

Disclaimer intellectueel eigendom



De in deze publicatie opgenomen informatie, tekeningen, beschrijvingen, modellen en technische uitwerkingen worden gepubliceerd teneinde onderzoek, validatie, reproductie en verdere ontwikkeling mogelijk te maken. Deze publicatie strekt mede tot het openbaar maken van de hierin beschreven techniek en het toevoegen daarvan aan de stand van de techniek. Aan deze publicatie kunnen geen exclusieve rechten op de beschreven technische oplossing worden ontleend. Voor zover op deze publicatie intellectuele eigendomsrechten rusten, verlenen Enexis en Alliander een wereldwijde, eeuwigdurende, niet-exclusieve en royaltyvrije licentie voor gebruik, reproductie, en verdere ontwikkeling, mits bronvermelding plaatsvindt.

Als er vragen of onduidelijkheden zijn over informatie in dit document, kan er contact opgenomen worden met Enexis en Alliander.

Contact

innovatie.ontwikkeling@enexis.nl

ronald.seele@alliander.com

RÜB HOUSE

Fase III

Project Rooibot

8 December 2025 - 1 September 2026



Project aanpak fase 3

Het project volgde een Double Diamond-aanpak, waarbij netbeheerders en aannemers intensief betrokken zijn om gezamenlijk focus te bepalen en tot een gedragen oplossing te komen



december 2025

Kick-Off

Deliver

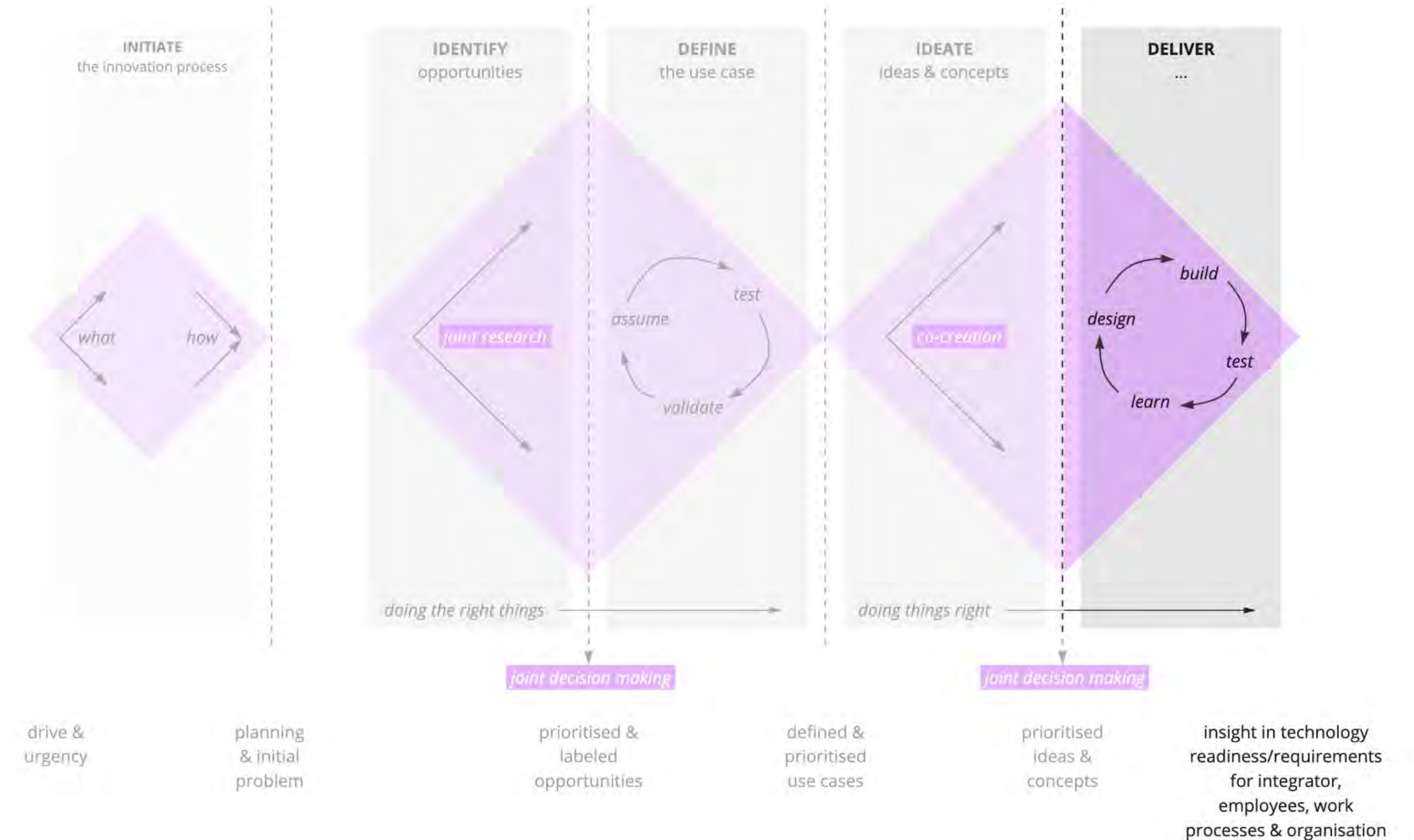
- 1- Representativiteit scenario's
- 2 - Requirements - ontwerp aanscherpen
- 3 - Adoptie door de aannemerij
- 4 - Experimentenreeks dmv rapid prototyping
- 5 - Geïntegreerde prototype: experiment definitie & prototype ontwerp

Demo Prototype - maart 2026

- 6 - Geïntegreerde prototype: bouw & uitvoeren experimenten
- 7- Aansluiting marktpartij & design tech transfer

Presentation TRL5 Prototype

september 2026



Project introductie



Uitdaging

Voor het verzwaren van het laagspanningsnet in woonwijken is in kaart gebracht dat er een kans ligt om het rooiproces te ondersteunen en te versnellen. Het huidige rooiproces, zoals geobserveerd in het voortraject, gaat met een snelheid van 50 meter per uur, uitgevoerd door 3-4 man. Dit is exclusief voorbereidingstijd en onder gunstige omstandigheden. In dit proces moet men veel bukken en moeten medewerkers zware stukken uit de geul tillen. Het rooiproces moet fysiek lichter, veiliger en sneller worden.

Achtergrond

Enexis en Alliander hebben met RoboHouse onderzoek gedaan naar de grootste verbeterpunten voor versnelling en ergonomie binnen de buurtaanpak. Onder buurtaanpak verstaan we de wijk voor wijk verzwaring van het laagspanningsnet in bestaande woonwijken: straten gaan open, bestaande kabels worden verwijderd en vervangen, en aansluitingen worden waar nodig aangepast om de groeiende vraag naar elektriciteit betrouwbaar te kunnen blijven faciliteren. Uit dit onderzoek kwam het rooien van laagspanningskabels nadrukkelijk naar voren als knelpunt: het werk is fysiek zwaar, vraagt meerdere mensen in de sleuf en vormt een rem op de doorzet. Daarom zijn Enexis en Alliander een innovatieproces gestart om het rooiproces mechanisch te ondersteunen, in nauwe samenwerking met uitvoerende aannemers en RoboHouse.

Conceptbeschrijving

De Rooibot verbetert het rooiproces door fysieke werkzaamheden te ondersteunen en het verwijderen van kabels gecontroleerd en efficiënt te laten verlopen. Voorafgaand aan het rooien worden op de benodigde kniplocaties hulpmiddelen geplaatst, waarmee de juiste kabel en positie is gemarkeerd en de directe omgeving is afgeschermd. Hierbij wordt gebruikgemaakt van bestaande selectiemethoden om de juiste kabel te identificeren. Vervolgens benadert de Rooibot de kabel en voert deze automatisch een veilige kniphandeling uit. Specifiek voor het knippen in de sleuf geldt dat dit onder voorbehoud is van aantoonbare veiligheid en compliance met geldende regelgeving (BEI). Direct daarna wordt de kabel vastgepakt en in een gecontroleerde beweging uit de geul getrokken, onder begeleiding van de operator. Na het verwijderen worden de kabel en de gebruikte hulpmiddelen losgekoppeld en naast de geul geplaatst.

De Rooibot is oorspronkelijk ontwikkeld vanuit een robotica concept. Op basis van praktijkervaringen is gekozen voor een meer pragmatische invulling, waarbij het systeem is doorontwikkeld tot een opzetstuk voor de minigraver. Hiermee sluit de oplossing beter aan op het huidige werkproces en kan deze sneller worden toegepast in de praktijk.

Huidige status

In de afgelopen fase zijn de eerste stappen gezet in ontwerp, engineering en validatie. Dit heeft geleid tot een breed gedragen prototype van de Rooibot, gedemonstreerd in een relevante, praktijkgerichte omgeving, inclusief opgedane inzichten uit veldobservaties, testopstellingen en feedback van gebruikers. Zie hier een video van de laatste demo: https://youtu.be/Ho7aICn_Qd4?si=aQskkz54RmMTPyzx

Doel fase III

Het realiseren en testen van een finaal prototype in een testomgeving, en het betrekken van een marktpartij voor overdracht.

Leeswijzer & Woordenlijst



Leeswijzer



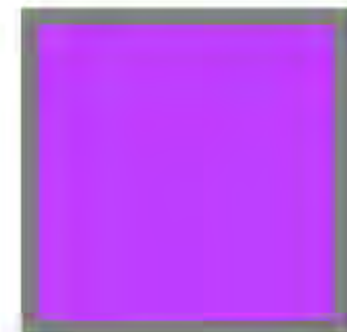
Section

Grey slides signify the start of a new section/project step.



Relevant insights are highlighted green

At the start of each section, key-insights and possible next steps are collected. On other slides all insights are highlighted or placed in a green box or post-it.



Appendices

Purple slides signify the start of a new appendix.

Sticky notes

Indicating notes and/or input from different stakeholders, employees and/or session participants

Woordenlijst & Afkortingen in alfabetische volgorde

Aansnijden kabel: Een snede maken in de mantel van de kabel, maar niet er doorheen, zodat deze verwijderd kan worden en het koper of draden bloot komt te liggen.

Bats: Schop/schep.

Combi: Naast werkzaamheden aan elektra ook aan andere nutsvoorziening zoals water (anders 'solo').

Duspol®: Apparaat om spanning te meten.

End-effector: Het onderdeel van een robotarm dat specifieke taken uitvoert, zoals grijpen, verplaatsen of bewerken van objecten. Binnen dit project word de arm van een graafmachine gebruikt in plaats van een robotarm en verwijst de end-effector naar het onderdeel dat aan de graafmachine bevestigd wordt.

GPLK: Gepantserde Papier-Lood Kabel.

HAS: Huisaansluiting.

IV'er: Installatie Verantwoordelijke.

KLIC: (Kadaster) Kabels en Leidingen Informatie Centrum.

LS: Laagspanning.

Leek: Iemand met VOP certificering maar zonder de certificaten die nodig zijn voor montagehandelingen.

Module: Binnen de scope van dit project bedoelen we met "de module" het onderdeel dat om de kabel bevestigd wordt, om deze te signaleren, te scheiden van andere infrastructuur en om de juiste kniplocatie aan te geven.

Mof: Een nieuw verbindingspunt tussen kabels die rondom waterdicht afsluit.

MS: Middenspanning.

MS-ruimte (MSR), wijktrafo, distributiestation, Ring Main Unit (RMU), stoomhuisje, transformatorstation, trafo, etc.: Benamingen voor middenspanningsruimte, waar middenspanning wordt omgezet naar laagspanning.

Netkabel: De hoofdkabel.

OIV'er: Operationeel Installatie Verantwoordelijke.

OV: Openbare verlichting.

PBM: Persoonlijke beschermingsmiddelen.

Robot: Een geautomatiseerd systeem dat de omgeving waarneemt [sense], informatie verwerkt om beslissingen te nemen [think] en vervolgens fysieke acties onderneemt om specifieke taken uit te voeren [act].

Rooien: Verwijderen van oude kabels.

Selecteren: Methode om te controleren welke kabel welke is, visueel of doormiddel van een meting.

Shovel / Wiellader / Laadschop: Grondverzetmachine op brede wielen, knikbesturing en een laadbak voorop.

Solo: Alleen werkzaamheden aan elektra (anders 'combi').

Vision: De mogelijkheid van een robot om visuele informatie te verwerken en te interpreteren. Dit stelt de robot in staat om objecten te herkennen, hun positie te bepalen en nauwkeurige acties uit te voeren op basis van wat het "ziet".

VOP: Voldoende Onderricht Persoon.

VP: Vakbekwaam Persoon.

WV: Werk verantwoordelijke.



Define

Verdieping situaties in en rond de geul

Om inzicht te krijgen in mogelijke barrières door omgevingsfactoren, willen we een beter beeld krijgen in de werksituaties in en rondom de geul.

Insights

Door Enexis is aan de aannemers gevraagd beeldmateriaal te leveren dat representatief is voor de werksituaties in en rondom de geul, die in Nederlandse woonwijken wordt aangetroffen. Wat opvalt is dat het overgrote deel van de situaties vergelijkbaar is. Aan één kant van de geul liggen de tegels, aan de andere kant ligt de grond die uit de geul geschept is. De geul is vaak van één kant bereikbaar met een graafmachine.

Uit dit beeldmateriaal kan het volgende opgemaakt worden:

- Er kan worden aangenomen dat de geulen over het algemeen goed bereikbaar zijn met de graafmachine. Volgens de aannemer kan dit in minstens 95% van de gevallen (in woonwijken).
- Er kan worden aangenomen dat de graafmachine met end-effector de kabel in de geul kan bereiken.
- Er kan worden aangenomen dat de obstakels (overige ondergrondse infra, (boom)wortels, instortende en vollopende geulen, en obstakels rondom de geul) te overkomen zijn.

Situaties IN de geul Overzicht

Zie appendix voor meer foto's



Zichtbaarheid van de te rooien kabel



De oude GPLK kabel is vaak lastig te zien, doordat deze bruin is uitgeslagen en de grond om de kabel vast koekt. De kabel moet voor de werkzaamheden vrijgegraven zijn dus is al zichtbaar gemaakt voordat het rooiproces begint. Bij veel kabels in één geul kan het lastig zijn om alleen de juiste kabel te bereiken en vast te pakken. Op veel van de gestuurde foto's is geen GPLK kabel zichtbaar. Wat hier de reden voor is is onduidelijk. Aangezien de te rooien kabel van te voren zal worden geselecteerd en met de module wordt gemarkeerd heeft dit geen negatieve impact op het werkproces t.o.v de huidige manier van werken.

Overige obstakels



Planten en boomwortels kunnen voor obstakels zorgen tijdens het rooiproces. De foto's suggereren dat dit af en toe voorkomt. Ook onderdoortjes komen af en toe voor.

Aanwezigheid en zichtbaarheid van overige ondergrondse infra



Er zijn plekken met veel ondergrondse infra, maar bij het grootste aantal geleverde fotot's valt dit mee. In sommige gevallen is alles mooi schoon gegraven, maar met regen, modder en zand is het lastiger te zien waarvoor moet worden uitgekeken en zal meer om de KLIC worden vertrouwd. Officieel zou de laagspanningskabel boven overige ondergrondse infra moeten liggen, met uitzondering van de glasvezelkabels, maar zoals ook op de foto's te zien is, is dit niet altijd het geval.

Instortten/ vollopen



Zand en regen kunnen zorgen voor een lastige werksituatie met ingestorte en volgelopen geulen, maar in de geleverde set afbeeldingen kwam dit maar af en toe voor.

Situaties IN de geul Overzicht

Zie appendix voor meer foto's



Verschillende soorten grondsoorten



Voor de werkzaamheden maakt het verschil of de grond hard, stevig, zacht of los is. In Nederland komt vooral zandgrond en kleigrond voor.

Breedte van de geul



De geul zou altijd een minimale breedte van 40 cm moeten hebben. Op de foto's is te zien dat de smalle geulen vaak 2 stoeptegels (60cm) breed zijn. Dit zou breed genoeg moeten zijn om met de end-effector in de geul bij de kabel te kunnen komen. Een geul met 3 kabels zou 100 cm breed moeten zijn. Op de aangeleverde en eerder genomen foto's zijn geulen te zien die vermoedelijk iets breder zijn, maar zien we geen situaties waarbij de graafmachine en kabel in de geul niet zou kunnen bereiken.

Diepte van de geul



De middenspanningskabels zouden op 60 cm diep moeten liggen. Door verzakking kan de te rooie kabel dieper zijn komen te liggen. Op de geleverde foto's is te zien dat de diepte van de geul varieert. Vaak is deze tussen de 60 en de 70 cm, maar dieper komt in deze dataset ook voor.

Situaties NAAST de geul Overzicht

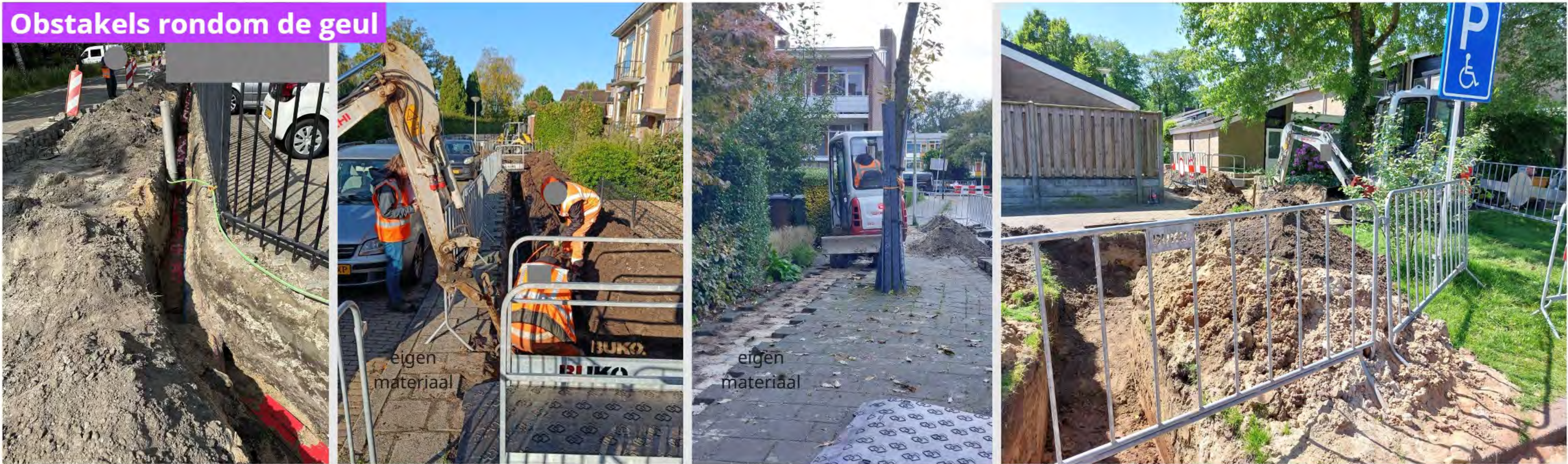
Zie appendix voor meer foto's



In zowel de geleverde foto's als eigen foto's gemaakt gedurende het project is het overgrote deel van de situaties vergelijkbaar. Aan één kant van de geul liggen de tegels, aan de andere kant de grond die uit de geul geschept is. De geul is vaak van één kant bereikbaar met een graafmachine.



Teruggravend in eigen gemaakt beeldmateriaal zijn er twee situaties gevonden waarin rooien met een graafmachine lastig is, vanwege weinig ruimte. In deze gevallen is het rooien met een graafmachine waarschijnlijk geen optie en zal dit proces op de oude manier moeten plaatsvinden.



Hekken, auto's, bomen/planten/natuur kunnen obstakels zijn om makkelijk bij de geul te komen, maar in de geleverde foto's zijn bijna geen situaties te zien waarin dit een probleem vormt.

Situaties in en naast de geul inzichten



Door Enexis is aan de aannemers gevraagd beeldmateriaal te leveren dat representatief is voor de werksituaties in en rondom de geul, die in Nederlandse woonwijken wordt aangetroffen.

Als het aangeleverde beeldmateriaal representatief is voor de werksituaties die in Nederlandse woonwijken wordt aangetroffen kunnen we het volgende concluderen:

- **Er kan worden aangenomen dat de geulen over het algemeen goed bereikbaar zijn met de graafmachine:**

Het overgrote deel van de situaties is vergelijkbaar. Aan één kant van de geul liggen de tegels, aan de andere kant ligt de grond die uit de geul geschept is. De geul is vaak van één kant bereikbaar met een graafmachine.

In fase 1 van dit project zijn twee situaties vastgelegd waar de geul (deels) niet goed bereikbaar was met een graafmachine. Dit suggereert dat in het merendeel van de gevallen werken met een graafmachine mogelijk is, maar bij enkele uitzonderingen is het nodig om het werk nog op de oude (huidige) manier te doen.

Aanvulling van aannemer: Je kan in zeker 95% van de gevallen de geul bereiken met een graafmachine.

- **Er kan worden aangenomen dat de graafmachine met end-effector de kabel in de geul kan bereiken:**

De geul is minimaal 40cm breed, maar is in praktijk vaak al (meer dan) 60 cm. Dit zou genoeg ruimte moeten zijn om met de end-effector de module te kunnen bereiken. De diepte van de geul zou 60cm moeten zijn maar is vaak iets meer. Bij het ontwerp van het concept wordt rekening gehouden met een potentieel diepere geul.

- **Er kan worden aangenomen dat de obstakels te overkomen zijn:**

Het rooiproces kan gecompliceerd worden door factoren als andere ondergrondse infra die over de kabel loopt, (boom) wortels, instortende geulen en obstakels rondom de geul. Dit geldt voor de huidige en toekomstige situatie. Deze obstakels worden niet gezien als dealbreakers voor het slagen van dit concept.

Eisen en wensen die uit deze analyse komen:

- De module en end-effector moeten functioneren in een geul van 40 cm breed.
- De graafmachine met end-effector moet de kabel kunnen bereiken in een geul van minimaal 60 cm diep, met een reservemarge tot 80cm.
- De end-effector moet niet kunnen blijven hangen op/aan wortels van planten en bomen.
- De modules moeten makkelijk kunnen worden vrij gegraven en zandvrij gemaakt kunnen worden, bij instorting van de geul.



Define

Experimenten

Om de technische haalbaarheid van de verschillende concepten te onderzoeken, zijn verschillende experimenten uitgevoerd.

Insights

- Om vanuit de graafmachine in de geul te kunnen werken moet er gebruik gemaakt worden van een camera met scherm in de cabine.
- Camerabeeld geeft geen afstandperceptie en kan verholpen worden met behulp van een laser die het punt van landen aangeeft.
- Het overstappen van normaal aansturen naar het beeldscherm geeft een onderbreking. Het is nog onduidelijk in welke mate een graafmachinist hier vaardig mee om kan gaan.
- Een simpele ondersteuning van de kabel met blokken om het vrij van de andere kabel te presenteren werkt niet goed.
- Een dempingsmechanisme in de end-effector om schade in de geul te voorkomen is waarschijnlijk niet voldoende omdat er verschillende richtingen star zijn waar veel kracht overgebracht kan worden.

Experiment

nr 1

naam Module

duur 8

eigenaar Auke

deadline: ...



1. Aanname

Wij geloven dat ...
Een licht bewerkt houten blokje kan voldoen om de geselecteerde kabel te presenteren en aan te duiden voor het rooien. Zonder dat er beschadigingen optreden en er genoeg ruimte ontstaat voor de grijper en de schaar die gebruikt worden voor het prototype.

2. Experiment

Om dat te verifiëren, gaan we ...
Een opstelling maken:

1. Waarbij drie kabels in een geul liggen en de middelste verhoogt is met een houten blokje.
2. De kabel borgen we door een Tiewrap door het houten blokje en om de kabel te bevestigen.

Voornaamste materialen:

- Houten blokje
- Stevige Tiewrap
- 2x Kunststof kabel en 1x GPLK

3. Meten

En meten we ...

1. Een eerste indruk van werken
 - a. Stabiliteit
 - b. Omliggende ruimte m.b.t. knippen en omliggende schade maken.

4. Risico's & afhankelijkheden

Wat het experiment kan beïnvloeden is ...

- Andere ondergronden zoals, zachte grond, gladde klei, harde schuine ondergrond.
- Weersomstandigheden m.b.t. tot de ondergrond. Nat/droog, vorst.

5. Criteria

Onze aanname klopt als voor beide van de configuraties...

1. Het blok (module) stabiel blijft staan.

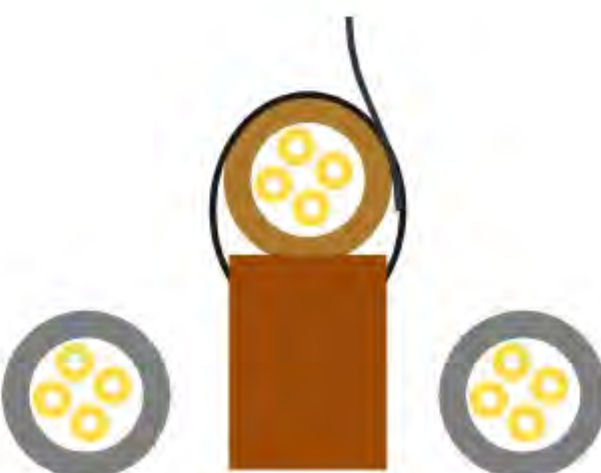
Nee, om afstand te bewaren moeten er minimaal twee gestapeld worden en wordt het onstabiel.
2. Er genoeg ruimte is voor de klem en schaar (inschatting) die gebruikt voor in het eindprototype.

Ja
3. Er geen twijfel is over mogelijke beschadiging aan de omliggende kabels.

Tsja, Alleen als de blokken rechtop staan, maar dan dreigen ze al snel om te vallen.

6. Visuals & resultaten

Hoe het experiment eruit zag en wat de resultaten zijn:



Vooraanzicht Zijaanzicht





Inzichten

We hebben geleerd dat ...

- Als de graafmachine op de kabel land dat deze al snel het blokje de grond in duwt. (geen meegevend mechanisme aanwezig op de graafmachine)
- De tiewrap houd het blok relatief goed vast aan de kabel.
- Als het blokje relatief hoog is (om afstand te creëren van de overige kabels) deze al redelijk snel onstabiel en omgeduwd kan worden.

Relevante inzichten vanuit vorige experiment(en):

- N.v.t.

Volgende aanname(s) die uit dit experiment komen:

- Een module in een wat bredere vorm zal de stabiliteit waarborgen.
- ...

Experiment

nr 2a

naam Benadering: Camera posities

duur 32

opgeleverd Auke

deadline ...



1. Aanname

Wij geloven dat ...
We met twee camera's buiten het zicht een kabel kunnen benaderen en daar op kunnen landen met de "punt".



2. Experiment

Om dat te verifiëren, gaan we ...
Een opstelling maken met een robot arm waarbij er een frame als end effector op gezet wordt. Deze wordt met de teach pedant van de robot arm aangestuurd en via het beeldscherm gestuurd. Onderaan de end effector wordt een uitstekende pin gezet die op een stip van de kabel moet landen.

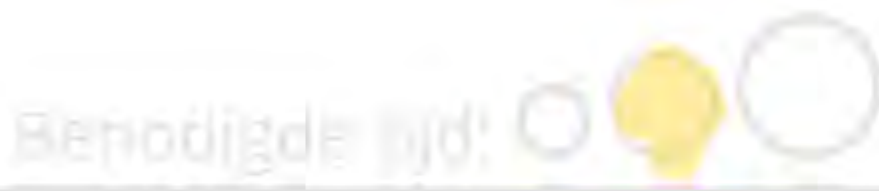
- Uitvoering:
- Schuiven met de camera afstanden en hoeken om een optimum te vinden. Een camera voor het overzicht en een voor close up.
 - In een min of meer continue beweging landen op de stip

- Voornaamste materialen:
- ABB IRB1200 Robot arm
 - 2 camera's + switch + laptop
 - Cable
 - Aluminium profielen voor het frame



3. Meten

- En meten we ...
- Of het lukt om met behulp van twee camera's de punt op de stip van de kabel te landen.
 - Of dit in een min of meer vloeiende beweging gebeurt.



4. Risico's & afhankelijkheden

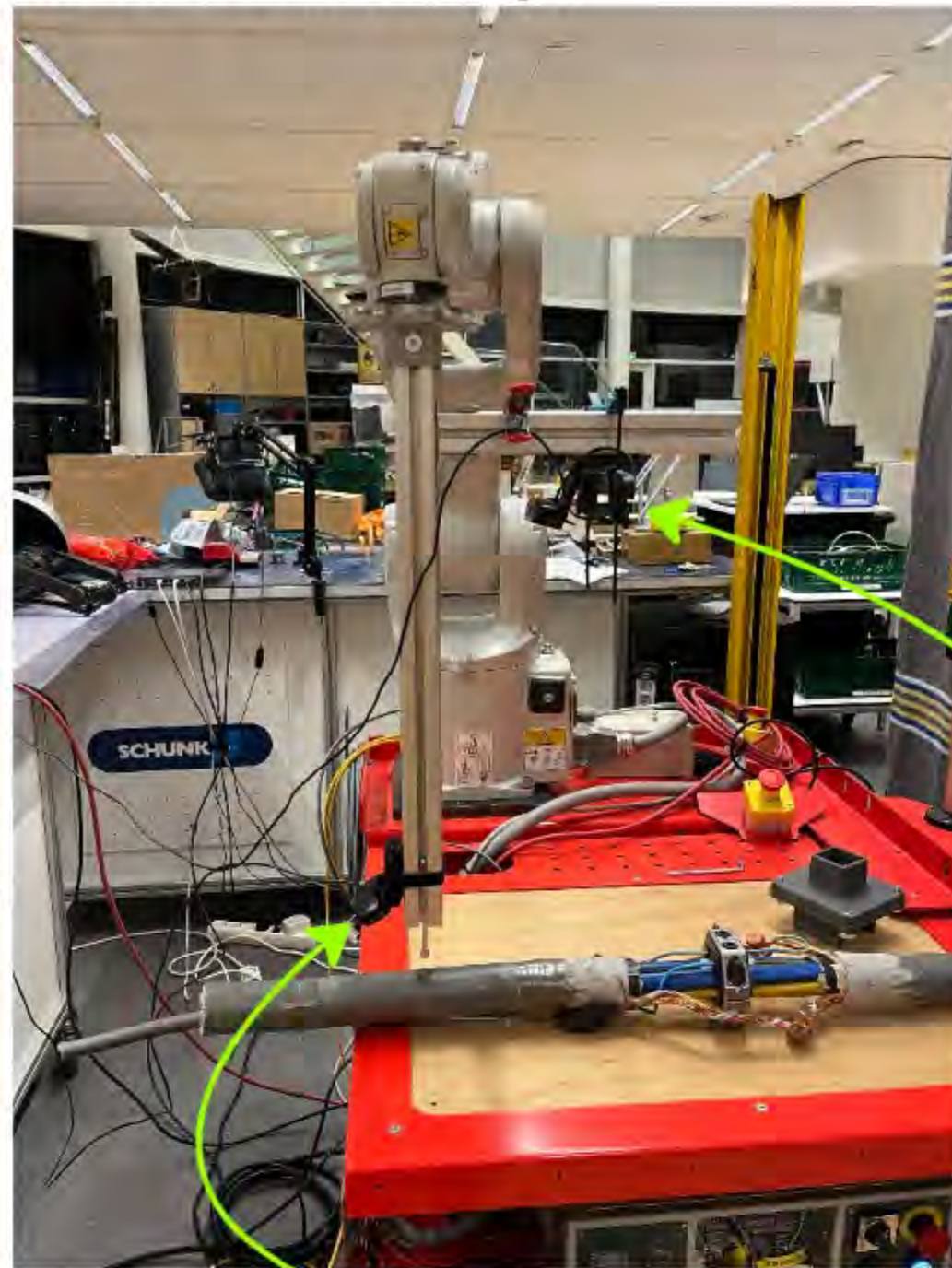
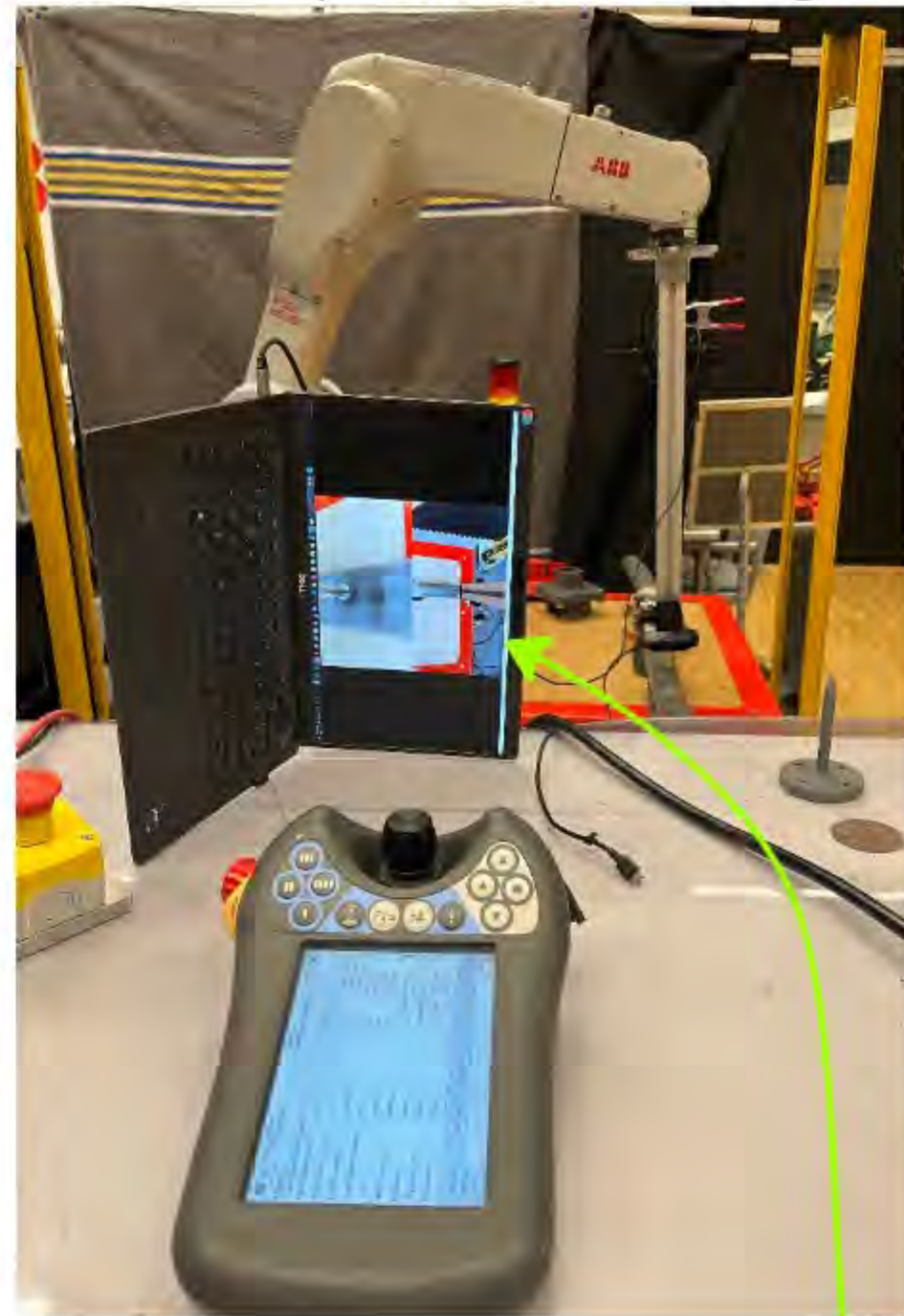
- Wat het experiment kan beïnvloeden is ...
- De meer starre aansturing en beweging van de robot arm versus de toegankelijker aansturing van een graafmachine.
 - Het in een rechte lijn sturen van de robot versus de handmatige aansturing met de graafmachine.

5. Criteria

- Onze aanname klopt als ...
- we met twee camera's op de punt kunnen landen.
Ja, dit lukt, maar moeizaam omdat de diepte niet goed in te schatten is. Er moet vaak tot het laatste moment bijgestuurd worden.
 - we in een vloeiende beweging naar de punt kunnen sturen.
Nee, bij het met het blik overgaan van het overzichtsbeeld naar de close up is de neiging om even halt te houden. Dit vooral ook omdat de punt al relatief dicht bij het einde is en je voorzigtiger moet zijn.
De overstap van de normale aansturing naar het beeldscherm is verbeterd door het haakste beeld een kwart slag te draaien zodat de aansturing gelijk blijft.

