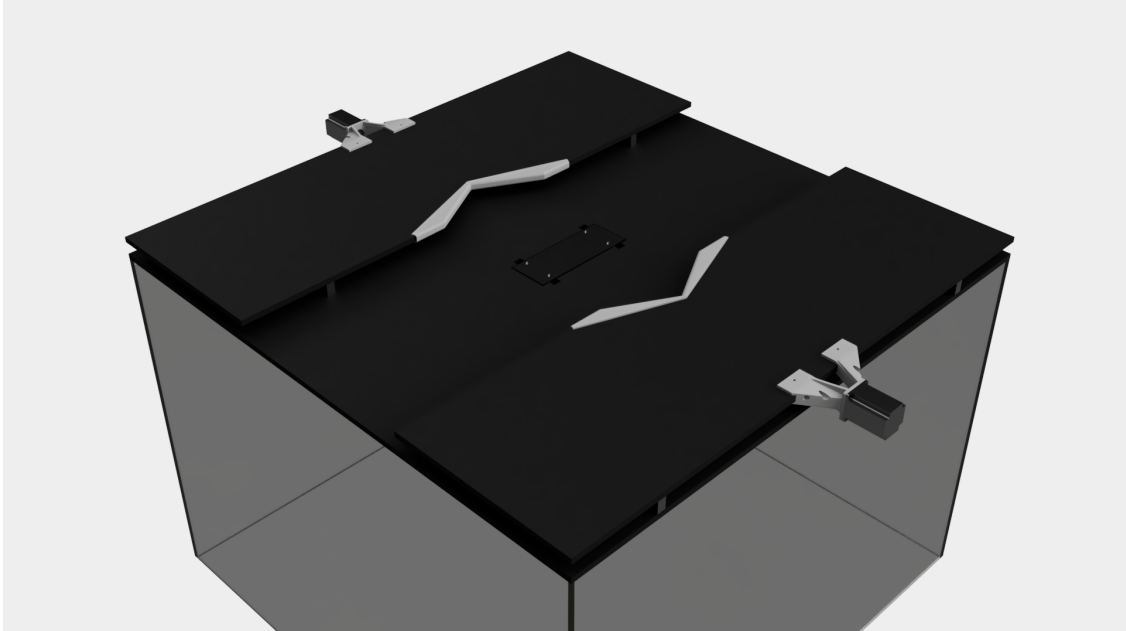




CHALMERS



Autonom batteribytarstation för drönare

Utveckling, konstruktion och tillverkning av en anordning som byter ut en drönares batteri autonomt

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet mekatronik

ANDREAS FAGERBERG
EMIL GRANBERG

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE 2021

Autonom batteribytarstation för drönare

Utveckling, konstruktion och tillverkning av en anordning som byter ut en drönarens batteri autonomt

ANDREAS FAGERBERG, EMIL GRANBERG



CHALMERS

Institutionen för Elektroteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2021

Autonom batteribytarstation för drönare

Utveckling, konstruktion och tillverkning av en anordning som byter ut en drönarens batteri autonomt

© Andreas Fagerberg, 2021.

© Emil Granberg, 2021.

Handledare: Veronica Olesen, Institutionen för Elektroteknik

Examinator: Veronica Olesen, Institutionen för Elektroteknik

Examensarbete 2021

Institutionen för Elektroteknik

Chalmers Tekniska Högskola

412 96 Göteborg

Telefon +46 31 772 1000

Omslag: CAD-modell av den autonoma batteribytarstationen.

Skriven i L^AT_EX

Göteborg, Sverige 2021

Förord

Vi vill tacka Maciek Drejak och Mats Sällström på Everdrone AB för att vi fick möjligheten att utföra detta uppdrag. Vi vill även tacka Fredrik Högberg på Svensk Elektronikproduktion som hjälpte till att utveckla det kretskort som monterats i drönaren. Till sist vill vi tacka vår handledare Veronica Olesen på Chalmers för handledning under arbetets gång.

Andreas Fagerberg, Emil Granberg, Göteborg, Juni 2021

Sammanfattning

Everdrone AB är ett företag som utvecklar helt autonoma och intelligenta drönare. Företagets mål är att använda dessa drönare för att snabbt leverera medicin och hjärtstartare till svåråtkomliga platser. För att företaget ska nå sitt mål sker ett omfattande utvecklingsarbete och tusentals testflygningar med drönare. Ett av företagets delmål är att utföra 10 000 testflygningar inom ett år. För att hinna uppnå detta delmål behöver testerna kunna utföras kontinuerligt - dygnet runt om det så behövs. Företaget vill dessutom kunna utföra dessa tester när lokalen är obemannad. Problematiken ligger i att batterierna till deras drönare laddas ur efter ca 20 minuter.

Den här rapporten innehåller därmed det utveckling- och konstruktionsarbete utfört för att möjliggöra kontinuerliga testflygningar. Även tillverkning av en fysisk funktionell produkt utfördes. Lösningen som togs fram var en autonom batteribytarstation för drönare. Stationens funktion är att en drönare landar på en plattform och helt automatiskt får sitt batteri utbytt så att den kan fortsätta med sina testflygningar. Företaget ställde ett antal krav på stationens egenskaper. Utifrån dessa krav delades batteribytarstationens konstruktion upp i fem huvudfunktioner. Varje huvudfunktion utvecklades och konstruerades separat. Slutligen tillverkades samtliga huvudfunktioner och sammanfogades för att presentera en komplett produkt till företaget.

Abstract

Everdrone AB is a company which develops fully autonomous and intelligent drones. The goal of the company is to use these drones to quickly deliver medicine and Automatic External Defibrillators to hard-to-reach locations. In order for the company to reach their goal extensive development needs to be carried out, including thousands of test flights with drones. One of the company's sub-goals is to perform 10,000 test flights within a year. In order to achieve this intermediate goal, the tests need to be able to be performed continuously, around the clock if necessary. The company also wants to be able to perform these tests when the premises are unmanned. The problem is that the batteries for the drones used discharge after about 20 minutes.

Thus, this report contains the development and design work carried out to enable continuous test flights. Manufacture of a physically functional product was also carried out. The solution developed was an autonomous battery replacement station for drones. The function of the station is that once a drone lands on a platform the battery is replaced, fully autonomously, so that it can continue with its test flights. The company made a number of demands on the station's properties. Based on these requirements, the construction of the battery replacement station was divided into five main functions. Each main function was developed and constructed separately. Finally, all the main functions were manufactured and merged together, such that a completed product could be presented to the company.

Innehåll

Figurer	x
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Precisering av frågeställning	2
2 Teoretisk referensram	3
2.1 DJI S900	3
2.2 Litium-Polymer Batteri	4
2.3 Stegmotor: NEMA23	5
2.4 Stegmotorstyrning: DM542	5
2.5 Arduino Uno/Nano	6
2.6 Raspberry Pi	7
3 Metod	8
3.1 Kravspecifikation	8
3.2 Uppdragets genomförande	8
3.2.1 Positionering av drönare	9
3.2.2 Integration med drönare	10
3.2.3 Laddning	10
3.2.4 Hissanordning	10
3.2.5 Styrsystem	10
3.3 Utrustning	11
4 Positionering av drönare	12
4.1 Idégenerering	12
4.1.1 Koncept 1: Konformade skålar	12
4.1.2 Koncept 2: Skåra	13
4.1.3 Koncept 3: V-formation	14
4.1.4 Eliminering av koncept	14
4.2 Konstruktion	15
4.2.1 Friktion	15
4.2.2 Vinkel z , avstånd a och b	17
4.2.3 Komponentval och driftsätt	20
4.2.4 Kraft och val av stegmotor	22

4.2.4.1	Kraft krävd för att flytta drönaren i sidled	22
4.2.4.2	Kraft kvävd för att flytta den V-formade skivan i sidled	23
4.2.4.3	Byråldseffekten	24
4.2.4.4	Drönarens rotation vid förflyttning i sidled	24
4.2.4.5	Val av stegmotor	24
4.3	Genomförande	26
4.3.1	Sammansättning av mekaniska komponenter	27
4.3.2	Styrning av stegmotorer	29
4.3.3	Testkörning och modifiering	30
5	Integration med drönare	33
5.1	Säkra kontakter mellan batteri och drönare	34
5.2	Säker fastlåsning av batteri i drönare	36
5.2.1	Idégenerering och eliminering	36
5.2.1.1	Koncept 1: Låspinne på servoarm	36
5.2.1.2	Koncept 2: Skruvlås	36
5.2.1.3	Koncept 3: Servo med kuggstång	37
5.2.1.4	Vidareutveckling av Koncept 3	37
5.3	Brandsäker låda till batteriet	38
5.3.1	Brandsäkring av batteri	38
5.3.2	Konstruktion av batteribox	39
5.4	Batterifäste till drönaren	42
5.5	Styrsystem för batteriets integration med drönaren	45
5.6	Sammansättning och testkörning	45
6	Laddning	46
6.1	Laddare för drönarens batteri	46
6.2	Koncept för balans- och strömkontakter	46
6.2.1	Balanskontakter	46
6.2.2	Strömkontakter	47
6.3	Modifiering av batteribox	48
6.4	Konstruktion av laddningsfack	49
6.5	Sammansättning och testkörning	50
7	Hissanordning	52
7.1	Idégenerering	52
7.1.1	Koncept 1: Färdig lyftpelare	53
7.1.2	Koncept 2: Saxlift	53
7.1.3	Koncept 3: Gångstång med axlar	54
7.2	Konstruktion	55
7.2.1	Stabilitet i konstruktionen	55
7.2.2	Hissplatta	57
7.2.3	Drift och mekaniska komponenter	59
7.2.4	Kraftberäkning och val av motor	63
7.2.4.1	Parametrar som motiverar ett högre vridmoment än beräknat	64
7.2.4.2	Val av motor	65

7.2.5	Bottenplatta	66
7.2.6	Sammansättning av komponenter	67
7.2.6.1	Fysisk sammansättning	68
7.2.7	Hisskonstruktionens styrsystem	68
7.2.8	Testkörning och modifiering	69
8	Styrsystem	70
8.1	Systemarkitektur	70
8.2	Gränssnitt mot företaget	71
8.3	Styrsystem Drönare	74
8.3.1	Kretskort	75
8.3.2	Kod	77
8.4	Styrsystem Batteristation	78
8.4.1	Kopplingschema	78
8.4.2	Kod	79
8.5	Flödesschema vid batteribyte	80
9	Diskussion och slutsats	81
9.1	Diskussion	81
9.1.1	Cellövervakning	81
9.1.2	Laddmagasin	81
9.1.3	Uppdragets bidrag till samhället	83
9.2	Slutsats	84
	Bibliography	85
A	Bilaga	I

Figurer

2.1	DJI S900	3
2.2	Stegmotorstyrning DM542 med tabeller för önskad upplösning och strömstyrka.	6
2.3	Arduino Uno och Arduino Nano	7
3.1	Hierarkiskt schema över batteribytarstationens huvudfunktioner	9
4.1	Landningsmarkör för autonom drönarlandning	12
4.2	CAD-modell av det första konceptet för att positionera drönaren	13
4.3	Landningsställ till DJI 900	13
4.4	Koncept 2: Skåra	13
4.5	Koncept 3: V-formation	14
4.6	Sidovy på ena hörnet av batteribytarstationens landningsplattform	16
4.7	Uppställning av krafter vid beräkning av θ	17
4.8	Sidovy på hela landningsplattformen samt potentiell landning från drönaren	19
4.9	Potentiell drönarlandning vid utfällt läge	19
4.10	Fågelperspektiv på potentiell drönarlandning vid utfällt läge	19
4.11	Lösning på överföring från rotationsrörelse till linjärrörelse	21
4.12	Förenklad kraftuppställning för beräkning av krafter	22
4.13	Förenklad kraftuppställning för beräkning av krafter	23
4.14	Uppställning för beräkning av vridmoment	25
4.15	Sidovy av konstruktionskoncept för positionering av drönaren	27
4.16	CAD-modell av motorfäste tillverkat i 3D-printer	27
4.17	Sidovy av koncept för drift av den V-formade skivan	28
4.18	CAD-modell av mutterfäste	28
4.19	Flödesschema över funktionerna för stegmotorernas styrning	29
4.20	Positionering av de V-formade skivorna med strömbrytare	29
4.21	Tabell över olika frekvenser för stegmotorernas drivkrets	30
4.22	Demonstration av hur drönaren trycks nedåt vid den V-formade skivans externa kraft	31
4.23	Modifikation för drönarens landningsställ	32
5.1	Kardborrefäste för batteri under drönare	33
5.2	Demonstration av kontaktytan mellan banankontakt och jordfläta	35
5.3	Kontaktyta mellan kopparbricka och jordfläta vid fjäderbelastning	35
5.4	Koncept 1: Låspinne på servoarm	36

5.5	Koncept 2: Skruvlås	36
5.6	Koncept 3: Servo med kuggstång	37
5.7	Demonstration av det vidareutvecklade konceptet för fastlåsning . . .	37
5.8	Illustration av batteriets storlek	39
5.9	Illustration av batteriboxens toppdel	40
5.10	Demonstration av jordflätans montering	41
5.11	Demonstration av jordflätans montering	41
5.12	Demonstration av batteriboxens fastlåsning	41
5.13	CAD-modell av batteriboxens mittendel och botten	42
5.14	Markering av kolfiberstänger på drönare	42
5.15	CAD-modell av drönarfästet	43
5.16	Demonstration av batteriboxens instyrning via drönarfästets sidor . .	43
5.17	Demonstration av batteriboxens instyrning via låsöglor	44
5.18	Demonstration av hur låsfunktionen fungerar ihop med drönarfäste och batteribox	44
6.1	Laddare av modell Cellpro Dual PowerLab 8x2	46
6.2	Demonstration av testtrigg för encellskontakter	47
6.3	Illustration av strömkonakt mellan batteribox och laddningsfack . . .	48
6.4	Modifikation av batteriboxens toppdel	48
6.5	CAD-modell av lyftögla	49
6.6	Batteriboxens viktreducerade delar	49
6.7	CAD-modell av det konstruerade laddningsfacket	50
6.8	Samspel mellan modifierad batteribox och laddningsfack	50
7.1	Modell på hur en teleskopisk lyftpelare ser ut	53
7.2	Koncept 2: Saxlift	54
7.3	Koncept 2: Gångstång med axlar	54
7.4	Hissens vertikala rörelsesträcka	55
7.5	Stabilitet av hiss vid Fall A jämfört med Fall B	56
7.6	Sammansättning av linjärlager	57
7.7	Axelfästning i hissplatta	57
7.8	Hylsa för kil- och klämförbandskombination	58
7.9	Demonstration av förbandets funktion	58
7.10	CAD-modell av hissplattan	59
7.11	Hissplattans ovansida med styrkoner	59
7.12	Hisskonstruktionens momentöverföring	61
7.13	CAD-modell av det större snedkugghjulet samt trapetsmutter	61
7.14	Demonstration av gångstångens nedre fästpunkt	62
7.15	CAD-modell av det mindre snedkugghjulet	62
7.16	Uppställning för beräkning av hisskonstruktionens vridmoment	63
7.17	Demonstration av friktionen som uppstår i axlarna vid hissens hori- sontella rörelse	65
7.18	CAD-modell av bottenplattan	66
7.19	Illustration av hisskonstruktionens sammansatta komponenter	67
7.20	Hisskonstruktionen från två andra synvinklar	67

7.21	Vy av hisskonstruktionen då hissen befinner sig i ett högre läge än tidigare illustrerat	68
7.22	Testtrigg för hisskonstruktion	69
8.1	Systemarkitektur - överblick	71
8.2	Flödesschema, förfrågan och bekräftelse	72
8.3	Kretsschema	76
8.4	Kretskort till drönare	77
8.5	Ändlägesbrytare med pull-down motstånd.	78
9.1	Koncept för laddmagasin: Revolvermagasin	82
A.1	Programkod för drönare	II
A.2	Programkod för batteribytarstation	III
A.3	Programkod för hissanordning	IV
A.4	Programkod för positionering	V
A.5	Programkod - IO Config	VI
A.6	Programkod för header <code>Serial.h</code>	VII
A.7	Programkod för header <code>Settings.h</code>	VIII
A.8	Programkod för header <code>stepper_control.h</code>	IX

1

Inledning

1.1 Bakgrund

Everdrone AB är ett nystartat företag som utvecklar helt autonoma och intelligenta drönare. Företagets mål är att använda dessa drönare för att snabbt leverera hjärtstartare och medicin till svåråtkomliga platser. Då företaget fortfarande är i utvecklingsprocessen finns ett behov av att bygga en autonom testanläggning.

Syftet med anläggningen är att möjliggöra så att drönaren kan utföra testflygningar dygnet runt för att nå det mål på 10 000 tester inom ett år som företaget satt upp. Tanken är även att testanläggningen ska kunna användas efter att målet uppnåtts för att effektivisera framtida testflygningar.

Då testanläggningen ska vara i drift dygnet runt behövs ett sätt att automatiskt byta batterier i drönaren som annars bara har en batteritid på ca 20 minuter. En autonom batteribytarfunktion skulle då innebära att testflygningarna endast avbryts en kort sekvens var 20:e minut när batteriet är urladdat. Även om ett autonomt batteribyte nödvändigtvis inte resulterar i ett snabbare batteribyte möjliggör det att testerna kan fortsätta under de tidpunkter som testlokalen är obemannad.

1.2 Syfte

Uppdraget går ut på att utveckla och tillverka en automatiserad batteribytarstation för drönare. Drönaren ska kunna landa på batteristationen och automatiskt få batteriet utbytt. Det ska finnas flera batterier i förvaring som är redo att sättas in i drönaren. Det utbytta batteriet ska laddas upp och läggas i förvaring så att det kan användas igen.

1.3 Avgränsningar

Arbetet förutsätter att själva drönaren är färdigutvecklad. Uppgiften begränsas därmed till att utveckla en batteribytarstation som är kompatibel med den drönarmodell som Everdrone använder sig av. All mjukvara för drönaren sköts av Everdrone inklusive kommunikation mellan drönare och batteribytarstation.

Förutsättningarna för uppdraget gör det tidsbegränsat. På grund av tidsbegränsni-

gen köps en färdigutvecklad laddare för laddning av drönarens batteri. Det kommer alltså inte skapas någon nyutvecklad laddare.

Då Everdone AB är ett nystartat och litet företag finns det begränsade ekonomiska resurser. Någon budget har inte tillhandahållits, men det är underförstått att kostnaderna ska minimeras i den mån det går.

En 3D-skrivare används extensivt under arbetet för att tillverka en stor del av batteribytstationens komponenter. Rapporten går inte in på hur en 3D-skrivare fungerar eller de problem som uppstod under tillverkning relaterat till 3D-skrivaren.

1.4 Precisering av frågeställning

Uppdraget ska resultera i att en bestämd drönarmodell ska kunna landa på en plattform och få batteriet utbytt helt autonomt. Det utbytta batteriet ska laddas upp och förvaras så att det kan återanvändas vid nästa batteriutbyte.

2

Teoretisk referensram

2.1 DJI S900

S900 är den modell av drönare som företaget använder för sina autonoma flygningar, se Figur 2.1. Drönaren är tillverkad av det kinesiska bolaget DJI och är ursprungligen tänkt som filmdrönare och har därför egenskaperna att den är extremt stabil och kan bära en stor last vilket gör den ideal för ändamålet att leverera medicin och hjärtstartare på ett säkert sätt.



Figur 2.1: DJI S900

Drönarens flygkontroller, *DJI A3* har till uppgift att med hjälp av GPS, accelerometer, gyroskop och barometer hålla drönaren stabil genom att skicka styr signaler till motorerna. Utöver flygkontrollern har Everdrone utrustat drönaren med sitt egna system, *Dash* som ett lager ovanpå flygkontrollern.

Hårdvaran i Dash består bland annat av en kraftfull enkortsdator, Intel Nuc i7 och 7 stycken stereobildskameror, Intel Realsense D455. Kamerorna kan via stereobildsteknik mäta avstånd till pixlar i bilden, genom att ta en bild som får två olika perspektiv på objekt i bilden. Bilderna processas sedan i kamerans processor och givet avståndet mellan kameranlinserna och vinkel till objekt kan djupvärdet på varje pixel räknas ut. På längre håll fungerar kamerorna sämre, då objekt får mindre skillnad i betraktningvinkel från respektive kameranlinser. Tekniken fungerar ungefär

så som en människas två ögon bedömer avstånd. Kamerorna används i huvudsak för att undvika kollision genom att upptäcka hinder i drönarens flygväg, men också för att mäta avstånd, till exempel drönarens höjd över marken. All bilddata behandlas sedan av enkortsdatorn, som utefter given sensordata från kameror och flygkontroller navigerar drönaren autonomt.

Bildnavigeringssystemet tillåter också drönaren att flyga stabilt och hålla positionen även i områden som har dålig eller helt saknar GPS-mottagning, till exempel inomhus där batteribytestationen är placerad.

2.2 Litium-Polymer Batteri

När batterier nämns i drönarsammanhang handlar det nästan uteslutande om *Litium Polymerbatterier* också kallat LiPo-batteri. Den största fördelen med litium är den höga energidensiteten jämfört med äldre nickel-metallbatterier.

Det som skiljer sig markant mellan de batterier som sitter i en drönare och en dator är materialet elektrolyten är tillverkat av. Vanligast bland konsumentelektronik är litiumjon-järnfosfat, järnfosfat har dock en lägre specifik energi(J/kg) och energidensitet(J/M³) än det mer kraftfulla LiPo-batteriet.

Ett LiPo-batteri består av en eller flera celler (antal celler betecknas med S). Spänningen per cell ligger nominellt vid 3,7 volt, detta kan dock skilja lite beroende på hur batteriet är tillverkat men det generella spannet för en cell är 3,5 till 4,2 V. Varje cell har utöver sin givna spänning också en kapacitet (Ah) dvs hur mycket energi som finns lagrat i cellen.

Förutom den höga energidensiteten och specifika energin i ett LiPo-batteri finns ytterligare två egenskaper som gjort denna sortens batterier vanliga i drönare - snabb uppladdningsförmåga och kraftig urladdningspotential. På specifikationen till batterier finns det två C-värden, detta anger hur mycket ström batteriet kan laddas med samt hur stora strömspikar det klarar av under drift [1]. C-värdet är helt enkelt ett samband mellan kapaciteten i mAh och strömstyrkan i A.

Ett exempel på en LiPo-specifikation kan alltså vara enligt följande: *LiPo - 3S(11.1V) - 4500mAh - Charge 5C - Discharge 15C*

Det kan då laddas med följande strömstyrka:

$$4500mAh \cdot 5C = 22,5A \quad (2.1)$$

och laddas ur enligt:

$$4500mAh \cdot 15C = 67,5A \quad (2.2)$$

LiPo är ett kraftfullt batteri med stora fördelar men det kräver väldigt noggrann skötsel. För att övervaka kapaciteten enkelt används tabeller tillsammans med spänningsmätning. En cell anses vara slut när spänningen ligger på ca 3,5 volt och fulladdat vid 4,2 volt, sambandet där emellan är dock inte linjärt och därför används

tabeller/grafier för att tolka spänning till kapacitet kvar.

Om cellerna laddas ur för mycket kommer batteriet att förlora sin kapacitet permanent och livstiden förkortas markant. Skulle batterierna laddas för länge så att spänningen överstiger 4,2 volt ökar istället brandrisken, något som blivit aktuellt på senare tid där många så kallade hoverboards börjat brinna pga. felaktig laddning. Att lämna batterierna fulladdade under längre tid minskar också livslängden och därför brukar batterier som ej används laddas ur till 50% (3,8 volt), detta kallas *storage charge*.

2.3 Stegmotor: NEMA23

I en elmotors stator sitter ett flertal elektromagneter (spolar) utspridda kring rotorn (motoraxeln). När en av dessa elektromagneter strömsätts bildas en magnetisk nord- och sydpol orienterad beroende på strömmens riktning. I rotorn sitter det permanentmagneter, som kommer vilja vrida sig till en viss position för att uppnå minimalt magnetiskt flöde.

En motor har flera spolar som behöver strömsättas i en viss sekvens för att fortsätta rotera, detta kallas kommutering. En borstad likströmsmotor har inbyggda kolborstar, som sköter kommuteringen genom att mekaniskt leda strömmen till rätt spolar. Till skillnad från en borstad likströmsmotor har en stegmotor ingen inbyggd kommutering, dvs. om likström appliceras på ena eller bägge motorns poler kommer motoraxeln vrida sig minimalt för att sedan stå stilla. Sekvensvis strömsättning av elektromagneterna resulterar därmed i en stegvis rotation.

Genom att manuellt kunna styra magnetfältet mellan rotor och stator kan en stegmotor alltså roteras med en hög upplösning i grader som fås fram genom:

$$\beta = \frac{360^\circ}{N_s \cdot N_r} \quad (2.3)$$

Där N_s är antalet poler i statorn, och N_r antalet poler i rotorn [2].

Stegmotorn som användes under detta arbete är av typen NEMA 23. Den roterar med en upplösning på $1.8^\circ/\text{steg}$, dvs. 200 steg per varv och används vanligtvis i både små och stora CNC-maskiner.

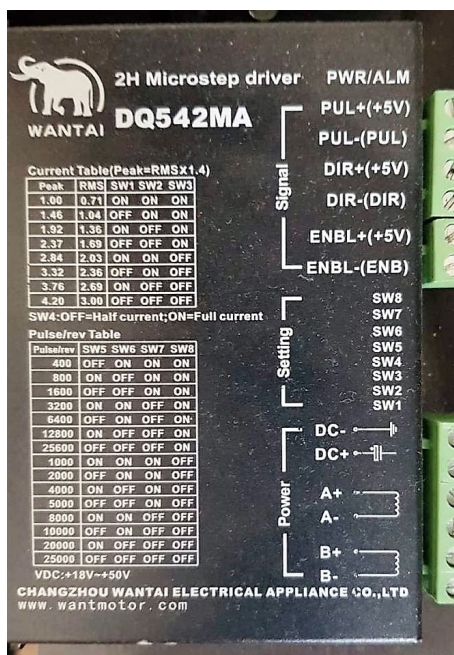
2.4 Stegmotorstyrning: DM542

För att kunna driva stegmotorn behövs en drivkrets. En mikrokontrollers digitala utsignaler kan oftast bara leverera ett par mA i ström, så om stegmotorns poler skulle anslutas direkt till en mikrokontroller är risken stor att strömuttaget blir för stort och mikroprocessorn går sönder. En drivkrets har till uppgift att ta emot logiska insignaler och sedan förse motorns poler med en mycket högre ström.

En drivkrets kan också öka upplösningen på en stegmotor via s.k. half-stepping eller microstepping. Vid half-stepping lägger drivkretsen spänning på två spolrar samtidigt, så att rotorn kan positionera sig i ett läge mittemellan två steg. En motor som har 1.8° i upplösning får då 0.9° istället.

Microstepping är en ännu mer avancerat metod för att öka upplösningen. Metoden bygger likt half-stepping på att placera sig i ett mellanläge mellan två fullsteg. Istället för att fördela stömmen jämnt på två spolrar används pulsbreddsmodulering för att skapa en sinussignal på de två spolarna. Detta leder till att stegmotorn kan uppnå en mycket exakt hastighet och/eller positionering.

DM542 är en drivkrets anpassad för att driva alla typer av 2-fas hybridstegmotorer upp till 4.2A [3] och i detta fallet en NEMA 23. Drivkretsen förenklar också logiken som krävs för att styra en stegmotor. Endast två insignaler behövs, en för att stega motorn och en för att välja riktning. Motorns stegupplösning kan väljas via inställningar på drivkretsen enligt Figur 2.2.



Figur 2.2: Stegmotorstyrning DM542 med tabeller för önskad upplösning och strömstyrka.

2.5 Arduino Uno/Nano

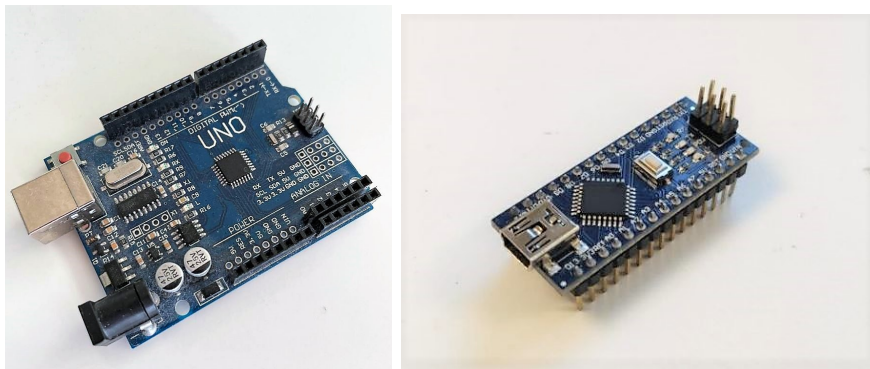
Arduino är en elektronikplattform ämnad för personer som snabbt vill komma igång med programmering av inbyggda system. Plattformen inkluderar både mjukvaruverktyg och hårdvara. Arduino har utvecklat flera olika kort och moduler, baserade på och kring olika mikroprocessorer.

Det mest kända Arduino-kortet är *Arduino Uno* som är ett experimentkort baserat

på processorn ATmega328P. Kortet har förutom processorn flera delar som extern klockoscillator, spänningsreglering, USB-anslutning och lysdioder som underlättar vid utveckling av prototyper. Den externa klockoscillatorn gör att klockfrekvensen blir mer stabil än om processorns inbyggda RC-oscillator(Resistor + kondensator) skulle användas. Kortet har 5V som logiknivå, vilket innebär att alla in/utgångar tål upp till 5V.

ATmega328P är en åtta bitars processor från AVR. Processorn har 23 stycken digitala I/O (In/ut-portar) som kan leverera upp till 20mA ström per port, dock är bara 14 I/O tillgängliga på Arduino Uno. Utöver digitala I/O har processorn även 6st analoga ingångar, en UART, ett SPI och 32KB FLASH-minne.

Arduino Nano är en mindre version av Uno, gjord för kretskortmontage, skillnaden illustreras i Figur 2.3. Kortet bygger kring samma processor och har identiska gränssnitt, vilket innebär att kod och kopplingscheman är fullt kompatibla mellan Uno och Nano.



Figur 2.3: Arduino Uno och Arduino Nano

2.6 Raspberry Pi

Raspberry Pi är en så kallad enkorts dator, vilket innebär att förutom datorns processor så finns all kringutrustning så som hårddisk och RAM-minne monterat på samma kretskort. Raspberry Pi har sedan lanseringen kommit i flera olika versioner och format med exempelvis inbyggd Bluetooth och Wi-Fi [4].

Raspberry Pi har sitt eget operativsystem *Raspbian* som bygger på Debian-Linux men kan också köra andra varianter av Linux så som Ubuntu eller Ubuntu Server. Eftersom Raspberry Pi har en flerkärning processor och ett operativsystem som sköter exekveringen så kan program köras i flera trådar samtidigt, till skillnad från en vanlig mikroprocessor som ofta bara har en tråd och all kod körs sekventiellt. Datorn har också en I/O-stiftlist som möjliggör direkt styrning och läsning av elektriska signaler från operativsystemet.

3

Metod

3.1 Kravspecifikation

Innan uppdraget kunde påbörjas togs en kravspecifikation för batteribytarstationen fram tillsammans med Everdrone.

