

# Modulär infästning av ubåtsutrustning

William Erim

AVDELNINGEN FÖR PRODUKTUTVECKLING | INSTITUTIONEN FÖR  
DESIGNVETENSKAPER | LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA | LUNDS UNIVERSITET  
2021

---

EXAMENSARBETE



# Modulär infästning av ubåtsutrustning

Examensarbete

William Erim



**LUNDS**  
UNIVERSITET

# Modulär infästning av ubåtsutrustning

Examensarbete

Copyright © 2021 William Erim

*Publicerad av*

Institutionen för designvetenskaper

Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet

Box 118, 221 00 Lund

Ämne: produktutveckling (MMKM05),

Avdelning: Produktutveckling

Huvudhandledare: Glenn Johansson

Examinator: Damien Motte

# Abstract

This Master Thesis describes the study and evaluation of finding alternative solutions in design principles regarding the mounting of submarine equipment on mechanical structure. This study was carried out in collaboration with SAAB Kockums AB. They offered this study to simplify the mounting of equipment and enable shorter lead times in both the design phase as well as in the manufacturing and mounting phase.

A modern submarine uses a considerable amount of welded beams as the structure. This study focuses on platforms on which equipment are mounted on and then inserted into the hull of the submarine. The platform require a large number of shims of various thickness to fill gaps upon assembly of equipment on the platform. These gaps arise due to shape deviations as a cause of adding heat during manufacturing when welding the platform.

Through external and internal searches, including interviews and study of internal documents, a greater understanding of the circumstances causing these gaps to arise was achieved. The information gathered was analyzed and turned into needs of the problem.

By brainstorming solo and in session with engineers at SAAB Kockums solutions was found in the form of concepts. The concepts found was an adjusting screw, milling of the platform, a standard baseplate, adhesive and 3d-printing. Searches and analyzes of the concepts was conducted to find possibilities and difficulties with each concept. The adjusting screw and standard baseplate are recommended to be developed more, create a design and perform tests. In milling of the platform, there are multiple variants presented and possibilities within these. Adhesive and 3d-printing can be viable for bigger constructions in the future but they have good possibilities to be used in the smaller constructions today.

**Keywords:** Product development, shape deviations, submarine equipment, welding, mounting

# Sammanfattning

Denna exjobbssrapport beskriver en studie av alternativa lösningar i konstruktionsprinciper gällande infästning av ubåtsutrustning på mekanisk struktur. Den är gjord i samarbete med SAAB Kockums AB. Studien efterfrågades för att förenkla infästningen av utrustning och minska ledtiderna i designfasen såväl som tillverkning/infästningsfasen.

En modern stridsubåt består av en betydande mängd svetsade balkar i sin struktur. Denna studie fokuserar på plattformar som utrustning monteras på och sedan förs in i ubåtens skrov. Plattformen kräver en stor mängd shims av olika tjocklek för att fylla glipor som uppstår vid infästning av utrustning på plattformen. Dessa glipor uppstår på grund av uppvärmningen vid svetsningen av plattformen såväl utrustning som leder till formavvikelser.

Genom extern och intern sökning, inklusive intervjuer och studie av interna dokument, skapades en bild av de omständigheter som gör att glipor uppstår. Informationen som samlats analyserades och omvandlades till behov av problemet.

Genom brainstorming solo och i session med ingenjörer hos SAAB Kockums uppkom lösningar i form av koncept. De koncept som togs fram är: en justerande ställskruv, fräsning av plattformen, en standardbasplatta, limning och 3d-printning. Sökningar och analyser av koncept ledde till beskrivningar av möjligheter och svårigheter med varje koncept och förslag på hur de bör arbetas vidare med. Justerande ställskruv och standardplatta ges som lovande projekt att arbeta vidare med och få fram konkreta detaljkonstruktioner. Vid fräsning av plattform ges några varianter som kan väljas och vilka olika möjligheter det finns vid dessa. Limning och 3d-printning är framtidsberoende på det vis att det skulle kunna utvecklas till att bli mer användbart i större konstruktioner i framtiden men det finns goda möjligheter att användas i mindre konstruktioner redan idag.

**Nyckelord:** Produktutveckling, formavvikelser, ubåtsutrustning, infästning, svetsning

# Förord

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare vid Lunds Tekniska Högskola, Glenn Johansson, för engagemanget och stödet kring rapportens utformning och vägledning genom hela projektet.

Jag vill även tacka SAAB Kockums AB för möjligheten att utföra arbetet och möjligheten att vara på plats i Malmö. Tack till alla på SAAB Kockums som hjälpt till under arbetets gång och ett speciellt tack till mina handledare Alexander Andersson och Johan Johansson som har lärt mig allt jag kan om ubåtar och stöttat mig genom projektet.

Projektet har varit väldigt intressant och utmanat mig att hitta nya arbetsätt. Jag har fått mycket värdefulla erfarenheter som jag bär med mig i framtiden.

Lund, maj 2021

William Erim

# Innehållsförteckning

1		1
1	Inledning	9
	1.1 SAAB Kockums AB	9
	1.2 Problembeskrivning	10
	1.3 Syfte	10
	1.4 Disposition	11
2	Teori	12
	2.1 Produktutveckling	12
	2.2 Ulrich & Eppinger	12
2.2.1	Identifiering av kundbehov	13
2.2.2	Upprätta målspecifikationer	13
2.2.3	Konceptgenerering	13
2.2.4		
2.2.5	Konceptval	13
2.2.6	Slutlig produkt	13
2.2.7	Produktarkitektur	14
	Standardisering av komponenter	14
	2.3 Avgränsning	14
3	Metod	15
3.2.1	3.1 Anpassad produktutvecklingsmodell	15
3.2.2		
3.2.3	3.2 Datainsamling	15
	Intern sökning	15
	Extern sökning	17
	Studiebesök till Karlskronavarvet	17
	3.3 Data-analys	18
	3.4 Framtagande av lösningar	18

3.5	Utvärdering och test av urval av koncept	19
4	Problem med avvikelser i planhet vid infästning av utrustning	20
	Plattformen	20
	Utrustningen	25
	Montering av moduler på 3d-skannad plattform	28
4.1.1	Alternativa koncept för infästning av utrustning	30
4.1.2	5.1 Rådata från SK	30
4.1.3	Ubåtens utrymme och struktur	30
	Ubåtens belastningar och utrustning	31
5.1.1	Tolkning av rådata till lösningens behov	33
5.1.2	5.2 Konceptgenerering	35
5.1.3	Koncept 1 – Shims	35
5.2.1	Koncept 2 – Ställskruv med sfärisk bricka	37
5.2.2	Koncept 3 – Bearbetning plattform	43
5.2.3	Koncept 4 – Standardplatta	45
5.2.4	Koncept 5 Limning	46
5.2.5	Koncept 6 Användning av 3d-printing	47
5.2.6	6 Konceptval av reaktiva koncept	51
6.1.1	Förtydligande av Tabell 3	52
7	Test av urval av koncept	55
	7.1 Slutsatser av analys	64
8	Diskussion och slutsats	66
	8.1 Reflektion kring utfall	66
	8.2 Rekommendation	67
	Referenser	69
	Bilaga A Tidplan	71
	A.1 Antagen tidplan och faktiskt utfall	71
	Bilaga B	73



# 1 Inledning

*I detta avsnitt ges en bakgrund av företaget och problembeskrivningen och syftet med studien presenteras.*

## 1.1 SAAB Kockums AB

SAAB Kockums AB (SK) har en lång historia i fartygstillverkning med start 1679 då skeppsvarvet grundades i Karlskrona och 1840 då Kockums AB grundades i Malmö. Sedan 2014 är Kockums helägt av SAAB AB under namnet SAAB Kockums. (SAAB, u å, a)

SAAB Kockums AB är en världsledare i konstruktion av ubåtar (SAAB, u å, b). De är kontrakterade av Försvarets materielverk, FMV, att leverera två ubåtar av A26-klass under de kommande åren (SAAB, 2015). SK har en lång erfarenhet av ubåtstillverkning som sträcker sig till 1914 då den första ubåten byggdes. Dagens ubåtar byggs och underhålls i varvet i Karlskrona. SK har konstruerat och sålt ubåtar och mindre delar till andra länder också, såsom Australien och Singapore. (SAAB, u å, c)

A26 har flera design- och konstruktionsfilosofier från SKs tidigare ubåtsklass, Gotland, som levererades mellan åren 1995-96. Den fick stor internationell uppmärksamhet då den 2005-2007 hyrdes av USA för övningssamarbete som visade att Gotland var svårlokaliserad av den amerikanska ubåtsflottan. A26 ska förmås agera i alla världshav och har utöver de vanliga lasterna av minor och torpeder även möjlighet att utrustas med missiler i framtiden. Den stora nyheten är en horisontell stor tub, Multi Mission Portal, som har förmågan att skicka iväg och hämta tillbaka bemannade och obemannade undervattensfarkoster. (SAAB, u å, b)

## 1.2 Problembeskrivning

För att bygga en ubåt med ledande teknologi kan man inte bara skapa en komplex nominell design. Under designfasen måste man ta hänsyn till många krav och konsekvenser som uppstår under produktion. Tillverkning och produktion gör att verkliga komponenter skiljer sig från den nominella designen vilket leder till att något som kan monteras digitalt inte går i verkligheten. Ubåten består av flera svetsade konstruktioner som ska monteras ihop. Dessa har avvikelser i dimensioner eftersom man tillför värme till materialet under tillverkning. En ubåt har mycket utrustning med olika konstruktioner och olika toleranser. Denna utrustning ska monteras fast på ett eller annat vis i ubåten. Vid infästning av utrustning har det upptäckts avvikelser i planhet då utrustning ska monteras på plattformen. Detta kräver att man behöver kompensera för avvikelserna med metoder som gör att utrustningen kan monteras i önskat läge.

I en ubåt monteras all utrustning fast för att stå emot stötar och annan belastning som ubåten utsätts för. All utrustning fästs i skrovet, stora plattformar eller fjäder- eller gummidämpade skivor med många olika gränssnitt mellan utrustning och stomme.

För att jämna ut skevhet i plattformen i dagsläget använder man sig av stålplattor som man lägger mellan plattform och utrustning på positioner som behöver höjas, så kallad shimsning. Man använder alltså stålplattor när man skruvar fast utrustning i plattformen för att ställa den i önskat läge. Detta är både tidskrävande och kostsamt. Detta kan undvikas eller minimeras genom att använda ett annat tillvägagångssätt vid infästning eller tillverkning. Man vill därför undersöka alternativ till detta.

Att utvärdera företagets befintliga lösningar är väsentligt eftersom det finns risk att dåliga lösningar cementeras i företaget. (Bellgran & Säfsten, 2008)

## 1.3 Syfte

Syftet med denna examensrapport är att genomföra en studie och utvärdering av principer och metoder vid infästning av utrustning på mekanisk struktur, till exempel plattformar. Studien ska ge svar på vilka alternativa metoder och principer det finns samt möjligheter och hinder för varje. Det ska även ges förslag på vad som bör undersökas vidare.

## 1.4 Disposition

Detta arbete inleds med en introduktion till problemet och dess bakgrund i kapitel 1. I kapitel 2 presenteras teori kring den produktutvecklingsmodell som tillämpas och i det tredje kapitlet presenteras metoden och hur arbetet genomförts. I kapitel 4 beskrivs konstruktionsprinciper och tillverkningsprocessen hos företaget som leder till problemet.

Kapitel 5 presenterar de framtagna koncepten och hur de tagits fram. I kapitel 6 jämförs och utvärderas ett urval av koncepten. Kapitel 7 presenterar testning och analys av ett av koncepten. Slutligen i kapitel 8 görs en diskussion av arbetet och slutsatser presenteras.

## 2 Teori

*I detta avsnitt ges en beskrivning av begreppet produktutveckling samt en produktutvecklingsmodell.*

### 2.1 Produktutveckling

Johannesson et al. (2013) definierar i deras bok *Produktutveckling*, begreppet produktutveckling som en beteckning för utveckling av olika typer av produkter som skiftar i karaktär beroende på förutsättningar såsom affärsområde (konsument- respektive producentvaror), produkters komplexitet, innovationsnivån eller primär drivkraft. Vidare menar de att produkter som utvecklas har en kravbild som styrs av vem den tilltänkta kunden/brukaren är och hur produkten ska användas, hur många ingående delar och använd teknologi, hur komplicerad och dyr den är att tillverka samt hur den, mot dess konkurrenter, är positionerad. (Johannesson, Persson, & Pettersson, 2013)

De förklarar vidare att för att nå ett framgångsrikt utvecklingsarbete är en grundläggande förståelse för denna komplexa process, dess sammanhang, karaktär och aktörer samt dess behov av arbetssätt, metoder och verktyg.

Industrin har under 1990-talet etablerat processer och stödmeter för konstruktion och det gavs ut flertalet böcker inom konstruktionsforskning. (Johannesson, Persson, & Pettersson, 2013) I detta breda och väl utforskade område finns det således väldigt många utvecklingsmodeller med olika metoder för produktutveckling.

### 2.2 Ulrich & Eppinger

En av dessa modeller presenterar Ulrich och Eppinger i *Product Design and Development*. Denna har använts av författaren tidigare och har därför valts. Metoden i denna rapport är baserad på denna modell men har anpassats för att passa till rapportens syfte. Modellen innefattar en mängd olika metoder för att på ett systematiskt sätt utveckla produkter. Metoderna är främst anpassad för framtagning av nya produkter. Den grundläggande processen beskrivs nedan.

### **Identifiering av kundbehov**

- 2.2.1 I modellen är det första steget att undersöka kundens/brukarens behov och skapar produktspecifikationer utifrån det. Det är viktigt för att, bland annat, försäkra sig om att inget behov missas eller glöms (Ulrich, K & Eppinger, S.D., 2012). Det beskrivs hur man listar kundbehov och organiserar dem baserat på dess betydelse.

### **Upprätta målspecifikationer**

- 2.2.2 Utifrån kundbehoven skapas målspecifikationer som presenteras i mätbara egenskaper vilket gör det enklare att jämföra och tolka resultat av olika koncept.

### **Konceptgenerering**

- 2.2.3 Målet med konceptgenereringen är att utförligt utforska konceptlösningar som kan uppfylla problemets målspecifikationer. Det innefattar en blandning av extern sökning, kreativ problemlösning i grupp och systematisk utforskning och kombination av lösningar. Extern sökning kan innefatta konsultation med experter och benchmarking av marknaden. Kreativ problemlösning i grupp avser brainstorming som det i sin tur finns väldigt många olika sätt att gå tillväga för att gruppen ska gemensamt finna nya lösningar. Olika lösningar kan kombineras för att förbättras genom att systematiskt utforska kombinationerna.

2.2.4

### **Konceptval**

- 2.2.5 I konceptvalet analyseras varje koncept och successivt väljs de sämre koncepten bort för att hitta de mest lovande koncepten. Processen görs iterativt och kan bana för nya koncept. Ullrich & Eppinger rekommenderar användningen av beslutsmatriser för att jämföra hur väl koncept presterar enligt vissa kriterier.

### **Slutlig produkt**

För att utvärdera de skapta koncepten på ett systematiskt sätt tas det fram kriterier som är viktade efter hur väsentliga de är för funktionen och kraven för ubåten. Den lösning som får högst poäng är den som är bättre lämpad.

## **Produktarkitektur**

2.2.6 Ett annat kapitel i Ulrich & Eppingers modell är kring produktarkitektur. Produktarkitektur är ett system av en produkts olika funktionella element uppdelad i fysiska ”chunks”. Det finns olika typer av arkitektur beroende på hur olika funktioner är integrerade eller modulära. Dessa chunks kan bestå av fler funktionella element och består av olika komponenter som skapar funktionen. Anledningen att göra en produktarkitektur är för att se hur olika funktioner beror på varandra och upptäcka hur de kan kombineras.

## **Standardisering av komponenter**

2.2.7 Standardisering av komponenter innebär att skapa komponenter eller chunks som kan användas i flera produkter. Detta har stora fördelar med bland annat man kan tillverka chunks i större volymer. Det i sin tur kan leda till lägre kostnader och högre kvalitet.

## **2.3 Avgränsning**

Avgränsningen i det här arbetet görs till att inte göra en alltför specifik lösning till ubåtsklassen A26 utan snarare en generell lösning med A26 som fallstudie. Detta för att lösningarna som presenteras avses påverka framtida konstruktioner.

Utrustningen fästs in med skruvförband i nuläget. Det beslutades att utgå ifrån att skruvförband kommer användas och därmed inte utforska alternativ som innebär att skruvförband inte används. Detta beslut grundas i att skruvförband används mycket i ubåten och att byta ut det skulle inte vara gynnsamt med tanke på de verktyg och den kompetens som finns.

Det finns många olika typer av utrustning som monteras på plattformen både ovansidan och undersidan. Detta arbete har fokuserat på ovansidans utrustning och främst större utrustning som har en basplatta.

## 3 Metod

*Detta avsnitt behandlar metodiken som använts.*

### 3.1 Anpassad produktutvecklingsmodell

Produktutvecklingsmodellen som presenteras i 2.2 är inte helt applicerbar i denna studie. Modellen har därför anpassats och vissa avsnitt har tagits bort för att vara mer tillämpat till denna studie. De huvudsakliga metoder som används i denna studie är *Identifiering av kundbehov*, *Konceptgenerering* och *Konceptval*. Dessa har gjorts med viss modifikation, ”Identifiering av kundbehov” har baserats på SKs behov och inte en tänkt konsument. Konceptgenereringen har använts av extern och intern sökning för att ta fram koncept, dessa presenteras närmare nedan. Konceptval gjordes endast för de koncept som ansågs jämförbara och kopplades till de framtagna behoven.

Det har inte tagits fram mätbara egenskaper på grund av sekretessbelagda uppgifter, således har *Upprätta målspecifikationer* inte gjorts. Fasen *Slutlig produkt* har inte använts eftersom studiens syfte är att ta fram många idéer och ge möjlighet till framtida undersökningar.

### 3.2.1 3.2 Datainsamling

#### **Intern sökning**

För att skapa en bild av situationen och problemet har interna dokument såsom ritningar, konstruktion- och produktions anvisning (KPA), Design Description och CAD-filer inom SK studerats. KPA är riktlinjer och instruktioner för hur nästintill allt som finns i ubåten ska konstrueras och produceras. Design Description är en beskrivning över hur t.ex. skrovet ser ut och vilka belastningar den utsätts för. Det är en introduktion till designen. CAD-filer har studerats eftersom ubåten finns i sin helhet i CAD och kan studeras i detalj.

För att samla in mer information har det hållits intervjuer med ingenjörer inom SK. Det finns olika typer av intervjumetoder (Gustavsson & Säfsten, 2019). Den intervjumetod som har valts är en ostrukturerad och öppen som täcker övergripande områden som diskuteras fritt. Initialt gavs en kort introduktion av vad studiens område berörde, därefter fick respondenterna förklara kort deras arbetsområde. Många av intervjuerna gick ut på att kartlägga problemet och ge insikt i vilka krav som är viktiga att uppfylla i respektive respondents område. Under intervjuerna har det förts anteckningar. Intervjuerna har genomförts genom digitala möten vilket är SKs dagliga arbetssätt. Det har varit väldigt enkelt att komma i kontakt med personer och möjligheten att dela skärm och ha intervjuerna i en miljö respondenterna varit bekväma i har gjort att konversationerna varit naturliga och effektiva i den mån att det diskuteras områden som direkt är relevant för studien. På grund av detta valdes en ostrukturerad och öppen intervjumetod.

Handledaren inom SK gav guidning till personer inom företaget som besitter relevant erfarenhet och kunskap för arbetet såsom konstruktion av plattformen, montering på plattform och konstruktion av moduler. Personerna som kontaktades har i sin tur hänvisat vidare till kollegor som är nischade på områden så som ritning av plattform, ytbehandling av plattform m.m. I Tabell 1 är en lista över respondenterna det har hållits intervjuer med och information om intervjuerna. De kommer att refereras enligt deras roll i texten.

Ytterligare en datainsamlingsmetod var att genomföra en brainstorming session med konstruktörer. Eftersom samtliga var insatta i problemet och hade samlat på sig förslag var upplägget att bolla idéer och diskutera möjligheter och vad som behöver undersökas vidare. Det fördes även här anteckningar. Den hölls digitalt med Konstruktör 1, 2 och 6. Respondenternas namn är borttagna ur rapporten.

