CHALMERS

Infästning och inklädnad av avfyrningstorn till drönare

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Design- och Produktutveckling

ALEXANDER SANNERHOLM OCH NIKOLA MARKOVIC

INSTUTITIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2020
www.chalmers.se

Sammanfattning

Sjöräddning kan definieras som räddning av människor som befinner sig alternativt kan befaras vara i en nödsituation till havs. Det är staten som ansvarar för att sjösäkerheten organiseras och att en eller flera sjöräddningscentraler etableras. Däremot är det många aktörer som är med och genomför det operativa sjöräddningsarbetet med fartyg och flygfarkoster. En av dessa aktörer är Svenska Sjöräddningssällskapet (SSRS).

SSRS är en ideell organisation som jobbar för att rädda liv till sjöss. Under ett antal år har SSRS arbetat med att ta fram en drönare att använda i sjöräddningssyfte. Vid inkomna larm ska drönaren, som styrs av en pilot som befinner sig på SSRS:s kontor, skickas iväg från ett avfyrningstorn. Därefter anländer den i förväg till olycksplatsen, där den förser sjöräddarna med en visuell överblick av situationen med hjälp av kamera. Detta möjliggör för SSRS att förbereda sig genom att få med rätt utrustning samt sänker stressnivån i de fall där larmet inte är akut. När drönaren inte är aktiv ska den förvaras i avfyrningstornet, som det i nuläget existerar en fungerande prototyp av, som dock är långt ifrån optimal.

För att Sjöräddningssällskapet ska kunna placera ut drönare längs kusterna krävs bland annat att tornets infästning utvecklas och optimeras med hänsyn till olika potentiella underlag. Utöver det måste även avfyrningstornet kläs in för att förhindra att elektronik och andra känsliga komponenter skadas av regn, hårda vindar och dylikt.

Målet med projektet har därav varit att ta fram koncept för infästning samt inklädnad för avfyrningstornet, som i framtiden ska kunna förverkliga Sjöräddningssällskapets ambitioner kring användning av drönare.

Konceptförslaget för infästningen blev en kvadratisk platta som är dimensionerad för att i aktivt läge klara av vindlaster som uppstår vid en vindhastighet av 44.3 m/s. Denna plattan går att fästa i en brygga, stenhäll eller sandstrand.

Gällande inklädnaden blev det resulterande konceptet tre höljen som överlappar varandra, vilket möjliggör för avfyrningstornets teleskopfunktion och rotation att verka ostört. Inklädnaden håller ute väta samt smuts i stor utsträckning och skyddar innanredet från yttre våld. Vid färgsättning och grafisk design har hänsyn tagits till SSRS:s nuvarande estetiska värderingar samt miljön avfyrningstornet ska befinna sig i.

Abstract

Sea rescue can be defined as the rescue of people who are or are believed to be in a state of emergency at sea. The state is responsible for organizing safety at sea and establishing one or more sea rescue stations. However, there are many operators who participate in conducting the sea rescue operations with vessels and aircrafts. One of these operators are The Swedish Sea Rescue Society (SSRS).

SSRS is a nonprofit organization that works to rescue lives at sea. For several years SSRS has been developing a drone to be purposed for sea rescue. When receiving an emergency call the drone, which is controlled by a pilot located at SSRS' office, will be launched from a launch tower. It will then arrive in advance to the scene of the emergency and provide the sea rescuers with a visual overview of the situation using a camera. This enables SSRS to prepare themselves better by bringing the necessary equipment and lowering the stress level in non-urgent cases. When the drone is inactive it will be housed in the launch tower of which a working prototype exists, though it is far from perfect.

In order for The Sea Rescue Society to be able to place drones along the coasts, it is required that the tower's mounting is developed and optimized with regards to different potential foundations. In addition to the mounting, the launch tower also needs to be encased in order to prevent electronics and other sensitive components being damaged by rain, rough winds and such.

The goal of the project has been to develop a concept of the mounting as well as the casing for the launch tower. These will in the future help SSRS to achieve their ambitions of drone usage.

The proposed concept of the mounting is a square plate which has been dimensioned to withstand the wind load that arises at a windspeed of 44.3 m/s when the launch tower is in an active state. It is possible to mount the plate on a dock, rock surface or a sand beach.

The resulting concept of the casing are three shells that overlap each other which enables the telescope ability and rotation of the launch tower to act unhindered. The casing keeps water and dirt out to a large extent and protects the inside from external forces. When choosing the color scheme and the graphical design the esthetical expression of SSRS was taken into account as well as the environment in which the launch tower will be located in.

Innehållsförteckning

1. Inledning **1**

1.1 Bakgrund 2

1.2 Syfte 3

1.3 Mål 3

1.4 Avgränsningar 3

1.5 Precisering av frågeställningen 4

2. Teoretisk referensram **5**

2.1 Drönare 6

2.2 Sjöräddning 7

2.3 Hållfasthet 8

2.4 Maskinelement 12

2.5 Materialegenskaper 13

2.6 Tätningsmaterial 15

2.7 Tillverkningstekniker 16

3. Metod **18**

3.1 Funktionsanalys 19

3.2 Kravspecifikation 19

3.3 Brainwriting 19

3.4 3-6-5-metoden 19

3.5 Morfologisk matris 20

3.6 P.N.I. 20

3.7 Pughmatris 20

4. Genomförande **22**

4.1 Informationsinsamling 23

4.2 Analys 23

4.3 Konceptgenerering 23

4.4 Utvärdering 23

4.5 Visualisering 24

5. Informationsinsamling och kravidentifiering 25

5.1 Geografiska förutsättningar 26

5.2 Vanligt förekommande infästningar och inklädnader 26

5.3 Funktionsanalys 28

5.4 Kravlista 30

6. Konceptframtagning 32

6.1 Genomförande 33

6.2 Brainwriting 33

6.3 3-6-5-metoden 34

6.4 Delfunktioner och dellösningar 34

6.5 Morfologisk matris 36

6.6 Utvärdering 38

6.7 De olika koncepten 39

6.8 Val av koncept 41

7. Vidareutveckling 42

7.1 Materialval 43

7.2 Höljenas utformning 43

7.3 Kragar 44

7.4 Tätningar 44

7.5 Färg och grafik 46

7.6 Modifikationer utifrån verkstadens förutsättningar 47

7.7 Fäste på olika underlag 48

7.8 Dimensionering av fäste, FEM 48

8. Resultat 55

8.1 Slutkoncept 56

8.2 Utvärdering 58

9. Diskussion 62

9.1 Reflektioner kring trovärdighet och realiserbarhet 63

9.2 Hållbarhetsanalys 64

9.3 Etik 64

9.4 Förslag på förbättringsområden 65

10. Slutsats **66**

Källförteckning **68**

Bilagor **75**

Bilaga 1 76

Bilaga 2 77

Bilaga 3 78

Bilaga 4 79

Bilaga 5 80

Bilaga 6 81

Bilaga 7 82

Bilaga 8 83

1. Inledning

Detta introducerande kapitel ger en inblick i projektet och redovisar dess bakgrund, syfte, mål, avgränsningar och frågeställningar.

1.1 Bakgrund

Drönare är ett samlingsnamn på obemannade luftfarkoster som antingen fjärrstyrs eller flyger autonomt, det vill säga självstyrande. Under denna kategori ryms allt från små varianter som enbart väger några hundra gram till större på flera tusentals kilo. Den stora variationen gör att drönare kan nyttjas till allt från nöjesflygning och flygfotografering, till transporter och krigföring (Hobbex, u.å.). Det finns med andra ord många befintliga samt potentiella användningsområden, något som öppnar upp för många olika möjligheter och några som valt att försöka utnyttja detta är Svenska Sjöräddningssällskapet (SSRS).

Sjöräddningssällskapet grundades 1907 och är en ideell förening som jobbar för att rädda liv till sjöss. Med hjälp av 2200 frivilliga sjöräddare och fler än 230 räddningsbåtar fördelat över 72 räddningsstationer runt om Sveriges kuster samt största sjöar, är SSRS delaktiga i mer än 80% av all sjöräddning i landet. SSRS begär inga statliga bidrag, utan allt arbete är beroende av ideella insatser i form av medlemsavgifter, gåvor och donationer (Sjöräddningssällskapet, u.å.).

SSRS har under ett antal år arbetat med att ta fram en drönare att använda i sjöräddningssyfte. Vid inkomna nödsamtal ska denna skickas ut i förväg till olycksplatsen. Drönaren är utrustad med en kamera och ska när den väl är på plats erbjuda videoövervakning och förse sjöräddarna med en överblick av situationen, redan innan de lämnat land. Detta är något som hade underlättat sjöräddningsarbetet avsevärt, vilket i sin tur kan bidra till fler räddade liv till sjöss.

Drönaren i det här projektet ska då den inte används förvaras i en konstruktion som skjuter iväg den vid besvarade larm. Denna konstruktion kallas för avfyrningstornet. I nuläget finns det en fungerande prototyp (se figur 1), men denna är långt ifrån optimal. Den består endast av ett “skelett” med de nödvändiga grundkomponenterna och en botten som gör att den kan stå på plan mark.

För att Sjöräddningssällskapet ska kunna placera ut drönare längs kusterna krävs bland annat att avfyrningstornet utvecklas. Infästningen behöver utvecklas och optimeras med hänsyn till olika potentiella underlag, såsom brygga, sand och stenhäll. Utöver det måste även konstruktionen kläs in för att förhindra att elektronik och andra känsliga komponenter skadas av regn, hårda vindar och dylikt.

1.2 Syfte

Syftet är att undersöka vilka laster som avfyrningstornet utsätts för samt vilka förutsättningar som råder på de platser som drönaren kan tänkas placeras på, såsom underlaget och väderförhållanden.

Syftet är vidare att undersöka vad som krävs av en inklädning av torn med avseende på funktion och estetiskt värde.

1.3 Mål

Målet med projektet är att ta fram ett koncept för infästning av avfyrningstornet. Målet är vidare att utveckla ett koncept av en inklädnad som skyddar innanredet. Dessa koncept tillsammans ska i framtiden kunna förverkliga Sjöräddningssällskapets ambitioner kring användning av drönare.

Ytterligare mål är att genomföra beräkningar i syfte att försäkra sig om att satta hållfasthetskrav uppfylls.

1.4 Avgränsningar

Detta projekt är enbart begränsat till avfyrningstornets yttre skal och dess botten (se figur 2). Det kommer därmed inte behandla drönaren i sig, avfyrningsmekanismen med tillhörande drönarhus, rotationsmekanismen eller tornets stomme.

***Figur 1**. CAD-modellen till vänster samt prototypen till höger innan projektets start.*

***Figur 2**. Det markerade området visar vad projektet är avgränsat till.*

På grund av den låga produktionsserien finns ingen specifik budget att ta hänsyn till så länge projektet håller sig till lättillgängliga material och väletablerade tillverkningsmetoder som inte kräver att tillverkaren köper in nya maskiner.

Hållfasthetsberäkningar är begränsade till infästningen, dess fästelement samt inklädnaden (se figur 2).

1.5 Precisering av frågeställningen

- Vilka geografiska begränsningar finns det för ett avfyrningstorn?
- Hur ska avfyrningstornet kläs in så att det motstår väderförhållandena utan att den förhindrar tornets teleskop- samt rotationsfunktion?
- Hur kan SSRS estetiska uttryck förmedlas för att uppmuntra till donationer?
- Hur kan avfyrningstornet fästas i underlaget på ett funktionellt sätt?
- Hur ska inklädnaden konstrueras för att möjliggöra en snabb och effektiv avfyrning av drönaren?

2. Teoretisk referensram

Den teoretiska referensramen innefattar nödvändig teori för läsaren att ta till sig rörande området som undersöks.

2.1 Drönare

Som tidigare nämnt syftar ordet drönare på fjärrstyrda eller autonoma obemannade luftfarkoster i varierande storlekar. Manövreringen sker med hjälp av en radiosändare och drönare är ofta utrustade med kamera (se figur 3), vilket gör att man med skärm eller FPV-goggles kan se det drönaren ser (Hobbex, u.å.). Mångsidigheten möjliggör användning för flertal olika syften, vilket gör drönare till ett potentiellt hjälpmedel vid livräddning.

***Figur 3**. Exempel på kamerautrustad drönare.*

Det finns i nuläget aspekter som måste tas i beaktning vid drönaranvändning såsom diverse lagkrav. Enligt Hobbex (u.å.) är det sedan den första augusti 2017 lagligt i Sverige att filma samt fotografera med drönare utan att behöva ansöka om tillstånd. Man behöver dock ta hänsyn till den personliga integriteten och får inte ta kränkande foton eller filmer (Transportstyrelsen, 2019).

Lagen säger att flygning måste ske så att det obemannade luftfartyget är väl inom synhåll, förhåller sig till den specifika drönarens operativa räckvidden, är utrustad med belysning och är märkt med operatörens kontaktuppgifter (Transportstyrelsen, 2019). Sker flygningen i okontrollerat luftrum ska det ske på en höjd som är lägre än 120 meter (Transportstyrelsen, 2019). Drönaren måste hålla ett horisontellt säkerhetsavstånd till människor, djur och egendom för att inte riskera att någon eller något kommer till skada. Det finns även restriktionsområden i Sverige över till exempel fängelser, kärnkraftverk, naturområden och militära områden. För dessa gäller särskilda villkor och ofta krävs även ett särskilt tillstånd (Transportstyrelsen, 2019).

2.2 Sjöräddning

Den svenska definition för sjöräddning innefattar räddning av människor som befinner sig alternativt kan befaras vara i en nödsituation till havs. Det är staten som ansvarar för att sjösäkerheten organiseras och att en eller flera sjöräddningscentraler etableras. Däremot är det många aktörer som är med och genomför det operativa sjöräddningsarbetet med fartyg och flygfarkoster (Sjöfartsverket, 2003).

***Figur 4**. Flagga med Sjöräddningssällskapets logotyp.*

I Sverige regleras ansvaret kring sjöräddning i *Lagen om skydd mot olyckor* och *Förordningen om skydd mot olyckor*. Baserat på dessa är Sjöfartsverket den myndighet som är ytterst ansvarig för sjöräddningen. De bistår med alarmcentral och räddningsledning genom Sjö- och flygräddningscentralen (JRCC), driver den svenska flottan med räddningshelikoptrar samt disponerar över ett stort antal lotsbåtar och andra fartyg (Sjöfartsverket, 2020). Utöver Sjöfartsverket är Svenska Sjöräddningssällskapet en av de aktörer som bidrar med räddningsarbete och resurser. De övriga är Kustbevakningen, sjöpolisen, Försvarsmakten och kommunala räddningstjänster i varierande utsträckning (Sjöfartsverket, 2003).

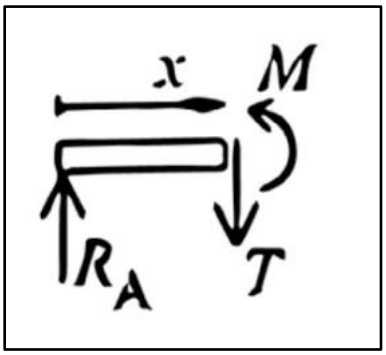
Vid en nödsituation till sjöss brukar händelseförloppet se ut som följande: Ett larm går antingen via 112 eller direkt till Sjö- och flygräddningscentralen i Göteborg via en marin VHF-kommunikationsradio, en radio som tillhandahåller en ständig kommunikation med land samt är en kanal för utsändning av information till sjöfarare (Sjöfartsverket, 2020). Den nödställde intervjuas av en person som tar emot samtalet, samtidigt som ytterligare en person på centralen avlyssnar. När den avlyssnande person anser sig ha tillräckligt med information kring situationen, går den ut med ett anrop till närmst belägna räddningsstationen. Personen hör sig också för med sjöpolisen och kustbevakningen. Därefter skickas räddningspatruller till den nödställde (Sjöräddningssällskapet, 2010). I dessa scenarion är tid en dyrbar faktor. En person som hamnat i kallt vattnet kan bli kraftigt nedkyld, så kallad hypotermi, med en kroppstemperatur på under 35 grader. Detta då vatten leder bort kroppsvärme 25 gånger mer effektivt än luft. Hypotermi är direkt livsfarligt och en nödsatt person i iskallt vatten har som mest 10 minuter på sig innan händer och fingrar blir stelfrusna, obrukbara och omdöme samt tankeförmåga försämras. Efter ungefär en halvtimme förlorar man medvetandet (1177 Vårdguiden, 2019).

2.3 Hållfasthet

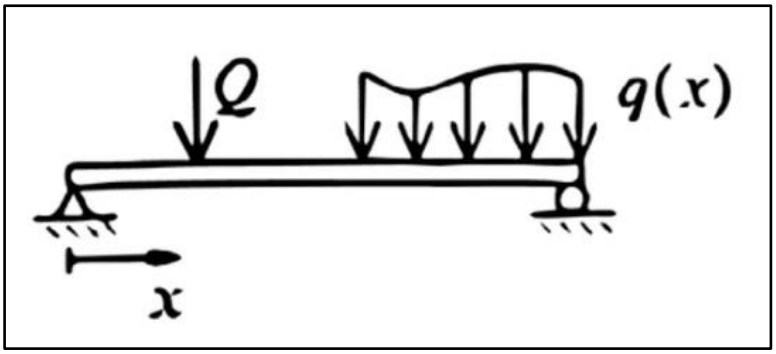
Nedan tillhandahålls relevant hållfasthetslära.

2.3.1 Allmänt om balkar

En balk är enligt Dahlberg (2001) en endimensionell kropp, d v s kroppens (balkens) utsträckning i x-led är mycket större än dess utsträckning i y- och z-led. En balk belastas vanligtvis vinkelrätt mot sin längdriktning. Belastningen ger upphov till *snittstorheter* som *tvärkraft* T, *böjmoment* M, samt *normalkraft* N.



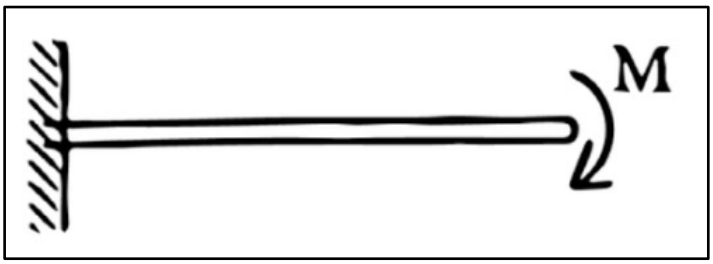
Figur 5. *Frilagd balk med snittstorheterna* ***T*** *och* ***M*** *inlagda samt normalkraften benämnd som* $\boldsymbol{R_A}$.



Figur 6. *Fritt upplagd balk belastad med punktkraft Q och* ***linjelast q(x)***.

Man kan utgå från att belastningen av en balk alltid sker i ett plan och att en godtycklig last därmed kan delas upp i två vinkelräta komponenter. Belastningen kan vara *utbredd*, d v s den angriper längs en linje och kallas då *linjelast*. Den har dimensionen N/m och ska här vanligtvis betecknas med *q(x)*, där x är en koordinat i balkens längdriktning.

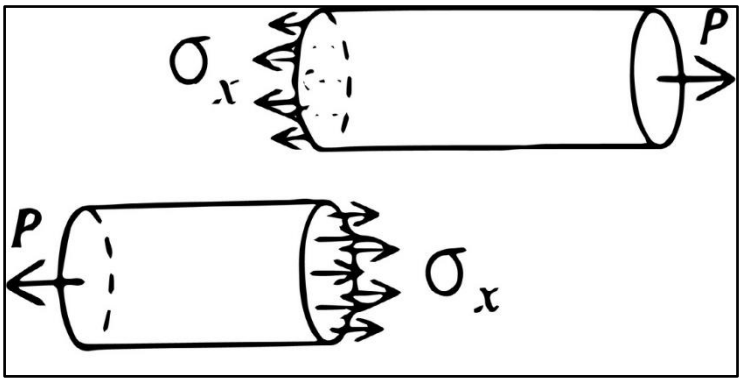
En *konsolbalk* är fast inspänd i sin ena ände och fri i den andra. Här tar stödet (inspänningen) upp *både* vertikala och horisontella krafter *och* moment.



Figur 7. *Konsolbalk belastad med punktmoment M.*

2.3.2 Normalspänning, effektivspänning och normaltöjning

Normalspänning, vanligtvis enbart benämnt som spänning, är ett mått på hur ansträngt ett material är. Spänningen kan vara lika stor i alla punkter i en specifik del av materialet, men det är mer vanligt att den varierar från punkt till punkt. Förhöjd spänning inom ett litet område är ofta förekommande och kallas spänningskoncentration. Spänningskoncentration förekommer vid alla typer av formändringar såsom vid dimensionsövergångar, hål, kilspår, mm. Från de punkter där spänningskoncentration råder uppkommer ofta sprickpropagering som en konsekvens av utmattning (Dahlberg, 2001).



Figur 8*. Snittad stång med normalspänning* σ_x*, inlagd.*

Effektivspänning är ett skalärt mått på spänningstillståndet i en punkt. Spänningstillståndet, bestående av tre huvudspänningar eller tre normalspänningar och sex skjuvspänningar, kombineras då till ett enda tal, effektivspänningen, som representerar belastningen i den specifika punkten i materialet. Denna belastning går därefter att jämföra med den tillåtna spänningen för materialet (Dahlberg, 2001).

Normaltöjning kan definieras som deformation per längdenhet, det vill säga längdändringen dividerad med ursprunglig längd. Just deformation är något som sker med varje konstruktion eller struktur som utsätts för en last. Deformationens storlek kan vara av betydande roll för om en konstruktion kommer fungera som tänkt. Ofta måste man också utnyttja en konstruktions deformationer för att kunna bestämma spänningarna i konstruktionsmaterialet (Dahlberg, 2001).

2.3.3 Vindlast

Vindlasten beräknas enligt Maxemow (2009) med ekvationen:

$$F_{vind} = \frac{1}{2} \times C_d \times \rho_{vind} \times A \times V_{vind}^2 \quad (1)$$

där

C_d = Dragkoefficient
ρ_{vind} = Vindens densitet
A = Arean där vinden verkar
V_{vind} = Vindens hastighet

Enligt SMHI (2016) ska vinden mätas vid en höjd på 10 meter. Detta för att det under 10 meter ofta finns hinder för vinden vilket resulterar i en långsammare uppmätt vindhastighet. Vindens hastighet är också lägre ju närmare den är marken då olika "skrovligheter" såsom berg, hav, träd osv saktar ner vinden.

2.3.4 Materialsamband

Materialsamband, även kallat konstitutiva samband, behandlar relationen mellan tidigare benämnda begreppen spänning och töjning. Dessa samband uttrycker vilka egenskaper materialet har. I sambanden ingår materialparametrar, såsom elasticitetsmodulen, tvärkontraktionstal, brottspänning, sträckgräns och utmattningsgräns, med vars hjälp det går att teckna modeller av ett verkligt material (Dahlberg, 2001).

2.3.5 Isotropa och anisotropa material

Isotropa och anisotropa är begrepp som behandlar orienteringen av atomuppbyggnaden i material. Detta är av stor betydelse för vissa material då det har en påverkan på både de fysiska och mekaniska egenskaperna (Sawakinome, u.å.). Fysiska egenskaper kan definieras som de som är möjliga se, känna, höra, lukta eller på annat sätt identifiera och mäta utan att behöva utföra en kemisk reaktion.

Exempel på dessa kan vara färg, form, volym, kokpunkt och viskositet (Greelane, 2019). Mekaniska egenskaper syftar främst på ett materials styrka, styvhet, hårdhet och seghet (Ensinger, u.å.).