Tabell 3.1: Kravspecifikation

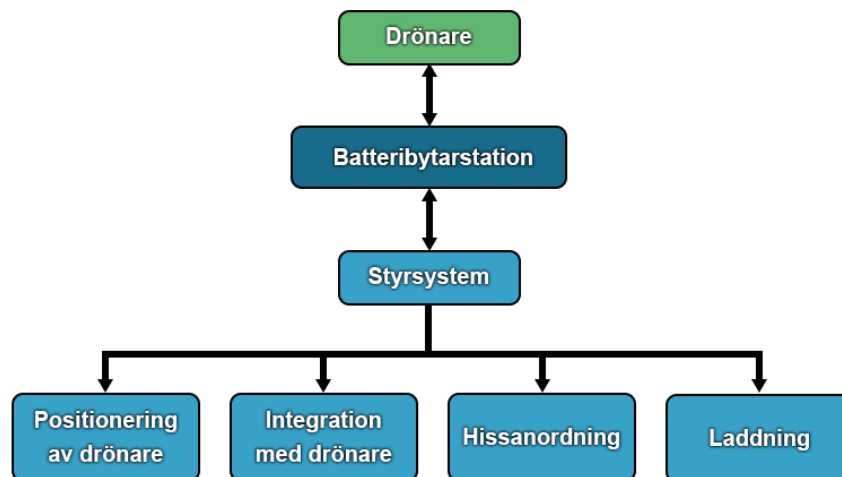
Kravspecifikation		
Funktion	Kravnr	Krav
Positionering av drönare		
	1.1	Drönaren ska kunna landa +-15cm och +-10grader från optimal landningsposition och ändå lyckas genomföra ett batteribyte.
	1.2	Drönaren ska kunna landa +-50cm från optimal landningsposition utan att välta så att ett nytt landningsförsök kan genomföras.
	1.3	Drönaren ska kunna röra sig fritt i lufrummet ovanför landningsplattformen
Drönarintegration		
	2.1	Användaren ska kunna indentifiera och skilja batterierna åt med bara ögat.
	2.2	Om ett enstaka batteri skulle fatta eld ska övriga batterier inte påverkas
Laddning		
	3.1	Laddning av batterier ska kunna drivas på normal 220v växelström
Styrsystem		
	4.1	Styrsystemet samt stationens komponenter ska kunna drivas på normal 220v växelström
Övergripande		
	5.1	Stationen ska vara möjlig att flytta vid behov
	5.2	Stationen ska kunna klara låga nivåer av vind/regn/snö ner till temperaturen 0 grader som t.ex. när byggnadens garageport öppnas.

Då det är ett omfattande arbete valde man att bryta ned kraven i kravspecifikationen till funktioner av batteribytarstationen som behöver utvecklas enligt Tabell 3.1.

3.2 Uppdragets genomförande

För att batteriet ska kunna förflyttas från sin laddningsposition i batteribytarstationen till drönaren behövs någon form av hissordning. Initialt fanns det inga krav på denna funktion från uppdragsgivaren, vilket förklarar varför den inte finns

med i kravspecifikationen ovan. Funktionen anses dock vara en omfattande del av uppdraget och man har därför valt att lägga till hissordningen som en av de funktioner som behöver utvecklas för batteribytarstationen. Sammanlagt har man därmed kommit fram till att det finns fem huvudfunktioner som behöver utvecklas för att färdigställa en batteribytarstation. Funktionerna presenteras i Figur 3.1.



Figur 3.1: Hierarkiskt schema över batteribytarstationens huvudfunktioner

Figur 3.1 illustrerar ett hierarkiskt schema över batteribytarstationens huvudfunktioner. Schemat visualiserar hur fyra av funktionerna är separata från varandra men sammankopplas genom ett övergripande styrsystem. Styrsystemet styr övriga funktioner och kommunicerar med batteribytarstationen. Kommunikation sker mellan styrsystemet och batterystationen samt mellan drönare och station. Kommunikationen sker kontinuerligt för att alla enheter ska kunna samarbeta under ett autonomt batteribyte.

Eftersom de fem huvudfunktionerna är innehållsrika lösningar är rapportens kapitel 4-8 indelade efter dessa funktioner.

3.2.1 Positionering av drönare

Då drönaren inte har tillräckligt hög precision i sin landning för att landa på exakt samma position vid varje landningsförsök ställs ett antal krav på denna funktion. Kraven presenteras som krav 1.1-1.3 enligt Tabell 3.1, där krav 1.1-1.2 är relaterade till drönarens landningsprecision. Krav 1.3 specificerar däremot att luftrummet ovanför drönarens landningsyta behöver vara fritt. Detta betyder att lösningen för att positionera drönaren inte får innehålla några delar som sticker upp i luften som kan vara i vägen för drönaren när den påbörjar sitt landningsförsök.

Med dessa krav att förhålla sig till behandlar kapitel 4 utvecklingsarbetet och hur man gick till väga för att positionera drönaren i optimal position för att ett autonomt batteribyte ska kunna genomföras.

3.2.2 Integration med drönare

Kapitel 5 behandlar hur batteriet ska integrera med drönaren. Denna funktion har två krav att förhålla sig till enligt Tabell 3.1, vilka är krav 2.1 och 2.2. Krav 2.1 beskriver hur varje batteri ska kunna skiljas åt med bara ögat. På grund av arbetets tidbrist beskrivet under avgränsningar i Kapitel 1.3 kommer denna rapport endast att presentera en lösning för ett batteri. Men eftersom uppdragsgivaren planerar att färdigställa batteribytarstationen för fler batterier vill man utveckla funktionen så att den enkelt kan expandera till fler batterier. Med andra ord kommer detta kapitel endast presentera integration mellan ett batteri och drönaren, men lösningen som har tagits fram är anpassad för att fler batterier enkelt ska kunna adderas i framtiden.

Även krav 2.2 (se Tabell 3.1) bygger på fler än ett batteri eftersom batteriet ska brandsäkras så att branden inte sprider sig till närliggande batterier. Med samma argument som tidigare utvecklingsarbetet för brandsäkring tagit till hänsyn att fler batterier enkelt ska kunna adderas framöver.

3.2.3 Laddning

Det enda kravet som ställdes från uppdragsgivaren på hur batteriet ska laddas var att laddningen ska kunna drivas på 220 V växelström enligt Krav 3.1 i Tabell 3.1. Utöver detta behandlar kapitel 6 genomförande och resultat på lösningen för hur batteriet kan laddas autonomt. Som tidigare nämnt behandlar denna rapport endast laddningen av ett batteri. Men eftersom uppdragsgivaren planerar att addera fler batterier framöver har lösningen för laddningsfunktionen utvecklats så att den enkelt kan multipliceras i framtiden.

3.2.4 Hissanordning

Initialt hade uppdragsgivaren inget krav på hur batteriet tar sig från batteribytarstationen till drönaren. Kapitel 7 beskriver däremot hur man gemensamt med Everdrone beslutade att batteriet ska förflyttas vertikalt i ett led från station till drönare. Likt föregående huvudkapitel behandlar kapitlet genomförande och resultat för hur batteriet förflyttas från sin laddningsposition i batteribytarstationen tills att den når drönaren.

3.2.5 Styrsystem

Styrsystemet utvecklades löpande för varje ställdon och givare som adderades till batteristationen. Varje komponent testkördes och dess kod inkluderades sedan in i styrsystemet. När hela styrsystemet till slut gick att köra lokalt via en USB-kabel adderades även ett kommunikationsprotokoll för att integreras mot företagets system. I kapitel 8 beskrivs integrationsprocessen djupare.

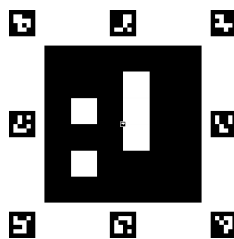
3.3 Utrustning

Då Everdrone AB ägde en 3D-skrivare användes denna. Majoriteten av delarna har därför konstruerats i CAD och sedan tillverkats med hjälp av 3D-skrivaren. Detta har medfört att de tillverkade detaljerna har kunnat specialanpassats och modifierats vid behov.

4

Positionering av drönare

Kapitlet behandlar lösningen för hur drönaren fixeras i optimal position för att kunna utföra ett batteribyte. Alla koncept utgår ifrån de krav som ställts av uppdragsgivarna (se Tabell 3.1) samt en landningsmarkör som de tagit fram. Landningsmarkören är anpassad för drönarens autonoma landning och illustreras i Figur 4.1.



Figur 4.1: Landningsmarkör för autonom drönarlandning

Landningsmarkören består av boxar med mönster som syns i figuren ovan. Under drönaren sitter en kamera som läser av markörens mönster. Mittenmarkören används då drönaren flyger vid högre höjd för att hitta var den ska landa. Allteftersom drönaren närmar sig markören finns det risk att mittenmarkören hamnar ur bild. De mindre markörerna runt omkring används då för att centrera drönarens position och se till att den inte tappar bort sig.

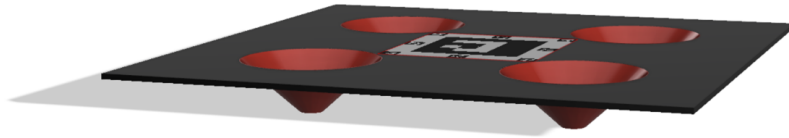
4.1 Idégenerering

För att kunna utföra ett batteribyte autonomt krävs det att drönaren hamnar i exakt samma position efter varje landning. Drönaren som används har däremot inte millimeterprecision i sin landning och det krävs därmed en extern lösning för att uppnå detta mål. Krav 1.1-1.2 enligt kravspecifikationen (se Tabell 3.1) som sattes av uppdragsgivaren utifrån drönarens egenskaper satte grund för de koncept som togs fram för att förverkliga denna externa lösning.

4.1.1 Koncept 1: Konformade skålar

Koncept 1 bygger på en passiv lösning där drönaren fixeras i korrekt position genom konformade skålar. Konerna dimensioneras utifrån krav 1.1 (se Tabell 3.1) och placeras kring landningsmarkören enligt Figur 4.2. Konceptet illustreras i Figur 4.2. Fördelen med denna typ av lösning är att det inte krävs någon typ av motordrift

för att förflytta drönaren till rätt position utan den tar istället nytta av drönarens tyngdkraft. Lösningen anses relativt enkel då endast lutningen mellan skålens inre kant behöver justeras för att på så sätt hitta rätt balans mellan friktion och tyngdkraft.



Figur 4.2: CAD-modell av det första konceptet för att positionera drönaren

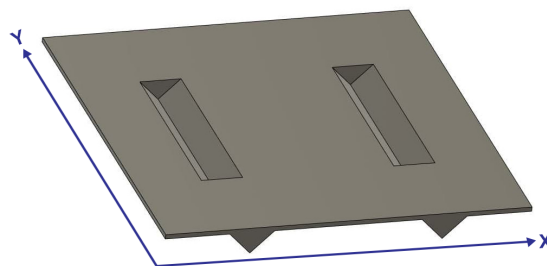
Problemet med detta koncept är att det inte är anpassat för drönarens landningsställ. Figur 4.3 illustrerar drönarens landningsställ där man jämfört med Figur 4.2 kan se att landningstället måste modifieras för att passa med konceptet. Med andra ord behöver ytterligare en lösning tas fram.



Figur 4.3: Landningsställ till DJI 900

4.1.2 Koncept 2: Skåra

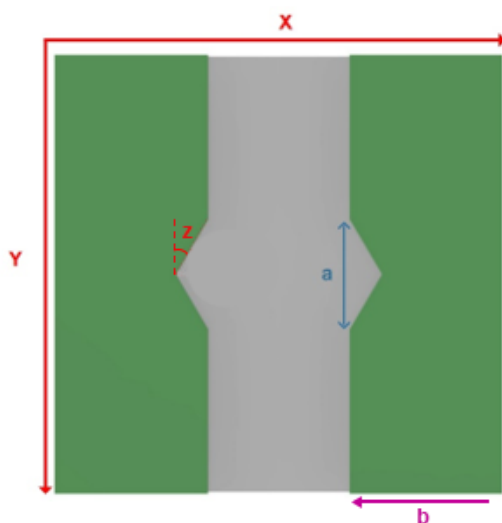
För att undvika att behöva modifiera drönarens befintliga landningsställ togs ett nytt koncept fram. Konceptet baseras på konernas passiva lösning, men istället för koner så används två skåror som går genom skivan enligt Figur 4.4. Skårorerna får drönaren att positioneras i x-led enligt Figur 4.4 men inte i y-led. Det behövs därmed ytterligare en lösning för att positionera drönaren i y-led.



Figur 4.4: Koncept 2: Skåra

4.1.3 Koncept 3: V-formation

Eftersom tidigare presenterade koncept kräver ytterligare modifikationer togs ett tredje koncept fram. Koncept 3 baseras på två skivor med en v-formad inskärning och illustreras i Figur 4.5. De två skivorna är rörliga i x-led och drivs av en motor i var ända. Avståndet a anpassas efter krav 1.1 (se Tabell 3.1) då v-formen förskjuter drönaren i y-led. Vinkeln z behöver räknas ut för att få optimal rörelse i y-led när skivorna trycks ihop i x-led. Fördelen med denna lösning är att den passar nuvarande landningsställ samt positionerar drönaren i både x- och y-led. Konceptet kräver dock motordrift i ett led.



Figur 4.5: Koncept 3: V-formation

4.1.4 Eliminering av koncept

För att utvärdera vilket koncept som skulle tas i bruk vägdes för- och nackdelar mot varandra samt en diskussion med uppdragsgivarna. En statisk lösning (koncept 1) kändes lovande eftersom man kunde utesluta motorer helt och hållet. Efter att ha skissat fram olika lösningar på nya typer av landningsställ kom man däremot till insikt att det skulle bli ett alldeles för omfattande arbete. Landningsstället skulle inte bara behöva uppfylla samverkan med koncept 1 utan även behöva uppnå samma stabilitet som det nuvarande landningsstället. Då detta arbete även är tidsbegränsat eliminerades helt enkelt koncept 1. De två kvarstående koncepten ansågs båda behöva motordrift i ett led för att fungera. Koncept 3 var däremot en mer genomarbetad lösning och därmed det koncept som valdes att utveckla.

4.2 Konstruktion

För att konstruera det valda konceptet behövde en del parametrar beräknas för att uppnå en så optimal lösning som möjligt.

4.2.1 Friktion

Det valda konceptet bygger på att drönaren glider ovanpå en plan yta. För att minimera den kraft som behövs för att skjuva drönaren i sidled bör friktionen vara så liten som möjligt. Landningsytan som drönaren landar på bör därmed vara tillverkad av ett relativt glatt material. Landningsytan bör även ta hänsyn till krav 1.2 samt 5.1 (se Tabell 3.1). Det nuvarande landningsstället har även gummifötter och eftersom gummi inte är ett glatt material bör även dessa bytas ut.

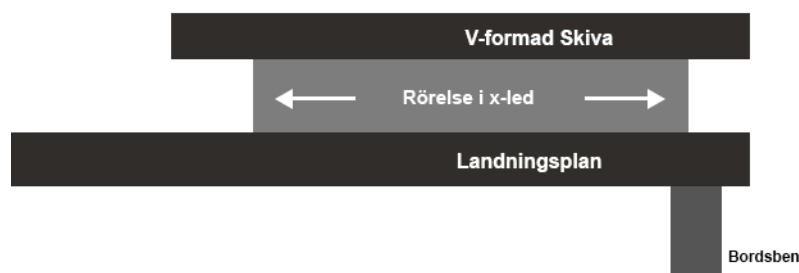
För att utvärdera det mest lämpliga materialet gjordes först en jämförelse av olika friktionskoefficienter för de mest lättillgängliga materialen. Jämförelsen sammanställdes i en tabell och presenteras i Tabell 4.1.

Tabell 4.1: Jämförelse av friktionskoefficient för olika materialkombinationer (Data från [5])

Kombinationsnummer	Materialkombination	Friktionskoefficient μ (torr)
1.0	Glas - Metall	0,5-0,7
1.1	Stål - Stål	0,5-0,6
1.2	Stål - Trä	0,5-0,6
1.3	Trä - Trä	0,4-0,6
1.4	Gummi - Metall	1
1.5	Plast - Metall	0,25-0,4
1.6	Plast - Plast	0,3-0,4

Tabell 4.1 visar att kombination 1.5 samt 1.6 är de med lägst friktionskoefficient. Resterande materialkombinationer visar betydligt högre värden. Genom att först utvärdera kombination 1.5 behöver antingen landningsytan eller drönarens fötter vara gjord i metall. Eftersom drönarens fötter har en specifik form anses det svårt att hitta eller forma en bit metall så att den upptar denna form. Då det även finns möjlighet att 3D-skriva fötterna i plast anses det vara en betydligt bättre lösning. Därav utesluts metallfötter och plastfötter fastställs.

Figur 4.6 illustrerar planen för hur landningsplattformen är tänkt att konstrueras. Notera att figuren endast visar ena hörnet på landningsplattformen, sett från sidan. Som figuren visar är den V-formade skivan tänkt att röra sig i x-led med en distans mellan sig och landningsplanet.



Figur 4.6: Sidsvy på ena hörnet av batteribytarstationens landningsplattform

När det kommer till landningsplanet ska den ta hänsyn till krav 1.2 samt 5.1 (se Tabell 3.1), vilket betyder att det krävs en relativt stor skiva för att uppnå krav 1.2 samt att vikten på skivan bör hållas så lätt som möjligt för att uppnå krav 5.1. För att få landningsskivan stabil krävs dessutom en viss tjocklek på materialet. Med detta i åtanke ansågs en tjock metallskiva att väga för mycket samt en tjock plastskiva för dyr samt svår att få tag på. Diskussion ledde fram till förslaget om att fästa en tunn skiva av materialen på en MDF-skiva för att på så sätt hålla nere både vikt och kostnad samt uppå stabilitet. En laminerad bordskiva uppfyller alla dessa krav. Laminatskivan är även lätthanterlig under byggnationen samt att den inte behöver monteras ihop, vilket gjorde att valet föll på denna lösning och metall som materialval eliminerades.

För att spara både tid och pengar valdes samma laminatskiva till att konstruera de V-formade skivorna (se Figur 4.5 och 4.6) som ska skjuva drönaren i optimal position. Ett problem med laminatskivan är dock att det endast är toppytan som består av plast, vilket betyder att sidorna är av trä (spån). Lösningen som bestämdes var att 3D-skriva täckåpor av plast som omslöt laminatskivan och därmed gav sidan den plastiga egenskap som eftersöktes. Fördelen med denna lösning var även att det i efterhand var möjligt att justera vinkel z (se Figur 4.5) genom att 3D-skriva modifierade täckåpor om det så skulle behövas.

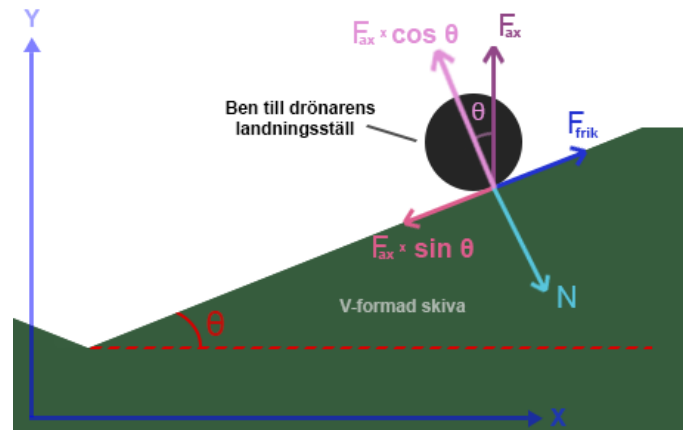
Den del på landningsstället som integrerar med den v-formade skivan är av kolfiber. Då det var svårt att hitta källor på friktionskoefficienten mellan kolfiber och plast gjordes en bedömning att den hade likvärdig yta som laminatskivan. Därav användes även här kombination 1.6 för att beskriva friktionsförhållandet mellan materialen.

Valet blev alltså att 3D-skriva nya fötter till drönaren av plast samt att använda en laminerad bordskiva som landningsyta, vilket uppfyller materialkombinationen plast mot plast. Utöver detta ska även täckåpor 3D-skrivas för att uppfylla samma friktionsförhållanden mellan drönarens landningsställ och den V-formade laminatskivan.

Eftersom vissa antaganden gjorts beslutades det att lägga till en säkerhetsmarginal på 0,1, vilket medför en slutgiltig friktionskoefficient mellan materialen vid torra förhållanden som $\mu_{torr} = 0,5$ enligt Tabell 4.1 adderat med säkerhetsmarginalen.

4.2.2 Vinkel z , avstånd a och b

Utifrån konceptillustrationen i Figur 4.5 behöver vinkeln z , avstånd a samt b beräknas så att krav 1.1 samt 1.2 uppfylls enligt kravspecifikationen. Avstånd b är det avstånd som vardera V-formade skivor behöver röra sig i x-led för att positionera drönaren i optimal position samt ta hänsyn till ovan nämnda krav. Eftersom avstånd a påverkas av vinkeln z beräknades först vilken vinkel som krävs för att uppnå glidning mellan drönarens landningsställ och den V-formade skivan. Figur 4.7 illustrerar de krafter som uppstår då den V-formade skivan trycker på benet till drönarens landningsställ i y-led.



Figur 4.7: Uppställning av krafter vid beräkning av θ

Friktionskraften F_{frik} som illustreras i figuren ovan kan även skrivas om efter friktionslagen [6]:

$$F_{frik} = N \cdot \mu \quad (4.1)$$

Genom att ställa upp en jämviktsekvation för krafterna i samma led som F_{frik} fås: $F_{frik} - F_{ax} \cdot \sin \theta = 0$, omskrivning av ekvationen samt insättning av ekvation (4.1) ger då:

$$N = F_{ax} \cdot \sin \theta \cdot \mu \quad (4.2)$$

Jämviktsekvation för krafterna i samma led som N ger: $F_{ax} \cdot \cos \theta - N = 0$ och genom omskrivning av ekvationen fås då:

$$N = F_{ax} \cdot \cos \theta \quad (4.3)$$

Sammansättning av ekvation (4.2) och (4.3) ger:

$$F_{ax} \cdot \sin \theta \cdot \mu = F_{ax} \cdot \cos \theta \Rightarrow \sin \theta \cdot \mu = \cos \theta \Rightarrow \tan \theta = \mu$$

Insättning av tidigare framtagen friktionskoefficient $\mu_{\text{torr}} = 0,5$ och lösning för θ ger:

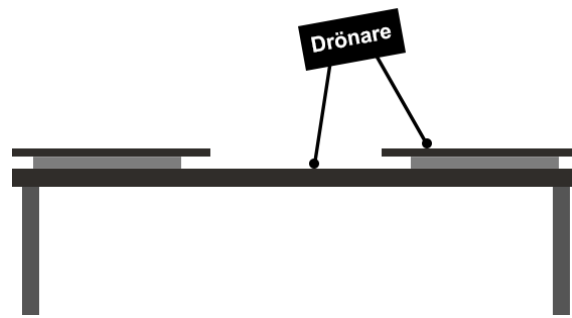
$$\theta = \arctan(0,5) \approx 26,57 \text{ grader} \quad (4.4)$$

Beräkningarna visar då alltså att drönarens ben kommer att börja glida längs med den V-formade skivan då vinkeln $z \geq 26,57$ grader. För att fastställa vinkeln z behövdes det även ta hänsyn till avstånd a (se Figur 4.5) då förändringar i vinkel z påverkar detta avstånd.

För att uppnå krav 1.1 (se Tabell 3.1) bestämdes avstånd a till 30cm. Vinkel z bestämdes därefter till 30 grader för att uppnå glidning med viss säkerhetsmarginal enligt Ekvation (4.4). Anledningen till varför värden med större säkerhetsmarginal inte beslutades var att en ökning av båda dessa värden skulle påverka djupet på V-formationen. Det fanns en oro att ett för djupt "V" skulle påverka stabiliteten i den V-formade skivan. Dessutom diskuterades det att ett djupare "V" eventuellt kunde orsaka större vridning av drönaren och därmed göra det svårare att positionera drönaren i optimal position. Med detta sagt fanns möjlighet att påverka vinkeln i efterhand om det skulle behövas eftersom täckåpan, som tidigare nämnts, tillverkades i en 3D-printer.

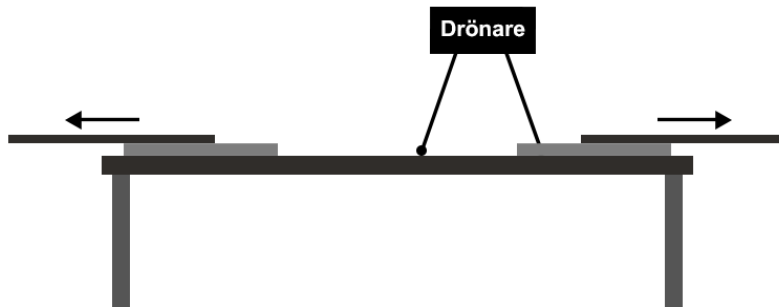
Krav 1.2 (se Tabell 3.1) säger att det ska finnas ett område på minst 1x1m att landa på utan att drönaren välter omkull. Genom att lägga till en säkerhetsmarginal på 20cm i både x- och y-led (se Figur 4.5) samt ta hänsyn till krav 5.1 beslutades det att storleken på hela konstruktionen och därmed storleken på landningsplanet skulle bli 1,2x1,2m.

Figur 4.8 visar hur drönaren potentiellt kan landa för att uppfylla krav 1.2. Detta medför att distansen mellan landningsplanet och den V-formade skivan inte får vara för högt då det skulle innebära en risk att drönaren välter.



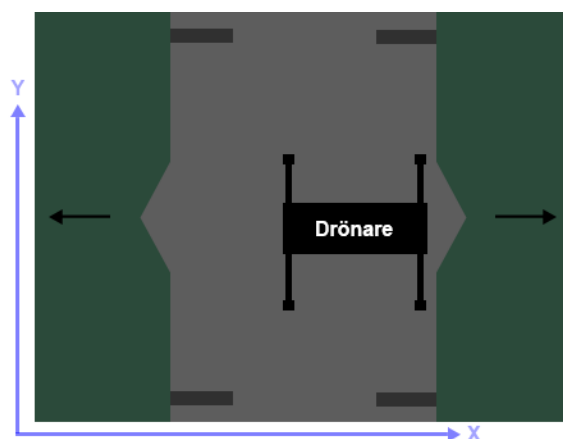
Figur 4.8: Sidovy på hela landningsplattformen samt potentiell landning från drönaren

Även om drönaren troligtvis klarar av att landa enligt Figur 4.8 behövs risken för att drönaren kan vända minimeras. Figur 4.9 visar därför hur de V-formade skivorna skjuts ut från mitten för att på så sätt skapa en större landningsyta för drönaren.



Figur 4.9: Potentiell drönarlandning vid utfällt läge

Figur 4.10 illustrerar samma drönarlandning som i Figur 4.9 fast i ett perspektiv från ovan.



Figur 4.10: Fågelperspektiv på potentiell drönarlandning vid utfällt läge

I figuren ovan illustreras hur krav 1.2 uppnås i y-led då större delen av bordets 1,2m djup kan utnyttjas. I x-led bör de V-formade skivorna förskjutas så långt som möjligt för att maximera drönarens landningsyta. Om skivorna förskjuts för långt i x-led

finns det dock risk att skivorna blir för ostabila. Samtidigt måste skivorna kunna skjutas ihop såpass mycket att dom lyckas positionera drönaren i optimal position. Avståndet mellan benen på drönarens landningsställ vid marknivå är ca 42cm. Eftersom benen på drönarens landningsställ lutar (se Figur 4.3) betyder det att det uppmätta avståndet minskar ju högre upp på landningsstället som de V-formade skivorna träffar. För att lyckas positionera drönaren i optimal position antogs att avståndet mellan benen på drönaren är mindre än 42cm och en säkerhetsmarginal lades till. Med detta i åtanke beslutas det att avståndet mellan de V-formade skivorna i komprimerat läge ska vara ca 30cm. För att ta hänsyn till krav 1.2 betyder detta att de V-formade skivorna behöver kunna skjutas ut ca 40cm per sida eftersom $30+40+40 = 110\text{cm}$, vilket motsvarar landningsytan i x-led, och krav 1.2 säger att drönaren ska kunna landa $\pm 50\text{cm}$ från optimal position. Då även krav 1.1 uppfylls vid detta avstånd valdes avstånd b till ca 40cm.

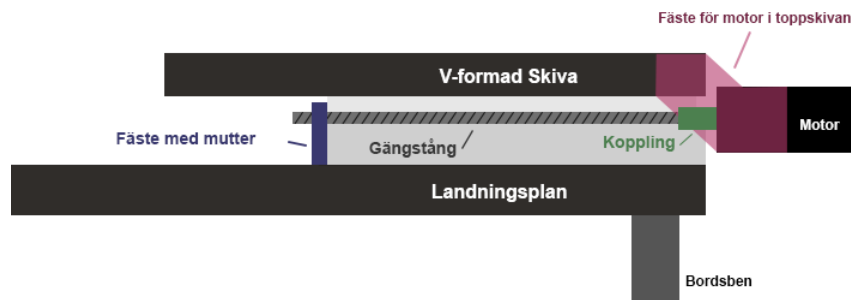
4.2.3 Komponentval och driftsätt

För att få ihop konstruktionen för positioneringen av drönaren behöver ytterligare komponentval bestämmas för att lösa den V-formade skivans linjärrörelse i x-led.

På grund av arbetets begränsade tid och kostnad samt att avståndet b beslutades till 40cm ansågs expansionsbeslag som den mest effektiva lösningen för att skjuva de V-formade skivorna i x-led eftersom det enkelt gick att få tag på expansionsbeslag med en längd på 40cm till ett rimligt pris.

För att driva skivorna autonomt behövs motorkraft. I detta fall ansågs en stegmotor vara det bästa valet på grund av sin precision och pålitlighet. Stegmotorn är även enkel att programmera och driva, vilket sparar tid. Utöver det så är den prisvärd, uthållig och det finns ett stort utbud av olika storlekar och kapacitet. Slutligen så är den stark vid låga varvtal, vilket gör att den klarar att driva tunga laster utan utväxling [7]. Eftersom den tänkta konstruktionen har ett begränsat utrymme att få plats med både motor och eventuellt en utväxling är det till stor fördel att slippa använda sig av utväxling. Därmed ansågs stegmotorn som det självklara valet.

Då stegmotorn driver en axel behöver rotationsrörelsen från stegmotorn överföras till en linjärrörelse på den V-formade skivan. Figur 4.11 visar den uttänkta lösningen på detta problem. Genom att fästa motorn i den V-formade skivan istället för landningsplanet kringgås risken att den valda motorn inte får plats mellan dem. Då det fanns tillgång till en 3D-skrivare ritades motorfästet upp i CAD så att det kan anpassas efter måtten på motorn och den V-formade skivan.



Figur 4.11: Lösning på överföring från rotationsrörelse till linjärrörelse

Rörelsekraften från stegmotorn förs över till linjärkraft via en gängstång som fästs kring motorns axel med hjälp av en koppling enligt Figur 4.11. I andra änden av gängstången tillverkas ett fäste med 3D-printern som skruvas fast i landningsplanet. I fästet fästs en mutter med samma gänga som gängstången. På så sätt kommer den V-formade skivan att röra sig linjärt när motorns axel snurrar. Då denna typ av transmission är en beprövad metod undveks utvärdering av ytterligare metoder med hänsyn till arbetets tidsbegränsning.

För att få en jämn transmission behöver gängstången utsättas för så lite friktion som möjligt. För att minimera friktionen behöver då stigningen på gängorna vara så stor som möjligt eftersom stången då behöver snurra färre varv för att röra sig en viss sträcka. Däremot innebär en allt för stor stigning på gängorna en minskad precision vid förflyttning av de V-formade skivorna. En trapetsgängad T8 stång var det bästa alternativet med hänsyn till ovanstående argument. Gängstången är 8mm i diameter och har en stigning på 8mm, vilket gör den tillräckligt smal för att passa på axeln till en stegmotor samt att stigningen har en bra balans mellan friktion och precision utifrån förutsättningarna.

För att fästa den trapetsgängade stången på stegmotorns axel behövs någon form av koppling. Det diskuterades att eventuellt 3D-printa ett kilförband som är anpassat i storlek efter gängstången och motoraxeln. Det skulle dock innebära att det finns risk att det kan bli en viss vinkel mellan den V-formade skivan och bordet, vilket gör att den trapetsgängade stången inte blir parallell med landningsytan, vilket hade skapat en ökad friktion vid överföring av rotation- till linjärrörelse. Istället för en stel axel valdes en fjädrad axel som är mer följsam eftersom fjädningen kan kompensera för en ojämn rotation av gängstången. För att ta hänsyn till viss felmarginal vid montering blev valet en spiralkoppling som har en fjäderegenskap och därav kan kompensera för en eventuellt ojämn rotation av gängstången.