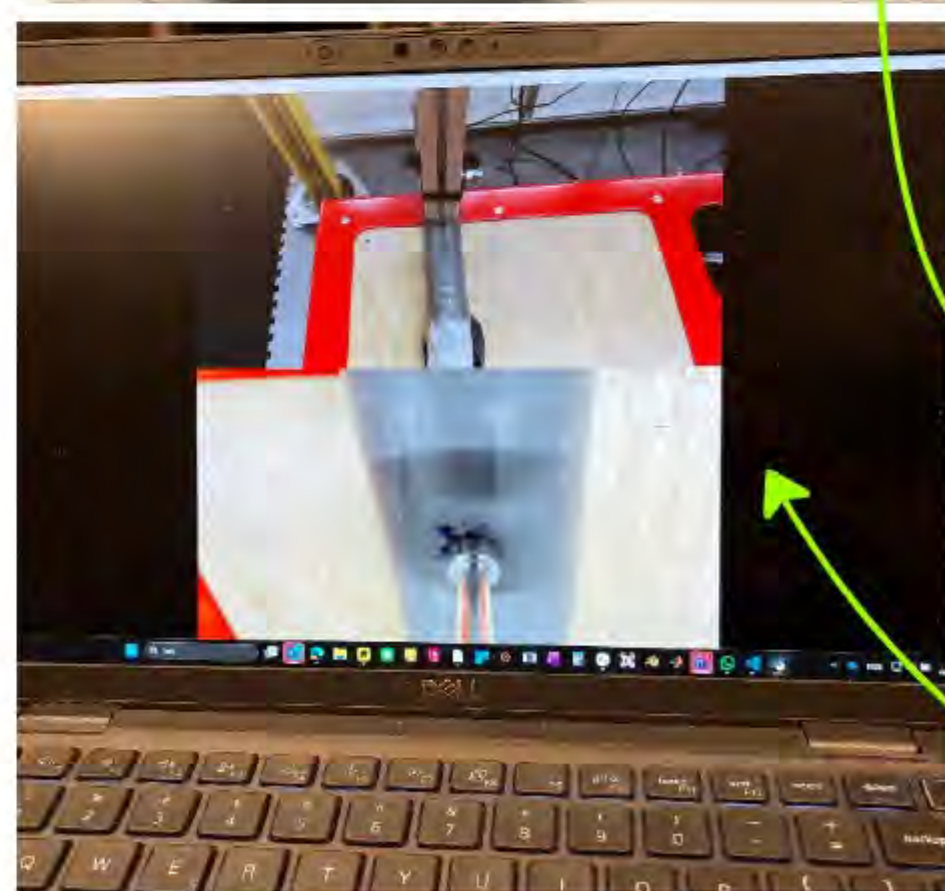
6. Visuals & resultaten

Hoe het experiment eruit zag en wat de resultaten zijn:



Close up camera

Overview camera



Camerabeelden in lijn met de bediening van de graafmachinist.

Camerabeelden, haaks op wat de graafmachinist zou zien.

Inzichten

We hebben geleerd dat ...

- Bij het overgaan van robot bediening vanuit direct zicht naar het scherm heeft het de voorkeur om de bediening identiek te houden. Dus dat je dezelfde stuurbewegingen maakt op het scherm als dat je er direct naar kijkt.
- Het geeft niet dat hierbij het beeld 90 graden gekanteld is waardoor de kabel op het beeldscherm van je af loopt inplaats van dwars zoals het in de werkelijkheid voor je is.
- Het is natuurlijk om met de overzichtscamera te beginnen en bij benadering het blik over te zetten naar het close-up beeld. Deze overgang is een kleine onderbreking in de flow. Dit is onwenselijk omdat de end effector al aardig dicht bij het doel is en een stop in beweging van de arm tot schommelingen kan leiden bij een graafmachine.
- Voor beide camerabeelden geldt dat de diepte erg moeilijk is in te schatten en er vaak tot het laats bijgestuurd moet worden.
- Je hebt geen zicht op wat er achter de end effector gebeurt.

Relevante inzichten vanuit vorige experiment(en):

- n.v.t.

Volgende aanname(s) die uit dit experiment komen:

- We kunnen doormiddel van het aanwijzen vanuit het midden met een rode laser het centrale landingspunt belichten.

Motivatie:

Dan kan de graafmachinist direct bij het overschakelen naar de beeldschermen hoog over de end effector richten en daarna recht naar beneden afdalen. Hierdoor is het minder belangrijk om precies de diepte waar te nemen. Een ander voordeel is dat na het richten er meer aandacht voor de omgeving en het overzicht mogelijk is.

Het zou ook mogelijk zijn om een camera centraal te zetten, maar we zien een lichtbundel als minder fragiel om toe te passen in deze omgeving. Ook bespaard dit een extra deel van het schermbeeld.

Experiment

nr. 2b

naam Benadering: Richten met rode laser

duur

8

eigenaar Auke

deadline

...



1. Aanname

Wij geloven dat ...

we het gemis van diepte op een beeldscherm kunnen neutraliseren doormiddel van het aanwijzen van het landingspunt met een lichtbundel vanuit het midden van de end effector. Richten en dan laten zakken tot de landing.



2. Experiment

Om dat te verifiëren, gaan we ...

Een obstructie op het uiteinde van de opstelling van experiment 2a toevoegen met een laser in het midden. In de werkelijkheid zal er namelijk ook een deel van het zicht geblokkeerd zijn. De close up camera verwijderen we en de overzichtscamera laten we zitten.

Uitvoering:

- Schuiven met de camera afstanden en hoeken om een optimum te vinden.
- In een continue beweging landen op de stip

Voornaamste materialen:

- Opstelling experiment 2a
- Puntlaser
- Eindstuk met een vlak van 120 x 120 mm.



3. Meten

En meten we ...

1. Of het lukt om met een overzichtscamera en een laser in de punt op de stip te landen en hierdoor geen last hebben van een missend inzicht van diepte.
2. Of dit in een min of meer vloeiende beweging gebeurt.



4. Risico's & afhankelijkheden

Wat het experiment kan beïnvloeden is ...

- De meer starre aansturing en beweging van de robot arm versus de toegankelijke aansturing van een graafmachine.
- Het in een rechte lijn sturen van de robot versus de handmatige aansturing met de graafmachine.

5. Criteria

Onze aanname klopt als ...

1. De laser punt helpt om op de landingsplek te richten en hiermee het missende diepte inzicht.

Ja, door met de laser van hoog over te richten kun je dalen zonder helemaal zeker te zijn van de diepte. De kanttekening is dat deze laser relatief zwak is en flets overkomt op het beeld. Hoe zal dat in het veld zijn?

2. Een min of meer vloeiende beweging is mogelijk tot de landing.

Ja

6. Visuals & resultaten

Hoe het experiment eruit zag en wat de resultaten zijn:



Inzichten

We hebben geleerd dat ...

- Het aanwijzen van de landingsplek met een zichtbare laser het diepte probleem kan oplossen.
- Na een bepaalde diepte afstand de end effector het lichtpunt uit het zicht neemt.
- De mate van omgevingsbelichting invloed heeft op de zichtbaarheid van de laser.
- Door met de kop (met camera) te draaien je:
 1. De gripper in lijn kan zetten met de kabel.
 2. Er enigzins aan de andere kant van de end-effector gekeken kan worden.

Relevante inzichten vanuit vorige experiment(en):

- Voor beide camerabeelden geldt dat de diepte erg moeilijk is in te schatten en er vaak tot het laats bijgestuurd moet worden.
- Je hebt geen zicht op wat er achter de end effector gebeurt.

Volgende aanname(s) die uit dit experiment komen:

- Een wat bredere krachtige lichtbundel kan het geschikt maken voor buiten.

bijvangst: potentie van gebruik van camera's op graafmachine voor andere processen

Experiment

nr. 2c

naam Aansturen in de geul via het scherm

duur ...

eigenaar Auke

deadline: ...



1. Aanname

Wij geloven dat ...
Dat de end effector op de juiste plek te zetten is doormiddel van camerabeeld.

Kritiek:

2. Experiment

Om dat te verifiëren, gaan we ...
Een kabel uit de geul halen zowel bij RoboHouse als bij de demo bij de Simulatiestraat in Utrecht.

- 1,5 - 2 ton graafmachine
- Prototype end effector
- Lenovo 11" tablet
- WiFi breedbeeld achteruitrijcamera
- Tablet houder (raam en stang)
- Twee graafmachinisten
- Geul 40cm breed, 60 - 80cm diep.

Kosten:

3. Meten

En meten we ...
1. Het kunnen aansturen van de end effector naar de juiste plek via beeldscherm.
2. Een natuurlijke manier van aansturing met het beeld een kwartslag gedraaid werkt.

Benodigde tijd:

4. Risico's & afhankelijkheden

Wat het experiment kan beïnvloeden is ...
• Type camera

5. Criteria

Onze aanname klopt als ...
1. **Ja**, het is mogelijk om de tip van de end effector naar de juiste plek te sturen.
2. **Tsja**, er zijn verschillende meningen over wat het beste werkt.

6. Visuals & resultaten

Hoe het experiment eruit zag en wat de resultaten zijn:



"Oh, dat anders aansturen
leren wij machinisten zo"

Inzichten

We hebben geleerd dat ...

- Er verschil van mening is of de hoek van het scherm gedraaid moet zijn voor een beter gevoel van aansturing.
- 120 cm afstand is te ver voor dit type camera om goed te zien wat er gebeurt.
- 40 cm afstand werkt prima.
- Het beeld is wat donker.
- Er is enige reflectie van de omgeving op het scherm, maar het is nog te doen.
- Met de camera op 40 cm afstand is er minder overzicht wat er langs de gehele end effector gebeurt.
- Doordat er geen centrale kolom is kun je beter de sleuf in kijken.
- Er is geen beeld van wat er recht achter de tip gebeurt.

Relevante inzichten vanuit vorige experiment(en):

- N.v.t.

Volgende aanname(s) die uit dit experiment komen:

- ...
- ...

Experiment

Uit de vorige projectfase

naam Vasthouden door te klemmen

duur 8

eigenaar Auke

deadline: ...



1. Aanneame

Wij geloven dat ... het plaatsen van een grijper genoeg is om de kabel te hanteren.

Kritiek: ☐ ☐ ☒

2. Experiment

Om dat te verifiëren, gaan we ... een bankschroef op de beide type kabels plaatsen en hier met de hand zo hard mogelijk alle kanten op trekken.

Kosten: ☒ ☐ ☐

3. Meten

En meten we ... of de kabel los laat of de neiging hier tot heeft.

Benodigde tijd: ☒ ☐ ☐

4. Risico's & afhankelijkheden

Wat het experiment kan beïnvloeden is ...

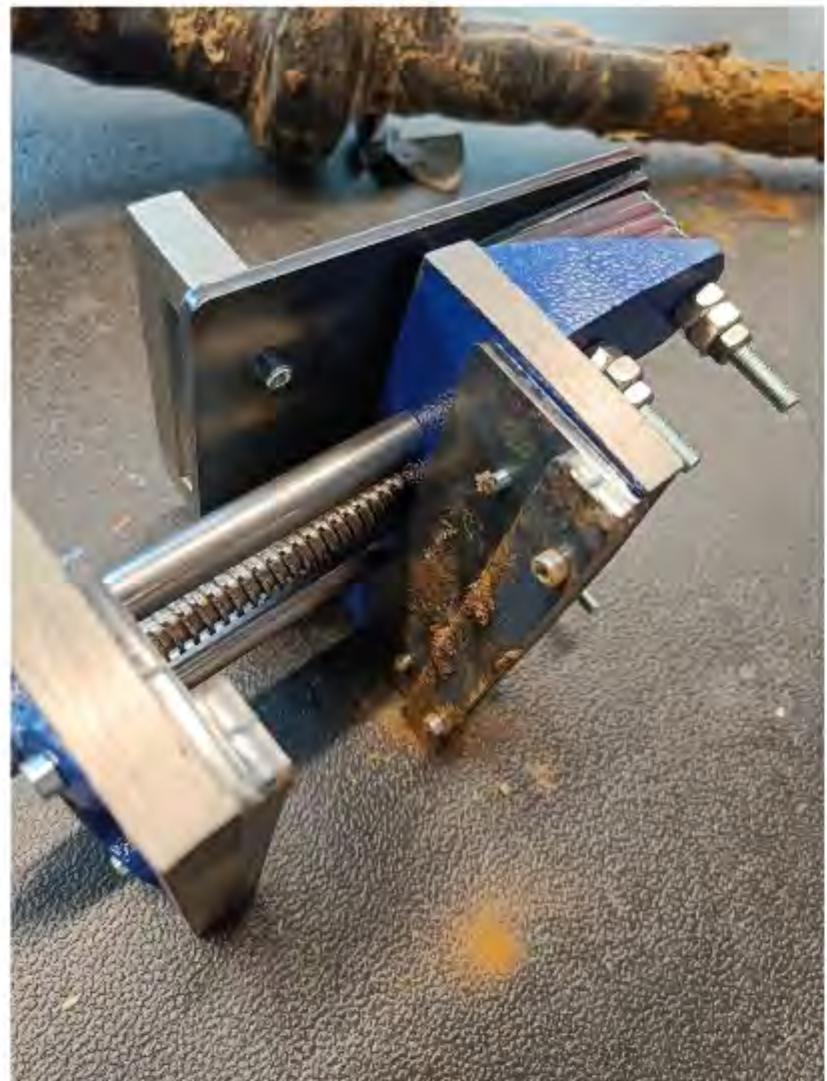
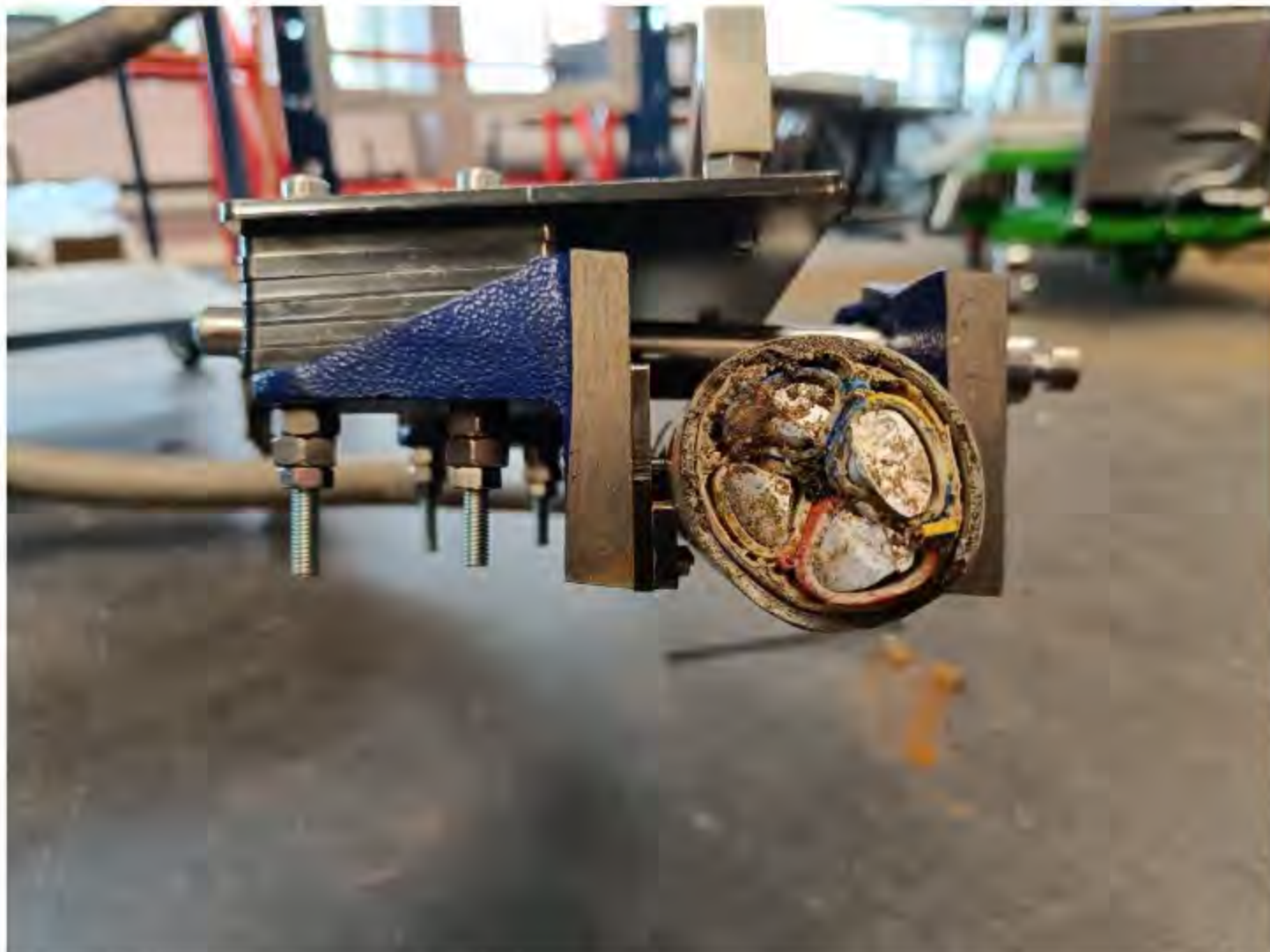
5. Criteria

Onze aanname klopt als ... als de kabel vast blijft zitten en er geen vrijheidsgraden meer zijn.

1. **Ja**, de kabel blijft goed vast zitten en heeft geen vrijheidsgraden.

6. Visuals & resultaten

Hoe het experiment eruit zag en wat de resultaten zijn:



150mm lengte

Inzichten

- We hebben geleerd dat ...**
- Het vastklemmen van beide type kabels met een grijper geeft genoeg klemming om de kabels te hanteren.
- Relevante inzichten vanuit vorige experiment(en):**
- Exp. 3A, Er enige rotatievrijheid is om de kabel links-/rechtsom te draaien.
- Volgende aanname(s) die uit dit experiment komen:**
- Het is mogelijk om een kabel die tussen ander kabels ligt met een grijper te pakken en op te tillen.

Experiment

nr. 3

naam Grijpen in de geul

duur ...

eigenaar Auke

deadline ...



1. Aanname

Wij geloven dat ... de kabel goed te benaderen en pakken is met de grijper.

Kritiek:

2. Experiment

Om dat te verifiëren, gaan we ...

Een kabel uit de geul halen zowel bij RoboHouse als bij de demo bij de Simulatiestraat in Utrecht.

- 1,5 - 2 ton graafmachine
- Prototype end effector
- Lenovo 11" tablet
- WiFi breedbeeld achteruitrijcamera
- Tablet houder (raam en stang)
- Twee graafmachinisten
- Geul 40cm breed, 60 - 80cm diep.

Kosten:

3. Meten

En meten we ...

Benodigde tijd:

4. Risico's & afhankelijkheden

Wat het experiment kan beïnvloeden is ...

5. Criteria

Onze aanname klopt als ...

6. Visuals & resultaten

Hoe het experiment eruit zag en wat de resultaten zijn:



Inzichten

We hebben geleerd dat ...

- Het goed mogelijk is om de kabel te pakken en ook op te krullen op de kant.
- De zijkanten niet bereikbaar zijn omdat de opzet te breed is.
- De brede vlakke kant gebruikt kan worden om kabels te manipuleren, maar dat dit moeilijk is zonder schade te veroorzaken.
- Het moeilijk is om de end-effector loodrecht op te houden.
- De kolom lengte van ca 800mm voldoende is om de bodem van de geul te bereiken.
- Schade veroorzaken is makkelijk gedaan ook al gaat het nog zo voorzichtig.

Relevante inzichten vanuit vorige experiment(en):

- ...
- ...

Volgende aanname(s) die uit dit experiment komen:

- ...
- ...

Experiment

Afgebroken door opgedane inzichten
tijdens het experimenteren en
overgestapt naar nieuw concept met hier.

Benaderen: Positioneren op de kabel

duur ...

eigenaar ...

deadline ...



1. Aannamen

Wij geloven dat ...
Er demping nodig is in de end effector omdat je anders schade veroorzaakt op de mantel van de kabel bij het landen naar en op de module.

Kritiek:

2. Experiment

Om dat te verifiëren, gaan we ...
Onderzoeken welke mechanismen er nodig zijn om schade te voorkomen en of deze werken bij het uit de geul halen van de kabel.

1. Een (industriële) robot arm.
2. Een meegevende en niet meegevende end-effector.
3. Scharnierende functies op de end-effector.
4. Diverse opzetstukken voor het landen op de kabel.
5. Veerbalanser
6. Contragewichten voor op de end-effector
7. Een kunststof kabel.

Kosten:

3. Meten

En meten we ...
1. Het verschil van schade bij de verschillende dempingsmethoden.

Benodigde tijd:

4. Risico's & afhankelijkheden

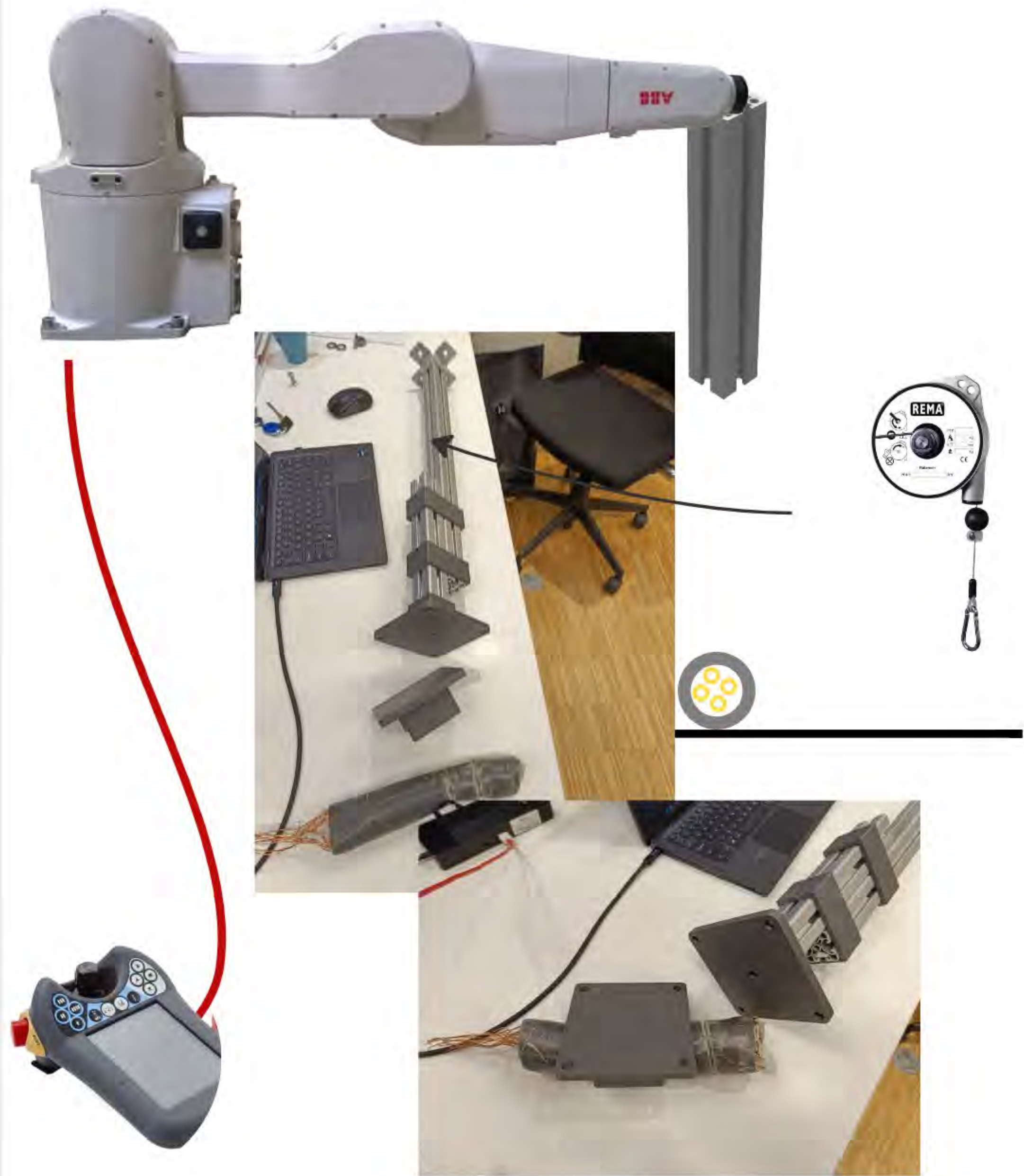
Wat het experiment kan beïnvloeden is ...
• De kracht van de robot arm

5. Criteria

Onze aanname klopt als ...

6. Visuals & resultaten

Hoe het experiment eruit zag en wat de resultaten zijn:



Inzichten

We hebben geleerd dat ...

- Omdat elk mechanisme wel meerde richtingsassen heeft die niet gedempt zijn blijft er kans op schade.
- Dempingsmechanismen geven meer complexiteit en kans op falen en waarschijnlijk minder goede werking over de tijd.
- ...

Relevante inzichten vanuit vorige experiment(en):

- ...
- ...

Volgende aanname(s) die uit dit experiment komen:

- ...
- ...



Deliver Demo

Tijdens de demo testen we het prototype op de graafmachine in een testomgeving, met medewerkers. Het prototype kan landen, pakken en de kabel uit de geul trekken. We doen dit om inzicht te krijgen in de werking van het prototype in een werkomgeving, inzicht te krijgen in de ervaring van de medewerker tijdens het werken met dit prototype, en om het concept te presenteren aan betrokken partijen.

Insights

- De medewerkers konden met de graafmachine en end-effector de kabel bereiken en uit de geul trekken.
- De huidige opstelling vereist een voorzichtige graafmachinist met ervaring en geduld. Het risico op beschadigingen aan overige ondergrondse infra bij grof gebruik is aanwezig.
- De end-effector moet compacter worden, en minder zwaar zijn om zwabberen te voorkomen.
- Het is lastig om de end-effector verticaal te houden tijdens het grijpen en tillen.
- Diepte inschatten op het camerabeeld is lastig. Een camerabeeld dichterbij de kabel, en een camerabeeld waar meer omgeving zichtbaar is kan mogelijk helpen bij het beter oriënteren in de geul.

Een video van deze demodag:

https://youtu.be/Ho7alCn_Qd4?si=aQskkz54RmMTPyzx

Demo Opstelling



Testopstelling



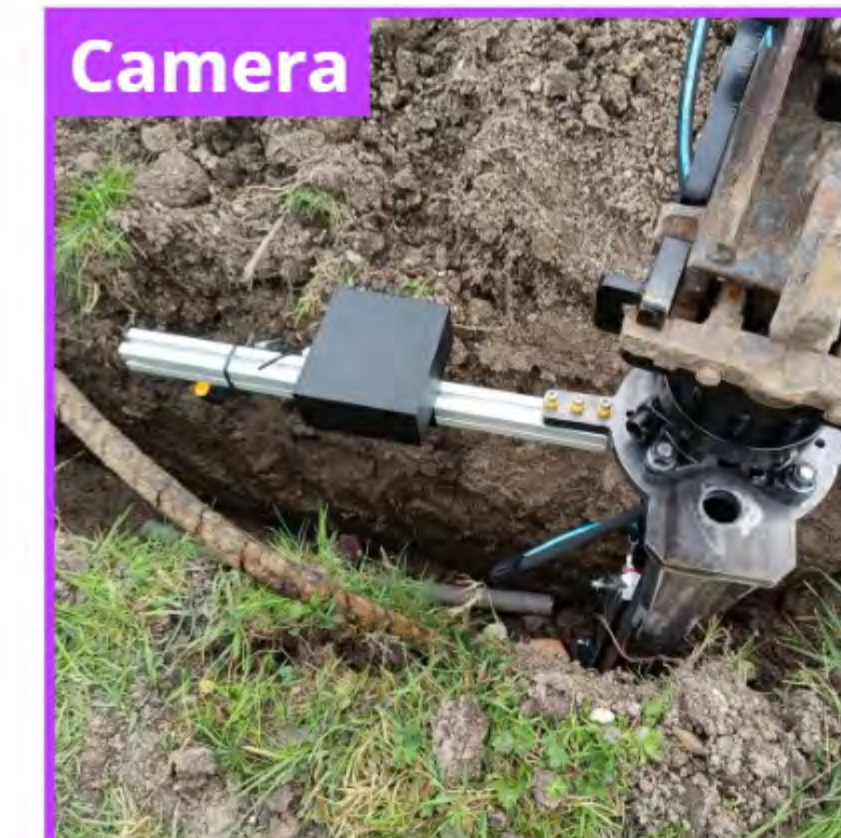
End-effector



Kabels in geul



Scherm op graafmachine



Camera

Doel van de dag

Het testen van het prototype op de graafmachine, die kan landen, pakken en eruit halen, in een testomgeving. Dit is een eerste gebruikerstest door medewerkers in (gesimuleerde) werkcontext.

We willen:

- Ophalen feedback van medewerker.
- Inzicht krijgen in werking van het concept tijdens gebruik.
- Het presenteren van het concept aan de betrokken partijen.

Planning van de dag

Programma:

- 13:00 inloop
- 13:30 presentatie
- 14:00 demo in kleine groepen
- 15:00 feedback en napraten

Foto's Demo moment

Maart 2026, Simulatiestraat



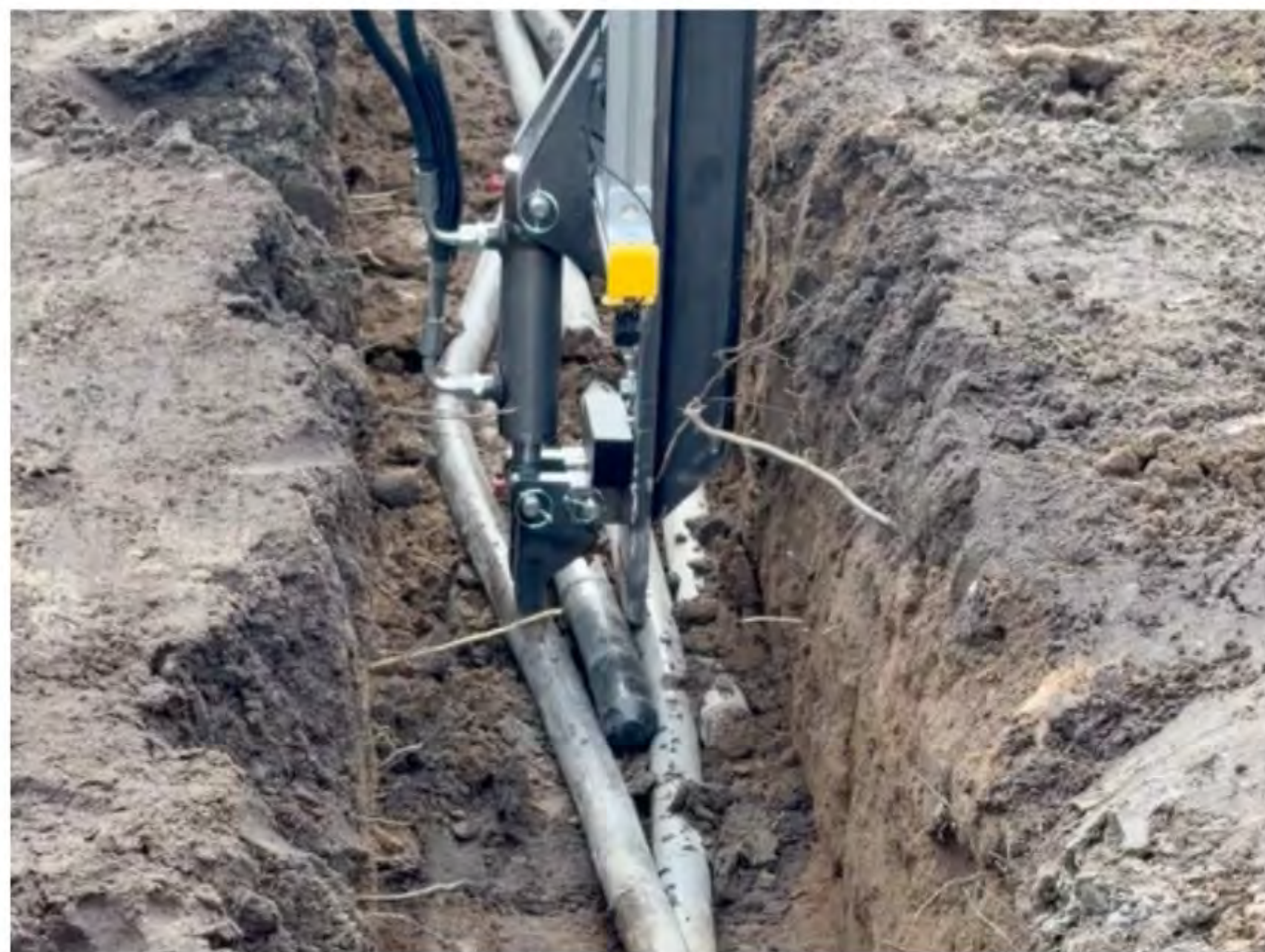
Foto's Demo moment

Maart 2026, Simulatiestraat



De kabel kan met behulp van het camerabeeld worden benaderd.

Bij het omhoog trekken van de kabel is het lastig om de end-effector verticaal te houden, waardoor de zijkant van de geul geraakt wordt.



Een kabel die niet vrij ligt van omliggende kabels is moeilijk te grijpen. De kans bestaat dat andere kabels daarbij kunnen beschadigen. De module kan gebruikt worden om de kabel vrij te leggen.



De graafmachine en end-effector hebben genoeg kracht en grip om een groot stuk kabel uit de geul te verwijderen.

Feedback sessie Aantekeningen



Zie appendix voor leesbare post-it's

Inzichten Demomoment en feedback sessie



Inzichten ontwerp en besturing van end-effector

- Voorzichtig genoeg benaderen is nog afhankelijk van de machinist en graafmachine.
- Men wil de end-effector recht naar beneden kunnen laten afdalen i.p.v. dat de machinist dat (in stappen) moet bijstellen.
- Het is moeilijk om te zien of de end effector recht staat.
- Het zou helpen met een afstandmeter op het beeldscherm te hebben, of op een andere manier de diepte beter in te kunnen schatten.
- Een tweede camera is waarschijnlijk toch nodig om de omgeving in de gaten te houden.
- De end-effector moet smaller en bij voorkeur korter.
- Geen uitstekende delen. Hydroliek slangen binnen een frame wegwerken.
- Minder zwaar. liefst het gewicht naar boven brengen. Dit voorkomt schokkende bewegingen.
- Houd je frame open zodat het zand er ook weer uit kan. Het komt er toch wel in.
- Er is altijd wel een extra persoon aanwezig die kan assisteren, wanneer er wordt gewerkt met de graafmachine (zoals hulp bieden om de end-effector in een andere stand te zetten).
- Moet tegen hardhandig gebruik kunnen. (sommige componenten moeten worden versterkt)
- Groene laser is beter zichtbaar op camera en in daglicht, maar met een goed camerabeeld dicht er op is de laser niet nodig.
- Tussenstuk maken tussen draai module en graafmachine opzetstuk. (De hydraulische slangen worden bijna geraakt bij het monteren aan de graafmachine)
- Wat doen we als de kabel in een hoek van de geul ligt? (Eventueel een klein haakje aan de andere kant toevoegen om een kabel te kunnen positioneren, of de kabel meer vrijgraven zodat er genoeg ruimte is om deze te grijpen en knippen).

Inzichten graafmachine

- 2 a 2,5 tons graafmachines zijn het meest gebruikelijk voor dit werk. Die zijn minder stabiel dan de zwaardere varianten.
- Er zijn altijd wel situaties waarbij je niet helemaal stabiel staat vanwege de ondergrond.
- Het is acceptabel om een graafmachine met twee hydraulische uitgangen te verlangen. Die zijn er vaak wel.
- Het is een barrière om een aanpassing aan de graafmachine te verlangen.

Context inzichten

- Er zijn situaties waar veel geknipt moet worden op korte stukken.
- De LS geul is niet zo diep als 80cm. 40 a 60 cm.
- Er zijn nu situaties waarbij men toch even met de hand wil voelen. Als je bijvoorbeeld vlak voor een onderdoortje de kabel knipt en je hem aan de andere kant weer verder wilt trekken. (kleine hindernissen zoals een dwarslopende buis)
- Hoe dicht op de geul kan de graafmachine staan?

Potentiële risico's

- De kranen van de graafmachine is relatief zwak. Kan deze hele lange kabels nog wel aantrekken?
- Wat als er een laagje water in de geul ligt? Geul kan gevuld zijn met grond/regen water waardoor de kabel niet zichtbaar is. Ook niet op de camera.
- Als je de kabel recht omhoog trekt kan deze andere ondergrondse infra beschadigen.

Inzichten Demomoment en feedback sessie



Geopperde ideeën

- Doe een hijstouw(tje) i.p.v. de module. Eentje die omhoog staat. Zijn er types die radioactief zijn en detecteerbaar zijn?
- Bij het knippen zou je misschien kunnen kijken of je de geleiders weer samen kunt verbinden. Hierdoor zou je een circuit voor het selecteer signaal in stand kunnen houden.
 - Selecteerapparaat zet je liever niet onbewaakt bij het uiteinde van de kabel, maar bij het station.
- Er is een end effector voor het rooien van gasleidingen waarbij de leiding door de end effector doorgevoerd wordt. (type boomstam-zager)
- Mogelijk een lamp toevoegen om in het donker te kunnen werken.
- Detectie van spanning op kabel
 - Mogelijk thermische camera als check of de kabel onder spanning staat. (Ik betwijfel hoe betrouwbaar dit is.)
 - Extra ingebouwde check of de kabel toch onder spanning staat. (Bijv. trugleverende zonnepanelen en dergelijke.)
- Mogelijk een grotere grijper zodat we grotere kabels kunnen pakken.
- Bite camera verwerken in frame. Misschien zelfs een bovenaanzicht van maken.

De waarde van deze innovatie

- Zie de waarde van dit gereedschap over het gehele proces inplaats van een handige knipper. De ander onderdelen van het proces zijn in ontwikkeling (stekkeren) en dit wordt de nieuwe bottleneck. Dan moet er 300m in 2 uur gerooid worden.
- Aannemer: het gaat om productiviteit, effectiviteit en efficiency. Zo moet je ook de casus naar de markt brengen, niet enkel vanuit business model. Welke productiviteitswinst haal je met de Rooibot?
- Aannemer: *"Hiermee kan ik een medewerker 10 jaar in dienst houden, in plaats van dat hij dit na 5 jaar niet meer kan. Dat is waardevolle tijd om een nieuwe medewerker in te werken en op te leiden"*
- De waarde is dat de WV'er maar 1 keer langs hoeft te komen.
- Tijdens het knippen met een afstandsknipper niemand iets doen in de geul. Als knippen sneller kan geeft dit winst.

Eisen en wensen

Eisen

- De end-effector op de graafmachine moet eenvoudig verticaal te houden zijn. Men wil de end-effector recht naar beneden kunnen laten afdalen i.p.v. dat de machinist dat (in stappen) moet bijstellen.
- De end-effector mag geen uitstekende delen hebben zoals hydrauliek-slangen, die kunnen blijven haken of overige infra kan beschadigen.

