

DJI M210

AUTOMATISK UDSKIFTNING AF PAYLOAD



*Rasmus Thiem Lested Pedersen, Maskinkonstruktion
Aalborg Universitet Esbjerg
2018
7. semester*

Titelblad

Projekt tema:	Konceptudvikling af værktøj til DJI M210 dronen
Projekt titel:	Automatisk udskiftning af payload
Semester:	M7d
Studieretning:	Maskinkonstruktion
Universitet:	Aalborg Universitet Esbjerg
Vejleder:	Anders S. Kristensen
Antal sider:	101
Initierende problem:	Hvordan designes et automatisk anlæg til DJI M210 for skiftning af payload, så løsningen er på et modent konceptniveau?

Synopsis:

Rapporten tilhører et projekt, hvor der er stor fokus på design og konceptniveauet omhandlende en maskine til automatisk at udskifte en payload på M210 dronen fra DJI. Forslaget til projektet er fremvist af Anders Schmidt Kristensen og afviger sig fra standard projekter. Projektet begiver sig ud i nye farvande i form af det unge marked for droner, hvor det adskiller sig ved at være en løsning for autonomt payload skift.

Underskrift

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Rasmus Thiim Lested Pedersen". The signature is fluid and cursive, with the first name on top and the last name at the bottom.

Rasmus Thiim Lested Pedersen

Forord

Rapporten er udarbejdet af Rasmus Thium Lested Pedersen på Aalborg Universitet Esbjerg. Indholdet af rapporten er baseret på viden opnået gennem fagbøger, internetkilder samt færdigheder fra kurser, der indgår fra 1. til og med 6. semester.

Hensigten med rapporten er at dokumentere arbejdet og processen for valg af løsningen til den aktuelle problemstilling.

Rapporten er bygget op med kilder anvist af et [klammet tal], disse henviser til bagerst i rapporten, hvor litteraturlisten findes, denne har strukturen: Forfatter, Titel, Udgiver, Dato samt ISBN nummer til de kilder, hvor det er relevant.

Figurnummer står under billedet med en tilhørende forklaring. Tabelnummer står over tabellen, hvor en beskrivelse efterfølger. Ligninger står med et ligningsnummer i højre side. Sidetal står i bunden af siden.

Er andet ikke beskrevet, vil alle mål på figurer være i millimeter.

Autodesk Inventor Professional 2019 er benyttet som CAE-program. Alle håndberegninger er udført i Mathcad 15.0. Rapporten er skrevet i \LaTeX med TeXstudio.

Indhold

1 Indledning	1
2 Initierende Problem	3
3 Problembeskrivelse	5
4 Analyse af krav	7
4.1 Lovgivning & sikkerhed	7
4.2 Miljø	7
4.3 Dronen	8
4.4 Payloads	11
4.5 FEM	12
4.6 Effektsystem	12
4.7 Påvirkninger	13
4.8 Design	13
5 Problemformulering	15
6 Kravspecifikation	17
6.1 Primære Krav	17
6.2 Sekundære Krav	18
7 Funktionsanalyse	19
7.1 Hovedfunktion: skift af payload	20
8 Løsningsgenerering	23
8.1 Løsningsforslag 1 (L1)	24
8.2 Løsningsforslag 2 (L2)	25
8.3 Løsningsforslag 3 (L3)	26
8.4 Løsningsvurdering	27
9 Løsningen	29
9.1 Karrusellen	31
9.2 Drejemekanismen	33
9.3 Gribemekanismen	35

9.4	Elevatorsøjlen	38
9.5	Liften	40
9.6	Karrusel- & liftbordet	43
9.7	Den endelige løsning	46
10	Beregninger	51
10.1	Slæder & styreskinner	52
10.2	Tandhjulsberegninger	56
10.3	Analyse af stress	59
10.4	Kontrol af motorstørrelse til rotation af karrusel	61
10.5	Kontrol af motorstørrelse til løft af gribemekanismen	62
10.6	Dynamisk påvirkning af payload i karrusellen	63
11	Diskussion	65
12	Konklusion	67
Litteratur		69
13	Appendiks	71
14	Bilag	87

Indledning

I takt med at droner bliver mere populære både kommersielt og privat, stiller dette større krav til maskinerne og deres kunnen. Droner findes i mange forskellige størrelser og former samt funktioner, dog er disse ofte begrænset eller har fokus på visuelt brug i form af optagelse med kamera. Materialet dronen indsamler bliver gemt, set live eller begge dele.

På det private marked ser man næsten udelukkende droner blive benyttet til at generere videomateriale, dog findes der også konkurrenceflyvning, men her ser man igen at der er tale om video i form af streaming til en skærm. Dertil skal det nævnes, at på det private marked er payloaden stort set altid et kamera og dronen kræver i største delen af alle tilfælde en pilot.

På det kommersielle marked finder man primært droner, som bliver brugt til inspektion eller fotografering af forskellige ting. Mellem de to områder er der en overlapning, hvor inspektion kan foregå gennem fotografering. Ved sidst nævnte tilfælde kan der være tale om billeder taget i forbindelse med et bryllup, en konfirmation, filmoptagelser, salg af bolig etc.

Ved inspektion bruges droner ofte ved svært tilgængelige steder for personer, som for eksempel arbejde i højden eller miljøer, der er farlige for mennesker. Her er der også tale om fotografering, hvad end materialet bliver behandlet med det samme eller manuelt gennemgået senere af en erfaren fagmand.

Brugen af droner stiger også i vind-, olie og gas-, mine- samt landbrugsindustrien etc. Fælles for brugen i nævnte industrier er at dronen kan automatiseres, det er ikke et spørgsmål om hvordan, men hvornår. Der findes allerede løsninger, hvor netop dette er muligt, dog skal lovgivningen omkring fortsat modne, da dronen som et teknisk hjælpemiddel stadig er meget ny.

Endnu et område droner benyttes på er beredskab, både præventivt og aktivt. Der findes flere dokumenterede situationer, for eksempel har en drone reddet to svømmere, ved at smide redningsmateriale i nærheden, så personerne derved undgik en druknedød. Det ville have

1. INDLEDNING

taget en livredder omkring seks minutter at nå frem, hvor dronen klarede opgaven på 70 sekunder. [1]

Et andet brugseksempel kan være en naturkatastrofe, hvor skader skal vurderes, personer skal findes eller et overblik skabes for bedre fordeling af tilgængelige ressourcer. Hvad end der er tale om præventiv eller aktive situationer, kan en dronen styres af en fjernpilot eller endda automatiseres for nogle opgaver. Da missionen dikterer, hvilken payload dronen skal flyve med og for at automatisere så meget af operationen som muligt, kan selve udskiftningen af payloaden automatiseres.

Dette er et stigende behov, som kommer af tidlige nævnte tilfælde og industrier. En automatisk løsning vil sikre en pålidelig, sikker, hurtig og præcis udskiftning. En løsning, der åbner op for muligheden at have drone baser med situationsafhængig payloads i særligt utsatte områder eller til større begivenheder. Der ønskes at designe og konstruere en maskine eller system til at udføre opgaven med udskiftning af payloads på en drone.

Initierende Problem

Vejleder fremlagde forskellige projektforslag, hvoriblandt et forslag omkring udvikling af et automatisk værktøj til droner var. Denne omhandlede de stigende behov for at automatisere opgaver vedrørende droner stillet af industrien. For at imødekomme dette skal der undersøges, hvad det vil sige. Der fokuseres på *DJI M210* dronen, der er tilgængelige på Aalborg Universitet Esbjerg, og dens payload. Deraf det initierende problem:

Hvordan designes et automatisk anlæg til DJI M210 for skiftning af payload, så løsningen er på et modent konceptniveau?

Problembeskrivelse

Inden en løsning kan identificeres, er der nogle områder, som skal belyses og analyseres. Mere specifikt er der tale om love og regler, som kan have indflydelse på maskinens funktioner og brug. Love som skal undersøges og vurderes for relevans:

- CE-mærkning
- Maskindirektivet
- Dronebekendtgørelsen

Derudover analyseres forskellige miljøer maskinen kan placeres i, med respekt af:

- Regn, sne, slud etc.
- Vind
- Temperatur
- Støv, skidt etc.
- Dyreliv
- Lyn

For at kunne definere laster og kræfter til beregninger skal mulige payloads undersøges og deres specifikationer:

- Vægt
- Dimensioner
- Tyngdepunkt

3. PROBLEMBESKRIVELSE

På figur 3.1 ses en nedbrydning over forskellige udfordring og områder, der skal undersøges. De enkelte noder er opdelt efter kategori. Denne figur samt andre punkter opstillet i dette kapitel, vil danne grundlaget for afsnit 4.



Figur 3.1: Nedbrydningsdiagram. Opstilling af udfordringer, opdelt efter kategori.

Analyse af krav

I dette afsnit vil en gennemgang af udfordringerne fra afsnit 3 side 5 være at finde. Dette afsnit danner basis for formuleringen af kravsspecifikationerne.

4.1 Lovgivning & sikkerhed

Det er vigtigt at maskinen lever op til relevante love og bekendtgørelser, derfor er dronebekendtgørelsen gennemgået for at vurdere om maskinen er omfattet af særlige reglerne samt i hvilket omfang og hvilke krav dette stiller maskinen. Da løsningen er på konceptniveau undersøges mulighed for markedsføring gennem Maskindirektivet og CE-mærkning ikke, dog forventes løsningen stadig at overholde disse.

4.1.1 Dronebekendtgørelsen

Specifikt for droner gælder to bekendtgørelser, nemlig **BEK nr 1256** [2] og **BEK nr 1257** [3], respektivt også kendt som: *Bydronebekendtgørelsen* og *Landdronebekendtgørelsen*. Selve løsningen, som denne rapport beskæftiger sig med, vil ikke være omfattet af fornævnte bekendtgørelser da løsningen vil udføre opgaver på en parkeret og ude af drift drone. Det er selve dronen, som er omfattet bekendtgørelsen, dog er der særlige regler for droner benyttet i forbindelse med beredskab, de har nemlig flere beføjelser. Denne rapport vil ikke gå yderligere i dybden vedrørende dette, dog er det relevant i forbindelse med brugen af løsning, da denne netop er tiltænkt som et redskab til en beredskabsdrone. Dertil skal det nævnes at løsningen ikke udelukker anden kommerciel brug.

4.2 Miljø

Krav til omgivelserne og miljøet, hvori maskinen tiltækkes at være operationel i, skal overvejes nøje, så maskinen kan udføre sin opgave uden at påvirke eller blive påvirket af dem.

4.2.1 Vejr & forhold

Da hensigten med maskinen er at den skal placeres udendørs, stiller dette store krav til indtrængning af blandt andet støv og vand. Dette er essentielt, ellers vil maskinen ikke holde længe i det fri. Indtrængende vand fra regn og tøende sne kan kortslutte elektronik og el-systemer,

4. ANALYSE AF KRAV

derved bliver maskinen sat ud af funktion. Det samme gælder for støv og smuds, som kan sætte sig i eventuelle lejer og give samme effekt som ved vandindtrængning.

4.2.2 Dyr

Når noget efterlades i naturen, er det at forvente fra det lokale dyreliv en interaktion i et vis omfang. Det er uhensigtsmæssigt at maskinen forstyrrer den lokale fauna, hvad enten det er at fysisk ramme et dyr eller udsende støjgener.

For at imødekomme udfordringerne stillet af 4.2.1 og 4.2.2 skal maskinen indkapsles i en dertil egnet barriere. Dette kan også fungere som beskyttelse mod lynneds slag som vil have den virkende effekt som lynafleder og et Faraday-bur. For at afgrænse projektet, vil denne indkapsling ikke blive behandlet i denne rapport, da den grundlæggende er en kasse man placerer oven på maskinen.

4.3 Dronen

Der tages udelukkende udgang i modellen *M210* produceret af *DJI*, vist på figur 4.1, da denne er tilgængelig hos Aalborg Universitet Esbjerg. Valget med denne drone har også en anden fordel: *DJI* tilbyder deres egen udviklingsplatform, for at ensrette grænsefladen mellem payload og drone, kaldet *Skyport*. På dronen, ved *Skyport*, sidder en udløserknap, der sørger for at låsemekanismen kan drejes, denne knap er tydeligvis designet med en menneskelig hånd i tankerne. Denne drone har tre payload-opsætninger: single-gimbal-downward, dual-gimbal-downward og single-gimbal-upward.



(a) *DJI M210*. [4]

(b) Dummy-drone baseret på *M210*.

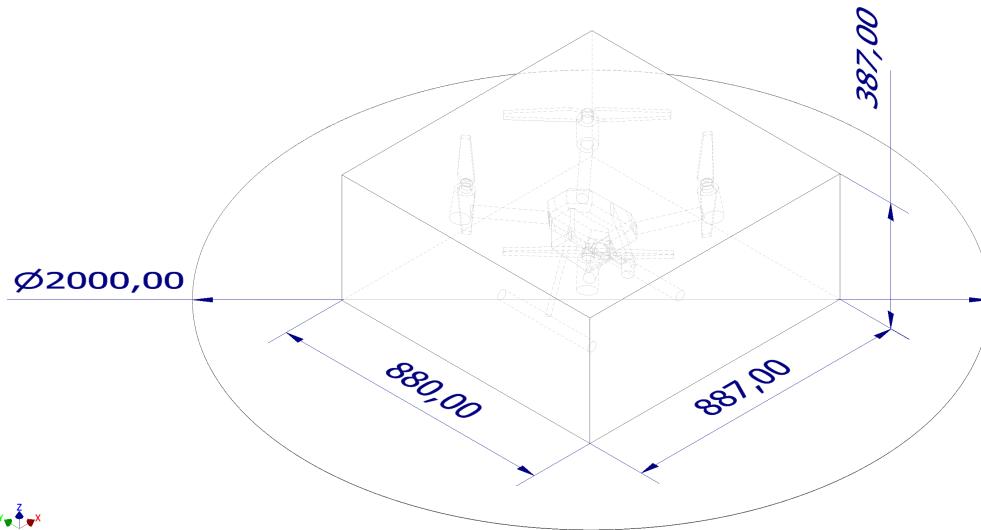
Figur 4.1: Figurene (a) og (b) viser den originale *DJI M210* samt dummy-dronen baseret derpå.

4.3.1 Dimensioner

Dronen fylder et område på $880 \times 887 \times 387\text{mm}$, opsat som en kasse, dette er et område, der skal holdes fri, ellers kan dronen ikke lette. Det samme gælder området over, når hovedfunktionen er gennemført, af samme grund. Når dronen letter og lander genereres stor turbolens under den, derfor er det vigtigt dronen har et større område at lande på, dette fænomen er kendt som jorreffekten indenfor aerodynamik. Med dette afsættes $\varnothing 2000\text{mm}$ omkring centrum af dronen.

4.3. Dronen

Dette er illustreret i figur 4.2, hvor landingsområdet og dronens luftrum er placeret i centrum. Målene er baseret på drones yderste mål.



Figur 4.2: Landingsområdet og en kasse, repræsenterende dronens luftrum. Inden i kassen ses en dummy af dronen.

4.3.2 Skyport adapter

Hos *DJI* leveres en udviklingsplatform kaldet *Payload Software Development Kit* (PSDK), i denne platform benyttes deres adapter mellem payload og drone, kaldet *Skyport*. Denne grænseflade tillader kommunikation mellem payload og drone, så der er adgang til systemer som: GPS, transmission og styring. Ved at udnytte samme kilder, fremfor at have hver deres med ombord, drages der bedre nytte af drones batteri, da vægten reduceres betydeligt. *Skyport* sætter en begrænsning på, hvor meget den må belastes med: 600g. Umiddelbart er den tilsigtede brug af *Skyport* til at montering af en gimbal, enheden til stabilisering af payloaden for eksempel et kamera. Dog skønnes anden brug at være muligt. Låsemekanismen, se figur 4.3 i *Skyport* fungerer ved at dreje den omtrent 120°.



Figur 4.3: *DJI Skyport*. [5]

4. ANALYSE AF KRAV

4.3.3 Operation og opbevaring af dronen

DJI stiller krav til temperatur området dronen må benyttes i samt opbevares. Temperaturintervallerne opstilles i tabel 4.1 og sætter kravene til den endelige løsning.

Tabel 4.1: Temperaturintervaller for DJI M210. [6]

	Temperaturinterval	
	fra	til
Drift	-20 °C	45 °C
Under ladning	5 °C	40 °C
Opbevaring:		
< 3 måneder	-20 °C	45 °C
> 3 måneder	22 °C	28 °C

4.4 Payloads

Der ønskes at foretage beregninger på maskinen, derfor er det vigtigt at sætte nogle afgrænsninger i forhold til selve payloaden. Da denne rapport tager udgangspunkt i dronen fra *DJI* modellen *M210* sætter det allerede en begrænsning til payloadens vægt, nemlig 2,3kg med to *TB50* batterier. Vælger man i stedet at bruge to *TB55*, reduceres kravet til 1,57kg. Der skal nævnes at de begge er cirka mål. [6]

4.4.1 Vægt

Fra *DJI* stilles der tydelige krav til højeste masse af payloaden, derfor bruges $m_{payload} = 600\text{g}$ som maksimal tilladte masse. [7]

4.4.2 Dimensioner

Desværre er PSDK fra *DJI* en meget lukket platformen, hvor adgang til dokumentation koster en klækkelig sum penge gennem et årligt abonnement. Derfor bruges det næst bedste, at tage udgangspunkt i eksisterende payloads. *Slanrange* har en kompatibel model med *M210* dronen, de har udviklet en payload ved navn *3PX*, denne har målene $146 \times 69 \times 57\text{mm}$ og udgør den største volumen hos tilgængelige payloads mens denne rapport blev udarbejdet. Målene fra *3PX* bruges til en dummy-payload med masse defineret i 4.4.1, begge er vist på figur 4.4. Det noteres at *Zenmuse X4S* fra *DJI*, som vist på figur 4.5, er højere end *3PX*, derfor benyttes denne også til modellering og visualisering i løsningen.



(a) *Slanrange 3PX*, multispektrum fotograferingssystem. [8]



(b) Dummy-payload baseret på *3PX*.

Figur 4.4: Figurene (a) og (b) viser den originale *3PX* samt dummy-payloaden baseret derpå, respektivt.



(a) DJI Zenmuse X4S, kamera. [9]

(b) Dummy-payload baseret på Zenmuse X4S.

Figur 4.5: Figurene (a) og (b) viser den originale Zenmuse X4S samt dummy-payloaden baseret derpå, henholdsvis.

4.5 FEM

Af Finite Element Metode samt Finite Element Analyse vurderes dette løbende og betragtes under designfasen for eventuelle kritiske punkter og områder.

4.6 Effektsystem

For at kunne drive maskinen kræver det et effektsystem. Dette skal stemme overens med tilgængelige ressourcer, hvor maskinen placeres. I det tilfælde, hvor løsning er placeret i det fri og fjernt fra infrastrukturen, ville nogle effektsystemer være mere fordelagtige at vælge, frem for andre.

- **Hydraulisk:** Selvom dette er en effektiv og stærk metode, så vil styrken ikke være nødvendig til denne løsning. En anden effekt af et hydraulisk baseret system er lav hastighed og det er særdeles uønsket i dette tilfælde. Hydraulik kræver også en energikilde, for at kunne lave tryk, derfor fravælges denne metode.
- **Mekanisk:** På trods af at en løsning baseret udelukkende på mekanik ville være meget energi-effektiv, fravælges denne af praktiske årsager.
- **Pneumatisk:** Denne metode er en meget energi-effektiv løsning, når hele effektsystemet er tæt. Skulle det blive utæt, ville trykket ikke kunne opretholdes, uden at kompressoren skulle gøre konstant. Dette medfører et unødig højt forbrug af energi og vil kræve besøg af en teknikker for at udbedre. Udover denne risiko for et utæt system, kræves en energikilde til kompressoren også. Denne metode fravælges af disse årsager.

- Forbrænding: Ved brug af denne metode vil en tank til brændstof være nødvendig, yderligere vil en bivirkning ved energiproduktion være udskillelse af varme. Dette kan være en fordel eller ulempe, afhængig af miljøet den endelige løsning placeres i. Et andet resultat af en forbrændingsproces, er støj og forurening, dette er særdeles uønsket for miljøet og faunaen. Tilgengæld egner denne metode sig godt som et redundant system, ved produktion af elektricitet.
- Elektrisk: Dette ville være den foretrukne løsning til effektsystemet. Fordelen er klart for-eneligheden med andet som løsningen skal indgå med. For eksempel genopladning af dronens batterier, systemovervågning etc. Et elektrisk effektsystem kan også nemt tilkobles lysnettet eller en vedvarende energi løsning.

4.7 Påvirkninger

Der skal vurderes, hvorvidt løsningen har mulighed for at blive udsat for udefrakommende påvirkninger og dens resistens mod dette. Derudover ville det være at foretrække med en mekanisk betragtning af udskiftningshastigheden og de kræfter dette udsætter enten løsningen, drone eller payload for.

4.8 Design

Designfilosofien skal være simpel, med inspiration fra poka-yoke tankegangen, det overordnede design skal være lavet med forebyggelse mod utilsigtet fejl og brug. Da forskellige brugsscenarier kræver varierende typer af payloads og antal deraf, vil der blive lagt vægt på løsningens evne til at skalere. Af hensyn til omfanget af projektet, vil fokus på en adapter mellem payload og drone være begrænset. Det samme gælder for payloadtyperne, da disse kan have mange forskellige former, derfor vil en dummy bruges i løsningsforslag, tegninger, CAD og generelt.

Problemformulering

Gennem problemanalysen, afsnit 4, er der fundet frem til specifikke krav, stillet af dronen, der skal tages hensyn til både under løsningsgenerering samt designfasen.

For at imødekomme ønsket om så lidt menneskelig interaktion som muligt, er det nødvendigt for løsningen at være automatisk. Ved at bruge standard komponenter fra leverandører og kontrollerer om de egner sig til formålet, sikres i et vis omfang et relativt modent koncept for løsningen.

Følgende punkter ønskes der at tages udgangspunkt i:

- Løsningen skal fra et mekanisk perspektiv kunne skife en payload automatisk.
- Komponenter anvendt fra leverandører skal overholde dennes anvisninger.
- Fokus på designfasen for at opnå relativ høj detaljegrads.
- Forslag til produktion og fremstilling af delelementer.

5. PROBLEMFORMULERING

5.0.1 Projektafgrænsning

For at indskrænke projektet til et realistisk omfang, afgrænses følgende punkter:

- Der fokuseres på selve skiftet af payloaden, derfor beskæftiges der ikke med indkapsling for drone og skifte systemet. Dermed tages der ikke hensyn til lokal dyreliv i form af støjgener eller lignende, da en indkapsling ville dæmpe dette.
- Fiksering og positionering af dronen forbeholdes kun til idegenerering.
- Andre droner end *DJI M210*.
- Der fokuseres udelukkende på single-gimbal-downward systemet.
- Skift af batteri undersøges kort i funktionsanalysen.

Kravspecifikation

Der konstrueres et teknisk hjælpemiddel, der overholder de primære krav. Derudover ønskes der stadig at tilgodese så mange af de sekundære krav som muligt.

6.1 Primære Krav

De primære krav skal overholdes, da disse er uundværlige for løsningen.
Følgende krav, samt begrænsninger, er fundet i problemanalysen til systemet.

- Der er opsat følgende krav til egenskaber for løsningens kunnen:
 - Være automatiseret.
 - Være i en sen fase på konceptniveau.
 - Tåle ned til -20°C og op til 45°C .
 - Drives elektrisk.
- Løsningen skal derudover overholde:
 - Miljøbeskyttelsesloven.
 - Maskindirektivet.
 - Arbejdsmiljøloven.

6. KRAVSPECIFIKATION

6.2 Sekundære Krav

De sekundære krav er mindre vigtige end de primære, men der vil stadig tilgodeses så mange af disse krav som muligt.

De sekundære krav er som følgende:

- Løsningen skal:
 - kunne skaleres og udvides efter behov (Skalerbar).
 - være kompakt af hensyn til optagelse af plads (Kompakt).
 - være servicevenligt og have lettilgængelige dele (Servicevenlig).
 - kunne skifte en payload så hurtigt og sikkert som muligt (Hurtig).
 - skal være simpelt (Kompleksitet).

Funktionsanalyse

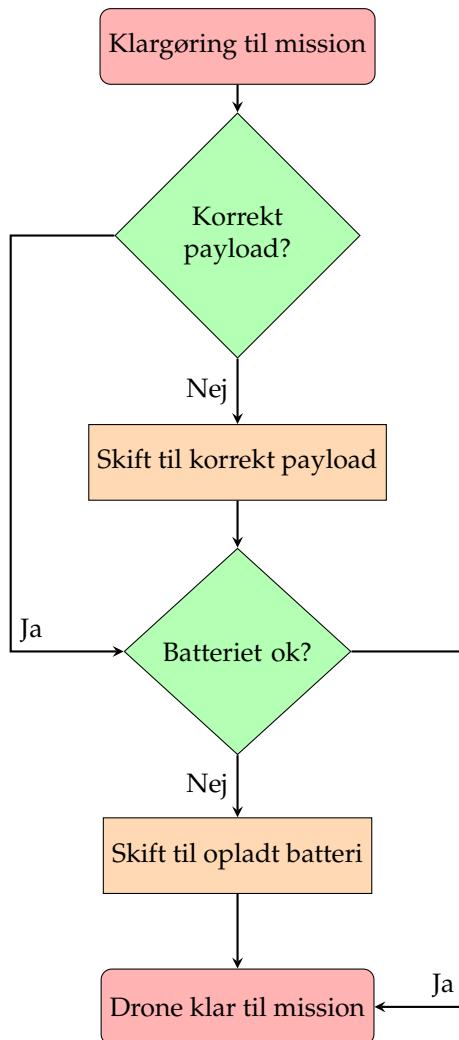
For at generere løsningsforslag anvendes morfologi. Dette går ud på, i alt sin enkelthed, at analysere hovedfunktionerne og nedbryde dem i delfunktioner. Herefter opstilles forskellige metoder at gennemføre delfunktionerne og derefter kan disse kombineres, hvor så et løsningsforslag er genereret.

Inden hovedfunktionerne kan opdeles, er det vigtigt at identificere dem. I den forbindelse er det en mulighed at opstille et groft flowchart for hvilke betingelser, der skal være opfyldt og opgaver, som skal gennemføres, inden dronen er klar til en mission.
Dette kan opstilles i en kronologisk nummereret listeform:

1. Har dronen den rette payload monteret?
2. Hvis ikke, så skal denne skiftes.
3. Har dronen et brugsklar batteri installeret?
4. Hvis ikke, så skal dette skiftes.

Rækkefølgen på payload og batteri kan ombyttes, afhængigt af drones brug. Et scenerie, hvor dronen bruger mange forskellige payloads, men har korte ture, kan kontrol af batteri være sekundært. Et andet scenerie, hvor dronen har lange ture, kan kontrol af payload være sekundært. Dog vil processen tage den samme tid, da begge punkter skal kontrolleres.

På figur 7.1 er flowchartet illustreret. Her ses hovedfunktionerne tydeligt i de orange og rektangulære proceskasser. Hermed er det lykkedes at identificere hovedfunktionerne, som løsningen skal udføre til: skift af payload og skift af batteri. Årsagen til at de funktioner betragtes som hovedfunktioner, skyldes de kan gennemføres uafhængigt af hinanden. Hovedfunktionerne er næsten identiske, da de har samme kontrolpunkter og efterfølgende handlinger, derfor fokuseres der fremover udelukkende på skift af payload.