4.2.4 Kraft och val av stegmotor

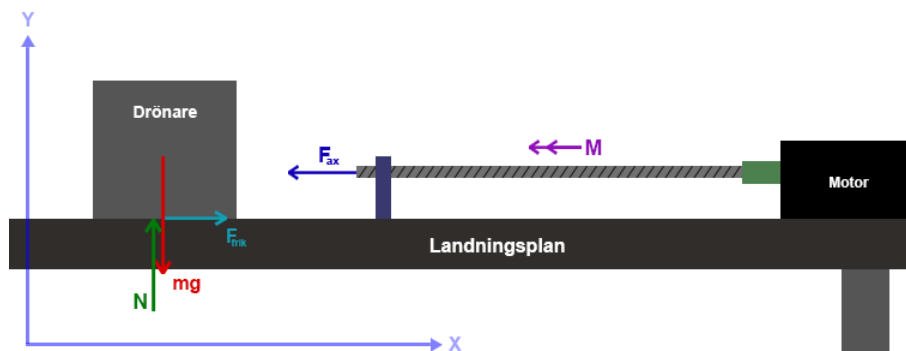
För att avgöra vilken kapacitet på stegmotor som krävs finns det många parametrar att ta hänsyn till. Följande parametrar kommer att utvärderas:

- Kraft krävd för att flytta drönaren i sidled
- Kraft krävd för att flytta den V-formade skivan i sidled
- Byrålådseffekten
- Drönarens rotation vid förflyttning i sidled

Beräkningarna i kommande delkapitel görs för ena sidan av landningsplattformen. Då konceptet består av två stycken V-formade skivor (se Figur 4.10) som positionerar drönaren i optimal position från varsin sida behövs alltså en stegmotor på varje sida för att driva konstruktionen.

4.2.4.1 Kraft krävd för att flytta drönaren i sidled

Figur 4.12 visar en förenklad kraftuppställning för att beräkna den axialkraft från motorn som krävs för att förflytta drönaren i x-led.



Figur 4.12: Förenklad kraftuppställning för beräkning av krafter

Drönarens vikt inkl. batteri är ca 7kg, men eftersom en lösning för att fästa samt lossa batteriet från drönaren inte är inkluderat läggs ytterligare 2kg till som säkerhetsmarginal. Detta betyder att $m = 9\text{kg}$. Friktionskoefficienten är densamma som konstaterat i kapitel 4.2.1 vilket är $\mu_{\text{torr}} = 0,5$.

Jämviktsekvation i x-led utifrån Figur 4.12 ger:

$F_{\text{frik}} - F_{\text{ax}} = 0$, omskrivning och insättning av ekvation (4.1) ger då:

$$F_{\text{ax}} = N \cdot \mu \quad (4.5)$$

Jämviktsekvation i y-led ger:

$$N - mg = 0 \quad \Rightarrow \quad N = mg \quad (4.6)$$

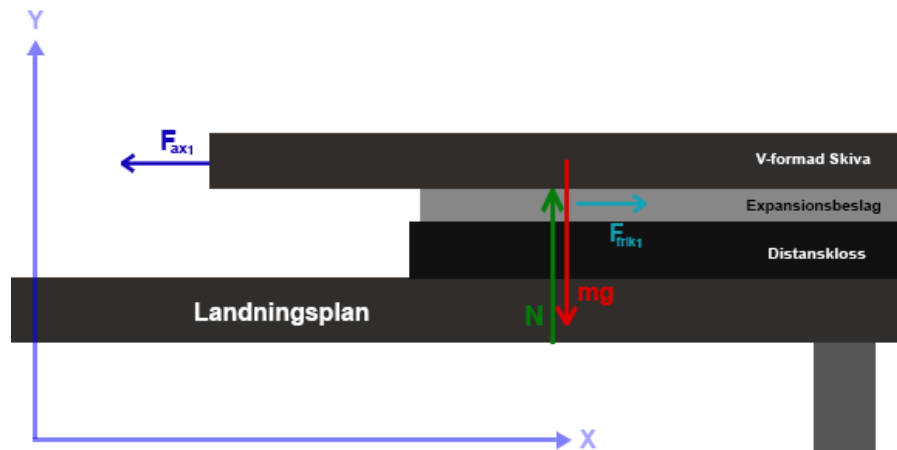
Ekvation (4.5) och (4.6) ger:

$$F_{ax} = mg \cdot \mu \quad \Rightarrow \quad F_{ax} = 9 \cdot 9,82 \cdot 0,5 = 44,19N \quad (4.7)$$

Alltså krävs det en kraft på 44,19N för att förflytta drönaren i x-led.

4.2.4.2 Kraft kvävd för att flytta den V-formade skivan i sidled

Figur 4.13 visar en förenklad kraftuppställning för att beräkna den kraft som krävs för att förflytta den V-formade skivan i x-led. Skivans vikt är ca 4kg, men med tanke på att motorn ska hänga i skivan med ett fäste så läggs ytterligare 1,5kg till för att kompensera för denna vikt, vilket ger $m = 5,5\text{kg}$. Friktionskoefficienten för expansionsbeslaget är svår att få fram och bör vara relativt låg, men för att ha en viss säkerhetsmarginal uppskattas den till $\mu = 0,3$.



Figur 4.13: Förenklad kraftuppställning för beräkning av krafter

Jämviktsekvation i x-led utifrån Figur 4.13 ger:

$F_{frik1} - F_{ax1} = 0$, omskrivning och insättning av ekvation (4.1) ger då:

$$F_{ax1} = N \cdot \mu \quad (4.8)$$

Jämviktsekvation i y-led ger:

$$N - mg = 0 \quad \Rightarrow \quad N = mg \quad (4.9)$$

Ekvation (4.8) och (4.9) ger:

$$F_{ax1} = mg \cdot \mu \quad \Rightarrow \quad F_{ax1} = 5,5 \cdot 9,82 \cdot 0,3 = 16,2N \quad (4.10)$$

där $F_{ax1} = 16,2N$ är den kraft som krävs för att förflytta den V-formade skivan i x-led.

4.2.4.3 Byrålådseffekten

Vid installation av expansionsbeslagen gäller det att få dem helt parallellt med varandra för att förhindra den så kallade byrålådseffekten. Om expansionsbeslagen inte är helt parallella betyder det att när ställdonet drar eller puttar den V-formade skivan med en kraft F så uppstår ett vridmoment M . Vridmomentet ökar i sin tur normalkraften N som verkar på expansionsbeslaget och eftersom normalkraften påverkar friktionskraften F_{frik} enligt ekvation (4.1) så ökar även friktionskraften. När denna kraft har ökat så pass mycket så kommer den V-formade skivan att låsa sig och därmed har byrålådseffekten uppstått [8]. Med andra ord, ju sämre parallellitet mellan expansionsbeslagen, desto högre friktionskraft motarbetar den V-formade skivans rörelse i x-led och till slut självlåser sig skivan. Därför behöver man ta hänsyn till detta fenomen vid utvärdering av vilken kapacitet på stegmotorn som krävs.

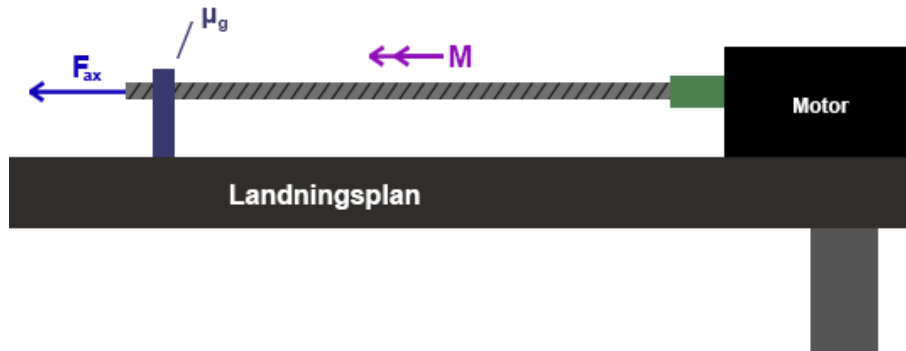
För att kompensera för byrålådseffekten läggs ytterligare en säkerhetsmarginal till vid val av motor för att ta hänsyn till eventuella precisionsfel vid montering av expansionsbeslagen som hade kunnat leda till en ökad friktion vid rörelse av den V-formade skivan.

4.2.4.4 Drönarens rotation vid förflyttning i sidled

När den V-formade skivan trycker på drönaren kommer drönaren troligtvis att rotera något i samband med dess förflyttning i sidled. Rotationen anses variera beroende på var drönaren befinner sig i förhållande till den V-formade skivan. Eftersom det är svårt samt tidskrävande att beräkna varje möjligt fall till rotation av drönaren beslutades det istället att lägga till ytterligare säkerhetsmarginal vid val av motor för att kompensera för drönarens rotation.

4.2.4.5 Val av stegmotor

Eftersom en stegmotor roterar en axel betecknas dess kapacitet i vridmoment, uttryckt i Nm. Därför behöver tidigare kraftberäkningar räknas om till vilket vridmoment som krävs för att förflytta de V-formade skivorna som i sin tur positionerar drönaren. En uppställning för att beräkna detta vridmoment presenteras i Figur 4.14.



Figur 4.14: Uppställning för beräkning av vridmoment

För att beräkna vridmomentet M enligt Figur 4.14 används följande formel [6]:

$$M = F_{ax} \cdot \frac{P}{2\pi} \cdot \frac{\tan(\varphi + \rho')}{\tan(\varphi)} \quad (4.11)$$

I formeln är variabeln P gängans stigning, vilket är 8mm för den trapetsgängade Tr8-stången. Variabeln ρ' kallas för den skenbara friktionsvinkeln och beräknas enligt följande formel [6]:

$$\rho' = \arctan\left(\frac{\mu_g}{\cos \alpha}\right) \quad (4.12)$$

där α är gängans halva profilvinkel. Profilvinkeln för en trapetsgängad Tr8-stång är $\beta = 15$ grader $\Rightarrow \alpha = 7,5$ grader. μ_g är friktionskoefficienten i gängan [6]. Då det är svårt att mäta denna variabel uppskattas den till $\mu_g = 0,15$ baserat på diverse räkneuppgifter i övningsboken för maskinelement [9]. Insättning av värden i ekvation (4.12) ger:

$$\rho' = \arctan\left(\frac{0,15}{\cos(7,5)}\right) \approx 8,603 \text{ grader} \quad (4.13)$$

Variabeln φ i ekvation (4.11) är gängans stigningsvinkel på medelradien och beräknas enligt formeln [6]:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{P}{\pi d_2}\right) \quad (4.14)$$

där d_2 är gängans medeldiameter [6], vilket för en trapetsgänga Tr8 är ca 7mm [10] och P är samma stigning på gängan som beskrivet ovan. Insättning av värden i ekvation (4.14) ger då:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{0,008}{\pi \cdot 0,007}\right) \approx 19,991 \text{ grader} \quad (4.15)$$

Eftersom F_{ax} i Ekvation (4.11) påverkas av både förflyttning av drönaren samt

förflyttning av den V-formade skivan sätts F_{ax} i den här beräkningen som summan av ekvation (4.7) och (4.10), vilket blir $F_{ax} = 44,19 + 16,2 = 60,39\text{N}$.

Insättning av samtliga framtagna värden i ekvation (4.11) ger då:

$$M = 60,39 \cdot \frac{0,008}{2\pi} \cdot \frac{\tan(8,603 + 19,991)}{\tan(19,991)} \approx 0,115 \text{ Nm} \quad (4.16)$$

Resultatet visar alltså, vid en förenklad beräkning, borsedd från byråladseffekten samt drönarens tendens att vrida sig vid förflyttning, att det krävs ett vridmoment på ca 0,115Nm för att förflytta drönaren i sidled.

Genom att undersöka kapaciteten på olika stegmotorer är Nema 17 en av de stegmotorer med en kapacitet som överstiger det beräknade vridmomentet i ekvation (4.16) med en relativt hög säkerhetsmarginal. Nema 17 har ett vridmoment på ca 0,47Nm [11], vilket ger en säkerhetsmarginal på ungefär 4 gånger det beräknade vridmomentet. Nästa nivå på stegmotor är Nema 23 som har ett vridmoment på ca 1,9Nm [12], vilket skulle ge en säkerhetsmarginal på ca 16 gånger vridmomentet i ekvation (4.16).

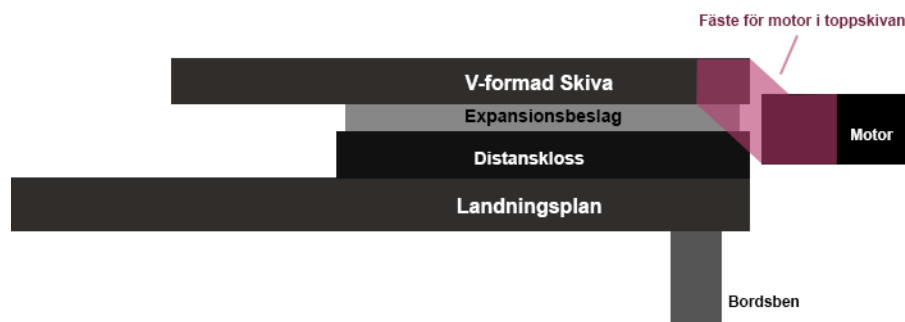
Då det anses finnas en stor osäkerhet i beräkningen för vridmomentet i ekvation (4.16) bedöms en säkerhetsmarginal på 4 vara för lite för att kompensera för osäkerheten. Därför anses Nema 23 vara det bättre valet. Dessutom vill man undvika att driva motorn på maximal effekt, vilket man potentiell skulle behöva göra om valet föll på Nema 17. Ytterligare argument för valet av Nema 23 är att man förhoppningsvis kan undvika utväxling. Eftersom det redan finns ett begränsat utrymme för motor, koppling och trapetsgång enligt konceptet i Figur 4.11 hade kugghjul för att åstadkomma en utväxling skapat ytterligare ett problem att lösa. I värsta fall hade hela konceptet behövts göras om, vilket är något man vill undvika i allra högsta grad. Att lösa en lämplig nivå på utväxling i sig är dessutom ett tidskrävande arbete man vill kringgå. Tillsist, eftersom det finns en begränsad ekonomi behöver givetvis prisskillnaden på stegmotorerna tas i beaktande. Genom att jämföra priserna på de hemsidor där motorerna finns lättillgängliga och i lager kom man fram till en prisskillnad på 23kr [11][12], vilket är en såpass liten kostnad att det inte anses påverka tidigare argument. Utifrån ovanstående argument valdes därmed Nema 23 som den stegmotor som ska driva positioneringen av drönaren. För tydlighetens skull krävs det alltså två stycken Nema 23 stegmotorer som driver varsin sida av landningsplattformen eftersom beräkningarna gjorda endast fokuserar på en sida då de två sidorna enbart är spegelvända och i övrigt identiska.

4.3 Genomförande

Efter att ha tagit fram ett koncept, utfört beräkningar samt utvärderat vilka komponenter som krävs var det dags att ta de sammanställda delarna från koncept till verklighet.

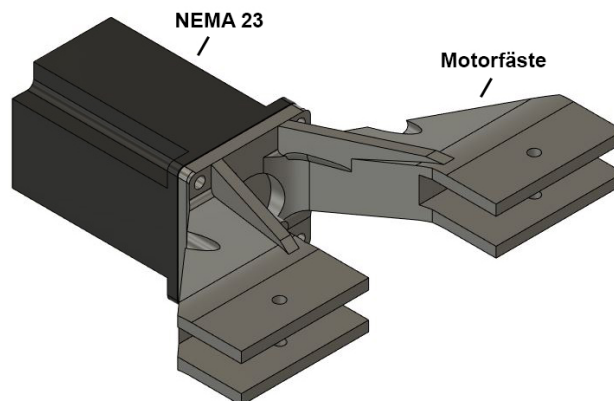
4.3.1 Sammansättning av mekaniska komponenter

Själva fundamentet för batteribytarstationen byggdes i form av ett bord med fyra ben, ett i vardera hörn, på den 1,2x1,2m stora laminatskivan som beskrivs i kapitel 4.2.1. Bordsskivan utgör därmed drönarens landningsyta. De V-formade skivorna sågades till efter måtten och vinkeln beskrivet i kapitel 4.2.2 och av samma material som landningsytan. Expansionsbeslagen som valts i kapitel 4.2.3 för linjärrörelse installerades på de två V-formade skivorna. För att motverka byrålådseffekten och minimera friktionen beskrivet i kapitel 4.2.4.3 utfördes detta med extremt noggrannhet eftersom man vill få expansionsbeslagen helt parallella. Figur 4.15 illustrerar ett konstruktionskoncept för att positionera drönaren.



Figur 4.15: Sidovy av konstruktionskoncept för positionering av drönaren

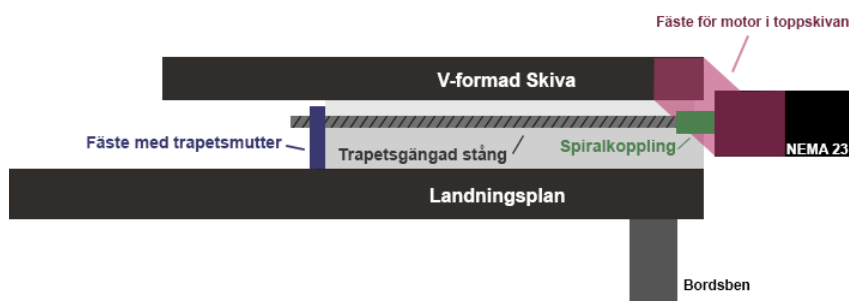
Enligt konstruktionskonceptet i Figur 4.15 fästs motorn i den V-formade skivan med hjälp av ett 3D-printat motorfäste. Ett sådant motorfäste konstruerades i CAD anpassat för måtten på den Nema 23 stegmotor som valts i kapitel 4.2.4.5. Motorfästet tillverkades i en 3D-printer och resultatet kan ses i Figur 4.16.



Figur 4.16: CAD-modell av motorfäste tillverkat i 3D-printer

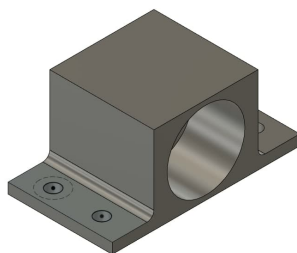
Motorfästet och stegmotorn installerades enligt Figur 4.15 i den V-formade skivan. För att spiralkopplingen och den trapetsgångade stängen som beskrivs i kapitel

4.2.3 ska kunna rotera fritt krävs en distanskloss som visas i figur 4.15. Eftersom höjden på distansklossen inte kunde bestämmas tidigare då man inte visste vilken stegmotor som skulle användas, vilket påverkar distansklossens höjd, gjordes denna beräkning nu. Med enkel uppmätning på plats kom man fram till att 2-3cm skulle vara tillräckligt. Glespanel med tjocklek 28x70mm valdes eftersom det är lättillgängligt, billigt och enkelt att montera. Glespanelen kapades anpassat efter längden på expansionsbeslagen och skruvades fast i landningsytan. De V-formade skivorna och expansionsbeslagen monterades sedan fast i distansklossen för att verkställa skivornas linjärrörelse. Spiralkopplingen spändes fast kring stegmotorns axel och den trapetsgångade stängen i spiralkopplingen likt Figur 4.17. För att driva den V-formade skivan konstruerades ett fäste i CAD anpassat för att kunna skruva fast en trapetsgångad mutter i.



Figur 4.17: Sidovy av koncept för drift av den V-formade skivan

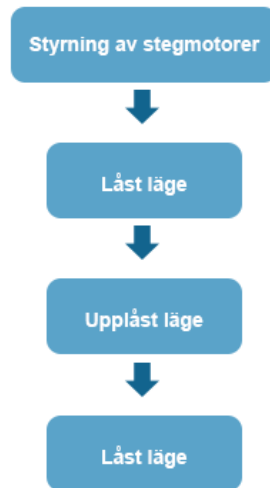
Höjden på mutterfästet anpassades dessutom efter höjden som den trapetsgångade stängen hamnar i likt Figur 4.17 för att få en jämn rotation. Mutterfästet tillverkades med en 3D-printer och syns i figur 4.18. Fästet skruvades fast i landningsytan och stegmotorerna kopplades in. Tillsist adderades en strömbrytare på vardera sida av de V-formade skivorna enligt Figur 4.20. Strömbrytarna fungerar som ett ändläge vilket skyddar både drönare och motorer från att köras sönder. Positionen på strömbrytarna markerar även det läge som de V-formade skivorna befinner sig i då drönaren är låst och befinner sig i optimal position för ett batteribyte. För att hitta rätt position på placeringen av strömbrytarna ställdes drönaren på bordet, skivorna trycktes ihop och när drönaren befann sig i optimal position markerades positionen på skivorna. På så sätt kommer drönaren alltid hamna i rätt position när skivorna når strömbrytarna.



Figur 4.18: CAD-modell av mutterfäste

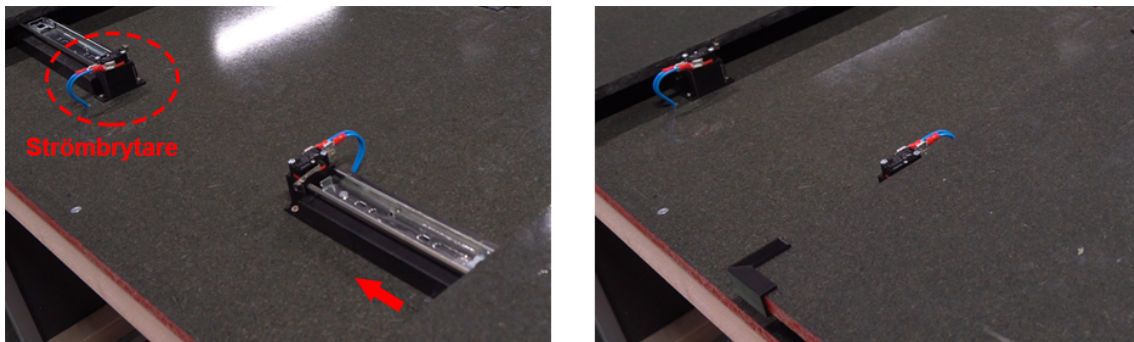
4.3.2 Styrning av stegmotorer

Figur 4.19 illustrerar ett flödesschema för styrningen av de stegmotorer som ska positionera drönaren. Som flödesschemat illustrerar har styrningen för stegmotorerna tre funktioner, men två lägen.



Figur 4.19: Flödesschema över funktionerna för stegmotorernas styrning

Den första funktionen är att köra ihop de V-formade skivorna tills de når brytaren som sitter längst in enligt Figur 4.20.



Figur 4.20: Positionering av de V-formade skivorna med strömbrytare

Denna funktion används för att hitta en referenspunkt så att oavsett i vilket läge skivorna befinner sig i när man startar upp systemet så utgår de alltid från samma läge. Detta läge är även det läge som de V-formade skivorna befinner sig i när de låst fast drönaren i optimal position. Nästa funktion är det "upplåsta läget", vilket motsvarar den position som de V-formade skivorna befinner sig i då drönaren skall landa dvs. med skivorna positionerade i sina yttre ändlägen. Expansionsbeslaget och därmed de V-formade skivorna kan röra sig 40cm i sidled, men för att minimera risken att motorerna körs sönder genom att de fortsätter driva på trots att slutet på expansionsbeslaget är nått läggs en säkerhetsmarginal till. Dessutom är strömbrytarna inte placerade i exakt motsatt ändläge. Därmed beslutas det att skivorna ska

köras ut 38cm från strömbrytarnas position. När skivorna befinner sig i upplåst läge kan drönaren landa. Efter att drönaren har landat initieras den tredje funktionen där skivorna körs tills de når strömbrytarna och det låsta läget. Drönaren befinner sig sedan i optimal position för ett batteribyte och är redo för nästa sekvens.

4.3.3 Testkörning och modifiering

Då alla komponenter och styrning för att positionera drönaren var på plats var det dags att testköra konceptet. Vid den första testkörningen upptäckte man att stegmotorerna gav ifrån sig ett högt och oönskat ljud. Genom felsökning kom man fram till att det ljudet varierade beroende på vilken typ av frekvens motorerna kördes på. Figur 4.21 visar en tabell på de olika frekvenserna som stegmotorerna kan köras på. Efter att ha testat olika frekvenser kom man fram till att motorerna gav ifrån sig minst ljud och därmed mårde som bäst då de körs vid 400 pulser per varv.

Pulse/rev Table				
Pulse/rev	SW5	SW6	SW7	SW8
400	OFF	ON	ON	ON
800	ON	OFF	ON	ON
1600	OFF	OFF	ON	ON
3200	ON	ON	OFF	ON
6400	OFF	ON	OFF	ON
12800	ON	OFF	OFF	ON
25600	OFF	OFF	OFF	ON
1000	ON	ON	ON	OFF
2000	OFF	ON	ON	OFF
4000	ON	OFF	ON	OFF
5000	OFF	OFF	ON	OFF
8000	ON	ON	OFF	OFF
10000	OFF	ON	OFF	OFF
20000	ON	OFF	OFF	OFF
25000	OFF	OFF	OFF	OFF

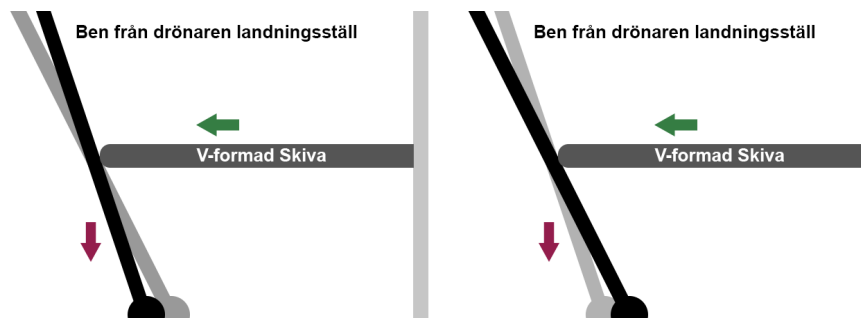
VDC: +18V~+50V

Figur 4.21: Tabell över olika frekvenser för stegmotorernas drivkrets

Vid vidare testkörning förblev motorerna tystlåtna men ett nytt problem upptäcktes. Man insåg att beroende på vart drönaren landade så orkade motorerna inte trycka drönaren tillräckligt mycket för att den skulle nå optimal position. Då denna bristfällighet uppstod mer ofta än sällan behövde felet åtgärdas. Eftersom det är friktionen i landningsytan som främst jobbar emot stegmotorernas vridmoment började man undersöka olika lösningar för att minska denna friktion. Efter att diverse idéer presenterats och diskuterats kom man fram till att få drönaren att hovra är den bästa lösningen. Genom att få drönaren att hovra, men fortfarande ha kontakt med landningsytan minskar friktionskraften eftersom $F_{frik} = mg \cdot \mu$ enligt beräkningarna i Kapitel 4.2.4.1. Då hovringen gör att drönarens vikt som verkar på landningsytan minskar blir därmed resultatet att friktionen minskar enligt ekvationen ovan. För att få drönaren att hovra kom man fram till att köra propeller-motorerna på ett sådant varvtal att drönaren lättar från landningsytan utan att den lyfter. Vid olika tester av hovring insåg man att drönaren lätt glider iväg i sidled trots att den inte lyfter helt. För att lyckas positionera drönaren till optimal position vid var-

je landning krävs det att den förblir stilla från sin landningsposition fram tills att de externa krafterna från de V-formade skivorna verkar på den. Tillsammans med uppdragsgivaren som stod för programmering av drönaren kom man till slut fram till ett ultimata varvtalet på drönarnas motorer. Det ultimata varvtalet fick drönaren att lätta men fortfarande uppnå såpass mycket friktion mot landningsytan att den höll sin position när ingen extern kraft verkade på den.

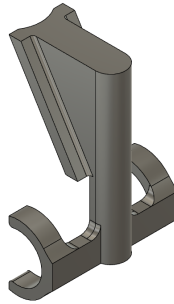
Vid ytterligare testkörning efter implementering av hovring förbättrades resultatet men man såg att drönaren fastnade i vissa lägen och att motorerna fortfarande inte lyckades positionera drönaren i optimal position i alla lägen. Efter undersökning av problemet insåg man att när den V-formade skivan trycker drönaren i x-led enligt Figur 4.22 så överförs inte kraften endast i x-led utan en komponent av kraften förs även över i y-led. Detta beror på att drönarens landningsställ inte är vinkelrätt mot de V-formade skivorna. Dessutom är landningsstället lite flexibelt.



Figur 4.22: Demonstration av hur drönaren trycks nedåt vid den V-formade skivans externa kraft

Tillsammans orsakar dessa aspekter att skivorna inte bara får drönaren att förflyttas i x-led utan dessutom tryckas nedåt i landningsytan enligt Figur 4.22. Detta leder till att friktionen mellan landningsstället ökar och lösningen med hovring motarbetas, vilket förklarar varför drönaren fastnar i vissa lägen. Anledningen till varför drönaren enbart fastnar i vissa lägen beror på att det är de lägen som det krävs extra mycket kraft för att förflytta drönaren. Så istället för att all kraft brukas i x-led används delar av kraften för att pressa drönaren nedåt i landningsstället. Ju mer kraft som används desto mer kraft pressas nedåt, vilket till slut resulterar i att drönaren kilas fast i landningsytan och därmed fastnar.

För att lösa detta fenomen insåg man att drönarens landningsställ måste modifieras så att det får en vinkelrät kontakt med de V-formade skivorna. Med samma argument presenterade i kapitel 4.1.4 vid eliminering av koncept 1 vill man undvika att konstruera ett nytt landningsställ. För att kringgå detta valde man istället att modifiera det befintliga landningsstället. Då det återigen fanns tillgång till en 3D-skrivare valde man att konstruera denna modifikation i CAD för att sedan tillverka i 3D-skrivaren. Resultatet presenteras i Figur 4.23.



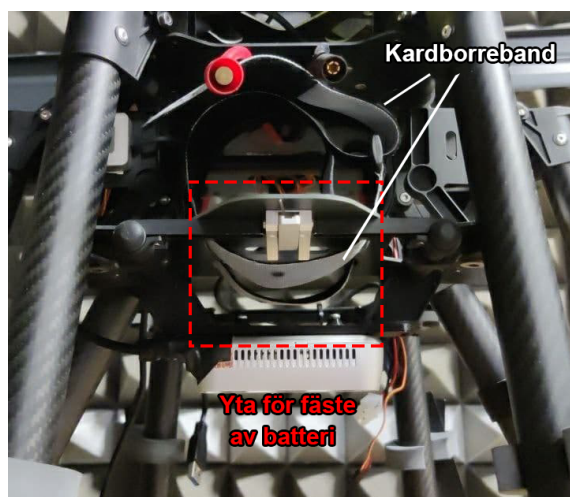
Figur 4.23: Modifikation för drönarens landningsställ

Efter att landningsställets modifikation applicerats gjordes ytterligare testkörningar. Över 30 testkörningar utfördes där drönaren delvis placerades i positioner utöver de krav ställda i kravspecifikationen. Då varje testkörning gav önskat resultat och drönaren lyckades positioneras i optimal position vid varje landning ansåg man denna funktion av den autonoma batteribytestationen vara löst och valde att gå vidare till nästa funktion.

5

Integration med drönare

Detta kapitel behandlar hur batteriet integrerar med drönaren. För att utföra ett autonomt batteribyte behöver både drönaren och drönarens batteri anpassas efter batteribyterstationen. Den tidigare lösningen för att koppla batteriet till drönaren skedde manuellt där strömförsörjningen kopplades in med hjälp av två sladdar och batteriet spändes fast under drönaren med kardborreband enligt Figur 5.1.



