

Robotica binnen Alliander

Minor Smart Industry



Filip Roks | Glenn Keuken | Nils Hoogakker | Rufus Polman

Nijmegen
04-06-2020

Omslagfoto: www.alliander.nl

Titelpagina

Robotica binnen Alliander

Minor Smart Industry

Auteur:	Filip Roks Glenn Keuken Nils Hoogakker Rufus Polman
Organisatie:	Hogeschool van Arnhem en Nijmegen
Minor:	Smart Industry
Studiejaar:	2019 - 2020
Gastorganisatie:	Alliander
Begeleider:	Luc Nies Emese Corbet
Docent Begeleider:	Mariëlle Seegers
Versie:	1.0

Managementsamenvatting

In verschillende technische sectoren in Nederland is een tekort aan technisch personeel. Het tekort doet zich ook voor binnen Alliander. De hoeveelheid werk van technisch personeel binnen Alliander neemt daarentegen toe door de energietransitie, het hoge aantal nieuwe aansluitingen en de uitfasering van gas. Uiteindelijk resulteert dit in een grote uitdaging voor Alliander om aan de hoeveelheid elektrotechnisch werk te kunnen voldoen.

Het doel van het onderzoek is om te achterhalen of robotica kan bijdragen aan een oplossing ter vermindering van het tekort aan technici. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: "In hoeverre kan robotica bijdragen aan een oplossing voor het tekort aan technici binnen Alliander, waarbij de veiligheid en de efficiëntie van technici centraal staan?" Robotica is hierbij de praktische uitvoering van arbeidsprocessen door robots, met behulp van regeltechniek en sensoren.

Om antwoord te geven op de onderzoeksvraag is gekeken naar de werkprocessen van de technici binnen Alliander. Om de meest voorkomende of tijdsintensieve werkprocessen te achterhalen zijn er medewerkers van verschillende afdelingen binnen Alliander geïnterviewd. Uiteindelijk is op basis van de interviews en het onderzoek naar voren gekomen dat het schakelproces in de middenspanningsruimte het meest geschikte werkproces is om op korte termijn te robotiseren.

Op basis hiervan wordt aanbevolen om aan de hand van het ontwerp een schakelrobot te ontwikkelen. De schakelrobot draagt bij aan een efficiënte inzet van technici en een veiligere werkomgeving. Eventueel vervolgonderzoek zou zich kunnen richten op het ontwikkelen van de robotica concepten die voortgekomen zijn uit het onderzoek.

Voorwoord

Voor u ligt het rapport 'Robotica binnen Alliander'. Dit rapport is geschreven in het kader van de minor Smart Industry op de Hogeschool Arnhem & Nijmegen. Van april 2020 tot en met juni 2020 zijn wij bezig geweest met het onderzoek en het ontwerpen van een robotica concept.

Via deze weg willen wij Luc Nies en Emese Corbet bedanken voor de kans om een onderzoek te verrichten binnen Alliander. Daarnaast willen wij hen ook bedanken voor de begeleiding. Als laatste willen wij Mariëlle Seegers voor haar begeleiding, feedback en persoonlijke betrokkenheid als begeleider vanuit de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen.

Nijmegen, 02 juni 2020

Filip Roks
Glenn Keuken
Nils Hoogakker
Rufus Polman

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1: Inleiding	6
1.1 Aanleiding	6
1.1.1 Situatiebeschrijving	6
1.2.2 Probleemstelling	6
1.2 Leeswijzer	6
Hoofdstuk 2: Robotica	8
2.1 Groepen binnen robotica	8
2.1.1 Gestuurde robots	8
2.1.2 Autonome robots	8
2.1.3 Autonome AI robots	9
2.3 Toepassingen van robotica.	11
2.3.1 Energiesector	11
2.3.2 Agrarische sector	15
2.3.3 Bouwsector	16
2.3.4 Medische sector	17
Hoofdstuk 3: Resultaten interviews	18
3.1 Uitkomsten interviews	18
3.1.1 Knippen van kabels	18
3.1.2 Kabelmof	18
3.1.3 Graafwerkzaamheden	18
3.1.4 Kabels aanleggen	19
3.1.5 Lichamelijke arbeidsbelasting	19
3.1.6 Middenspanningsruimte	20
3.1.7 Schouwen	20
3.2 Matrix uitkomsten interviews	20
Hoofdstuk 4: Robotica binnen Alliander	23
4.1 Kabelmof	23
4.2 Graafwerkzaamheden	25
4.3 Schakelkast	26
4.4. Matrix robotica concepten	27
Hoofdstuk 5: Concept schakelrobot	29
5.1 Schakelrobot	29
5.2 Pakket van eisen	29
5.3 Toekomstvisie	30
5.4 Ontwerp prototype	30
5.4.1 SketchUp	30
5.4.2 Solidworks model	31
Hoofdstuk 6: Business Case	32

6.1 Financiële implicaties	32
6.1.1 Kosten	32
6.1.2 Baten	32
6.2 Juridische implicaties	33
6.3 Risico's	33
Hoofdstuk 7: Conclusie en aanbevelingen	34
7.1 Conclusie schakelrobot	34
7.2 Aanbevelingen	34
Literatuurlijst	36
Bijlagen	41
Bijlage 1: Technische gegevens Robotica	41
Bijlage 2: Kabelmof laagspanning	44
Bijlage 3: Kabelmof middenspanning	56
Bijlage 4: Proces graafwerkzaamheden	71
Bijlage 5: Proces schakelen middenspanning	74
Bijlage 6: Krachtberekening frame schakelrobot	77
Bijlage 7: Work Breakdown Structure	80

Hoofdstuk 1: Inleiding

1.1 Aanleiding

Op dit moment is de vraag naar technici groot in Nederland. In het derde kwartaal van 2019 waren er 73.900 openstaande vacatures in de techniek (Techniekpactmonitor, z.d.). Alliander zelf heeft 132 openstaande vacatures in de techniek (Alliander, 2019). Het is voor Alliander een uitdaging om aan de grote hoeveelheid elektrotechnisch werk te kunnen voldoen met een tekort aan technici¹. Door de klimaatdoelen van Nederland moet in 2030 de CO2 uitstoot met 49% gereduceerd zijn ten opzichte van 1990 (Alliander, 2019). Om de CO2 uitstoot te reduceren worden er ingrijpende maatregelen genomen: kolencentrales worden gesloten en er worden windmolenparken gebouwd. Door de energietransitie verandert de structuur van het huidige net. Het werk van de technici is essentieel voor het faciliteren van deze ontwikkelingen.

1.1.1 Situatiebeschrijving

Alliander probeert op verschillende manieren het personeelstekort op te vangen. Via de Alliander technische bedrijfsschool worden studenten op alle niveaus opgeleid tot technici. Daarnaast wordt op meerdere middelbare scholen het vak gepromoot om leerlingen enthousiast te maken over het werken bij Alliander. Ook worden de werkprocessen van technici zo efficiënt mogelijk ingevuld om tijd te besparen. Een voorbeeld hiervan zijn nieuwe werkbussen die de technici helpen om het werk efficiënter uit te voeren.

1.2.2 Probleemstelling

Binnen Alliander is er een tekort aan technici. Het tekort aan technici doet zich niet alleen binnen Alliander voor, maar in verschillende sectoren in Nederland. Uiteindelijk resulteert dit in een grote uitdaging voor Alliander om aan de hoeveelheid elektrotechnisch werk te kunnen voldoen. Vanuit de probleemstelling is de hoofdvraag opgesteld, namelijk:

“In hoeverre kan robotica bijdragen aan een oplossing voor het tekort aan technici binnen Alliander, waarbij de veiligheid en de efficiëntie van technici centraal staan?”

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 1 wordt de aanleiding van het probleem gepresenteerd.

In hoofdstuk 2 wordt het robotica onderzoek toegelicht.

In hoofdstuk 3 staan de resultaten van de interviews vermeld.

¹ Technici: het technisch personeel die het netwerk ontwikkelt, aanlegt en onderhoud.

In hoofdstuk 4 wordt het robotica concept bepaald op basis van de onderwerpen uit de interviews.

In hoofdstuk 5 is het concept van de schakelrobot toegelicht.

In hoofdstuk 6 staat de uitgewerkte businesscase.

In hoofdstuk 7 volgt de conclusie met aanbevelingen.

Hoofdstuk 2: Robotica

Robotica is de leer van de theoretische en praktische uitvoering van arbeidsprocessen door robots, met behulp van regeltechniek en sensoren. Een robot is een machine die in staat is om informatie te verwerken en taken uit te voeren (Cultureel Woordenboek, z.d.). Robotica is niet nieuw. Al jarenlang worden (industriële) robots toegepast in maakprocessen, over verschillende sectoren heen (bijv. auto productie en melkrobots). Dit zal de komende jaren alleen maar toenemen (Holland Robotics, 2018), omdat een sterke technologische basis is ontwikkeld en de markt zich beter bewust is geworden van de mogelijkheden van robotica (ROBO Global, 2017). In §2.3 zullen een aantal voorbeelden van robotica-toepassingen worden toegelicht.

2.1 Groepen binnen robotica

Robotica is onder te verdelen in drie hoofdgroepen: Robots die aangestuurd worden door menselijke handelingen, Autonome robots en AI robots (Husson, 2019).

2.1.1 Gestuurde robots

Een door de mensen gestuurde robot is meestal een robotarm of een voertuig die bestuurd wordt door middel van een console. Deze robots hebben een besturingssysteem om de functionele basisbewegingen van de diverse motoren en bewegingssensoren te regelen. Een voorbeeld van een gestuurde robot is een Collaboratieve robot, afgekort naar Cobot. Bij Cobots kan die besturing zelfs eenvoudig worden geprogrammeerd door de bewegingshandeling in een 'inleermodus' fysiek uit te voeren. Deze robots worden vaak gebruikt ter ondersteuning. Ze kunnen bijvoorbeeld zware dingen oppakken of kleinere dingen met precisie positioneren. Deze robots hebben geen vaste omgeving waardoor ze modulair zijn en geschikt voor veel toepassingen (Z-tech, z.d.).

2.1.2 Autonome robots

Autonome robots werken zelfstandig en worden meestal aangestuurd door een besturingsunit zoals een PLC met daarin vaste regels. Deze robot kan niet van deze regels afwijken. Een voorbeeld van een autonome robot is een palletiseer robot. Deze robot plaatst dozen op pallets. De robot pakt de dozen van een vooraf bepaalde positie en stapelt deze op de pallet. Hieronder wordt in het kort het systeem uitgelegd:

1. De doos wordt gepositioneerd.
2. Een sensor registreert een object.
3. De robot verplaatst zich naar zijn opgelegde positie en pakt de doos.
4. De robot beweegt naar zijn tweede opgelegde positie.
5. De robot stapelt de doos volgens het besturingsprogramma.
6. De robot beweegt zich terug naar zijn startpositie (Husson, 2019).

Een autonome robot is geschikt voor herhalende processen. De programmering van de robot mag geen fouten bevatten, want de besturing kan geen fouten corrigeren. Dat maakt een autonome robot gevoelig voor storingen. Wanneer de doos niet correct gepositioneerd staat, ontstaat er een situatie die de robot niet kent en valt de robot in storing. Om fouten in de uitvoering te voorkomen kunnen sensoren worden gebruikt. Bijvoorbeeld, een sensor die registreert of de robot daadwerkelijk een object oppakt. In een complex proces is het vaak moeilijk om alle mogelijke fouten in te dekken door sensoren te gebruiken. Een artificial intelligence (AI) robot biedt dan wellicht een betere uitkomst (Husson, 2019).

2.1.3 Autonome AI robots

AI robots werken zelfstandig net als autonome robots. AI robots worden ook aangestuurd door een besturingsunit, deze is in vergelijking veel krachtiger. Een AI robot kan in tegenstelling tot een autonome robot ook een situatie analyseren en daarop handelen. De AI robot analyseert mogelijke uitkomsten en past zijn handelingen daarop aan. Een autonome robot kan worden uitgebreid met AI. We pakken het voorbeeld weer op van de palletiseer robot maar nu met AI:

1. De doos wordt gepositioneerd voor de robot. De dozen kunnen verschillende afmetingen hebben of anders zijn gepositioneerd.
2. Een camera legt de positie en de grootte van de doos vast.
3. De robot beweegt zich naar de plek van de doos en pakt deze op.
4. De robot beweegt zich naar zijn opgelegde positie.
5. De robot stapelt de doos op de andere dozen, door middel van een camera plaatst de robot de doos strategisch.
6. De robot beweegt zich terug naar zijn startpositie.
7. De robot communiceert met de andere machines over het product en over de toestand van de robot (Husson, 2019).

Een AI robot is net als een autonome robot geschikt voor herhalende processen. In tegenstelling tot een autonome robot is een AI robot geschikt voor verschillende variaties binnen processen. Een AI robot is minder foutgevoelig, omdat de robot zelf kan 'nadenken'. Het programmeren van een AI robot is complex. Tijdens het programmeren worden er meerdere simulaties uitgevoerd. De simulaties worden opgeslagen in het geheugen van de robot. De robot herkent situaties vanuit zijn geheugen en past deze kennis toe. Een AI robot leert ook nieuwe situaties in de praktijk. Technisch gezien is een AI robot geprogrammeerd maar heeft de robot beschikking tot meerdere handelings keuzes. Hoe meer simulaties zijn uitgevoerd, hoe meer keuzes de robot heeft, hoe slimmer de robot is (Husson, 2019).

2.2 Waarom robotica?

Robotica kan in bijna elke sector, markt of omgeving worden toegepast. Vooral wanneer het wenselijk is om menselijk handelen over te laten nemen door gerobotiseerde handelingen, omdat een handeling gevaarlijk, zwaar of complex is; ofwel omdat er een schaarste is aan arbeidskrachten (Holland Robotics, 2018). Robotica krijgt binnen de samenleving een grotere rol en wordt steeds breder toegepast. Robotica heeft vele voordelen en dat zorgt voor de sterke groei van robotica. Hieronder staan de voordelen van robotica beschreven met de nadruk op industrie:

- Robotica verbetert over het algemeen de werktevredenheid. Doordat robots het repetitieve werk van mensen overnemen zal de werkdruk afnemen. Saai, zwaar en/of risicovol werk hoeft niet meer uitgevoerd te worden.
- Robotica creëert nieuwe banen. Robotica neemt het saaie werk van mensen over en maakt plaats voor technici om de kwaliteit van het s te verbeteren.
- Robotica kan snel en nauwkeurig produceren wat de klanttevredenheid verhoogt. Doordat robots geen fouten maken (tenzij je ze verkeerde informatie geeft) ontstaan hierdoor minder herstelwerkzaamheden wat de doorlooptijd verkort.
- Met robotisering kunnen verspillingen worden geminimaliseerd, hierdoor kosten verspillingen minder tijd en geld waardoor de impact binnen de organisatie kleiner wordt.

Ook robotica kent nadelen, namelijk:

- Een van de grootste criteria voor een bedrijf om te beslissen wel of niet met robotisering aan de slag te gaan zijn de hoge investeringskosten. Bij het overwegen moet er een uitgebreide business case worden gebouwd, voor zowel korte termijn als lange termijn. De opbrengsten kunnen daarentegen snel oplopen.
- Uiteraard zijn er specialisten nodig om de robotisering te realiseren en te onderhouden. Beschikbaarheid van bekwaam personeel kan in de opstartfase een belemmering vormen. Het personeel moet opgeleid worden om met de robotisering mee te gaan (van Schaik, z.d.).

2.3 Toepassingen van robotica.

Er bestaat een groot scala aan robotietoepassingen die op een aantal manieren geclassificeerd kunnen worden, namelijk: werkomgeving, gebruikersinteractie, fysieke vorm en voornaamste functie. Zo zijn er robotietoepassingen voor op het land, onder de grond, in de lucht, onder water, in het menselijk lichaam en in de ruimte. Eerder in §2.1 is al genoemd dat er robotietoepassingen zijn die autonoom kunnen werken, robotietoepassingen die werken met AI, en robotietoepassingen die samenwerken en worden gestuurd door een mens. Deze toepassingen zijn terug te vinden in: robotarmen, robotplatforms, robots als verlengstuk van het menselijk lichaam, robots in de vorm van een mens(humanoïden), metamorfe robots en nano- en microrobots. De robotietoepassingen kunnen verschillende handelingen/taken uitvoeren, zoals assembleren, oppervlakken kunnen behandelen, interacteren, onderzoeken, transporteren, inspecteren, oppakken etc (Holland Robotics, 2018). Uiteindelijk wordt steeds meer mogelijk op het gebied van robotica. Om meer inzicht te krijgen in het toepassen van robotica is onderzoek gedaan naar bestaande robotietoepassingen. Hieronder worden een aantal praktijkvoorbeelden in verschillende sectoren toegelicht.

