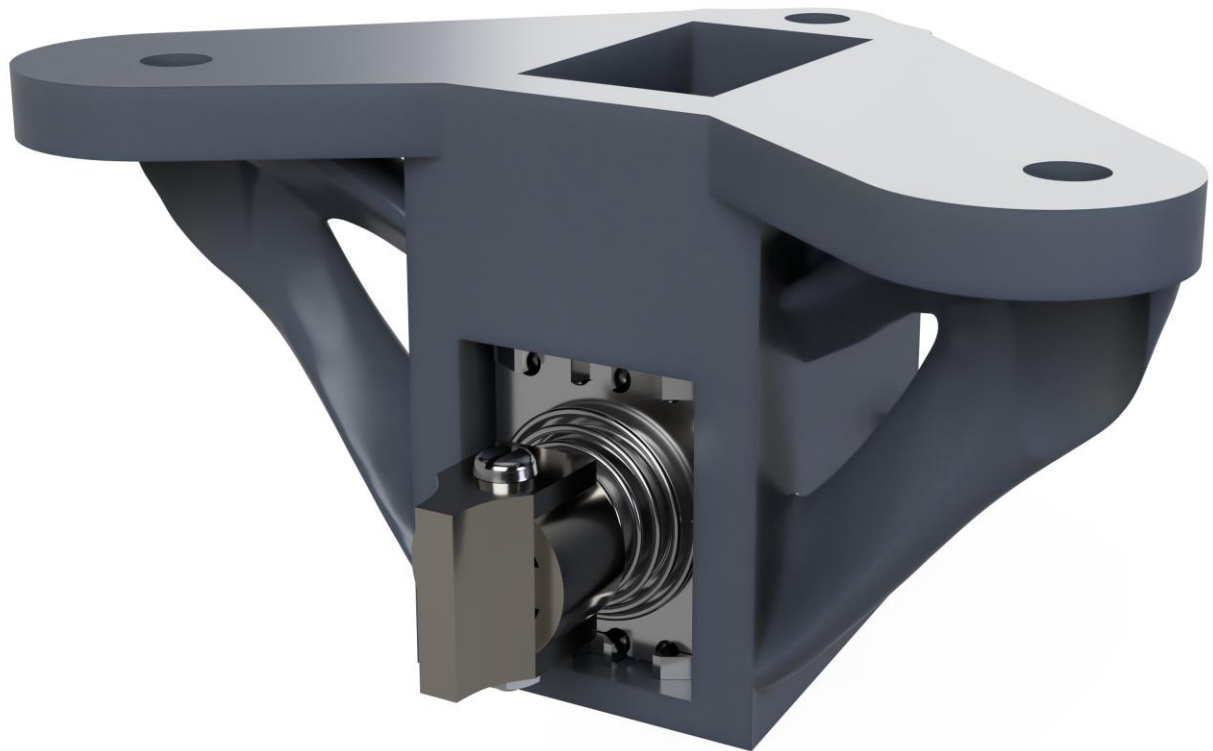




CHALMERS



Detaljkonstruktion av låsmekanism

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

KENNY LEANDERSSON
FILIP TIKKANEN

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

Detaljkonstruktion av låsmekanism

© Kenny Leandersson, 2021

© Filip Tikkanen

Handledare på Chalmers: Christer Persson

Examinator: Christer Persson

Institutionen för industri- och materialvetenskap

Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

Den ideella organisationen Svenska Sjöräddningssällskapet (SSRS) arbetar med räddningsuppdrag på havet och sjöar. Organisationen utvecklar idag en drönare och en tillhörande avfyrningsplattform. Utvecklingen sker i dagens läge på prototypnivå. Visionen är att i framtiden kunna placera ut avfyrningsplattformar med tillhörande drönare längs Sveriges kuster. Avfyrningsplattformen består dels av ett drönarhus som drönaren sitter monterad på, dels ett stativ som drönarhuset sitter på. Vid olyckor till havs ska drönaren avfyra från avfyrningsplattformen och ta sig till olycksplatsen. Sjöräddarna får då direktströmmad video på olycksfallet via drönaren och kan vara mer förberedda när de anländer till olycksplatsen.

Stativet som drönarhuset sitter på kan rotera kring sin egen axel med hjälp av en elmotor. Utöver att rotera för att avfyra drönaren mot vindens riktning, roterar den automatiskt för att skydda drönaren mot direkt solljus samt för att motverka vindens påfrestningar på plattformen. Problemet med detta är att när elmotorn har roterat stativet till en ny position, finns det inget som håller stativet på plats. Avfyrningsplattformen kan därför rotera fritt, vilket leder till att elmotorn måste säkerställa att positionen inte ändras. Detta laddar på sikt ur avfyrningsplattformens batteri. Av denna anledning utvecklades en låsmekanism som säkerställer att avfyrningsplattformen hålls på plats när önskad position är uppnådd. Uppdraget utförs med ett samarbete mellan SSRS och konsultföretaget Infotiv som försåg teknisk stöttning och projektledning.

Arbetet avgränsades till området längst ner på drönarstativet. I detta område finns bland annat ett drev, som elmotorn utnyttjar för att rotera runt. Låsmekanismen låser fast avfyrningsplattformen genom att föra in en kil mellan två kuggar på bottendrevet. Rörelsen utförs av en så kallad bistabil solenoid, vilket är en elektronisk komponent som kan utföra linjär axiell rörelse genom att förflytta en axel. Axeln kan befinna sig i utfällt eller infällt läge. I utfällt läge är avfyrningsplattformen låst och i infällt läge är den upplåst. Solenoiden behöver endast ström för att byta läge. Solenoiden skyddas mot vatten genom en inkapsling tillverkat i ett ABS-liknande material. Inkapslingen är utformad för att klara av de krafter som låsmekanismen utsätts för och fästs i en platta ovanför det drev som låsmekanismen appliceras på. Resultatet av arbetet är en fungerande produkt som kan användas på Sjöräddningssällskapets avfyrningsplattform-prototyp.

Abstract

The non-profit organization Swedish Sea Rescue Society (SSRS) works with rescue missions at the sea. The organization is currently developing a drone launcher. At this current time, the development is in a prototype phase. In the future, the goal is to be able to place drone launchers along the coasts of Sweden. The drone launcher consists of a drone housing on which a drone is mounted and a column on which the drone housing is mounted. When an accident occurs at sea, a drone will be fired from the drone launcher and fly to the area where the accident occurs. Sea rescuers will receive live footage from the drone and will be able to be more prepared when they arrive at the accident.

The column on which the drone housing is mounted can rotate about its own axis using an electric motor. In addition to rotate and fire the drone against the direction of the wind, it rotates automatically to protect the drone from direct sunlight and to counteract the stresses of the wind on the drone launcher. However, once the electric motor has rotated the drone launcher to a new position, there is nothing holding the stand in place. Because of this, the drone launcher can rotate freely, which means that the electric motor must ensure the position of the drone launcher. Eventually, the drone launcher's battery will drain. To solve this problem, a locking mechanism was developed which ensures that the drone launcher is locked in its position when it is not supposed to rotate. The project was done by a collaboration between SSRS and the consultant company Infotiv, where Infotiv provided technical support and project management.

The project was limited to the area at the bottom of the drone stand. One of the things in this area is a gear, which an electric motor uses to rotate the drone launcher. The locking mechanism locks the drone launcher by inserting a wedge between two teeth on this gear. The axial movement which inserts the wedge is performed by a so-called bistable solenoid, which is a component that can perform linear axial movement by moving a shaft. The shaft can be either in an extended or retracted position. In the extended position, the drone launcher is locked and in the retracted position it is unlocked. The solenoid only needs power to change the position of the shaft. An enclosure was made of an ABS-like material to protect the solenoid against water. The enclosure is designed to withstand the forces of which the locking mechanism is exposed to. It is attached to a plate above the gear which the locking mechanism is applied to. The result of the work is a working product which can be used on the Sea Rescue Society's drone launcher prototype.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Avgränsningar	2
1.4	Precisering av frågeställningar	3
2	Teoretisk referensram.....	4
2.1	Tidigare arbeten inom området	4
2.2	Maskinelement och övriga komponenter	5
2.3	Övriga arbeten	7
3	Metod	8
3.1	Definition av konstruktionens funktioner	8
3.2	Kravspecifikation	8
3.3	FMEA – Failure mode effect analysis.....	8
3.4	Konceptgenerering	9
3.5	Utvärdering av koncept	10
3.6	Vidareutveckling av koncept.....	10
4	Upprättande av kravspecifikation.....	11
4.1	Uppdragsgivares önskemål	11
4.2	Geometriska begränsningar.....	11
4.3	Beräkningar på vind, elmotorns vridmoment och kraft från människa.....	11
4.4	Funktionsanalys.....	14
4.5	Kravspecifikation	15
4.6	FMEA - Failure Mode and Effects Analysis.....	16
5	Framtagning av koncept	18
5.1	Brainstorming	18
5.2	Olika typer av konstruktioner som förhindrar rörelse	18
5.3	Morfologisk matris	19
5.4	Konceptkatalog.....	20
6	Konceptutvärdering	26
6.1	Elimineringsmatris	26
6.2	Pughs relativa beslutsmatris	27
6.3	Slutgiltigt val av koncept – B8	28
6.4	B8 – Det slutgiltiga konceptet.....	29
7	Vidareutveckling av koncept.....	30
7.1	Val av standardkomponent för linjär rörelse	30
7.2	Dimensionering av kil	36
7.3	Inkapsling	51
8	Slutkonstruktion	58
8.1	Låsmekanismen	58
8.2	Montering av låsmekanism	59
8.3	Tillverkningsmetoder och material	61
8.4	Kravuppfyllelse	61
9	Diskussion	63
9.1	Konceptgenerering	63
9.2	Konceptutvärdering	63
9.3	Vidareutveckling av koncept.....	63

10	Slutsats	64
10.1	Verifiering av frågeställningar	64
10.2	Rekommendationer till fortsatt arbete	64
	Referenser.....	66
11	Bilagor.....	67

1 Inledning

Kapitlet ger en inblick i projektet och dess omfattning.

1.1 Bakgrund

Svenska Sjöräddningssällskapet (SSRS) är en ideell organisation som arbetar med räddningsuppdrag på havet och sjöar. Organisationen finansieras av gåvor, medlemsavgifter samt donationer. SSRS består av över 100,000 medlemmar och 2200 volontärer som finns på 72 orter i Sverige. Organisationen har som krav att en volontär skall kunna befinna sig i en räddningsbåt inom 15 minuter efter larm (Sjöräddningssällskapet, 2021). Den korta tidsramen leder till att volontärerna ofta ger sig ut till havs utan att ha beredskap om anledningen till larmet.



Figur 1.1: Avfyringsplattformen.

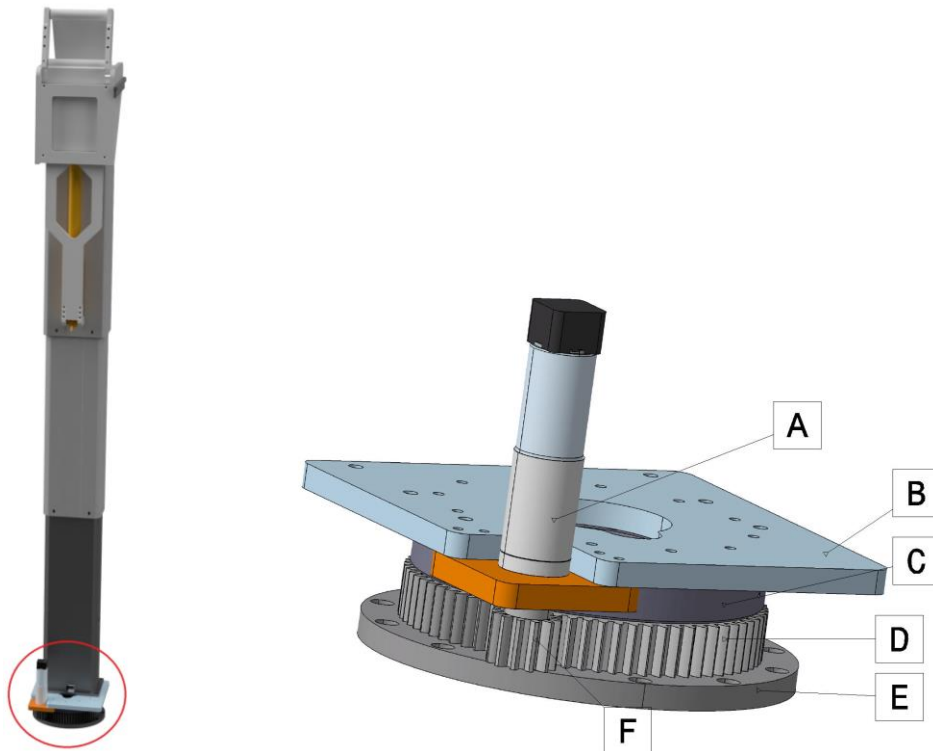
Organisationen har idag ett pågående projekt där en drönare och en tillhörande avfyringsplattform utvecklas. Projektet befinner sig för närvarande i en prototypfas. Avfyringsplattformen består av ett drönarhus och ett drönarstativ (se Figur 1.1) Drönaren, som är monterad på drönarhuset, ska vara placerad vid kusten och avfyras vid olyckor. Sjöräddare kommer då kunna få en bild av olyckan via drönaren, som är kamerautrustad. Därmed kan de vara mer förberedda när de kommer fram till olycksplatsen.

Avfyrningsplattformen har ett tillhörande teleskopiskt stativ som förlängs då drönaren ska avfyras, stativet roterar då så att drönaren avfyras mot vindens riktning. När drönaren inte används roterar stativet med syfte att skydda drönaren från direkt solljus samt för att motverka vindens påfrestningar på plattformen. Stativets rotation drivs av en elmotor som befinner sig i botten av stativet. Elmotorn har i dagens läge ingen funktion som gör att stativet låser sig i sitt läge efter att den roterat. Därav måste avfyrningsplattformens position justeras av elmotorn kontinuerligt vid exempelvis starka vindar som påverkar stativets läge. Detta laddar ur stativets batteri och leder till att plattformen inte kan rotera. För att motverka problemet krävs en låsmekanism. Uppdraget utförs mot SSRS i samarbete med konsultföretaget Infotiv, där Infotiv förser med teknisk stöttning samt projektledning under uppdragets gång.

1.2 Syfte

Syftet med uppdraget är att utveckla en låsmekanism som låser avfyrningsplattformen efter att elmotorn har roterat plattformen till önskad position. Produkten utvecklas för att avlasta befintlig elmotor för att minimera onödig strömförbrukning samt undvika slitage på motor.

1.3 Avgränsningar



Figur 1.2: Området som projektet avgränsas till.

Drevet och elmotorn som ger upphov till rotationen befinner sig i botten av stativet och det är i detta utrymme som låsmekanismen ska appliceras (se Figur 1.2). De olika delarna som markerats med bokstäver är:

- A: Elmotor
- B: Topplatta
- C: Rullager
- D: Bottendrev
- E: Bottenplatta
- F: Elmotorns drev

Projektet innefattar alltså inte hela avfyrningsplattformen utan endast det utrymme som finns tillgängligt runt drevet. Drevets utformning samt elmotorns position och dess uppbyggnad är bestämda och kommer inte konstrueras om i projektet. Projektet tar inte hänsyn till integreringen av eventuella elektroniska komponenter, utan endast faktumet att de ska kunna integreras i avfyrningsplattformens system.

1.4 Precisering av frågeställningar

- Hur kan rotation hämmas hos stativet utan en kontinuerlig strömförsörjning?
- Hur ska komponenter klara av den fuktiga miljön?
- Hur ska konstruktionen utformas för att kunna integreras med befintliga funktioner och komponenter hos avfyrningsplattformen?
- Hur ska konstruktionen hålla för de yttre belastningar som avfyrningsplattformen kan utsättas för?

2 Teoretisk referensram

I den teoretiska referensramen redovisas tidigare arbeten inom området samt den teori som utnyttjas i projektet.

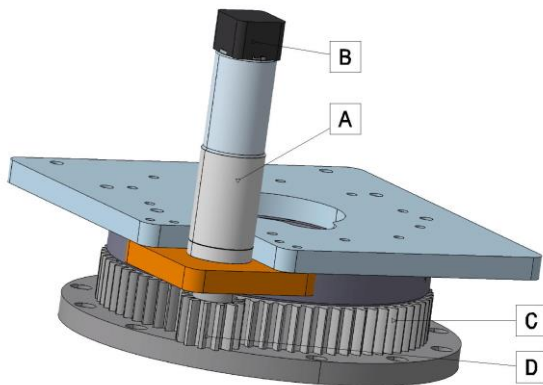
2.1 Tidigare arbeten inom området

Nedan beskrivs några av de tidigare arbeten på Sjöräddningssällskapets avfyrningsplattform som utförts.

2.1.1 Design and mechatronic integration of a drone launcher

Daniel Valero Beltrá (2018) genomförde ett projekt där en prototyp på drönarens avfyrningsplattform med flera sensorer och komponenter dimensionerades. Följande underkapitel beskriver de komponenter som Beltrá valt, som berör utformningen av låsmekanismen.

2.1.1.1 Drönarstativets rotationsmotor



Figur 2.1: CAD-modell på avfyrningsplattformens bottendel.

Elmotorn som idag driver drönarstativets rotationsrörelse har ett vridmoment på 0,177 Nm. Motorn är kopplad till en växellåda som ökar vridmomentet med en faktor 81.

De olika komponenterna som bidrar till motorns vridmoment illustreras i Figur 2.1 och är markerade med bokstäverna A-D:

A: Elmotor och växellåda

B: Encoder

C: Bottendrevet på drönarstativet.

D: Drev på elmotorn.

2.1.1.2 Avfyrningsplattformens batteri

Batteriet som idag sitter i avfyrningsplattformen har följande egenskaper:

Batterikapacitet: 10 Ah

Maximal spänning: 22.2 V

Maximal strömstyrka: 100 A

2.1.1.3 Drönarstativets drev

På avfyrningsplattformens bottendel sitter idag två drev. Ett större drev (M3x70-P) som är fast i bottenplattan och ett mindre drev (M3x12) som är fäst på elmotorn och kan rotera runt. Båda dessa består av materialet kolstål C45, vilket är ett maskinstål. Se Bilaga 1 för ritningar på dreven.

2.1.2 Infästning och inklädnad av avfyrningstorn till drönare

Sannerholm & Markovic (2020) utvecklade en kåpa och infästningsplatta som omsluter drönarstativet. Kåpan är utformad för att kunna förlängas i nivå med drönarstativet likt ett teleskop som består av tre delar. Plattan kan enligt utvecklarna fästas på bryggor, sandstränder och stenhäll. Hela produkten är utformad för att klara av vindhastigheter upp till 44,3 m/s och för att skydda elektroniken som finns på insidan mot väta.



Figur 2.2: Kåpan som omsluter stativet (egen rendering från SSRS CAD-modell).

Kåpan har ett kvadratisk tvärsnitt (Figur 2.2) där den innersta delen har längden 0,26 meter på vardera sida.

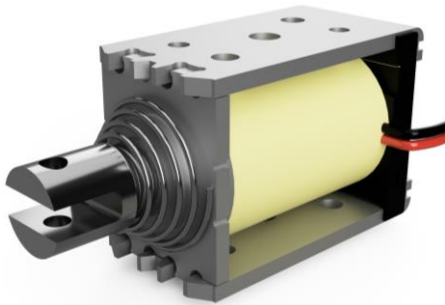
2.2 Maskinelement och övriga komponenter

Följande avsnitt ger en förklaring på maskinelement och komponenter som berörs i projektet.

2.2.1 Cylindrisk kuggväxel

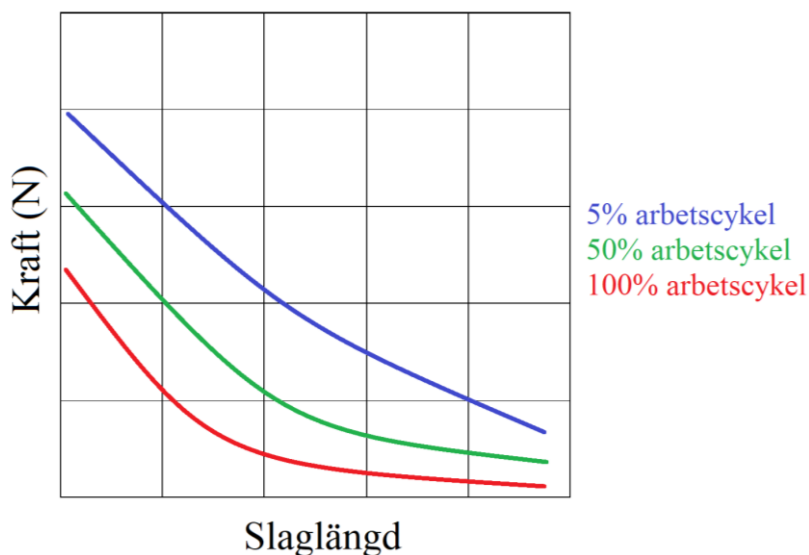
En kuggväxel är en växel mellan två eller flera kugghjul som kan ändra vinkelhastighet, vridmoment och riktning på det ursprungliga vridmomentet. Kugghjulens tänder går in i varandra vid rotation där ett kugghjul är drivande och därmed överför ett vridmoment. Kontaktpunkten på vardera kugghjul befinner sig i kugghjulens rullningsdiameter. Denna diameter varierar mellan olika kugghjul men lokaliseras mellan tändernas yttre och inre diameter. Utväxlingen från ett drivande kugghjul till ett annat kugghjul är den faktor som vridmomentet förändras med vid en momentöverföring. Denna faktor beror på kugghjulens rullningsdiameter (Mägi et al., 2018).

2.2.2 Linjära solenoider



Figur 2.3: En solenoid med retur fjäder. (egen rendering på CAD-modellen med tillåtelse av Johnson Electric)

Linjära solenoider består av en elektrisk spole, en axel som går genom spolen och ofta en retur fjäder (se Figur 2.3). När solenoiden strömförs så ger spolen upphov till ett magnetiskt fält som i sin tur förflyttar axeln. När spänningsmatningen upphäver så upphäver även det magnetiska fältet och fjädern trycker tillbaka axeln till sin utgångsposition. En solenoids utformning kan variera utefter olika applikationer (Johnson Electric, u.å.). Den linjära rörelsen nyttjas exempelvis i kylvätskesystem där solenoiden kan öppna eller stänga en ventil genom elektrisk styrning samt hos olika typer av dörrlås.



Figur 2.4: Exempel på typiskt förhållande mellan kraft slaglängd och arbetscykel. (egen bild)

Slaglängden, d.v.s. längden som axeln rör sig mellan två positioner, varierar stort mellan olika solenoider. Dragkraften hos solenoider påverkas beroende på hur långt ut axeln befinner sig. När axeln är längst ut, alltså vid sin maximala slaglängd, så är dragkraften som svagast. Solenoiders arbetscykel påverkar också dess maximala dragkraft. Enligt Johnson Electric, (u.d.) beräknas arbetscykeln genom formeln

$$\frac{\text{Strömförd tid}}{\text{Strömförd} + \text{inte strömförd tid}} = \text{arbetscykel (\%)} \quad (1)$$

Ju lägre arbetscykel, desto större strömstyrka kan tillföras i solenoiden utan att överhettas. Med större strömstyrka blir solenoidens effekt högre och därmed dess drag/tryckkraft. Utöver strömstyrkan, varierar solenoiders drag/tryckkraft dessutom på dess slaglängd (se Figur 2.4 ovan).

2.3 Övriga arbeten

Följande avsnitt presenterar övriga arbeten som utnyttjats i projektet.

2.3.1 Vindlast

Maxemow (2009) utförde ett projekt där de dragningskrafter som uppstår hos föremål i rörelse undersöktes matematiskt. Enligt problemformuleringen siktade projektet på att uppfylla följande mål:

- “Definiera vad dragningskrafter är”
- “Härleda standard dragningsekvationen”
- “Nyttja dragningsekvationen för att lösa ett exempel som involverade en dragracingbil som skall bromsas in med bromsskärm”

I projektet nås ett resultat där en fullständig ekvation presenteras. Enligt Maxemow (2009) beräknas dragningskraften enligt

$$F_D = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * C_D * A \quad (2)$$

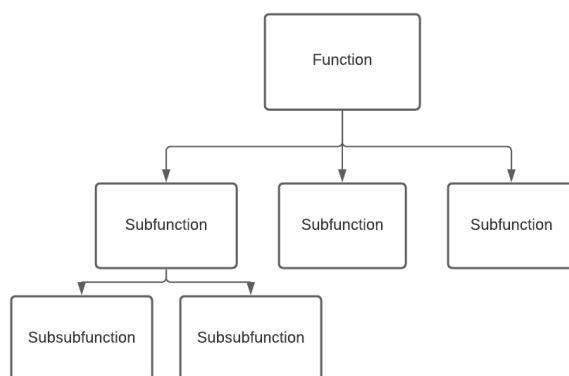
Där

- ρ = Fluidens densitet
- v = Hastigheten
- C_D = Dragkoefficienten
- A = Arean som påverkas av rörelsen

3 Metod

Arbetsgången som används i projektet är en systematisk metod för att ta fram en konstruktion utifrån givna önskemål hos uppdragsgivaren. Denna metodik delas in i två faser. Den första fasen är konceptfasen. I denna fas är syftet att formulera vad som är problemet och upprätta en kravspecifikation för att sedan generera koncept. Konzepten utvärderas sedan genom att stegvis eliminera sämre koncept. I slutändan av konceptfasen återstår endast ett koncept. Den andra fasen är en utvecklingsfas. Det återstående konceptet från föregående fas utvecklas genom prototyper, beräkningar och materialval så att det stämmer överens med kravspecifikationen.

3.1 Definition av konstruktionens funktioner



Figur 3.1: Exempel på funktionsträd.

Baserat på given uppdragsbeskrivning och önskemål från SSRS görs en definition av funktionerna som konstruktionen måste ha. Detta görs genom att skapa ett så kallat funktionsträd (se Figur 3.1). I detta träd definieras en huvudfunktion som delas upp i flera delfunktioner. Syftet med detta är utnyttja delfunktionerna för att definiera krav samt söka efter lösningar på varje enskild delfunktion.

3.2 Kravspecifikation

En kravspecifikation tas fram för att definiera produktens krav gällande funktion, storlek och utformning. Kravspecifikationen utformas utifrån uppdragsbeskrivningen med tillhörande krav och blir ett underlag för att utvärdera olika koncept och den slutgiltiga produkten. Kravspecifikationen består av krav som måste uppfyllas samt önskemål. Kraven och önskemålen sammanställs i en tabell (Johannesson et al., 2004)

3.3 FMEA – Failure mode effect analysis

FMEA är enligt Johannesson et al. (2004) en riskanalys vars syfte är att i ett tidigt stadiet förutspå potentiella fel med konstruktionen och på så sätt förebygga konsekvenserna av felen. De olika felen analyseras i en tabell. Det som analyseras för varje fel är:

- Vad är konsekvenserna av felet?
- Vilka påverkas av konsekvenserna?
- Förbyggande åtgärder.
- Vilka bär ansvaret för felet?

För att veta hur allvarliga riskerna är ges de en siffra mellan 1–10 med avseende på tre olika kriterier. Följande är de övre och under gränser som utgått ifrån vid tilldelning av siffra i projektet:

- Sannolikhet, där 1 motsvarar att sannolikheten att felet inträffar är 1 på 1 500 000 och 10 motsvarar att sannolikheten är 1 på 2.
- Allvarlighetsgrad, där 1 motsvarar minimal risk för olycka eller påverkan på konstruktionen och 10 motsvarar exempelvis stor sannolikhet för personskada.
- Upptäcktssannolikhet, där 1 motsvarar att felet upptäcks innan konstruktionen påverkas och 10 motsvarar att felet inte kan upptäckas.

Produkten av de tre kriterierna ger talet RPN (Risk Priority Number). Det största möjliga talet är 1000 och det minsta är 1. Beroende på hur stort detta tal är för vardera fel så avgörs det om felet måste förebyggas eller inte.

3.4 Konceptgenerering

Vid generering av koncept tas så många koncept fram som möjligt för att inte utesluta några lösningar. Både systematiska och kreativa metoder används. Med en systematisk metod menas en metod som genererar koncept genom att noggrant analysera idéns funktioner och undersöka lösningar på dessa. De kreativa metoderna går ut på att generera koncept genom att använda olika metoder för att utnyttja sina kreativa förmågor.

3.4.1 Brainstorming

Brainstorming är en kreativ metod för att ta fram koncept och idéer. Syftet med brainstorming är att fritt hitta lösningar till problemställningen utan att behöva ta hänsyn till krav och funktioner. De parter som deltar i brainstorming ska enskilt ta fram sina egna koncept för att ej påverkas av varandra i början. Efter att de som deltar i brainstormingen har presenterat sina koncept kan nya idéer uppstå, exempelvis genom att kombinera två eller flera koncept. I brainstorming är det acceptabelt att komma på ovanliga idéer, som är så annorlunda att de inte skulle gå att applicera i praktiken. Fokuset ska ligga på att generera så många koncept som möjligt, i stället för att diskutera de koncept som dyker upp. Med fler koncept ökar sannolikheten att det optimala konceptet tas fram (Johannesson et al., 2004).

3.4.2 Morfologisk matris

Tabell 1: Exempel på morfologisk matris.

Delfunktioner	Dellösningar			
Delfunktion 1	Dellösning 1	Dellösning 2		
Delfunktion 2	Dellösning 3			
Delfunktion 3	Dellösning 4	Dellösning 5	Dellösning 6	Dellösning 7

En morfologisk matris är en systematisk metod som används för att skapa helhetskoncept (Johannesson et al., 2004). Lösningar genereras genom att först ta fram flera lösningar till varje delfunktion som definierats i en funktionsanalys. När dellösningarna är framtagna samlas delfunktionerna och deras tillhörande dellösning i en tabell. Se Tabell 1 för exempel. Alla möjliga kombinationer av dellösningar ska tas fram. Kombinationsmöjligheterna kan bli stora, vilket resulterar i ett högt antal koncept. Det finns flera sätt att söka efter dellösningar, exempelvis patentsökning, konkurrenters lösningar, egen erfarenhet, intervjuer med kunniga inom området etcetera.

3.5 Utvärdering av koncept

Utvärdering av koncept görs genom att undersöka hur väl de olika koncepten uppfyller kraven samt önskemålen. Det första steget är att eliminera de koncept som inte uppfyller alla krav. Sedan jämförs de återstående koncepten med varandra med avseende på hur väl de uppfyller kraven. Om det i denna fas finns några koncept som uppfyller ett eller flera krav sämre än övriga koncept, elimineras dessa. Hela utvärderingsprocessen baseras på att hitta svagheter hos koncept relativt med andra och därefter eliminera dem. Johannesson et al. (2004) beskriver att denna metodik är fördelaktig då det är mycket enklare att hitta tydliga svagheter hos koncept jämfört med att finna den optimala lösningen direkt.

3.5.1 Elimineringssmatris

En elimineringsmatris är en matris som sällar bort koncept som bland annat inte löser huvudproblemet eller uppfyller alla krav. Det kan även finnas andra anledningar för att sälla bort i en elimineringsmatris, till exempel. för att det kräver att forskning görs (Johannesson et al., 2004).

Tabell 2: Exempel på elimineringsmatris.

	Krav 1	Krav 2	Krav 3	Krav 4	Beslut
Koncept 1	Ja	Ja	Ja	Ja	Behåll
Koncept 2	Ja	Nej			Förkasta
Koncept 3	Ja	Ja	Ja	Nej	Förkasta
Koncept 4	Ja	Ja	Ja	Ja	Behåll

Koncepten radas upp som i Tabell 2 ovan och fylls sedan i. I sista kolumnen beslutas det om konceptet tas vidare eller inte. Konceptet behålls endast om alla uppställda krav uppfylls.

3.5.2 Pughs relativa beslutsmatris

I Pughs relativa beslutsmatris jämförs koncepten som återstår från elimineringsmatrisen. Koncepten jämförs utifrån önskemålen i kravspecifikation samt det krav som det är en fördel om de överpresteras. Ett av koncepten sätts som referens. Övriga koncept bedöms huruvida de presterar bättre eller sämre än referens konceptet på varje önskemål. Det görs sedan en Pugh matris för varje koncept till dess att varje koncept har agerat referens. På detta vis har alla koncept jämförts med varandra och ett mer precist resultat kan sammanställas (Johannesson et al., 2004).

3.6 Vidareutveckling av koncept

I detta stadie utvecklas det slutgiltiga konceptet vidare till en fungerande slutkonstruktion med konceptbeskrivningen och kravspecifikationen som utgångspunkt. Utvecklingen sker genom undersökningar av nödvändig geometri, nödvändiga standardkomponenter och hållfasthetsberäkningar. Material och tillverkningsmetod väljs för de unika komponenterna och tillverkas därefter.

4 Upprättande av kravspecifikation

Genom diskussion med Fredrik Falkman på SSRS, egna undersökningar samt beräkningar togs en kravspecifikation fram.