Figur 5.1: Kardborrefäste för batteri under drönare

Eftersom lösningen för batterinfästningen i figuren ovan inte kan automatiseras behöver man skapa ett nytt typ av batterifäste till drönaren. Med hänsyn till krav 2.2 (se Figur 3.1) behöver batteriet även brandsäkras. För att brandsäkra batteriet behöver det byggas in i någon form av brandsäker låda. Genom att konstruera en låda uppfyller man dessutom krav 2.1 som lyder att man ska kunna skilja på flera olika batterier med bara ögat. Eftersom man kan tillverka lådorna i olika färger kan man på så sätt uppnå kravet.

Alternativen för att förflytta batteriet från batteribyterstationen till drönaren stod mellan att skjuta in batteriet från sidan av drönaren eller underifrån. Då det ansågs enklare att flytta batteriet i ett linjärt led kontra två led, bestämdes det redan vid projektets start ihop med Everdrone att batteriet skulle fästas i drönaren underifrån. Då man vet att batteriet kommer att få kontakt med drönaren och fästas i drönaren underifrån behöver både det nya batterifästet samt batteriets låda ta hänsyn till detta.

Eftersom det är svårt att automatisera en kontaktinkoppling med sladd behöver en ny lösning på strömförsörjning från batteri till drönare utvecklas. Kontakten mellan batteri och drönare behöver även vara helt säker eftersom en förlorad kontakt mellan batteri och drönare under flygning skulle resultera att drönaren kraschar. Därför behöver även batteriet och dess låda låsas fast i drönaren på ett lika säkert sätt så att batteriet inte lossnar under flygning, vilket då också skulle resultera i en kraschlandning. Genom att sammanfatta ovanstående behöver alltså följande funktioner utvecklas för att få batteriet att integrera med drönaren:

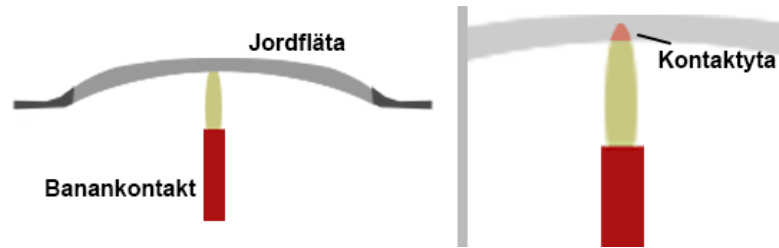
- Säkra kontakter mellan batteri och drönare
- Säker fastlåsning av batteri i drönare
- Brandsäker låda till batteriet
- Batterifäste till drönaren

Samtliga funktioner behöver dessutom vara kompatibla med varandra för att uppnå en komplett integration mellan batteri och drönare.

5.1 Säkra kontakter mellan batteri och drönare

Under idéergereringen ansågs först banankontakter som en lämplig lösning för att uppnå en säker kontakt mellan batteri och drönare. Då det är en billig och redan existerande produkt motiveras valet av den tid- och ekonomiska begränsning som projektet har. Man insåg dock ganska snabbt att det behövs under en millimeter i precision för att få en banankontakt och ett bananuttag att integrera felfritt. Dessutom behövs det en betydlig kraft för att köra ihop de två delarna. Då man insåg att bananuttaget var uteslutet undersökte man andra sätt för att få kontakt med en banankontakt. Eftersom problematiken med bananuttaget dels var den kraft som behövdes för att pressa samman de två delarna samt den höga precisionen testade man en platt kopparbricka. Med en kopparbricka som honkontakt är precisionen inte längre ett problem eftersom storleken på kopparbrickan kan anpassas efter den precision som man lyckas uppnå. Dessutom räcker det med att kopparbrickan och banankontakten vidrör varandra för att få kontakt. Man gjorde ett antal tester med denna lösning men kom till slut fram till att minsta lilla glapp mellan ytorna resulterade i att kontakten tappades. Eftersom drönaren kommer att flyga runt finns det risk för vibrationer, vilket skulle kunna leda till ett tillfälligt glapp mellan kopparbrickan och banankontakten. Dessvärre räcker ett litet glapp för att få drönarens propellermotorer att stanna, vilket med största sannolikhet resulterar i att drönaren kraschar. Detta vill man givetvis undvika och en ny lösning behövde tas fram.

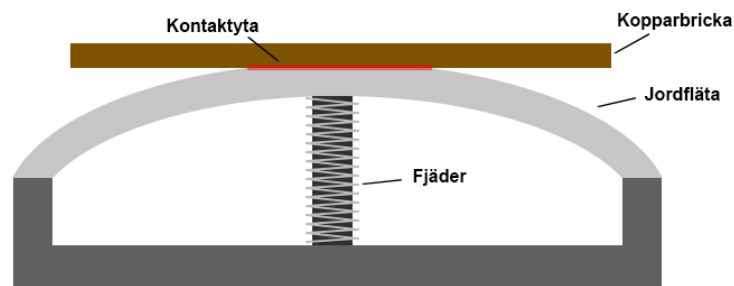
Då problematiken med kopparbrickan som honkontakt var den lilla kontaktpunkten undersökte man lösningar som kunde omfamna banankontakten. Lösningen man kom fram till var att använda en jordfläta. Jordflätan är både bred och mjuk, vilket gör att den uppfyller de brister som de tidigare alternativen på honkontakter hade. Den valda jordflätan är 2cm bred vilket innebär att det räcker med en precision på ± 1 cm. Att jordflätan är relativt mjuk gör även att den kan omfamna spetsen på banankontakten enligt Figur 5.2.



Figur 5.2: Demonstration av kontaktytan mellan banankontakt och jordfläta

Ett antal tester utfördes med denna uppsättning och resultatet blev att även här fanns det risk för ytorna tappar kontakt med varandra eftersom kontaktytan är relativt liten. Återigen bör detta undvikas i allra högsta grad. Slutsatsen blev då att banankontakten behöver bytas ut. Istället provades att kombinera kopparbrickan med jordflätan. Då båda ytorna är relativt stora visade det sig efter ytterligare tester att kontakten var mycket starkare. Dessvärre kvarstod problematiken med att ett litet glapp resulterar i att kontakten bryts. Eftersom kontakten mellan delarna var bra fokuserades arbetet på att motverka glapp.

På grund av jordflätans relativt mjuka karaktär kunde den fjäderbelastas för ökat tryck i kontaktytan. Figur 5.3 illustrerar hur en stor kontaktyta uppnås mellan kopparbrickan och jordflätan vid fjäderbelastning. Fjäderbelastningen bidrar dessutom med att kontakten mellan delarna inte bryts eftersom fjädern gör att jordflätan konstant pressas mot kopparbrickan. Lösningen kan därför utsättas för både vibrationer och skarpa vändningar i luften från drönaren utan att drönaren tappar kontakt med batteriet. Denna kombination uppfyllde kravet för en säker kontakt mellan batteri och drönare och lösningen valdes för vidareutveckling.



Figur 5.3: Kontaktyta mellan kopparbricka och jordfläta vid fjäderbelastning

5.2 Säker fastlåsning av batteri i drönare

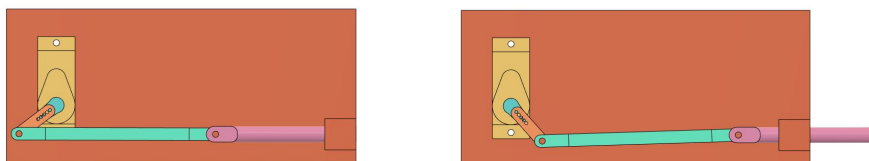
Koncepten för att låsa fast batteriet i drönaren bygger på att batteriet byggs in i en låda.

5.2.1 Idégenerering och eliminering

I detta kapitel presenteras tre koncept för att låsa fast batteriet i drönaren.

5.2.1.1 Koncept 1: Låspinne på servoarm

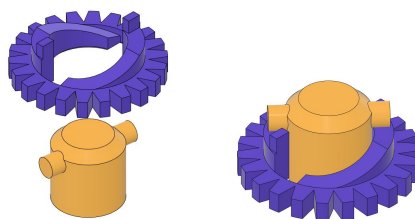
Det första konceptet man kom fram till var att använda en servomotor kopplat till en låspinne. Servomotorn moteras på drönarens fäste och låspinnen skjuts sedan in i ett hål i batterilådan för att på så sätt låsa fast batteriet i drönaren enligt Figur 5.4. Man insåg dock ganska snabbt att det behövs stor precision för att få låspinnen att träffa hålet i batterilådan. Dessutom utfördes tester med en enkel servomotor och man kom fram till att det behövs en betydlig kraft för att låsarmen ska orka tryckas in i hålet på batterilådan. På grund av konceptets brister valde man att ta fram ett nytt koncept.



Figur 5.4: Koncept 1: Låspinne på servoarm

5.2.1.2 Koncept 2: Skruvlås

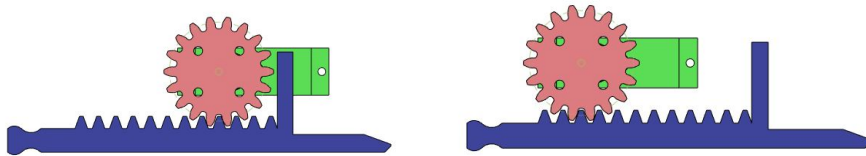
Nästa koncept som arbetades fram bygger på att man låser fast batterilådan med ett skruvlås. Den gula detaljen i Figur 5.5 är tänkt vara del av batterilådan. När batterilådan nått position för fastlåsning roterar den lila detaljen i Figur 5.5 och batteriet förblir fastlåst i drönaren. Detta koncept ansågs som en stabil och säker lösning. Problematiken med konceptet var att det skulle ta en lång tid att färdigutveckla. På grund av projektets tidsbegränsning behövdes därför ett mindre tidskrävande koncept.



Figur 5.5: Koncept 2: Skruvlås

5.2.1.3 Koncept 3: Servo med kuggstång

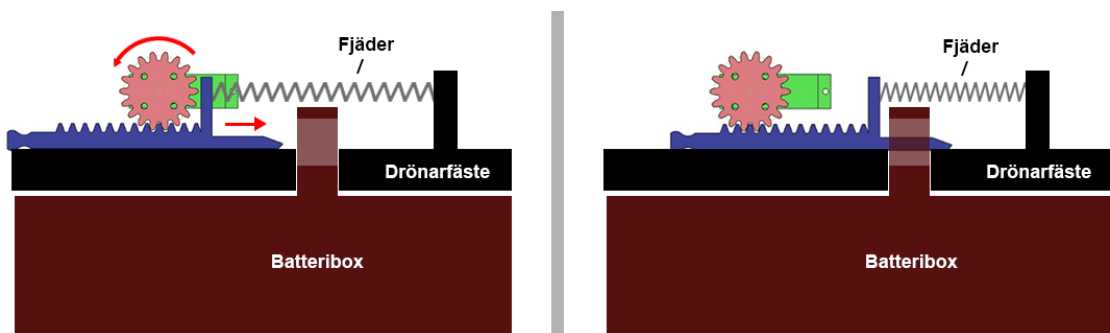
Idén att låsningen drivs av en servomotor gav positiva resultat. Koncept 1 vidareutvecklades därför i koncept 3. Eftersom nackdelarna med Koncept 1 var för svag kraft och för hög precision krävd beaktades dessa problem vid utformningen av det tredje konceptet. Figur 5.6 presenterar konceptet som bygger på att servomotorn driver ett kugghjul. När kugghjulet roterar skjuts en kuggstång fram genom någon form av hål i batterilådan, vilket leder till att batteriet låses fast i drönaren. Man ansåg att detta koncept eliminerade de brister som fanns i Koncept 1. Eftersom konceptet kändes genomförbart och stabilt valde man därför att vidareutveckla konceptet.



Figur 5.6: Koncept 3: Servo med kuggstång

5.2.1.4 Vidareutveckling av Koncept 3

Som motiverat i början av detta huvudkapitel behöver fastlåsningsen vara helt säker för att förhindra att batteriet lossnar under drönarens flygtur. Figur 5.7 demonstrerar hur rotation av kugghjulet leder till att kuggstången skjuts framåt. Konceptet bygger därefter på att batteriboxen har någon form av ögla som kuggstången kan glida igenom. Som figuren illustrerar hänger därefter batteriboxen i kuggstången, vilket leder till att den förblir fastlåst i drönarfästet.



Figur 5.7: Demonstration av det vidareutvecklade konceptet för fastlåsningsen

För att batteriet ska hänga jämnt anser man att batteriet ska låsas fast vid två punkter, en på varje långsida av batteriboxen. En dubbel fastlåsningsen leder också till att vikten av batteriet och dess låda fördelas över två ställen, vilket anses göra fastlåsningsen stabilare. För att säkerställa att batteriet styrs in i batteriboxens ögla behöver det även finnas ett spår i drönarfästet. Då det kommer uppstå viss friktion mellan kuggstången och spåret i drönarfästet bedömer man att både kuggstång och spår bör smörjas in med smörjmedel för att minska friktionen och därmed möjliggöra en jämn förskjutning av kuggstången i horisontellt led. Man beslutar

även att kuggingreppet mellan kuggjul och kuggstång ska smörjas in av samma anledning. Figur 5.7 illustrerar dessutom hur en fjäder spänns fast mellan en fästpunkt i drönarfästet och kuggstången. På så sätt jobbar konstruktionen alltid mot att batteriboxen ska vara fastlåst. För att batteriet ska lyckas lossna behöver det först övervinna vridmomentet i servomotorn samt kuggingreppet mellan kuggjul och kuggstång. Utöver det behöver även fjäderkraften övervinnas. Kombinerat anses det omöjligt att dessa krafter övervinnas av vibrationer och tvära rörelser i luften från drönaren. Man anser därmed denna lösning för fastlåsning av batteri i drönare som säker.

Då utrymmet under drönaren för infästning av batterifäste är begränsat betyder det att komponenterna i 5.7 behöver vara kompakta. För att driva kugghjulet som förskjuter kuggstången, vilket resulterar i en fastlåsning behövs en motor. Redan vid framtagning av konceptet diskuterade man att använda en servomotor. Anledningen till varför man utvecklade konceptet utefter en servomotor var främst på grund av dess lätta vikt och kompakta konstruktion. Vikten på drönaren påverkar hur mycket lyftkraft behövs för att flyga och ju mer lyftkraft som krävs desto mer energi går åt. Med andra ord, ju tyngre drönare desto snabbare töms batteriet på energi och flygtiden förkortas. Eftersom drönarens begränsade flygtid ligger till grund för utvecklingen av detta projekt betyder det att drönarens totalvikt är en viktig faktor. Man vill därför konstruera batteriets integration med drönaren så att så lite vikt som möjligt adderas. En servomotor kontra t.ex. en stegmotor har en betydlig skillnad i vikt eftersom ett hobby servo kan väga så lite som 9g [13] medan den lättaste stegmotorn man lyckades hitta väger 60g [14].

Motorn behöver klara av att övervinna friktionen mellan kuggingreppet samt friktionen mellan kuggstången och spåret i drönarfästet. Eftersom man beslutat att båda dessa friktionsområden ska smörjas in anser man att vridmomentet som krävs för att driva konstruktionen behöver vara ytterst liten. För att säkerställa denna åsikt utfördes tester med ett redan inköpt hobby servo. Likt förväntningarna lyckades servomotorn förskjuta kuggstången mot en torr yta utan problem. Man beslutade därmed att på grund av servomotorns lätta vikt samt det låga vridmomentet som krävs för att driva fastlåsningen att ett hobby servo med en vikt på 9g är mer än godkänd för att driva konstruktionen.

5.3 Brandsäker låda till batteriet

5.3.1 Brandsäkring av batteri

Ett av kraven för projektet var att brandsäkra batteriet (se Figur 3.1). För att förhindra brandspridning till intilliggande celler bör man enligt Elsäkerhetsverket bygga in batteriet med en passiv inneslutningsmetod [15]. Med denna vetskap beslutade man att batteriet behöver byggas in i en låda. Eftersom ett lithiumbatteri mår bäst vid temperaturer mellan 20-40°C [16] bidrar även batterilådan med en viss isolering mot kyla då drönaren är tänkt att köras året om. Batterilådan gör det dessutom möjligt att anpassa batteriets integration med drönaren.

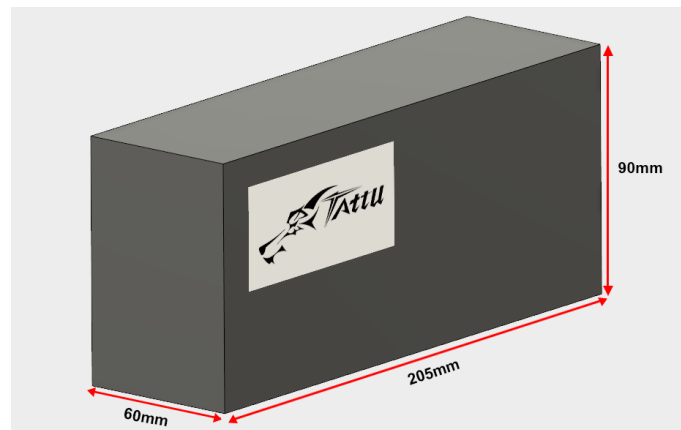
Då ett litiumbatteri uppnår kritiska temperaturer kan det leda till termisk rusning. Termisk rusning innebär att batteriet frigör en okontrollerad mängd energi vilket kan leda till brand [15]. Risken för termisk rusning ökar med batteriets laddnivå. Därmed är risken som störst under laddning eftersom överladdning kan uppstå [16].

Eftersom ett brinnande litiumbatteri är närmast omöjligt att släcka [16] vill man därmed linda in batteriet i ett temperaturtåligt material för att förhindra att branden sprider sig. Då ett litiumbatteri vid termisk rusning kan uppnå temperaturer från 270°C [16] till 900°C [17] behöver det valda isoleringsmaterialet klara temperaturer över detta. Materialet behöver även vara böjbar så att det kan formas kring batteriet. Lösningen man kom fram till var att använda svetsduk då den både är böjbar och klarar temperaturer upp till 1300°C [18]. Svetsduken är dessutom enkel att bygga in i batteriboxen.

5.3.2 Konstruktion av batteribox

Eftersom det fanns tillgång till en 3D-skrivare beslutade man att tillverka batteriboxen med hjälp av denna. Batteriboxen kunde därmed konstrueras i CAD och modifieras vid behov. Med 3D-skrivare som tillverkningsmetod underlättar man det dessutom att uppnå krav 2.1 (se Figur 3.1) eftersom man kan tillverka batteriboxen i olika färger genom att byta färg på filamentet till 3D-skrivaren.

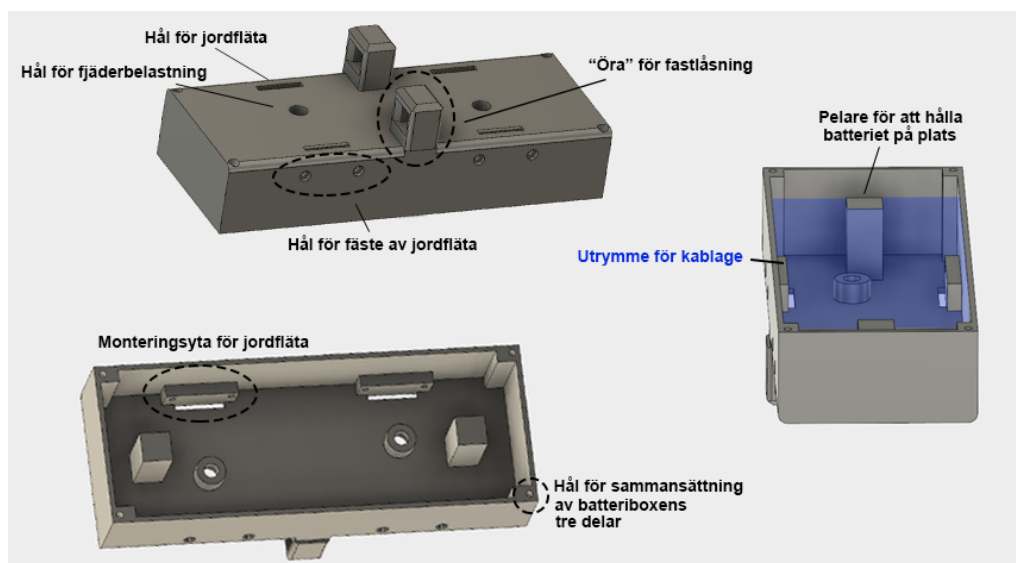
För att kunna konstruera en batteribox anpassad efter batteriet mättes storleken på batteriet upp. Batteriets storlek illustreras i Figur 5.8.



Figur 5.8: Illustration av batteriets storlek

Den valda svetsduken är ca 2mm tjock och man valde att vira svetsduken 2 varv runt batteriet för att säkerställa att hela batteriet täcks. Vid batteriboxens konstruktion måste därmed boxens innermått justeras med hänsyn till detta. Då en 3D-skrivare begränsar både form och storlek på den detalj man vill tillverka insåg man att batteriboxen måste delas upp i flera delar. Man valde att dela upp den i tre delar; topp, mitt och botten.

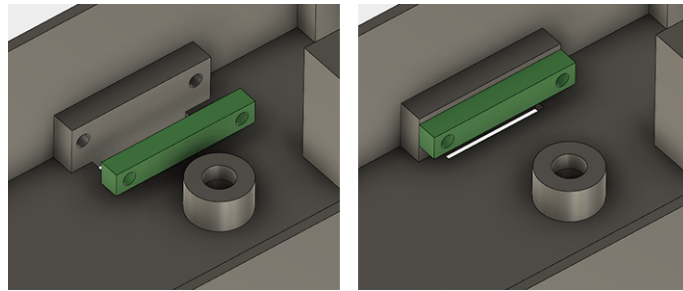
Batteriboxens toppdel är den del som innehåller mest funktioner. Denna del ska anpassas efter kuggstången från föregående kapitel som ska låsa fast batteriboxen i drönaren. Det ska finnas möjlighet att spänna fast jordflätan som är en komponent vid drönarens strömförsörjning enligt Kapitel 5.1. Jordflätan ska dessutom fjäderbelastas vilket batteriboxen måste anpassas efter. Då kablage mellan batteri och jordfläta ska dras behöver det även finnas utrymme för detta. Med det utökade utrymmet för kablage gäller det dock att se till att batteriet hålls på plats så att det inte skakas runt i batteriboxen under färd. Med dessa krav i åtanke konstruerades batteriboxens toppdel och resultatet presenteras i Figur 5.9.



Figur 5.9: Illustration av batteriboxens toppdel

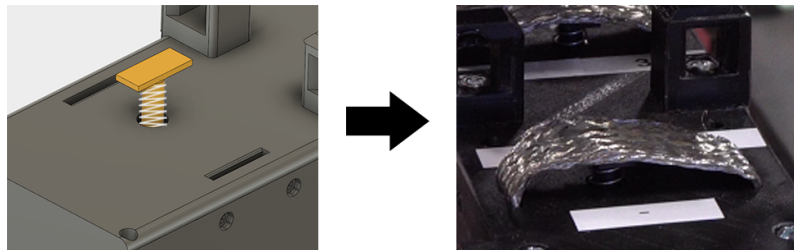
Figur 5.9 illustrerar en sammanställning av batteribox-toppens olika funktioner. Man valde att skapa ett utrymme för kabeldragning längst upp i batteriboxen eftersom det är där diverse kontakter sitter. Utrymmet är även anpassat för framtida kabeldragning relaterat till laddning av batteriet. För att fixera batteriet i boxen konstruerades två stycken pelare enligt Figur 5.9. Man valde även att de tre batteribox-delarna ska monteras ihop med hjälp av långa skruvar.

Eftersom batteriet har en plus- och minuspol behövs två stycken jordflätor. En för varje batteripol. För att montera de två jordflätorna i batteriboxen spänns de fast med hjälp av ett skruvförband enligt Figur 5.10.



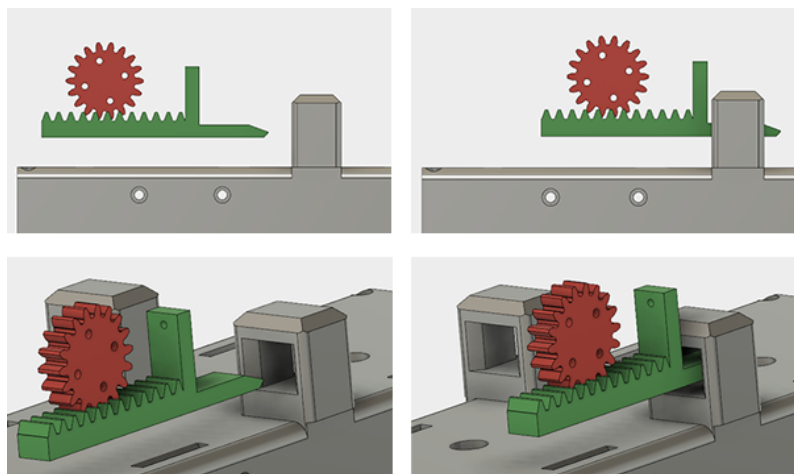
Figur 5.10: Demonstration av jordflätans montering

Figur 5.11 illustrerar hur jordflätorna fjäderbelastas för att säkerställa kontakt mellan batteri och drönare enligt Kapitel 5.1. Hålet för den gula detaljen i figuren har en avsats för fjädern som är något större i diameter än skaflet på den gula pinnen. Detta gör att när pinnen trycks nedåt spänns fjädern, vilket resulterar i att jordflätan fjäderbelastas likt den högra bilden i Figur 5.11.



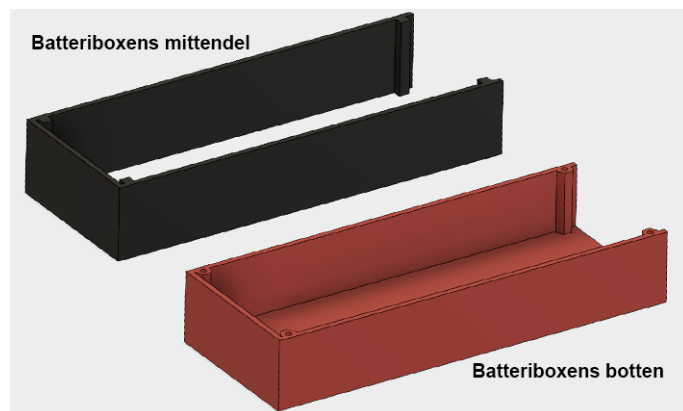
Figur 5.11: Demonstration av jordflätans montering

Genom att utgå från lösningen man tog fram för fastlåsning av batteriboxen i drönaren i Kapitel 5.2 konstruerade man en "ögla" i batteriboxen som syns i Figur 5.12. När kugghjulet roterar skjuts kuggstången in i "örat" enligt figuren ovan och låser fast batteriboxen. Som Figur 5.12 illustrerar är både kuggstång och ögla fasade, vilket ökar toleransen för låsningens precision då de fasade kanterna underlättar för kuggstången att styras in korrekt.



Figur 5.12: Demonstration av batteriboxens fastlåsning

Batteriboxens resterande två delar anpassades efter batteriets storlek inklusive svetsduk. Resultatet presenteras i Figur 5.13.

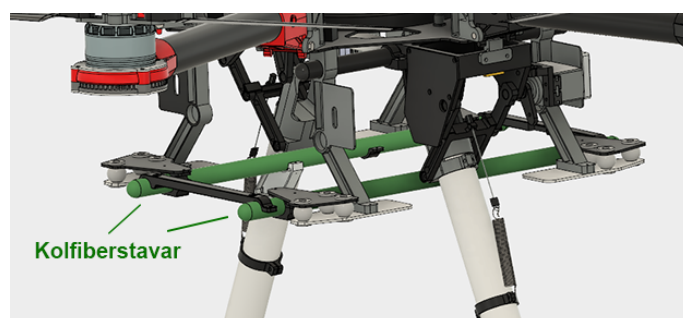


Figur 5.13: CAD-modell av batteriboxens mittendel och botten

Eftersom laddning av batteriet inte var löst vid detta lag valde man att använda denna version av batteriboxen som ett testexemplar för att få integration mellan drönare och batteri fullt funktionellt. Då 3D-printing gör det enkelt att utföra modifiering ansågs detta som det mest effektiva tillvägagångssättet. Med tanke på att batteriboxen vid detta stadie inte är den slutgiltiga versionen valde man att låta ena kortsidan av batteriboxen vara öppen enligt Figur 5.13 för att enkelt komma åt batteriet vid eventuellt krävd modifikation.

5.4 Batterifäste till drönaren

För att skapa ett automatiserat batteribyte behöver drönarfästet anpassas efter batteribox och låsning. Batterifästet behöver dessutom anpassas efter drönarens form för att skapa en så stabil infästning som möjligt. Därav kommer batterifästet att kallas för drönarfäste härnäst.

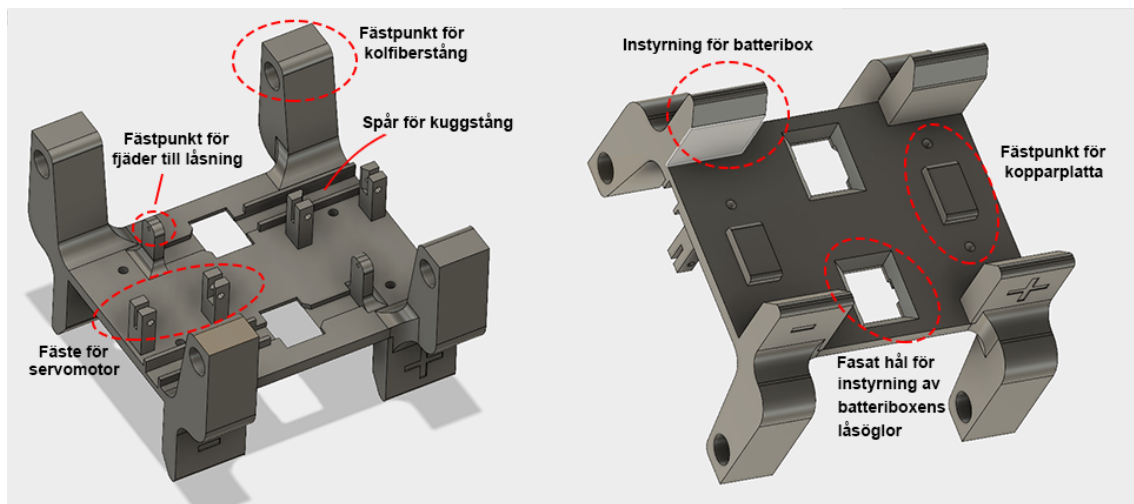


Figur 5.14: Markering av kolfiberstänger på drönare

För att hitta en stabil fästpunkt på drönaren som drönarfästet kunde monteras på inspekterades drönarens delar. Efter inspektion ansåg man att de vertikala kolfiberstängerna som är markerade i grönt i Figur 5.14 var stabila och säkra fästpunkter. Drönarfästet konstruerades därmed så att det kan fästas i dessa stänger.

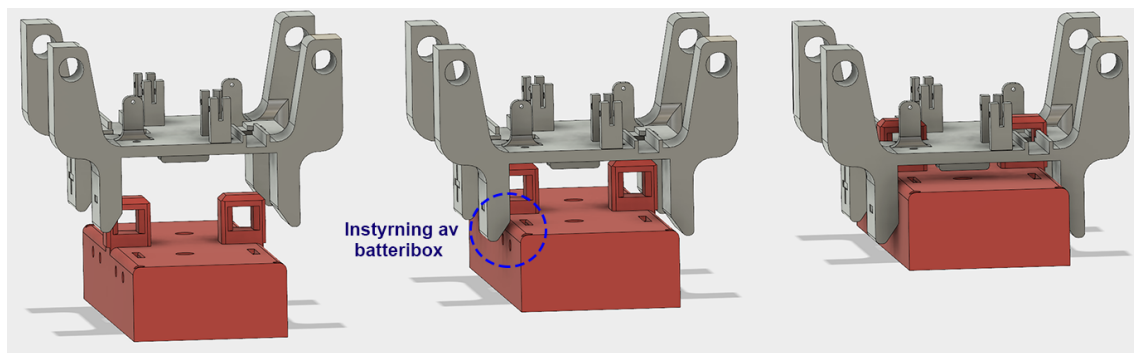
Ytterligare krav som konstruktionen av drönarfästet behöver ta hänsyn till är utrymme för att montera batteriets fastlåsning. Drönarfästet behöver även ha någon form av hål som batteriboxens låsöglor kan passera igenom. Till sist behöver det finnas fästpunkter för de kopparplattor som ingår i drönarens strömförsörjning enligt Kapitel 5.1.