2.3.1 Energiesector

- Shell Sensabot

De Sensabot is door Shell ontwikkeld in samenwerking met onderzoekers van het Nederlandse Improvia, het Britse Soli Machine Dynamics en de Amerikaanse Carnegie Mellon University (Vision en robotics, 2016). De Sensabot is ontwikkeld om inspectie uit te voeren bij olie- en gasinstallaties door gebruik te maken van zijn ogen (normale camera's en een thermische camera), oren (microfoon), geur (gas sensors) en gevoel (trillingssensor), hierdoor kunnen de medewerkers op veilige afstand werken en zijn de kosten van de dagelijkse bedrijfsvoering verlaagd (Improvia group, z.d.)



Afbeelding 1: Sensabot (Improvia group, z.d.).

- ULC Cisbot

De Cisbot betreedt het gasnetwerk via een smalle opening in de straat om vervolgens lekkage in gasleidingen op te sporen en te dichten. UIC Cisbot wordt in grote steden als New York, London, Boston and St Louis ingezet om kosten te besparen, verstoringen te verminderen en verbeterde klanttevredenheid te leveren aan de nutsbedrijven en hun klanten (ULC, z.d.). Er zijn een aantal vergelijkbare robots die de inspectie van gasleidingen kunnen uitvoeren, maar als voorbeeld is alleen de Cisbot toegelicht.



Afbeelding 2: Cisbot (ULC, z.d.)

- LineScout

De LineScout is ontworpen voor het inspecteren en onderhouden van hoogspanningslijnen. De robot kan waardevolle informatie verzamelen die nodig is om de kwaliteit van de kabels te beoordelen. De robot is voorzien van een betrouwbaar voedingssysteem waardoor de robot veilig in gebruik is. De LineScout is in staat om de meeste obstakels op de lijn te overwinnen. Zijn sensoren maken het mogelijk om de condities van de geleider te diagnosticeren. Naast inspectie kan de robot ook veilig enkele onderhoudstaken uitvoeren, zoals het repareren van gebroken geleiders (QhydroQuébec, z.d.).



Afbeelding 3: Linescout (Spectrum, 2010)

- Linedrone

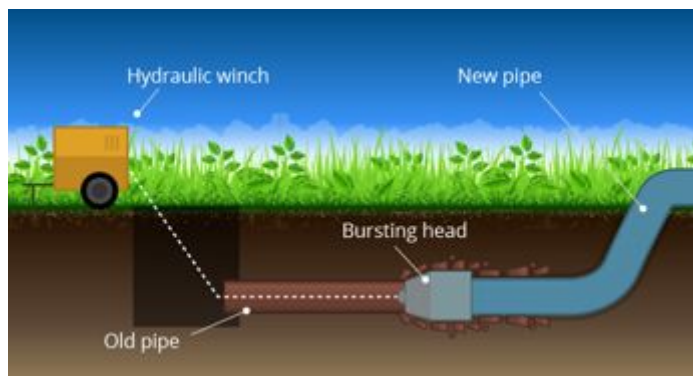
De Linedrone is een robot die geschikt is om hoogspanningsleidingen en masten te inspecteren. De drone is uitgerust met een programma dat direct contact met de hoogspanning voorkomt. De drone heeft verschillende hulpprogramma's voor het besturen zoals automatisch landen. De drone heeft een sensor die roest en obstakels detecteert (QhydroQuébec, z.d.).



Afbeelding 4: Linedrone (QhydroQuébec, z.d.).

- Pipe bursting

De pipe bursting techniek maakt het mogelijk dat er maar twee kleine gaten gegraven hoeven te worden: aan het begin en aan het einde. Daartussen duw je een trekstang naar binnen met een snijkop, waarmee je de oude leiding kapot snijdt. De nieuwe PE-leiding wordt vervolgens vastgemaakt aan de trekstang. Eenmaal aangekoppelt wordt de nieuwe leiding gelegd (Enexis, z.d.)



Afbeelding 5: Pipe bursting (Jetspeedplumbing, z.d.)

- Robot voor graafwerkzaamheden

ULC robotics heeft in samenwerking met SGN (een van de grootste gas netwerkbedrijven in het Verenigd Koninkrijk) een autonoom robotsysteem ontwikkeld die graafwerkzaamheden kan uitvoeren. De robot moet extra veiligheid bieden voor werknemers en bewoners tijdens vernieuwing en onderhoud van gasleidingen.

De robot is opgebouwd uit: een accupack, robotarm, transportmechanisme en een besturingsunit. De robotarm is geschikt voor meerdere taken met behulp van uitwisselbare kopstukken. De robot kan met behulp van een sensor de grond scannen op infrastructuur en vervolgens een 3D kaart geven van de bodem met eventuele infrastructuur. Hierdoor kunnen beschadigingen aan kabels en leidingen worden voorkomen tijdens graafwerkzaamheden. Ook kan de robot straatwerk openbreken met behulp van een zaag mechanisme als kopstuk. De robot maakt een gat wat groot genoeg is voor de werkzaamheden en door de eerder gemaakte scan is de kans op beschadigingen van kabels en leidingen een stuk lager. Een ander kopstuk is een buis die aan te sluiten is op een stofzuiger voor zand. Door het opzuigen van zand kunnen er geen kabels of leidingen worden beschadigd (Shaw, 2020).



Afbeelding 6: Robot voor graafwerkzaamheden (Shaw, 2020).

- Ringwikkelmachine

Een ringwikkelmachine kan worden gebruikt om bekabeling te wikkelen. De machine bestaat uit 2 delen, het frame en de wikkeling. Het frame bestaat uit een serie aangedreven transportwielen. Tussen deze transportringen draait de wikkeling. De aandrijving bevindt zich op de achterkant van de machine. De wikkeling is een cirkelvormige constructie met een opening aan een kant die niet groter is dan $\frac{3}{4}$ van de totale ring. Op deze ring kan de wikkelfolie worden aangebracht. De ring zelf wordt geleid en aangedreven door de wielen op het frame. Doordat er een opening in de wikkeling zit kunnen holle objecten zoals banden en kabelrollen worden gewikkeld (Beta verpakkingen, 2018).

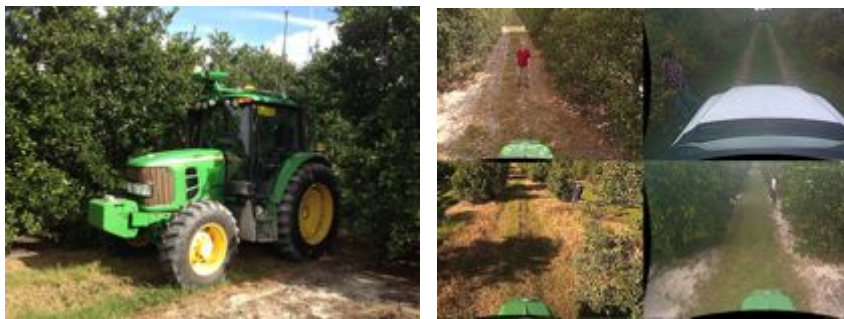


Afbeelding 7: Ringwikkelmachine (Totalpack, z.d.).

2.3.2 Agrarische sector

- Human Detection and Tracking in Agriculture

Landbouwmachines zijn vaak krachtig en groot. Dit kan leiden tot gevaarlijke situaties, omdat voor bepaalde taken de mens nauw met deze machines moet samenwerken. De NREC heeft hiervoor een systeem 'machine vision technique' ontwikkeld voor de veiligheid rond agrarische voertuigen. Het systeem detecteert personen rond het voertuig door middel van een camera (zie afbeelding) en alarmeert de bestuurder. Indien de bestuurder geen actie onderneemt of niet tijdig reageert brengt het systeem het voertuig tot stilstand (NREC, z.d.).



Afbeelding 8: Human Detection and Tracking (NREC, z.d.).

- Lely melkrobot

De melkrobot van Lely is een melkmachine waarin een koe volledig automatisch gemolken wordt. Dit is in tegenstelling tot de meer traditionele melkstal waar altijd mensen aanwezig moeten zijn (Lely, z.d.).



Afbeelding 9: Melkrobot (Lely, z.d.).

2.3.3 Bouwsector

- SAM

SAM, ook wel Semi-Automated Mason is een robot die muren kan metselen. Sam is ontwikkeld door het bedrijf Construction Robotics. De gerobotiseerde metselaar moet de productiviteit verhogen en de arbeidskosten verlagen (Construction Robotics, z.d.)



Afbeeldingen 10: SAM (Construction Robotics, z.d.).

- Powered Exoskeleton

Een Exoskelet is een robot die wordt gedragen door een persoon. De robot vergroot de krachten en het tilvermogen van zijn drager tot 100 kilo. Met een exoskelet kan de gebruiker veiliger zware objecten tillen en vasthouden. Een klus voor twee personen kan met behulp van een exoskelet worden gedaan door een persoon. Exoskeletten zijn nog in de ontwikkelingsfase en momenteel erg duur. Verwacht wordt dat over een aantal jaar meer fabrikanten deze robot aanbieden waardoor deze goedkoper wordt (Robotics business review, 2019.).



Afbeelding 11: Exoskelet (Robotics business review, 2019.).

2.3.4 Medische sector

- Revalidatierobot

De revalidatierobot is een robot die mensen helpt met revalideren na een operatie of ongeluk. De robot zorgt voor een langzame opbouw van de spieren en bewegingen. De Robot monitort continu de balans van het lichaam en corrigeert die wanneer dat nodig is. De robot kan in drie richtingen rijden en om zijn eigen as draaien, zodat de patiënt vrij door de ruimte kan bewegen en oefeningen kan uitvoeren (Robotzorg, 2019.).



Afbeelding 12: Revalidatierobot (Robotzorg, 2019.).

- Da Vinci operatierobot

De Da Vinci operatierobot is bij uitstek geschikt om te assisteren bij minimaal invasieve chirurgie (operaties waarbij slechts enkele kleine sneetjes nodig zijn in de buik waar de instrumenten en een camera doorheen gaan). Begin vorig jaar stonden er 24 robots in de 22 Nederlandse ziekenhuizen. Deze robot is dus op komst en wordt voor bepaalde ingrepen regelmatig ingezet. Het apparaat is intuïtief, wat wil zeggen dat je alle vrijheid hebt om met je handen de operatie bewegingen te maken die je al gewend bent. Het opereren met de Da Vinci operatierobot gaat ongeveer even snel als zonder robot, maar de kwaliteit van de robotoperaties ligt hoger (van Elzakker, 2019).



Afbeelding 13: Da Vinci operatierobot (van Elzakker, 2019).

Hoofdstuk 3: Resultaten interviews

3.1 Uitkomsten interviews

We hebben acht werknemers van Alliander geïnterviewd, variërend van teamleider tot veiligheidskundige. Er is gekozen om werknemers van diverse afdelingen te interviewen vanwege hun verschillende ervaringen en achtergrond binnen Alliander.

3.1.1 Knippen van kabels

Elektriciteitskabels worden geknipt door middel van een veiligheidsknipapparaat (ook wel een 'hydraulische schaar' genoemd). Het knippen van kabels gebeurt op afstand. Technici moeten minimaal 5 meter afstand houden van de schaar en mogen de sleuf niet betreden tijdens het knippen. Toch is er de mogelijkheid dat een verkeerde kabel geknipt wordt. Wanneer de technici zich aan de veiligheidsvoorwaarden houden is de kans op letsel schade minimaal. Het knippen van een verkeerde kabel kan economische schade veroorzaken (Han Verhagen, persoonlijke communicatie, 29 april 2020). De economische schade die voor Alliander kan optreden bestaat onder andere uit: herstelwerkzaamheden en storingen in het netwerk wat invloed heeft op de tariefregulering.

3.1.2 Kabelmof

Een kabelmof is een kabelverbinding (voor ondergrondse kabelnetwerken) waarbij de verbinding elektrisch geïsoleerd, waterdicht afgesloten en mechanisch beschermd is (Filoform, z.d.).

Het maken van een kabelmof is een tijdrovend proces. Een groot risico is dat kleine foutjes snel gemaakt worden bij het maken van een kabelmof verbinding. Hierdoor moet het gehele proces van het maken van de kabelmof weer opnieuw. Dit kost veel tijd en geld (Thijs Uphoff, persoonlijke communicatie, 24 april 2020). Bovendien moet de technicus die het werk uitvoert een vijf jaar durende opleiding afgerond hebben (Leo Stens, persoonlijke communicatie, 6 mei 2020). Het maken van een kabelmof moet worden uitgevoerd door twee technici. Eén persoon maakt de kabelmof verbinding en de andere persoon houdt de kabel omhoog. In de huidige coronacrisis is het niet mogelijk om 1,5 meter afstand te houden bij het maken van een kabelmof. Hierdoor moet er een kraan aan te pas komen om de kabel omhoog te houden (Cezanne de Heus, persoonlijke communicatie, 21 april 2020).

3.1.3 Graafwerkzaamheden

In de Nederlandse bodem liggen miljoenen kilometers aan leidingen en kabels (bijv. gasleidingen, telecommunicatiekabels, elektriciteitskabels etc). De kabels en leidingen in de grond zijn geregistreerd in het Kabels Leidingen Informatie Centrum (KLIC).

Het kan voorkomen dat de informatie over kabels en leidingen van het KLIC niet overeenkomt met de werkelijke situatie. Waardoor tijdens het graven van een sleuf het mogelijks is dat kabels of leidingen beschadigd raken (Thijs Uphoff, persoonlijke communicatie, 24 april 2020). Een beschadiging aan kabels of leidingen kan tot gevaarlijke situaties voor technici leiden, want gasleidingen of elektriciteitskabels (spanning van 400 volt tot 20.000 volt) kunnen voor ernstig letsel zorgen. Bovendien heeft een beschadiging aan kabels en leidingen ook economische gevolgen (Thijs Uphoff, persoonlijke communicatie, 24 april 2020).

Uit het rapport 'Betrouwbaarheid van elektriciteitsnetten in Nederland' blijkt dat in 2018 graafwerkzaamheden bij 21% van het aantal storingen op middenspanning de oorzaak was. Op de laagspanning was graafwerk bij 27% van het aantal storingen de oorzaak. Voor de laagspanningsnetten geldt dat 'graafwerkzaamheden' als meest voorkomende storingsoorzaak is geregistreerd (Netbeheer Nederland, 2019.).

3.1.4 Kabels aanleggen

Het vervangen van elektriciteitskabels vindt in twee fases plaats: eerst wordt de nieuwe kabel in de grond gelegd. Als er al een kabel ligt wordt de nieuwe kabel hier vlak naast gelegd. Op sommige plaatsen wordt de kabel onder de grond doorgetrokken. Dit wordt gestuurde boring genoemd. Wanneer de nieuwe kabel is gelegd en aangesloten, wordt de oude kabel verwijderd. De sleuf waar de oude kabel ligt wordt opengemaakt om de kabel er uit te halen. Zodra de oude kabel verwijderd is wordt de sleuf weer dicht gemaakt. Kabels worden via een mantelbuis door de grond getrokken (Alliander, 2019). Alliander trekt de kabels met een lier door de mantelbuis. Het komt wel eens voor dat de lier breekt hierdoor gaat veel tijd verloren (Stef Baars, persoonlijke communicatie, 24 april 2020).

3.1.5 Lichamelijke arbeidsbelasting

Klimmen in hoogspanningsmast

Hoogspanningsleidingen en masten verdelen grote hoeveelheden energie en moeten betrouwbaar zijn. De masten staan buiten waardoor leidingen continu worden blootgesteld aan weersinvloeden. Regelmatig onderhoud en inspectie is van belang. Hoogspanningsmasten kunnen 80 meter hoog zijn. (Hoogspanningsnet, z.d.). Het klimmen in hoogspanningsmasten is fysiek zwaar en brengt mogelijke veiligheidsrisico's met zich mee. Er moet soms geklommen worden in hoogspanningsmasten voor herstel- en/of onderhoudswerkzaamheden (Han Verhagen, persoonlijke communicatie, 29 april 2020).

Tillen van transformator en andere zware voorwerpen

Technici moeten regelmatig fysiek belastend werk uitvoeren. Een voorbeeld hiervan is het plaatsen van een transformator. De transformator wordt met een kraan uit het voertuig gehesen. Wanneer de locatie voor de transformator moeilijk met het voertuig te bereiken is moet de transformator het laatste stuk naar de locatie getild. Dit kan erg belastend zijn voor het lichaam (Han Verhagen, persoonlijke communicatie, 29 april 2020).

3.1.6 Middenspanningsruimte

In een middenspanningsruimte van Alliander staan schakelkasten. Deze schakelkasten worden bij onderhoud of storingen in het netwerk uitgeschakeld, ook wel schakelen genoemd. (Thijs Uphoff, persoonlijke communicatie, 24 april 2020). Dit gebeurt door de vermogenschakelaar uit te schakelen en vervolgens een sleutel om te draaien. Tijdens het omdraaien van de sleutel kan een vlamboog ontstaan (Emese Corbet & Luc Nies, persoonlijke communicatie, 11 mei 2020). Tijdens het ontstaan van een vlamboog kan de technicus brandwonden oplopen.