4.1 Uppdragsgivares önskemål

Via diskussion med Fredrik Falkman uppkom 11 olika önskemål som berör låsmekanismen:

- Mekanismen ska vara robust
- Mekanismen ska få plats innanför kåpan på den nuvarande prototypen
- Kan utnyttja dreven
- I låst läge bör den vara obelastad d.v.s. inte strömsatt.
- Vattentät/tålig mot korrosion
- Möjlighet att sätta in en begränsare som gör att rotation inte blir mer än 360–720 grader, då detta tvinnar kablarna innanför skalet. Begränsaren får gärna vara mekanisk.
- Använd få elektroniska komponenter.
- Vid yttre belastning på avfyrningsplattformen som överskrider den belastning som uppkommer vid normalt bruk, bör låsmekanismen släppa
- Skapa möjlighet att ha sensorer som:
 - o Signalerar när låset aktiveras/aktiveras
 - o Signalerar om när ändläge nås
 - o Analyserar vilken vinkel som drönarstativet befinner sig i.

4.2 Geometriska begränsningar

Området som konstruktionen kan nyttja är till följd av kåpan samt flera komponenter begränsad. En analys på avfyrningsplattformens CAD-modell gjordes för att undersöka vilka dimensioner låsmekanismen måste förhålla sig till. Två ritningar skapades för att illustrera det begränsade området. Bilaga 1 visar området runt omkring de två dreven på bottendelen av drönarstativet och området ovanpå topplattan. Utöver det som illustreras i ritningen finns det även kablar på den fysiska modellen som begränsar området ytterligare.

4.3 Beräkningar på vind, elmotorns vridmoment och kraft från människa

Beräkningar gjordes med avseende på olika faktorer som har betydelse för de påfrestningar som konstruktionen ska hålla för. Syftet med följande beräkningar är att uppskatta de moment som kan uppkomma i stativet. Dessa beräkningar användes som grund för att specificera de krafter som låsmekanismen dimensionerades efter.

4.3.1 Elmotorns vridmoment på bottendrevet

Elmotorn och växellådan som beskrivs i teoretisk referensram i avsnitt 2.1.1 följande egenskaper:

- Elmotorns styrka: $M_{elmotor} = 0,177 \text{ Nm}$
- Växellådans utväxling: $i_{växellåda} = 81$

I avsnitt 2.1.3 beskrivs de två dreven. Bottendrevet har 70 tänder (N_2) och elmotorns drev består av 12 tänder (N_1). Deras Rullningsdiametrar är 210 mm (D_2) respektive 36 mm (D_1). Mägi et al. (2018) beskriver att utväxlingen (i) på en kuggväxel kan beräknas genom att dividera det utgående kugghulets rullningsradie med det drivande kugghulets radie.

$$i = \frac{r_2}{r_1} = \frac{d_2}{d_1} \quad (3)$$

I detta fall blir därför utväxlingen enligt ekvation (3)

$$i_{bottendrev} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{210}{36} = \frac{35}{6} \approx 5.83$$

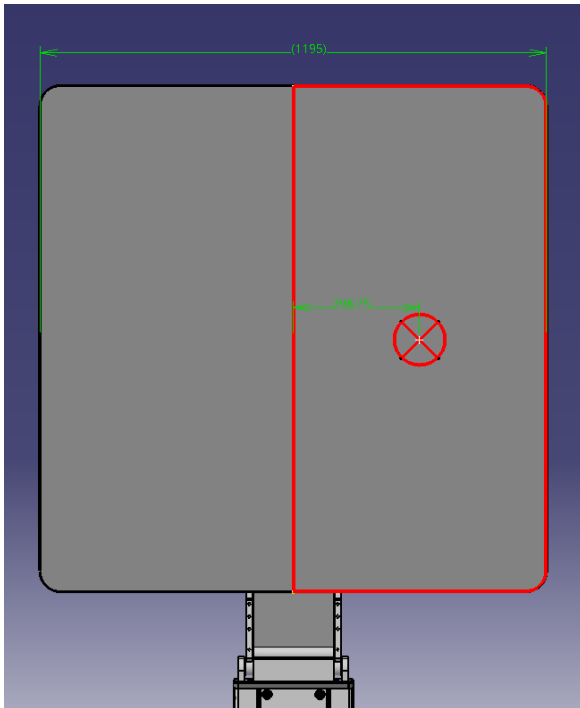
Vridmomentet som elmotorn ger upphov till på bottendrevet blir därmed

$$M_{elmotor} = i_{växellåda} \cdot i_{bottendrev} \cdot M_{elmotor} = 81 \cdot \frac{35}{6} \cdot 0,177 = 83.6325 \approx 83.63 \text{ Nm}$$

Elmotorn ger upphov till ett moment på 83,63 Nm på bottendrevet, och därav ansågs detta moment vara det som låsmekanismen minst måste hålla för.

4.3.2 Vindens påfrestningar på konstruktion

I kapitel 2.1.2 beskrivs en kåpa framtagen i tidigare arbete där beräkningar av vindlasten på hela avfyrningsplattformen utfördes (Sannerholm & Markovic, 2020). Beräkningarna som presenteras nedan är inte representativa av verkligheten. De utfördes med förenklingar och antaganden med syfte att ge en uppfattning av vad drönarhuset kan utsättas för i extrema situationer. Det antagande som gjorts för beräkningen är att vinden endast verkar på ena halvan utav drönarhuset, se Figur 4.1 nedan.



Figur 4.1: Illustration av vindlast under förenklade antaganden.

Maxemow (2009) beskriver att kraften som uppstår på grund av vinden kan beskrivas enligt ekvation (2)

$$F_D = \frac{1}{2} * \rho_{luft} * v_{luft}^2 * C_D * A$$

Där:

ρ_{luft} = Luftens densitet

v_{luft} = Luftens hastighet

C_d = Dragkoefficient

A = Arean som vinden verkar på, i detta fall halva drönerhuset

Värden på de storheter som presenteras nedan är de som nyttjades vid tidigare arbete enligt (Sannerholm & Markovic, 2020), med skillnad hos arean (A) som vindlasten verkar på. Arean togs fram från CAD-modell i Catia.

- $\rho_{luft} = 1,2 \text{ kg/m}^3$
- $v_{luft} = 30 \text{ m/s}$
- $C_d = 1.28$
- $A = 0,714 \text{ m}^2$

Ekvation (2) ger då

$$F_D = \frac{1}{2} * 1.2 * 30^2 * 1.28 * 0.714 = 493.52 \text{ N}$$

Då vindlasten enligt beräkningarna endast verkar på halva drönerhuset så verkar den uträknade kraften med ett avstånd på $\frac{1195}{4} \approx 300 \text{ mm}$ från drönerhusets mittpunkt. Momentet som uppstår i stativet är därmed

$$M_{vind} = F_D * 0.3 = 148.056 \text{ Nm} \quad (4)$$

4.3.3 Belastning från tryck av människa

Dessa beräkningar utförs med syfte att undersöka det vridmoment som konstruktionen utsätts för vid belastning från en individ.

En studie analyserades med syfte att ta fram ett värde på vilken kraft en individ kan ge upphov till genom att pressa med sin hand. Studien visade på att snittet av presskraften en man kan ge upphov till i stående position, med en hand, var ca. 123 N, med ett högsta värde på ca. 251 N. Motsvarande för kvinnor i stående position var på 85 N respektive 140 N (Das & Wang, 2004). Den högsta uppnådda kraften på 251 N är den som används för att få ett värde på vridmomentet som en individ kan ge upphov till. I det verkliga fallet så kommer inte en individ att vara begränsad av de omständigheter som studien krävde, utan de kan fritt nyttja hela kroppen för att påverka avfyrningsplattformen. Av denna anledning valdes värdet på 251 N trots att det är en avvikelse från genomsnittet i studien.

För att få ett värde på vridmomentet en individ kan ge upphov till på avfyrningsplattformen så antogs att kraften appliceras längst ut på drönerhusets sida. Enligt dimensionerna på drönerhuset fås här en hävarm på ca. 600 mm (b) och med kraften 251 N (F_{press}) kan momentet räknas ut enligt

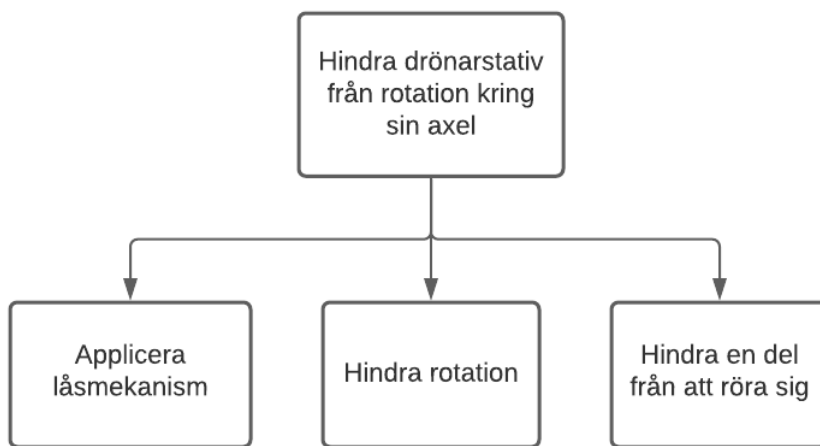
$$M_{person} = F_{press} * b \quad (5)$$

Momentet som uppstår blir enligt ekvation (5)

$$M_{person} = 251 * 0,6 = 150.6 Nm$$

Detta blev det högsta vridmoment som stativet utsätts för enligt beräkningarna. Därav användes detta värde i kravspecifikationen som ett värsta fall som det dimensionerande vridmomentet.

4.4 Funktionsanalys



Figur 4.2: Funktionsanalys av låsmekanismen.

Funktionsanalysen gjordes genom att först analysera vilken huvudfunktion låsmekanismen måste ha. För att inte utesluta potentiella lösningar på problemet formulerades huvudfunktionen på ett allmänt sätt. Huvudfunktionen analyserades sedan för att delas upp i flera delfunktioner. Funktionsanalysen dokumenteras i ett funktionsträd (se Figur 4.2).

Funktionerna är följande:

- Applicera låsmekanism: Syftar på den rörelse/funktion som applicerar låsmekanismen.
- Hindra rotation: Syftar på funktionen som säkerställer att stativ hålls fast.
- Hindra en del från att röra sig: Syftar på den del på stativet som låsmekanismen låser fast för att hämma rotation

4.5 Kravspecifikation

Tabell 3: Kravspecifikation för låsmekanismen.

Krav	Kriterier	Verifiering	Krav	Önskemål
K1	Lösningen ska hindra rotation hos stativet vid vindhastighet på 30 m/s	FEM och handberäkningar	x	
K2	Robust konstruktion, Ska inte haverera då drönarstativet belastas för ett vridmoment på 150,6 Nm	FEM och handberäkningar	x	
K3	Lösningen måste få plats innanför stativets yttre skal, se Bilaga 1	CAD och fysiska tester	x	
K4	Lösningen skall vara korrosionsresistent mot saltvatten	Granta	x	
K5	Elektroniska komponenter ska vara skyddade från vatten och fukt för att förhindra kortslutning	CAD och Granta	x	
K6	Vinkeln mellan de lägen som mekanismen kan låsa i skall vara <10 grader	CAD och prototyper	x	
Ö1	Mekanisk begränsning för rotation (kolonen skall ej kunna rotera mer än 1–2 varv)	CAD och prototyper		x
Ö2	Lösningen skall tillåta implementering av sensorer som talar om: -När låset är upplåst/låst -Stativets vinkelposition	CAD och prototyper		x
Ö3	Låsmekanismen bör vara konstruerad så att den låsande funktionen låser upp vid höga belastningar	Fysiska tester och handberäkningar		x
Ö4	Lösning ska ej vara strömbelagd när lås är aktiverat	Prototyper och tester		x

En kravspecifikation framställdes där de kriterier som framställt av SSRS vid uppdraget översattes och delades in i krav och önskemål. Utöver de kriterier som initialt satts på produkten så tillkom ytterligare krav och önskemål utifrån den problemundersökning som utfördes i projektet. Varje krav och önskemål har en tillhörande verifieringsmetod som anses lämpad för dem.

Då avfyringsplattformen främst är avsedd att placeras på bryggor vid havet så sattes krav på att konstruktionen ska vara korrosionsbeständig mot söt- och saltvatten samt att eventuella elektroniska komponenter måste vara väl isolerade för att undvika haveri som följd av kortslutning. Produkten har även ett krav gällande dimensionering då den skall placeras inom ett begränsat utrymme.

4.6 FMEA - Failure Mode and Effects Analysis

En FMEA gjordes för att analysera potentiella fel samt vilka åtgärder som krävs för att åtgärda dessa.

Tabell 4: FMEA - potentiella fel och konsekvenser.

Fel #	Potentiell fara	Vem bär risken?	Konsekvenser
1	Låsmekanism aktiveras/avaktiveras inte vid signal	SSRS	*Drönarstativet kommer kunna rotera fritt när det ska vara låst *Drönarstativet kommer att vara låst och därmed inte rotera när det ska
2	Fördröjning vid leverans av komponenter hos leverantör	SSRS	Låsmekanism kan inte levereras i tid
3	Vatten eller annan vätska kommer i kontakt med låsmekanismen	SSRS	*Komponenter på låsmekanismen korroderar *Elektriska komponenter på låsmekanismen kortsluts
4	Otillräcklig analys av nödvändiga funktioner hos låsmekanismen	SSRS	Låsmekanismen innehåller inte nödvändiga funktioner
5	Otillräcklig kunskap om sensorer	SSRS	Låsmekanismen är inte utformad på så sätt att sensorer kan implementeras

Genom att analysera potentiella fel som kan uppstå längs arbetets gång samt potentiella fel hos konstruktionen, togs fem möjliga fel fram, se Tabell 4 ovan. SSRS är riskbäraren hos samtliga framtagna fel.

Tabell 5: FMEA - RPN och förebyggande åtgärder.

Fel #	Sannolikhet	Allvarlighetsgrad	Upptäcktsannolikhet	RPN	Förebyggande åtgärder	Ansvarig
1	2	3	3	12	Noggrann dimensionering och analys av konstruktion. Stöd av handledare på Infotiv.	Kenny & Filip
2	3	3	1	6	Färdigställa och verifiera CAD-modeller enligt tidsplan	Kenny & Filip
3	2	7	2	28	*Konstruera låsmekanismen för att skyddas mot saltvatten.	* Kenny & Filip * Fredrik Falkman
4	2	4	1	8	*Informationssökning kring nödvändiga funktioner samt verifiering av dessa av Fredrik	Kenny & Filip
5	3	3	1	6	Regelbunden verifiering av konstruktion med SSRS och stöd från handledare på Infotiv	Kenny & Filip

De olika felen gavs ett RPN ("Risk Priority Number"), vilket är produkten av sannolikhet, allvarlighetsgrad samt upptäcktsannolikhet (se Tabell 5). Samtliga RPN är låga men alla fel tas ändå i åtanke genom förebyggande åtgärder. Fel #3 har dock högre RPN än resterande samt en hög allvarlighetsgrad. Av denna anledning bestämdes att extra fokus ska läggas på att skydda låsmekanismens elektriska delar mot vatten samt säkerhetsställa låsmekanismens delar tål kontakt med söt- och saltvatten.

5 Framtagning av koncept

För att undersöka möjliga lösningar på problemet används idégenereringsmetoder. Metoderna resulterar i flera koncept som presenteras i en konceptkatalog.

5.1 Brainstorming

Genom att utnyttja den framtagna funktionsanalysen (se Figur 4.2) och begränsningar att förhålla sig till i kravspecifikationen (se Tabell 3) så genomfördes en brainstorming där det individuellt skissades idéer. Brainstorming baserades på funktionsanalysens huvudfunktion. Idéerna presenterades sedan för varandra och utvecklades vidare genom att kombinera olika framtagna idéer. Ytterligare idéer har sedan framkommit som baserats på brainstormingen. En till brainstorming genomfördes baserat på delfunktioner i funktionsanalysen (se Figur 4.2). Målet var att individuellt försöka komma på så många lösningar på varje delfunktion som möjligt.

5.2 Olika typer av konstruktioner som förhindrar rörelse

En informationssökning genomfördes för att söka efter olika lösningar på konstruktioner som förhindrar rörelse. Informationen om de olika lösningarna som framkom implementerades i en den morfologiska matrisen. De konstruktioner som hittades presenteras nedan.

5.2.1 Mekaniska lås

Mekaniska lås hindrar rörelse genom att till exempel förankra eller kila fast en vanligtvis rörlig del. Vid undersökning hittades s.k. solenoid-lås, som tycktes vara relevanta. Dessa är konstruktioner som genom nyttjande av elektromagneter ger upphov till en linjär rörelse. De kan antingen vara utfällda eller infällda i obelastade lägen. ASSA Abloy (u.å.) använder sig utav solenoid-lås i vissa av deras låskonstruktioner för dörrar. Fördelen med solenoider är att de kan vara små i förhållande till sin styrka.

5.2.2 Bromsar
















Det finns flera olika typer av bromsar. Deras syfte är dock detsamma, vilket är att stoppa eller minska hastigheten på en rörelse. Bromsar använder friktion för att uppfylla denna funktion. Mägi et al. (2018) presenterar tre olika typer av friktion:

- Mekanisk friktion
- Fluidfriktion
- Elektrisk friktion

5.3 Morfologisk matris

Den morfologiska matrisen baseras på funktionsanalysen (se Figur 4.2), brainstormingen och undersökningen av olika konstruktioner som hindrar rörelse. De olika dellösningarna sammanställdes (se Tabell 6) och bildar totalt $3 \cdot 5 \cdot 4 = 60$ lösningar

Tabell 6: Morfologisk matris.

Dellösningar	1	2	3	4	5
Delfunktion					
Applicera låsmekanism (A)	Linjär rörelse  	Elektromagnet	Rotationsrörelse   		
Hindra rotation (B)	Mekanisk friktion 	Mekaniskt lås   	Elektrisk friktion 	Fluidfriktion	Permanentmagnet
Hindra en del från att röra sig (C)	Kuggarna på bottendrevet  	Kuggarna på elmotorns drev 	Bottenplattan  	Inre delen på bottendrevet	

En tidig eliminering av dellösningar gjordes där totalt fem dellösningar eliminerades:

- Elektromagnet: Inga möjliga kombinationer kunde hittas med elektromagnet som applikation av låsmekanism.
- Fluidfriktion: Det finns elektriska komponenter vid bottendrevet på drönarstativet. Kontakt med fluider vill därför undvikas. Det finns inte heller något realiserbart förslag på hur denna dellösning skulle kunna implementeras.
- Permanentmagnet: Inga möjliga kombinationer kunde hittas där en permanentmagnet förhindrar rotationen hos drönarstativet.
- Inre delen på bottendrevet: Vid diskussion med SSRS framkom det att applicering av en låsmekanism på detta utrymme bör undvikas då det måste finnas plats för kablar på detta utrymme.

Genom elimineringen återstod $2 \cdot 3 \cdot 3 = 18$ lösningar. Av dessa hittades 5 koncept:

A1-B1-C3

A1-B3-C1

A3-B2-C1

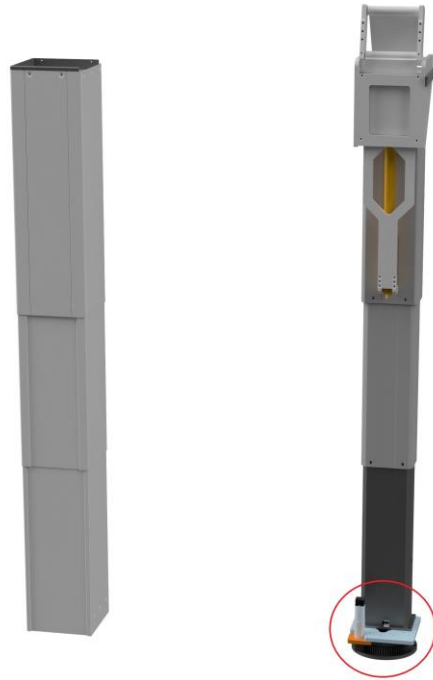
A3-B2-C2

A3-B2-C3

Resterande kombinationer existerade redan via brainstormingen eller gick inte att kombinera.

5.4 Konceptkatalog

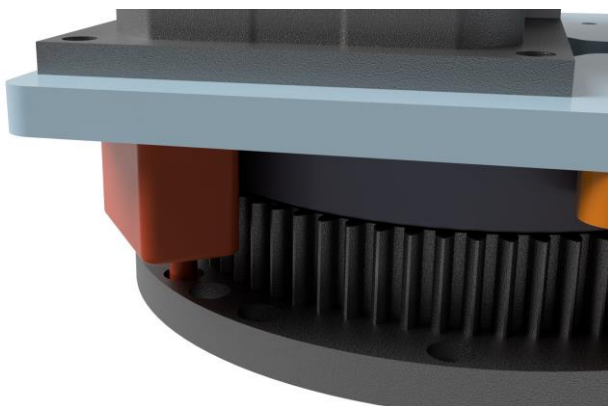
Nedan illustreras och förklaras de framtagna koncepten. De koncept som är framtagna genom brainstorming markeras med bokstaven "B" följt av en siffra och de koncept som är framtagna genom en morfologisk matris markeras med bokstaven "M" följt av en siffra.



Figur 5.1: Kåpan som omsluter drönarstativet och drönarstativet.

Samtliga koncept befinner sig enligt avgränsningen i området längst ner på drönarstativet, se den röda cirkeln i Figur 5.1

5.4.1 B1 - Förankring av axel i plattan under bottendrevet



Figur 5.2: Koncept som låser via en axel som förankras i hål på bottenplattan.

Konceptet hämmar rotation genom att en axel förankras i hål i bottenplattan. Låsmekanismen fästs i topplattan (se Figur 5.2). Konceptet kräver en justering av den befintliga bottenplattan i form av hål som borras ut längs med kanten på bottenplattan. Dessa hål ska utformas med en regelbundenhet på ett sätt så att vinkeln mellan hålen håller sig inom de tillåtna ramarna.

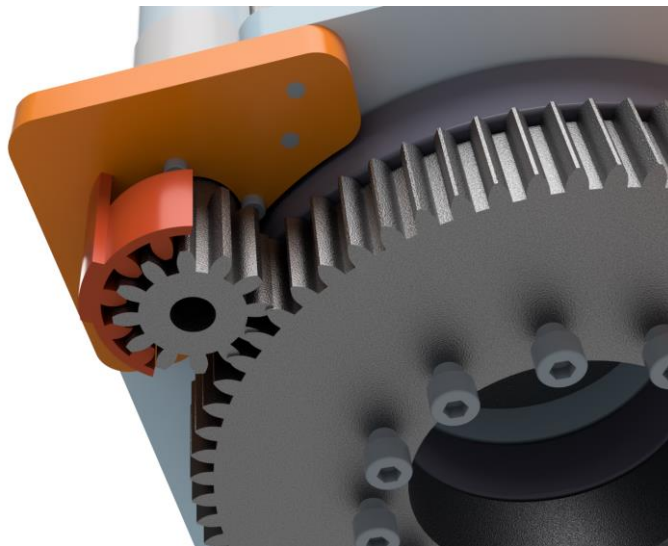
5.4.2 B2 - Invändigt kuggsegment som kilas fast mot bottendrevet



Figur 5.3: Koncept som låser via invändigt kuggsegment som kilas fast mot bottendrevet.

Konceptet baseras på ett kuggsegment som fasas in i utsidan av bottendrevet som visas i Figur 5.3. Låsning av rotation sker genom att kuggsegmentet med hjälp av en rörelse i radiell riktning relativt drevet fasas in i bottendrevet. Konceptets drivning är fjäderbelastat för att förhindra skador på bottendrevets kuggar när kuggsegmentet och bottendrevet inte är i fas.

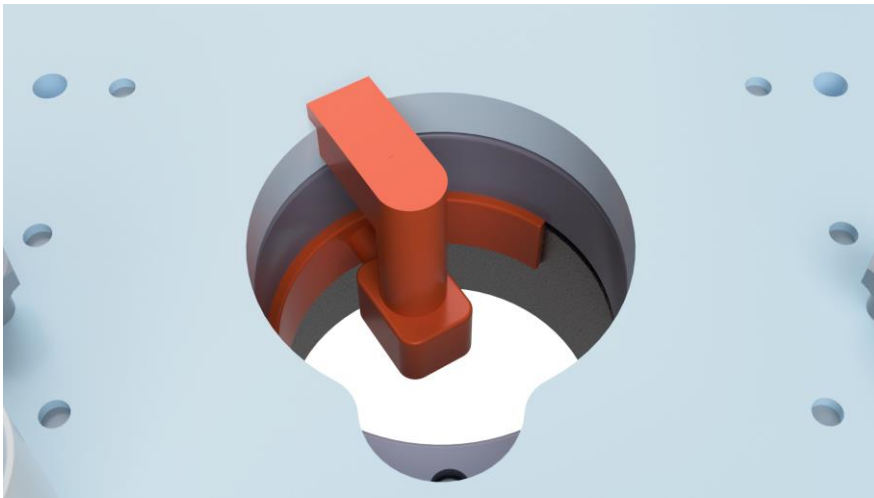
5.4.3 B3 - Invändigt kuggsegment som kilas fast mot elmotorns kuggjul



Figur 5.4: Koncept som låser via invändigt kuggsegment som kilas fast mot elmotorns drev.

Konceptet som helhet fungerar på samma sätt som föregående koncept (B2), med justering av dimensioner för att tillämpas på elmotorns drev i stället för bottendrevet. Exempel på konceptet visas i Figur 5.4.

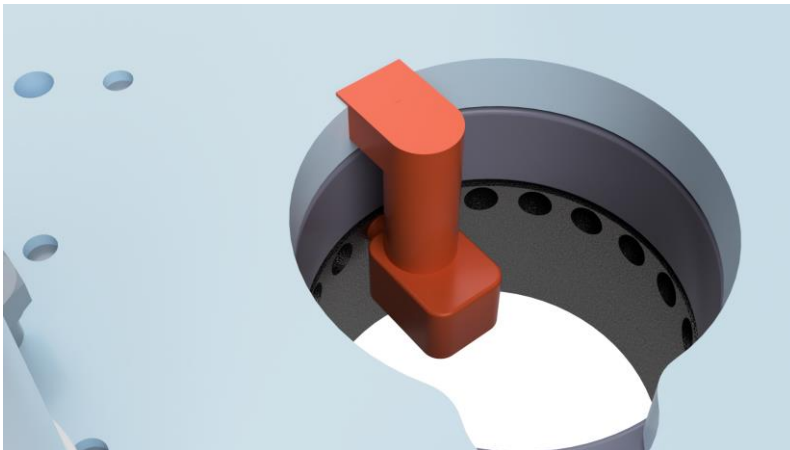
5.4.4 B4 – Broms mot bottendrevets insida



Figur 5.5: Koncept som låser genom en broms mot bottendrevets insida.

Konceptet fästs i topplattan och går nedåt längs med det cirkulära tomrummet på bottendrevets insida, se Figur 5.5. Tillämpning av låset uppnås genom att en cirkulär sektion pressas mot insidan av bottendrevet. Den cirkulära sektionen ger upphov till friktionskrafter som hindrar drönarstativet från att rotera. En stor fördel med detta koncept är att det kan applicera sin låsning i alla möjliga vinklar, vilket innebär en väldigt liten felfaktor mellan önskat och uppnått gradantal.

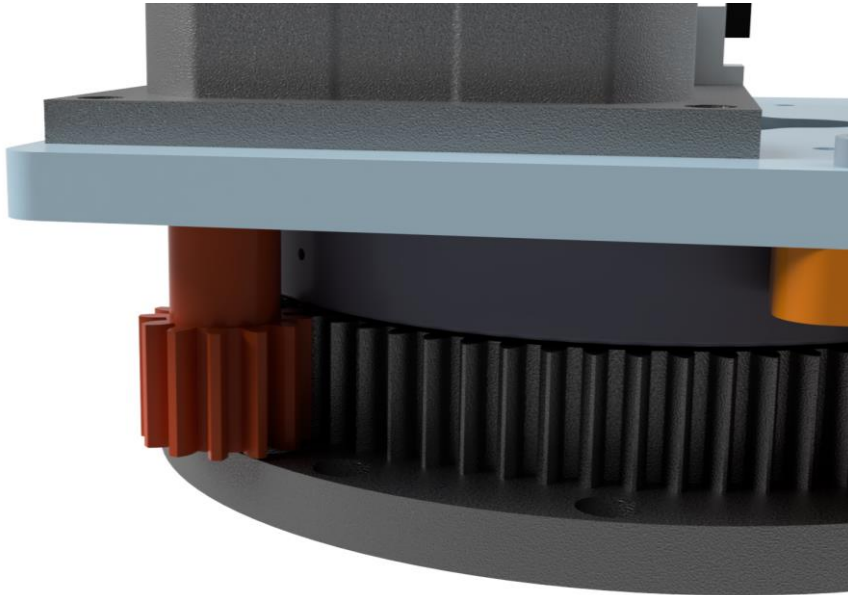
5.4.5 B5 – Förankring av axel i bottendrevets insida



Figur 5.6: Koncept som låser genom förankring av axel i bottendrevets insida.

Detta koncept placeras på samma ställe som föregående koncept (se Figur 5.5). Skillnaden mellan koncepten är att detta koncept uppnår sin låsfunktion genom en mindre axel som fasas in i utborrade hål på bottendrevets insida (se Figur 5.6). Konceptet kräver därmed att hål borrar ut i bottendrevet. Dessa hål måste utformas med en regelbundenhet som gör att vinkeln mellan hålen befinner sig inom de kravsatta gränserna.

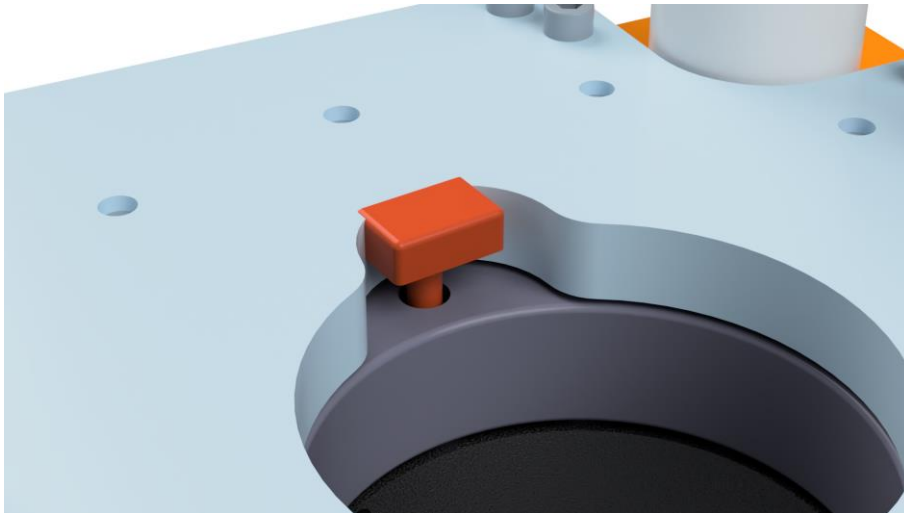
5.4.6 B6 – Extra kugghjul som låser mot bottendrevet



Figur 5.7: Koncept med extra kugghjul som kan låsas.

Figur 5.7 visar ett koncept som består av ett löpande kugghjul med en tillhörande axel. Axeln sträcker sig från kugghjulet och sedan upp i topplattan. Axeln har ett urfasat spår antingen på ovan – eller undersidan. Låsningen appliceras genom att en elektrisk komponent kilar in sin axel inuti spåret på kugghjulets axel och därmed låser kugghjulet från att rotera.

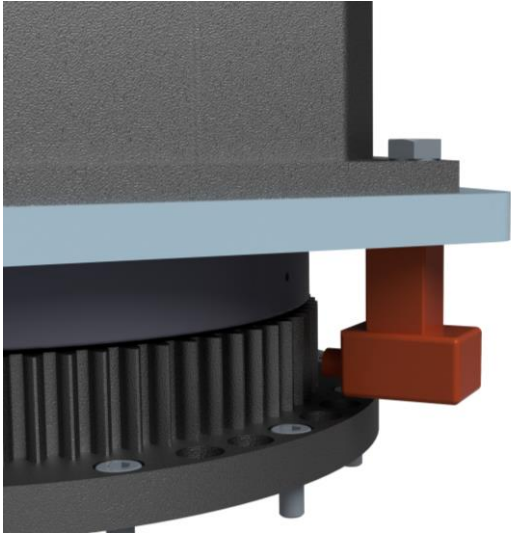
5.4.7 B7 – Låsning mot urfasningar i rullager



Figur 5.8: Koncept som låser via urfasningar i rullager.

Detta koncept nyttjar de urfasningar som finns på rullagrets ovansida. Topplattan har en avvikelse i den cirkulära geometrin i mitten som ger åtkomst till lagrets ovansida. Konceptet består en axel som kan föras in i de befintliga urfasningarna på ovansidan av lagret. Den komponent som ger upphov till rörelse av axeln fästs i topplattan. Figur 5.8 visar en övergripelig bild av konceptet.

