

2014•2015
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: energie

Masterproef

Haalbaarheidsstudie naar het inzetten van AGV's in een flexibele werkvloeromgeving

Promotor :
Prof. dr. ir. Eric DEMEESTER

Promotor :
ing. JAN KEMPENEERS

Bart Evens , Mitras Van Aken

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: energie

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2014•2015
Faculteit Industriële
ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: energie

Masterproef

Haalbaarheidsstudie naar het inzetten van AGV's in een
flexibele werkvloeromgeving

Promotor :
Prof. dr. ir. Eric DEMEESTER

Promotor :
ing. JAN KEMPENEERS

Bart Evens , Mitras Van Aken

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële
wetenschappen: energie*

Woord vooraf

Beste lezer,

Deze scriptie handelt over ons eindwerk voor Sirris te Diepenbeek. Wij hebben deze masterproef volbracht voor het behalen van ons diploma van industrieel ingenieur elektromechanica met als focus automatisering.

De keuze van het onderwerp is tot stand gekomen vanuit onze interesse in techniek en automatisering. Alles rond AGV's is nog vrij nieuw, het komt nog niet op vele plaatsen voor. Daarenboven is het iets wat niet in het curriculum voorkomt maar wat ons wel interessant lijkt om hierover onze kennis te verdiepen. Het brengt veel mogelijkheden met zich mee voor later. Onze gemeenschappelijke interesse, gedrevenheid en het leren van nieuwe systemen en het aangaan van een uitdaging leidde ons tot deze keuze. Dit project gaf ons bovendien een unieke kans om te laten zien wat we de voorbije jaren allemaal geleerd hebben. Ook bood het ons een voorbereiding op het werkveld.

Voor het tot stand komen van deze masterproef zouden we graag een woord van dank richten aan het onderzoekscentrum Sirris te Diepenbeek. Bovendien wensen we alle mensen te bedanken, die rechtstreeks of onrechtstreeks hebben bijgedragen tot de voltooiing van dit eindwerk, in het bijzonder:

Ing. Jan Kempeneers en Ing. Filiep Vincent , die tijdens het verloop van onze masterproef ons hebben bijgestaan met advies en aanmoedigingen en tevens onze externe promotoren zijn;

Dr. Ir. Eric Demeester, docent aan de universiteit van KU Leuven en interne begeleider, voor de ondersteuning en advies bij onze masterproef;

Patrick Truyens en Bram Mariën-Bouwens van MABO nv te Lier voor het ter beschikking stellen van een AGV en de ondersteuning bij de implementatie.

Ook danken wij onze ouders voor de morele en financiële steun, omdat ze ons de mogelijkheid hebben gegeven om de studies van master in de automatisering te voltooien.

Verder zijn we alle medewerkers van Sirris dankbaar voor hun sympathie, hun vriendelijkheid en de goede sfeer, Kristof Martens voor het praktisch realiseren van benodigdheden voor de demo-opstelling en Rik Beliën voor de nodige software aanpassing aan de KUKA-robot.

Tenslotte wensen wij u veel leesplezier en een leerrijke ervaring toe.

Bart Evens
Mitras Van Aken

Inhoudsopgave

LIJST VAN TABELLEN	5
LIJST VAN FIGUREN	7
ABSTRACT	11
1 INLEIDING	13
1.1 SITUERING	13
1.2 PROBLEEMSTELLING	14
1.3 DOELSTELLINGEN	17
1.4 MATERIAAL EN METHODE	18
1.5 BIJDAGEN	19
1.6 OVERZICHT	19
2 STAND VAN ZAKEN	21
2.1 WAT IS EEN AGV ?	21
2.2 GESCHIEDENIS.....	22
2.3 CONTROLE SCHEMA MOBIELE ROBOT	23
2.4 SOORTEN AGV'S.....	25
2.5 SECTOREN.....	27
2.6 VERGELIJKING VAN EEN AGV MET EEN TRADITIONELE HEFTRUCK	28
2.7 JURIDISCH ASPECT.....	29
3 AGV-SYSTEEM.....	31
3.1 ONDERDELEN IN EEN AGV SYSTEEM	31
3.2 STURING VAN HET SYSTEEM EN COMMUNICATIE	32
3.3 VERKEERSCONTROLE.....	33
3.4 PROGRAMMA	34
4 HARDWARE COMPONENTEN VAN EEN AGV.....	35
4.1 TOESTEL	35
4.2 BESTUREN VAN DE AGV	37
4.3 BATTERIJ	38
4.4 NAVIGATIE.....	40
4.5 PAD GELEIDING	44
5 IMPLEMENTATIE IN EEN KMO-OMGEVING.....	45
5.1 AGV IN DE PRAKTIJK.....	45
5.2 AANPASSINGEN WERKPLAATS SIRRIIS	48
5.3 DEMO-OPSTELLING	56
5.4 PROCESVERLOOP	57
5.5 AANPASSINGEN AAN STATION.....	58
5.6 AGVMASTER	59
5.7 HOE WERD HET PROGRAMMA OPGEBOUWD?	64
5.8 SIMULATIEPROGRAMMA	67