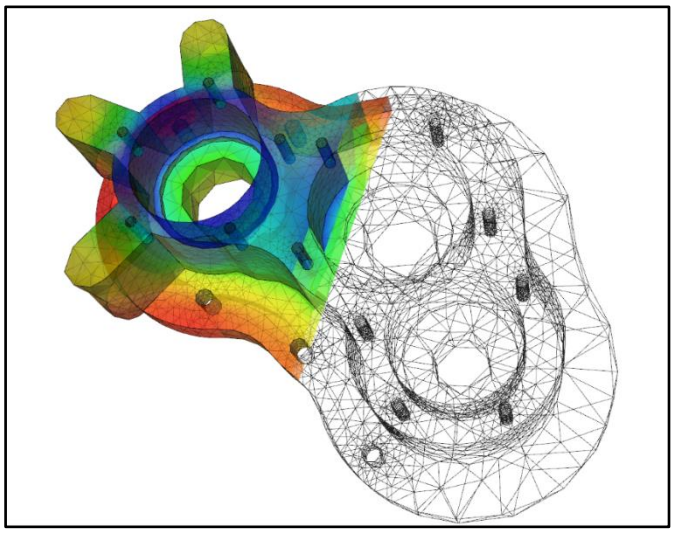
Material där egenskaperna är riktningsoberoende, det vill säga densamma i alla riktningar, kallas isotropa material. Detta innefattar majoriteten av alla material, såsom betong, glas, de flesta metaller och polymerer (Sawakinome, u.å.).

Om egenskaperna istället är riktningsberoende och varierar längs olika riktningar inom materialet, säger man att materialet är anisotropt. Anisotropa material är vanligt förekommande i naturen och exempel på dessa är trä, kristaller och vissa kompositer (Sawakinome, u.å.).

2.3.6 FEM-analys

FEM, en förkortning för Finita Elementmetoden, är i grund och botten en numerisk metod för att lösa partiella differentialekvationer med hjälp av dator. Den används inom produktutveckling för att beräkna och få en indikation på hållfastheten av en konstruktion redan när produkten bara existerar som en CAD-modell. För att tillämpa metoden används mjukvaror för s.k. FEA (Finita elementanalys). Catia är ett exempel på en CAD-programvara som har inbyggda komponenter för att utföra enklare FEM-beräkningar (Omecon, 2019).

Vid FEM-beräkning tar man in en mesh av en CAD-modell in i beräkningsprogrammet. En mesh är ett elementnät, bestående av flertal olika element sammansatta med noder, som tillsammans representerar de delar den totala strukturen är uppdelad i (Ekberg, u.å.). När meshen är på plats, går det att tillämpa yttre laster på modellen och därefter simulera hur pass väl modellen klarar av de uppkomna belastningarna.



***Figur 9**. Illustration av FEM.*

Påfrestningarna visualiseras med hjälp av en färgskala som går från blå till röd, vilket motsvarar låga till höga värden. Värdena kan vara i form av till exempel effektivspänning eller säkerhetsfaktorn i materialet, vilket ger en ganska god uppfattning kring modellens hållfasthet och visar därmed om konstruktionen lämpar sig för det tänkta syftet (Simscale, u.å.).

2.4 Maskinelement

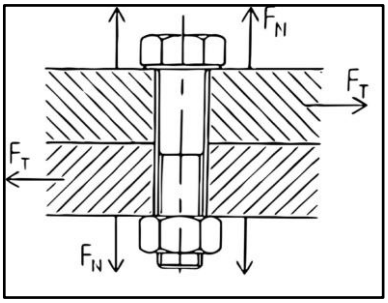
2.4.1 Skruvförband

Ett förbands huvudfunktion är att förhindra relativ rörelse mellan de förbundna delarna. När man förhindrar relativ rörelse mellan delar medför det även de fördelar laster sinsemellan. Att fördela laster är därför den främsta bifunktionen hos förband. Att medge demontering är en annan viktig och vanlig bifunktion.

Kontaktytorna som skall förbindas, kan med avseende på sin geometriska form i de flesta fall uppdelas i två grupper:

- **Plana ytor**, vilka överför belastningen i kontaktytan som ***normalkraft*** och/eller ***tvärkraft***.
- **Rotationssymmetriska** ytor, vilka överför belastningen i kontaktytan vanligtvis som ***vridmoment*** och/eller ***axialkraft***.

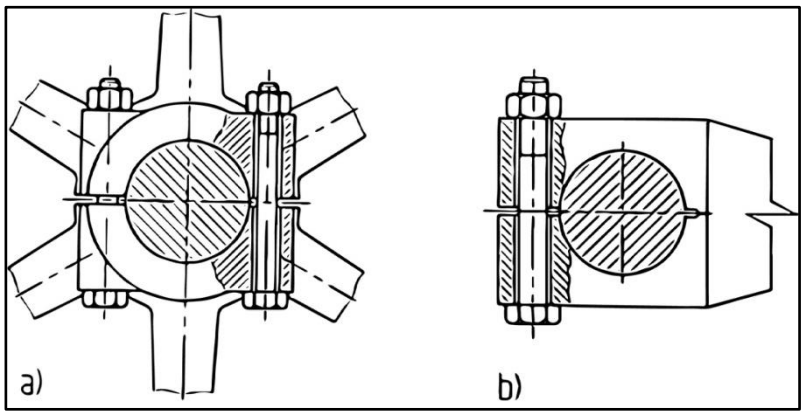
Ett skruvförband är ett plant förband där delarna kläms eller hålls ihop av en ***skruv*** med huvud. Denna skruvas antingen in i ett gängat hål i den ena av de hopfogade delarna, eller hålls på plats av en mothållande påskruvad ***mutter*** (Melkersson & Mägi, 2006).



Figur 10*. Typiskt skruvförband med verkande krafter.*

2.4.2 Klämförband

Klämförband fungerar snarlikt som krymp- och pressförband. Det har en kraftbetingad funktion, där skillnaden från tidigare nämnda är att navet antingen är slitsat eller delat (Melkersson & Mägi, 2006). Klämförband åstadkommer ett kontakttryck mellan ytor med hjälp av yttre klämkraft, vanligtvis via ett skruvförband. Kontakttrycket går att justera, från noll till maximum, och förbandet kan enkelt demonteras (Melkersson & Mägi, 2006).



Figur 11*. a) Delat och b) slitsat klämförband.*

2.5 Materialegenskaper

2.5.1 Stål (rostfritt, syrafast)

***Figur 12**. Konstruktion i stål.*

Stål är det överlägset mest använda konstruktionsmaterialet tack vare dess mekaniska egenskaper, goda formnings- och fogningsmöjligheter samt dess låga pris. Det faktum att återvinning genom omsmältning och skrotbaserad stålframställning är etablerade processer sedan lång tid tillbaka är också en starkt bidragande orsak till ståls popularitet (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013).

Stål består av järn med en kolhalt på under 1,6 % och diverse legeringsämnen. En ökad kolhalt för icke legerat stål leder till högre sträckgräns, brottgräns och hårdhet, parallellt med att det även blir mer sprött. Med hjälp av lämplig legering och värmebehandling går det att skapa ett material som både besitter hög sträckgräns och hårdhet (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013).

Autentiska rostfria stål, som kännetecknas av att de är omagnetiska, används för att uppnå de bästa korrosionsegenskaperna. Hållfastheten är däremot aningen begränsad och om det är av hög betydelse ger istället härdbara martensitiskt stål bättre hållfasthet, på bekostnad av korrosionsresistensen (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013). För användning i marin miljö väljs syrafast rostfritt stål, som tack vare sin lilla mängd molybden blir mer motståndskraftigt mot både spaltkorrosion och punktkorrosion jämfört med vanligt rostfritt stål (Damstahl, 2014).

2.5.2 Linfiber

Linfiber är ett naturligt fibermaterial som är tåligt och slitstarkt tacka vare dess höga draghållfasthet. Det är cellulosabaserat och kan bindas med polymera matrismaterial som bidrar med stadga och sammanhåller de styva fibrerna. På så vis förbättras de mekaniska egenskaperna ytterligare, samtidigt som formbarheten ökar och möjliggör för både formsprutning och additiv tillverkning. Tillsammans med matrismaterialen bildar de en biokomposit, som är återvinningsbart och ett miljövänligare alternativ än vanliga kompositer (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013).

2.5.3 Biokomposit

Komposit är material bestående av styva och starka fibrer som stabiliseras samt hålls ihop av ett matrismaterial som ofta består av plast. Genom passande kombinationer av fibrer och matrismaterial går det att finna kompositer med egenskaper som de enskilda materialen inte kan uppnå på egen hand (Svensk Kompositförening, 2012).

Biokomposit är återvinningsbart och ett miljövänligare alternativ än vanliga kompositer (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013). De kan vara träbaserade, där det förutom träfibrer även ingår tillsatser och fossil- eller biobaserade polymerer i kompositmaterial. Denna kombinationen resulterar i material med formbarhet som plast, samtidigt som hållbarheten och bearbetningsbarheten är i klass med trä (Nordisk Bioplastförening, 2018).

2.5.4 Aluminium

Aluminium används inom många områden för bl.a. sin låga vikt, god formbarhet och god korrosionsbeständighet. Den har även en hög återvinningsfrekvens. Dess egenskaper gör att konstruktionen blir lätt men stark (Svenskt Aluminium, u.å.). Tack vare hållbarheten och dess egenskaper används fortfarande 75 % av all det aluminiumet som producerats (Alumeco, u.å.).

För att skydda aluminium mot korrosion ges det en ytbehandling i form av anodisering. Detta innebär att ytan elektrolytiskt oxideras i syra, vilket bildar ett skyddande oxidskikt. Tjockleken på detta skiktet varierar beroende på vilken miljö och slitage som ytan ska utsättas för (SYF, u.å.).

Aluminium 5754 är en legering som är saltvattenbeständig och därmed har en hög korrosionsbeständighet. Form- och svetsbarheten är god, men den är aningen styvare än icke legerad aluminium. Är vanligt att använda till bland annat karosser och båtar (BE Group, u.å.).

2.5.5 Skruv A4

Rostfritt stål av typen A4 är syrafast, tål krävande miljöer och kan till exempel användas nära havsvatten eller under jord (Rostfriskruv, u.å.).

2.6 Tätningsmaterial

Tätning är ett maskinelement vars huvuduppgift är att hålla ute eller åtskilja olika medier, såsom vatten och olja (Melkersson & Mägi, 2006). Det finns olika sorters tätningar som passar olika bra till specifika syften. I projektet undersöktes det potentiella material som lämpar sig bra för rena tätningslister samt lister som ska agera som glidlist mellan ytor.

2.6.1 EPDM

Det är vanligt att använda sig av tätningar i gummi, som är både slitstarkt och töjbart (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013). Det finns många olika typer av gummi men den sort som är vanligast att använda till tätningslister är svampgummi i EPDM. Svampgummi är skummad gummi bestående av öppna och stängda celler med en slät hinna överst. Den produceras både som natur-, nitril- samt silikongummi och just svampgummi i EPDM nyttjas i allt från industrier, vakuumsystem och formsättningar till dörrar, fönster och luckor (Profillagret, u.å.). Den saknar nästan begränsningar för vad den kan användas till tack vare dess spänstighet och förmåga att bibehålla sin form. Svampgummi i EPDM är slitstarkt samt UV och ozonbeständigt, vilket gör att den klarar av extrema väderlekar och håller i många år (Rubberstock,).

2.6.2 PEHD

Polyetenlister i PEHD är ett möjligt alternativ till tätningar mellan ytor som glider mot varandra. PEHD har liten vattenabsorption, är resistent mot majoriteten av kemikalier och tillverkning kan ske till en låg kostnad. Det är mycket slagtåligt, framförallt i kalla miljöer, vilket gör plasten optimal till att användas som bland annat glidlist eller slitplatta med mera (Plastmästarn, u.å.). Så länge inga farliga tillsatsämnen används klassas dessutom polyeten som en ofarlig plast och det är till exempel godkänt att användas i kontakt med livsmedel (Plastbearbetning, u.å.) Nackdelar med PEHD är att de har en begränsad tålighet vid tung belastning, värme samt i tufft klimat (Plastmästarn, u.å.).

Polyeten är en av de vanligaste plasterna och förekommer ofta i vardagliga produkter såsom hinkar, utemöbler, leksaker och plastfolier. Det är en plast som till skillnad från många andra plaster är lättare än vatten och kan därmed flyta. Detta används för att urskilja polyeten från andra plaster vid återvinning. Polyeten, tillsammans med polypropen, är en av de mest attraktiva plasterna för återvinning och utgör den dominerade mängden (Stockholmsregionens avfallsråd, 2007).

2.6.3 PTFE

Polytetrafluoreten (PTFE), som går under det mer välkända namnet Teflon, är ett material som också lämpar sig bra som glidlist. Materialet besitter egenskaper såsom låg friktion och mycket bra termisk bestämdhet. Det är det mest kemikaliebeständiga plastmaterialet och tål temperaturer mellan -200 till +260 °C. De mekaniska egenskaperna är dock måttliga när det kommer till bland annat nötning (Plastmästarn, u.å.).

2.7 Tillverkningstekniker

2.7.1 Formsprutning

Formsprutning innebär att ett material, i formen av granulat, värms upp tills det blir flytande för att därefter sprutas in i en form där den kyls ner och stelnar. Denna metoden är den absolut vanligaste vid tillverkning av tredimensionella plastdetaljer som kräver hög precision och ska tillverkas i stora volymer (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013).

Formsprutning av metall är billigare än skärande bearbetning men dyrare än andra gjutningsmetoder och lämpar sig därför bäst för större serier. De flesta vanliga metaller såsom stål och mässing kan användas men inte aluminium, zink och magnesium då de har ett för litet spann mellan fast och flytande form (Gnosjöregion, u.å.).

2.7.2 Bockning

Bockning innebär att plåt, band, stång, rör och andra profiler formas med hjälp av böjande momentkrafter. Det finns ett flertal olika varianter av metoder att välja mellan, där en av de vanligaste metoderna för bockning av plåt är kantpressning (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013). Detta går oftast till genom att en kil pressas ner i ett verktyg som har formen av ett V. Plåten som ligger mellan verktygen formas efter kilens position i förhållande till underverktygets V. Denna metoden är effektiv för plåt upp till 12 mm (Gnosjöregion, u.å.).

2.7.3 Vattenskärning

Vattenskärning innebär att en vattenstråle som har ett tryck på flera tusen bar skär i ett material. Med denna metod kan man skära ut komplexa former och borra i en detalj med samma verktyg. Det finns två typer av vattenskärning, ren och abrasiv beskärning. Ren vattenskärning använder sig endast av vatten och inga tillsatser. Detta lämpar sig för beskärning av mjukare material såsom tyg och plast.

Abrasiv vattenskärning tillsätter sand i strålen vilket lämpar sig då man vill skära i material såsom metall eller glas (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013). Med hjälp av den sistnämnda metoden går det att med hög precision skära i upp till 300 mm tjocka metallämnen. Skärsnittets bredd ligger då på mellan 0,4–1 mm med en tolerans på 0,025 mm (Water Jet Sweden, u.å.).

2.7.4 Svetsning

Svetsning är en högtemperaturs process där syftet är att bilda permanenta förband i metalliska material. Både materialens anliggningsytor samt eventuella tillsatsmaterial smälts ihop och skapar därefter en sammanhängande struktur som förenar materialen till en enda enhet (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013).

2.7.5 Borrning

Borrning är en av de vanligaste typerna av bearbetningsoperationer. Vid borrning bearbetar man cylindriska hål med hjälp av ett verktyg med borr. Borren roterar och förs in i arbetsstycket linjärt i sin axiella riktning, där skären avverkar material kontinuerligt (Johannesson, Persson & Pettersson, 2013).

***Figur 13**. Olika skärelement som vid skärande bearbetning.*

Gängtappning är väldigt likt borrning då man för en gängad tapp likt ett borrhuvud in i ett objekt för att skära bort material. Gängtappning kräver dock ett förborrat hål som tappen förs in i. När tappen väl är inne i hålet skär tappen ut skåror i hålets mantelyta. Dessa skåror motsvarar gängorna på en skruv och du kan därmed skruva fast en skruv i det gängade hålet (Sandvik Coromant, u.å.).

3. Metod

Följande kapitel redogör för och beskriver de olika metoderna som används under projektets arbetsgång. Metodkapitlet är tänkt att funktionera som ett uppslagsverk.

3.1 Funktionsanalys

Funktionsanalysen genomförs för att få en tydlig och strukturerad överblick över vad produkten ska utföra och varför den finns, det vill säga dess funktioner. Funktionerna som identifieras ska delas in i huvudfunktioner, delfunktioner och stödfunktioner för att förtydliga vilka funktioner som är obligatoriska och vilka som inte är prioriterade.

3.2 Kravspecifikation

Kravspecifikationen ska fungera som en lista av krav, helst mätbara, som produkten måste uppfylla. Dessa krav tas fram med hjälp av bl.a. samtal med projektets olika parter samt informationsinsamlingen. Kraven ska ligga som grund för konceptutveckling och utvärdering och ska formuleras på så vis att de är lösningsoberoende. Detta för att ta fram flera möjliga lösningar som uppfyller kraven som sedan kan utvärderas för att få fram de lämpligaste.

3.3 Brainwriting

Brainwriting är en idégenereringsmetod där varje gruppmedlem skriver eller skissar ner olika lösningar för olika funktioner. Denna metod används som en första idégenereringsmetod för att få en bredd bland lösningarna och för att förslagen ska tas fram utan påverkan från andra medlemmar. Det möjliggör med andra ord för gruppmedlemmarna att få fram sina egna idéer.

3.4 3-6-5-metoden

3-6-5-metoden går ut på att 6 personer skissar 3 lösningar på 5 minuter och skickar sedan vidare lösningarna till nästa person där proceduren börjar om. Efter 6 omgångar får man fram 108 idéer på bara 30 minuter.

Projektgruppen har tänkt använda sig av en modifierad version av denna metoden där 2 personer skissar ner 5 lösningar på 3 minuter och skickar sedan vidare till nästa person. Detta kan pågå i flera omgångar med samma idéer eller introducera nya lösningar varannan omgång.

Detta görs för att få en stor volym av lösningar som sedan kan elimineras med hjälp av krav och önskemål.

3.5 Morfologisk matris

En morfologisk matris är baserad på funktionerna från funktionsanalysen. Varje funktion leder till en eller flera lösningar som sedan kan kombineras. Metoden består av, som namnet antyder, en matris. I första kolumnen listas de tänkta delfunktionerna för produkten. Därefter listas potentiella lösningar för dessa längs med delfunktionernas respektive rad. Genom att skapa olika kombinationer av lösningar för varje delfunktion går det att generera ett flertal skilda koncept.

3.6 P.N.I.

En P.N.I. används för att se positiva, negativa och intressanta aspekter av de olika koncepten. Denna metod går inte in för mycket på detaljnivå och tanken är att sålla bort de koncept som tydligt har fler negativa än positiva aspekter, utan att behöva lägga ner för mycket tid på varje koncept. Detta används som en första utvärderingsmetod då det i denna fasen kommer finnas många koncept att utvärdera och är på så sätt tidseffektiv.

P.N.I.:n består av fyra kolumner. I den första listas de olika koncepten på varsin rad. I de övriga kolumnerna antecknas därefter positiva, negativa och intressanta aspekter. När P.N.I.:n är klar går det att eliminera koncept vars negativa faktorer överväger de positiva.

3.7 Pughmatris

En pughmatris är en beslutsmatris där kravspecifikationen används för att vikta vilken lösning eller koncept som uppfyller kraven bäst. Man jämför inte koncepten mot varandra utan med ett referens-koncept. De olika koncepten skiftas i att användas som referens-koncept och koncepten bedöms efter huruvida de uppfyller kraven sämre (-), lika bra (0) eller bättre (+).

Dessa poäng sammanställs i slutändan för att se om det finns något koncept som tydligt bättre eller sämre än de andra. Olika lösningar i koncepten kan sedan kombineras för att få fram koncept som uppfyller kraven ännu bättre. Ett exempel på hur en pughmatris kan se ut visas i figur 14.

	Dellösningar		
Kriterier	Dellösning 1 (referens)	Dellösning 2	Dellösning 3
Kriterie 1	0	0	0
Kriterie 2	0	-	-
Kriterie 3	0	+	-
Kriterie 4	0	-	-
Summa	0	-1	-3
Rangordning	1	2	3

Figur 14. *Exempel på pughmatris.*

4. Genomförande

Detta kapitel ger en översikt av samt beskriver projektets genomförande och dess olika faser.

4.1 Informationsinsamling

Fältstudie

För att få en överblick över avfyrningstornets framtida miljö, där det ska placeras, genomfördes fältstudier där potentiella platser längs kuster besöktes. Under dessa tillfällen undersöktes även existerande lösningar för infästning och inklädnad av andra produkter i den observerade miljön, både på plats och i efterhand genom internetundersökningar. På så vis bildades en uppfattning kring vad som behövde tas hänsyn till vid framtagningen av infästning och inklädnad. Befintliga lösningar kan även delvis eller fullständigt implementeras på ett slutgiltigt koncept till avfyrningstornet.

Marknadsundersökning

Marknadsundersökningen omfattade att finna potentiella materialleverantörer samt verkstäder som skulle vara delaktiga i framtagningen av en prototyp inför provskjutningen. Utöver det undersöktes även de produkter som iakttogs i fältstudien ytterligare, dels på nätet, dels genom kontakt med tillverkare och montörer.

4.2 Analys

Den informationen som samlades in analyserades och resulterade i funktionsanalyser och kravspecifikationer på infästning samt inklädnad.

4.3 Konceptgenerering

För att kunna ta fram lösningar och koncept på infästning samt inklädnad tillämpades idégenereringsmetoderna brainwriting och 3-6-5. Idéerna togs fram bröts ned och stoppades in i morfologiska matriser. Dessa genererade i sin tur koncept.

4.4 Utvärdering

Olika koncept togs fram och utvärderades för att se vilket som uppfyllde de satta kraven och funktionerna på bästa sätt. Med hjälp av utvärderingsmetoderna P.N.I., Pughmatris, hållfasthetsanalys med hjälp av FEM samt diskussioner med SSRS eliminerades de koncept som inte uppfyllde kriterierna och på så sätt kvarstod i slutändan enbart det bästa konceptet.

4.5 Visualisering

Projektets resultat presenterades med hjälp av två visuella hjälpmedel. Dessa två är skisser och CAD-modell.

Skiss

Med hjälp av skisser visualiserades koncepten på ett relativt snabbt och simpelt sätt. Dessa går inte in på detaljnivå, utan förmedlar snarare en bild av helheten och de viktigaste i koncepten. Skisserna låg därefter som grund vid tillverkningen av CAD-modeller.

CAD-modell

CAD-modellens syfte var att visualisera det slutgiltiga konceptet på ett verklighetstroget sätt. På så vis får både projektets medlemmar och andra medverkande en exakt bild över hur produkten kan komma att se ut. Vid det här laget var konceptets dimensioner och material bestämda, vilket gjorde att modellen kunde användas som underlag vid beräkningar för att garantera att de ställda hållfasthetskraven uppfylldes. Tillgodosedda krav möjliggör bygge av en prototyp och i framtiden även framtagna ritningar för tillverkning av produkten.

5. Informationsinsamling och kravidentifiering

Kapitlet är en sammanställning av den insamlade informationen och de resulterande kraven som ställdes på infästning respektive inklädnad.