Figur 7.1: Flowchart for klargøring af drone til mission.

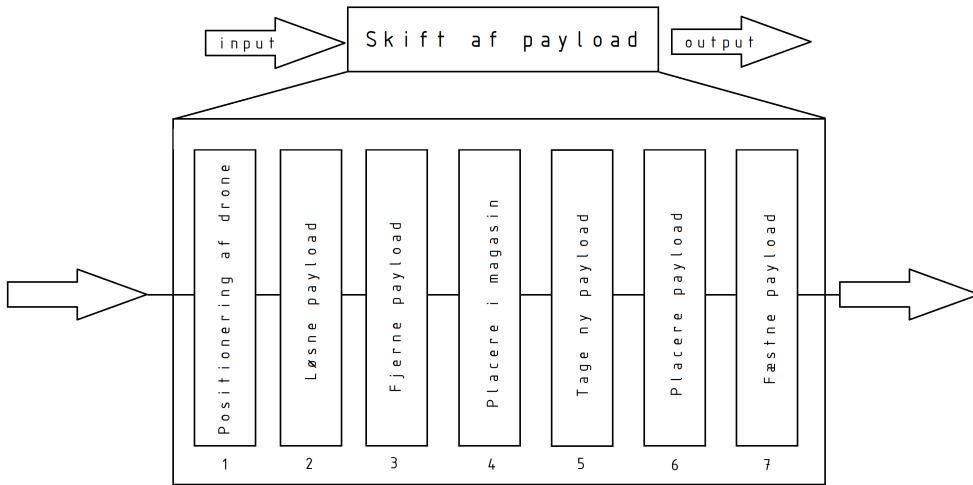
7.1 Hovedfunktion: skift af payload

Selvے skiftet af payloaden kan opdeles i delfunktioner. Dette kan også opstilles i en kronologisk listeform:

1. Dronen positioneres og fikseres, så maskinen har den korrekte indgrebsvinkel, uden at skade dronen samt payload.
2. For at den nødvendige payload kan monteres, skal den nuværende løsnes.
3. Payload fjernes fra drone.
4. Tidligere monterede payload skal efterfølgende enten parkeres eller placeres i et magasin.

7.1. Hovedfunktion: skift af payload

5. Den nødvendige payload findes og klargøres.
6. Ny payload placeres i dronen.
7. Payloaden fæstnes på dronen.



Figur 7.2: Funktionsdiagram over hovedfunktionen, skiftning af payload. Baseret på fremgangsmåde i Roloff/Matek side 11. [10]

På figur 7.2 kan de enkelte delfunktioner identificeres i syv trin. Nogle af trinnene kan lægges sammen; 2 & 7, 3 & 6 samt 4 & 5. Disse trin opfattes som identiske, da den anden foregår baglæns i forhold til den første.

Delfunktionerne kan løses på forskellige måder og opdeles i en tabel, som vist i tabel 7.1.

Tabel 7.1: Tabel af opdelende nedbrydning over muligheder for de enkelte delfunktioner.

Positionering	Skyportoperation	Payloadoperation	Magasinoperation
Grike	Grike	Payload flyttes	Bånd/linje
Skubbe/trække	Hjul	Drone flyttes	Fritstående
Løfte			Fastspændt

Principielt kan enten dronen eller payload flyttes, dette kan enten foregå horisontalt, vertikalt eller en kombination af begge. Uanset skal maskinen kunne komme til udgangspunktet for montering og fjernelse af payload, uden at skade dronen.

Løsningsgenerering

I dette afsnit vil løsninger generes på baggrund af morfologi, hvor delfunktionerne kombineres på forskellig vis. Løsningsforslagene baseres på de definerede delfunktioner fra afsnit 7.1 på side 21:

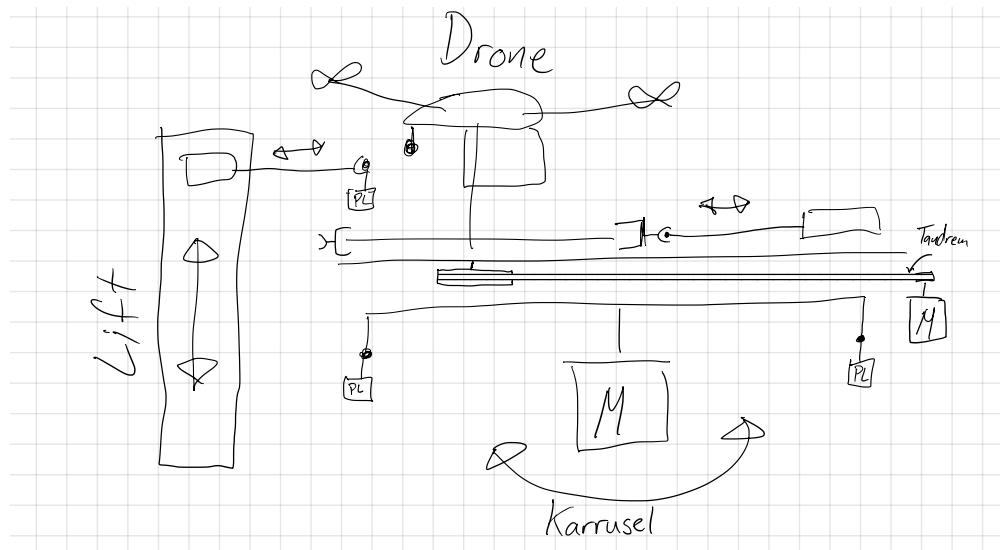
- Positionering
- Skyport fæstne/løsne
- Payloadoperation
- Magasinoperation

I følgende afsnit bliver hvert forslag præsenteret og forklaret, efterfulgt af en tabel over delfunktioner forslaget er baseret på. Der er udvalgt tre forslag til behandling. Som afslutning af afsnittet er forslagene vurderet og en endelig bliver udvalgt til videre udvikling.

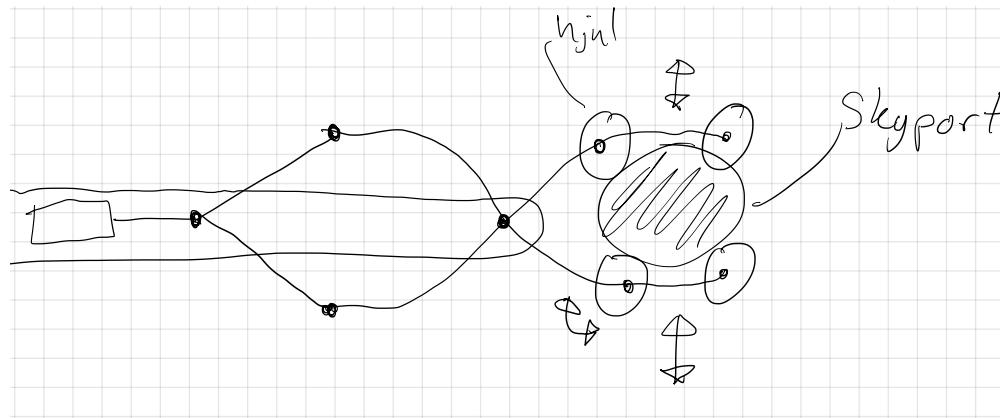
8. LØSNINGSGENERERING

8.1 Løsningsforslag 1 (L1)

Når dronen lander på platformen, bliver den fikseret ved at blive skubbet ind i en skabelon for landingsstellet. Herefter kan en arm komme til payloaden, for at demontere og placere den i magasinet, som er en karrusel. Armen, der griber payloaden, sidder på en lift for nem adgang mellem magasin og drone. Dronen kan roteres på platformen, så armen får adgang til batteriet. Magasinet holder parkerede payloads fastspændt på samme måde som på dronen. Skitse af dette kan ses på figur 8.1. I tabel 8.1 er de benyttede delfunktioner opstillet.



Figur 8.1: Skitsetegning af løsningsforslag 1. Pilen angiver bevægelsesretning for payloads. Illustration set fra siden.



Figur 8.2: Skitsetegning af detaljen for fæstne/løsne funktion. Pilen angiver bevægelsesretning. Illustration set fra oven.

På figur 8.2 ses delfunktionen, hvordan løsningsforslaget kan løsne og fæste payloaden via Skyport. Denne løsning griber fat om den bevægelige del af Skyporten og kan derefter skru den af eller på med hjælp fra et motoriseret hjul.

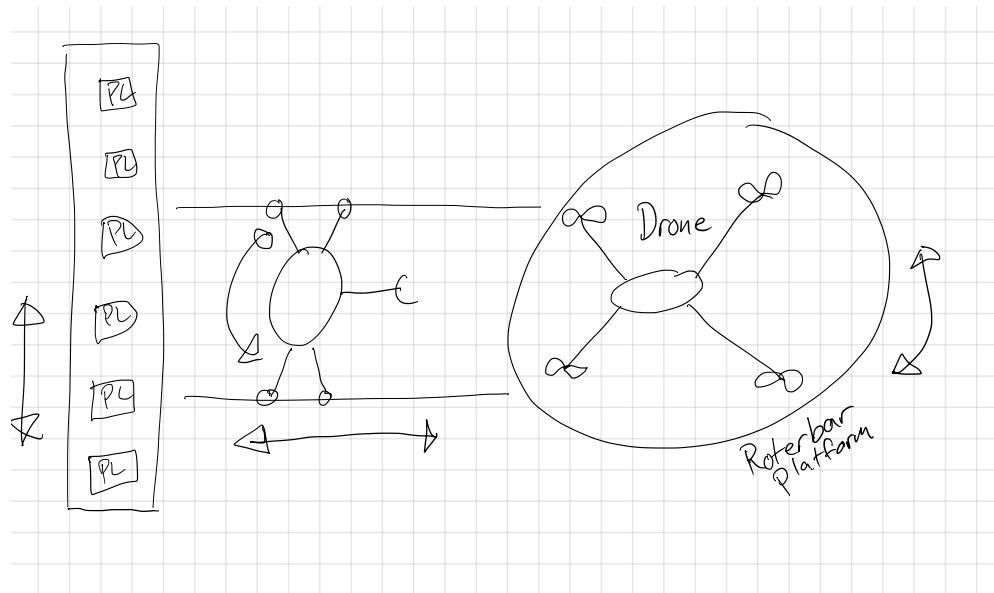
8.2. Løsningsforslag 2 (L2)

Tabel 8.1: Benyttede delfunktioner.

Positionering:	Skubbe
Skyport fæstne/løsne:	Gribe
Payloadoperation:	Payload flyttes
Magasinoperation:	Fastspændt

8.2 Løsningsforslag 2 (L2)

Dronen lander på en platform, hvor den løftes på plads ved at falde ned i et sæt skinner. Selve platformen kan rotere omkring sig selv, så både adgang til payload og batteri bliver muligt. På et sæt skinner kan en arm køre frem og tilbage, mellem magasin og platformen til dronen. Payloads samt lader hænger på en linje, som kan bevæges således armen kan nå nødvendige genstand. Skitse af dette findes på figur 8.3 og delfunktionerne benyttet i tabel 8.2.



Figur 8.3: Skitsetegning af løsningsforslag 2. Illustration set fra oven.

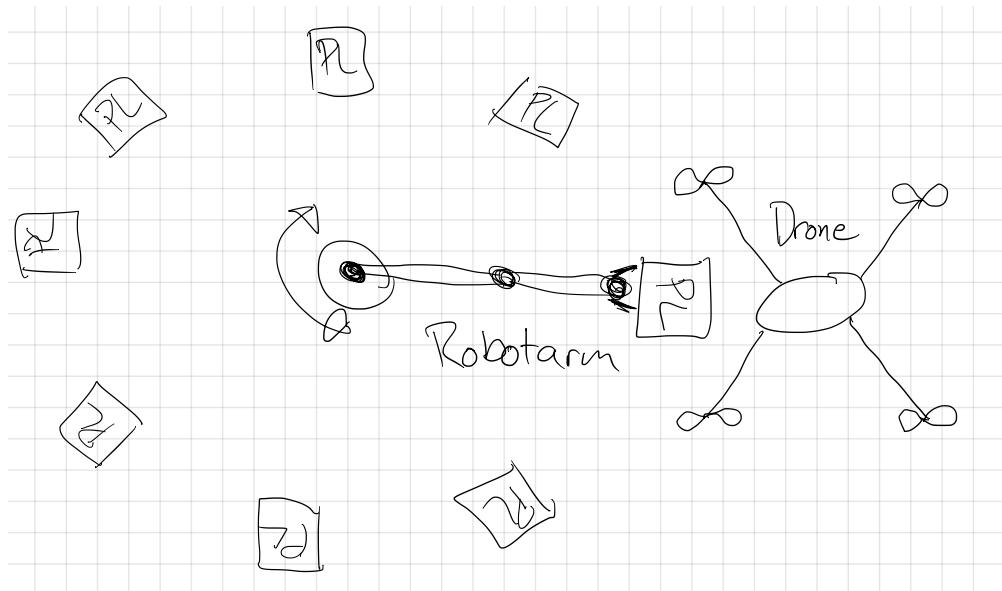
Tabel 8.2: Benyttede delfunktioner.

Positionering:	Løfte
Skyport fæstne/løsne:	Gribe
Payloadoperation:	Payload flyttes
Magasinoperation:	Linje

8. LØSNINGSGENERERING

8.3 Løsningsforslag 3 (L3)

Dronen lander indenfor robotarmens arbejdsmønster, derefter griber robotarmen fat i dronen og placerer den efter behov og plads. Herefter tager robotarmen fat i payloaden, demonterer og placerer den på en plads i det fritstående magasin. Robotarmen kan efterfølgende montere en ny payload på dronen. Når batteriet skal skiftes, griber robotarmen fat og roterer dronen, således at batteriet bliver tilgængeligt. Så gentager robotarmen processen for payloads, bare mellem lader og drone. Dette er illustreret i skitse på figur 8.4 og benyttede delfunktioner kan findes i tabel 8.3.



Figur 8.4: Skitsetegning af løsningsforslag 3.

Tabel 8.3: Benyttede delfunktioner.

Positionering:	Gribe
Skyport fæstne/løsne:	Gribe
Payloadoperation:	Payload flyttes
Magasinoperation:	Fritstående

8.4 Løsningsvurdering

I alt er der genereret og præsenteret tre unikke forslag i afsnit 8 fra side 24 til og med side 26, disse kan opfylde hovedfunktionen fremstillet i afsnit 7.1 side 20..

Løsningsforslagene ønskes vurderet i henhold til, hvor tilfredsstillende de opfylder alle sekundære krav stillet i sektion 6.2 side 18. I tabel 8.4 stilles løsningsforslagene op imod de sekundære krav og gives en karakter fra 1 til 10 alt efter, hvor tilfredsstillende kravet er opfyldt. Vægtning udtrykker vigtigheden for opfyldelse af et sekundært krav. Løsningsforslagets endelige karakter udregnes efter ligning 8.1.

Tabel 8.4: Tabel over løsningsvurderingerne for de forskellige løsningsforslag.

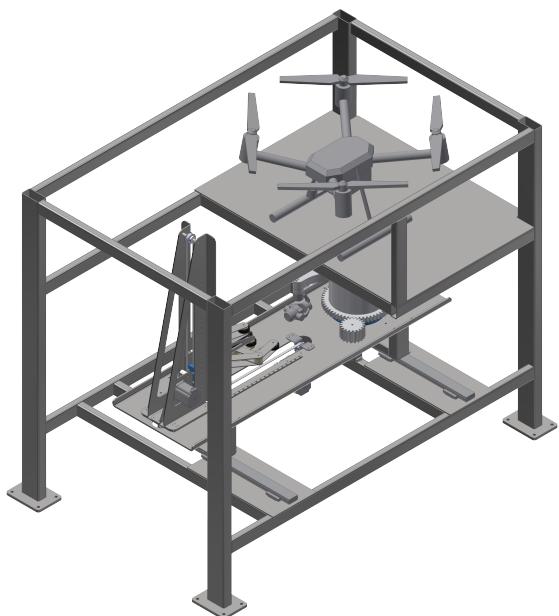
	Vægtning	L1	L2	L3	Maksimalt
Skalerbar	7	8	3	6	10
Kompakt	5	7	5	6	10
Servicevenlig	4	6	5	4	10
Hurtig	9	6	5	5	10
Kompleksitet	7	6	5	4	10
I alt		211	146	161	320

Et eksempel på en udregning fra tabel 8.4 kan ses herunder for Løsningsforslag 1 (L1):
vægtning1 x karakter1 + vægtning2 x karakter2 + vægtning3 x karakter3 ... = resultat

$$7 \cdot 8 + 5 \cdot 7 + 4 \cdot 6 + 9 \cdot 6 + 7 \cdot 6 = 211 \quad (8.1)$$

På baggrund af de hovedfunktioner og delfunktioner, der er fundet i kapitel 7, de sekundære krav, stillet i sektion 6.2, og den endelige karakter i tabel 8.4, fremstår Løsningsforslag 1 (L1) som den bedste kandidat til videre udvikling.

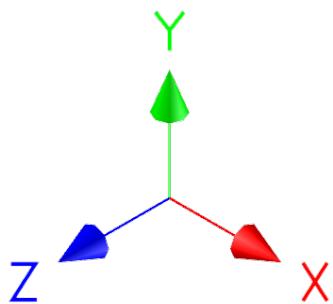
Løsningen



Figur 9.1: Løsningen set ortografisk indsat i en stålramme inklusiv dummy af dronen.

På 9.1 ses den endelige løsning indsat i en stålramme, hvor dummyen af dronen *DJI M210* er på en platform. I dette kapitel vil en gennemgang af følgende udvalgte delelementer være at finde: Karrusellen afsnit 9.1, Drejemekanismen afsnit 9.2, , Gribemekanismen afsnit 9.3, Elevatorsøjlen afsnit 9.4, Liften afsnit 9.5 og Karrusel- & liftbordet afsnit 9.6. Til slut vil en gennemgang af den endelige løsnings funktion være at finde i afsnit 9.7.

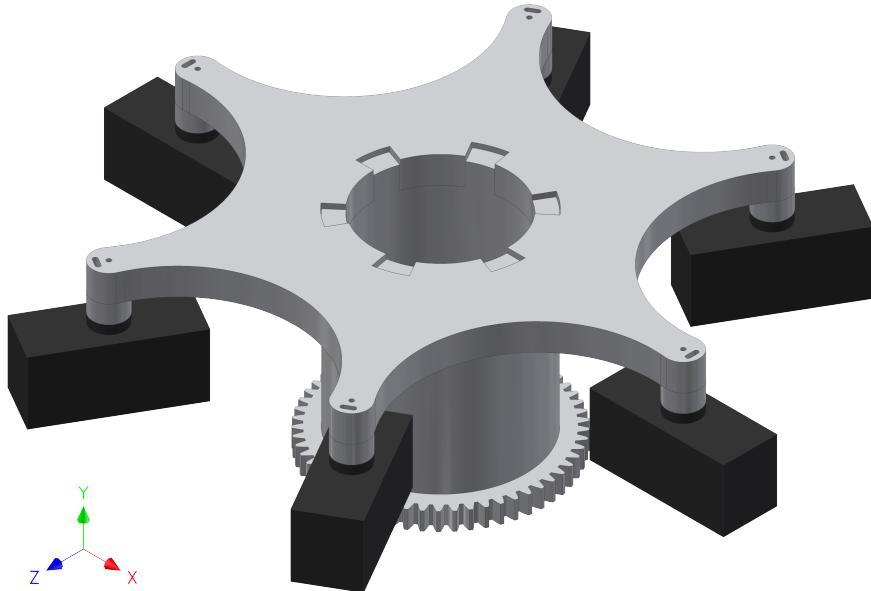
9. LØSNINGEN



Figur 9.2: Koordinatsystem for alle figurer.

I alle figurer, hvor nødvendigt, findes dette koordinatsystem til indikering af aksernes retninger, som vist på figur 9.2. Lokationen for indikatoren er ikke et udtryk for origo.

9.1 Karrusellen



Figur 9.3: Karrusellen med seks modeller af payloads.

Figur 9.3 viser den gearede karrusel med seks sorte modeller monteret i payload-sæderne. Dette delelement består af tre unikke dele, uden payloads: figur 9.4(a): en cylinder med udvendige gear, figur 9.4(b): en plade til at bære sæderne og figur 9.4(c): selve sædet som payloads monteres i. Dette udgør magasinet for løsningen og kan indeholde op til seks forskellige payloads, inklusiv dronens. Den endelige løsning behøver et frit sæde for at udskifte en payload, når dronen står uden payload vil der derfor være seks payloads i magasinet.



(a) Cylinder med udvendige gear. (b) Topplade til cylinder for at holde sæderne. (c) Sæde til payloads med poka-yoke design.

Figur 9.4: Figurene (a), (b) og (c) viser de tre dele, der udgør karrusellen.

9. LØSNINGEN

Formålet med det udvendige gear, som vist på figur 9.4(a), er at overføre en roterende bevægelse om y-aksen fra en stepmotor. Rotationen overføres gennem tapperne, der passer i toppladen vist på figur 9.4(b), som har modsvarerende huller så delene passer sammen på én måde. Samme princip, poka-yoke, er benyttet til montering af sæderne, vist på figur 9.4(c), der kun kan monteres på én måde yderst på hver arm af toppladen. For at fæstne toppladen monteres en cirkulær plade med diameter ø190mm og med passende huller, så det er muligt at skruer skruer direkte i tapperne på cylinderen. Selve toppladen er 5mm tykkere end højden på tapperne, derved sikres god kontakt mellem de to dele.

For at montere sædet, placeres denne på undersiden i de passende huller i toppladen og skrues direkte fast ved hjælp af det gennemgående hul i centrum af delen. For at sikre utilsigtet montering, for eksempel sædet monteres på oversiden, skal det aflange hul kun være åben på undersiden af toppladen. På grund af illustrative formål er dette ikke tilfældet i den nuværende udgave af toppladen.

Mekanismen til at holde en payload fast i sædet efterligner samme system som i *DJI Skyport*, dog uden interface og selve låsen. Da payloads sidder sikkert i magasinet, uden eksterne påvirkninger undtaget rotation ved lav hastighed fra karrusellen, er en låsemekanisme ikke nødvendig. Da sædet anses for at være en sliddel er dette årsagen til den er en separat del, dette gør det hurtigt og nemt at udskifte et defekt sæde.

Til at yde den roterende bevægelse vælges en stepmotor fra *Sanyo Denki* model 103H7126-5740. Udvekslingsforholdet vælges til 3:1, da en halv omgang for motoren vil omsættes til en ny payload står i klar-position. En stepmotor kender sin position gennem styringen og steps, hvor denne motor har en stepvinkel på 1,8°, derfor er 100 steps antallet for at køre næste payload i magasinet klar.

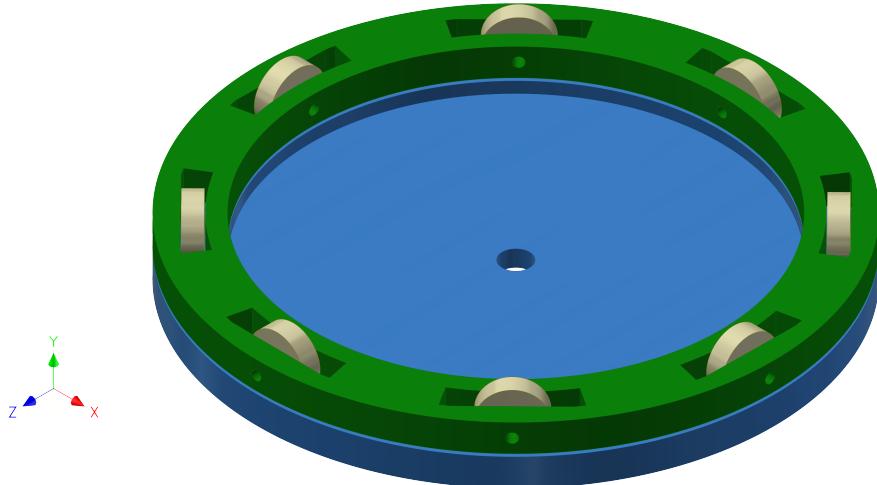
9.1.1 Produktionsnotat

Produktionsmetoden for cylinderen, vist på figur 9.4(a), er tiltænkt 3D-printning, da denne har en særlig geometri. Derfor har delen også en høj godstykkelse, hvor det indvendige udfyldes med bikube-struktur eller en anden topologioptimeret struktur, så materialeforbruget holdes minimum uden at gå på kompromis med styrken. Designet for cylinderen gør det muligt at printe den uden støttemateriale i en FDM-printer.

Toppladen, vist på figur 9.4(b), er en ideel kandidat til at blive laserskåret ud af en større plade, da delen er fuldstændig plan. Dog vil dette medføre at sædet både kan monteres ovenpå samt under, hvilket resulterer mulighed for fejmontering. Vælges 3D-printning som produktionsmetode, undgås at opgive poka-yoke princippet i delens design. Som cylinderen er toppladen også mulig at printe uden støttemateriale, blot dette udføres med undersiden op.

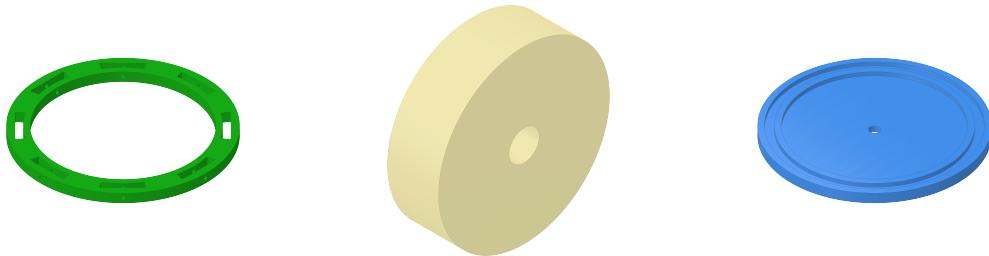
Sædet, vist på figur 9.4(c), har også en særlig geometri og derfor anbefales 3D-printning også for denne. Holdmekanismen indvendig i delen gør dog at støttemateriale er nødvendigt.

9.2 Drejemekanismen



Figur 9.5: Mekanismen der muliggør at karrusellen kan dreje.

På figur 9.5 ses hele drejemekanismen. Grundprincippet er inspireret af samme mekanisme, der sørger for at et objekt drejes rundt i en mikrobølgeovn, bare forstærket og stabiliseret yderligere. Drejemekanismen består af 10 dele: 9.6(a): en ring, hvor hjulene placeres i, 9.6(b): otte hjul til at skabe den roterende effekt og 9.6(c): en bundplade med et spor til at styre hjulene rundt om y-aksen for drejemekanismen.



(a) Ringen til stabilisering af hjulene. (b) Selve hjulet, der løber rundt om y-aksen for drejemekanismen. (c) Bundplade med rille til hjulene.

Figur 9.6: Figurene (a), (b) og (c) viser den stabiliserende ring til hjulene i drejemekanismen, selve hjulet og en plade med et spor i.