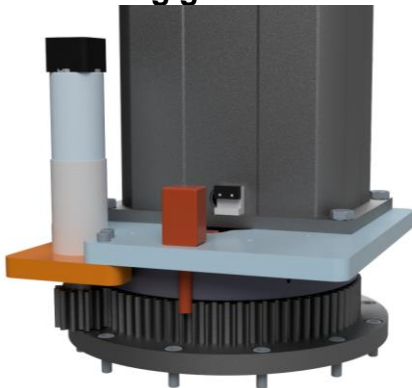
5.4.8 B8 - Låsning genom infasad axel i bottendrev



Figur 5.9: Koncept som låser med axiell rörelse in i drevet.

Konceptet aktiverar låsningen genom en komponent som pressar ut en axel mot drevet. Axeln är i toppen formad för att passa in mellan bottendrevets kuggar. Koncepten fästs i topplattan. Figur 5.9 visar exempel på konceptets placering och utseende.

5.4.9 B9 - Låsning genom infasad axel i bottendrev



Figur 5.10: Koncept som låser med axiell rörelse längs med kuggspår i bottendrevet.

Det koncept som presenteras i Figur 5.10 uppfyller låsfunktionen genom en linjär rörelse som fasar in en axel i kuggarna på drevet, likt föregående koncept. Det som skiljer koncepten åt är att i detta koncept fasas axeln ned längs kuggarna samt fästs ovanpå topplattan i stället för under.

5.4.10 M1 – Inbromsning i bottenplattan

- Kombination från morfologisk matris (se Tabell 6): A1-B1-C3.

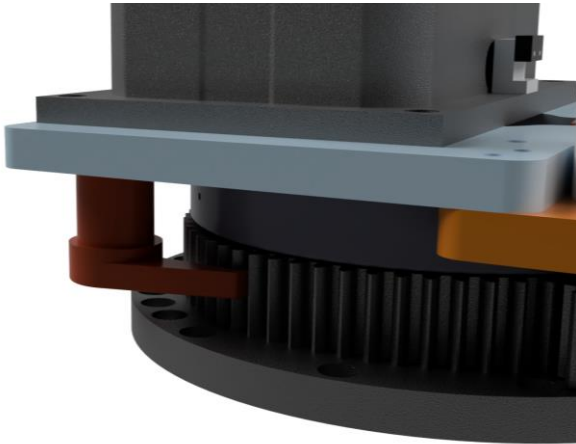
Konceptet hämmar rotation genom en komponent som utför linjär rörelse fästs under topplattan och bromsar in rotation genom att pressa en axel mot bottenplattan. Placering och utseende på konceptet liknar det koncept som syns i Figur 5.2. Koncepten skiljer sig då detta koncept inte kräver att hål skall borras ut på bottenplattan då låsning uppnås genom friktion mot bottenplattan.

5.4.11 M2 - Elektromagnetisk broms på kugghjul

- Kombination från morfologisk matris (se Tabell 6): A1-B3-C1.

Figur 5.7 visar ett exempel där ett extra kugghjul med tillhörande axel implementeras. Detta koncept nyttjar en liknande applikation, där rotationen hos det extra kugghjulet hämmas genom en elektromagnetisk broms som placeras runt axeln. Den elektromagnetiska bromsen kommer att placeras på topplattans över- eller undersida. Detta koncept kan även användas genom att tillämpa samma funktion med placering runt elmotorn.

5.4.12 M3 och M4 - Roterande mekanism som hakar fast i drev

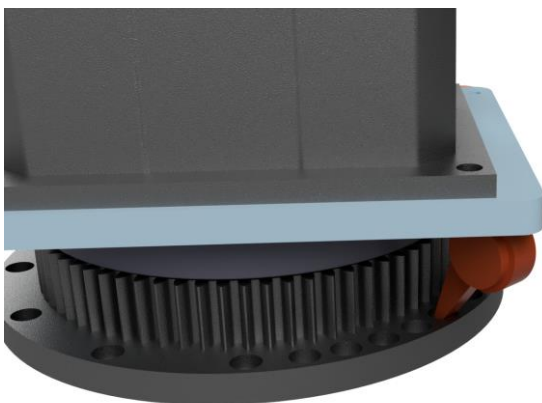


Figur 5.11: Koncept som låser genom en roterande mekanism i drevet.

- Kombination från morfologisk matris (se Tabell 6): A3-B2-C1/C2.

Mekanismen som ger upphov till rörelsen fästs i topplattan över drevet. När mekanismen aktiveras roterar en axel som längs ut har en kil som fasas in i antingen bottenrevet eller elmotorns drev. Kilens geometri består inte utav några skarpa kanter för att undvika att kilen fastnar i drevet vid stora påfrestningar. Figur 5.11 visar en övergriplig modell av konceptet. Koncept M3 låser mot bottenrevet och koncept M4 låser mot elmotorns drev.

5.4.13 M5 - Roterande mekanism som hakar fast i bottenplattan



Figur 5.12: Koncept som låser genom roterande mekanism i bottenplattan.

- Kombination från morfologisk matris (se Tabell 6): A3-B2-C3.

Detta koncept fungerar likt föregående koncept med skillnaden att mekanismen fästs så att den roterande armen fasar in i kilen i bottenplattan. Se Figur 5.12 för en övergriplig modell av konceptet.

6 Konceptutvärdering

För att utvärdera de olika framtagna koncepten används beslutsmatriser. Genom att använda beslutsmatriser kan sämre koncept succesivt sällas bort till dess att de bästa koncepten återstår. Utvärderingen baseras på hur väl de olika koncepten uppfyller kraven och önskemålen.

6.1 Elimineringssmatris

En grovsällning av koncepten gjordes genom att använda en elimineringssmatris (se Tabell 7). Denna matris tar bort de lösningar som inte:

- Löser huvudproblemet
- Uppfyller alla krav
- Är realiserbara
- Är säkra
- Passar Sjöräddningssällskapet
- Har tillräcklig information för att kunna utvecklas.

Av de 14 koncept som analyserades i matrisen eliminerades alla förutom B1, B2, B6, B8, B9 och M2.

Tabell 7: Elimineringssmatris på framtagna koncept.

Elimineringssmatris							Elimineringskriterier: (+) Ja (-) Nej
Koncept	Löser huvudproblemet	Uppfyller alla krav	Realiserbar	Säker	Passar företaget	Tillräcklig info finns	
B1	+	+	+	+	+	+	Behåll
B2	+	+	+	+	+	+	Behåll
B3	+	-					Förkasta
B4	+	+	-				Förkasta
B5	+	+	-				Förkasta
B6	+	+	+	+	+	+	Behåll
B7	+	+	-				Förkasta
B8	+	+	+	+	+	+	Behåll
B9	+	+	+	+	+	+	Behåll
M1	+	+	-				Förkasta
M2	+	+	+	+	+	+	Behåll
M3	+	-					Förkasta
M4	+	-					Förkasta
M5	+	-					Förkasta

Om ett koncept uppfyller en parameter så markeras det med ett ”+” och ett ”-” om det inte uppfyller en parameter. De sex koncept som uppfyllde alla parametrar analyserades vidare. Vid diskussion med Fredrik angående koncepten drogs slutsatsen att koncepten B4, B5 och B7 inte är lämpliga att realisera. Anledningen är att kablar är tänkta att gå igenom området som dessa är placerade på och det kan därför bli ont om plats för kablarna. Koncept M1 ansågs vara för omfattande för att realisera. Slutsatsen drogs därför att dessa inte uppfyller alla krav.

6.2 Pughs relativa beslutsmatris

De sex återstående koncepten jämfördes mot varandra i Pughs relativa beslutsmatris. Jämförelsen sker baserat på alla önskemål i kravspecifikationen samt de krav som det är en fördel om de uppfylls med marginal. Ett koncept sattes som referens och jämfördes sedan med de andra koncepten, se Tabell 8 nedan. Om ett koncept presterar bättre än B1 på ett kriterium sätts ”+” in i rutan. Om det presterar sämre sätts ”-” och om det presterar samma sätts tecknet ”0” in.

Tabell 8: Pugh-matris med koncept B1 som referens.

Kriterium	B1	B2	B6	B8	B9	M2
Ej strömbelagd i låst läge	Referens	0	0	0	0	0
Isolera elektriska komponenter från vatten och fukt		0	0	0	+	0
Tillåta implementering av sensorer		0	0	0	+	-
Tillåta implementering av rotations-begränsare		+	+	+	+	0
Lösningens storlek skall minimeras		-	-	0	0	-
Lösning ska stå emot vindens belastningar		-	-	-	-	-
Vinkel mellan låsta lägen <10 grader		+	0	+	+	+
Summa	0	0	-1	1	3	-2
Rangordning	3	3	4	2	1	5

För att säkerhetsställa att alla koncept jämförs med varandra och samma resultat fås oavsett vilket koncept som sätts som referens görs totalt 5 Pugh-matriser (se Bilaga 2).

Rangordningen blev följande efter att alla koncept jämförts med varandra:

1. B9
2. B8
3. B2
4. B1
5. B6
6. M2

6.3 Slutgiltigt val av koncept – B8

De fyra koncept som presterade sämst i Pugh-matrisen eliminerades. De två koncept som presterade bäst var B9 och B8. För att jämföra dessa två ställdes deras fördelar och nackdelar mot varandra (se Tabell 9 och Tabell 10). En dialog fördes även med uppdragsgivare Fredrik Falkman på SSRS samt tekniska handledaren Martin Lindqvist på Infotiv angående koncept B8 och B9. Det framkom inga avgörande brister eller fördelar i något av koncepten.

Tabell 9: Fördelar och nackdelar med B9

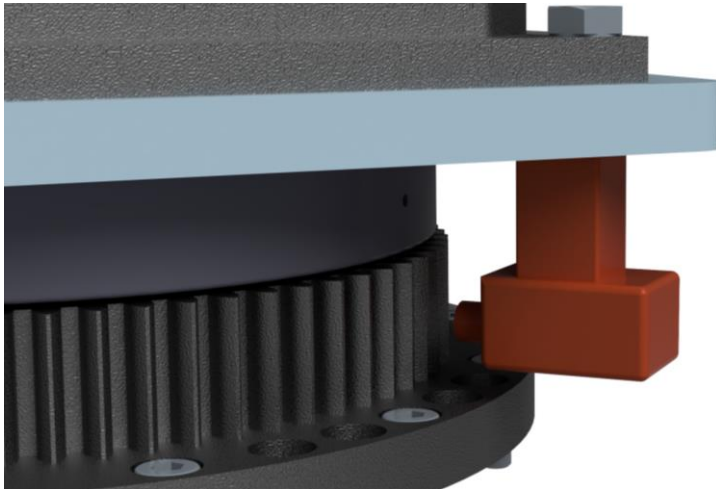
B9	
Fördelar	Nackdelar
Topplattan skyddar delvis låsmekanismen väta underifrån.	Kan endast utnyttja yttre delen av kuggarna, då kullager täcker över innersta delen (se Bilaga 3)
	Lösningen måste få plats på en mycket liten area.

Tabell 10: Fördelar och nackdelar med B8.

B8	
Fördelar	Nackdelar
Går att utnyttja hela kuggarnas längd i djupled.	Måste omslutas noggrant för att skyddas mot väta underifrån.
Kan placeras på den största tillgängliga ytan.	

Vid diskussion ansågs nackdelarna hos koncept B9 väga ner konceptet till den grad att B8 var ett mer fördelaktigt koncept. Det är ett bättre alternativ att kunna utnyttja en större yta och hela kuggarna än att arbeta på en liten area utan att kunna utnyttja hela kuggarnas djup. Av dessa anledningar valdes koncept B8, trots att B9 presterade bättre i Pughs-matriserna.

6.4 B8 – Det slutgiltiga konceptet



Figur 6.1: Koncept som låser med axiell rörelse in i drevet.

Koncept B8 fästs i topplattan ovanför bottendrevet (se Figur 6.1) och strömförs via avfyrningsplattformens batteri. Genom att fasa in en axel mellan bottendrevets kuggar förhindras rotation. Delen av axeln som är närmast kuggarna är formad för att passa in mellan två kuggar, likt en kil. När komponenten som utför den linjära rörelsen inte är strömförd, pressar axeln mot kuggarna genom fjäderbelastning. Vid strömförning dras axeln in och därmed tillåter rotationsrörelse av drönarstativet. Därmed behöver låsmekanismen inte vara strömförd för att låsa.

En fördel med att låsa i kuggarna i bottendrevet är att det finns 70 kuggar och därmed 70 olika lägen som drönarstativet kan låsas i. Utöver detta kräver koncept B8 endast minimal bearbetning av topplattan för infästning. Utrymmesmässigt så är hörnen under topplattan den optimala placeringen för låsmekanismen, förutom hörnet där elmotorn sitter. De övriga utrymmena är mycket begränsade (se Bilaga 1).

Låsstyrkan på detta koncept beror främst på geometriska samt materialegenskaper. Den elektriska komponentens uppgift är endast att förflytta låsaxeln då låset ska avaktiveras. Genom denna utformning av konceptet kan den elektriska komponentens storlek minimeras, jämfört med om konceptet låser drönarstativet då den är strömförd.

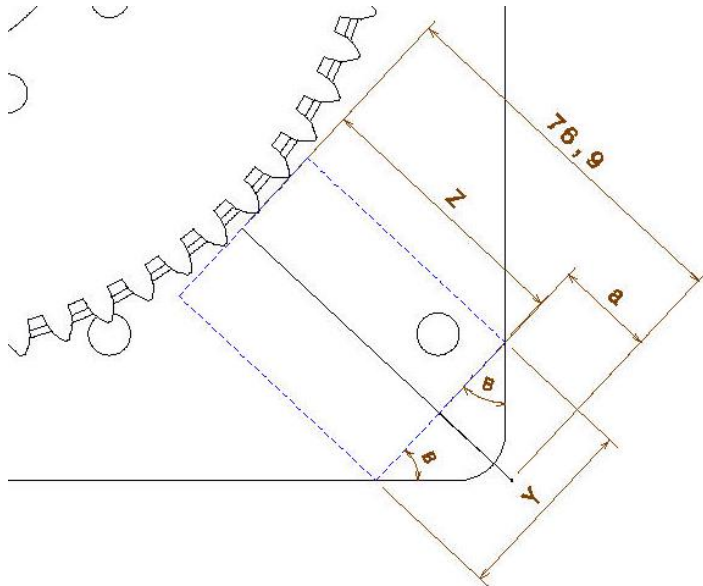
7 Vidareutveckling av koncept

Kapitlet beskriver hur koncept B8 utvecklas till en slutlig konstruktion. Framtagningen av konstruktionen sker genom att först välja standardkomponent till den linjära rörelsen för att sedan konstruera en kil och inkapsling.

7.1 Val av standardkomponent för linjär rörelse

En linjär rörelse krävs för att föra in samt föra ut kilen mellan två kuggar. För att bestämma vad för typ av komponent som lämpar sig för denna rörelse upprättades en kravlista.

7.1.1 Geometrikrav för komponent



Figur 7.1: Ritning på bottendrevet sett underifrån med förhållanden som komponenten måste få plats i.

För att enkelt kunna avgöra om en komponent får plats togs ett förhållande mellan längd och bredd fram. Ytan som komponenten ska få plats på är under ett hörn på topplattan ovanför bottendrevet (se Figur 7.1). Den totala längden från hörnet till längst ut på en kugg är 72,25 mm. Om radien som finns i hörnet bortses ifrån, blir den totala längden i stället 76,9 mm. Dessutom måste kilen som ska sitta längst ut på axeln som trycker mot bottendrevet få plats. Eftersom en kugg är 6,7 mm lång subtraheras detta därför från den totala längden:

$$76,9 - 6,7 = 70,2 \text{ mm}$$

Förutom denna längd beror längden som komponenten kan ha på dess bredd, vilket illustreras i Figur 7.1 ovan, där

Z = Komponentens längd

Y = Komponentens bredd

B = Vinkeln mellan kanten och komponentens kortsida

a = Avståndet mellan komponentens kortsida och hörnet

På grund av geometri blir sambanden mellan längd och bredd:

$$Y = 2a$$

$$Z = 70,2 - a$$

Förhållandet som komponenten måste uppfylla blir därmed

$$Z = 70,2 - \frac{Y}{2} \quad (6)$$

Om Z är större än komponentens längd, kommer komponenten att få plats.

7.1.2 Kravlista för standardkomponent

Tabell 11: kravlista för val av komponent.

Kriterier		Krav/önskemål
K1	Kunna utföra en linjär rörelse på minst 8 mm	k
K2	Tillförd spänning på komponent får maximalt vara 48 volt	k
K3	Ej vara strömbelagd när kilen är införd mellan två kuggar	k
K4	Kunna röra sig mellan låst och upplåst läge på under 2 sekunder.	k
K5	Få plats på begränsad yta, se ekvation (6)	k
K6	En sensor som signalerar när komponenten är i låst respektive upplåst läge ska kunna implementeras	ö
K6	Tillförd spänning på komponent ska vara antingen 5, 24 eller 48 volt	ö
K7	Cad modell finns tillgänglig	ö
Mål		
M1	Maximera kraft som kilen dras med från låst till olåst läge	
M2	Minimera strömförbrukningen (ampere)	

Kravlistan för standardkomponenten sattes upp genom att analysera vilka funktioner och egenskaper som måste uppfyllas, baserat på vart komponenten ska sitta, dess omgivningsgeometri med mera. Vid dialog med Quentin Demory på SSRS framkom att komponentens spänningstillförsel inte får överskrida 48 volt samt att integreringen av komponenten i avfyrningsplattformens system underlättas om dess krävda spänningstillförsel är antingen 5, 24 eller 48 volt. Ett önskemål från Quentin är dessutom att en mikrobrytare ska kunna implementeras på komponenten, som signalerar när den befinner sig i låst respektive upplåst läge.

7.1.3 Val av standardkomponenttyp

Vid undersökning av olika typer av komponenter som utför linjär rörelse framkom två typer av komponenter som ansågs lämpliga för ändamålet. Dessa är linjära ställdon och solenoider. Båda dessa utför linjär rörelse men används generellt sett till olika applikationer. En jämförelse utfördes för att avgöra vilken av dessa två komponenter som lämpar sig bäst.

Tabell 12: Jämförelse mellan linjära ställdon och solenoider.

Linjärt ställdon		Solenoid	
Fördelar	Nackdelar	Fördelar	Nackdelar
Stark i axiell riktning	Kostsamma vid inköp	Kan belastas hårt i radiell riktning	Svag i axiell riktning
Kan vara obelastad i låst läge	Svag vid belastning i radiell riktning	Kan vara obelastad i låst läge	
Kan vara obelastad i olåst läge		Kan vara obelastad i olåst läge	
Lång livslängd		Lång livslängd	
		Kan pendla snabbt mellan låst och olåst läge	

Både solenoider och linjära ställdon har egenskaper som är fördelaktiga för ändamålet. Det är viktigt att komponentens axiella kraft är större än friktionskraften mellan kil och kugg som den måste motverka för att gå till upplåst läge. Denna friktionskraft beror dock även på utformning av kilen och kan därför minskas om komponentens axiella kraft är låg. Det är även viktigt att komponenten kan belastas radiellt utan att deformera, vilket solenoider har en fördel i gentemot ställdon. Solenoider används dessutom i flertalet låsapplikationer idag, bland annat dörrlås. Eftersom kilen som ska monteras på komponenten främst kommer att belastas radiellt ansågs solenoiders radiella belastningsförmåga vara en avgörande egenskap i valet mellan de två olika komponenterna. Solenoid är därför den typ av komponent som väljs till konstruktionen.

7.1.4 Val av solenoid

För att hitta det optimala valet av solenoid undersöktes flertalet leverantörers utbud. Solenoiderna sorterades baserat på kravspecifikationen (se Tabell 11). En tabell gjordes med de kandidater som ansågs intressanta.

Tabell 13: Olika solenoider och dess egenskaper.

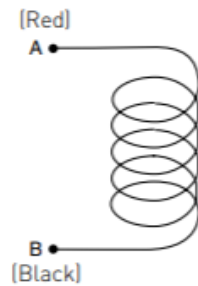
Solenoid	Typ av solenoid	Slaglängd	Kraft vid 5% 10mm eller vid lägsta tillgängliga arbetscykel	Cad modell finns	Pris
Kuhnke H-3406F	Drag	10 mm	Ca. 15 N	Ja	567 kr
Transmotec K1253L-24V	Bistabil	15 mm	Ca. 19N [10% 10mm]	Ja	900 kr
Transmotec F1250L-24V	Drag	25 mm	Ca. 24N [10% 10mm]	Ja	843 kr
TDS-12M KOMBI	Går att få som drag/tryck	12 mm	Ca. 24 N vid 10mm 10%	Nej	363 kr
Nafsa ER30/C TYPE 24VDC	Drag	Går att anpassa till 10 mm	Ca. 20 N	Ja	6000 kr
Ledex B14HD-L-254-B-4	Bistabil	12,7 mm	Ca. 11 N [10% 10mm]	Ja	160 kr

Tabell 13 visar de solenoider som ansågs uppfylla kraven bäst utav de som undersöktes. Samtliga solenoider får plats i dess avsedda utrymme enligt ekvation (6). De två olika typer av solenoider som uppfyller kraven är antingen drag- eller bistabila solenoider. En drag-solenoids axel befinner sig vid sin maximala slaglängd då den inte är strömförd och dras in då den är strömförd. När strömmen bryts trycks axeln ut igen på samtliga drag-solenoider i Tabell 13 via en fjäder. Bistabila solenoiders axlar kan befinna sig både vid sin maximala slaglängd och sitt intryckta läge, utan att vara strömförda. De behöver endast strömföras för att byta läge (se Figur 7.2)

Coil Polarity

Latch: A+ B-

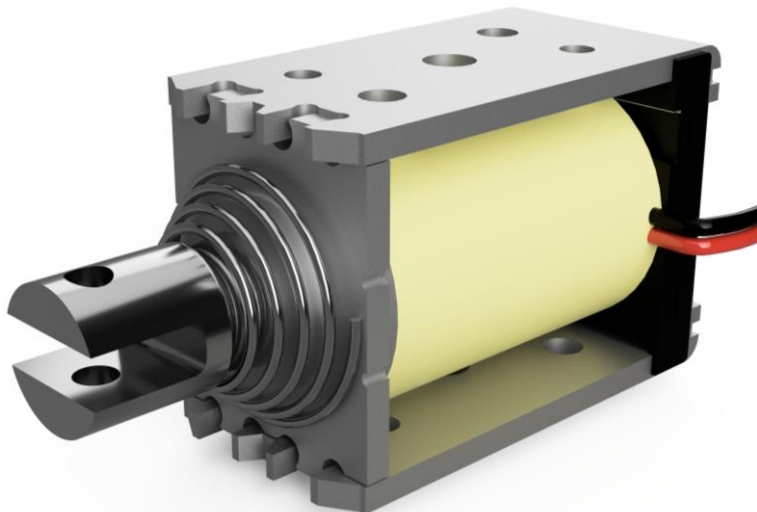
Unlatch: A- B+



Figur 7.2: Skiss på hur bistabila solenoider strömförs (med tillåtelse av Johnson Electric).

Dragsolenoider kräver en kontinuerlig strömmatning vid indraget läge jämfört med bistabila solenoider som endast kräver en signal för att byta axelns läge. Eftersom strömmens källa är avfyrningsplattformens batteri är detta en nackdel hos dragsolenoiderna. Efter diskussion med Fredrik Falkman på SSRS föll valet på Ledex B14HD-L-254-B-4. Anledningen är priset på denna solenoid är betydligt lägre än övriga solenoider, trots att dess egenskaper är likvärdiga, med undantaget att den har en lägre dragkraft. Två solenoider beställdes på företaget Elfa Distrelec. En för att testa och utvärdera prestanda och en för att använda i den slutgiltiga konstruktionen.

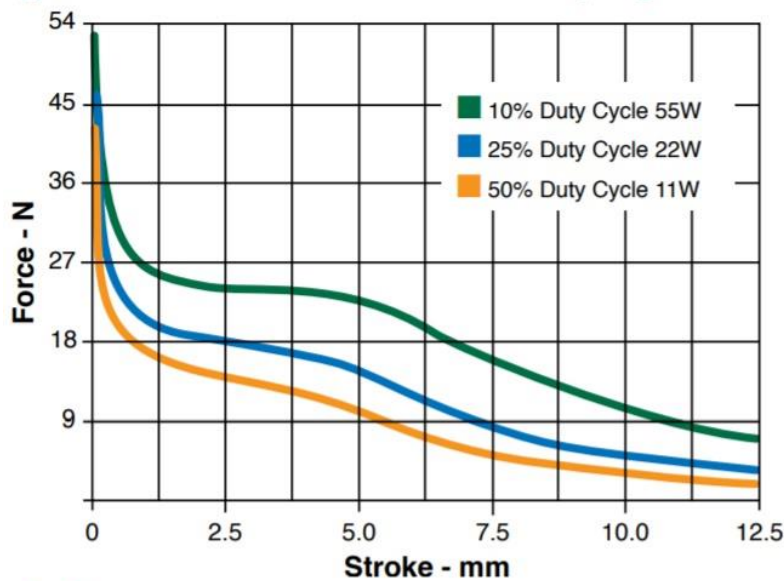
7.1.5 Ledex B14HD-L-254-B-4



Figur 7.3: Ledex B14HD-L-254-B-4. (egen rendering på CAD-modellen med tillåtelse av Johnson Electric)

Ledex B14HD-L-254-B-4 är en kompakt bistabil solenoid som i intryckt läge är 54mm lång inklusive dess axel (se Bilaga 15 för ritning). Längst ut på axeln sitter ett gaffelliknande munstycke (se Figur 7.3) som kilen ska monteras på. Den svarta delen närmast kablarna är en permanentmagnet som håller axeln på plats i infällt läge. På samma sätt håller fjädern närmast munstycket kilen på plats i utfällt läge.

Typical Force @ 20°C – Conical (net with spring)



Performance

Maximum Duty Cycle	Unlatch			
	Voltage	50%	25%	10%
Recommended Max ON Time (sec)	1	1	1	1
Watts (@ 20°C)	11	11	22	55
Ampere Turns (@ 20°C)	940	938	1326	2097

Figur 7.4: Ledex B14HD-L-254-B-4 data om dess kraft och effekt (med tillåtelse av Johnson Electric).

Grafen i Figur 7.4 beskriver vilken kraft solenoiden har vid indragning av sin axel för olika slaglängder och arbetscykler. För den lägsta arbetscykeln som illustreras, d.v.s 10%, så avläses indragningskraften till 11N. Effekten vid denna arbetscykel är 55 watt enligt Figur 7.4. Strömstyrkan som kan användas för denna arbetscykel kan därmed beräknas:

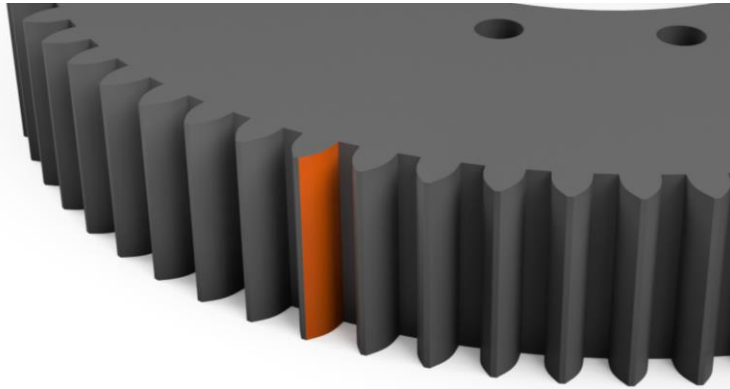
$$\frac{P}{U} = I \rightarrow \frac{55}{24} = 2,3 \text{ A} \quad (7)$$

Grovt uppskattat kommer avfyringsplattformen rotera en gång per halvtimme enligt Fredrik Falkman. En bistabil solenoid behöver aktiveras två gånger per rotation. Enligt Figur 7.4 är den rekommenderade aktiveringstiden för solenoiden 1 sekund. Arbetscykeln blir därmed:

$$\text{Arbetscykel} = \frac{2 * 30}{48 * 60 * 60} = 0,35\% \quad (8)$$

Arbetscykeln i verkligheten är dock betydligt lägre än 10% och därmed kan större effekt teoretiskt sätt utnyttjas. Eftersom ett önskemål från Quentin Demory på SSRS är att minimera strömförbrukningen väljs därför strömstyrkan 2,3 Ampere.

7.2 Dimensionering av kil



Figur 7.5: Bild på bottendrevet. Ytan som kilen kommer låsa mot är rödmarkerat.

För att dimensionera kilen som fasas in mellan två kuggar, undersöktes de påfrestningar som kuggarna på bottendrevet samt kilen utsätts för när låsmekanismen appliceras. Bottendrevet är gjort utav materialet Stål C45, vilket är ett maskinstål. Eftersom kilen ska fästas på det gaffelliknande munstycket på solenoidens axel krävs dessutom ett fäste på kilen som binder samman kilen och solenoid-axeln.

7.2.1 Krafter och dimensioner mellan kugg och kil

Det uppskattade största momentet som kan uppstå i mitten på drönarstativets axel beräknades i kapitel 4.3.3 till

$$M_{person} = 150.6 \text{ Nm}$$

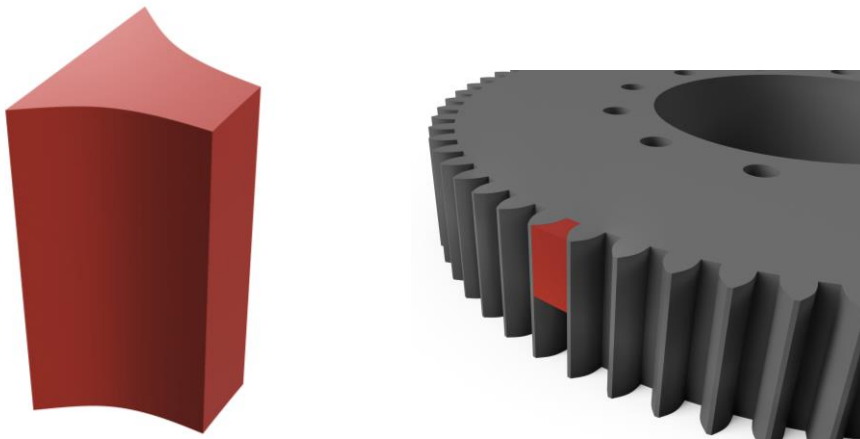
Diametern på bottendrevet fram tills början av kuggarna är 210 mm, medan diametern till längst ut på kuggarna är 216 mm (se Bilaga 1 för ritning på bottendrevet). Avståndet från mitten av bottendrevet till mitten av kuggarna blir därför

$$r_{kugg_mitten} = \frac{216 + 210}{2} * \frac{1}{2} = 106,5 \text{ mm} = 0,1065 \text{ m} \quad (9)$$

Kraften som en kugg och kil maximalt belastas med vid ett vridmoment på 150,6 Nm kan därför uppskattas till

$$F_{kugg} = \frac{M_{person}}{r_{kugg_mitten}} = \frac{150,6}{0,1065} = 1414,0845 \text{ N} \approx 1414 \text{ N} \quad (10)$$

Arean på ena sidan av en kugg, alltså ytan som kilen kommer att låsa emot (se Figur 7.5) är enligt modellen i Catia $2,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$. Efter dialog med Fredrik Falkman uttrycktes ett förslag om mekaniska stopp som kan implementeras i ett separat projekt på SSRS. Förslaget innebär stoppklossar som placeras på bottenplattan och därmed begränsar vilka vinklar som avfyringsplattformen kan befinna sig i. För att ge plats åt detta togs beslutet att endast använda övre halvan på bottendrevet.

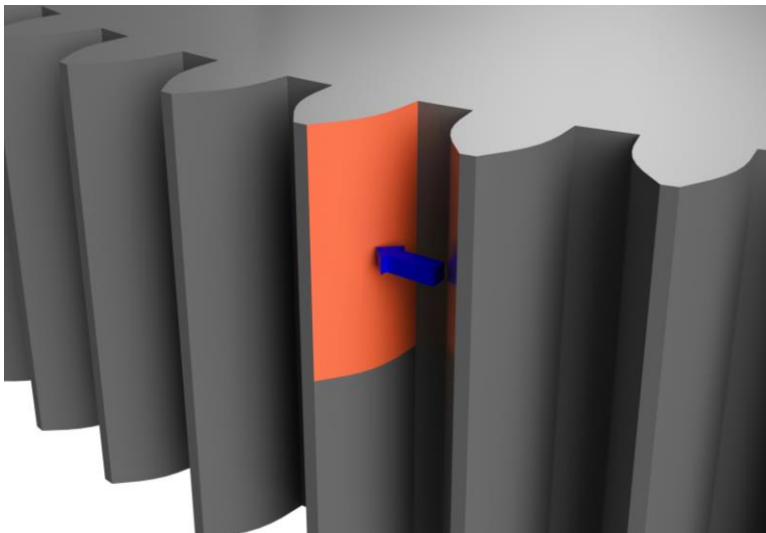


Figur 7.6: Kilkoncept.