Intervjuerna dokumenteras i flytande text i rapporten med en överblick av det som diskuterades och är av värde för studien. Det som bedömdes vara av värde är sådant som påverkar infästning av utrustning, konstruktion av plattform och ledtider i design- och tillverkningsfas.

**Tabell 1 Respondenter i intervjuer och brainstorming**

<i>Roll</i>	<i>Metod, Datum och tidsomfattning</i>
Konstruktör 1	Brainstorming 03.25.21 – 30 minuter
Konstruktör 2	Brainstorming 03.25.21 – 30minuter
Konstruktör 3	Intervju 03.15.21 – 30minuter
Konstruktör 4	Intervju 02.25.21 -25 minuter
Konstruktör 5	Intervju 02.25.21 -25 minuter
Konstruktör 6	Brainstorming 03.25.21 – 30 minuter
Beräkningsingenjör 1	Intervju 03.04.21 – 45 minuter



Beräkningsingenjör 2	Intervju 03.04.21 – 45 minuter
Produktionsingenjör 1	Intervju 03.04.21 – 20 minuter
Produktionsingenjör 2	Mailkonversation 30.04.21
Elektronikingenjör 1	Intervju 03.05.21 – 30 minuter

## Extern sökning

3.2.2 Det gjordes en extern sökning för att skapa en uppfattning om vilka lösningar för vertikalt sätta upp utrustning som finns. Det gjordes en benchmarking av befintliga tillvägagångssätt, figurer av detta finns i Bilaga B. Sökord som användes var "level mount", "surface", "adjust veritically", "equipment". Under sökningen gjordes inget speciellt urval av lösningar. I ett tidigt stadie togs ett brett perspektiv och det söktes efter metoder att rätta upp maskiner och diverse utrustning för att sedan försöka hitta metoder som är mer tillämpbara för stora plattformar så som i en ubåt. De lösningar som hittades var inte helt tillämpbara i ubåt eftersom de inte skruvades fast eller var för stora. Att inte endast kolla på lösningar som är direkt tillämpbara på stora plattformar ger möjligheten för inspiration från lösningar som inte är menade till plattformar men som kan bana vägen för nya idéer.

Även en patentsökning gjordes för att samla inspiration och kunskap i området. De ord och fraser som användes var bland andra: "shims", "adjust", "platform", "spacer", "level mount" and "submarine equipment".

3.2.3 Generellt var det svårt att hitta patent kopplade direkt till ämnet. Det hittades ett patent som berörde en metod för att anpassa shims till ett specifikt glapp (USA Patentnr US8756792B2, 2011). Detta är inte något som är av intresse i just denna studie men kan vara av värde vid vidare undersökningar kring shims. Ytterligare ett patent presenterade en metod för att justera mekanisk utrustning i cementblock (Kina Patentnr CN102032422A, 2012). Cementblock är inte något som används i ubåt men det är intressant att se hur justering görs i andra områden.

## Studiebesök till Karlskronavarvet

För att få en bättre bild av plattformarna gavs möjligheten att åka till varvet i Karlskrona. Den aktra och förliga delen av plattformen har levererats och låg i sin helhet utan moduler och annan utrustning på. Det fanns även en dieselmotor och skåpet som den står i.

Resan till Karlskronavarvet gjordes efter att konceptgenereringen hade utförts och många koncept tagits fram. Detta gjorde att man kunde anknyta koncepten till den

faktiska plattformen och få en bättre bild av hur koncepten skulle kunna appliceras. Det hade även möjlighet att ge inspiration till nya koncept.

Vid rundvandring gavs möjligheten att se färdiga ubåtar av tidigare klasser.

### 3.3 Data-analys

Från datainsamlingen har det byggts upp en förståelse för hur plattformen och utrustningen konstrueras och tillverkas. Anteckningar av intervjuer och interna dokument har skapat en bild av problemets behov och omfång. Utifrån detta har det tagits fram sammanfattningar av utsagor från SK som sedan tolkats och bearbetats till ett behov. Sammanfattningarna av utsagorna är inte direkta citat från konstruktörer eller interna dokument utan snarare en förklaring av behovet.

Från anteckningar från brainstorming-sessionen har flera koncept sitt ursprung. Direkta koncept och förslag från konstruktörer har analyserats tillsammans med de tolkade behoven för att säkerställa att alla specifikationer uppfylls av koncepten.

### 3.4 Framtagande av lösningar

Problemet delades upp i delproblem i form av en proaktiv del och reaktiv del. Den proaktiva delen undviker att formavvikelse i plattformen uppstår och den reaktiva delen anpassar infästningen till formavvikelse som uppstår i plattformen. Denna uppdelning gör det enklare att gruppera koncept och att anpassa konceptgenereringen till att hitta metoder för antingen den proaktiva delen eller den reaktiva delen.

Lösningar har tagits fram i form av koncept. Målsättningen då varje koncept utvecklats har varit att undersöka funktionen, möjligheter och svårigheter med konceptet. Det har även givits förslag på möjliga områden som behöver studeras vidare och vilka aspekter som är intressanta för att helt undersöka konceptens gynnsamhet. Koncepten som tagits fram är i kategoriseringsgrupper och har krävt olika sätt att bearbetas och utvecklas.

En grupp av koncepten är mer applicerbara i nutid och har krävt att undersökas mer kring hur implementering av konceptet skulle genomföras och vad det skulle innebära konkret för SK.

En annan grupp är framtidsbaserade lösningar som kräver mer teoretisk undersökning med studie av teori, leverantörer och företag i framkanten av utvecklingen i specifika områden.

### 3.5 Utvärdering och test av urval av koncept

En utvärdering av ett urval av lösningarna genomfördes enligt viktade kriterier för att ge en indikation på mer lovande lösningar. Testning gjordes i ett digitalt verktyg, ANSYS, på en potentiell lösning.

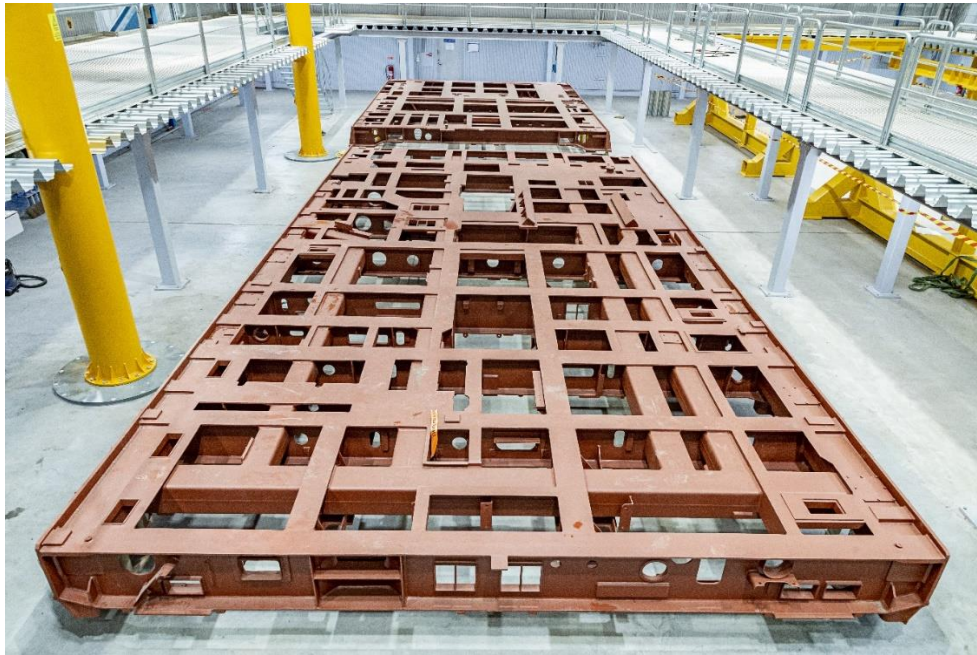
## 4 Problem med avvikelser i planhet vid infästning av utrustning

*I detta kapitel beskrivs konstruktionsprinciper och tillverkningsprocessen som är bakomliggande till det uppkomna problemet.*

I avsnitt 1.2 förklarades det att plattformen inte är helt plan och att det uppstår glapp när man ska fästa utrustning i plattformen. För att inse hur plattformen ser ut och tillverkas studerades ritningar och konstruktionsbeskrivningar av den. Det är av intresse att undersöka processen i design och tillverkning av plattformen för att se om det finns åtgärder som kan göras i stadier innan plattformarna tillverkas för att minimera åtgärden som krävs vid montering.

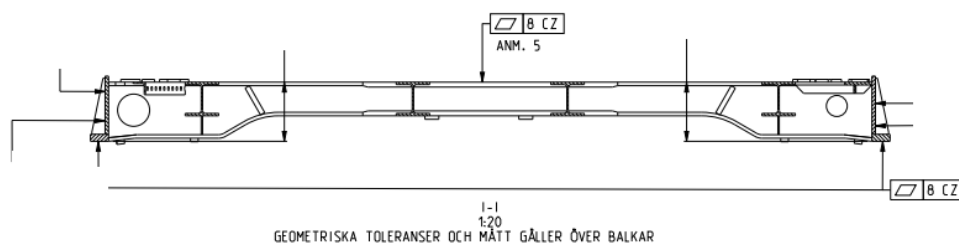
### 4.1.1 **Plattformen**

I Figur 1 syns en bild av hur den tillverkade plattformen ser ut efter den levererats från underleverantören. Plattformen består av I-balkar som svetsas ihop, den designas hos SK och det skapas en ritning som sedan skickas till underleverantören.



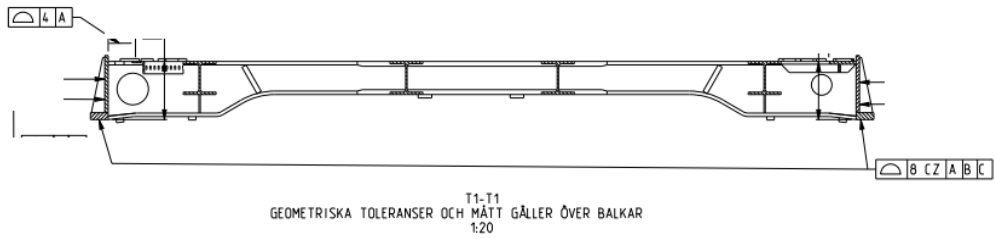
**Figur 1 Plattformarna efter leverans från underleverantör. (Saab Kockums AB)**

Ett urklipp från ritningen som skickats till tillverkaren visas i Figur 2. Vid Anm. 5 ges lägestoleransen för den övre ytan, CZ betyder Common Zone och visar vilka zoner som är viktiga att ha planhet relativt varandra. Lägestoleranser anger vilket område man tillåter läget hos en punkt, linje, yta eller symmetriplan att variera (Hågeryd Lennart, 1993). I praktiken betyder denna markering att ytan som pilen pekar på ska ligga mellan två parallella plan som ligger 8mm från varandra (Taavola, 2009).

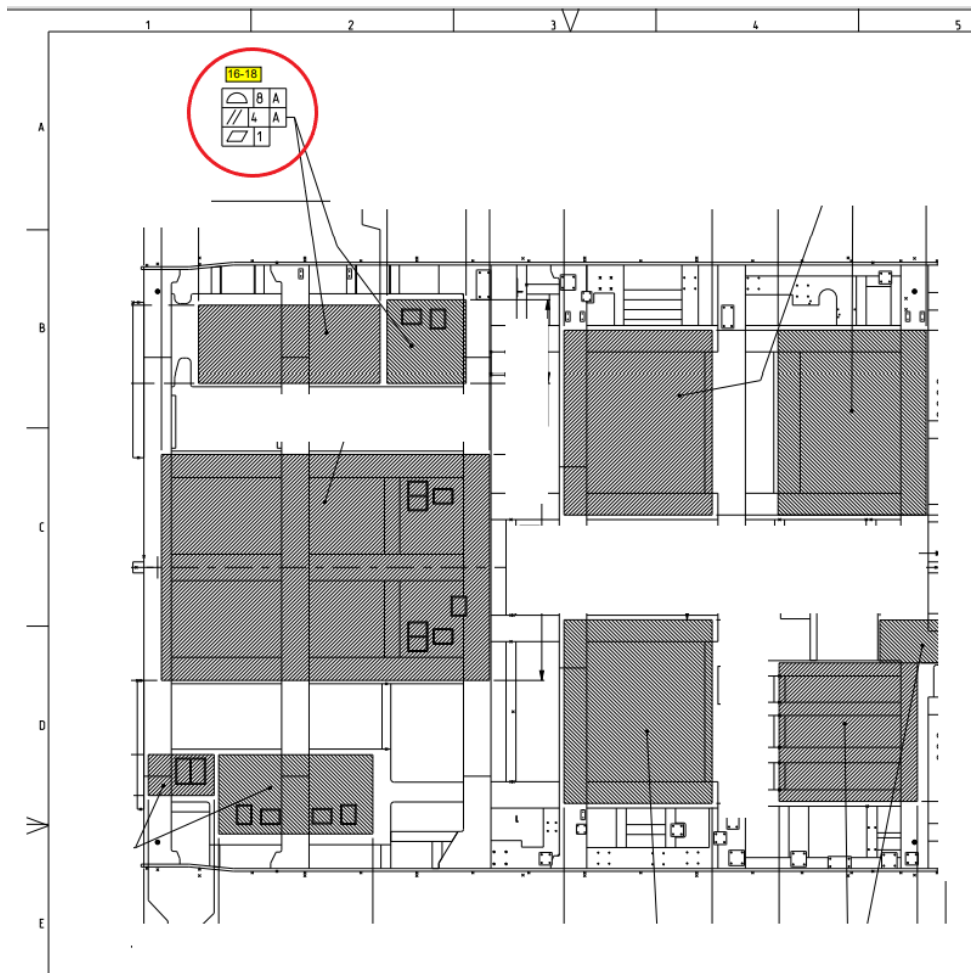


**Figur 2 Urklipp från ritning på plattform innan revision**

Efter tillverkningen av de första plattformarna har ritningen reviderats för att specificera vilka ytor kräver snävare toleranser. Se Figur 3. Detta på grund av att den första plattformen inte fullt ut nådde de toleranskrav som efterfrågades. Eftersom det har beställts två ubåtar är detta en viktig läxa att lära för att kunna minimera problemet på kommande ubåt.

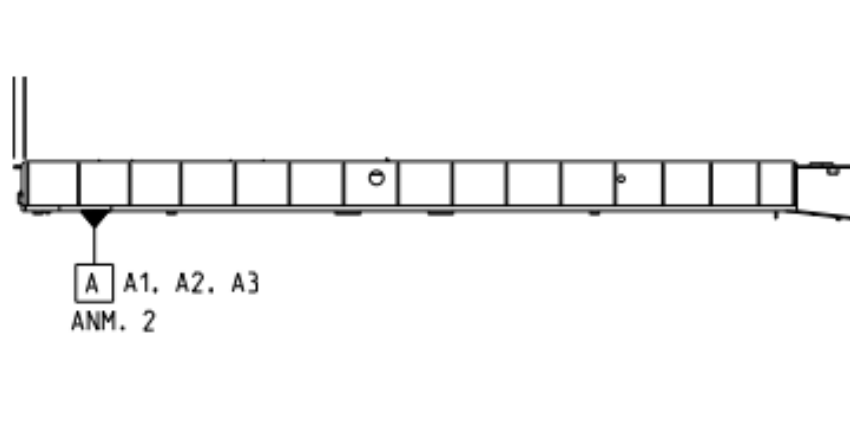


Figur 3 Urklipp på reviderad ritning



Figur 4 Urklipp från reviderad ritning på plattform

I Figur 4 representerar de mörka ytorna de ytor som moduler ska monteras på. Man har då snävare toleranserna och har, på vissa ställen, tre olika formtoleranser. Dessa tre är ytform, parallellitet och planhet. Ytformstoleransen innebär att ytan ska ligga mellan två jämlöpande ytor som tangerar sfärer med diametern 4mm och vars centrum ligger på den teoretiskt riktiga ytan. Parallellitetstoleransen innebär att ytan ska ligga mellan två parallella plan på avståndet 4 mm från varandra och samtidigt ska planen vara parallella med referensplan A. Referensplan A är en yta på undersidan, se Figur 5. Planhetstoleransen betyder som nämnt tidigare att ytan som pilen pekar på ska ligga mellan två parallella plan som ligger 1mm från varandra. (Taavola, 2009)



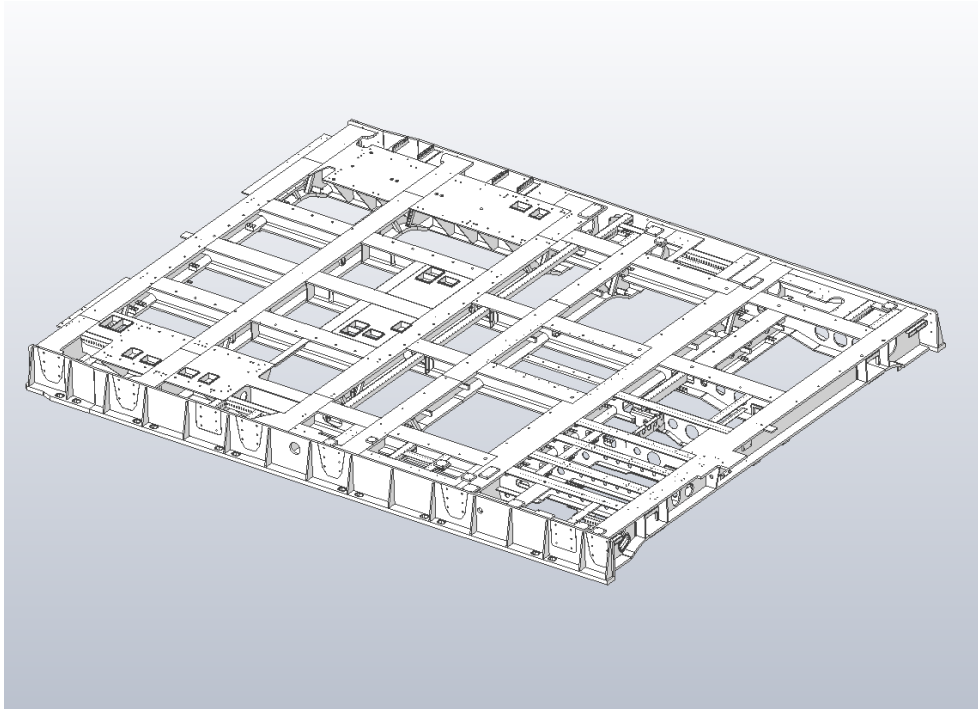
Figur 5 Urklipp från ritning, referensplan A

Då plattformarna har tillverkats hos leverantören och ankommit till varvet i Karlskrona har 3d-mätningar utförts för att dokumentera utfallet. Man kan då se hur stora avvikelserna är från de nominella värdena är. Resultatet från dessa mätningar har visat att toleranserna inte uppnåtts fullt ut. SK godkände plattformen och man anser att man kommer kunna korrigera avvikelserna med rimliga insatser.

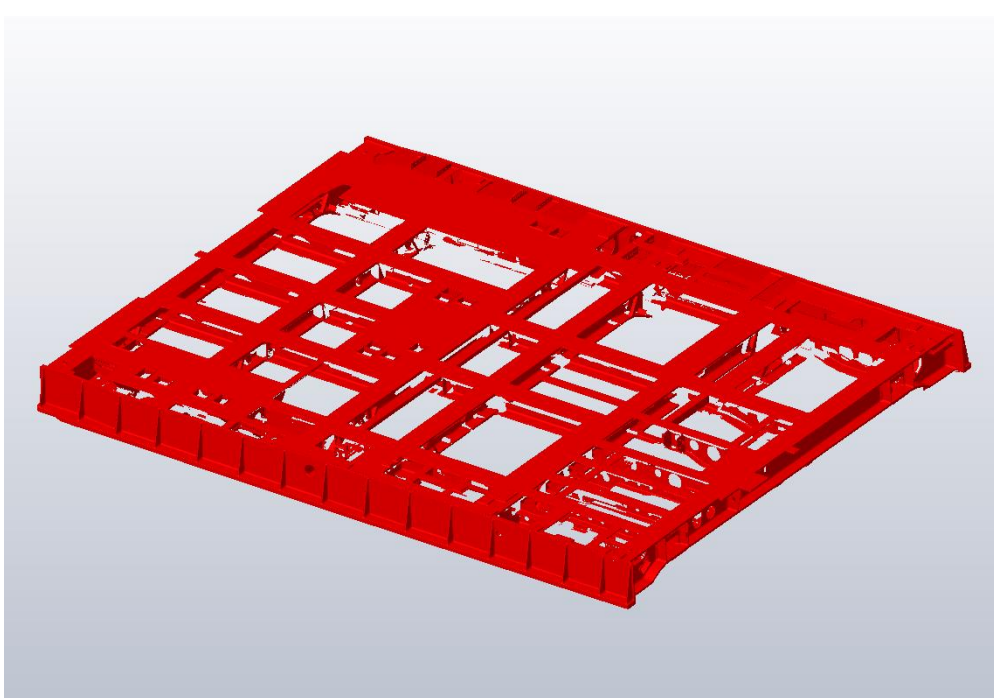
Man gjorde mätningar i planhet, ytform och parallellitet och fick relativt stora avvikelser i förhållande till de toleranskrav som finns. Exakta värden från mätningarna kan inte tas med p.g.a. sekretess.