Den stabiliserende ring, som vist på figur 9.6(a), er lavet til at stabilisere og sikre en konstant radius for hjulene omkring omdrejningspunktet. Ringen har otte sæt gennemgående huller, ét sæt til hvert hjul, disse passer sammen igennem hvert hjuls rotationsakse. Ringen har en yderligere stabiliserende geometrisk egenskab; for placeringen af hvert hjul er ringen lokalt

9. LØSNINGEN

parallel med hjulets retning, dette hjælper med at holde en perpendikulær vinkel af hjulet, relativ til radius for omdrejningspunktet. Åbningen har til formål er at nedsætte friktionen, der opstår når ringen er samlet med hjulene. Den fikserede afstand søger for at alle hjul kan løbe frit rundt, uden at være indspændt.

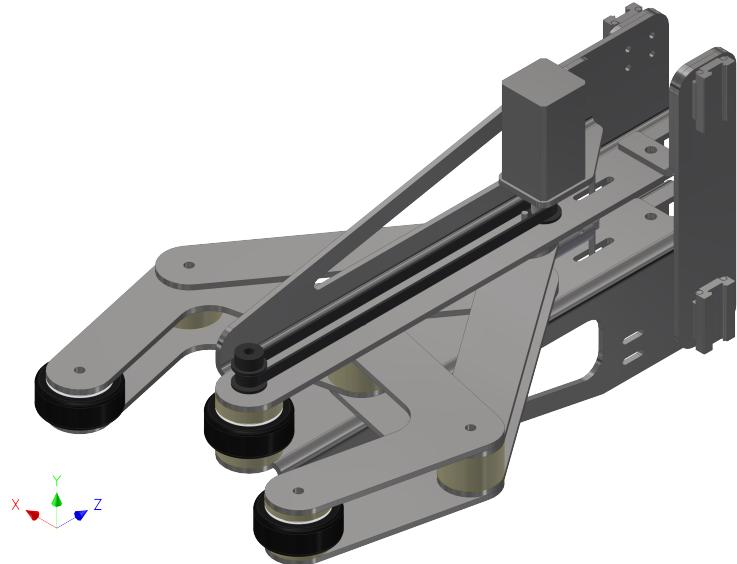
Bundpladen, vist på figur 9.6(c), har to forhøjninger, der udgør en rille, hvor hjulene derved ledes rundt i. Dette spor sørger for at holde hjulene i en tilladelig afstand fra mekanismens omdrejningspunkt. De monterede hjul i ring står løst oven på bundpladen, når karrusellen placeres ovenpå skrues alle tre dele sammen med karruselbordet gennem et hul i midten af både bundpladen og cylinderen med udvendige gear.

9.2.1 Produktionsnotat

Både ringen og bundpladen, vist på figur 9.6(a) og 9.6(c) respektivt, er tiltænkt at blive 3D-printet, da de har særlig geometri. Ringen behøver muligvis støttemateriale i hullerne for akserne til hjulene. Bundpladen kan printes uden støttemateriale, dog anbefales 100% fyldning under hjulenes kørebane af hensyn til styrke.

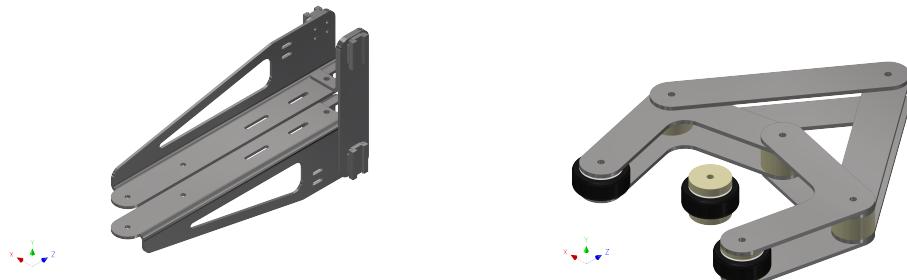
Hjulene, vist på figur 9.6(b), tænkes skåret fra en stang af nylon. Dette materiale har lav friktion og høj styrke.

9.3 Gribemekanismen



Figur 9.7: Den samlede gribemekanisme.

På figur 9.7 ses mekanismen til at gribe om en payload, fæstne/løsne og bære den. I alt består griberen af 34 dele, heraf af 15 unikke. Fremfor at gennemgå hver enkelt del, fokuseres her på rammen og gribefingrene, vist i henholdsvis figur 9.8(a) og 9.8(b).



(a) Rammen til at bære gribefingrene.

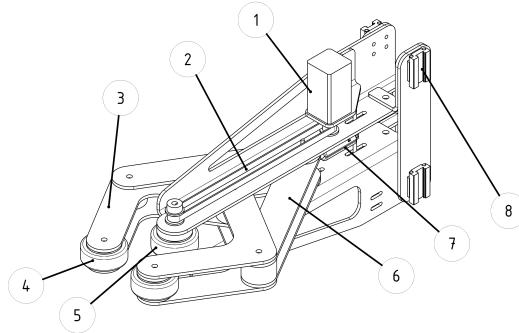
(b) Gribefingrene til at bære payloaden.

Figur 9.8: Figurene (a) og (b) viser rammen og fingrene adskilt og hver for sig.

Figur 9.8(a) viser den bærende ramme for gribefingrene, denne sørger for at den samlede

9. LØSNINGEN

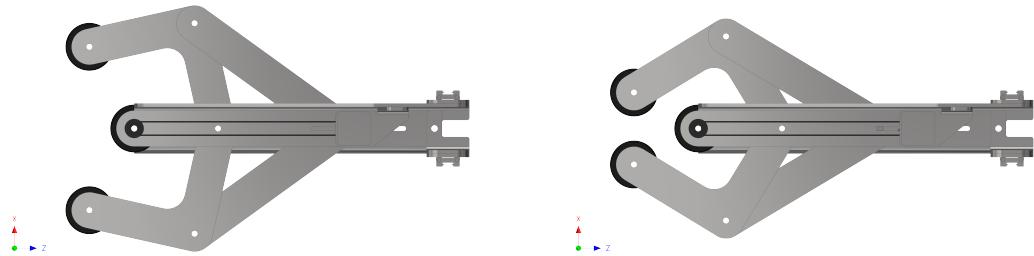
gribemekanisme kan flytte sig vertikalt, ved hjælp af de fire slæder fra NSK model PU09TR. En anden funktion for rammen er også at huse selve mekanismen for at gibe om en payload samt yde styrke mod udbøjning.



Figur 9.9: Otte annoterede positioner for gribemekanismen.

På figur 9.9 er der annoteret otte positioner på gribemekanismen, de er som følger:

- | | |
|---------------|-------------------------|
| 1. Stepmotor | 5. Centerhjul |
| 2. Tandrem | 6. Styream |
| 3. Hjularm | 7. Lineær mikroaktuator |
| 4. Støttehjul | 8. Slæde |



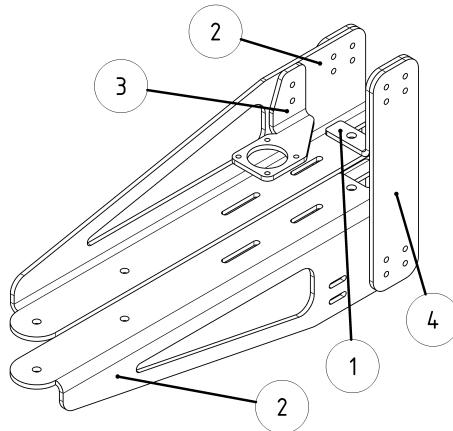
(a) Aktuator ført tilbage så mekanismen er i åben tilstand. (b) Aktuator ført frem så mekanismen er i lukket tilstand.

Figur 9.10: Figurene (a) og (b) viser gribemekanismen i sine to ydre positioner.

Den åbne, vist på figur 9.10(a), og lukkede tilstand, vist på figur 9.10(b), opnås ved hjælp af en lineær miniature-aktuator fra Actuonix model PG12-100-12-P, som kan levere op til 50N. Aktuatoren har en vandring på 20mm med en hastighed på $10\frac{\text{mm}}{\text{s}}$, når den ikke er belastet, heraf tager den to sekunder at skifte position fra åben til lukket og omvendt. Stillingen af de støttehjulene skiftes ved at ændre positionen af styrearmenes fællesakse relativt til hjularmenes omdrejningspunkt. Med den nuværende opsætning i Autodesk Inventor kan mekanismen lukke sammen til en diameter på ø30,5mm, hvor DJI Skyport har en diameter på ø35mm, derved sikres at mekanismen kan trykke tilstrækkeligt omkring emnet, selv hvis hjulene deformeres. Punktet for fastgørelse er et aflangt hul så aktuatoren kan justeres til en anden dybde. Denne model af den lineære aktuator har et potentiometer til feedback af stemplets aktuelle position. Datablad for aktuatoren findes i bilag B3 side 99.

For at fæstne og løsne en payload drives centerhjulet af en stepmotor fra RS Pro model 535-0366, på grund af pladsrestriktioner transmitteres bevægelsen gennem en tandrem, fra RS Pro model 7785098, med udvekslingsforhold 1:1 mellem tandremsskiverne, fra RS Pro model 7784714. Støttehjulene kan løbe frit rundt om sin akse, så de følger bare den omsatte bevægelse fra selve payloaden.

9.3.1 Produktionsnotat



Figur 9.11: Fire annoterede positioner for den bærende ramme.

På figur 9.11 er der annoteret fire positioner for den bærende ramme, de er som følger:

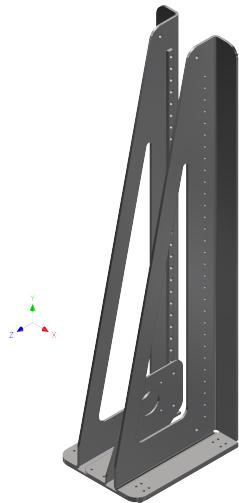
- | | |
|---------------|----------------|
| 1. Basisplade | 3. Slædestøtte |
| 2. Motorplade | 4. Slædeplade |

For den bærende ramme, vist på figur 9.11, er alle dele oplagt til at blive skåret i stål ved hjælp af en laser. Pladerne for position 1, 2 og 3 skal bukkes. Hjularmene og styrearmene er også oplagte kandidater til laserskæring, positionerne 3 og 6 på figur 9.9.

For positionerne 1, 2, 4, 5, 7 og 8, på figur 9.9, indkøbes standard dele, der på forhånd er udvalgte.

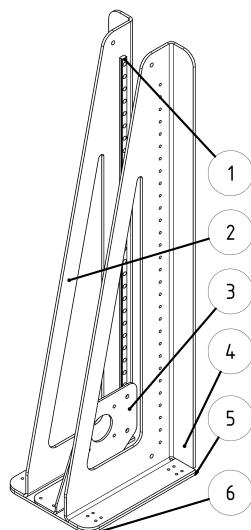
Mellem både hjularmene og styrearmene er der placeret afstandsstykker, disse kan for eksempel være af nylon.

9.4 Elevatorsøjlen



Figur 9.12: Elevatorsøjlen til at bære og styre gribemekanismen.

Figur 9.12 viser elevatorsøjlen for gribemekanismen, denne sørger for bevægelsen styres udelukkende平行 med y-aksen. Søjlen består af ti dele: to lineære styreskinne, en venstre samt højre tårnplade, en motorplade, en baseplade og fire slæder som ved positionerne på figur 9.13. Slæderne styrer bevægelsen langs z-aksen for søjlen, hvor de lineære styreskinne guider gribemekanismens bevægelse langs y-aksen. Styreskinne er fra NSK model P1U090600SKN-PCT.



Figur 9.13: Seks positioner annoteret for elevatorsøjen.

På figur 9.13 er der annoteret seks positioner på elevatorsøjen, de er som følger:

- | | |
|-----------------------|--------------------|
| 1. Lineær styreskinne | 4. Højre tårnplade |
| 2. Venstre tårnplade | 5. Baseplade |
| 3. Motorplade | 6. Slæde |

9.4.1 Produktionsnotat

Positionerne 1 og 6 på figur 9.13, styreskinnerne samt slæderne, er standard dele og indkøbes. Positionerne 2, 3, 4 og 5 på figur 9.13, er alle tiltænkt at blive laserskåret og bukket, dog kræver basepladen ikke et buk. Tårnpladerne er spejlvendte i forhold til hinanden og har to buk i hver sin akse, det er at foretrække en sammensvejsning, hvor de to buk mødes. Der er ingen særlige krav til svejsningen.

9.5 Liften

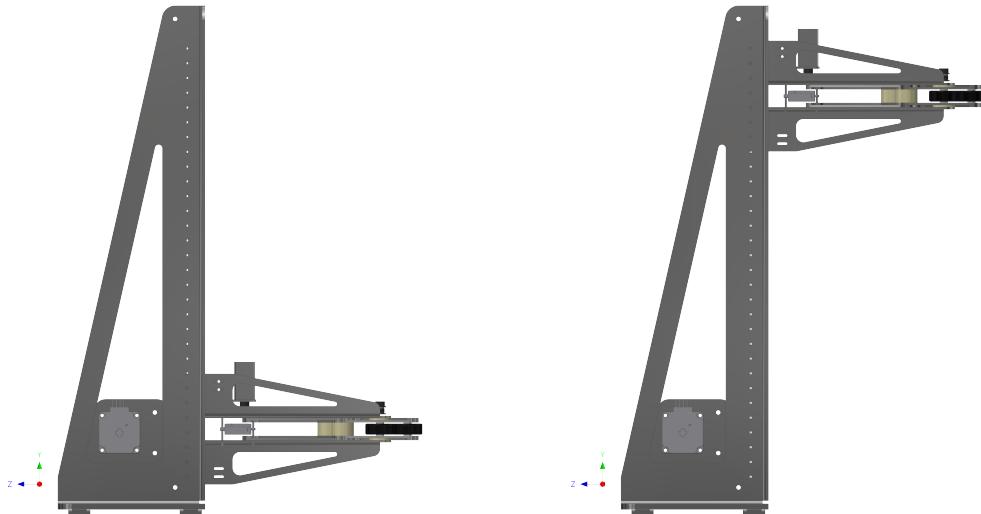


Figur 9.14: Gribemekanismen monteret i elevatorsøjlen.

Liften udgøres af hovedkomponenterne, nemlig gribemekanismen monteret i elevatorsøjlen som vist på figur 9.14. Udover indeholder liften også afstandsstykker til tandremskiverne, tandremskiver, klodser til tandremmen, en tandrem, medløberhjul og en stepmotor. En oversigt er at finde på figur 9.17.

Når gribemekanismen monteres i elevatorsøjlen, kan den bevæges vertikalt langs y-aksen. Dette er muligt ved hjælp af slæderne og de lineære styreskinner. Positioneringen af gribemekanismen styres af en stepmotor fra *Sanyo Denki* model 103H7126-5740 gennem en tandrem fra *Contitech* model 10T5/1500, denne er lukket. Fra nederste til øverste stilling er der en vandring på 451mm langs den 600mm lange styreskinne. For at sikre en høj indgrebsvinkel på den drivende tandremskive benyttes to medløberhjul, position 5 vist på figur 9.17. Tandremskiverne er valgt efter tandremmens modul, som er T5, og produceres af *RS Pro*, hvor modellen er 21T5/20-2.

Til at fiksere gribemekanismen til tandremmen, bruges forkloksen og samlebeslaget vist på henholdsvis figur 9.16(a) og (b). For at samlebeslaget kan fæstes omkring tandremmen monteres forkloksen først bagerst i gribemekanismen med en skrue. Derefter passer samlebeslaget



(a) Gribemekanisme i nederste stilling.

(b) Gribemekanisme i øverste stilling.

Figur 9.15: Figurene (a) og (b) viser gribemekanismen i sin laveste og højeste stillinger i elevatorsøjen, henholdsvis.



(a) Forklods til samlebeslaget.

(b) Samlebeslag til tandrem.

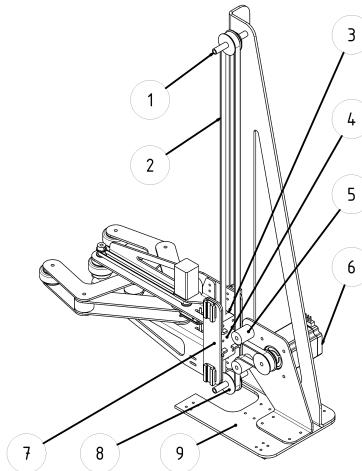
Figur 9.16: Figurene (a) og (b) viser forklodsen og samlebeslaget, der monteres på gribemekanismen og omkring tandremmen, respektivt.

henover tandremmen, hvor der er huller til tænderne, og sammensættes med seks skruer.

På figur 9.17 er der annoteret ni positioner for liften, de er som følger:

- | | | |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------|
| 1. Afstandsstykke | 4. Samlebeslag til tandrem | 7. Gribemekanismen |
| 2. Tandrem | 5. Medløberhjul | 8. Tandremeskive |
| 3. Forklods til samlebeslag | 6. Stepmotor | 9. Elevatorsøje |

9. LØSNINGEN



Figur 9.17: Ni positioner annoteret for liften, tårnplade og styreskinne fjernet for visuelt indblik.

9.5.1 Produktionsnotat

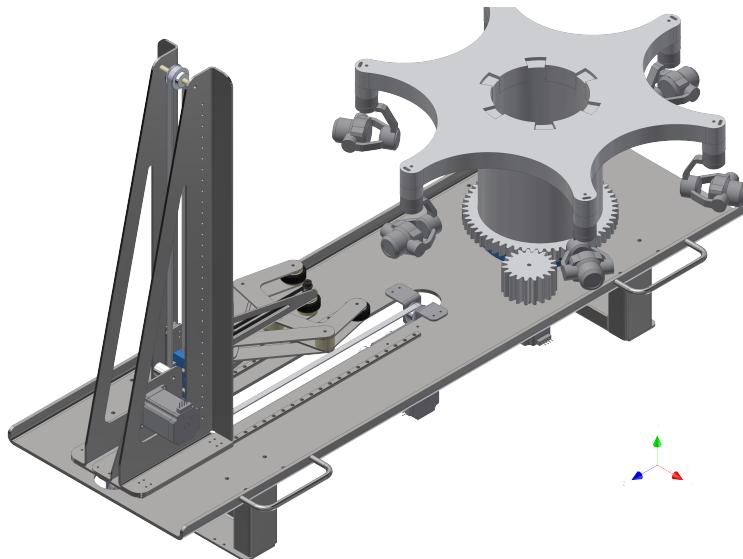
Af særlige dele på dette niveau af løsningen er der tale om afstandsstykkerne, forklodsen, samlebeslaget og medløberhjulene, henholdsvis positionerne 1, 3, 4 og 5 på figur 9.17.

Afstandsstykkerne må højest være diameter $\varnothing 9\text{mm}$, skal passe over akslen for tandremskiverne diameter $\varnothing 6\text{mm}$ og have en længde på 25mm^{+1}_{-1} . Materialet kan eksempelvis være nylon, for den lave friktion.

På grund af gribmekanismens smalhed er det ikke umiddelbart muligt at bruge et standard aluminium samlebeslag til tandremmen. Derfor er en ny og smallere designet med omtanke af 3D-print, det samme gælder for forklodsen til samlebeslaget. Dog kræver skruehullet til gribmekanismen støttemateriale under printning af forklodsen.

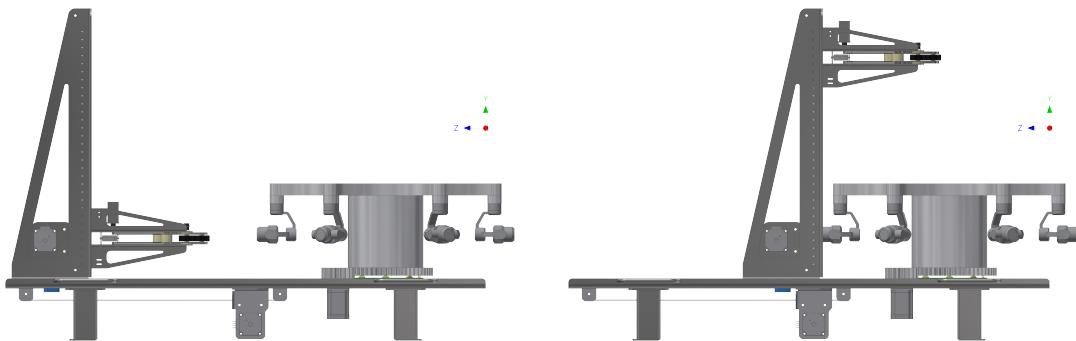
Der er ingen særlige krav til materialet af medløberhjulene, de kan produceres i samme materiale som tandremskiverne, som er af aluminium. Dimensioner er dog faste: diameter $\varnothing 22\text{mm}$, længde 27mm og et gennemgående hul for dens aksel.

9.6 Karrusel- & liftbordet



Figur 9.18: Karrusellen og liften monteret på et fælles bord med dummy payloads indsat.

På figur 9.18 ses karrusellen monteret oven på drejemekanismen og liften på bordpladen. Der er indsat dummyer af seks *DJI Zenmuse X4S*, for visualisering af et fuldt magasin. Bordpladen er monteret på bordben som har slæder under sig, dette muliggør at bordet kan trækkes ud ved de to håndtag så service gøres lettere. De forskellige dele kan ses på figur 9.20.



(a) Liften i bagerste samt laveste stilling.

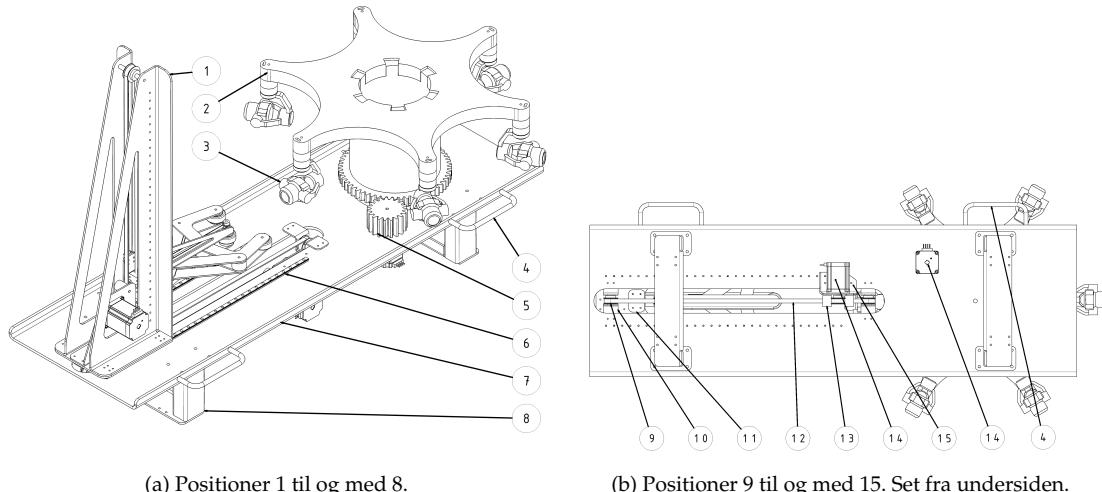
(b) Lift i forreste samt højeste stilling.

Figur 9.19: Figurene (a) og (b) viser liften i sine yderste stillinger.

De to lineære styreskinner fra *NSK* model *P1U090600SKN-PCT*, samme som i elevatorsøjen,

9. LØSNINGEN

gør det muligt for liften at bevæge sig horisontalt langs z-aksen, som vist med de to stillinger på figur 9.19(a) og (b). Vandringen fra bagerste til forreste stilling er 419mm, for at nå en payload i karrusellen kræves kun 187mm. I den forreste stilling vil liften komme i karambolage med payloads i karrusellen, derfor placeres dronen tættere på for at undgå dette.



Figur 9.20: Figurene (a) og (b) viser 15 annoterede positioner.

På figur 9.20 er der annoteret 15 positioner for bordet, de er som følger:

- | | | |
|------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1. Liften | 6. Lineær styreskinne | 11. Samlebeslag for tandrem |
| 2. Karrusellen | 7. Bordplade | 12. Tandrem |
| 3. Dummy | 8. Bordben | 13. Medløberhjul |
| 4. Håndtag | 9. Tandremeskive | 14. Stepmotor |
| 5. Drivende gear | 10. Tandremeskivebeslag | 15. Motorplade |

Positionerne 6, 9, 12 og 14 på figur 9.20 er identiske med komponenterne fundet i liften. Denne indeholder dog to stepermotorer, en til at drive tandremmen og en anden til at drive karrusellen gennem gearing.

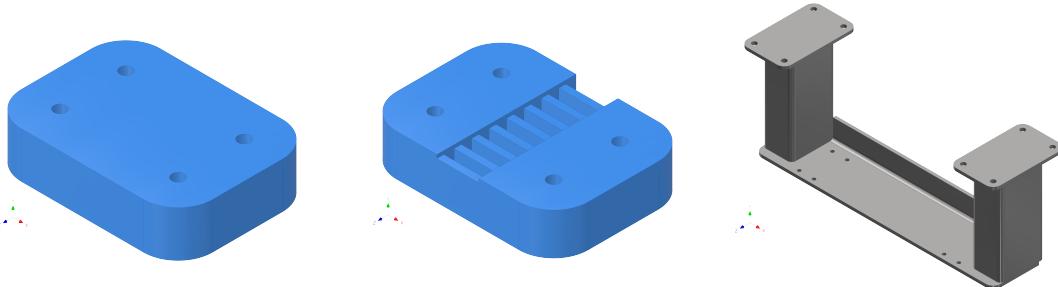
Position 10 på figur 9.20 er en holder til tandremeskiverne, i alt er der fire beslag og bruges til at centrere tandremeskiverne.

Position 15 på figur 9.20 er en motorplade for stepermotoren til liften, pladen holder begge medløberhjul samt motoren. Ingen ønskes en høj indgrebsvinkel, derfor benyttes medløberhjulene.

På figur 9.21(a) ses topklodsen for samlebeslaget, denne fungerer som afstandsstykke mellem tandrem og elevatorsøjlens baseplade.

Samlebeslaget, figur 9.21(b), har huller, der passer med tandremmens tænder og sikrer derved synkronisering mellem lift og tandrem.

Bordets ben gør hele bordet frit for at høje og komponenterne under ikke går mod løsningens



(a) Topklods for samlebeslag.

(b) Samlebeslag for tandrem.

(c) Bordpladens ben.

Figur 9.21: Figurene (a), (b) og (c) viser sættet til fiksering af liften til tandremmen samt bordbenene.

ramme, vist på figur 9.21(c). Der er også forberedt huller til slæder, så hele bordet kan bevæges horisontalt langs x-aksen.

9.6.1 Produktionsnotat

Håndtagene, position 4 figur 9.20, kan med nemhed fremstilles ved at skære et solidt rør af i korrekt længde, derefter bukkes og til sidste bore gevind i hver ende. Alternativt kan et hult rør bruges og svejses på, fremfor skrues på.

Det drivende gear, position 5 figur 9.20, er tiltænkt 3D-print.

Bordpladen, position 7 figur 9.20, er oplagt til laserskæring og derefter buk for at øge styrken om svageste akse for pladen.

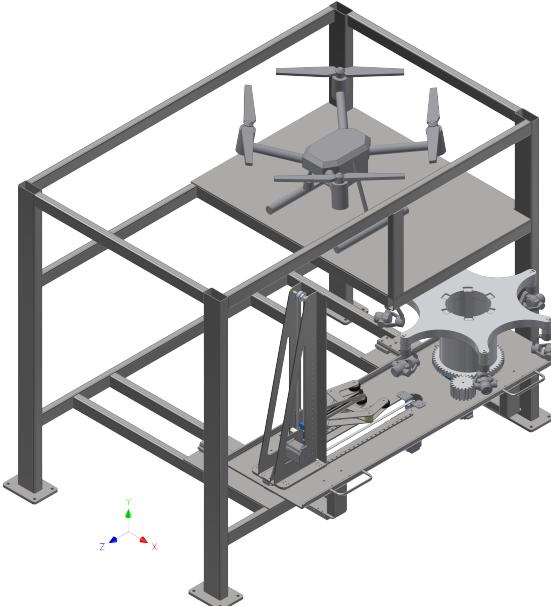
Bordbenene, position 8 figur 9.20 og 9.21(c), kan laves med to identiske laserskåret plader samt en yderligere med et buk og to styks firkant rør, hvor alle fem dele svejses sammen efter anvisning.