Wensen

- Een grijper+kipper die ook bruikbaar is voor een 4x240 kabel, met een diameter van +-66mm.
- Knip-beveiliging, alleen knippen als er contact is met de module.
- Licht op de end-effector voor meer zicht als het donker is.
- Een compactere knip-grijp kop, die minder zwabbert tijdens het besturen.
- Beter diepte in kunnen schatten op camerabeeld/ fysiek kunnen kijken.
- Makkelijker kabels aan de zijkant van de geul kunnen pakken.

"Hiermee kan ik een medewerker 10 jaar in dienst houden, in plaats van dat hij dit na 5 jaar niet meer kan. Dat is waardevolle tijd om een nieuwe medewerker in te werken en op te leiden"



Deliver

Iteraties op het conceptontwerp

Op basis van de inzichten uit de experimenten en de demo is besloten om het concept te herontwerpen om het benaderen van een kabel makkelijker en veiliger te maken.

Insights

- Er is enthousiasme bij OIV'ers over de nieuwe conceptring. Vooral voor de richting "handmatig plaatsen" was veel interesse.
- De OIV'ers schatten in dat, als de eerste knip op de huidige manier gedaan wordt, en er in het proces gebruik wordt gemaakt van een spatscherm en een sleepketting (aarde), knippen in de geul veilig kan.
- Het vermoeden is dat dit concept mogelijk is om te gebruiken met minimale aanpassingen aan de BEI.

Reden voor iteratie

Het veilig benaderen van de kabel

Op basis van de inzichten vanuit de experimenten en de inzichten opgedaan tijdens de demo bij de simulatiestraat, zijn we tot de conclusie gekomen dat een herontwerp nodig is om het (veilig) benaderen van de modules met een graafmachine mogelijk te maken. In dit hoofdstuk zijn twee iteratierichtingen opgesteld die besproken zijn met OIV'ers vanuit Enixis en Alliander om inzicht te krijgen in het veiligheidsaspect en de toepasbaarheid.

Mede door deze inzichten zijn we gekomen tot een herontwerp van het concept.

Scharnieren & meegeven

In dit concept zijn twee mechanismen om te voorkomen dat de kracht van de graafmachine overgebracht kan worden naar onderdelen in de geul.

Voordelen van het scharnier

- Er wordt geen kracht overgebracht als de graafmachine naar voren of achteren trekt.
- De end-effector komt meer loodrecht te hangen.

Nadelen van het scharnier

- De graafmachinist verliest wat controle over de beweging van de end-effector
- Er moet waarschijnlijk een functie bij om het scharnier ook te kunnen blokkeren.

Bij het meegevende deel wordt het gewicht van het onderste deel van de end-effector waar de knip en grijp functies zitten gecompenseerd door een veer. Hierdoor komt dit deel makkelijker omhoog als het ergens (hard) op land.

Voordelen

- De constructie kan nog steeds robust en zwaar uitgevoerd worden.

Nadelen

- Het wordt enigszins complexer en gevoeliger en daardoor ook de kans op minder goede werking over de tijd.
- De krachten kunnen nog zijwaards overgebracht worden.



Handmatig plaatsen

In dit concept wordt het onderste deel van de end-effector naar beneden geleid door een grondwerker middels een lier.

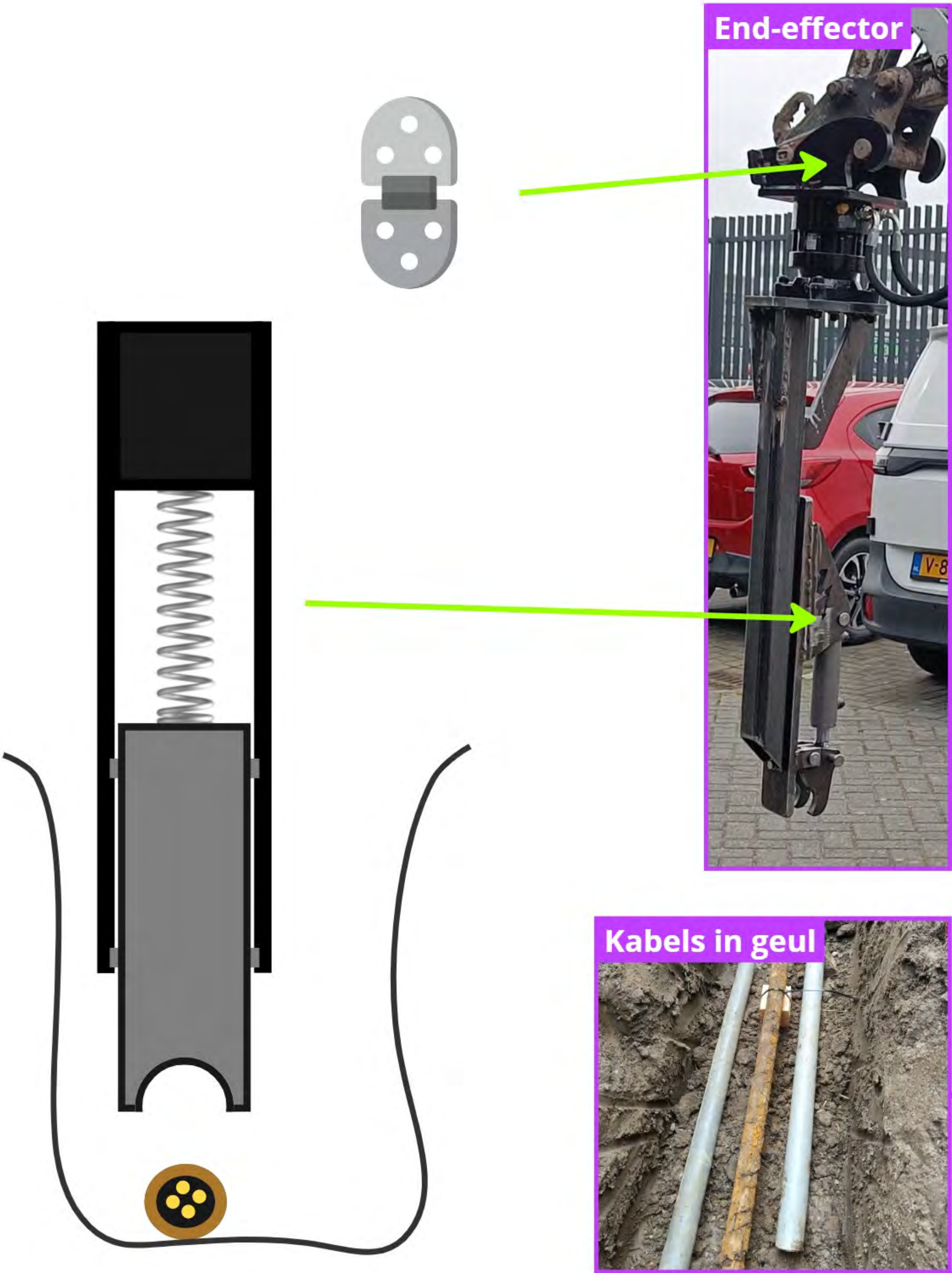
Voordelen

- Hierdoor is de kans op schade beduidend minder omdat de graafmachine niet de kracht kan overbrengen op het onderste stuk.
- De grondwerker heeft goed zicht op geul en vervangt hiermee de camera en bijbehorende beperkingen.
- Doordat er gelierd wordt is elke diepte bereikbaar.
- Het bovenste deel van de end-effector hoeft nu niet meer goed loodrecht te staan.

Nadelen

- Een extra persoon in het proces
- De hydrauliekslangen moeten op een goede manier mee naar beneden gelierd worden.

Impact demper | Scharnieren & meegeven



Geleiden | Handmatig plaatsen



OIV overleg input op concept iterates



Beide conceptringen zijn uitgelegd en besproken met twee OIV-ers om inzicht te krijgen in de veiligheidsaspecten die moeten worden overwogen.

De overweging tussen de huidige en nieuwe conceptring heeft in sterke mate impact op de veiligheid. Veiligheid is een zwaar wegende factor voor de acceptatie van het product. De veiligheidsoverwegingen vanuit de OIV-ers geven hierin een beter inzicht.

Impact demper - Scharnieren & meegeven



Feedback OIV'ers

kabels ->
240mm2
diameter
moet passen

je kan MS
kabels
tegen
komen

in 1 keer
selecteren,
markeren na
eerste knip

je hebt maar 1
keer de kans
om de kabel
te selecteren

Geleiden - Handmatig plaatsen



Feedback OIV'ers

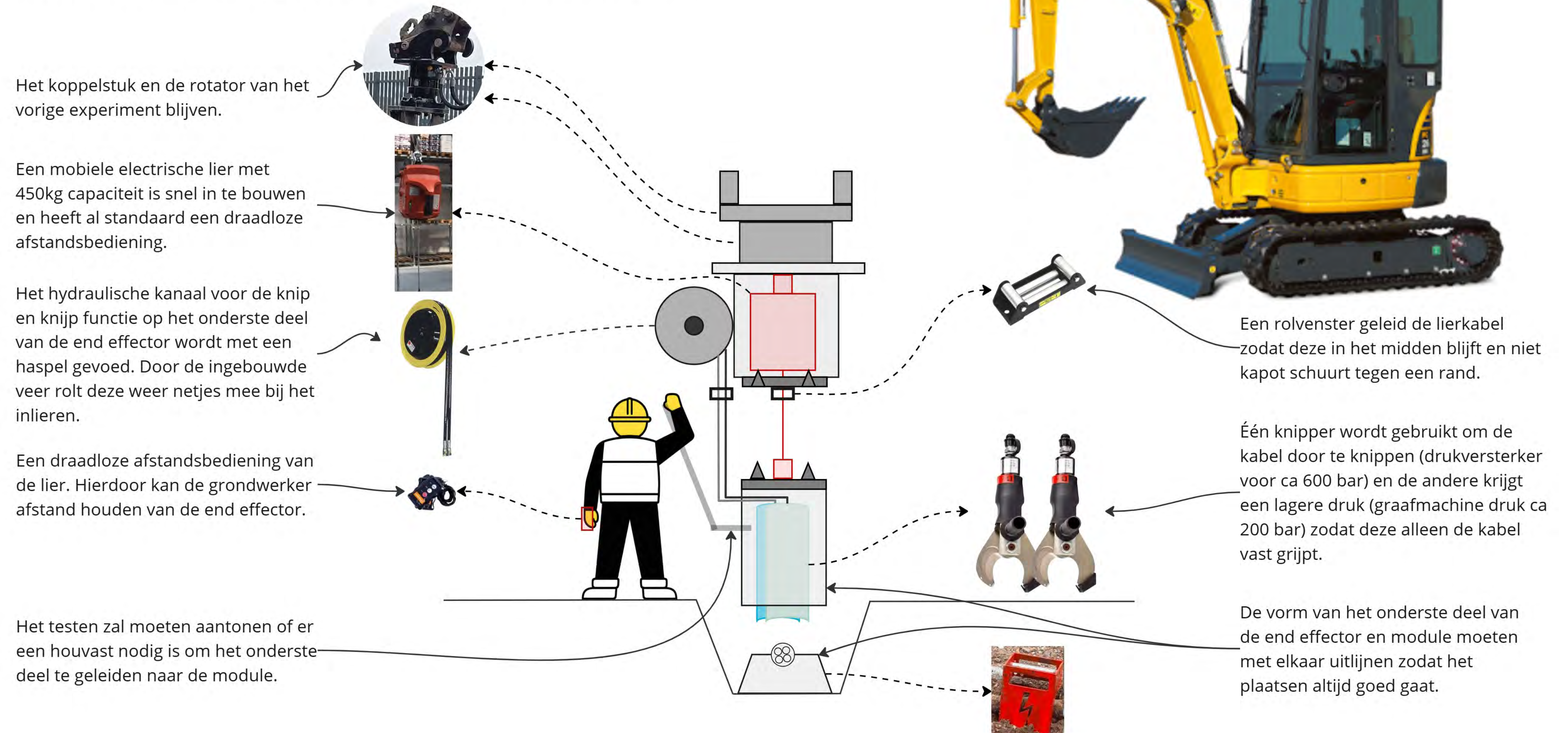
beschadiging van kabels is minder met deze optie	allergie: knippen met niet juiste apparatuur	Chique oplossing	meeste kans goede kabel te selectie	minste kans dat je object ernaast beschadigd	enkel alleen de kabel knippen en niet paar cm er omheen	kabels liggen vaak strak tegen elkaar	max kracht aan machine geven? ja kan	werkvolgorde: door Netbeheerder eerste knip doen, daarna markeren	Markering is essentieel	vraag; veiligheid van personeel bij knippen? extra beschermlaag	Aardscherm
je kan ze de sleuf in, geen probleem.	geen belemmering voor regelgeving denk ik	mogelijk goede oplossing	Menselijk aspect goed	kabel ligt niet altijd in de grond, zweeft ook wel eens in de lucht	module aan vast maken	markeren is beter dan tie wrap	geen incidenten met graafmachines laatste jaren gehoord				

End-effector Schematisch overzicht prototype



Deze schets is het ontwerp voor het volgende experiment.

Hier mee kunnen alle functies en het concept in één systeem getest worden in een geul.





Define

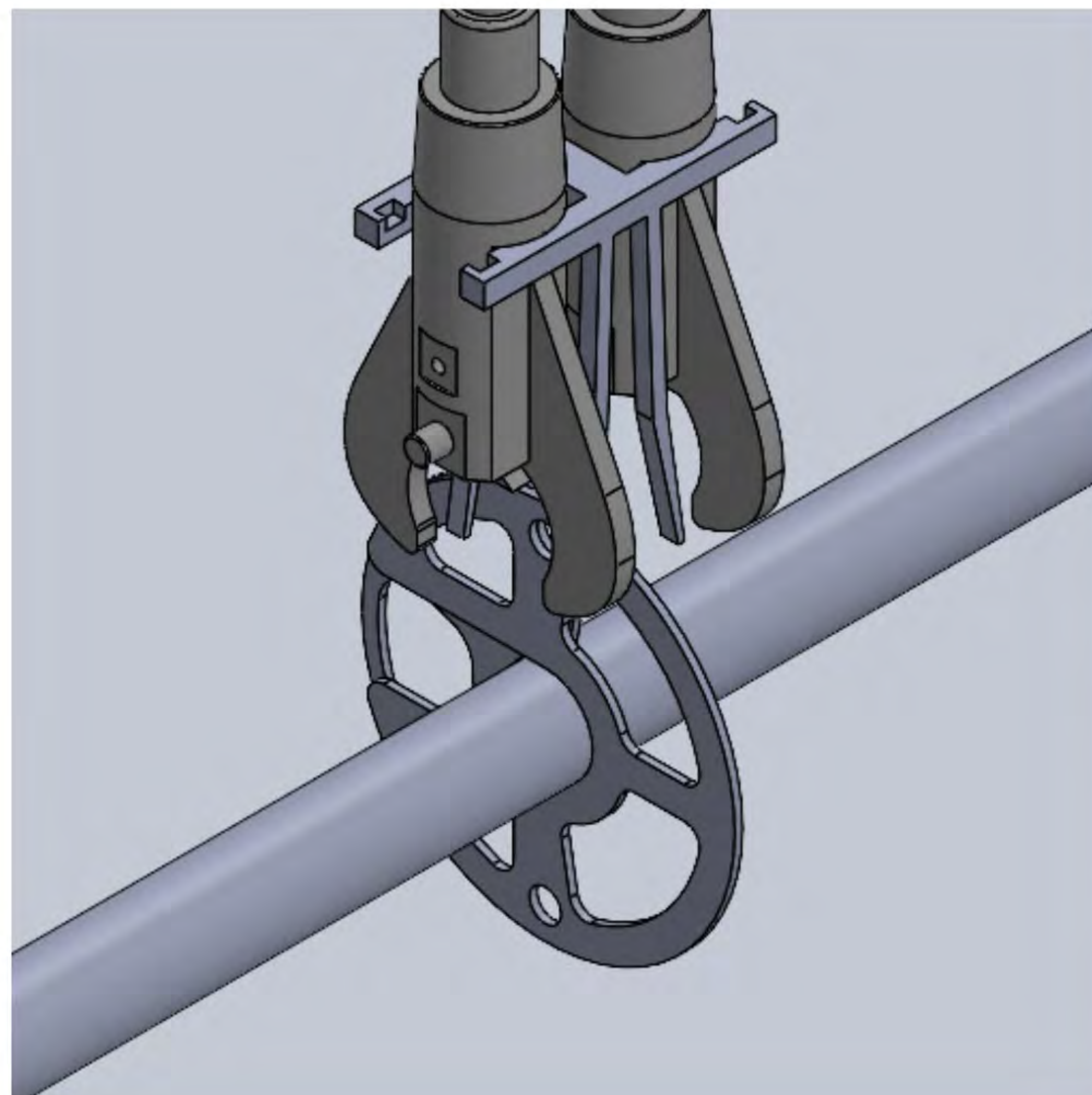
Experimenten

In dit hoofdstuk wordt het concept verder uitgewerkt, gebouwd en getest.

Insights

- De module kan bestaan uit de vorm van een vlakke cirkel, i.p.v een object met een ruimte, om zo ruimte te creëren voor het veilig knippen en grijpen van de kabel.
- Dit ontwerp van de module in combinatie met het herontwerp van het onderste stuk van de end-effector (V-vormig) zorgt ervoor dat de twee delen makkelijk met elkaar uitlijnen en overige infrastructuur niet bij de kniplocatie in de buurt kan komen (cirkelvorming).
- De modules zijn door hun compacte ontwerp en lichte gewicht makkelijk te hanteren en te plaatsen.
- Alle stappen van benaderen, knippen, grijpen en trekken kunnen goed uitgevoerd worden. De uitzondering is de functie van het afleggen van de module zodra de kabel naast de geul geplaatst is. Dit is nog handmatig.

Experimentatie Herontwerp module



Er is gekozen om niet vanuit het principe van een gesloten kamer te werken, maar omgekeerd. Dat wil zeggen dat de ringvorm andere kabels op afstand houdt en we er na plaatsing vanuit kunnen gaan dat er in de directe omgeving geen andere kabels zijn. Zodoende is een veilige ruimte gecreëerd om te knippen en te grijpen. Het voordeel van deze aanpak is een lichtere en makkelijker te produceren module. Dit maakt de module handzamer. Ook is het ontwerp beter geschikt voor de werkcontext, aangezien de "kamers" niet vol kunnen lopen met zand en modder.

Zie de appendix voor alle iteratiestappen die tot dit ontwerp geleid hebben.

Inzichten

- Dit ontwerp van de module in combinatie met het herontwerp van het onderste stuk van de end-effector zorgt ervoor dat de twee delen makkelijk met elkaar uitlijnen en overige infrastructuur niet bij de kniplocatie in de buurt kan komen.
- De modules zijn door hun compacte ontwerp en lichte gewicht makkelijk te hanteren.

Experiment

nr. #

Naam Plaatsen van de module

duur 30 min.

eigenaar ...

deadline ...



1. Aanname

De module gemakkelijk om een kabel geplaatst kan worden, en strak genoeg bevestigd kan worden dat deze in de juiste positie kan blijven staan.

Kritiek:

2. Experiment

Om dat te verifiëren, gaan modules in verschillende diktes proberen aan de kabel te bevestigen, in een gesimuleerde situatie.
Er wordt getest met een module van 5 m dik en een module van 10 mm dik.
Een tyrap wordt gebruikt om de module vast te zetten en te zegelen.

Kosten:

3. Meten

En ervaren we hoe makkelijk/moeilijk het is om de module onder de kabel door te krijgen, recht op te draaien en vast te maken met een tyrap. Oo ervaren we hoe beweeglijk de module is na het vastmaken.

Benodigde tijd:

4. Risico's & afhankelijkheden

Wat het experiment kan beïnvloeden is dat we beperkt zijn tot testen op een ondergrond die niet representatief is voor de context.

5. Criteria

Het bevestigen van de kabel relatief gemakkelijk is, en de module na het zegelen met de tyrap recht op blijft staan.

6. Visuals & resultaten

Hoe het experiment eruit zag en wat de resultaten zijn:



Het plaatsen van een 5mm dikke module om een kabel

Inzichten

We hebben geleerd dat ...

- ...een dunnere module makkelijker te plaatsen is dan een dikke.
- ...als de kabel erg vast zit en de ondergrond veel weerstand biedt, het plaatsen van de module veel wrikken (of zelfs schoppen) vereist. De kabel iets meer vrijgraven heeft de voorkeur.
- ...als de kabel een centimeter vrije ruimte heeft aan de onderkant kan zelfs een dikke module makkelijk geplaatst worden.
- ...het effect van de puntbelasting van de module op de ondergrond (en potentieel andere kabels) verder onderzocht moet worden. Een ander materiaal voor de module zou overwogen kunnen worden.
- ... op de geteste ondergrond de module strak genoeg om de kabel zit om voldoende recht op te blijven staan om de knip en grijphandeling uit te voeren.
- ... vooral de dunne modules makkelijk te transporteren en hanteren zijn.

Relevante inzichten vanuit vorige experiment(en):

n.v.t.

Volgende aanname(s) die uit dit experiment komen:

- ...bij en na het plaatsen van de modules de kabel ..cm kan worden opgetild zonder andere infrastructuur te beschadigen.
- ...de puntbelasting van de module op de ondergrond acceptabel is.

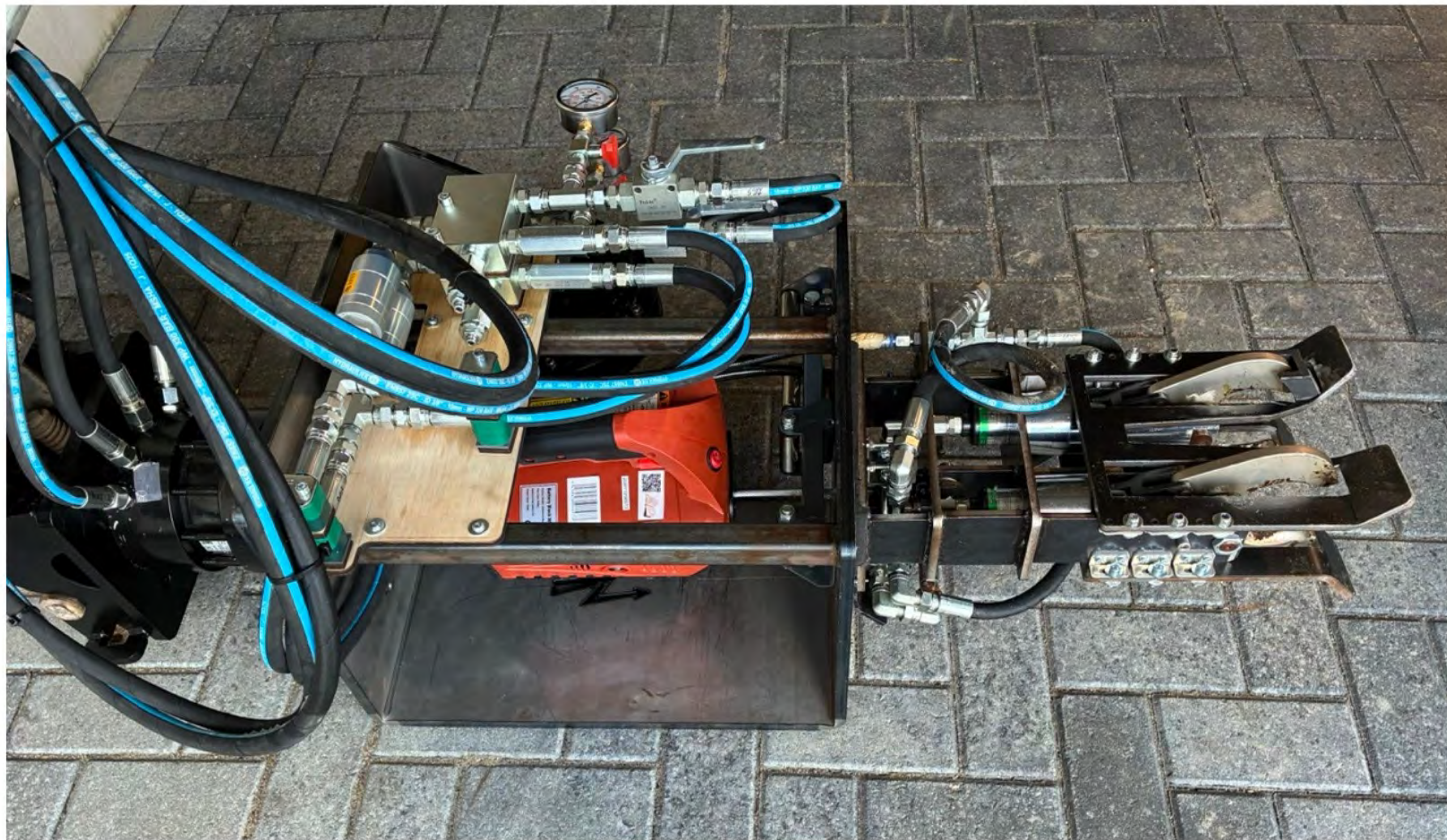
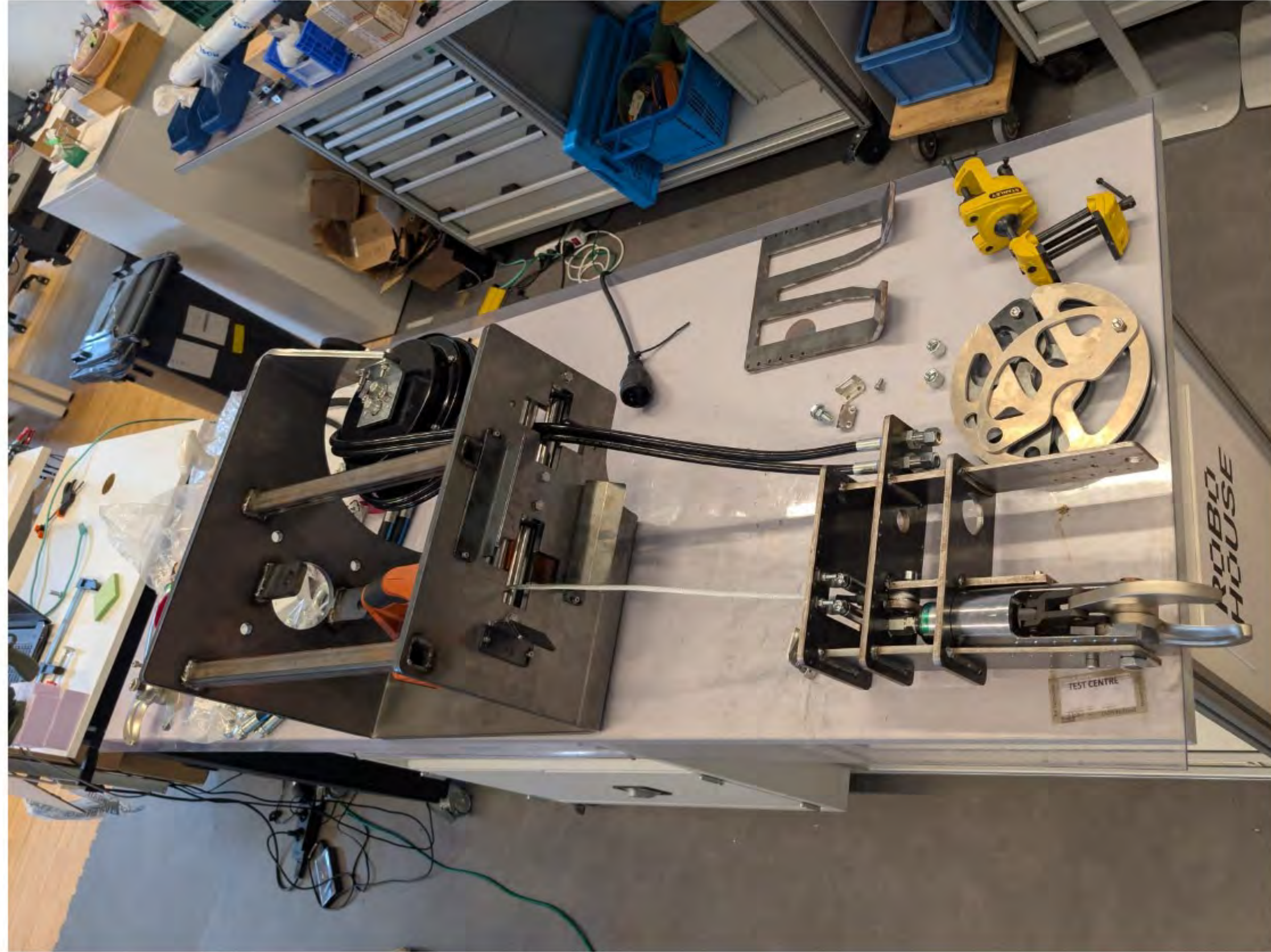


Video 1:
Plaatsen van 10mm
dikke module, als deze
erg strak op de grond
zit, zonder vrijgraven



Video 2:
Plaatsen van 10mm
dikke module, met
ruimte onder de kabel.

Opbouw voor experiment eindconcept



Experiment eindconcept Benaderen, knippen, grijpen en trekken



Zie ook: Kabels uit de geul verwijderen Stap voor stap

Inzichten

Benaderen:

- De machinist kan soms de module zien en daardoor de end-effector er goed boven plaatsen. Anders is de grondwerker nodig om deze aan te wijzen.
- De lier maakt het mogelijk om het onderste deel van de end-effector recht naar beneden te laten zakken in tegenstelling tot het prototype van de vorige demo in de simulatiestraat. Dit maakt het bereiken van de juiste plek aanzienlijk makkelijker.
- Het onderste deel van de end-effector moet recht op de module landen. De gebruikte haspel trekt echter het onderste deel van de end-effector scheef. Dit is niet gewenst en stukje van het ontwerp moet heroverwogen worden.
- Een ander gevolg van de haspel die te hard trekt is dat na het landen de lierkabel spanningsloos is en onderste deel van de end-effector nu alleen overeind gehouden wordt door de slangen. Dit zou niet moeten. Alle kracht moet via de lierkabel gaan.
- Dit experiment geeft de indruk dat deze nieuwe manier van het benaderen van de kabel minder kans op beschadiging geeft gezien het gerichte gewicht dat vrij hangt aan een kabel.

Knippen:

- Het knippen van de kabel ging gemakkelijk.
- Het is vanuit de graafmachine niet merkbaar wanneer de knip voltooit is. Hiervoor is nu de grondwerker nodig.

Vastgrijpen:

- Grijpen met een knipper op lage druk ging goed. Er is wel wat schade aan de mantel van de kabel.
- De grip was goed genoeg om de kabel gecontroleerd uit de geul te trekken.

Trekken:

- Er zijn verschillende manieren mogelijk om de kabel uit de geul te trekken:
 - De kabel met de lier recht omhoog trekken.
 - Met een uitgerolde end-effector de kabel uit de geul trekken en later met de lier de kabel omhoog trekken.
 - De arm van de graafmachine naar beneden brengen en met de lier tegelijkertijd de kabel omhoog trekken zodat het geheel korter op elkaar staat, voor meer controle op de beweging.
 - De arm van de graafmachine naar beneden brengen en met de lier tegelijkertijd de kabel omhoog trekken tot het geheel stijf tegen elkaar zit. Dit is onwenselijk omdat het onderste deel van de end-effector en de kabel dan tegen de zijkant van de geul gedrukt kunnen worden omdat het bovenste deel vaak niet met het onderst deel is uitgelijnd. **Zie video 3: lier trekt end-effector scheef tijdens experiment**

*Module afleggen:

- Bij dit ontwerp moet de module nog handmatig verwijderd worden na het rooien.





Define

Werkscenario

In het gebruikersscenario wordt beschreven hoe het concept in de praktijk gebruikt zal worden. Het maakt inzichtelijk hoe de oplossing past binnen het werkproces en welke waarde deze toevoegt.

Insights

- Dit concept vereist een nieuwe werkwijze.
- De benodigde veiligheidsmaatregelen moeten verder worden onderzocht wanneer dit concept to een product gemaakt gaat worden.

Uit onze simulatie van het werkproces blijkt:

- Het plaatsen van de module kan binnen 27 seconden per stuk (exclusief lopen, voorbereiding, en in een gunstige situatie).
- Het benaderen, knippen, grijpen en er uit trekken kan in 3-3.5 minuten per module (exclusief het bevestigen van de end-effector aan de graafmachine en het naar de locatie toe reiden)

Gebruikersscenario



Modules

De modules worden met de hand geplaatst om de juiste kabel, en gezegeld met een tyrap. De modules worden gebruikt om de juiste kabel te signaleren, deze te scheiden van andere kabels en om te koppelen met de end-effector zodat de grijp en kniphandeling kan worden uitgevoerd.

Recap:

*Gemiddeld 3 modules per 10 meter (uit de gebruikerstest):

- Minimaal 1 module per bocht.
- Minimaal 1 module per mof (m.u.v. hele smalle moffen).
- Minimaal 1 module per onderdoortje.

Overige factoren:

- Kwetsbaarheid van overige infra rondom de kabel.
- Bereikbaarheid met graafmachine.

***Aanvulling van (onder)aannemer: Elke 4 meter een module is goed.**

Graafmachine met end-effector

De end-effector kan aangesloten worden op de graafmachine van de (onder)aannemer, onder voorwaarde dat dit een graafmachine is met een dichte cabine, en deze (in het huidige prototype) 2 hydraulische uitgangen heeft.

De end-effector zou gemakkelijk moeten kunnen worden aangesloten op de end-effector, op het punt waar normaal de graafbak bevestigd zit.

De end-effector kan aangestuurd worden met de graafmachine, en kan verder bijgestuurd worden door de grondwerker naast de geul.

De end-effector benaderd de kabel, koppelt met de module, grijpt en knipt de kabel, trekt de kabel en module uit de geul en legt deze naast de geul neer.

Medewerkers

Selecteren:

Tijdens de werkzaamheden voor het verzwaren van het laagspanningsnet wordt de oude kabel visueel geselecteerd, bijvoorbeeld tijdens het omzetten van de HAS. Dan kunnen gelijk modules geplaatst worden. Als visueel selecteren niet voldoende is kan de kabel met behulp van een selecteerapparaat geselecteerd worden door de WV'er van de netbeheerder of een ander gemachtigd persoon.

Plaatsen van modules:

De modules kunnen door grondwerkers geplaatst worden.

Controlleren van modules:

De locatie van de modules moet voor dat het rooien begint worden goedgekeurd door de rooiverantwoordelijke.

Het rooien van de kabel:

Voor dit proces zijn 2 medewerkers nodig, waarvan één een certificaat nodig heeft om de graafmachine te mogen besturen, en één alleen een VOP certificaat nodig heeft.

Veiligheidsmaatregelen

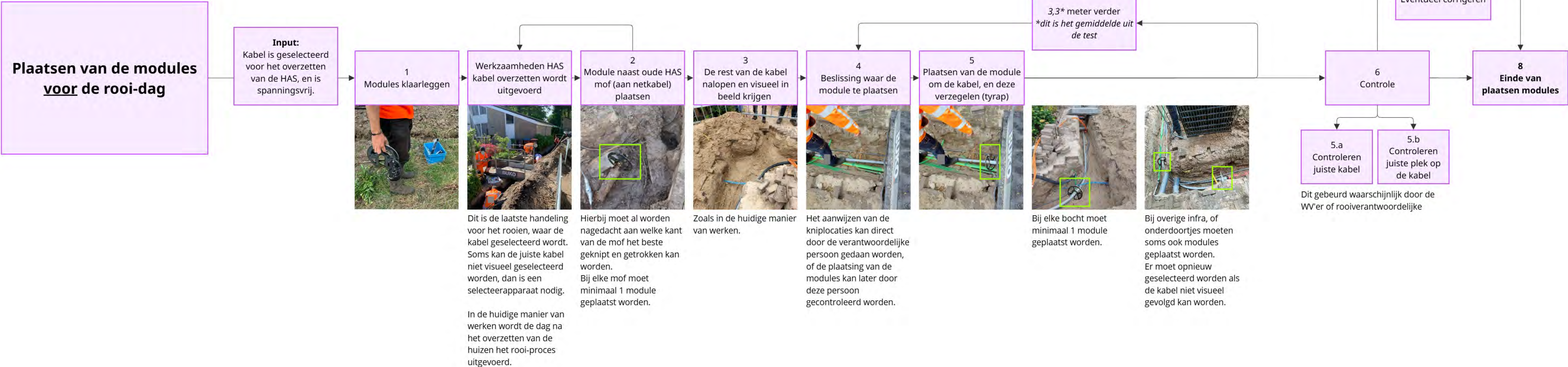
De modules worden gezegeld met een tyrap, zodat deze niet verplaatst kunnen worden naar een andere kabel.

De graafmachine moet waarschijnlijk een gesloten cabine hebben met spat-proof "glas", en worden geaard met een aardlitze/sleepketting.

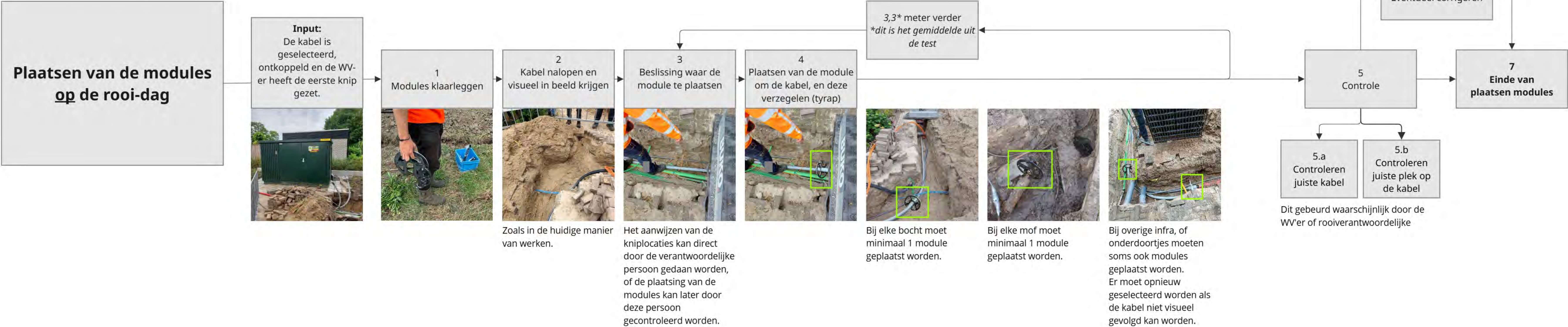
Aan de end-effector moet een ingebouwd veiligheidsmechanisme worden toegevoegd. Met een sensor kan worden gedetecteerd of de end-effector goed is geland op de module. Alleen dan kan de knip worden gezet.