3.1.7 Schouwen

Alliander voert inspecties uit om toekomstige storingen te voorkomen. Hiervoor wordt veel heen en weer gereden terwijl er in veel gevallen in een eerste oogopslag al duidelijk dat er niets aan de hand is. Op deze momenten had de technicus dat via een camera ook kunnen zien (Marnix de Groot, persoonlijke communicatie, 11 mei 2020).

3.2 Matrix uitkomsten interviews

In onderstaande tabel zijn alle uitkomsten van de interviews opgenomen. Ieder onderwerp uit §3.1 wordt beoordeelt op een aantal criteria, namelijk:

- **Veiligheid**
Voor Alliander is veiligheid een belangrijk aspect, omdat er in de energiesector waar Alliander in opereert met hoge spanningen gewerkt wordt. Hierdoor is de kans op ongelukken met grote impact een groot risico. De ambitie van Alliander is om iedereen veilig thuis te laten komen. Daarom is veiligheid een belangrijke criterium om de werkzaamheden op te beoordelen.
- **Economische impact.**
De criteria economische impact heeft betrekking op de kosten die in de huidige situatie (bijv. de kosten van herstelwerkzaamheden) kunnen voorkomen. Er wordt gekeken of robotica deze kosten kan verminderen.
- **Frequentie en tijd**
Robotica-toepassingen voor handelingen of werkzaamheden die vaak voorkomen of tijdsintensief leveren een grotere meerwaarde op. Wanneer handelingen vaak voorkomt is het rendabel om robotica toe te passen. Dit geldt ook voor processen die minder vaak voorkomen maar veel tijd in beslag nemen.
- **Storingsgevoeligheid**
Storing in netwerk kunnen invloed hebben op de tariefregulering voor Alliander, om die reden is de storingsgevoeligheid als criteria opgenomen in de matrix.
- **Technische haalbaarheid**

De technische haalbaarheid van een mogelijke robotica oplossing is een belangrijke criteria. Alliander heeft aangegeven dat zij een oplossing zoeken die met de huidige technieken te realiseren is.

De onderwerpen krijgen een score van (- -) tot en met (+ +) per onderwerp en in zijn totaliteit. De score (- -) betekent dat het minder van toepassing is, (+ +) betekent dat het veel van toepassing is. Door aan de score te komen worden de plussen bij elkaar opgeteld en de minnen hier vanaf getrokken. De onderwerpen met de hoogste score worden verder uitgewerkt.

Onderwerpen	Veiligheid	Economische impact	Frequentie en tijd	Storingsgevoeligheid	Technische haalbaarheid	Score
Knippen van kabels	(+)	(+)	(+ +)	(+)	(+)	6
	- Kabel wordt al op 5m afstand geknipt via hydraulische schaar. - Kabel niet onder spanning, tenzij verkeerde kabel wordt geknipt.	- Een storing heeft invloed op de tariefregulering. - Kosten herstelwerkzaamheden.	- Wordt dagelijks uitgevoerd.	- Indien er een verkeerde kabel wordt geknipt kan er storing in het netwerk optreden.	- Knipproces is al geautomatiseerd. - Mogelijkheid tot spanningsdetectie van kabels via sensoren.	
Kabelmof	(+)	(+ +)	(+ +)	(+ +)	(+)	8
	-Kabel staat onder spanning bij het aanleggen van de kabelmof. (laag- en middenspanning)	- Een storing heeft invloed op de tariefregulering. - Indien fouten zijn gemaakt aan de kabelmof verbinding moet dit herstelt worden. - Kosten herstelwerkzaamheden.	- Wordt dagelijks uitgevoerd.	- Een kleine fout in de mof kan voor storingen zorgen. - Wanneer een mof voor storing zorgt moet deze verwijderd worden en opnieuw worden aangelegd, tijdens het repareren staat er geen spanning op het net.	- Complete installatie kabelmof niet volledig te robotiseren. - Onderdelen van de installatie kunnen mogelijk wel gerobotiseerd worden.	
Graafwerkzaamheden	(+)	(+ +)	(+ +)	(+ +)	(+)	8
	- Beschadiging aan gasleidingen of elektriciteitskabels	- Tijdens graafwerkzaamheden kunnen kabels	- Wordt dagelijks uitgevoerd.	- Tijdens graafwerkzaamheden kunnen kabels en	- Kabeldetectierobot - Techniek voor infraradar met KLIC bestaat al.	

	els (spanning van 400 volt tot 20.000 volt).	beschadigd raken, dit brengt herstel kosten met zich mee.		leidingen worden beschadigd, waardoor er storingen ontstaan.		
Kabels aanleggen	(- -)	(+)	(+ +)	(- -)	(+)	0
	- Kabel aanleggen gebeurt zonder spanning.	- Tijdens het aanleggen van de kabel kan de lier breken, waardoor het proces opnieuw moet worden doorlopen.	- Wordt dagelijks uitgevoerd.	- Niet storingsgevoelig	- Boor aan uiteinde van kabel.	
Lichamelijke arbeidsbelasting	(+)	(-)	(+ +)	(- -)	(+)	1
	- Klimmen in hoogspannings masten. - Blootstelling schadelijke stof chroom 6 tijdens klimmen hoogspanning. - Mogelijk om lichaam te overbelasten tijdens klimmen/tillen.	- Er zijn geen extra directe kosten aan fysiek zwaar werk verbonden.	- Wordt dagelijks uitgevoerd.	- Geen invloed op storingen.	- Hulpmiddelen toevoegen die technici kunnen ondersteunen met tillen, duwen, trekken en klimmen. - Exoskelet. - Robotplatform voor het tillen van zware objecten.	
Middenspanningsruimte	(+ +)	(+)	(+ +)	(+)	(+ +)	8
	- Kans op het ontstaan van een vlamboog bij het schakelen. - Lichamelijk letsel.	- Na een vlamboog is de schakelkast grotendeels defect.	- Wordt dagelijks uitgevoerd.	- Defect komt incidenteel voor.	- Mogelijk robot die de sleutel van de schakelkast kan omdraaien.	
Schouwen/inspectie	(- -)	(+)	(+ +)	(- -)	(+ +)	1
	- N.V.T. (Het gaat om het verminderen van de reistijd).	- Te veel reistijd.	- Wordt dagelijks uitgevoerd.	- Geen invloed op storingen.	- Met camera's schouwen	

Tabel 1: Matrix uitkomsten interviews.

Hoofdstuk 4: Robotica binnen Alliander

In dit hoofdstuk worden de onderwerpen die zijn voortgekomen uit § 3.2 nader toegelicht.

4.1 Kabelmof

Zoals al eerder beschreven in §3.1, is een kabelmof een kabelverbinding (voor ondergrondse kabelnetwerken) waarbij de verbinding elektrisch geïsoleerd, waterdicht afgesloten en mechanisch beschermd is (Filoform, z.d.). Om inzicht te krijgen in hoe robotica kan bijdragen aan het maken van een kabelmof is het proces geanalyseerd. Hiervoor is het proces van de kabelmof voor zowel de laagspanning als middenspanning gekozen. In bijlage 2 staat het proces van de laagspanning en in bijlage 3 staat het proces van de middenspanning. Na het analyseren van dit proces zijn er enkele ideeën voor oplossingen ontstaan voor het proces van de laagspannings kabelmof. Het proces van de kabelmof voor de middenspanning bestaat uit meer kleine handelingen en komt minder vaak voor. Hierdoor brengt robotica minder waarde dan bij de laagspanning. Om die reden wordt alleen de kabelmof voor de laagspanning verder uitgewerkt.

Het maken van een kabelmof voor de laagspanning is een vrij tijdsintensief proces met veel processtappen. Een roboticatoepassing zou uitkomst kunnen bieden. Echter zijn er wel wat beperkingen: er is een beperkte werkruimte (sleuf), niet elke processtap levert meerwaarde met roboticatoepassing of met de huidige techniek is het niet mogelijk om bepaalde processtappen te robotiseren. Een roboticatoepassing voor het gehele proces is om de hiervoor genoemde redenen niet haalbaar. Daarentegen biedt robotica wel de mogelijkheid om enkele processtappen te robotiseren. De mogelijkheden van te robotiseren processtappen zijn:

- Schuren
De tweede stap in het proces van de kabelmof voor de laagspanning is het 'opruwen buitenmantel'. Hier wordt de mantel opgeschuurd. Dit proces kan overgenomen worden door een schuurrobot. Het schuren door een persoon duurt ongeveer 2 minuten. Het schuren gebeurt dwars op de kabel. Door te schuren kan de kabelmof zich beter hechten aan de kabel waardoor de mof beter bestand is tegen vocht. Het schuren/opruwen van de buitenmantel moet vrij nauwkeurig gebeuren. Er mogen geen schuurbewerkingen worden gedaan in de lengterichting van de kabel, dit omdat de hars dan niet goed meer afdicht en er dan hars uit de mof kan lopen of vocht in de mof kan komen. Een roboticatoepassing binnen deze processtap is een robotica schuurmachine. een buisje met aan de binnenkant schuurpapier wordt op de kabel geplaatst, een robot draait dit buisje rond. Op deze manier wordt er een zuiver opgeruwd deel gemaakt.
- Wikkelen
Het aardscherm moet gewikkeld worden dit is de dertiende stap in het proces van de kabelmof voor de laagspanning. De kabel wordt ingewikkeld met een gaas. Het

wikkelen van het aardscherm beschermt de draad. Het aardscherm wordt gewikkeld in twee kluwen, zodat de technicus gemakkelijk de kabel kan bereiken.

Nadat de mof is geplaatst moet deze worden gewikkeld met gaas, dit gebeurt in stap 40. Het wikkelen van de mof duurt ongeveer 3 minuten afhankelijk van de grootte. Het gaas wordt ongeveer zes lagen dik aangebracht. Het gaas beschermt de mof en houdt deze op zijn plaats.

De mof wordt ook gewikkeld in plastic, het plastic zorgt ervoor dat de hars in de mof blijft en dat de mof waterdicht is. De plastic laag wikkelt het aardscherm en de mof weer bij elkaar. Het wikkelen van deze plastic laag gebeurt in stap 41 en duurt ongeveer 2 minuten afhankelijk van de technicus en grootte van de mof. Het plastic wordt in lagen haaks op de kabel gewikkeld. Op de plek waar de hars nippel is geplaatst wordt het plastic kruislings gewikkeld.

Een robotcatoepassing binnen deze processtap is een robot ringwikkelmachine. Eerder in hoofdstuk 2 is de ringwikkelmachine omschreven, een kleinere variant is geschikt voor het wikkelen van de mof met gaas en plastic. Er kan een rails op de mof worden geplaatst waarover de ring wikkel robot kan rijden om zo de mof te wikkelen. Een andere variant van de ring wikkelrobot is als handgereedschap. De technicus houdt de wikkelmachine vast en beweegt deze langs de mof.

- Kunsthars spuiten

Door de mof te wikkelen in plastic ontstaat er een gesloten afdichting. Deze afdichting wordt gevuld met hars voor extra bescherming. De giethars wordt ingebracht via de nippel. Dit gebeurt in stap 47 t/m 50, de tijdsduur is afhankelijk van het formaat van de mof. De hars wordt eerst gemengd met de verharder om deze te activeren. Het mengsel wordt vervolgens direct verplaatst in het spuitpistool. De technicus schroeft het pistool in de inspuitsnippel en brengt het spuitpistool handmatig op druk. Wanneer de druk hoog genoeg is ontstaat er een gaatje in de zak op de plek van de spuitsnippel. De giethars stroomt de mof binnen en vult de ruimte op tussen het gaas. Dit proces wordt herhaald, totdat de mof helemaal gevuld is met hars. Tijdens het wisselen van de kunsthars zakjes kan de technicus in contact komen met de giftige kunsthars dampen.

Een robotcatoepassing binnen deze processtap is een robot spuitpistool. Een grotere gerobotiseerde versie van het spuitpistool kan zelf de hars met de verharder mengen door het gebruik van 2 aparte compartimenten. De hars en de verharder worden samen gemengd in de spuitmond van de robot. De robot kan met genoeg hars gevuld worden, daardoor hoeft het spuitpistool niet gewisseld te worden. Bovendien komen technici niet in aanraking met de hars en komt er minder lucht tussen de hars. De robot injecteert de hars met de verharder op een constante druk voor een gelijkmatige verdeling van het mengsel in de mof.

- Snijden

De kabel waar de kabelmof op gemaakt wordt moet opengemaakt worden. Dit gebeurt door middel van het snijden in de kabel. Eerst moet de buitenmantel opengesneden en vervolgens kan de vulling worden verwijderd (stap 5 t/m 8). Hierdoor kan de technicus bij het aardscherm. Later in het proces wordt er weer gesneden. Ditmaal de binnenmantel (stap 14 t/m 17). Hier wordt net als bij de buitenmantel gesneden en de vulling verwijderd.

Een robotica-toepassing bij deze processtap is een robot snijder. Een robot wordt om de kabel geplaatst, vervolgens snijdt de robot de kabel op de juiste manier. Door een robot de kabels te laten snijden wordt het werk van technici veiliger. De robot kan de kabels met uiterste precisie snijden waardoor de kans op schade veel kleiner is.

Een mogelijkheid is om de hierboven genoemde punten te bundelen in een robotica-toepassing. Door middel van een robot waar verschillende apparaten op aangesloten kunnen worden die kunnen schuren, wikkelen, snijden en spuiten van de hars.

4.2 Graafwerkzaamheden

Zoals in §3.1 beschreven wordt liggen er miljoenen kilometers aan kabels en leidingen in de grond. Deze kabels en leidingen zijn grotendeels geregistreerd in het KLIC. Echter kan het voorkomen dat de informatie over deze kabels en leidingen van het KLIC niet overeenkomt met de werkelijke situatie. Wanneer kabels en leidingen correct zijn geregistreerd kunnen de kabels en leidingen alsnog geraakt worden. De scheppen van graafmachines zijn behoorlijk lomp, hierdoor is het moeilijk met precisie te graven. Door deze twee gebreken kunnen er tijdens graafwerkzaamheden kabels of leidingen beschadigd raken met alle gevolgen van dien. Om inzicht te krijgen in hoe robotica kan bijdragen aan minder graafschade is het proces geanalyseerd. Ondanks alle voorzorgsmaatregelen die beschreven staan in bijlage 4 komt het nog steeds voor dat kabels of leidingen beschadigd raken.

Op het moment bestaat al een techniek genaamd Ground Penetrating Radar (GPR). Via deze techniek is het mogelijk om de ondergrond in kaart te brengen. Hierdoor krijg je een zichtbaar beeld van alle aanwezige objecten in de betreffende ondergrond. Deze techniek kan uitkomst bieden ter vermindering van de hoeveelheid graafschade. De techniek van GPR kan worden toegepast in een 'infraradar robot', die in staat is om objecten als kabels en leidingen te detecteren. Bovendien ook de koppeling kan leggen tussen de gedetecteerde objecten en de informatie van KLIC-kaarten. In §2.3 wordt ook een robot beschreven die in staat is om 3D kaarten te ontwikkelen via GPR van de ondergrond en vervolgens graafwerkzaamheden kan uitvoeren. Ook bestaan al GPR systemen waar men zelf handmatig de GPR moeten voortbewegen. Een fabrikanten van deze systemen is: Sensors & Software Inc. Ook zijn er bedrijven in Nederland die deze dienst aanbieden zoals Mapxact en Atkb.



Afbeelding 14: Utility Locating (Sensors & Software Inc, z.d.).

4.3 Schakelkast

Zoals in §3.1 beschreven staan in de middenspanningsruimte van Alliander schakelsystemen. Deze schakelsystemen worden bij onderhoud of storingen in het netwerk uitgeschakeld, ook wel schakelen genoemd. Tijdens het schakelen kan een vlamboog ontstaan, wat tot lichamelijk letsel kan leiden voor technici. Om inzicht te krijgen in hoe robotica kan bijdragen aan het veiliger schakelen is het proces geanalyseerd. Het Xiria-schakelsysteem van fabrikant Eaton is één van de schakelsystemen die Alliander in gebruik heeft. In bijlage 5 is het schakelproces van het Xiria-schakelsysteem weergegeven, het schakelproces aan kasten van andere fabrikanten verschilt hier nauwelijks van. Uit de analyse van het schakelproces is een idee voortgekomen dat mogelijk kan bijdragen aan veiligere manier van schakelen. Het idee is een robot die aan de kast of grond geklemd kan worden en de schakeling uitvoert. Hierdoor kunnen technici op een veilige afstand de schakeling uitvoeren.