Kilens tänkta tvärsnitt är utformat som utrymmet mellan två kuggar på bottendrevet (se Figur 7.6). Syftet med geometrin är att maximera mängden kontaktyta mellan kuggar på bottendrevet och kilen. Genom att maximera mängden kontaktyta minskar storleken på de böj- och skjuvspänningar som uppkommer i både kilen och kuggarna vid belastning jämfört med en smal kil som inte tar upp hela volymen mellan två kuggar. Bottendrevets höjd är 30 mm. Därmed blir kilens höjd 15 mm och kommer låsa på övre halvan av bottendrevet. Kontaktytan mellan kilen och en kugg blir halva kuggarnas yta, alltså

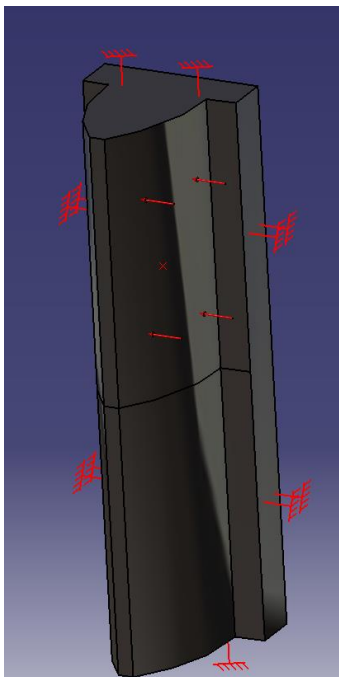
$$A_{\text{kontaktyta}} = 1,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2.$$

7.2.2 Finita elementanalys (FEA/FEM) på bottendrevet



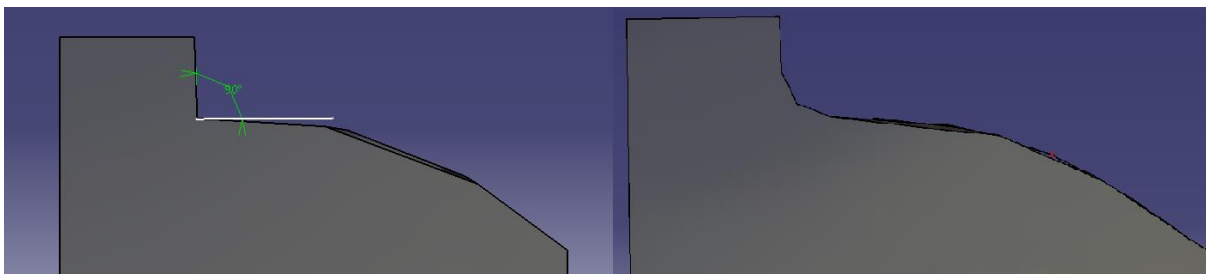
Figur 7.7: Illustration på kraft över en halv kuggyta (förenklad).

En FEM-analys utfördes på bottendrevet för att säkerställa att inga defekter uppstår hos drevet vid höga belastningar. Figur 7.7 ovan visar en förenklad bild av lastfallet som beräknas. Belastningen som drevet utsätts för tillämpas endast på en kugg som därmed isolerades vid analys av belastningen (se Figur 7.8 nedan). Då låskilen skall appliceras på övre halvan av kuggen lades en utbredd last ut över denna yta med ett värde på 1414 N som tidigare visats enligt ekvation (10).



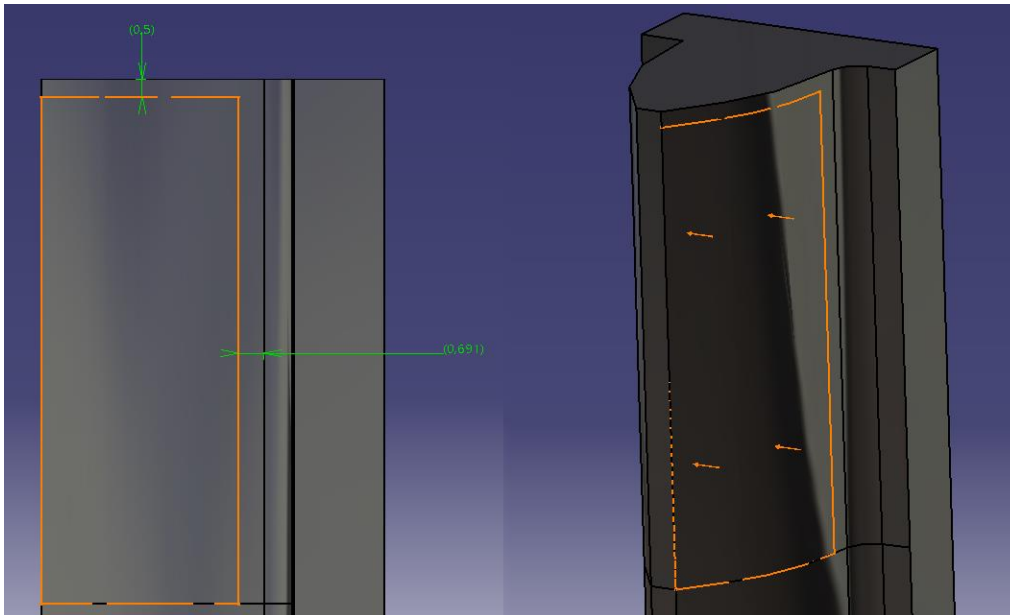
Figur 7.8: Övergriplig illustration av FEM-modell.

Initialt krävde modellen justeringar för att kunna hanteras i FEM-analysen. Längs med ytan som belastades bestod kuggen av ett hörn med en 90° vinkel. Dessa typer av hörn ger vid FEM-analys upphov till höga spänningskoncentrationer. Modellen översattes därav i form av att hörnet gavs en radie på 0,8mm för att göra modellen hanterbar i analysen (se Figur 7.9 nedan)



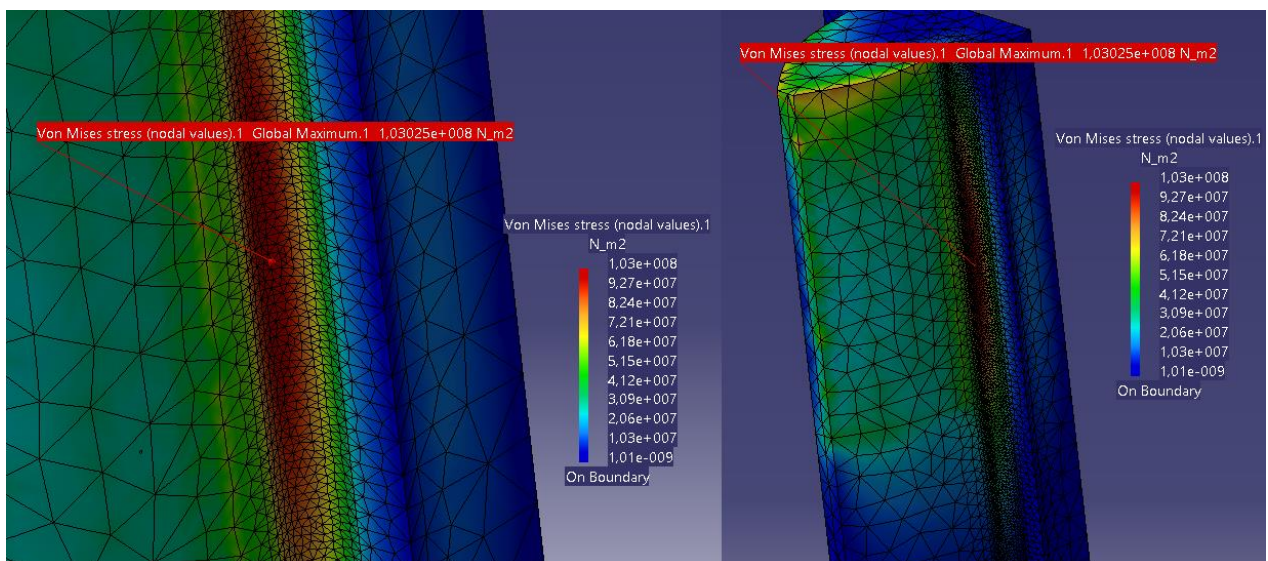
Figur 7.9: Vänster – innan radietillägg, höger – efter radietillägg.

Resultatet av den tillagda radien blev att spänningskoncentrationen minskade och förflyttade sig till randen där radien slutar verka. För att undvika detta förflyttades den utbredda lasten så att den verkar ca 0,7 mm från radiens slut samt 0,5mm ner från kuggens höjd. Se Figur 7.10 nedan för den utbredda lasten.



Figur 7.10: Illustration över den förflyttade lasten. Vänster – sidovy, höger – isometrisk vy

Med modellen och lastfallet justerat togs effektivspänningen enligt Von Mises fram hos kuggen i syfte att undersöka storleken av den högst uppnådda spänningen samt hur den fördelas över kuggen.

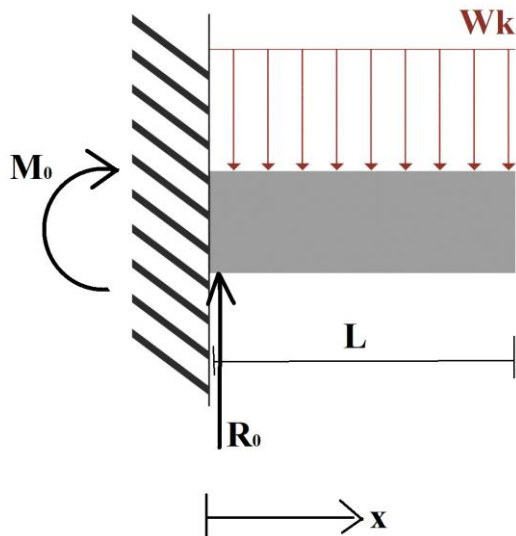


Figur 7.11: Effektivspänning enligt Von Mises över kuggen. Vänster – inzoomat max, höger – Isometrisk vy.

I Figur 7.11 ovan syns den övergripliga spänningsbilden med sitt tillhörande max-värde. Magnituden av den största spänningen uppgick till 103.03 MPa och befinner sig längs med den radie som tidigare hade införts. Drevet är tillverkat i stål C45 som har en sträckgräns mellan 380–475 MPa. Med en säkerhetsfaktor mellan 3.7–4.6 konstaterades här att drevet ej kommer bli defekt då avfyrningsplattformen utsätts för de påfrestningar som beräkningarna utgår från.

En konvergensanalys utfördes i syfte att undersöka ifall antalet element tillämpade ledde till en stor avvikelse i spänningsbilden. De värden som visats ovan togs från ett givet antal element där spänningsbilderna konvergerat. Se Bilaga 14 för konvergensanalys.

7.2.3 Handberäkningar på kilen



Figur 7.12: Förenkling av kilen till fast inspänd balk (egen figur)

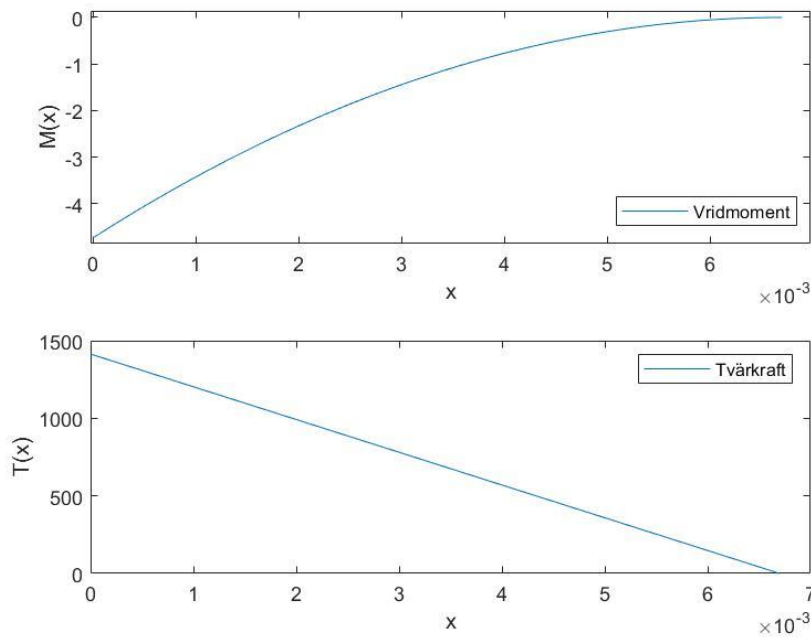
För att undersöka vilka spänningar som kommer uppstå i kilen och därmed vilka spänningar som kilen måste klara av utan att haverera utfördes handberäkningar. Först undersöktes vilka vridmoment och tvärkrafter som uppkommer i kilen. Både vridmomentet och tvärkraftens storlek är oberoende av kilens bredd och höjd. Beräkningen kan därför förenklas till en fast inspänd balk med en utbredd last i två dimensioner (se Figur 7.12). Tvärkraftsekvationen blev följande:

$$T(x) = W_k(L - x) \quad (17)$$

Vridmomentekvationen blev följande:

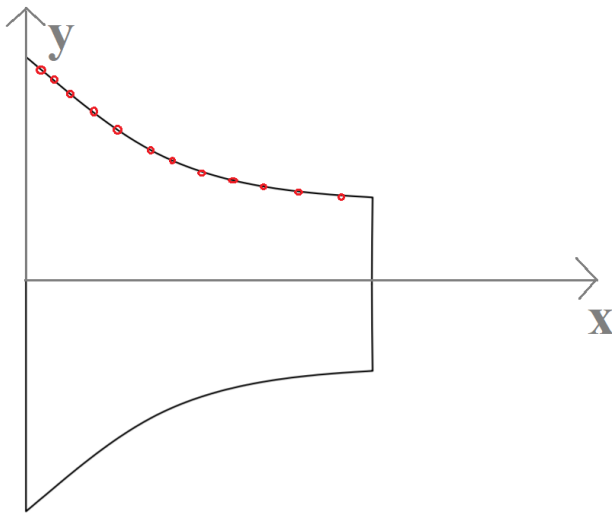
$$M(x) = W_k(L \cdot x - \frac{L^2}{2} + \frac{x^2}{2} - x^2) \quad (18)$$

För härledning av (17) och (18), se Bilaga 4.



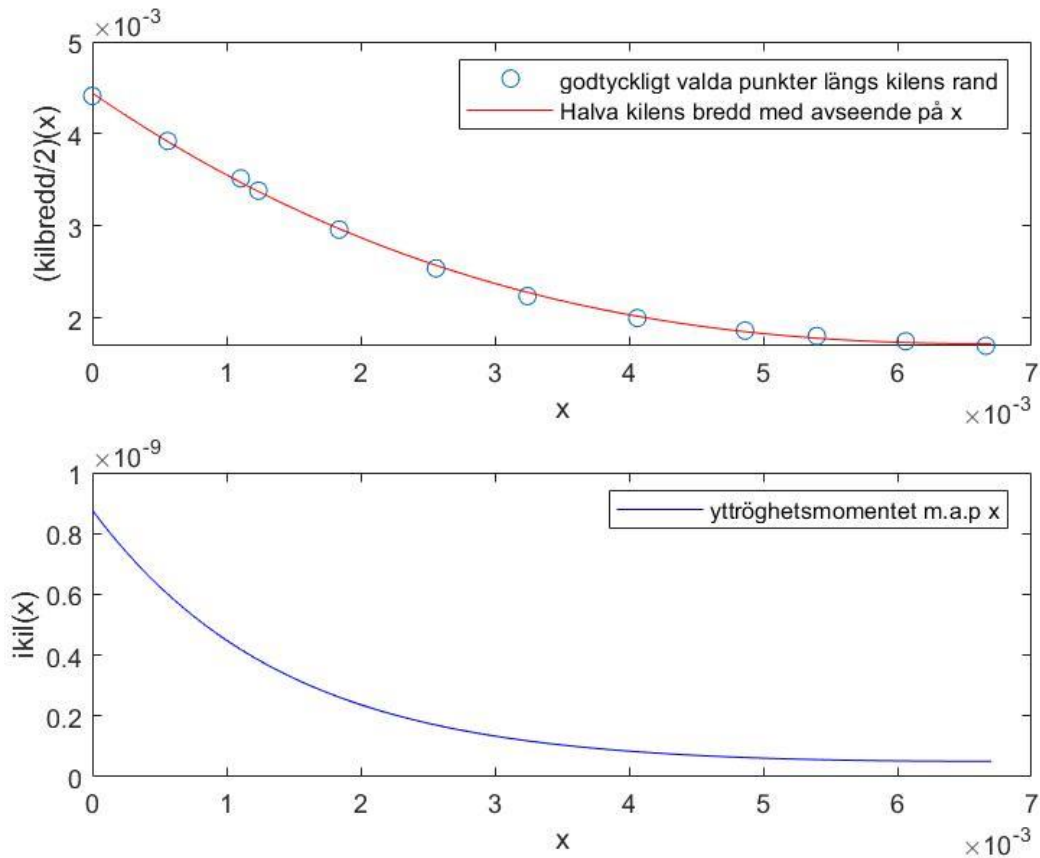
Figur 7.13: Vridmoment och tvärkraft med avseende på x .

För att illustrera vridmomentet och tvärkraftens variation i kilen skapades en graf i Matlab (se Figur 7.13). Se Bilaga 10 för kod. Genom avläsning konstateras att både största absoluta vridmomentet och tvärkraften uppkommer vid den fasta inspänningen.



Figur 7.14: Kilen sedd från ovan med punkter illustrerade längs kilens rand.

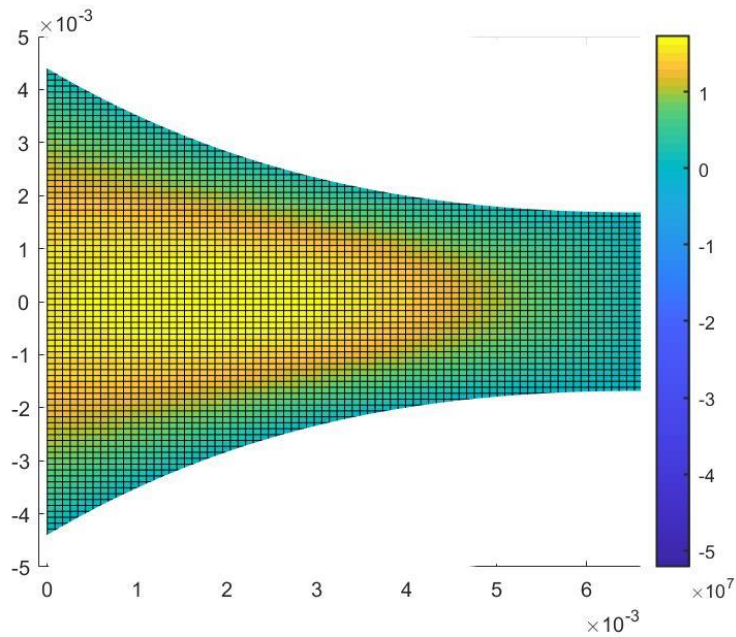
Kilens höjd $H = 15$ mm är konstant i hela kilen. Dess bredd varierar dock i nivå med avståndet mellan två kuggar på bottenrevet (se Figur 7.14). För att beräkna hur tröghetsmomentet varierar längs kilen anpassades ett tredjegrads polynom utefter kilens rand. Ekvationen skapades genom att ta 12 godtyckligt valda punkter längs kilens rand, likt de röda cirklarna i Figur 7.14 och sedan genom Matlab anpassa en ekvation (se Bilaga 11 för kod).



Figur 7.15: Kilens bredd och yttröghetsmomentets variation längs x-axeln.

De godtyckligt valda punkterna plottades tillsammans med den anpassade ekvationen (se Figur 7.15). Funktionen för yttröghetsmomentets (21) utseende är avtagande i nivå med kilens bredd, vilket är ett rimligt resultat då det endast är bredden hos kilen varierar i uttrycket för yttröghetsmomentet.

Genom formlerna för vridmomentet, tvärkrafterna samt yttröghetsmomentet beräknades skjuv- och böjspänningarnas variation i snittet samt effektivspänningen enligt von Mises (se Bilaga 5 Bilaga 6 och Bilaga 7 för härledningar av ekvationer).

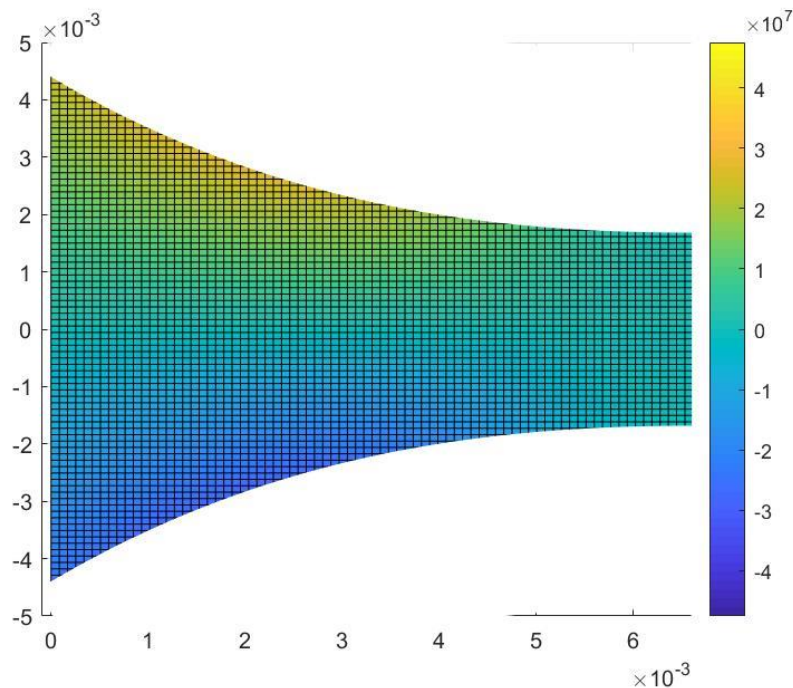


Figur 7.16: Skjuvspänningens variation i kilen sett från ovan (bild från Matlab)

Ekvationen för skjuvspänningen framkom till

$$\tau_{xy}(x, y) = -\frac{T(x)}{2 \cdot I_{kil}(x)} \cdot ((Kilrand(x))^2 - (Y(y))^2) \quad (29)$$

Genom matlab plottades ekvationen (se Bilaga 13 för kod). Längs kilens rand är skjuvspänningen 0 MPa. Den maximala skjuvspänningen uppkommer där $y = 0$, och $x \approx 0,002$ m och dess storlek är 17,3 MPa (se Figur 7.16)



Figur 7.17: Böjspänningens variation i kilen sett från ovan (bild från matlab)

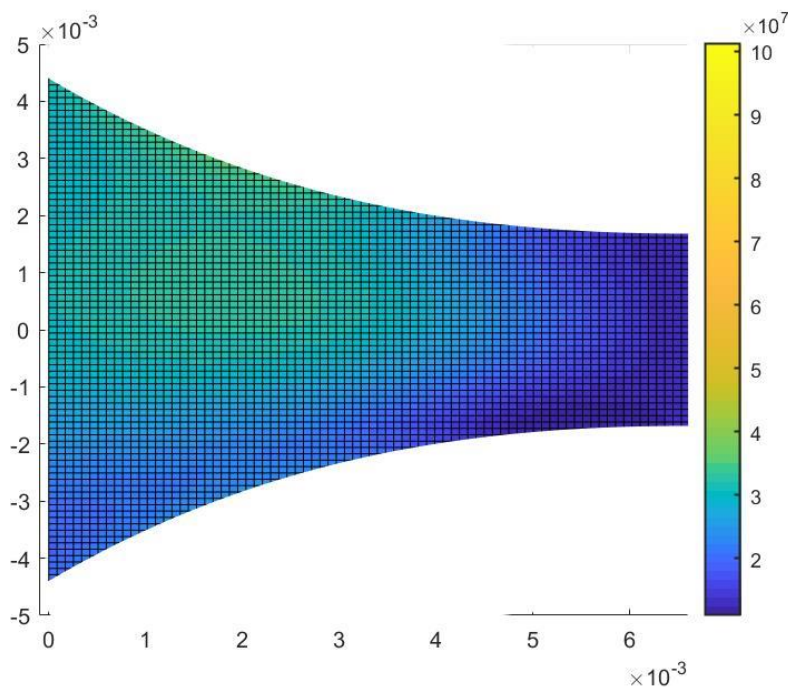
Ekvationen för böjspänningen framkom till

$$\sigma_x(x, y) = -\frac{M(x) \cdot Y(y)}{I_{kil}(x)} \quad (27)$$

Genom Matlab plottades ekvationen (se Bilaga 13 för kod). I mitten av kilen, där $y = 0$ är böjspänningen 0 MPa. Den maximala böjspänningen uppkommer längs kilens rand, där $x \approx 0,0019$ m och dess storlek är 28 MPa (se Figur 7.17). Det uppstår ett ytryck till följd av den utbredda lasten. Uttrycket för detta är

$$\sigma_y = \frac{W_k \cdot L}{A_{belastad}} \quad (29)$$

Dess storlek är 12,7 MPa och är konstant i kilen.



Figur 7.18: Effektivspänningen enligt von Mises variation i kilen sett från ovan (bild från matlab).

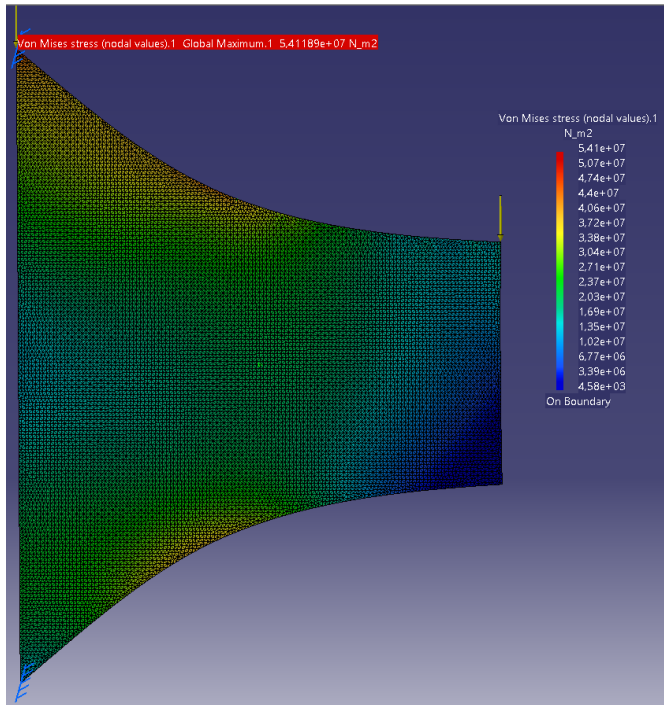
Ekvationen för effektivspänningen enligt von Mises framkom till

$$\sigma_e^{v.M} = \sqrt{(\sigma_x(x, y))^2 + \sigma_y^2 - (\sigma_x(x, y)) \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2(x, y)} \quad (11)$$

Genom matlab plottades ekvationen (se Bilaga 13 för kod). De största spänningarna uppkommer i övre halvan av kilen, d.v.s. sidan som trycket appliceras på, samt i mitten av kilen (se Figur 7.18). Den största effektivspänningen uppkommer längs kilens rand vid $x \approx 0,0018$ m och har en storlek på 38,9 MPa.

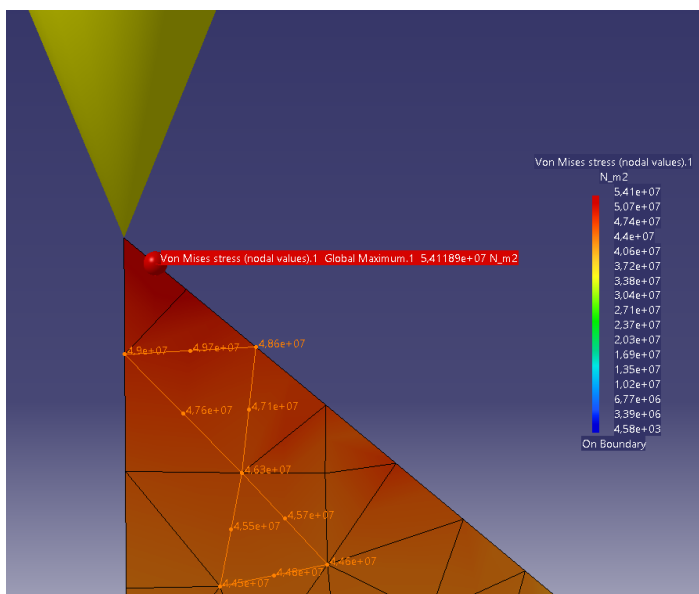
7.2.4 FEM-analys på kilen

En FEM-analys gjordes på kilen som komplement till handberäkningarna på kilen för att verifiera att spänningarna stämmer men även för att stärka trovärdigheten i resultatet.



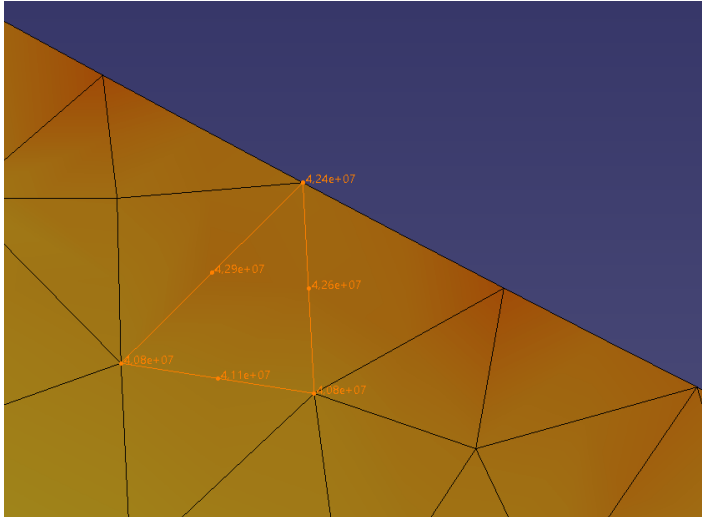
Figur 7.19: FEM-analys på skalmodell av kilen.

Eftersom kilens tvärsnitt är symmetriskt från ovan, kunde en skalmodell användas i stället för en 3D-modell vid FEM-analysen. På grund av den fasta inspänningen längs vänstra sidan i hörnet samt den utbredda lasten på 1414 N (de gula pilarna i Figur 7.19) uppstår en punktbelastning i hörnet som blir högre än på övriga ställen i modellen (54,1 MPa). FEM-analyser ger ofta höga spänningskoncentrationer vid fast inspända ytor.



Figur 7.20: FEM-analys på kilen, inzoomad på hörnet med maximala spänningen.

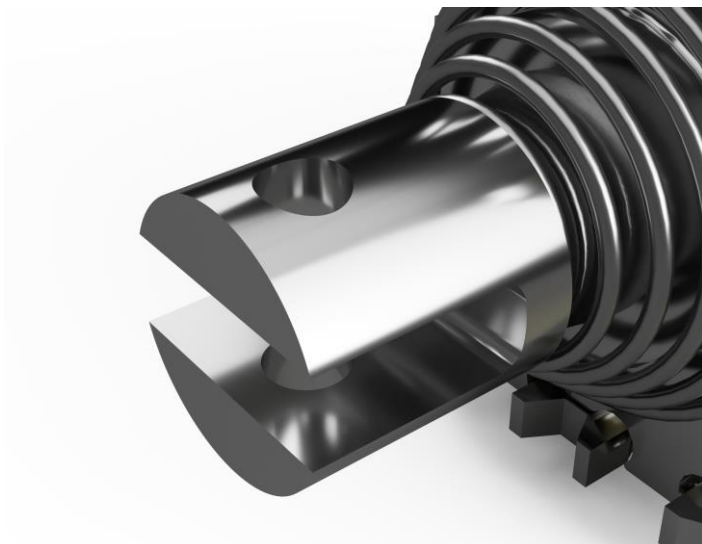
Genom att analysera de element som ligger nära punktbelastningen och öka antalet element succesivt (se Figur 7.20) insågs att spänningen snabbt avtar ett fåtal element ifrån maxspänningen. Slutsatsen dras därför att den verkliga maxspänningen befinner sig lägre än 54 MPa, rimligtvis någonstans mellan 40–50 MPa. Spänningen i samma punkt som framkom av handberäkningarna (se Figur 7.18) uppkom till 32 MPa.



Figur 7.21: FEM-analys på kilen, spänningen i det elementet där maxspänningen befinner sig enligt handberäkningarna.

Det element som befinner sig på den platsen där den maximala von Mises-spänningen uppträder enligt handberäkningarna (se Figur 7.18) markerades i FEM-analysen på kilen (se Figur 7.21). Spänningen i detta element är maximalt 42,9 MPa, jämfört med handberäkningarna, där den maximala spänningen är 38,9 MPa. Både FEM-analysen och handberäkningarna påvisar liknande resultat och slutsatsen dras därför att resultatet är rimligt.

7.2.5 Kilens fäste för montering på solenoid.



Figur 7.22: Munstycket på solenoidens axel. (egen rendering på CAD-modellen med tillåtelse av Johnson Electric)

Kilen ska fästas på det gaffelliknande munstycket längst ut på solenoidens axel (se Figur 7.22). För att göra detta krävs ett fäste som binder samman kilen och munstycket på solenoiden.