Figur 5.15 illustrerar det konstruerade drönarfästet som är anpassat efter de tre funktioner som presenterats tidigare. I figuren kan man se fästpunkter för diverse komponenter.



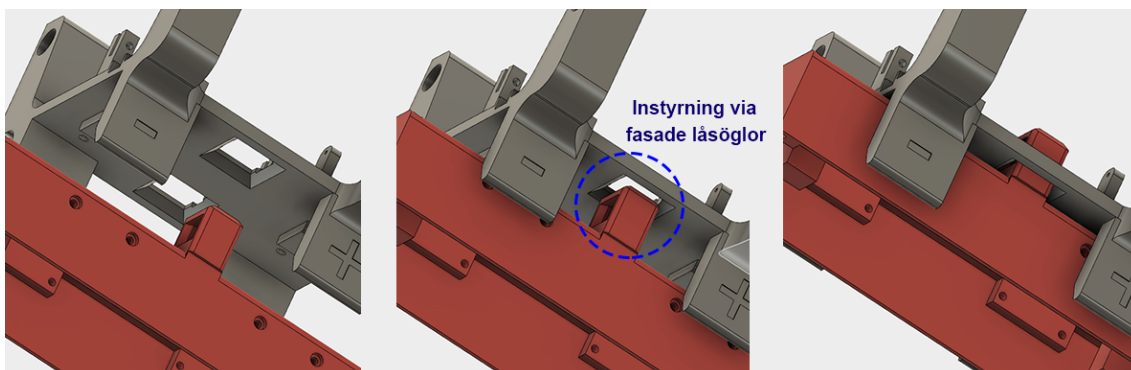
Figur 5.15: CAD-modell av drönarfästet

Figur 5.16 demonstrerar hur den fasade sidorna av drönarfästets nedre del fungerar som en instyrning av batteriboxen. För att få underlätta att batteriboxen styrs i korrekt utan att fasta är även långsidan på batteriets ovansida fasad, vilket man kan se i figuren.



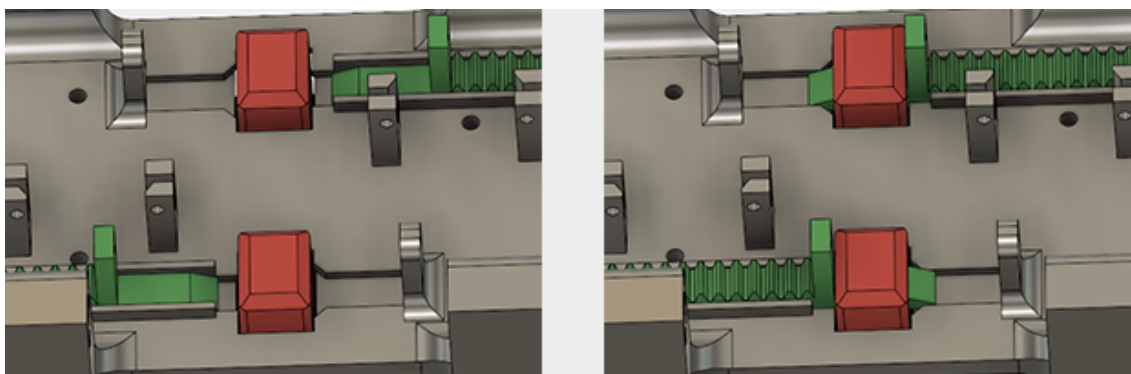
Figur 5.16: Demonstration av batteriboxens instyrning via drönarfästets sidor

Figur 5.17 demonstrerar hur både låsöglorna på batteriboxen och hålet i drönarfästet fasade. Detta är för att ytterligare säkerställa att batteriet styrs in korrekt.



Figur 5.17: Demonstration av batteriboxens instyrning via låsöglor

Figur 5.17 demonstrerar hur kuggstängerna styrs via spåren i drönarfästet, genom hålet i låsöglan från batteriboxen och över på andra sidan för att säkerställa fastlåsnings av batteriboxen i drönarfästet.



Figur 5.18: Demonstration av hur låsfunktionen fungerar ihop med drönarfäste och batteribox

Vad som inte syns i Figur 5.18 är fjädrarna som sitter mellan fästpunkterna i drönarfästet och kuggstängerna enligt Figur 5.7. Fjädrarna säkerställer att kuggstängerna förblir fixerade i låst position samt hjälper servona att förskjuta kuggstängerna från upplåst till låst läge.

5.5 Styrsystem för batteriets integration med drönaren

När drönaren landat, positionerats och hissanordningen för att förflytta batteriboxen vertikalt har fått kontakt med batteriboxens botten initieras det första steget i styrsystemet för batteriets integration med drönaren. Batteristationen kommunicerar med drönaren att batteriboxen är redo att låsas upp. Drönaren skickar då en signal till de två servomotorerna fixerade i drönarfästet att batteriboxens fastlåsning ska låsas upp. Rotation på servonas axlar överförs till rotation av de båda kugghjul. Programkod ser till att servona roterar tillräckligt för att kuggstängerna ska förskjutas ut från batteriboxens öglor likt den vänstra bilden i Figur 5.17. Drönaren kommunicerar till batteristationen att batteriboxen är upplåst och att hissanordningen kan sänkas.

Om man tar styrsystemet från motsatt håll börjar det med att hissanordningen förflyttar batteriboxen från sin laddningsposition. När jordflätorna på batteriboxen får kontakt med kopparbrickorna under drönarfästet inieras en kort delay innan servomotorerna får en signal att låsa fast batteriboxen. Batteriboxen låses fast och drönaren kommunicerar detta så att hissanordningen kan sänkas åter igen.

5.6 Sammansättning och testkörning

Samtliga komponenter till drönarfästet monteras fast i drönarfästet med hjälp av skruv och mutter. Kablar med kabelskor spänns fast mellan mutter på ovansidan av hålet där kopparbrickorna monteras. På så sätt förs batteriets ström över från kopparplattorna till skruvarna och vidare via kablarna som kopplas in i drönaren. Även de två servona kopplas till drönaren för att få ström. Drönarfästet monteras tillsist fast i kolfiberstängerna under drönaren presenterade i Figur 5.14.

Strömförsörjningen från batteriet kopplas med av av kablar och kabelskor till jordflätorna i batteriboxens topp. Både jordflätor och kabelskor spänns fast med en klammer enligt Figur 5.10. Jordflätornas fjäderbelastning installeras och batteriboxens delar är redo att sammanfogas. Batteriboxens tre delar skruvas ihop med hjälp av skruv och mutter. Då alla komponenter för batteriets integration med drönaren är sammansatta kan testkörningen initieras.

Eftersom hissanordningen inte är färdigställd vid detta lag får man manuellt trycka upp batteriet under drönaren för att testköra kapitlets funktionen. Detta gör att instyrningen för batteriboxen inte kan testas korrekt förrän hissanordningen är färdigställd. Man utför ett flertal tester av drönarfästets låsanordning och batteriboxens kontakt med drönarfästet. Under samtliga tester upptäcker man inget anmärkningsvärt och alla funktioner fungerar som förväntat. Man beslutar då att gå vidare till nästa funktion av batteribytestationen.

6

Laddning

Detta kapitel behandlar hur man löste en automatisk laddning av drönarens batteri.

6.1 Laddare för drönarens batteri

För att kunna ladda batteriet behövs först en laddare kompatibel för att ladda LiPo-batterier. Efter diskussion och utvärdering av ett flertal olika laddare kom man fram till att använda en laddare av modell Cellpro Dual PowerLab 8x2 som illustreras i Figur 6.1.



Figur 6.1: Laddare av modell Cellpro Dual PowerLab 8x2

Valet motiveras av att laddaren är kompatibel för laddning av LiPo-batterier samt att den klarar av att ladda två batterier samtidigt [19]. Eftersom batteribytestationen ska klara av att ladda ett flertal batterier samtidigt underlättar det att den valda laddaren klarar av att ladda fler än ett batteri åt gången.

6.2 Koncept för balans- och strömkontakter

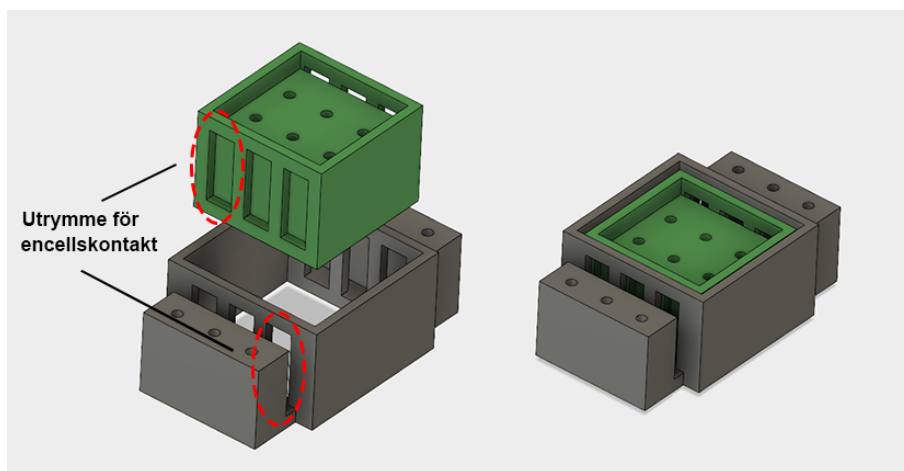
6.2.1 Balanskontakter

Då cellerna i ett LiPo-batteri måste balanseras vid laddning som förklarats i Kapitel 2.2 behöver man ta fram en lösning för kunna balansera cellerna autonomt. Även

strömöverföringen från laddare till batteri behöver ske autonomt.

För att förhindra att batteriets celler skadas eller fattar eld är det viktigt cellerna balanseras under laddning. Man vill därför skapa en säker balanskontakt mellan batteribox och laddare. Då det finns 6st trådar kopplat till batteriet relaterat till balansering av batteriets celler behövs 6st balanskontakter, en för varje tråd. Då utrymmet på batteriboxen är begränsat behöver dessa kontakter vara relativt små. Efter diskussion valde man att testa encellskontakter. Dessa kontakter är både små samt att de är formade på ett sätt att de agerar som en fjäder, vilket minimerar risken för att kontakten mellan två encellkontakter bryts.

För att säkerställa att dessa kontakter fungerar enligt planerat valde man att konstruera en mindre testrigg. Figur 6.2 illustrerar testriggen och det utrymme där encellkontakterna fixeras.



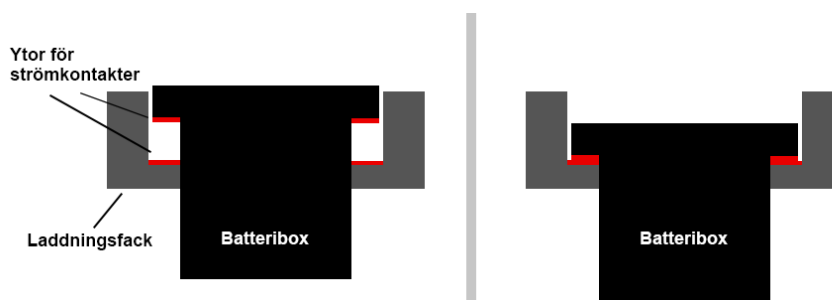
Figur 6.2: Demonstration av testrigg för encellskontakter

Den gröna detaljen i Figur 6.2 ska motsvara batteriboxen, medan den grå detaljen ska motsvara batteriets laddningsutrymme. När den gröna detaljen trycks ned i den grå enligt Figur 6.2 spänns fjädningen i encellskontakterna och de pressas mot varandra. Likt förväntat resulterade testet i en stabil och säker kontakt mellan samtliga encellskontakter. Man beslutade därför för att använda sig av encellskontakter för att utföra den autonoma balanseringen av batteriets celler under laddning.

6.2.2 Strömkontakter

För att överföra ström från laddare till batteri under laddning behöver man ta fram en lösning på kontakter som fungerar autonomt. Även här vill man uppnå en säker kontakt för strömöverföringen. Diverse idéer diskuterades innan man kom på att man kan utnyttja batteriets vikt. För att ladda batteriet kommer batteriboxen att positioneras i någon form av laddningsfack. Då man vill att batteriboxen ska fastna i laddningsfacket medan hissarnorning kan passera igenom behöver batteriboxen modifieras så att den kan hänga i laddningsfacket. Man insåg därmed att ytan mellan batteriboxens hänganordning och laddningsfacket är en lämplig positionering av strömkontakter.

Figur 6.3 illustrerar hur ytorna mellan batteriboxens hänganordning och laddningsfacket skapar utrymme för att placera strömkontakter.

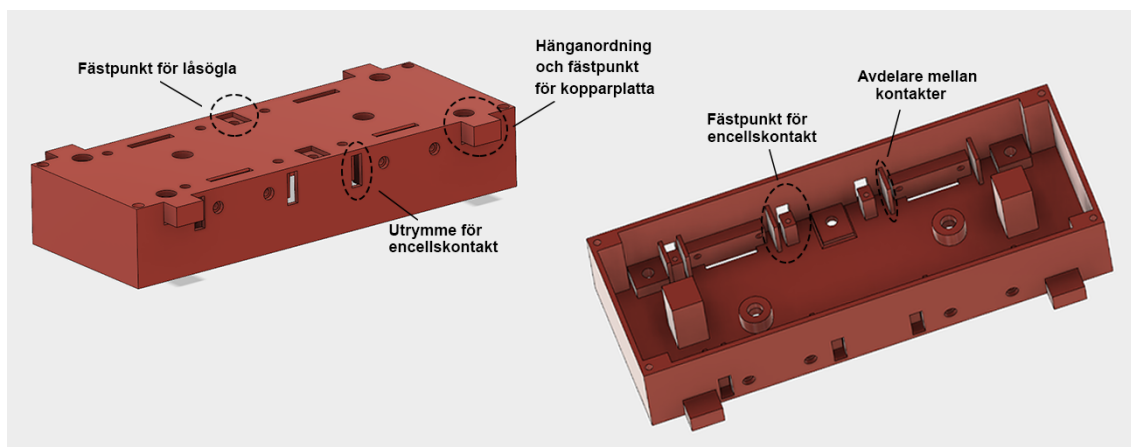


Figur 6.3: Illustration av strömkontakt mellan batteribox och laddningsfack

Enligt Kapitel 5.1 fungerar kopparplattor som bra strömöverförare. De är dessutom kompakta och kan formas efter behov. Problematiken man stötte på under utvecklingen av kontakterna mellan batteri och drönare var att två hårda ytor innebar en risk att kontakten bryts. Eftersom drönarens rörelser i luften kunde resultera i glapp mellan kontakterna ville man undvika det i allra högsta grad. I fallet för kontakter mellan batteribox och laddningsfack är ett potentiellt glapp i kontakten lika förödande. Man anser dock att batteriboxens vikt resulterar i att kontakten förblir stabil mellan ytorna. Med motivering av ovanstående argument beslutade man därmed att använda kopparplattor för att överföra ström från laddningsfacket till batteriboxen.

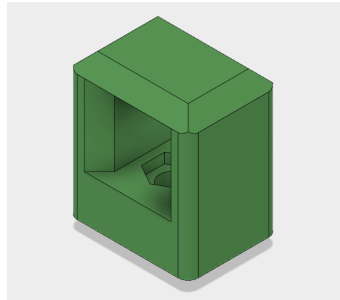
6.3 Modifiering av batteribox

För att implementera balans- och strömkontakter i batteriboxen behöver den modifieras. Med hänsyn till samtliga krav gällande både batteribox och kontakter konstruerades en ny version av batteriboxen. Figur 6.4 illustrerar hur batteriboxens toppdel har anpassats efter de balans- och strömkontakter som krävs för laddning av batteriet.



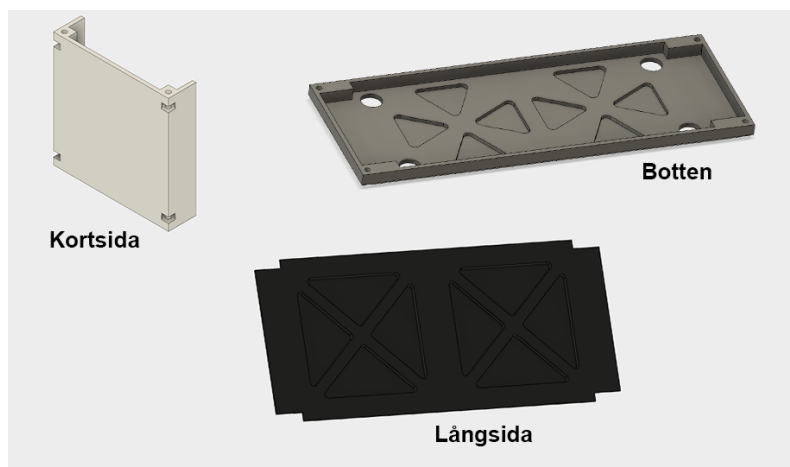
Figur 6.4: Modifikation av batteriboxens toppdel

Figuren ovan visar de utrymmen och fästpunkter där dessa kontakter ska fixeras. I figuren kan man dessutom se ett flertal avdelare mellan de olika kontakterna. Detta är för att säkerställa att kontakterna inte lyckas få kontakt med varandra. Då detaljen tillverkas med hjälp av en 3D-skrivare behövde man dessutom anpassa den för 3D-utskrift. Därav skapade man fästpunkter för batteriets låsöglor (markerat i Figur 6.4 och tillverkade dessa separat istället enligt Figur 6.5.



Figur 6.5: CAD-modell av lyftögla

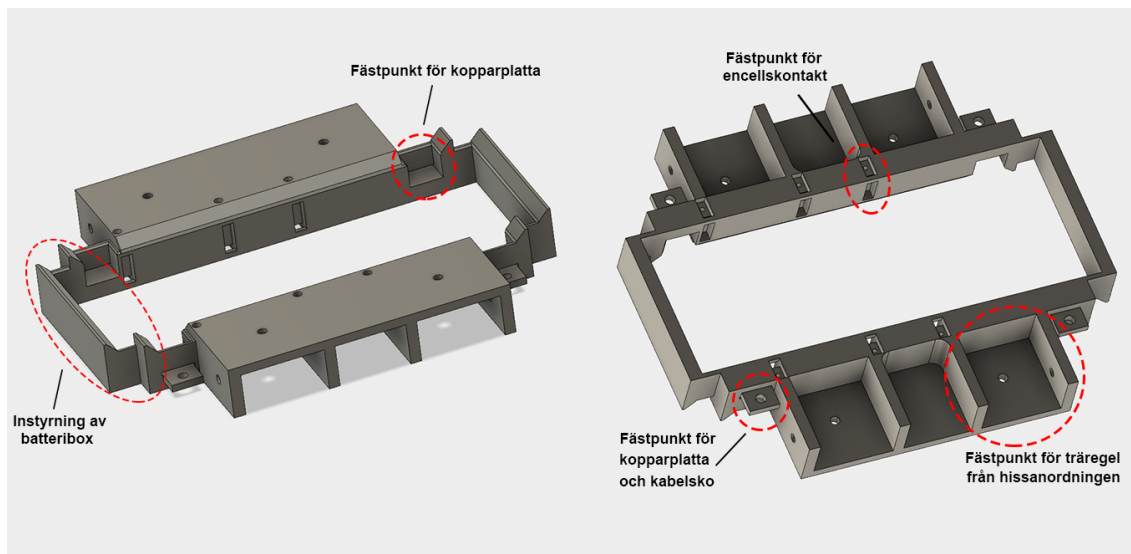
Man valde dessutom att modifiera resterande delar av batteriboxen. Som tidigare nämnt är det viktigt att batteriboxen väger så lite som möjligt eftersom en högre vikt leder till att mer energi förbrukas under flygning, vilket kortar ner flygtiden. Man valde därmed att viktreducera resterande delar av batteriboxen. Delarna illustreras i Figur 6.6.



Figur 6.6: Batteriboxens viktreducerade delar

6.4 Konstruktion av laddningsfack

Utifrån batteriboxens modifikation behöver ett laddningsfack konstrueras som kan överföra balans- och strömkontakt. Laddningsfackets konstruktion behöver även ta hänsyn till batteriboxens hänganordning. Laddningsfacket ska dessutom vara enkelt att tillverka i flera exemplar för att tillgodose laddning av ett flertal batterier. Dessa krav resulterade i ett laddningsfack presenterat i Figur 6.7.

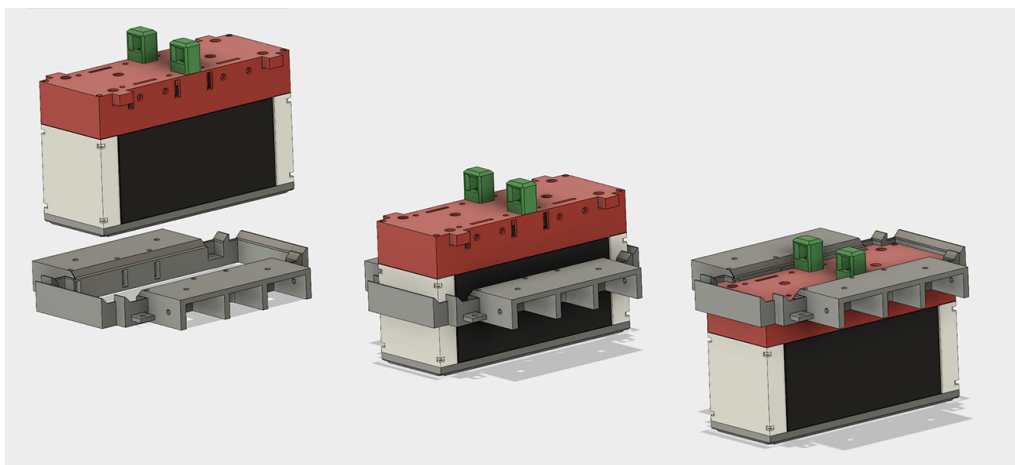


Figur 6.7: CAD-modell av det konstruerade laddningsfacket

I Figur 6.7 finns fästpunkter för encellskontakter och kopparplattor. Figuren illustrerar även hur laddningsfackets kanter är fasade, vilket hjälper batteriboxen att styras in i rätt position. Fästpunkten för kopparplattorna ska även agera mottagare för batteriboxens hänganordning. Eftersom hissordningen ska passera genom laddningsfacket finns dessutom fästpunkter för hissordningen inbyggd i konstruktionen.

6.5 Sammansättning och testkörning

Samtliga komponenter för batteribox och laddningsfack skruvades fast i sina fästpunkter. Kontakter för laddningsfacket kopplades till laddaren. Figur 6.8 illustrerar den modifierade batteriboxen samverkar samverkar med laddningsfacket. När batteriboxen befinner sig i den tredje positionen enligt Figur 6.8 får balans- och strömkontakterna kontakt med varandra och batteriet är redo att laddas.



Figur 6.8: Samspel mellan modifierad batteribox och laddningsfack

På grund av arbetets tidsbegränsning beslutades det tillsammans med Everdrone att programmering för styrning av batteriets laddning skulle hanteras av dem.

När styrningen var fullbordad utfördes ett flertal tester för att bekräfta att den automatiska laddningen fungerar enligt planerat samt att batteriet laddas upp korrekt. Under samtliga tester fungerade alla funktioner och det beslutades att gå vidare till nästa steg i uppdraget.

7

Hissanordning

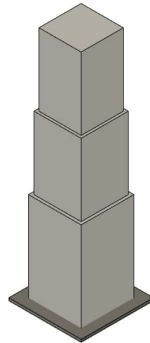
Detta avsnitt behandlar hur batteriet förflyttas från batteristationen till drönaren. Alternativet stod mellan att skjuta in batteriet från sidan av drönaren eller underifrån. Som nämnt i Kapitel 5 beslutade man ihop med Everdrone att batteriet ska fästas i drönaren underifrån. Detta betyder att de koncept som presenteras i detta avsnitt endast behandlar denna typ av hissanordning.

7.1 Idégenerering

Under konceptgenereringen för denna funktion fanns egentligen inga krav från uppdragsgivaren. Det enda som hade bestämts var att batteriet skulle förflyttas mellan drönare och batteristation i vertikalt led och fästas under drönaren. Däremot skapades nya krav utifrån de lösningar man tagit fram för batteribytestationens andra funktioner. Eftersom hissanordningen ska transporteras genom drönarens landningsyta sätter batteriboxens storlek ett krav på hålet i landningsytan. Detta sätter i sin tur en begränsning på storleken på hissen eftersom den måste kunna transporteras genom hålet. Hissanordningen måste även få plats under drönarens landningsyta. Lyftlängden på hissanordningen ska vara såpass lång att den kan transporteras från batteriets laddningsposition till att batteriboxen får kontakt med drönarfästet. Då drönarens landningsmarkör sitter centrerat på drönarens landningsyta skapar hissanordningen ett hål i denna landningsmarkör. Därför behöver toppen på hissanordningen kunna placeras i samma höjd som landningsytan. Den utskurna delen av landningsmarkören ska sedan kunna fästas på hissanordningens toppdel så att landningsmarkören blir komplett. Med dessa krav i åtanke togs följande koncept fram.

7.1.1 Koncept 1: Färdig lyftpelare

En färdig lösning togs fram för vertikal förflyttning som det första konceptet. Figur 7.1 illustrerar en teleskopisk lyftpelare som via eldrift kan förflytta föremål i vertikalt led. Den största fördelen med detta koncept är den stora tidsbesparingen eftersom endast toppplattan på pelaren behöver modifieras för att kunna integrera med batteriet. Utöver det ska styrningen programmeras och sedan är denna funktion av batteribytestationen löst.



Figur 7.1: Modell på hur en teleskopisk lyftpelare ser ut

Nackdelen med detta koncept är dessvärre kostnaden, där ekonomi också är en begränsning under detta arbete. Modellen presenterad i Figur 7.1 kostar 13125kr och är ett av de billigare alternativ man hittat [20]. Dessutom är de flesta versioner av lyftpelare överkvalificerade för denna uppgift där t.ex. modellen i Figur 7.1 har en lyftkapacitet på 150kg och en vertikal kraft på 1500N [20]. Eftersom batteriet endast väger ca 2,5kg är detta koncept med andra ord betydligt överkvalificerat. Med detta sagt anses det svårt att övertyga uppdragsgivarna att godkänna denna kostnad.

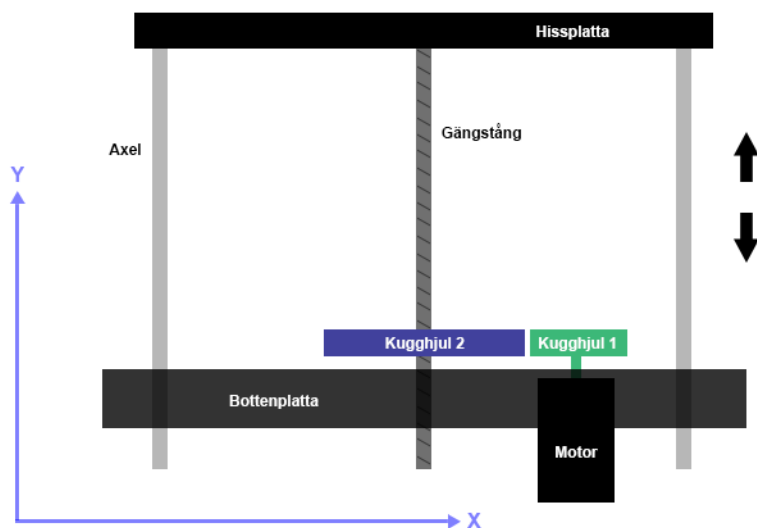
7.1.2 Koncept 2: Saxlift

Det andra konceptet som utvärderades var att konstruera en variant på en saxlift likt Figur 7.2. Fördelen med detta koncept är att det är ett välkänt koncept som ger en stabil vertikal förflyttning. Efter att ha utvärderat konceptet kom man dock fram till att konstruktionen är både för komplex och tidskrävande för att genomföra under detta projekt.



Figur 7.2: Koncept 2: Saxlift

7.1.3 Koncept 3: Gängstång med axlar



Figur 7.3: Koncept 2: Gängstång med axlar

Enligt konceptet presenterat i Figur 7.3 kan batteriet placeras på den övre hissplattan och sedan förflyttas vertikalt via en gängstång. Gängstången drivs av en motor och två kuggjul. För att få stabilitet i förflyttningen placeras fyra stycken axlar, en i varje hörn av hissplattan, vilka är tänkta att glida genom någon form av kullager. Den största fördelen med detta koncept är att det erbjuder stor flexibilitet eftersom de flesta komponenterna är tänkta att tillverkas i den 3D-printer som finns tillgänglig. Detta innebär även att kostnaden för konceptet kommer att vara relativt låg, vilket är i linje med projektets förutsättningar gällande den begränsade ekonomin. Ytterligare en fördel är att konstruktionen är betydligt enklare att genomföra inom en rimligt tid än föregående koncept. Man har även möjlighet att anpassa konstruktionen efter beräknad kapacitet, vilket medför att man sparar både tid och pengar på att inte överdimensionera konstruktionen till den grad som presenteras i koncept

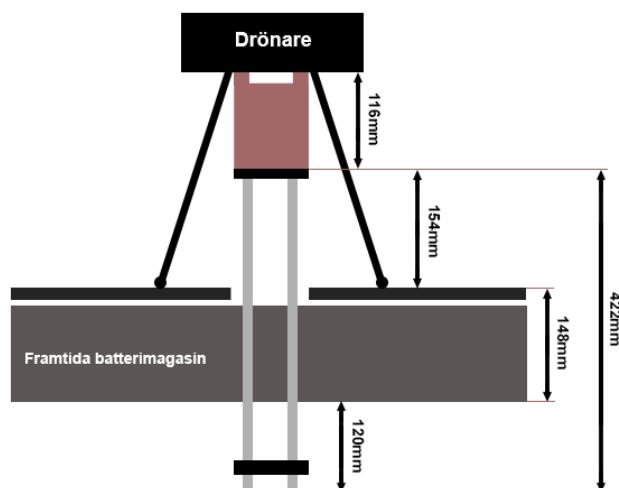
1. Konceptet kan dessutom direkt anpassas utefter den batteribox som togs fram i Kapitel 5.

7.2 Konstruktion

För att skapa hissens vertikala rörelse behöver komponenterna presenterade i Figur 7.3 utvärderas, konstrueras och tillverkas.

7.2.1 Stabilitet i konstruktionen

För att få hisskonstruktionen stabil ska hissplattan (se Figur 7.3) fästas i fyra axlar. Eftersom axlarna behöver skapa stabilitet i horisontellt led vill man att dess egenskaper ska vara styva men med en glatt yta så att hisskonstruktionen får en jämn rörelse i vertikalt led. Längden på dessa axlar behöver även anpassas efter den sträcka som hissen ska förflytta sig. Figur 7.4 presenterar de mått som lagt grund för den uppskattade sträckan som hissen kommer behöva röra sig i vertikalt led.