Tandremskivebeslagene, position 10 figur 9.20, kan også laserskæres og bukkes, disse er meget simple.

Topklodsen og samlebeslaget for tandremmen, position 11 figur 9.20 og 9.21(a) & (b), er forberedt og tiltænkt til 3D-print uden behov for støttemateriale.

Motorpladen, position 15 figur 9.20, er også kandidat til laserskæring og derefter to buk med en sammensvejsning, hvor de mødes.

9.7 Den endelige løsning

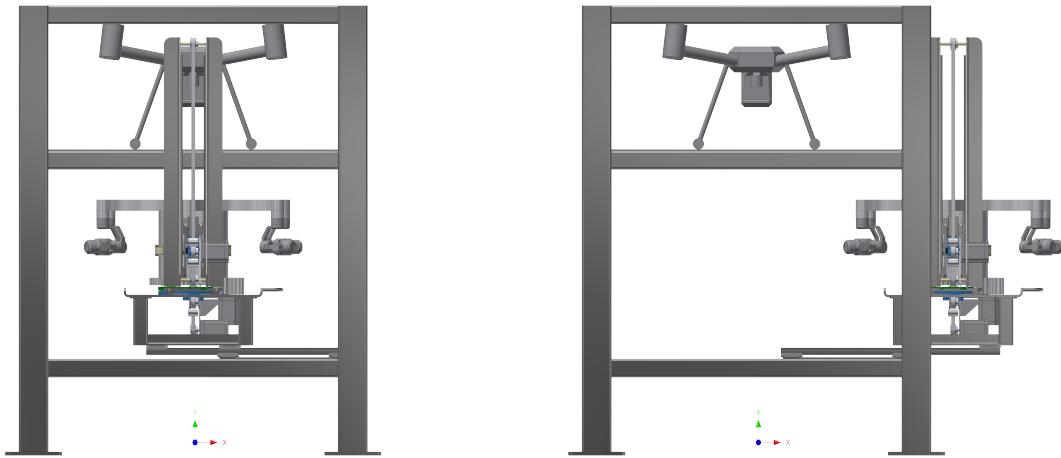


Figur 9.22: Den endelige løsning set ortografisk indsat i en stålramme inklusiv dummy af dronen og payload.

Den endelige løsning ses på figur 9.22, her er karrusel- & liftbordet indsat i en stålramme. Rammen er ment som et bud på en udformning og er derfor ikke nødvendigvis den optimale struktur, dog er den nødvendig for at vise hovedfunktionerne for den endelige løsning. Når bordet er samlet og placeret samt rammen betragtes som én kollektiv del, indeholder dette niveau af løsningen i alt 14 dele, heraf fire unikke plus dronen og payloads. Dummyer er indsat for at hjælpe visualisering af deres tiltænkte pladser i løsningen. De unikke dele ses på figur 9.24.

For at gøre service lettere kan bordet trækkes ud, som vist på figur 9.23. Denne funktion opnås med nogle større slæder og styreskinner end tidligere brugt. Slæderne er fra NSK model PE15AR og de lineære styreskinner er fra NSK model P1E150590PKN-PCT. Mekanismen for at trække bordet ud fungerer ved at montere to styreskinner med bunden mod hinanden og have slæder på modstående sider. Slæderne er derfor monteret på henholdsvis bordets ben og stålrammen. I alt krævet denne opsætning fire styreskinner og otte slæder.

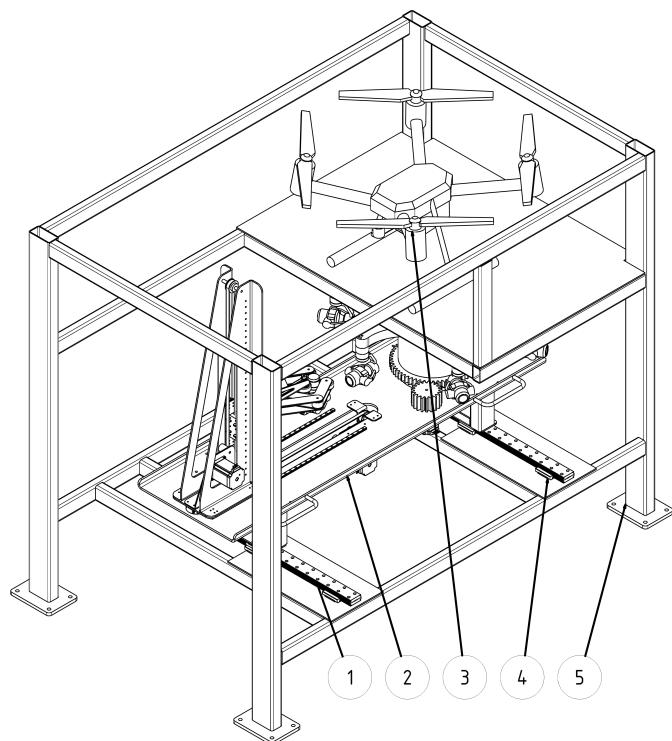
9.7. Den endelige løsning



(a) Bordet står i driftstilling.

(b) Bordet trukket ud til service.

Figur 9.23: Figurene (a) og (b) viser bordet i driftstilling samt servicestilling.



Figur 9.24: Fem positioner annoteret for den endelige løsning.

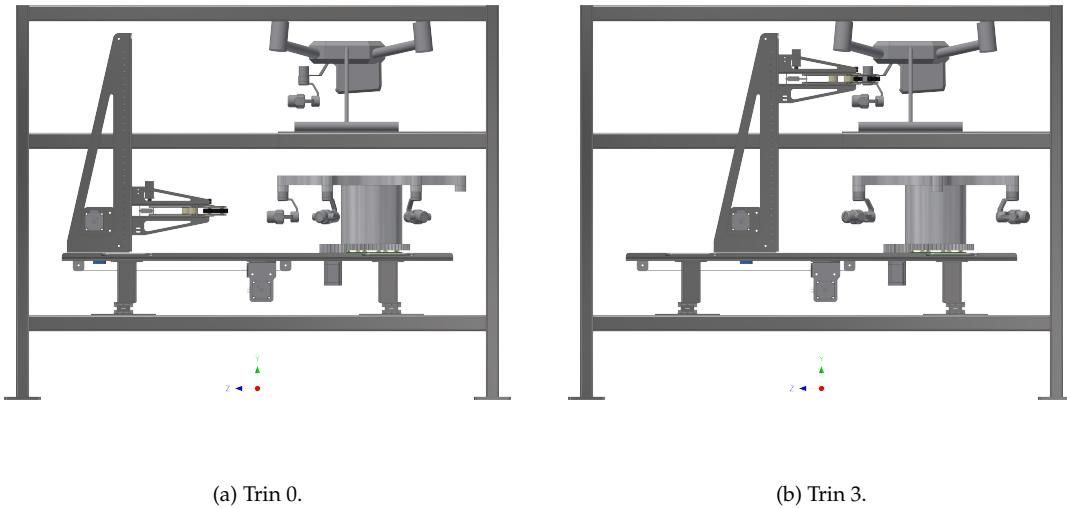
9. LØSNINGEN

På figur 9.24 er der annoteret fem positioner for den endelige løsning, de er som følger:

- | | |
|---------------------------|--------------|
| 1. Lineær styreskinne | 4. Slæde |
| 2. Karrusel- & liftbordet | |
| 3. Dummy af dronen | 5. Stålramme |

9.7.1 Skift af payload fra drone til magasin

Her vil en gennemgang af trinnene for at flytte en payload fra dronen til magasinet. Et trin betragtes som en ændring af liftens eller gribemekanismens position. For at illustrere trinnene bedre er noget af stålrammen fjernet i figurerne. Fire udvalgte trin har en tilhørende figur.



Figur 9.25: Figurene (a) og (b) viser liftens position i trin 0 og 3.

På figur 9.25(a) ses udgangspositionen for liften når den påbegynder et skift fra hviletilstand, trin 0.

Fra trin 0 til 1 ændres kun y-position, så gribemekanismen står i samme plan som payloadens låsemekanisme.

Fra trin 1 til 2 ændres kun z-position, så gribemekanismen kommer ind til payloaden.

Fra trin 2 til 3 lukker gribemekanismen omkring payloaden og løsner den derefter. Positionen er vist på figur 9.25(b)

Fra trin 3 til 4 ændres y-positionen, så payloaden fjernes helt fra dronen.

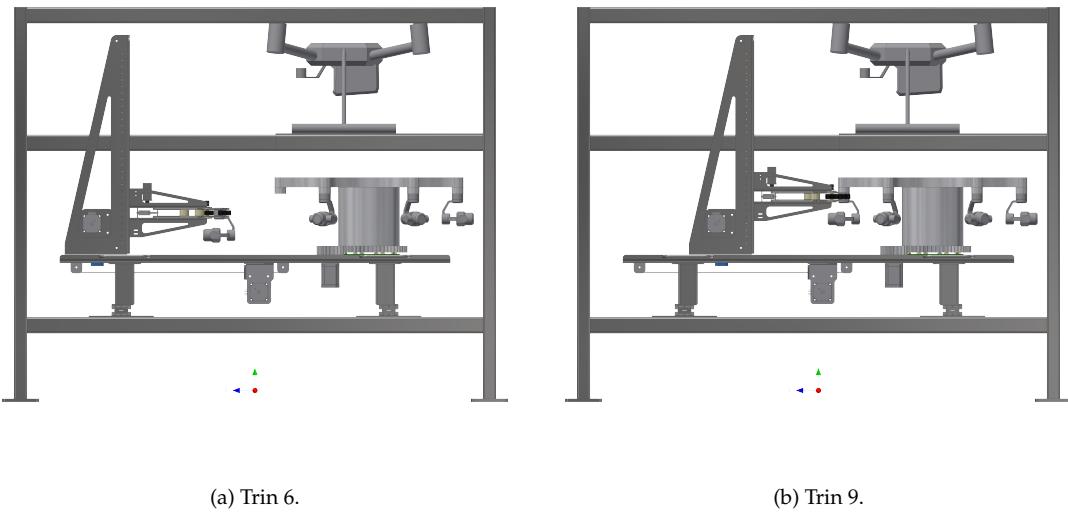
Fra trin 4 til 5 ændres z-positionen, så liften kommer fri af dronen.

Fra trin 5 til 6 ændres y-positionen, så gribemekanismen er klar til at komme under karrusellen. Vist på figur 9.26(a).

Fra trin 6 til 7 ændres z-positionen, så payloaden står under et tomt sæde.

Fra trin 7 til 8 ændres y-positionen, så payloaden kommer ind i et sæde og derefter sikres den med centerhjulet.

9.7. Den endelige løsning



Figur 9.26: Figurene (a) og (b) viser liftens position i trin 6 og 9.

Fra trin 8 til 9 åbner gribemekanismen igen. Vist på figur 9.26(b).
Fra trin 9 til 10 ændres z-positionen, så liften kommer fri af karrusellen.

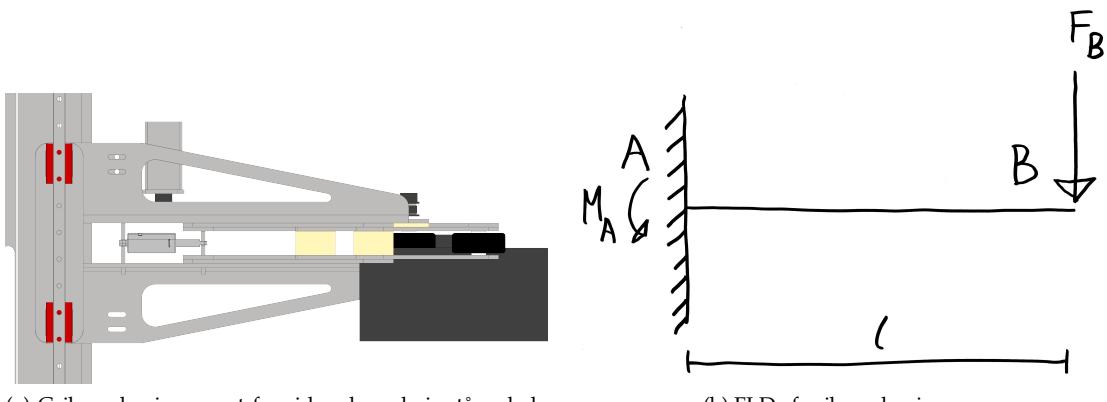
Beregninger

For at sikre de valgte komponenter er korrekte og tilsvarende til deres funktion, er det nødvendigt at foretage kontrollerende beregninger for dem. I dette kapitel vil der derfor være udregninger at finde for udvalgte komponenter samt statiske og dynamiske tilfælde.

10.1 Slæder & styreskinner

I den endelige løsning, beskrevet i afsnit 9.7 side 46, benyttes to forskellige modeller af slæder samt lineære styreskinner. I alt bruges de tre forskellige steder og måder. Det er vigtigt disse dimensioneres korrekt i henhold til producentens anvisninger, ellers kan deformation forekomme og på den måde sætte maskinen ud af drift. Datablad for styreskinner samt slæder findes i bilag B1 fra side 94.

10.1.1 Lift vertikalt



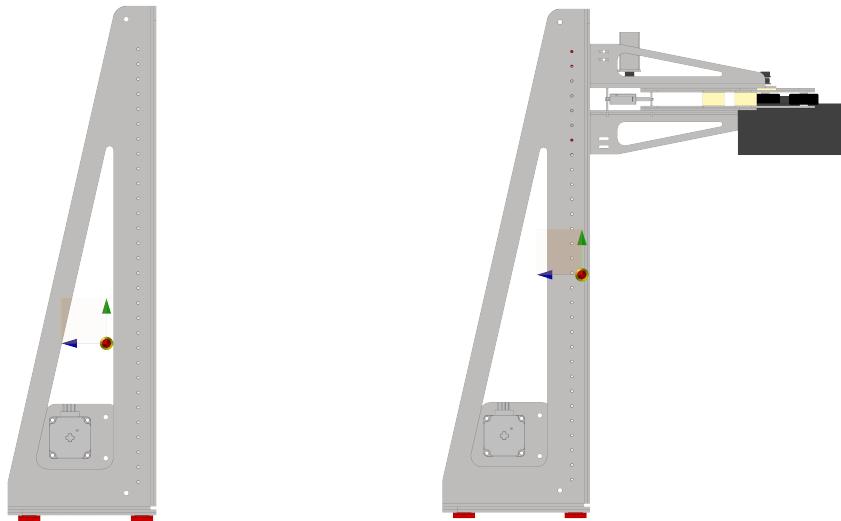
Figur 10.1: Figurene (a) og (b) viser gribemekanismen i elevatorsøjlen og omsat til FLD, respektivt.

Til at guide gribemekanismen vertikalt benyttes et skinnesystem med slæder, som vist på figur 10.1(a). For at kontrollere om de valgte slæder er stærke nok, er gribemekanismen omsat til et frit legeme diagram, vist på figur 10.1(b). Momentet i A vil udtrykke det slæderne skal kunne modstå. Den samlede masse af gribemekanismen inklusiv payload er $m_{griber} = 3.600\text{g}$, hvilket svarer til $F_{griber} = 36\text{N}$, når der rundes op til nærmeste heltal. Som en foranstaltning placeres denne kraft over payloadens centrum så $F_B = F_{griber}$. Afstanden fra midten af skinnen til kraften er derfor $l = 302\text{mm}$. Med disse værdier bestemt kan momentet i A beregnes:

$$M_A = F_B \cdot l = 10,87\text{Nm} \quad (10.1)$$

Det fundne moment i ligning 10.1 overstiger momentet den enkelte slæde kan tåle: 6Nm . Dog bemærkes det at der er to par af to, altså i alt fire slæder, der tilsammen kan klare et højt moment end M_A . Hermed konkluderes det at de valgte slæder er tilstrækkelige. Beregninger fra Mathcad findes i appendiks A7 side 85.

10.1.2 Lift horisontalt

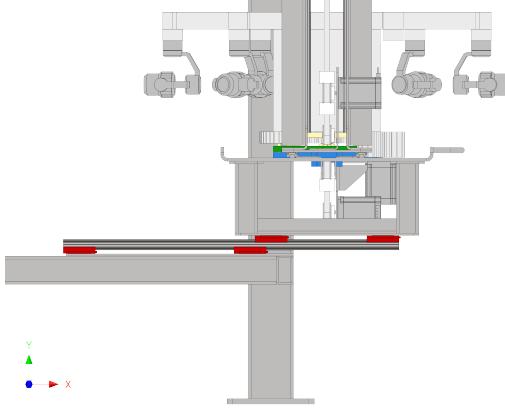


(a) Tyngdepunkt for liften uden gribemekanisme og payload. Slæder markeret i bunden med rød.
 (b) Tyngdepunkt for liften med gribemekanisme og payload. Slæder markeret i bunden med rød.

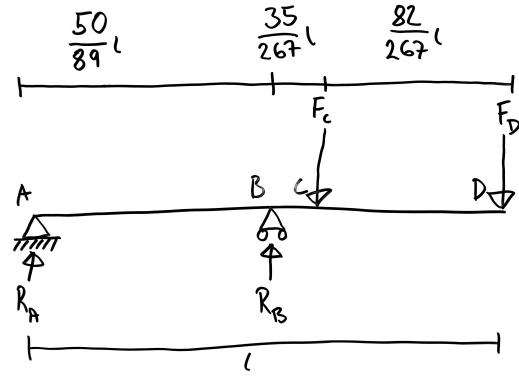
Figur 10.2: Figurene (a) og (b) viser liftens tyngdepunkter.

Skinnesystemet for at guide liften horisontalt er identisk med det vertikale system. Uden gribemekanismen samt payload er tyngdepunktet mellem de to slædepar, som vist på figur 10.2(a), derfor udsættes de udelukkende for liftens masse. Indsættes gribemekanismen samt payload, som vist på figur 10.2(b), flyttes tyngdepunktet ud på den det forreste slædepar. Dette betyder slæderne kun udsættes for den samlede masse for lift og payload: $m_{lift,total} = 11\text{kg}$, aflæst i Inventor, svarende til $F_{lift,total} = 108,02\text{N}$. Slæderne kan enkeltvis tåle en dynamisk last på 1.490N og en statisk på 2.150N . Hvilket vil sige skinnesystemet kan modstå liftens samlede masse.

10.1.3 Bordet horisontalt



(a) Karrusel- & liftbordet set fra siden, hvor bordet er trukket helt ud. Slæderne er markeret med rød.



(b) FLD af bordet.

Figur 10.3: Figurene (a) og (b) viser bordet i servicestilling og omsat til FLD, respektivt.

Slæderne for bordet belastes mest i servicestillingen, som vist på figur 10.3(a). Med materialeerne indtastet i Inventor fra produktionsnotaterne i underafsnit 9.1.1, 9.2.1, 9.3.1, 9.4.1, 9.5.1 og 9.6.1 oplyses massen til $m_{bord} = 42\text{kg}$. På grund af symmetri lastes bordets slæder ligeligt af massen, hvor den totale kraft er $F_{total} = 420\text{N}$ rundet op til nærmeste runde tal.

Frit legeme diagrammet vist på figur 10.3(b) er en simpel betragtning for bordet i servicestilling, vist på figur 10.3(a). Reaktionerne, R_A og R_B , undersøges for deres størrelser, da disse har betydning for valget af slæder til systemet. Med diagrammet opstillet kan ligevægt om A og B findes når $l = 534\text{mm}$:

$$F_C = F_D = \frac{F_{total}}{2} = 210\text{N} \quad (10.2)$$

Ligevægt om A:

$$M_A = F_C \left(\frac{35}{267} + \frac{50}{89} \right) l + F_D \left(\frac{82}{267} + \frac{35}{267} + \frac{50}{89} \right) l - R_B \frac{50}{89} l = 0 \quad (10.3)$$

R_B isoleret og udregnet:

$$R_B = F_C \frac{\left(\frac{35}{267} + \frac{50}{89} \right) l}{\frac{50}{89} l} + F_D \frac{\left(\frac{82}{267} + \frac{35}{267} + \frac{50}{89} \right) l}{\frac{50}{89} l} = 632,8\text{N} \quad (10.4)$$

Ligevægt om B:

$$M_B = F_C \frac{35}{267} l + F_D \left(\frac{82}{267} + \frac{35}{267} \right) l - R_A \frac{50}{89} l = 0 \quad (10.5)$$

R_A isoleret og udregnet:

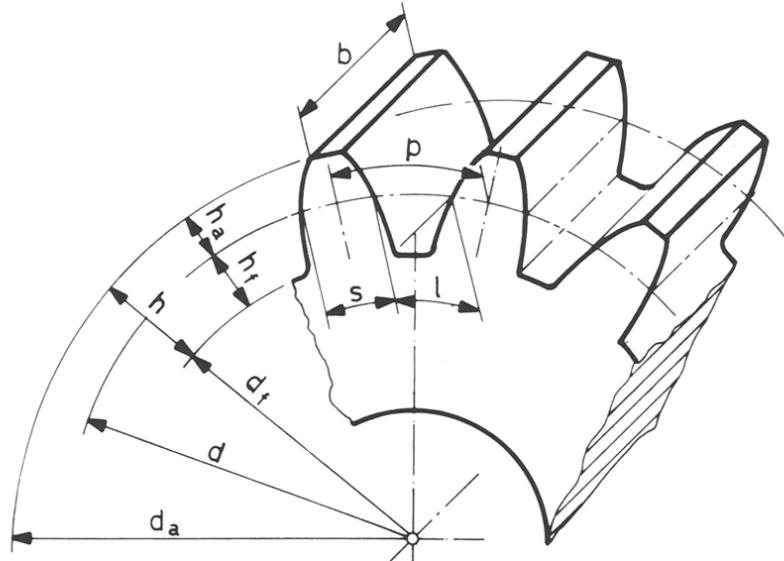
$$R_A = F_C \frac{\frac{35}{267} l}{\frac{50}{89} l} + F_D \frac{\left(\frac{82}{267} + \frac{35}{267} \right) l}{\frac{50}{89} l} = 212,8\text{N} \quad (10.6)$$

Med de fundne reaktioner i ligningerne 10.4 og 10.6 kan dette sammenlignes med de valgte slæder fra NSK model PE15AR. Slæderne kan tåle en dynamisk last på 7.600N samt en statisk

10.1. Slæder & styreskinner

på 10.400N, begge værdier er suveræne over reaktionerne R_A og R_B . Der konkluderes hermed at de valgte slæder og lineære styreskinner kan bære karrusel- & liftbordet i servicestillingen. Beregninger fra Mathcad findes i appendiks A1 side 73.

10.2 Tandhjulsberegninger



Figur 10.4: Betegnelser for tandhjul, som vist på side 484 i Maskin Ståbi. [11]

For at bestemme tandhjulene benyttes Roloff/Matek kapitel 21 [10] samt Maskin Ståbi kapitel 13 [11]. De generelle betegnelser fra figur 10.4 benyttes.
I dette tilfælde stilles der krav til størrelsen af det drevet tandhjul, cylinderen med udvendig gear som vist på figur 9.4(a) side 31, da den skal placeres oven på drejemekanismen vist på figur 9.5 side 33. Diameter for denne er $\varnothing 189\text{mm}$, heraf skal bundcirkeldiameteren være mindre. Delecirkeldiameteren for det drevet tandhjul sættes hermed: $d_2 = 228\text{mm}$. Samtidig ønskes et omsætningsforhold således at 100 steps fra motoren svarer til et sædeskift i karrusellen. Den valgte stepmotor yder højeste moment $M_1 = 1,6\text{Nm}$ ved $\omega_{motor} = 60\text{rpm} = 2\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$, derfor tages der udgangspunkt fremover med denne vinkelhastighed. Én omgang for motoren tager 200 steps. Da karrusellen udgør en hel cirkel og sæderne fordelt jævnt er vinklen mellem dem:

$$\theta_{sæde} = \frac{2\pi}{6} \text{rad} = \frac{\pi}{3} \text{rad} \quad (10.7)$$

Nu kan omsætningsforholdet, i , regnes:

$$i = \frac{\pi}{\theta_{sæde}} = 3 \quad (10.8)$$

Med et kendt omsætningsforhold kan det drivende tandhjuls delecirkeldiameter, d , defineres:

$$d_1 = \frac{d_2}{i} = 76\text{mm} \quad (10.9)$$

Modulet, svarende til tandhovedhøjden, h_a , vælges til $m_{modul} = h_a = 4\text{mm}$ så moduldeling, p , kan defineres:

$$p = \pi \cdot m_{modul} = 12,57\text{mm} \quad (10.10)$$

10.2. Tandhjulsberegninger

Herefter kan antal tænder, z , for begge tandhjul bestemmes:

$$z_1 = \frac{d_1}{m_{modul}} = 19 \quad (10.11)$$

$$z_2 = \frac{d_2}{m_{modul}} = 57 \quad (10.12)$$

For topcirkeldiameteren, d_a , gælder:

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m_{modul} = 84\text{mm} \quad (10.13)$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m_{modul} = 236\text{mm} \quad (10.14)$$

Bundcirkeldiameteren, d_f , findes også:

$$d_{f1} = d_1 - 2,5 \cdot m_{modul} = 66\text{mm} \quad (10.15)$$

$$d_{f2} = d_2 - 2,5 \cdot m_{modul} = 218\text{mm} \quad (10.16)$$

Da d_{f2} er større end drejemekanismen på $\varnothing 189\text{mm}$ anses dette for at være tilladelig.
Tandhøjden, h , udregnes:

$$h = 2,15 \cdot m_{modul} = 8,6\text{mm} \quad (10.17)$$

Tandfodshøjden, h_f , er:

$$h_f = h - h_a = 4,6\text{mm} \quad (10.18)$$

For tandtykkelsen, s , er følgende gældende:

$$s = \frac{\pi \cdot m_{modul}}{2} = 6,28\text{mm} \quad (10.19)$$

Tandbredden, b , bestemmes til at have faktor 5:

$$b = 5 \cdot m_{modul} = 20\text{mm} \quad (10.20)$$

Indgrebsvinklen er standardiseret i Europa til: $\alpha = 20^\circ$.
Indgrebsdeling, p_e , kendes ved:

$$p_e = p \cdot \cos(\alpha) = 11,81\text{mm} \quad (10.21)$$

Akselafstanden, a_d :

$$a_d = \frac{d_1 + d_2}{2} = 152\text{mm} \quad (10.22)$$

Grundkredsdiamenten, d_b :

$$d_{b1} = d_1 \cdot \cos(\alpha) = 71,42\text{mm} \quad (10.23)$$

$$d_{b2} = d_2 \cdot \cos(\alpha) = 214,25\text{mm} \quad (10.24)$$

Indgrebsstrækningen, g_α :

$$g_\alpha = \frac{1}{2} (\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \frac{z_2}{|z_2|} \cdot \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2}) - a_d \cdot \sin(\alpha) = 19,6\text{mm} \quad (10.25)$$

Indgrebsgraden, ε_α :

$$\varepsilon_\alpha = \frac{g_\alpha}{p_e} = 1,66 \quad (10.26)$$

Momenterne, M , i tandhjulene:

$$M_1 = 1,6\text{Nm} \quad (10.27)$$

$$M_2 = i \cdot M_1 = 4,8\text{Nm} \quad (10.28)$$

Den samlede tandkraft, F_t :

$$F_t = \frac{M_1}{\frac{1}{2}d_1} + \frac{M_2}{\frac{1}{2}d_2} = 84,21\text{N} \quad (10.29)$$

For at eftervise sikkerhed mod brud benyttes denne formel:

$$\frac{F_t}{bm} Y_F \cdot Y_\varepsilon \leq \frac{\sigma_{Fl}}{S_F} \quad (10.30)$$

Hvor Y_F er tandformfaktoren slæt op Måskin Ståbi på figur 13.1 med antal tænder, da der bruges den samlede tandkraft benyttes $z_n = z_1 + z_2 = 76$. Her ses det at $Y_F = 2,25$. Kraftreduktionsfaktoren er

$$Y_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_\alpha} = 0,602 \quad (10.31)$$

Tandmaterialets ud mattelsesstyrke for brud, σ_{Fl} , kendes ikke. Dog har *Airwolf 3D* [12] foretaget forsøg med printede dele, hvor brudstyrken lå mellem 38,6MPa og 46,4MPa for to forskellige typer ABS-plast. Med dette sættes en særdeles konservativ værdi $\sigma_{Fl} = 20\text{MPa}$ og en høj sikkerhedsfaktor $S_F = 10$. Hermed fås:

$$\frac{F_t}{bm} Y_F \cdot Y_\varepsilon = 1,43\text{MPa} \leq 2\text{MPa} = \frac{\sigma_{Fl}}{S_F} \quad (10.32)$$

Ovenstående er korrekt, dermed konkluderes at tandhjulene kan holde til belastningen. Yderligere beregning vil ikke give mening, da både Maskin Ståbi samt Roloff/Matek tager udgangspunkt i tandhjul af stål. Beregninger i Mathcad findes i appendiks A6 side 84.