#### 4.1.1.1 Skannad plattform i CAD

I Figur 6 syns den nominella plattformen i CAD och i Figur 7 syns en 3d-scannad version av den tillverkade plattformen.

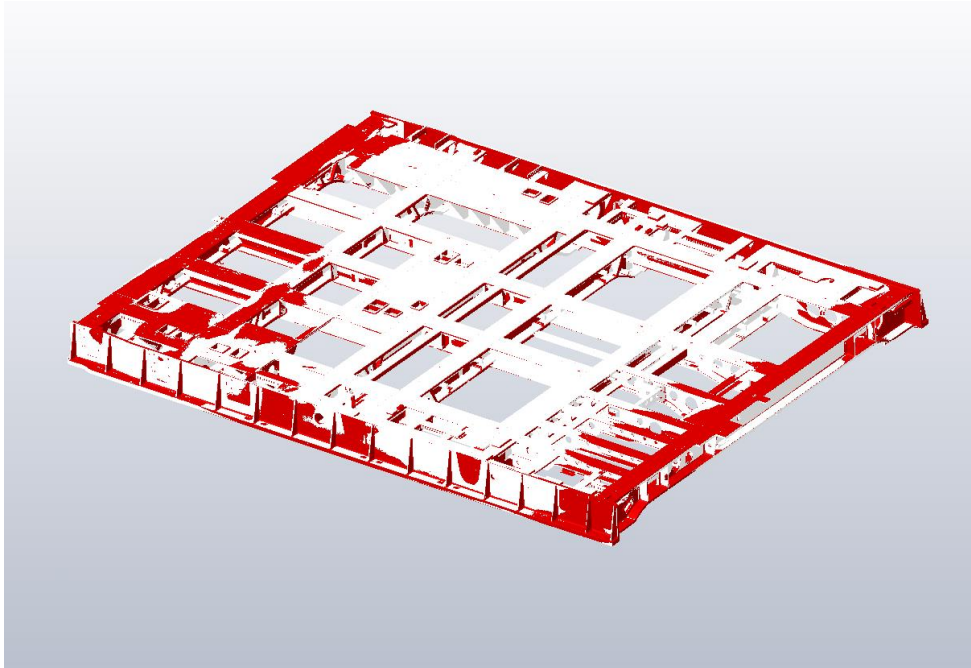


**Figur 6 Nominell plattform**



**Figur 7 3d-skannad plattform**





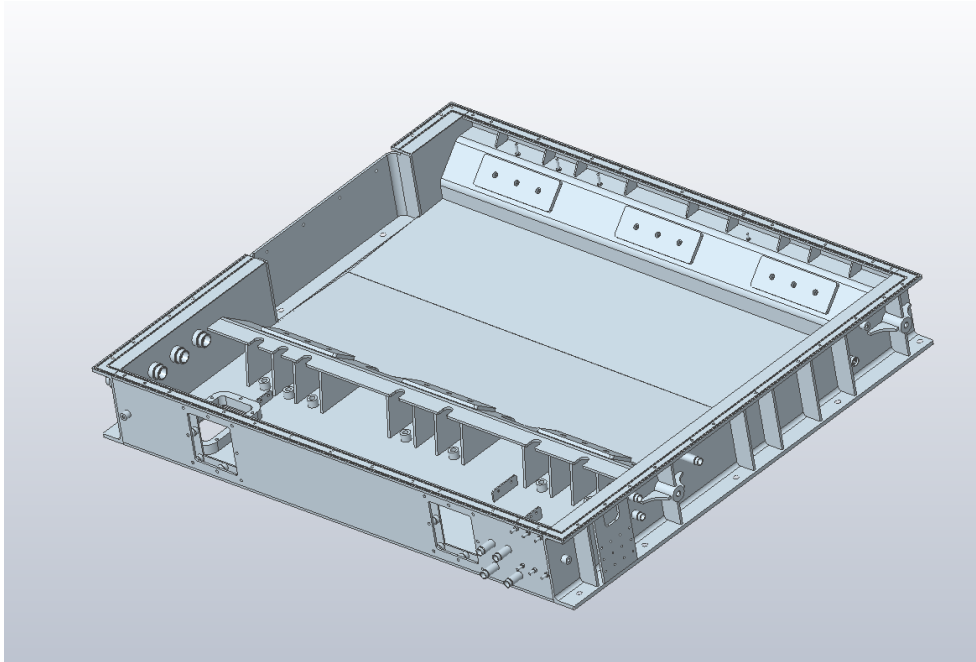
**Figur 8 Överlappning Nominell och 3d-skannad plattform**

I Figur 8 överlappar den 3d-skannade plattformen (röd) den nominella plattformen (vit). Man ser att den 3d-skannade plattformen är förskjuten neråt i mitten och förskjuten uppåt i sidorna. Detta blir problem då man ska fästa utrustning upp på plattformen eftersom det är viktigt att utrustning står i önskat läge för att inte kollidera med något annat i ubåten.

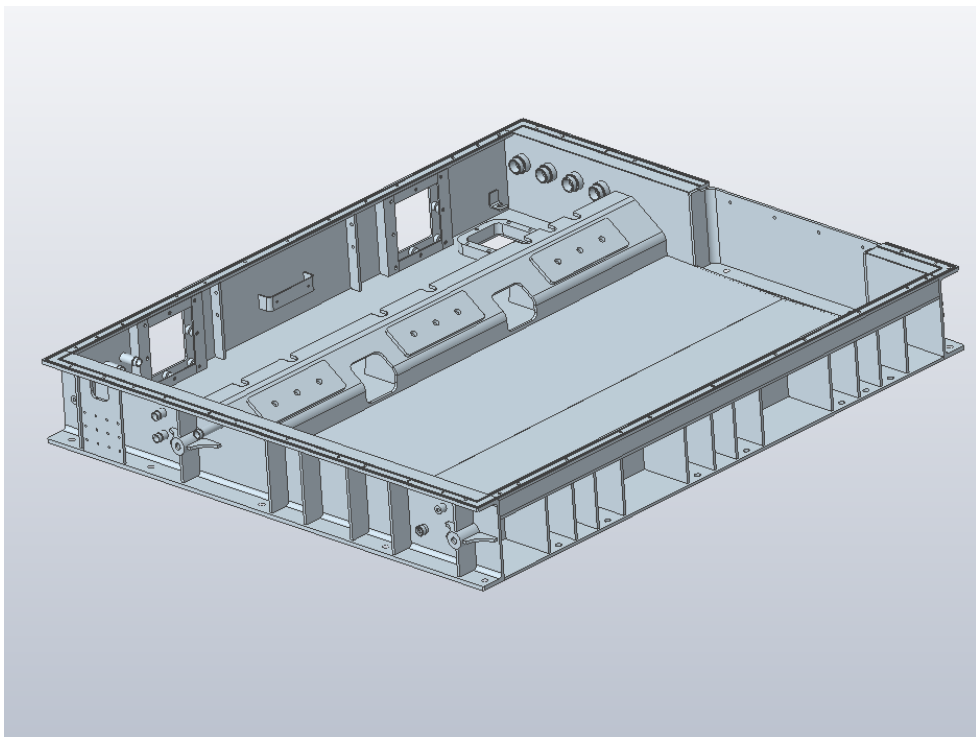
#### 4.1.2

### **Utrustningen**

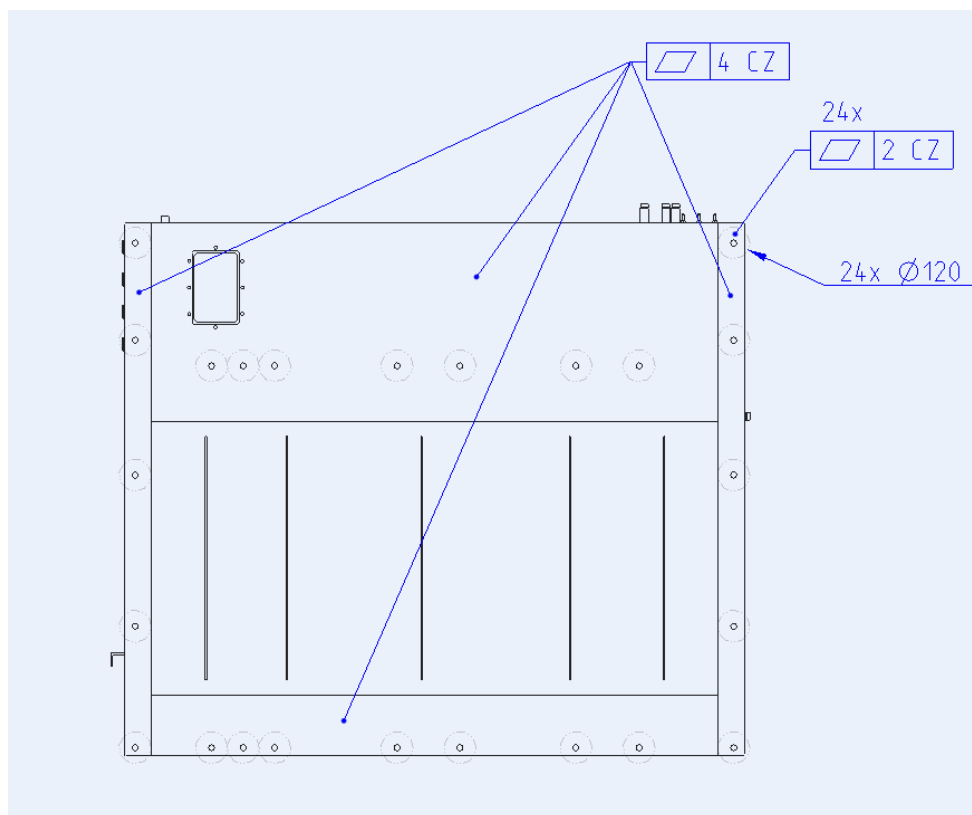
Utrustningen som ska monteras med skruvförband på plattformen är allt ifrån skåp (elektronik, kommunikation, kraftförsörjning), aggregat (t.ex. diesel- och stirlingmoduler) och basplatta till framdrivningsmotorns kraftförsörjningsskåp. Utrustningen tillverkas med vissa toleranskrav vilket medger att de avviker i planhet också. I Figur 9 och Figur 10 visas basplattan till Dieselmodulen som står på främre delen av plattformen.



**Figur 9 Dieselmodulens basplatta**



**Figur 10 Dieselmodulens basplatta från annan vinkel**

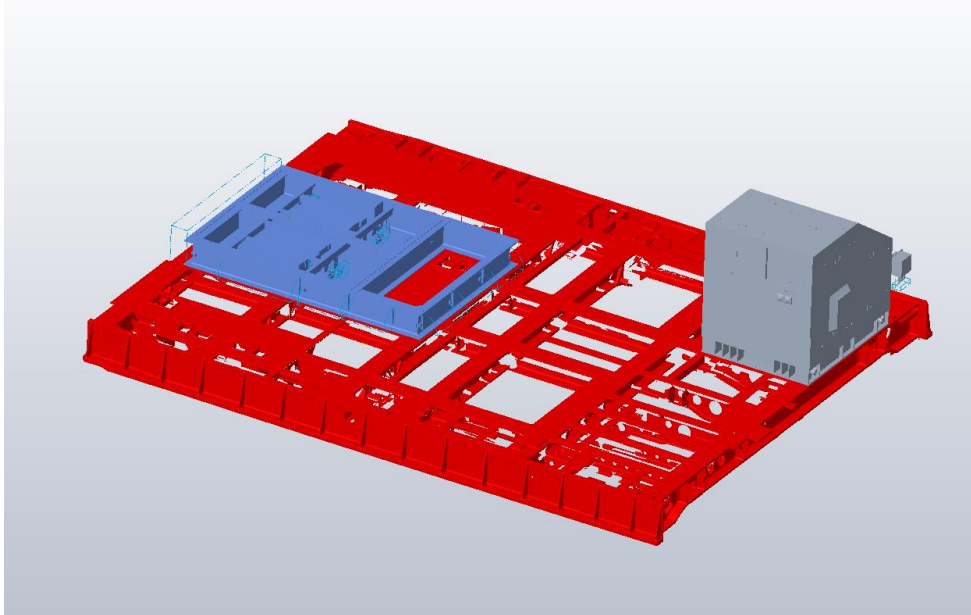


**Figur 11 Toleranser för dieselmodulens basplattan**

I Figur 11 kan man se att toleranserna är snävare vid hålen som modulen skruvas fast i.

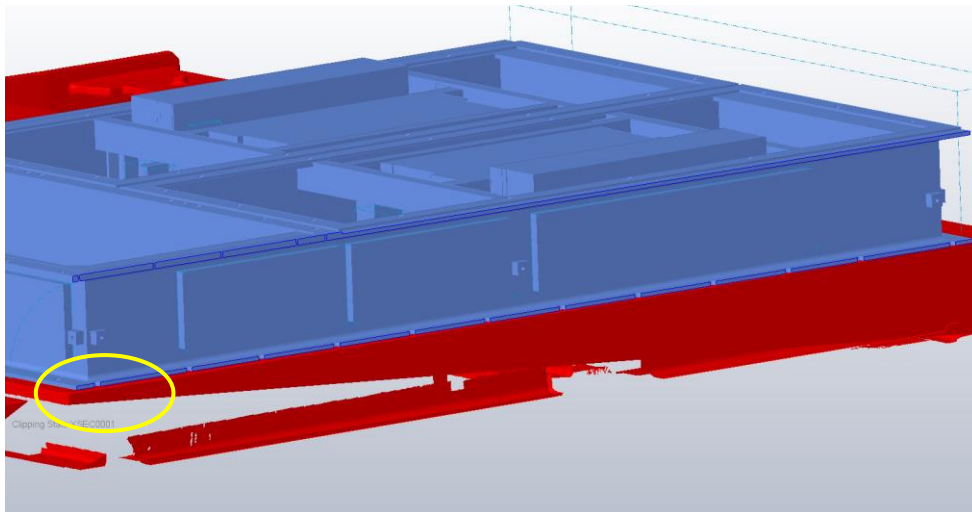
## Montering av moduler på 3d-skannad plattform

4.1.3



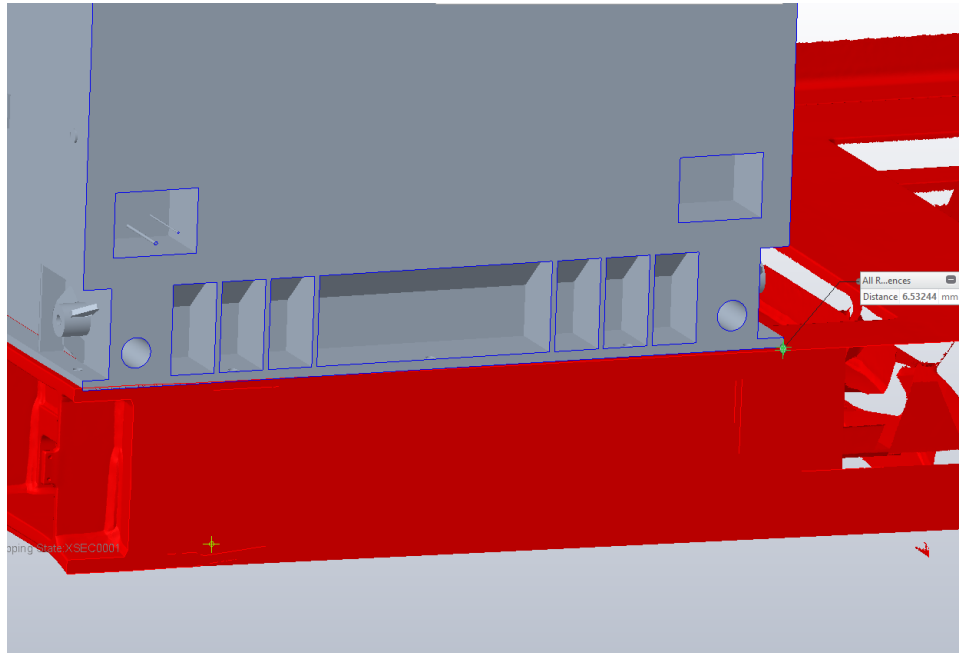
**Figur 12** 3d-skannad plattform med basplatta till framdrivningsmotor (blå) och Stirling modul (grå)

I CAD kan man nu se vilka avvikelserna blir när man monterar de nominella modulerna på den 3d-scannade plattformen, Figur 12. De verkliga avvikelserna är även beroende på hur modulerna ser ut när de är tillverkade.



**Figur 13** Ett snitt i långsidan av plattformen för att se glapp (gul cirkel) mellan bottenplatta till framdrivningssystemet och 3d-skannad plattform

I Figur 13 kan man se hur glappet är mellan den nominella basplattan till framdrivningssystemet och den 3d-skannade plattformen. Med CADs mätverktyg uppmättes ungefär 9mm glapp som mest vilket sker i den gula cirkeln.



**Figur 14 Glapp mellan Stirlingmodul och 3d-skannad plattform**

I Figur 14 syns infästningen mellan en Stirling-modul och den 3d-skannade plattformen. Glappet är uppmätt i CAD till 6.5mm. Man ser även att Stirling-modulen går in i plattformen till vänster i figuren. Till följd av detta kommer hela modulen höjas ytterligare.

# 5 Alternativa koncept för infästning av utrustning

*I denna del presenteras arbetet som leder fram till och beskrivning av varje koncept.*

## 5.1 Rådata från SK

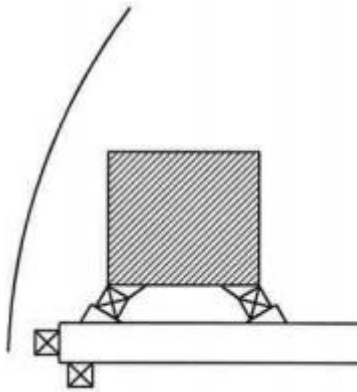
Intervjuer och studier av interna dokument och filer är grunden till den kravbild som finns. Nedan presenteras den rådata som påverkar infästningen av utrustning som hittats och sedan i avsnitt 5.1.2 sammanställs de som de målspecifikationer som behöver uppfyllas.

### 5.1.1 **Ubåtens utrymme och struktur**

Ubåtens generella invändiga utrymmen är uppdelade i två tryckfasta avdelningar, en förlig och en akterlig. Dessa avdelningar har varsin plattform, ca 5m i bredd och 15m i längd, som är elastiskt uppställda på gummielement mot skrovet för att dämpa stötlaster och vibrationer. Den aktra plattformen tillverkas i två delar som sedan sammanfogas. På den finns maskineri, batteri och övriga skeppssystem. Dessa är monterade på plattformen, i vissa fall på gummielement för att minska buller. På den förliga avdelningen finns boendetrymmen, manöverrum och mäss. (FMV, u å)

I en ubåt är utrymmet för utrustning begränsat. Eftersom utrustning och plattformar är elastiskt uppställda kan de röra sig relativt varandra och kräver ett visst område att kunna röra sig fritt utan att kollidera. Detta område benämns som klarningsavstånd. Utrustning som är elastiskt uppställda på plattformen benämns dubbelt elastiskt monterade eftersom även plattformen är elastiskt uppställd. Det är väldigt viktigt att de dubbelt elastiskt uppställda modulerna inte hamnar i resonans med plattformen för att undvika orimligt stora klarningsavstånd. För att uppnå detta kan man sätta upp modulerna med ett så kallad V-montage, se Figur 15. Detta gör även att höjden på modulen sänks vilket gynnar klarningsavståndet. Med hänsyn till dessa krav och egenskaper blir det väldigt trångt och svårt att få in all utrustning i

en ubåt. Dessa aspekter påverkar även denna studies område eftersom man inte kan höja utrustningen för mycket eftersom man då riskerar att objekt kolliderar.