Nodige veiligheidsmaatregelen moeten verder worden onderzocht wanneer dit concept tot een product gemaakt gaat worden.

Gebruikersscenario Modules een dag van te voren plaatsen



Gebruikersscenario Modules plaatsen op de rooi-dag



Gebruikersscenario Kabel uit geul verwijderen



Modules plaatsen Stap voor stap



Module onder kabel door schuiven.



Draaien en dicht klappen



Vast zetten met een tyrap



Controlleren

Video 4: Demonstratie modules plaatsen



Module plaatsen kan binnen 27 seconden per module (exclusief lopen, voorbereiding, en in een gunstige situatie)

Kabels uit de geul verwijderen Stap voor stap



Zie video 5: Test, kabel schuin uit de geul trekken



Positioneren van graafmachine met end-effector



End-effector laten zakken, onder begeleiding van grondwerker



End-effector op module laten landen, en controle door grondwerker. Daarna knippen en grijpen.



Graafmachine laten zakken terwijl het onderste stuk van de end-effector omhoog wordt getrokken (met de lier).



End-effector met module en kabel schuin uit de geul trekken.



End-effector helemaal vast zetten met lier.



Kabel buiten de geul leggen.



Kabel lossen.

In deze test duurde het 3-3.5 minuten om de end-effector goed te positioneren, te laten zakken, te verbinden met de module, te knippen en te grijpen, het geheel uit de geul te trekken, en de kabel te lozen.



Define

Eisen en wensen

De eisen en wensen uit de voorgaande fases zijn gecombineerd met de eisen en wensen opgehaald in deze laatste fases. Het totale overzicht is te vinden in dit hoofdstuk.

Legenda

Eisen opgehaald in het gebruikersscenario

Eisen uit onderzoek in fase 1

Eisen vanuit interview met Technisch Specialist | O&S Component Management

Eisen vanuit interview met Technische Expertise & OIV

Eisen vanuit interview met WV-er

Eisen vanuit verdieping situaties in en rond de geul

Eisen vanuit inzichten demomoment

Eisen vanuit validatie van het eindprototype

Regelgeving (BEI)

Hoofdstukken van de BEI die als belangrijk werden aangegeven zij E-10, E-11, E-12, E-46, E-47 en E48. De actuele documenten en extra informatie kan worden gevonden op <https://www.beiviag.nl/bei-bls/vwis>

Voor dit concept zullen een aantal regels in de BEI moeten worden aangepast.

Algemeen Functioneel

- De graafmachine, module en end-effector moet kunnen functioneren in een geul met een minimale breedte van 40 cm.
- Mag niet de nodige communicatie tussen medewerkers beperken. Bijvoorbeeld; bij besturing of bediening door de medewerker heeft deze de mogelijkheid om een hand vrij te hebben voor het communiceren met handgebaren in luidruchtige situaties.
- Het uiteindelijke proces zou minimaal een rooisnelheid van 50 meter per uur moeten opleveren. (50 meter per uur is de huidige rooisnelheid als het werk wordt uitgevoerd met 3-4 man, zonder voorbereiding, en in gunstige situaties)
- Moet voldoen aan voorwaarden voor wie (met welke certificering) wat mag doen:
 - Na het selecteren zet de WV-er de eerste knip.
 - Vop en VP mogen kabels verder opknippen. De VP-er is altijd aanwezig bij het rooien.
- Alle resten kabel moeten uit de geul verwijderd worden (tenzij er toestemming is om delen te laten liggen).
- Moet functioneren als kabels stijf tegen elkaar liggen, de kabel aan de zijkant van de geul ligt, of als de kabel "zweeft".

Schade en overlast

- Andere kabels niet beschadigen tijdens het rooiproces.
 - De vorm van de module mag geen schade geven op omliggende kabels met bijvoorbeeld scherpe randjes etc.
- Alle resten kabel uit de geul (tenzij daar toestemming voor is).
- Mag geen schade geven aan (kwetsbare) gebouwen, bomen of natuur in de omgeving.
- Mag geen schaden veroorzaken aan andere ondergrondse infrastructuur.
 - De knipper moet niks anders dan de juiste kabel knippen (bij voorkeur de kabel helemaal omsluiten).
- Mag (relatief) geen extra overlast geven aan buurtbewoners.

End-effector en graafmachine

- De end-effector moet weersbestendig zijn.
- De end-effector moet bestand zijn tegen vuil, zand en water.
- De end-effector moet om kunnen gaan met verschillende soorten kabels, maar minimaal de GPLK.
- De end-effector moet kunnen functioneren met verschillende grondsoorten (zoals zand of klei).
 - De end-effector moet niet kunnen blijven hangen op/aan wortels van planten en bomen.
- De end-effector moet om kunnen gaan met verschillende dikte en gewicht van kabels.
 - Een grijper+kipper die ook bruikbaar is voor een 4x240 kabel, met een diameter van +-66mm. Een stuk van 3 meter kan al bijna 40 kilo wegen.
- Alleen juiste (spanningsloze) kabels knippen (in de huidige context betekent dat dat de kabel geselecteerd moet worden als er meerdere kabels in de geul liggen, en als de kabel niet meer visueel gevolgd kan worden).
- De graafmachine met de end-effector moet bij de geul kunnen werken (en de werklocatie kunnen bereiken).
- De end-effector moet de bodem van de geul kunnen bereiken om de kabels uit de geul te krijgen.
 - De graafmachine met end-effector moet de kabel kunnen bereiken in een geul van minimaal 60 cm diep, met een reservemarge tot 80cm.
- De module moet vanuit de graafmachine, eventueel met hulp van grondwerker, gelokaliseerd kunnen worden.
- De end-effector mag geen uitstekende delen hebben zoals hydroliek-slangen, die kunnen blijven haken of overige infra kan beschadigen.
- De end-effector op de graafmachine moet eenvoudig verticaal te houden zijn. Men wil de end-effector recht naar beneden kunnen laten afdalen i.p.v. dat de machinist dat (in stappen) moet bijstellen.
- Met de kabel geklemd in het onderste deel van de end-effector en met de lier een stuk afgeliërd moet er op volle kracht aan getrokken kunnen worden om de kabel los te trekken uit de grond. (bijvoorbeeld kleigrond)
- De knippers en knipbladen moeten vervangbaar zijn.

Eisen



Module

- Module moet weersbestendig zijn.
- Module moet bestand zijn tegen vuil, zand en water.
- Module moet om kunnen gaan met verschillende soorten kabels.
- Module moet kunnen functioneren met verschillende grondsoorten (zoals zand of klei).
- Module moet om kunnen gaan met verschillende dikte en gewicht van kabels.
 - Een maximale diameter van +-66mm.
- Alleen juiste (spanningsloze) kabels signaleren. (in de huidige context betekent dat dat de kabel geselecteerd moet worden als er meerdere kabels in de geul liggen, en als de kabel niet meer visueel gevolgd kan worden).
- De modules moeten terug te vinden zijn na (deels) instorten of bewust dichten van de geul.
 - De modules moeten makkelijk kunnen worden vrijgegraven en zandvrij gemaakt kunnen worden, bij instorting van de geul.
- De module mag niet van de kabel loskomen tijdens het optillen van het stuk kabel uit de geul.
- De modules moeten makkelijk te verwijderen zijn van het stuk kabel als deze uit de geul verwijderd is.
- Er moet op bepaalde vlakken aan gebruikersgemak worden voldaan zoals:
 - Makkelijk te plaatsen.
 - Onderhoudsvriendelijk.
 - Eenvoudig schoon te maken.
 - Niet vast komen te zitten door zand.
 - Makkelijk te koppelen aan de machine.
- Eenmaal geplaatst moet de module geborgd worden zodat deze niet naar een andere kabel verplaatst kan worden.
 - Voorzien van een borging die aangeeft "gebroken" te zijn bij misbruik.

Ergonomie

- Moet de druk op het lichaam tijdens het tillen verlichten en/of voorkomen.
- Het werken in gebogen werkhouding voorkomen, verminderen of verlichten.
- Repeterende handelingen verminderen.
- De modules moeten niet te zwaar zijn.
- De modules moeten niet kunnen omvallen waardoor een medewerker dit weer handmatig zou moeten corrigeren.
- Er moet voldaan worden aan de ARBO wetgeving zoals bijvoorbeeld een maximaal til-gewicht van 23kg onder ideale omstandigheden.

Veiligheid

- Het uiteindelijke product en bijbehorende procedure moet voldoen aan de huidige of hiervoor aangepaste BEI wetgeving.
- Bij het aankoppelen mag er geen significante druk van het systeem overgebracht worden op de omliggende grond en objecten.
- Bij het aankoppelen mag de kabel niet significant bewegen.
- Bij het knippen van de kabel mogen er geen medewerkers in de geul aanwezig zijn en mag niemand binnen 5 meter afstand (haaks) van de knip-plek zijn (BEI). *Er moet gekeken worden hoe een uitzondering gemaakt kan worden voor een eventuele (graaf)machine bestuurder, wanneer van toepassing.*
- Het systeem moet voorkomen dat eventuele elektrische spanning doorgeleid kan worden naar mens of machine.
 - Maak gebruik van isolerende elementen zoals isolerende olie en slangen bij het gebruik van hydrauliek.
 - Er moet elektrische isolatie zijn tussen de machine (operator) en de kabel.
- Er moet bescherming zijn voor als het mis gaat zoals vlamboogbescherming en aarde.
- Bij het knippen van een kabel onder spanning moet de knip altijd afgemaakt worden.
- Voor de eerste knip moet spanningsloosheid aangetoond worden.
- De (knip en grijp)machine moet veilig zijn voor deze toepassing.
- Knipfunctie functioneert alleen wanneer de end-effector aan de module is gekoppeld
- Een veiligheidsmechanisme is nodig om te garanderen dat het onderste deel van de end-effector wordt uitgelierd bij het landen op de module. Dit voorkomt dat deze in vaste samenstelling gebruikt wordt.

Wensen



Functioneel

- De end-effector kan ook een kabel grijpen zonder een module. (excl. knippen)
- Er zou een forecasting gemaakt kunnen worden van het aantal te gebruiken modules in een traject.
- Het uiteindelijke proces zou moeten leiden tot minder man-uren in de geul.
- Het heeft een positieve werking op de planning (aanwezigheid) van de WV-er (vanuit de netbeheerder) in het proces.
- Versnelt het rooiproces t.o.v. huidige proces.
- Ook toe te passen voor de middenspanning.
- Maak het aantrekkelijk om de kabel te rooien.
- Toepasbaar voor het proces waarbij de oude kabel niet in beeld is.
- Gebruiksgemak voor het werken in deze buitenomgeving.
- Het aankoppelen moet makkelijk zijn. Denk aan zand en dergelijke.
- Selecteer-functie, "als dat goed werkt geeft dat wat meer vertrouwen"
- Licht op de end-effector voor meer zicht als het donker is.
- Een compactere knip-grijp kop, die minder zwabbert tijdens het besturen.
- Beter diepte in kunnen schatten op camerabeeld/ fysiek kunnen kijken.
- Makkelijker kabels aan de zijkant van de geul kunnen pakken.
- Een (overzichts) camera die je flexibel op verschillende plekken van de graafmachine kan plaatsen geeft de mogelijkheid om de graafmachinist onafhankelijker te laten werken.
- De graafmachinist alles alleen laten doen. De onderaannemer doet het werk het liefst met één persoon. Een ander voordeel is dat als de graafmachinist de taak allen moet uitvoeren, hij uit de graafmachine moet stappen, en de knip zou kunnen zetten op afstand. Dit is veiliger in het geval dat de verkeerde kabel geknipt wordt.
- Op afstand kunnen knippen met een afstandsbediening.

Veiligheid

- Het systeem biedt de zekerheid dat de juiste kabel geknipt wordt.
 - Een selectie-indicator in de modules die niet alleen een indicatie geeft maar een methode is die volgens de BEI vertrouwd mag worden.
- Het systeem geeft aan of er spanning op de kabel staat en blokkert dan de mogelijkheid om te knippen.
- De modules zijn gekoppeld aan elkaar in een datanetwerk wat een mogelijkheid moeten geven om te controleren of ze allemaal op dezelfde kabel zijn aangesloten.
- Er kan maar één kabel in de module (dus niet een OV kabel er bij).
- Het zo ontwerpen dat je altijd het einde van de kabel in zicht hebt als je knipt.
- Een aardpen aan de knipmodule.

Legenda

Wensen opgehaald in het gebruikersscenario

Wensen vanuit interview met Technisch Specialist | O&S Component Management

Wensen vanuit interview met Technische Expertise & OIV

Wensen vanuit interview met WV-er

Wensen vanuit inzichten demomoment

Wensen vanuit validatie van het eindprototype



Define

Risico analyse

In deze fase kan er een eerste indicatie gegeven worden van de risico's.

Insights

- Er zijn verschillende mogelijkheden voor het oplossen van de risico's die er nu nog zijn en die zullen in de ontwikkeling verder onderzocht en getest moeten worden.

Veiligheid Risico-indicatie

Risico-indicatie



Het concept kent verschillende risico's waar in het vervolg van de ontwikkeling rekening mee moet worden gehouden. Daar kan ook naar de impact en kans op voorkomen gekeken worden. Met behulp van een volgorde van prioriteiten kan er gekeken worden naar oplossingsrichtingen.

- 1. Voorkomen (bron)
- 2. Fysiek blokkeren
- 3. Systeem veiligheid (o.a. sensors)
- 4. Menselijke procedures



Video 6: Explosie van een MS kabel



Onderwerp	Potentiele gevaar en mogelijke oplossingsrichtingen
Knippen van een kabel onder spanning	- Delen van het gereedschap worden weg geslingerd door de explosie. - Robust ontwerp - Meegevend ontwerp zodat deze op een gewenste manier uit elkaar scheurt en niet los komt. - Elektriciteit loopt door de graafmachine. - Voorkomen door continue potentiaal meting op de knipschaar tijdens het doorknippen waardoor er een kans op meting van potentiaal is en deze gestopt kan worden voordat de knip wordt doorgezet en kortsluiting creëert. - De machinist is niet aanwezig in de graafmachine tijdens het knippen. - Een flexibel aardpunt maken aan de graafmachine. - Delen van de explosie raken de machinist. - Afschermdende/geleidende platen in het ontwerp meenemen. Passief danwel actief in de juiste positie te stellen voor het knippen. Dichter bij de bron heeft waarschijnlijk de voorkeur. - De machinist zit in een afgesloten cabine.
Beschadigen van andere ondergrondse infra	- Infra blijft haken bij het oplieren - Een glad omhulsel zodat niets kan blijven haken - Het onderste deel van de end-effector zit nog vast aan het bovenste deel bij het plaatsen op de module - Borging in het systeem om een x afstand uit te moeten lieren voordat de knipfunctie geactiveerd kan worden - Het onderste deel van de end-effector is los gelierd, maar wordt met een vaartje in de lengte van de geul ingebracht met de graafmachine. - Opleiding/instructies
Hydraulische lek	- Vervuiling van de grond - Electrische aansturing - Beschermend inbouwen om stoten tegen de slangen en koppelingen te voorkomen - Biologisch afbreekbare hydraulische oliën gebruiken - Component maatregelen zoals slangbreukventiel, lekdetectiesysteem, etc.
Verplaatsen van de module door een onbevoegd persoon	- Verkeerde kabel onder spanning wordt doorgeknipt - Borging met een goed zichtbare zegel
Knippen zonder module	- Verkeerde kabel onder spanning wordt doorgeknipt - Borging in het systeem om de knipfunctie alleen te activeren als die in het onderste deel van de end-effector zit.
Te snel knippen	- De kabel wordt geknipt met grondwerker(s) in de buurt. - Een vrijgave in het systeem integreren zodat het een bewust moment van knippen wordt.
Persoon te dicht bij het bovenste deel van de end-effector (vast deel van de graafmachine) bij het inlieren van het onderste deel.	- De grondwerker krijgt een klap (op het hoofd) van de graafmachine. - De end-effector hoger boven de geul zetten. - Grondwerker staat in de geul. - Beschermende stoot opvangende elementen op de end-effector plaatsen.
Beknelling van de grondwerker tussen onderste en bovenste deel van de end-effector bij het inlieren.	- Hand of vingers raken beklemd - Fysiek gaaswerk rond het aankoppelpunt - Signaalindicatie bij het laatste stuk inlieren - Procedure van afstand houden bij inlieren
Klemgevaar van de grondwerker bij het vasthouden van het onderste deel van de end-effector (knippen en knijpen) waarbij de graafmachinist de controle heeft over de aansturing.	- Hand of vingers kunnen bekneld raken tussen de messen of mechanisme van de knip en grijp functie. - Fysiek afschermen daar waar mogelijk. - Waarschuwendende markering



Define

Evaluatie van het eindconcept met (onder)aannemers

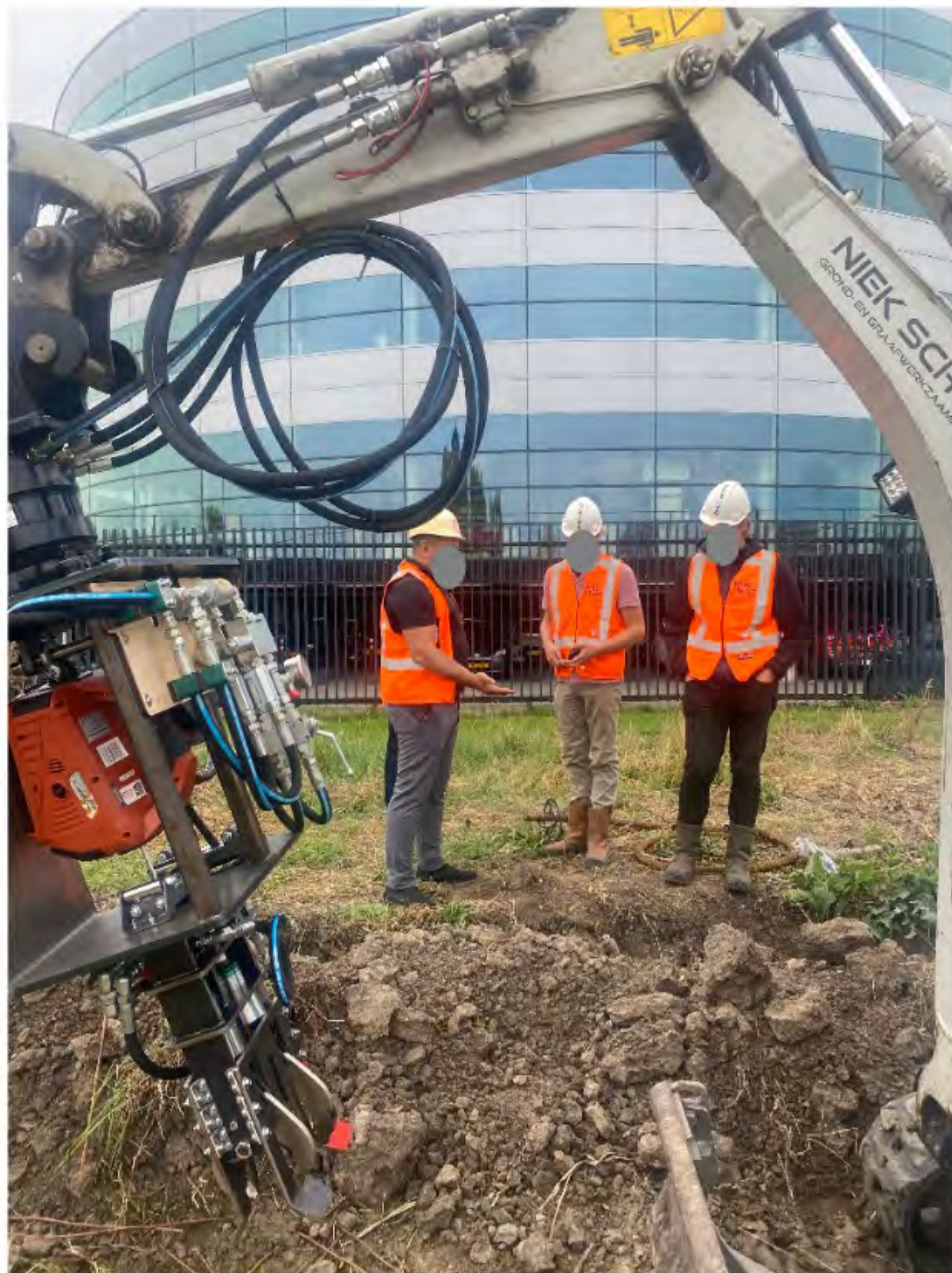
Om het prototype te evalueren met de (onder)aannemer demonstreren we deze, en laten we hen het concept ook zelf uitproberen.

Insights

- Er is bij de (onder)aannemers enthousiasme over het prototype van de end-effector en de module. Wel zijn er nog aanvullende verbeterpunten en wensen.
- De wens is om het mogelijk te maken dat de graafmachinist het werk alleen zou kunnen uitvoeren.
- Het is moeilijk voor de onderaannemer om een prijs te noemen die hij bereid is uit te geven voor dit (toekomstige) product.

Foto's pre-oplevering

Augustus 2026, RoboHouse



Evaluatie met (onder)aannemers Inzichten

"Mooi conceptje dit"



Feedback en verbeterpunten voor de module en de end-effector

De module:

Fijn compact en niet zwaar. Makkelijk te plaatsen.

De modules kunnen worden geplaatst door iedereen met een VOP certificaat. De gene die controleert of de modules op de juiste kabel en juiste plek zijn bevestigd moet minimaal een VP'er zijn.

De modules zouden eventueel rood gemaakt kunnen worden, omdat rood bij electra altijd gevaar betekend. Bij modules van ijzer zal de kleur er snel af slijten, maar bij modules van kunststof is dit geen probleem. De onderaannemer zegt elke 4 meter een module te willen plaatsen.

De onderaannemer zou de modules al gelijk na het openen van de geul willen plaatsen, zodat het tijdens alle werkzaamheden duidelijk is wat de juiste kabel is, en als de geul instort de kabel makkelijk terug te vinden is. Door het ontwerp van de module is deze makkelijk vrij te graven.

Verbeterpunten en wensen:

- De module moet om een dikkere kabel kunnen passen, om de hele range aan laagspanningskabels te kunnen knippen. De opening moet minstens 65mm groot zijn.
- Een rubber stootring om de rand van de module, om andere kabels te beschermen.

De inzichten van de (onder)aannemers zijn verwerkt in een alternatief werkscenario, dat op de volgende pagina is uitgewerkt.

Feedback op de end-effector:

Werken met de lier is beter dan met een vaste arm, zoals bij prototype 1. *"De vorige versie landde best hard"*

"Ik vind dit concept mooier dan de grote punt [het vorige prototype]"

"Deze knipfunctie is echt goed" (knipt goed en snel), maar het bedienen van de end-effector met deze graafmachine is nog ingewikkeld. Het is voor de (onder)aannemer duidelijk welke kant knipt en welke kant grijpt, ook tijdens het besturen van de graafmachine.

De graafmachinist die dit werk zal uitvoeren heeft een middespanning-VOP certificaat nodig, en kan beginnen met het rooien als de VP'er de plaatsing van de modules heeft gecontroleerd.

De messen van de knipper moeten elke dag schoongemaakt worden, zodat deze langer mee gaan. Bij de huidige knippers wordt ook één keer per maand een onderhoudsbeurt gedaan.

De verwachting van de (onder)aannemers is dat de eerste 2-5 dagen van gebruik van dit concept er wat meer schade aan overige ondergrondse infra zal zijn, maar dat dit met meer oefening en ervaring snel weer af zal nemen. *"Het is het apparaat leren kennen"*

Oefening zal ook helpen met het inschatten van de beste manier van werken. *"Misschien moet je van te voren even iets met de bats opzij drukken"*

Verbeterpunten en wensen:

- *"Ik denk dat hij nog iets compacter kan"*
- De graafmachinist alles alleen laten doen. De onderaannemer doet het werk het liefst met één persoon. Een ander voordeel is dat als de graafmachinist de taak allen moet uitvoeren, hij uit de graafmachine moet stappen, en de knip zou kunnen zetten op afstand. Dit is veiliger in het geval dat de verkeerde kabel geknipt wordt.
- Op afstand kunnen knippen met een afstandsbediening. *"Het mooiste zou zijn als de machinist het alleen zou kunnen doen"*
- Een camera met een magneet, die je aan de graafmachine kan bevestigen. Vaak is de graafmachine verder weg, en kan je minder goed in de geul kijken. Je moet wel altijd binnen 2 meter van de geul staan (voor werkbaarheid).
- Het bedienen van de end-effector met de graafmachine kan makkelijker. Door de limitaties van de gehuurde graafmachine kan niet elke functie op logische hendel/pedaal worden aangesloten.
- De knippers en knipbladen moeten vervangbaar zijn. Deze slijten snel, vooral bij het knippen van GPLK kabels. Na 20 keer een GPLK kabel knippen zijn de huidige knippers vaak al kapot.

Gebruikersscenario optie 2 Kabel uit geul verwijderen met 1 persoon

Hoe de aannemers dit proces voor zich zien



Evaluatie met (onder)aannemers Aanschafprijs



Hoeveel mag het kosten?

Dit is een moeilijk vraag voor de onderaannemer om te beantwoorden. 25000 euro is een aantrekkelijk bedrag, waar niet van geschrokken wordt.

Factoren die meespelen in de overweging om dit concept aan te schaffen:

- Als er kan worden bespaard op kabelknippers:
 - We geven meer dan een ton per jaar uit aan kabelknippers. De huidige scharen kosten 10000-15000 euro. Deze knippers gaan snel kapot, vooral bij slecht gebruik. Na 20 keer een GPLK kabel knippen zijn de messen bot. Soms hoeven alleen de knipbladen vervangen te worden maar soms gaat de hele schaar stuk.
- Als er kan worden bespaard op personeel:
 - Als ik een zzp'er nodig heb kost dat 260 euro per dag.
 - Bij rooien in een geul die open is wordt 4 euro per meter betaald. Als de geul eerst nog geopend moet worden is dit meer. We maken verlies op dit stuk van het werk.



Define

Evaluatie van het eindconcept met OIV'ers

Om het prototype te evalueren met de OIV'ers te demonstreren we deze, en laten we hen het concept ook zelf uitproberen.

Insights

- Het is een goed concept. Vooral omdat het nu duidelijk wordt welke kabel geknipt moet worden en er ook een interlock functie met de knipper en module is.
- Er moet daarom een goede procedure komen voor het selecteren zodat het in de basis goed is en er niet toch per ongeluk een module op de verkeerde kabel komt.

Foto's pre-oplevering

Section Header



Evaluatie met OIV'ers Inzichten

"De modules zijn een slim concept"



Feedback en verbeterpunten voor de module en de end-effector

"Ik ben blij verrast"

De module

- Slim concept
- In dit concept zijn de modules essentieel. De procedure van het selecteren moet daarom kloppend zijn.
- Materiaal van de module maakt niet. Als het van metaal is zou het misschien gestolen worden als het onbewaakt is.
- De vorm is goed, het moet niet gaan kantelen.
- De kleur is voor veiligheid niet relevant.
- Gemakszucht is een mogelijk risico als men niet meer eerst goed moet nadenken over welke kabel geknipt moet worden.
- Voor de sluiting zou je misschien met een "ratel" systeem kunnen werken. Net als bij handboeien.
- Je zou je kunnen voorstellen dat als het bijvoorbeeld een weekend onbewaakt blijft om er een slotje op te hebben.

Verbeterpunten en wensen:

- x

Feedback op de end-effector

- De kabel moet volledig doorgeknipt worden ivm veiligheid. Het zou kunnen dat er spanning op een geleider staat omdat die zekering niet is gesprongen.
- Afscherming van end-effector - zicht voor graafmachinist is belangrijk. Net voor het knippen pas afscherming toepassen

Verbeterpunten en wensen:

- x

Werkprocedure

- Het is altijd selecteren - markeren - veilig knippen
- Selecteren doe je 1x, altijd met selectie apparatuur
- Tekeningen kan je niet vanzelfsprekend vanuit gaan.
- Volgorde vastleggen met diverse interlocks ingebouwd in het systeem. Dan kun je beter waarborgen dat er veilig met een module geknipt wordt.
- Het is denk ik verstandig als de grondwerker leidend is in dit proces.
- Werkprocedure nog verder uitdenken, bv: WV'er plaatst elke 10 meter een module in eigen kleur + grondwerker legt de tussenliggende modules (in andere kleur)
- Werkprocedures wijken nu wel af per netbeheerder, hier rekening mee houden.
- Huidige regelgeving (BEI VWI E-47) laat knippen in de sleuf alleen toe met een veiligheidsknipapparaat. Om het knippen met de Rooibot in de sleuf mogelijk te maken, is dus mogelijk een aanpassing van de BEI nodig.

Verbeterpunten en wensen:

- Afstandsbediening is bij de grondwerker
- Eerst knippen en dan pas optrekken
- Voor OIV'er nog de vraag: wanneer moeten de modules geplaatst worden in het werkproces?



Deliver

Prototype TRL5

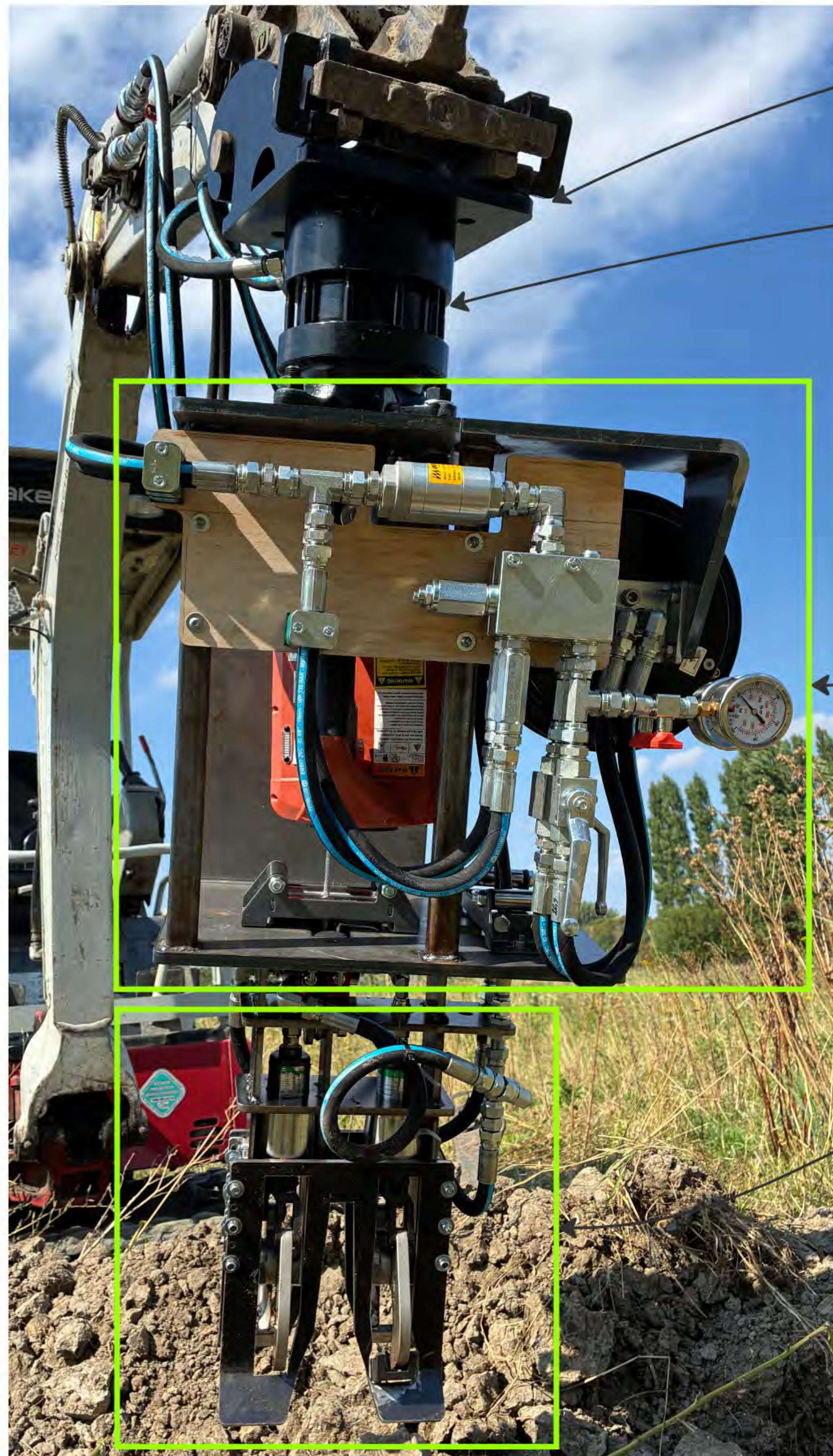
Prototype TRL5

Impressie



Prototype TRL5

Toelichting



CW-05 koppeling

Standaard aansluiting met de graafmachine

Rotator

Positioneren boven de module en kabel oprullen naast de geul d.m.v. een rotator

Lier en haspel

Hydraulische knip en grijpfunctie veilig de geul in d.m.v. een lier en slangenhaspel

Module

De juiste kabel aangewezen en op veilige afstand van andere kabels in de directe omgeving om te grijpen en te knippen d.m.v. een module

Geleiding, knippen en grijpen

Trechtersvormen om goed op de module te landen en de hydraulische knipper en gripper te plaatsen.



Overwegingen Prototype & doorontwikkeling



Het huidige prototype is de eerste opzet die alle functies samenbrengt in één systeem. De componenten en de keuze van deze opzet zijn daarom ook anders dan een volgend prototype. Dit en de laatste inzichten die hieruit gekomen zijn geven een eerste overzicht met keuzes die zijn gemaakt en suggesties voor een verdere ontwikkeling. Deze kunnen niet los gezien worden van de oplossingsrichtingen die uit de risico-indicatie zijn gekomen.

Het prototype is ruim opgezet. Vanuit de gebruiker kwam al naar voren dat men het graag compacter wil.

De hydrauliek als krachtbron is een voor de hand liggende keuze, maar heeft in de toekomst een betere opzet nodig zodat functies individueel aangestuurd kunnen worden. De lier is nu uit praktisch oogpunt electrisch, maar deze zou er bij komen als hydraulische functie.

Verder is het een overweging of er een batterij of voeding vanuit de graafmachine komt. Voor de verschillende veiligheidssystemen, eventuele camera en misschien is er een optie om dit als krachtbron te gebruiken voor een elektrische actuator voor het knippen en grijpen.

Het onderste deel van de end-effector heeft een mechanische geleiding nodig om netjes in het midden te komen bij het inlieren, ook bij een wat schuinere stand. Daar zit ook de functie om weerstand te bieden als er gedraaid wordt met een kabel in de grijper. Op dit moment bied deze alleen weerstand tegen afschuiven d.m.v. frictie.

De huidige knipcilinder is een standaard product en werkt op hoge druk van ca 600 bar. Voor de veiligheid en minder gebruik van componenten kan het vervolg met een cilinder met een groter oppervlakte om op de werkdruk van de graafmachine te werken, 200-250 bar.

Het meelopen van de slangen via de katrol heeft heroverweging nodig. Op dit moment is de veer van de standaard haspel nog te sterk waardoor deze het onderste deel van de end-effector scheef trekt. Ook bij het aantrekken van de kabel met uitgerolde lier zijn de slangen kwetsbaar. Voornamelijk waar het de bocht omgaat bij het rolvenster en bij het laatste stuk van inlieren. De slangen hebben ook als functie om het onderste deel recht te houden. Het heeft de neiging om te draaien als het dicht bij de lierkabel bevestigd wordt. Mogelijke oplossingsrichtingen zijn, de haspel aangestuurd meedraaien met de lier, twee lierkabels met de slangen er tussen gemonteerd, elektrische voeding waardoor er minder kwetsbare stroomgeleiders gebruikt kunnen worden.

Met het concept van de lier en een grondwerker is een camera in principe overbodig geworden. Toch was er de wens vanuit de gebruiker om een camera los te kunnen plaatsen zodat de graafmachinist minder afhankelijk van de grondwerker is en kan meekijken waar de module zich bevindt om het te richten en wat er gebeurt.

De module is nu in de meest conceptuele vorm en zal naar een massaproduct ontwikkeld moeten worden. Vanuit het perspectief van gebruik, kosten en veiligheid denken wij aan een kunststof spuitgiet product. Er zal een goede robuuste sluiting moeten komen. Afhankelijk van de vraag en mogelijkheid zouden ze ook "slim" gemaakt kunnen worden zoals bijvoorbeeld een elektronische herkenning voor het knippen.



Appendices

- Informatie over situaties in en rondom de geul
- Demo: Aantekeningen feedback sessie
- Experimentatie module Inzichten uit fase II
- Exploratie: De module en het landen van de end-effector
Door Lencon
- Experimentatie en conceptontwikkeling: De module en het landen van de end-effector
Door RoboHouse
- Ontwikkeling prototype voor eindtest
- Reflectie op validatie van aannames



Define

Informatie over situaties in en rondom de geul

Hulpvraag informatie over situaties in en rondom de geul



Uitvraag

In kaart brengen van verschillende situaties **in** de geul

We willen situatie voor dat het rooiproces kan beginnen in beeld brengen door middel van foto's en bijbehorende notities. Denk daarbij aan verschillende grondsoorten, obstakels in de geul, de zichtbaarheid van ondergrondse infra, en de te rooien kabel, etc. Geef ook aan hoe vaak een beschreven situatie voor komt. De foto's moeten een overzicht geven van de verschillende situaties (moeilijk en makkelijk) die je tijdens het werk kan tegenkomen wanneer het rooiproces begint.