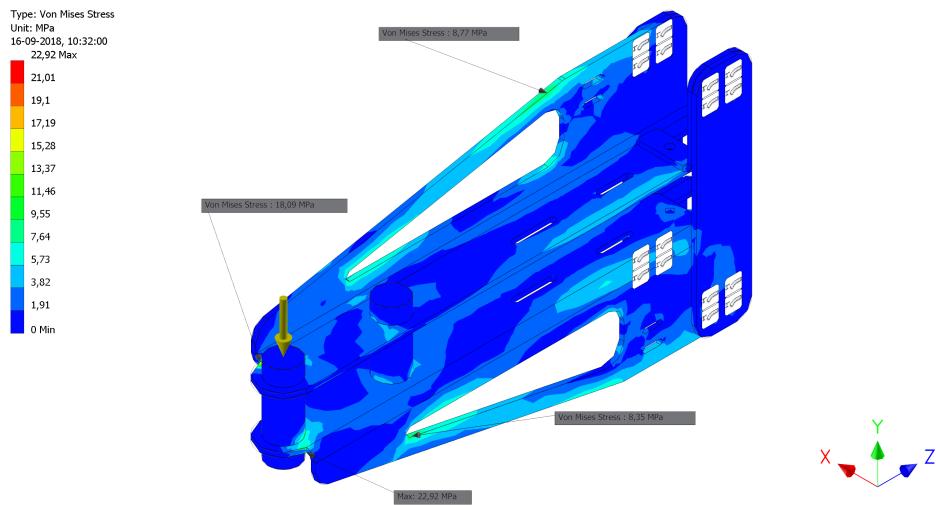
10.3 Analyse af stress

Igennem Autodesk Inventor Stress Analysis Environment er en forsimplet udgave af gribmekanismen sat op. Resultaterne med interesse at spændingerne gennem den bærende ramme, som vist på figur 9.8(a), samt flytningen i y-retningen.

Spændingerne har interesse da det er indikator for, hvorvidt konstruktionen kan tåle den tiltænkte last. Det vurderes at den bærende ramme for gribmekanismen er den mest kritiske del, når den er opspændt i elevatorsøjlen mens den bærer en payload. Rammen bærer den fulde vægt af payloaden $m_{payload} = 600\text{g}$, hvilket svarer til en kraft på $F_{payload} = 6\text{N}$, når den rundes op til nærmeste heltal. For at regne særligt konservativt øges kraften over 16 gange til $F = 100\text{N}$, denne sikkerhedsfaktor sikrer også imod uforudsete lasttilfælde og svarer til højeste kraft motoren kan levere.

Flytning i y-retning er særlig interessant for dette delelement, da dens operative område er et fikseret koordinatsystem. Hvis rammen har uacceptabel udbøjning, falder pålideligheden af koordinatsystemet og der skal tages hensyn til dette, når stepmotoren foretager et step. Opsætningen er magen til den for spændingerne.

Simplificeringen af rammen opnås ved at fjerne slæderne samt indsætte dummy-aksler for gribmekanismen. Herefter er skruenhullerne i slædepladerne fikseret og kontaktfladerne ændret til mere retsvisende tilfælde. Lasten placeres samme sted som centerhjulet ville side.



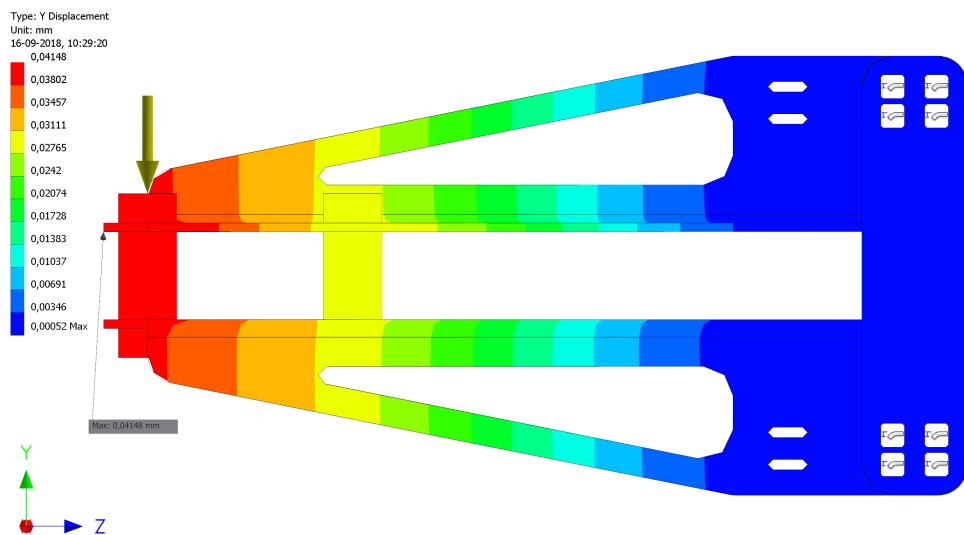
Figur 10.5: Von Mises Stress analyse i Inventorlastet lastet med 100N.

Figur 10.5 viser Von Mises spændinger igennem rammen. Den højeste spænding findes i bukken på nederste plade nærmest centerhjulet, dette er forventeligt da det skarpe buk har en kærv-effekt og dermed har en spændingskoncentration på $\sigma_{ref,max} = 22,92\text{MPa}$. Taget den lave

10. BEREGNINGER

værdi i betragtning samt den betydelig forhøjet last, giver dette ikke anledning til en hotspot-analyse med forfinet mesh i området. For den øverste plade findes samme fænomen, her er spænding dog lavere ved $\sigma_{ref} = 18,09\text{MPa}$.

Som forventet fungerer øverste plade som en trækstang og nederste som trykstang, dette ses ved at spændingen er højest tæt på slæderne øverst med $\sigma_{ref,toptraek} = 8,77\text{MPa}$ og tæt ved centerhjulet nederst med $\sigma_{ref,bundtryk} = 8,35\text{MPa}$.



Figur 10.6: Flytning i y-retning i Inventor lastet med 100N.

For flytning i y-retning, som vist på figur 10.6, findes den gennem værktøjet i Inventor til $\delta_y = 0,04148\text{mm}$. Værdien er så ekstrem lav at ingen yderligere analyse findes nødvendig.

10.4 Kontrol af motorstørrelse til rotation af karrusel

For at sikre den korrekte stepmotor er valgt til at rottere karrusellen, sammenlignes det nødvendige moment stillet af delelementet med motorens, $M_{motor} = 1,6\text{Nm}$ ved $\omega_{motor} = 2\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$. Omsætningsforholdet er defineret i ligning 10.8 til $i = 3$. Datablad for motoren findes i bilag B2 side 99.

For at bestemme det nødvendige moment anvendes formlen:

$$T = I \frac{\omega}{t} \quad (10.33)$$

Hvor T er moment, I er masseinertimoment, ω er vinkelhastighed og t er tid.

Masseinertimomentet for karrusellen, inklusiv payloads, om y-aksen aflæses direkte i Inventor til:

$$I_{yy} = 313.070,464 \text{kg} \cdot \text{mm}^2 \quad (10.34)$$

Vinkelhastigheden for karrusellen kan findes med omsætningsforholdet:

$$\omega_{karrusel} = \frac{\omega_{motor}}{i} = 2,1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (10.35)$$

Til sidst mangles kun tiden, hvori karrusellen skal accelereres i, en kortere tid kræver højere moment. Tiden sættes relativ lav til $t = 0,5\text{s}$.

Hermed kan mindste moment bestemmes:

$$M_{min} = I_{yy} \frac{\omega_{karrusel}}{t} = 1,31\text{Nm} \quad (10.36)$$

Da $M_{motor} > M_{min}$ konkluderes at den valgte stepmotor er tilstrækkelig til at drive karrusellen. Beregninger fra Mathcad findes i appendiks A3 side 76.

10.5 Kontrol af motorstørrelse til løft af gribemekanismen

For at kontrollere stepmotoren valgt til at løfte gribemekanismen kan udføre opgaven, sammenlignes motorens holdmoment, $M_{motor} = 1,6\text{Nm}$, med gribemekanismens ydende moment på tandremskiven.

Bruges materialerne fra produktionsnotatet, 9.3.1, i Inventor findes massen til $2,918\text{kg}$, denne rundes op således $m_{griber} = 3.000\text{g}$.

Højeste tilladt masse er defineret i underafsnit 4.4.1 til $m_{payload} = 600\text{g}$. Den totale masse for gribemekanismen er derfor:

$$m_{totalt} = m_{griber} + m_{payload} = 3.600\text{g} \quad (10.37)$$

Massen omsættes til en kraft ved hjælp af tyngdeacceleration:

$$F_{total} = m_{total} \cdot g = 36\text{N} \quad (10.38)$$

Kraften F_{total} betragtes som det motoren skal løfte, da slæderne sammen med styreskinne ikke vrides. Denne kraft anses også som værende konservativ, da den er rundet op til nærmeste heltal.

Motorens bevægelse omsættes fra rotation til lineær ved hjælp af tandrem og tandremskiver, der er ikke noget omsætningsforhold mellem skiverne, derfor kan motorens moment benyttes i skiven over gribemekanismen, som betragtes som bærende for den. Denne tandremskive har en diameter $d_t = 32\text{mm}$ og dermed en radius $r_t = 16\text{mm}$. Hermed kan momentet produceret af gribemekanismen bestemmes:

$$M_{griber} = F_{total} \cdot r_t = 0,58\text{Nm} \quad (10.39)$$

Det viser sig at $M_{motor} > M_{griber}$ og dermed kan stepmotorens holdmoment løfte gribemekanismen inklusiv payload. Beregninger fra Mathcad findes i appendiks A4 side 77.

10.6 Dynamisk påvirkning af payload i karrusellen

Da karrusellen roterer om sin egen akse opstår der dynamiske kræfter samt accelerationer. Disse skal analyseres og vurderes, hvorvidt de er tilladelige. Der tages udgangspunkt i stepmotorens vinkelhastighed ved højeste moment: $\omega_{motor} = 2\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$. Med omsætningsforholdet $i = 3$ kender vi karrusellens vinkelhastighed, som vist i ligning 10.35, $\omega_{karrusel} = 2,1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$. Radius til centrum at payload svarer til radius til et sæde, der måles i Inventor til $r_{payload} = 272\text{mm}$. Hermed kan den tangentiale hastighed bestemmes for payloaden:

$$v_{payload} = \omega_{karrusel} \cdot r_{payload} = 0,57 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (10.40)$$

Hermed kan centripetalaccelerationen regnes:

$$a_c = \frac{v_{payload}^2}{r_{payload}} = 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (10.41)$$

Massen for en payload defineres i underafsnit 4.4.1 til $m_{payload} = 600\text{g}$.
Med denne kan centripetalkraften udregnes:

$$F_c = m_{payload} \cdot a_c = 0,72\text{N} \quad (10.42)$$

Med værdierne fundet i ligningerne 10.40, 10.41 og 10.42, vurderes at payloads udsættes for relativ små kræfter og acceleration under drift og dermed ikke tager skade. Beregninger fra Mathcad findes i appendiks A2 75.

Diskussion

Dronen *DJI M210* bærer meget præg af at være designet til at blive håndteret af et menneske, dette gør det til en udfordring at designe et alsidigt system for automatisk udskiftning af payloaden. Her tænkes der især på låsemekanismen i *Skyport*. Platformens specifikationer holder udvikleren tilbage mod at man bliver abonnent hos dem. Dog har det stadig været muligt at finde en løsning på netop disse udfordringer.

Gennem afsnittet for beregning, afsnit 10 fra side 51, står det klart at der er tale om relativ små kræfter og reaktioner i systemet. Dette kommer sig af den lave masse en payload må have på platformen. Yderligere spiller motorernes lave omdrejningstal også ind. Udgangspunktet i samtlige beregninger, hvor stepmotoren indgik, har været omdrejningstallet ved højeste moment, som igen er relativ lille. Motoren kan køre hurtigere, men med de små flytninger bliver dette næppe en situation for løsningen at blive udsat for.

Skinnesystemet til vertikal løft i liften, afsnit 10.1.1 side 52, skønnes værende passende valgt og dimensioneret, da dette primært udsættes for moment og *PU09TR* ligger i nærheden af de fundne værdier, ifølge producenten. Hvad angår horizontal bevægelse for liften kan et mindre skinnesystem eventuelt bruges, da de er meget stærke mod tryk og træk laster, som angivet i afsnit 10.1.2 side 53. Skinnesystemet for horizontal flytning til servicestilling for karrusel- & liftbordet, afsnit 10.1.3 side 54, afviger fra de andre ved at være en kraftigere type. Den fundne reaktioner ligger langt fra skinnesystemets højeste tilladelige belastning, her kan der vælges hvorvidt en mindre type skal benyttes, om de skal helt undlades eller om de skal være blivende. Som argument for at beholde denne model kan man overveje, om et lasttilfælde med en person, der bruger servicestillingen som et trappetrin på maskinen, er muligt. Samme argument kan stilles for at undlade funktionen og dermed muligheden for sådan et tilfælde.

Valget af materiale for tandhjulene kommer med udfordringer; det er en relativ ny måde at producere dem på, 3D-printning. Denne metode ses ofte hos entusiaster på et hobbyniveau, dog har det stor fremgang inden for Rapid Prototyping, da prototyper med sådan en del sjældent har andre formål end proof-of-concept. Udfordringen for tandhjulene i dette tilfælde udgøres af beregningerne, afsnit 10.2 side 56, hvor de anvendte teorier fra Maskin Ståbi og Roloff/Matek er baseret på tandhjul af den ene eller anden type stållegering. Det skønnes dog at tandhjulene sagtens kan holde, især de ved lave kræfter de udsættes for.

Generelt gennem beregningerne er der blevet regnet meget konservativt, dette kommer især til udtryk i analysen af stress og udbøjning, afsnit 10.3 side 59. De fundne Von Mises spændinger er relativ lave, samme gælder for udbøjningen, dette giver anledning til at overveje, hvorvidt netop gribmekanismen er overdimensioneret mere end nødvendigt og der dermed er noget

11. DISKUSSION

at spare i produktionsøjemed. Dog er en meget lav udbøjning at foretrække, da dette betyder løsningen ikke skal tage højde for et ændret koordinatsystem, når den flytter en payload. Designet af løsningen er ikke fuldkommen sikret mod at blive samlet forkert, selvom nogle dele nedsætter risikoen. Det er også vigtigt at tage målgruppen i betragtning her, da det ikke er tiltænkt den almene, men et kommersIELT foretagende.

Konklusion

I starten af projektet blev det initierende problem bestemt:

Hvordan designes et automatisk anlæg til DJI M210 for skiftning af payload, så løsningen er på et modent konceptniveau?

Det kan konkluderes at en løsning er fundet og konceptniveauer er relativt modent. Løsningen indeholder dimensionerede tandhjul samt motorer, tandremme, tandremskiver og aktuator så løsningen kan udføre den funktion, der i begyndelse blev søgt. Det skal nævnes at udfordringen omkring låsemekanismen i *Skyport* ikke er løst med løsningens nuværende udformning. Denne udfordring blev opdaget meget sent i designfasen, men det anslås at den nemt kan overkommes med en tap placeret på gribemekanismen.

De primære krav stillet i afsnit 6.1 side 17 opfylder løsningen: den er automatisk, langt i konceptniveau, kan tåle temperaturintervallet og er drevet elektrisk. De sekundære krav stillet i afsnit 6.2 side 18 opfylder løsningen også.

- Den kan skaleres ved at skifte toppladen vist på figur 9.4(b) til en med plads til flere payloads.
- Kompaktheden opnås ved dronen placering i tomrummet over karrusellen.
- Med servicestillingen, de letudskiftelige sæder samt let adgang til det drivende tandhjul er der tiltag for at øge servicevenligheden og dermed nedsætte tiden, hvori maskinen er ude af drift.
- Udeladt fra denne rapport er udskiftningstiden, dog er et overslag lavet, hvor et fuldt skift tager mindre end ét minut. For at finde den reelle tid kræves rampetiderne for motorerne kendes, med de lave hastigheder anslås disse til at være korte og derfor vil den korrekte tid ikke være meget længere end overslaget. Overslaget findes i appendiks A5 side 80.
- Der anerkendes at løsning har en vis grad af kompleksitet for at blive samlet. Denne er dog nedsat ved at anvende ens typer og længder af tandremme, tandremskiver samt

12. KONKLUSION

stepmotorerne dertil, med gribmekanismen undtaget. Det samme gælder for skinnesystemerne, hvor samme type deles af både vertikal og horizontal bevægelse for liften, her er den differentierende type forbeholdte karrusel- & liftbordet.

Med implementeringen af skinnesystemet for servicestillingen åbner det mulighed for at motoriserer denne. Hvis man vælger at undersøge dette nærmere, vil man opdage at løsningen kan skifte payloads i et dual-gimbal-downward system, hvor to payloads er ved siden af hinanden på en *DJI M210*.

Det generelle indtryk denne process har givet er større indblik og forståelse for baggrund af andre løsningers valg med udvikling af egen totalløsning, hvor drone og anlæg er skræddersyet til hinanden. Årsagen til disse ikke før er nævnt i dette værk er at de indeholder ikke eksisterende droner fra andre producenter end dem selv. Dette kommer især til udtryk når det opleves at de gængse dronemodeller er designet omkring, hvordan man kan bruge sin hånd. Løsningen fundet i dette værk passer udelukkende til *DJI M210*, hvilket i sig selv gør det til et nicheprodukt i et nichemarked.

Litteratur

- [1] RNZ/ABC. Australian swimmers saved by drone in 'world-first rescue', 19-01-2018. URL <https://www.radionz.co.nz/news/world/348438/australian-swimmers-saved-by-drone-in-world-first-rescue>.
- [2] Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen. Bekendtgørelse om flyvning med droner i bymæssigt område, 25-11-2017. URL <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=194964>.
- [3] Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen. Bekendtgørelse om flyvning med droner uden for bymæssigt område, 24-11-2017. URL <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=194974>.
- [4] DJI. Billede: DJI M210,. URL: <https://cdn.viper-drones.shop/wp-content/uploads/2017/11/DJI-Matrice-m210-facing-left.jpg>.
- [5] DJI. Billede: DJI Skyport,. URL: https://images.fastcompany.net/image/upload/w_596,c_limit,q_auto:best,f_auto/wp-cms/uploads/2018/03/DJI-PDSK-Skyport-Render-1.png.
- [6] DJI. MATRICE 200 SERIES SPECS. URL <https://www.dji.com/matrice-200-series/info#specs>.
- [7] DJI. Hardware Introduction, 17-05-2018. URL https://developer.dji.com/payload-sdk/documentation/introduction/hardware_introduction.html#payload-weight-requirements.
- [8] Slanrange. Billede: Slanrange 3PX. URL: http://www.slanrange.com/wp-content/uploads/2018/03/3PX_2-622x1024.png.
- [9] DJI. Billede: DJI Zenmuse X4S. URL: https://www.masterfoto.lv/83885-large_default/DJI-Zenmuse-X4S.jpg.
- [10] Herbert Wittel, Dieter Muhs, Dieter Jannasch, and Joachim Voßiek. *Roloff/Matek Maschinelemente*. Springer Vieweg, 2013.
ISBN: 978-3-658-02326-3.

- [11] H. E. Krex, editor. *Maskin Staabi*. Nyt Teknisk Forlag, 2011.
ISBN: 978-87-571-2547-4.
- [12] Airwolf 3D. Material testing part 1: Tensile strength iso 527, 20-03-2018. URL <https://airwolf3d.com/2018/03/20/material-strength-testing/>.

Appendiks

Indholdsfortegnelse:

- Appendiks A1, side 73 - Horisontale beregninger for bord i Mathcad
- Appendiks A2, side 75 - Karruselsystemet i Mathcad
- Appendiks A3, side 76 - Motor beregninger for karrusel i Mathcad
- Appendiks A4, side 77 - Motor beregninger for lift i Mathcad
- Appendiks A5, side 80 - Processtider/udskiftningstid i Mathcad
- Appendiks A6, side 84 - Beregninger for tandhjul i Mathcad
- Appendiks A7, side 85 - Vertikale beregninger for liften i Mathcad
- Appendiks A8, side 86 - Links for komponenter på rs-online

Kontrol af skinner for bordet:

$$m_{bord} := 42\text{kg} \quad F_{total} := m_{bord} \cdot 9.82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 412.44 \text{N}$$

$$F_C := 210\text{N} \quad F_D := 210\text{N}$$

Afstande:

A til B: 300mm

B til C: 70mm

C til D: 164mm

$$\frac{300}{534} \rightarrow \frac{50}{89} \quad \frac{70}{534} \rightarrow \frac{35}{267} \quad \frac{164}{534} \rightarrow \frac{82}{267}$$

$$l_{skinne} := 534\text{mm}$$

Ligevægt om A:

$$M_A = F_C \left(\frac{35}{267} + \frac{50}{89} \right) l_{skinne} + F_D \left(\frac{82}{267} + \frac{35}{267} + \frac{50}{89} \right) l_{skinne} - R_B \cdot \frac{50}{89} l_{skinne} = 0$$

$$R_B := F_C \cdot \frac{\left(\frac{35}{267} + \frac{50}{89} \right) l_{skinne}}{\frac{50}{89} l_{skinne}} + F_D \cdot \frac{\left(\frac{82}{267} + \frac{35}{267} + \frac{50}{89} \right) l_{skinne}}{\frac{50}{89} l_{skinne}} = 632.8 \text{N}$$

Ligevægt om B:

$$M_B = F_C \frac{35}{267} l_{skinne} + F_D \left(\frac{82}{267} + \frac{35}{267} \right) l_{skinne} - R_A \cdot \frac{50}{89} l_{skinne} = 0$$

$$R_A := F_C \cdot \frac{\frac{35}{267} l_{skinne}}{\frac{50}{89} l_{skinne}} + F_D \cdot \frac{\left(\frac{82}{267} + \frac{35}{267} \right) l_{skinne}}{\frac{50}{89} l_{skinne}} = 212.8 \text{N}$$

Skinnesystemet kan tåle en dynamisk belastning på 7600N for model PE15AR. Det kan godt holde.

Mekaniskbetragtning af karrusellen:

Motorens omdreningshastighed: $\omega_{motor} := 60\text{rpm} = 6.283 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

Udvekslings forhold til karrusel: $I := 3$

Karrusellens omdrejningshastighed: $\omega_{karrusel} := \frac{\omega_{motor}}{I} = 2.094 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

Radius til payload: $r_{payload} := 272\text{mm}$

Tangentialhastighed for payload: $v_{payload} := \omega_{karrusel} \cdot r_{payload} = 0.57 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Masse for payload: $m_{payload} := 600\text{gm}$

Centripitalacceleration for payload: $a_c := \frac{v_{payload}^2}{r_{payload}} = 1.193 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

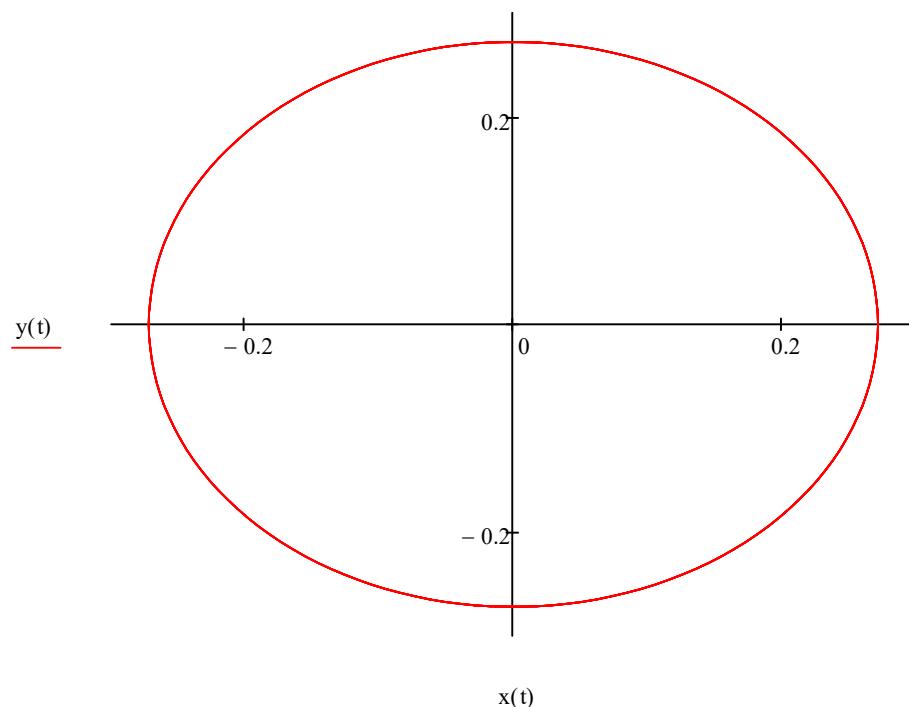
Centripitalkraft for payload: $F_c := m_{payload} \cdot a_c = 0.716\text{N}$

Stedfunktionen bekræfter at systemet bevæger sig i en cirkel med konstant radius.

$$x(t) := r_{\text{payload}} \cdot \cos(\omega_{\text{karrusel}} \cdot t)$$

$$y(t) := r_{\text{payload}} \cdot \sin(\omega_{\text{karrusel}} \cdot t)$$

$$r_a(t) := \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix}$$



Bestemmelse af motor for karrusel-enheden.