Afbeelding 15: Xiria-schakelsysteem (Eaton, z.d.).

4.4. Matrix robotica concepten

De concepten in §4.3 zijn ieder beoordeeld op basis van veiligheid, economische impact, tijdswinst en technische haalbaarheid. In §3.2 zijn de criteria veiligheid, economische impact en technische haalbaarheid al toegelicht. De matrix robotica concepten bevat één nieuw criteria, namelijk:

- **Tijdswinst**
De criteria tijdswinst heeft betrekking op de tijd die technici besteden aan specifieke werkzaamheden die een robotica concept mogelijk kan verminderen.

Het uiteindelijke onderwerp dat verder wordt uitgewerkt tot een concept is de schakelrobot. De onderwerpen krijgen een score van (- -) tot en met (+ +) per onderwerp en in zijn totaliteit. De score (- -) betekent dat het minder van toepassing is, (+ +) betekent dat het veel van toepassing is. Door aan de score te komen worden de plussen bij elkaar opgeteld en de minnen hier vanaf getrokken. Het onderwerp met de hoogste score wordt verder uitgewerkt.

Robotica concept	Veiligheid	Economische impact	Tijdswinst	Technische haalbaarheid	Score
Kabelmof Multifunctionele kabelmof robot.	(+) - Minder contact met kabel die onder spanning staat. - Verminderd contact met schadelijk kunsthars.	(+) - De robot ondersteunt de technici, bepaalde handelingen kunnen sneller worden uitgevoerd. - De wikkelrobot wikkel en schuurt de kabel nauwkeurig, hierdoor zijn er minder herstelwerkzaamheden aan de kabelmof.	(+ +) - Vrijwel dagelijks wordt er wel een laagspanning kabelmof aangelegd - Het aanleggen van een laagspannings kabelmof duurt ±90 min.	(-) - Veel processtappen met specifieke handelen, hierdoor geen gehele robot mogelijk. - Voor het schuren, snijden, wikkelen en het spuiten van de kunsthars zijn verschillende vormen van robotica nodig. Hierdoor is de technische haalbaarheid laag.	3
Graafwerkzaamheden Infraradar robot.	(+) - Een nauwkeurig bodem overzicht vermindert de	(+ +) - Door de bodem grondig te scannen op kabels, is de kans kleiner dat	(+) - Herstelwerkzaamheden worden verminderd.	(+) - De techniek om objecten in de bodem te detecteren bestaat al.	5

	kans op het per ongeluk raken van een elektriciteitskabel, gasleiding en waterleiding. - Een nauwkeurige graaftechniek zorgt ervoor dat de bodem met precisie afgegraven kan worden.	er een kabel of leiding wordt geraakt. Er wordt vooral bespaard op herstelwerkzaamheden en schadeclaims.			
Schakelkast Schakelrobot	(+ +)	(+)	(+)	(+ +)	6
	- Tijdens het afschakelen kan er een vlamboog ontstaan, doordat de robot op afstand kan worden bestuurd wordt de kans op ietsel uitgesloten.	- Volgens de nieuwe richtlijnen moet de werkruimte in schakelruimtes worden vergroot om technici veilig te laten werken. Door op afstand te schakelen wordt er geen werk verricht in de schakelruimte en hoeft de ruimte niet aangepast te worden.	- Met de oplossing wordt tijdswinst behaald, omdat er een technici minder nodig ter bewaking van de veiligheid. Mits de BEIVIAG dit toelaat. Hier is nog geen bestaande regelgeving voor.	- Het is enkel een draai- of trekbeweging die de robot moet kunnen maken, hier bestaan al technieken voor. - De robot kan zo worden gemaakt dat er geschakeld kan worden met verschillende sleutels. - Het is ook technisch haalbaar een frame te maken om de robot te bevestigen op de schakelkast.	

Tabel 2: Robotica concepten

Uit tabel 2 is de schakelrobot voortgekomen. Dit wordt verder toegelicht in hoofdstuk 5.

Hoofdstuk 5: Concept schakelrobot

In dit hoofdstuk wordt het concept van de schakelrobot uitgewerkt. Ten eerste wordt de schakelrobot schriftelijk uitgewerkt. Ten tweede wordt het pakket van eisen opgesteld. Vervolgens komen de toekomstvisie en het ontwerp aan bod.

5.1 Schakelrobot

In § 4.4 is op basis van een aantal criteria de schakelrobot naar voren gekomen. Voor het afschakelen van een schakelkast-systeem in een middenspanningsruimte kan de schakelrobot worden ingezet. De schakelrobot is in het huidige ontwerp verplaatsbaar. Dit houdt in dat de schakelrobot niet op ieder schakelkast-systeem wordt bevestigd, maar de technici deze bij zich hebben wanneer zij moeten afschakelen bij onderhoud of inspectie. De technici voert stap 1 t/m 4 van het schakelen zelf uit (zie bijlage 5). Het schakelen naar de neutrale stand (stap 5 t/m 6) wordt door de schakelrobot uitgevoerd, omdat bij deze stap een vlamboog kan ontstaan. De schakelrobot is een verstelbaar systeem met twee horizontale dragers en één verticale drager waaraan de schakelmotor gemonteerd zit. Dit systeem is te vergelijken met de techniek die wordt gebruikt bij het 3D printen (Fused Deposition Modeling). De technicus dient de schakelrobot op de schakelkast te bevestigen. Het frame is horizontaal en verticaal verstelbaar, zodat de schakelrobot geplaatst kan worden op een enkele kast tot maximaal drie kasten. Het frame wordt door de technicus op de schakelkast geklemd op de bovenste twee hoeken en aan de zijkanten van de schakelkast. Wanneer het frame is geplaatst positioneert de technicus de schakelmotor boven het schakelpunt. De technicus kiest de juiste sleutel om de schakelmotor aan de schakelaar te koppelen. Vervolgens kan de technicus de schakelrobot van een veilige afstand inschakelen. De schakelrobot is voorzien van een thermische sensor om een mogelijke vlamboog te detecteren. Op de schakelmotor wordt een sensor geplaatst die de rotatie van de schakelmotor meet, hierdoor weet de technicus of de schakelkast in de neutrale stand staat.

5.2 Pakket van eisen

In het pakket van eisen wordt beschreven aan welke eisen een schakelrobot moet voldoen. Hieronder staan de eisen beschreven waaraan een schakelrobot op de korte termijn aan moet voldoen om de schakelrobot te realiseren en te testen.

- De schakelrobot moet geplaatst kunnen worden door een technicus.
- De schakelrobot mag niet meer dan 25 kg wegen.
- De schakelrobot moet universeel zijn, dus op verschillende schakelkasten te bevestigen zijn.
- De accu moet oplaadbaar zijn.
- De accu moet voldoende capaciteit hebben om minimaal een schakeling te maken.

- De schakelrobot moet worden voorzien van een thermische sensor om een eventuele vlamboog te detecteren. Deze informatie moet de technicus op afstand kunnen zien.
- De schakelrobot moet worden voorzien van een sensor die de rotatie meet van de schakelmotor. Deze informatie moet de technicus op afstand kunnen zien.
- De schakelrobot moet op zowel één, twee als drie schakelkasten passen.
- De schakelrobot moet gebruiksvriendelijk zijn.

5.3 Toekomstvisie

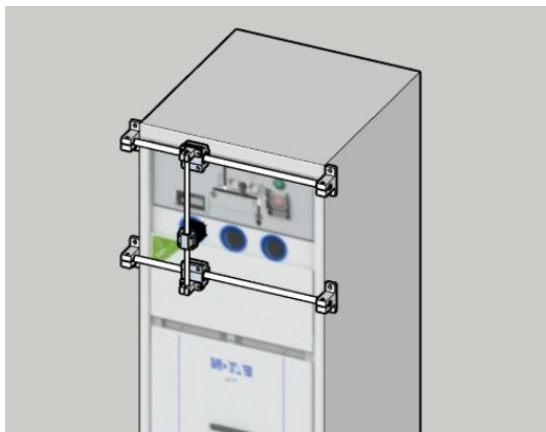
De schakelrobot beschreven in §5.1 is met name gericht op de korte termijn om inzicht te krijgen hoe het afschakelen via een robotica-toepassing vorm kan krijgen. Als blijkt dat een schakelrobot de gewenste uitkomst biedt is het mogelijk om op de lange termijn de schakelrobot te voorzien van meer functies. In de toekomst zal een schakelrobot de handelingen van het schakelproces zelf uit kunnen voeren. Op elke schakelkast komt een schakelrobot te zitten. Zodat de schakelkasten vanuit een centraal punt geschakeld kunnen worden. Hierdoor is er minder personeel nodig om te schakelen. En wordt er sneller geschakeld bij storingen omdat de reistijd wegvalt. In deze nieuwe situatie moet de schakelrobot aan de volgende veiligheidseis voldoen:

Als de beveiliging tegen inschakelen op afstand gebeurt, voorkom dan dat dit ergens anders weer ongedaan kan worden gemaakt. Toestellen voor signaleringen en beveiligingen moeten betrouwbaar zijn (Beivag, 2020).

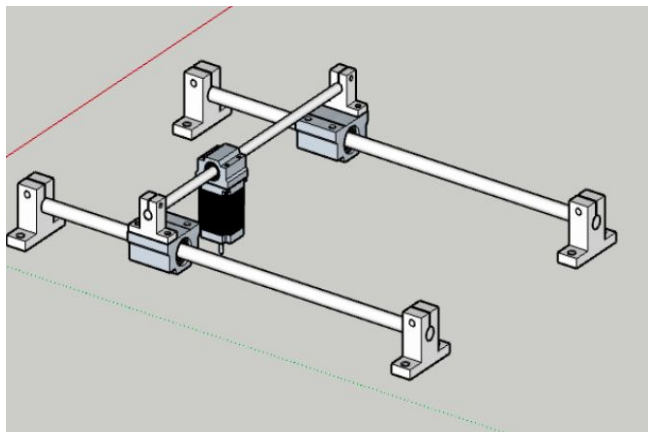
5.4 Ontwerp prototype

5.4.1 SketchUp

Het eerste ontwerp van de schakelrobot is ontworpen in Sketchup om de opdrachtgever een visueel beeld te geven van het concept. In het gesprek met de opdrachtgever over het ontwerp zijn er aantal verbeterpunten naar voren gekomen.



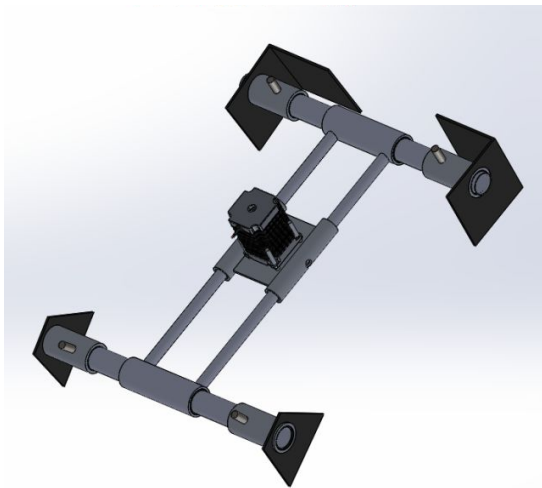
Afbeelding 16: Schakelrobot op schakelkast.



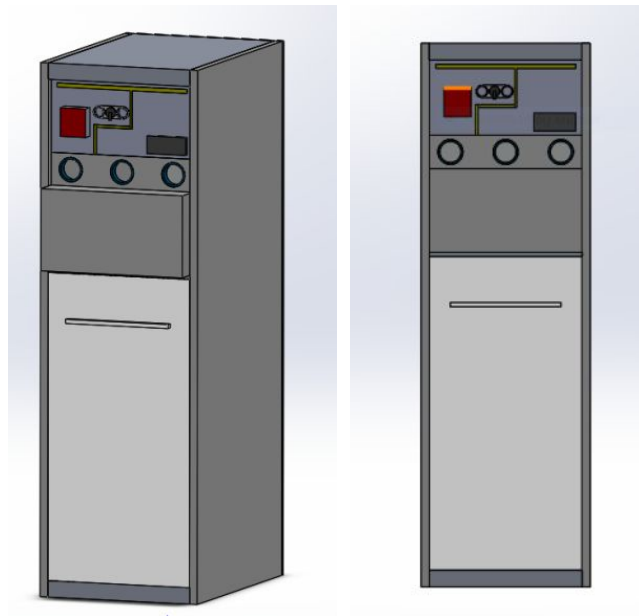
Afbeelding 17: Frame schakelrobot.

5.4.2 Solidworks model

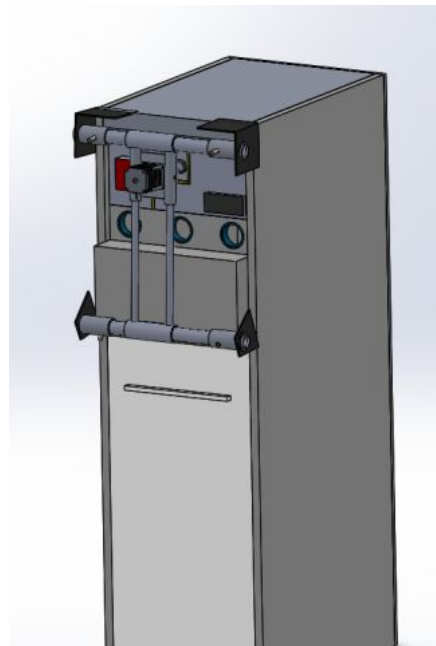
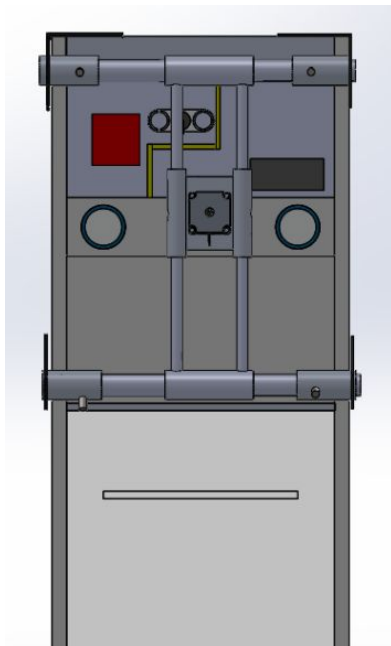
Het solidworks model is het definitieve ontwerp van de schakelrobot. In dit ontwerp zijn de verbeterpunten meegenomen en is ook de kracht van het frame berekent. De krachtberekening is opgenomen in bijlage 6.



Afbeelding 18: Frame.



Afbeelding 19: Schakelkast



Afbeelding 20: Frame op schakelkast

Hoofdstuk 6: Business Case

In dit hoofdstuk wordt de businesscase van de schakelrobot vermeld. Hierin worden de financiële implicaties, juridische implicaties en de risico's van de schakelrobot toegelicht.

6.1 Financiële implicaties

6.1.1 Kosten

In de Work Breakdown Structure (bijlage 7) staan de benodigde componenten voor het realiseren van de schakelrobot. Op basis van de componenten uit het WBS is in de onderstaande tabel een kostenraming gemaakt voor de schakelrobot.

Component	Prijs in €
Nema 42 CNC Stepper Motor Bipolar 30Nm (Stepperonline, z.d.)	€173,69
Thermische sensor (Dekkerswatersport, z.d.)	€ 15,00
Naderingsschakelaar (Sensor partners, z.d.).	€ 33.99
Accu 12V 2.0Ah (Gereedschappelijk, z.d.)	€ 32,50
Afstandsbediening (Banggood, z.d.)	€ 32.06
Ruwe materiaal prijs (aluminium)	€ 10,00
IoT wireless sensor (Farnell, z.d.)	€ 107.00
Minimale totale kosten	€ 404,24 (incl BTW)

Tabel 3: Kostenraming schakelrobot

6.1.2 Baten

De schakelrobot draagt bij aan een efficiënte inzet van technici en een veiligere werkomgeving.

Besparing van fte

In de huidige situatie wordt het uit bedrijf nemen van een schakelkast in de middenspanningsruimte door twee technici uitgevoerd. Eén technicus voert de schakelhandeling uit en de ander technicus controleert of dit veilig gebeurt. Dankzij de

schakelrobot kan de schakelhandeling door één technicus uitgevoerd worden. De schakelrobot kan het onveilige werk overnemen. Dit levert een besparing van 1 fte op, die elders ingezet kan worden. Dit draagt bij aan het tekort aan technici binnen Alliander.

Veiligere werkomgeving

Bij het uit bedrijf nemen van een schakelkast in een middenspanningsruimte bij storing of onderhoud kan een vlamboog ontstaan. Een vlamboog kan tot ernstig letsel leiden bij een technicus. De schakelrobot draagt bij aan een veiligere werkomgeving voor technici, omdat de technicus de fysieke 'schakelhandeling' niet meer uit hoeft te voeren. Incidenten in een middenspanningsruimte waarbij een vlamboog de oorzaak is komen een aantal keer per jaar voor. De exacte cijfers zijn op te vragen bij Han Verhagen veiligheidskundige bij Alliander (Han Verhagen, persoonlijke communicatie, 2 juni 2020).