Figur 15 Elastiskt V-montage (Källa internt dokument)

## Ubåtens belastningar och utrustning

### 5.1.2

I en konsultation med Beräkningsingenjör 1 och 2 inom SK förklarades att allting i en ubåt ska dimensioneras för att klara en viss acceleration i alla riktningar, exakt siffra är sekretessbelagd. Utifrån det gavs bilden av hur stort kravet på konstruktionen är i en ubåt och hur viktigt det är att konstruktioner är robusta.

I A26 monteras plattformarna in i skrovet på ett annorlunda sätt än tidigare ubåtar (Konstruktör 4 & 5). I A26 kommer man att montera alla objekt på plattformen innan man skjuter in den axiellt genom skrovet, illustrerat i Figur 16. I tidigare ubåtsklass har plattformen monterats i mindre delar. Plattformarna tillverkas i större dimensioner vilket gör att avvikelser som följd av tillverkningen blir större. I tidigare ubåtsklasser, Gotlandsklass, har det gått bra att fästa utrustning med shims men i A26 befaras det att det kan bli problem.

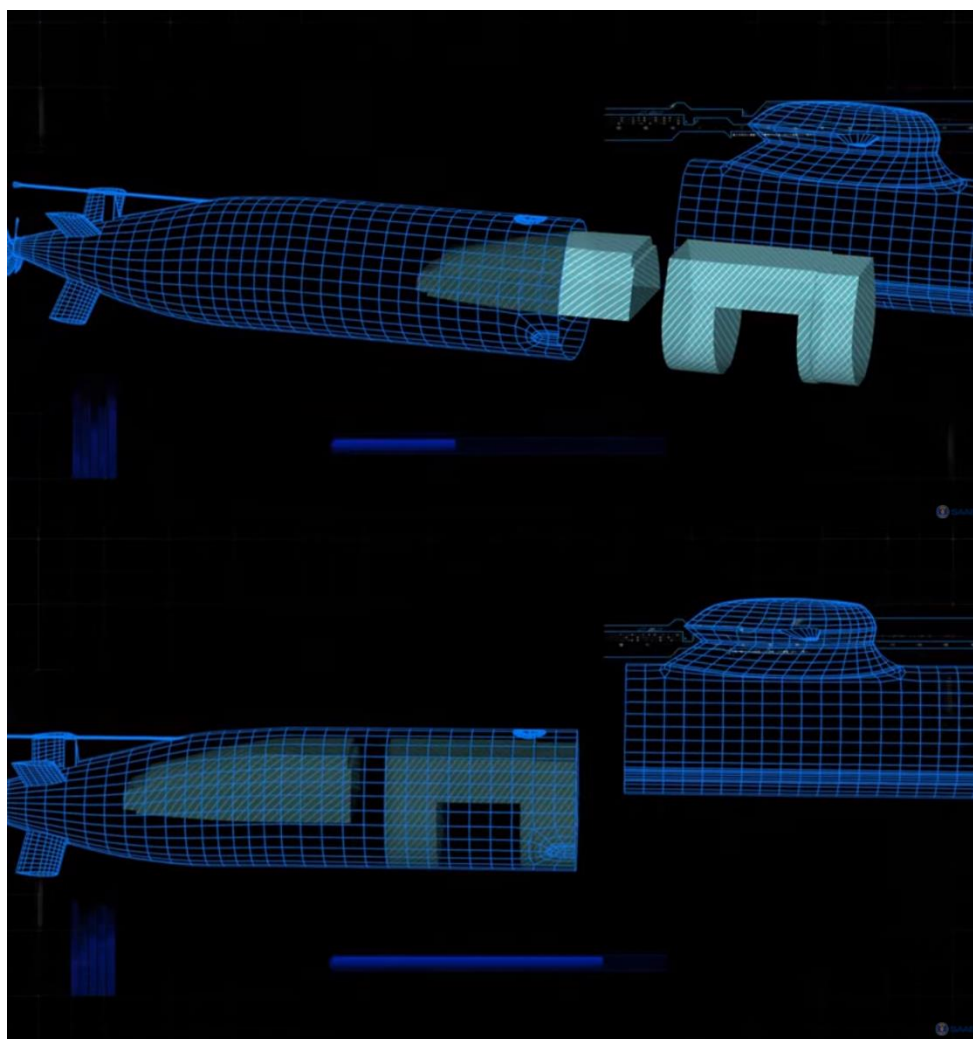
Begränsningen för att använda shims är 10mm, om det överskrids ska det registreras som avvikelse och ansvarig konstruktör ska kontaktas för att finna alternativ lösning. Detta beslut har tagits med klarningsavståndet i beaktning då man anser att om 10mm överskrids riskerar objekt att kollidera.

Efter de uppmätningar i 3d-skannade modulen som gjordes i avsnitt 4.1.3 har det observerats att avvikelser varierar mellan 0-10mm. Modulen skruvas fast på flera positioner längs sidorna och vid varje infäste kommer det då vara olika avvikelse.

Modulerna och utrustningen som monteras har bredd och längd i omfånget 400mm till 3000mm i olika kombinationer. Största delen av utrustningen beställs och tillverkas hos leverantörer, endast några få designas internt hos SK. En av dessa är dieselmodulerna som konstruerades under 3 år för att få fram den bästa lösningen.

Att det tog så lång tid beror på att de är komplexa och har många krav att uppfylla. Utrustning som beställs och tillverkas hos leverantörer konstrueras av leverantören för att uppfylla kraven SK specificerar. Detta leder till att utrustningen har olika utseende i bottenplattorna som ska fästas i plattformen.

Utrustning som spänns fast i plattformen ska kunna efterspännas av montörer. Man vill även att utrustning ska vara demonterbara för att kunna ändra och lägga till utrustning.



**Figur 16** Illustration av inskjutning av färdigmonterad plattform in i skrovet. Urklipp från SAABs Youtube (SAAB, 2020)



### **Tolkning av rådata till lösningens behov**

I Tabell 2 är en lista över de sammanfattningar som gjorts utifrån intervjuer med ingenjörer samt interna dokument. Dessa har sedan tolkats till de behov som behöver uppfyllas i kolumnen Tolkat behov.

5.1.3

**Tabell 2** Tabell över de tolkade behoven

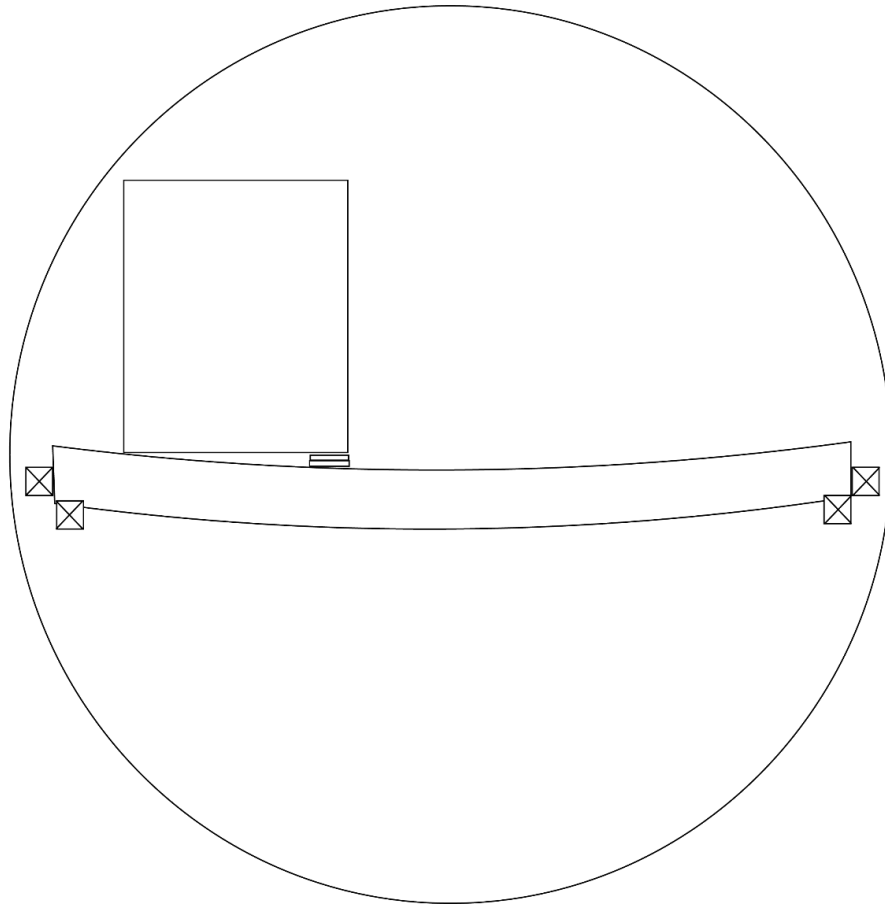
Område	<i>Sammanfattning av SKs utsaga om behov</i>	<i>Tolkat behov</i>
<b>Funktion</b>	Utrustning behöver monteras i önskat läge (Konstruktör)	Metoden monterar utrustning i önskat läge
<b>Struktur</b>	Ubåtens utrustning ska vara dimensionerad för X antal G i varje riktning (Beräkningsingenjör)	Metoden påverkar inte utrustningens hållfasthet
	Vissa moduler fästs in med gummielement för att minska vibrationer och belastning (Beräkningsingenjör)	Metoden medger användning av gummielement
<b>Utrymme</b>	Det finns väldigt lite utrymme i ubåten (Konstruktör)	Metoden uppfyller klarningsavståndets begränsning
	Vissa moduler fäst in med V-montage (Konstruktör)	
<b>Montering</b>	Det blir olika stora avvikelser i planhet (Konstruktörer)	Metoden är anpassningsbar till olika stora avvikelser
	Begränsningen för shims är 10mm (Konstruktör)	
	Tidsaspekten vid montering och konstruktion är viktig (Konstruktör)	Metoden är enkel och snabb att använda
	Det är många olika moduler (CAD)	Metoden kan anpassas till olika basmått
	Plattformen skjuts in i skrovet med all utrustning monterad (Konstruktör)	Metoden medger montering och demontering av utrustning i ubåt
	Moduler kan behöva monteras av i efterhand (Produktionsingenjör)	
	Montör ska kunna komma åt för montering och även efterspanning (Konstruktör)	Metoden ger utrymme för montering av skruv
<b>Konstruktion</b>	Problemet syns inte förrän plattform och utrustning tillverkats (Konstruktör)	Metoden medger att nominell konstruktion bibehålls
	Det läggs onödig tid på att designa basplattor (Konstruktör)	Metoden gör det enkelt för konstruktörer att skapa plattor.

## 5.2 Konceptgenerering

Under konceptgenereringen gjordes en intern sökning genom att ha brainstorming session med konstruktörer inom SAAB Kockums. Under denna framkom idéer som gav konceptuella lösningar som sedan har vidareutvecklats av författaren med avstämning hos konstruktörer. Det gjordes även extern sökning i form av benchmarking och patentsökning för att inspirera till idéer. Studiens fokus har varit att undersöka flera lösningar för att ge SK en överblick och därför har konceptgenereringen inte successivt eliminerat lösningar genom olika utvärderingsmetoder. Nedan presenteras de koncept som tagits fram.

### **Koncept 1 – Shims**

- 5.2.1 Koncept 1 är den lösning som används i dagsläget. Dess princip är att man för in shimsplattor mellan utrustningen och plattform för att justera så utrustningen står i önskat läge som syns i Figur 17. Detta är en reaktiv lösning, alltså att den justerar utrustning efter att avvikelserna i plattformen har uppstått.



**Figur 17** Ett tvärskeppssnitt på ubåt som illustrerar principen av shims.

I ett internt dokument från SK finns en beskrivning över hur injustering av utrustning ska genomföras med tydliga instruktioner. I det finner man att shimsplattor finns i tre olika tjocklekar, 1, 3 och 5mm, och kombineras för olika stora avvikelser. En följd av detta är att det ges 5mm extra längd på montageskruvar för eventuella shims som kan behövas.

Avvikelseerna har begränsats till att vara maximalt 10mm, större avvikelse än så anses bryta klarningsavståndets krav. Detta är en risk med shimsning och man behöver ta till andra lösningar i ett sådant fall t.ex. bearbetning. Det kan bli väldigt tidskrävande.

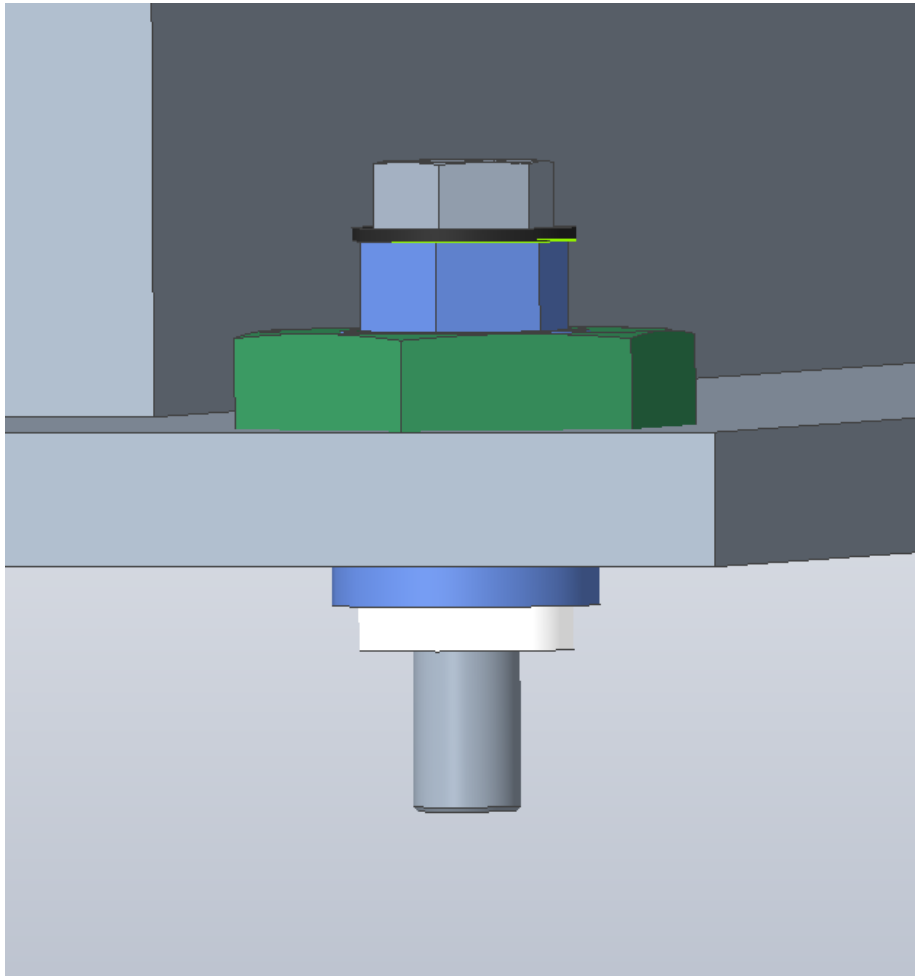
En av dess styrkor är att den kan anpassas till olika avvikelser. Metoden är en enkel lösning som inte kräver något förarbete utan kan lösa problem direkt när de uppdagas.

En svårighet med shims är att monteringen av tung utrustning inte är smidig eftersom man behöver styrningar i skruvhålen för att utrustningen inte ska röra sig och man behöver lyfta utrustningen relativt plant när man för in shimsplattorna.

### **Koncept 2 – Ställskruv med sfärisk bricka**

5.2.2 Detta reaktiva koncept är ett sätt att justera höjden på varje skruvförband genom att använda en ställskruv vid varje skruv. Användning av skruvförband är vanligt förekommande i de lösningar som hittades i Benchmarking och kan till exempel ses i Figur 42 i Bilaga B.

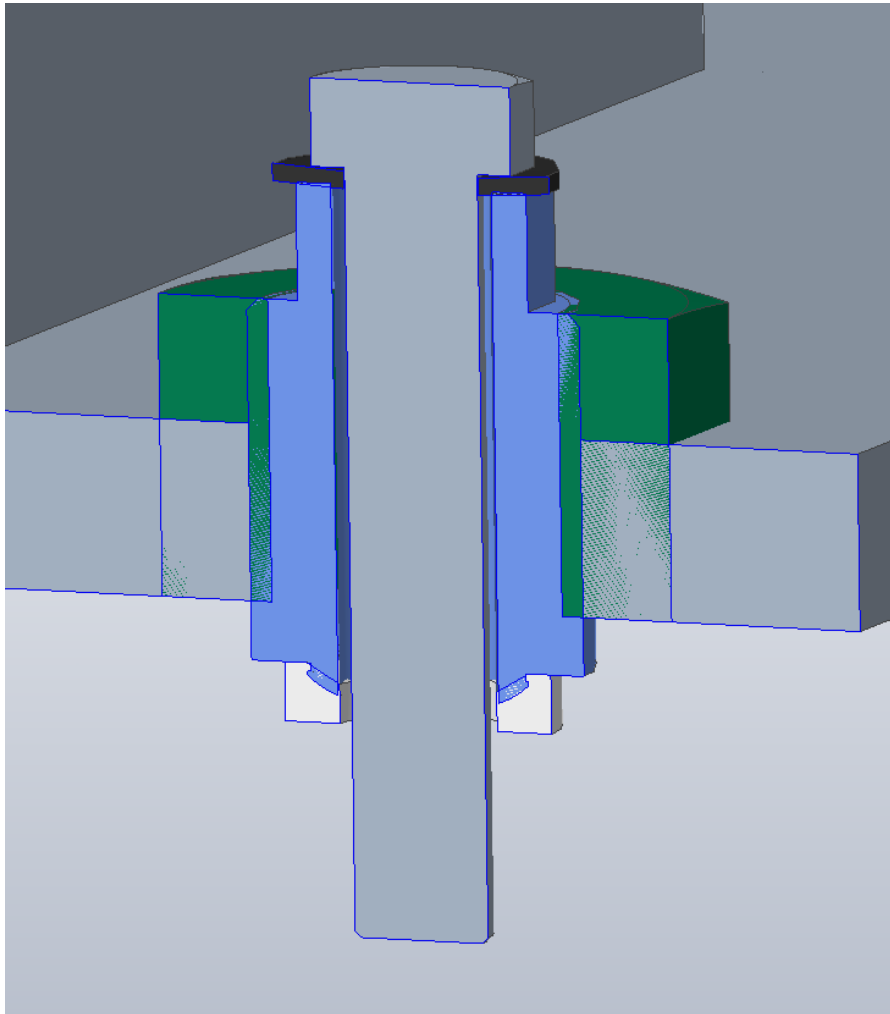
Ställskruvsförbandet, Figur 18, är svetsat på utrustningen som ska fästas och det består av en yttre mutter (grön), en ställskruv (blå), en tallriksfjäder (svart) och en sfäriskbricka (vit). Mellan yttre muttern och ställskruven är det gängat vilket gör att man kan skruva på ställskruven och justera vertikalt mellan yttre mutter och ställskruv.