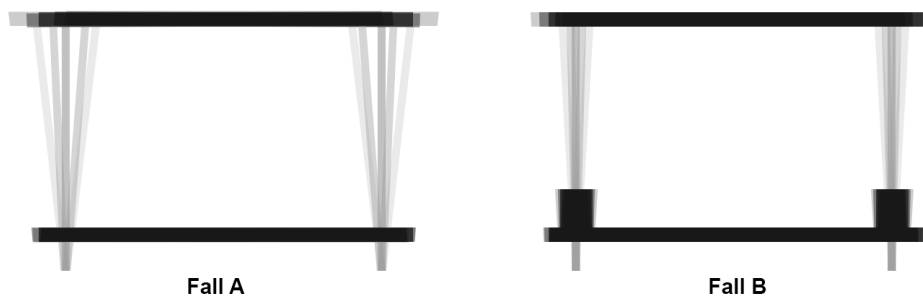
Figur 7.4: Hissens vertikala rörelsesträcka

Det första avståndet presenterat i figuren ovan är sträckan som hissen behöver röra sig ovanför landningsytan för att batteriet ska nå drönarfästet, vilket uppmättes till ca 154mm. Nästa avstånd är tjockleken på landningsytan adderat med ett utrymme för ett framtida batterimagasin samt ett avstånd på 20mm mellan dessa enheter. Det sista avståndet är utrymme för eventuella mekaniska komponenter för hisskonstruktionen. Totalt fås då en uppskattad sträcka på ca 422mm. Dock vill man inte köra hissen till axlarnas ändläge eftersom det skulle påverka hisskonstruktionens stabilitet. Dessutom vill man vara säker på att batteriet verkligen trycks in i fästet på drönaren, vilket gör att hissen eventuellt behöver förflyttas ytterligare ett par centimeter i vertikalt led. Utifrån ovanstående argument beslutades det att göra axlarna något längre än den uppskattade sträckan och man kom fram till att 500mm var ett godtyckligt mått.

Efter diskussion kring materialval på axlarna valdes blankpolerade rundstänger av stål eftersom de anses uppnå kraven som tidigare presenterats. Då stål är ett styvt material bedömdes en diameter på 12mm vara rimlig tjocklek för att skapa önskad effekt.

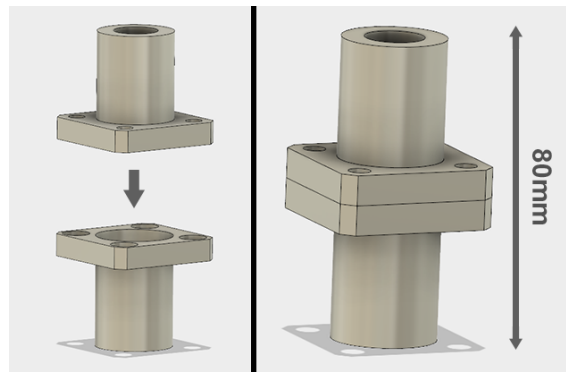
För att axlarna ska kunna glida genom hisskonstruktionens nedre fästpunkt, vilket i Figur 7.3 betecknas bottenplatta, valdes linjära kullager.

Figur 7.5 visar hur stabiliteten av hisskonstruktionen påverkas av axlarnas nedre fästpunkt när hissplattan befinner sig i toppläge. Fall B visar att en djupare nedre infästningspunkt ger en bättre momentupptagningsförmåga, vilket resulterar i en mer stabil konstruktion. Eftersom den nedre infästningspunkten motsvaras av de linjära kullagrena betyder det att ju längre dessa kullager är, desto stabilare blir konstruktionen. Då det var svårt att hitta tillräckligt långa linjärlager beslutades det att sätta ihop två stycken lager för varje axel för att på så sätt öka momentupptagningsförmågan och därmed stabiliteten i hisskonstruktionen.



Figur 7.5: Stabilitet av hiss vid Fall A jämfört med Fall B

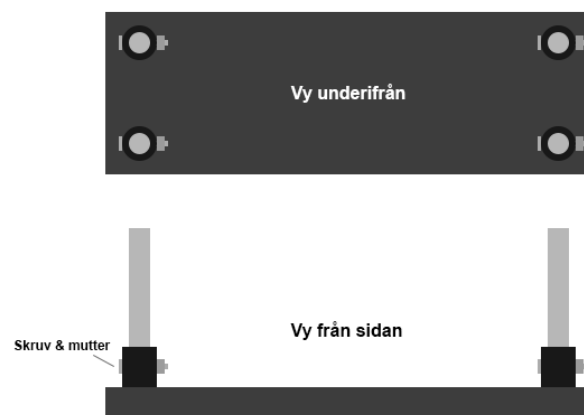
Figur 7.6 demonstrerar sammansättningen av linjärlagren som resulterar i en totalhöjd på 80mm, vilket ansågs som en tillräcklig höjd för att skapa önskad stabilitet i hisskonstruktionen.



Figur 7.6: Sammansättning av linjärlager

7.2.2 Hissplatta

För att skapa hissstrukturen behöver axlarna fästas i en hissplatta (se Figur 7.3). Axlarna glider i sin tur genom linjärlagren som behöver fästas i en bottenplatta. Eftersom hissstrukturen är tänkt innehålla en hel del komponenter ansågs det fördelaktigt att konstruera både hissplatta och bottenplatta i CAD för att sedan tillverka delarna med hjälp av en 3D-printer. Fördelen med denna tillverkningsmetod är att plattorna kan anpassas efter måttet på batteriboxen samt de mått som hissstrukturens komponenter har. Denna tillverkningsmetod gör det även enkelt att modifiera hissplattan under arbetes gång om det skulle behövas.

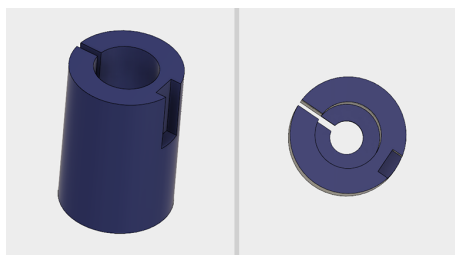


Figur 7.7: Axelfästning i hissplatta

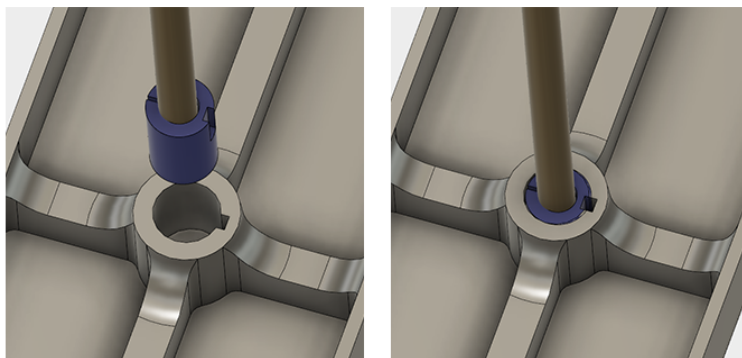
Det beslutades att axlarna ska fästas i hissplattan genom att borra hål i axlarna och sedan skapa en infästning i hissplattan så att axlarna kan monteras fast med hjälp av skruv och mutter enligt Figur 7.7.

Eftersom hissens rörelse, liksom positioneringen av drönaren, sker med hjälp av en gängstång valdes samma typ av gängstång som motiverades i kapitel 4, vilket var en trapetsgängad T8 stång. För att skapa en vertikal rörelse av hissplattan enligt Figur 7.3 behöver den trapetsgängade stången fixeras i hissplattan. Då gängstången kommer att utsättas för en radiell kraft som sedan ska överföras till en linjär rörelse kommer fästpunkten i hissplattan behöva kunna motstå denna kraft. Därför behöver denna infästning vara hållfast. Då det ansågs komplicerat att borra igenom gängstången liksom axlarna utvärderades andra alternativ. Efter diskussion kom man fram till att en kombination av ett kilförband och ett klämförband ansågs vara hållfast nog att motstå de radiella krafter som gängstången kommer att utsättas för.

Figur 7.9 demonstrerar funktionen av förbandet där snittet i hylsan visat i Figur 7.8 gör att hylsan kläms åt kring den trapetsgängade stången när de trycks ned i hålet enligt Figur 7.9. För att säkerställa att gängstången förblir fixerad i hissplattan kilas förbandet fast genom att trycka ned en kil i det spår som syns i Figur 7.9. Eftersom hissplattan konstrueras i CAD valde man att bygga in ena delen av kilförbandet i denna platta.

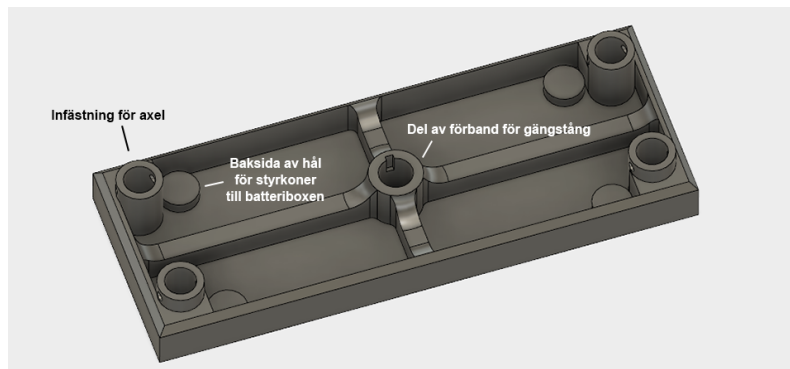


Figur 7.8: Hylsa för kil- och klämförbandskombination



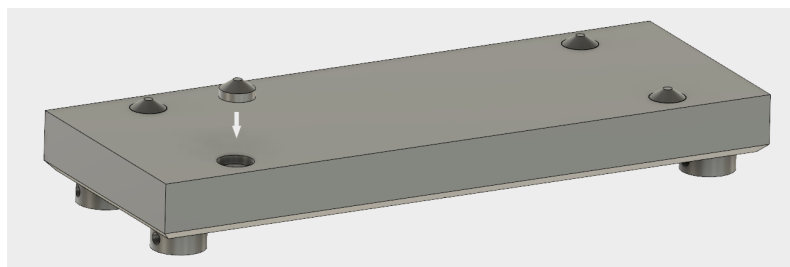
Figur 7.9: Demonstration av förbandets funktion

Figur 7.10 visar en CAD-modell av hissplattan underifrån. I figuren syns axlarnas infästning samt ena delen av förbandet för att fixera den trapetsgängade stängen.



Figur 7.10: CAD-modell av hissplattan

När hissplattan integrerar med batteriet vill man säkerställa att batteriboxen centreras på plattan så att den kan transporteras genom hålet i drönarens landningsyta enligt Figur 7.4. Man vill dessutom minimera risken att batteriet ramlar av hissplattan under färdens gång. Lösningen man kom fram till var att fästa styrkoner på toppen av hissplattan och göra motsvarande hål i botten på batteriboxen. På så sätt säkerställer man att batteriboxen alltid hamnar centrerat på hissplattan. Eftersom den valda tillverkningsmetoden av hissplattan var en 3D-skrivare kunde dessa styrkoner tillverkas direkt i plattan eftersom ena sidan måste vara plan mot 3D-skrivarens platta. Lösningen blev att skapa hål i hissplattan enligt Figur 7.10 och sedan tillverka separata styrkoner. Styrkonerna limmades fast i hissplattans hål för att få önskat resultat. Resultatet presenteras i Figur 7.11.



Figur 7.11: Hissplattans ovansida med styrkoner

7.2.3 Drift och mekaniska komponenter

Som tidigare nämnt ska hissen drivas med hjälp av en gängstång, två kugghjul och en motor enligt Figur 7.3. Eftersom två kugghjul används vid drift valde man att göra en utväxling mellan dessa kugghjul. Utväxlingen medför att det inte krävs lika mycket motorkraft för att förflytta hisskonstruktionen vertikal samtidigt som förflyttningen blir långsammare. Då kugghjulen behöver anpassas efter ytan på hisskonstruktionen valde man att konstruera och tillverka kugghjulen med hjälp av den tillgängliga 3D-skrivaren.

Eftersom kugghjulen tillverkas i plast behöver de vara relativt massiva för att kunna överföra motorns vridmoment utan att gå sönder. Med det begränsade utrymmet kan man fram till att det större kugghjulet kunde vara max 75mm i diameter. Då man upplevde att det fanns viss ojämnhet i kraftöverföringen från motorns rotationsrörelse till linjärrörelse för positioneringen av drönaren (se Kapitel 4.3.3) ville man minimera risken för ojämnhet vid hissens vertikala rörelse. Vid användning av raka kuggväxlar kan kontaktkraften variera vilket kan leda till vibrationer och hög ljudnivå [6]. Eftersom kugghjulen kommer tillverkas i plast är man därav orolig att eventuella vibrationer skulle kunna leda till att kugghjulen nöter sönder varandra. För att undvika detta fenomen valde man att använda snedkuggar eftersom ett snedkuggsengrepp minskar både vibrationer och ljudnivå [6]. Med hjälp av ett plugin till CAD-applikationen kunde man konstruera ett kugghjul med snedkugg. För att maximera storleken på det större kugghjulet fann man att den närmsta diametern som gav ett jämnt antal kuggar var 73,95mm, vilket gav 32 stycken kuggar.

Även det mindre kugghjulet behöver vara tillräckligt massivt för att lyckas överföra motorns vridmoment. För att få fram vilken diameter på kugghjulet som anses robust nog valde man att tillverka diverse storlekar på kugghjulet med hjälp av 3D-skrivaren. De olika kugghjulen testades och man kom fram till att en diameter mellan 35-50mm bör vara tillräckligt.

För att beräkna momentutväxlingen av ett kuggingrepp används följande formel:

$$i = \frac{z_2}{z_1} \quad (7.1)$$

där i = momentutväxlingen, z_1 = antal kuggar på det mindre kugghjulet och z_2 = antal kuggar på det större kugghjulet. För att uppskatta diametern valde man att ställa om Ekvation 7.1 till:

$$z_1 = \frac{z_2}{i} \quad (7.2)$$

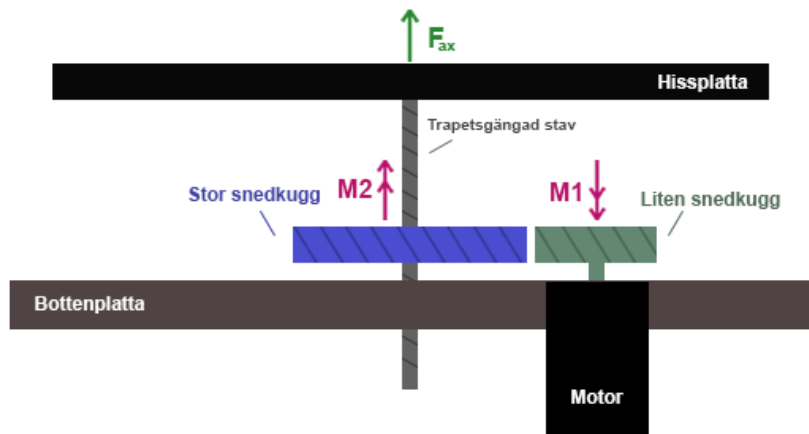
där man genom att dividera antalet kuggar på det större kugghjulet med ett rimligt uppskattat värde på momentutväxlingen får fram antalet kuggar på det mindre kugghjulet. Kugghjulet konstruerades i CAD med det givna värdet på z_1 där man sedan kunde mäta kugghjulets totala diameter. Efter ett fåtal försök kom man fram till följande:

$$z_1 = \frac{z_2}{i} = \frac{32}{2} = 16 \quad (7.3)$$

Med hjälp av CAD fick man fram att ett kuggantal på 16 stycken gav en total diameter på 39,15mm. Då man tidigare kommit fram till att diametern bör vara mellan 35-50mm slog man fast vid detta värde eftersom det uppfyller kravet. Momentutväxlingen för kuggingreppet blir därmed:

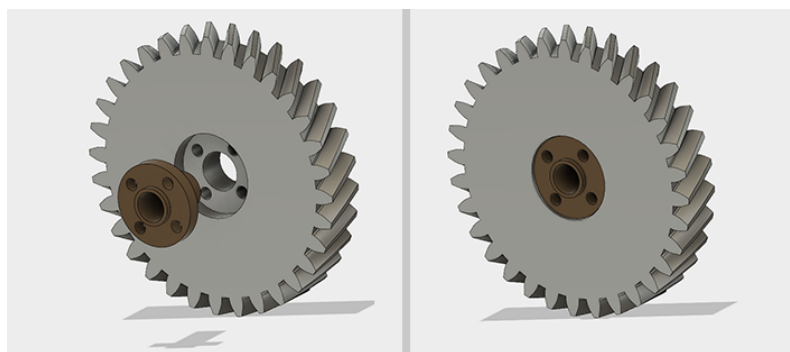
$$i = \frac{32}{16} = 2 \quad (7.4)$$

Figur 7.12 presenterar en uppställning av hisskonstruktionens momentöverföring.



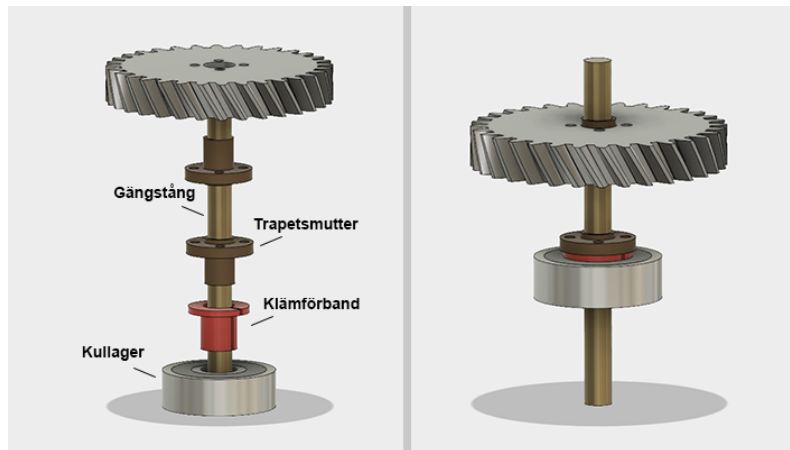
Figur 7.12: Hisskonstruktionens momentöverföring

Eftersom rotationen av det större kugghjulet ska överföras till hissens vertikala rörelse med hjälp av den trapetsgängade stängen enligt Figur 7.12 behöver det finnas en invändig gänga genom det större kugghjulets centrum. Eftersom kugghjulet konstrueras i CAD valde man att anpassa det så att man kan montera en trapetsmutter genom dess centrum. Figur 7.13 visar konstruktionen av det större snedkugghjulet samt hur trapetsmuttern integrerar med kugghjulets centrum. Trapetsmuttern fixeras med hjälp av skruv och mutter.



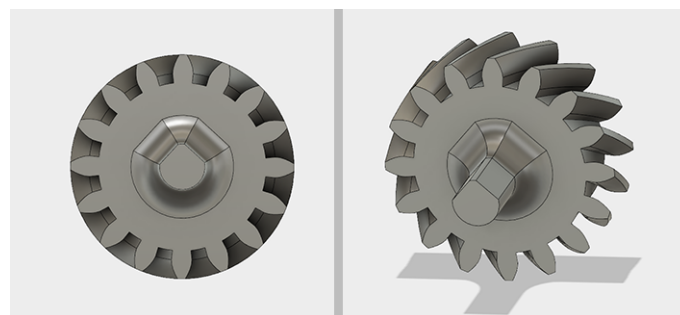
Figur 7.13: CAD-modell av det större snedkugghjulet samt trapetsmutter

Gängstången behöver även en lägre fästpunkt för att uppnå stabilitet i hisskonstruktionen. Denna fästpunkt blir hissens bottenplatta. Här vill man däremot att gängstången ska kunna rotera fritt och uppta minimalt med moment för att maximera den vertikala rörelsekraften som överförs från motorns vridmoment. Lösningen man kom fram till presenteras i Figur 7.14



Figur 7.14: Demonstration av gängstångens nedre fästpunkt

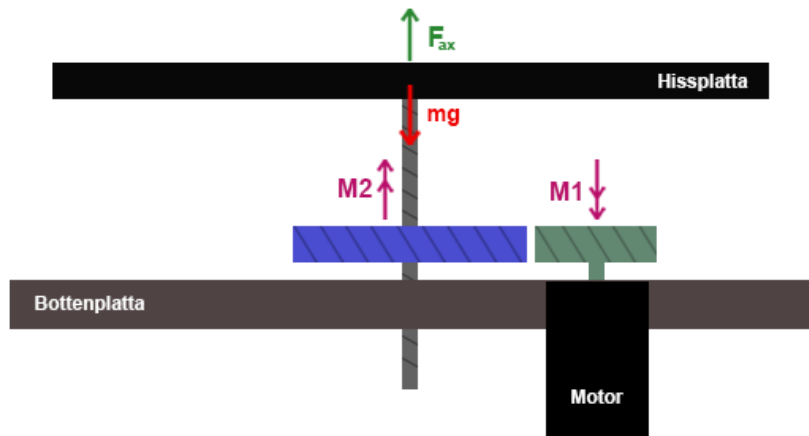
Figuren ovan demonstrerar hur ytterligare en trapetsgängad mutter fixeras i ett kullager med hjälp av ett klämförband. På så sätt stabiliseras gängstången vid en nedre fästpunkt samtidigt som den kan rotera fritt och tar endast upp vridmoment kring det större kugghjulet. Figur 7.15 visar konstruktionen av det mindre kugghjulet. Då detta kugghjul ska fästas kring motorns axel valde man att skapa en axel från kugghjulet med två platta spår. På så sätt kan man fästa kugghjulet med motorns axel med hjälp av en spiralkoppling likt i Kapitel 4.2.3. Skruven från spiralkopplingen kläms åt mot de platta ytorna på kugghjulets axel för att uppnå en kraftfull fixering.



Figur 7.15: CAD-modell av det mindre snedkugghjulet

7.2.4 Kraftberäkning och val av motor

För att uppskatta lämplig motorkapacitet behöver man först beräkna vilket vridmoment som krävs för att driva hisskonstruktionen. Då denna uträkning endast ger ett värde att förhålla sig till sker beräkningarna under förenklade förhållanden. Figur 7.16 presenterar en förenklad kraftuppställning för att kunna beräkna ett värde på hisskonstruktionens vridmoment



Figur 7.16: Uppställning för beräkning av hisskonstruktionens vridmoment

Som beskrivet i Kapitel 7.2.1 vill man att hissen ska lyfta drönaren något för att säkerställa att batteriboxen integrerar med drönarfästet. Detta betyder att hisskonstruktionen behöver ha kapacitet att lyfta hissplatta, batteribox inkl. batteri och drönaren samtidigt. Sammanlagt får dessa enheter en totalvikt på ca 10kg, vilket betyder att $m = 10\text{kg}$.

Jämviktsekvation i vertikalt led ger då:

$$F_{ax} - mg = 0 \quad \Rightarrow \quad F_{ax} = mg \quad (7.5)$$

Likt beräkningen av vridmomentet i Kapitel 4.2.4.5 fås vridmomentet $M2$ genom följande formel [6]:

$$M2 = F_{ax} \cdot \left[\frac{P}{2\pi} \cdot \frac{\tan(\varphi + \rho')}{\tan(\varphi)} \right] \quad (7.6)$$

Eftersom samma typ av trapetsgängad T8 stång med tillhörande mutter används för hisskonstruktionen som vid positionering av drönaren har variablerna inom hakparantesen i Ekvation 7.5 samma värden som vid beräkningarna i Kapitel 4.2.4.5. Med insättning av Ekvation 7.5 samt värdena från nämnt kapitel betyder det att ekvationen kan skrivas om som:

$$M2 = mg \cdot \left[\frac{0,008}{2\pi} \cdot \frac{\tan(8,603 + 19,991)}{\tan(19,991)} \right] \quad (7.7)$$

Insättning av resterande värden ger då:

$$M2 = 10 \cdot 9,82 \cdot \left[\frac{0,008}{2\pi} \cdot \frac{\tan(8,603 + 19,991)}{\tan(19,991)} \right] \approx 0,187 \text{ Nm} \quad (7.8)$$

Vridmomentet $M2$ kan även beräknas genom följande formel[6]:

$$M2 = -M1 \cdot i \quad \Rightarrow \quad M1 = -\frac{M2}{i} \quad (7.9)$$

Insättning av resultaten från Ekvation 7.4 och 7.8 ger då:

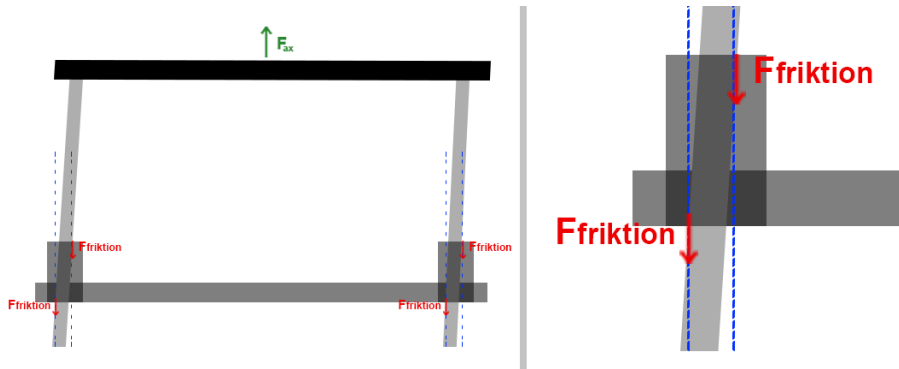
$$M1 = -\frac{0,187}{2} = -0,0935 \text{ Nm} \quad (7.10)$$

Minustecknet i ekvationerna ovan indikerar endast att vridmomentet $M1$ byter riktning likt i Figur 7.16, vilket betyder att de två kugghjulen roterar i olika riktningar. Bortser man från detta och endast fokuserar på vridmomentets storleksordning betyder det alltså att ett vridmoment $M1 = 0,0935 \text{ Nm}$ krävs för att driva hisskonstruktionen. Med detta sagt finns det ett flertal aspekter som inte reflekteras i denna beräkning.

7.2.4.1 Parametrar som motiverar ett högre vridmoment än beräknat

Eftersom beräkningen av det vridmoment som krävs för att driva hisskonstruktionen ovan är vid ett förenklat scenario finns det antal aspekter som påverkar det beräknade värdet, vilket behöver diskuteras.

För det första så kommer det med största sannolikhet att uppstå friktion i axlarna när hissen rör sig vertikalt. Detta beror på fenomenet illustrerat i Figur 7.5 där en stabilare nedre fästpunkt för axlarna kommer att minimera att hissen tendens till att svaja likt figuren. Det anses dock svårt att helt motverka detta fenomen, vilket betyder att viss horisontell rörelse kommer att ske under hissens vertikala rörelse. Den horisontella rörelsen kommer att öka friktionen vid hissens linjÄrlager eftersom axlarna kommer att tryckas mot dess inre sidor demonstrerat i Figur 7.17.



Figur 7.17: Demonstration av friktionen som uppstår i axlarna vid hissens horisontella rörelse

Då det är svårt att uppskatta hur mycket hissenskonstruktionen kommer att svaja blir det därmed svårt att beräkna denna typ av friktion. Istället tas detta fenomen med i bedömningen av den säkerhetsmarginal som kommer adderas till det beräknade vridmomentet $M1$.

Det finns även risk att hissens horisontella rörelse kan medföra att en viss friktion uppstår vid gängstångens nedre fästpunkt (se Figur 7.14). Likt Figur 7.17 kommer en ökad friktion i gängstångens nedre fästpunkt resultera i att ett högre vridmoment krävs för att rotera gängstången då det behöver kompensera för den ökade friktionen. Även detta tas med i bedömningen av lämplig säkerhetsmarginal.

Till sist kommer troligtvis viss friktion uppstå vid kugghjulens kuggingrepp. I det här fallet skulle vara möjligt att utföra en beräkning för denna friktion. Men med tanke på att man valt snedkuggar är det en tidskrävande beräkning. Med hänsyn till arbetets tidsbegränsning valde man därmed att inte utföra denna beräkning utan tog istället med denna friktion i bedömningen av vridmomentets säkerhetsmarginal.

Med hjälp av ovanstående argument diskuterade man lämplig säkerhetsmarginal för vridmomentet $M1$. Då osäkerheten är såpass stor och man var överens om att värdet på $M1$ kändes lågt beslutade man att multiplicera $M1$ med 10. Detta betyder att motorn som ska driva hissenskonstruktionen behöver ha ett vridmoment på minst $M = 0,935\text{Nm}$.

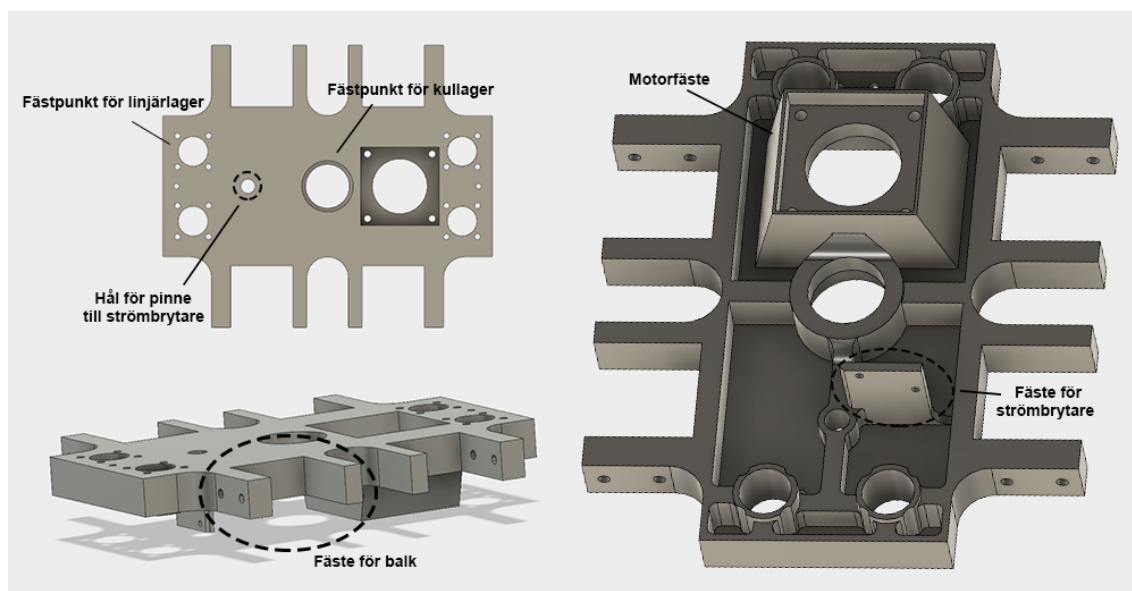
7.2.4.2 Val av motor

Med samma argument som presenterade i Kapitel 4.2.3 valde man att använda en stegmotor för att driva hissenskonstruktionen. En Nema 17 stegmotor har ett vridmoment på $0,47\text{Nm}$ [11] medan en Nema 23 har ett vridmoment på $1,9\text{Nm}$ (cncmaskiner). Eftersom det slutgiltiga vridmomentet man kom fram till som krävs för att driva hissenskonstruktionen var $M = 0,935\text{Nm}$ är det tydligt att en Nema 17 motor inte räcker till. Däremot finns möjligheten att driva konstruktionen med två stycken Nema 17 stegmotorer eftersom $0,47 \cdot 2 = 0,94\text{ Nm}$, vilket ska vara tillräckligt enligt värdet på M . Man upptäckte dock under testkörningen för positioneringen av

drönaren att man underskattat den motorkapacitet som krävs för att driva konstruktionen trots adderad säkerhetsmarginal (se Kapitel 4.3.3). Med denna lärdom vill man undvika att repetera samma misstag. Dessutom, som beskrivet i Kapitel 4.2.3, skiljer det endast 23kr i kostnad mellan de två stegmotorerna, vilket betyder att två stycken Nema 17 stegmotorer hade blivit betydligt dyrare än en Nema 23 stegmotor. Med ovanstående argument valde man därmed att använda en Nema 23 stegmotor eftersom det ger ytterligare säkerhetsmarginal samt är en billigare lösning. Båda aspekter motiveras dessutom av arbetets tid- och ekonomiska begränsningar.

