaden mellan de olika faktorerna är övergången från en manuell till en automatiserad metod. Eftersom svetsning som metod kräver mycket manuellt arbete och preparation så är det ett mycket mer fysiskt påfrestande arbete. Ur ett ergonomiskt synsätt slits fysiskt därför svetsning mer på dem anställda jämfört med fräsning vilket skapar en skadlig arbetsmiljö och kan leda till permanenta arbetsskador. Utöver detta måste den mänskliga felfaktorn tas i hänsyn. Eftersom svetsning är ett mycket manuellt arbete kan det leda till mänskliga fel i form av feltoleranser, felläsning av ritning, felaktigt utfört arbete och skadat material. Den

mänskliga faktorn kan däremot ge fördelar som ingen annan produceringsmetod kan ha nämligen att vara mycket anpassbar vid förändringar av en produkt.

5.6 Miljöpåverkningar och hållbarhet

I miljösynpunkt så har fräsningen en fördel mot svetsningen. Det har inte utförts någon livscykelanalys av metoderna men som det beskrivits i kapitel 2.2 bildas svetsrök som innehåller giftiga gaser. Det har inte tagits fram någon info om exakt vad som händer med de 3000 liter argon som går åt, men antagligen bidrar det till de gaser som bildas av svetsningen. Samtidigt orsakar ej fräsmaskinen några utsläpp över huvud taget. Det som spills vid fräsning är metallspån, men detta säljs som tidigare nämnts till Stena Recycling AB, som kan återvinna metallen. Hur denna återvinning är genomförd är inte undersökt men det kan potentiellt ha skadliga miljöpåverkningar.

Det fanns ingen info om exakta siffror på energiförbrukning hos fräsmaskinen kontra svetsaggregatet, men med tanke på fräsmaskinens storlek och det jobb den utför kan det antas att den drar mer energi. Då maskinerna bara jobbar aktivt på tavlan i några timmar, samt att tavlor ej massproduceras, blir energiförbrukningen i miljösynpunkt näst intill irrelevant i förhållande till skillnaden i utsläpp mellan metoderna.

6. Slutsats

Den slutgiltiga slutsatsen som framtagits ger en tydlig indikation på att båda metoder har sina styrkor och nackdelar. För att få en överblick över metodernas för- och nackdelar skapades tabellerna nedan, som visar vilken metod som är bäst i olika aspekter av produktionen:

Tabell 12: Resultat av produktionsmetoderna

Kategori	Fräsning	Svetsning
Kostnad	59 300 kr	53 650 kr
Tid	2,94 tim	4 tim
Vikt	70,6 kg	76,7 kg

Tabell 13: Aspekter mellan produktionsmetoder

Kategori	Fräsning	Svetsning
Operationskostnad	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Operationstid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tolerans	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Materiell hållfasthet	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Miljö	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ergonomi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hanterbarhet	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Anpassbarhet	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Om vi jämför de slutgiltiga resultaten kan vi se att fräsningen har större andel fördelar över flera olika kategorier förutom hanterbarhet, anpassbarhet och kostnad.

Vår ingenjörsmässiga rekommendation är att det inte är lönsamt att byta produktionsmetod från svetsning till fräsning, främst med tanke på den omstrukturering som behövs i förhållande till det antal tavlor som tillverkas. Det krävs en 9,9% minskning av fräsningens preparationstid för att matcha svetsning i total kostnad. Däremot skulle ytterligare utrustning och omstrukturering av produktionsmetod behövas vilket kommer leda till högre kostnader och därmed ett större krav på tidsminskning än 9,9%. Ett fall då ett metodbyte skulle kunna vara lönsamt är vid fallet att mänskliga fel påverkar produktionen till en sådan grad att svetsning är mycket dyrare än förväntat.

Utöver lönsamhet beror det slutgiltiga valet på vad Saab Kockums AB prioriterar hos produktionen av tavlan. Om tolerans, ergonomi, kortare aktiv bearbetningstid och miljöpåverkan prioriteras över kostnad och anpassbarhet för produkten kan det vara värt att byta. Detta är någonting som bör diskuteras.

7. Vidarearbetning

I detta kapitel diskuteras vad som hade kunnat vidareutvecklats i arbetet om det skulle funnits mer tid och resurser.

Eftersom denna slutsats har många antaganden, approximationer och påverkande faktorer kommer det krävas vidarearbetning och analyser inom flera områden innan ett exakt värde kommer att kunna framställas.

Eftersom digitala medel inte kommer att ge exakta värden är den enklaste metoden för utvärdering av fräsningens ledtid att genomföra bearbetningsmetoden praktiskt. Detta för att undersöka den exakta tiden det krävs preparation av fräsning, transportion av material och fräsning. Särskilt då preparationstiden är den mest avgörande faktorn till den totala kostnaden för fräsning.