**Figur 18 Koncept 2 Ställskruv**

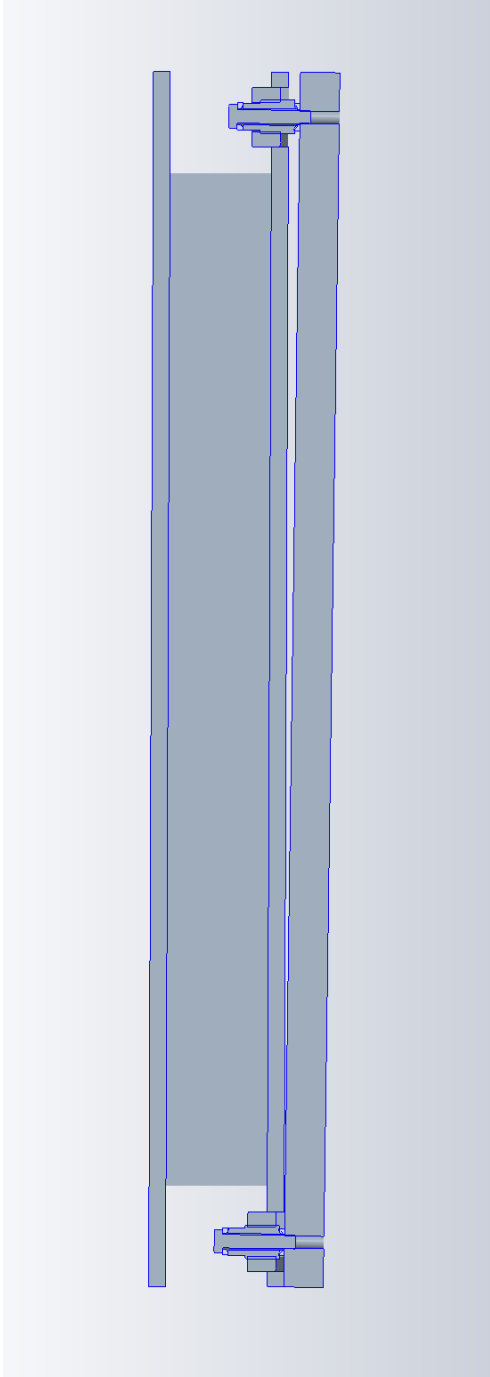
På botten av ställskruven sitter den vita sfäriska brickan som kommer vara i kontakt med plattformen som utrustningen fästs i. Sfäriska brickan korrigerar fördelningen av spännkraften när skruven hamnar lite snett till följd av höjdskillnaden. Den sfäriska brickans bottenyta tangerar plattformens yta, se Figur 22. Då man skruvar på ställskruven kommer plattan att justeras vertikalt i relation till plattformen.

När höjden är i önskat läge kan slutligen skruven sättas in genom ställskruvsförbandet. Skruven har även en tallriksfjäder som fördelar belastningen av skruven när den skruvas i lite snett. Denna tallriksfjäder har även övervägts att bytas ut till en sfärisk bricka även på toppen, som man kan se i Figur 21. Vilket alternativ som är bäst bör studeras vidare. I Figur 19 syns ett snitt av konceptet.



**Figur 19 Snitt av koncept 2**

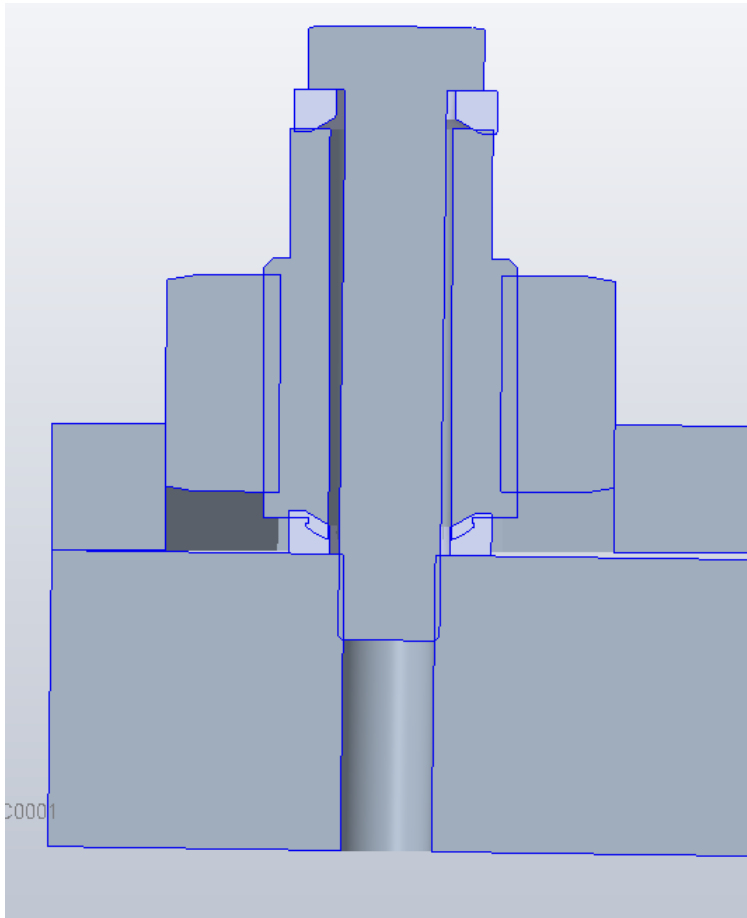
Konstruktör 2 har gjort en initial analys på hur lösningen hanterar en avvikelse på 10mm med 1000mm avstånd mellan skruvförbanden och avgör att det inte finns några direkta hinder och lösningen bör vidareutvecklas. Ställskruvens (blå) längd kan förlängas vid behov och i förlängningen kan den komma att finnas i olika längder för användning vid montering.



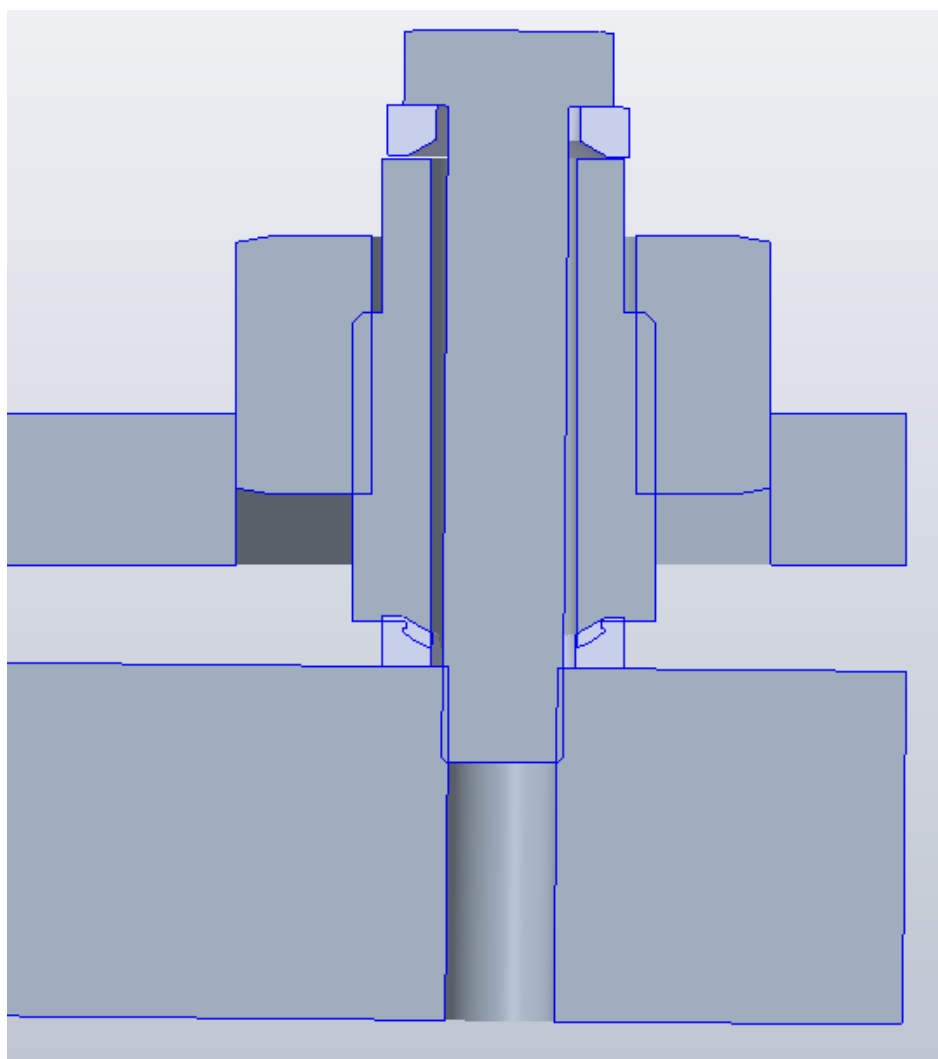
**Figur 20 Grovcheck av Ställskruvsförband med 10mm vertikal avvikelse och 1000mm skruvavstånd**



I Figur 20 syns den initiala analys Konstruktör 2 genomfört. Man har satt en vertikal avvikelse på 10mm och ett avstånd på 1000mm mellan skruvarna. Analysen gjordes för att se att skruven inte krockar med insidan av ställskruven. I Figur 22 ser man att det finns marginal på sidorna.



**Figur 21** Koncept 2 vid 0mm avvikelse på en platta med 1000mm skruvavstånd.



**Figur 22 Koncept 2 vid 10mm avvikelse på en platta med skruvavstånd 1000mm.**

Skruven skruvas ner snett genom skruvförbandet i Figur 22. Man kan utforska möjligheterna att göra borrhålet i plattformen vinklat så att centrumlinjerna för hålet genom modulen och plattform överensstämmer. Då skulle skruven gå rakt igenom utrustningen och inte ortogonalt mot plattformens yta.

Vid tillverkning av detta koncept görs ett hål i utrustningens bottenplatta i samma diameter som ytterskruven. Ytterskruven ska placeras i detta hål och svetsas fast i utrustningens bottenplatta. Samtliga delar beställs och köps in enligt de dimensioner som krävs.

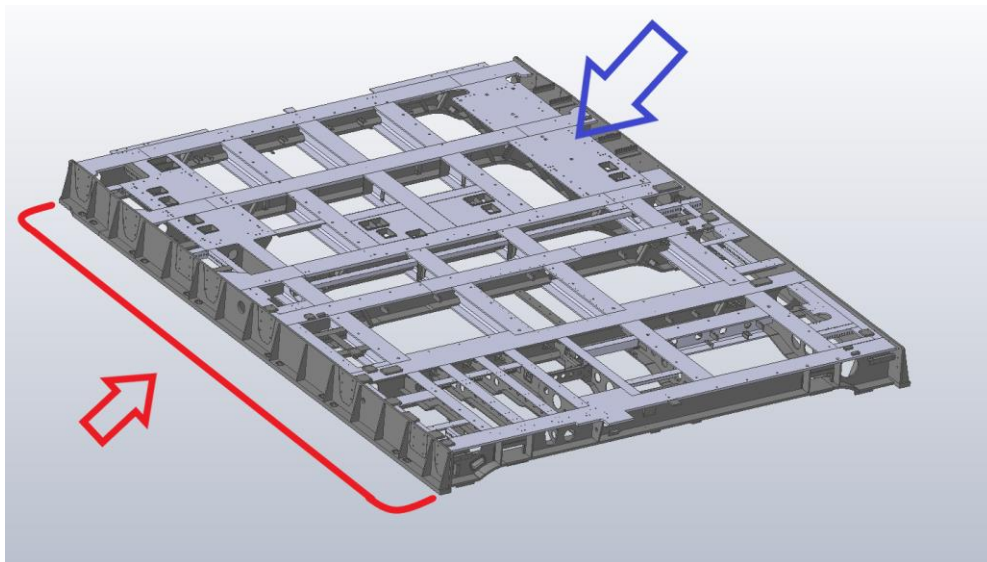
Nästa steg för detta koncept är att göra en detaljkonstruktion och utföra testning av konceptet. Man behöver säkerställa exakt vilka komponenter som behövs gällande

den sfäriska brickan och en tallriksfjäder. Uppmätningar av den vinkel som skruven snedställs med visar att det är under 1 grad och det finns indikationer på att det inte krävs någon speciell lösning för att korrigera skruven eftersom det går att skruva i den då man använder shims och samma snedställning uppstår där. Undersökning kring detta med hjälp av konsultation med ingenjörer och testning av konceptet skulle resultera i en detaljkonstruktion för exakt hur lösningen ska se ut. Det är även enklare att se fördelar och nackdelar med koncept när man har testat dem i verkligheten. Just nu kan man se potentiella fördelar som att monteringen blir smidigare och effektivare.

### Koncept 3 – Bearbetning plattform

5.2.3 Det tredje konceptet är planfräsa hela toppytan där moduler m.m. ska monteras, den ljusgrå toppytan markerad med blå pil i Figur 23. I dagsläget används fräsning på en av ytorna på plattformen vilket innebär att kompetensen och kapaciteten att fräsa på plattformen finns. Fräsningen som används idag görs på bottenytan av den längsgående balken markerad med röd pil i Figur 23. Fräsningen görs efter att plattformen levererats från leverantör och efter bearbetningen målas den med en färg för att uppfylla EMC-krav. Ytan som bearbetas har en bearbetningsmån på 2mm.

Samma tillvägagångssätt hade kunnat användas på hela toppytan av plattformen. Plattformen hade konstruerats tjockare, exempelvis 2mm som ovan, över hela toppytan för att sedan bearbeta ytan när den är tillverkad så den blir plan.

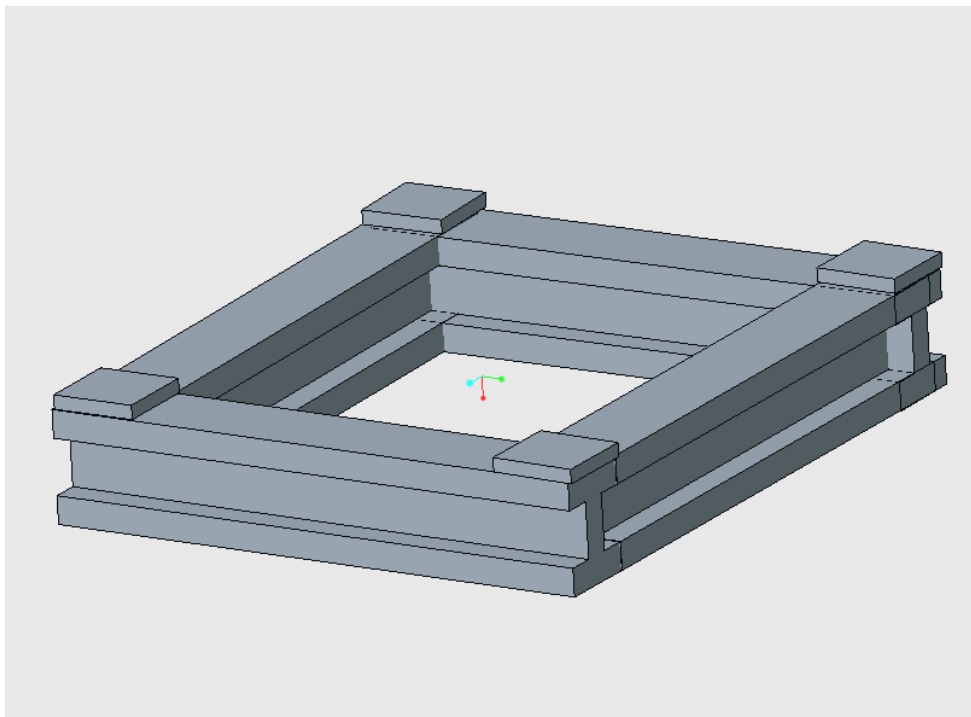


Figur 23 Plattform med ljus markering på de ytor som bearbetas (ljusgrå, blå pil) och den längsgående balken (röd pil)

Även om man bearbetar plattformens yta kommer modulerna också avvika i planhet vilket kan innebära att det fortfarande uppstår glapp. Därför kommer botten på modulerna behöva fräsas. Det skulle innebära att man lägger till en bearbetningsmån på bottenplattan av modulerna. Det finns det möjlighet till eftersom de flesta moduler och aggregat tillverkas specifikt till SK och kan därför designas om efter SKs behov.

Detta kan anses vara lite extremt att fräsa hela toppytan eftersom det handlar om stora ytor. Det kan därför finnas varianter av detta, se nedan.

- **Specifika ytor:** Man kan fräsa ut de ytor där moduler ska stå. I det arbetet skulle man kunna anpassa strukturen av plattformen så svetsfogar placeras på väl valda positioner som förenklar och effektiviserar bearbetningen. Vilka konsekvenser det skulle få och vad som är viktiga aspekter att tänka på skulle vara intressant att arbeta vidare med.
- **Upphöjda plattor:** Man kan svetsa fast små plattor på ytan och sedan bearbeta dessa för att skapa ett plan. Se Figur 24. Genom att placera utrustning på dessa ytor kan man då fästa dem i önskat läge.



Figur 24 Figur på upphöjda plattor som bearbetas.

SK har i sin produktionsanläggning maskinell kapacitet att genomföra denna typ av bearbetningar. Det skulle klart vara tidskrävande att fräsa plattformarna och dess moduler men det skulle minimera tiden för montering och eliminera problem som skulle kunna dyka upp ifall dimensionerna slår sig ordentligt. För att ge ett exakt

svar på vilken metod som är mer tidskrävande behöver man undersöka det djupare. Eftersom tidsramen är begränsad har detta inte gjorts i denna studie.

#### **Koncept 4 – Standardplatta**

5.2.4 Under en brainstorming session kom det fram ett förslag att göra en form av standard för basplattorna som moduler står på och som skruvas fast i plattformen. I nuläget finns det många olika plattor som ser ut på olika sätt. Varje modul har olika bottenar med olika höjd, tjocklek och skruvar. Större delen av all utrustning beställs av SK och konstrueras och tillverkas hos underleverantörer. Vid beställningen finns det möjlighet att kravställa hur modulernas bas ska se ut för att förenkla och standardisera infästningen av dem. En gemensam konstruktionsriktlinje har stora fördelar som kan kopplas till de Ulrich & Eppinger nämner för produktarkitektur och komponentstandardisering, vilket nämns i avsnitt 3.2. För att nämna några, sparar tid och underlättar hantering.

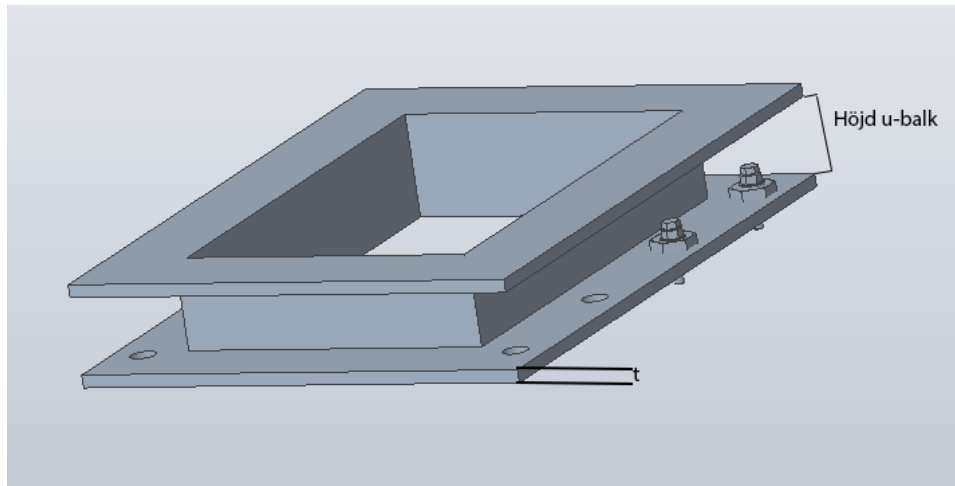
Denna standard skulle kunna beröra:

**Val av skruv (hål –och kantavstånd)** – Samma skruvdimension på så mycket som möjligt gör montering enklare och konstruktör behöver inte fundera vilken skruv som ska användas. Hål – och kantavstånd finns det riktlinjer för redan och kommer kunna användas här.

**Placering av skruv** - Enligt beräkningsingenjörer kan det vara tillräckligt att skruvar endast placeras på sidor som är tvärskepps i ubåten. Detta kan implementeras som en standard.

**Tjocklek på basplattan,  $t$**  – Tjockleken på plattan kan möjliggöra fräsning av ytan samt spara tid för en konstruktör som inte behöver beräkna minsta möjliga tjocklek i hållfasthetssynpunkt.

**Höjd på U-balk** – En bestämd höjd på u-balken som ger utrymme för skruven att monteras och även efterspanning.



**Figur 25 Standardplatta med markerat t, och höjd u-balk**

I Figur 25 finns en modell av hur standardplattan skulle kunna se ut. Sammantaget finns det möjligheter till att arbeta vidare med detta för att få fram en konkret lösning och förslag på hur denna standard skulle se ut.