5.1 Geografiska förutsättningar

Vädret

Då avfyrningstornet ska placeras längs med Sveriges kust är det ett marint klimat som det ska verka i. Utöver sol och regn innefattar det marina klimatet saltvatten och hårda vindar. Enligt SMHI (2019) har Sveriges högsta medelvind och byvind mäts upp till 40 m/s respektive 43 m/s. Denna statistik utesluter vindar som uppstår i fjällen då de ofta uppnår betydligt högre vindhastigheter än längs med kusten.

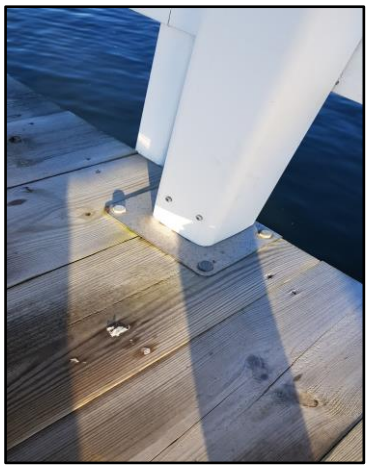
Saltet i vattnet kan reagera med material i produkten och orsaka korrosion. Därmed bör man arbeta med material som kan motstå korrosionen eller behandla materialet så att det inte korroderar vid kontakt med saltvattnet. Vidare bör även konstruktionen vara vattentät för att förhindra att vatten läcker in i produkten och skadar elektroniken eller mekaniken.

Underlaget

Avfyrningstornet ska placeras på olika platser och ska därmed fästas i olika underlag. De underlag som identifierades i fältstudierna var sand/grus, stenhäll, samt brygga i trä eller betong. Vissa av bryggorna som observerades gick att komma åt underifrån. Andra var konstruerade på ett sådant sätt som gör det omöjligt alternativt mycket svårt att komma åt undersidan. Sådana konstruktioner är något som förändrar förutsättningarna för utformningen av en infästning och måste tas i beaktning.

5.2 Vanligt förekommande infästningar och inklädnader

Fältstudierna ute på Saltholmen, Långedrag, Stenpiren och båtmässan gav en inblick i vilka olika infästningsmöjligheter som finns. Infästningarna som noterades var för bland annat flaggstänger, tidtavlor, lyktstolpar mm, placerade längs kusten på bryggor, stenhällar och asfalt. Även fästen för diverse komponenter till båtar observerades. Det vanligaste för samtliga var att använda sig av en platta i metall som fästs i underlaget med ett antal bultar. För de objekt som var fästa på så vis att de gick att komma åt underifrån, exempelvis på en brygga, uppstår möjligheten att ha en platta även på undersidan. Detta alternativ upptäcktes både under fältstudierna och genom samtal med en sjöräddare hos SSRS som medverkade på Båtmässan.



***Figur 15**. Exempel på befintlig infästning.*

***Figur 16**. Exempel på befintlig infästning.*

För att kunna fästa avfyrningstornet i sand krävs det enligt R. Carlson (personlig kommunikation, 6 mars 2020), chefskonsult inom sprängteknik med flerårig erfarenhet av yrket, att man gräver en grop i sanden och placerar en bas i gropen i formen av en kub eller platta av förslagsvis betong. Gängade stavar fästs i basen genom att använda sig av expanderbultar eller gjuta fast dem och basen täcks sedan med sand igen. Dessa stavar utgör fästpunkter för infästningen. Samma princip används på stenhällen med skillnaden att det borras hål i stenen som stavarna fästs i genom borrning eller gjutning.

Angående inklädnader var de flesta gjorda i runda eller kvadratiska former. De bestod ofta av ett heltäckande hölje, med eventuellt en lucka för att komma åt elektronik. Det är noterbart att de inklädnader som bestod av ett enda stycke inte täckte rörliga produkter vilket möjliggör en mycket enklare design, tillverkning samt montering. Många höljen som skydda elektroniska komponenter hade en tätning i botten mellan höljet och infästningen. I de flesta fall bestod tätningen av antingen en svetsning eller en gummilist.

***Figur 17.** Svetsad tätning.*

***Figur 18.** Gummitätning*

Fältstudierna bidrog även inspiration gällande materialval. Metall i olika slag visade sig vanligt förekommande, såsom aluminium och stål, men även andra material för bland annat båtskrov och kanoter upptäcktes. Dessa var plaster, kol- och glasfiber samt linfiber.

5.3 Funktionsanalys

Utifrån de ställda frågeställningarna, geografiska förutsättningarna, fältstudien samt samtal med SSRS sammanställdes två funktionsanalyser; den ena för infästningen och den andra för inklädnaden.

Funktionsanalys Infästning			
Funktion	**Gränser**	**Klass**	**Prioritet**
Förhindra relativ rörelse	Mellan underlag, fäste och rotationsplatta.	HF	N
Tåla Utomhusklimat		DF	N
Tåla Trycklast	Från tornets vikt	DF	N
Tåla Momentlast	Momentkrafter som uppstår vid användning samt vindhastighet x m/s	DF	N
Tåla Saltvatten		DF	N
Möjliggöra montering		DF	N
Möjliggöra demontering		SF	N
Undvika personskador		SF	N
Försvåra stöld		SF	Ö
Försvåra skadegörelse		SF	Ö
Främja donationer		SF	Ö

Tabell 1. *Funktionsanalys infästning*

Funktionsanalys Inklädnad			
Funktion	**Gränser**	**Klass**	**Prioritet**
Medge skydd	Skydda pylonen och elektroniken mot väta.	HF	N
Tåla Utomhusklimat		DF	N
Tåla Saltvatten		DF	N
Möjliggöra montering		DF	N
Möjliggöra demontering		SF	N
Undvika personskador		SF	N
Tillåta teleskopfunktion		SF	N
Undvika personskador		SF	N
Tillåta underhåll	Av komponenter innanför höljet	SF	Ö
Försvåra stöld		SF	Ö
Försvåra skadegörelse		SF	Ö
Främja donationer		SF	Ö

Tabell 2. *Funktionsanalys inklädnad.*

5.4 Kravlista

De krav och önskemål som ställdes på infästningen respektive inklädnaden listades i två kravspecifikationer. För att fullständig ta del av dessa, se bilaga 1 och 2.

För infästningen gäller följande:

Krav

Infästningen ska:

- Förhindra relativ rörelse mellan underlag, fäste och rotationsplatta
- Tåla momentlast som uppstår vid en vindhastighet av 30 m/s med en säkerhetsfaktor på 1,5.
- Vara vattentålig och därmed motstå korrosion
- Tåla trycklast som uppkommer från avfyrningstornets egenvikt
- Tillåta rotation mellan pylon och rotationsmekanism
- Ha en livslängd på minst 10 år
- Kunna motstå daglig nedtrampning från förbipasserade människor och djur
- Vara utbytbar
- Vara möjlig att tillverkas med hjälp av nutida tillgängliga metoder
- Gå att tillverka för under 1000 kr/st.
- Vara brandtålig
- Ej vara utformad så att den kan orsaka personskador
- Ha låga emissionsutsläpp

Önskemål

Infästningen ska:

- Ha ett utseende som främjar donationer
- Motstå solljus och inte blekna
- Om möjligt vara av återvinningsbart material
- Ha en maxvikt på 20 kg
- Ha en intresseväckande design
- Förmedla SSRS:s värden

För inklädnaden gäller följande:

Krav

Inklädnaden ska:

- Skydda pylonen samt elektronik mot väta
- Tåla radiella laster som uppstår vid en vindhastighet av 30 m/s med en säkerhetsfaktor på 1,5.
- Motstå korrosion
- Tillåta rotation mellan pylon och rotationsmekanism
- Ha en livslängd på minst 10 år
- Motstå dagligt slitage
- Vara utbytbar
- Vara möjlig att tillverka med hjälp av nutida tillgängliga metoder
- Gå att tillverka för under 2000 kr/st.
- Vara brandtålig
- Ej vara utformad så att den kan orsaka personskador

Önskemål

Inklädnaden ska:

- Ha ett utseende som främjar donationer
- Inneha teleskopsfunktion för att ej förhindra förlängning av avfyrningstorn
- Motstå solljus och inte blekna
- Om möjligt vara av återvinningsbart material
- Ha en maxvikt på 30 kg
- Ha en intresseväckande design
- Förmedla SSRS:s värden

6. Konceptframtagning

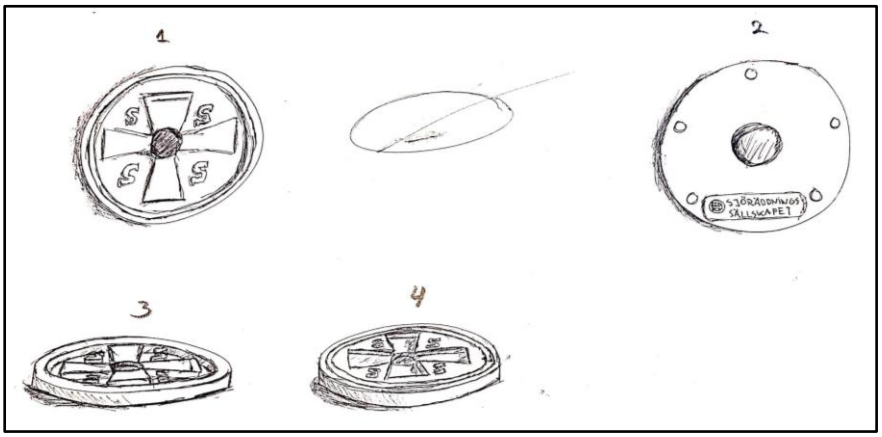
Följande kapitel behandlar projektets konceptgenereringsprocess samt redovisar de koncept som togs fram. Därefter visas och motiveras valet av det slutgiltiga konceptet.

6.1 Genomförande

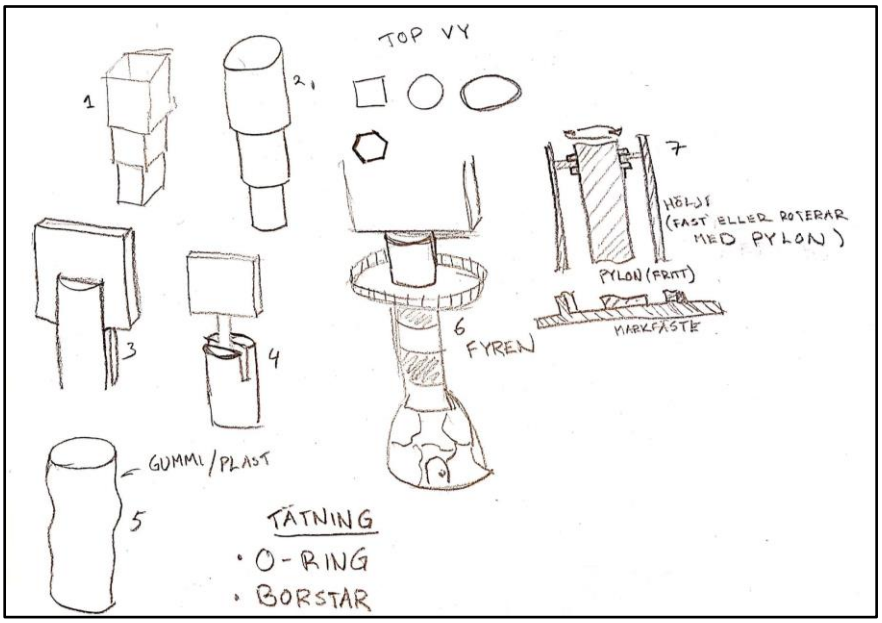
Under konceptframtagningen användes huvudsakligen idégenereringsmetoderna brainwriting och morfologisk matris. Arbetet med detta skedde iterativt i kombination med utvärderingsmetoderna Pughs matris och PNI, samt kontakt med och återkoppling från SSRS. Tillslut hade två olika koncept tagits fram som visualiserats i CAD. Dessa presenterades för handledaren från Sjöräddningssällskapet, där dennes åsikt vägde tyngst vid det slutgiltiga konceptvalet.

6.2 Brainwriting

Brainwriting var den idégenereringsmetod som inledde konceptframtagningsfasen. Brainwritingen gjordes separat på olika lösningar för först infästning och därefter inklädnad. Detta gjordes i ett flertal omgångar och genererade en mängd olika idéer, där ett urval av dessa går att se nedan.



Figur 19. *Skisser på infästning med SSRS logotyp.*



Figur 20. *Skisser på inklädnad.*

6.3 3-6-5-metoden

Brainwritingen följdes av 3-6-5-metoden. Detta resulterade i en ytterligare mängd konceptförslag. De idéer som ansågs uppfylla minst ett krav togs vidare och bröts ned i olika dellösningar, som användes i arbetet med morfologiska matriser.

6.4 Delfunktioner och dellösningar

De dellösningar som togs fram kunde kategoriseras som lösningar för olika delfunktioner. Dessa delfunktioner, för infästning respektive inklädnad, presenteras nedan tillsammans med tillhörande dellösningar.

Innan de efterföljande morfologiska matriserna gjordes, eliminerades dessutom de dellösningar som på något sätt inte lyckades uppfylla satta krav eller önskemål. Detta resulterade i att antalet möjliga koncept reducerades. De lösningar som genererades blev då mer översiktliga, vilket underlättade de senare utvärderingarna.

6.4.1 Infästning

De dellösningar som togs fram från idégenereringen var följande:

- Platta – Syftar på infästningens form. För att lösa detta föreslogs en *rund, fyrkantig* eller *triangulär* platta, alternativt en platta utformad med *inspiration från havet* i till exempel formen av en snäcka eller korallrev.

- Montering – Infästningen ska gå att montera och detta ska göras med *skruvförband*. Andra monteringsalternativ som kom på tal men eliminerades var *klämförband, lim* och *svetsning*.

  Ett *klämförband* ska i detta fallet kunna tas isär med handkraft likt en tving eller snäpplås, annars faller det under kategorin skruvförband. Detta medför att stöldrisken ökar, samt att demontering blir för enkelt.

  Att *svetsa* eller *limma* fast är båda lösningar som omöjliggör en smidig demontering. Det sistnämnda har dessutom inga garantier för att det kommer hålla bra, samt att det finns en risk att fästet blir sämre med tiden.

- Främja donationer – Infästningen ska kunna bidra till ökad donationslust från civilpersoner och företag. På infästningen hade det kunnat innebära att använda sig av SSRS:s *logga*, alternativt på något sätt inkludera en *text, motto* eller *informationsskylt*.

6.4.2 Inklädnad

De dellösningar som togs fram från idégenereringen var följande:

- Form – Inklädnaden ska ha någon huvudsaklig form. Förslagen som det stod mellan var *cirkulär* och *fyrkantig*.

  Oval var ett alternativ som föll bort då det kan bli en ojämn vindfördelning på tornet beroende på vindens riktning.

  Utöver det eliminerades även *triangulär* efter utvärdering med pughmatris.

- Främja donationer – Likt infästningen ska inklädnaden bidra till ökad donationslust från civilpersoner och företag. Förslagen var även här att använda sig av SSRS:s *logga*, alternativt på något sätt inkludera en *text, motto* eller *informationsskylt.*

- Tillåta teleskopfunktion – Inklädnaden ska möjliggöra för avfyrningstornets teleskopfunktion att funktionera ostört. Detta ska helt enkelt lösas genom att inklädnaden själv innehar *teleskopfunktion*. Övriga förslag som diskuterades var en *heltäckande* inklädnad och en *böjlig*.

  En *heltäckande*, solid inklädnad blir problematisk på grund av att tornet rör sig i vertikalt led. Detta resulterar antingen i att avfyrningstornet alltid måste stå i sitt maximala läge, vilket medför högre vindlaster och försvårar åtkomsten till drönarlådan i toppen av tornet. Andra alternativet är att inklädnaden omsveper avfyrningstornet när det är inaktivt. Då blir det istället problem när drönaren ska skjutas iväg, eftersom inklädnaden på något sätt behöver öppna sig, vilket kommer blotta avfyrningstornet mot omgivningen och det rådande vädret.

  Det *böjliga*, mjuka konceptet föll bort efter utvärdering med pughmatris.

- Tillåta underhåll – Att tillåta underhåll var en delfunktion som eliminerades helt. Detta då det ansågs gå hand i hand med demontering. Om inklädnaden går att ta loss, kommer man även åt insidan i underhållssyfte.

- Montering – Inklädnaden ska gå at montera och det ska göras med *skruvförband*. Andra monteringsalternativ som kom på tal men eliminerades var *klämförband*, *skruva*, *lim* och *svetsning*.

  Ett *klämförband* ska i detta fall kunna tas isär med handkraft likt en tving eller snäpplås, annars faller det under kategorin skruvförband. Detta medför att stöldrisken ökar, samt att demontering blir för enkelt.

  Att *skruva* ihop delarna menas i detta fall att skruva fast delar utan förborrade hål. Denna dellösning eliminerades då det ansågs för krångligt vid behov av att demontera och montera om.

  Att *svetsa* eller *limma* fast är båda lösningar som omöjliggör en smidig demontering. Det sistnämnda har dessutom inga garantier för att det kommer hålla bra, samt att det finns en risk att fästet blir sämre med tiden.

6.5 Morfologisk matris

Nedan visas den morfologiska matrisen för infästningen respektive inklädnaden, där gråmarkerade rutor visar de dellösningar som tagits bort. De olika koncepten som togs fram beskrivs också grundligt.

Delfunktion	**Dellösning**				
Platta	A1 Rund	A2 Fyrkantig	A3 Triangulär	A4 Inspiration från havet	A5
Montering	B1 Klämförband (Snäpplås)	B2 Skruvförband	B3 Limma	B4 Svetsa	B5
Främja donationer	C1 Logga	C2 Text/motto/informationsskylt	C3	C4	C5

***Tabell 3**. Morfologisk matris för infästning.*

- **1:** Koncept 1 består av en *rund bottenplatta* som fästs i underlaget med *skruvförband*. På plattan är SSRS:s *logga* antingen ingraverad, påklistrad eller målad.

- **2:** Koncept 2 är likt 1 *en rund bottenplatta* som fästs i underlaget med *skruvförband*. På plattan ska någon form *av text, motto eller informationsskylt* finnas.
- **3:** Koncept 3 består av en *fyrkantig platta* som fästs i underlaget med *skruvförband*. På plattan är SSRS:s *logga* antingen ingraverad, påklistrad eller målad.

- **4:** Koncept 4 är likt koncept 3 en *fyrkantig platta* som fästs i underlaget med *skruvförband*. På plattan ska någon form av *text, motto eller informationsskylt* finnas.

- **5:** Koncept 5 består av en *triangulär bottenplatta* som fästs i underlaget med *skruvförband*. På plattan är SSRS:s *logga* antingen ingraverad, påklistrad eller målad.

- **6:** Koncept 6 är likt 5 en *triangulär bottenplatta* som fästs i underlaget med *skruvförband*. På plattan ska någon form av *text, motto eller informationsskylt* finnas.

- **7:** Koncept 7 består av en platta utformad med *inspiration från havet*. Plattan fästs i underlaget med *skruvförband* och SSRS:s *logga* är antingen ingraverad, påklistrad eller målad.

- **8:** Koncept 8 är likt 7 utformad med *inspiration från havet*. Plattan fästs i underlaget med *skruvförband* och ska ha någon form av *text, motto eller informationsskylt*.

Delfunktion	480		**Dellösning** 4		
Form	A1 Cirkulär	A2 Fyrkantig	A3 Oval	A4 Triangulär	A5
Främja donationer	B1 Logga	B2 Text/motto/ Info-skylt	B3	B4	B5
Tillåta teleskopfunktion	C1 Teleskopfunktion	C2 Heltäckande	C3 Böjligt/mjukt	C4	C5
Tillåta underhåll	D1 Lucka	D2 Öppningsbar	D3 Avtagbar	D4 Utformad för ständig åtkomst	D5
Montering	E1 Skruva	E2 Klämförband	E3 Skruvförband	E4 Svetsa	E5 Limma

Tabell 4. *Morfologisk matris för inklädnad.*

- **1:** Koncept 1 består av en *cirkulär inklädnad* som innehar *teleskopfunktion* och monteras med *skruvförband*. På inklädnaden placeras SSRS:s *logga*.

- **2:** Koncept 2 är likt koncept 1 en *cirkulär inklädnad* som innehar *teleskopfunktion* och monteras med *skruvförband*. På inklädnaden finns någon form av *text, motto eller informationsskylt.*

- **3:** Koncept 4 består av en *fyrkantig inklädnad* som innehar *teleskopfunktion* och monteras med *skruvförband*. På inklädnaden placeras SSRS:s *logga*.

- **4:** Koncept 4 är likt koncept 3 en *fyrkantig inklädnad* som innehar *teleskopfunktion* och monteras med *skruvförband*. På inklädnaden finns någon form av *text, motto eller informationsskylt.*

6.6 Utvärdering

För att tidigt utvärdera de framtagna koncepten ställdes de mot varandra med hjälp av Pughmatriser (se bilaga 3,4 & 5) och P.N.I (se bilaga 6 & 7). Utvärderingsmetoderna resulterade i ett antal slutsatser:

Gällande markfästet togs beslutet att det ska sträva efter att ha samma huvudsakliga form som inklädnaden, dvs. en fyrkantig inklädnad resulterar i ett fyrkantigt markfäste. Bakomliggande anledning till det var att det uppfattades som mest estetiskt tilltalande då det inbringar känslan av en mer homogen design. Det fanns tankar om att fästet skulle kunna vara havsinspirerat och därmed utformat som exempelvis något havskreatur. Detta alternativ ansågs dock vara för svårt och dyrt att tillverka. Fästet ska även inneha någon form av text eller logga som kopplar till Sjöräddningssällskapet.

Inklädnadens form kommer antingen vara cirkulär eller kvadratiskt. En cirkulär form har fördelen att det medför samma vindlast oavsett tornets rotation samt lägre vindlast då dragkoefficienten är mellan 0.07 och 0.5. Detta är mycket lägre än en platt yta vars dragkoefficienten är 1.28 (NASA, 2015). En kvadratisk form kan dock ligga mer kloss an mot pylonen än ett cirkulärt, vilket medför mindre mängd material och area som kan utsättas för vind.

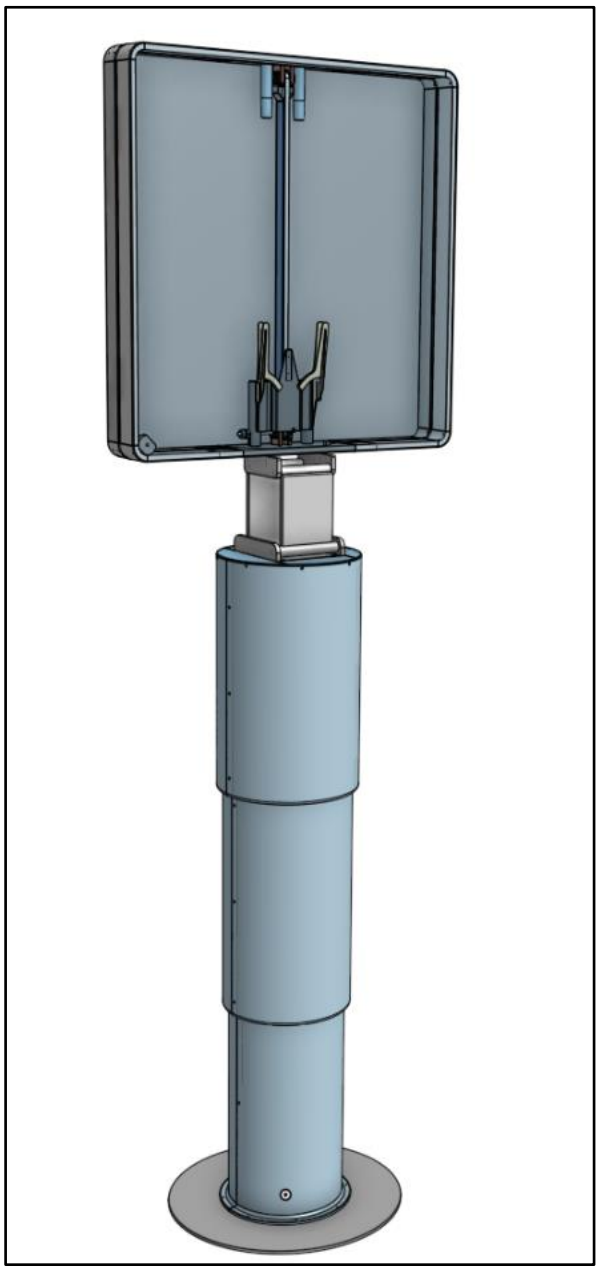
Sammanfattningsvis bestämdes att två koncept skulle tillverkas; ett cirkulärt respektive ett kvadratiskt.