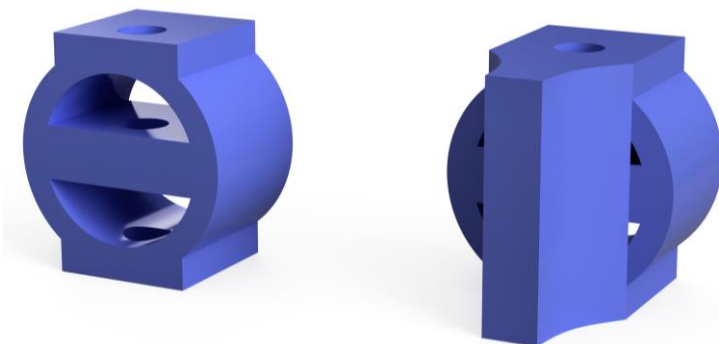
7.2.6 Koncept på munstycket till solenoidens axel



Figur 7.23: Från vänster: koncept "I-form" och koncept "Ö-form".

Två koncept togs ursprungligen fram (se Figur 7.23). Idén med koncepten är att kilen sitter fast ståendes på fästena och sedan fästs på solenoid-axelns munstycke. Ett skruvförband fästs i hålen genom centrum på koncepten och de cirkulära hålen på gaffeln säkerställer att fästet hålls på plats.

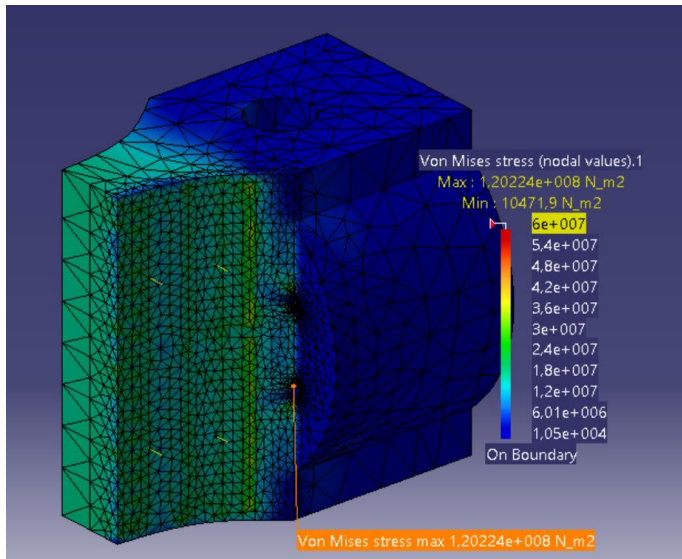
Båda koncepten har för- och nackdelar. Fördelen med koncept I-form är att kilens övre och undre del får stöd av de två extra rektangulära blocken vilket ökar stabiliteten. Nackdelen med koncept I-form är dock den begränsade kontaktytan mellan munstycke och gaffel, vilket ökar spänningarna i detta område. Koncept Ö-form däremot har en betydligt större kontaktyta mellan munstycke och kil på grund av den cirkulära ring som den består av. Dessutom är dess mittendel liggandes jämfört med koncept I-forms mittendel som är ståendes. Eftersom belastningen på fästena kommer att ske i sidled, är detta en mer tålig placering av mittendelen. Däremot får inte hela kilen plats på koncept Ö-form och kommer att sticka ut på dess övre och undre sida. Därmed måste spänningarna fördelas över på munstycket på en mindre yta än på koncept I-form. Genom att kombinera fördelarna hos de båda koncepten togs ett slutgiltigt koncept fram för fästet.



Figur 7.24: Slutgiltigt koncept för fäste - koncept IÖ.

Det slutgiltiga konceptet för fästet kombinerar fördelarna med koncept I och Ö (se Figur 7.24). Det genomgående hålet i fästet har en diameter på 3 mm och totala höjden på fästet är 15 mm (se Bilaga 15 för ritning). Ett skruvförband ska gå igenom hålet i fästet samt munstycket på solenoiden och därmed säkerställa att kilen sitter fast. Till förbandet väljs en M2.5 x 18 skruv och en M2.5 x 2 mutter. För att undersöka att fästet tål spänningarna som uppkommer undersöktes dess hållfasthet.

7.2.7 FEM-analys på kil med fäste



Figur 7.25: FEM-analys av kil och fäste.

Kilen och fästet kombinerades till en komponent och därefter applicerades en utbredd kraft på 1414 N över kilen (se Figur 7.25). Spänningarna som uppkom i fästet var generellt låga med undantag hos de små triangulära hålen, där spänningarna uppkom till 122 MPa. En närmare analys gjordes på detta område, som visar att den höga spänningen beror på ett konvergensfel (se Bilaga 8). Den maximala spänningen är därför den maximala spänningen som uppkommer i kilen, d.v.s. 40–50 MPa.

7.2.8 Test av kil på solenoid

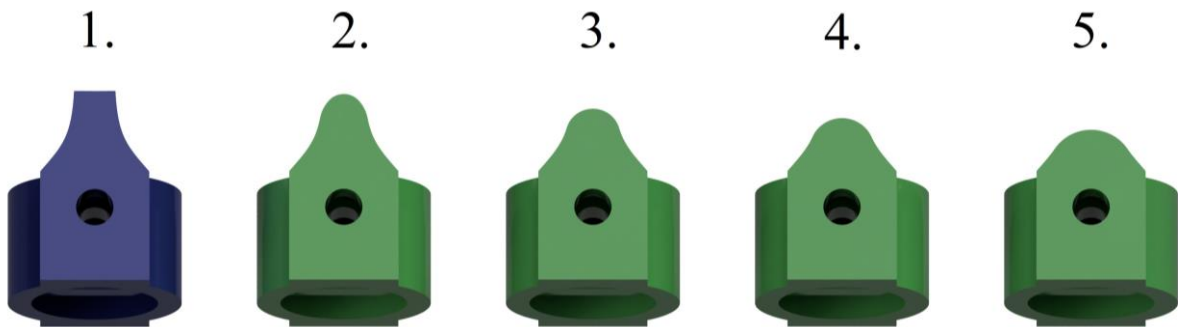


Figur 7.26: Kilmunstycke tillverkad i PLA monterad på solenoid.

En prototyp av kilen skrevs ut i en 3D-skrivare av typen FFF i materialet PLA för att undersöka dess passform på solenoiden (se Figur 7.26). Två olika passformer testades. En stramare variant där kilfästets innerdiameter är 0,2 mm större än solenoidens munstyckes diameter och en variant med mer spelrum där kilfästets innerdiameter är 0,7 mm större. Båda passformer fungerade och det beslutades att den strama varianten ska användas.

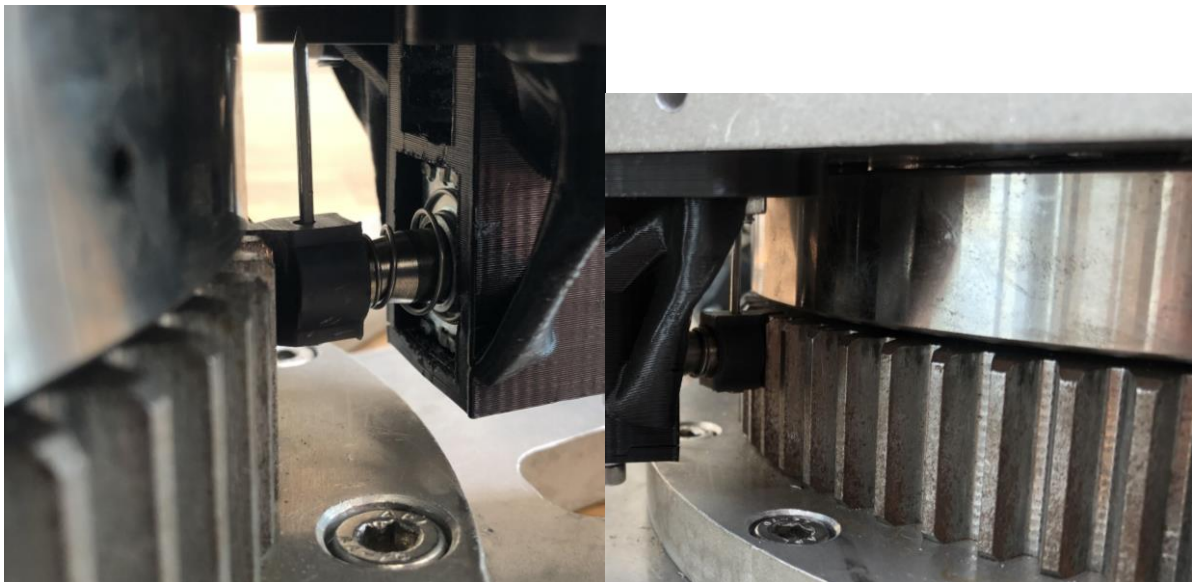
7.2.9 Vidare test av kilgeometri

Ett önskemål vid diskussion med Fredrik Falkman på SSRS var att låsmekanismen ska låsas upp när den belastas tillräckligt hårt, snarare än att låsa till dess att belastningen blir för hög och låsmekanismen plasticerar. Låsmekanismen dimensioneras för att klara av en radiell belastning på 1414 N. Det går dock inte att bortse ifrån faktumet att människor i exempelvis vandalism-syfte kan belasta drönarplattformen så att den radiella belastningen på låsmekanismen blir betydligt högre än 1414 N.



Figur 7.27: Kilar och fästen.

En modifiering av toppen på kilen undersöktes därför i form av rundade hörn. Syftet med de rundade hörnen är dels att minska friktionskraften mellan kil och kugg, dels att vinkla resultanten av den kraft som uppstår vid kontakt mellan kil och kugg mer mot solenoiden. Fyra kilar med tillhörande fästen skrevs ut i PLA i testsyfte (se de grönmålade kilar och fästena i Figur 7.27) för att undersöka huruvida de trycks in mot solenoiden när belastningen på dem ökar radiellt.



Figur 7.28: Bilder på en kil som testas på drönarstativet.

För att undersöka vilken av kilarna som är optimal testades samtliga kilar genom att:

1. Fästa en kil på solenoiden
2. Fästa solenoiden på en prototyp-inkapsling som utvecklades parallellt med de rundade kilarna (se Figur 7.28)
3. Fästa prototyp-inkapslingen i drönarstativet genom skruvförband
4. Roterar hela avfyrningsplattformen och undersöka hur kilarna reagerar.

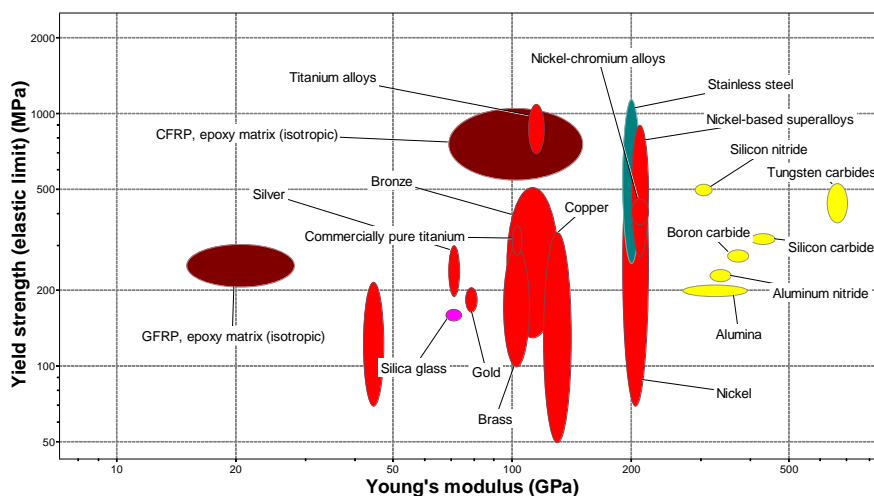
Testet resulterade i att kil nummer 5 i Figur 7.27 låste upp vid låg belastning medan kilen nummer 2 inte alls låste upp. Kil nummer 3 låste upp vid relativt hög belastning, vilket sammanfaller bäst med Fredriks önskemål. Det finns dock ett antal felkällor i testet, vilket minskar tillförlitligheten i testet. Felkällorna är följande:

- Kilens material är PLA, vilket endast används i prototypsyfte eftersom det är enkelt att tillverka prototyper i. Friktionskoefficienten mellan PLA och metall kommer skilja sig mot materialet som väljs i det slutgiltiga materialet och därmed potentiellt inte ge samma resultat.
- Prototyp-inkapslingen är tillverkad i PLA med låg noggrannhet. Dess insida består till 80% av tomrum, de resterade 20% är material utspritt likt ett rutnät. Detta ledde till att prototypen succesivt sprack under testandet och därmed blev resultatet mindre förlitligt.
- Att uppskatta den kraft som applicerades på avfyrningsplattformen samt den kraft som kilarna utsattes för var svår att kvantifiera.

Tillförlitligheten i testet uppskattas vara lågt. Då varken material för kilen var bestämt än, samt att den slutgiltiga inkapslingen inte var färdigställd ansågs det tidsmässigt inte lämpligt att vidare testa rundade kilar. Det beslutades därför att trots risken för plasticering vid hög belastning använda kil nummer 1, d.v.s. kilen som inte är rundad.

7.2.10 Materialval och tillverkning av kilen

Vid undersökning av kilens FEM-analyser visades att den maximala spänningen uppkom till 40–50 MPa. Ett krav sätts på att materialet måste ha en säkerhetsfaktor 3 mot plasticering. Med en max effektivspänning på 50 MPa (enl. von Mises) blir därmed sträckgränsen som materialet måste ha $50 \cdot 3 = 150$ MPa. Utöver detta måste materialet vara resistent mot både söt- och saltvatten, då vattentäthet inte kan garanteras av kåpan som omsluter drönarstativet. Dessa krav ställdes in i Granta Design Limited, (2020) i nivå 2.



Figur 7.29: Bubbeldiagram för materialen som uppfyller materialkraven för kilen (Granta Design Limited, 2020).

21 material uppfyllde kraven (se Figur 7.29) för kilen. Nästan alla dessa material är metaller, där materialet som uppfyllde kraven bäst var rostfritt stål.

Metoder att tillverka kilen på undersöktes. Geometrin är liten och kräver relativt fina toleranser för att kunna passa på solenoidaxelns munstycke. Valet föll därför på additiv tillverkning. Olika additiva tillverknings tjänster undersöktes. Företaget Shapeways valdes då de hade tillgängliga material som uppfyller den kravprofil som sattes upp för materialvalet. De material på Shapeways som uppfyllde kraven var:

- Stainless Steel 316L
- 420 Stainless Steel Infiltrated with Bronze

Båda dessa material tillverkas genom metoden Binder Jetting. Det är en metod där pulver av önskat material binds ihop ett lager i taget till dess att önskad geometri är uppnått. Med denna metod kan detaljer i metall tillverkas med hög precision.

Båda material uppfyller kraven men ”Stainless Steel 316L” har högst sträckgräns. Dock är det betydligt dyrare att använda detta material än det andra och därför valdes det bort. Kilen och dess fäste beställdes i materialet ”420 Stainless Steel Infiltrated with Bronze”. Två kilar beställdes (med geometri enl. Figur 7.24). En i syfte att användas till den slutgiltiga produkten och en som kan användas till framtida modifikationer, såsom rundning av kanter. Priset för tillverkningen uppkom till 150 kr/st (300 kr totalt). Materialets data presenteras i Tabell 14 nedan, hämtat från The ExOne Company, (2014):

Tabell 14: Materialdata för ”420 Stainless Steel infiltrated with bronze”.

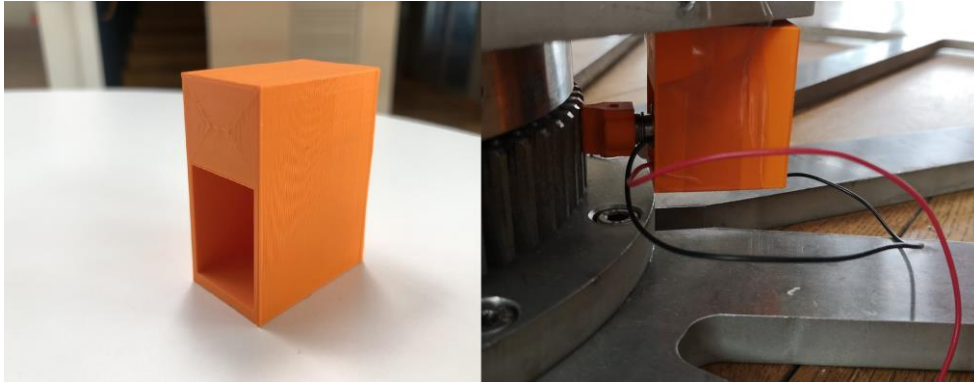
Brottgräns:	496 MPa
Sträckgräns	427 MPa
Elasticitetsmodul	147 GPa
Tål vatten	Ja
Går att maskinbearbeta	Ja

7.3 Inkapsling

Kapitlet behandlar framtagning och utveckling utav inkapslingen.

7.3.1 Inkapsling-koncept

För att säkerställa att solenoiden ej ska bli defekt p.g.a. fukt och vatten så utvecklades en inkapsling som omsluter solenoiden. Inkapslingen skall primärt skydda solenoiden, men även agera som en distans så att konstruktionen hamnar i rätt position för att kunna förankra kilen i drevet och uppnå låsning. Initialt konstruerades en övergriplig inkapsling med rätt dimensioner för att få solenoiden i önskvärd höjd. Figur 7.30 visar den först producerade prototypen ensamt till vänster och till höger visas inkapsling med solenoid och tillhörande kil uppsatt på drönarstativet. Inkapslingen sattes upp i syfte att studera passformen, geometrin och monteringsmöjligheterna.

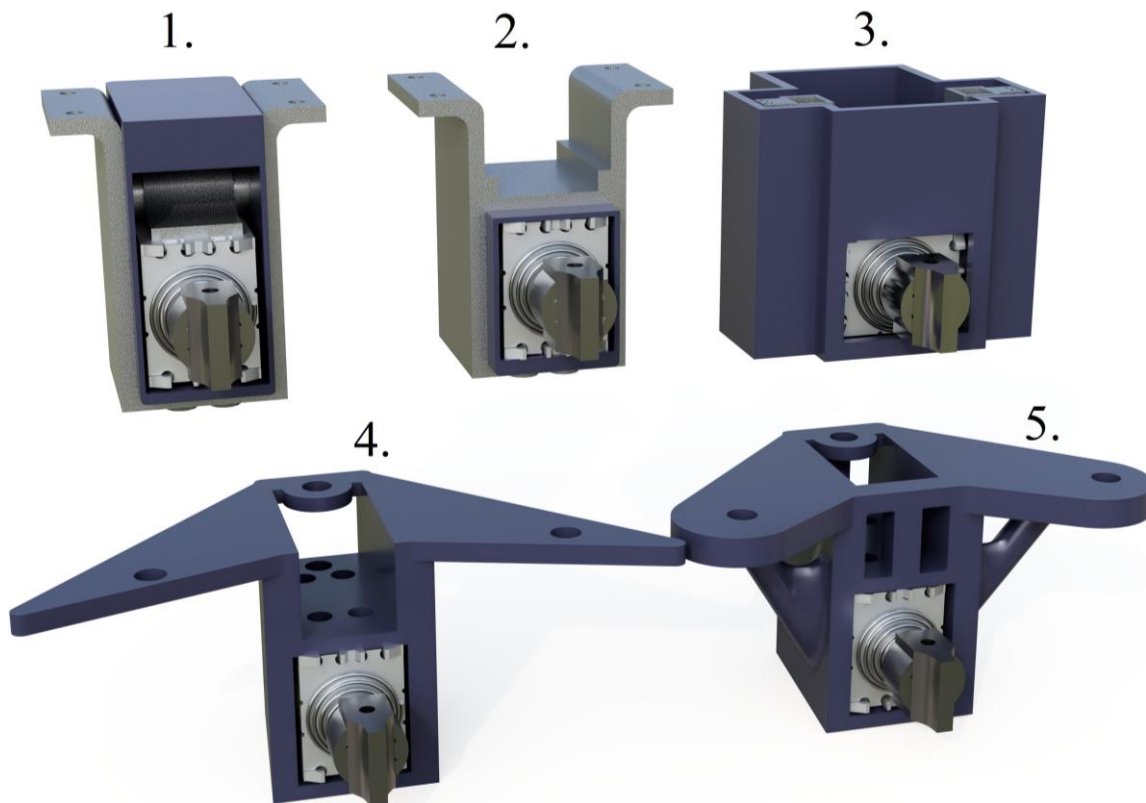


Figur 7.30: Första utkast av inkapsling.

Efter testmonteringen vidareutvecklades inkapslingen i syfte att:

- Bestämna hur den ska fästas i topplattan
- Konstruera en geometri som säkerställer dess hållfasthet
- Skydda solenoidens kablage samt undersöka kabeldragnings.
- Vidare säkerställa skydd mot fukt och vatten

I detta stadiet inleddes en mindre brainstorming-fas i syfte att undersöka de möjligheter som fanns, vilket resulterade i ett antal koncept. Bland koncepten behölls den övergripande geometrin som syns ovan i Figur 7.30 då den tillåter god förmåga för skydd mot vatten och fukt. Variationerna bland koncepten behandlade hållfastheten samt vilka möjligheter de gav för montage. Bland koncepten bestod montagelösningar såsom att fästa inkapslingen med stålplattor, bult som fästes genom topplattan och in i inkapslingen, vinkeljärn med mera. Figur 7.31 nedan visar övergripande de koncept som genererades.



Figur 7.31: Koncept på inkapsling och fästen.

Koncept 1 och 2 i figur 7.31 består av stålplattor som bockas och omfamnar ett tillhörande skal runt solenoiden. Dessa två koncept kräver en justering av den befintliga topplattan då fyra hål behöver borraras ut för att montage ska vara möjligt. Koncept 3 består av ett större skal som fästs med genomgående bult från ovansidan topplattan till undersidan av inkapslingen. Därmed kräver detta koncept även en justering av den befintliga topplattan i form av tre hål som behöver borraras ut. Slutligen på den nedre raden i figuren ovan syns koncept 4 som sedan vidareutvecklades till koncept 5. Dessa koncept består av en komponent som både tillåter inkapsling och infästning genom bult som fästs i ovansidan av topplattan och vidare genom hålen på vingarna. Hålen på vingarna är placerade i syfte att göra montage av inkapslingen enkelt då hålen sammanfaller med befintliga hål i topplattan.

Efter diskussion med Fredrik Falkman på SSRS sattes följande önskemål upp:

- Antalet komponenter ska helst minimeras
- Önskvärt att justeringar eller vidare bearbetningar av den befintliga topplattan minimeras om det inte krävs
- Önskvärt att minimera kostnader

Det koncept som beslutades att gå vidare var därmed koncept 5, som syns nedan i figur 7.32, då det består av en enda komponent och kräver minst bearbetning av topplattan för att monteras.

7.3.2 Vidareutveckling av valt inkapsling-koncept

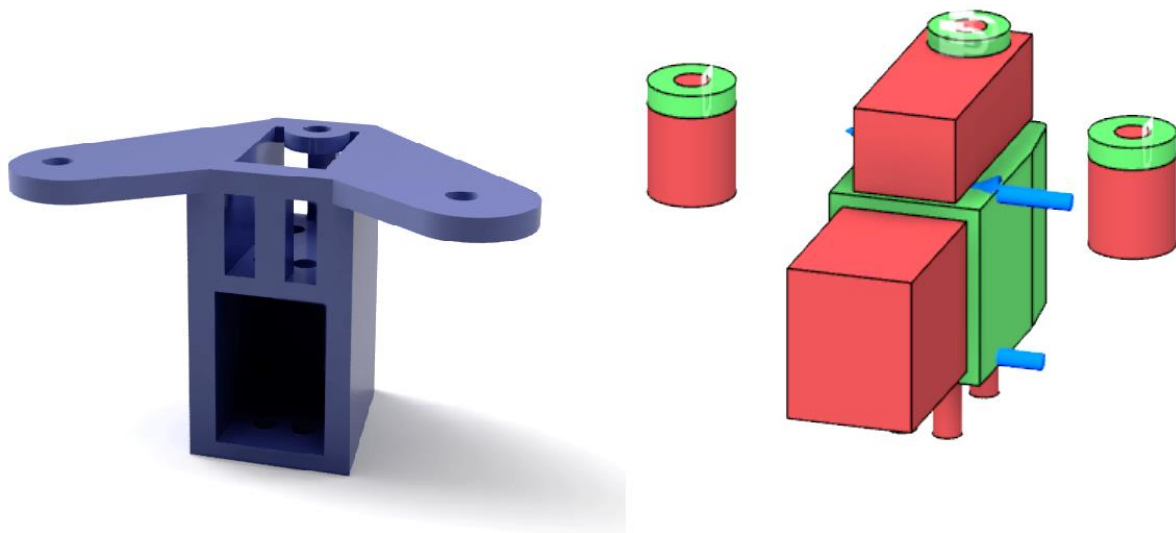


Figur 7.32: Valt koncept av inkapsling.

En FEM-analys utfördes i syfte att undersöka storleken av spänningarna hos inkapslingen samt var i konstruktionen de uppstår. I analysen användes samma lastfall som föregående beräkningar utgått från. Kraften på 1414N applicerades i de skruvhål som förbinder solenoid och inkapsling. De tre hål på ovansidan är fast inspända. Se Bilaga 9 för lastfall och FEM-analys på inkapslingen. Analysen visade på effektivspänningar (enl. von Mises) som uppgick till 63 MPa. Den maximala spänningen befann sig runt de hål på ovansidan där inkapslingen ska fästas i topplattan.

Med en maximal effektivspänning på 63 MPa (enl. von Mises) hade ett materialurval för inkapslingen kunnat utföras med samma kravprofil som för kilen (se avsnitt 7.2.10). Både SSRS och Infotiv erbjöd möjlighet för additiv tillverkning i flertalet plast-material. Därav undersöktes möjligheterna att tillverka inkapslingen i plast. Tillverkning i plast innebär en minimerad kostnad då det kan utföras internt. Att använda additiva tillverkningsmetoder innebär dessutom att geometrin inte behöver anpassas till samma grad.

Geometrin undersöktes vidare i syfte att minimera spänningskoncentrationerna hos inkapslingen. I detta stadiet nyttjades en funktion i CAD-programmet Autodesk Fusion 360 som heter Generative Design. Generative Design är en funktion som genererar en konstruktion med avseende på olika aspekter. Funktionen genererar geometrier i flertalet iterationer tills den minimerat eller maximerat de aspekter som söks utefter det lastfall som studeras. Generative design utgår från finita elementmetoden vid generering av konstruktioner. För inkapslingen så var syftet att hitta den geometri som ger upphov till de lägsta effektivspänningarna enl. von Mises. Delar av geometrin behövde behållas för att kunna fästas, se Figur 7.33 nedan för den geometri som behövs.



Figur 7.33: Geometri som behövs vid utveckling av inkapsling. Referensmodell vänster, Generative Design utformning höger.

Till höger i Figur 7.33 syns de geometrier som Generative Design måste behålla (grönt) samt de områden på geometrin där det inte får läggas till material d.v.s. tomrum (rött). Förutom dessa villkor, ställdes följande parametrar in vid skapandet av en Generative Design-konstruktion:

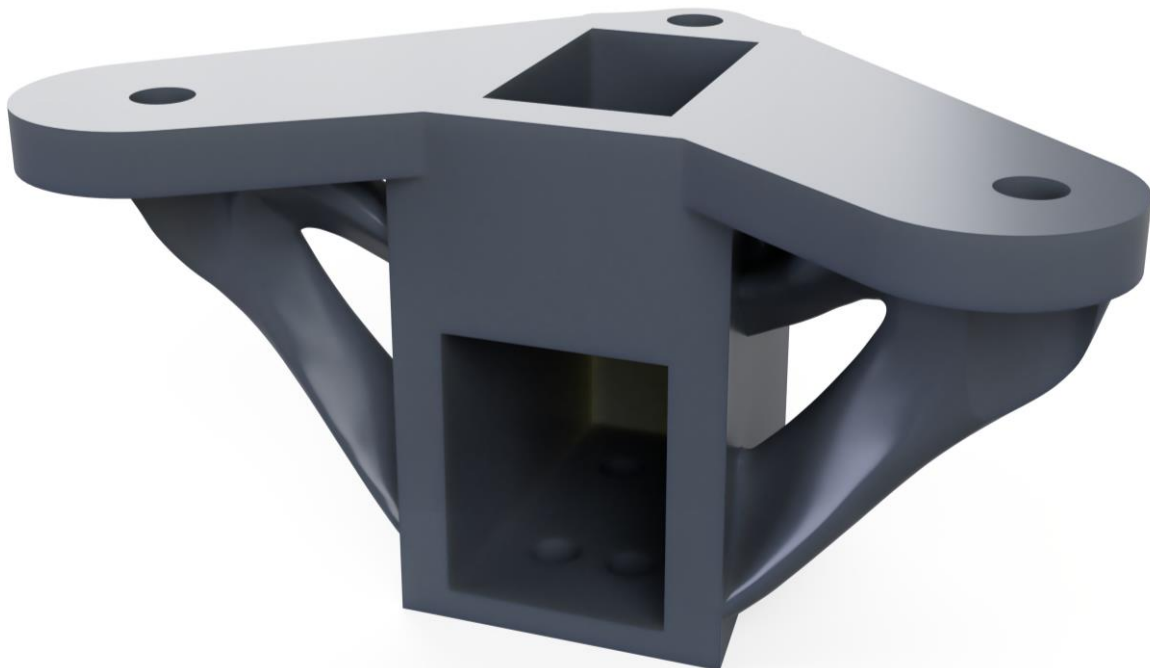
- Antagen sträckgräns hos plasten: 50 MPa
- Tillverkningsmetod: Additiv tillverkning
- Säkerhetsfaktor mot plasticering: 2,5
- Optimera med avseende på massa

Med de villkor som sattes på Generative Design för det givna lastfallet genererades en geometri som syns nedan i Figur 7.34.



Figur 7.34: Generative Design slutlig genererad modell.

Generative Design-konstruktionen utfördes initialt i syfte att presentera ett exempel på hur geometrin kan utformas, utifrån de krav som sattes på geometrin i samband med lastfallet. Geometrin som syns i figuren ovan kombinerades med den tidigare modell som presenterades i Figur 7.32 då den modellen ansågs ge god isolerande förmåga mot fukt och vattenstänk.

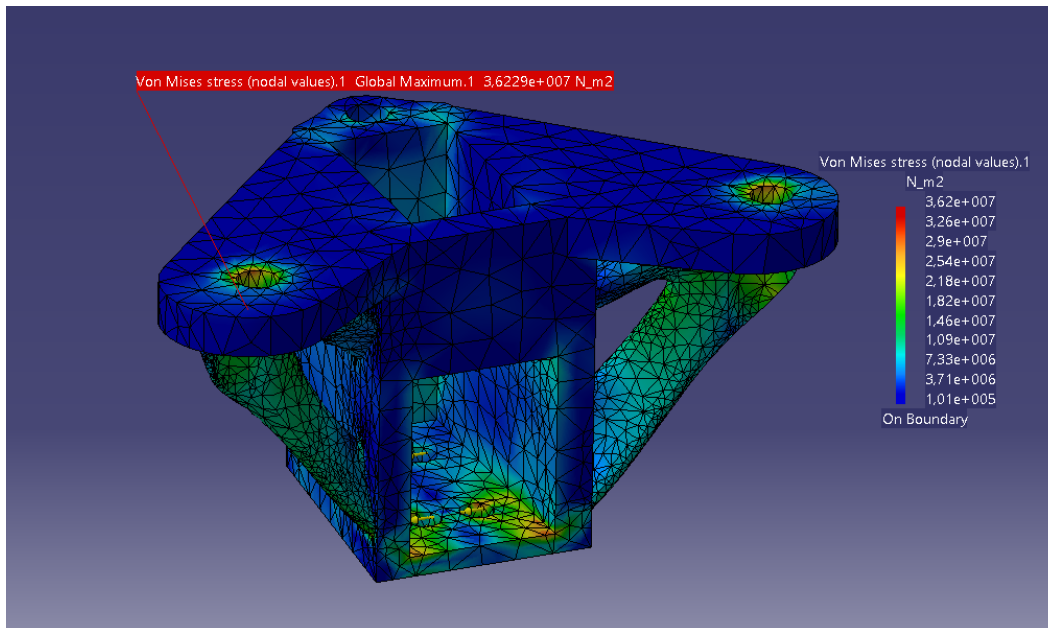


Figur 7.35: Slutlig geometri för inkapsling.