7.2.5 Bottenplatta

Bottenplattan (se Figur 7.3) är den del där majoriteten av hisskonstruktionens komponenter ska fästas. Som beskrivet i Kapitel 7.2.2 kommer därmed denna del att konstrueras i CAD och tillverkas med hjälp av den tillgängliga 3D-skrivaren. Bottenplattan behöver konstrueras så att det finns fästpunkter för konstruktionens åtta linjälager (motiverat i Kapitel 7.2.1). Det behöver även finnas fästpunkter för den valda stegmotorn och kullagret kring gängstångens nedre fästpunkt. Man vill dessutom addera en strömbrytare i bottenplattan som aktiveras innan hissplattan når konstruktionens komponenter för att förhindra att konstruktion och motor går sönder. Strömbrytaren kan även användas som en referenspunkt för hissens styrsystem. Ytterligare krav är att båda kugghjulen ska kunna rotera fritt. Man har dessutom beslutat att hela hisskonstruktionen ska monteras hängande under drönarens landningsyta, vilket betyder att bottenplattan behöver anpassas för denna infästning. Med samtliga krav i åtanke konstruerades bottenplattan i CAD. Figur 7.18 illustrerar konstruktionen för hissens bottenplatta.



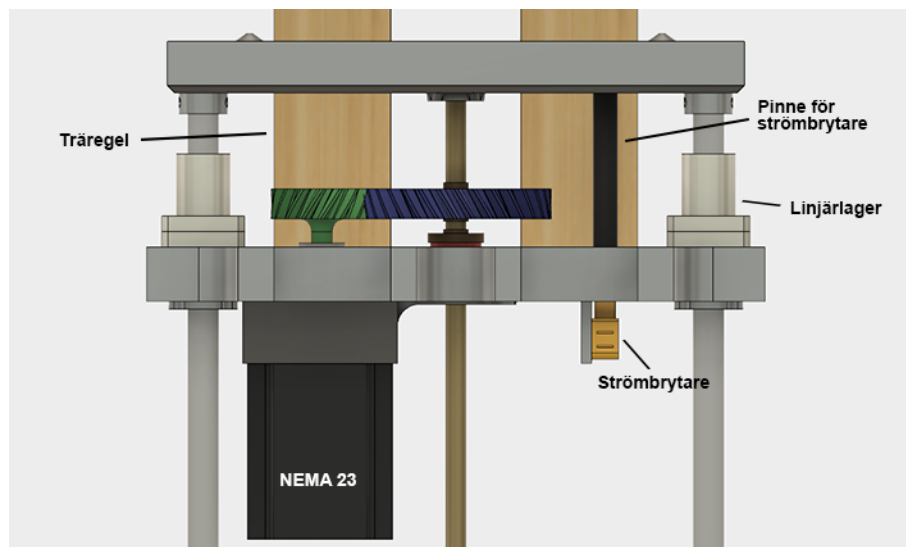
Figur 7.18: CAD-modell av bottenplattan

Under konstruktionen beslutade man att hissen ska fästas i drönarens landningsyta med hjälp av fyra stycken 45x45mm träreglar. Valet motiveras genom att reglarna

är billiga och enkla att få tag på samt att de anses robusta nog för att motstå hiss-konstruktionens krafter.

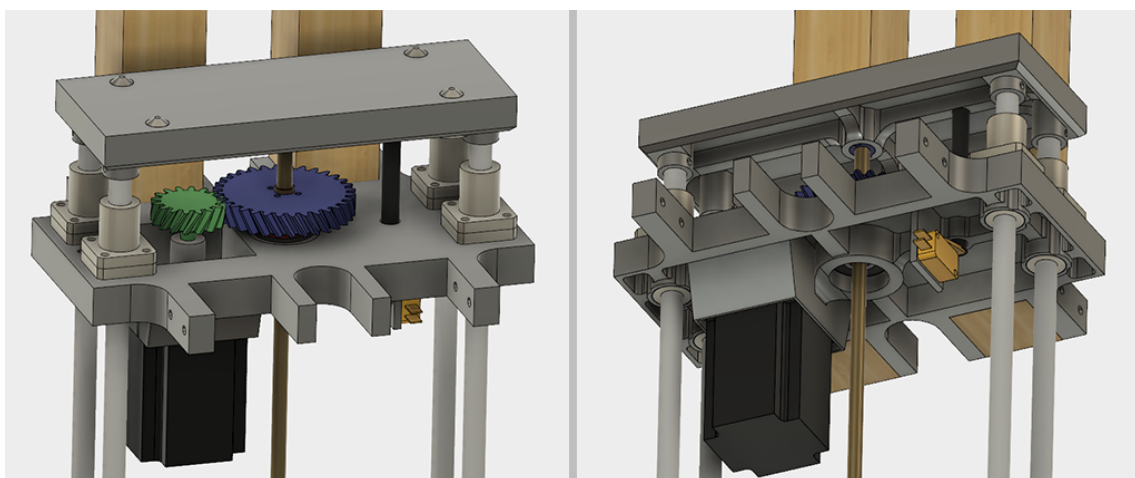
7.2.6 Sammansättning av komponenter

Då bottenplattan är den sista komponenten i hissstrukturen kan man nu sammanställa alla komponenter. Figur 7.19 illustrerar hur samtliga komponenter sätts samman för att fullborda hissstrukturen.

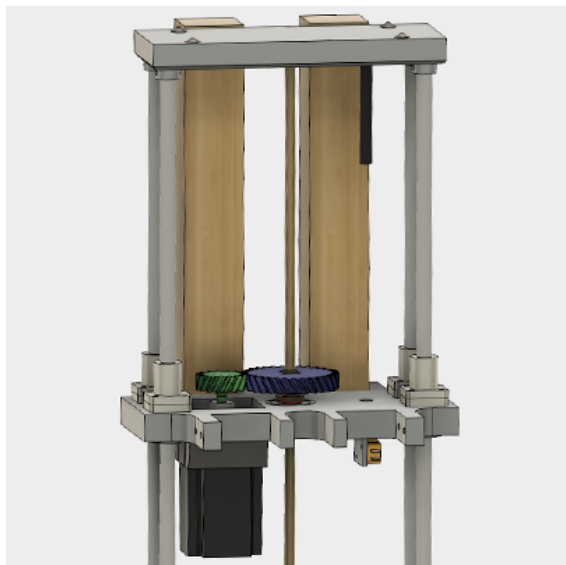


Figur 7.19: Illustration av hissstrukturens sammansatta komponenter

I figuren ovan syns pinnen till strömbrytaren som ser till att hissen inte rör sig för långt ner. Figuren illustrerar hissens position i sitt bottenläge, dvs. då styrpinnen aktiverar strömbrytaren. Ytterligare vyer av den sammansatta hissstrukturen presenteras i Figur 7.20 och 7.21.



Figur 7.20: Hissstrukturen från två andra synvinklar



Figur 7.21: Vy av hisskonstruktionen då hissen befinner sig i ett högre läge än tidigare illustrerat

7.2.6.1 Fysisk sammansättning

Hissens fyra axlar monteras i hissplattan genom att borra hål i axlarna och sedan fästa dem med skruv och mutter. Gångstången fixeras i hissplattan med hjälp av kil- och klämförbandet enligt Figur 7.9. Pinnen för strömbrytaren limmas fast i hissplattan enligt Figur 7.20.

Samtliga linjälager, stegmotor och strömbytare fixeras i bottenplattan med skruv och mutter. Gångstångens kullager limmas fast i bottenplattan och det större snedkugg-hjulet monteras enligt Figur 7.14. Det mindre kugghjulet spänns fast kring stegmotorns axel med hjälp av en spiralkoppling.

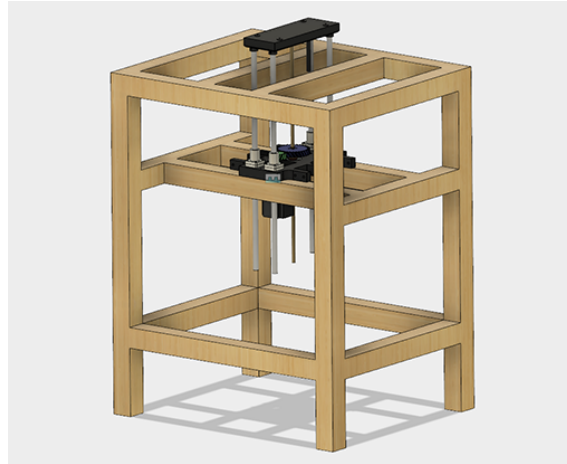
7.2.7 Hisskonstruktionens styrsystem

Hissens styrsystem bygger på liknande metod som för positioneringen, fast med bara en stegmotor och en ändlägesbrytare. Vid initieringen sänker stegmotorn ner hissen till bottenläget, där strömbrytaren är placerad. När strömbrytaren sluter kretsen så nollställs hissens position.

Hissen har tre lägen som den färdas emellan, högst upp för att hämta och lämna batteriet i drönaren, i mitten för att göra landningsmarkören komplett och längst ner för att ladda batteriet. Avståndet från strömbrytaren (botten) till mitten och toppläget uppmättes i 3D-modellen och räknades sedan om till antal steg, givet gångstångens stigning samt inställningen på stegmotorstyrningen (pulser per varv).

7.2.8 Testkörning och modifiering

Under konstruktionsfasen innan alla delar var på plats användes en tillfällig testtrigg för att testa hissanordningen. Figur 7.22 illustrerar hisskonstruktionens testtrigg. Testtriggen tillverkades av 45x45mm reglar och träskruv.



Figur 7.22: Testtrigg för hisskonstruktion

Vid den första testkörningen upptäckte man en oroväckande hög ljudnivå. Samma fenomen uppstod vid testkörningen av drönarens positionering där en mjukvareändring löste problemet. Man började därmed att se om ljudnivån påverkades av mjukvaran. Efter ett fåtal tester kom man fram till att om man minskade delayen i styrprogrammet så minskade ljudnivån markant. Ljudet försvann dock inte helt och man valde att undersöka vidare. Det kraftigaste ljudet kom från kugghjulen. Trots att snedkuggar ska minska eventuell ljudnivå vid kuggingreppet enligt läroboken i Maskinelement [6] misstänkte man att det inte var tillräckligt. Eftersom friktion mellan kuggarna också kan leda till en ökad ljudnivå testade man att smörja in de båda kugghjulen med motorolja.

Vid nästa testkörning minskade ljudnivån, vilket betyder att appliceringen av smörjmedel hjälpte. Därefter utförde man ett tiotal testkörningar och hissen förblev tystlåten. Inga andra fel upptäcktes under dessa testkörningar och man ansåg hisskonstruktionen som fullt funktionell och valde att gå vidare till att lösa nästa funktion av batteribytarstationen.

8

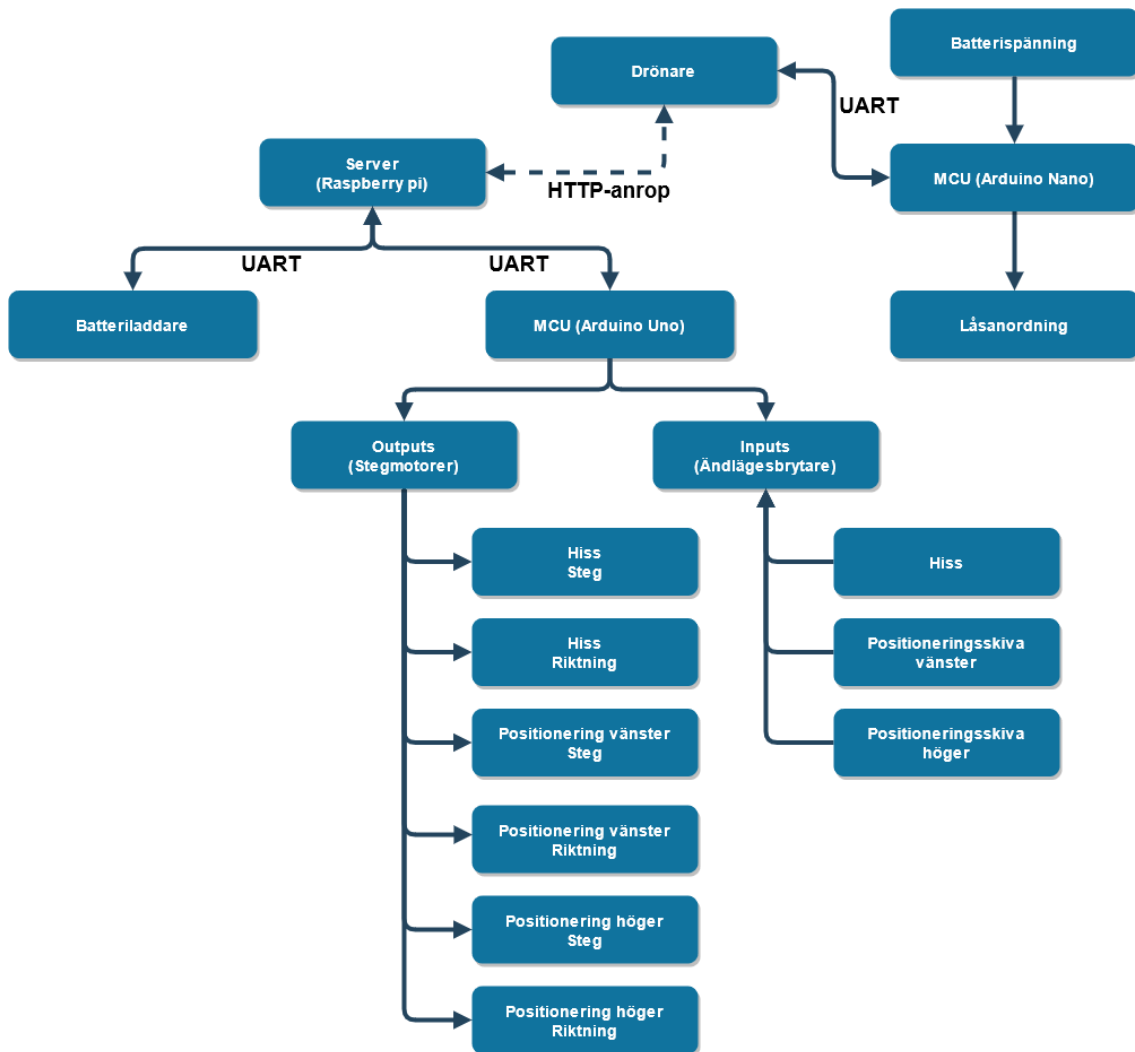
Styrssystem

8.1 Systemarkitektur

Efter att brutit ner funktionerna enligt de hierarkiska schemat presenterat i Figur 3.1 fastslogs att två separata styrssystem behövdes för arbetet. Ett som sköter manövreringen av batteristationens ställdon/läser givare och ett som sköter fastlåsning av batteriet i drönaren.

Då drönaren behövde ett sätt att kommunicera mot batteristationen infördes en Raspberry Pi som batteristationens server. Kommunikationen mellan drönare och server sker med HTTP-anrop, något som företaget utvecklar då det ligger utanför arbetets avgränsning. Servern sköter därefter kommunikationen mot batteriladdaren och batteristationens styrssystem (MCU, Arduino Uno) via UART.

På MCU:n i batteristationen kopplades tre stycken ändlägesbrytare, som fanns till för att få en referenspunkt till ställdonens position efter varje omstart av systemet. MCU:n hade också till uppgift att via sex stycken utgångar styra de tre stegmotorerna, så att de nådde rätt positioner. I drönaren monterades ett andra styrssystem (MCU, Arduino Nano) som kommunicerade med drönarens flygdator via UART. MCU:n i drönaren hade i uppgift att vid uppstart låsa fast batteriet och på kommando från drönaren, låsa upp batteriet. Figur 8.1 presenterar en överblick av styrsystemets arkitektur.

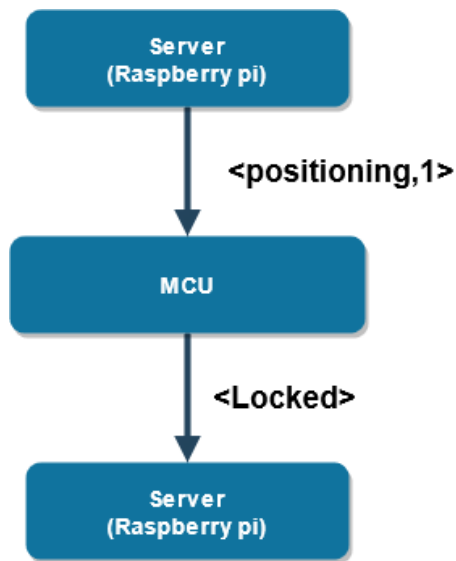


Figur 8.1: Systemarkitektur - överblick

8.2 Gränssnitt mot företaget

Då MCU:n i batteribytarstationen och MCU:n i drönaren skulle integreras mot företagets befintliga system (server och drönare) behövdes ett gränssnitt upprättas. Hårdvarulagret som fanns tillgängligt för kommunikationen var UART men det behövdes en specifikation för hur kommunikationen skulle gå till.

Företagets begäran var att styra respektive MCU genom högnivå-kommandon, där en förfrågan går ut från drönare alt. Server till MCU. När MCU:n mottagit kommandot, utförs förfrågan och en bekräftelse skickas tillbaka till dess överordnade system. Istället för att jobba med binär data önskade företaget att kommunikationen skulle ske med strängar, då det blir enklare för deras utvecklare att felsöka. Utöver strängen som skulle skickas över, skulle också ett siffrvärde kunna följa med kommandot. Syftet med ett siffrvärde är att begränsa mängden kommandon som behövs vid integrering mot företaget. Figur 8.2 illustrerar ett flödesschema mellan server och MCU.



Figur 8.2: Flödesschema, förfrågan och bekräftelse

När information skall skickas över UART så matas hårdvarulagret med en byte eller flera bytes (i en Tx-buffer) som skickas bit för bit och sätts sedan ihop till en byte på mottagarsidan. De flesta mikroprocessorer har inbyggda funktioner för att ta andra datatyper, exempelvis en sträng, konvertera denna till bytes och skicka. Det är också vanligt att mikroprocessorer har inbyggda funktioner för att ta emot bytes och läsa in dessa som exempelvis strängar.

Ett problem som kan uppstå är då mottagarsidan misstolkar den data som skickats. Det kan bero på ett flertal faktorer som störningar från andra system, instabila spänningsnivåer eller oregelbundna klockhastigheter på processorn.

För att göra kommunikationen mer robust användes inga färdiga funktioner för att läsa strängar, istället så utvecklades ett gränssnitt som läser byte för byte. Alla bytes som mottas ignoreras tills då ett start-tecken (<) kommer, då sparas efterföljande bytes i en buffer tills det att ett stop-tecken kommer (>) och kommandot är komplett.

```

1 void receiveWithStartStop() {
2     static boolean currentlyReceiving = false;
3     static byte index = 0;
4     char startMarker = '<';
5     char stopMarker = '>';
6     char receivedChar;
7
8     while (Serial.available() > 0 && newData == false) {
9         receivedChar = Serial.read();
10
11         if (currentlyReceiving == true) {
12             if (receivedChar != stopMarker) {
13                 receivedChars[index] = receivedChar;
14                 index++;
15                 if (index >= numChars) {
16                     index = numChars - 1;
17                 }
18             }
19             else {
20                 receivedChars[index] = '\0'; // terminate the string
21                 currentlyReceiving = false;
22                 index = 0;
23                 newData = true;
24             }
25         }
26         else if (receivedChar == startMarker) {
27             currentlyReceiving = true;
28         }
29     }
30 }

```

Listing 8.1: Inläsning av sträng med start- och stopp-markör

Koden i Listing 8.1 beskriver förloppet där en char (ASCII-tolkning av byte)[21] läses från UART till variabeln “receivedChar”. Om receivedChar innehåller en startmarkör, tänds flaggan “currentlyReceiving” och då kommer en buffer (receivedChars) fyllas på med nya chars, tills det att receivedChar läser in en stoppmarkör. *receivedChars* är en global variabel av typen char array som har en fördefinierad storlek på 32 element. Storleken på arrayen bestämdes för att med god marginal kunna innehålla ett komplett meddelande från överordnat system.

I programmets huvudloop finns en if-sats som kontrollerar ifall flaggan `newData` har blivit satt till true. Om så är fallet körs funktionen `parseData`, som omvandlar arrayen `receivedChars` till användbar information för styrsystemet.

När inkommen data skall hanteras så körs koden i Listing 8.2. Arrayen `receivedChars` har i detta fall fyllts på med ett kommando och eventuellt ett kommaseparerat heltal. Hela arrayen har sedan kopierats över till en ny, lika stor array kallad `tempChars`. Det första som sker i funktionen är att meddelandets innehåll delas upp via funktionen `strtok`, som sparar undan allt före kommatecknet i pekaren `strtokIndex`. Den första delen (strängen) kopieras in i en global variabel `messageFromPC`. Den data som finns efter kommatecknet (heltalet) är fortfarande tolkad som datatypen `char` och måste därför kastas om till typen `Integer`. I C/C++ finns färdiga funktioner för att omvandla olika datatyper, bland annat funktionen `atoi` som tar in en sträng och returnerar en `Int`. Det returnerade heltalet sparas till slut i variabeln `intFromPC`.

```
1 void parseData() {
2     // split the data into its parts
3     char * strtokIndex; // this is used by strtok() as an index
4
5     strtokIndex = strtok(tempChars, ","); // get the first part -
6         string
7     strcpy(messageFromPC, strtokIndex);
8
9     strtokIndex = strtok(NULL, ","); // this continues where the previous
10    call left off
11    intFromPC = atoi(strtokIndex); // convert this part to an integer
12 }
```

Listing 8.2: Hantering av inkommen data

Anledningen till att `receivedChars` kopieras över till `tempChars` och inte bearbetas direkt i `parseData` är för att om man skulle börja läsa från UART med interrupts, så kan variabeln ändras under tiden `parseData` försöker bearbeta meddelandet. Koden för gränssnittet mot företaget sparades som ett bibliotek och kunde således användas både i batteristation och drönare.

8.3 Styrssystem Drönare

Som tidigare nämnt behövdes ett styrsystem monterat i drönaren. Valet av MCU föll på Arduino Nano för dess kompakta formfaktor. Arduinon har möjlighet att styra två stycken servon för fastlåsningen men kan inte på egen hand leverera den ström som behövs för servots motor. En funktion som tillkom under utvecklingen var att kunna mäta spänningen på batteriet, så att drönaren skulle veta när det var dags för ett batteribyte. Då MCU'n bara kan mäta analoga spänningar mellan 0-5V och drönarens batteri kan ha upp till 25,2V behövdes ytterligare kringkomponenter.

8.3.1 Kretskort

För att kunna mäta spänning upp till 25,2V användes spänningsdelning. Genom att seriekoppla två motstånd mellan inkommande spänning och jord, kan en lägre spänning erhållas mellan de två motstånden. Den lägre spänningen följer också den inkommande spänningen linjärt, vilket ger ett noggrant mätresultat över hela spannet.

$$V_{ut} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in} \quad (8.1)$$

V_{in} är i detta fall 25.2V och V_{ut} får max vara 5.0V. Eftersom motstånd bara finns i ett antal fördefinierade värden är det enklaste sättet att bestämma ett värde på R_2 och sedan genom prövning av tillgängliga värden på R_1 bestämma resistansen för att hamna strax under 5.0V på V_{ut} .

Motståndens totala resistans bestämmer också hur mycket ström som dras från batteriet. Den ström som går genom motstånden omvandlas till värme och kan betraktas som ren energiförlust, något som bör hållas på ett minimum, framför allt i en drönare.

Det finns dock en parameter i MCU'n som begränsar hur stort motstånd R_2 kan ha utan att negativt påverka mätnoggranheten. Den inbyggda ADC-modulen (Analog to Digital Converter) har en intern ingångsresistans på 100M Ohm[22] så R_2 bör därför ha en lägre resistans, så att MCU'n skall hinna ladda ur den kapacitans som finns i ADC'n mellan samplingarna.

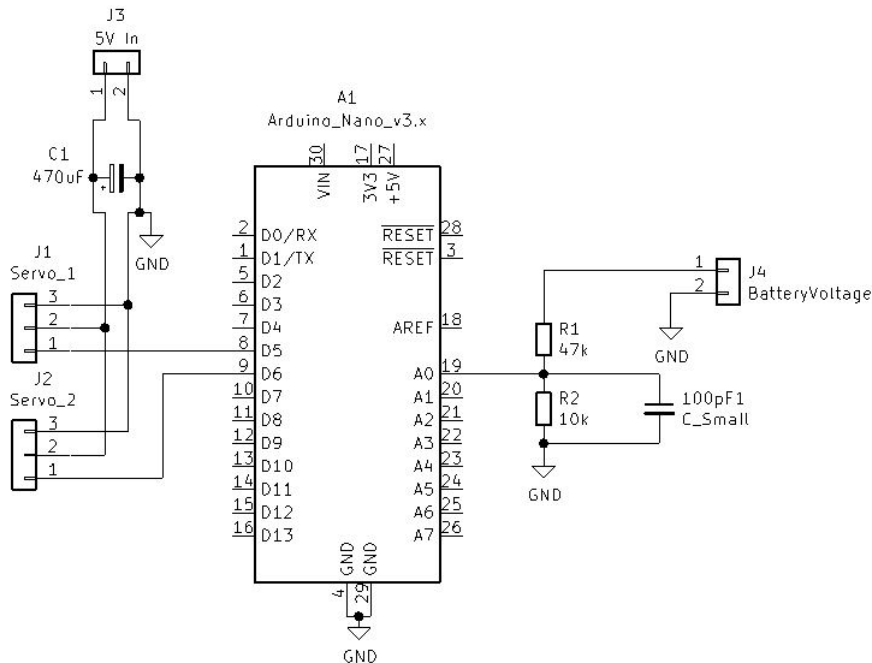
R_2 valdes till 10k Ohm så genom Ekvation 8.1 blev $R_1 = 40.4k$ Ohm. 40.4k Ohm var inte ett tillgängligt värde, så en större resistans fick väljas för att inte hamna över 5,0V på V_{ut} . Då motstånd inte heller är helt ideala utan har en viss felmarginal (ofta 1-5%) Med $V_{in} = 25,2V$, $R_1 = 10k$ och $R_2 = 47k$ blev spannet för V_{ut} alltså 0-4,421V.

Med Ohms lag kunde också strömförbrukningen beräknas.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{25.2V}{10k + 47k} = 0.44mA \quad (8.2)$$

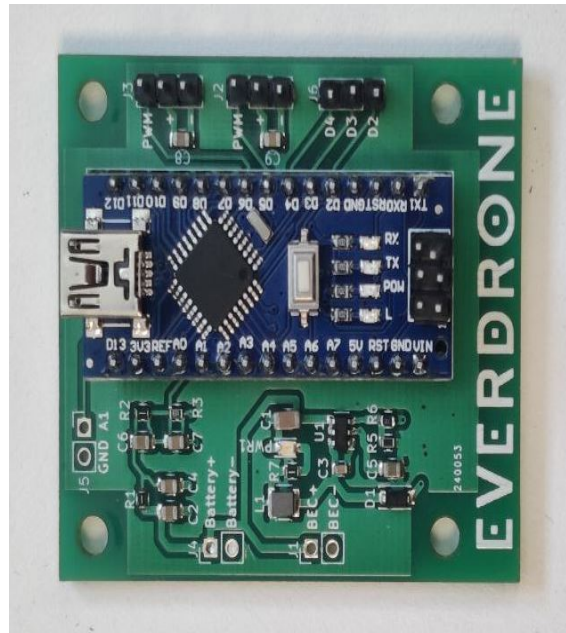
Den låga strömförbrukningen ansågs vara försumbar och mätvärdet var tillräckligt noggrant vid tester med handhållen multimeter som referens.

Ett enklare kretsschema ritades upp enligt Figur 8.3. Istället för att mata servon med +5V från MCU'n matades detta från drönaren via kontaktdon J3. Till höger i figuren syns kontaktdon J4 som kopplas direkt till drönarens batteripoler, som via spänningsdelning leder in till A0 (ADC).



Figur 8.3: Kretsschema

Kretsschemat lämnades över till Fredrik på Svensk Elektronikproduktion. Fredrik lade till ytterligare funktioner i samråd med företaget, bland annat strömindikering (lysdiod) och ytterligare kontaktdon för framtida funktioner. Kretskortet tillverkades och var redo att monteras in i drönaren, se Figur 8.4.



Figur 8.4: Kretskort till drönare

8.3.2 Kod

Styrsystemet i drönaren har bara tre funktioner: Låsa fast batteriet, låsa upp batteriet och förmedla batteriets spänning till drönaren. Listing 8.3 presenterar den kod som används för att initiera drönarens styrssystem.

```

1 void setup() {
2   servoL.attach(5);
3   servoR.attach(6);
4   pinMode(A0, INPUT); // Voltage sensor, analog input
5
6   Serial.begin(115200);
7
8   delay(3000); // Make sure the battery is all the way up
9   LockServo(); // Lock the battery in place
10 }

```

Listing 8.3: Initiering av styrssystem i drönare

Eftersom MCU'n startar samtidigt som batteriet åker upp i drönaren, kunde lås-kommandot köras redan i initieringssekvensen för processorn. En fördröjning på tre sekunder lades in, för att batteristationens hiss skulle hinna hela vägen upp innan servona började låsa fast batteriet. I initieringssekvensen deklarerar även de in-/utgångar som används enligt Listing 8.3.

Drönaren skickar periodvis förfrågningar om batteriets spänning genom kommandot <getVoltage>. I början av huvudloopen uppdateras variabeln "voltageRaw", som är av datatypen Integer. Funktionen analogRead() anropas och returnerar ett värde mellan 0 och 1024, vilket då representerar 0 till 5V på den ingång som angetts som

parameter till funktionen. Eftersom spänningsdelningen från batteriet som högst bör nå 4.421V blir alltså spannet 0 till 906. Detta heltal skickas som svar på förfrågan och räknas sedan om i drönaren för att ge en korrekt spänning.

8.4 Styrsystem Batteristation

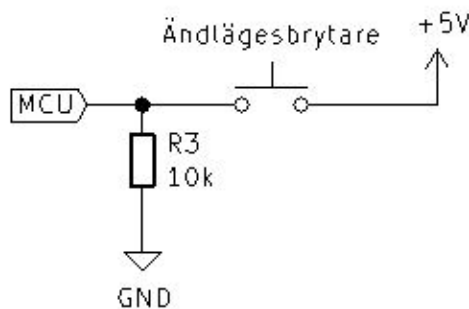
Styrsystemet i batteristationen har till uppgift att styra tre stycken stegmotorer, samt läsa ändlägesbrytare som sitter placerade i ställdonens färdriktning. För att kunna återanvända delar av koden från styrsystemet i drönaren, valdes en Arduino Uno som MCU till batteristationen. Uno är likvärdig en Nano, då dom har samma processor, men UNO är ett lite större kort och lite enklare inkopplingsmöjligheter vid prototyparbete.

8.4.1 Kopplingschema

Då stegmotorstyrningen också hade 5V som logiknivå, behövdes här ingen spänningsomvandling utan kunde kopplas direkt på MCU:ns utgångar. Varje stegmotorstyrning krävde två insignaler, en för att välja riktning och en för att stega motorn.

Ändlagesbrytarna kopplades så att dom slöt kretsen mellan +5V och MCU:ns ingångar. När kretsen sluts mellan 5V och en ingång dras denna ingång hög och funktionen `digitalRead` returnerar då `true`. När kretsen bryts hamnar dock ingången i ett flytande läge, då den varken är hög eller låg. Anrop av funktionen `digitalRead` kommer alltså returnera `true` eller `false` helt slumpmässigt.

För att garantera en korrekt avläst signal då brytaren ej är slutande, användes ett så kallat pull-down motstånd. Det innebär att ett motstånd med hög resistans kopplas mellan insignalen och jord, för att säkerställa en låg signal då brytaren är öppen, se Figur 8.5.



Figur 8.5: Ändlagesbrytare med pull-down motstånd.

8.4.2 Kod

När styrsystemet för batteristationen startar, deklarerar först in-/utgångar. Systemet har dock ingen referens till ställdonens position, så det första som sker är att alla ställdon behöver genomföra en initieringsprocess.