Bv.:



Dit is de situatie in een standaard woonwijk gebouwd voor 19... Dit is ... grond. De kabels zijn verzakt. In de geul zien we ouderwetse moffen, gasleidingen, data, De grootste obstakels zijn... Deze situatie is representatief voor ...% van de geulen.

Andere voorbeelden van afbeeldingen die de situatie in de geul weergeven:



In kaart brengen van verschillende situaties **rondom** de geul

We willen situatie voor dat het rooiproces kan beginnen in beeld brengen door middel van foto's en bijbehorende notities. Denk daarbij aan obstakels rondom de geul (zand, tegels, auto's, heggen, etc.), moeilijk bereikbare plekken (steegjes, smalle paden, etc.), veelvoorkomende situaties rondom de geul, etc. Geef ook aan hoe vaak een beschreven situatie voor komt. De foto's moeten een overzicht geven van de verschillende situaties (moeilijk en makkelijk) die je tijdens het werk kan tegenkomen wanneer het rooiproces begint. Daarnaast hopen we inzicht te krijgen in hoe vaak de huidige graafmachine wel/niet bij de juiste plek in de geul kan komen.

Bv.:



Dit is een veel voorkomende situatie in woonwijken. De geul is van één kant goed bereikbaar tijdens het rooien. Een graafmachine kan makkelijk bij deze locatie komen. Rondom de geul staan auto's. Tegels zijn afgevoerd, zodat deze niet in de weg liggen. Deze situatie is representatief voor ..% van geulen.

Andere voorbeelden van afbeeldingen die de situatie rondom de geul weergeven:



Ontvangen informatie over situaties in en rondom de geul



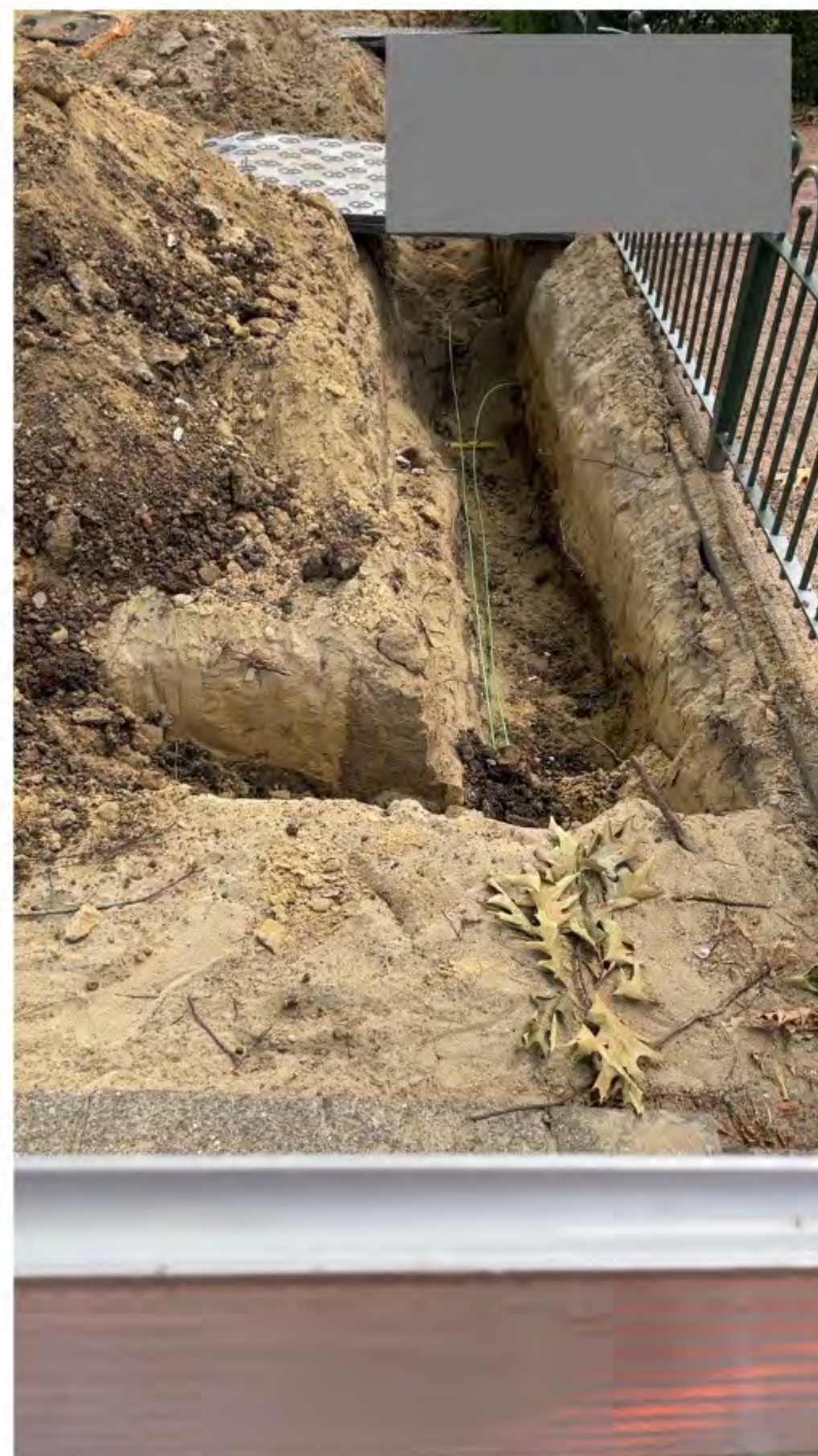
Ontvangen informatie over situaties in en rondom de geul



Ontvangen informatie over situaties in en rondom de geul



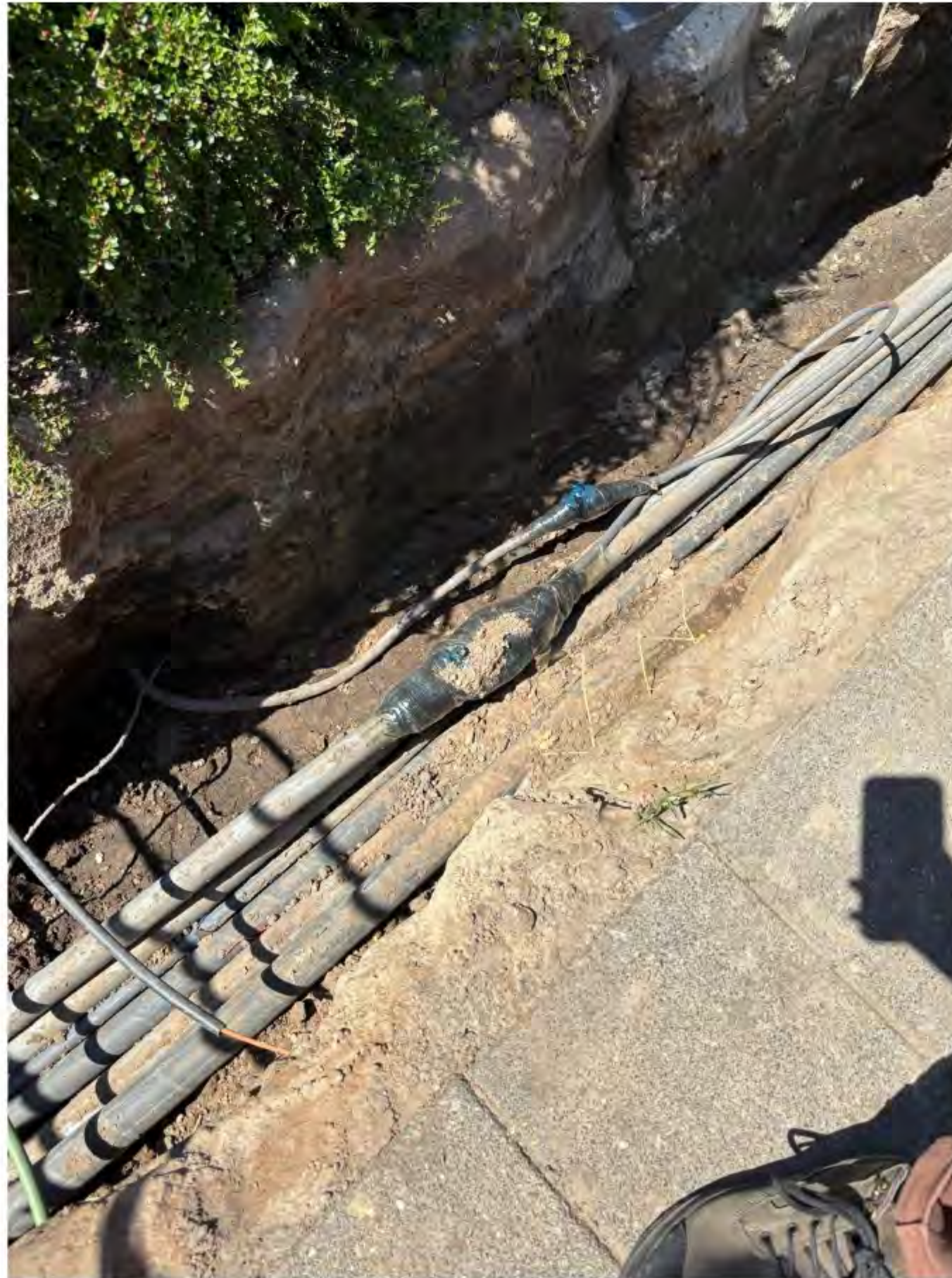
Ontvangen informatie over situaties in en rondom de geul



Ontvangen informatie over situaties in en rondom de geul



Ontvangen informatie over situaties in en rondom de geul

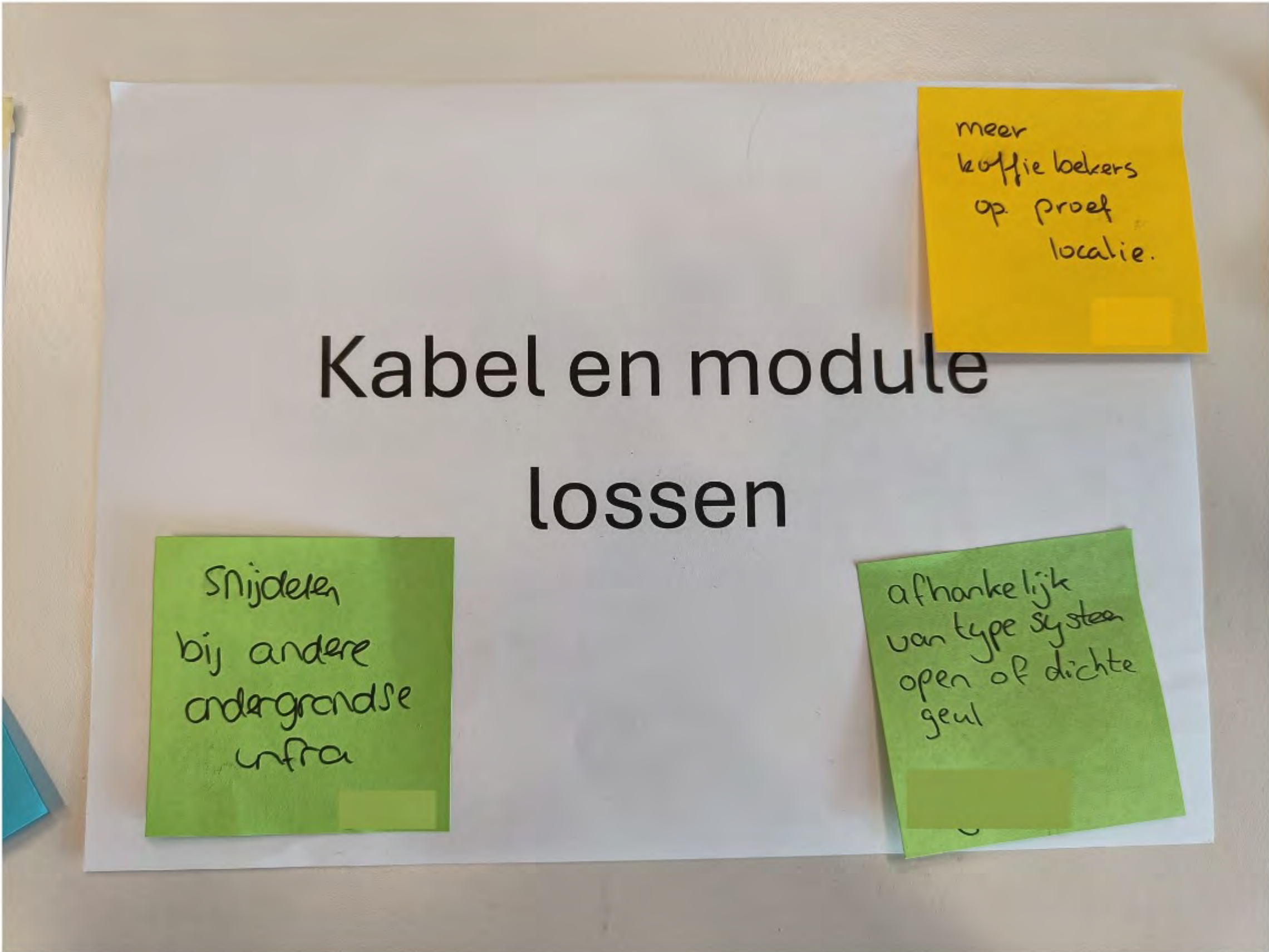
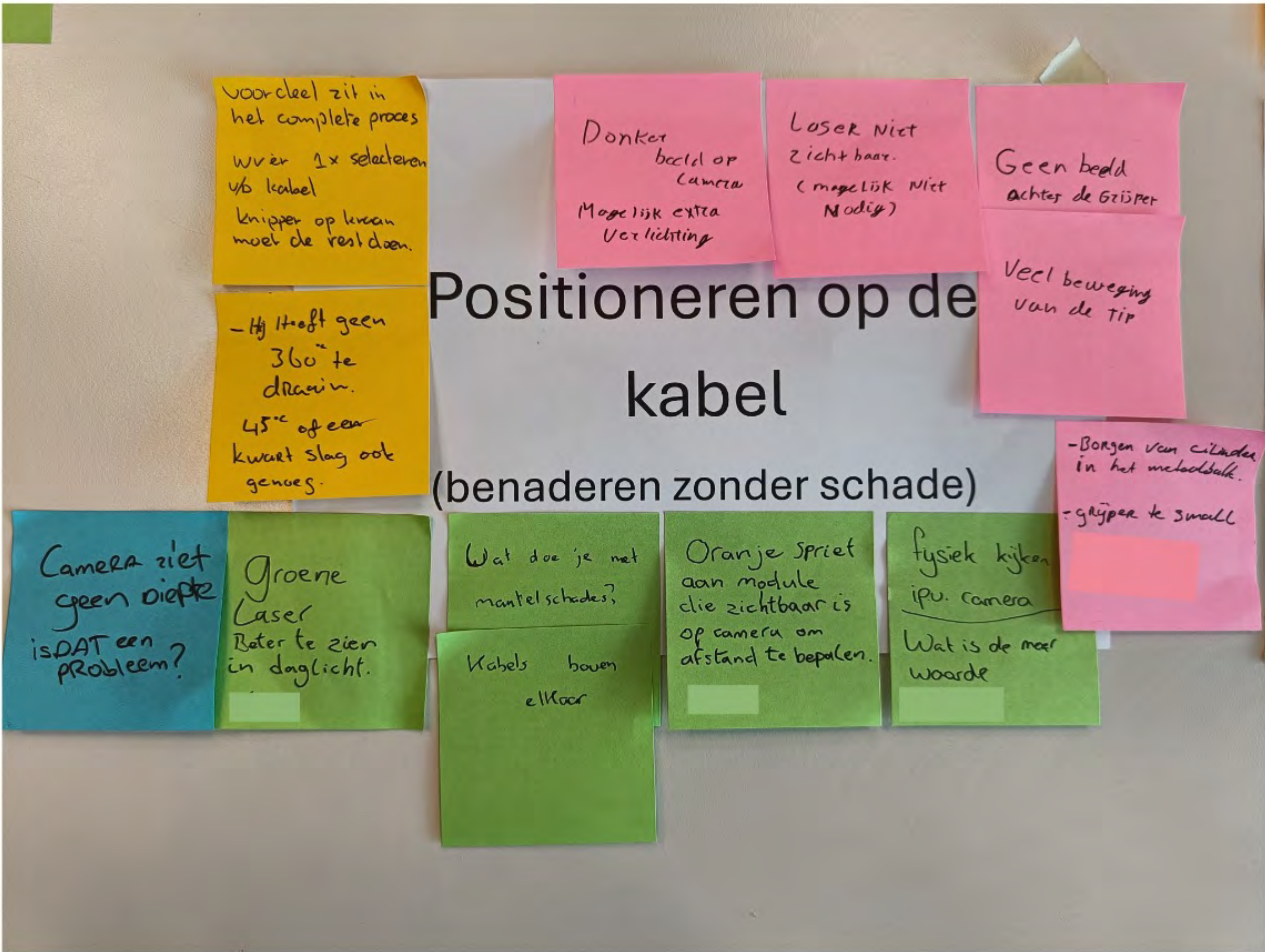




Define

Demo: Aantekeningen feedback sessie

Feedback sessie Post-its



Feedback sessie Post-its



Inspiratie voor een
nieuwe naam

Zooi's

de knipooij

Bewoon
Goede
naam

beschadigen
andere assets

Module
Groter

Kabel eruit trekken

Kabel:
Pakken en
knippen
Horizontaal eruit
trekken. rood.

Parallel AAN
de sleef een
Kabel trekken
weggeest risico
dat andere kabels
beschadigd worden
wanneer de kabel omhoog
gaat.

Vóór

na

Rotor met
trekken in de vrig

Module vasthouden

grijper iets meer
eruit, zodat deze
geschikt is voor
grotere kabel

Waar de

WV
Hoeft maar
1x langs te
komen.

Bij knippen
staat iedereen
te kijken, de
afstandsrijper duurt
lang & niemand kan
wat oen

Opbrechtgever
schrijft het
materiaal
voor.
Roolbot moet
het winnen van
snelheid
knipper (Fisieke belasting)

Kraan meestal
2 aansluitingen.
Daarbij extra stuning
voor knipfunctie

(omgekeerde
trechter) Soort
spreidwag om
naast liggende
kabels uit elkaar
te krijgen

(omgekeerde
trechter) Soort
spreidwag om
naast liggende
kabels uit elkaar
te krijgen

Leidingen
wegwipen
in frame.
Lichte
uitvoering
steun.
Knipfunctie in 1

1 meter
mogelijk te lang.

grijpen
brede
voor
2x240
kabels

knippen
aan
de zijkant
van de gripper
(zodat hij de
kabel vast kan
blijven houden)

Te weinig
ruimte
om kabel
die dicht aan de
zijkant ligt vast
te krijgen

Bei voorschrift
Afstand van
knip = 5 m
met deze prototype
kan dat niet.

Te breed
(meet
compacter)

Knipschaar om de
kabel plaats en
knippen

Grote kans
op schade
aan prototype

Meer hijzen
minder trekken

Rubber
in knippen
i.v.m.
GPLK
4x250

Roller's i.v.m. knippen
snel kleine
stukken
maken

mogelijkheid
om onderaan
te knippen



Define

Experimentatie module

Inzichten uit fase II

Experiment

nr. 1A

naam Gebruikersscenario; plaatsen van modules

duur 8 uur

Eigenaar

deadline



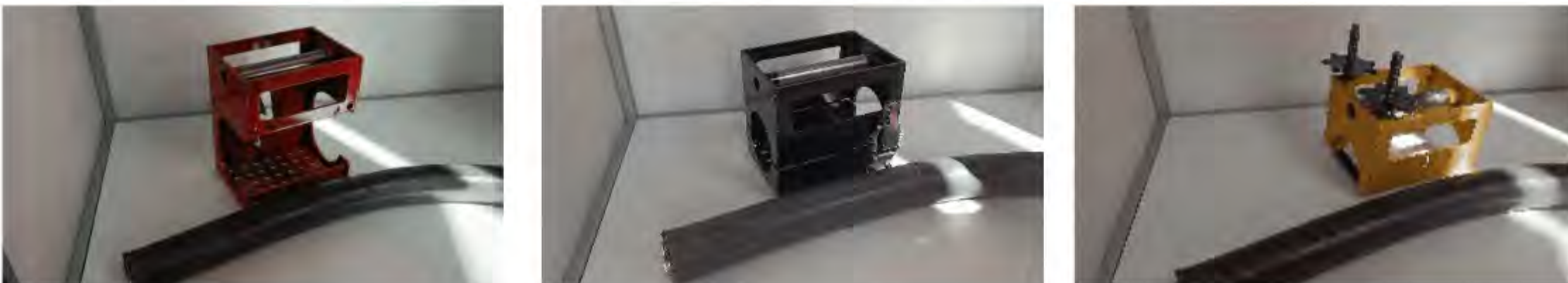
1. Aanneame

Wij geloven dat het werken met Rooi-modules een geaccepteerde en werkbare manier van rooien is voor de medewerker.

Kritiek: 

2. Experiment

- Om dat te verifiëren, gaan we een gebruikersscenario uitvoeren in het veld. In dit scenario worden door 2 medewerkers mockup modules in de geul geplaatst. In korte interviews vragen we of ze dit zouden gebruiken.
- Er worden 3 verschillende type mockups gebruikt om geen afwijzing te creëren door de limitaties van 1 specifieke module. Daarnaast krijgen we inzicht in de voorkeur van werkingen van de module.



Kosten: 

3. Meten

We meten de verschillende inzichten die naar voren komen doormiddel van notulen, film en foto's. Onderliggend hieraan is of er fundamentele argumenten/bezwaren naar voren komen.

Benodigde tijd: 

4. Risico's & afhankelijkheden

Wat het experiment kan beïnvloeden is:

- Weersomstandigheden zoals te mooi weer
- Zandgrond i.p.v. klei
- Een "makkelijke" geul

5. Criteria

Onze aanname klopt als er een basis van acceptatie is aangegeven bij de deelnemers.

6. Visuals & resultaten

Hoe het experiment eruit zag en wat de resultaten zijn:



Inzichten

We hebben geleerd dat ...

- Een combinatie van verschillende elementen van de modules de voorkeur heeft:
 - Het makkelijk onder de kabel steken zoals bij geel.
 - Het vast kunnen zetten zoals bij geel.
 - Gebruiksgemak zoals bij rood.
 - Borging/verzegeling zoals bij zwart.
- De BEI wetgeving zal aanpassing nodig hebben voor deze werkwijze.
- De locatie om de modules te positioneren is een inschatting van de medewerker naar gelang de objecten waar het onderdoor getrokken moet worden versus de stukken kabel zo lang mogelijk houden.
- Gemiddeld over de twee medewerkers zijn er 3 modules per 10 meter geplaatst.
- Elementen als zand, modder en hardhandig gebruik zijn een uitdaging voor de wat fijnere onderdelen zoals schroefdraad.

Relevante inzichten vanuit vorige experiment(en):

- NVT

Volgende aanname(s) die uit dit experiment komen:

- De aanname worden uitgelicht bij het overzicht van gebruikersscenario's.

Foto's en inzichten | Plaatsen in de geul



Er is niet veel ruimte rond de oude kabel. Niet alles is in eerste instantie zichtbaar. Ervaring van "de geul" wordt gebruikt om te voorspellen wat er verwacht kan worden. Zoals moffen of gasleidingen.



Kabels worden met bestaande gereedschappen in het zicht gebracht. Zoals op de foto met een bats. Het is daarbij niet altijd bekend of er nog andere infrastructuur onder ligt. Wat sterkt bepalend is voor het knippunt is waar een mof zit. Dit zijn plekken waar de kabel achter andere infrastructuur kan blijven haken.



Bij het dokken of knippen moet er geen druk op de ondergrond komen voor het geval dat er andere infrastructuur onder ligt.



Zodra er water in de geul komt is er minder tot geen zicht op de kabels.



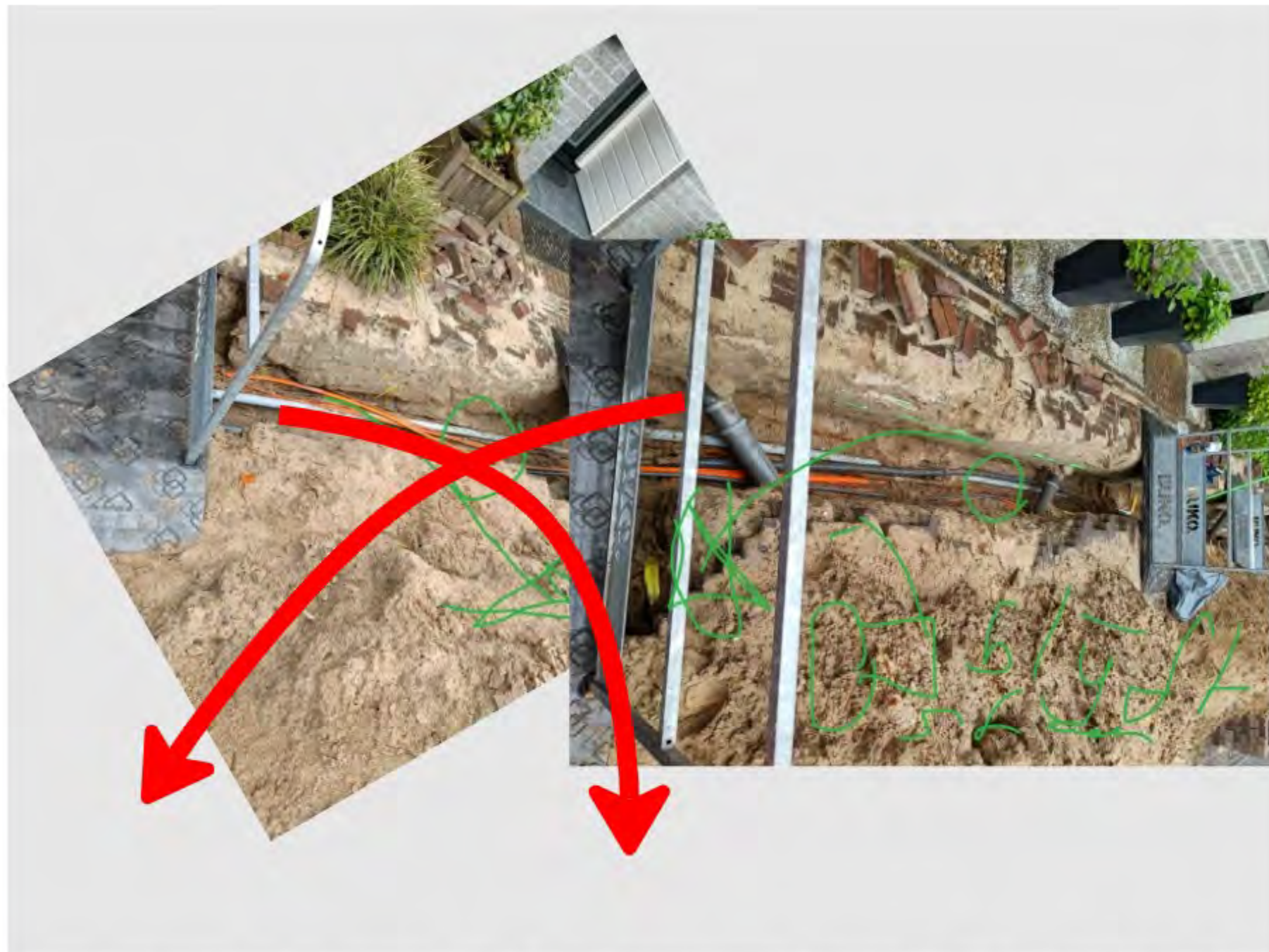
Het instorten van de geul gebeurt regelmatig en zorgt er voor dat de modules uit het zicht verdwijnen. Afhankelijk van het uiteindelijke ontwerp van de module zal er zand binnen dringen.



De overweging om ergens de knip te zetten hangt samen met onder welke andere infrastructuur het weg getrokken wordt. Andere infrastructuur moet in zicht zijn om er zeker van te zijn dat het niet meegetrokken wordt als het er onderdoor moet.



In dit geval loopt er een OV kabel parallel mee met de netkabel. Deze moet ook geknipt en verwijderd worden.



Door het tactisch plaatsen van de knippunten en de machine zouden er twee stukken kabel weg genomen worden (als er geen module aan zit) zonder dat de machine nogmaals verplaatst moet worden.



De toegang met een machine zal niet overal makkelijk of zelfs mogelijk zijn.

Foto's en inzichten | Plaatsen in de geul



Er zijn plekken waarbij je eventueel de kabel op een ander punt dan de knippunten zou willen herpakken. In het geval op deze foto wordt er vanuit het midden van de kabel getrokken. Hierbij wordt verondersteld dat er aan beide kanten geen module vast zit.



De gekozen lengte om af te knippen hangt af van de persoon. In de test was de conservatie inschatting tot lengtes van ca 3 meter. De ander ging tot zeker de dubbele lengte van 6 meter.
Er is ook gesproken over de werkwijze om kleine moffen af te knippen en op de kant te leggen. De grote (oude) moffen moeten met de graafmachine.

Foto's en inzichten | Plaatsen van de modules

10/06/2025 - Park Stokhorst kantoor/opslag Siers



2 van de 3 medewerkers hadden voorkeur voor de rode module

- + Makkelijk om te plaatsen. *"het moet snel"*
- + Heeft geen onderdelen die stuk kunnen gaan.
- Heeft geen sluiting/Borging
- Er moet ruimte gemaakt worden onder de kabel om hem te plaatsen.



1 van de 3 medewerkers had een voorkeur voor de zwarte module

- + Gaat redelijk makkelijk om te plaatsen.
- + Heeft een sluiting.
- Er moet ruimte gemaakt worden onder de kabel om hem te plaatsen.



- + De beugel is makkelijk rond de kabel te steken.
- + De positie van de module is goed te waarborgen door het aantrekken van de schroefdraad bevestigingen.
- Het schroefdraad is bewerkelijk en gevoelig voor zand.
- Meerdere losse onderdelen. *"nee nee, hoeveel keer ik moet dat doen"*



Het concept dat het snelst te plaatsen is heeft de voorkeur. Hoe meer handelingen des te meer tijd en moeite het kost. Naderhand moet het er ook geen tijd verloren gaan aan het moeten schoonmaken ervan. Het schroefdraad van de gele module is hier een voorbeeld van.



De nauwkeurigheid van het positioneren er van over de as van de kabel hangt samen met de vereisten van het dokken met de machine. De mate van zandindringing kan problemen geven voor de werking van de module. Voor het plaatsen van de modules moet eventueel met een bats ruimte worden gemaakt onder de kabel of moet de kabel iets worden opgetild.



Het kunnen verzegelen/borgen van een geplaatste unit is nodig om te waarborgen dat het niet verplaatst wordt als het niet onder toezicht is. Ook is het belangrijk dat de modules niet kunne omvallen (of dat de knipmachine om kan gaan met omgevallen modules).



De modules kunnen op verschillende manieren gepositioneerd worden die eventueel de handeling van het plaatsen makelijker maakt. Door bijvoorbeeld de rode module op zijn rug te leggen kan de kabel er in gelegd worden. Of een module er van boven opleggen en dan een pin er onder steken. Er is hier niet een specifieke positievoorkeur naar voren gekomen.



Het gewicht en grote van deze mokups wordt als acceptabel ervaren. Er moet eventueel rekening gehouden worden met de materiaal keuze. Staal zal een goede geleiding geven. Ook de vorm moet zodanig zijn dat nabij liggende kabels niet beschadigd raken. Er wordt verwacht dat de modules dezelfde werkwijze hebben bij kleigronden.



Define

Exploratie:

De module en het landen van de end-effector

Door Lencon

Concept experimentatie module door Lencon



1

Behuizing knipper zoekt door middel van 'V' vorm de kabel

Ronde vorm helpt bij zoeken

Maakbaarheid: Lasersnijden buis

Details concept 1

Notitie bij huidig ontwerp: Ontwerp is nu gemaakt zodat deze snel ge-3Dprint kan worden. De stap naar buislasersnijden is niet heel groot, er moeten vooral wat details uit.

Tijdelijk slot, kan later uitgewerkt worden

Plek voor scharnier

Nu gekozen voor een versimpeld slot omdat er weinig ruimte is voor een 'spring loaded latch'. Mocht toch de wens zijn een latch te gebruiken kan dit platte vlak daar toe dienen.

Buislasersnijden

247tailorsteel

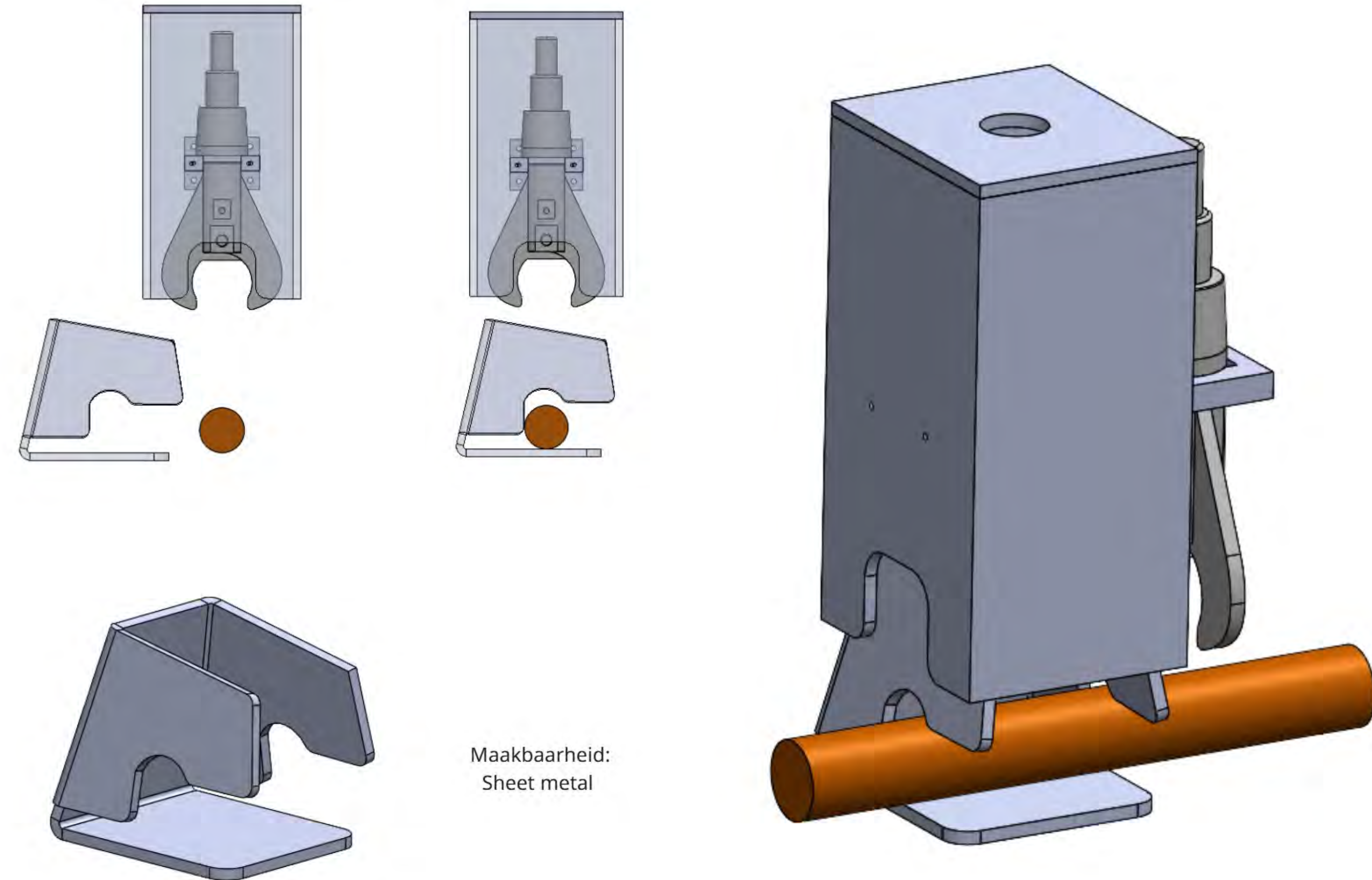
Richtlijnen voor buislasersnijden...

Voordat u uw aanvraag voor het lasersnijden van buizen en profielen indient, is het belangrijk om onze richtlijnen door te nemen. Bekijk ze nu.