6.7 De olika koncepten

De två koncepten som återstod efter utvärderingen konstruerades i CAD. Fokus låg på att visualisera formen och ge ett intryck av hur koncepten kommer uppfattas. Detaljer gällande exakt hur koncepten fungerar, materialval och dylikt, behandlades först i vidareutvecklingsfasen.

Cirkulärt koncept

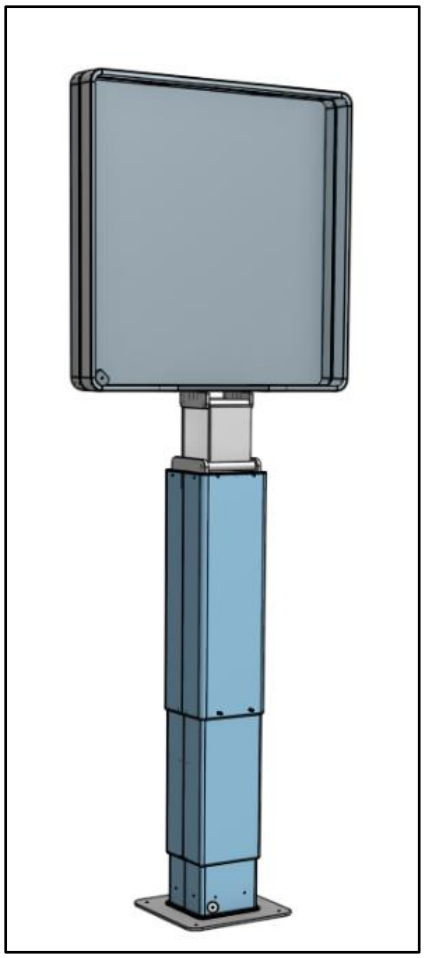
Det första konceptet bestod av tre stycken tvådelade cirkulära höljen som överlappar varandra, samt en cirkulär bottenplatta (se figur 21). Inklädnaden är tänkt att vara i plast eller komposit och plattan i metall. Konstruktionen fungerar som följande; bottenplattan monteras på det tänkta underlaget. Bottenhöljet fästs i avfyrningstornets basplatta med hjälp av skruv och gängade hål. Utanpå bottenhöljet monteras mittenhöljets halvor i varandra, vilket gör att de ligger fritt i vertikalt led. Till sist monteras topphöljet i en krage som fästs i tornets översta del, på så vis att det överlappar med mittenhöljet. Insidan av höljena är vinklade sådana att de hakar i varandra, vilket möjliggör för mittenhöljet att följa topphöljets rörelse. I vinklarna ska det sitta glidlister för att minska friktionen höljena emellan. Tornets teleskopsfunktion hindras med andra ord inte. Inte heller rotationsmekanismen stoppas, då mittenhöljet snurrar fritt kring tornets axel.



Figur 21. *Cirkulärt koncept visualiserat i CAD.*

Kvadratiskt koncept

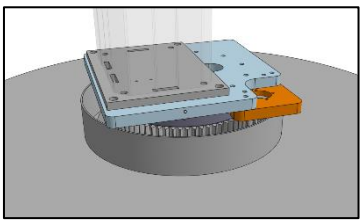
Det andra konceptet var ett kvadratiskt koncept (se figur 22) som itererades ett flertal gånger, vilket resulterade i 3 olika versioner. Konceptet fungerar huvudsakligen som det cirkulära, med tre olika höljen som överlappar och glider mot varandra med hjälp av glidlister. Detaljen som ledde till framtagningen av de tre olika versionerna var hur konceptet skulle kunna sluta helt tätt i botten mellan fästet och bottenhöljet.



Figur 22. *Kvadratiskt koncept visualiserat i CAD.*

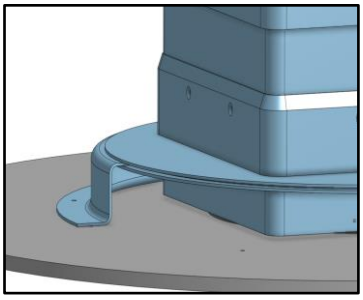
Då det kvadratiska höljet ej monterades i bottenplattan utan i tornets bottendel, bildades en smal glipa mellan höljets nederkant och plattan. Detta medför därmed en risk för att vatten tar sig in den vägen, något som inte var ett problem med det cirkulära konceptet som slöt helt tätt. Ett första alternativ till att försöka försvåra läckage i botten var att det adderades en liten cirkulär vägg i bottenplattan (se figur 23). Denna hamnade innanför det kvadratiska höljet och skulle förhindra att majoriteten av inläckande vatten inte kommer i kontakt med tornet.

En ytterligare iterering resulterade i ett koncept där nederdelen av bottenhöljet sluts tätt mot infästningen (se figur 24). På bottenhöljet monteras en tvådelad krage. Denna passas in i en tvådelad kåpa som sitter monterad i fästet. Kragen och kåpan sitter på sådant vis att de sluter tätt och glider mot varandra tack vare material med låg friktionskoefficient.

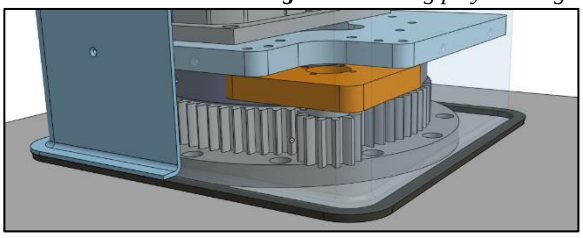


Figur 23. *Förslag på inre kant*

Den tredje versionen bestod av en tätningslist som satt fast i det nedersta höljet som slöt tätt mellan höljet och bottenplattan (se figur 25).



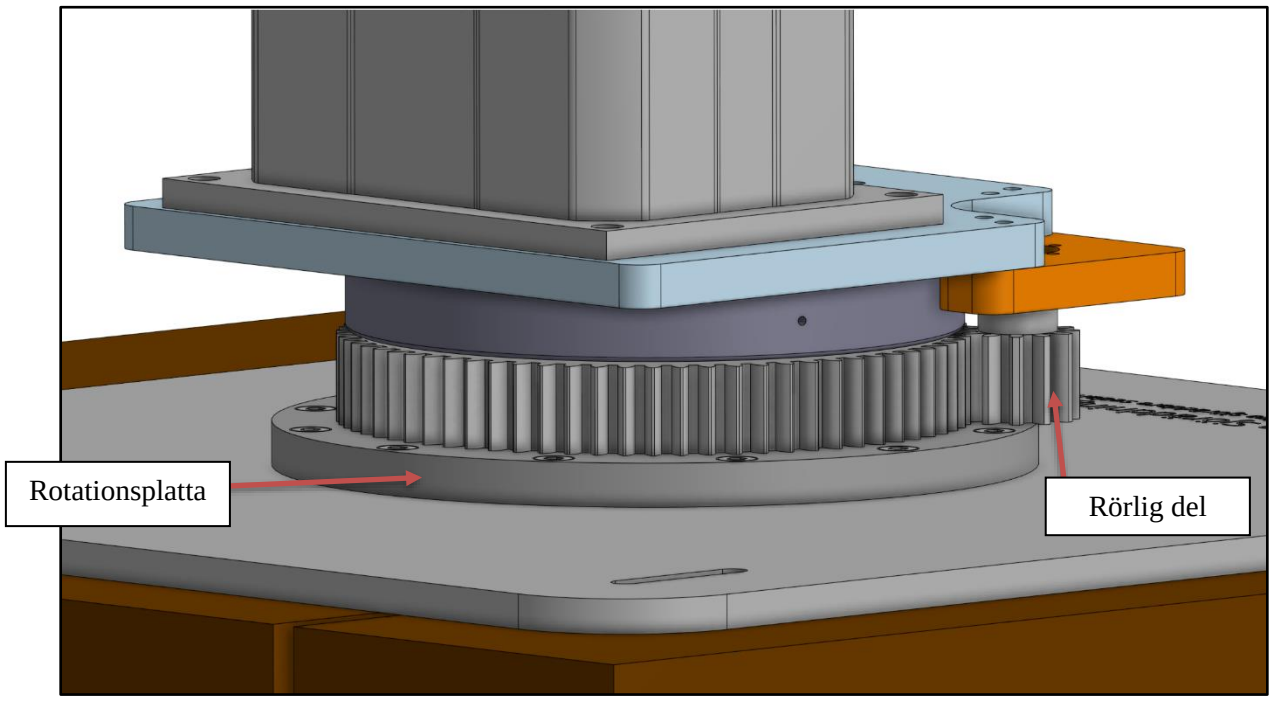
Figur 24. *Förslag på yttre krage.*



Figur 25. *Förslag med tätning*

6.8 Val av koncept

När de två koncepten visualiserats i CAD presenterades de för SSRS, för att ett slutgiltigt val kring vilket koncept som skulle vidareutvecklas skulle kunna tas. Valet föll då på det kvadratiska konceptet. Anledningen till det var i första hand för att det uppfattades som bättre rent utseendemässigt. En minimalistisk design var det som efterfrågades och stod högst i kurs, vilket möjliggörs av det kvadratiska konceptet då det följer formen på avfyrningstornet. För att minska storleken ytterligare föreslogs att inklädnaden ska vara i bockad metall, vilket gör att tjockleken kan reduceras jämfört med ett plasthölje. Glipan i botten som bildas vid användning av den första versionen av konceptet ansågs vara att problem och någon form av tätning behövde appliceras. Dock krävdes det inte att glipan var fullständigt vattentät. Om en liten mängd vatten hade läckt in och rotationsplattan i botten korroderat, skulle det inte resulterat i att avfyrningstornets funktion hindras då plattan inte är rörlig. Utöver det verkar dessutom rotationsplattan som en plattform som höjer upp de rörliga delarna. Därmed förhindrar den att de rörliga delarna står i vatten under en längre tid. På grund av detta ansågs den inre kanten och yttre kragen som onödigt komplicerade versioner och valdes bort. I slutändan återstod då versionen med en tätningslist.



Figur 26. *Rotationsmekanism.*

7. Vidareutveckling

Kapitlet redogör kring det vidare arbetet och utvecklingen av det valda konceptet.

7.1 Materialval

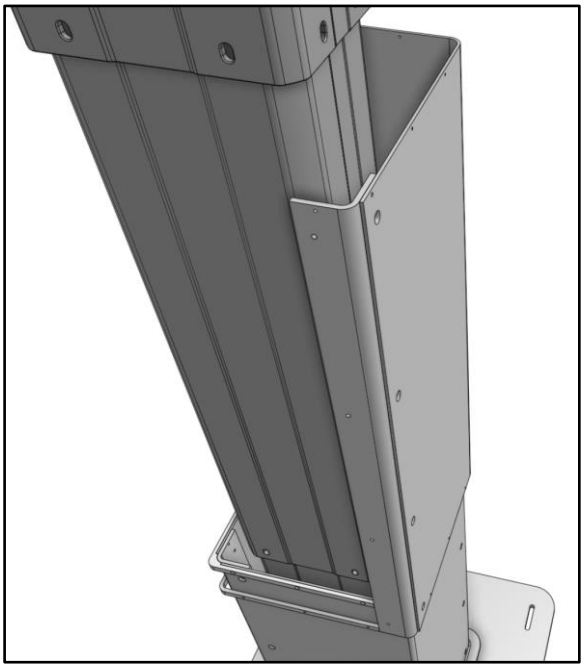
Materialvalet för både infästning och inklädnad gjordes i rådgivning med Önnereds Svets och Verkstad, ett företag specialiserade på tillverkning av produkter som ska befinna sig i ett marint klimat. Verkstaden föreslog saltvattenbeständigt aluminium 5457, som både kan vattenskäras och bockas. Valet av material medförde även att tjockleken på höljet reducerades från 10 mm till 2 mm, då den ursprungliga designen var tänkt att vara i någon form av plast. När valet istället föll på metall behövs inte lika mycket material för att uppnå samma hållfasthet samt funktionalitet.

Övriga material som undersöktes var bland annat rostfritt stål och biokomposit. Rostfritt stål valdes bort då det är betydligt dyrare än aluminium. Gällande biokompositen undersöktes i första hand en biokomposit av linfiber som både går att tillverka med formsprutning och additiv tillverkning. Denna föll bort i konceptutvärderingsfasen när det bestämdes att höljet skulle göras i metall.

Gällande skruvar, muttrar och brickor föll materialvalet på syrafast rostfritt stål av typen A4. Detta då det är ett syrafast stål som tål krävande miljöer och är vanligt förekommande för produkter som ska befinna sig nära havsvatten.

7.2 Höljenas utformning

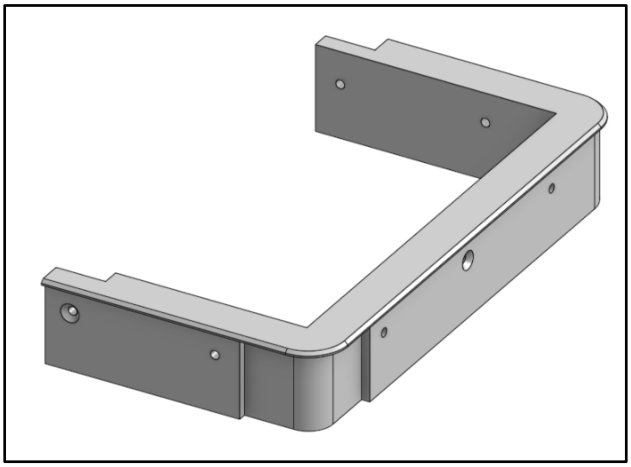
Ett problem som identifierades med höljet var hur delningslinjerna skulle slutas tätt. Den befintliga designen har enbart fästpunkter i neder- och överkant av höljet, något som kan medföra att de tunna metallhöljena inte ligger helt an samt böjs. För att åtgärda det beslutades det att delningslinjerna skulle flyttas så att höljena blir tvådelade ute i hörnen, istället för i mitten av sidorna. Där fästs de i L-profiler i samma material, med hjälp av M5-skruvar i gängade, försänkta hål (se figur 27). M5 valdes då det är den största skruvdimension som lämpar sig då godstjockleken är 3 mm. Modifikation resulterar både i att delningslinjerna nu sluter tätt, samt en förenklad tillverkningsprocess eftersom varje hölje numera enbart kräver en bockning vardera istället för två.



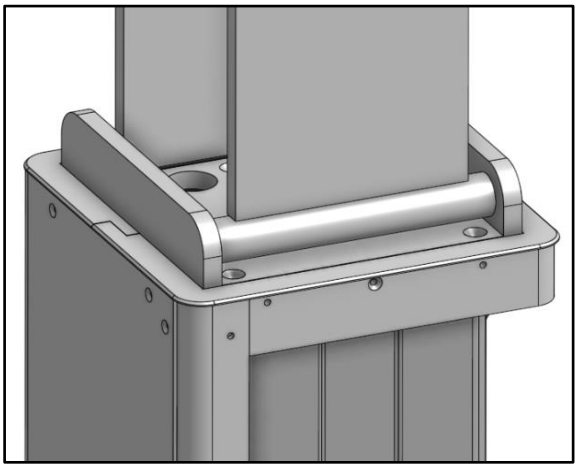
Figur 27. *Visualisering av det mellersta höljet.*

7.3 Kragar

För att fästa översta höljet i tornet konstruerades en krage i aluminium (se figur 28). Kragen är tvådelad i en profil som går att vattenskäras samt svetsas. Den sätts på plats med M5-skruvar som skruvas in i tornet och därefter skruvas höljena och L-profilerna fast i kragen (se figur 29). Kragarna har ett litet utstickande tak som förhindrar vatten från att sippra in emellan kragen och höljet.



Figur 28. *En halva av kragen.*

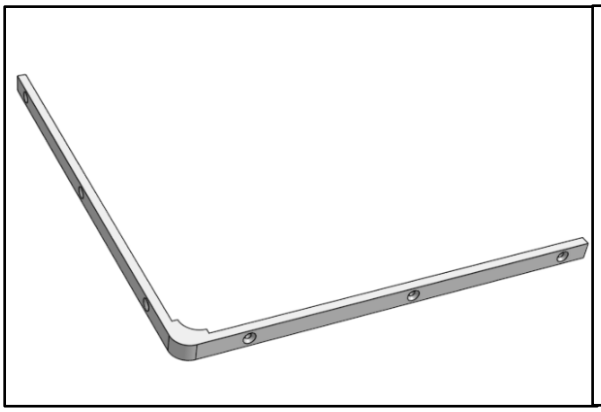


Figur 29. *Kragen med det översta höljet monterat.*

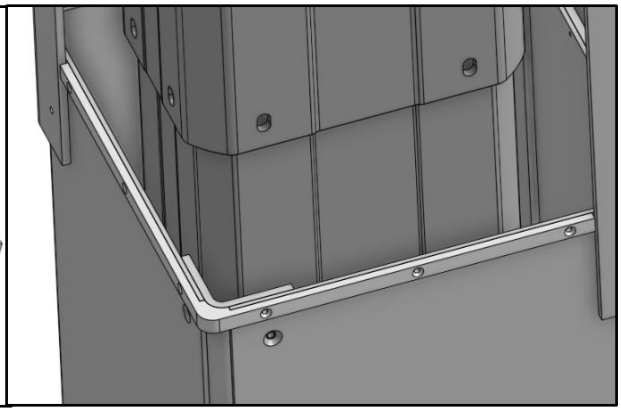
7.4 Tätningar

Lister ska användas av ett antal anledningar. Dels i tätningssyfte för att hålla ute den värsta vätan och smutsen, både i botten av tornet samt mellan höljena, dels för att möjliggöra för höljena att haka i och glida mot varandra. Det sistnämnda är nödvändigt för att inte förhindra avfyrningstornets teleskopfunktion. För dessa ändamål valdes två olika lister.

Den första listen är en polyetenglidlist i PEHD polyeten (se figur 30), då det är ett mycket slitstarkt material, med en låg friktionskoefficient som lämpar sig bra som glidlist och går att tillverka till ett lågt pris. Dessa monteras på höljena med hjälp av M3-skruvar som skruvas in i försänkta hål i glidlisterna och matchande gängade hål i respektive hölje. Glidlisterna skärs ut i valfri profil med hjälp av vattenskärning och det går därför att anpassa utformningen efter höljenas utseende. Totalt kommer 5 glidlister att användas; en i toppen av bottenhöljet, två stycken i respektive ände av mittenhöljet och en i botten på topphöljet. De valda dimensionerna medför att glidlisterna både sluter nästintill helt tätt samt hakar i och glider mot varandra då avfyrningstornet rör sig i vertikalt led.



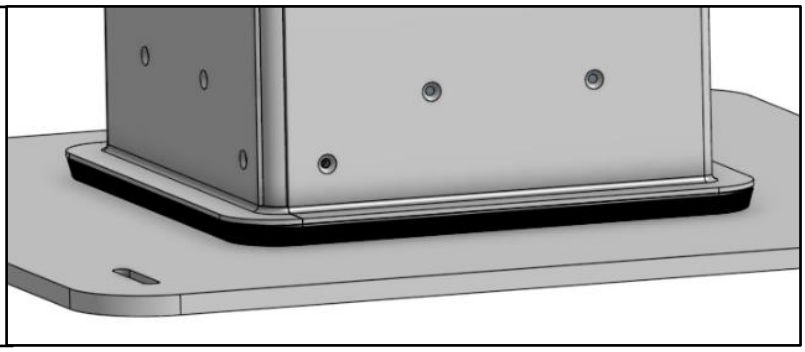
***Figur 30**. Glidlist.*



***Figur 31.** Monterad glidlist.*

Den andra sorters listen som kommer användas är en böjd L-profillist i EPDM-gummi. Dennes uppgift är att täta och ligga an mot bottenplattan. Listen limmas fast mot bottenhöljets underdel med transparent kontaktlim 284, speciellt framtaget för limning av bland annat gummi och metall.

***Figur 32.** Tätningslist i profil.*



***Figur 33.** Monterad tätningslist på det nedersta höljet.*

Då polyetenglidlisterna inte ligger innanför L-profilerna resulterar det i att de sistnämnda inte har en yta som glider smidigt mot ytorna de kommer i kontakt med. För att lösa det problemet kommer L-profilerna täckas med teflontejp, som har mycket låg friktion och bidrar till att öka ytans glidegenskaper.

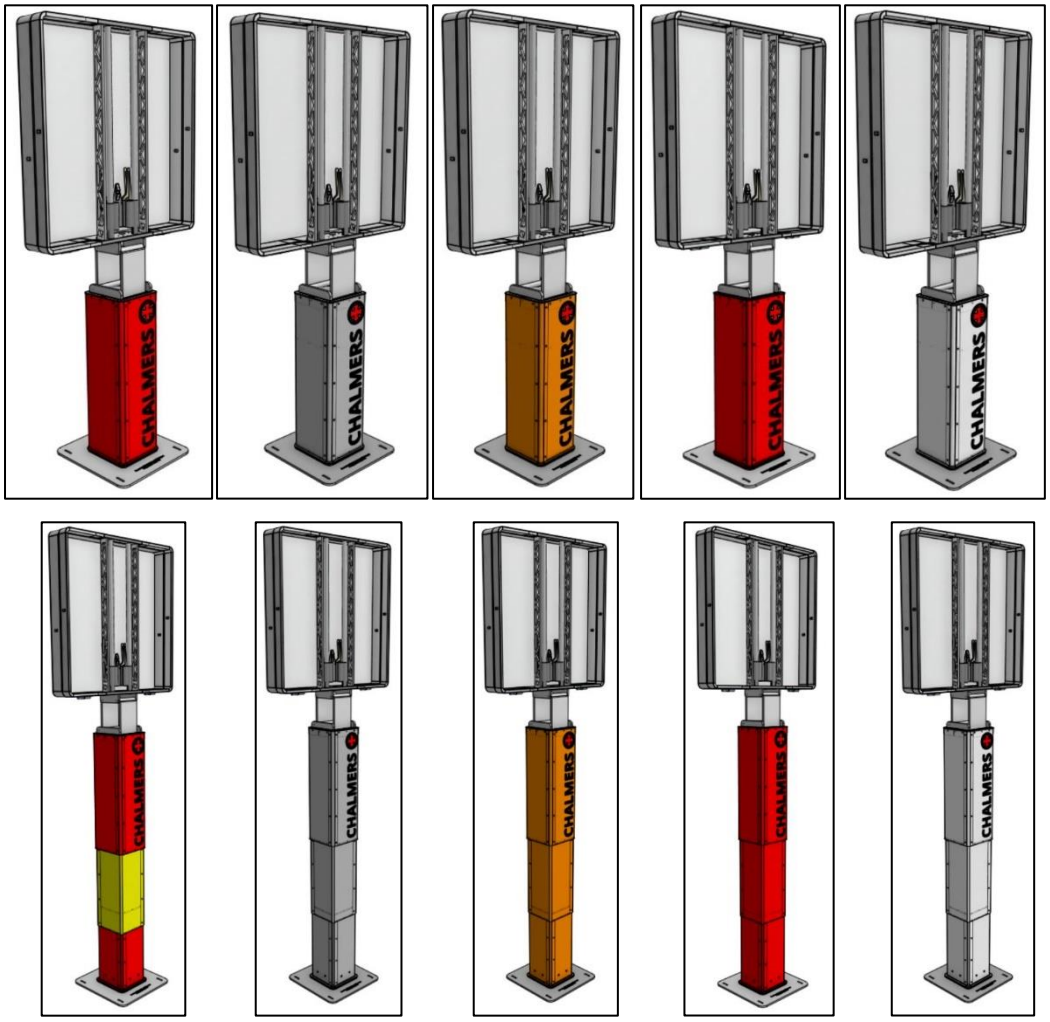
Till sist kräver även kragen att tätningar appliceras i toppen av tornet. Bakomliggande anledningen är för att täppa igen de glipor som uppstår mellan kragen och tornet. För att lösa det förseglas glappet med marintätning.