For at bestemme nødvendige moment til at få karrusellen til at rotere bruges formlen:

$$T = I \cdot \frac{\omega}{t} \quad \text{hvor } T \text{ er moment, } I \text{ er masseinertimoment, } \omega \text{ er vinkelhastighed og } t \text{ er tid.}$$

Masseinertimoment om y-aksen skal først kendes. Heldigvis kan denne aflæses direkte i Inventors iProperties.

$$I_{yy} := 313070.464 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

Stepmotoren fra Sanyo Denki model 103H7126-5740 virker som en oplagt kandidat, til at løse opgaven. Denne opnår højeste moment ved 60 omdr./minut. Tekniske data:

$$\omega_{\text{motor}} := 60 \text{ rpm} = 6.283 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$M_{\text{motor}} := 1.6 \text{ N m}$$

Forholdet ønskes værende 3 til 1. Heraf:

$$I := 3 \quad \omega_{\text{karrusel}} := \frac{\omega_{\text{motor}}}{I} = 2.094 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Nu skal der fastlægges tiden, hvori systemet påvirkes af momentet.

$$t := 0.5 \text{ s}$$

Herfra er det at indsætte i formlen:

$$M_{\text{min}} := I_{yy} \cdot \frac{\omega_{\text{karrusel}}}{t} = 1.311 \text{ N m}$$

Da $M_{\text{motor}} > M_{\text{min}}$ er motoren tilstækkelig stærk til at rotere karrusellen samt overkomme eventuel friktion.

Bestemmelse af motor til løft af gribemekanismen.

Med indsatte materialer i Inventor fra produktionsnotaterne vejer gribemekanismen knap 3kg

$$m_{griber} := 3000 \text{ gm}$$

Payloaden må efter DJI højest have en masse på 600gram

$$m_{payload} := 600 \text{ gm}$$

Heraf:

$$m_{total} := m_{griber} + m_{payload} = 3.6 \text{ kg}$$

Dansk tyngdeacceleration: $g_{dk} := 9.82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Massen omsat til en kraft:

$$F_{total} := m_{total} \cdot g_{dk} = 35.352 \text{ N}$$

Denne kraft betragtes som værende det motoren skal løfte, da slæderne optager moment og andre reaktioner. Kraften anses som værende konservativ.

Motoren trækker gribemekanismen vha. en tandrem. Der er ingen udveksling. Det højeste moment motoren kan yde:

$$M_{motor} := 1.6 \text{ N m} \quad (\text{Sanyo Denki model 103H7126-5740})$$

Tandremskiverne har en diameter for tandremme ved indgreb på:

$$d_t := 32 \text{ mm} \quad r_t := \frac{d_t}{2} = 16 \text{ mm}$$

Moment produceret af gribemekanismen:

$$M_{griber} := F_{total} \cdot r_t = 0.566 \text{ N m}$$

Da $M_{motor} > M_{griber}$ kan motorens holdmoment nemt overkomme gribemekanismen.

Processtider uden rampetider:

Motorens omdrejningshastighed: $\omega_{\text{motor}} := 60 \text{ rpm} = 6.283 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

Motorens stepvinkel: $v_{\text{step}} := 1.8 \text{ deg} = 0.031 \cdot \text{rad}$

Motorens steptid: $t_{\text{step}} := \frac{v_{\text{step}}}{\omega_{\text{motor}}} = 0.005 \cdot \text{s}$

Tandremmens diameter v. skive: $d_t := 32 \text{ mm}$

Cirkelbuens længde for ét step: $L_{\text{step}} := v_{\text{step}} \cdot \frac{d_t}{2} = 0.503 \cdot \text{mm}$

Aktuator hastighed: $v_{\text{gripe}} := 10 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$

Aktuator vandring skift: $L_{\text{gripe}} := 20 \text{ mm}$

Aktuator skiftetid: $t_{\text{gripe}} := \frac{L_{\text{gripe}}}{v_{\text{gripe}}} = 2 \text{ s}$

Gearingsforhold: $I_{\text{gear}} := 3$

Karrusellens omdrejningshastighed: $\omega_{\text{karrusel}} := \frac{\omega_{\text{motor}}}{I_{\text{gear}}} = 2.094 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

Vinkel mellem payloadsæder: $v_{\text{sæde}} := \frac{2\pi}{6} \text{ rad} = 1.047 \cdot \text{rad}$

Tid for sædeskift: $t_{\text{sædeskift}} := \frac{v_{\text{sæde}}}{\omega_{\text{karrusel}}} = 0.5 \text{ s}$

Steps for sædeskift: $\text{step}_{\text{sæde}} := \frac{v_{\text{sæde}} \cdot I_{\text{gear}}}{v_{\text{step}}} = 100$

Afsat tid til låse/fæstne: $t_{\text{låse}} := 2 \text{ s}$

Fjerne payload fra drone, indsætte i tomt sæde og gå til z0.

Trin 0-> 1 y-aksen: 433,081mm

Trin 1-> 2 z-aksen: 250,978mm

Trin 2-> 3 gribet+lösner:

Trin 3-> 4 y-aksen: -50mm

Trin 4-> 5 z-aksen: -250,978mm

Trin 5-> 6 y-aksen: -304,581mm

Trin 6-> 7 z-aksen: 186,985mm

Trin 7-> 8 y-aksen: 50mm

Trin 8-> 9 låser+griber:

Trin 9-> 10 z-aksen: -186,985mm

$$L_{z0} := (433.081 + 2 \times 250.987 + 2 \times 50 + 304.581 + 2 \times 186.985) \text{mm} = 1713.606 \cdot \text{mm}$$

Fjerne payload fra dronen, indsætte i tomt sæde, tage ny payload, sætte i drone og gå til z0y0.

Trin 0-> 1 y-aksen: 433,081mm

Trin 1-> 2 z-aksen: 250,978mm

Trin 2-> 3 gribet+lösner:

Trin 3-> 4 y-aksen: -50mm

Trin 4-> 5 z-aksen: -250,978mm

Trin 5-> 6 y-aksen: -304,581mm

Trin 6-> 7 z-aksen: 186,985mm

Trin 7-> 8 y-aksen: 50mm

Trin 8-> 9 låser+griber:

Trin 9-> 10 z-aksen: -186,985mm

Trin 10-> 11 dreje karrusel tre sæder:

Trin 11-> 12 z-aksen: 186,985mm

Trin 12-> 13 gribet+lösner:

Trin 13-> 14 y-aksen: -50mm

Trin 14-> 15 z-aksen: -186,985mm

Trin 15-> 16 y-aksen: 354,581mm

Trin 16-> 17 z-aksen: 250,987mm

Trin 18-> 19 y-aksen: 50mm

Trin 19-> 20 låser+griber:

Trin 20-> 21 z-aksen: -250,987mm

Trin 21-> 22 y-aksen: -433,081mm

$$L_{z0y0} := (2 \times 433.081 + 4 \times 250.978 + 4 \times 50 + 304.581 + 4 \times 186.985 + 354.581) \text{mm} = 3477.176 \cdot \text{mm}$$

Steps for at tilbagelægge L_{z0} :

$$step_{z0} := \frac{L_{z0}}{L_{step}} = 3409.111$$

Tid for steps:

$$t_{z0} := step_{z0} \cdot t_{step} = 17.046 \text{ s}$$

Tid total

$$t_{z0\text{total}} := t_{z0} + 2t_{gribe} + 2t_{låse} = 25.046 \text{ s}$$

Steps for at tilbagelægge L_{z0y0} :

$$step_{z0y0} := \frac{L_{z0y0}}{L_{step}} = 6917.622$$

Tid for steps:

$$t_{z0y0} := step_{z0y0} \cdot t_{step} = 34.588 \text{ s}$$

Tid total

$$t_{z0y0\text{total}} := t_{z0y0} + 4t_{gribe} + 4t_{låse} + 3t_{sædeskift} = 52.088 \text{ s}$$

Tandhjulsberegninger:

Motordata:

200 steps til 1 omgang.

$$M_{\text{motor}} := 1.6 \text{ Nm}$$

$$\omega_{\text{motor}} := 60 \text{ rpm} = 6.283 \cdot \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\theta_{\text{step}} := 1.8 \text{ deg} = 0.031 \cdot \text{rad}$$

Udvekslingsforholdet ønskes
værende således en halv
omgang fra motoren (100 steps)
svarer til et sædeskift.

$$\theta_{\text{sæde}} := \frac{360 \text{ deg}}{6} = 1.047 \cdot \text{rad}$$

$$I := \frac{\theta_{\text{step}} \cdot 100}{\theta_{\text{sæde}}} = 3$$

Modul vælges:

$$m_{\text{modul}} := 4 \text{ mm}$$

Delingen på modul:

$$p := \pi \cdot m_{\text{modul}} = 12.566 \cdot \text{mm}$$

Delecirceldiamter på tandhjul
vælges: tal baseret på 3 og 4
tabellen og større end 189mm (d_2):

$$d_2 := 228 \text{ mm}$$

$$d_1 := \frac{d_2}{I} = 76 \cdot \text{mm}$$

Antal tænder:

$$z_1 := \frac{d_1}{m_{\text{modul}}} = 19$$

$$z_2 := \frac{d_2}{m_{\text{modul}}} = 57$$

Topcirceldiameter:

$$d_{a1} := d_1 + 2 \cdot m_{\text{modul}} = 84 \cdot \text{mm}$$

$$d_{a2} := d_2 + 2 \cdot m_{\text{modul}} = 236 \cdot \text{mm}$$

Bundcirceldiameter:

$$d_{f1} := d_1 - 2.5m_{\text{modul}} = 66 \cdot \text{mm}$$

$$d_{f2} := d_2 - 2.5m_{\text{modul}} = 218 \cdot \text{mm}$$

Tandhøjden:

$$h := 2.15m_{\text{modul}} = 8.6 \cdot \text{mm}$$

Tandhovedhøjden: $h_a := m_{\text{modul}} = 4 \cdot \text{mm}$

Tandfodshøjden: $h_f := h - h_a = 4.6 \cdot \text{mm}$

Tandtykkelsen: $s_{\text{tyk}} := \frac{\pi m_{\text{modul}}}{2} = 6.283 \cdot \text{mm}$

Tandbredden (minimum): $b := 5m_{\text{modul}} = 20 \cdot \text{mm}$

Indgrebsvinklen er altid: $\alpha := 20 \deg$

Indgrebsdeling: $p_e := p \cdot \cos(\alpha) = 11.809 \cdot \text{mm}$

Akselafstand: $a_d := \frac{d_1 + d_2}{2} = 152 \cdot \text{mm}$

Grundkredsdiæmeter: $d_{b1} := d_1 \cdot \cos(\alpha) = 71.417 \cdot \text{mm}$

$$d_{b2} := d_2 \cdot \cos(\alpha) = 214.25 \cdot \text{mm}$$

Indgrebsstrækning: $g_\alpha := \frac{1}{2} \left(\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \frac{z_2}{|z_2|} \cdot \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} \right) - a_d \cdot \sin(\alpha) = 19.604 \cdot \text{mm}$

Indgrebsgraden: $\epsilon_\alpha := \frac{g_\alpha}{p_e} = 1.66$

Momenter på akslerne: $M_1 := M_{\text{motor}} = 1.6 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$

$$M_2 := I \cdot M_1 = 4.8 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Tandkræfter: $F_t := \frac{M_1}{\frac{1}{2}d_1} + \frac{M_2}{\frac{1}{2}d_2} = 84.211 \text{ N} \quad (\text{meget lav})$

Herfra er det "gætværk"
da materialet er ABS vælges
ringeste kvalitet. (TB21-15)

Tangentialhastighed for drivende: $v_1 := d_1 \cdot \pi \cdot \omega_{\text{motor}} = 1.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Faktor K_3 :

$$K_3 := 0.01 \cdot z_1 \cdot v_1 \cdot \sqrt{\frac{I^2}{1 + I^2}} = 0.27 \frac{m}{s} \quad (\text{meget lav})$$

K_A aflæses i TB3-5, vælges til let:

$$K_A := 1$$

Kontrol af forhold:

$$K_A \cdot \frac{F_t}{b} = 4.211 \cdot \frac{N}{mm} \quad (\text{også meget lav})$$

Kontrollen er lavere end 100, derfor skal 100 bruges.

$$K_v = 1 + \left(\frac{K_1}{\frac{F_t}{b}} + K_2 \right) K_3$$

Faktor K_v : da K_v er enhedsløs
fjernes alle enheder fra
ligningen:

$$K_v := 1 + \left(\frac{K_1}{100} + K_2 \right) K_3 \cdot \frac{s}{m} = 1.031$$

Enhedsløs kontrolberegning:

$$1 + \left(\frac{9.6}{100} + 0.0193 \right) 0.27 = 1.031$$

Forholdet $\frac{F_m}{b}$ bestemmes til
TB21-18:

$$K_v \cdot K_A \cdot \frac{F_t}{b} = 4.342 \cdot \frac{N}{mm} = \frac{F_m}{b} \quad (\text{meget lav})$$

$F_t, K_A \cdot \frac{F_m}{b}, \frac{F_t}{b}$ er alle meget lave og det ville ikke længere give mening at regne

videre med disse værdier, da tabeller ikke er lavet til så små værdier. Det vurderes at gearene sagtens kan holde, også hvis produceret i ABS-plast.

ABS har en brudstyrke på cirka 38,6 MPa til 46,4 MPa.

PLS har en brudstyrke på cirka 64,4 MPa.

Brudstyrker baseret på <https://airwolf3d.com/2018/03/20/material-strength-testing/>

I Maskin Stäbi side 486 findes formlen:

$$\frac{F_t}{b \cdot m} Y_F \cdot Y_\varepsilon \leq \frac{\sigma_{Fl}}{S_F}$$

Hvor Y_F er tandformfaktoren efter fig 13.1 og $Y_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_\alpha}$ er kraftreduktion.

Tandformfaktoren er baseret på antal tænder, da der kigges på den samlede kraft bruges også samlede antal tænder. Dette vil give en endnu mere konservativ udregning, da faktoren bliver lavere.

$$Y_F := 2.25 \quad Y_\varepsilon := \frac{1}{\varepsilon_\alpha} = 0.602$$

Tandmaterialets udmattelsesstyrke for brud kendes ikke, men et meget konservativt tal benyttes:

$$\sigma_{Fl} := 20 \text{ MPa} \quad \text{og sikkerhedsfaktor:} \quad S_F := 10$$

$$\frac{\sigma_{Fl}}{S_F} = 2 \cdot \text{MPa}$$

$$\frac{F_t}{b \cdot m \cdot \text{modul}} Y_F Y_\varepsilon = 1.427 \cdot \text{MPa} \quad \text{denne er mindre end 2MPa.}$$

Kontrol af skinnesystem for gribmekanismen:

Afstand fra payloadens centrum til midt af skinne:

$$l_{skinne} := 302\text{mm}$$

$$m_{gribber} := 3600\text{gm} \quad F_{grib} := m_{gribber} \cdot 9.82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 35.352\text{ N}$$

Rundes op til nærmeste heltal: $F_{gribber} := 36\text{N}$

$$M_A := F_{gribber} \cdot l_{skinne} = 10.872\text{ N}\cdot\text{m}$$

Slæderne PU09TR kan enkeltvis tåle 6Nm, da de sidder i to par kan parene lineært lægges sammen til at tåle 12Nm og siden der er to par overstiger payloadens moment ikke. Det kan altså holde. Lasten er desuden også for hele mekanismen samt payload.

BOM LINKS

Linear actuator: <https://dk.rs-online.com/web/p/elektriske-miniatureaktuatorer-staenger/9181319/>
Pulley: <https://dk.rs-online.com/web/p/tandremme-tandremskiver/2865663/>
Timing belt: <https://dk.rs-online.com/web/p/tandremme/4745892/>
Stepper motor for lift and elevator: <https://dk.rs-online.com/web/p/stepmotorer/8293525/>
Guide rail: <https://dk.rs-online.com/web/p/lineaere-foringer-skinner/6192458/>
Guide sleigh: <https://dk.rs-online.com/web/p/lineaere-foringer-foringsskinneblokke/6192442/>
(Check out NSK part community for more CAD files.)
Stepper motor for wheels: <https://dk.rs-online.com/web/p/stepmotorer/5350366/>
Pulley for wheels: <https://dk.rs-online.com/web/p/tandremme-tandremskiver/7784714/>
Timing belt for wheels: <https://dk.rs-online.com/web/p/tandremme/7785098/>
Guide sleigh for bed: <https://dk.rs-online.com/web/p/lineaere-foringer-foringsskinneblokke/6192385/>
Guide rail for bed: <https://dk.rs-online.com/web/p/lineaere-foringer-skinner/6192357/>

Bilag

Indholdsfortegnelse:

- Bilag B1, side 94 - Datablad for lineære skinnesystem.
- Bilag B2, side 99 - Datablad for stepmotor.
- Bilag B3, side 99 - Datablad for aktuator.

NSK Linear Guides

Miniature PU Series/PE Series

Series of interchangeable products that enable random matching between rails and ball slides. Miniature PU and PE series support diverse applications, from semiconductor manufacturing devices to medical equipment.

Patent Pending



Easy-to-handle, lightweight design. NSK Miniature Linear Guide provides smoother motion with unprecedented lightness.

The new generation PU series/PE series inherit the outstanding lineage of the NSK miniature linear guides LU series/LE series. Resin ball recirculation components improve dynamic friction characteristics and create smoother motion with reduced noise intensity. High performance features enhanced dust-proofing, low dust generation, and high corrosion resistance. The new design supports a wide variety of applications.

Ergonomic, gentler tone and low dust generation. NSK Linear Guides Miniature PU Series (Interchangeable with the LU Series)

Ideal for wide, single-rail applications. NSK Linear Guides Miniature PE Series (Interchangeable with the LE Series)

① Features

1. Motion performance

Newly designed recirculation component facilitates smooth circulation of steel balls.

2. Lightweight

The ball slide is fabricated to be approximately 20% lighter than conventional models[®] by the application of resin to a part of its body.

® Miniature LU series/LE series

3. Reduced noise intensity

Resin components applied in ball circulating circuits reduce collision noise between steel balls.

4. Low dust generation

The structure of the ball slide is designed to prevent dust generation.

5. Excellent dust-proofing

The labyrinth structure adopted for the side of the rails and the inner walls of the ball slide allows effects equivalent to an under seal.

6. High corrosion resistance

High corrosion-resistant martensite stainless steel incorporated as a standard feature provides excellent resistance to corrosion.

7. Easy to handle

Safety design includes a retainer that prevents steel balls from dropping out of the ball slide even when the slide is removed from the rail.

8. Long-term maintenance-free

Equipped with NSK K1[®] Lubrication unit realizes long-term, maintenance-free use.

9. Fast delivery

Lineup of interchangeable rails and ball slides in the series supports random matching and facilitates fast delivery.



**Smaller motion with resin recirculation circuits.
Gentler tone and low dust generation.**

NSK Linear Guides Miniature

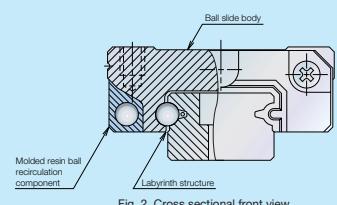
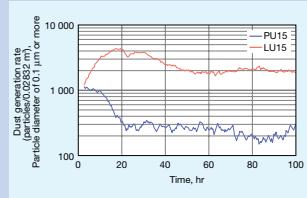
**PU Series
PE Series**



Low dust generation

The PU series/PE series, with resin ball recirculation components, generates less dust than a conventional ball recirculation hole that goes right through the ball slide.

Test conditions: Grease lubrication (LG2)
Operating speed: 600 mm/min
Stroke: 200 mm

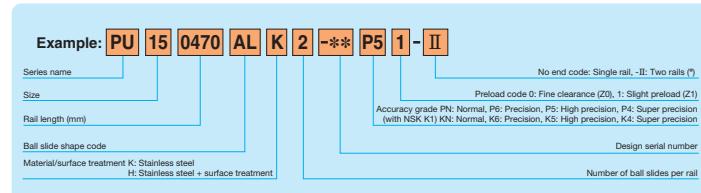


For cutting-edge precision positioning table, from semiconductor manufacturing devices to medical equipment. —NSK Linear Guides Miniature PU Series/PE Series

2 Reference number

Reference numbers will be used as reference before finalizing all specifications. These numbers indicate outline specifications. Please specify the reference number, except design serial number, to identify the product when ordering, requesting estimates, or inquiring about specifications from NSK. The reference number is a set number for a single rail. For multiple rails, at least two sets of reference numbers are required.

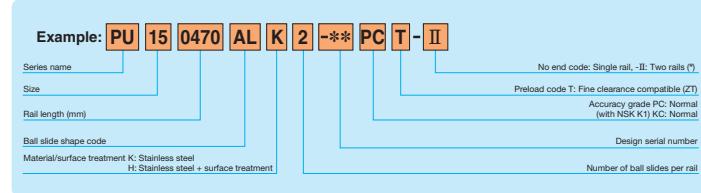
2.1 Preloaded assembly type



(*) Please note that the appropriate design number will be inserted into the reference number and the tag end code (-II) will be omitted.

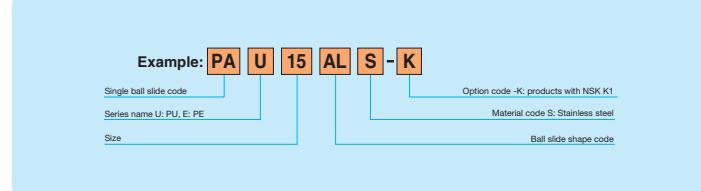
2.2 Interchangeable type

(1) Reference number for rail and ball slide assembly



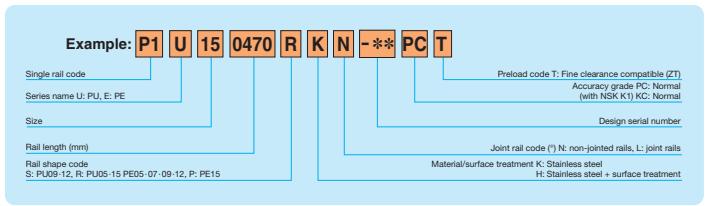
(*) Please note that the appropriate design number will be inserted into the reference number and the tag end code (-II) will be omitted.

(2) Reference number for ball slide of interchangeable type



NSK Linear Guides Miniature PU Series/PE Series

(3) Reference number for rail of interchangeable type



(*) Please contact with NSK for more details regarding joint rails.

3 Accuracy standard

We offer the following product accuracy grades: Super precision grade P4, High precision grade P5, Precision grade P6, and Normal grade PN for preloaded assembly type, and Normal grade PC for interchangeable type.

Table 1 Accuracy standard for preloaded assembly types Unit: μm

Item	Accuracy grade			
	Super precision P4	High precision P5	Precision P6	Normal PN
Mounting height H	± 10	± 15	± 20	± 40
Variation of Mounting height H (All ball slides on a pair of rails)	5	7	15	25
Mounting width dimension W_x or W_y	± 15	± 20	± 30	± 50
Variation of Mounting width dimension W_x or W_y (All ball slides on datum rails)	7	10	20	30
Running parallelism of face C against face A	Refer to Table 3, Fig. 3, Fig. 4			
Running parallelism of face D against face B				

Table 2 Accuracy standard for interchangeable type Unit: μm

Item	Accuracy grade	
	PC	Normal
Mounting height H	± 20	
Variation of Mounting height H (one rail)	15	
Variation of Mounting height H (multiple rails)	30	
Mounting width dimension W_x or W_y	± 20	
Variation of Mounting width dimension W_x or W_y (All ball slides on datum rails)	20	
Running parallelism of face C against face A	Refer to Table 3, Fig. 3, Fig. 4	
Running parallelism of face D against face B		

Table 3 Running parallelism tolerance Unit: μm

Rail length (mm)	Accuracy grade	Preloaded assembly type				Interchangeable type		
		over	or less	P4	P5	P6	PN	PC
50	50	2	2	4.5	6	6		
50 ~ 80	2	3	5	6	6			
80 ~ 125	2	3.5	5.5	6.5	6.5			
125 ~ 200	2	4	6	7	7			
200 ~ 250	2.5	5	7	8	8			
250 ~ 315	2.5	5	8	9	9			
315 ~ 400	3	6	9	11	11			
400 ~ 500	3	6	10	12	12			
500 ~ 630	3.5	7	12	14	14			
630 ~ 800	4.5	8	14	16	16			
800 ~ 1000	5	9	16	18	18			
1000 ~ 1250	6	10	17	20	20			

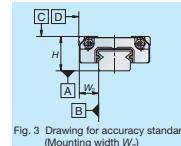


Fig. 3 Drawing for accuracy standard (Mounting width W_x)

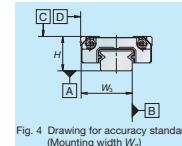


Fig. 4 Drawing for accuracy standard (Mounting width W_y)

NSK Linear Guides Miniature PU Series/PE Series

4 Preload and rigidity

We offer three levels of preload: Slight preload (Z1) and Fine clearance (Z0), along with interchangeable types of Fine clearance (ZT). Values for preload and rigidity of the preloaded assembly types are shown in Tables 4 and 5.

Table 4 Preload and rigidity of preloaded assembly of PU series

Model No.	Preload (N)	Rigidity (N /μm)
	Slight preload (Z1)	Slight preload (Z1)
PU05TR	0 ~ 3	17
PU07AR	0 ~ 8	22
PU09TR	0 ~ 10	30
PU12TR	0 ~ 17	33
PU15AL	0 ~ 33	45

Clearance of fine clearance Z0 is 0.3 μm. Therefore, preload is zero.

Clearance values of the interchangeable types are shown in Tables 6 and 7.

Table 6 Clearance of interchangeable type of PU series

Model No.	Fine clearance ZT
PU05TR	
PU07AR	
PU09TR	Less than 3
PU12TR	
PU15AL	

Table 5 Preload and rigidity of preloaded assembly of PE series

Model No.	Preload (N)	Rigidity (N /μm)
	Slight preload (Z1)	Slight preload (Z1)
PE05AR	0 ~ 28	45
PE07TR	0 ~ 29	46
PE09TR	0 ~ 37	61
PE12AR	0 ~ 40	63
PE15AR	0 ~ 49	66

7 Lubrication

Selection of grease: Table 10 below shows grease that is suitable for the PU series/PE series. We specify PS2 as the standard grease for NSK miniature linear guides.

Table 10 Grease list

Grease code	Thickener	Base oil	Base oil kinematic viscosity mm ² /s (40°C)	Temperature range for use (°C)	Characteristic Application
PS2	Lithium type	Synthetic oil + Mineral oil	15	-50 to 110	• Better low temperature and dynamic characteristics • Suitable for high speed and light load application
LG2	Lithium type	Mineral oil + Synthetic hydrocarbon oil	30	-10 to 80	• Low dust emission grease for clean room application
LGU	Diurea type	Synthetic hydrocarbon oil	100	-30 to 120	• Low dust emission grease for high temperature, clean room application

8 Dust proofing

Side seal: Provided to both sides of the ball slide as a standard feature.

Bottom seal function: A labyrinth structure of the ball slide bottom face functions as sealing effect.

NSK K1 : Lubrication unit. Tables 11 and 12 shows the related dimensions when attaching NSK K1.