Figur 7.35 ovan visar den slutliga geometrin för inkapslingen, som består av en kombination av den utformning som konceptet hade från början samt den utformning som Generative Design producerade. Syftet med Generative Design var att minska den effektivspänning som uppstod i modellen initialt, därav utfördes en FEM-analys på den slutliga geometrin i syfte att kontrollera resultatet. Produktion i större volym var inte i åtanke vid utformning av inkapsling då den endast tillverkas för att sitta på den avfyringsplattform-prototyp som finns idag. Av

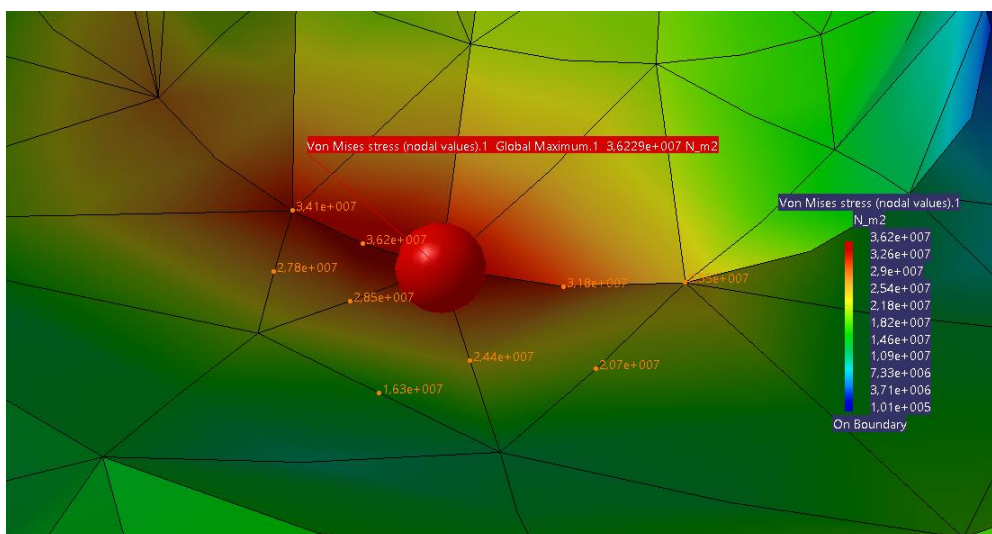
denna anledning tillsammans med att inkapslingen tillverkas genom additiv tillverkning begränsades inte geometrin till en enkel geometri.

7.3.3 FEM-analys på den slutliga inkapslingen



Figur 7.36: Isometrisk vy på FEM-analys av inkapsling.

Den maximala spänningskoncentrationen blev 36,2 MPa jämfört med 63 MPa som den initiala modellen (se Bilaga 9) gav under samma lastfall. Den maximala spänningen uppstod vid ett av hålen där inkapslingen fästs mot topplattan. Hålens inre yta är fast inspänd vilket ger upphov till höga effektivspänningar. Vidare så befinner sig maxvärdet även i ett 90-gradigt hörn, vilket också ger upphov till höga effektivspänningar i en FEM-analys men inte i praktiken. Anledningen beror på att perfekta 90-gradiga hörn inte existerar i verkligheten. Vid analys av koncentrationerna runt hålet, kontrollerades de spänningar som uppstod en och två noder ut från den maximala spänningen, vilket visade att spänningen sjönk till ca. hälften av maxvärdet två noder ut. Se Figur 7.37 nedan för den maximala spänningen med tillhörande grann-noder.



Figur 7.37: Inzoomad vy på den högsta spänningskoncentration som uppstod.

Vidare så visade FEM-analysen på den slutliga modellen lägre spänningar generellt över hela geometrin jämfört med föregående modell som syns i Figur 7.32 (se Bilaga 9 för FEM-analys av konceptmodell).

7.3.4 Val av material och tillverkningsmetod för inkapslingen

Tabell 15: Material som fanns tillgängliga för 3D-printing samt dess egenskaper

Material	Tillverkningsmetod	Böjsträckgräns	Tål saltvatten	Kommentar
PLA	FFF	80 - 100	Acceptabelt	Data taget från (Granta Design Limited, 2020)
ABS	FFF	40 - 80	Utmärkt	Data taget från (Granta Design Limited, 2020)
Tough 2000	SLA	65	Utmärkt	ABS liknande egenskaper. Data taget från (formlabs, 2021)
Durable	SLA	28	Utmärkt	Data taget från (formlabs, 2021)
Elastic	SLA	Data ej tillgänglig	Utmärkt	Data taget från (formlabs, 2021)

FFF = Fused Filament Fabrication

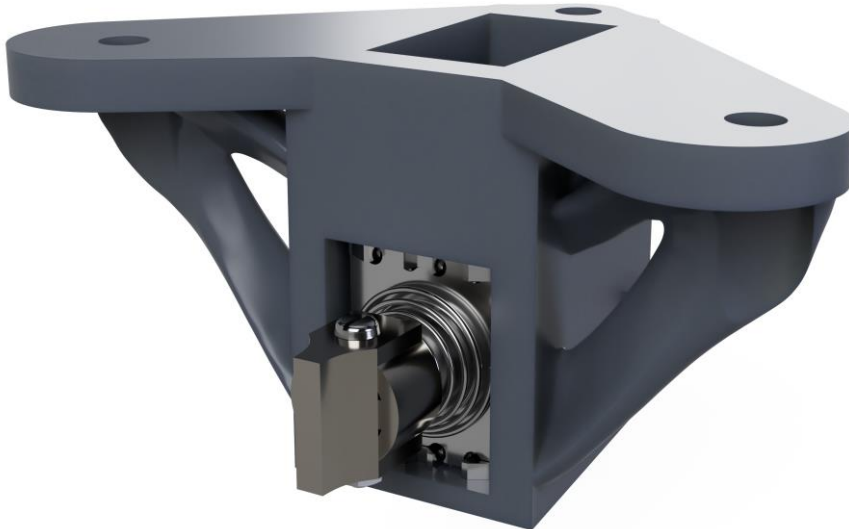
SLA = Stereolithography Apparatus

Med modellen justerad undersöktes de material som fanns tillgängliga för 3D-skrivning, se Tabell 15 för en sammanställning av de tillgängliga materialen. Ett krav på materialet var att det skulle tåla saltvatten, med mål att maximera böjsträckgränsen. Materialet Tough2000 var det som valdes då det innehar goda mekaniska egenskaper, tål saltvatten samt att det printas i en SLA-skrivare som hade bättre toleranser än den tillgängliga FFF-printern.

8 Slutkonstruktion

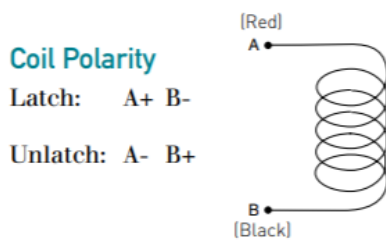
Kapitlet visar en sammanställning av slutkonstruktionen, montage samt kravuppfyllelse.

8.1 Låsmekanismen



Figur 8.1: Låsmekanism - slutgiltig konstruktion.

Den slutliga låsmekanism-konstruktionen består av en kil, solenoid av modellen Ledex B14HD-L-254-B-4 och en inkapsling (se Figur 8.1). Inkapslingen fästs i toppplattan. Solenoiden fästs i inkapslingen genom 4 skruvar på solenoidens ovan- och undersida, totalt 8 skruvar. Kilen fästs längst ut på solenoidens axel och låses fast genom ett skruvförband.



Figur 8.2: Strömföring av solenoiden. (med tillåtelse av Johnson Electric).

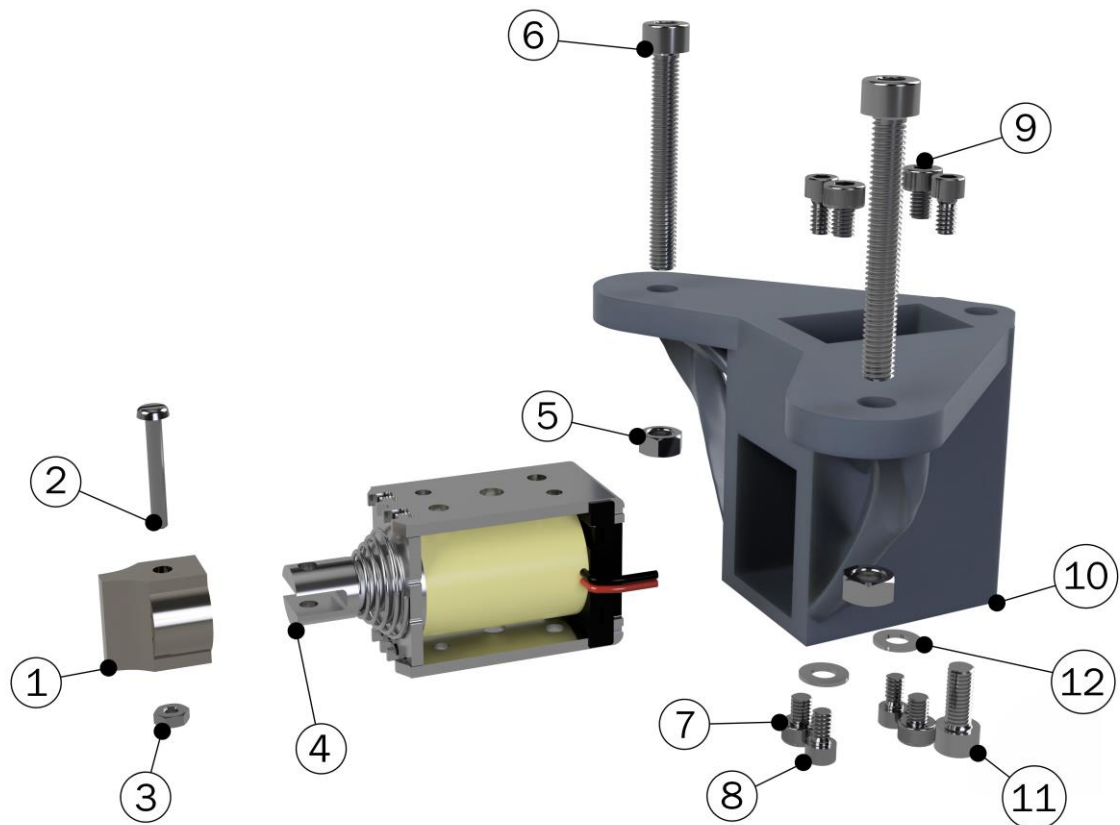
Kilen kan befinna sig i två olika lägen, som bestäms av solenoidaxeln. Dessa lägen är utfällt och infällt läge. I utfällt läge befinner sig kilen mellan två kuggar på bottendrevet. Avfyrningsplattformen är då låst från att rotera. För att förflytta axeln till infällt läge och därmed låsa upp avfyrningsplattformen, skickas en negativ signal (se Figur 8.2). För att förflytta kilen till det låsta läget igen skickas en positiv signal. Det krävs endast ström för att byta läge på kilen men ingen ström för att stanna i sitt läge. På detta vis blir strömförbrukningen minimal hos låsmekanismen. Spänningen som solenoiden kräver är 24 volt och precis som beskrevs i avsnitt 7.1.5 så ansågs den lämpliga strömstyrkan vara 2,3 Ampere.



Figur 8.3: låsmekanismen sett ovanifrån.

Kablarna som solenoiden strömförs med går genom det hål som syns i mitten i Figur 8.3 ovan. Kablarna går sedan genom ett hål i plattan ovanför bottenrevet och ett hål i elboxen som sitter fast ovanför plattan. På så sätt kan kablarna inte utsättas för vatten. Se Bilaga 15 för ritning på den sammansatta låsmekanismen.

8.2 Montering av låsmekanism



Figur 8.4: Sprängd vy på låsmekanism med utsatta siffror på de olika delarna.

Tabell 16: De olika delarna på den sprängda vyn.

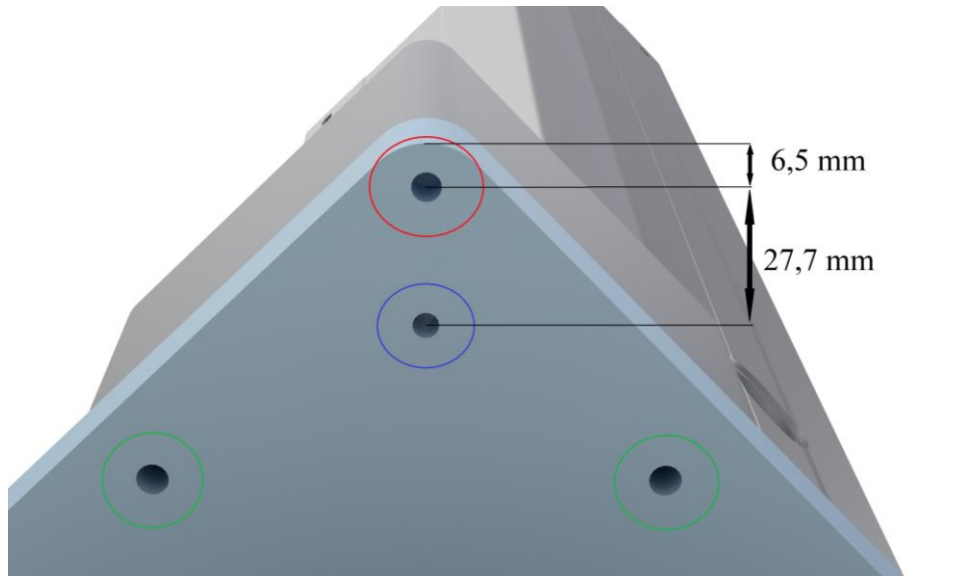
Komponent	Komponent-nummer	Kvantitet
Kil	1	1
M2.5x18 skruv	2	1
M2.5 mutter	3	1
Ledex B14HD-L-254-B-4	4	1
M5 mutter	5	2
M5x40 skruv	6	2
M4x5	7	2
6-32 skruv (1/4 tum)	8	4
M4x6	9	2
Inkapsling	10	1
M5x12 skruv	11	1
M4 bricka	12	2

Figur 8.4 visar det sätt som låsmekanismen monteras på och Tabell 16 visar de olika delarna som presenteras i den sprängda vyn. Nummer 6 och 9 är de skruvar som fästs i topplattan. Solenoiden har totalt åtta gängade hål som skruvar fästs i.



Figur 8.5: Infästning av låsmekanism i topplattan och elboxen sedd från ovan.

Inkapslingen fästs i det hörn som elboxen befinner sig i (se Figur 8.5). Anledningen är att det redan finns två befintliga hål här som elboxen fästs i. Dessa två hål utnyttjas av inkapslingen. Två M5 x 40 skruvar med tillhörande muttrar används för de redan existerande hålen och en M5 x 12 skruv används längst bak på inkapslingen.



Figur 8.6 Krävda modifieringar på topplattan.

För att fästa inkapslingen krävs två modifieringar av topplattan. Dessa justeringar illustreras i Figur 8.6 ovan. De två hål som är markerade med gröna cirklar är de hål som redan existerar. De justeringar på plattan som görs är de hål som är markerade med en röd och blå cirkel. Hålet markerat med en röd cirkel är ett 10 mm djupt hål med M5 gänga och hålet markerat med en blå cirkel är ett hål som är genomgående där kablarna förs genom och vidare in i elboxen. Dess diameter är 4 mm.

8.3 Tillverkningsmetoder och material

Låsmekanismens kil består utav materialet Stainless Steel 420 (The ExOne Company, 2014) och tillverkningsmetoden är binder jetting via företaget Shapeways. Inkapslingen tillverkas av ett ABS-liknande material med namnet Tough 2000 (Formlabs, 2021). Dess tillverkningsmetod är SLA och sker genom Sjöräddningssällskapets egna 3D-skrivare. Solenoiden tillverkas av företaget Johnson Electric. Samtliga skruvar, muttrar och brickor består av rostfritt stål.

8.4 Kravuppfyllelse

Krav

- Lösningen ska hindra rotation hos stativet vid starka vindar

Ja. Om det blåser med 30 m/s på enbart en sida av avfyrningsplattformen uppstår en kraft på låsmekanismen på omkring 500 N enligt handberäkningar. Denna belastning klarar låsmekanismen av enligt FEM-beräkningar.

- Ska inte haverera då drönarstativet belastas för ett vridmoment på 150,6 Nm

Ja. Enligt FEM- och handberäkningar klarar låsmekanismen ett vridmoment på 150,6 Nm. Belastning på låsmekanismen blir då 1414 N. Säkerhetsfaktorn mot plasticering i kilen blir ungefär 8,5. I inkapslingen blir den 1,8.

- Lösningen måste få plats innanför stativets yttre skal enligt Bilaga 1

Ja. Hela låsmekanismen är innanför de gränser som definieras i Bilaga 1. Kravet är verifierat genom CAD men även genom fysiska tester på drönarstativet med 3D-utskrivna prototyper.

- Lösningen ska vara korrosionsresistent mot söt- och saltvatten samt fukt.

Ja. Materialen som valts för kilen och inkapslingen tål exponering för saltvatten. Solenoiden skyddas mot exponering genom inkapslingen.

- Elektroniska komponenter ska vara skyddade från vatten och fukt för att förhindra kortslutning.

Ja. Solenoidens spole skyddas mot exponering av saltvatten genom inkapslingen. Kablarna på solenoiden är omslutna med plast och kommer därmed inte i kontakt med vatten.

- Vinkeln mellan de lägen som mekanismen kan låsa i skall vara <10 grader

Ja. Kilen kan låsa i så många lägen som det finns kuggar på bottenrevet, vilket är 70 stycken. Därmed är vinkeln mellan två lägen $\frac{360}{70} \approx 5$ grader.

Önskemål:

- Lösningen ska tillåta implementering av sensorer som talar om:
 - När låset är upplåst/låst
 - Stativets vinkelposition

Delvis. Enligt Quentin Demory på SSRS kan en så kallad mikrobrytare sättas in för att avgöra när låset är upplåst eller låst. Det går dock inte att verifiera om lösningen tillåter en implementering av sensorer som talar om stativets vinkelposition. Enligt Quentin Demory går det att bestämma stativets vinkelposition på annat vis än sensorer.

- Mekanisk begränsning för rotation (kolonen skall ej kunna rotera mer än 1–2 varv)

Nej. Det finns ingen mekanisk begränsning för rotationen. Däremot har plats lämnats för att en sådan typ av begränsare ska kunna sättas in. Detta gjordes genom att endast utnyttja övre halvan av bottenrevet att låsa emot.

- Låsmekanismen bör vara konstruerad så att den låsande funktionen låser upp vid höga belastningar

Nej. Ett försök gjordes genom att runda av hörn på kilen och på så sätt få kilen att tryckas in mot solenoiden när kilen belastas för högt radiellt. På grund av felkällorna i testresultatet valdes denna typ av kil att inte användas. Resurser i form av en extra kil som kan maskinbearbetas till önskad geometri lämnas till framtida vidareutveckling.

- Lösning ska ej vara strömbelagd när lås är aktiverat

Ja. Solenoidens axel är obelastad både i utfällt (låst) och infällt (upplåst) läge. Den behöver endast ström för att byta position. Strömförbrukningen blir därmed minimal.

9 Diskussion

Nedan följer reflektioner kring arbetets olika delar samt möjligheter till förbättring.

9.1 Konceptgenerering

För att generera koncept användes brainstorming och morfologisk matris. Mer fokus bör ha lagts på att undersöka mer noggrant vilka områden som kunde utnyttjas och inte. Det visade sig att vissa koncept inte kunde realiseras på grund av den ytan som de skulle användas på inte kunde användas. Kontakten med Fredrik Falkman på Sjöräddningssällskapet bör därför varit mer frekvent vid detta stadiet i processen. I övrigt gjordes konceptgenerering på ett noggrant och resulterade i flera koncept som uppfyllde kraven.

9.2 Konceptutvärdering

Konceptutvärderingen gjordes genom att använda elimineringsmatris, Pugh-matris samt slutlig jämförelse av två koncept. Efter Pugh-matrisen återstod två koncept, där båda ansågs vara möjliga att förverkliga. Båda koncepten vägdes därför mot varandra genom att ställa upp för och nackdelar. Redan vid elimineringsmatrisen borde vi tagit hjälp från och fört diskussion med antingen Fredrik Falkman eller handledare på Infotiv för att på ett mer objektivet sätt utvärdera koncepten. Även om vi försökte utvärdera på ett så objektivet sätt som möjligt, är det svårt att inte bedöma koncept med någon form av subjektivitet.

9.3 Vidareutveckling av koncept

Vidareutvecklingen av konceptet delades in i tre steg. Först bestämma lämplig solenoid, sedan utforma en kil som ska sitta på solenoiden och slutligen skapa en inkapsling till solenoiden. Vi anser att denna arbetsgång är lämplig och logisk och hade varit svårt att göra på något annat vis. Att till exempel utforma kilen först hade inte gått då vi inte hade vetat hur fästet skulle se ut och att utveckla inkapslingen först hade också varit svårt. Tidmässigt bör dock mer tid lagts på att vidareutveckla kilen ytterligare, snarare än att lägga allt fokus på att verifiera att kilen håller. Mer fokus bör dessutom ha lagts på att testa olika typer av kilar. Den modifiering som bör ha gjorts på kilen är att runda kilens spets till den grad att låsmekanismen automatiskt låser upp vid hög belastning. Ett försök gjordes men kunde inte slutföras på grund av tidsbrist.

Att tillverka inkapslingen i plasten ”Tough 2000” gav utmaningar. Dess mekaniska egenskaper är betydligt sämre än exempelvis stål. Eftersom detta material valdes lades mycket tid på att utforma den på ett sådant sätt att den håller. Fördelen är dock att tillverkningen sker nästan automatiskt då det skedde via den additiva tillverkningsmetoden SLA. Att tillverka en inkapsling i stål hade inte krävt lika mycket tid att utforma med hållfasthet i fokus men desto mer tid att tillverka. Trots svagare material blev det en produkt som håller för de påfrestningar avfyrningsplattformen förväntas utsättas för.

Mer tid bör ha lagts på att undersöka möjligheten i att integrera en sensor i låsmekanismen som analyserar om axeln är utfälld eller infälld. Totalt sett anser vi att låsmekanismen är en bra lösning men att tiden vid utvecklingen kunde ha fördelats på ett annorlunda sätt.

10 Slutsats

Nedan följer slutsatser kring verifiering av frågeställningarna samt rekommendationer till fortsatt arbete

10.1 Verifiering av frågeställningar

- Hur kan rotation hämmas hos stativet utan en kontinuerlig strömförsörjning?

Rotation kan hämmas genom en broms eller mekaniskt lås. Konstruktionen som har skapats består av ett fjäderbelastat lås som inte kräver ström i låst läge och hämmar rotation på önskat sätt. Låsfunktionen uppfylls genom en kil, som kilas fast mellan två kuggar på drönarstativets bottendrev.

- Hur ska komponenter klara av den fuktiga miljön?

Two metoder framkom för att få låsmekanismen att klara av den fuktiga miljön.

1. *Omslut de komponenter som inte tål fuktig miljö med material som gör det.*
2. *Använd material som klarar av fuktig miljö*

Solenoiden som låsmekanismen består av, skyddas genom inkapslingen, vars material tål att exponeras för fuktig miljö. På så sätt klarar låsmekanismen av den miljö som den är tänkt att finna sig i.

- Hur ska konstruktionen utformas för att kunna integreras med befintliga funktioner och komponenter hos avfyrningsplattformen?

Genom dialog med Quentin Demory på Sjöräddningssällskapet verifierades att solenoiden som är den enda elektroniska komponenten, fungerar att integrera i avfyrningsplattformens system. Integrering består av att använda ett mikrokontrollerkort som styr signalerna till solenoiden.

- Hur ska konstruktionen hålla för de yttre belastningar som avfyrningsplattformen kan utsättas för?

Genom att använda material med goda mekaniska egenskaper samt utföra hållfasthetsberäkningar vid skapandet av konstruktionen. Låsmekanismen är dimensionerad utefter det värsta fallet som framkom vid uppskattning av belastningar i avsnitt 4.3.

10.2 Rekommendationer till fortsatt arbete

Rekommendationerna som tas fram i avsnittet rör låsmekanismen och potentiella förbättringar på avfyrningsplattformen.

- Konstruera om kilen på solenoiden till den grad att låsmekanismen trycks in i stället för att plasticera då belastningen på den blir tillräckligt hög.
- Undersöka möjligheten om det går att byta ut elmotorn mot en komponent med inbyggt lås. Att byta ut elmotorn skulle vara kostsamt och tidskrävande men möjligen mer lämpligt för en framtida konstruktion. Låsmekanismen skulle då inte behöva användas.
- Säkerhetsställa att kåpan som omsluter drönarstativet är helt tätt och därmed inte kan släppa in vatten. Det finns idag ingen verifiering på att denna kåpa samt undersida av drönarstativet är säkert mot vatten. Då kablar och exempelvis elmotorn sitter under kåpan bör ytterligare fokus lägga på att säkerhetsställa kåpans täthet.

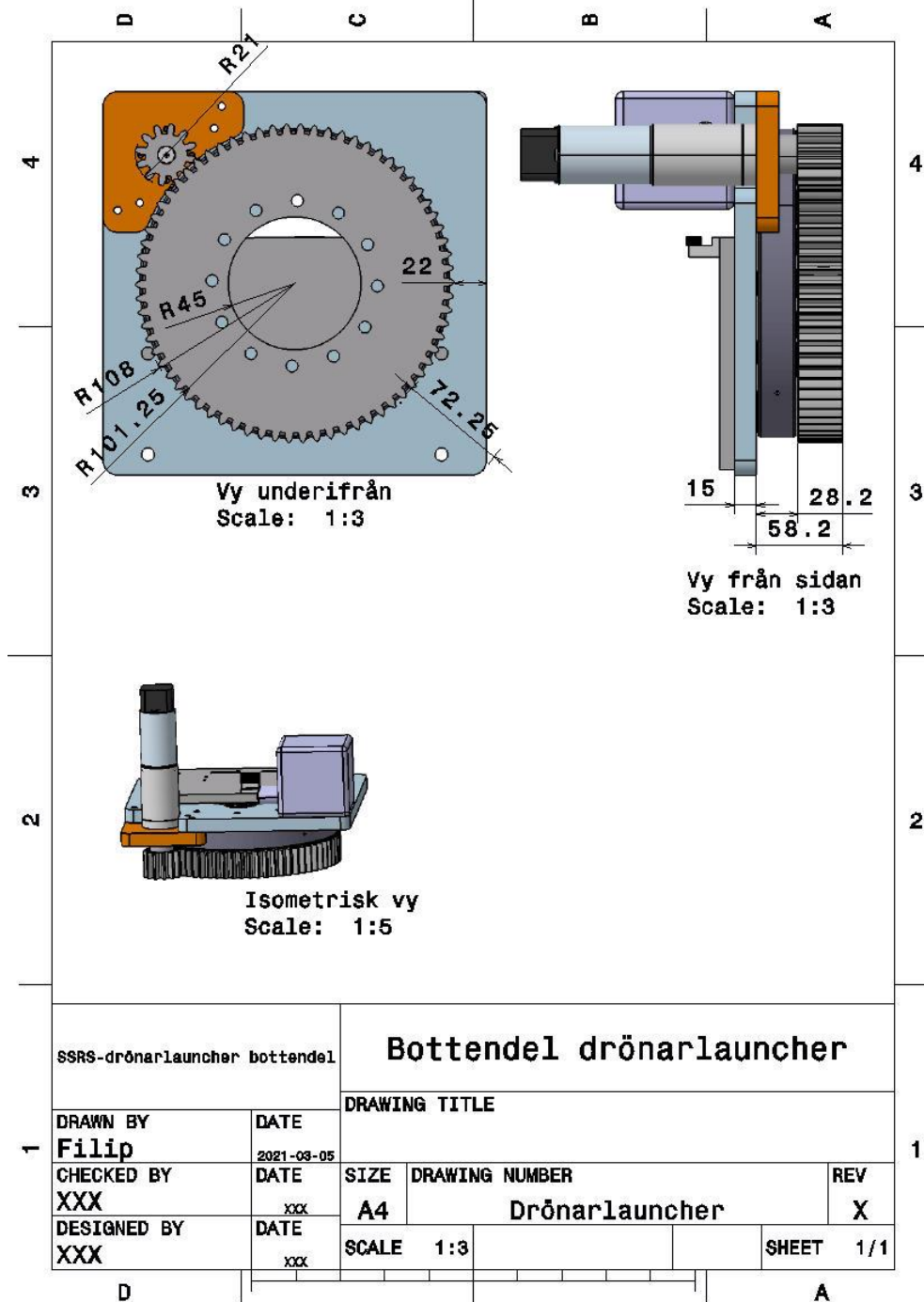
- Undersöka möjligheter för produktion i större volym. Avfyrningsplattformen som idag är en prototyp är avancerad med flera funktioner och geometrier. För att avfyrningsplattformen ska kunna tillverkas i större skala bör samtliga geometrier och konstruktioner hos avfyrningsplattformen ses över. Vissa saker kan potentiellt förenklas eller tas bort utan att avfyrningsplattformens huvudfunktion påverkas. Låsmekanismens geometrier kan också eventuellt förenklas i form av enklare geometri på inkapslingen och kilen.

Referenser

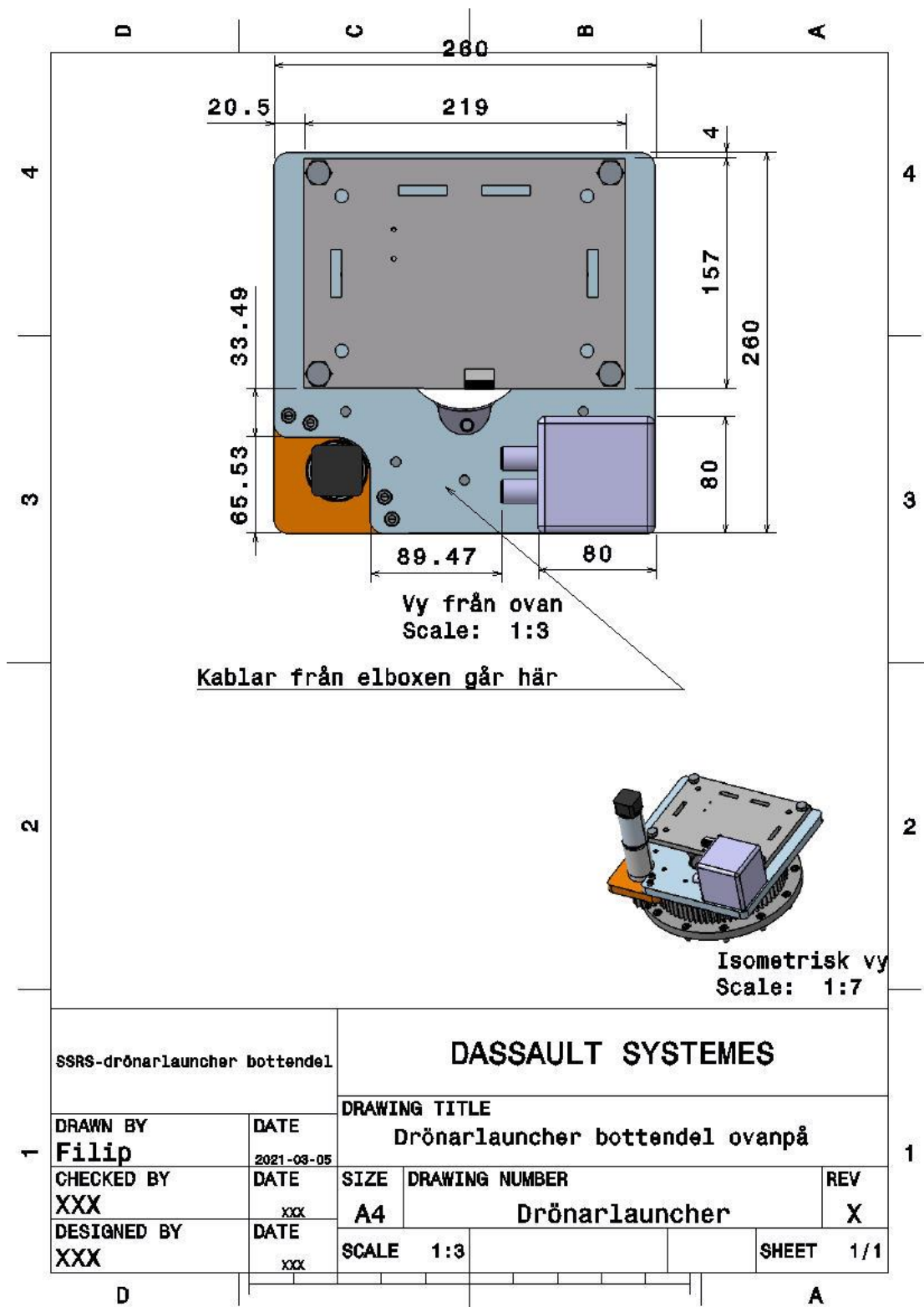
- ASSA Abloy. (u.å.). *ABLOY solenoidlås*. Hämtad 11 mars, 2021, från <https://www.assaabloyopeningsolutions.se/Other/assa-se/foretaget/filer/produktblad/elektrisk-lasning/M1371.0708-ASSA-Eltryckeslas-Abloy-512-513-Svensk.pdf>
- Beltrá, D. V. (2018). *Design and mechatronic integration of a drone launcher*. <https://hdl.handle.net/20.500.12380/256061>
- Dahlberg, T. (2001). *Formelsamling i hållfasthetslära* (3rd ed.). Studentlitteratur.
- Das, B., & Wang, Y. (2004). Isometric Pull-Push Strengths in Workspace: 1. Strength Profiles. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 10(1), 43–58. <https://doi.org/10.1080/10803548.2004.11076594>
- formlabs. (2021). *formlabs - Materials Library*. <https://formlabs-media.formlabs.com/datasheets/1901266-TDS-ENUS-0.pdf>
- Granta Design Limited. (2020). *Granta Edupack Software*.
- Johannesson, H., Persson, J.-G., & Pettersson, D. (2004a). Produktutveckling - effektiva metoder för konstruktion och design. In *Produktutveckling - effektiva metoder för konstruktion och design* (2nd ed.). Liber AB.
- Johannesson, H., Persson, J.-G., & Pettersson, D. (2004b). Produktutveckling - effektiva metoder för konstruktion och design. In *Produktutveckling - effektiva metoder för konstruktion och design*. Liber AB.
- Johnson Electric. (u.å.). Solenoids. *Resources for Engineers*. <https://www.johnsonelectric.com/-/media/files/resources-for-engineers/solenoids/solenoids-glossary.ashx?v=ff7d872c3d8d43b988b888f4d481d07e>
- Maxemow, S. (2009). That's a Drag: The Effects of Drag Forces. *Undergraduate Journal of Mathematical Modeling: One + Two*, 2(1). <https://doi.org/10.5038/2326-3652.2.1.4>
- Mägi, M., Melkersson, K., & Evertsson, M. (2018). *Maskinelement*. Studentlitteratur.
- Sannerholm, A., & Markovic, N. (2020). *Infästning och inklädnad av avfyrningstorn*. <https://hdl.handle.net/20.500.12380/301595>
- Sjöräddningssällskapet. (2021). *Frivilliga sjöräddare sedan 1907*. <https://www.sjoraddning.se/om-oss>
- The ExOne Company. (2014). *420 Stainless Steel Infiltrated with Bronze*. <https://www.shapeways.com/wp-content/uploads/sites/3/2020/12/Material-Data-Sheet-Steel.pdf>
- Ugural, A. C., & Fenster, S. K. (2020). *Advanced Mechanics of Materials and Applied Elasticity*.