7.5 Färg och grafik

För att resultatet skulle spegla SSRS:s estetiska uttryck i syfte att uppmuntra till donationer, beslutades att satsa på färgval och grafik. Inspiration kring det togs från de färger Sjöräddningssällskapet valt att tillämpa på sina övriga fordon, utrustning samt logga. Resonemanget bakom det var att det ansågs kunna underlätta för utomstående parter att snabbt koppla avfyrningstornet till SSRS.

Figur 34. *SSRS fartyg.*

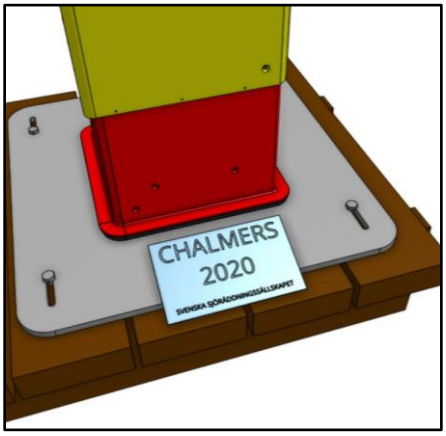
Bortsett från en helt metallisk design togs fyra förslag på färgläggning av inklädnaden fram (se figur 33). Tre enfärgade koncept i vitt, rött och orange. Det fjärde konceptet hade botten- och topphöljet i rött och mittenhöljet i gult. Det sistnämnda gör att när tornet är utsträckt i aktivt läge funktionerar den gula färgen lite varnande, samt att designen går att koppla till en sjöräddningsbåt som åker på larm.



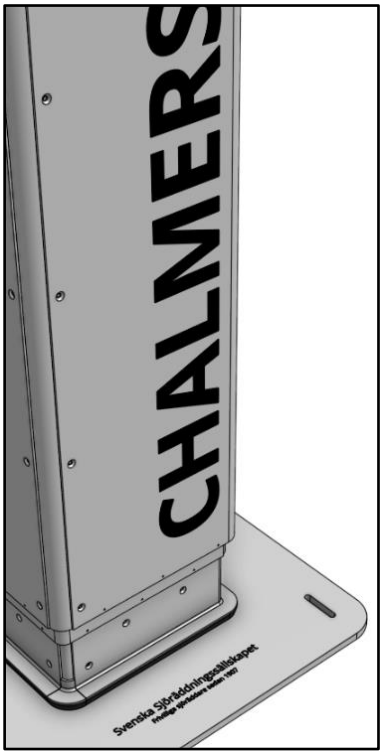
Figur 35. *Olika färgsättningar*

En idé är att namngiva respektive torn, likt namnsättning av en båt. Namnet kan stå skrivet vertikalt längs med det översta höljet och kan exempelvis tas från ett företag eller privatperson som valt att donera en viss summa. Namnet kan även stå skrivet på en skylt tillsammans med exempelvis året då avfyrningstornet blev aktivt. Det översta höljet skall även märkas med SSRS:s logga.

På bottenplattan går det att gravera in valfri text, där nuvarande förslaget är "Svenska Sjöräddningssällskapet. Frivilliga sjöräddare sedan 1907". På så vis kan personer som går fram till tornet läsa texten och få bekräftat att det är SSRS som ligger bakom tornet. Förslag på färgsättning av bottenplattan togs också fram, där färgerna gul, blå och vit användes med inspiration från SSRS:s logga.



Figur 36. *Skylt med avfyrningstornets namn.*

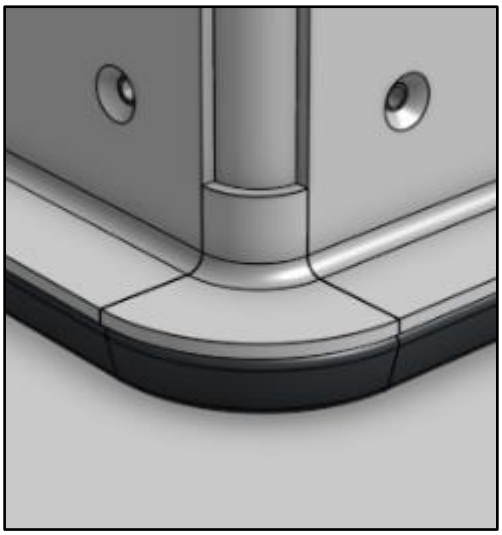


Figur 37. *Avfyrningstornets namn på höljet samt graverad slogan på bottenplattan.*

7.6 Modifikationer utifrån verkstadens förutsättningar

Efter konsulterande med Önnereds Svets och Verkstad, för att försäkra att konceptet går att tillverka, togs en del beslut angående dimensioner och utformning. Då bockning ansågs vara en lämplig tillverkningsteknik för inklädnaden sett till konstruktionen, behövde höljenas tjocklek ökas från först satta 2 mm till 3 mm. Bockning resulterar även i en minsta innerradie på 3,5 mm och en största på 20 mm, vilket gjorde att ett antal rätvinkliga kanter i modellen behövde ändras.

En förändring gjordes även i botten av inklädnaden, där en liten hålighet bildas mellan höljena, L-profilen samt gummilisten. För att täta till där kommer en liten bockad komponent med samma form som bottenhöljets nederkant att svetsas fast i L-profilen.



Figur 38. *Modifierat hörn.*

7.7 Fäste på olika underlag

Avfyrningstornet ska kunna placeras längs med alla Sveriges kuster. För att detta skall vara möjligt behöver infästningen som tidigare nämnt kunna fästas på olika underlag, såsom brygga, stenhäll och sandstrand. För dessa ändamål kommer två olika principer att tillämpas, utan att fästets utformning behöver modifieras.

Vid placering på brygga kommer bottenplattan fästas i bryggan med fransk träskruv, samt passande brickor. Hålen i plattan kommer vara avlånga för att utöka möjligheterna till att anpassa skruvplaceringen efter bryggans konstruktion. På så sätt kan man exempelvis placera skruvarna så att de fäster i bryggans balkar, vilket förstärker konstruktionen.

Vid placering på stenhäll eller sandstrand kommer samma princip användas. Istället för fransk skruv kommer plattan träs i fyra stycken stänger. Därefter kläms den på plats mellan två muttrar och brickor på vardera sida om plattan. Stängerna är i sin tur fastgjutna i ett betongblock som antingen är placerad i stenhällen eller nedgrävd en bit i sanden.

7.8 Dimensionering av fäste, FEM

När designen för inklädnaden var färdigställd övergick arbetet till att dimensionera infästningen samt tillhörande skruvar, stänger och brickor. Dimensionerna fastställdes efter FEM-beräkningar med hjälp av dator.

Krafter

För att kunna genomföra beräkningarna krävdes att maximala vindlasten på tornet först beräknades. Denna uppstår då tornet är aktivt och befinner sig i sitt högsta läge med drönarhuset vinkelrätt mot underlaget. Viktigt att notera är att vindlasten är större högre upp på tornet då vindhastigheten är som högst där. För att bredda säkerhetsmarginalen antas att denna högsta vindhastigheten verkar jämnt längs med hela ytan. Detta gör att konstruktionen i verkligheten kommer att klara av ännu högre laster än vad som beräknas.

- Vindlasten beräknas enligt ekvation 1.
- C_d = 1.28, då ytan på drönarhuset och inklädnaden ses som platt (NASA, 2015).
- $\rho_{vind} \approx 1.2\ kg/m^3$ (Jones, 1978)
- V_{vind} = 30 m/s, enligt ställda krav.
- A = 2.267 m^2, enligt CAD.

$$\Rightarrow F_{vind} = \frac{1}{2} \times 1.28 \times 1.2 \times 2.267 \times 30^2 \approx 1567\ N$$

Avfyrningstornets vikt beräknas till ungefär 200 kg. Detta baseras på att om hela konstruktionen antas vara gjord i aluminium skulle den väga ungefär 150 kg, varpå 50 kg läggs till för diverse elektronik och komponenter av tyngre material.

$$\Rightarrow F_g = m \times g = 200 \times 9.81 = 1962\ N \qquad (2)$$

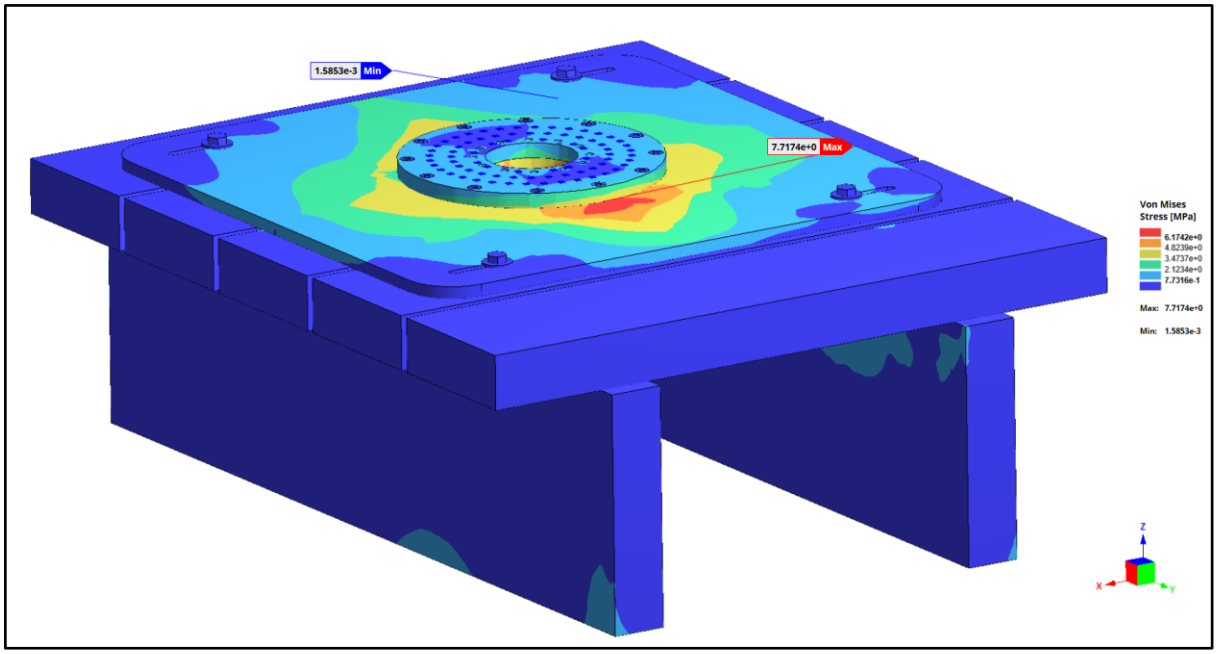
Med hjälp av CAD beräknades att areans centrum befinner sig på en höjd av 2.568 m. Resultanten av vindlasten och tornets vikt verkar i denna punkten.

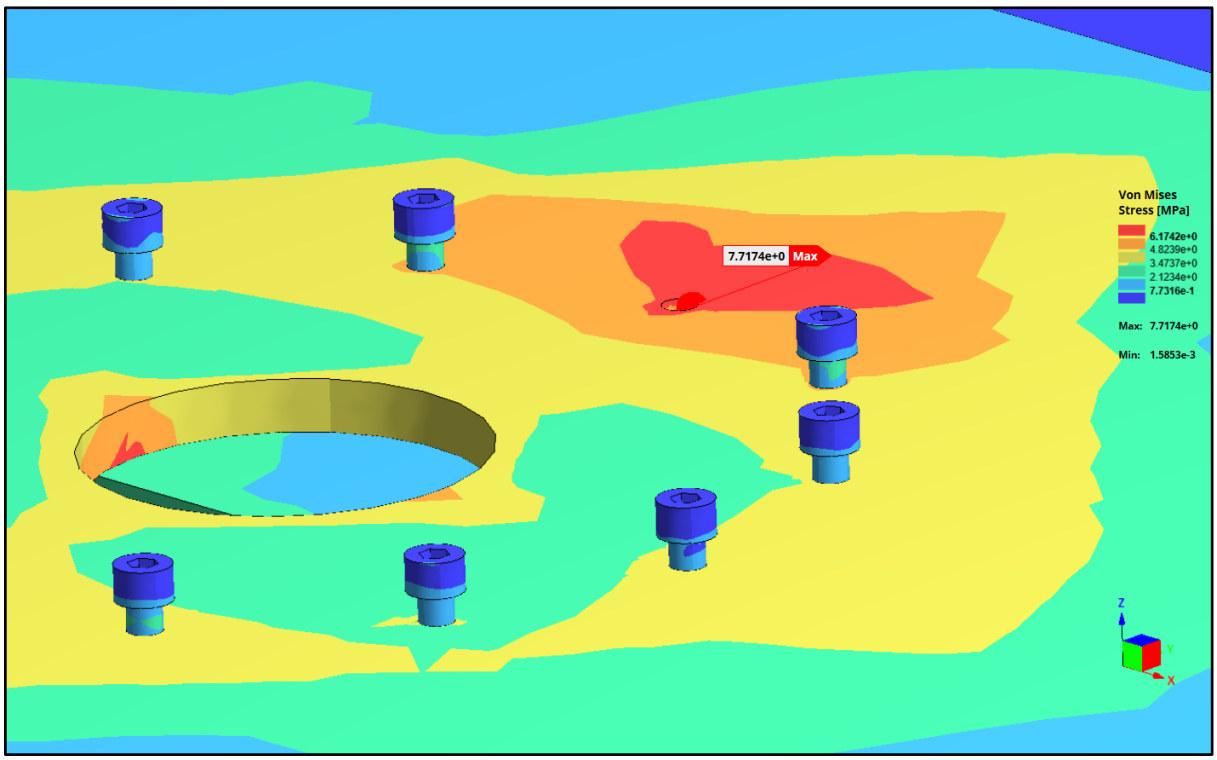
Vid analyserna beräknades säkerhetsfaktorn och Von Mises spänning, vilket är densamma som effektivspänning, för att utvärdera konstruktionen.

FEM-analys

Infästning i brygga

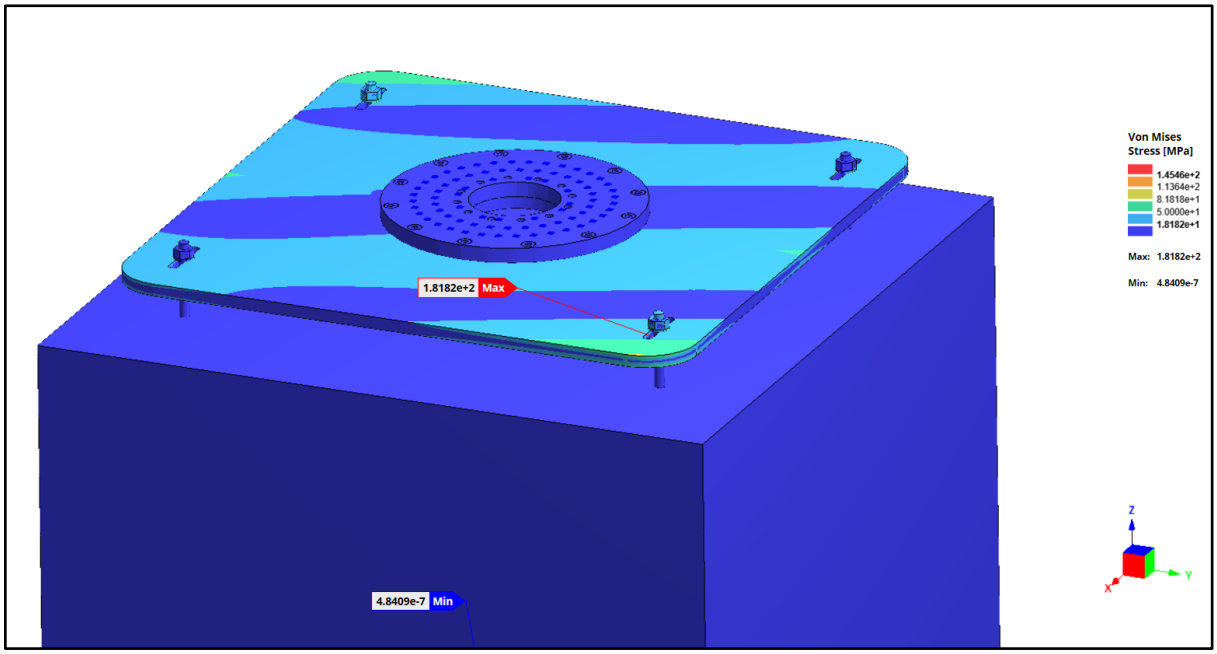
Högst spänning (7.7 MPa) och lägsta säkerhetsfaktor (24) uppstår i anvisat **skruvhål** då vinden blåser i y-riktning.

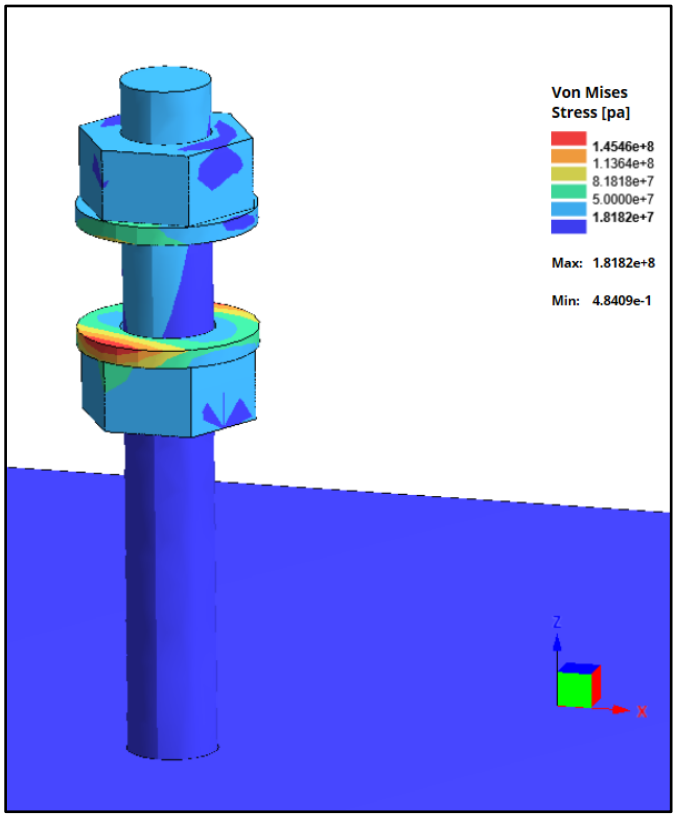




Infästning i betongblock eller stenhäll

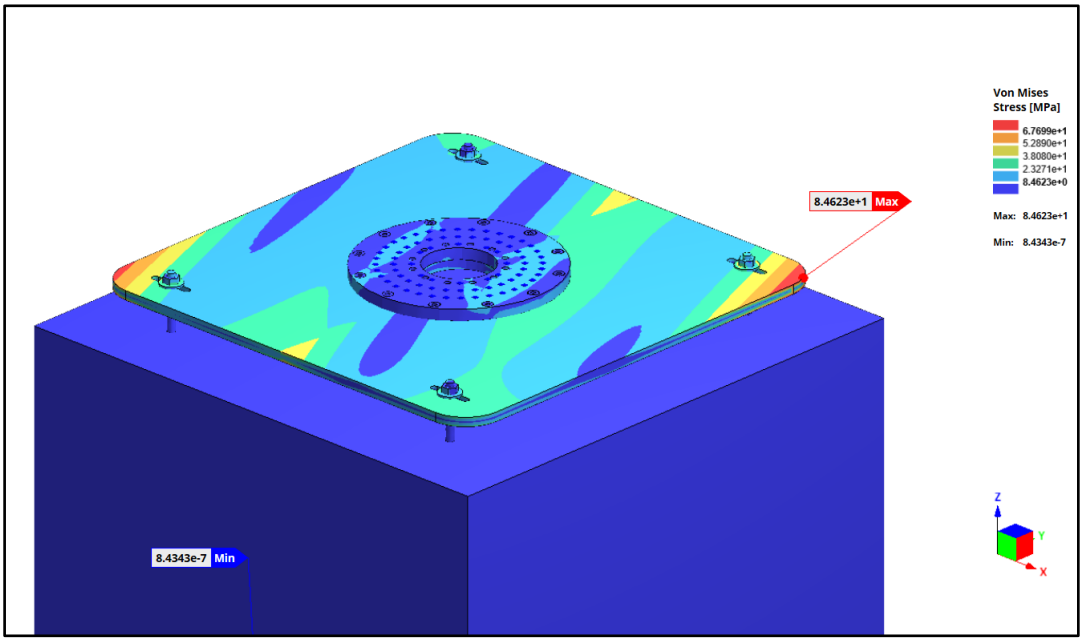
Det är **50 mm mellanrum** mellan blocket och bottenplattan, samt **normalstora M10 brickor**. Högst spänning (182 MPa) och lägst säkerhetsfaktor (1.51) uppstår i anvisad **bricka** då vinden blåser diagonalt.





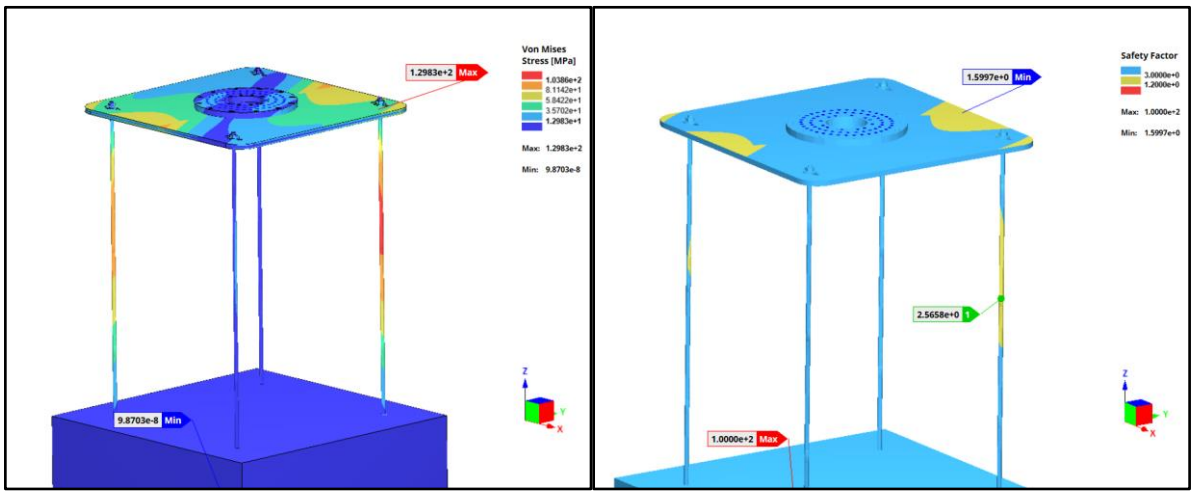
Infästning i betongblock eller stenhäll

Det är **50 mm mellanrum** mellan blocket och bottenplattan, samt **stora M10 brickor**. Högst spänning (84.6 MPa) och lägst säkerhetsfaktor (2.18) uppstår i anvisat **hörn i plattan** då vinden blåser diagonalt.