6	<u>EVALUATIE EN AGV SELECTIE</u>	<u>69</u>
6.1	STAPPEN TIJDENS IMPLEMENTATIE	69
6.2	PROBLEMEN EN MOEILIKHEDEN DIE WIJ ZIJN TEGENGEKOMEN	71
6.3	LEVERANCIERS VAN AGV-SYSTEMEN	72
6.4	KOSTENSTUDIE.....	73
6.5	FLOWCHART	75
7	<u>BESLUIT</u>	<u>79</u>
8	<u>BIBLIOGRAFIE</u>	<u>81</u>
9	<u>BIJLAGEN</u>	<u>85</u>

Lijst van tabellen

Tabel 1: Overzicht prijzen van verschillende types batterijen	39
Tabel 2: Overzicht navigatie	43
Tabel 3: Communicatie RBJ→AGVmaster.....	61
Tabel 4: Communicatie AGVMaster→RBJ	62
Tabel 5: Communicatie verloop RBJ en AGVMaster	63
Tabel 6: Variabelen pallet.....	66
Tabel 7: Variabelen magazijn	66
Tabel 8: Leveranciers.....	72
Tabel 9: Winst AGV.....	74

Lijst van figuren

Figuur 1: AGV: automatisch geleid voertuig [1]	13
Figuur 2: Opstelling en mogelijk traject van laadsysteem naar meetsysteem (blauwe lijn).....	15
Figuur 3 : Draai-freescentrum met beladingsrobot en magazijn	15
Figuur 4: Meetsysteem.....	15
Figuur 5: Voorbeeld van een AGV voor transporteren van palletten[4].....	21
Figuur 6: De eerste AGV (1953) door Barrett Electronics[5].....	22
Figuur 7 : Controleschema mobiele robot [7]	23
Figuur 8 :Heftruck AGV [9]	25
Figuur 9: Tow vehicle die een kar vooruit trekt [10].....	25
Figuur 10: Unit load vehicles (links zonder lading en rechts met lading) [11]	26
Figuur 11:Custom vehicle AGV met als lading het frame van een bulldozer [14].....	26
Figuur 12: AGV voor het transporteren van vrachtwagens via rail [17]	29
Figuur 13: AGV voor het transporteren van cabines via lijndetectie[17]	29
Figuur 14: Componente van AGV-systeem[18].....	31
Figuur 15: OPC communicatieschema [19]	32
Figuur 16: SICK safety sensor [22]	34
Figuur 17: Hardware componenten van een AGV [23]	35
Figuur 18:Componenten aangesloten aan de controller van de AGV[24]	36
Figuur 19: differentiële sturing [25]	37
Figuur 20: Vrachtwagen in schaar[26]	37
Figuur 21: sturende wielen [25]	37
Figuur 22: draadgeleide navigatie(inductie)[30]	40
Figuur 23: Optical Track Guidance[31]	40
Figuur 24: Traagheidsnavigatie[8]	41
Figuur 25: grid navigatie [8]	42
Figuur 26: Lasergeleide navigatie met reflector en laser scanner[33].....	43
Figuur 27: Reflector en laserscanner[16]	43
Figuur 28: onderdelen AGV MABO.....	46
Figuur 29: tekening gevaren zones	48
Figuur 30: mechanise bumpersensor	48
Figuur 31: Theodoliet [34]	48
Figuur 32: Belichte reflector	48
Figuur 33: Constructie op de AGV voor het tekenen van lijnen.....	49
Figuur 34: Nauwkeurigheid van de AGV door middel van lijnen te tekenen	49
Figuur 35: Plattegrond van werkplaats Sirris met locaties van reflectoren en meetpunten	50
Figuur 36:Gemeten coördinaten reflectoren	51
Figuur 37: Origineel assenstelsel.....	52
Figuur 38: Geroteerd assenstelsel.....	52
Figuur 39: Getranslateerd en geroteerd assenstelsel	52
Figuur 40: CNC-cel met beladingsrobot	53
Figuur 41: Meetcel met beladingsrobot.....	53
Figuur 42: Magazijn	53
Figuur 43: Pallet in pallethouder	54
Figuur 44: Pallethouder met pallet en vorken AGV	55
Figuur 45: Magazijn	55
Figuur 46: Pallethouder met pallet	55
Figuur 47: Afschuining pallethouder	56
Figuur 48: Procesverloop in de demo-opstelling	56
Figuur 49: Lay-out van communicatie tussen de verschillende machines	57
Figuur 50: txt RBJ→AGVMaster	61
Figuur 51: txt AGVMaster→RBJ	62
Figuur 52: Visueel communicatie	63