Vid större produktion skulle det vara möjligt att effektivisera den totala operationstiden

Fokuset med denna analys var inte att optimera en fräs-bar modell av tavlan, vilket ger stora utrymmen till att förbättra modellen av tavlan. Detta är möjligt om vi kollar på den spänningsfördelning som genomfördes där vi kan se att det finns stora ytor på tavlan som knappt påverkades av spänningar. Detta indikerar på att det finns möjlighet att minska tjockleken av materialet eller produktutseendet vilket kan ge mindre vikt, bättre spänningsfördelning och eventuellt snabbare produktionstid. En analys av optimal fräsningshastighet, fräsningsmönster, verktygsanvändning och liknande faktorer skulle också påverka den slutgiltiga tiden som krävs för fräsning.

Materialet som används för den nuvarande produktionsmetoden, det vill säga bockning och svetsning, är specifikt utvalt för att passa dessa metoder. Då materialet i fråga kan ge andra egenskaper när det är fräst, kan det vara värdefullt att utföra en materialanalys för att se om ett annat material kan passa bättre, med optimerad densitet och elasticitetsmodul. Detta skulle kunna minska både vikt och kostnad för tavlan, eventuellt även ge nya modellmöjligheter.

I början av arbetet diskuterades det med Saab om att även detaljer som komponentinfästningar kunde fräsas och sedan fästas med skruvförband istället. Detta är någonting som inte undersöktes i detta arbete men är något som är värt att titta närmre på vid en vidareutveckling.

Den manuella svetsningen kan vara mycket påfrestande fysiskt för de anställda, det kan därför vara värt att göra en ergonomisk undersökning inom företaget hur den nuvarande svetsningsmetoden kan påverka dem anställda i längden och hur en övergång till fräsning kan lätta på dessa fysiska ansträngningar.

Referenser

Ansys. (u.å.). Ansys Granta EduPack. Hämtad 6 maj, 2022 från <https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack>

Ansys. (u.å.). Ansys Mechanical. Hämtad 6 maj, 2022 från <https://www.ansys.com/products/structures/ansys-mechanical>

Ashby, M., Shercliff, H., & Cebon, D. (2019). Materials: Engineering, Science, Processing and Design (4. uppl.). Elsevier

BE Group. (u.å.). S355J2+N. Hämtad 5 maj, 2022 från <https://www.begroup.se/produkter/stal/varmvalsad-plat/s355j2-n>

Dassault Systèmes. (u.å.). CATIA. Hämtad 6 maj, 2022 från <https://www.3ds.com/products-services/catia/>

Elshennawy, A. K., & Weheba, G. S. (Red.). (2015). Manufacturing processes & materials (5. uppl.). Society of Manufacturing Engineers (SME). <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpMPME0011/manufacturing-processes/manufacturing-processes>

Hakan (2020, 5 mars). CNC Milling: Difference between 2D – 3D and 4-axis machined parts. CNC Area. Hämtad 8 juni, 2022 från <https://en.cncarea.com/cnc-milling-difference-between-2d-3d-and-4-axis-machined-parts/>

Kemppi. (2022). Svetsning ABC. Hämtad 4 juli, 2022 från <https://www.kemppi.com/sv/support/svetsning-abc/>

Kemppi. (2022). Säkerhet vid svetsning. Hämtad 4 juli, 2022 från <https://www.kemppi.com/sv/support/svetsning-abc/sakerhet-vid-svetsning/>

Kemppi. (2022). TIG-svetsning. Hämtad 4 juli, 2022 från <https://www.kemppi.com/sv/support/svetsning-abc/tig-svetsning/>

Linde Gas AB (u.å.). Handbok om skyddsgas. Hämtad 8 juli, 2022 från https://www.linde-gas.se/sv/images/Handbok%20om%20skyddsgaser%20SE_Web_tcm586-138869.pdf

Mazak. (2022). VTC-800/20SR [Produktblad]. Hämtad 14 juni, 2022 från <https://www.mazakeu.co.uk/machines/vtc-800-20sr/>

PTC. (u.å.). Creo CAM Software. Hämtad 6 maj, 2022 från <https://www.ptc.com/en/technologies/cad/cam-software>

Saab (u.å.). Organisation. Hämtad 22 april, 2022 från
<https://www.saab.com/about/company-in-brief/organisation>

Saab (u.å.). History. Hämtad 22 april, 2022 från
<https://www.saab.com/sv/markets/sweden/om-saab-i-sverige/var-historia>

Sandvik Coromant (u.å.). Vad är framgångsrik fräsning?. Hämtad 20 Maj från
<https://www.sandvik.coromant.com/sv-se/knowledge/milling/pages/default.aspx>

Smyth, D. (2022). CNC machining Milling steel and throwing chips clear [Fotografi].
Unsplash <https://unsplash.com/photos/Hv0Mo>

SSAB. (u.å.). Kantböckning. Hämtad 2 juni, 2022 från
<https://www.ssab.com/sv-se/services/processing-services/press-bending>

Stockholm TT (2014, 29 juni). Saabs köp av Kockums oväntat billigt. SvD Näringsliv.
<https://www.svd.se/a/71b6f07c-6e13-395c-b7a5-fb080aa7c520/saabs-kop-av-kockums-ovantat-billigt>

Ufab. (u.å.). Fräsning. Hämtad 30 juni, 2022 från
<https://www.ufab.se/sv/erbjudande/frasning/>

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH
MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se



CHALMERS