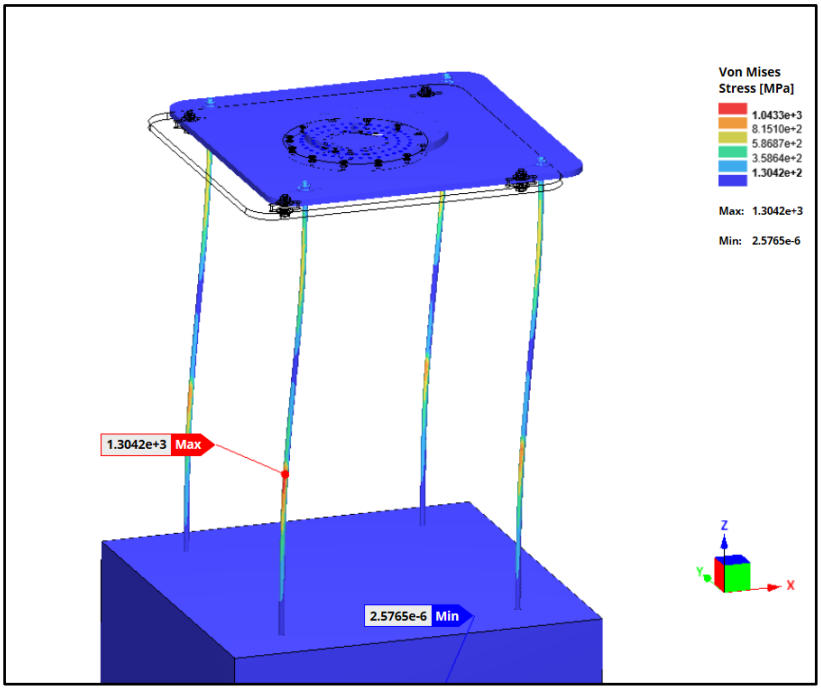
Infästning i betongblock eller stenhäll

Det är **790 mm mellanrum** mellan blocket och bottenplattan, samt **stora M10 brickor**. Högst spänning (130 MPa) uppstår i anvisad **M10 bricka** och lägst säkerhetsfaktor (1.6) uppstår i anvisat **område på plattan** då vinden blåser diagonalt.



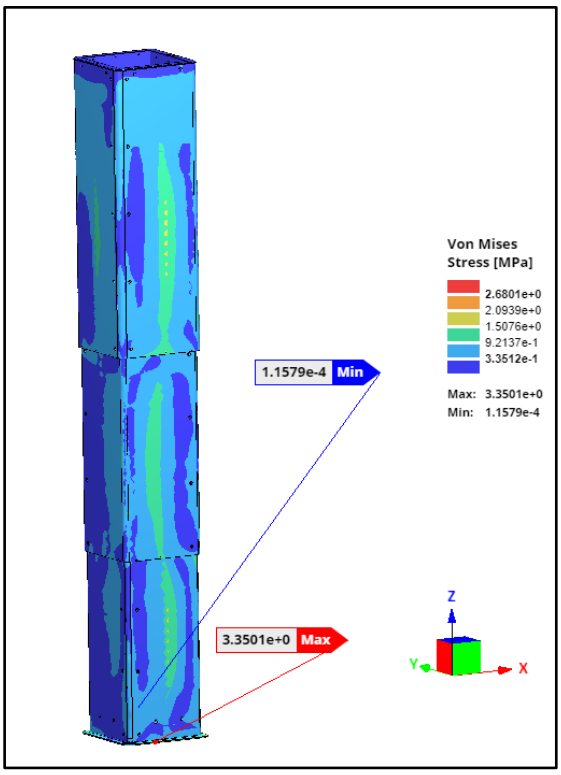
Infästning i betongblock eller stenhäll

Det är **800 mm mellanrum** mellan blocket och bottenplattan, samt **stora M10 brickor**. Högst spänning (1304 MPa) och lägst säkerhetsfaktor (0.21) uppstår i anvisad **stång** då vinden blåser diagonalt. Stången fallerar alltså efter att ett mellanrum på 790 mm överstigs.



Inklädnad

Vindlasten appliceras i detta fall på hela ytan av en sida. Högst spänning (3.35 MPa) och minsta säkerhetsfaktorn (96.7) uppstår i det nedre höljets botten.



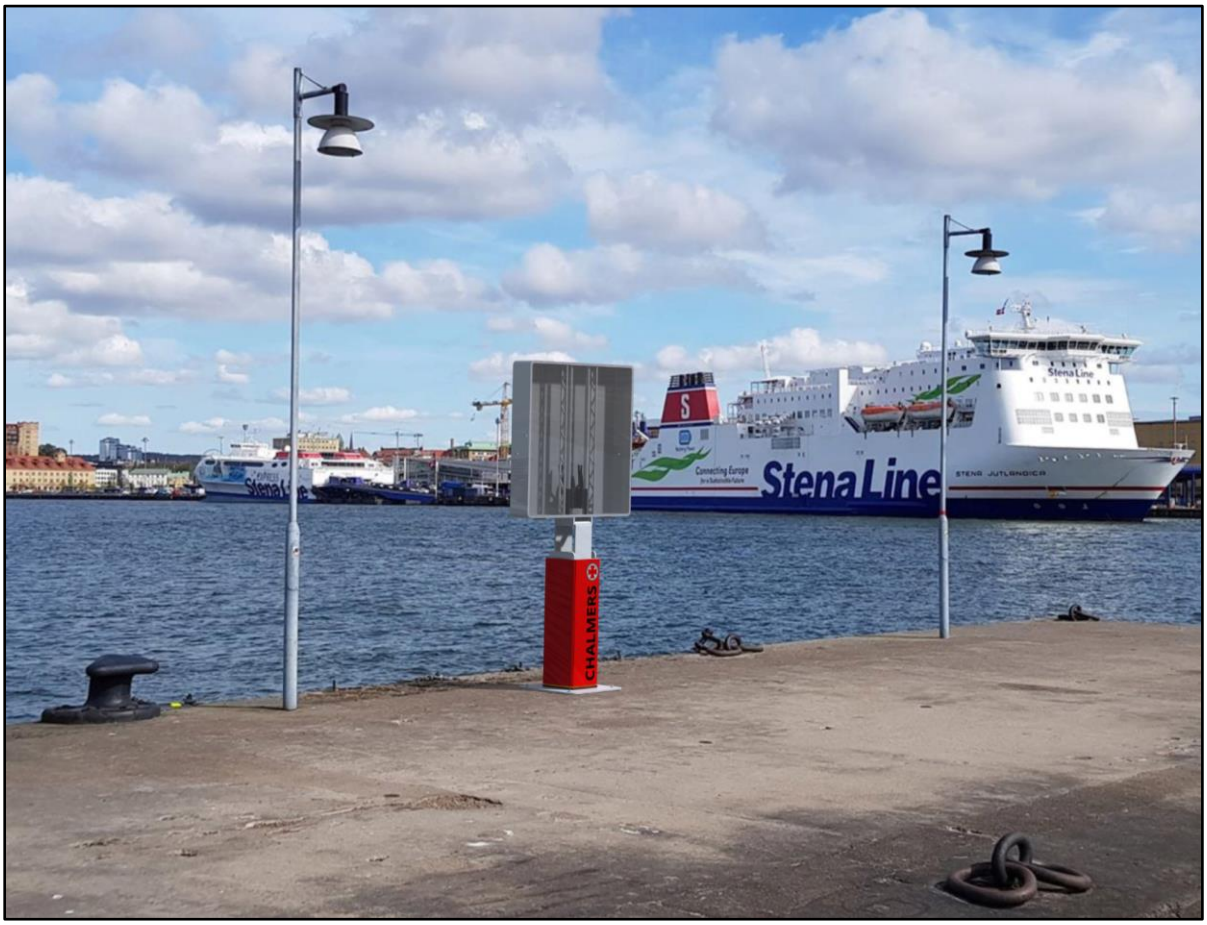
Sammanfattningsvis resulterade FEM-analysen i följande ändringar:

- Bottenplattans bredd utökades från 500 mm till 600 mm och tjockleken ökade från 10 mm till 12 mm.
- Bytte ut de normala M10-brickorna (10.2x20x2) till stora M10-brickor (10.5x30x2.5). De vanliga brickorna funkar, men för att öka säkerhetsfaktorn mot deformation rekommenderas de stora brickorna.

8. Resultat

Projektets slutkoncept redovisas och ställda krav samt önskemål utvärderas.

8.1 Slutkoncept



Figur 39. *Slutkoncept visualiserat i inaktivt läge.*

Det slutgiltiga konceptet är en kvadratisk inklädnad och infästning. Inklädnaden består av tre stycken 3 mm tjocka höljen gjorda i aluminium 5754, som skyddar innanredet mot regn, smuts och yttre våld. Vardera hölje är uppdelad i två halvor. Höljena bockas och fästs ihop med 5 mm tjocka, L-formade profiler i samma material. På dessa höljen monteras glidlister i polyeten, samt en gummilist i EPDM i det nedre höljets underkant. De sidor av L-profilerna som glider mot andra ytor täcks med teflontejp. Glidlisterna och teflontejpen ser både till att täta till gliporna som uppstår i konstruktionen, samt möjliggör för avfyrningstornets teleskopfunktion att funktionera smidigt utan att friktionsskador uppstår. EPDM-listen i botten ser i sin tur till att täppa igen glipan mellan inklädnadens underkant och bottenplattan utan att förhindra tornets rotationsmekanism. Detta möjliggör för en snabb och effektiv avfyrning av drönaren.

Bottenhöljet sitter fast i avfyrningstornets basplatta. Därefter träs övriga höljen på, så att de överlappar varandra och topphöljet till sist fästs i en krage monterad i avfyrningstornets topp. När tornet rör sig i vertikalt led funktionerar glidlisterna som hakar och ser till att mittenhöljet följer det översta höljets rörelsebana.

Infästningen är en 12 mm tjock platta, även den i aluminium 5754, med en bredd som mäter 600 mm på vardera sida. Plattan har fyra avlånga hål, avsedda för montering i det rådande underlaget med M10-skruvar eller gängade stänger. Bakomliggande anledningen till att hålen inte är helt cirkulära är för att öka möjligheten att anpassa insättningen av skruvarna, förslagsvis för att kunna skruva ned i en bryggas balkar, vilket medför en förstärkt konstruktion. Infästningen har även 12 gängade hål som matchar avfyrningstornets rotationsplatta, vilket möjliggör montering.

Både fästet och inklädnaden är dimensionerat för att klara av belastningar som uppstår då avfyrningstornet i aktivt läge utsätts för mycket hårda vindar.

Då bottenplattan fästs i en brygga har den en minsta säkerhetsfaktor på 24 vilket motsvarar vindlasten som uppstår då vindens hastighet är 147 m/s.

Då bottenplattan fästs i ett betongblock varierar den minsta säkerhetsfaktorn beroende på vilken storlek på brickan som används. Vanliga M10 brickor har en minsta säkerhetsfaktor på 1.51 medan stora M10 brickor har en minsta säkerhetsfaktor på 2.18. Detta resulterar i att brickorna klarar av vindlasten som uppstår då vindens hastighet är 36.8 m/s respektive 44.3 m/s. Det rekommenderas att stora M10 brickor används. Utöver det rekommenderas att avståndet mellan bottenplattan och betongblocket eller stenhällens yta är så litet som möjligt, men att det inte får överskrida 79 cm.

Figur 40. *Slutkonceptet visualiserat i aktivt läge.*

Färgvalet föll på rött botten- samt topphölje, gult mittenhölje och ofärgad aluminiuminfästning. Färgkombination gör att tornet i aktivt läge kan förknippas med en sjöräddningsbåt. Inga färgsättningsförslag på infästningen ansågs se bättre ut än att ha den ofärgad och därav föll valet på ren aluminium. På topphöljet kommer Sjöräddningssällskapets logga att tryckas, tillsammans med ett namn på avfyrningstornet. I infästningen graveras även en valfri text.

Konceptet har redovisats för Önnereds Svets och Verkstad, som anser att konstruktionen är realistisk och möjlig att tillverka.

Figur 41. *Närbild på det översta höljet samt bottenplattan.*

8.2 Utvärdering

Samtliga krav och önskemål som ställts på infästningen och inklädnaden har uppfyllts. Nedan följer utvärderingen av dem.

Infästning

Krav

Infästningen ska:

- Förhindra relativ rörelse mellan underlag, fäste och rotationsplatta.

Skruvförband mellan underlaget, bottenplattan och rotationsplattan omöjliggör relativ rörelse.

- Tåla momentlast som uppstår vid en vindhastighet av 30 m/s med en säkerhetsfaktor på 1,5.

Om rekommendationer följs tål infästningen den uppstådda momentlasten med en lägsta säkerhetsfaktor på 2.18.

- Vara vattentålig och därmed motstå korrosion.

Infästningen är gjort i saltvattenbeständig aluminium och är därmed korrosionsbeständig.

- Tåla trycklast som uppkommer från avfyrningstornets egenvikt.

Om rekommendationer följs tål infästningen den uppstådda trycklasten med en lägsta säkerhetsfaktor på 2.18.

- Tillåta rotation mellan pylon och rotationsmekanism.

Fästelementen tillåter rotationen.

- Ha en livslängd på minst 10 år.

Enligt FEM-beräkningarna finns det inget som antyder att det finns en definierad livslängd. På grund av tornets låga aktivitet och materialets hållbarhet antas en livslängd på över 10 år.

- Kunna motstå daglig nedtrampning.

Bottenplattan är gjord i material som klarar av belastning förorsakad av nedtrampning.

- Vara utbytbar.

Fästet kan demonteras och tillåter därmed att ett nytt fäste monteras.

- Vara möjlig att tillverka med hjälp av nutida tillgängliga metoder.

Fästet går att tillverka med vattenskärning.

- Gå att tillverka för under 1000 kr/st.

Enligt Önnereds Svets pris på 50 kr/kg aluminium kostar bottenplattan 565 kr.

- Vara brandtålig.

Aluminium är ej lättantändligt och är därmed tillräckligt brandtålig.

- Ej vara utformad så att den kan orsaka personskador.

Bottenplattan innehar inga former eller delar som lätt orsakar personskador.

- Ha låga emissionsutsläpp.

Infästningen ger inte ifrån sig några emissionsutsläpp.

Önskemål

Infästningen ska:

- Ha ett utseende som främjar donationer.

Konstruktionen ser stabil ut och försäkrar donatorer om dess kvalitet. Utöver det kan man gravera in avfyrningstornets namn som givits av donatorn.

- Motstå solljus och inte blekna.

Aluminium bleknar inte.

- Om möjligt vara av återvinningsbart material.

Aluminium är återvinningsbart.

- Ha en maxvikt på 20 kg.

Bottenplattan har en vikt på 11,3 kg.

- Ha en intresseväckande design.

Gravering väcker intresse.

- Förmedla SSRS:s värden.

Gravering av SSRS slogan förmedlar deras värden.

Inklädnad

Krav

Inklädnaden ska:

- Skydda pylonen samt elektronik mot korrosion och väta.

Inklädnaden innesluter pylonen och elektroniken och skyddar därmed mot att smuts och vätska kommer innanför inklädnad och skadar innanredet.

- Tåla radiella laster som uppstår vid en vindhastighet av 30 m/s med en säkerhetsfaktor på 1,5.

Inklädnaden har en minsta säkerhetsfaktor på 96.7.

- Motstå korrosion.

Höljena är gjorda i saltvattenbeständig aluminium och är därmed korrosionsbeständiga.

- Tillåta rotation mellan pylon och rotationsmekanism

Inklädnaden möjliggör för avfyrningstornet att rotera utan hinder.

- Ha en livslängd på minst 10 år.

Enligt FEM-beräkningarna finns det inget som antyder att det finns en definierad livslängd. På grund av tornets låga aktivitet och materialets hållbarhet antas en livslängd på över 10 år.

- Motstå dagligt slitage.

Då tornet sällan kommer att vara aktivt är det dagliga slitaget väldigt lågt.

- Vara utbytbar.

Inklädnaden kan demonteras och tillåter därmed att en ny inklädnad monteras.

- Vara möjlig att tillverka med hjälp av nutida tillgängliga metoder.

Höljena och dess tillhörande komponenter går att tillverka med vattenskärning, bockning, svetsning och borrning.

- Gå att tillverka för under 2000 kr/st.

Enligt Önnereds Svets pris på 50 kr/kg aluminium kostar höljena 1365 kr.

- Vara brandtålig.

Inklädnaden är ej tillverkad i något lättantändligt material.

- Ej vara utformad så att den kan orsaka personskador.

Inklädnaden innehar inga former eller delar som lätt orsakar personskador.

Önskemål

Inklädnaden ska:

- Ha ett utseende som främjar donationer.

Donatorer kan döpa tornet.

- Inneha teleskopsfunktion för att ej förhindra förlängning av avfyrningstorn.

Inklädnaden är konstruerad för att möjliggöra rörelse i vertikalt led och förhindrar därmed ej teleskopsfunktion.

- Motstå solljus och inte blekna

Aluminium bleknar inte men om grafiken bleknar har inte undersökts.

- Om möjligt vara av återvinningsbart material.

Aluminium är återvinningsbart, likaså polyeten. EPDM-gummi går att återvinna om det bryts ner till granulat.

- Ha en maxvikt på 30 kg.

Höljena väger 27.3 kg.

- Ha en intresseväckande design.

Den röda och gula färgen gör att tornet sticker ut från sin omgivning.

- Förmedla SSRS:s värden.

Inklädnaden följer SSRS:s värden samt innehar deras logga.

9. Diskussion

Diskussionen tar upp projektets trovärdighet och realiserbarhet, ytterligare utvecklingspotential samt den hittills icke nämnda prototyptillverkningen.

9.1 Reflektioner kring trovärdighet och realiserbarhet

9.1.1 Informationsinsamlingen

Informationen som samlades in grundade sig i fältstudierna och marknadsundersökningen. Fältstudierna genomfördes i Göteborg och det är de rådande förhållanden där som den summerade uppfattningen till stor del baseras på. För att bredda uppfattningen bör fler delar av landet besökas, då exempelvis förutsättningarna kan vara annorlunda vid Sveriges nordligaste kuster kontra västkusten.

Då det var svårt att hitta liknande produkter som avfyrningstornet att hämta inspiration ifrån, togs istället det från övriga kustnära produkter. Om man även skulle upptäcka och kunna studera ett annat avfyrningstorn eller snarlik konstruktion, skulle ytterligare inspiration och förståelse kunna intas.

9.1.2 Konceptframtagningen

Under konceptframtagningen användes metoderna brainwriting, 3-6-5 och morfologiska matriser. Den mängd idéer som genererades av den sistnämnda beskrevs enbart i text i form av kombinerade delfunktioner. Det var också dessa beskrivningar som utvärderades och resulterade i de två valda koncepten som konstruerades i CAD. Det är möjligt att det här tillvägagångssättet ledde till att andra potentiella lösningar eliminerades utan tillräckliga belägg. Hade alla konceptförslagen visualiserats och beskrivits lite mer djupgående kan det hända att utfallet hade blivit annorlunda.

Det bör dock nämnas att delfunktionerna i konceptförslagen från de morfologiska matriserna byggde på de lösningsförslag som vi visualiserat i de tidigare idégenereringsmetoderna. På så sätt och vis hade alla delfunktionerna faktiskt skissats ner och tagits hänsyn till, om än inte i kombination med de övriga i respektive koncept.

9.1.3 Vidareutvecklingen

Under vidareutvecklingsfasen var dimensionering av fästet med hjälp av FEM en stor och betydande del. Dock kan analyserna som gjordes ses som en potentiell felkälla. Att använda sig av FEM-beräkningar i CAD är någonting som vi saknar tidigare kunskap och erfarenhet av. Vi har fått sätta oss in i och lära oss detta under arbetets gång. Vi har dock använt oss av stora säkerhetsmarginaler i våra beräkningar, exempelvis så pass höga vindlaster som avfyrningstornet troligtvis aldrig kommer att utsättas för, samt att vi har nyttjat våra kunskaper i mekanik, hållfasthet och konstruktion. Dessa faktorer i kombination med egeninlärningen av FEM anser vi bringar ett tillräckligt tillförlitligt resultat, som i stora drag speglar den verkliga hållfastheten av konceptet.

Vid framtagningen av slutkonceptet var det ingenting som kom längre än att det visualiserades samt testades med hjälp av datorstödda programvaror. Inga verkliga modeller eller prototyper har tillverkats, vilket till stor del berott på att tiden inte räckt till. Detta är något som medför att vi inte kan bekräfta att konceptet fungerar i verkligheten. Vid ett fortsatt arbete med avfyrningstornet bör en prototyp framställas, för att kunna försäkra att den är kompatibel med avfyrningstornet, funktionerar enligt plan samt uppfyller hållfasthetskraven.

9.2 Hållbarhetsanalys

Konceptet är till stor del gjort i återvinningsbart material. Både höljena och bottenplattan är av aluminium, en metall som tack vare dess hållbarhet och goda egenskaper gör att 75 procent av det som producerats fortfarande används. Glidlisterna i polyeten går även de att återvinna. Kontaktlimmet som används för att fästa tätningslisten släpper då den värms upp till temperatur över 70 grader. Därmed kan man lossa tätningslisten i EPDM-gummi från det nedersta höljet och återvinna den om den bryts ner till granulat. Detta scenario är dock kanske inte realistiskt, då det är mer troligt att listen inte avlägsnas och hamnar tillsammans med aluminiumet i metallåtervinningen.

Inklädnaden och infästningen bidrar till en produktion av nya produkter, vilket i sig inte gynnar miljön. Dock, eftersom konceptet möjliggör för avfyrningstornet och drönaren att användas utomhus, så kommer SSRS att kunna nyttja sina resurser mer effektivt. Om drönaren exempelvis bekräftar för sjöräddarna vid ett larmsamtal att situationen inte är akut, kan SSRS reducera antalet sjöräddare och fordon som åker på larmet. Detta resulterar både i bland annat mindre bränsleförbrukning och slitage på fordon samt utrustning. Dessutom kan personalen som stannar kvar vara beredda att åka ut på ett annat larm.

9.3 Etik

Drönaren är ur ett etiskt perspektiv väldigt uppskattad då den bidrar till att rädda liv ute till havs. Detta möjliggörs av avfyrningstornet som skyddar drönaren och avfyrar den. Avfyrningstornet kan i sin tur monteras i ett underlag med detta förslaget på en infästning. Förslaget på inklädnaden skyddar avfyrningstornets elektroniska och hydrauliska komponenter och möjliggör att avfyrningstornet kan verka så nära havet som möjligt där vädret kan vara hårt. Dessa framtagna koncept på inklädnad och infästning möjliggör således att avfyrningstornet kan utföra sin uppgift och bidrar därmed till att rädda liv.

9.4 Förslag på förbättringsområden

Slutkonceptet som tagits fram uppfyller många ställda krav och anses vara realistisk att tillverka. Detta utesluter dock inte att det finns ytterligare förbättringspotential. Vissa krav går att uppfylla till högre grad, samt att en del aspekter har inte lagts stort fokus på i det här projektet.