6.2 Juridische implicaties

Veiligheidsvoorschriften Beviag

Als de beveiliging tegen inschakelen op afstand gebeurt, voorkomt dat dat dit ergens anders weer ongedaan kan worden gemaakt. Toestellen voor signaleringen en beveiligingen moeten betrouwbaar zijn (Beviag, 2020).

CE certificering

Het is mogelijk dat voor de Schakelrobot een CE markering vereist is. Machines die voor eigen bedrijfsvoering zijn ontworpen dienen ook CE-gemarkeerd te worden. Hierbij is het van belang dat vooraf duidelijke afspraken gemaakt worden over wie de CE-markering aanbrengt. Degene die de CE-markering aanbrengt wordt namelijk automatisch de fabrikant (eigenaar) van het product (NEN, 2013). Een keurings- of testinstituut dat van machines moet testen of zij aan de daarvoor geldende richtlijnen voldoen is Notified Body.

6.3 Risico's

- Het voorkomen van een vlamboog is niet mogelijk. Een risico dat kan optreden is dat de schakelrobot niet meer bruikbaar is na het ontstaan van een vlamboog.
- In verband met de veiligheidsvoorschriften kan het zijn dat er nog steeds twee technici vereist zijn om de schakelkast uit bedrijfsstand te halen. Hierdoor wordt geen besparing van één fte gerealiseerd.
- Het verder ontwikkelen en produceren van de schakelrobot kan niet rendabel genoeg zijn voor Alliander. De beoogde resultaten wegen niet op tegen de kosten van de investering. Alliander besluit om niet verder te investeren in de ontwikkeling van Schakelrobot.
- De mogelijkheid bestaat dat het frame van de schakelrobot niet op iedere schakelkast toepasbaar is. Ondanks dat het frame zo universeel mogelijk is gehouden.

Hoofdstuk 7: Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt de antwoordt geven op de hoofdvraag en daarnaast aanbevelingen gegeven.

7.1 Conclusie schakelrobot

De geformuleerde hoofdvraag binnen dit onderzoek is als volgt:

“In hoeverre kan robotica bijdragen aan een oplossing voor het tekort aan technici binnen Alliander, waarbij de veiligheid en de efficiëntie van technici centraal staan?”

Het toepassen van een schakelrobot kan bijdragen aan aan een oplossing voor het tekort aan technici, omdat de robot voor een veiligere werkomgeving zorgt en een besparing van één fte oplevert. De schakelrobot zorgt voor een veilige werksituatie, omdat de technici niet meer blootgesteld kunnen worden aan een vlamboog. In de huidige situatie wordt het uitschakelen van de schakelkast in de middenspanningsruimte door twee technici uitgevoerd. De technicus hoeft zelf geen ‘gevaarlijke’ handeling uit te voeren. Hierdoor is een extra technicus die de veiligheid bewaakt niet noodzakelijk. Dit betekent dat de bespaarde fte bij het schakelen ergens anders ingezet kan worden. In de toekomst is het mogelijk om een schakelkast in de middenspanningsruimte van een afstand te schakelen via de schakelrobot. Dat resulteert in een vermindering van de reistijd van een technicus, wanneer deze enkel een schakelkast van afstand hoeft uit te schakelen.

7.2 Aanbevelingen

In het onderzoek zijn naast de schakelrobot ook andere onderwerpen aan het licht gekomen. In de onderstaande aanbevelingen zijn deze benoemd.

1. Graafwerkzaamheden

Zoals in §3.1 beschreven wordt liggen er miljoenen kilometers aan kabels en leidingen in de grond. Deze kabels en leidingen zijn grotendeels geregistreerd in het KLIC. Echter kan het voorkomen dat de informatie over deze kabels en leidingen van het KLIC niet overeenkomt met de werkelijke situatie. Hierdoor kunnen er tijdens graafwerkzaamheden kabels of leidingen beschadigd raken met alle gevolgen van dien. Het advies is om de bestaande Ground Penetrating Radar (GPR) technieken te gebruiken. Deze techniek geeft gedetailleerde informatie over de kabels en leidingen in de grond. Het gebruik van GPR techniek kan graafschade reduceren binnen Alliander. Wat resulteert in minder storingen in het energienetwerk en minder herstelwerkzaamheden vanwege graafschade.

2. Kabelmof

Het maken van een kabelmof voor de laagspanning is een vrij tijdsintensief proces met veel processtappen. Een robotica-toepassing zou uitkomst kunnen bieden.

Echter zijn er wel wat beperkingen: er is een beperkte werkruimte (sleuf), niet elke processtap levert meerwaarde met robotica-toepassing of met de huidige techniek is het niet mogelijk om bepaalde processtappen te robotiseren. Een robotica-toepassing voor het gehele proces is om de hiervoor genoemde redenen niet haalbaar. Daarentegen biedt robotica wel de mogelijkheid om enkele processtappen te robotiseren. Door verder onderzoek te doen naar de mogelijkheden van robotica voor het wikkelen, schuren en het spuiten van de hars. Dit kan een tijd bespaard worden in dit tijdsintensieve proces.

3. Eenheid creëren in de Informatiesystemen

De informatiesystemen stonden buiten de scope van het project. Daarentegen is het onderwerp een aantal keer benoemd in de interviews. De geïnterviewden gaven aan dat ze graag meer eenheid in de informatiesystemen zouden zien. Het advies is om in de toekomst de informatiesystemen samen te voegen. De geïnterviewden gaven aan dat zij veel tijd kwijt zijn aan het werken in verschillende systemen en programma's.

Literatuurlijst

Alliander. (2019). *Werkzaamheden Liander in Bergen*. Geraadpleegd op 5 mei 2020, van <https://www.liander.nl/Werkzaamheden-Bergen>

Banggood. (z.d.). *Draadloze afstandsbediening Schakelaar Ontvangstmodule met industriële*. Geraadpleegd op 29 mei 2020, van https://www.banggood.com/nl/DC12V24VAC220V-8CH-Channel-Wireless-Remote-Control-Switch-Receiving-Module-With-Industrial-Remote-Control-p-1573081.html?gpla=1&gmcCountry=NL¤cy=EUR&createTmp=1&utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_bgs&utm_content=frank&utm_campaign=frank-ssc-nl-all-0418&ad_id=431962814107&ID=52083147819&cur_warehouse=CN

BEIVIAG. (2020). *HS en MS kabels selecteren en knippen*. Geraadpleegd op 5 mei 2019, van <https://www.beiviag.nl/view/MjQ4NQ%253D%253D?type=pdf>

BEIVIAG. (2020). *Een netdeel in- en uit bedrijf nemen en/of veilig stellen*. Geraadpleegd op 28 mei 2020, van <https://www.beiviag.nl/view/MjMwMQ%253D%253D?type=pdf>

Betaverpakking. (2018). *Horizontaalwikkelmachines*. Geraadpleegd op 1 mei 2020, van <https://betaverpakking.nl/horizontaalwikkelmachines/>

Construction Robotics. (z.d.). SAM100. Geraadpleegd op 18 april 2020, van <https://www.construction-robotics.com/sam100/>

Cultureel woordenboek. (z.d.). *Robotica*. Geraadpleegd op 24 april 2020, van <https://www.cultureelwoordenboek.nl/technologie-en-techniek/robotica?s=robotica>

De Bruyn. (z.d.). Verkoop. Geraadpleegd op 14 mei 2020, van <https://www.de-bruyn.nl/verkoop.html>

Dekkerswatersport. (z.d.). *WEMA TEMPERATUURSENSOR*. Geraadpleegd op 29 mei 2020, van https://www.dekkerwatersport.nl/p/wema-temperatuursensor/1399/?gclid=EAlaIQobChMI-M2Eh8TR6QIVVljVCh27PAjsEAKYDiABEgJsLfD_BwE

DM wheelsystems. (z.d.). *Aandrijfwielen*. Geraadpleegd op 14 mei 2020, van <https://dmwheelsystems.com/nl/producten/wiel-systemen/aandrijfwielen/>

Eaton. (z.d.). *Xiria schakel-systemen*. Geraadpleegd op 15 mei 2020, van <http://www.eaton.nl/nederland/Productenoplossingen/Electrical/ProductenServices/Energiediistributie/MVS/Ringkabelstations/Xiria/index.htm>

van Elzakker, I. (2019) *Terugblik op 1 jaar robotchirurgie*. geraadpleegd op 18 april 2020, van <https://www.amc.nl/web/nieuws-en-verhalen/verhalen/community/terugblik-op-1-jaar-robotchirurgie.htm>

Enexis. (z.d.). *Pipe bursting*. Geraadpleegd op 18 april 2020, van <https://werkenbijenexis.nl/vakgebieden/uitvoering-gas>

Farnell. (z.d.). *Wireless sensor*. Geraadpleegd op 29 mei 2020, van <https://nl.farnell.com/dialog-semiconductor/da14583iotsenskt/dev-board-bluetooth-low-energy/dp/2729286>

Filoform. (z.d.). *Wat is een kabelmof?* Geraadpleegd op 24 april 2020, van <https://www.filoform.nl/wat-is-een-kabelmof>

Geertsma. (2018). *Wat zijn cobots of collaboratieve robot?* Geraadpleegd op 6 mei 2020, van <https://www.technischwerken.nl/kennisbank/techniek-kennis/wat-zijn-cobots-of-collaboratieve-robot/>

Gelan. (z.d.). *TEROVIDO 3D-BODEMSCANNER, CS UNO*. Geraadpleegd op 6 mei, van <https://www.gelan.nl/product/terovido-3d-bodemscanner-cs-uno/>

Gereedschappelijk. (z.d.). *Accu 12V 2.0Ah*. Geraadpleegd op 29 mei 2020, van https://www.gereedschappelijk.nl/makita-bl1021b-10-8-12v-accu-2-0-ah-197396-9.html?channel=e94019.NTA1OTg&gclid=CjwKCAjw_LL2BRAkEiwAv2Y3Sa5IJfRzXNzs_sQ44ykpWYZOEHo1aXJeXTWvN903OZqKpQzCHqmNJhoCHY4QAvD_BwE

Pt industrieel management. (19-01-03). *Ai in autonome robotica*. Geraadpleegd op 24 april 2020, van <https://www.ptindustrieelmanagement.nl/engineering/nieuws/2018/10/wat-is-een-autonome-robot-1011826>

Holland Robotics. (2018). *Kansen voor de Nederlandse robotica*. Geraadpleegd op 24 april 2020, van <https://www.vraagenaanbod.nl/download/Holland%20Robotics%20Position%20Paper.pdf>

Hydroquebec. (z.d.). *INSPECTION AND MAINTENANCE INNOVATIONS FOR POWER TRANSMISSION SYSTEMS*. Geraadpleegd op 24 april, van <http://www.hydroquebec.com/robotics/transmission-solutions-uav.html>

Improvia group. (z.d.) *Sensabot*. Geraadpleegd op 18 april 2019, van <https://improvia.nl/successes/sensabot/>

Jetspeed plumbing. (z.d.). *Pipe bursting* [foto]. Geraadpleegd op 18 april 2020, van <http://jetspeedplumbing.com/services/pipe-bursting>

KAKU. (z.d.). Industrial robots from KAKU. Geraadpleegd op 14 mei 2020, van <https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/industrial-robots>

Lely. (z.d.). *Lely astronaut A4*. Geraadpleegd op 18 april 2020, van <https://www.lely.com/nl/oplossingen/melken/astronaut-a4/>

Liander. (2017). *Kwaliteits- en Capaciteitsdocument Elektriciteit 2017*. Geraadpleegd op 12 mei 2020, van https://www.liander.nl/sites/default/files/171130_KCD-Elektriciteit_definitief.pdf

National Robotics Engineering Center. (z.d.). *Human Detection and Tracking in Agriculture*. Geraadpleegd op 18 april 2020, van <https://www.nrec.ri.cmu.edu/nrec/solutions/agriculture/other-agriculture-projects/human-detection-and-tracking.html>

NEN. (2013) *Aanbrengen van een CE-markering*. Geraadpleegd op 29 mei 2020, van <https://www.nen.nl/NEN-Shop/Transport/Aanbrengen-van-een-CEmarkering.htm>

Netbeheer Nederland. (2019). *Betrouwbaarheid van elektriciteitsnetten in Nederland*. Geraadpleegd op 1 mei 2020, van https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Betrouwbaarheid_elektriciteitsnetten_in_Nederland_2018_150.pdf

Onrobot. (z.d.). *ONE-STOP-SHOP VOOR EOAT („END-OF-ARM TOOLING“)*. Geraadpleegd op 6 mei 2020, van <https://onrobot.com/nl/producten>

Opticon benelux. (z.d.). *Camera's voor de industrie*. Geraadpleegd op 29 april 2020, van <https://www.opticonbnl.com/inspectiecameras>

Van Schaik, P. (z.d.). *Voor en nadelen robotisering*. Geraadpleegd op 24 april 2020, van <https://rpaexperts.nl/voordelen-nadelen-robotisering/>

Pt industrieel management. (2018). *Ai in autonome robotica*. Geraadpleegd op 24 april 2020, van <https://www.ptindustrieelmanagement.nl/engineering/nieuws/2018/10/wat-is-een-autonome-robot-1011826>

Robots. (2020). *Voordelen van collaboratieve robots*. Geraadpleegd op 6 mei, van www.universal-robots.com/nl/over-universal-robots/voordelen-van-collaboratieve-robots-cobots/al-robots.com/nl/over-universal-robots/voordelen-van-collaboratieve-robots-cobots/

Robotics Business Review. (2019.). *Sarcos Robotics Begins Delivery of Guardian XO Exoskeletons*. Geraadpleegd op 18 april 2020, van <https://www.roboticsbusinessreview.com/news/sarcos-robotics-begins-delivery-of-guardian-xo-exoskeletons/>

Robotics Business Reviews.(2020). *ULC Robotics, SGN to develop all-electric excavation robot*. Geraadpleegd op 18 april 2020, van <https://www.roboticsbusinessreview.com/energy-mining/ulc-robotics-sgn-to-develop-all-electric-excavation-robot/>

Robotzorg. (2019). *Revalidatierobot voor lopen*. Geraadpleegd op 18 april 2020, van <https://www.robotzorg.nl/nieuws-robotzorg/revalidatierobot-voor-lopen/>

Satel. (z.d.). *Human presence detector*. Geraadpleegd op 19 mei 2020, van <https://www.satelbv.nl/sieza-human-presence-detection-systems/>

Sensors & Software Inc. (z.d.) *Utility Locating*. Geraadpleegd op 15 mei 2020, van <https://www.sensoft.ca/georadar/utility-locating/>

Shaw, K. (2020). *ULC Robotics, SGN to develop all-electric excavation robot*. Geraadpleegd op 18 april 2020, van <https://www.roboticsbusinessreview.com/energy-mining/ulc-robotics-sgn-to-develop-all-electric-excavation-robot/>

Spectrum. (2010). *LineScout Robot Climbs on Live Power Lines to Inspect Them [foto]*. Geraadpleegd op 18 april 2020, van <https://spectrum.ieee.org/autoton/robotics/industrial-robots/linescout-robot-climbs-on-live-power-lines-to-inspect-them>

Stepperonline. *Nema 42 CNC Stepper Motor Bipolar 30Nm*. Geraadpleegd op 29 mei 2020, van <https://www.omc-stepperonline.com/nema-42-cnc-stepper-motor-bipolar-30nm-4248oz-in-8a-110x201mm-4-wires.html>

Studebaker, W. (z.d.). *ROBOTICS & AUTOMATION MARKET OUTLOOK—2017*. Geraadpleegd op 24 april 2020, van

<https://www.roboglobal.com/insights/new-growth-in-earnings-and-outlooks-for-robotics-automation-ai/>

Totalpack. (z.d.). *Ringwikkelaar inpakmachines [foto]*. Geraadpleegd op 2 juni 2020, van <http://www.totalpack.be/nieuwemachines/ringwikkelaars.shtml>

ULC. (z.d.). *Cisbot*. Geraadpleegd op 18 april 2020, van <https://ulcrobotics.com/gas-utility-innovation/>

Vendrik, L. (2017). *Pipe cracking*. Geraadpleegd op 6 mei 2020, van <https://edepot.wur.nl/453845>

Vision en Robotics. (2016). *Nieuwe robot van Shell voert gevaarlijk werk uit op olie- en gasinstallaties*. Geraadpleegd op 18 april 2020, van <https://www.visionenrobotics.nl/nieuws/nieuwe-robot-van-shell-voert-gevaarlijk-werk-uit-op-olie-en-gasinstallaties>

Wetac. (2019). *NAT DEEP CYCLE ACCU'S*. Geraadpleegd op 6 mei 2020, van <https://www.wetac.nl/product-category/deep-cycle-wet/>

Z-tech. (z.d.). *Collaborative Robotics*. Geraadpleegd op 18 april 2020, van <https://www.z-tech.nl/nl/nieuws/collaborative-robotics-wat-zijn-dit-en-wat-hebben-we-eraan/>

ZVS techniek. (z.d.). *Robot componenten*. Geraadpleegd op 6 mei 2020, van <https://www.zvstechniek.nl/producten/robotcomponenten/>

Bijlagen

Bijlage 1: Technische gegevens Robotica

In deze bijlage worden enkele onderdelen van de robotietoepassingen in §2.3 nader toegelicht.