11 Bilagor

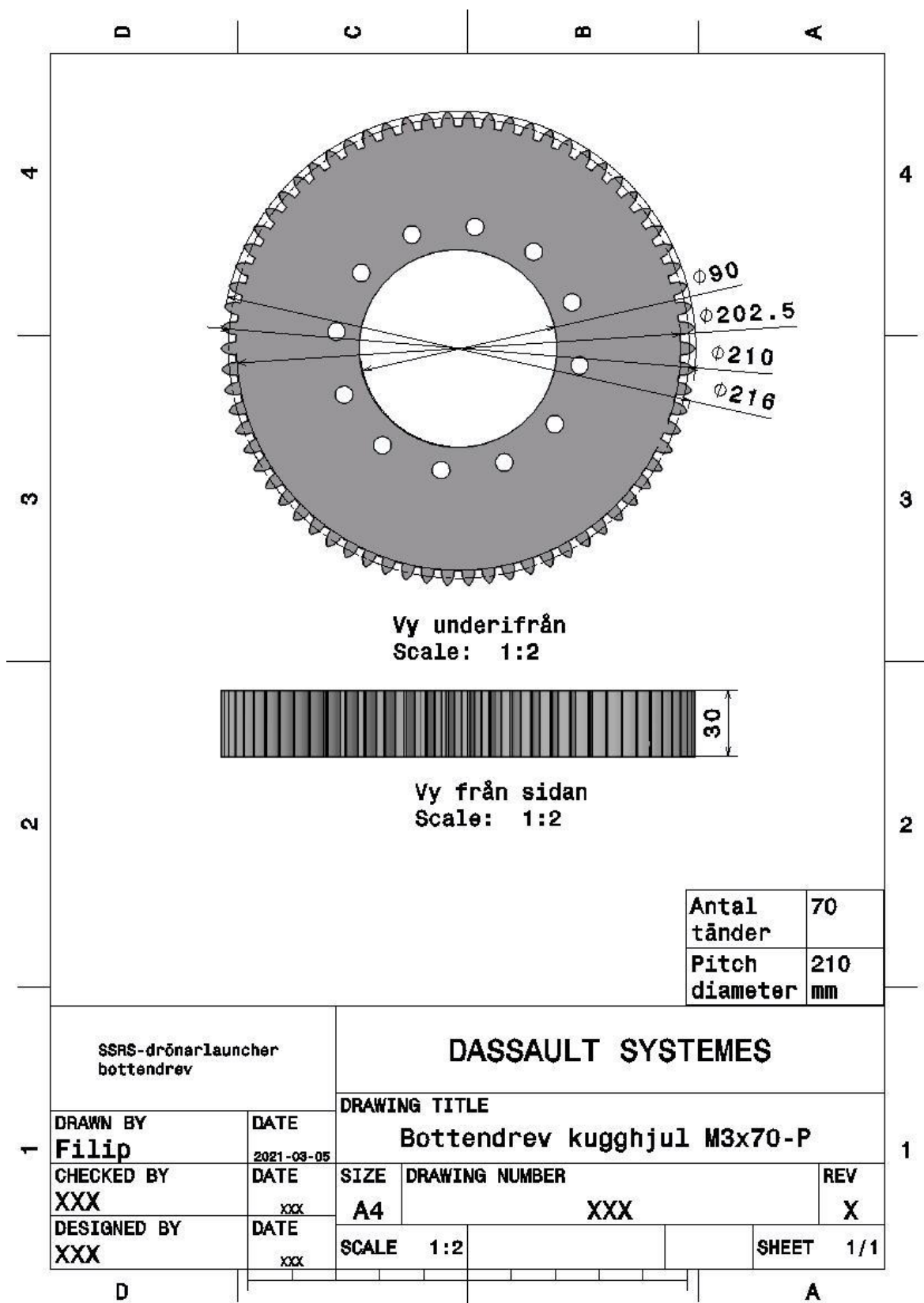
Bilaga 1: Ritningar på befintliga komponenter



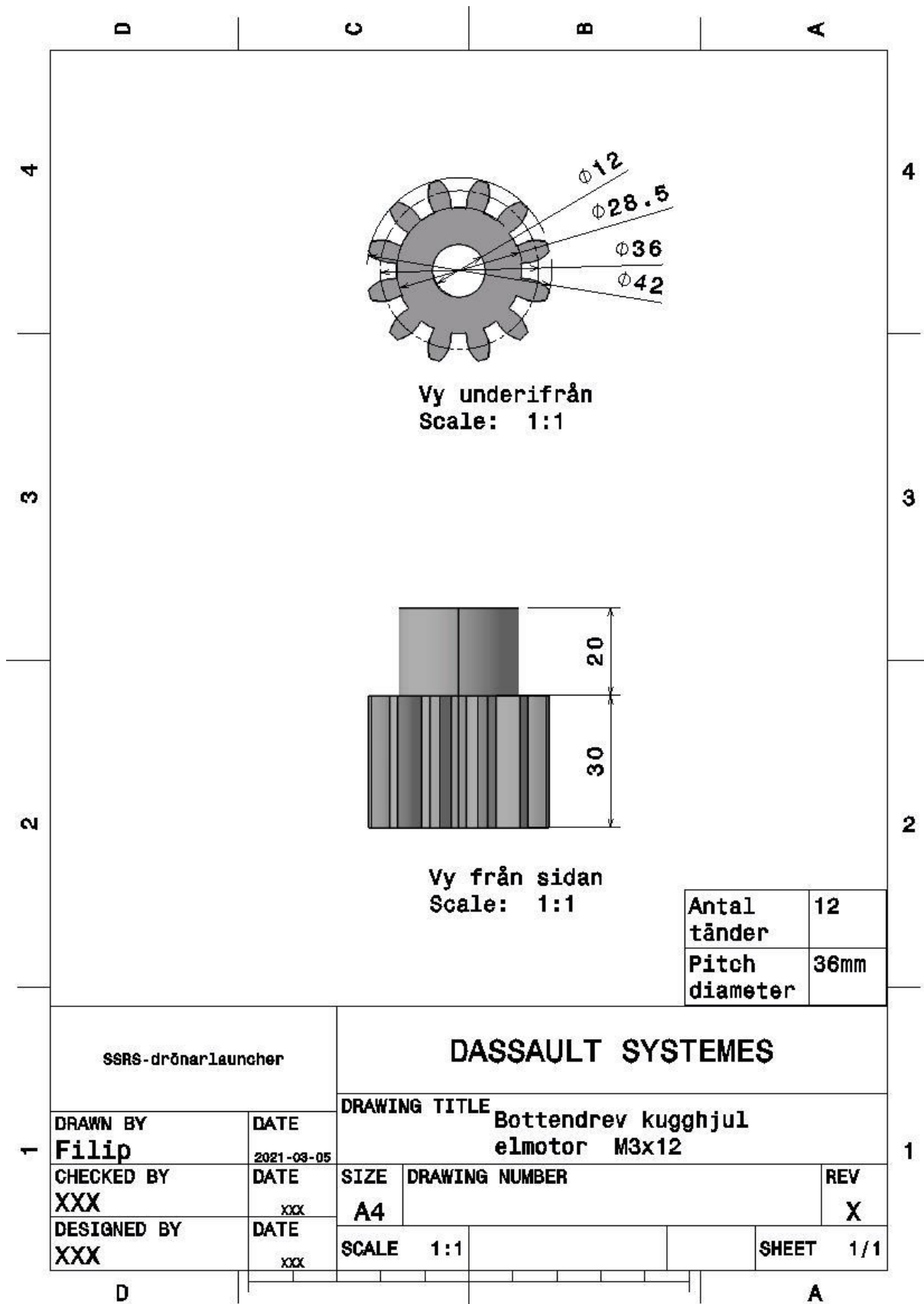
Figur 11.1: Ritning på drönarstativets bottendel som visar tillgängligt område på undersidan (egen ritning).



Figur 11.2: Ritning på drönanstativets bottendel som visar tillgängligt område på ovensidan (egen ritning)



Figur 11.3: Ritning på bottendrevet, M3x70-P (egen ritning).



Figur 11.4: Ritning på elmotorns kugghjul, M3x12 (egen ritning).

Bilaga 2 Konzeptutvärdering

Tabell 17: Pugh-matris med koncept B2 som referens.

Kriterium	Alternativ					
	B1	B2	B6	B8	B9	M2
Ej strömbelagd i låst läge	0	Referens	0	0	0	0
Isolera elektriska komponenter från vatten och fukt	0		0	0	0	0
Tillåta implementering av sensorer	0		0	0	+	0
Tillåta implementering av rotations-begränsare	-		0	0	+	0
Lösningens storlek skall minimeras	+		-	+	+	-
Lösning ska stå emot vindens belastningar	+		-	-	-	-
Vinkel mellan låsta lägen <10 grader	-		-	0	0	-
Summa	0		0	-3	0	2
Rangordning	2	2	3	2	1	3

Tabell 18: Pugh-matris med koncept B6 som referens.

Kriterium	Alternativ					
	B1	B2	B6	B8	B9	M2
Ej strömbelagd i låst läge	0	0	Referens	0	0	0
Isolera elektriska komponenter från vatten och fukt	0	0		0	+	0
Tillåta implementering av sensorer	0	0		0	+	0
Tillåta implementering av rotations-begränsare	-	0		+	+	0
Lösningens storlek skall minimeras	+	+		+	+	-
Lösning ska stå emot vindens belastningar	+	+		+	+	0
Vinkel mellan låsta lägen <10 grader	0	+		+	+	+
Summa	1	3		0	4	6
Rangordning	4	3	5	2	1	5

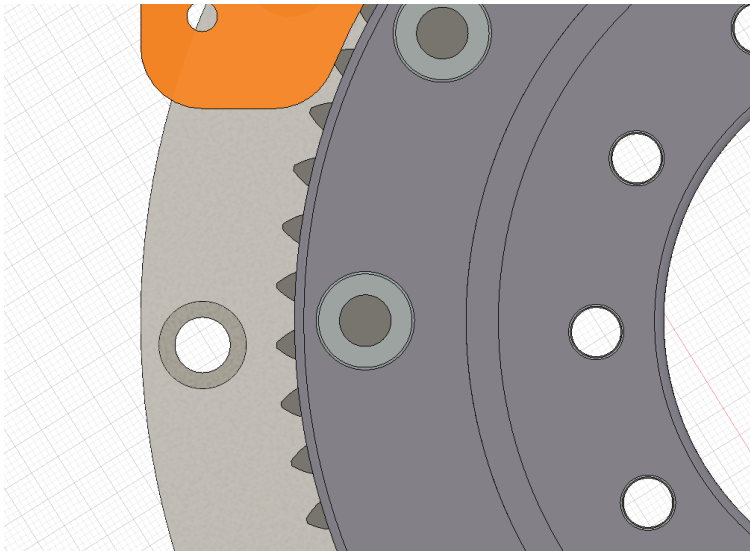
Tabell 19: Pugh-matris med koncept B8 som referens.

Kriterium	B1	B2	B6	B8	B9	M2
Ej strömbelagd i låst läge	0	0	0	Referens	0	0
Isolera elektriska komponenter från vatten och fukt	0	0	0		+	0
Tillåta implementering av sensorer	0	0	0		0	-
Tillåta implementering av rotations-begränsare	-	0	-		-	0
Lösningens storlek skall minimeras	0	-	-		0	-
Lösning ska stå emot vindens belastningar	+	+	0		0	-
Vinkel mellan låsta lägen <10 grader	-	0	-		0	0
Summa	-1	0	-3		0	0
Rangordning	2	1	3	1	1	3

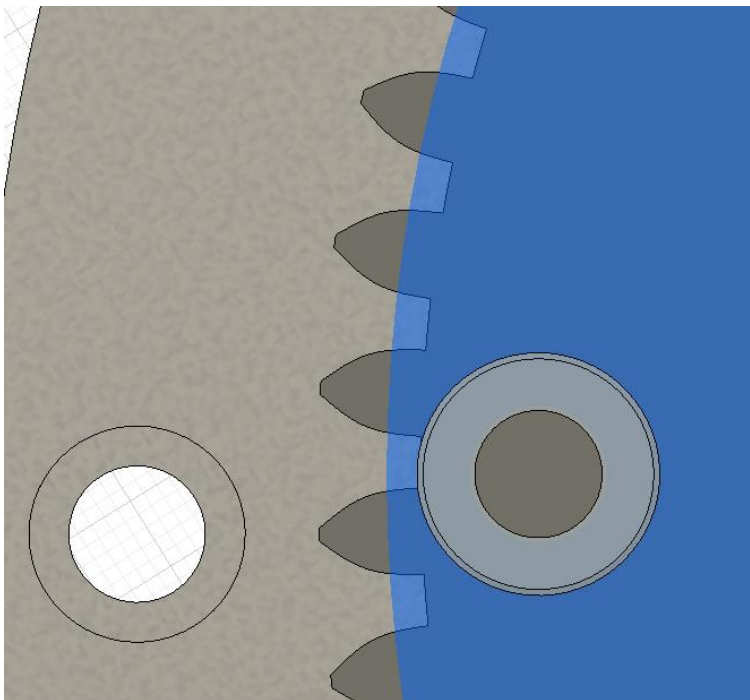
Tabell 20: Pugh-matris med koncept B9 som referens.

Kriterium	Alternativ					
	B1	B2	B6	B8	B9	M2
Ej strömbelagd i låst läge	0	0	0	0	Referens	0
Isolera elektriska komponenter från vatten och fukt	-	0	-	-		-
Tillåta implementering av sensorer	-	-	-	0		-
Tillåta implementering av rotations-begränsare	-	-	-	+		0
Lösningens storlek skall minimeras	0	-	-	0		-
Lösning ska stå emot vindens belastningar	+	+	-	0		-
Vinkel mellan låsta lägen <10 grader	-	0	-	0		0
Summa	-3	-2	-6	0		0
Rangordning	3	2	5	1	1	4

Bilaga 3: Geometrianalys av bottendrev och rullager

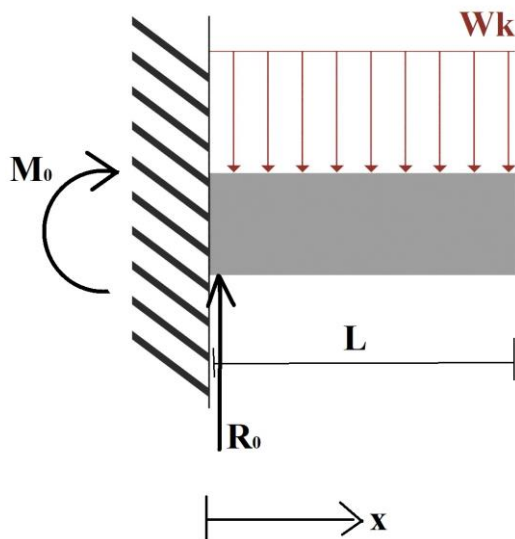


Figur 11.5: Bottendrevet sett från ovan med kullager ovanför



Figur 11.6: Bottendrevet sett från ovan med blått genomskinligt kullager ovanför

Bilaga 4: Vridmoment och tvärkraft i kilen



Figur 11.7: Förenkling av kilen - fast inspänd balk sett från ovan.

Kilens geometri förenklas till en fast inspänd balk (Figur 11.7 ovan) vid beräkningen av hur vridmoment och tvärkraft varierar i kilen. Detta beror på att varken vridmoment eller tvärkraft beror på kilens höjd eller bredd i detta fall. W_k är en utbredd last. Dess totala kraft är 1414 N enligt (10). Eftersom längden L på kilen är 6,7 mm blir den utbredda lasten:

$$W_k = \frac{1414}{0,0067} \quad (12)$$

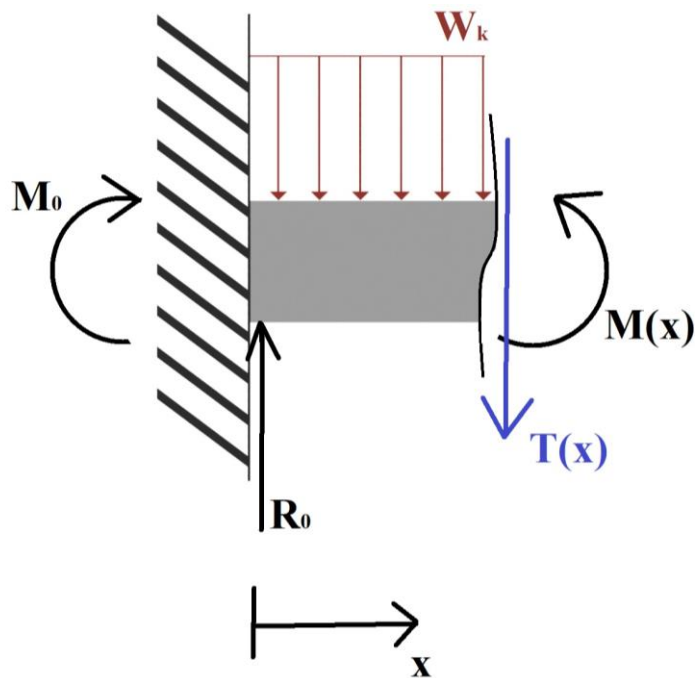
Kraftjämvikt hela balken:

$$\uparrow \quad R_0 = W_k \cdot L \quad (13)$$

Momentjämvikt på hela balken kring $x = 0$:

$$\curvearrowleft \quad M_0 = -\frac{W_k \cdot L^2}{2} \quad (14)$$

För att ta reda på vridmoment och tvärkraftsekvationerna görs ett snitt i balken i godtycklig punkt mellan $x = 0$ och $x = L$ ($0 < x < L$):



Figur 11.8: Snittad balk $0 < x < L$ sett från ovan.

Momentet $M(x)$ och tvärkraften $T(x)$ införs (se Figur 11.8 ovan). Storleken av båda beror på sträckan x från inspänningen.

Kraftjämvikt i den snittade balken:

$$\uparrow \quad T(x) = R_0 - W_k \cdot x \quad (15)$$

Momentjämvikt i den snittade balken i $x = 0$:

$$\curvearrowleft \quad M(x) = M_0 - M_x + W_k \cdot \frac{x^2}{2} + T \cdot x \quad (16)$$

Ekv (13) i (15) ger ekvationen för tvärkraftens variation i kilen med avseende på x :

$$T(x) = W_k(L - x) \quad (17)$$

Ekv (14) och (17) i (16) ger ekvationen för vridmomentets variation i kilen med avseende på x :

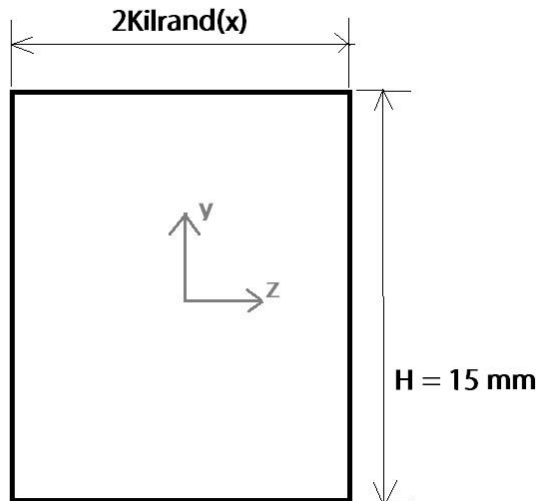
$$M(x) = W_k(L \cdot x - \frac{L^2}{2} + \frac{x^2}{2} - x^2) \quad (18)$$

Bilaga 5: Beräkning av yttröghetsmoment i kilen

Ett tredjegradspolynom som speglar variationen i bredd hos kilen togs fram för att bestämma variationen i yttröghetsmomentet i kilen i x-led i Figur 7.14. Tredjegradspolynom togs fram i Matlab (se Bilaga 11) och resulterade i följande ekvation:

$$Kilrand(x) = 4,4424 - 1,006 \cdot x + 0,1171 \cdot x^2 - 0,0041x^3 \quad (19)$$

Varje x-värde ger halva kilens bredd i respektive punkt.



Figur 11.9: Kilens tvärsnitt.

Sett framifrån är kilens tvärsnitt rektangulärt (se Figur 11.9). Yttröghetsmomentet för ett rektangulärt tvärsnitt kan enligt Ugural & Fenster, (2020) beräknas till:

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (20)$$

I detta representerar b höjden $H=15 \text{ mm}$ på kilen och h representerar bredden $2Kilrand(x)$ på kilen. Funktionen för yttröghetsmomentet för kilen blir därför:

$$I_{kil}(x) = \frac{H \cdot (2 \cdot Kilrand(x))^3}{12} \quad (21)$$

Bilaga 6: Beräkning av maximal böj- och skjuvspänning i kilen

Den maximala böjspänningen σ_{max} kan enligt Ugural & Fenster (2020) beräknas till:

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot c}{I} \quad (22)$$

Där M är vridmomentet i en punkt, c är det längsta avståndet från neutrallagret till en kant och I är tvärsnittets yttröghetsmoment. I kilens fall är c = halva kilens bredd.

(18), (19) och (21) i (22) ger ekvationen för den maximala böjspänningen i kilen:

$$\sigma_{max\ kil}(x) = \frac{M(x) \cdot Kilrand(x)}{I_{kil}(x)} \quad (23)$$

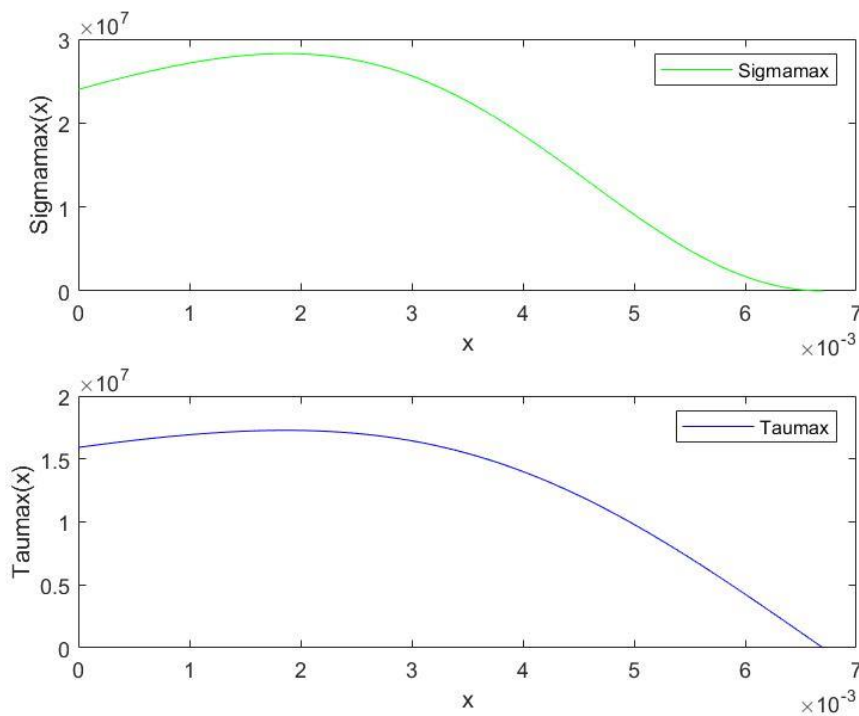
Den maximala skjuvspänningen τ_{max} kan enligt Ugural & Fenster (2020) för ett rektangulärt tvärsnitt beräknas till:

$$\tau_{max} = \frac{3 \cdot T}{2 \cdot A} \quad (24)$$

Där T är tvärkraften i en punkt och A är tvärsnittets area. (15) i (24) ger den maximala skjuvspänningen i kilen:

$$\tau_{max\ kil}(x) = \frac{3 \cdot T(x)}{4 \cdot H \cdot Kilrand(x)} \quad (25)$$

Den maximala skjuvspänningen (24) och den maximala böjspänningen (25) plottades i Matlab (se Bilaga 12 för kod):



Figur 11.10: Plot av skjuvspänningen och böjspänning i matlab.

Den maximala böjspänningen avläses till 28 MPa och den maximala skjuvspänningen avläses till 17,3 MPa.

Bilaga 7: Beräkning av von Mises effektivspänning i kilen

De olika spänningarna som uppkommer i kilen kan beskrivas enligt följande matris:

$$\begin{matrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{matrix}$$

I kilen appliceras endast tryck i y riktningen i Figur 11.9. Av denna anledning uppkommer endast tvärkrafter i samma riktning, vilket betyder att skjuvkrafterna i z-riktning = 0.

Böjspänningen som trycket ger upphov till, förekommer i x- riktning. De enda spänningarna som uppkommer i kilen är därför i x och y riktning. Matrisen kan därför förenklas till två dimensioner:

$$\tau_{xz} = \tau_{tz} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = \sigma_z = 0 \rightarrow \begin{matrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{matrix} \quad (26)$$

Dessa är spänningarna som krävs för att beräkna effektivspänningarna i kilen enligt von Mises.

Böjspänningen σ_x kan enligt Ugural & Fenster (2020) beräknas till:

$$\sigma_x = -\frac{M \cdot y}{I} \quad (27)$$

I detta fall är y avståndet från kilens neutrallager: $-0,0044 < Y < 0,0044$. (16) och (21) i (27) ger:

$$\sigma_x(x, y) = -\frac{M(x) \cdot Y(y)}{I_{kil}(x)} \quad (28)$$

Skjuvspänningens variation i ett rektangulärt tvärsnitt kan enligt Ugural & Fenster (2020) beräknas till

$$\tau_{xy} = -\frac{T}{2 \cdot I} (h^2 - y^2) \quad (29)$$

Där h är höjden, vilket i detta fall är kilens bredd. Variabeln y motsvarar den punkt på bredden som skjuvspänningen beräknas i. (15), (21) och (19) i (29) ger:

$$\tau_{xy}(x, y) = -\frac{T(x)}{2 \cdot I_{kil}(x)} \cdot ((Kilrand(x))^2 - (Y(y))^2) \quad (30)$$

Den utbredda lasten W_k , ger upphov till spänningar i y-led i balken. Arean som belastas på kilen tas fram genom Catia och framgår till:

$A_{belastad} = 111,2 \cdot 10^{-6} m^2$. Spänningen i y-led blir därmed:

$$\sigma_y = \frac{W_k \cdot L}{A_{belastad}} \quad (31)$$

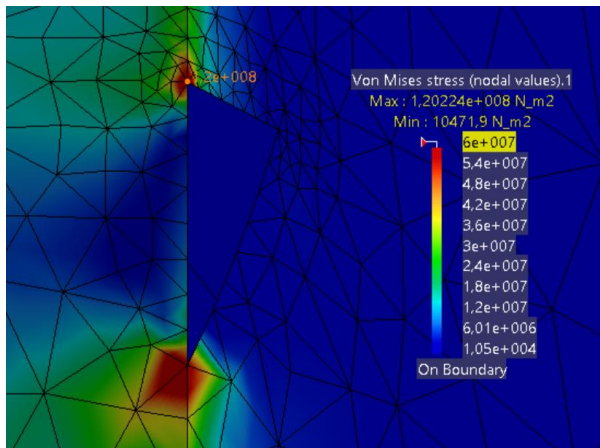
Von Mises effektivspänning kan enligt Dahlberg (2001) beräknas till

$$\sigma_e^{v.M} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x + 3\tau_{xy}^2 + 3\tau_{yz}^2 + 3\tau_{zx}^2} \quad (32)$$

(27), (28), (30) och (31) i (32):

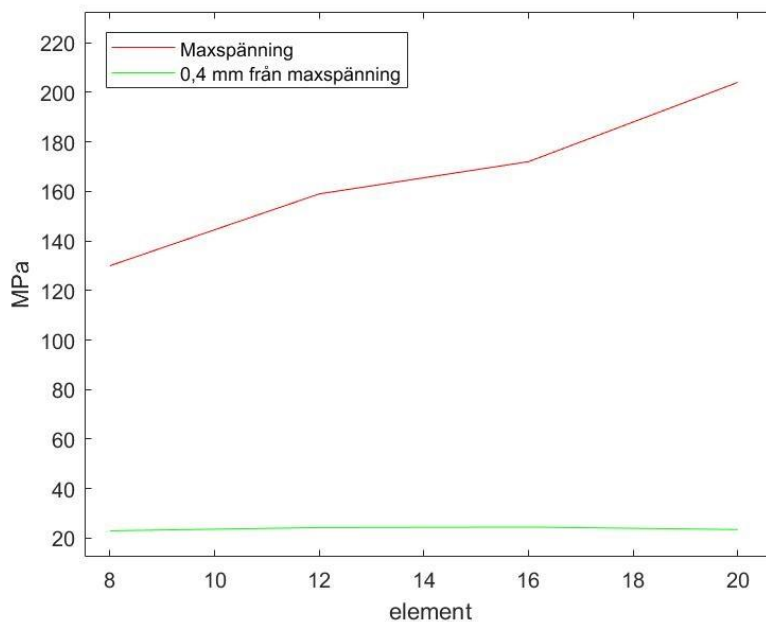
$$\sigma_e^{v.M} = \sqrt{(\sigma_x(x, y))^2 + \sigma_y^2 - (\sigma_x(x, y)) \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2(x, y)} \quad (33)$$

Bilaga 8: Konvergens av spänningarna som uppstår i de triangulära hålen mellan kil och fäste (Kilfäste)



Figur 11.11: Inzoomning på de triangulära hålen mellan kil och fäste

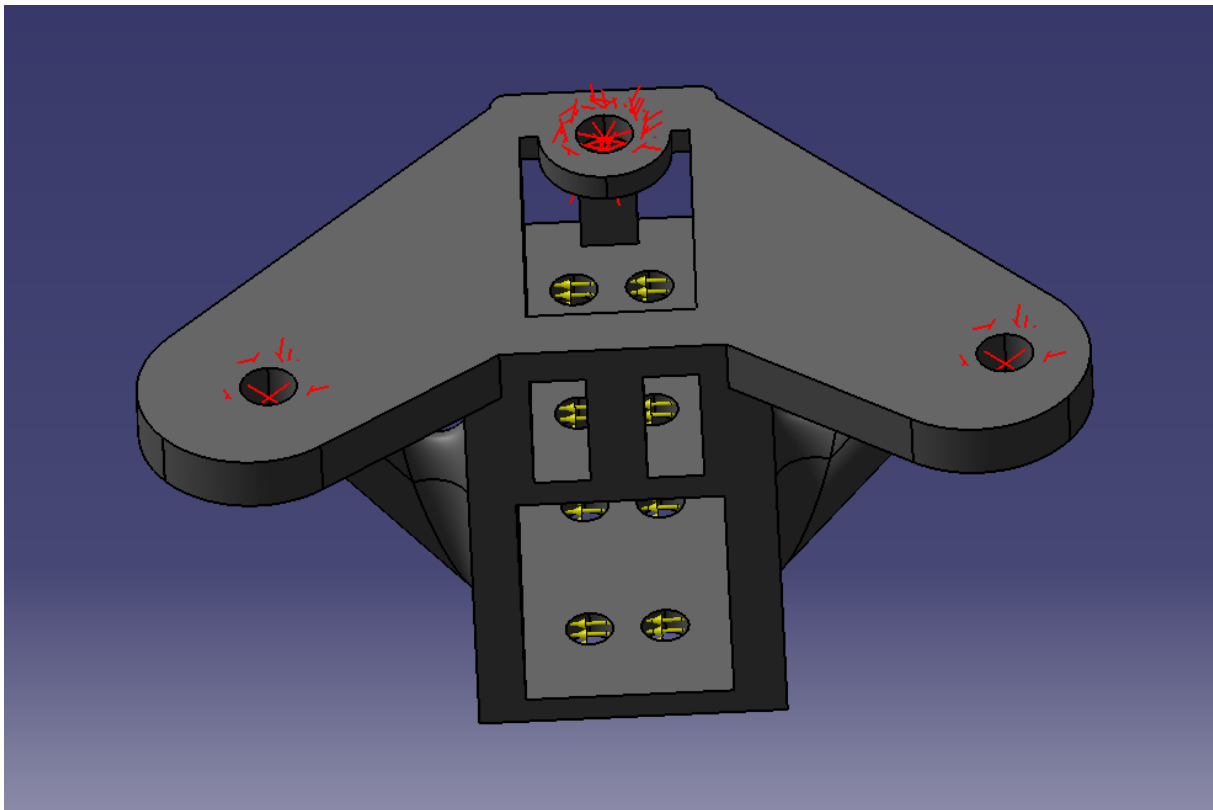
Figur 11.11 visar en bild på spänningarna som uppstår i ett utav de triangulära hålen mellan kil och fäste. Områdena som är rödfärgade tycks inte konvergera. En konvergensanalys gjordes för att undersöka om området runt omkring konvergerar.