Konceptet som tagits fram håller ute majoriteten av all väta och smuts det utsätts för. Så länge inga större mängder tar sig in har det ansetts acceptabelt från SSRS:s håll om små mängder fukt når insidan avfyrningstornet och de tillhörande komponenterna. Detta ses inte som en risk för skada på elektronik och hydraulik. En framtida version av avfyrningstornet kan dock optimeras ytterligare i detta avseendet, med en inklädnad som är fullständigt vattentät.

Färgsättning av inklädnaden har vi lagt fram förslag på, där inspirationen tagits från färgen på SSRS:s befintliga fordon. Dock har vi inte gått in djupgående på det och vet därför inte exakt vad för färg som bör användas. Att ta reda på det, med hänsyn till exempelvis att färgen ska gå att applicera på aluminium, kunna användas i marin miljö och inte blekna av solljus, är något som kan undersökas i framtiden.

Slutkonceptets livslängd har utifrån FEM-beräkningarna som gjorts i kombination med avfyrningstornets låga aktivitet och materialens hållbarhet antagits vara över 10 år. För att kunna få en mer noggrann bedömning kring det hade tester behövt utföras på förslagsvis en prototyp. Man hade kunnat låta avfyrningstornet gå fram och tillbaka mellan aktivit och inaktivt läge, för att på så sätt se hur lång tid det tar innan deformationer uppstår. Detta hade resulterar i en bättre uppfattning kring den ungefärliga livslängden.

Hur man kan minimera risken för stöld och skadegörelse, samt minimera risken för personskador både när tornet är inaktivt eller aktivt, är två potentiella områden som inte fått mycket uppmärksamhet i projektet. Gällande personskador har vi försökt ha det i åtanke vid utformningen av konceptet, där vi undvika vassa kanter och försvårat för klämskador att uppstå mellan exempelvis höljenas överlappningar. Det har däremot inte utvärderats på något sätt och inte heller varit någon av huvudfaktorerna när beslut gällande bland annat design tagits.

Att minimera stöldrisken har i princip utelämnats i projektet. Bakomliggande orsaken är till stor del att SSRS själva inte ansåg att det var en punkt att lägga tid på i nuläget, när avfyrningstornet fortfarande är i prototypstadiet. Det är snarare något som får behandlas i framtiden, innan en slutgiltig produkt lanseras och placeras ut längs Sveriges kust.

10. Slutsats

Slutsatsen återkopplar till projektets syfte, mål och frågeställningar.

Syftet med projektet var att undersöka vilka laster som avfyrningstornet utsätts för samt vilka förutsättningar som råder på de platser som drönaren kan tänkas placeras på, såsom underlaget och väderförhållanden. Vidare var även syftet att undersöka vad som krävs av en inklädning av torn med avseende på funktion och estetiskt värde.

Målet med projektet var att ta fram ett koncept för infästning samt inklädnad som i framtiden ska kunna förverkliga Sjöräddningssällskapets ambitioner kring användning av drönare. Ytterligare mål var att genomföra beräkningar i syfte att försäkra sig om att satta hållfasthetskrav uppfylls.

Både projektets syfte och mål har uppfyllts. Projektet har resulterat i ett koncept som både är realiserbart samt funktionellt och går att placera på olika platser längs Sveriges kust, i varierande och tuffa väderförhållanden. Konceptet har på samma gång tagit hänsyn till de estetiska uttrycken SSRS vill förmedla i form av färgsättning och grafisk design.

Gällande de satta frågeställningarna har de tagits hänsyn till kontinuerligt under projektets gång. Dessa har besvarats löpande genom rapporten.

Källförteckning

Tryckta källor

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

Johannesson, H., Persson, J-G., & Pettersson, D. (2013). *Produktutveckling.* (2. uppl.). Stockholm: Liber.

Melkersson, K., & Mägi, M. (2006). *Lärobok i maskinelement*. Göteborg: EcoDev International

Elektroniska källor

1177 Vårdguiden. (2019). Så gör du vid nedkylning. Hämtad 2020-05-30 från https://www.1177.se/Vastra-Gotaland/olyckor--skador/akuta-rad---forsta-hjalpen/sa-gor-du-vid-nedkylning/

Alumeco. (u.å.). Återvinning av aluminium. Hämtad 2020-06-01 från https://www.alumeco.se/kunskap-teknik/allmaent/återvinning-av-aluminium

BE Group. (u.å.). Tabell Aluminium. Hämtad 2020-05-05 från https://www.begroup.se/tabell-aluminium/

Damstahl. (2014). Syrafast bättre än rostfritt? Inte alltid!. Hämtad 2020-04-24 från https://www.damstahl.se/blogg/posts/allmant-om-rostfritt/syrafast-battre-an-rostfritt-inte-alltid/

Ekberg, A. (u.å.). Finita elementmetoden. Hämtad 2020-05-10 från http://www.am.chalmers.se/~anek/teaching/k4/OH_Avancerat.pdf

Ensinger. (u.å.). Plaster med goda mekaniska egenskaper. Hämtad 2020-05-29 från https://www.ensingerplastics.com/sv-se/halvfabrikat/materialvat-plast/mekaniska-egenskaper

Gnosjöregion. (u.å.). Kantpressning. Hämtad 2020-04-22 från https://www.gnosjoregion.se/bockning/kantpressning

Gnosjöregion. (u.å.). Metallformsprutning. Hämtad 2020-04-22 från https://www.gnosjoregion.se/formsprutning/metallformsprutning

Gnosjöregion. (u.å.). Vattenskärning. Hämtad 2020-04-22 från https://www.gnosjoregion.se/skarning/vattenskarning

Greelane. (2019). Förklaring och Exempel på fysikaliska egenskaper. Hämtad 2020-05-29 från https://www.greelane.com/sv/science-tech-math/vetenskap/physical-properties-of-matter-608343/

Hobbex. (u.å.). Frågor och svar om drönare. Hämtad 2020-01-20 från https://www.hobbex.se/sv/artiklar/alla-produkter/multirotor/vanliga-fragor-om-dronare/index.html

Jones, F. E. (1978). *The Air Density Equation and the Transfer of the Mass Unit.* [Elektronisk resurs] (1. uppl.). Hämtad från https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/83/jresv83n5p419_a1b.pdf

Maxemow, S. (2009). *That´s a Drag: The Effects of Drag Forces.* [Elektronisk resurs] (1. uppl.). Hämtad från https://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1014&context=ujmm

NASA. (2015). Shape Effects on Drag. Hämtad 2020-05-21 från https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/shaped.html

Nordisk Bioplastförening. (2018). Biomaterial från Stora Enso ersätter oljebaserad plast. Hämtad 2020-04-28 från https://www.nordiskbioplastforening.se/biomaterial-fran-stora-enso-ersatter-oljebaserad-plast/

Omecon. (2019). Vad betyder FEM?. Hämtad 2020-02-19 från https://www.omecon.se/2019/08/23/vad-ar-fem/

Plastbearbetning. (u.å.). Polyeten (PE). Hämtad 2020-04-10 från https://www.plastbearbetning.se/polyeten/

Plastmästarn. (u.å.) Polytetrafluoreten, Teflon. Hämtad 2020-04-09 från https://www.plastmastarn.se/materialguide/lista-ver-material/polytetrafluoreten-teflon/

Plastmästarn. (u.å.) Polyeten, PEHD, PEHD 500, PEHD 1000. Hämtad 2020-04-09 från https://www.plastmastarn.se/materialguide/lista-ver-material/polyeten-pehd-pehd-500-pehd-1000/

Profillagret. (u.å.). Svampgummi är den ultimata tätningslisten!. Hämtad 2020-04-07 från https://www.profillagret.se/2-home

Rostfriskruv. (u.å.). Information om rostfritt stål. Hämtad 2020-04-07 från https://rostfriskruv.se/information/

Rubberstock. (u.å.) Svampgummi. Hämtad 2020-04-07 från https://www.rubberstock.se/cellgummi/svampgummi/

Sandvik Coronmant. (u.å.). Gängning med gängtapp. Hämtad 2020-05-21 från https://www.sandvik.coromant.com/sv-se/knowledge/threading/tapping/pages/default.aspx

Sawakinome. (u.å.). Skillnad mellan isotrop och anisotropisk. Hämtad 2020-05-10 från https://sv.sawakinome.com/articles/science/difference-between-isotropic-and-anisotropic.html

Simscale. (u.å.). What is FEA | Finite Element Analysis?. Hämtad 2020-05-10 från https://www.simscale.com/docs/content/simwiki/fea/whatisfea.html

Sjöfartsverket. (2020). Sjö- och flygräddning. Hämtad 2020-04-24 från https://www.sjofartsverket.se/sv/Sjofart/Sjo--och-flygraddning/

Sjöfartsverket. (2003). Sjö- och Flygräddningen i Sverige [PowerPoint-presentation]. Hämtad 2020-04-24 från https://web.archive.org/web/20150924102330/http://www.sjofartsverket.se/pages/588/Sj%C3%B6r%C3%A4ddning091104.pdf

Sjöfartsverket. (2020). VHF-radio. Hämtad 2020-06-09 från https://www.sjofartsverket.se/Batliv/VHF-radio/

Sjöräddningssällskapet. (2010). Så fungerar sjöräddningen i Sverige. Hämtad 2020-05-30 från https://www.sjoraddning.se/sa-fungerar-sjoraddningen-i-sverige

Sjöräddningssällskapet. (u.å.). Frivilliga sjöräddare sedan 1907. Hämtad 2020-01-20 från https://www.sjoraddning.se/om-oss

SMHI. (2016). Vindhastighet. Hämtad 2020-05-21 från https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/vindhastighet-1.255

SMHI. (2019). Svenska vindrekord. Hämtad 2020-03-06 från https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/svenska-vindrekord-1.31798

Stockholmregionens avfallsråd (2007). Återvinning. Hämtad 2020-06-01 från http://www.atervinningscentralen.se/web/page.aspx?refid=180

Svensk Kompositförening. (2012). Om komposit. Hämtad 2020-04-28 från http://www.svenskkompositforening.se/index.php?page=om-oss

Svenskt Aluminium. (u.å.). Om Aluminium. Hämtad 2020-04-22 från https://www.svensktaluminium.se/om-aluminium/

SYF. (u.å.). Anodisering/Eloxering. Hämtad 2020-04-22 från http://www.syf.se/anodisering_eloxering.html

Transportstyrelsen. (2019). Regler för drönare. Hämtad 2020-04-22 från https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/Luftfartyg-och-luftvardighet/dronare/regler-for-dronare/

Water Jet Sweden. (u.å.). Lär dig mer om vattenskärning. Hämtad 2020-05-10 från https://www.waterjetsweden.com/sv/om-vattenskarning

Bilder

Där ingen källa angivits tillhör rättigheterna författarna.

Figur 3.
Snapwire. (2016) [bild]. Hämtad från https://www.pexels.com/sv-se/foto/dronare-flygande-himmel-kamera-109003/.

Figur 4.
Holger.Ellgaard. (2016) Sjöräddningssällskapets flagga [bild] Hämtad från https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/01/SSRS_flagga%2C_2016.jpg. CC

Figur 9.
Wikipedia (2010) Elmer-pump-heatequation.png [bild] Hämtad från https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elmer-pump-heatequation.png. CC BY-SA 3.0

Figur 12.
LalouBLue (2014) [bild] Hämtad från https://pixabay.com/sv/photos/arkitektur-järn-stål-byggnad-414035/. Pixabay License

Figur 13.
Piqsels (u.å.) [bild] Hämtad från https://www.piqsels.com/sv/public-domain-photo-fltss. CC0

Figur 34.
Janee (2015) Rescue Victoria1.JPG [bild] Hämtad från https://sv.m.wikipedia.org/wiki/Fil:Rescue_Victoria1.JPG. CC BY-SA 3.0

Bilagor

Bilaga 1

Chalmers		Dokumenttyp:	Kravspecifikation				
		Projekt:	Examensarbete - Infästning				
Utfärdare:			*Skapad:* 2020-03-03				
			Modifierad: 2020-03-03				
	Kriterier		*Målvärde*	*K/Ö*	*Vikt 1-5*	*Verifieringsmetod*	Kommentarer
	Funktioner						
		Förhindra relativ rörelse		K		Test	Mellan underlag, fäste och rotationsplatta
		Utseende som främjar donationer		Ö	4	Marknadsundersökning	
1.	**Prestanda**						
	1.1	Tåla momentlast	Klara av momentlasten som uppstår vid en vindhastighet av 30m/s	K		FEM-analys Hållfasthetsberäkningar	Med säkerhetsfaktor 1.5
	1.2	Vattentålig	Motstå korrision	K		Materialdata	Tåla saltvatten
	1.3	Tåla trycklast	Avfyrningstornets egenvikt	K		FEM-analys	
	1.4	Rotation	Tillåta rotation mellan pylon och rotationsmekanism	K		Test	
	1.5	Motså solljus	Inte blekna	Ö	1	Materialdata	
2.	**Miljö**						
	2.1	Återvinningsbart	om möjligt för materialet	Ö	3	Materialdata	
3.	**Livslängd**						
	3.1	Livslängd	10 år <	K		FEM-analys	
	3.2	Slitagetålig	Motstå daglig nedtrampning	K		Materialdata	
4.	**Underhåll**						
	4.1	Utbytbar	≤ 2 pers	K		Test	
	4.2	Rengöring	1 pers ≤ 10 min	Ö	2	Test	
5.	**Produktion**						
	5.1	Lättillverkad	Möjlig mha nutida metoder	K		Undersökning av dagens produktion	
6.	**Tillverkningskostnad**						
	6.1	Rimligt pris	< 1000 kr/st	K		Marknadsundersökning	Jämför med prototyp
7.	**Massa**						
	7.1	Maxvikt	20 kg	Ö	2	Materialdata	
8.	**Estetik och ytfinish**						
	8.1	Intresseväckande design	Främja donationer	Ö	4	Marknadsundersökning	SSRS
	8.2	Förmedla SSRS:s värden	Samma färgtema	Ö	4	Marknadsundersökning	SSRS
9.	**Säkerhet**						
	9.1	Brandtålighet	Ej lättantändligt material	K		Materialdata	
	9.2	Ej orsaka personskador	Ej vassa kanter eller spetsiga komponenter	K		Test	
	9.3	Hälsosamt	Låga emissionsutsläpp	K		Materialdata	

Bilaga 2

Chalmers		Dokumenttyp:	Kravspecifikation				
		Projekt:	Examensarbete - Inklädnad				
Utfärdare:			*Skapad:* 2020-03-03				
			Modifierad: 2020-03-03				
	Kriterier		*Målvärde*	*K/Ö*	*Vikt 1-5*	*Verifieringsmetod*	Kommentarer
	Funktioner						
		Medge skydd	Skydda pylon och elektronik mot korrosion och väta	K		Materialdata	
		Utseende som främjar donationer		Ö	4	Marknadsundersökning	
1.	**Prestanda**						
	1.1	Tåla radiella laster	Klara av radiella laster som uppstår vid en vindhastighet av 30m/s	K		FEM-analys Hållfasthetsberäkningar	Säkerhetsfaktor 1.5
	1.2	Vattentålig	Motstå korrision	K		Materialdata	Tåla saltvatten
	1.3	Vattentät	Hålla ute vätska	K		Materialdata	
	1.4	Rotation	Tillåta rotation mellan pylon och rotationsmekanism	K		Test	
	1.5	Teleskopfunktion	Ej förhindra förlängning av avfyrningstorn	Ö	5	Test	
	1.6	Motså solljus	Inte blekna	Ö	2	Materialdata	
2.	**Miljö**						
	2.1	Återvinningsbart	om möjligt för materialet	Ö	3	Materialdata	
3.	**Livslängd**						
	3.1	Livslängd	10 år <	K		FEM-analys	
	3.2	Slitagetålig	Motstå dagligt slitage	K		Materialdata	
4.	**Underhåll**						
	4.1	Utbytbar	≤ 1 pers ≤ 1 timma	K		Test	
	4.2	Rengöring	1 pers ≤ 10 min	Ö	2	Test	
5.	**Produktion**						
	5.1	Lättillverkad	Möjlig med dagens industri	K		Undersökning av dagens produktion	
6.	**Tillverkningskostnad**						
	6.1	Rimligt pris	< 2000 kr/st	K		Marknadsundersökning	Jämför med prototyp
7.	**Massa**						
	7.1	Maxvikt	30 kg	Ö	3	Materialdata	
8.	**Estetik och ytfinish**						
	8.1	Intresseväckande design	Främja donationer	Ö	4	Marknadsundersökning	kunder
	8.2	Förmedla SSRS:s värden	Samma färgtema	Ö	4	Marknadsundersökning	kunder
9.	**Säkerhet**						
	9.1	Brandtålighet	Ej lättantändligt material	K		Materialdata	
	9.2	Ej orsaka personskador	Ej vassa kanter eller spetsiga komponenter	K		Test	
	9.3	Hälsosamt	Låga emissionsutsläpp	K		Materialdata	

Bilaga 3

Inklädnad

Form

Alla skyddar pylonen lika väl
Cirkulär tar upp minst vindlasten. Fyrkanten får en stor area som tar upp vinden medans triangeln blir ännu sämre enligt hemsidan (https://www.simscale.com/forum/t/wind-load-comparison-between-cfd-and-asce-7-for-rooftop-shapes/82243)
Fyrkantig följer pylonens form och förenklar montering. Cirkeln kräver en fyrkantig profil på insidan men alla radiella vinklar följer pylonens vinklar. Triangeln får udda monteringsvinklar och därmed mer arbete vid produktion.
Skaderisken är högre med en fyrkantig eller triangulär form, då dessa har spetsigare kanter.

	Dellösningar		
Kriterier	Cirkulär (referens)	Fyrkantig	Triangulär
Skydd	0	0	0
Vindlast	0	-	-
Montering	0	+	-
Skaderisk	0	-	-
Summa	0	-1	-3
Rangordning	1	2	3

Bilaga 4

Inklädnad

Främja donationer

Logga gör bättre reklam för SSRS.
Det ser bättre ut med en logga.
Likvärdiga vid tillverkning av samma typ t.ex. klistermärke eller fräsning
Donatorn uppskattar nog mer att få en valfri text på tornet

	Dellösningar	
Kriterier	Logga	Text/motto/Infoskylt
Reklam	0	-
Estetik	0	-
Tillverkning	0	0
Uppskattning	0	+
Summa	0	-1
Randordning	1	2

Bilaga 5

Inklädnad

Tillåta teleskopfunktion

Böjligt/mjukt hölje gör att man kan skada pylonen
Böjligt/mjukt hölje kan ge en segel-effekt vid vind
Likvärdiga vid montering
Böjligt/mjukt hölje riskerar att fastna i rörliga delar på insidan.
Ett hölje med teleskopfunktion minimerar risken för allvarliga skador (dock kan du klämma dig beroende på utformningen).

	Dellösningar	
Kriterier	Teleskopsfunktion	Böjligt/mjukt
Skydd	0	-
Vindlast	0	-
Montering	0	0
Funktion	0	-
Skaderisk	0	-
Summa	0	-4
Rangordning	1	2

Bilaga 6

PNI

Inklädnad

Koncept	Positivt	Negativt	Intressant
Cirkulär	• Bättre vindfördelning • Förutsägbar vindfördelning • Mindre risk för allvarliga skador	• Kräver mer material • Kräver inre stöd	
Fyrkantig	• Kräver mindre stöd • Kräver mindre material, kan ligga tätt intill pylonen	• Oförutsägbar vindfördelning • Belastas med högre vindlast • Större risk för allvarliga skador • Kan uppstå hög spänningskoncentration	
Logga	• Tydlig reklam för SSRS • Väcker uppmärksamhet	• Syns inte från alla håll	• Loggan skulle kunna kombineras med text/motto/ info.skylt
Text/motto /info,skylt	• Lättare att visa uppskattning till donatorer • Förbipasserande stannar och läser (info.skylt) • Syns bättre pga av dess placering i midjehöjd	• Syns inte från alla håll	• Kan kombineras med logga

Slutsats

- Cirkulär har en lägre vindlast som är samma oavsett tornets rotation.
- Logga och text går att kombinera på inklädnaden.

Summa summarum:

- Ett cirkulärt markfäste med logotypen på, samt någon form av text.
- Cirkulär inklädnad med teleskopsfunktion, samt logga och text på något sätt.

Bilaga 7

PNI

Markfäste

Dellösning	Positivt	Negativt	Intressant
Rund	• Lika avstånd från centrum till skruv • Tar mindre plats än en kvadrat	• Mindre area, ökar tryck och minskar hävarm • Skruv riskerar att hamna mellan brädor	• Plattan följer loggans form. • Passar till en rund inklädnad
Fyrkant	• Större tryckfördelning • Längre hävarm	• Större area, tar alltså mer plats	• Passar till fyrkantig inklädnad
Triangel	• Minskar antal skruvdelar • Mindre material	• Inte kompatibel med logga	
Havsinspo	• Drar till sig uppmärksamhet	• Svårt att massproducera • Mycket material	• Förmedlar en känsla av konst
Logga	• Tydlig reklam för SSRS • Estetisk tilltalande		• Loggan skulle kunna kombineras med text/motto/ info.skylt
Text/motto/ info.skylt	• Lättare att visa uppskattning till donatorer • Förbipasserande stannar och läser (info.skylt)	• Förbipasserande kanske missar den pga av dess låga placering	• Kan kombineras med logga

Slutsats

- Vi strävar efter att plattan ska ha samma form som inklädnaden
- Havsinspirerat är inte ett alternativ då det är för svårt och dyrt att tillverka. Kommer vara mycket krävande och kräva mycket material.
- De tre resterande formerna går alla att använda sig av om man bara justerar dimensionerna. Därmed går vi först efter vad vi finner är mest estetiskt tilltalande.
- Logga och någon form av text går att kombinera.