Pan-Tilt camera

Een belangrijk onderdeel van de linescout en andere inspectie robots is de camera. Een camera met een Pan-Tilt kan op afstand draaien, kantelen en zoomen. Ook kan met een Pan-Tilt camera de hele omgeving worden bekeken. Deze camera kan op een robot worden geplaatst om specifieke situaties te filmen. De camera is te verkrijgen in verschillende maten en kan lucht en gasdicht geleverd worden. Een andere benaming voor deze camera is een industriële inspectie camera, Deze camera's worden door veel verschillende fabrikanten aangeboden (Opticon, z.d.). Een leverancier bijvoorbeeld is Opticon, Opticon levert verschillende inspectiecamera's: Rijdende camera's, Waterbron camera's, inspectiecamera's en losse Pan-Tilt camera's.

De gripper

De gripper is het onderdeel van de robot wat onderhoudswerkzaamheden kan uitvoeren. Een gripper is het eindstuk van de robotarm. Meestal zijn dit twee vingers die kunnen knijpen om zo een onderdeel op te pakken of te verplaatsen. Er zijn verschillende grippers voor verschillende toepassingen. Vacuum grippers worden gebruikt om kwetsbare producten en plaatmateriaal te tillen. Een magneet gripper pakt magnetische voorwerpen op. Een soft gripper is ideaal voor het oppakken van lichte en kwetsbare onderdelen. De grippers kunnen vaak op maat gemaakt worden voor specifieke toepassingen (Onrobot, z.d.). ZVS techniek is een Nederlandse fabrikant die specifiek grippers leveren voor robots.

Ultrasoon meetinstrument

Bij pipe bursting wordt er een leiding door de grond geduwd. Het is belangrijk om de positie hiervan nauwkeurig te bepalen. De leiding kan afwijken van richting maar de leiding kan ook andere leidingen raken wat leidt tot economische schade en lange herstelwerkzaamheden. Met een ultrasoon meetinstrument wordt bepaald of de leiding goed wordt aangebracht. Tijdens het proces inspecteert een robot of een persoon de grond boven de kabel. Deze detectie apparatuur kan ook worden ingezet om leidingen op te sporen in de grond ter voorbereiding op graafwerkzaamheden. De bodemscanner maakt gebruik van meerdere sensoren. De verschillende sensoren meten op een ander niveau. Op deze manier ontstaat er een 3D weergave van de bodem (Gelan, z.d.). Een fabrikant die gespecialiseerd is in 3D detectie apparatuur is Gelan detectiesystemen.

Pipe cracking

Een andere toepassing van pipe bursting is het weghalen van oude bekabeling en leidingen. Er wordt gebruik gemaakt van een Burst Kop met 3 snijpunten ook wel pipe cracking genoemd. De oude kabel wordt in 3 stukken gesneden waardoor deze gemakkelijk

verwijderd kunnen worden (Vendrik, 2017.). Een aannemer die deze nieuwe technologie toepast is BGM infra. Deze technologie is niet bedoeld om te verwerken in een robotica oplossing.

Lithium accu's

De accu is een belangrijk onderdeel van een robot en voorziet deze van stroom. Een lithium accu is het meest geschikt, lithium accu's kunnen snel opgeladen worden en hebben een hoge energiedichtheid. Hoogspannings accu's kunnen worden toegepast bij grote vermogens. Een grote robot verbruikt veel energie voor het rijden en het vrij maken van de grond. De meest gebruikte accu's zijn 12 volt, deze kunnen aan elkaar worden gekoppeld om het voltage te verhogen. Wetac produceert deze accu's in verschillende afmetingen en met verschillende vermogens. De accu's kunnen worden geselecteerd op vorm en vermogen, zodat deze in verschillende robotica oplossingen toepasbaar is. Het meest voorkomende probleem bij elektrische voertuigen/werktuigen is dat de accu's veel plek innemen. Door de verschillende afmetingen kan de ruimte goed benut worden voor een compact ontwerp (WETAC, 2019).

Collaboratieve robotarm

Een robotarm die wordt aangestuurd door een persoon is meestal een collaboratieve robot arm. Collaboratieve armen zijn gemakkelijk te programmeren en handig in gebruik. Een ander voordeel van deze robot is dat de robot niet veel weegt. De robot kan makkelijk worden getransporteerd. Een collaboratieve robotarm is geschikt om onderhoud uit te voeren op afstand of inspectie. De robotarm kan ook autonoom werken. Doordat de robotarm gemakkelijk programmeerbaar is kan de robot breed ingezet worden (Geertsma, 2018).

De collaboratieve robots worden aangeboden door fabrikant universal robot. De robots zijn te customizen met verschillende lengtes en grippers (Robots, 2020). Wanneer gewenst is dat de robot grotere massa's kan tillen kan er worden gekozen voor een industriële robot. Deze robots kunnen veel meer gewicht tillen en worden extern aangestuurd. Bij aanschaf van de robot moet ook een geschikt besturingssysteem worden aangeschaft. Het programmeren van een industriële robot is vaak lastiger, omdat er geen open source regels in geprogrammeerd zijn. Industriële robots zijn zelf ook zwaar en hebben meer vermogen nodig. Daardoor zijn de robot's minder mobiel. Aandrijving van de robot kan verschillen. Er is onderscheid tussen elektrische aandrijving, hydraulische aandrijving en pneumatische aandrijving. De aandrijvingen hebben elk voor- en nadelen (KUKA, 2020).

Wikkelmachine

Een wikkelmachine is een vrij eenvoudig apparaat. Een wikkelmachine maakt een roterende beweging om het product in te wikkelen met folie of ander bindmateriaal. Wikkelmachines worden aangedreven door een elektromotor. Er zijn verschillende soorten elektromotoren: Explosieveilige elektromotoren, deze motoren vonken niet. Elektromotoren met reductor, deze motoren leveren een grote kracht en laag toerental of leveren weinig kracht met een hoog toerental. Elektromotoren zijn te leveren in allerlei afmetingen. Zo kunnen elektromotoren worden gekozen op basis van beschikbare ruimte. Een leverancier van elektromotoren is De Bruyn BV. Motoren kunnen ook gereviseerd worden (De Bruyn, 2019).

De wikkelmachine wordt aangedreven en gepositioneerd door wielsystemen. Deze wikkelmachine is voorzien van aandrijfwielen en nauwkeurige positioneer wielen. Aandrijfwielen worden vaak gebruikt in andere robotica om een rechtlijnige beweging te coördineren. DM levert verschillende wielen voor verschillende toepassingen, deze fabrikant kan ook op maat leveren (DM, 2018).






Human detection system






De agrarische sector maakt gebruik van Human detection systems om personen veilig te houden. Op de tractoren wordt er een camera geplaatst met human detection software. Deze techniek wordt vooral veel gebruikt in het verkeer en vooral in auto's. Het kan ook worden ingezet voor bewaking, om onbevoegde personen te herkennen. Satel is een fabrikant die de camera levert met bijbehorende software. Op aanvraag kan de software worden aangepast (Satel, z.d.).




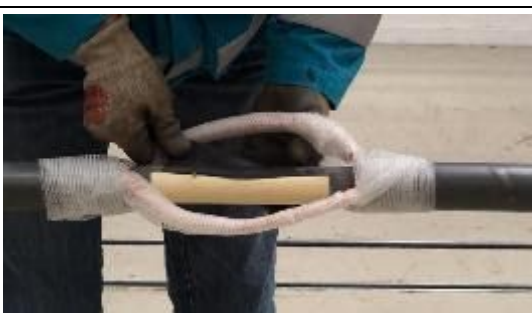

Bijlage 2: Kabelmof laagspanning






In deze bijlage wordt het proces van het maken van een laagspannings aftakmof uitgewerkt.


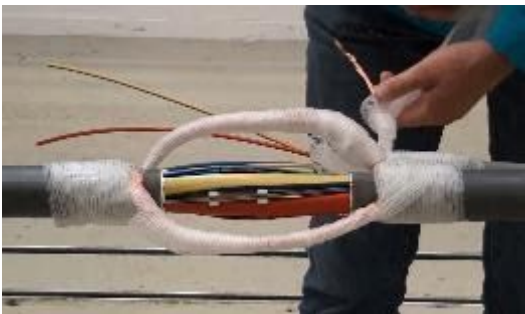



Proces huisaansluiting aftakmof kunststof			
	Plaatje	Stap	Omschrijving
1		Maatvoering	26 cm afmeten, daarna daarbuiten 5 cm aan beide kanten aftekenen
2		Opruwen buitenmantel	De afgetekende 5 centimeters "opruwen" (= afschuren). Dit gebeurt dwars op de kabel.
3		Controleren	Met spiegel kijken of alles inderdaad is geschuurd
4		Veiligheid	Snijvaste handschoenen aantrekken

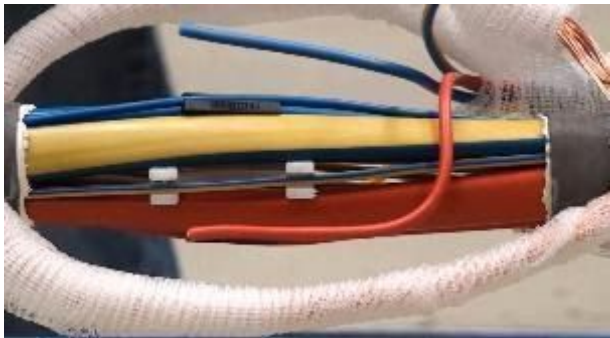




5		Insnijden buitenmantel rond	Kabel aan binnenzijde van geschuurd deel rond insnijden (niet te diep)
6		Insnijden buitenmantel horizontaal	Van ingesneden stuk naar ingesneden stuk horizontaal doorsnijden
7		Opwippen mantel	Mantel met spatel opwippen. Als dit niet goed genoeg lukt, opnieuw insnijden met mes.
8		Afpellen mantel	Langs de ingesneden rand de mantel opwippen
9		Controleren beschadiging aardscherm	Mantel bekijken op kleur: wat donker is, is ingesneden; wat licht is is afgescheurd. Als de volledige binnenrand licht (=gescheurd) is, is het aardscherm niet geraakt





10		Verwijderen spiraal	Met een mes het spiraal doorsnijden en verwijderen
11		Verwijderen aardschermdrad en en onderliggend vulmiddel	Met een spatel het aardscherm en wit vulmiddel verwijderen. Aardscherm in twee delen verdelen.
12		Opruwen binnenmantel	Lengte van 3 cm aan beide kanten van de binnenmantel verticaal opschuren.
13		Controleren	Met een spiegeltje controleren of de binnenmantel inderdaad goed is opgeschuurd
12		Afmeten binnenmantel	3 cm aan beide kanten afmeten en aftekenen voor aansnijden





13		Inwikkelen aardscherm	Aardscherm inwikkelen met gaas totdat het koperdraad niet meer zichtbaar glimt. Niet helemaal doorwikkelen tot buitenmantel ivm schuiven bij plaatsen moerklem
14		Insnijden binnenmantel rond	Binnenmantel insnijden tot ongeveer de helft. Aan beide kanten op afgetekende lijnen
15		Insnijden binnenmantel horizontaal	Horizontaal doorsnijden van rond insnijding tot ronde insnijding
16		Afpellen binnenmantel	Met de hand de zwarte binnenmantel verwijderen
17		Verwijderen vulmiddel	Vulmiddel verwijderen met spatel, daarna met de hand. Geen mes gebruiken!

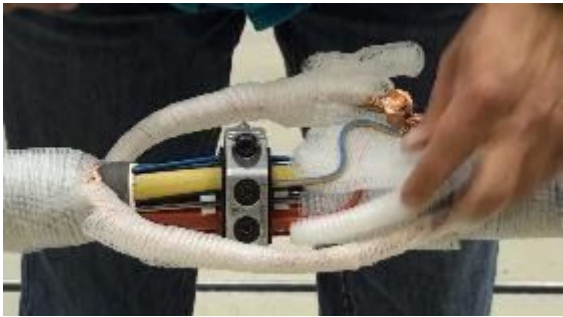


18		Verwijderen wit draad	Draad afknippen
19		Creëren ruimte	Ruimte maken tussen aders door wig ertussen te slaan en aders uit elkaar te halen
20		Verwijderen ziel	Tie-wrap dubbel knippen en over de ziel plaatsen. Ziel naar beneden trekken en zo kort mogelijk afknippen (niet aan trekken).
21		Terugstoppen ziel	Uiteinden van de ziel terugslaan waar ze vandaan waren gekomen
22		Plaatsen wig	Wiggen om hulpaders plaatsen op gelijke hoogte








23		Voorbereiden aftak-kabel	Andere video: MO-C009 of
24		Inwikkelen aftak-kabel + aarddraad	Met gaas de aftak-kabel en aarddraad omwikkelen.
25		Plaatsen nek-afdichting	Plaats nek-afdichting. Zorg dat het niet op het gaas komt. Plaats de aftak-kabel altijd aan de zijkant.
26		Vast tapen	Kabels op hun plek tapen (volgens mij optioneel, maar maakt de rest een stuk makkelijker.
27		Aders voorbuigen	Opletten bij vastleggen kabel dat kleuren overeen komen met hoofdkabel. Dat voorkomt extra buigen. Kabel altijd aan de




			woning kant leggen.
28		Aders afkorten	Afknippen ter hoogte van de wiggen.
29 a		Aarde-nul koppeling maken: draden prepareren	Monteer de nul-draad op het aardscherm van zowel de aftakkabel als de hoofd kabel
29 b		Aarde-nul koppeling maken: Aandraaien aarde-nul moerklem	Verbind de nul-draad met aardscherm mbv moerklem. Zorg dat alle ruimte tussen de kabels uit is.
30		Voorbuigen en afknippen nul-draad	Zelfde hoogte als andere draden.
31		Aders strippen	Hoeft niet voor alle ringklemmen

	Aanbrengen ringklem			
32			Gaas om hoofdadere aanbrengen	Kan ook in eerder stadium.
33 a			Aanbrengen ringklem	Schuif de adere van de afkabel in de klem
33 b			Aanbrengen ringklem	Zet de klem op de adere van de afkabe l
34			Plaatsen bouten	Eerst losjes vast zetten. Als je ze strak draait gaan de tandjes van de klem door de isolatie heen en zal de ringklem onder spanning komen te staan.

35		Controleer kleuren	(Blauw op blauw, rood op rood, etc)
36		Aansluitdraden vastdraaien	Handvast aandraaien. Niet te veel druk uit oefenen om te voorkomen dat de klem alsnog de isolatie doorbreekt.
37		Ringklem doordraaien	Gelijkmatig draaien. Niet te veel slagen aan dezelfde kant. Steeds afwisselen.
38		Aansluitdraden strak vastdraaien	Nu echt flink vastdraaien

	Afwerken & Inwikkelen mof		
39		Boekje aanbrengen op drukpunten	Een boekje is een 4 maal dubbel gevouwen (8 lagen) stuk gaas Een drukpunt is een plek waar 2 aders elkaar overkruisen.
40		Overige deel inwikkelen met gaas	
41		Inwikkelen met tape & Spuitsventiel aanbrengen	Ventiel zit vast met tape. Heel veel tape (want daar is de grootste kans op lekkages.

	Vullen van de mof			
42			Check of de hars & verharder niet over datum zijn	
43			Scheiding er tussenuit halen	Hars en harder zitten in aparte compartimenten en moeten gemengd worden
44			Hars en verharder mengen	Let op de hoekjes, daar is het vaak niet goed gemengd
45			Inspuit nippel aanbrengen op hars zak	Gewoon er op plakken. (Je kan ook eerst de zak er in doen en de nippel in het pistool zetten (zie 11:20 in video)
46			Zak in spuitpistool stoppen	
47			Inspuitnippel vast zetten	Een paar keer de trekker van het spuitpistool overhalen
48			Spuitpistool vastdraaien op ventiel	Er zit een schroefdraad in de nippel en ventiel

49			Hars inspuiten	Prik ontluchtingsgaatjes indien nodig.
50			Herhalen tot mof gevuld is	Herhaal stappen 42 t/m 48 totdat mof egaal gevuld is.
51			Lekkages Afdichten	Lekkages afdichten met tape. Helemaal aan het uiteinde beginnen met omwikkelen.