### 5.2.5 **Koncept 5 Limning**

Limning av metaller istället för svetsning är något som förekommer i bilindustrin. (3M Sverige, u.å). Limning av hela plattformskonstruktionen istället för svetsning är intressant att undersöka eftersom det hade eliminerat värmebehandlingen och därmed förhindra att konstruktionen slår sig. Montering av utrustning på ubåten hade då kunnat genomföras utan dessa problem. En spontan reaktion från Produktionsingenjör 2 kring förslaget var att osäkerheten ligger i hur limningen skulle hålla för de belastningar som ubåten utsätts för. Produktionsingenjör 1 tillade att plattformen ska tåla höga temperaturer vid eventuell brand vilket också kan bli ett problem. Båda produktionsingenjörerna tyckte det var en intressant frågeställning eftersom det fanns många positiva sidor med det och även om användbarheten för hela plattformen behöver kontrolleras såg de stora möjligheter att använda limning av de skåp och utrustningsdetaljer som tillverkas idag.

Vid jämförelse mellan svets och limning fanns dessa fördelar för att limma. (3M Sverige, 2021)

- Användning av olika metaller – lim kan fungera som isoleringsskydd mot korrosion mellan två olika metaller
- Omarbetning av fogen – fogen är enklare att montera isär, arbeta om och reparera
- Minska kostnader för arbetskraft – arbete med lim kräver mindre utbildning och expertkunskaper hos personalen

- Förbättra estetik – sammanfogningsprocessen förvränger inte eller missfärgar metallerna
- Tunnare material kan användas – eftersom metallen inte deformeras kan ett tunnare material erbjuda samma styrka
- Lägre energikostnader – termisk sammanfogning är mycket energiintensiv
- Förbättra bekvämligheten – de flesta limtyper kan appliceras i rumstemperatur

I samma jämförelse sägs svetsning och andra termiska sammanfogningsfördelar vara billigare förbrukningsmaterial och snabbare att arbeta med eftersom ingen tid för härdning krävs. Limningsprocessen kan ta ca 5h för limmet att stelna och ytterligare dygn för att härda helt (GA Lindberg, 2014). Tiden Detta varierar beroende på vilket lim man använder.

Ytterligare fördelar med limning enligt svets.se är (Gleria, 2019):

- Man kan sammanfoga delar med stora dimensionsskillnader utan att få kastningar i konstruktionen
- Fogen blir vätsketät
- Bättre utmattningshållfasthet p.g.a. frånvaro av nitar eller skruvar.
- Ingen försämring av egenskaperna hos de hoplimmade materialen

3M Scotch-Weld är ett konstruktionslim som har en mängd variationer som är anpassade till olika användningsområden används till exempel i golvkonstruktioner i tåg. (GA Lindberg, 2014)

De frågeställningar som behöver undersökas i detta koncept är huruvida:

- det är genomförbart att limma metallbalkar i SKs storleksordning
- hållfasthetskraven skulle uppfyllas
- det finns en underleverantör som kan tillverka en så stor konstruktion eller att det kan göras in-house i Karlskrona
- det skulle bli påföljder i tillverkningstid och kostnader.

Det gjordes ett försök att kontakta ingenjörer vid GA Lindberg med en beskrivning av balkarna för att undersöka möjligheterna men det har inte besvarats

5.2.6

## **Koncept 6 Användning av 3d-printing**

3D-printning eller additiv tillverkning (AM) används ofta för enstyck-serier och komplexa geometrier (Johannesson, Persson, & Pettersson, 2013). Genom att

addera material med lager-på-lager-teknik kan man framställa komplexa komponenter (Designvetenskaper Lunds tekniska högskola, 2020).

I januari i år presenterade Naval Group en 3D-printad propeller med en 2.5m diameter som bestod av fem propellerblad som väger 200kg var (Naval Group, 2021). Tekniken som användes var wire arc additive manufacturing (WAAM) som med hjälp av en robotarm smälter en metallwire som är uppvärmd av en elektrisk båge. Denna metod är lämplig för additiv tillverkning i stor skala (3Dprint.com, 2021). Propellerns egenskaper matchade egenskaperna vid gjutning och ska användas på en minröjare i den franska marinen (Naval Group, 2021).

Detta är intressant eftersom 3D-printning möjliggör en fri och effektiv design då man kan välja var man vill ha material och var man vill reducera material i större utsträckning än andra tillverkningsmetoder. Därför har detta tagits med som ett koncept att på långsikt kunna tillverka plattformen genom 3D-printning och på så sätt skapa en proaktiv lösning till problemet. Plattformen i A26-klassen har en relativt simpel geometri i den mån att det är raka balkar och räta vinklar. Därför är det inte befogat att använda 3D-printning i det fallet.

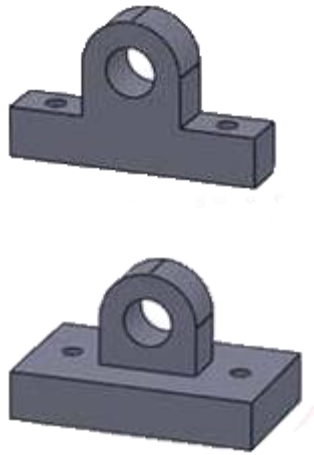
#### *5.2.6.1 3d-printade shims*

Shims togs tidigare upp som ett koncept. Möjligheten att använda 3D-printade shims är ett koncept som skulle kunna användas idag. I A26 kommer shims att användas i storlek 1, 3 och 5mm och kombineras för att fylla upp de glapp som finns som tidigare nämnt. 3D-printning av dessa skulle möjliggöra en mer exakt lösning eftersom man kan anpassa geometrin mer exakt till hur glappet ser ut. Det finns potential att tillverka en hel platta för att fylla ut glappet istället för små plattor vid varje infästning. En sådan shimsplatta kan tillverkas genom att skanna interfacet mellan utrustning och plattform och sedan 3D-printa en shimsplatta för att fylla glappet. I produktionsanläggningen finns utrustning för att genomföra 3D-mätningar som nämnt i 4.1.1.1 gällande 3d-mätningar av plattform.

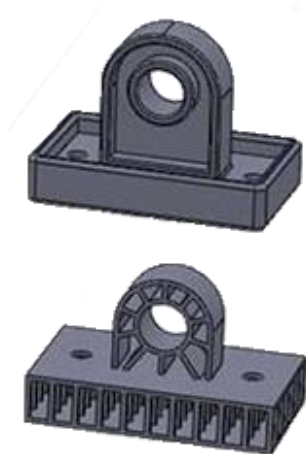
Detta kan även kopplas till det patent, i avsnitt 3.2.2, gällande en metod för att digitalt skapa shims för att fylla ett glapp vid montering av utrustning. Det kan vara ett mål för kommande studier att undersöka och gräva djupare i denna metod.

3D-printing möjliggör som nämnt ovan komplexa geometrier och viktreducering.





**Figur 26** Solida objekt (Källa: design.lth.se)



**Figur 27** Viktreducerade objekt (Källa: design.lth.se)

I Figur 26 syns solida objekt och i Figur 27 syns vikt-reducerade objekt. Genom att ändra geometrin kan man reducera vikten och bevara den hållfasthet som krävs. Konstruktionen i figur 30 är möjlig att tillverka med 3D-printning och liknande konstruktion kan användas för att tillverka dessa shimsplattor.

#### 5.2.6.2 Viktiga aspekter att ta hänsyn till vid additiv tillverkning i metall

Vid additiv tillverkning i metall finns det följande aspekter att ta extra hänsyn till enligt Gibson et al (2010):

*Användning av substrat:* De flesta AM-systemen i metall använder en plattform eller substrat som objekt tillverkas på och som sedan måste separeras från med bearbetning, trådnistning eller liknande metod. Anledningen till detta är att den stora temperaturskillnaden hade potentiellt skapat skevhet när metallen kyls om det inte fanns en solid plattform i anslutning till materialet som tillverkas.

*Energiförbrukning:* Energibehoven för att smälta metaller till över 1000 grader är mycket högre än smälta polymerer till 200 grader. Krav på värmeavskärmning, isolering, temperaturkontroll är mycket strängare än för AM i polymera material.

*Vikt:* Vid additiv tillverkning i metall kan man använda titaniumpulver, som är lätt, men man kan även använda stål som väger desto mer. Teknologin bakom pulverhanteringen måste kunna hantera vikten av dessa material. Detta innebär större krafter vid positionering och hantering av utrustning vilket kan innebära låg hastighet vid förflyttning av material.

*Toleranser:* Densitet och toleranser av additiv tillverkning i metall är väldigt bra. Densiteten är generellt över 99%. Ytfinheten är generellt kornig och behöver ofta kulpenas, d.v.s. bombarderas med små runda kulor för att jämna ut ytan.

## 6 Konceptval av reaktiva koncept

*I detta kapitel jämförs de reaktiva lösningarna efter vissa kriterier.*

I tabell 3 finns en jämförelse av de reaktiva lösningarna, anledningen till att det endast är dessa koncept är att de kan enklare jämföras. Nedan förklaras kriterierna och hur bedömningen är gjord. Kriterierna är kopplade till de tolkade behov som specificerades i Tabell 2. Koncepten värderas i tabellen på en 5-gradig skala. Kriterierna är viktade eftersom vissa kriterier är mer kritiska än andra. Fördelningen baseras på datainsamlingen där den vertikala förskjutningen är central. Flexibilitet till olika avvikelser är också viktig då det är en viktig del i problemet. Resterande kriterier anses likvärdiga bortsett från medgivande av gummielement som anses vara mindre viktig. Samtliga kriterier är huruvida viktiga för företaget. Fetmarkerad siffra i Gradering markerar vilket koncept som är referens i kriteriet.

**Komplexitet** – det innebär hur många olika tillverkningssteg eller monteringssteg processen kräver.

**Konstruktionstid** – det bedöms efter hur mycket tid som potentiellt kan sparas vid konstruktion.

**Monteringstid** – det bedöms efter hur mycket tid som potentiellt kan sparas vid montering.

**Vertikalförskjutning** – det bedöms i hur klarningsavståndet påverkas.

**Medger demontering** – det betyder huruvida utrustningen kan monteras av i efterhand

**Utvecklingsmöjlighet** – avser möjligheterna till vidare undersökning av konceptet

**Medger gummielement** – det avser möjligheten att gummielement kan användas

**Anpassning till olika avvikelser** – det avser möjligheten för konceptet att användas på olika stora avvikelser

**Enkelhet** – det avser huruvida konceptet är enkel och snabb att använda

**Tabell 3 Utvärderingstabell av Koncept 1-3.**

<i>Kriteerier</i>	Vikt	<i>Koncept 1: Shims</i>		<i>Koncept 2: Ställskruv</i>		<i>Koncept 3: Fräsning</i>	
		Gradering	Viktad poäng	Gradering	Viktad poäng	Gradering	Viktad poäng
Komplexitet	10%	<b>3</b>	0.3	2	0.2	2	0.2
Konstruktionstid	10%	<b>3</b>	0.3	2	0.2	3	0.3
Monteringstid	10%	<b>3</b>	0.3	4	0.4	4	0.4
Vertikal förskjutning	20%	2	0.4	2	0.4	<b>3</b>	0.6
Medger demontering	10%	<b>5</b>	0.5	5	0.5	5	0.5
Utvecklingsmöjlighet	10%	<b>3</b>	0.3	5	0.5	3	0.3
Medger gummielement	5%	<b>5</b>	0.25	5	0.25	5	0.25
Anpassning till olika avvikelser	15%	<b>4</b>	0.6	4	0.6	3	0.45
Enkelhet	10%	<b>3</b>	0.3	3	0.3	2	0.2
Netto-poäng		3.25		3.35		3.20	
Rank		2		1		3	
Fortsätta?		Nej		Ja		Nej	

Från utvärderingen ovan kan man se att Koncept 2 fick högst poäng och därför rankades högst. Denna utvärdering är spekulativ och för att få ytterligare belägg för att något koncept är bättre bör man göra test av koncepten och jämföra resultaten. Anledningen till att det inte föreslås fortsatt utveckling av Koncept 1 och Koncept 3 är att de har begränsad utvecklingsmöjlighet enligt författarens uppfattning. Detta baseras på att Koncept 1 och 3 är metoder som är bekanta för företaget och används i andra områden inom företaget.

6.1.1

### **Förtydligande av Tabell 3**

#### *6.1.1.1 Komplexitet*

Shims anses vara simpel jämfört med Koncept 2 och 3 eftersom de innefattar fler steg i tillverknings- och monteringsfasen. Implementering av shims innebär inga extra tillverkningssteg. Plattform och utrustning konstrueras och tillverkas enligt de anvisningar som finns idag. Under monteringsfasen tillkommer ett steg vid användning av shims. Processen innefattar iterativt arbete för att hitta önskat läge

genom att ha styrningar i skruvhålen och lyft av utrustningen för att skjuta in shimsplattor.

Ställskruvslösningen innefattar extra tillverkningssteg och monteringssteg. Under tillverkningen måste ställskruvs-anordningen svetsas fast på utrustningen och samtliga delar behöver beställas och köpas in. Monteringsprocessen kommer vara liknande den för shims med eventuell möjlighet för att lyft av utrustningen inte kommer behövas i samma utsträckning eftersom skruvning av ställskruven kan potentiellt lyfta utrustningen. Detta bör göras tydligt vid testning av konceptet.

Koncept 3 fräsning anses komplex eftersom den medger ytterligare steg i tillverkning av plattformen och utrustning. Efter att de svetsats ska de bearbetas i produktionsanläggningen. Då både utrustning och plattform bearbetas kan montering underlättas och iterativt arbete bör kunna undvikas.

Ställskruvslösningen innefattar ett extra steg i tillverkningsfasen och lika många steg i monteringsfasen jämfört med shimsning. Fräsning innefattar en extra tillverkningsprocess inkluderat steg som uppmätning, inställning i maskin, faktisk bearbetning och förflyttning jämfört med shimsning. Fräsning har ett mindre steg i monteringsfasen jämfört med shimsning.

#### *6.1.1.2 Konstruktionstid*

Konstruktionstiden påverkas endast av Koncept 2 då en anordning behöver läggas till på de olika utrustningarna. På Koncept 3 behöver en arbetsmån läggas till men det anses vara marginellt.

#### *6.1.1.3 Monteringstid*

Monteringstiden som nämnt ovan har potential att förbättras i koncept 2 och 3.

#### *6.1.1.4 Vertikal förskjutning*

Vid injusteringen av shims ansätts den högsta punkten på ytan under utrustning som nollpunkt och shimsplattor läggs under andra punkter för att fästa utrustningen i önskat läge. Detta innebär att jämfört med den nominella konstruktionen leder denna typ av infästning till att utrustningen hamnar vertikalt högre upp om den högsta punkten är högre än den nominella högsta punkten, vilket är till nackdel för klarningsavståndet. Enligt mätningarna av plattformen, i avsnitt 4.1.1, är det ofta högre punkter än den nominellt tänkta punkten.

På liknande sätt kommer Koncept 2 påverka den vertikala förskjutningen. Koncept 3 däremot kommer kunna efterlikna den nominella vertikala förskjutningen mer eftersom man fräser bort material och sedan monterar utrustningen.

#### *6.1.1.5 Medger demontering*

Samtliga reaktiva koncept kan demonteras. Shimsplattorna fästs inte permanent på något sätt.

#### *6.1.1.6 Utvecklingsmöjlighet*

Gällande vidareutveckling finns det möjlighet att finna fler lösningar inom Ställskruv för att förbättra och uppfylla den funktion och krav som efterfrågas. Även om testning hade visat svårigheter finns det möjlighet att testa andra lösningar såsom större dimension av skruv och tallriksfjäder som tidigare nämnt.

Shims och fräsning är mer begränsade och har utvecklats och använts länge.

#### *6.1.1.7 Medger gummielement*

Samtliga koncept medger gummielement.

#### *6.1.1.8 Anpassning till olika stora avvikelser*

Shims och Ställskruv har möjlighet att anpassas till olika avvikelser, shims med olika tjocklek på shimsplattor och Ställskruv genom justering med skruv. Fräsning kommer däremot endast kunna göras till den arbetsmån man bestämmer. Därför kan det krävas ytterligare lösning och avvikelser är större än vad den arbetsmån är.

#### *6.1.1.9 Enkelhet*

Fräsning anses vara krånglig eftersom det kräver att hela plattformen och utrustning ska bearbetas i en stor maskin.

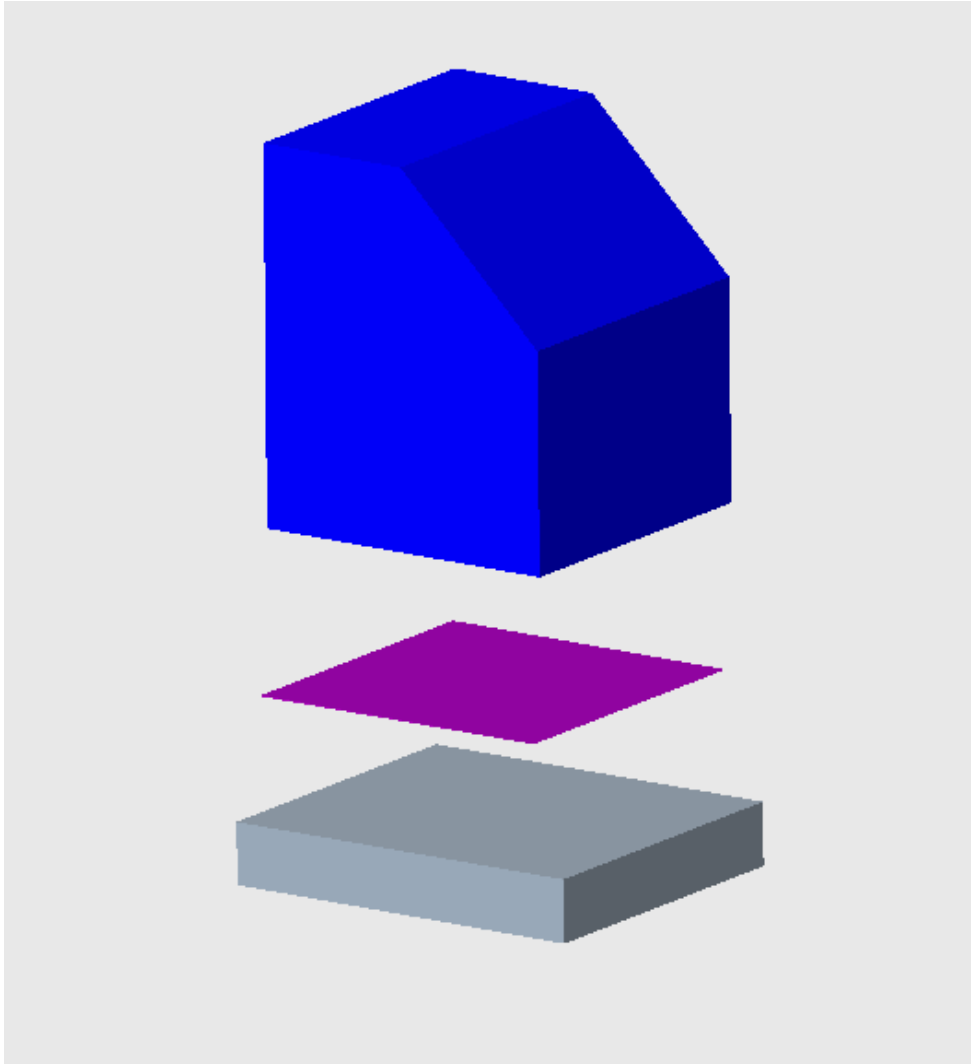
## 7 Test av urval av koncept

*I detta kapitel görs analys av ett valt koncept med ANSYS.*

Med den tidsram som satts finns inte utrymme att testa alla koncept. För att göra en form av testning har det valts att göra analyser av en shimsplatta kopplad till avsnitt 5.2.6.1. En 3D-printad shimsplatta skulle potentiellt kunna användas i A26 och därför beslutades att genomföra test på detta istället för de andra lösningarna.

Analysen gjordes för att se hur väl en shimsplatta klarar vikten av en motormodul, vilka ändringar som kan göras med geometrin och hur de ändringarna påverkar resultaten av analysen. Analysen gjordes i ANSYS och resultaten och tillvägagångssättet presenteras nedan.