Bilaga 8

För montering av inklädnad krävs följande **försänkta** skruvar:

52 st. M5x8 - Vinkelbeslag

8 st. M5x25 - Nedre höljen

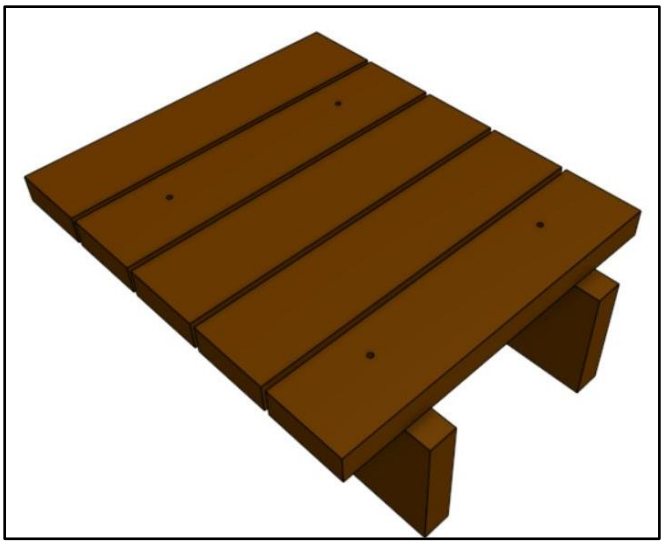
48 st. M3x8 - Glidlister

4 st. M5x35 - Kragarna

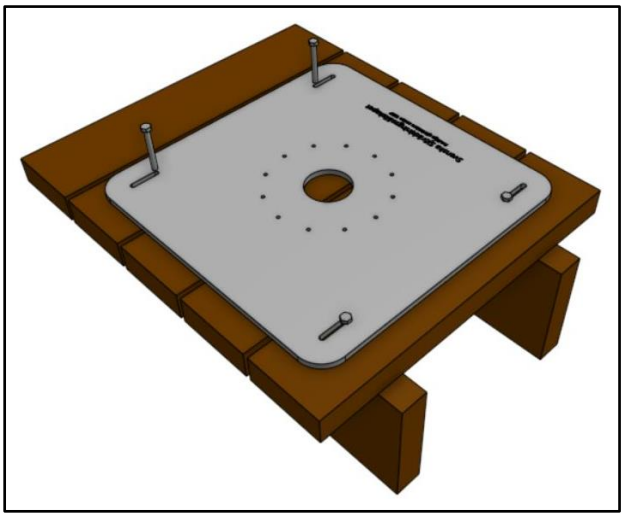
8 st. M5x40 - Övre höljen

Montering av infästning i brygga och inklädnad sker enligt följande steg:

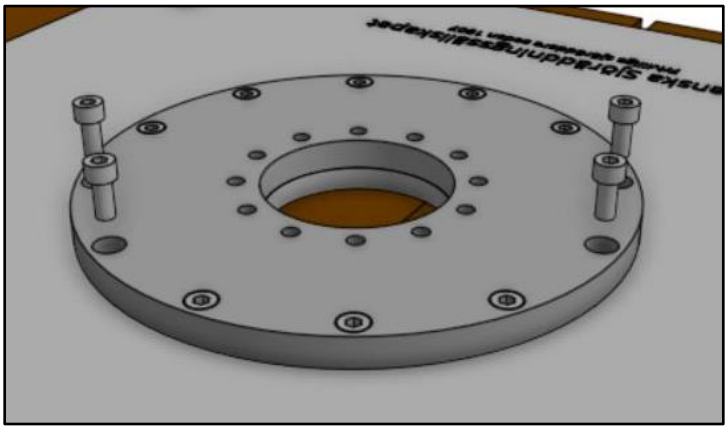
1. Förborra 4 stycken 7 mm hål i bryggan så att de går in i balkarna.



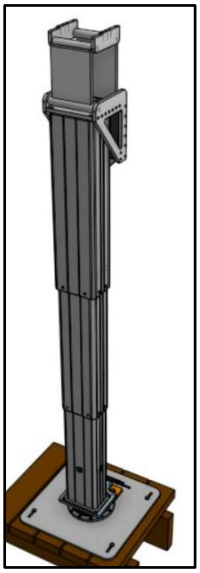
2. Skruva fast bottenplattan i de förborrade hålen med 4 stycken M10 franska träskruvar. Skruvens längd anpassas efter bryggan.



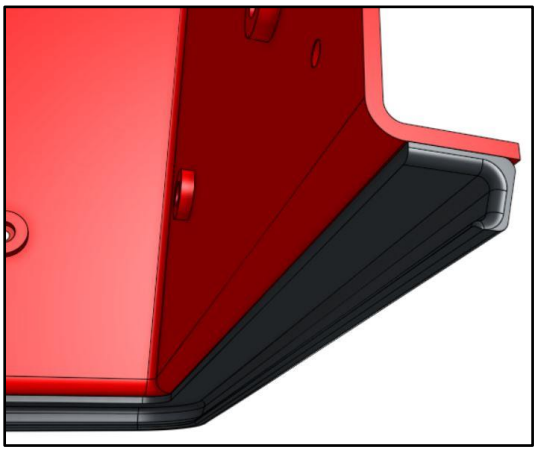
3. Skruva fast den nedersta rotationsplattan i bottenplattan med 12 stycken M8x18 insexskruvar.



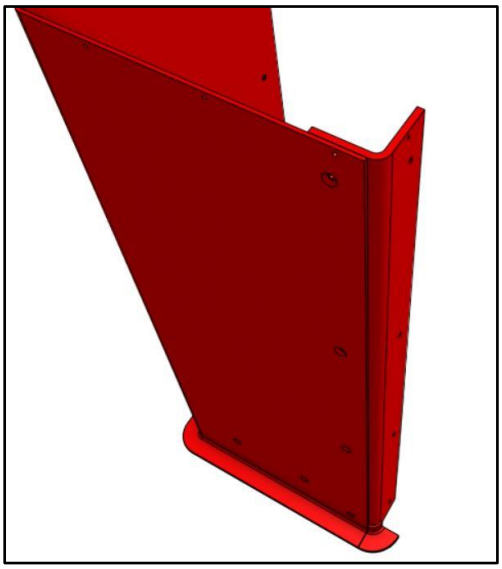
4. Montera resten av pylonen på rotationsplattan.



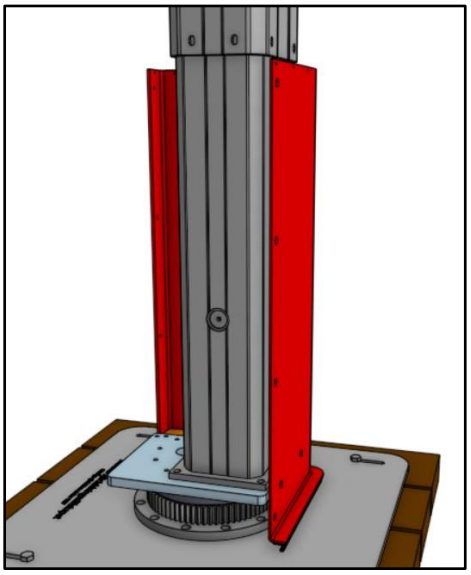
5. Limma fast tätningslisten på underkanten av det nedersta höljet.



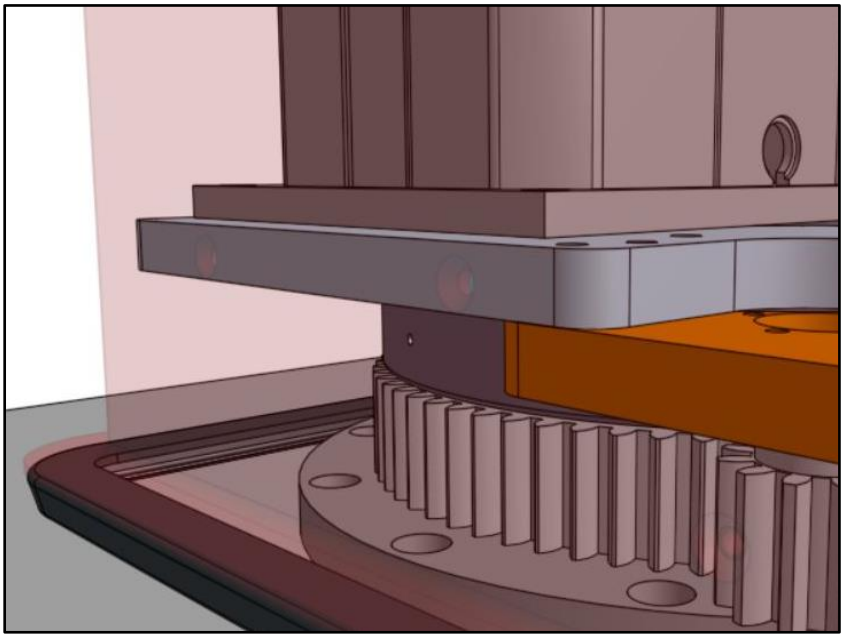
6. Skruva fast vinkelbeslaget i höljet med M5x8 skruvar.



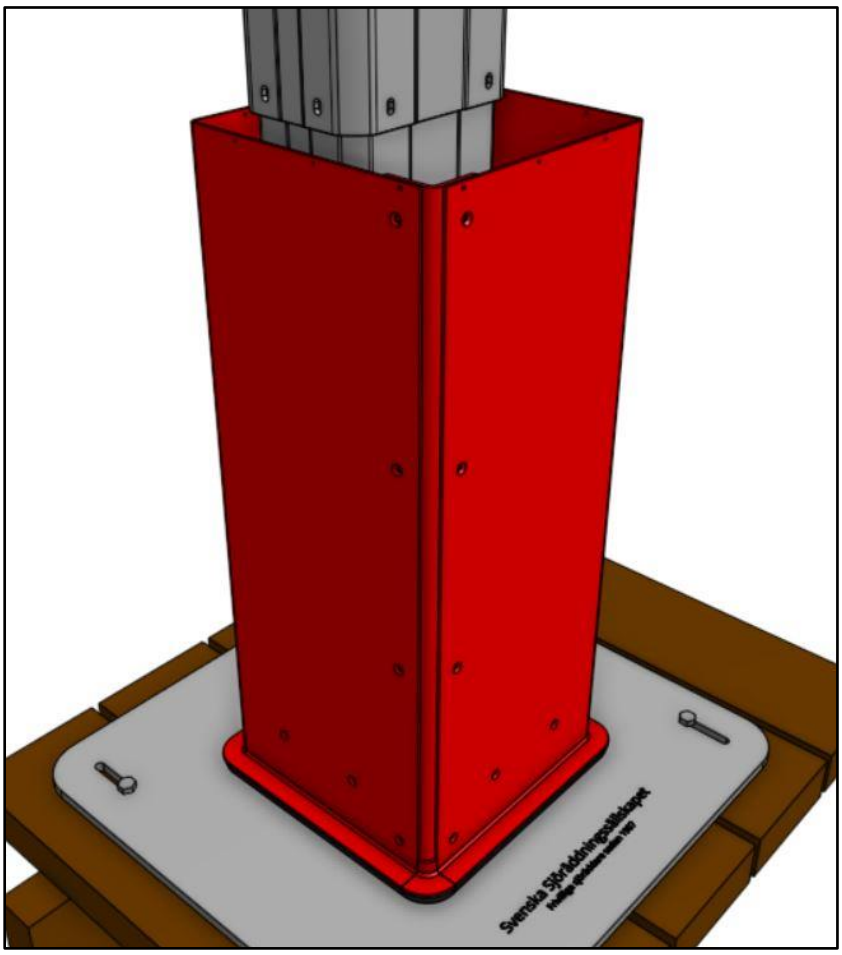
7. Skruva fast det nedersta höljet i pylonen genom att skruva fast höljet i den blåa basplattan med M5x25 skruvar.



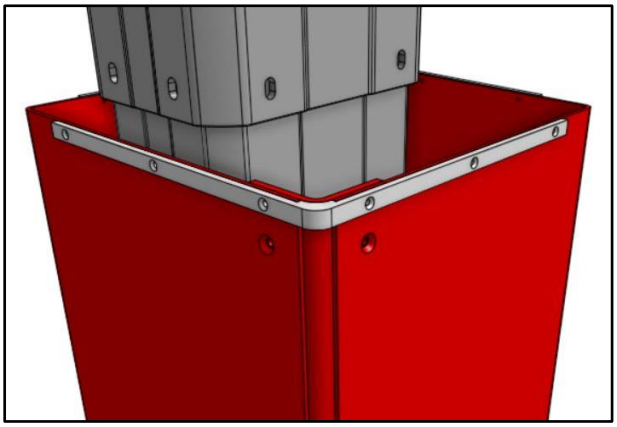
Notera att skruvhålen på ena sidan av höljet befinner sig närmare höljets hörn och därmed kan det bara vara monterat på ett sätt.



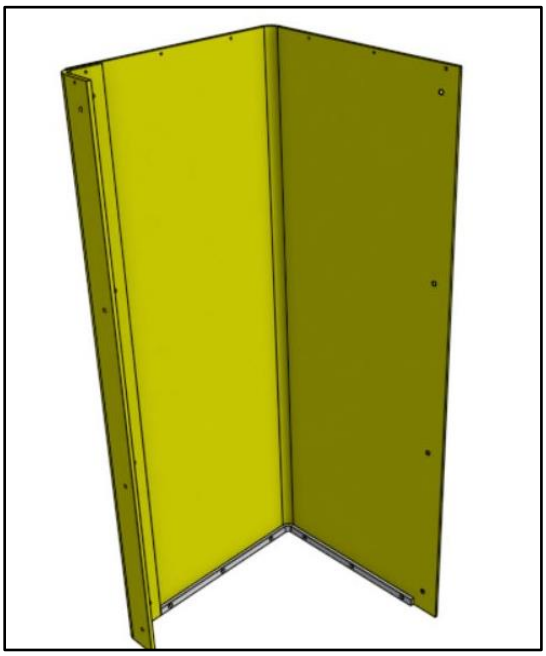
8. Upprepa steg 5–7 för den andra halvan och skruva ihop halvorna i vinkelbeslagen.



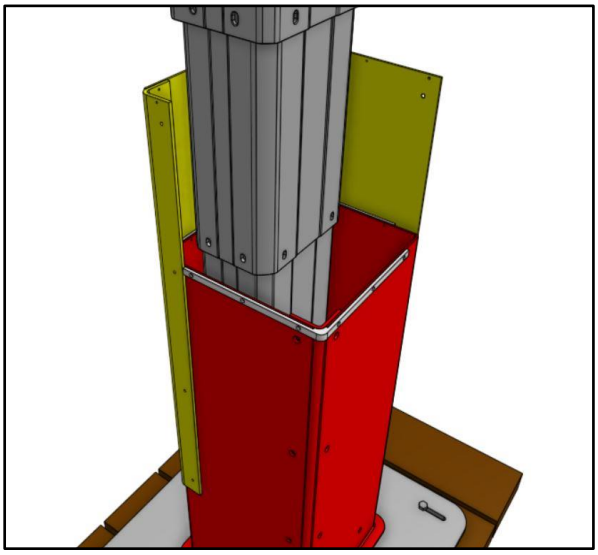
9. Skruva fast glidlister i höljet med M3x8 skruvar.



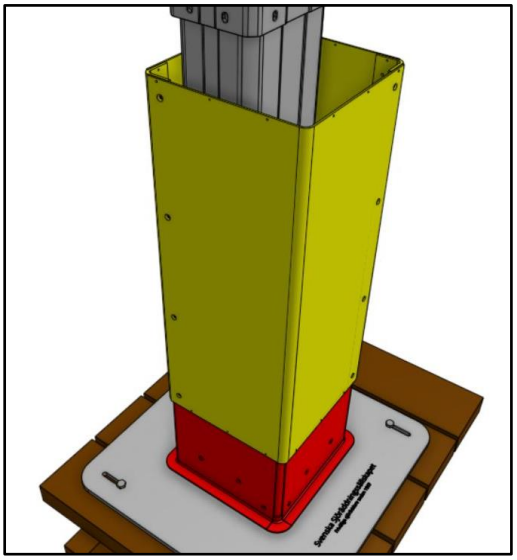
10. Skruva fast den inre glidlisten och vinkelbeslaget i det mellersta höljet innan montering.



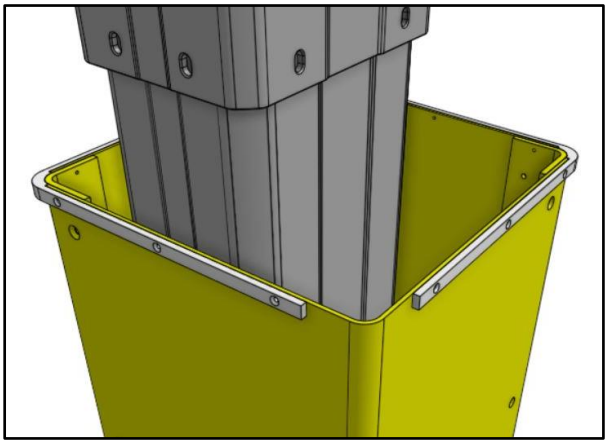
11. Placera det mellersta höljet så att det överlappar det nedre höljet som visat.



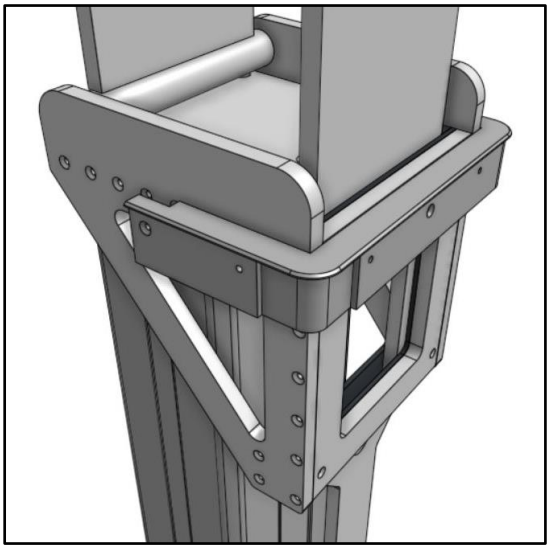
12. Upprepa steg 10 och 11 för den andra halvan och placera den på samma sätt. Skruva ihop halvorna i vinkelbeslagen.



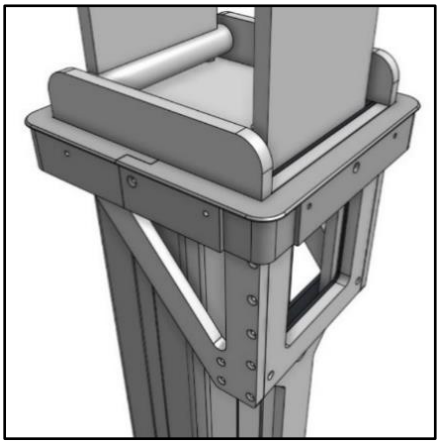
13. Skruva fast de yttre glidlisterna.



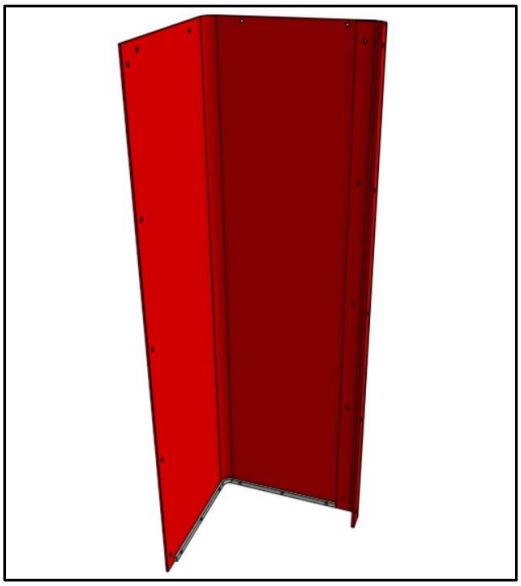
14. Skruva fast ena halvan av kragen i pylonen med M5x35 skruvar.



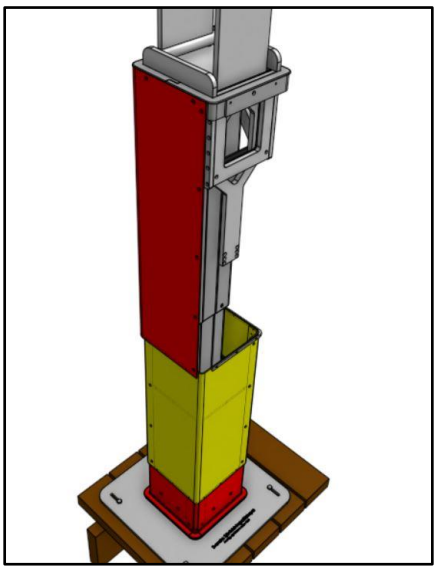
15. Skruva fast den andra halvan av kragen i pylonen.



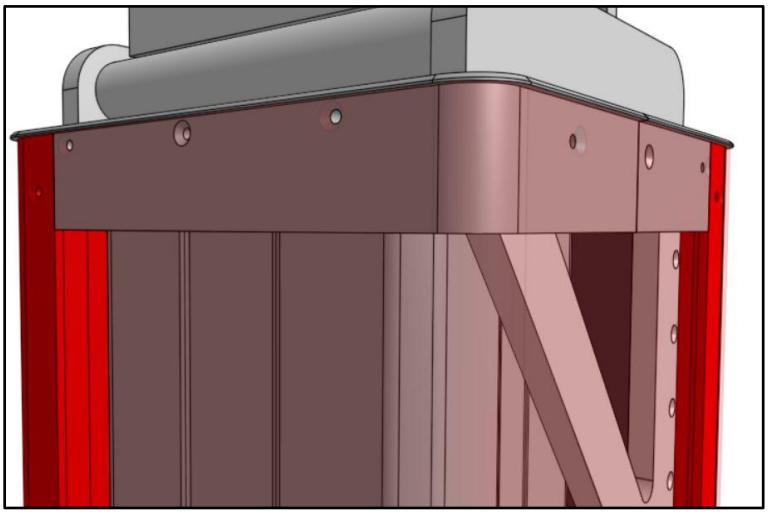
16. Skruva fast den inre glidlisten och vinkelbeslaget i det översta höljet innan montering.



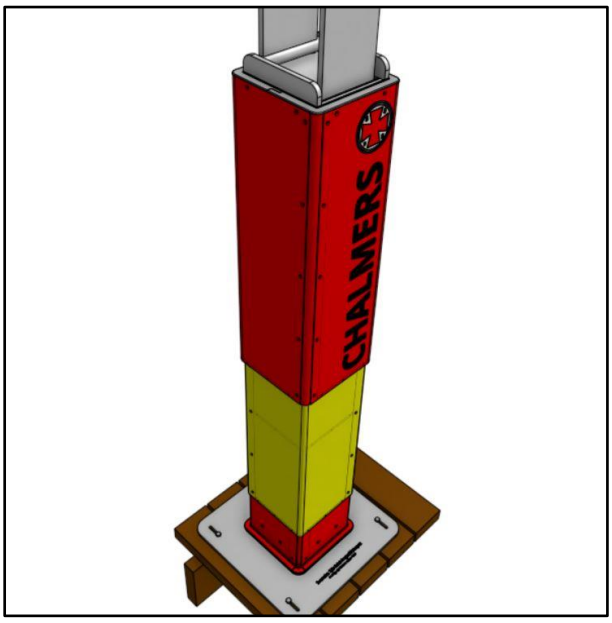
17. Skruva fast det övre höljet i kragen med M5x40 skruvar. Låt det övre höljet överlappa det mellersta höljet.



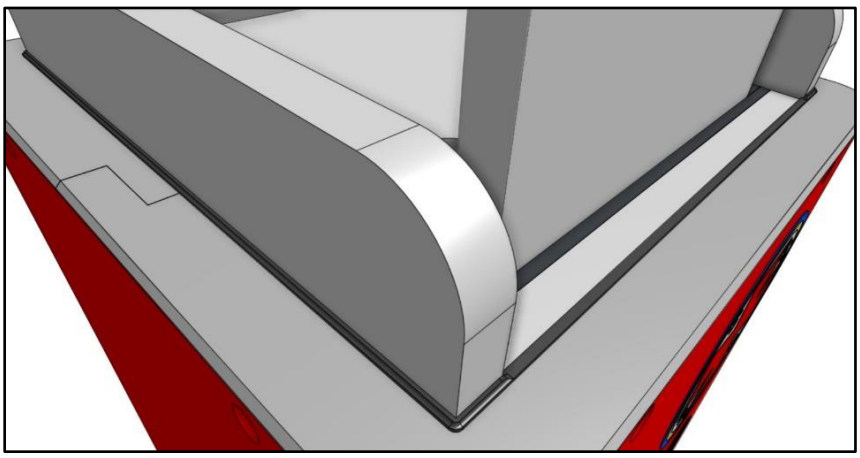
Notera att på en sida är hålen placerade högre än på de andra och därmed kan höljet bara monteras på ett sätt.



18. Upprepa steg 16 och 17 för den andra halvan och skruva ihop halvorna i vinkelbeslagen.



19. Försegla glappet mellan kragen och pylonen med svart marintätning.



INSTUTITIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2020
www.chalmers.se