Bijlage 3: Kabelmof middenspanning

Experience Flow_Opening Scene

Opening 1_Setting the Scene



Notes:

20 hours of work
- pan through animation to set the scene for the user
- create cars, homes, grass, digging tool assets & all interactions

Opening 2_Setting the Scene



Notes:

40 hours of work
- platform setup interactions with posts & tarp
- create posts and tarp assets

Step 1_Clear Cable Exterior



Notes:

- 10 hours of work
- cleaning to remove dirt textures
 - positioning cable on stand
 - create stand asset
 - create cable asset
 - create cloth asset

Step 2_Mark Cable with Knife Cut



Notes:

- 6 hours of work
- surface cutting
 - create knife asset

Step 3_Cut Cable



Notes:

- 48 hours of work
- either split object or instantly more split object to cut location
 - create cutting tool asset

Step 4_Measure Cable Length



Notes:

- 13 hours of work
- snap measuring stick to cable end vs. freeform measure
 - create measuring stick asset
 - create marker pen asset

Experience Flow_Level 1

Step 5_Cut Red Layer of Cable



Notes:

40 hours of work

- *surface cut*
- *snap to cut location vs.*
- *freeform cut*
- *re-use knife asset*

Step 6_Pry Red Layer Off Cable



Notes:

60 hours of work

- *prying & wedging*
- *replace outside with elastic*
- *object*
- *reveal under layers while*
- *prying*
- *create prying tool asset*

Step 7 _Unwrap White Fabric



Notes:

- 4 hours of work*
- *re-use work from Step 6 with different texture and unwrapping action*
 - *create white fabric assets*

Step 8 _Peel Back and Cut Flat Copper Ribbon



Notes:

- 8 hours of work*
- *bending wires back in groups of 5 wires*
 - *re-use copper ribbon assets*

Step 9 _Tape Flat Copper Ribbon to Red Layer of Cable



Notes:

- 18 hours of work*
- *unrolling tape, snap to stick vs. freeform stick, layering tape*
 - *create tape asset*

Step 10 _Peel Copper Wires Back Onto Red Layer of Cable



Notes:

- 4 hours of work*
- *re-use from Step 8 with copper wires*
 - *create copper wire asset*

Step 11_Measure and Mark Cut Point at 5cm Past Cable Cut Point



Notes:

1 hour of work
- re-use measuring stick and marker pen from Step 4

Step 12_Cut Copper Wires at Marking Location



Notes:

44 hours of work
- create custom method for cutting vs. Unreal Engine cutting tool
- create snipping pliers asset

Step 13_Pound Copper Wires Against Red Layer of Cable with Hammer



Notes:

12 hours of work
- moving wires with hammer contact, preventing occlusion
- create hammer asset

Step 14_Tape Copper Wires Back with Black Tape



Notes:

2 hours of work
- re-use asset and interaction from Step 9

Step 15_Unwrap Black Fabric



Notes:

2 hours of work
- re-use asset and interaction
from Step 6

Step 16_Measure and Position Tape Center at .5cm Off from Cut Edge



Notes:

2 hours of work
- re-use asset and interaction
from Step 4

Step 17_Apply and Distribute Silicone Fat



Notes:

84 hours of work
- build liquid / gel simulation,
use material updating and
decals
- create fat tube asset

Step 18_Apply Circular Cutter, Tighten Clamps, Flip Lever, and Rotate Clockwise to Cut



Notes:

22 hours of work
- interactions with tool
during set up prior to cut
- peeling interaction with
circular cutting
- create circular cutter asset

Step 19_Wipe Surface with Cloth



Notes:

6 hours of work
- cloth physics vs. rigid object
with textures
- re-use cloth asset

Step 20 _Apply Brachet 13cm from Cable End



Notes:

6 hours of work
- re-use measuring stick asset
- create brachet tool asset

Step 21 _Apply Circular Cutter and Lubrication to Cut



Notes:

14 hours of work
- snap to cut location vs. freeform cut, rotational cutting interaction
- create circular cutter asset
- re-use fat tube asset

Step 22 _Match Cutting Results Against Printed Diagram



Notes:

2 hours of work
- re-use measuring interaction, snap to measure vs. freeform
- create paper diagram asset

Step 23 _Apply Circular Cutter for Additional Cutting



Notes:

6 hours of work
- re-use circular cutting interaction
- create circular cutting asset

Step 24 _Apply Hammer to Cable End



Notes:

24 hours of work
- denting with hammer contact, texture changes, preventing some occlusion
- re-use hammer asset

Step 25_Measure and Mark Cut Location Against New Cable



Notes:

*2 hours of work
- re-use measuring &
marking interactions with
new cable as asset*

Step 26_Measure and Mark Cable Cut Location 17.5cm from End



Notes:

*1 hour of work
- re-use measuring stick,
knife and cut interaction*

Step 27_Apply Sealing Collar Over Cable



Notes:

*6 hours of work
- sliding interaction
- create sealing collar asset*

*Repeat Steps 3-24
Step 28_Apply Cellpack to Cable Surface



Notes:

*1 hours of work
- re-use cloth & wiping
interaction*

Step 29_Apply GM1 Fat In Between Black and White Surface



Notes:

2 hours of work
- re-use fat tube asset and interaction

Step 30_Spread GM1 Fat Using Plastic Glove



Notes:

10 hours of work
- placing glove on virtual hand, distributing fat with glove hand
- create plastic glove asset

Step 31_Unpackage Cable Connector



Notes:

32 hours of work
- unwrapping plastic from cable connector
- create cable connector asset
- create plastic asset

Step 32_Lubricate Cable Connector Opening with GM1 Fat



Notes:

16 hours of work
- snap finger to insert location vs. freeform, position fat on finger
- re-use cable connector, asset & plastic glove with hand

Step 33_Insert Cable Connector Over Lubricated End of Cable



Notes:

10 hours of work

- *re-use sliding interaction & fat distribution interactions*
- *re-use cable & cable connector assets*

Step 34_Clear Opposite Cable End with Cloth



Notes:

1 hour of work

- *re-use wiping interaction*
- *re-use cloth asset*

Step 35_Repeate Step 29 with the Opposite Cable End



Notes:

1 hour of work

- *re-use fat tube asset & interactions*

Step 36_Insert Cable End into Cable Connector



Notes:

16 hours of work

- *snap cables to alignment vs. freeform, single user to connect cable with virtual character*

Step 37_Cut and Remove White Plastic Guards from Cable Connector with Snipping Pliers



Notes:

8 hours of work

- *Unreal Engine cutting, elastic objects*
- *re-use snipping pliers asset*

Step 38_Remove Plastic Bag Cover from Connector Cable



Notes:

8 hours of work
- removing plastic cover
- create plastic cover asset

Step 39_Apply Drill to Screw Until Stripped, Then Remove Fastener



Notes:

38 hours of work
- drilling, vibrations & positional control,
interaction with hardware
in cable connector housing
- create drill & bits asset

Step 40_Remove Plastic Liners from Holes



Notes:

2 hours of work
- remove object interaction
- create plastic liner assets

Step 41_Lubric Holes with GM-C Fat Wearing Plastic Glove



Notes:

1 hour of work
- re-use fat tube asset & interaction

Step 42_ Insert Lubricated Plug-cap into Holes, then Remove Temporary Plastic Insert



Notes:

- 1 hours of work*
- *placing cap, snap to fit vs. freeform positioning*
 - *already made assets with cable connector unit*

Step 43_ Wipe Excess Lubrication From Surfaces with Cloth



Notes:

- 2 hours of work*
- *re-use cloth asset & wiping interaction with fat*

Step 44_ Fold Over Copper Foil



Notes:

- 4 hours of work*
- *bending copper foil cover*
 - *foil cover asset already created in cable connector unit*

Step 45_ Snap in Red Plastic Cover Plate



Notes:

- 2 hours of work*
- *snap to fit vs. freeform positioning*
 - *red plastic cover asset already created in cable connector housing*

Step 46_ Collect Wires and Wrap with Flat Metal Ribbon



Notes:

24 hours of work
- wire physics, wire shapes,
- grabbing, grouping,
- layering with flat metal
- ribbon
- create flat metal ribbon asset

Step 47_ Apply Tape Over Metal Ribbon and Wires



Notes:

2 hours of work
- re-use tap asset &
- interactions

Step 48_ Apply GM1 Fat on Black Tape Surface



Notes:

2 hours of work
- re-use fat tube &
- interactions

Step 49_ Fold Back Rubber Lip



Notes:

8 hours of work
- folding interaction
- create folding lip asset

Step 50_Slide Rubber Cover Forward Over Wires, Remove Yellow Tap, Then Fold Rubber Lip Over



Notes:

2 hours of work
- sliding interaction, re-use
folding interaction
- re-use tap asset

Step 51_Cut and Remove White Plastic Guards



Notes:

2 hours of work
- re-use snipping pliers &
cutting interaction

Step 52_Insert a Zip-Tie Around the Rubber Cover, Tighten, and Cut the Remainder



Notes:

26 hours of work
- snap to location vs.
freeform feeding, material &
texture change as zip-tie is
clamped
- create zip-tie asset

Step 53_Wipe the Exterior with a Cloth



Notes:

*2 hours of work
- re-use cloth asset &
interaction*

Step 54_Apply Red Tape Around the Base of the Rubber Collar



Notes:

*2 hours of work
- re-use tap asset &
interactions*

Step 55_Apply Black Tape (over the red tape) Around the Base of the Rubber Collar



Notes:

*2 hours of work
- re-use tap asset &
interactions (slight change
with ribbed impressions)*

*Repeat Steps 47-55 on the other side

Step 56_Inspect Final Product



Notes:

*0 hour of work
- inspect finished work*

Closing 1_Scene Overview



Notes:

*2 hours of work
- re-use opening scene
material with different
views & exit animations*

Bijlage 4: Proces graafwerkzaamheden

Om tijdens het grondroeren schade aan kabels en leidingen te voorkomen, wordt een risicogebied geïntroduceerd. Binnen het risicogebied zal de werkmethode van grondroeren aangepast moeten worden. Buiten het risicogebied mag de grond zonder extra voorzorgsmaatregelen worden geroerd.

Risicogebied

Het gebied nabij een kabel of leiding, waarbinnen de grond niet zonder meer geroerd mag worden, is het risicogebied. Binnen het risicogebied is de grondroerder verplicht ervoor te zorgen dat de grondroering veilig wordt uitgevoerd zonder schade aan de aanwezige kabels en leidingen.

Afbakening van het risicogebied

- Het gebied 1,00 meter (links-rechts) uit de buitenkant en 0,50 meter boven de buitenkant van de kabel of leiding, waarvan de werkelijke ligging bepaald (en in het veld gemarkeerd) is.
- Het gehele graafprofiel als aanwezige kabels en leidingen niet vooraf zijn gelokaliseerd.

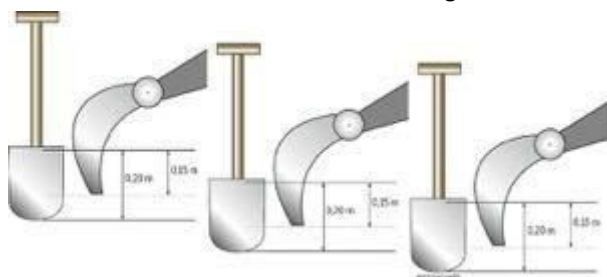
Werkmethoden binnen het risicogebied

Grondroeren binnen het risicogebied is mogelijk door de diverse lokalisatiemethoden (bijvoorbeeld voorsteken en scannen) te combineren met het grondroeren.

Graven met voorsteken

Het graven met voorsteken is een veelgebruikte grondroermethode, die op onderstaande wijze wordt uitgevoerd:

- steek handmatig voor over een diepte van maximaal 0,20 meter. Doe dit ter plaatse van de kabel of leiding als deze is gelokaliseerd en gemarkeerd of steek handmatig aansluitend van elkaar over het gehele oppervlak van de graafbak;
- verwijder de voorgestoken laag over een diepte van maximaal 0,15 meter door te schrapen met de graafbak van de machine;
- herhaal het bovenstaande tot de kabel of leiding wordt gevonden of de voorziene ontgraving is gerealiseerd;
- zodra een kabel of leiding is gevonden, wordt deze handmatig vrij gegraven, zodanig dat hij zichtbaar is;
- let bij het handmatig steken met de schop op aansluitleidingen, deze zijn kwetsbaarder en beschadigen daardoor sneller.



Alternatieve methoden

Alternatieve methoden bij het grondroeren binnen het risicogebied die gecombineerd toegepast kunnen worden met lokalisatiemethoden, zijn onder andere de grond wegborstelen of wegzuigen.

Extra maatregelen

Tijdens het grondroeren kan het nodig zijn om extra voorzorgs- en/of veiligheidsmaatregelen te nemen om schade aan kabels en leidingen te voorkomen. Hierover is dan vooraf contact geweest met de netbeheerder. Deze maatregelen zijn in de werkinstructie omschreven. Als extra maatregelen kan gedacht worden aan onder andere:

- het beschermen van onderdelen die bij de uitvoering van het werk zijn vrijgegraven tegen alle vormen van beschadiging;
- het beschermen van talud tegen afkalving, bezwijken;
- het ondersteunen of ophangen van kabels of leidingen en het (gedeeltelijk) wegvallen van steundruk in bochten wanneer deze ondergraven moeten worden;
- het tijdelijk verplaatsen van een kabel of leiding;
- het tijdelijk spannings- of drukloos maken van een kabel of leiding;
- het aanbrengen van voorzieningen bij bijvoorbeeld vrijgekomen lasmoffen, afsluiters, versterkers en kwelschermen. Wanneer de situatie onduidelijk of complex is, is een deskundige uitvoering volgens de instructies van de netbeheerder vereist.

Zijn er extra voorzorgs- en/of veiligheidsmaatregelen getroffen, controleer deze dan aan het begin en het einde van iedere dag en herstel deze indien nodig alvorens verder te gaan met het grondroeren.

Afrondende werkzaamheden

Rond de grondroeringen zorgvuldig af door:

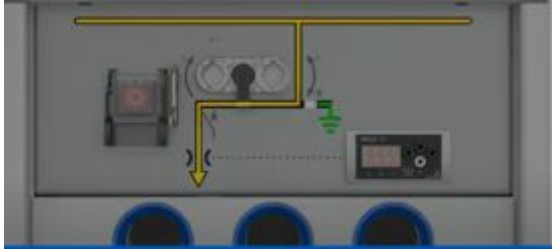
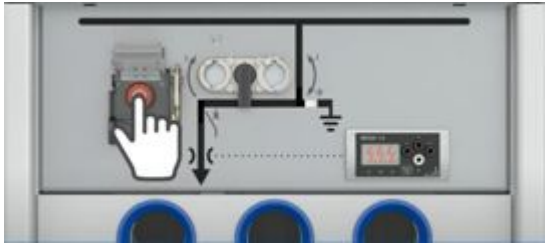

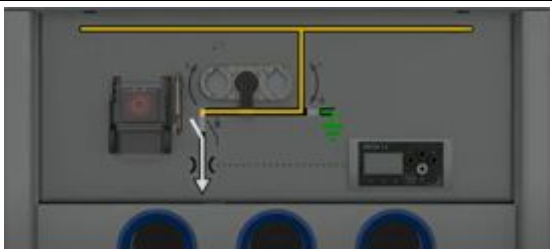
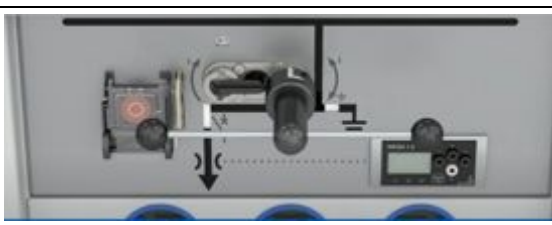
- tijdelijk verplaatste kabels en leidingen terug te leggen in de oorspronkelijke ligging, evenals afdekband enzovoort, en bevestig dit door het herleidbaar vast te leggen;
- de grond rond kabels en leidingen zorgvuldig aan te vullen en af te werken:
 - in enkele lagen aanvullen en verdichten;
 - puin of ander materiaal dat beschadigingen teweeg kan brengen niet direct op, onder of naast net onderdelen aanbrengen;
 - verwijder de ondersteunende onderdelen of hulpconstructies;
 - verdicht de grond ook onder de kabel of leiding.