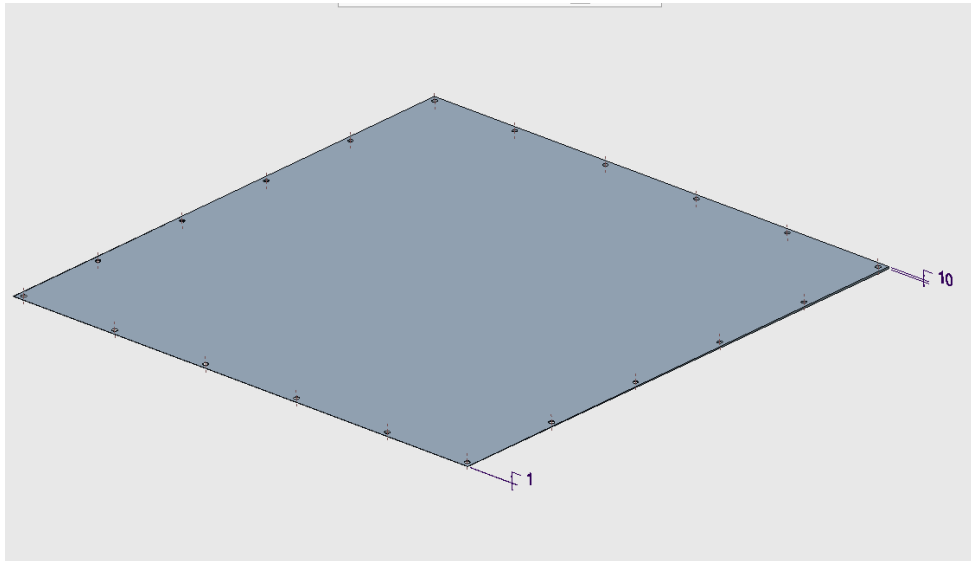
I Figur 28 syns en illustration av en motor-modul, shimsplatta och plattform. Det har antagits att glappet mellan modul och plattform är 10mm i en sida och avtar linjärt till andra sidan. Shimsplattan fyller detta glapp och är 10mm i ena sidan och 1mm i andra sidan. Anledningen till att ena sidan valdes till 1mm är för att göra geometrin enklare att arbeta med i ANSYS. I verkligheten kommer man låta modul och plattform vara i kontakt i ena sidan och ha de som nollpunkt. Modulens bottenyta har satts till en kvadrat med sida 2.5m. Shimsplattan täcker hela denna yta och har alltså samma mått.



**Figur 28 Illustration av shimsplatta mellan motor-modul och plattform**

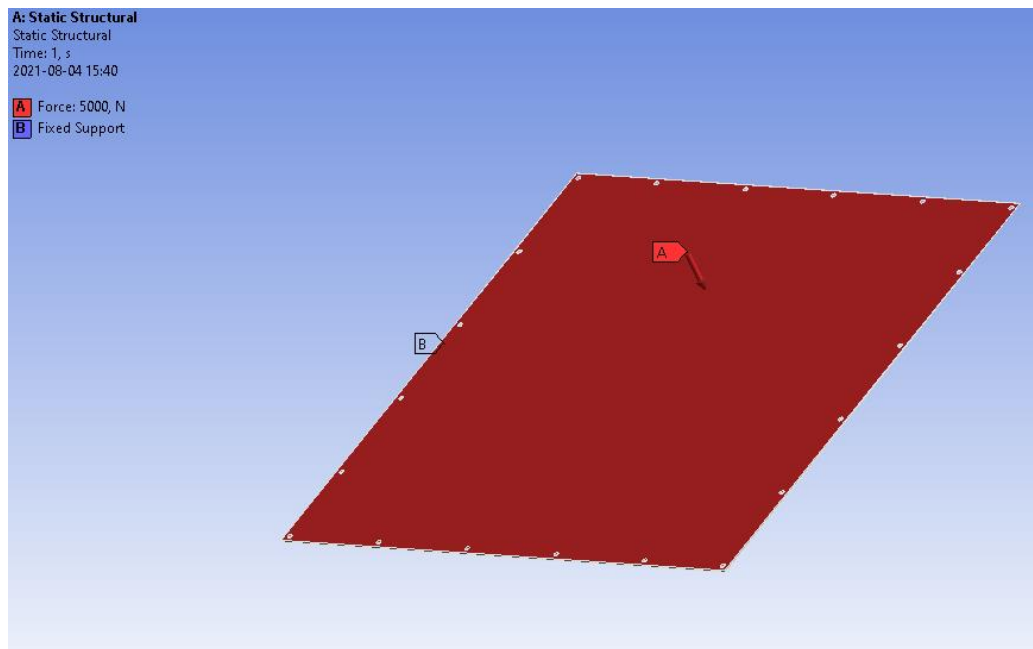
I Figur 29 syns en bild på shimsplattan. Det har valts att sätta 20 hål jämt fördelade längs kanten. Hålen har valts till 24mm i diameter och har kantavstånd 30mm. Materialet valdes till konstruktionsstål med densitet  $7850\text{kg/m}^3$ .





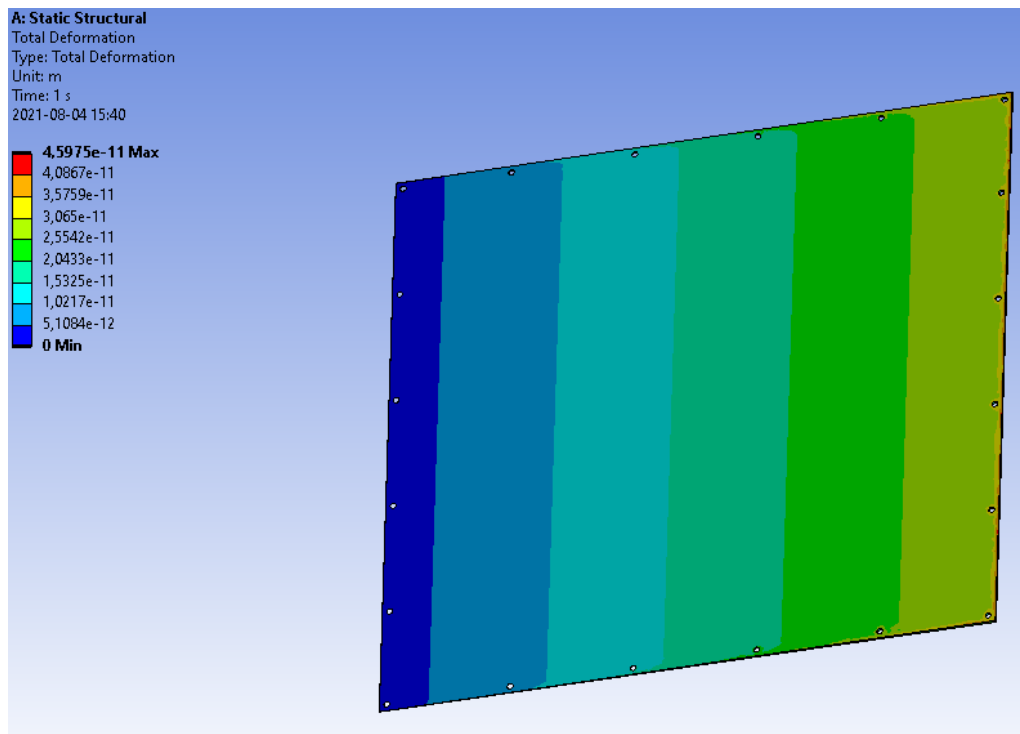
**Figur 29 Shimsplatta med 20 hål**

I Figur 30 syns uppsättningen av belastningar som påverkar plattan. Det valdes att sätta en 5000N kraft på shimsplattans ovansida som kommer från tyngden av motormodulen. Modulen antogs väga ungefär 500kg vilket ungefär är 5000N. På undersidan sattes en Fixed support vilket innebär att plattan antas sitta fast i plattformen och ingen friktion mellan plattform och platta uppstår. Vid hålen valdes det att inte sätta någon spännkraft av skruvarna med anledning av analysen gjordes för att se hur väl shimsplattan tål modulens vikt.



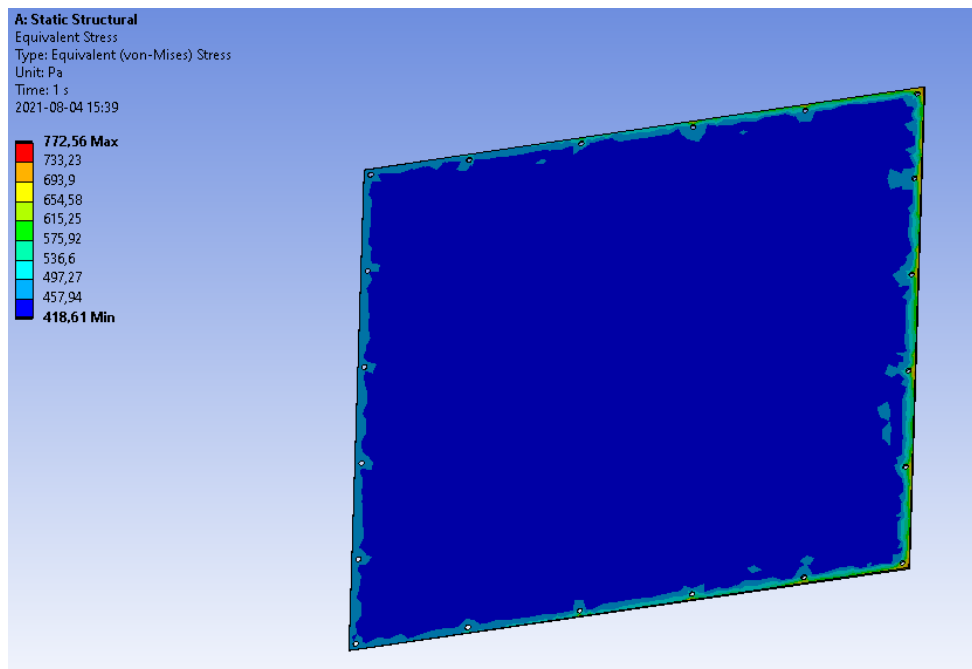
**Figur 30** Skärmlapp från ANSYS över uppsättning

I Figur 31 syns resultatet av den totala deformationen på shimsplattan. Successivt blir deformationen mer desto tunnare tjockleken på plattan blir. Maximalt uppmäts deformationen till ca 460nm vilket är väldigt lite. Eftersom hela undersidan är uppsatt med ett fixerat stöd kan inte plattan böjas alltså är deformationen som uppstår kompression av stålet.



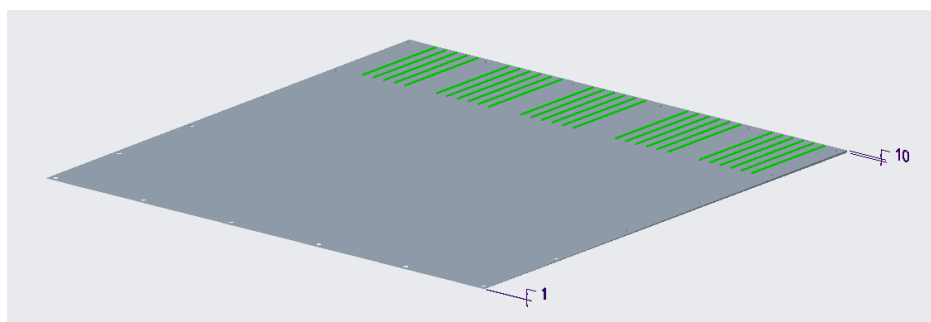
**Figur 31** Skärmlapp av total deformation av shimsplatta

I Figur 32 syns spänningar som uppstår i shimsplattan. Störst spänningar uppstår i hörnen, kanterna och runt hålen. Maximal spänning uppmätt är 0.77MPa och minsta spänning uppmätt är 0.42MPa. Strukturstålets sträckgräns, d.v.s. den maximala spänning den tål innan den plasticerar är 240MPa (Sundström, 2016).



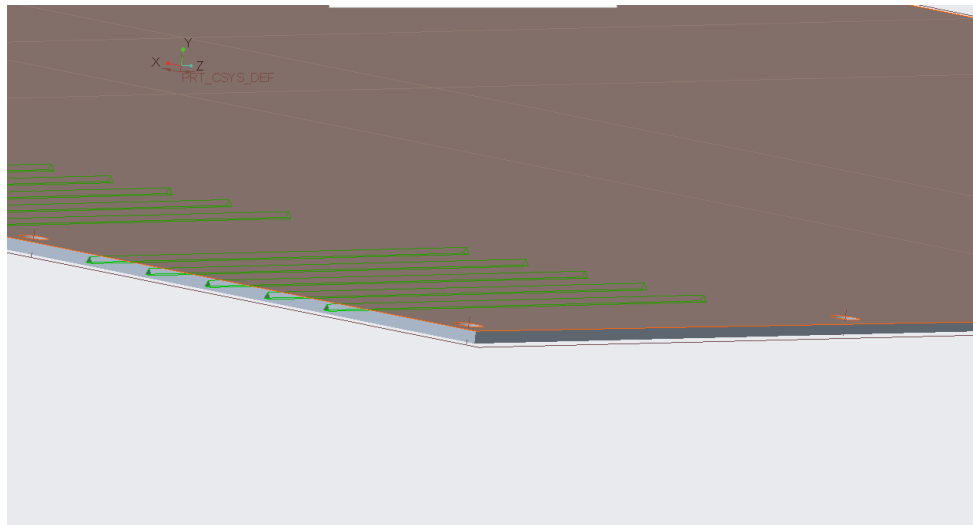
**Figur 32** Skärmlapp av spänningar i shimsplatta

I avsnitt 5.2.6.1 diskuteras möjligheten att ändra geometrin då tillverkningsmetoden är 3d-printning. Ett sätt att ändra geometrin för shimsplattan är att reducera materialet mellan topp- och bottenytan. I Figur 33 har shimsplattan reducerats med extruderade triangulära tvärsnitt längs en sida. Reduceringen har endast gjort 0.5m in i plattan för att inte göra geometrin för komplicerad och därmed begränsa processtiden i ANSYS. Reduceringen kan göras för hela plattan.



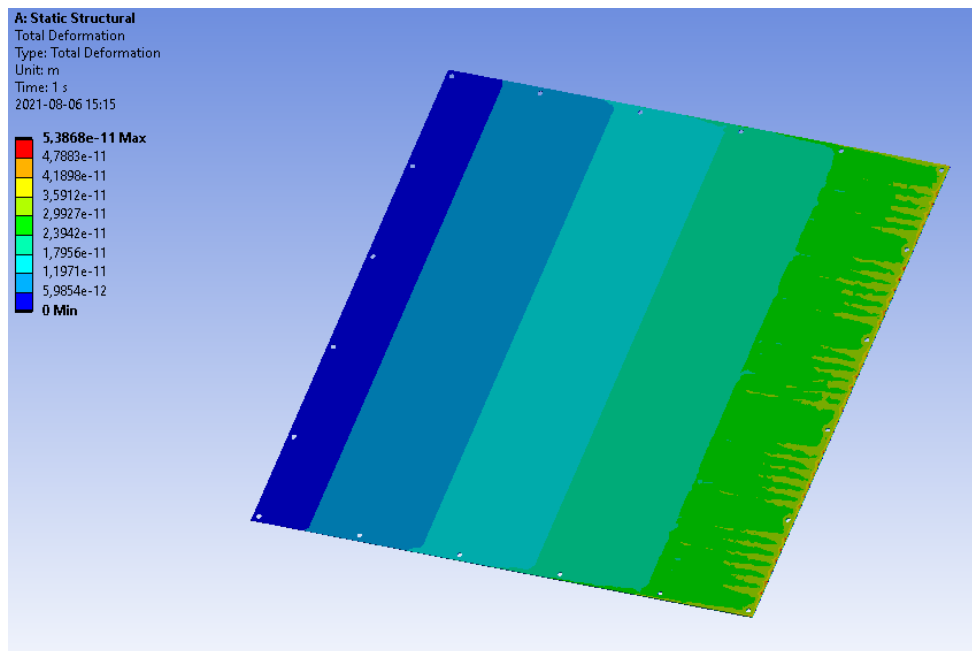
**Figur 33** Reducerad shimsplatta

I Figur 34 syns en närbild på extruderingen.



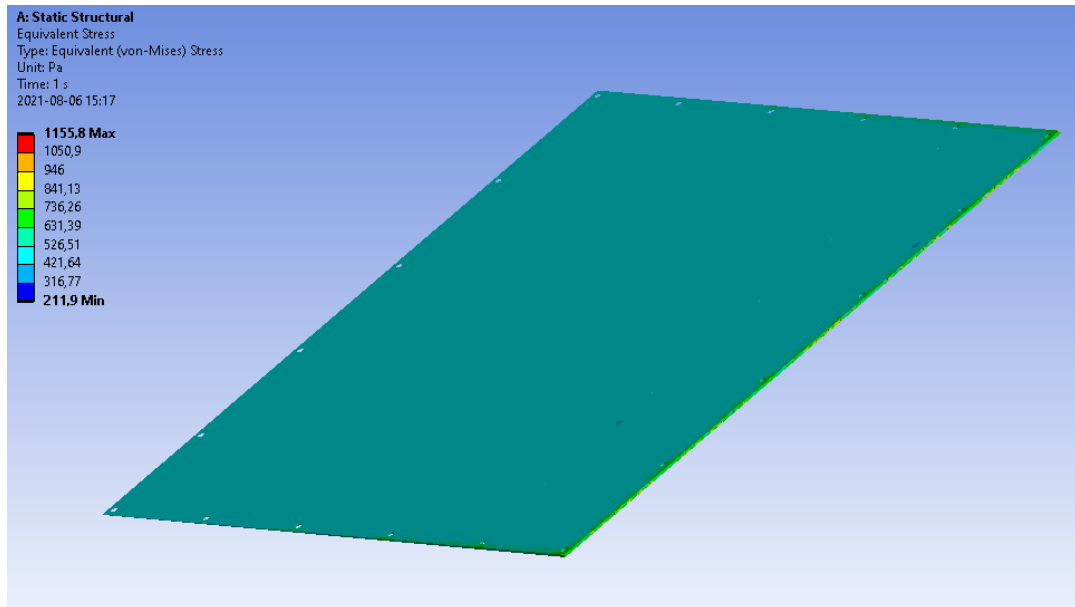
**Figur 34** Närbild på triangulära tvärsnitt i shimsplattan

Samma analys gjordes på den viktreducerade shimsplattan för att se hur ändringen påverkade analysen. I Figur 35 syns den totala deformationen av den viktreducerade plattan. Den totala deformationen ökade successivt desto mindre tjockleken på plattan blev precis som den icke viktreducerade plattan. Den maximala deformationen uppmättes till ca 540 nm.



**Figur 35 Skärmlapp på totala deformationen av viktreducerad shimsplatta**

I Figur 36 syns spänningen i den viktreducerade shimsplattan. Störst spänning blev även här i kanterna. De triangulära extruderingarna har större spänningar i hörnen vilket är förväntat p.g.a. spänningskoncentrationer. Största spänning är huruvida 1.2MPa vilket är högre än den icke viktreducerade men inte speciellt oroväckande med tanke på sträckgränsen som tidigare nämnt.



**Figur 36 Skärmlapp på spänningen i den viktreducerade shimsplattan**

Den icke-viktreducerade shimsplattan väger enligt ANSYS 269,5kg och den viktreducerade 267,7kg, se Figur 37 och Figur 38. Viktreduceringen är inte markant vilket beror på att inte hela geometrin ändrades. Som nämnt tidigare gjordes extruderingen endast 0.5m av 2.5m.