Table 11 Dimensions when attaching NSK K1 (PU series)

Model No.	Ball slide length when attaching two NSK K1s, L	Thickness of single NSK K1, V ₁	Thickness of protection cover, V ₂
PU05TR	24.4	2	0.5
PU07AR	29.4	2.5	0.5
PU09TR	36.4	2.7	0.5
PU12TR	42	3	0.5
PU15AL	51.2	3.5	0.6

* Ball slide length when attaching NSK K1 = ("Standard ball slide length") + ("Thickness of single NSK K1, V₁ × Numbers of NSK K1s) + ("Thickness of protection cover", V₂ × 2)

Table 12 Dimensions when attaching NSK K1 (PE series)

Model No.	Ball slide length when attaching two NSK K1s, L	Thickness of single NSK K1, V ₁	Thickness of protection cover, V ₂
PE05AR	28.9	2	0.4
PE07TR	37.1	2.5	0.5
PE09TR	46.8	3	0.5
PE12AR	53	3.5	0.5
PE15AR	66.2	4	0.8

5 Applications

- Smoother motion and low dust generation
Liquid crystal manufacturing and printed circuit board manufacturing devices
- Lightweight and low dust generation
Semiconductor manufacturing devices (mounter, die bonder, and exposure device)
- Gentle tone and excellent dust proof features
Medical machinery and various precision devices

6 Height and corner configuration of the mount face

Figs. 5, 6 and Tables 8, 9 show the shoulder height and corner radius dimensions, when fixing the linear guide horizontally by pushing it onto the shoulder (projected portion from the bed or table).

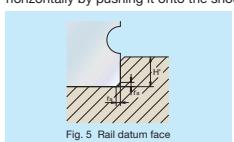


Fig. 5 Rail datum face

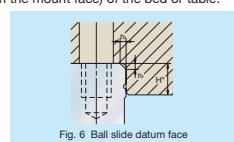


Fig. 6 Ball slide datum face

Table 8 Shoulder height and corner radius of the mount face (PU series)

Model No.	Corner radius (Maximum)	Shoulder height		
	r _a	r _b	H'	H''(")
PU05TR	0.2	0.2	0.7	2.3
PU07AR	0.2	0.3	1.2	2.5
PU09TR	0.3	0.3	1.9	2.6
PU12TR	0.3	0.3	2.5	3.4
PU15AL	0.3	0.5	3.5	4.4

(*)H' is the minimum recommended value based on the dimension 7 in Table 13.

Table 9 Shoulder height and corner radius of the mount face (PE series)

Model No.	Corner radius (Maximum)	Shoulder height		
	r _a	r _b	H'	H''(")
PE05AR	0.2	0.2	1.1	2.5
PE07TR	0.2	0.3	1.7	3
PE09TR	0.3	0.3	3.5	2.8
PE12AR	0.3	0.3	3.5	3.2
PE15AR	0.3	0.5	3.5	4.1

(*)H' is the minimum recommended value based on the dimension 7 in Table 14.

NSK Linear Guides Miniature PU Series/PE Series

9 Dimensions

9.1 Rail and ball slide assembly (preloaded type, interchangeable type)

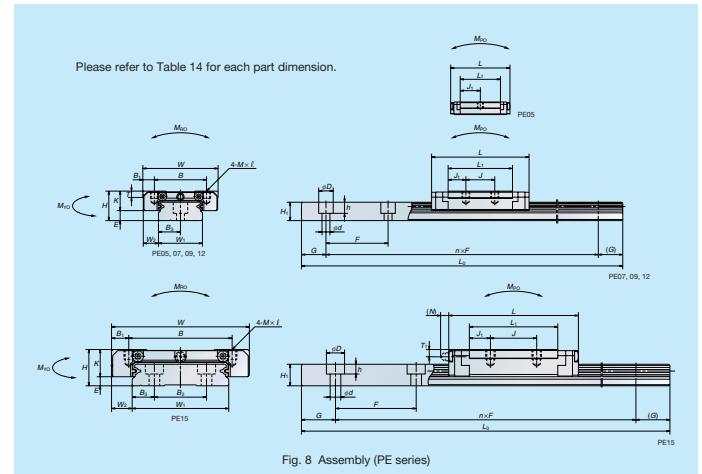
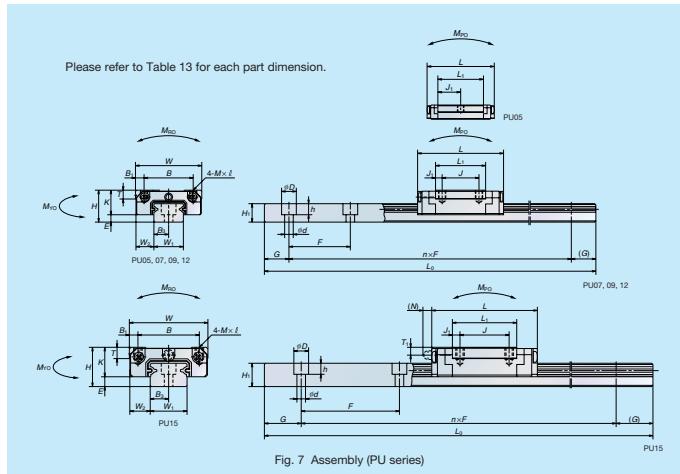


Table 10 Dimensions (PU series)

Model No.	Assembly			Ball slide										Rail			Basic load rating (*)						Ball diameter		Weight					
	Height H	Width W	Length L	Mounting tap hole			B_1	L_1	J_1	K	T	Grease fitting			Width W_1	Height H_1	Pitch F	Mounting bolt hole $d \times D \times h$	B_3 (recommended)	G	Maximum length L_{\max}	Dynamic $C(N)$	Static $C_0(N)$	Static moment (N·m) M_{R0}	Ball diameter D_W	Ball slide (g)	Rail (g/100mm)	Weight		
				B	J	$M \times \text{Pitch} \times l$						Port diameter	T_1	N																
PU05TR	6	1	3.5	12	19.4	8	—	$M2 \times 0.4 \times 1.5$	2	11.4	5.7	5	2.3	—	—	—	5	3.2	15	$2.3 \times 3.3 \times 0.8$	2.5	5	210	520	775	2	1	1	4	11
PU07AR	8	1.5	5	17	23.4	12	8	$M2 \times 0.4 \times 2.4$	2.5	13.3	2.65	6.5	2.45	—	—	7	4.7	15	$2.4 \times 4.2 \times 2.3$	3.5	5	375	1090	1370	5	3	3	1.5875	23	
PU09TR	10	2.2	5.5	20	30	15	10	$M3 \times 0.5 \times 3$	2.5	19.6	4.8	7.8	2.6	—	—	9	5.5	20	$3.5 \times 6 \times 4.5$	4.5	7.5	600	1490	2150	10	6	6	1.5875	35	
PU12TR	13	3	7.5	27	35	20	15	$M3 \times 0.5 \times 3.5$	3.5	20.4	2.7	10	3.4	—	—	12	7.5	25	$3.5 \times 6 \times 4.5$	6	10	800	2830	3500	21	11	11	2.3812	32	
PU15AL	16	4	8.5	32	43	25	20	$M3 \times 0.5 \times 5$	3.5	26.2	3.1	12	4.4	—	3.2 (3.3)	15	9.5	40	$3.5 \times 6 \times 4.5$	7.5	15	1000	5550	6600	50	26	26	3.175	59	

(*)The basic load rating complies with ISO standards.

Table 11 Dimensions (PE series)

Model No.	Assembly			Ball slide										Rail			Basic load rating (*)						Ball diameter		Weight					
	Height H	Width W	Length L	Mounting tap hole			B_1	L_1	J_1	K	T	Grease fitting			Width W_1	Height H_1	Pitch F	Mounting bolt hole $d \times D \times h$	B_3 (recommended)	G	Maximum length L_{\max}	Dynamic $C(N)$	Static $C_0(N)$	Static moment (N·m) M_{R0}	Ball diameter D_W	Ball slide (g)	Rail (g/100mm)	Weight		
				B	J	$M \times \text{Pitch} \times l$						Port diameter	T_1	N																
PE05AR	6.5	1.4	3.5	17	24.1	13	—	$M2.5 \times 0.45 \times 1.5$	2	16.4	8.2	5.1	2.5	—	—	10	4	—	20	$3 \times 5 \times 1.6$	5	7.5	150	690	1160	6	3	3	1	34
PE07TR	9	2	5.5	25	31.1	19	10	$M3 \times 0.5 \times 2.8$	3	20.8	5.4	7	3	—	—	14	5.2	—	30	$3.5 \times 6 \times 3.2$	7	10	600	1580	2350	17	7	7	1.5875	55
PE09TR	12	4	6	30	39.8	21	12	$M3 \times 0.5 \times 3$	4.5	26.6	7.3	8	2.8	—	—	18	7.5	—	30	$3.5 \times 6 \times 4.5$	9	10	800	3000	4500	37	17	17	2	95
PE12AR	14	4	8	40	45	28	15	$M3 \times 0.5 \times 4$	6	31	8	10	3.2	—	—	24	8.5	—	40	$4.5 \times 8 \times 4.5$	12	15	1000	4350	6350	71	29	29	2.3812	66
PE15AR	16	4	9	60	56.6	45	20	$M4 \times 0.7 \times 4.5$	7.5	38.4	9.2	12	4.1	—	3.2 (3.3)	42	9.5	23	40	$4.5 \times 8 \times 4.5$	9.5	15	1200	7600	10400	207	59	59	3.175	140

(*)The basic load rating complies with ISO standards.

9.2 Interchangeable type

(1) Ball slide of interchangeable types

Please refer to Table 13 for each part dimension.

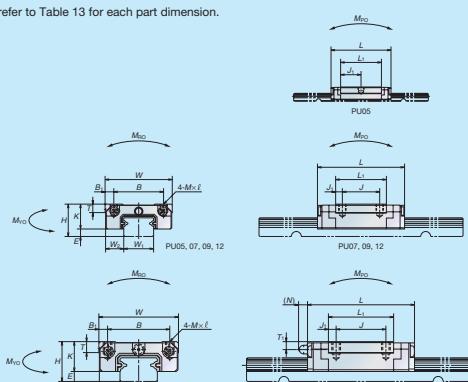


Fig. 9 Ball slide of interchangeable types (PU series)

Please refer to Table 14 for each part dimension.

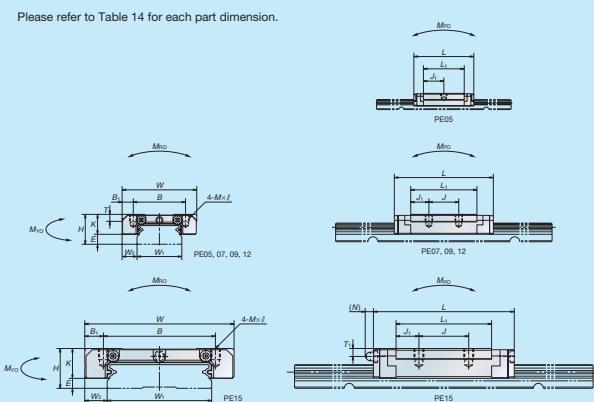


Fig. 10 Ball slide of interchangeable types (PE series)

NSK Linear Guides Miniature PU Series/PE Series

(2) Rail of interchangeable types

Please refer to Table 13 for each part dimension.

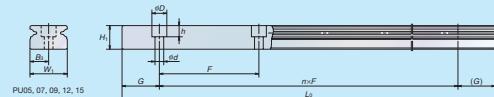


Fig. 11 Rail of interchangeable types (PU series)

Please refer to Table 14 for each part dimension.

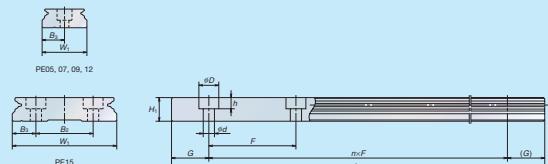


Fig. 12 Rail of interchangeable types (PE series)

⑩ Interchangeability with LU series/LE series

The PU series/PE series is designed to be interchangeable with the LU series/LE series for its mounting dimensions and load ratings^(*).

Refer to Figs. 7, 8 and Tables 13, 14 for more details.

^(*) Not including load rating of PU05 and PE05.

⑪ Handling precautions

(1) Resin parts such as the end cap may become damaged when struck or hit.

(2) Maximum operating temperature must be 80°C or below. Exceeding this limit may damage resin parts.

(3) Maximum operating temperature must be 50°C (max. momentary 80°C) when attaching NSK K1®. Also, avoid exposure to organic solvents with a degreasing effect. Do not immerse in kerosene or rust preventative oil (with kerosene ingredients).

(4) Handling of interchangeable types

① Interchangeable ball slide will be delivered with a provisional rail (inserting fixture).

② Be sure to use the provisional rail when removing ball slide(s) from a rail.

③ Do not remove the ball slide from provisional rail until inserting into a rail.



56 mm sq. (2.20 inch sq.)

1.8° /step

RoHS

Bipolar winding, Lead wire type

Unipolar winding, Lead wire type ▶ p. 68

Customizing

Hollow | Shaft modification

Decelerator | Encoder

Varies depending on the model number and quantity. Contact us for details.

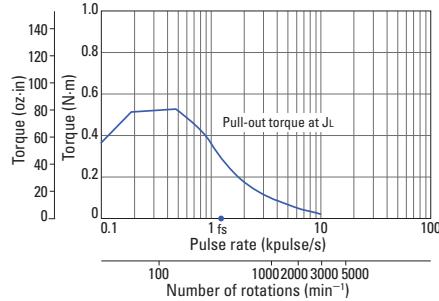
Bipolar winding, Lead wire type

Model number		Holding torque at 2-phase energization	Rated current	Wiring resistance	Winding inductance	Rotor inertia	Mass (Weight)	Motor length (L)	Shaft diameter (D)	Cut thickness (T)
Single shaft	Dual shaft	[N·m (oz-in) min.]	A/phase	Ω /phase	mH/phase	[×10 ⁻⁴ kg·m ² (oz·in ²)]	[kg (lbs)]	mm (in)	mm (in)	mm (in)
103H7121-5640	103H7121-5610	0.55 (77.9)	1	4.3	14.5	0.1 (0.55)	0.47 (1.04)	41.8 (1.65)	Φ 6.35 (Φ 0.25)	5.8 (0.23)
103H7121-5740	103H7121-5710	0.55 (77.9)	2	1.1	3.7	0.1 (0.55)	0.47 (1.04)	41.8 (1.65)	Φ 6.35 (Φ 0.25)	5.8 (0.23)
103H7121-5840	103H7121-5810	0.55 (77.9)	3	0.54	1.74	0.1 (0.55)	0.47 (1.04)	41.8 (1.65)	Φ 6.35 (Φ 0.25)	5.8 (0.23)
103H7123-5640	103H7123-5610	1.0 (141.6)	1	5.7	29.4	0.21 (1.15)	0.65 (1.43)	53.8 (2.12)	Φ 6.35 (Φ 0.25)	5.8 (0.23)
103H7123-5740	103H7123-5710	1.0 (141.6)	2	1.5	7.5	0.21 (1.15)	0.65 (1.43)	53.8 (2.12)	Φ 6.35 (Φ 0.25)	5.8 (0.23)
103H7123-5840	103H7123-5810	1.0 (141.6)	3	0.7	3.5	0.21 (1.15)	0.65 (1.43)	53.8 (2.12)	Φ 6.35 (Φ 0.25)	5.8 (0.23)
103H7126-5640	103H7126-5610	1.6 (226.6)	1	7.7	34.6	0.36 (1.97)	0.98 (2.16)	75.8 (2.98)	Φ 6.35 (Φ 0.25)	5.8 (0.23)
103H7126-5740	103H7126-5710	1.6 (226.6)	2	2	9.1	0.36 (1.97)	0.98 (2.16)	75.8 (2.98)	Φ 6.35 (Φ 0.25)	5.8 (0.23)
103H7126-5840	103H7126-5810	1.6 (226.6)	3	0.94	4	0.36 (1.97)	0.98 (2.16)	75.8 (2.98)	Φ 6.35 (Φ 0.25)	5.8 (0.23)
103H7128-5640	103H7128-5610	2.0 (283.2)	1	8.9	40.1	0.49 (2.68)	1.3 (2.87)	94.8 (3.73)	Φ 8 (Φ 0.31)	7.5 (0.30)
103H7128-5740	103H7128-5710	2.0 (283.2)	2	2.3	10.4	0.49 (2.68)	1.3 (2.87)	94.8 (3.73)	Φ 8 (Φ 0.31)	7.5 (0.30)
103H7128-5840	103H7128-5810	2.0 (283.2)	3	1.03	4.3	0.49 (2.68)	1.3 (2.87)	94.8 (3.73)	Φ 8 (Φ 0.31)	7.5 (0.30)

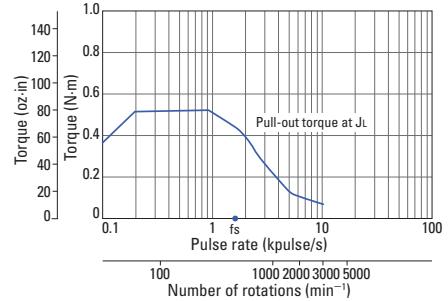
Characteristics diagram

**103H7121-5640
103H7121-5610**

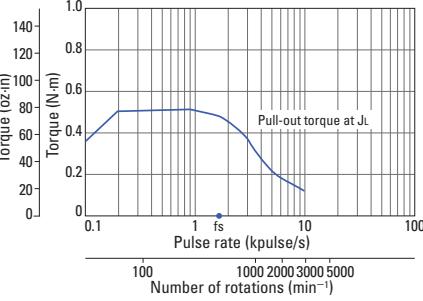
Constant current circuit
Source voltage: 24 VDC
Operating current:
1 A/phase, 2-phase
energization (full-step)
 $J_L = [0.94 \times 10^{-4} \text{kg}\cdot\text{m}^2 (5.14 \text{ oz}\cdot\text{in}^2)]$ use the rubber
coupling
fs: Maximum self-start
frequency when not
loaded


**103H7121-5740
103H7121-5710**

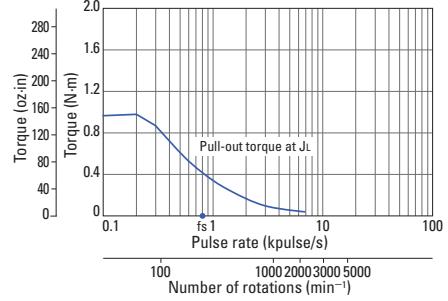
Constant current circuit
Source voltage: 24 VDC
Operating current:
2 A/phase, 2-phase
energization (full-step)
 $J_L = [0.94 \times 10^{-4} \text{kg}\cdot\text{m}^2 (5.14 \text{ oz}\cdot\text{in}^2)]$ use the rubber
coupling
fs: Maximum self-start
frequency when not
loaded


**103H7121-5840
103H7121-5810**

Constant current circuit
Source voltage: 24 VDC
Operating current:
3 A/phase, 2-phase
energization (full-step)
 $J_L = [0.94 \times 10^{-4} \text{kg}\cdot\text{m}^2 (5.14 \text{ oz}\cdot\text{in}^2)]$ use the rubber
coupling
fs: Maximum self-start
frequency when not
loaded


**103H7123-5640
103H7123-5610**

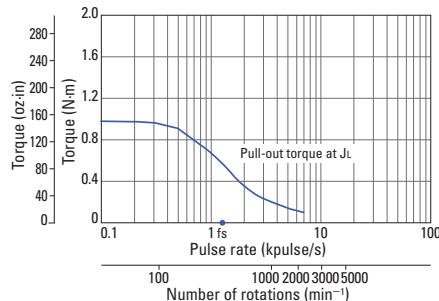
Constant current circuit
Source voltage: 24 VDC
Operating current:
1 A/phase, 2-phase
energization (full-step)
 $J_L = [2.6 \times 10^{-4} \text{kg}\cdot\text{m}^2 (14.22 \text{ oz}\cdot\text{in}^2)]$ use the rubber
coupling
fs: Maximum self-start
frequency when not
loaded



Characteristics diagram

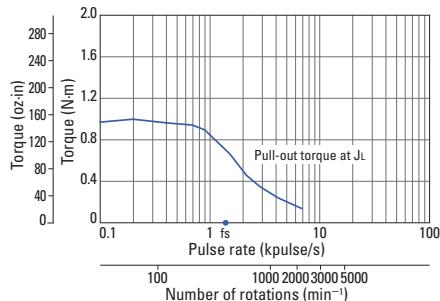
103H7123-5740
103H7123-5710

Constant current circuit
Source voltage: 24 VDC
Operating current:
2 A/phase, 2-phase
energization (full-step)
 $J_L = [2.6 \times 10^{-4} \text{kg}\cdot\text{m}^2 (14.22 \text{ oz}\cdot\text{in}^2)]$ use the rubber
coupling]
fs: Maximum self-start
frequency when not
loaded



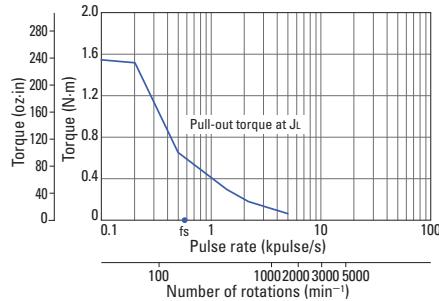
103H7123-5840
103H7123-5810

Constant current circuit
Source voltage: 24 VDC
Operating current:
3 A/phase, 2-phase
energization (full-step)
 $J_L = [2.6 \times 10^{-4} \text{kg}\cdot\text{m}^2 (14.22 \text{ oz}\cdot\text{in}^2)]$ use the rubber
coupling]
fs: Maximum self-start
frequency when not
loaded



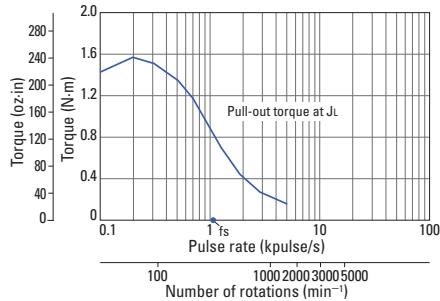
103H7126-5640
103H7126-5610

Constant current circuit
Source voltage: 24 VDC
Operating current:
1 A/phase, 2-phase
energization (full-step)
 $J_L = [2.6 \times 10^{-4} \text{kg}\cdot\text{m}^2 (14.22 \text{ oz}\cdot\text{in}^2)]$ use the rubber
coupling]
fs: Maximum self-start
frequency when not
loaded



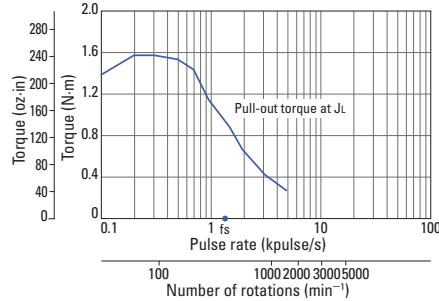
103H7126-5740
103H7126-5710

Constant current circuit
Source voltage: 24 VDC
Operating current:
2 A/phase, 2-phase
energization (full-step)
 $J_L = [2.6 \times 10^{-4} \text{kg}\cdot\text{m}^2 (14.22 \text{ oz}\cdot\text{in}^2)]$ use the rubber
coupling]
fs: Maximum self-start
frequency when not
loaded



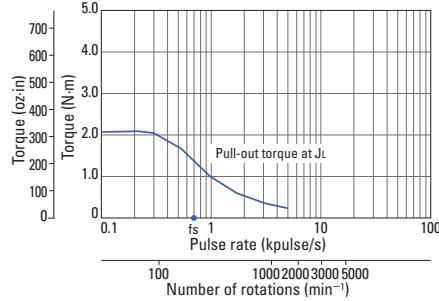
103H7126-5840
103H7126-5810

Constant current circuit
Source voltage: 24 VDC
Operating current:
3 A/phase, 2-phase
energization (full-step)
 $J_L = [2.6 \times 10^{-4} \text{kg}\cdot\text{m}^2 (14.22 \text{ oz}\cdot\text{in}^2)]$ use the rubber
coupling]
fs: Maximum self-start
frequency when not
loaded



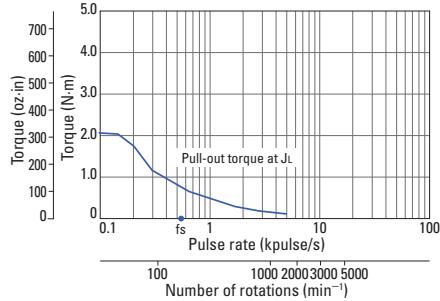
103H7128-5740
103H7128-5710

Constant current circuit
Source voltage: 24 VDC
Operating current:
2 A/phase, 2-phase
energization (full-step)
 $J_L = [7.4 \times 10^{-4} \text{kg}\cdot\text{m}^2 (40.46 \text{ oz}\cdot\text{in}^2)]$ use the rubber
coupling]
fs: Maximum self-start
frequency when not
loaded

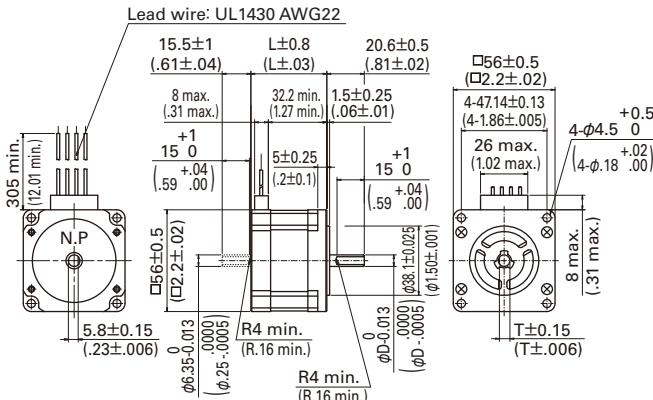


103H7128-5640
103H7128-5610

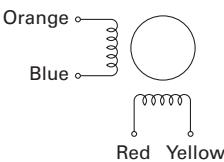
Constant current circuit
Source voltage: 24 VDC
Operating current:
1 A/phase, 2-phase
energization (full-step)
 $J_L = [7.4 \times 10^{-4} \text{kg}\cdot\text{m}^2 (40.46 \text{ oz}\cdot\text{in}^2)]$ use the rubber
coupling]
fs: Maximum self-start
frequency when not
loaded



Dimensions [Unit: mm (inch)]



Internal wiring



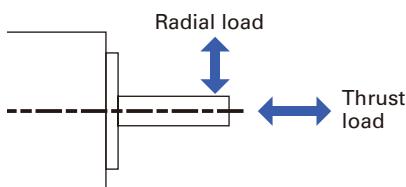
Compatible drivers

Driver is not included.

If you require assistance finding a driver, contact us for details.