Initieringsprocessen innebär att stegmotorn körs i en fördefinierad riktning, tills det att ändlägesbrytaren associerad till ställdonet blir sluten. Till exempel initieras hissmotorn med funktionen i 8.4. EleBtnPin är ingången för hissens ändlägesgivare. Den fördefinierade riktningen(EleDirPin) sätts låg. I while-loopen kommer stegmotorn sedan köras ända tills det att knappen blivit intryckt och digitalRead(EleBtnPin) returnerar true. När ändlägesgivaren blivit sluten har systemet en referensposition för ställdonet, och tilldelar variabeln ElePos värdet 0. Listing 8.4 presenterar den kod som används för att initiera stegmotorn i hissansordningen.

```

1 int initializeElevator(void) { // Make sure elevator is in bottom or
  move it down
2   if (digitalRead(EleBtnPin) == LOW) { // If elevator isn't in bottom
3     digitalWrite(EleDirPin, DOWNdir);
4     for (int i = 0; i < 100; i++) { // Loop to avoid false readings
5       while (digitalRead(EleBtnPin) == LOW) {
6         stepper(EleStepPin, EleinitDelay);
7       }
8       delay(5);
9     }
10  }
11  ElePos = 0;
12  return 1;
13 }

```

Listing 8.4: Initiering av stegmotor

När styrsystemet väl är initierat sker inget innan stationens server skickar en förfrågan via UART. När en förfrågan kommer, börjar styrsystemet flytta respektive ställdon till önskad position. Varje förflyttning(steg) ökar eller minskar ställdonets positionsvariabel beroende på riktning. Det innebär att styrsystemet alltid vet exakt vart ställdonet befinner sig, utan ytterligare sensorer.

För att generiskt kunna styra N antal stegmotorer infördes funktionen stepper. Funktionen tar 2 stycken parametrar som input, en utgång och en hastighet. Funktionen skickar en hög puls på utgången, väntar 200 mikrosekunder, sätter utgången låg och väntar sedan så många mikrosekunder som man definierat hastigheten till.

Hissens stegmotor krävde dock en viss modifikation, då stegmotorn försökte accelerera ställdonet fortare än vad stegmotorn kunde leverera kraft. Detta ledde till att stegmotorn hoppade över steg men positionsvariabeln ändrades felaktigt. För att motverka detta men ändå kunna köra hissen med hög hastighet ändrades hastigheten in till funktionen stepper över tid för mjukare acceleration/retardation.

8.5 Flödesschema vid batteribyte

Efter att batteristationen initierats och drönaren startats kan de autonoma testcyklerna inledas. Drönaren börjar flyga sitt testuppdrag och skickar kontinuerligt förfrågningen `<getVoltage>` till MCU:n i drönaren som svarar med variabeln `rawVoltage`. Skulle spänningen underskrida drönarens gränsvärde inleds flödet då drönaren vill få sitt batteri laddat(utbytt i framtiden).

Drönaren skickar ett HTTP-anrop till batteristationens server och begär att få landa. Därefter går förfrågningarna `<elevator,1>` `<positioning,0>` från servern till MCU:n i batteristationen. Hissen förflyttar sig till mittpositionen och positioneringsskivorna öppnar upp sig. När batteristationen är redo för landning svarar servern OK på drönarens HTTP-anrop.

Drönaren landar på plattan och skickar ytterligare ett HTTP-anrop till servern att förbereda för batteribyte. Servern skickar ut nya anrop till batteristationens MCU och begär att hissen flyttas till övre läget (`<elevator,2>`) samt att positioneringen går till låst läge(`<positioning,1>`).

När batteristationen är redo för batteribyte svarar servern på anropet från drönaren, som i sin tur skickar en förfrågan till MCU:n att låsa upp batteriet. Drönaren skickar ett HTTP-anrop till servern att byta batteri. Servern skickar en förfrågan till hissen att gå till bottenläget (`<elevator,0>`).

När batteriet befinner sig i laddfacket, börjar servern kommunicera med laddaren som laddar upp batteriet. När batteriet är fulladdat skickas hissen upp till toppläget, varpå drönaren får ström och MCU:n i drönaren startar. Vid initieringen läser drönaren fast batteriet och skickar ett nytt HTTP-anrop till servern om att få lyfta.

Servern skickar ut förfrågningar till MCU:n att låsa upp positioneringen och flytta hissen till mittenläget. När hissen och positioneringen är på plats, svarar servern OK till drönaren som sedan lyfter och börjar om testcykeln på nytt.

9

Diskussion och slutsats

I detta kapitel diskuteras resultatet och uppdraget i sig. Slutligen presenteras en slutsats som reflekterar uppdragets syfte och frågeställning.

9.1 Diskussion

Kommande delkapitel tar upp de mest relevanta aspekter som finns att diskutera från detta projekt.

9.1.1 Cellövervakning

Den brandsäkring som utvecklats för batteriet skyddar endast närliggande batterier från att lågorna från ett redan brinnande batteri inte sprids. Batteriet i batteriboxen kan fortfarande fatta eld om det blir överhettat. Eftersom kravet endast beskriver att elden från ett brinnande batteri inte ska spridas anser man att man lyckats med denna uppgift. Hade det funnits mer tid under arbetet hade man däremot velat minimera risken för att batteriet fattar eld från första början. Risken för att ett batteri överhettas och fattar eld är som störst under laddning [15]. För att minimera risken för överladdning eller överhettning under laddning kan man övervaka batteriets celler med hjälp av så kallad cellövervakning. Med cellövervakning kan man samla in information från batteriet och dess celler gällande strömnivå och individuella cellspänningar [23]. Man kan sedan ange gränsvärden som man vill att de uppmätta värdena ska förhålla sig till för att batteriet ska må som bäst. Skulle den insamlade informationen över- eller understiga dessa gränsvärden slår det larm. Larmet kan i sin tur stänga av strömförsörjningen till batteriets laddare, vilket minimerar risken för att batteriet överhettas och därmed minskar risken för självantändning.

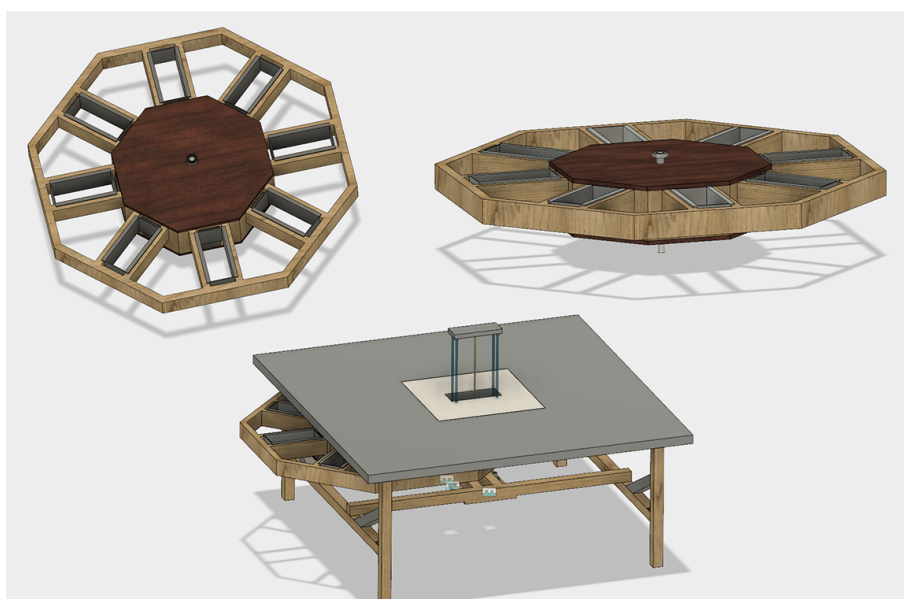
9.1.2 Laddmagasin

Den ursprungliga tanken med uppdraget var att batteribytarstationen skulle innehålla ett flertal batterier så att det alltid fanns ett nyladdat batteri tillgängligt. Därav kunde man uppfylla syftet med att drönaren skulle kunna bedriva kontinuerliga testflygningar. Man hade en idé om att batterierna skulle förvaras och laddas i någon typ av laddmagasin. På grund av arbetets tidsbegränsning i kombination med dess omfattande innehåll hann man dessvärre inte utveckla ett magasin. Då man insåg detta en bit in under arbetets gång var man tvungen att tänka om gällande den slutprodukt som skulle presenteras för uppdragsgivaren. Efter diskussion kom man fram

till att man fortfarande skulle utveckla alla funktioner på ett sådant sätt att man enkelt kan addera ett magasin i framtiden. Både batteriboxen och laddningsfacket är konstruerade på ett sådant sätt att de kan tillverkas i flera likadana exemplar vid en expansion. Eftersom båda dessa enheter är tillverkade med hjälp av en 3D-skrivare finns CAD-modellerna för alla innehållande komponenter nedspårade, vilket ytterligare föreklar kopieringsprocessen. Även hissordningens konstruktion är anpassad för att addera ett magasin. Anledningen till varför man valde att konstruera komponenterna på detta sätt var för att det huvudsakliga syftet med uppdraget var att drönaren skulle kunna utföra kontinuerliga testflygningar. Ur det perspektivet misslyckades man tyvärr med uppdraget på grund av att tiden inte räckte till.

För att kompensera för det icke-färdigutvecklade laddmagasinet bidrog man med en tillfällig lösning, parallellt med uppdraget. Eftersom det var viktigt att företaget hann utföra sitt mål på 10 000 testflygningar tog man fram en lösning där drönaren kunde flyga med sladd. Tillsammans med uppdragsgivaren lyckades man få drönaren att kompensera för den gravitationskraft som sladden utsatte drönaren för. Det är även viktigt att nämna att endast en viss typ av testflygningar var möjliga att utföra med sladd. En del av testflygningarna bestod av att drönaren endast behövde röra sig inom ett litet område, vilket gjorde att sladden räckte till. Flygning med sladd innebär däremot en stor risk eftersom om drönaren försökte röra sig längre än sladdens räckvidd skulle det med stor sannolikhet resultera i en kraschlandning. Man kan därför se detta som en tillfällig nödlösning för att hjälpa företaget uppnå uppdragets ursprungliga mål. På grund av riskerna och begränsningarna som flygning med sladd innebär är batteribytarstationen fortfarande högt relevant för Everdrone.

Eftersom Everdrone var intresserade av att addera ett magasin för att fullborda batteribytarstationen efter projektets slut presenterade man de koncept man tagit fram för laddmagasinet.



Figur 9.1: Koncept för laddmagasin: Revolvermagasin

Då man insåg att magasinet inte skulle hinna genomföras hade man redan utvecklat ett koncept för en potentiell lösning. Konceptet som presenteras i Figur 9.1 bygger på ett idén av ett revolvermagasin. Hjulet som syns i figuren har åtta stycken fack anpassade efter det utvecklade laddningsfacket från Kapitel 6. Kring hjulets centrum placeras fyra stycken Revolectrix Dual Powerlab 8x2-laddare som då kan ladda samtliga åtta batterier som magasinet har utrymme för. Centrumlådan som man kan se i Figur 9.1 har dessutom inbyggd ventilation eftersom laddarna ökar i temperatur under laddning. Ventilationen ser då till att laddarna inte överövershettas. I magasinets centrum går sedan en axel som magasinet roterar kring. Axeln spänns fast mellan golv och drönarens landningsyta. Magasinet kan därmed rotera så att laddningsfacken kan positioneras ovanför hissordningen. Hissordningen kan sedan plocka upp batteriet från laddningsfacket genom vertikal förskjutning. Ovanstående koncept kändes till en början som en välutvecklad lösning. Man insåg dessvärre efter en tid att konceptet är svårt att verkställa i praktiken. Konceptets första brist är att hjulet kommer bli väldigt tungt och svårroterat, givet dess storlek. Det skulle därmed krävas en mycket kraftig motor för att driva konstruktionen. Magasinets storlek och vikt försämrar även stationens portabilitet, vilket var ett av uppdragets övergripande krav. En roterande enhet försvårar även kabeldragningen som försörjer samtliga laddare och motor med ström. Konceptet blir dessutom tidskrävande att genomföra på grund av dessa komplikationer.

På grund av konceptets brister fick man kassera idén, vilket var en bidragande anledning till varför man inte hann klart med att utveckla ett laddmagasin.

9.1.3 Uppdragets bidrag till samhället

Everdrones mål är att utveckla helt autonoma och intelligenta drönare som snabbt kan leverera hjärtstartare och medicin till svårtåtkomliga platser. Då företagets huvudsakliga syfte är att förbättra samhället och potentiellt rädda liv blir det här uppdraget indirekt en del av den samhällsförbättring företaget strävar mot. Genom att förse Everdrone med en lösning som effektiviserar deras utvecklingsarbete är man en bidragande faktor till att tidsspannet från idé till verklighet förkortas. Ju snabbare och effektivare Everdrone kan utföra sina tester desto snabbare kan en hjärtstartare levereras till en person med hjärtstopp.

Då drönarna drivs på batteri kommer förhoppningsvis elen som laddar batterierna från förnybar energi. Genom att drönarna då drivs på batterienergi blir deras drift hållbar. Att addera cellövervakning i framtiden hade dessutom kunna förbättra projektets hållbarhet. Med hjälp av cellövervakning kan man se till att batteriernas cellnivåer håller sig inom det intervall som batteriet mår som bäst. Förbrukade Litiumbatterier är svåra och återvinna och därmed skadliga för miljön. Om man inte överladdar eller tömmer batteriet kommer batteriet att hålla längre. Genom att förlänga batteriets livslängd kan det brukas under en längre tid, vilket sparar både pengar för företaget samt gynnar miljön.

9.2 Slutsats

Med tanke på uppdragets omfattning är man nöjd med det resultatet som presenterades till Everdrone. Uppdraget misslyckades dock i den mån att den slutgiltiga produkten som presenterades inte uppfyller det specificerade syftet till fullo. Hela principen med den autonoma batteribytersekvensen fallerar genom att resultatet endast kan ladda ett batteri åt gången. Med detta sagt har befintliga funktioner konstruerats på ett sådan sätt att ett laddmagasin enkelt kan adderas, vilket skulle göra batteribyterstationen komplett utifrån uppdragets syfte. Anledningen till varför syftet inte kunde fullföljas var på grund av projektets tidsbegränsning. Med tanke på den prestation som gjorts anses det inte vara planeringen som ligger till grund för misslyckandet utan uppdragets omfattning i relation till det relativt korta tidsintervallet. Ett längre tidsintervall eller ett mindre omfattande uppdrag hade med största sannolikhet resulterat i en komplett batteribyterstation. Trots misslyckandet med avseende på uppdragets syfte och frågeställning anses den levererade produkten vara en fullt godkänd prestation.

Litteraturförteckning

- [1] Liang O.: What is C rating of lipo battery FPV drones [Internet]. Oscar Liang; 2015 [citerad 15 maj 2021] Tillgänglig från:
<https://oscarliang.com/lipo-battery-c-rating/>
- [2] Liang O.: How does the number of stator phases affect stepper motor performance [Internet]. Danielle Collins; 2018 [citerad 6 juni 2021] Tillgänglig från:
<https://www.linearmotiontips.com/how-does-the-number-of-stator-phases-affect-stepper-motor-performance/>
- [3] Leadshine Motion Technology: DM542 Fully Digital Stepper Drive Manual V1.0 [Internet]. Leadshine Motion Technology; 2012 [citerad 15 maj 2021]. Tillgänglig från:
<https://kitaez-cnc.com/f/dm542.pdf>
- [4] RaspberryPI models comparison [Internet]. Social Compare; 2021 [citerad 6 juni 2021]. Tillgänglig från:
<https://socialcompare.com/en/comparison/raspberrypi-models-comparison>
- [5] Friction and Friction Coefficients [Internet]. The Engineering ToolBox; 2004 [citerad 20 maj 2021]. Tillgänglig från:
https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html
- [6] Melkersson, K & Mägi, M: Lärobok i Maskinelement, Göteborg 2017.
- [7] Gastreich, W.: Stepper Motors Advantages And Disadvantages [Internet] Rotterdam: RealPars; 2018 [citerad 22 maj 2021]. Tillgänglig från:
<https://realpars.com/stepper-motors-advantages/>
- [8] Olsson, K-O.: Maskinelement, Stockholm 2015.
- [9] Melkersson, K.: Övningsexempel med lösningsförslag i Maskinelement, Göteborg 2017.

- [10] Engineers Edge: External ISO Metric Trapezoidal Screw Threads Table Chart Sizes TR8 - TR315 [Internet]. Engineers Edge, LCC; 2021 [citerad 11 maj 2021]. Tillgänglig från:
<https://www.engineersedge.com/hardware/iso-metric-trapezoidal-threads1.htm>
- [11] FL42STH 2-fas 42mm (Nema 17) Hybridstegmotor [Internet]. Tranås: OEM motor; 2021 [citerad 11 maj 2021]. Tillgänglig från:
https://www.oemmotor.se/produkter/motorer/stegmotor/fl42sth-_119541
- [12] Stegmotor Nema 23 3.0A [Internet]. Malmköping: Rawcnc Sweden AB; 2021 [citerad 11 maj 2021]. Tillgänglig från:
https://cncmaskiner.org/produkt/stegmotor-nema-23-3-0a/?fbclid=IwAR2D2GGQ2COFDHXQniXr7WrhvR1Nc53_jZQKLZ7Q3A6qfy6EcZrAZFMp5E
- [13] Mini Micro servo 9g TS90A 90 grader, passar RC och mycket mer. [Internet]. Malmö: CDON AB; 2021 [citerad 26 maj 2021]. Tillgänglig från:
https://cdon.se/bygg-verktyg/mini-micro-servo-9g-ts90a-90-grader-passar-rc-och-muycket-mer-p53673210?gclid=Cj0KCQjw78yFBhCZARIsA0xgSx0wSbd1EiRlpgAL9Do8eupIIQ-tShV9vwx18x5MbrTk1RI82pKQmngaAhgpEALw_wcB&gclsrc=aw.ds
- [14] FL20STH 2-fas 20mm (Nema 8) Hybridstegmotor [Internet]. Tranås: OEM motor; 2021 [citerad 26 maj 2021]. Tillgänglig från:
https://www.oemmotor.se/produkter/motorer/stegmotor/fl20sth-_119502
- [15] Elsäkerhetsverket: Säkerhetsrisker med batterilager [Internet]. Kristinehamn: Elsäkerhetsverket; 2019 [citerad 24 maj 2021]. Tillgänglig från:
<https://www.elsakerhetsverket.se/privatpersoner/din-elanlaggning/bygga-och-renovera/installation-av-batterilager/sakerhetsrisker-med-batterilager/>
- [16] Dafo: Brand I Lithiumbatterier [Internet]. Tyresö: Dafo Brand AB; 2021 [citerad 26 maj 2021]. Tillgänglig från:
<https://www.dafo.se/globalassets/dokumentarkiv/informations--och-faktablad/faktablad-litiumbatteribrand.pdf>
- [17] Golubkov, A. W. et al: Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes [Internet]. Graz: The Royal Society of Chemistry; 2014 [citerad 26 maj 2021]. Tillgänglig från:
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2014/ra/c3ra45748f>

- [18] Svetsduk 1300 Grader På Rulle [Internet]. Arlöw: Briklas; 2021 [citerad 26 maj 2021]. Tillgänglig från:
<https://www.briklas.se/product/svetsduk-1300-grader-pa-rulle>
- [19] Cellpro Dual PowerLab 8x2 Charger [Internet]. Enköping: Rynos; 2021 [citerad 30 maj 2021]. Tillgänglig från:
<https://www.rynos.se/sv/artiklar/revocell-powerlab-8x2-ny-2014.html>
- [20] Lyftpelare teleskopisk LC 150 eldrift S600 [Internet]. Brämhult: Bloms AB; 2021 [citerad 29 maj 2021]. Tillgänglig från:
<https://bloms.com/produkt/lyftpelare-teleskopisk-lc-150-eldrift-s600/>
- [21] Arduino: Char [Internet]. Arduino; 2021 [citerad 30 maj 2021]. Tillgänglig från:
<https://www.arduino.cc/reference/en/language/variables/data-types/char/>
- [22] Atmel Corporation: ATmega328P Datasheet [Internet]. Atmel Corporation; 2015 [citerad 30 maj 2021]. Tillgänglig från:
https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
- [23] Batteriövervakning [Internet]. Batscan; 2021 [citerad 31 maj 2021]. Tillgänglig från:
<http://www.batscan.se/sv/monitoring.asp>

A

Bilaga

```
#include <Servo.h>
#include "Serial.h"

Servo servoL;
Servo servoR;

int lockPosL = 25; // How much should left servo lock
int lockPosR = 25; // How much should right servo lock
int unlockPosL = 125; // How much should left servo unlock
int unlockPosR = 125; // How much should right servo unlock

#define ID "OnboardMCU"
#define VERSION "v4"

void setup() {
  servoL.attach(5);
  servoR.attach(6);
  pinMode(A0, INPUT); // Voltage sensor, analog input

  Serial.begin(115200);

  delay(3000); // Make sure the battery is all the way up
  LockServo();// Lock the battery in place
}

void loop() {
  int voltageRaw = analogRead(A0); // Read battery voltage

  receiveWithStartStop(); // receive data on serial port, if available

  if (newData) {
    strcpy(tempChars, receivedChars);
    parseData();
    newData = false;

    if (strcmp(messageFromPC, "getvoltage") == 0) {
      Serial.println(voltageRaw);
    }
    else if (strcmp(messageFromPC, "version") == 0) {
      Serial.println(VERSION);
    }
    else if (strcmp(messageFromPC, "id") == 0) {
      Serial.println(ID);
    }
    else if (strcmp(messageFromPC, "lock") == 0) {
      LockServo();
      Serial.println("locked");
    }
    else if (strcmp(messageFromPC, "unlock") == 0) {
      UnlockServo();
      Serial.println("unlocked");
    }
  }
}

void LockServo() {
  servoL.write(lockPosL);
  servoR.write(lockPosR);
}

void UnlockServo() {
  servoL.write(unlockPosL);
  servoR.write(unlockPosR);
}
```

Figur A.1: Programkod för drönare

```
#include "Settings.h"
#include "Serial.h"

//#define debug //uncomment for debugging

#define id "station"
#define Version "v1"

int InitComplete = 0;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  setIO(); // Declare Input/Output pins on microcontroller

  delay(5000);
  Serial.println("Initializing station");
  initializeStation(); //Move station components to initial state
}

void loop() {
  if ( InitComplete == 1) {
    receiveWithStartStop(); // Recieves a message from RPI, for example <elevator,2>

    if (newData == true) {
      strcpy(tempChars, receivedChars);
      parseData();
      newData = false;

      if (strcmp(messageFromPC, "positioning") == 0) {
        Positioning(intFromPC);
      }
      else if (strcmp(messageFromPC, "elevator") == 0) {
        Elevator(intFromPC);
      }
      else if (strcmp(messageFromPC, "version") == 0) {
        Serial.println(Version);
      }
      else if (strcmp(messageFromPC, "id") == 0) {
        Serial.println(id);
      }
      else if (strcmp(messageFromPC, "is locked") == 0) {
        Serial.println(Locked);
      }
      else {
        Serial.println("Unknown command");
      }
    }
  }
}

void initializeStation(void) {
  if (initializeElevator()) {
    InitComplete = initializePositioning();
    if ( InitComplete == 1) {
      Serial.println("Initialization complete");
    }
  }
}
```

Figur A.2: Programkod för batteribytarstation

```
int initializeElevator(void) { // Make sure elevator is in bottom or move it down
  if (digitalRead(ElBtnPin) == LOW) { // If elevator isn't in bottom
    digitalWrite(ElDirPin, DOWNdir);
    for (int i = 0; i < 100; i++) { // Loop to avoid false readings
      while (digitalRead(ElBtnPin) == LOW) {
        stepper(ElStepPin, EleinitDelay);
      }
      delay(5);
    }
  }
  ElePos = 0;
#ifdef debug
  Serial.println("returning 1 from Elevator init");
#endif
  return 1;
}

void Elevator(int level) {
  int EleDir = 0;
  if (ElePos != LevelPos[level]) { // Check if on wrong level
    if (ElePos < LevelPos[level]) { // Determine direction to travel
      digitalWrite(ElDirPin, UPdir);
      EleDir = 1;
    }
    else {
      digitalWrite(ElDirPin, DOWNdir);
      EleDir = -1;
    }
  }

#ifdef debug
  Serial.print("Elevator in pos:");
  Serial.println(ElePos);
  Serial.println("Elevator accelerating");
#endif
  // Accelerate
  for (int i = (EleDelay + AccRate); i >= EleDelay; i = i - 10) {
    stepper(ElStepPin, i);
    ElePos = ElePos + EleDir;
  }

#ifdef debug
  Serial.print("Elevator in pos:");
  Serial.println(ElePos);
  Serial.println("Elevator moving in full speed");
#endif
  // Move
  while (abs(ElePos - LevelPos[level]) != AccRate / 10) {
    stepper(ElStepPin, EleDelay);
    ElePos = ElePos + EleDir;
    if (level == 0 && digitalRead(ElBtnPin) == HIGH) {
      ElePos = 0;
      break;
    }
  }

#ifdef debug
  Serial.print("Elevator in pos:");
  Serial.println(ElePos);
  Serial.println("Elevator decelerating");
#endif
  // Decelerate
  for (int i = EleDelay; i < (EleDelay + AccRate); i = i + 10) {
    stepper(ElStepPin, i);
    ElePos = ElePos + EleDir;
    if (level == 0 && digitalRead(ElBtnPin) == HIGH) {
      ElePos = 0;
      break;
    }
  }
  if (level == 0) {
    initializeElevator();
  }
#ifdef debug
  Serial.print("Elevator in pos:");
  Serial.println(ElePos);
#endif
}
Serial.print("Elevator in level:");
Serial.println(level);
}
```

Figur A.3: Programkod för hissordning

```

int initializePositioning(void) {
  while (digitalRead(LPosBtnPin) == LOW || digitalRead(RPosBtnPin) == LOW) { // Så länge inte bägge
    digitalWrite(LPosDirPin, LOCKdir);
    digitalWrite(RPosDirPin, LOCKdir);

    if (digitalRead(LPosBtnPin) == LOW && digitalRead(RPosBtnPin) == LOW) { // Om bägge skall gå
      stepper(LPosStepPin, PosDualDelay);
      stepper(RPosStepPin, PosDualDelay);
    }
    else if (digitalRead(LPosBtnPin) == LOW && digitalRead(RPosBtnPin) == HIGH) { // Om höger trycke
      stepper(LPosStepPin, PosDelay);
    }
    else {
      stepper(RPosStepPin, PosDelay);
    }
  }
  LPos = 0;
  RPos = 0;
  digitalWrite(LPosDirPin, UNLOCKdir);
  digitalWrite(RPosDirPin, UNLOCKdir);
  while (LPos != LLock || RPos != RLock) {
    if (LPos != LLock && RPos != RLock) {
      stepper(LPosStepPin, PosDualDelay);
      stepper(RPosStepPin, PosDualDelay);
      LPos++;
      RPos++;
    }
    else if (LPos != LLock) {
      stepper(LPosStepPin, PosDelay);
      LPos++;
    }
    else {
      stepper(RPosStepPin, PosDelay);
      RPos++;
    }
  }

  LockPos = 0;
  Locked = 1;

  return 1;
}

void Positioning(int lock) { // 0=unlock, 1=lock
  if (Locked != lock) {
    if (lock == 0) { //Unlock
      digitalWrite(LPosDirPin, UNLOCKdir);
      digitalWrite(RPosDirPin, UNLOCKdir);
      while (LockPos != UnlockLength) {
        stepper(LPosStepPin, PosDualDelay);
        stepper(RPosStepPin, PosDualDelay);
        LockPos++;
      }
      Locked = 0;
      Serial.println("Unlocked");
    }
    else { // Lock
      digitalWrite(LPosDirPin, LOCKdir);
      digitalWrite(RPosDirPin, LOCKdir);
      while (LockPos != 0) {
        stepper(LPosStepPin, PosDualDelay);
        stepper(RPosStepPin, PosDualDelay);
        LockPos--;
      }
      Locked = 1;
      Serial.println("Locked");
    }
  }
}

```

Figur A.4: Programkod för positionering

```
void setIO(void){
  #define numInputs 3
  #define numOutputs 6
  const int Inputs[] = {EleBtnPin,LPosBtnPin,RPosBtnPin};
  const int Outputs[] = {EleDirPin,EleStepPin,LPosDirPin,LPosStepPin,RPosDirPin,RPosStepPin};

  for (int i=0; i<numInputs; i++){
    pinMode(Inputs[i],INPUT);
    #ifdef debug
    Serial.print("Input pin: ");
    Serial.println(Inputs[i]);
    #endif
  }
  for(int i=0; i<numOutputs; i++){
    pinMode(Outputs[i],OUTPUT);
    #ifdef debug
    Serial.print("Output pin: ");
    Serial.println(Outputs[i]);
    #endif
  }
}
```

Figur A.5: Programkod - IO Config

```
//=====Serial related settings =====
const byte numChars = 32;
char receivedChars[numChars];
char tempChars[numChars];

// variables to hold the parsed data
char messageFromPC[numChars] = {0};
int intFromPC = 0;

boolean newData = false;

//=====
//  R E C I E V E
//=====
void receiveWithStartStop() {
  static boolean currentlyReceiving = false;
  static byte index = 0;
  char startMarker = '<';
  char stopMarker = '>';
  char receivedChar;

  while (Serial.available() > 0 && newData == false) {
    receivedChar = Serial.read();

    if (currentlyReceiving == true) {
      if (receivedChar != stopMarker) {
        receivedChars[index] = receivedChar;
        index++;
        if (index >= numChars) {
          index = numChars - 1;
        }
      }
      else {
        receivedChars[index] = '\0'; // terminate the string
        currentlyReceiving = false;
        index = 0;
        newData = true;
      }
    }
    else if (receivedChar == startMarker) {
      currentlyReceiving = true;
    }
  }
}

//=====
//  P A R S E
//=====
void parseData() {
  // Separate the string from Int
  char * strtokIndex; // this is used by strtok() as an index

  strtokIndex = strtok(tempChars, ","); // get the first part - string
  strcpy(messageFromPC, strtokIndex);

  strtokIndex = strtok(NULL, ","); // this continues where the previous call left off
  intFromPC = atoi(strtokIndex); // convert this part to an integer
}
```

Figur A.6: Programkod för header Serial.h

```
//=====
//PIN CONFIGURATION
//=====
// Digital pins
const int EleDirPin = 2;
const int EleStepPin = 3;
const int EleBtnPin = 4;

const int LPosDirPin = 5;
const int LPosStepPin = 6;
const int LPosBtnPin = 7;

const int RPosDirPin = 8;
const int RPosStepPin = 9;
const int RPosBtnPin = 10;

//=====
//COMMON SETTINGS
//=====
const int AccRate = 1800; // Higher = longer acceleration ,1800

//=====
//ELEVATOR CONFIGURATION
//=====
long ElePos = 0; // Keep track of elevator position

const int EleDelay = 320; // Elevator speed, lower = faster
const int EleinitDelay = 900; // Slow speed for first launch of failsafe

const long LevelPos[] = {0,17600,39500}; // Position for each level

const bool UPdir = LOW;
const bool DOWNdir = HIGH;

//=====
//POSITIONING CONFIGURATION
//=====
long LockPos = 0;
long LPos = 0;
long RPos = 0;
bool Locked = 0;

const int PosDelay = 350;
const int PosDualDelay = 175;
const int LLock = 1500; // Hitta bra låsvärden, dessa bör vara drönarspecifika?
const int RLock = 2300;
const int UnlockLength = 19000;

const bool LOCKdir = LOW;
const bool UNLOCKdir = HIGH;
```

Figur A.7: Programkod för header Settings.h

```
// COMMON FUNCTIONS FOR STEPPER MOTORS

void stepper (int stepPin, int stepSpeed) {
  int tempSpeed = 200;

  if ( stepPin == EleStepPin) {
    tempSpeed = EleDelay;
  }

  digitalWrite(stepPin, HIGH);
  delayMicroseconds(tempSpeed);
  digitalWrite(stepPin, LOW);
  delayMicroseconds(stepSpeed);
}
```

Figur A.8: Programkod för header stepper_control.h

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige
www.chalmers.se



CHALMERS