Med enkel överslagsräkning kan rimligheten kring vikten kontrolleras genom att räkna ut volymen och multiplicera med densiteten för stålet som användes, 7850kg/m<sup>3</sup>. Volymen räknas ut genom dela upp shimsplattans tvärsnitt i en triangel med höjden 9mm och basen 2.5m och en rektangel med höjden 1mm och basen 2.5m. Tvärsnittsytorna multipliceras sedan med djupet 2.5m. Se ekvationer nedan.

$$\left(\frac{2,5m * 0,009m}{2} + 0,001m * 2,5m\right) * 2,5m = 0,034375m^3$$

$$7850 \frac{kg}{m^3} * 0,034375m^3 = 269,84375kg$$

<input type="checkbox"/> Volume	3,4326e-002 m <sup>3</sup>
<input type="checkbox"/> Mass	269,46 kg

**Figur 37 Vikt och volym för shimsplatta**

<input type="checkbox"/> Volume	3,41e-002 m <sup>3</sup>
<input type="checkbox"/> Mass	267,68 kg

**Figur 38 Vikt och volym för viktreducerad shimsplatta**

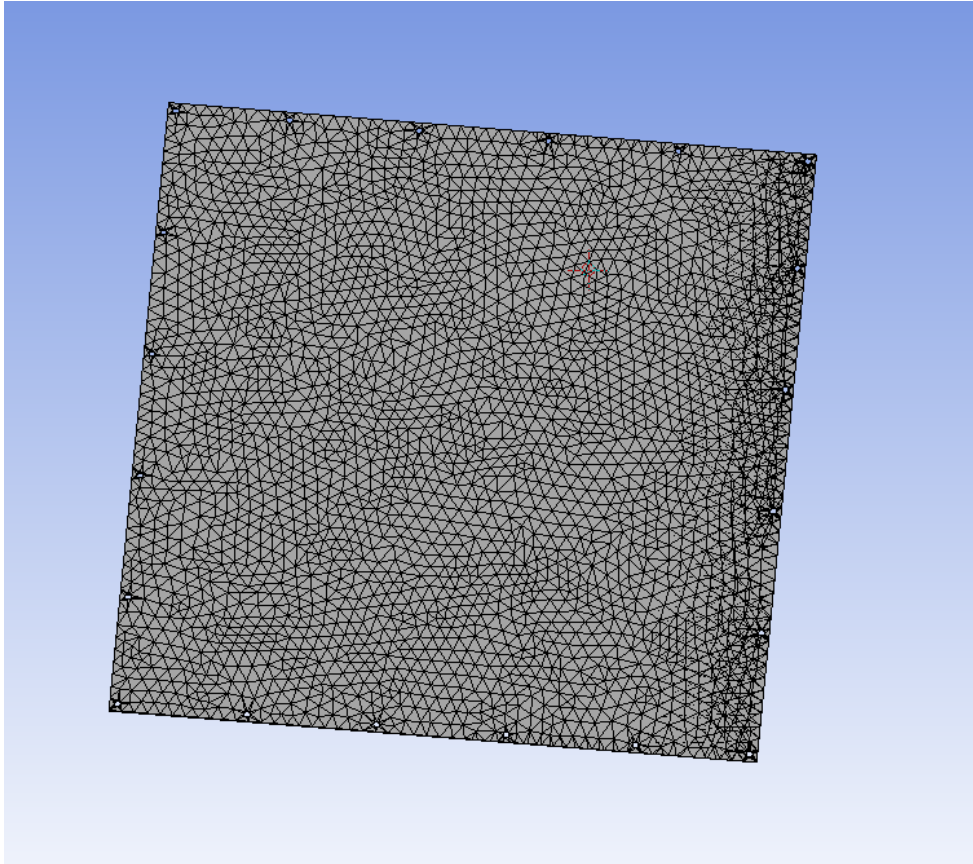
## 7.1 Slutsatser av analys

Resultaten av analysen påvisar att shimsplattan tål den tyngd som uppstår av motormodulen och det finns en god säkerhetsmarginal. Ändringen av geometrin påverkade inte hållfastheten märkvärdigt och är en god indikation på att geometrin av hela plattan kan justeras och på så sätt viktreducera ännu mer. Denna analys valdes att inte reducera hela plattan för att hålla ner simuleringstiden och inte göra en alltför komplex geometri. Om företaget ser nytta i att göra ytterligare simulering kan man då reducera hela plattan och då kunna förvänta sig intressantare resultat.

Ett antagande som gjordes var att ytorna är helt plana. I detta koncept kommer ytorna skannas och de kommer med största sannolikhet inte vara plana p.g.a. toleranser vid tillverkningen.

För att få ett bättre resultat av analysen kan inställningarna i ANSYS göras noggrannare. Noggrannheten bestäms i stor del av den storleken på elementen i de rutnät, Mesh, som sätts på parten i ANSYS. Desto fler element desto mer datorkraft krävs för att göra analysen vilket i sin tur bestämmer hur lång tid den tar. Det bestämdes därför att inte göra en allt för kompakt mesh för att begränsa tidsåtgången. Meshen syns i Figur 39.





**Figur 39** Meshen av shimsplattan i ANSYS

Ytterligare analys kan göras för att efterlikna förhållandena i en ubåt ännu bättre. Genom att definiera yttre krafter som belastar ubåtens utrustning kan man analysera mer exakt hur shimsplattan påverkas.

## 8 Diskussion och slutsats

*I denna sektion ges en överblick över koncepten och det diskuteras sätt att arbeta vidare.*

### 8.1 Reflektion kring utfall

Syftet som nämndes i avsnitt 1.3 var att få fram alternativa lösningar i konstruktionsprinciper vid infästning av utrustning på en plattform. Det har tagits fram 5 alternativ till den nuvarande lösningen som är olika applicerbara i nuläget. Det har även kartlagts hur problemet uppstår och vilka konstruktionsprinciper som används. Resultatet ger en överblick över potentiella framtida arbetsområden för SK att arbeta vidare med.

Syftet har uppnåtts väl i rapporten med goda möjligheter att vidareutvecklas i kommande undersökningar. Koncepten som har tagits fram har inte undersökts fullt ut eftersom det inte föll inom tidsramen att undersöka varje koncept grundligt. En överblick har anskaffats och det finns möjligheter att undersöka koncepten vidare.

Alternativa datainsamlingsmetoder till den som valdes är till exempel mer strukturerade intervjuer med förberedda frågor och inspelning av intervjuerna för att ge möjlighet att transkribera och dokumentera. Detta hade inneburit enklare dokumentation av var information kom ifrån och fler appendix. Det kan leda till svårare kommunikation i intervjun och kortare svar eftersom formella frågor kan vara avskräckande. Det är dessutom svårt att förbereda konkreta frågor på ett område man är dåligt insatt i vilket kan leda till att man kommer in på irrelevanta områden. Det sågs därför som en stor fördel att låta ingenjörerna berätta vad som är viktigt och fokusera på att förstå sammanhanget under intervjuerna.

Under brainstorming-sessionen fanns det utrymme för flera beprövade metoder inom utvecklingsmetodik att användas för att arbeta gemensamt komma på nya idéer. Det hade potentiellt lett till fler idéer. Att detta inte gjordes är till stor del för tidsbegränsningen som fanns samt att det inte är helt tillämpligt på denna typ av specifika problem. SK har efterfrågat en bred vy för att skapa en överblick vilket utesluter successiv elimination av koncept. Det har därför varit utmanande att finna rätt metod för att utveckla och presentera resultaten. Projektet ursprungliga plan var

att följa Ulrich & Eppingers modell mer punktligt men det har modifierats då man blivit mer insatt i hur problemet sett ut och vad som har efterfrågats av SK.

Den frågeställning som efterfrågats av SK är inte den typiska produktutvecklingsprocess jag stött på tidigare och en stor utmaning har varit att hitta rätt sätt att arbeta. Jag tror att utfallet hade varit annorlunda om arbetet hade genomförts av två studenter som det ursprungligen var tänkt. I denna nya situation har mycket tid lagts åt att fundera på vilket sätt problemet bör angripas och var fokus ska läggas. Jag anser det vara en styrka att vara två studenter i en sådan situation. Hursomhelst, jag har fått väldigt mycket stöd av mina handledare och arbetet har anpassats utifrån denna förutsättning.

## 8.2 Rekommendation

Koncept 2: Ställskruv rekommenderas att arbeta vidare med för att få fram en detaljkonstruktion för att sedan testa konceptet eftersom denna har potential att implementeras i snar framtid. Skulle testning ge gynnsamma resultat innebär det att det finns en konkret lösning på att plattformens skevhet och möjlighet att arbeta runt det.

I konceptet gällande fräsning (koncept 3) finns det många varianter att välja såsom fräsning av hela ytan, fräsning av ytor under utrustning och fräsning av plattor som svetsats på plattformen. Det finns goda möjligheter att implementera detta eftersom kompetens och kapacitet att göra detta redan finns. Man bör lyfta detta alternativ i framtida diskussioner kring processflöden.

Koncept 4, Standardplatta, är ett arbetsområde passande för ytterligare ett examensarbete. Processen att ta fram beräkningsunderlag för att bestämma parametrar och KPA för detta är krävande. Eftersom det i slutändan är underleverantörer som tillverkar större delen av utrustningen behöver det föras en dialog för att se att de specifikationer som efterfrågas kan produceras av underleverantörerna.

Koncept 5, Limning, är intressant för att undersöka limning av plattformen vilket anses vara svåruppnåeligt vid första anblick men en djupare undersökning skulle kunna visa motsatsen. Limning har goda möjligheter att användas på mindre utrustning i dagsläget och har många nämnda fördelar och öppnar upp nya materialval.

Koncept 6, 3d-printning, är i stor del beroende av utvecklingen av teknologin i framtiden och kan inte undersökas internt av SK vad gäller printning av plattform. Det bör kontaktas experter i området för att få svar på vilka möjligheter det finns. Även 3d-printning av shims är av intresse för framtida studier. Fördelen i att 3d-printa utrustning såsom basplattor och skåp kan ifrågasättas eftersom de inte kräver speciellt komplex geometri. Skannade och 3d-printade shimsplattor har god

möjlighet att användas och underlätta infästningen. De bör undersökas för applicering i A26.

Med en överblick av samtliga koncept är det intressant att se kombinationer av dessa. Koncept 2, Ställskruv skulle kunna kombineras med Koncept 5, Standardplatta. I specifikationen av standarden kan det ges instruktion för att implementera Koncept 2. Detta skulle innebära att det skapades en standardplatta med en justerande ställskruv som infästning, dvs att den justerande ställskruven ingår i standarden. En annan kombination är som tidigare nämnt 3d-printning av shims.

De förslagna koncepten är av olika karaktär och de skulle appliceras i olika stadier. Vissa appliceras i designfasen och andra i tillverkningsfasen. I designfasen kan optimeringar göra att konstruktörer får mer tid och blir effektivare vilket kan ha stor inverkan. En standard att följa spar mycket tid eftersom varje konstruktör inte behöver skapa en speciell lösning till varje fall utan det finns en standard att följa och man litar på att det blir rätt. Det kan dock krävas modifieringar av designer som redan har skapats vilket kan tolkas som dubbelt arbete och därmed tidskrävande. I tillverkningsfasen kan optimeringar ha mer konkreta fördelar genom att man ser att deadlines efterhålls och stopp i produktion undviks. Ändringar i tillverkningsfasen kan bli tidskrävande eftersom det innebär nya arbetsprocesser och metoder. Detta är något som kommer med alla förändringar men för att uppnå förbättringar behövs i vissa fall förändringar.

Denna studie kan förhoppningsvis bidra till vidare konceptgenerering och en introduktion till att fler lösningar och undersökningar kommer fram.

# Referenser

- 3Dprint.com. (den 29 januari 2021). *3Dprint.com*. Hämtat från <https://3dprint.com/278319/naval-group-uses-waam-to-3d-print-first-propeller-installed-on-french-navy-ship/>
- 3M Sverige. (2021). *3msverige.se*. Hämtat från [https://www.3msverige.se/3M/sv\\_SE/bonding-and-assembly-ndc/substrate/metal/](https://www.3msverige.se/3M/sv_SE/bonding-and-assembly-ndc/substrate/metal/) den 11 05 2021
- 3M Sverige. (u å). *3msverige.se*. Hämtat från [https://www.3msverige.se/3M/sv\\_SE/bonding-and-assembly-ndc/structural-adhesives/](https://www.3msverige.se/3M/sv_SE/bonding-and-assembly-ndc/structural-adhesives/) den 11 05 2021
- Bellgran, M., & Säfsten, K. (2008). Utvärdering av befintliga produktionssystem. i *Produktionsutveckling* (ss. 124-128). Studentlitteratur.
- Boyl-Davis, T., Jones, D. D., & Zimmerman, T. E. (2011). *USA Patentnr US8756792B2*. Hämtat från <https://patents.google.com/patent/US8756792?q=shims>
- Designvetenskaper Lunds tekniska högskola. (den 11 09 2020). *design.lth.se*. Hämtat från Additiv tillverkning: <https://www.design.lth.se/om-institutionen/forskningslaboratorier/3dprintlab/additivtillverkning/>
- FMV. ( u å). *Nya förmågor genom uppgradering*. Hämtat från <https://www.fmv.se/projekt/ubat-a26/projektundersida/> den 2 mars 2021
- GA Lindberg. (2014). *galindberg.se*. Hämtat från <https://www.galindberg.se/media/1145/3m-tejp-och-limguide-konstruktionslim.pdf> den 12 05 2021
- GE Additive. (u å). *ge.com*. Hämtat från <https://www.ge.com/additive/who-we-are/about-arcam> den 13 05 2021
- GE Additive. (u å). *ge.com*. Hämtat från [https://www.ge.com/additive/sites/default/files/2020-04/DMLM\\_X%20Line\\_Bro\\_8\\_US\\_EN\\_v1.pdf](https://www.ge.com/additive/sites/default/files/2020-04/DMLM_X%20Line_Bro_8_US_EN_v1.pdf) den 13 05 2021
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2010). *Additive Manufacturing Technologies*. Springer.

- Gleria, S. d. (2019). *svets.se*. Hämtat från <https://www.svets.se/kunskapsbanken/tekniskinfo/limning.4.38a2e557141001d6475b35.html> den 30 05 2021
- Gustavsson, M., & Säfsten, K. (2019). Techniques for data collection. i *Research Methodology: For engineers and other problem-solvers* (1a uppl., ss. 152-155). Lund: Studentlitteratur.
- Hågeryd Lennart, B. S. (1993). Verstadsteknisk mätteknik. i *Modern produktions teknik del 1* (ss. 21-22). Falköping: Liber Utbildning AB.
- Johannesson, H., Persson, J.-G., & Pettersson, D. (2013). Produktutveckling. Stockholm: Liber AB.
- Naval Group. (2021). Naval Group, a 3D printing pioneer for naval defense. Hämtat från <https://www.youtube.com/watch?v=uWORasjj1WQ> den 02 06 2021
- Naval Group. (den 13 januari 2021). *naval-group.com*. Hämtat från <https://www.naval-group.com/en/naval-group-equips-french-navy-ship-3d-printed-propeller-870>
- SAAB. (2015). *Produktionsstart för Saab Kockums ubåt A26*. Hämtat från <https://www.saab.com/sv/newsroom/press-releases/2015/produktionsstart-for-saab-kockums-ubat-a26> den 2 Mars 2021
- SAAB. (2020). Welcome to our shipyard in Karlskrona [video file]. Hämtat från <https://www.youtube.com/watch?v=ksbXMLiP-9Y> den 11 05 2021
- SAAB. (u å, a). *World leading submarines*. Hämtat från <https://www.saab.com/markets/netherlands/dutch-submarines/world-leading-submarines> den 2 mars 2021
- SAAB. (u å, b). *Från svärdfisken till världsledande ubåtsteknik*. Hämtat från <https://history.saab.com/teman/innovatorerna-och-produkterna/fran-svardfisken-till-varldsledande-ubatsteknik/> den 2 mars 2021
- SAAB. (u å, c). *About Saab's shipbuilding capabilities*. Hämtat från <https://www.saab.com/markets/netherlands/dutch-submarines/about-saabs-shipbuilding-capabilities> den 2 mars 2021
- Sundström, B. (2016). *Handbok och formelsamling i Hållfasthetslära*. Stockholm.
- Taavola, K. (2009). *Ritsteknik Maskinteknik* (1:a uppl.). Stockholm: ATHENA lär AB.
- Ulrich, K., & Eppinger, S.D. (2012). *Product Design and Development*. London: McGraw-Hill.
- 朱明, 钟. (2012). *Kina Patentnr CN102032422A*. Hämtat från <https://patents.google.com/patent/CN102032422A/en>

# Bilaga A Tidplan

Nedan finnes den tidplan som sattes för projektet, hur tidplanen för projektet blev och kommentarer kring detta.

## A.1 Antagen tidplan och faktiskt utfall

Tidsramen för projektet är 20 veckor. Under arbetet i detta projekt följdes den antagna planen väl. Det var några skillnader mellan det faktiska utfallet och det planerade. För att genomföra arbetet var en registerkontroll tvungen att genomföras, denna tog lång tid och gjorde att arbetet hos SK inte kunde påbörjas direkt. Uppgift A blev därför kortare. Uppgift C och Uppgift D arbetades parallellt eftersom projektet krävde det. I Figur A.1 syns den antagna tidplanen och i Figur A.2 syns det faktiska utfallet.

**Uppgift A:** *Introduktion och initiering*

**Uppgift B:** *Research och intervjuer*

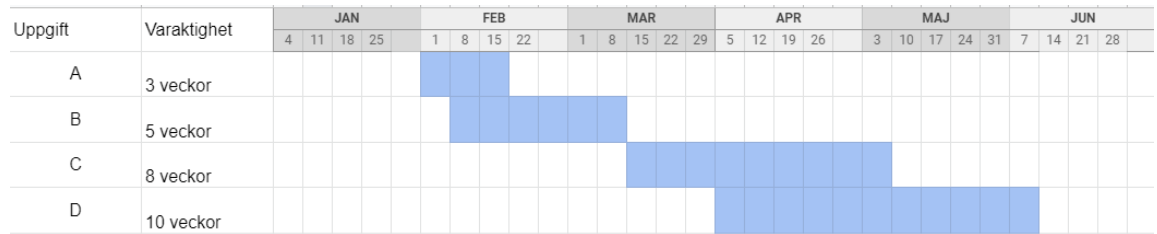
**Uppgift C:** *Konceptgenerering och utveckling av koncept*

**Uppgift D:** *Rapportskrivande*

Uppgift	Varaktighet	JAN				FEB				MAR					APR				MAJ					
		4	11	18	25	1	8	15	22	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7
A	5 veckor																							
B	5 veckor																							
C	7 veckor																							
D	6 veckor																							

Figur 40 Projektets antagna tidplan.

S

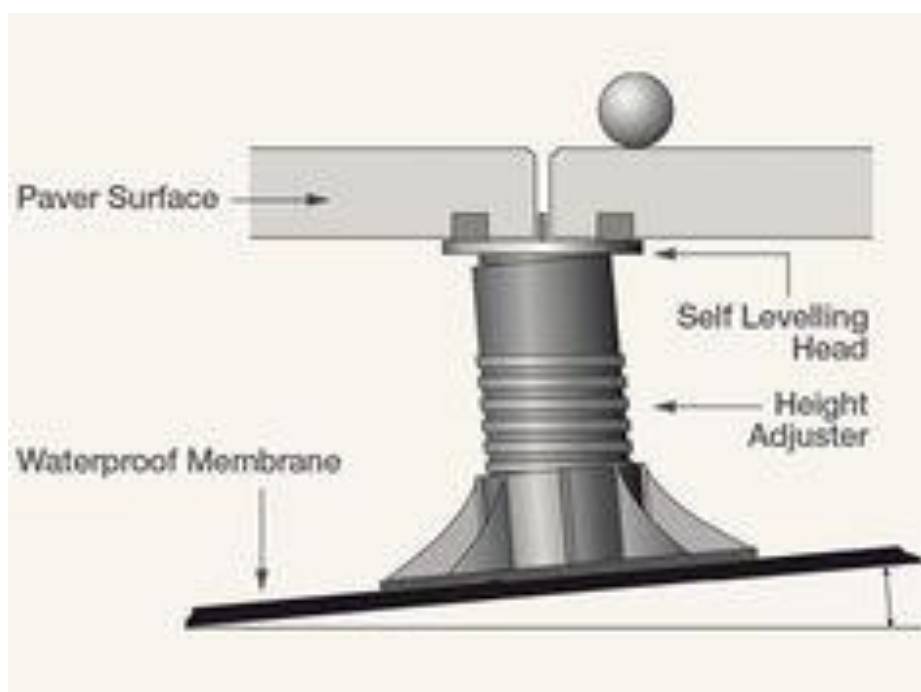


**Figur 41 Projektets faktiska utfall**



## Bilaga B

*Här syns de figurer som hittades under Benchmarking.*



**Figur 42** En konstruktion för att justera golvplattor



Figur 43 Unisorb Level-right används under större maskiner



**Figur 44 Unisorb i botten av en maskin för att justera infästning.**



**Figur 45 En skruv med sfärisk botten som kan ändra riktning.**



**Figur 46** En klassisk infästning för maskiner. Gummimaterialet Neopren i botten skapar friktion och gör att maskinen inte behöver fästas i golvet.