Concept experimentatie module door Lencon



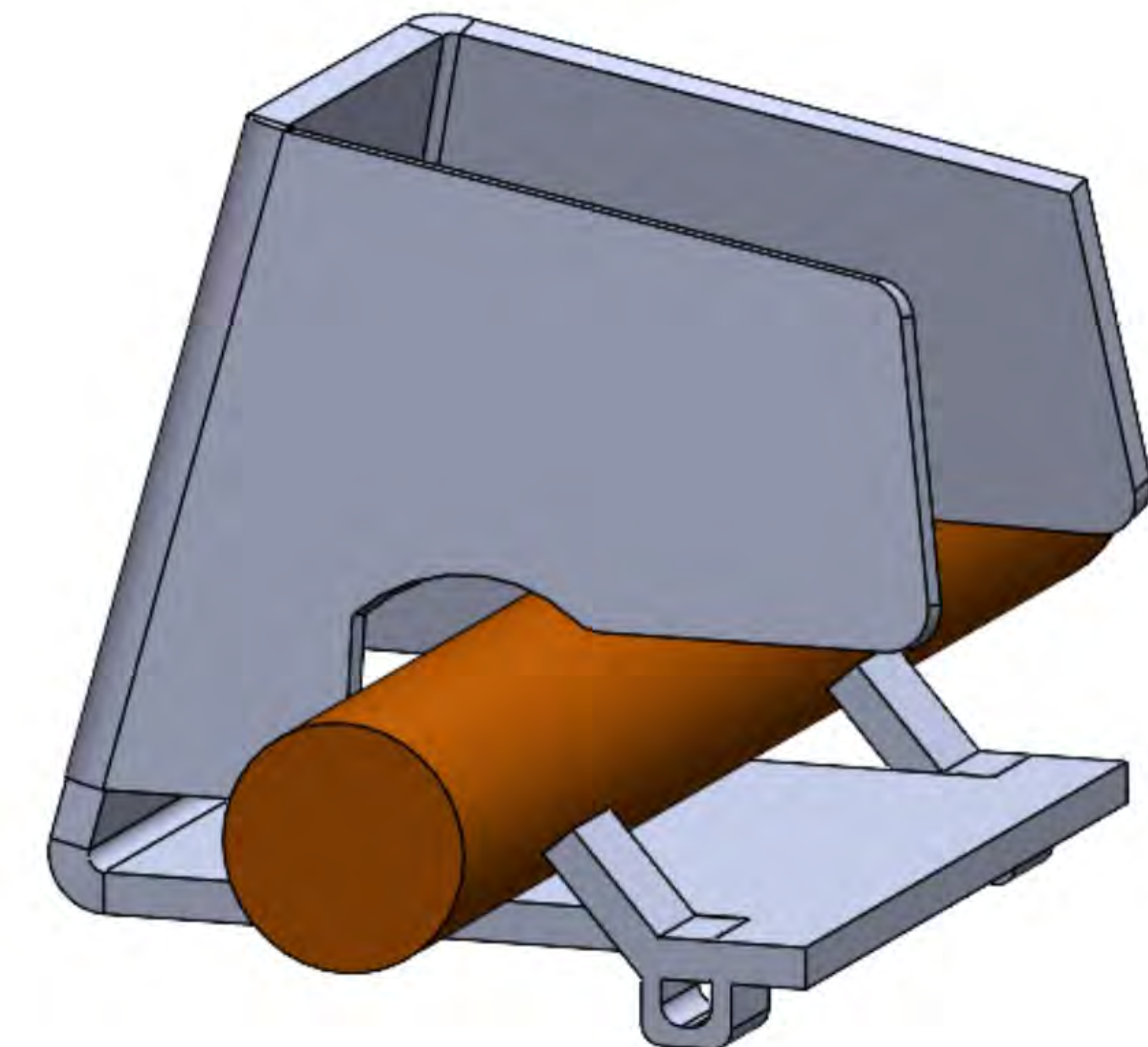
2



3

Variatie op 2.
Met borging
functie (snap
feature)

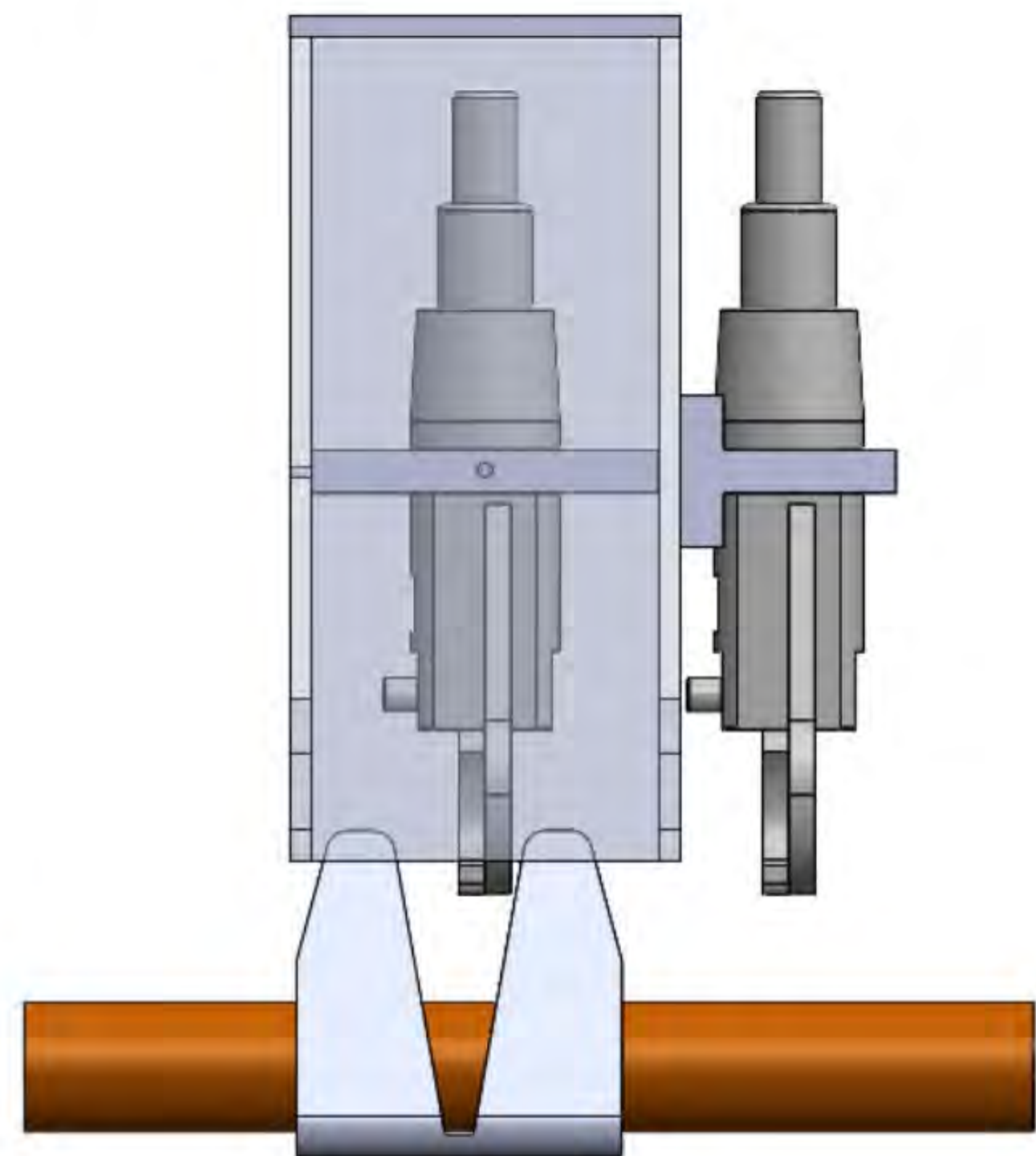
Maakbaarheid
: ?



Concept experimentatie module door Lencon



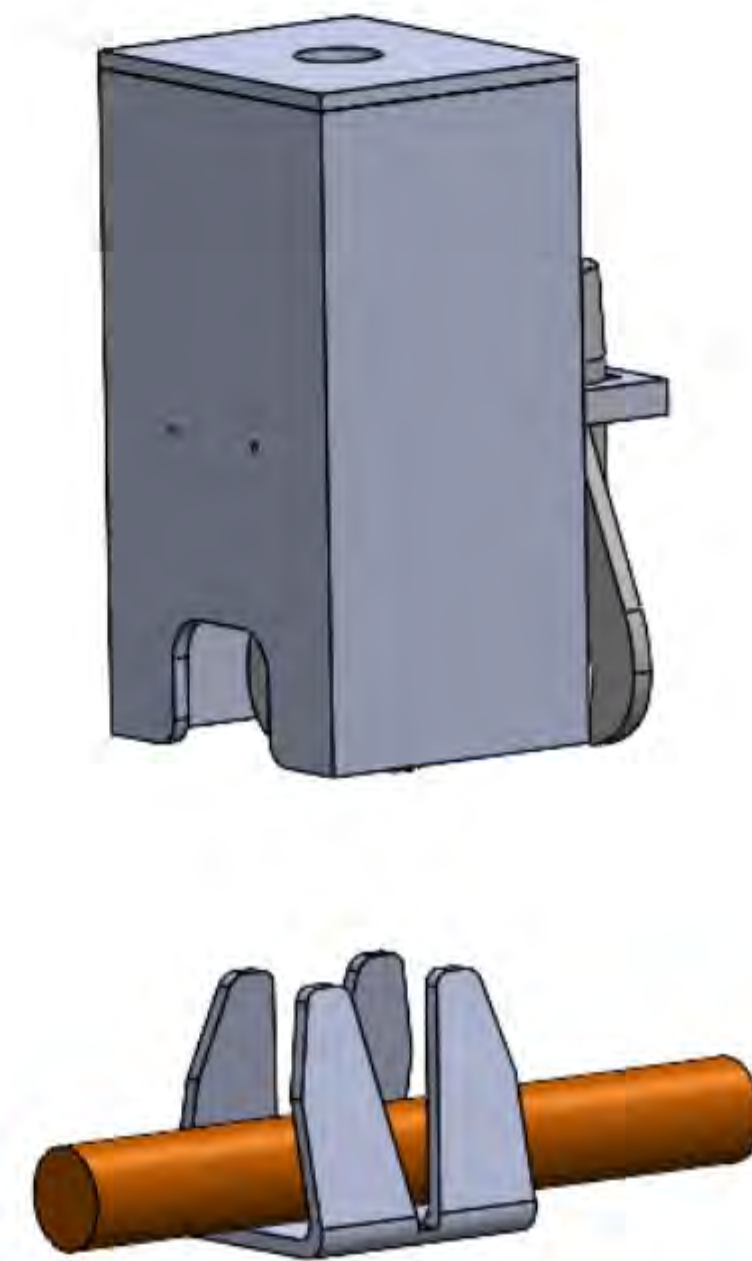
4



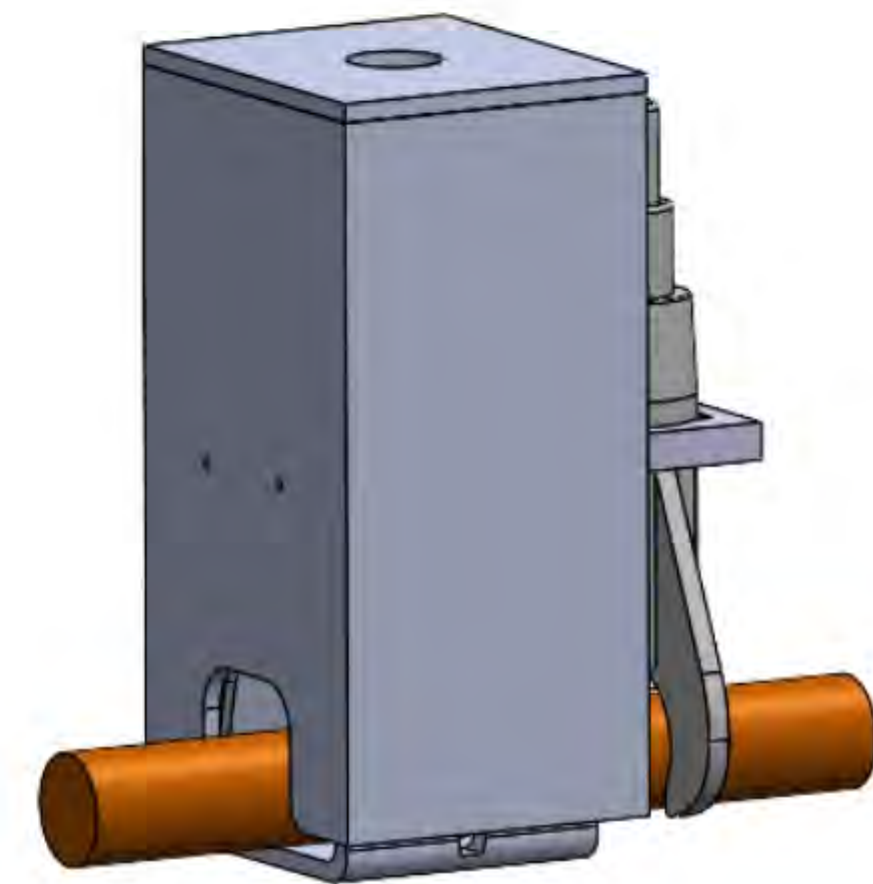
Maakbaarheid:
Sheet metal

Zoekend
aan alle
zijdes

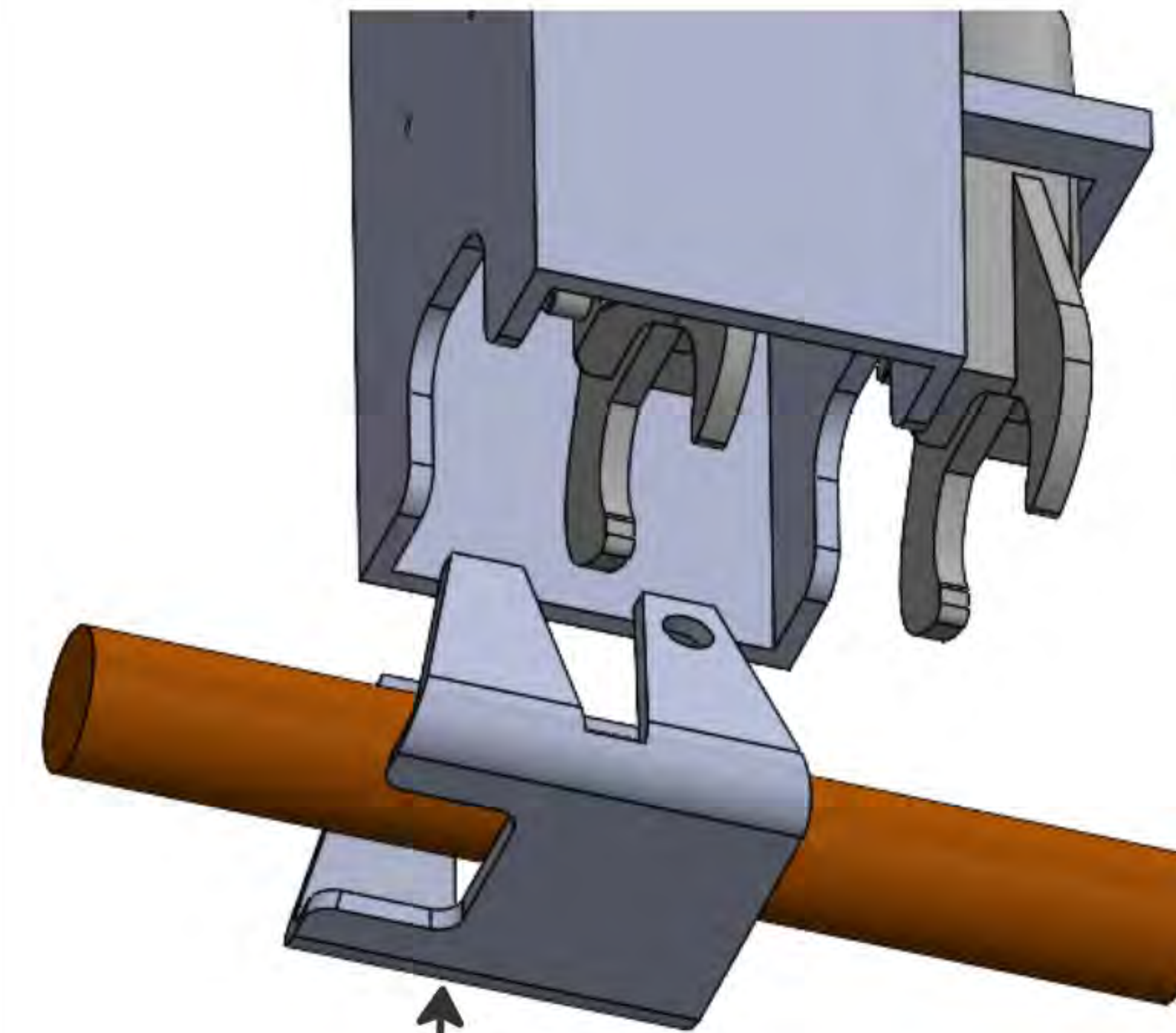
Afgesloten
kamer



Geen
borging
(tiewrap?)

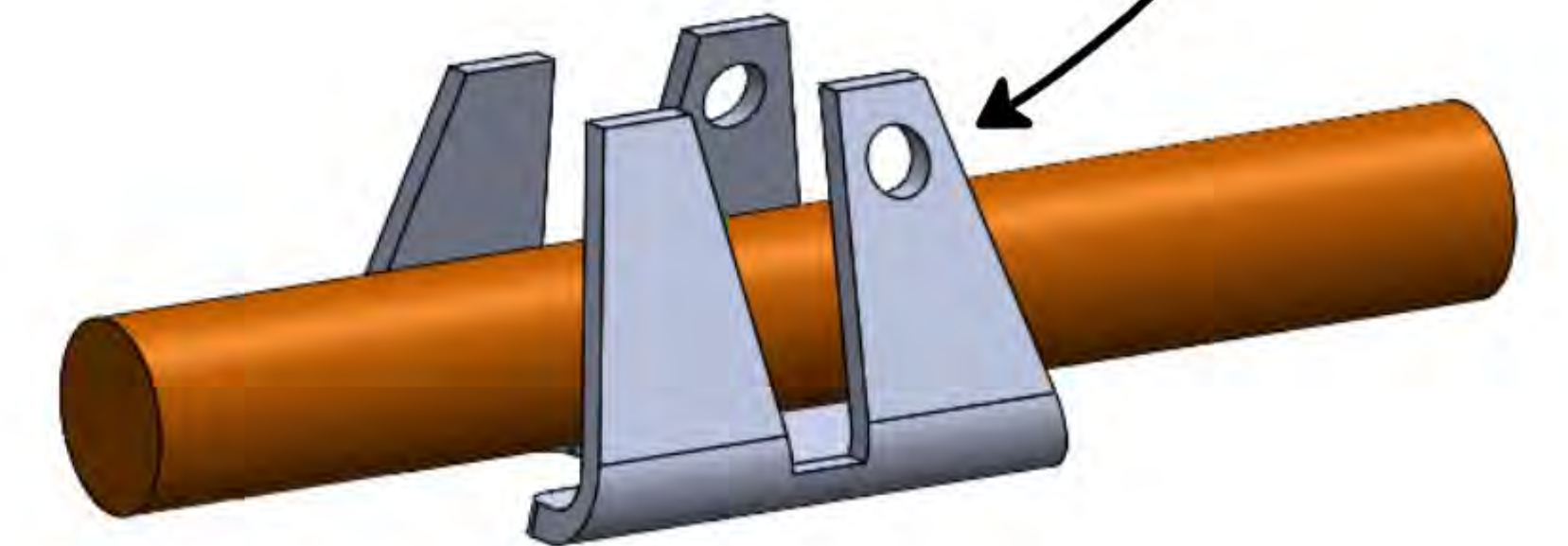


5



Na knippen en grijpen valt overige stuk kabel
door de opening

Locatie voor pen borging



Variatie op
4: Borging
met pen

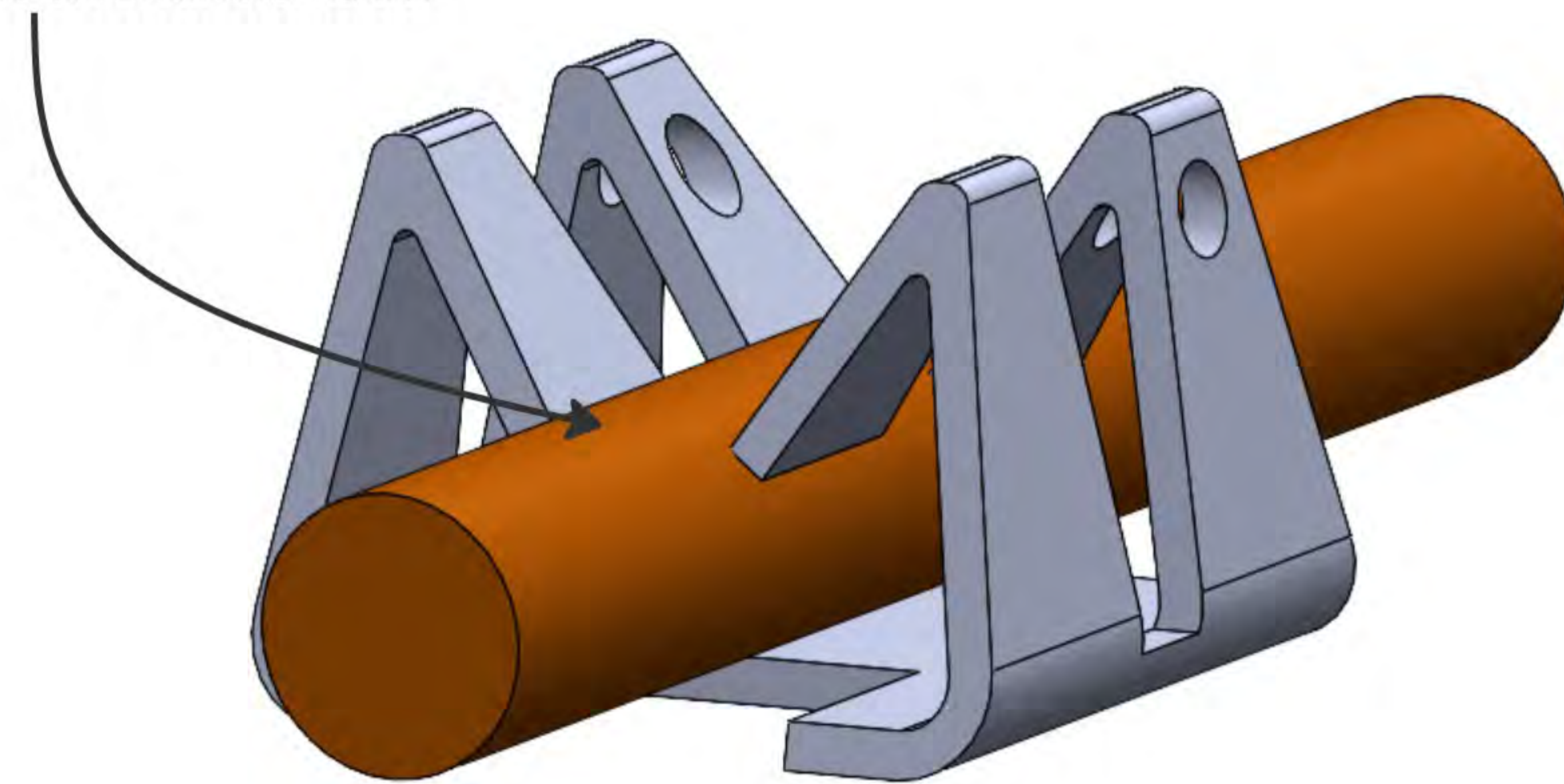
Concept experimentatie module door Lencon



6

Afhankelijk van grootte & rondheid kabel

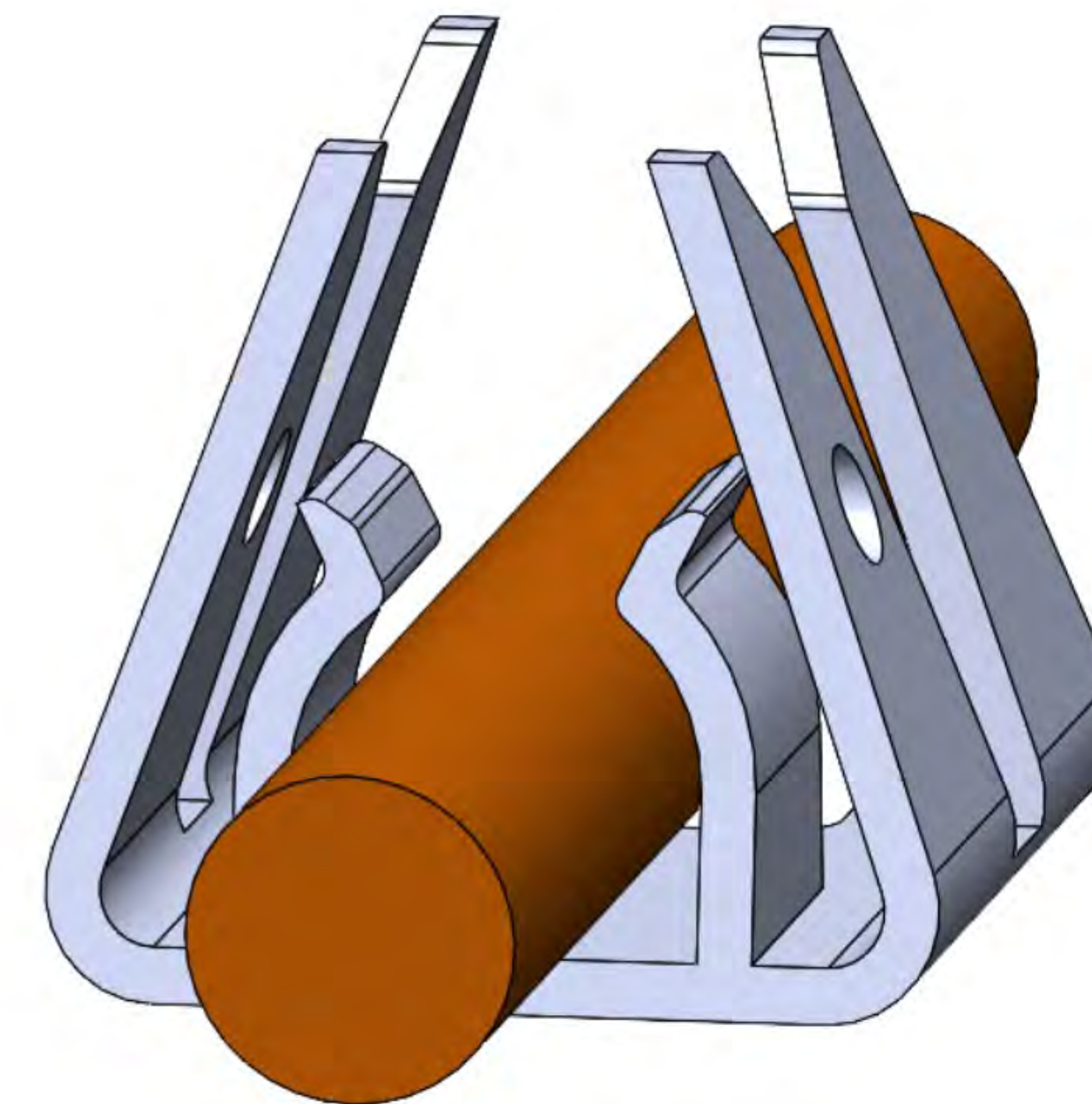
Variatie op
4: met
klem
borging



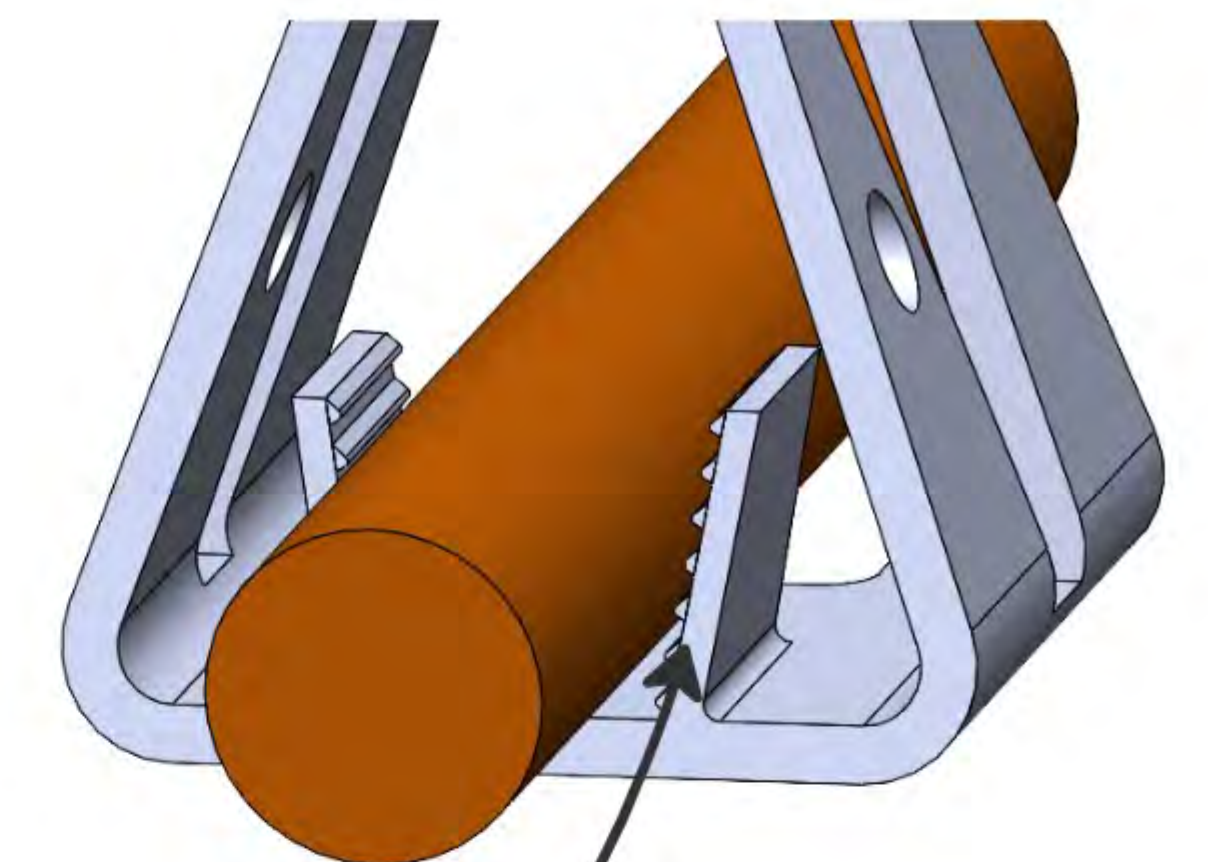
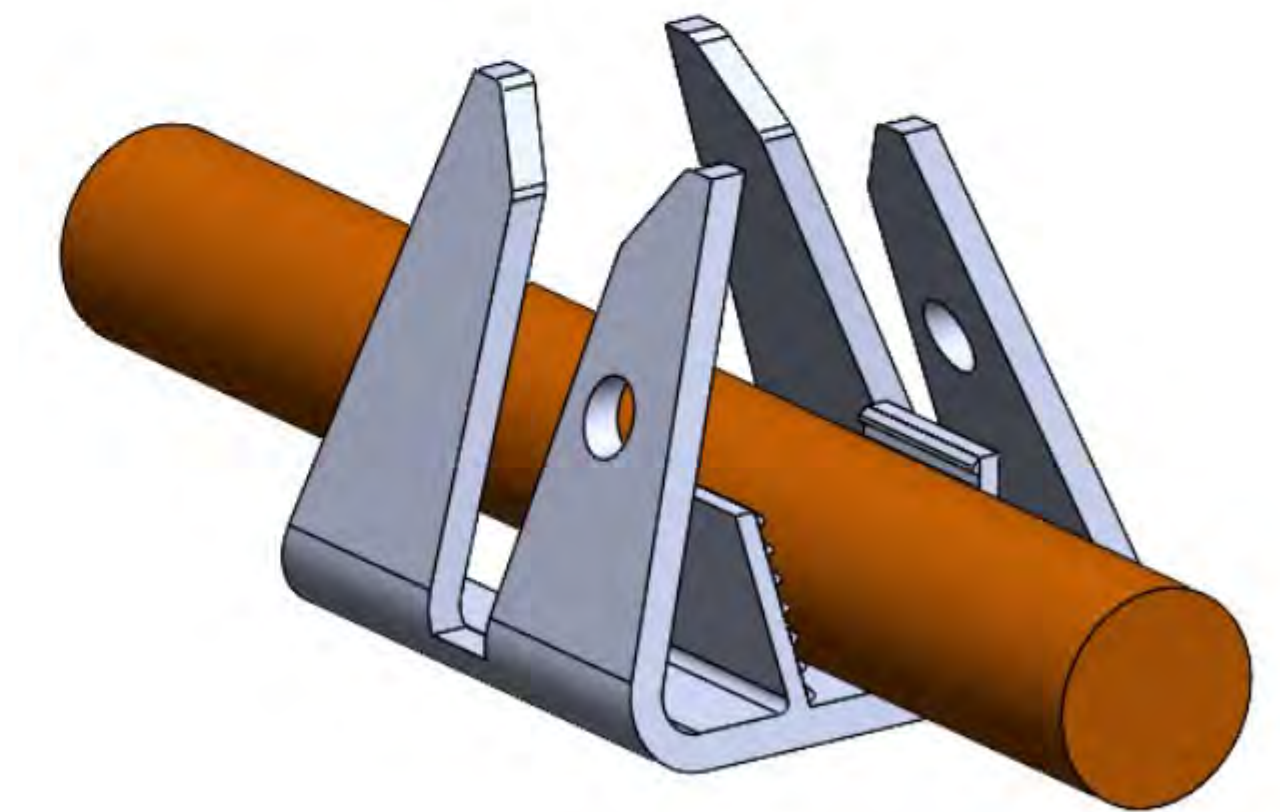
7

Twee
varianties
op nr 6

Maakbaarheid
: ?



Deze klem kan rekening houden met
verschillende kabel groottes.

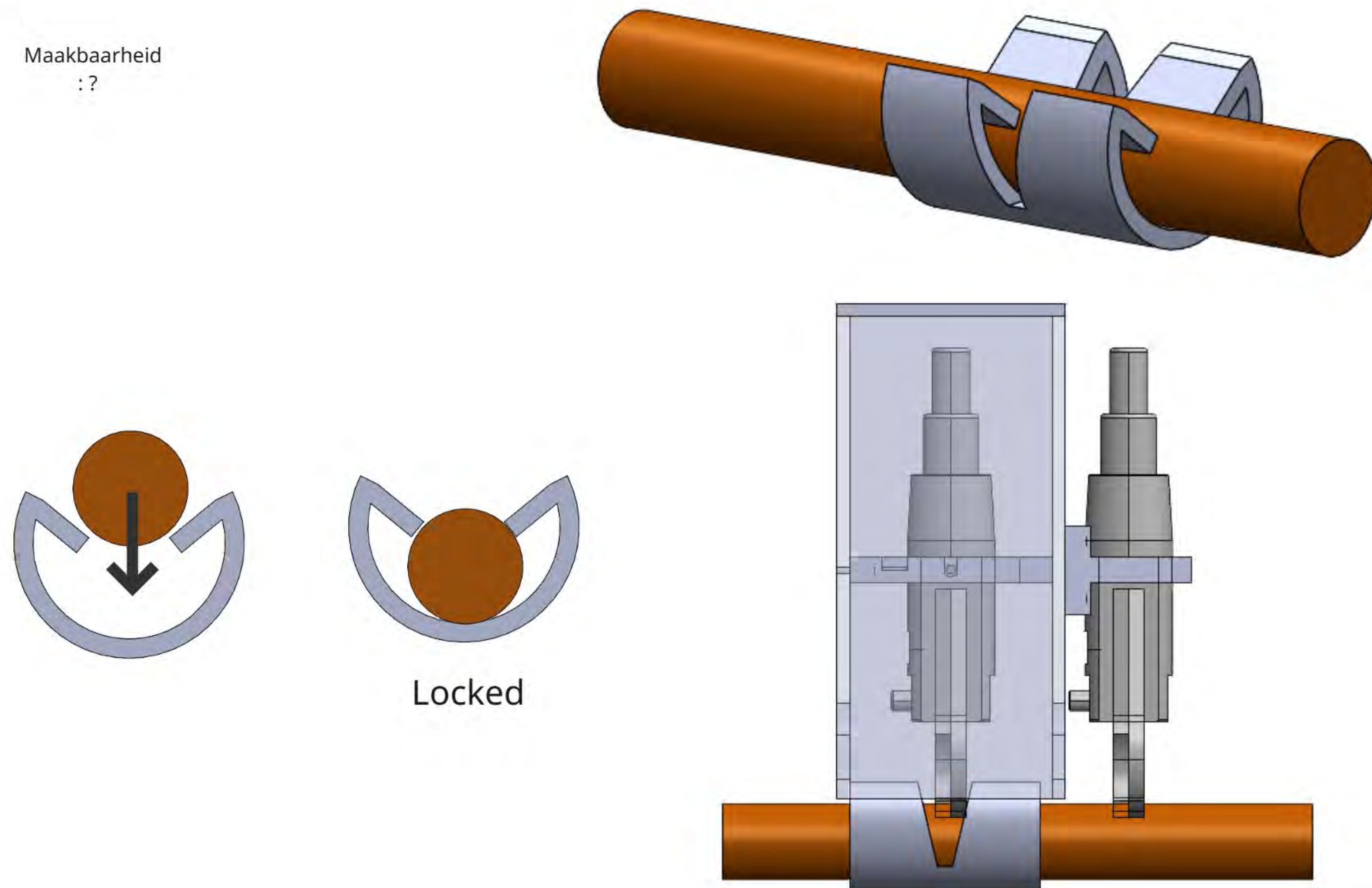


Concept experimentatie module door Lencon



8

Maakbaarheid
:?