Please use bipolar driver BS1D200P10 for motor 103H7126-5740

Allowable Radial/Thrust Load



Flange size	Model number	Distance from end of shaft : mm (in)				Thrust load N (lbs)
		0	5	10	15	
14 mm sq. (0.55 in sq.)	SH2141	10 (2.25)	11 (2.47)	13 (2.92)	-	0.7 (0.16)
28 mm sq. (1.10 in sq.)	SH228 □	42 (9)	48 (10)	56 (12)	66 (14)	3 (0.67)
35 mm sq. (1.38 in sq.)	SH353 □	40 (8)	50 (11)	67 (15)	98 (22)	10 (2.25)
42 mm sq. (1.65 in sq.)	103H52 □□	22 (4)	26 (5)	33 (7)	46 (10)	10 (2.25)
SH142 □						
50 mm sq. (1.97 in sq.)	103H670 □	71 (15)	87 (19)	115 (25)	167 (37)	15 (3.37)
103H712 □		52 (11)	65 (14)	85 (19)	123 (27)	15 (3.37)
103H7128		85 (19)	105 (23)	138 (31)	200 (44)	15 (3.37)
60 mm sq. (2.36 in sq.)	103H782 □	70 (15)	87 (19)	114 (25)	165 (37)	20 (4.50)
SH160 □						15 (3.37)
86 mm sq. (3.39 in sq.)	SM286 □	167 (37)	193 (43)	229 (51)	280 (62)	60 (13.488)
SH286 □						
86 mm sq. (3.39 in sq.)	103H822 □	191 (43)	234 (53)	301 (68)	421 (95)	60 (13.488)
φ 106 mm (φ 4.17 in)	103H8922 □	321 (72)	356 (79)	401 (90)	457 (101)	100 (22.48)

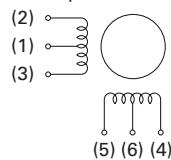
Internal Wiring and Rotation Direction

Unipolar winding

Connector type Model number: 103H52 □□

Internal wire connection

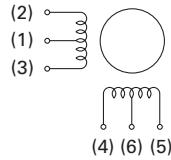
() connector pin number



Connector type Model number: 103H782 □□

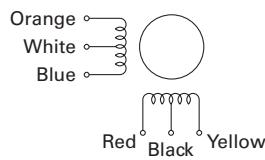
Internal wire connection

() connector pin number



Lead wire type

Internal wire connection

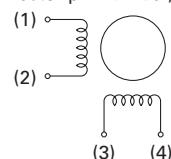


Bipolar winding

Connector type

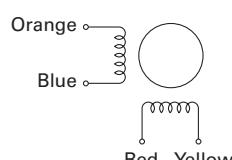
Internal wire connection

() connector pin number, terminal block number



Lead wire type

Internal wire connection



Direction of motor rotation

When excited by a direct current in the order shown below, the direction of rotation is clockwise as viewed from the output shaft side.

	Connector pin number				
	(1.6)	(5)	(3)	(4)	(2)
Exciting order	1	+	-	-	-
2	+	-	-	-	-
3	+	-	-	-	-
4	+	-	-	-	-

Direction of motor rotation

When excited by a direct current in the order shown below, the direction of rotation is clockwise as viewed from the output shaft side.

	Connector pin number				
	(1.6)	(4)	(3)	(5)	(2)
Exciting order	1	+	-	-	-
2	+	-	-	-	-
3	+	-	-	-	-
4	+	-	-	-	-

Direction of motor rotation

When excited by a direct current in the order shown below, the direction of rotation is clockwise as viewed from the output shaft side.

	Lead wire color				
	White & black	Red	Blue	Yellow	Orange
Exciting order	1	+	-	-	-
2	+	-	-	-	-
3	+	-	-	-	-
4	+	-	-	-	-

Direction of motor rotation

When excited by a direct current in the order shown below, the direction of rotation is clockwise as viewed from the output shaft side.

	Connector pin number, terminal block number				
	(3)	(2)	(4)	(1)	
Exciting order	1	-	-	+	+
2	+	-	-	-	+
3	+	+	-	-	-
4	-	+	+	+	-

General Specifications

Motor model number	SH2141	SH228	SH353	SS242	SH142	103H52	SS250	103H67	103H712
Type	—								
Operating ambient temperature	— 10°C to + 50°C								
Conversation temperature	— 20°C to + 65°C								
Operating ambient humidity	20 to 90% RH (no condensation)								
Conversation humidity	5 to 95% RH (no condensation)								
Operation altitude	1000 m (3281 feet) max. above sea level								
Vibration resistance	Vibration frequency 10 to 500 Hz, total amplitude 1.52 mm (10 to 70 Hz), vibration acceleration 150 m/s ² (70 to 500 Hz), sweep time 15 min/cycle, 12 sweeps in each X, Y and Z direction.								
Impact resistance	500 m/s ² of acceleration for 11 ms with half-sine wave applying three times for X, Y, and Z axes each, 18 times in total.								
Insulation class	Class B (+130°C)								
Withstandable voltage	At normal temperature and humidity, no failure with 500 VAC @50/60 Hz applied for one minute between motor winding and frame.								At normal temperature and humidity, no failure with 1000 VAC @50/60 Hz applied for one minute between motor winding and frame.
Insulation resistance	At normal temperature and humidity, not less than 100 MΩ between winding and frame by 500 VDC megger.								
Protection grade	IP40								
Winding temperature rise	80 K max. (Based on Sanyo Denki standard)								
Static angle error	± 0.09°				± 0.054°	± 0.09°			
Thrust play *1	0.075 mm (0.003 in) max. (load: 0.35 N (0.08 lbs))	0.075 mm (0.003 in) max. (load: 1.5 N (0.34 lbs))	0.075 mm (0.003 in) max. (load: 5 N (1.12 lbs))	0.075 mm (0.003 in) max. (load: 4 N (0.9 lbs))	0.075 mm (0.003 in) max. (load: 5 N (1.12 lbs))	0.075 mm (0.003 in) max. (load: 5 N (1.12 lbs))	0.075 mm (0.003 in) max. (load: 4 N (0.9 lbs))	0.075 mm (0.003 in) (load: 10 N (2.25 lbs))	0.075 mm (0.003 in) (load: 10 N (2.25 lbs))
Radial play *2	0.025 mm (0.001 in) max. (load: 5 N (1.12 lbs))								
Shaft runout	0.025 mm (0.001 in)								
Concentricity of mounting pilot relative to shaft	φ 0.05 mm (φ 0.002 in)	φ 0.05 mm (φ 0.002 in)	φ 0.075 mm (φ 0.003 in)	φ 0.075 mm (φ 0.003 in)	φ 0.05 mm (φ 0.002 in)	φ 0.05 mm (φ 0.002 in)	φ 0.075 mm (φ 0.003 in)	φ 0.075 mm (φ 0.003 in)	φ 0.075 mm (φ 0.003 in)
Squareness of mounting surface relative to shaft	0.1 mm (0.004 in)	0.1 mm (0.004 in)	0.1 mm (0.004 in)	0.1 mm (0.004 in)	0.1 mm (0.004 in)	0.1 mm (0.004 in)	0.1 mm (0.004 in)	0.075 mm (0.003 in)	0.075 mm (0.003 in)
Direction of motor mounting	Can be freely mounted vertically or horizontally								
Motor model number	SH160	103H78	SH286	103H8922	SM286	103H712 -6	103H822 -6	103H8922 -63	103H8922 CE Model
Type	—					S1 (continuous operation)			
Operating ambient temperature	— 10°C to + 50°C					— 10°C to + 40°C			
Conversation temperature	— 20°C to + 65°C					— 20°C to + 60°C			
Operating ambient humidity	20 to 90% RH (no condensation)					95% max.: 40°C max., 57% max.: 50°C max.,			
Conversation humidity	5 to 95% RH (no condensation)					35% max.: 60°C max. (no condensation)			
Operation altitude	1000 m (3280 feet) max. above sea level								
Vibration resistance	Vibration frequency 10 to 500 Hz, total amplitude 1.52 mm (10 to 70 Hz), vibration acceleration 150 m/s ² (70 to 500 Hz), sweep time 15 min/cycle, 12 sweeps in each X, Y and Z direction.								
Impact resistance	500 m/s ² of acceleration for 11 ms with half-sine wave applying three times for X, Y, and Z axes each, 18 times in total.								
Insulation class	Class B (+130°C)				Class F (+155°C)	Class B (+130°C)			
Withstandable voltage	At normal temperature and humidity, no failure with 1000 VAC @50/60 Hz applied for one minute between motor winding and frame.				At normal temperature and humidity, no failure with 1500 VAC @50/60 Hz applied for one minute between motor winding and frame.				
Insulation resistance	At normal temperature and humidity, not less than 100 MΩ between winding and frame by 500 VDC megger.								
Protection grade	IP40				IP43				
Winding temperature rise	80 K max. (Based on Sanyo Denki standard)								
Static angle error	± 0.054°	± 0.09°							
Thrust play *1	0.075 mm (0.003 in) max. (load: 10 N (2.25 lbs))								
Radial play *2	0.025 mm (0.001 in) (load: 5 N (1.12 lbs))	0.025 mm (0.001 in) (load: 5 N (1.12 lbs))	0.025 mm (0.001 in) (load: 5 N (1.12 lbs))	0.025 mm (0.001 in) (load: 10 N (2.25 lbs))	0.025 mm (0.001 in) (load: 5 N (1.12 lbs))	0.025 mm (0.001 in) (load: 5 N (1.12 lbs))	0.025 mm (0.001 in) (load: 5 N (1.12 lbs))	0.025 mm (0.001 in) (load: 10 N (2.25 lbs))	0.025 mm (0.001 in) (load: 10 N (2.25 lbs))
Shaft runout	0.025 mm (0.001 in)								
Concentricity of mounting pilot relative to shaft	φ 0.075 mm (φ 0.003 in)								
Squareness of mounting surface relative to shaft	0.1 mm (0.004 in)	0.075 mm (0.003 in)	0.15 mm (0.006 in)	0.1 mm (0.004 in)	0.15 mm (0.006 in)	0.075 mm (0.003 in)	0.1 mm (0.004 in)	0.1 mm (0.004 in)	0.1 mm (0.004 in)
Direction of motor mounting	Can be freely mounted vertically or horizontally								

*1 Thrust play: Shaft displacement under axial load.

*2 Radial play: Shaft displacement under radial load applied 1/3rd of the length from the end of the shaft.

Safety standards

Model Number: SM286 CE/UL marked models

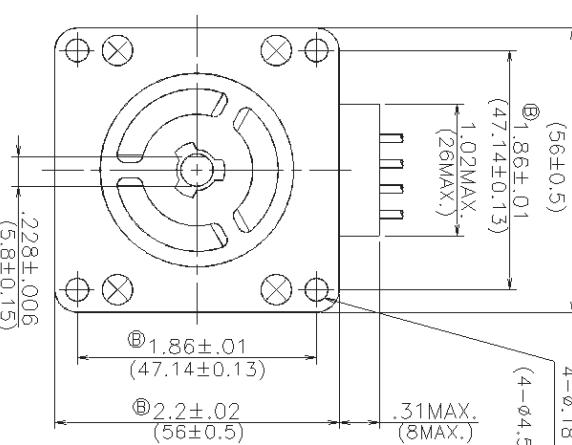
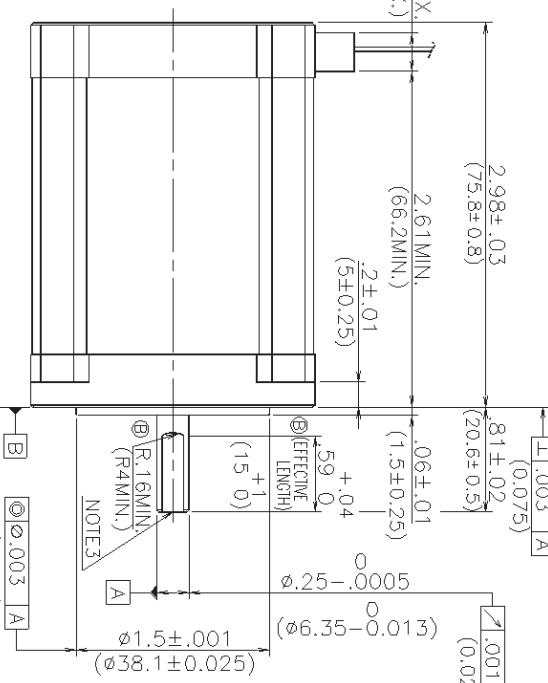
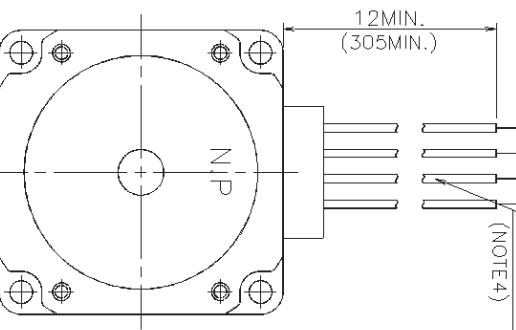
CE (TÜV)	Standard category	Applicable standard
Low-voltage directives		EN60034-1, EN60034-5
Acquired standards	Applicable standard	File No.
UL	UL	UL1004-1, UL1004-6
UL	UL for Canada	CSA C22.2 No.100
E179832		

Model Number: 103H712 -6 0, 103H822 -6 0, 103H8922 -63 1 CE marked model

CE (TÜV)	Standard category	Applicable standard
Low-voltage directives		EN60034-1, EN60034-5

ROHS ② 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

③ **LEAD WIRE**
UL1430 CSA AWG22
(NOTE4)



RATED CHARACTERISTICS

PHASES	2
STEP ANGLE	1.8 °
VOLTS	4 V[DCL]
AMPS	2 A/phase
D.C. RESISTANCE	$2 \Omega \pm 10\%$ at 25 °C
COIL INDUCTANCE	9.1 mH \pm 20% at 1 kHz, 1 V[rms]
HOLDING TORQUE	226.5 oz·in ($1.6 \text{ N}\cdot\text{m}$) at $I = 2 \text{ A}/\text{phase}$ 2Ex.
PULL OUT TORQUE	171 oz·in ($1.2 \text{ N}\cdot\text{m}$) INERTIAL LOAD 14.2 oz·in ² ($2.6 \times 10^4 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$) ④ (INERTIA OF RUBBER COUPLING IS INCLUDED.)
NOTE1. MAX. STARTING RATE	840 pulse/smin. at NO LOAD
NOTE1. MAX. SLEWING RATE	950 pulse/smin. at NO LOAD
NOTE2. POSITIONAL ACCURACY	$\pm 0.054^\circ$ (0.108° SPREAD MAX.) 2Ex.
COIL TEMPERATURE RISE	80 K MAX.
ROTOR INERTIA	1.97 oz·in ² ($0.36 \times 10^{-4} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$) NOMINAL
INSULATION CLASS	B
⑤ ALLOWABLE THRUST LOAD	15 N
⑥ ALLOWABLE RADIAL LOAD	33 N
LOAD TO SHAFT END.	

NOTE1. SANYO STANDARD 2PHASE EXCITATION DRIVE CIRCUIT WAS USED.

E=24 V[DCL], I=2 A/phase(AVERAGE VALUE)

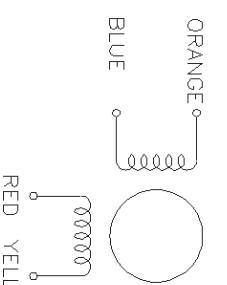
NOTE2. MOUNT A MOTOR ON 6.3×6.3×2.4t ($160 \times 160 \times 61$) ALUMINUM HEAT SINK AND ENERGIZE A COIL

AT 2 PHASE EXCITATION, I=2 A/phase CONSTANT.

NOTE3. CENTER HOLE ON THE SHAFT END IS NOT ALWAYS MADE.

⑦ NOTE4. A COLOR SCHEME OF LEAD WIRE OF MOTOR'S OUTLET IS DISCRETION.

CONNECTION



DIRECTION OF ROTATION

WHEN A MOTOR IS SEQUENCED AS SHOWN
IN THE TABLE BELOW, THE SHAFT ROTATION
MUST BE CLOCKWISE WHEN YOU SEE FROM
SURFACE **B** SIDE.

	1	2	3	4	RED	BLUE	YELLOW	ORANGE
STEP	①	②	③	④	①	②	③	④
1	①	②	③	④	+	+	+	+
2	②	③	④	①	+	+	+	+
3	③	④	①	②	+	+	+	+
4	④	①	②	③	+	+	+	+

品目番号記号

品目番号



PQ12 Actual Size

Benefits

- Compact miniature size
- Precise position feedback
- Limit switches
- Simple control
- Low voltage
- Equal push/pull force
- Easy mounting

Applications

- Robotics
- Consumer appliances
- Toys
- RC vehicles
- Automotive
- Industrial Automation



Miniature Linear Motion Series · PQ12

Actuonix Motion Devices unique line of Miniature Linear Actuators enables a new generation of motion-enabled product designs, with capabilities that have never before been combined in a device of this size. These tiny linear actuators are a superior alternative to designing your own push/pull mechanisms. Their low cost and easy availability make them attractive to hobbyists and OEM designers alike.

The PQ12 actuators are complete, self contained linear motion devices with position feedback for sophisticated position control capabilities, or end of stroke limit switches for simple two position automation. Driving them couldn't be easier, simply apply a DC voltage to extend the actuator, and reverse the polarity to retract it. Several gear ratios and voltage options are available to give you varied speed/force configurations.

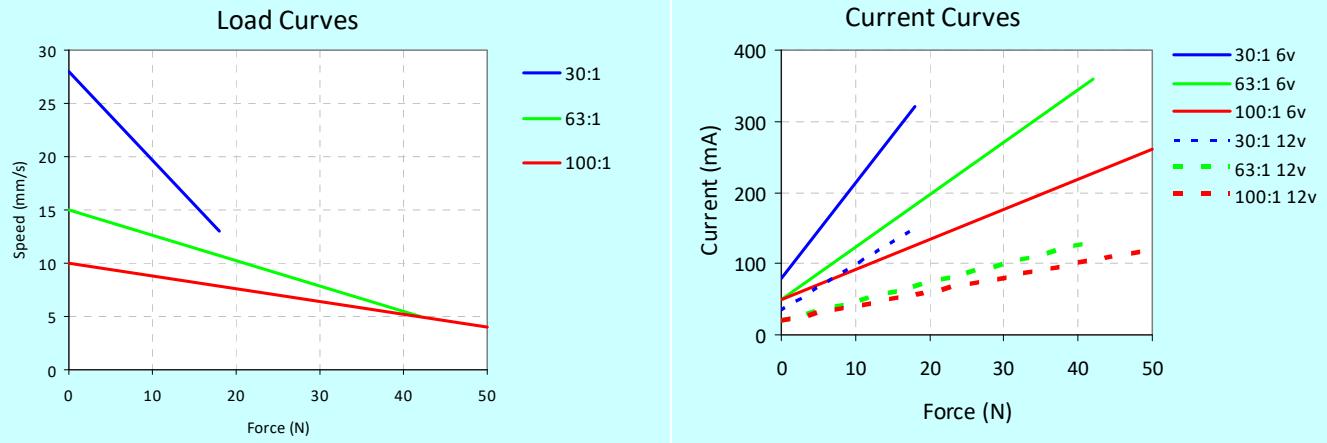
PQ12 Specifications

Gearing Option	<u>30:1</u>	<u>63:1</u>	<u>100:1</u>
Peak Power Point	15N@15mm/s	30N @ 8mm/s	40N @ 6mm/s
Peak Efficiency Point	8N @ 20mm/s	12N@12mm/s	20N @ 8mm/s
Max Speed (no load)	28mm/s	15mm/s	10mm/s
Max Force (lifted)	18N	45N	50N
Max Side Load	5N	10N	10N
Back Drive Force	9N	25N	35N
Stroke	20 mm		
Input Voltage	6 or 12 VDC		
Stall Current	550mA @ 6V, 210mA @ 12V		
Mass	15g		
Operating Temperature	-10°C to +50°C		
Positional Repeatability	±0.1mm		
Mechanical Backlash	0.25 mm		
Audible Noise	55dB @ 45cm		
Ingress Protection	IP-54		
Feedback Potentiometer	5kΩ±50%		
Limit Switches	Max. Current Leakage: 8uA		
Maximum Duty Cycle	20%		

Basis of Operation

The PQ12 is designed to push or pull a load along its full stroke length. The speed of travel is determined by the load applied (see load curves). When power is removed the actuator will hold its position, unless the applied load exceeds the back drive force. Repeated stalling of the actuator against a fixed load will shorten the life of the actuator. Since application conditions (Environmental, loading, duty cycle, vibration, etc) vary so widely, we advise application specific testing to determine the expected life of the actuator.

PQ12 Specifications



Model Selection

The PQ12 has 3 configuration choices: Gear Ratio, Voltage and Controller. PQ12 options are identified according to the following scheme:

PQ12-GG-VV-C

feature	options
GG: Gear reduction ratio (refer to load curves above)	30, 63, 100 (lower ratios are faster but push less force, and vice versa)
VV: Voltage	6, 12 (DC volts)
C: Controller	P Potentiometer Feedback S Limit Switches R RC Linear Servo (6V Only)

PQ12 Controller Options

Option S – End of Stroke Limit Switches

WIRING: (see next page for pin numbering)

- 1- Limit Switch Detection (Optional)
- 2- Actuator Motor Power
- 3- Actuator Motor Power
- 4- Not Connected
- 5- Not Connected

The –S actuators have limit switches that will turn off power to the motor when the actuator reaches within 1mm of the end of stroke. Internal diodes allow the actuator to reverse away from the limit switch. The limit switches cannot be moved. While voltage is applied to the motor power pins (2 & 3) the actuator extends. Reverse the polarity and the actuator retracts. This can be accomplished manually with a DPDT switch or relay, or using an H-Bridge circuit. The –S model cannot be used with the LAC control board. Pin #1 can be used to sense when the actuator has reached the end limits. See our FAQ page for a simple schematic to light an LED when the limits are reached.

All the information provided on this datasheet is for information purposes only and is subject to change. Purchase and use of all Actuonix Actuators is subject to acceptance of our Terms and Conditions of sale as posted here: <http://www.Actuonix.com/terms.asp>

Option P – Potentiometer Position Feedback

WIRING: (see next page for pin numbering)

- 1 – Feedback Potentiometer negative reference rail
- 2 – Actuator Motor Power
- 3 – Actuator Motor Power
- 4 – Feedback Potentiometer positive reference rail
- 5 – Feedback Potentiometer wiper

The –P actuators have no built in controller, but do provide analog position feedback. While voltage is applied to the motor power pins (2 & 3) the actuator extends. Reverse the polarity and the actuator retracts. Position of the actuator stroke can be monitored using the internal linear potentiometer. Provide any stable low and high reference voltage on pins 1 & 4, then read the position signal on pin 5. The voltage on pin 5 will vary linearly between the two reference voltages in proportion to the position of the actuator stroke. Connect to an LAC board for easy interface with any of the following control signals: Analog 0-5V or 4-20mA, or Digital 0-5V PWM, 1-2ms Standard RC, or USB.

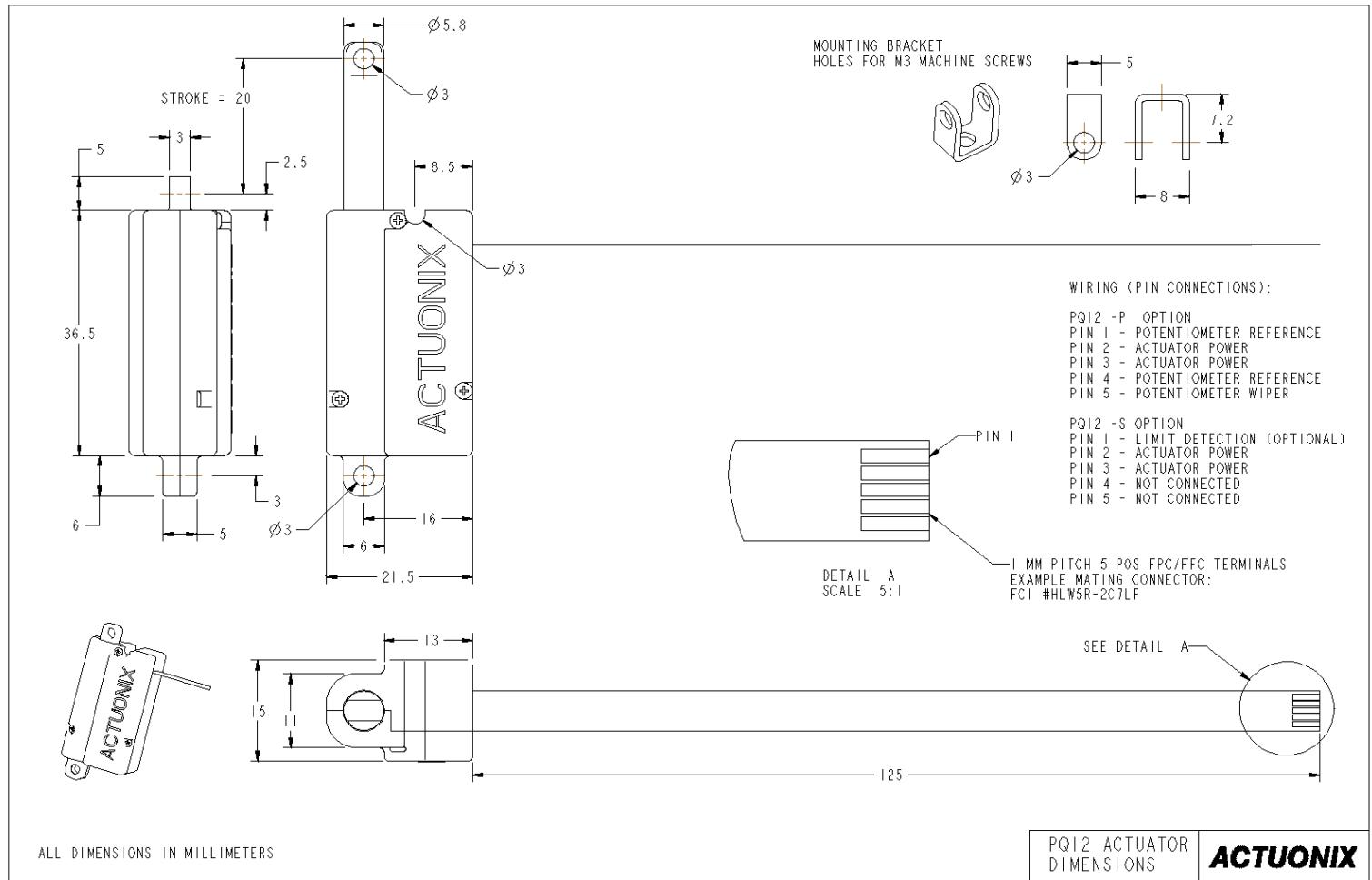
Option R – RC Linear Servo

WIRING: (see last page for pin numbering)

- 1 - RC input signal (RC-servo compatible)
- 2 - Power (+6 VDC)
- 3 - Ground

Note: Reversing polarity on pins 2 and 3 may cause damage

-R actuators are ideally suited to use in robotics and radio control models. The –R actuators or ‘linear servos’ are a direct replacement for regular radio controlled hobby servos. The desired actuator position is input to the actuator on lead 1 as a positive 5 Volt pulse width signal. A 2.0 ms pulse commands the controller to fully retract the actuator, and a 1.0 ms pulse signals it to fully extend. If the motion of the actuator, or of other servos in your system, seems erratic, place a 1–4Ω resistor in series with the actuator’s red V+ lead wire. The PQ12-R Linear Servos are designed to work with typical RC receivers and battery packs. Consequently, they also are compatible with Arduino control boards, VEX Microcontrollers and many other similar boards designed for robotics.



All data provided on this sheet is for information purposes only and is subject to change. Purchase and use of all Actuonix Actuators is subject to acceptance of our Terms and Conditions of sale as posted here: <http://www.Actuonix.com/terms.asp>

Copyright 2016 © Actuonix Motion Devices Inc.

Rev C. September 2016