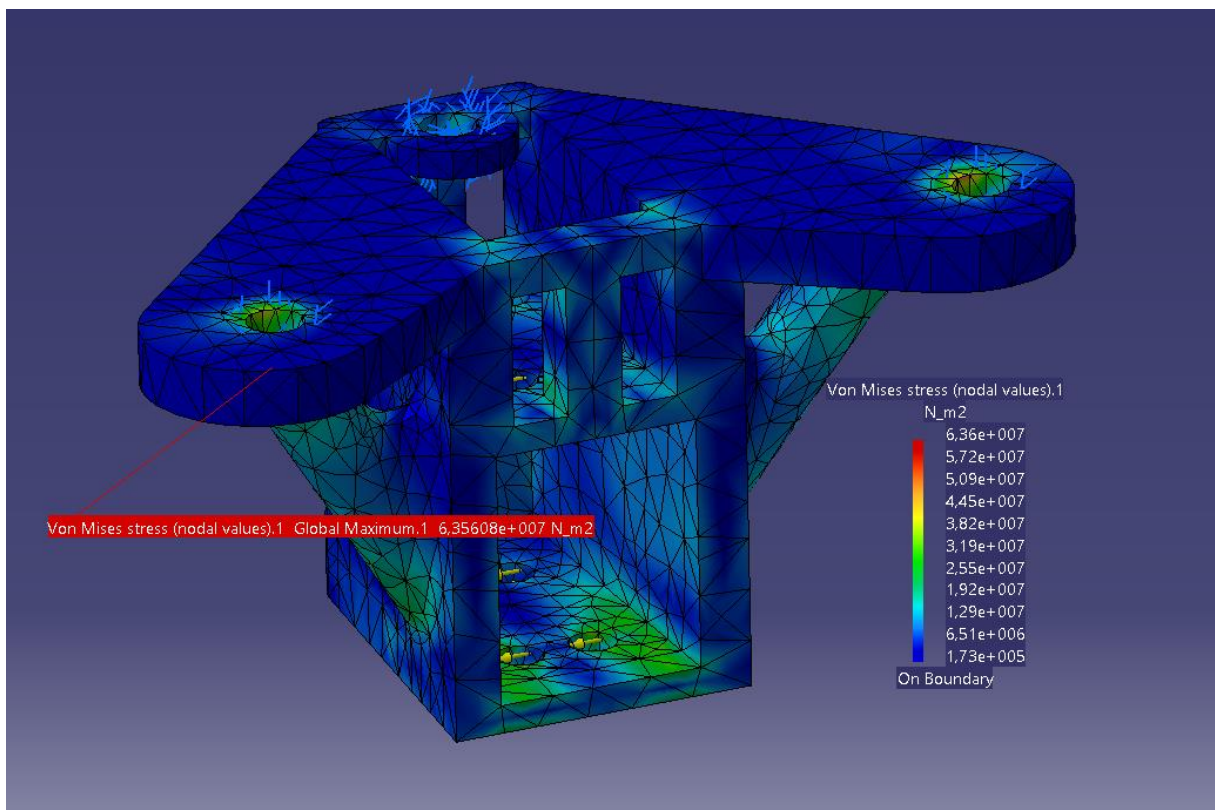
Figur 11.12: Konvergensplot på området omkring maxspänningen som uppkommer mellan kil och fäste

Konvergensens undersöktes genom att succesivt öka antalet element runt det triangulära hålet som Von Mises maxspänning uppkommer i. Maxspänningen analyserades för varje plot parallellt med den spänning som uppkommer 0,4 mm ifrån maxspänningen (se Figur 11.12). Resultatet visar att maxspänningen inte konvergerar men att spänningen 0,4 mm ifrån maxspänningen gör det. Slutsatsen dras därför att den höga spänningen beror på ett konvergensfel och att den maximala effektivspänningen är betydligt lägre än vad FEM visar.

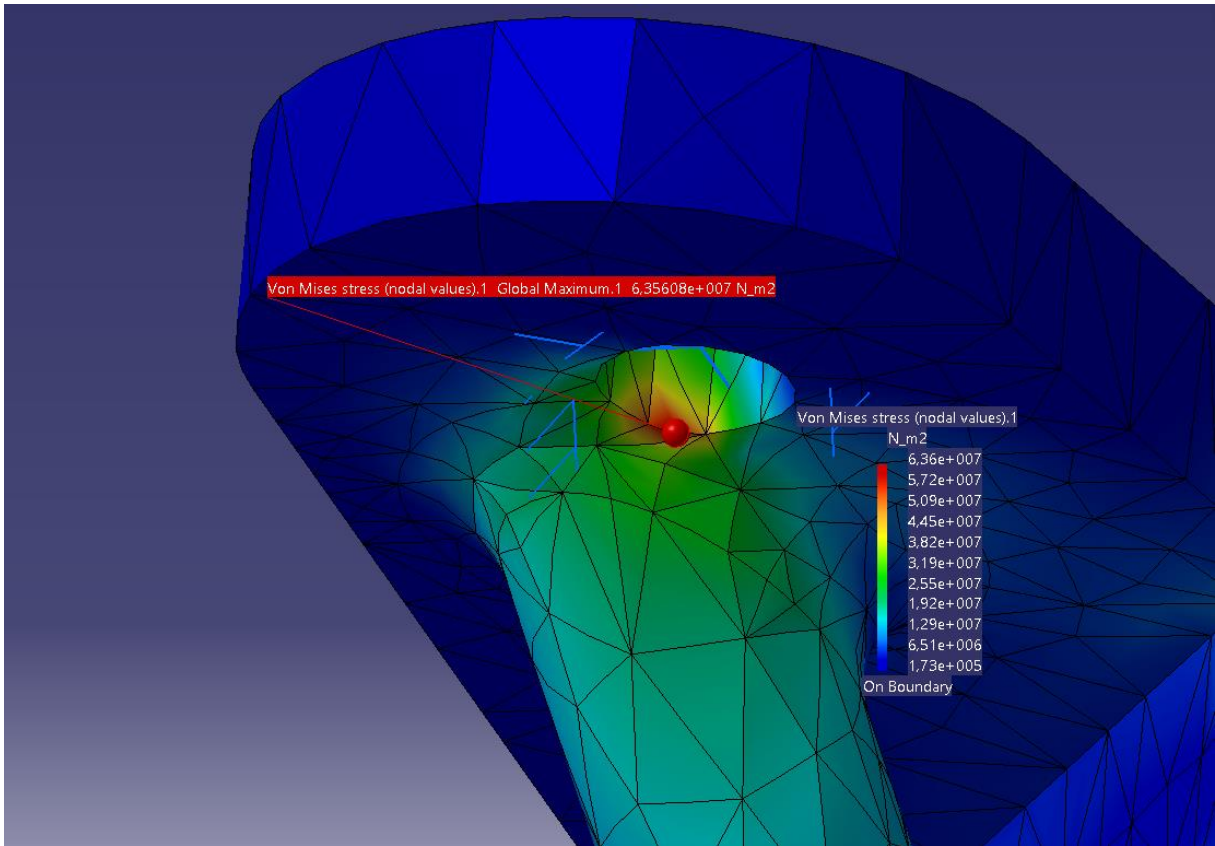
Bilaga 9: Inkapsling



Figur 11.13: Lastfall för FEM-analys



Figur 11.14: Isometrisk vy av FEM-analys på inkapsling koncept innan vidareutveckling.



Figur 11.15: Inzoomad vy på maximal spänning.

Bilaga 10: Moment och tvärkrafts beräkningar för kilen i Matlab

% Analys av spänningar i kilen. Kör koden stycke för stycke för att lagra samtliga variabler och funktioner (uppifrån och ned)

```
% Moment och Tvärkraftsekvationer
clf
Wk = 1414./0.0067; %Den utbredda lasten
    (antagen konstant, vilket är en förenkling)
L = 0.0067; %Kilens längd
x = linspace(0,0.0067,80);
M = @(x)Wk*((L*x)-((L^2)/2)+((x.^2)/2)-(x.^2)); %Moment-funktionen
T = @(x)Wk.*L-Wk.*x; %Tvärkrafts-funktionen
subplot(2,1,1)
plot(x,M(x))
xlabel("x")
ylabel("M(x)")
subplot(2,1,2)
plot(x,T(x))
xlabel("x")
ylabel("T(x)")
```

Bilaga 11: Anpassning av kilens form till tredjegradspolynom och beräkning av dess yttröghetsmoment

```
%% Anpassning kilens form till ett tredjegradspolynom och yttröghetsmoment

clf
%Kilens form anpassas till ett tredjegradspolynom. Därför anpassas ett
%tredjegradspolynom baserat på 12 godtyckligt valda punkter längs randen på
%kilens. Designekvationen:  $y=b_1+b_2t+b_3t^2+b_4t^3$  där  $b_1, b_2, b_3$  är konstanter
xd = 10.^(-3).*[0 0.562 1.1062 1.238 1.840 2.562 3.244 4.062 4.865 5.4
6.062 6.66]'; %x-värden längs kilens rand
yd = 10.^(-3).*[4.412 3.922 3.516 3.382 2.959 2.539 2.237 1.999 1.863 1.804
1.747 1.697]'; %y-värden längs kilens rand
A=[ones(size(xd)) xd xd.^2 xd.^3]; % Designmatrisen
b=A\yd; % Minsta kvadratlösningen
n=length(xd); % Mätdata
E=norm(A.*xd-yd)./sqrt(n); %medelfel
subplot(2,1,1)
plot(xd,yd,'o')
hold on
xb = linspace(xd(1), xd(end),80); %måste vara lika många som x
%plot(xb,b(1)+b(2)*xb+b(3)*xb.^2+b(4)*xb.^3);
b1=b(1);
b2=b(2);
b3=b(3);
b4=b(4);

%Variationen i bredd/2 med avseende på x
kilrand = @(x)b1+b2*xb+b3*xb.^2+b4*xb.^3; %varje x värde = halva kilens
bredd i den positionen
subplot(2,1,1);
plot(x,kilrand(x),'r'); %plot för halva kilens bredd
legend('godtyckligt valda punkter längs kilens rand','Halva kilens bredd
med avseende på x')
xlabel("x")
ylabel("(kilbredd/2) (x)")

%Ekvationen för yttröghetsmomentet i varje punkt:
H = 0.015; %kilens höjd
ikil=@(x)((2*kilrand(x)).^3).*H)/12; % Ekvationen visar hur
yttröghetsmomentet varierar i varje tvärsnitt.
subplot(2,1,2);
plot(x,ikil(x),'b')
legend('yttröghetsmomentet m.a.p x')
xlabel("x")
ylabel("ikil(x)")
```

Bilaga 12: Kilens maximala böj och skjuvspänning i matlab

```
% Maximala böj- och skjuvspänning i varje tvärsnitt

clf
%Med alla värden kan nu maximala böjspänningen i varje tvärsnitt räknas ut:
Sigmax = @(x)-(M(x).*kilrand(x))./ikil(x);
subplot(2,1,1)
plot(x, Sigmax(x), 'g'); %hur spänningen varierar i kilen
legend('Sigmax')
xlabel("x")
ylabel("Sigmax(x)")
hold on

%Maximala skjuvspänningen i varje snitt
Area = @(x)H*2*kilrand(x);
Taumax = @(x) (3*T(x))./(2*Area(x));
subplot(2,1,2)
plot(x,Taumax(x), 'b')
legend('Taumax')
xlabel("x")
ylabel("Taumax(x)")
```

Bilaga 13: Beräkning av hur skjuvspänning, böjspänning och Vonmises-spänning varierar i kilen, i matlab

```
%% Hur skjuvspänningen (TauXY) varierar i kilen (sett ovanifrån)

clf
y = linspace(0,H./2,80);
y3=linspace(-0.0044,0.0044,80);
Qsnitt=@(y3)((y3.^2).*H)./2;
Tausnitt=@(x,y3)((T(x)./(2.*ikil(x))).*((kilrand(x)).^2-y3.^2));
[X, Y] = meshgrid(x, y3);
surf(X, Y, Tausnitt(X,Y));
view(2);
colorbar
colormap(parula)
hold on

kilrand_Z = @(x)b1+b2*xb+b3*xb.^2+b4*xb.^3; %varje x värde = halva kilens
bredd i den positionen
Zhej=linspace(1000000,10000000000,80);

% "Visualiseringsplot" - Döljer allt område förutom kilen
plot3(x,kilrand_Z(x),Zhej,'w','LineWidth',2); %plot för halva kilens bredd
plot3(x,-kilrand_Z(x),Zhej,'w','LineWidth',2); %plot för halva kilens bredd

for i=0.0001:0.0001:0.003;
    kilrand_Z = @(x)b1+b2*xb+b3*xb.^2+b4*xb.^3+i;
    plot3(x,kilrand_Z(x),Zhej,"w", "LineWidth", 6)
end
for i=0.0001:0.0001:0.003;
    kilrand_Z = @(x)b1+b2*xb+b3*xb.^2+b4*xb.^3+i;
    plot3(x,-kilrand_Z(x),Zhej,"w", "LineWidth", 6)
end

axis([-0.0001 0.0066 -0.005 0.005])

%% Hur böjspänningen (SigmaX) varierar i kilen (sett ovanifrån)

clf
y3=linspace(-0.0044,0.0044,80);
Sigmasnitt=@(x,y3)-(((M(x).*(y3))./(ikil(x)))));
[X, Y] = meshgrid(x, y3);
surf(X, Y, Sigmasnitt(X,Y));
view(2);
colorbar
colormap(parula)
hold on

kilrand_Z = @(x)b1+b2*xb+b3*xb.^2+b4*xb.^3; %varje x värde = halva kilens
bredd i den positionen
Zhej=linspace(1000000,10000000000,80);

% "Visualiseringsplot" - Döljer allt område förutom kilen
plot3(x,kilrand_Z(x),Zhej,'w','LineWidth',2); %plot för halva kilens bredd
plot3(x,-kilrand_Z(x),Zhej,'w','LineWidth',2); %plot för halva kilens bredd

for i=0.0001:0.0001:0.003;
    kilrand_Z = @(x)b1+b2*xb+b3*xb.^2+b4*xb.^3+i;
    plot3(x,kilrand_Z(x),Zhej,"w", "LineWidth", 6)
end
for i=0.0001:0.0001:0.003;
    kilrand_Z = @(x)b1+b2*xb+b3*xb.^2+b4*xb.^3+i;
```

```

    plot3(x,-kilrand_Z(x),Zhej,"w", "LineWidth", 6)
end
axis([-0.0001 0.0066 -0.005 0.005])

%% Hur Effektivspänningen (VonMises) varierar i kilen (sett ovanifrån)

%Normalspänningen (sigma_y)
Abelastad = 111.2*10^(-6); %Den belastade arean i m^2
Akraft = -1414./Abelastad;

clf
%Vonmises
Vonmises=@(x,y3) sqrt(((Sigmasnitt(x,y3)).^2)+(Akraft.^2) -
(Sigmasnitt(x,y3).*Akraft)+(3.*(Tausnitt(x,y3)).^2));
[X, Y] = meshgrid(x, y3);
surf(X, Y, Vonmises(X,Y));
view(2);
colorbar
colormap(parula)
hold on

kilrand_Z = @(x)b1+b2*xb+b3*xb.^2+b4*xb.^3; %varje x värde = halva kilens
bredd i den positionen
Zhej=linspace(1000000,10000000000,80);

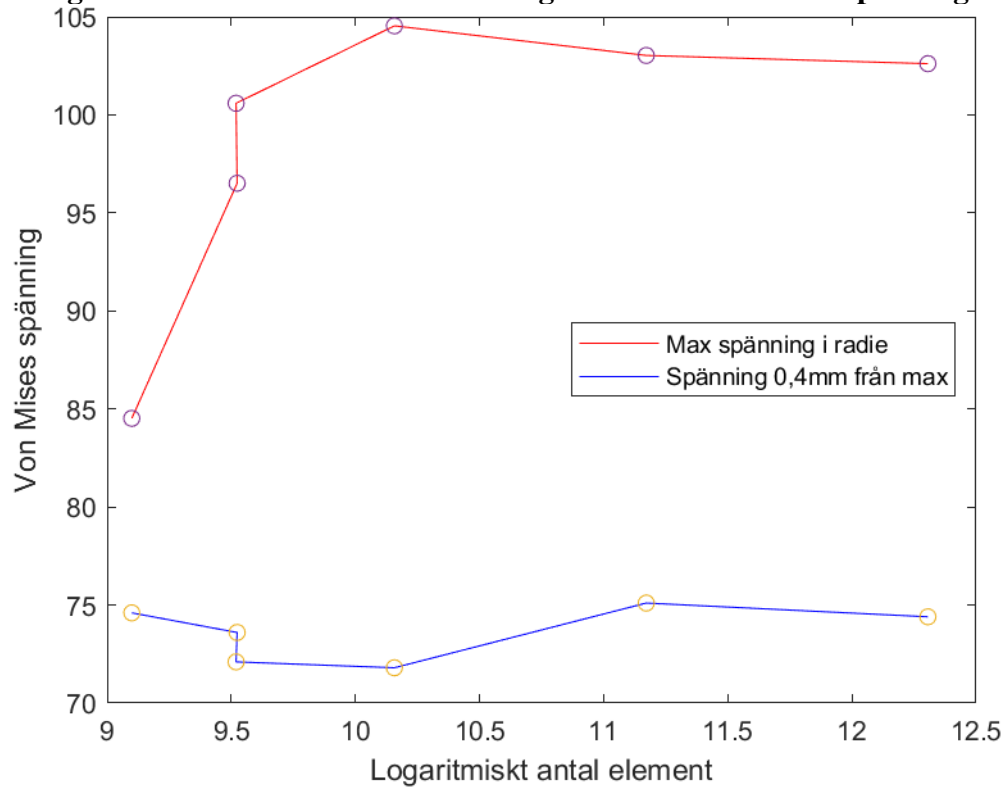
% "Visualiseringsplot" - Döljer allt område förutom kilen
plot3(x,kilrand_Z(x),Zhej,'w','LineWidth',2); %plot för halva kilens bredd
plot3(x,-kilrand_Z(x),Zhej,'w','LineWidth',2); %plot för halva kilens bredd

for i=0.0001:0.0001:0.003;
    kilrand_Z = @(x)b1+b2*xb+b3*xb.^2+b4*xb.^3+i;
    plot3(x,kilrand_Z(x),Zhej,"w", "LineWidth", 6)
end
for i=0.0001:0.0001:0.003;
    kilrand_Z = @(x)b1+b2*xb+b3*xb.^2+b4*xb.^3+i;
    plot3(x,-kilrand_Z(x),Zhej,"w", "LineWidth", 6)
end

axis([-0.0001 0.0066 -0.005 0.005])

```

Bilaga 14: Graf som illustrerar konvergensen hos Von Mises spänningen i bottendrevet



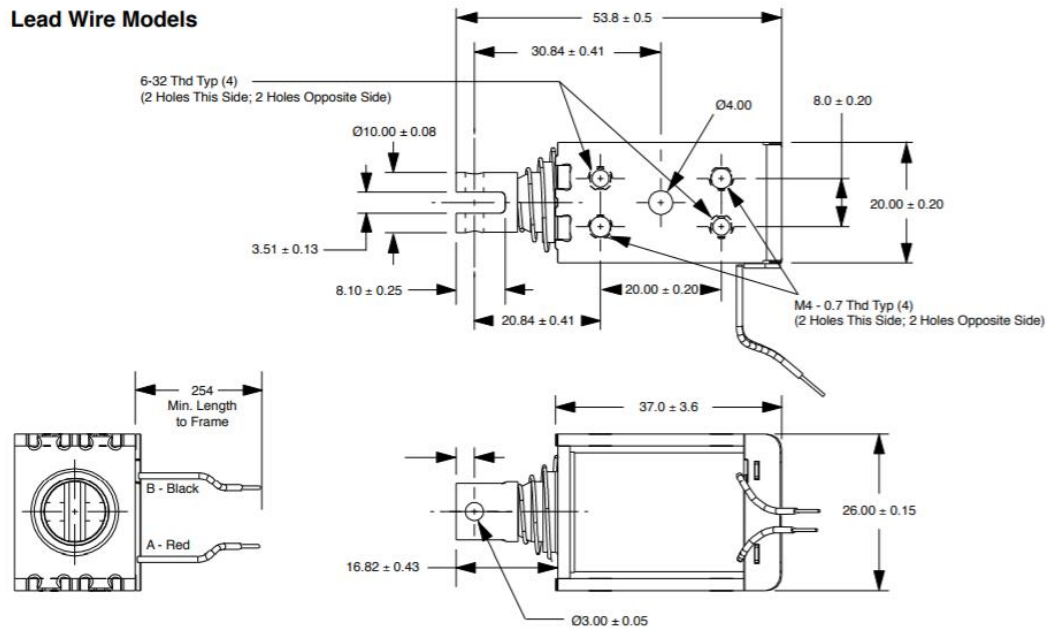
Bilaga 15: Ritningar på komponenter

Ledex® Magnetic Latching Box Frame Size B14HD-L

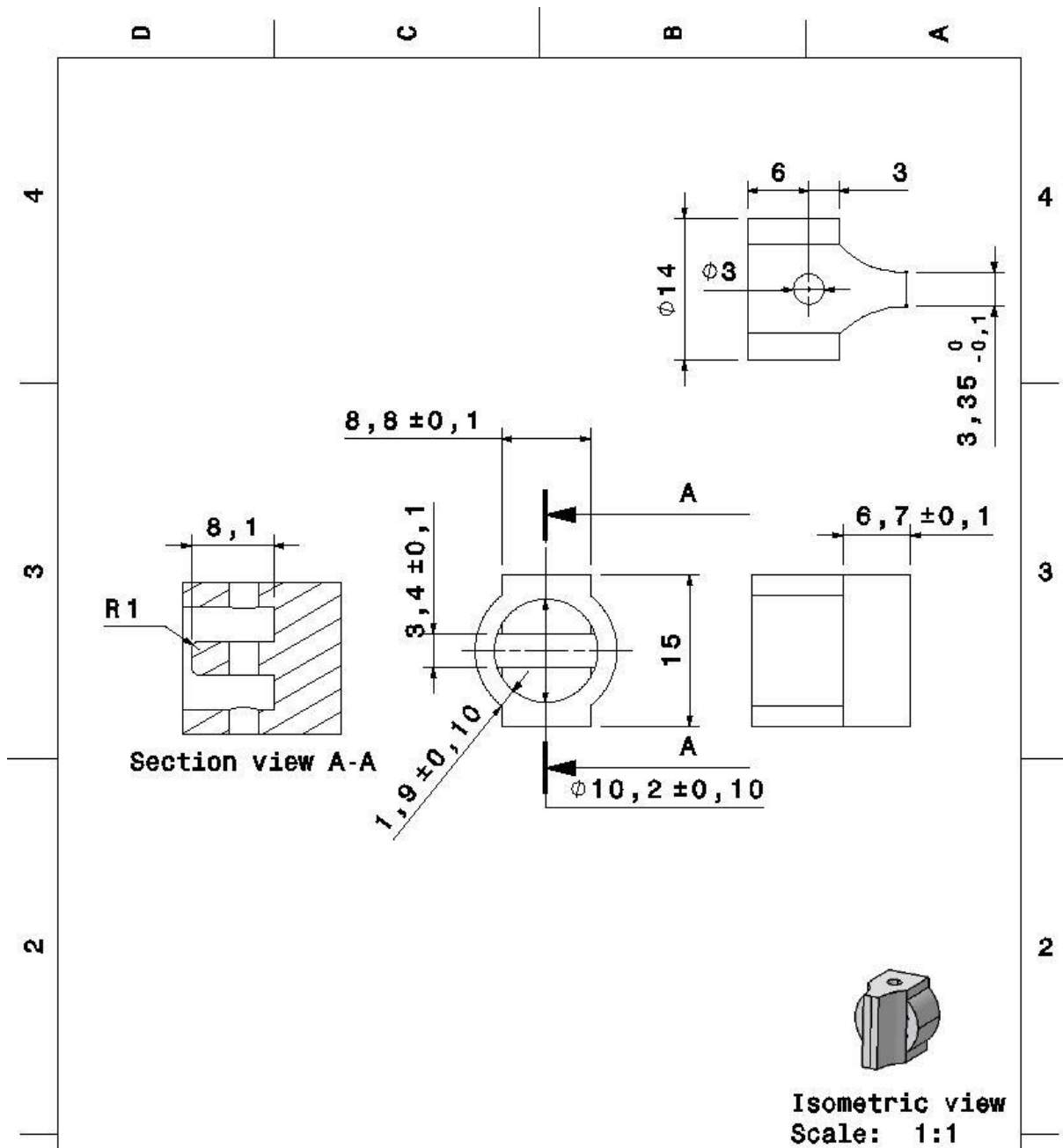
Dimensions

mm

All solenoids are illustrated in energised state

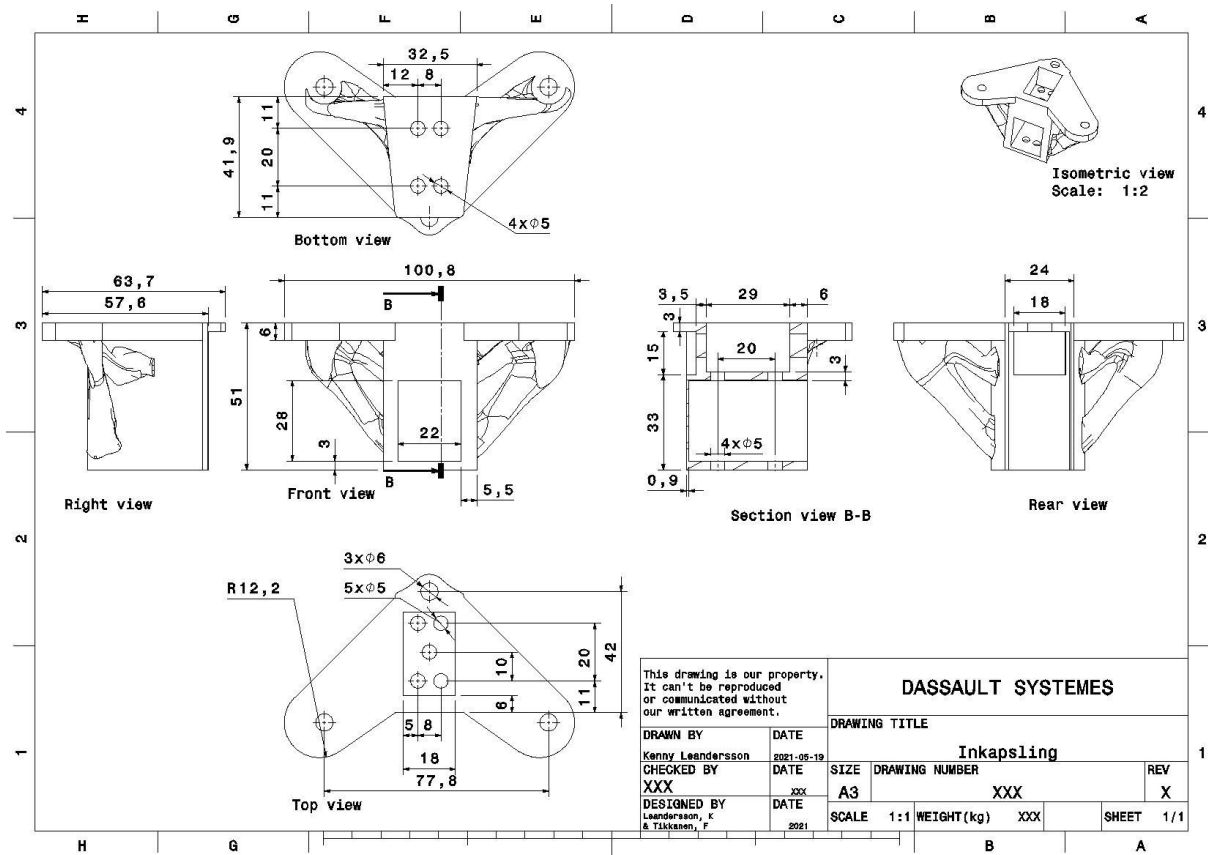


Figur 11.16: Ritning på B14HD-L-254-B-4 (med tillåtelse av produktägare Johnson Electric).

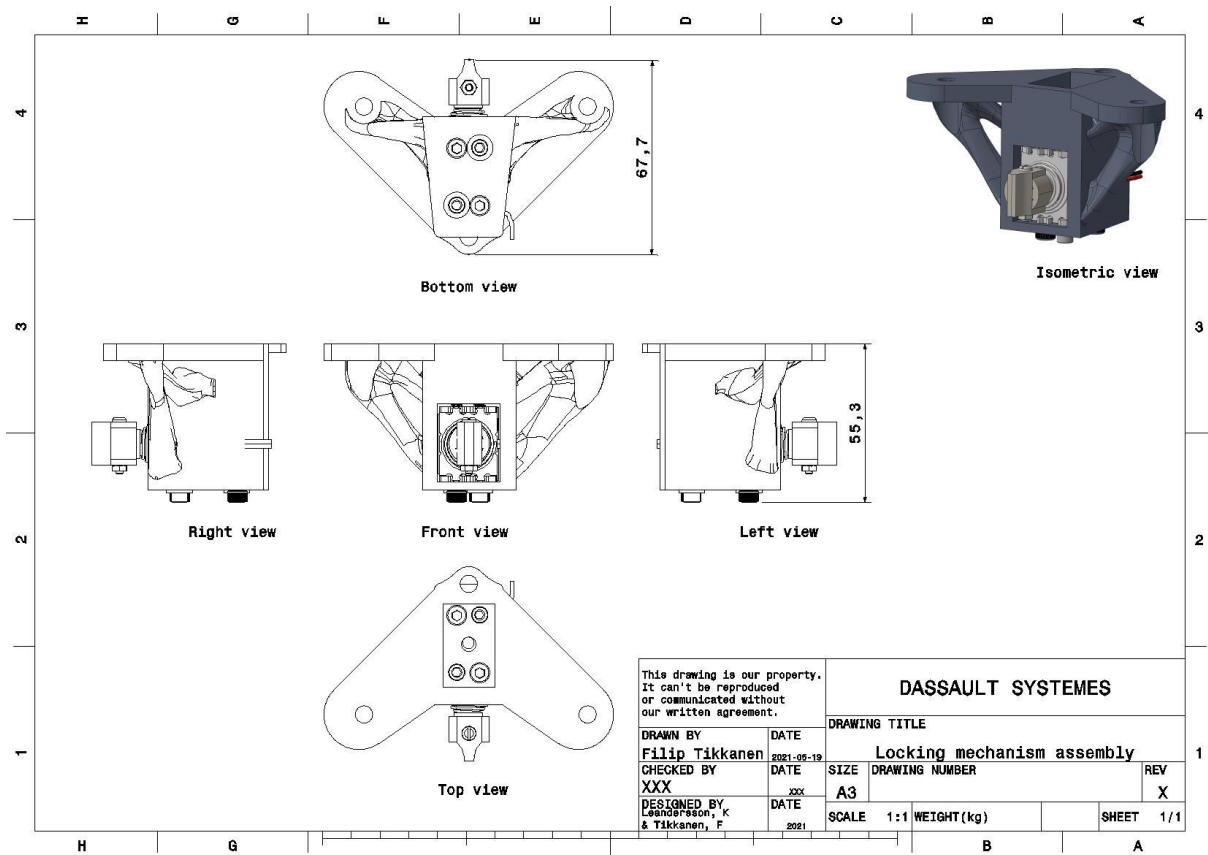


This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		DASSAULT SYSTEMES			
		DRAWING TITLE			
1	DRAWN BY Filip Tikkanen	DATE 2021-05-18	Kil till låsmekanism		1
	CHECKED BY XXX	DATE XXX	SIZE A4	DRAWING NUMBER XXX	REV X
	DESIGNED BY Leandersson, K & Tikkanen, F	DATE 2021	SCALE 2:1	Vikt (kg) 0,002	SHEET 1/1

Figur 11.17: Ritning på kilen



Figur 11.18: Ritning på inkapsling



Figur 11.19: Ritning på låsmekanismen



CHALMERS