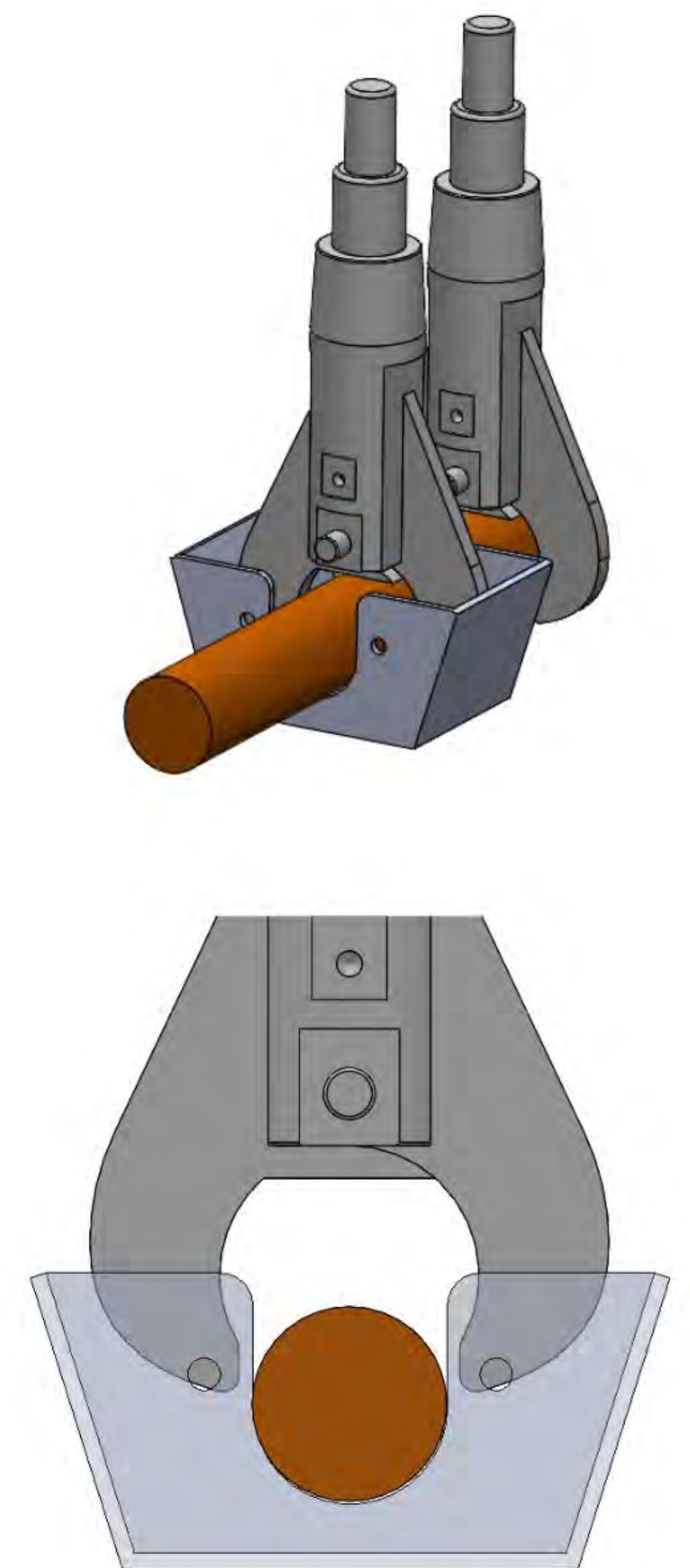
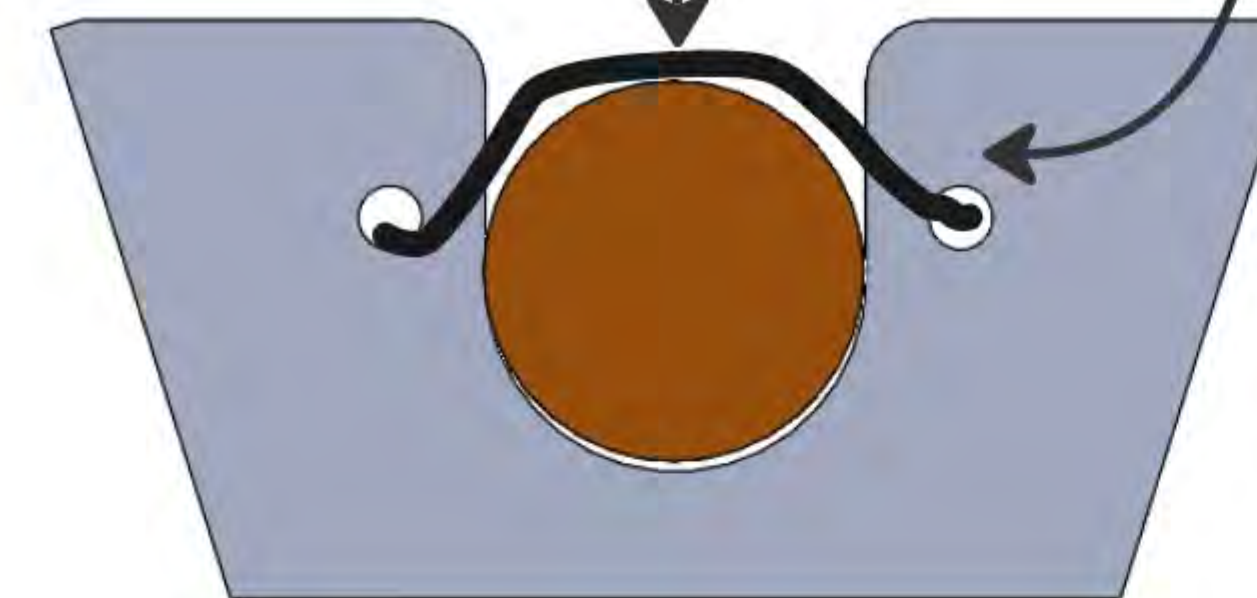


9

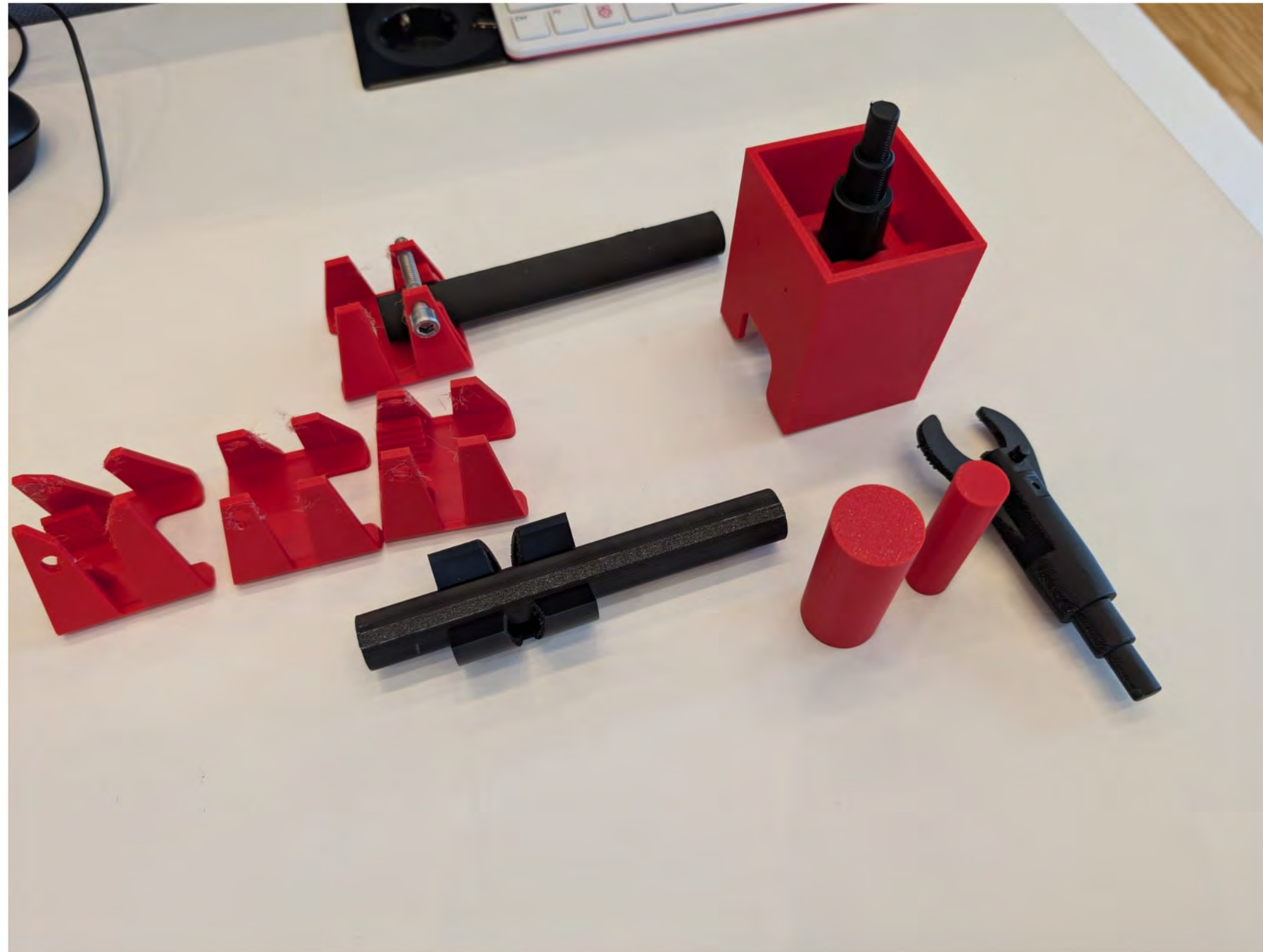
Basic concept:
Het zoeken --> gebruik maken van de vorm van de
knipper, in plaats van een behuizing er om heen.

Trekt de kabel strak in de
behuizing

tyrap/ etc



Concept experimentatie module door Lencon





Define

Experimentatie en conceptontwikkeling: De module en het landen van de end-effector

Door RoboHouse

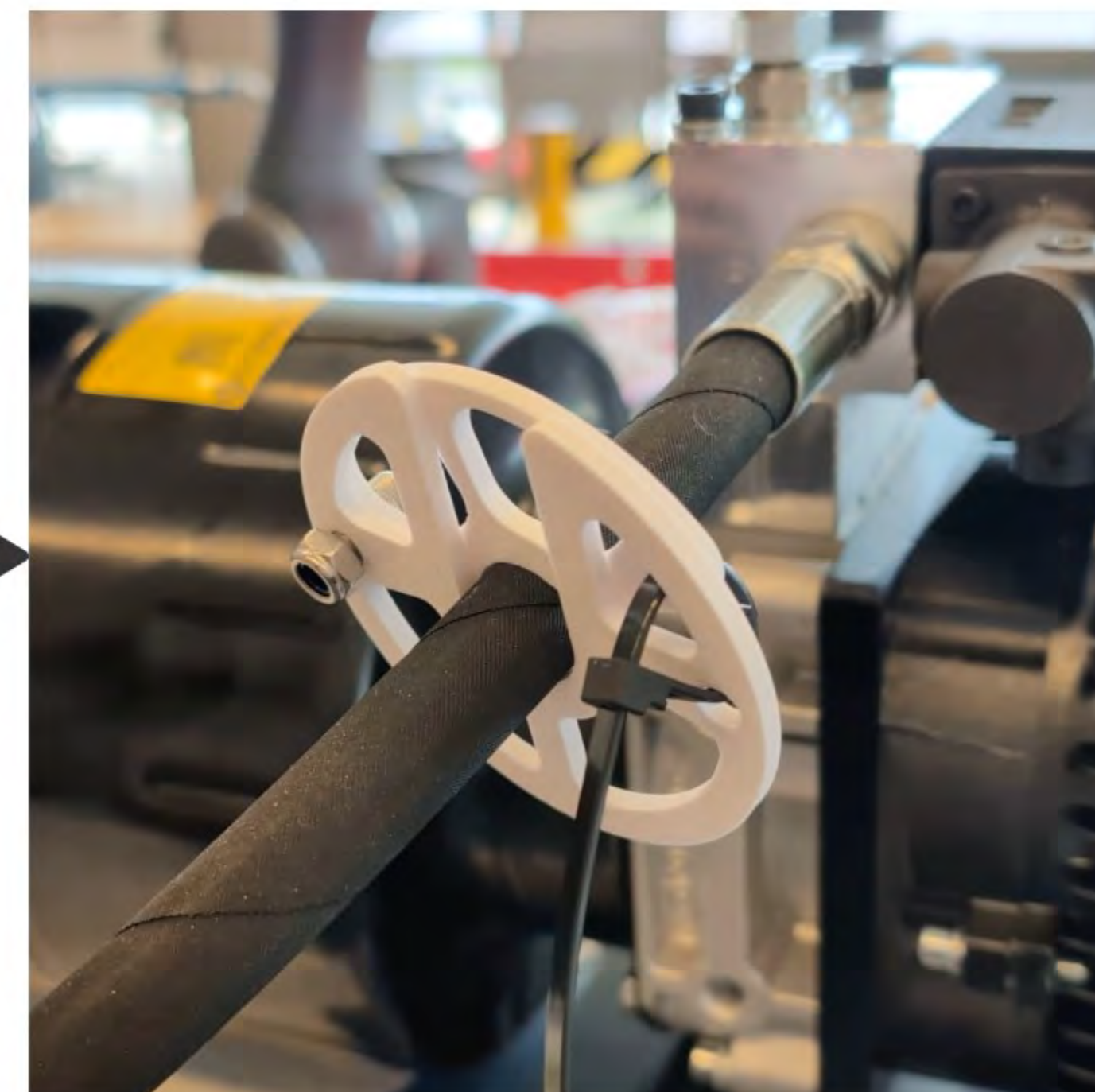
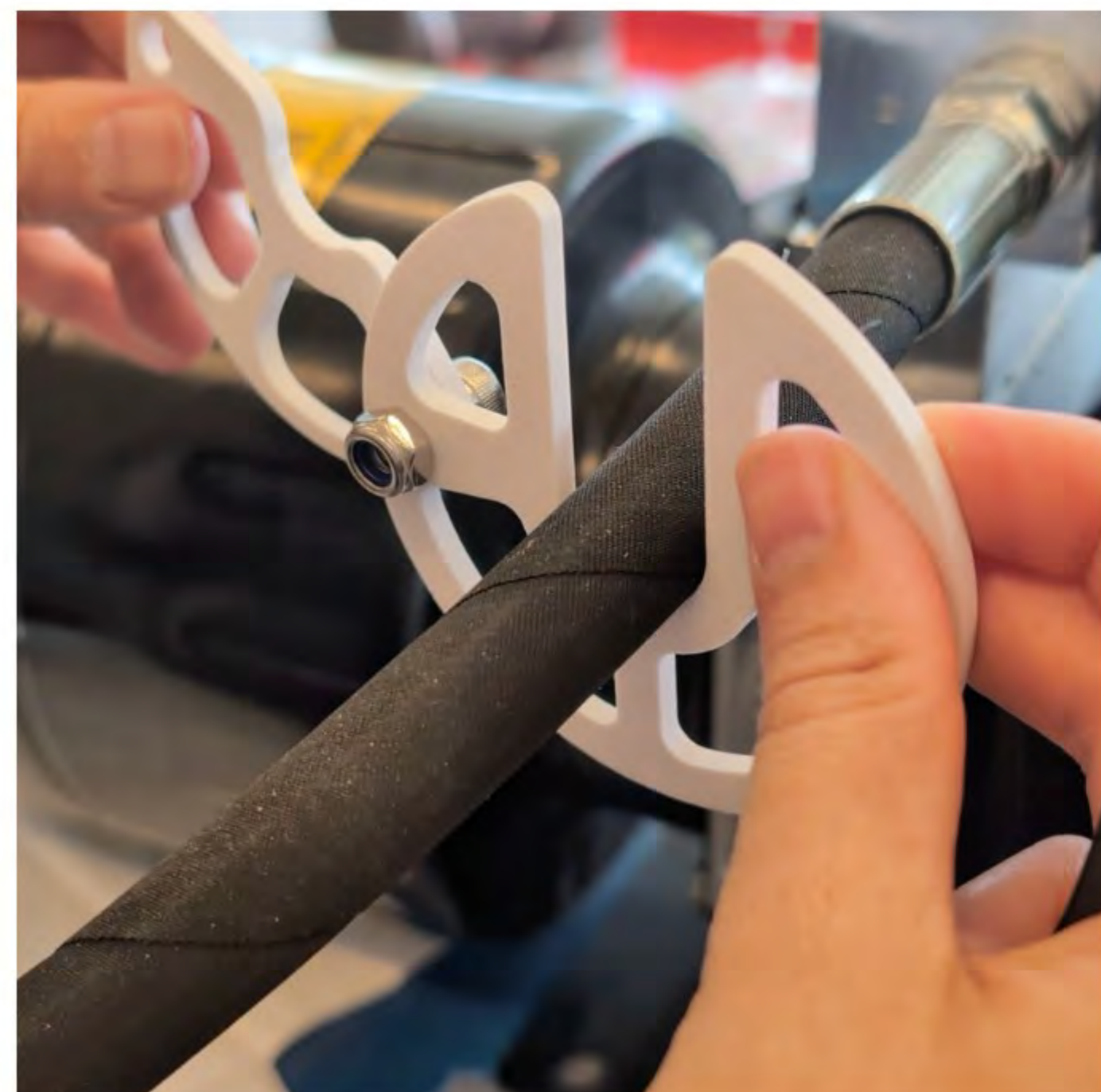
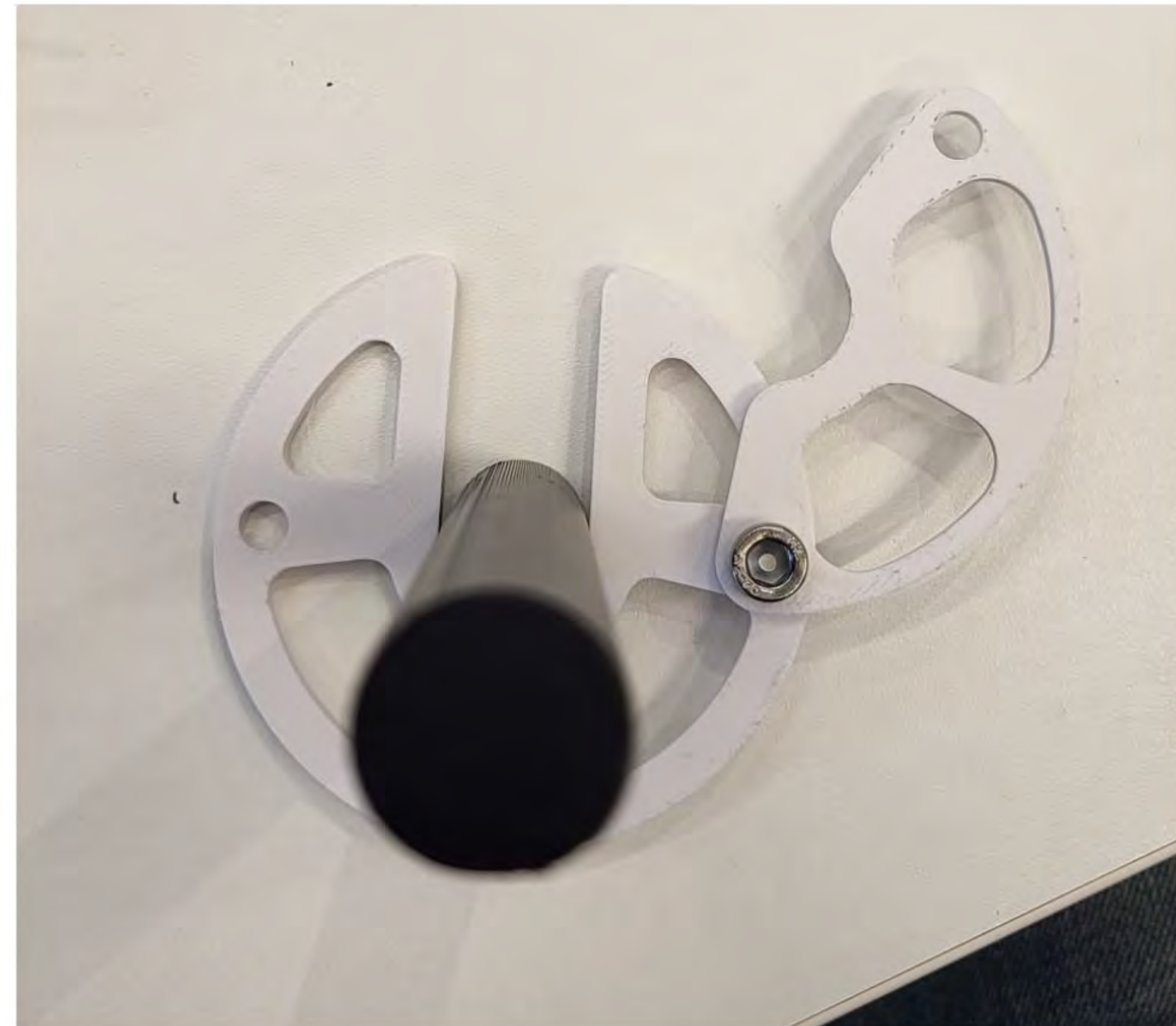
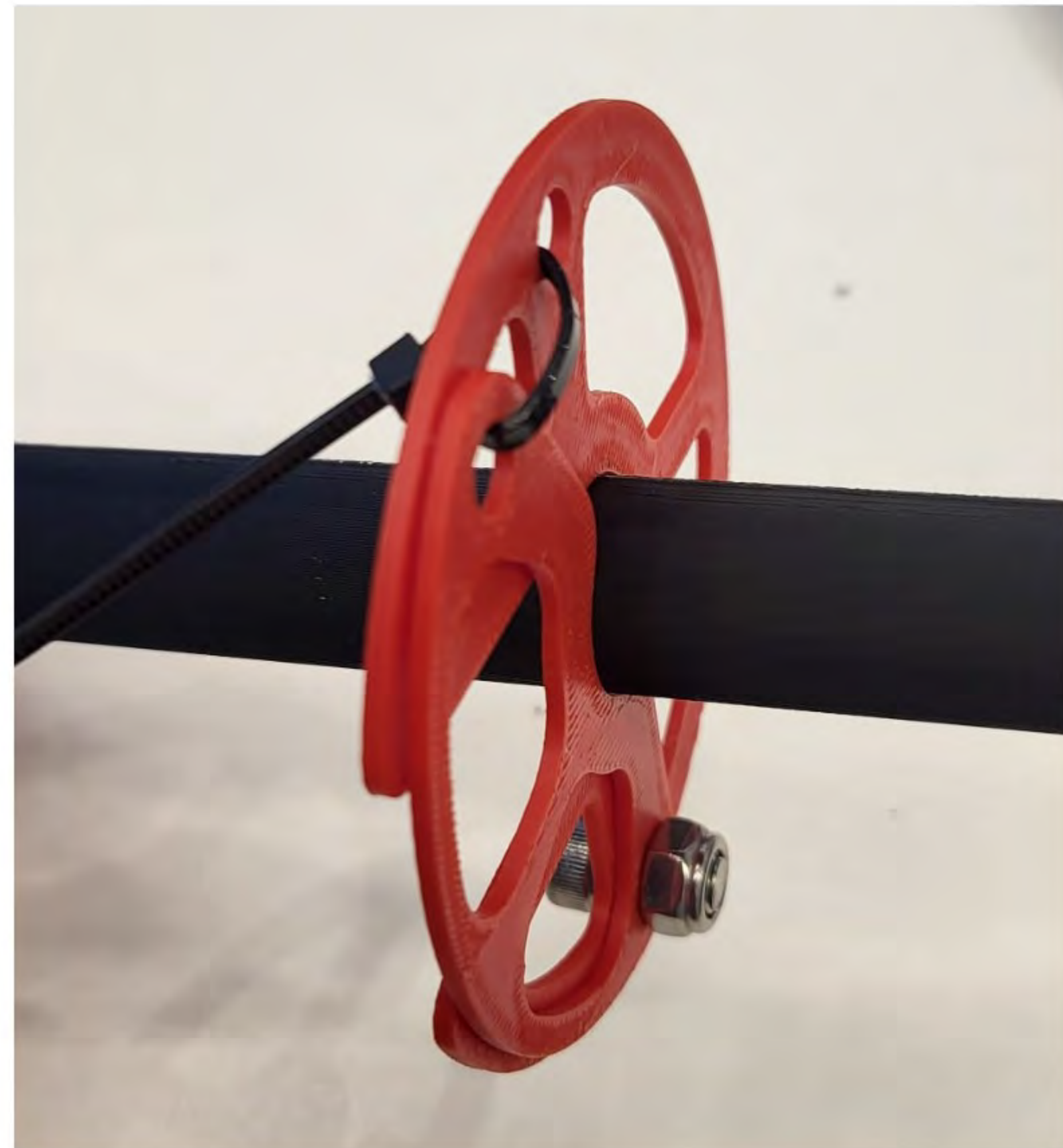
Gebaseerd op de inzichten opgedaan uit de exploratie door Lencon

Concept experimentatie module en uiteinde end-effector

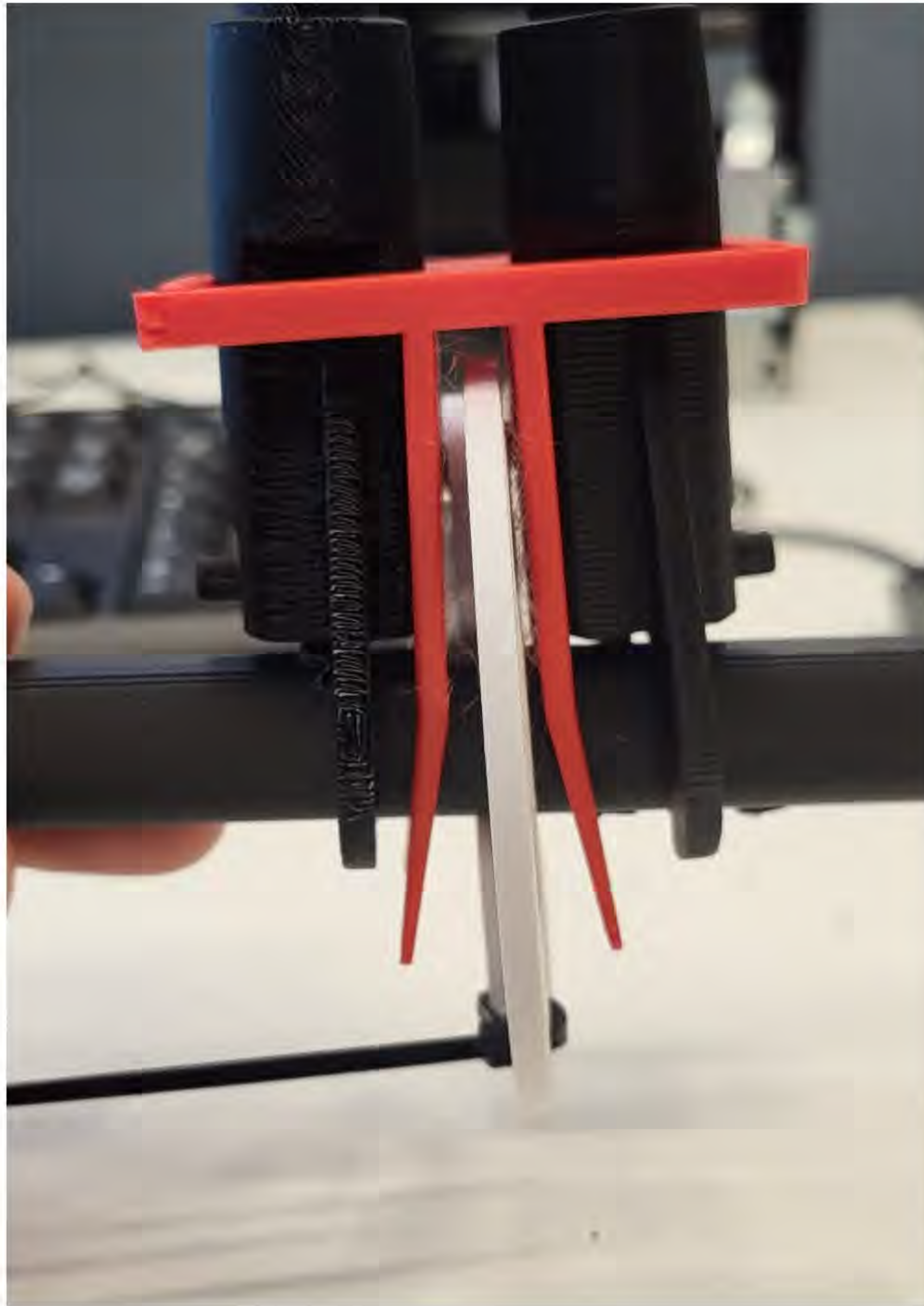


Een schijf om de kabels aan de kant te houden.

Zorgt ervoor dat de knijper en schaar ergens op kunnen centreren.



Concept experimentatie module en uiteinde end-effector



Illustratie hoe een mogelijk centreer pad op de end-effector eruit zou kunnen zien.

Ontwerpdoelen:

- Makkelijk te installeren
- Toepasbaar voor een range aan kabeldiameters
- Simpele/goedkope plaatsbare module
- Module verwijderbaar zonder kabel te knippen

Ontwerpkeuzes die nu zijn gemaakt:

Schijfdiameter (is nu 240mm) -> grotere schijf zorgt voor meer vrije ruimte om kabel heen om te knippen. Nadeel is dat het niet per se nodig hoeft te zijn, en het de graafmachine end-effector groter kan maken.

Schijfdikte -> Minder kantelend moment (schijf zal rechter staan op kabel) maar de graafmachine module kan vrij veel kanteling opvangen.

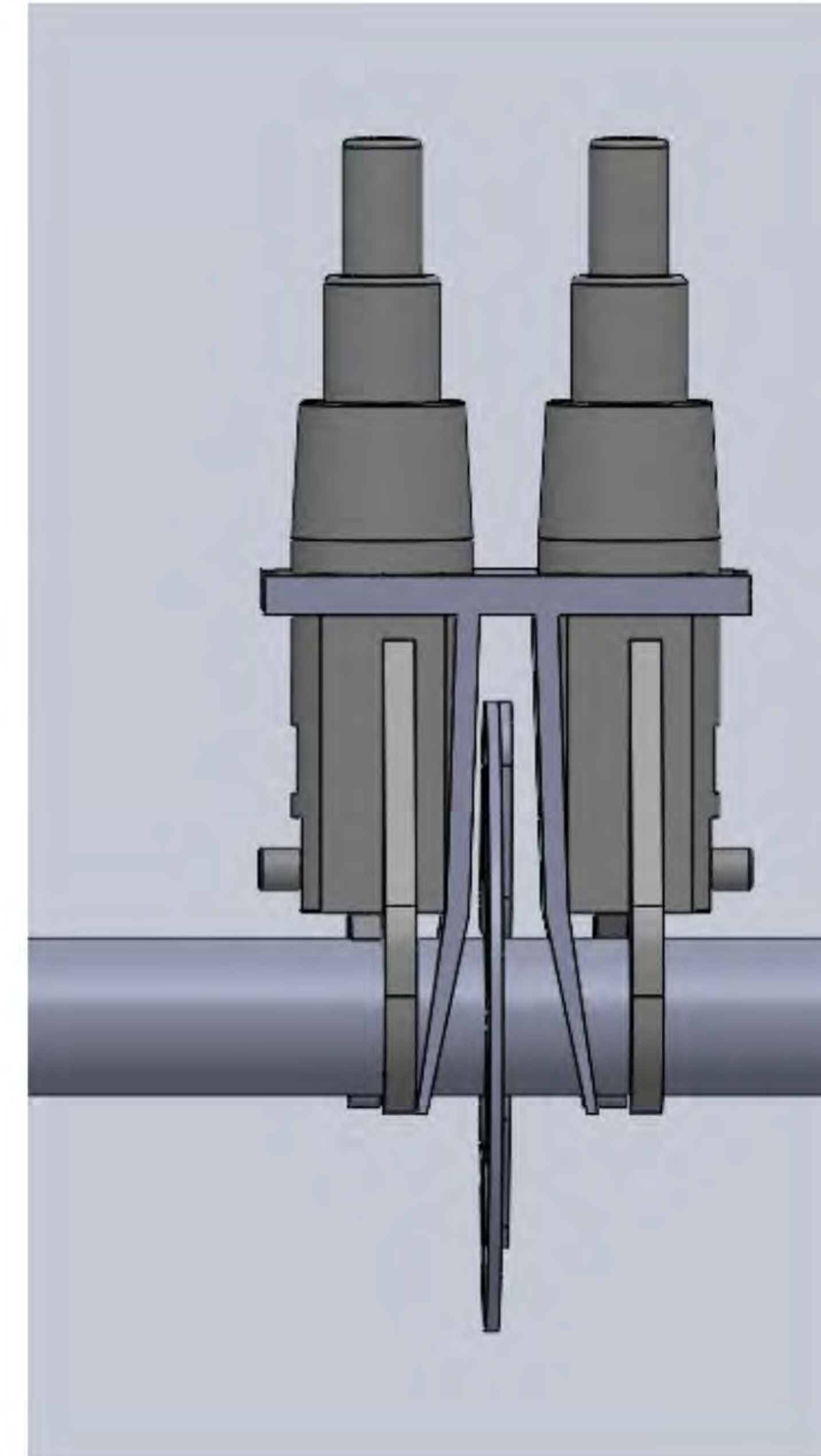
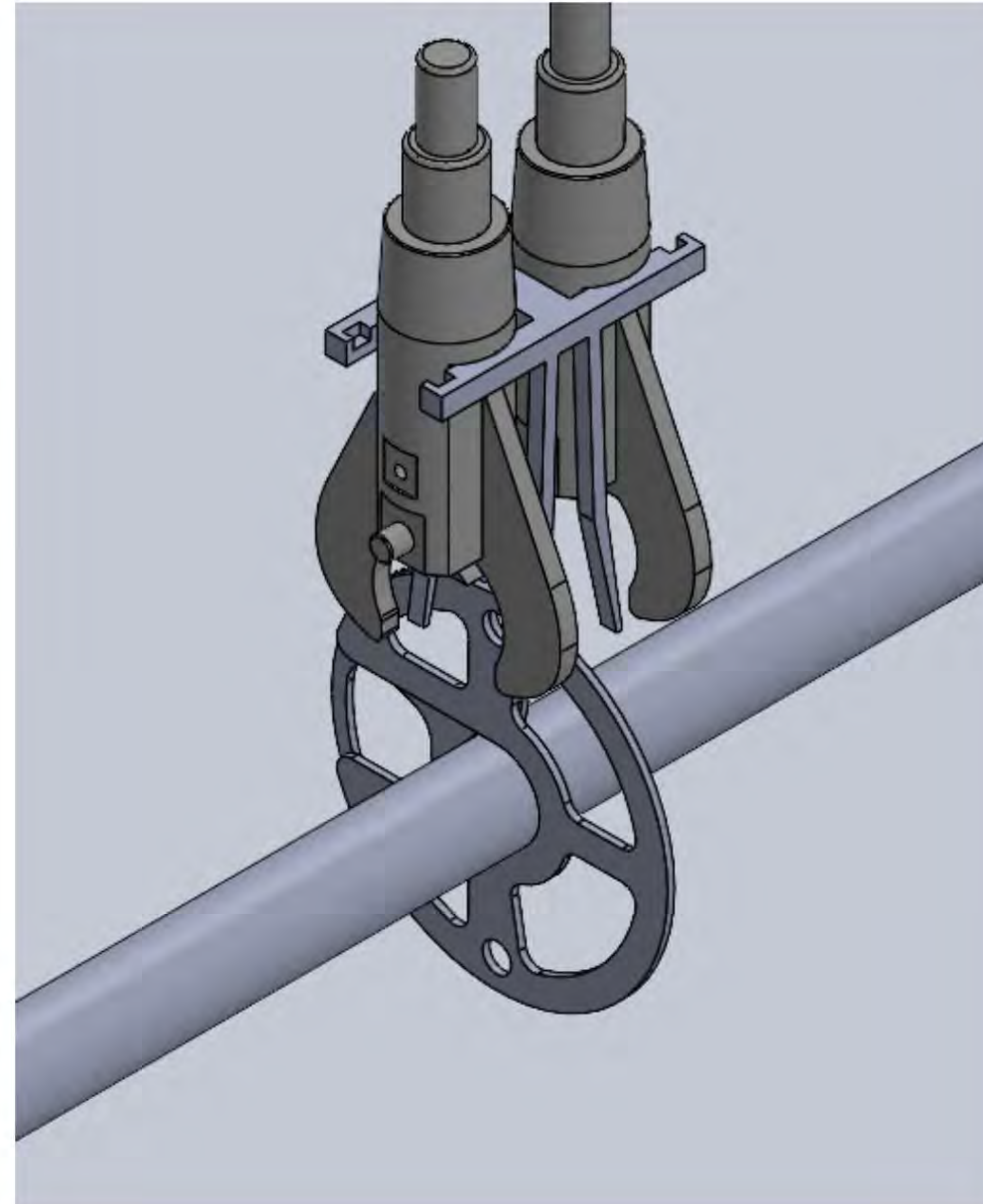
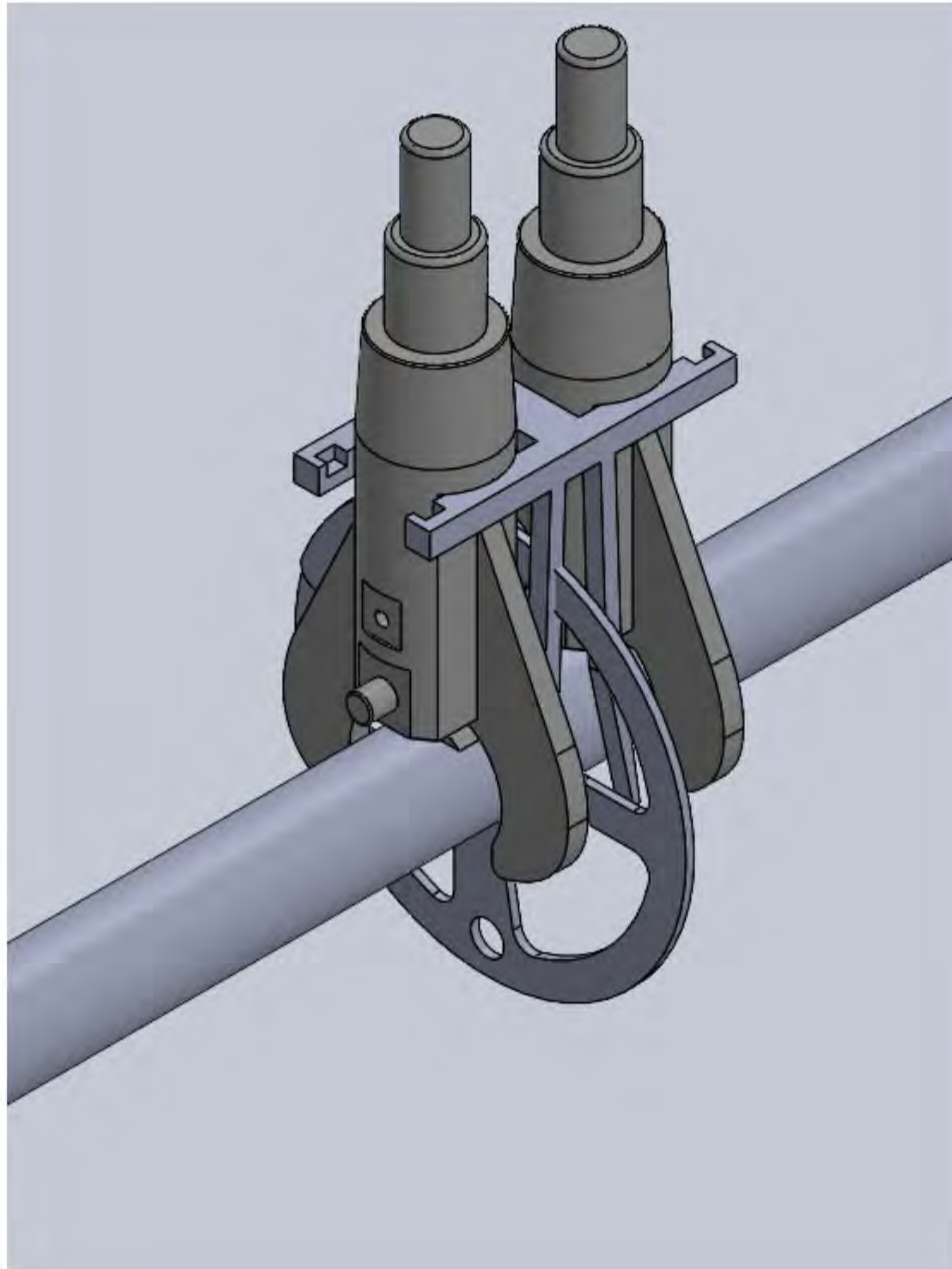
(Voor)spanning sluiting (bv. met veersysteem) -> meer spanning zorgt dat het beter blijft zitten en recht op zal staan. Heeft nu geen voorspanning en kan door Tyrap gespannen worden (lijkt voor nu genoeg maar zal getest kunnen worden).