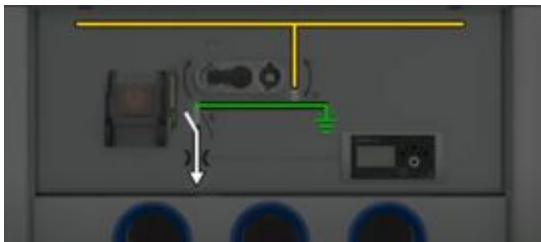



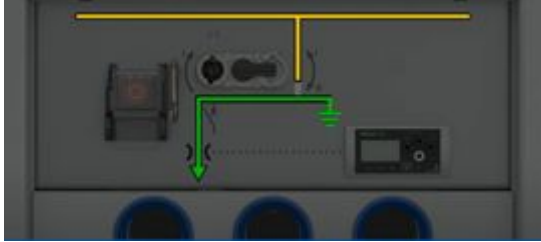
Schade


Wordt er onverhoopt toch schade toegebracht aan een kabel of leiding of wordt een bestaande schade aan een kabel of leiding ontdekt (u ruikt bijvoorbeeld gas)?

- Werk volgens het calamiteitenplan uit uw V&G-dossier om de veiligheid te waarborgen en gezondheidsrisico's te beperken, en
- neem contact op met de netbeheerder.

Bijlage 5: Proces schakelen middenspanning

Afschakelen van Xiria Eaton schakelkast.			
	Plaatje	Stap	Omschrijving
1		Bedrijfsstand	De schakelkast staat in bedrijfsstand.
2		De vermogensschakelaar uitschakelen	Lift de beschermkap omhoog en druk de rode onderbrekingsknop in.
3		De vermogensschakelaar ontkoppelt zichzelf.	
4		Veiligheid	Controleer uitstand
5		2 standen – om schakelaar naar de neutrale stand	Verplaats de plastic strip naar de linkerkant en steek de sleutel in.

6		Schakelen naar neutrale stand	Draai de sleutel rechtsom om de neutrale stand te activeren.
7		Veiligheid	Controleer neutrale stand
8		Veiligheid	Controleer of de 2 standen schakelaar omhoog is geschakeld. Controleer alle 3 de schakelaars door middel van het kijkglasje.
9		Voorbereiding kabelaarding vermogensschakelaar	Verplaats de plastic strip naar de rechterkant en steek de sleutel in.
10		Kabelaarding	Draai de sleutel rechtsom om de kast te aarden.
11		Veiligheid	Controleer aardingsstand.

12		Veiligheid	Trek de vergrendeling naar onder en maak deze vast met een persoonlijk slot.
13			De schakelkast is vergrendeld en geaard. Er kan veilig onderhoud worden verricht aan de kabel en kast.

Tabel 4: Proces kabelmof laagspanning

Bijlage 6: Krachtberekening frame schakelrobot

Berekeningen op de constructie van de schakelrobot zijn gemaakt door middel van SolidWorks Simulation Studio.

Voor het ontwerp van de schakelrobot is EN AW-1200 als materiaal gebruikt. Dit is een veel gebruikte legering met goede thermische en mechanische eigenschappen. In de onderstaande tabel staan de eigenschappen van het materiaal.

Property	Value	Units
Elastic Modulus	7e+10	N/m ²
Poisson's Ratio	0.3897	N/A
Shear Modulus	2.7e+10	N/m ²
Mass Density	2700	kg/m ³
Tensile Strength	75000000	N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	25000000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	2.4e-05	/K

Tabel 5 : materiaaleigenschappen Aluminium Solid Works

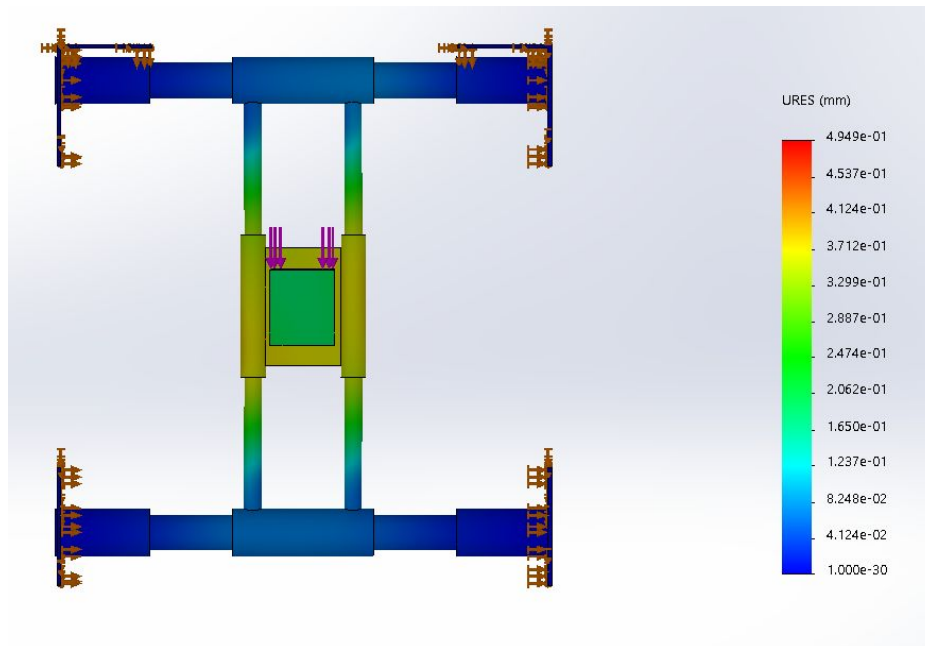
Instellingen simulatie

- De robot is ingeklemd op een enkele kast (lengte 406 mm en de hoogte 528 mm).
- De robot wordt op de voorkant van de schakelkast geplaatst. De klemplaten aan de robot zijn in de simulatie gedefinieerd als een gefixeerd punt. De klemplaten kunnen na het klemmen op de schakelkast in theorie niet meer bewegen.
- Op de as van de motor is er een moment gedefinieerd van 30N/m. Het moment is geplaatst op het uiteinde van de as.
- De stappenmotor en de besturing hebben samen een gewicht van 11 kilogram. In de simulatie is er een kracht gedefinieerd van 110N op de elektromotor. Deze kracht staat gelijk aan de zwaartekracht over de gehele robot.

Uitkomsten simulatie

Vervorming (schaal 1:1)

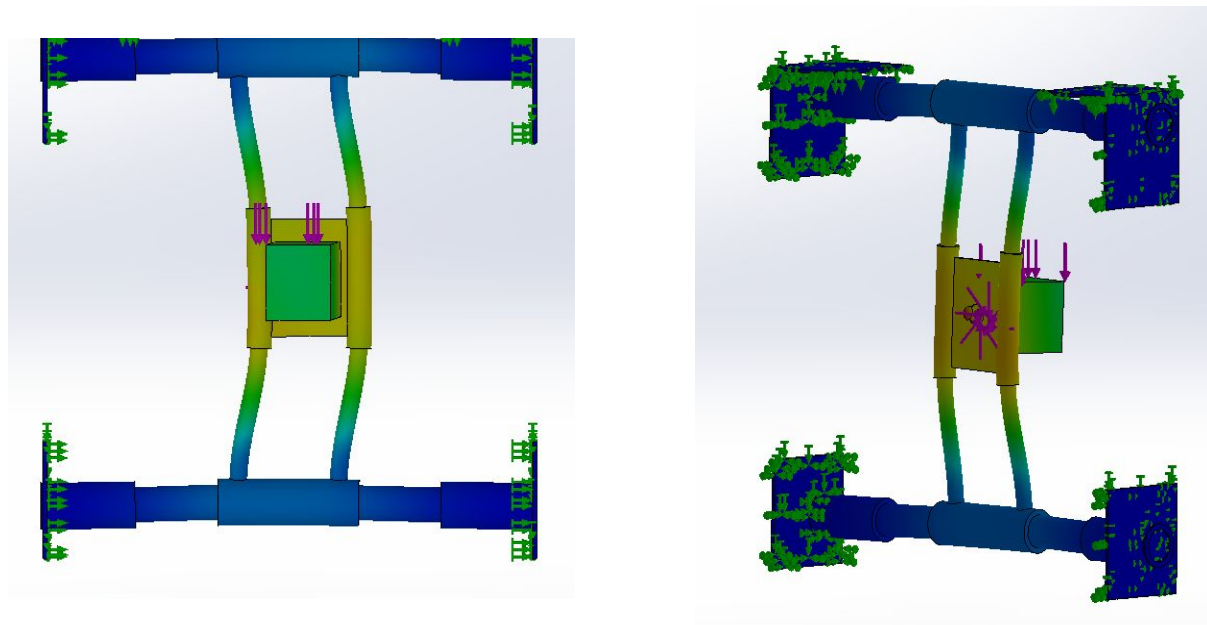
De vervorming is weergegeven in afbeelding 22. De schaal in deze afbeelding is 1:1 met de werkelijkheid. In het diagram naast het model is de vervorming in mm af te lezen. De maximale vervorming bij dit model met de opgelegde krachten bedraagt 0.45 mm. De vervorming is minimaal en het materiaal blijft in het elastische gebied. Er ontstaat geen permanente vervorming.



Afbeelding 22: Vervorming schakelrobot schaal 1:1

Vervorming (schaal 1:50)

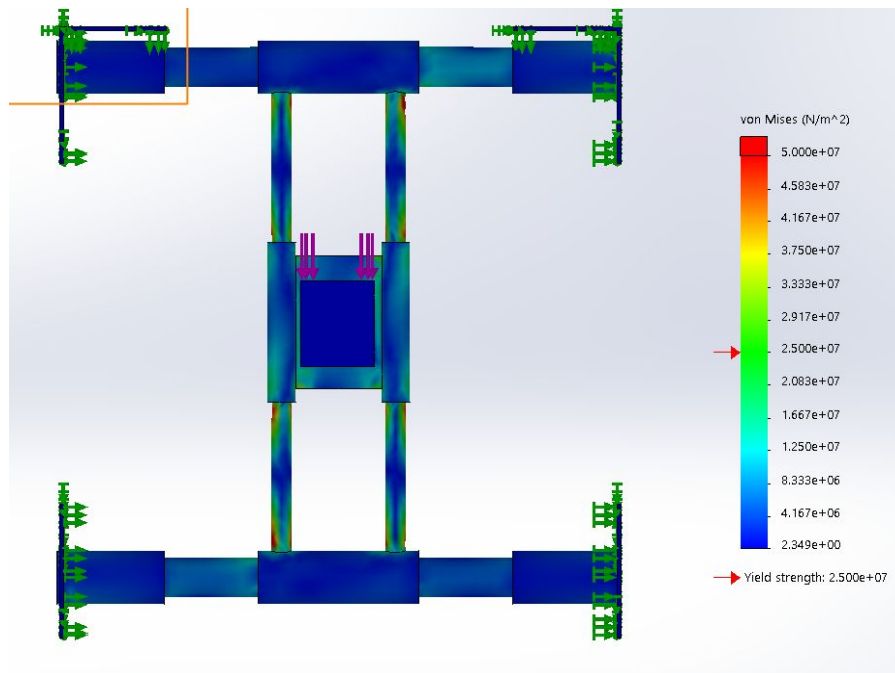
In afbeelding 23 is de vervorming weergegeven op een grotere schaal. De vervorming komt niet overeen met de werkelijkheid, maar geeft een goed beeld van de totale vervorming. Alle afstanden van de vervorming zijn vermenigvuldigd met vijftig.



Afbeelding 23: vervorming schakelrobot schaal 1:50

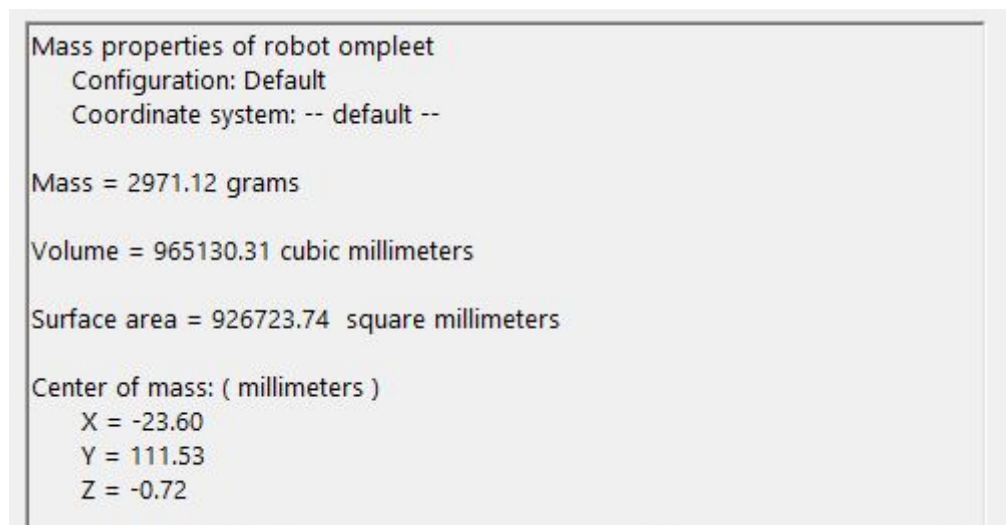
Stress

De rekgrens van het materiaal is 2.5×10^7 , n/m². Wanneer het materiaal hoger dan deze waarde wordt belast treedt er permanente vervorming op. In afbeelding 24 is af te lezen dat de spanning in het ontwerp beneden het maximum blijft van 2.5×10^7 .



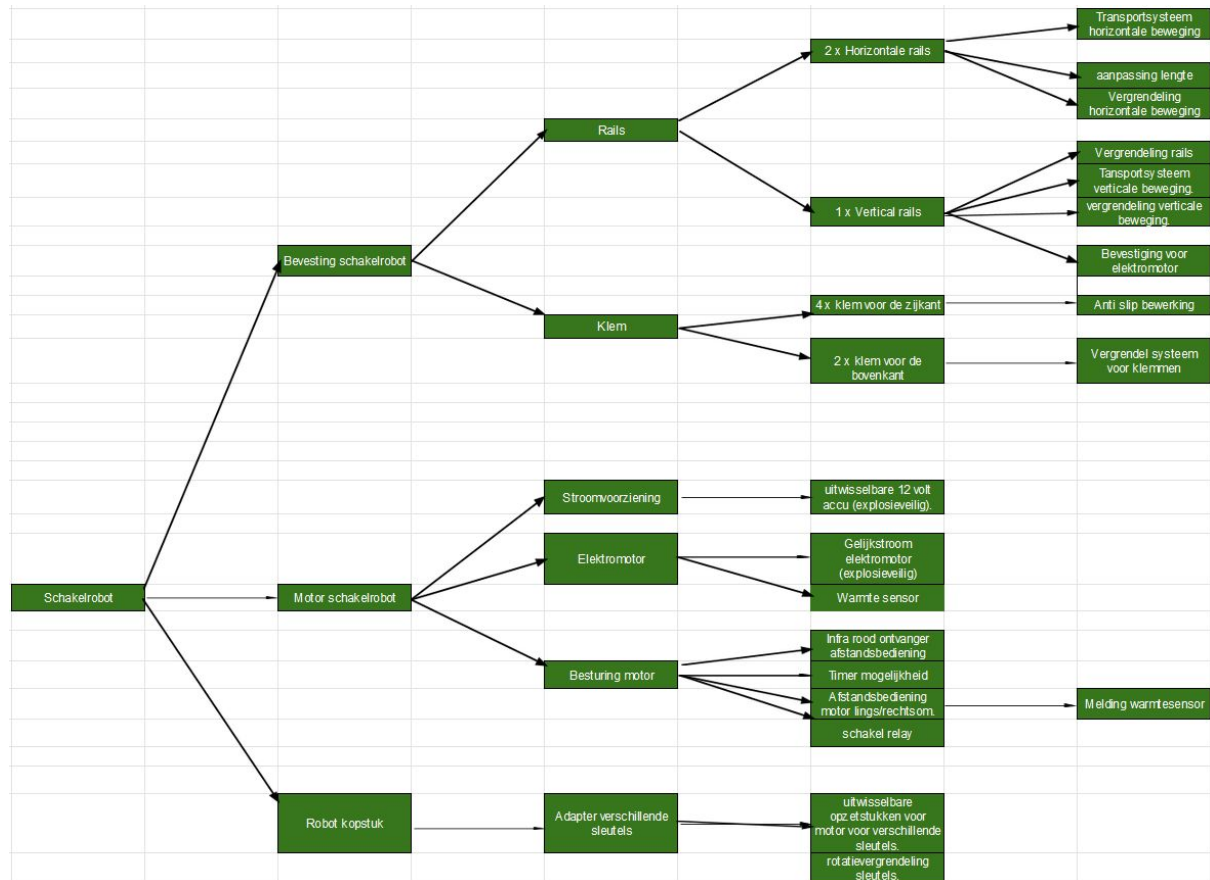
Afbeelding 24: Stress op schakelrobot

Totale massa en volume



Afbeelding 25: massa en volume schakelrobot

Bijlage 7: Work Breakdown Structure



Afbeelding 25: Work breakdown structure.