Spacing klem+ schaar -> is nu vrij minimaal (zie afbeelding). Kleinere afstand zorgt ervoor dat er dicht bij de module geknipt en geklemd wordt, groter zorgt ervoor dat het minder nauwkeurig geplaatst hoeft te worden (heeft nu +- 60 mm nauwkeurigheid nodig als het op schaal is).

Concept experimentatie module en uiteinde end-effector



Het ontwerp sluit de knipzone niet compleet af. Daarvoor moet bij ieder aansluiting van de end-effector met de module de grondwerker controleren dat er geen andere kabels en infrastructuur uitsteekt binnen het knip/grijpgebied (+- 40 mm naast de module).

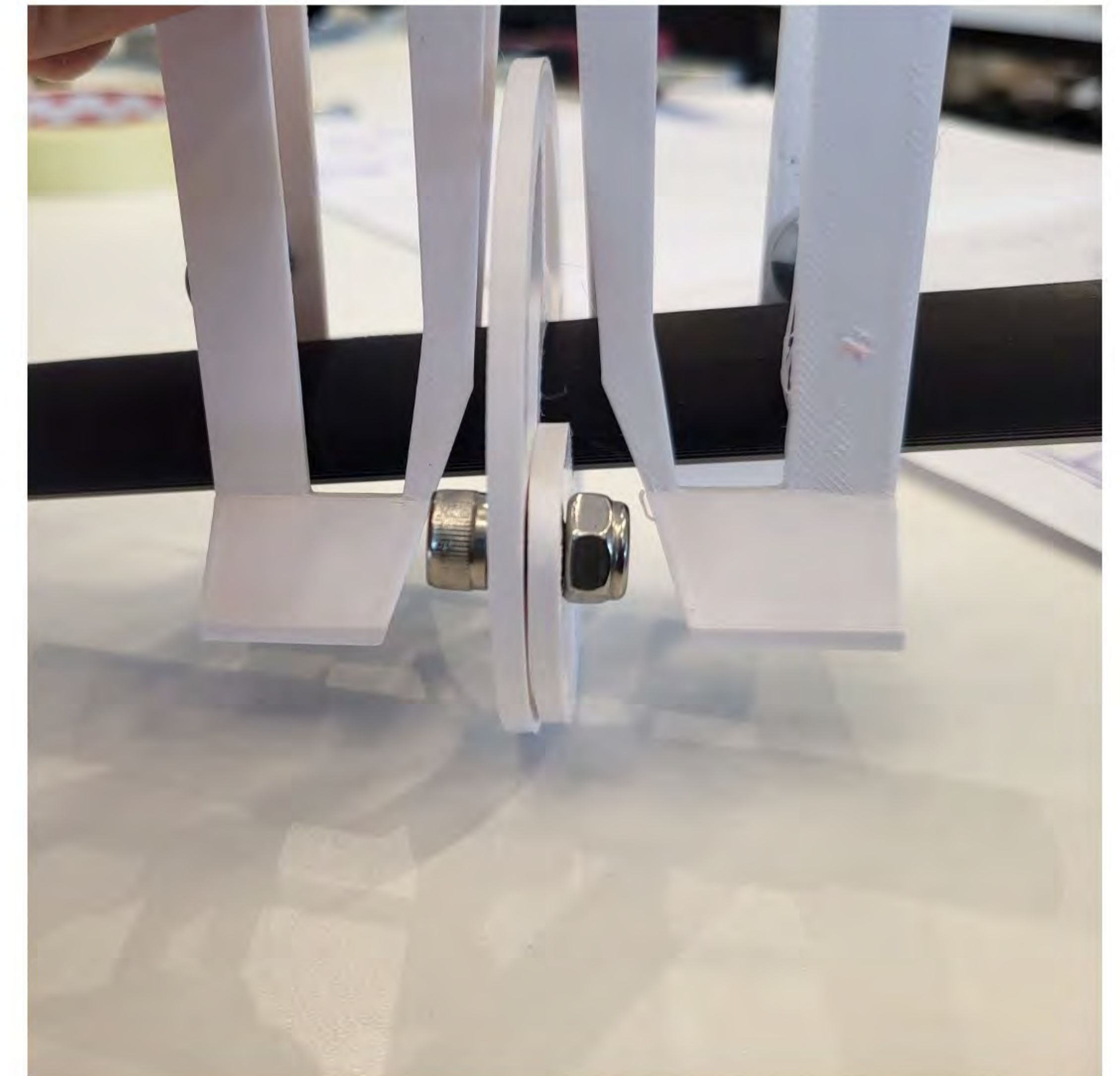
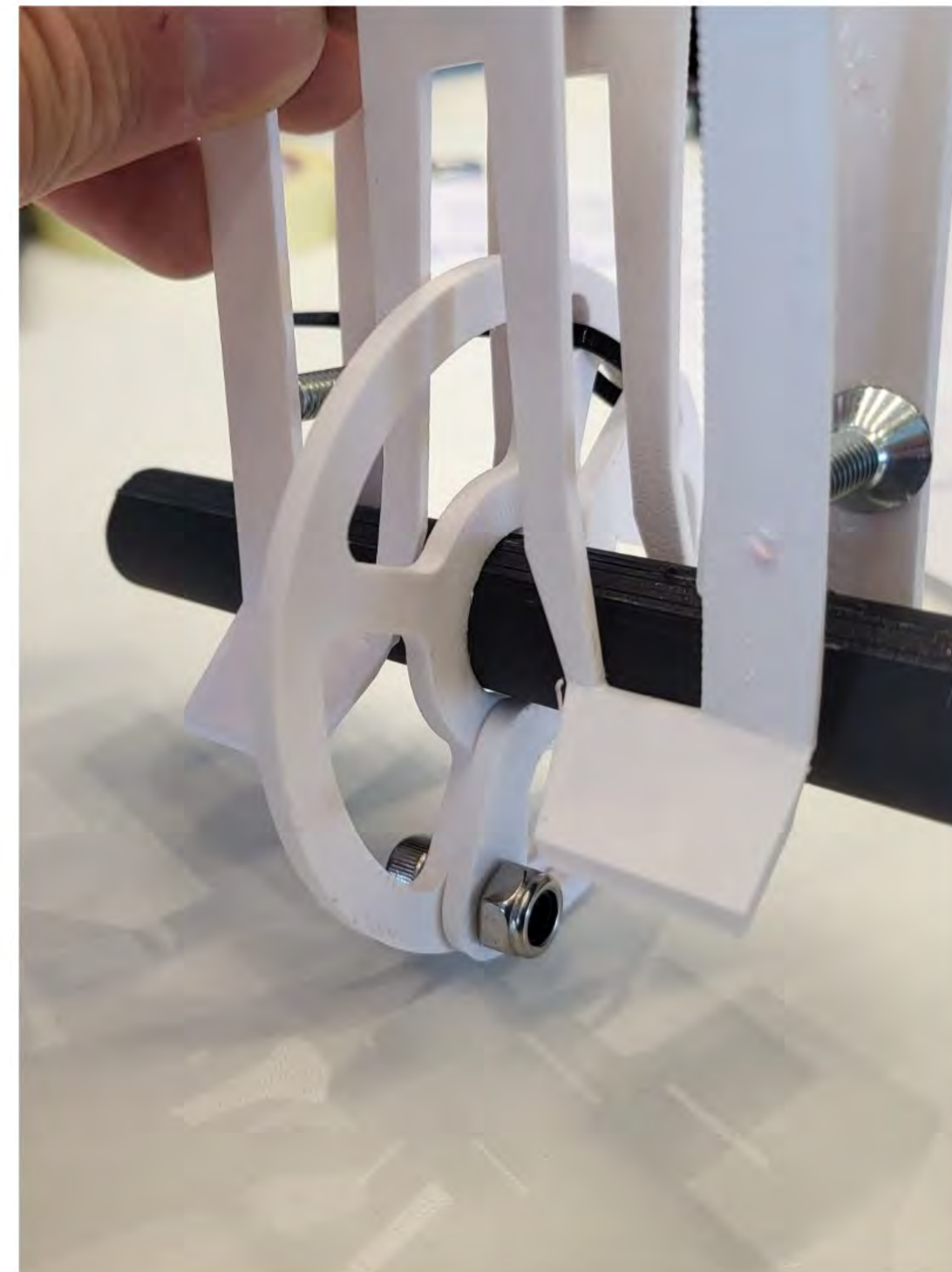
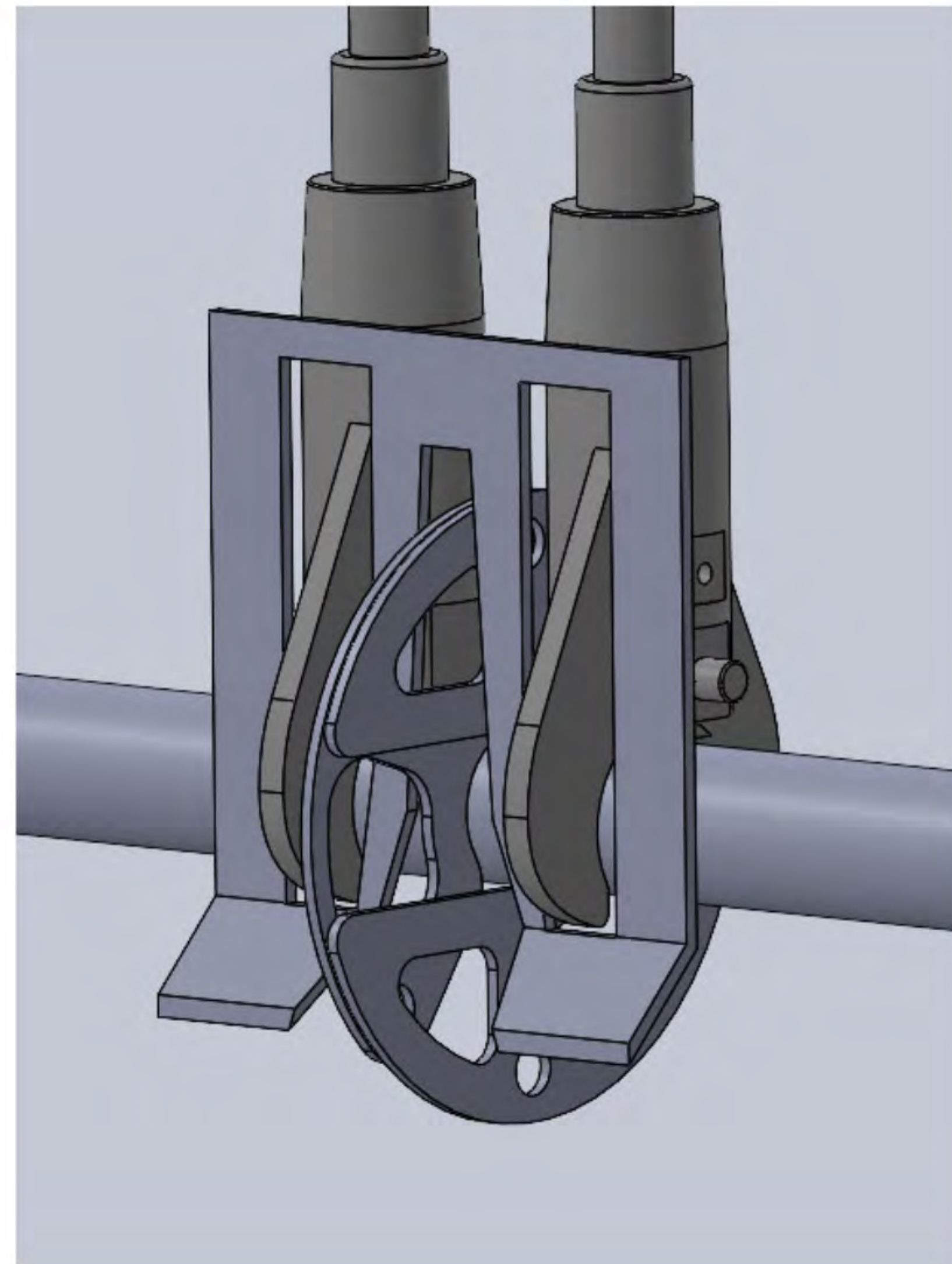
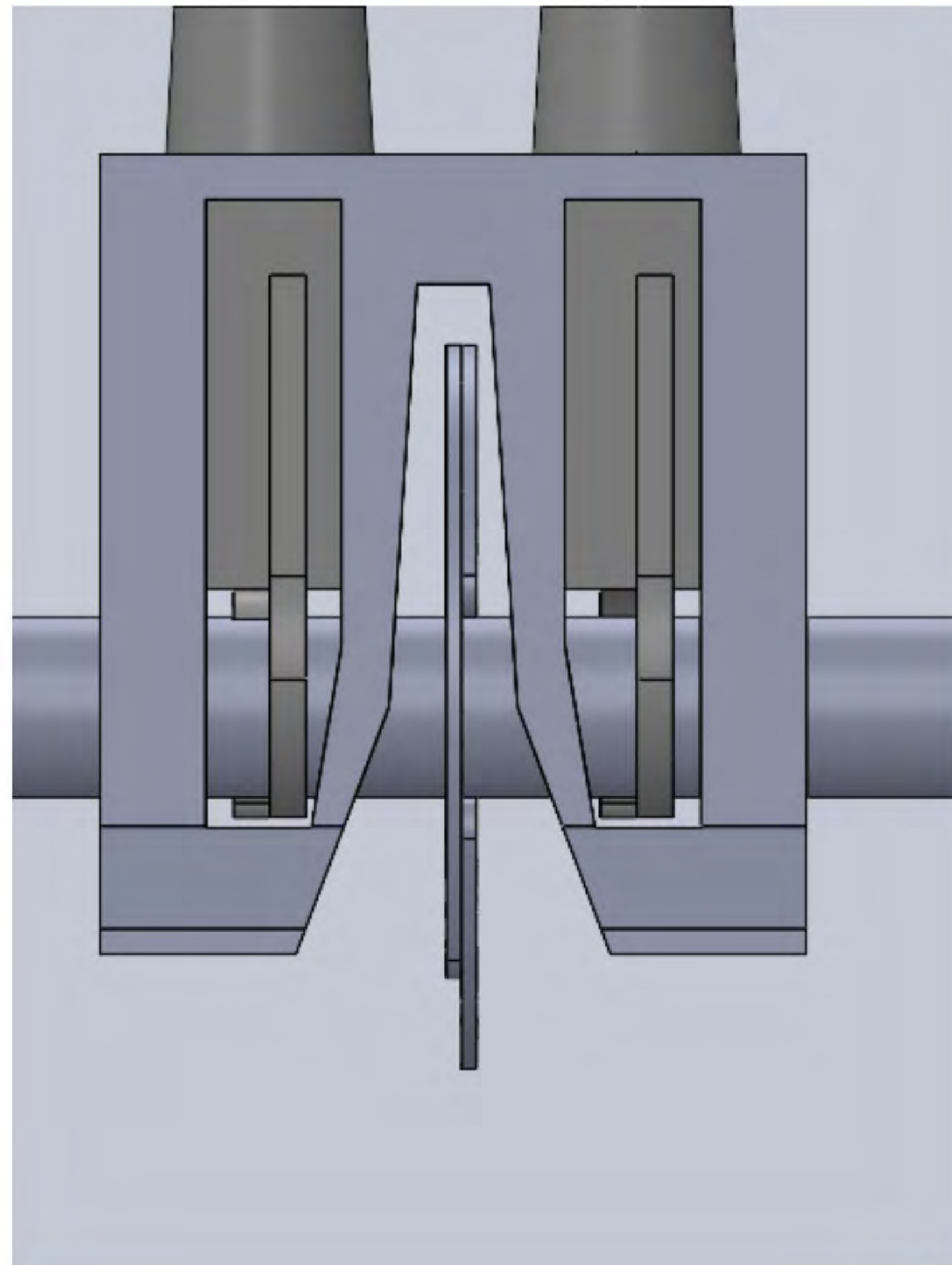


Uitlijning van knip en knijp deel van de end-effector



Het onderdeel dat de knip en knijper begeleid zodat het op de juiste plek beland.

Ontworpen zodat het niet verder uitsteekt dan de schijf.



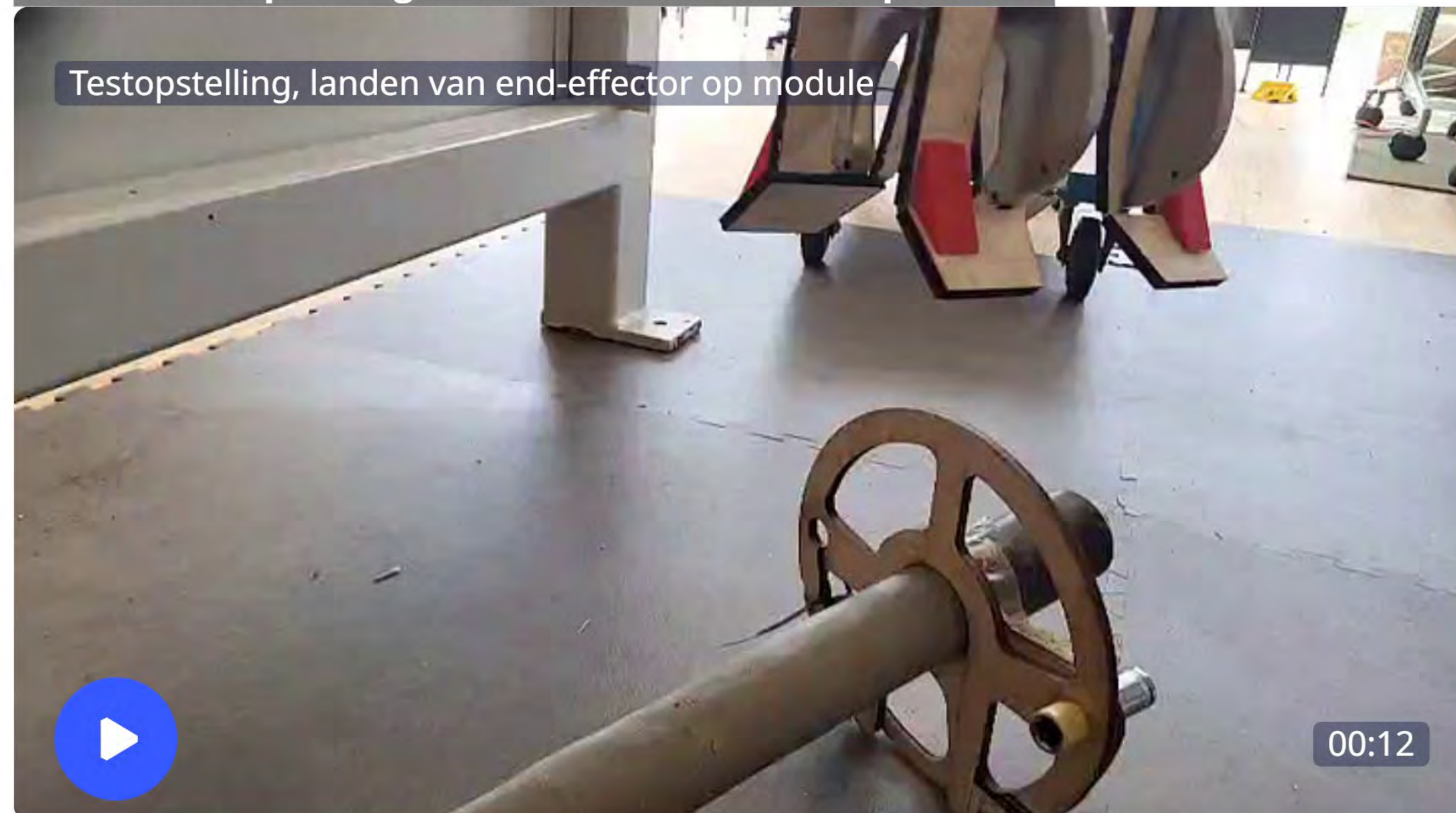
Experimentatie landen van end-effector op module



Er is een testopstelling gemaakt van hout om te kijken of het ontwerp goed genoeg werkt in praktijk.
Conclusie: lijkt erg stabiel, en goed te werken!



Video 7: Testopstelling, landen van end-effector op module



Video 8: Testopstelling, scheef landen en bijsturen





Define

Ontwikkeling prototype voor eindtest

Toevoeging Drukversterking

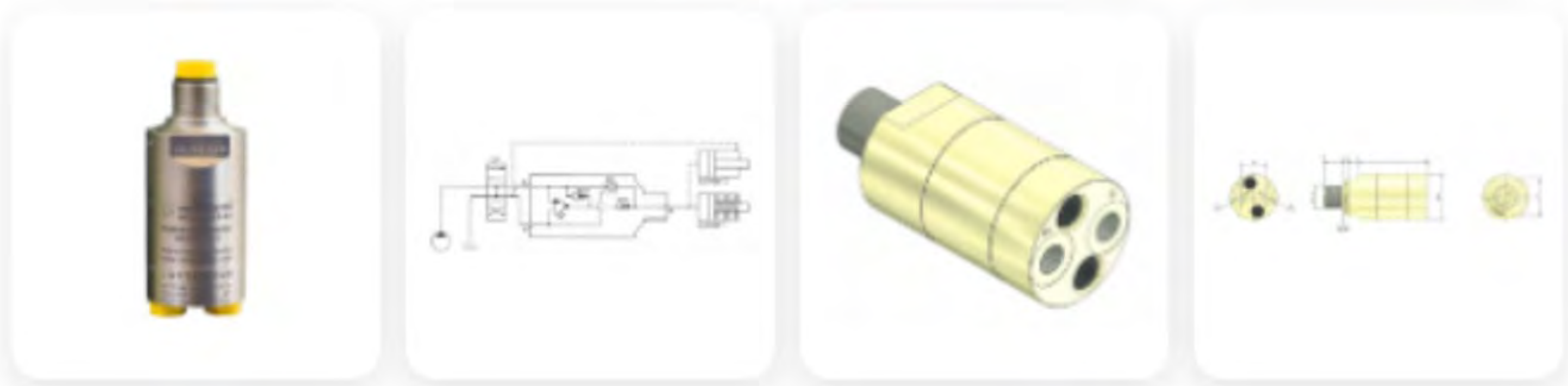
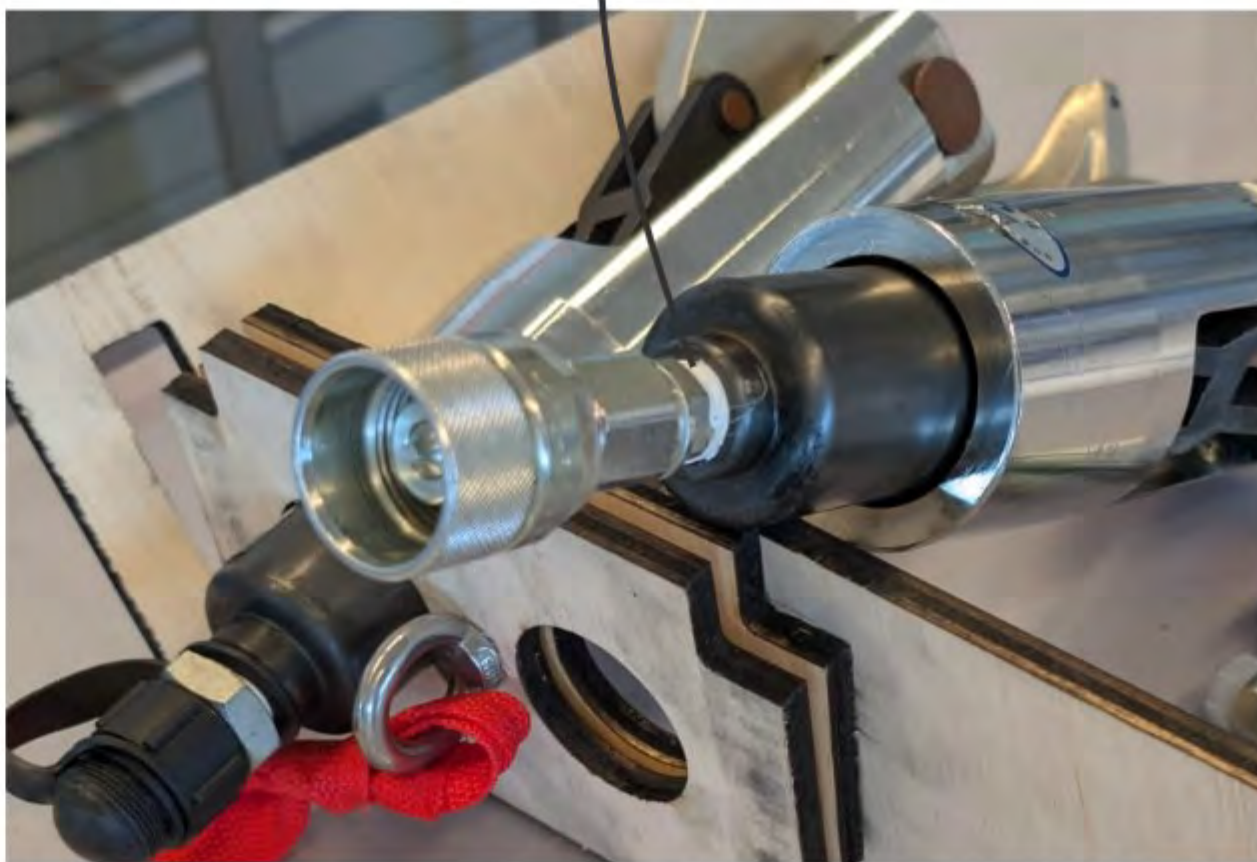
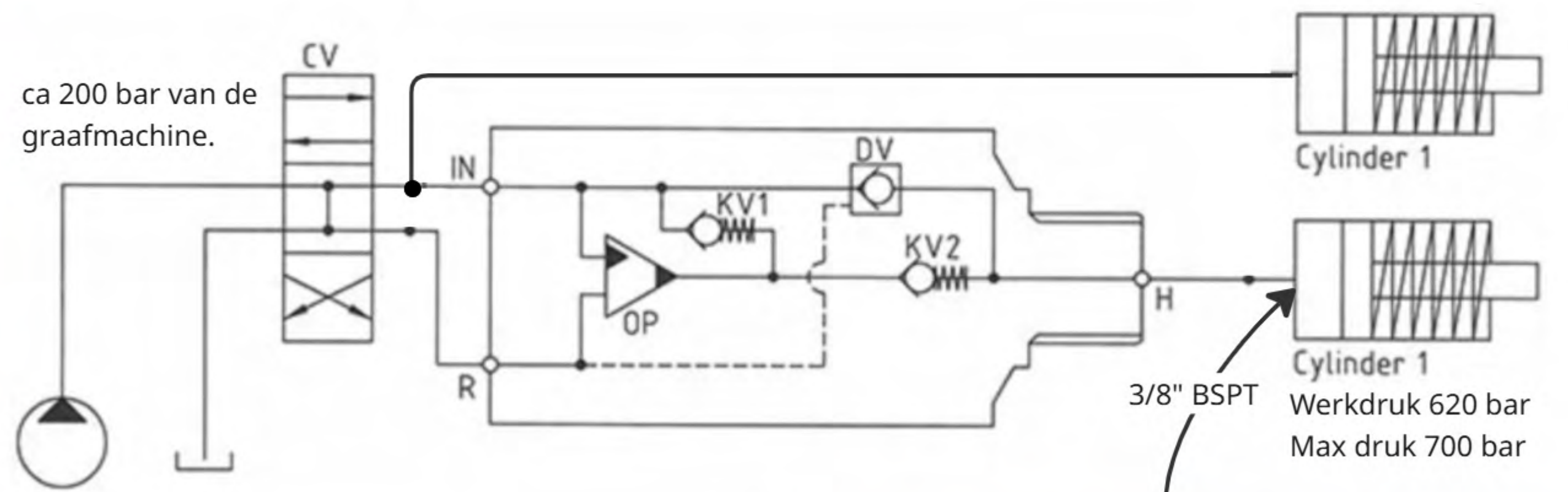


@200 bar (grijpen)

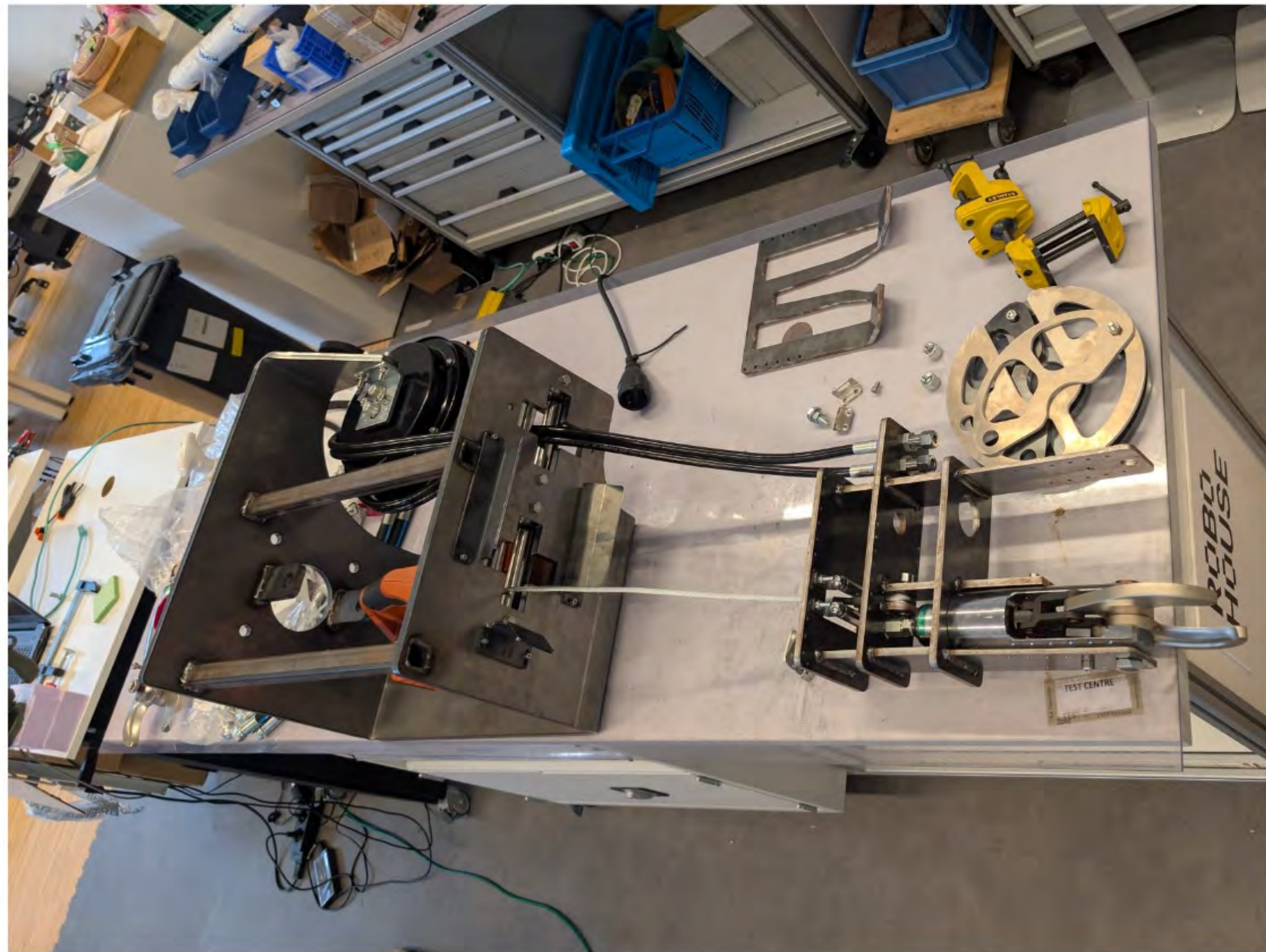
Video 9: Grijpen d.m.v. 200 bar



@ ca 600 bar (knippen)



Experimentatie Bouw end-effector

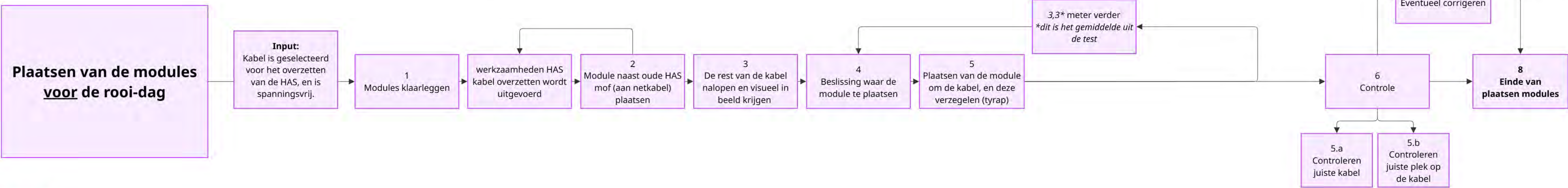




Define

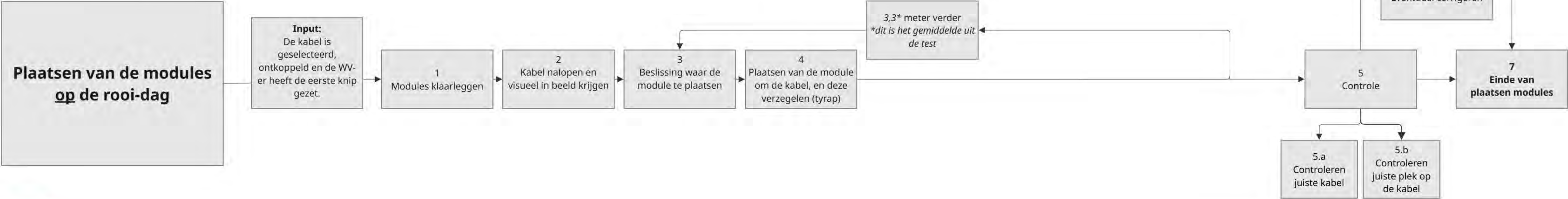
Reflectie op validatie van aannames

Aannames Gebruikersscenario modules een dag van te voren plaatsen



Aanpak											
Legenda											
Gevalideerd in dit project.	Nog niet gevalideerd.										
Notities											

Aannames Gebruikersscenario modules plaatsen op de rooi-dag



Advies
Legenda
Gevalideerd Nog niet gevalideerd

Notities

We geloven dat de logistiek van de modules makkelijk te integreren is in de huidige logistiek.
↑
Wij nemen aan van wel. Er is over gesproken maar het is nog niet gevalideerd. Hier is meer onderzoek naar nodig.

We geloven dat de BEI aangepast kan worden om het werken met modules mogelijk te maken
↑
Hier gaan we vanuit, maar dit kan alleen als uit testen blijkt dat het product veilig is. Dat kon in dit stadium nog niet gevalideerd worden.

We geloven dat een medewerker (in huidige situatie al) kan inschatten welke kabel de juiste kabel is.

We geloven dat een medewerker kan beslissen waar modules moeten komen, en deze zelf plaatsen.

We geloven dat na plaatsing van de module deze geborgd kan worden zodat deze niet meer verplaatst kan worden.

We geloven dat het technisch mogelijk is om een functie voor selecteren in module te integreren.
↑
Het is mogelijk maar niet wenselijk

We geloven dat medewerkers kunnen inschatten in welke oriëntatie de modules geplaatst moeten worden.
↑
Irrelevant geworden

Aannames Gebruikersscenario kabel uit geul verwijderen