Figuur 53: Communicatieverloop tijdens het proces.....	64
Figuur 54 : Grondplan van Sirris in AGVMaster.....	67
Figuur 55: Stations (rood bolletje), nodes (groen bolletje) en de blauwe lijn geeft de afteleggen route weer.....	68
Figuur 56: interface van simulatie van de communicatie	68
Figuur 57: flowchart voor de keuze van navigatie systemen.....	76
Figuur 58: flowchart voor de keuze van energie van de AGV	77
Figuur 59: flowchart voor selectie van het model van AGV.....	78

Verklarende woordenlijst

AGC	Automated guided cart (goedkoper dan AGV)
AGV	Automatisch geleidvoertuig
CAN	Controller area network
CNC	Computer numerical control
FILO	First in, last out
FMS	Flexible manufacturing system
FOF	Factory of the future
FTP	File transfer protocol
KMO	Kleine en middelgrote onderneming
LGV	Laser guided vehicle
NAS	network area storage
NTP	Network time protocol
OLE	Object linking and embedding
OPC	OLE for process control
ROI	Return on investment
SLAM	Simultaneous localization and mapping
TCP	Transmission control protocol
UDP	User datagram protocol
UV	Ultraviolet

Abstract

Het onderzoekscentrum Sirris te Diepenbeek onderzoekt innovatieve technologieën voor Belgische bedrijven (voornamelijk KMO's) die actief zijn in de technologische sector. Vele KMO's zijn nog niet vertrouwd met AGV-systemen. Daarom doet deze masterproef onderzoek naar de haalbaarheid van AGV's in KMO-productieomgevingen. Ook wordt een AGV geïmplementeerd in een demo-opstelling. Het doel is te bestuderen welke mogelijkheden de commercieel beschikbare AGV's kunnen bieden. Daarnaast achterhaalt de implementatie waarom deze technologie nog niet veel voorkomt bij KMO's: door evaluatie van de demo wordt onderzocht hoe flexibel het systeem is en welke programmatiekennis vereist is om aanpassingen te kunnen doen.

Tijdens de masterproef werd contact opgenomen met enkele leveranciers van AGV's. MABO E&A nv heeft een AGV ter beschikking gesteld voor implementatie in de demo-opstelling. Bij de implementatie is de projectspecifieke programmatie van de AGV in deze opstelling aangepast met behulp van de programmeertaal Python.

Uit het gevoerde onderzoek volgt dat flexibele systemen reeds beschikbaar zijn voor KMO's, maar dat voor een gebruiker zonder kennis van programmeren het toevoegen van routes, machines en handelingen nog niet mogelijk is. Het aanpassen van bestaande routes is wel eenvoudig. Om het gebruik van AGV's bij KMO's te stimuleren moet het systeem gebruiksvriendelijker aangepast kunnen worden, waarvoor enkele aanbevelingen worden gedaan die in verdere studies dienen te worden uitgewerkt.

Abstract

The research centre SIRRIS in Diepenbeek performs research on innovative technologies for SMEs in Belgium that are active in the technology sector.

Many SMEs are not familiar yet with AGV-systems. Therefore this thesis investigates on the one hand the feasibility of AGVs in an SME production environment. On the other hand an AGV is integrated in a demo setup.

The goal is to check the possibilities that commercially available AGVs can offer. This implementation also allows to evaluate why this technology is still not widely spread in SMEs. Through the evaluation of the demo, it can be examined how flexible the system is and what programming knowledge is required to adapt the software.

During the research several suppliers of AGVs have been contacted. For the implementation in the demo system MABO E&A nv has kindly made available an AGV. The software is adapted to the demo by means of the programming language Python.

The research shows that flexible AGV systems already exist on the market for SMEs, but that for a user without programming knowledge it is still too difficult to add new routes, machines or other actions. Adapting existing routes can easily be done on the contrary. To stimulate the use of AGVs at SMEs, adapting the systems should be made more user friendly, for which some recommendations are given that need to be worked out in further studies.

1 Inleiding

1.1 Situering

Als laatstejaarsstudenten van de opleiding Master Elektromechanica focus energie/automatisering aan de UHasselt/KU Leuven hebben wij de mogelijkheid gekregen om onze masterproef uit te voeren in samenwerking met Sirris. Sirris is het collectief centrum van de Belgische technologische industrie en helpt bedrijven bij het invoeren van technologische innovaties. Sirris heeft zeven vestigingen verdeeld over België en telt 140 technologie experts. Deze masterproef situeert zich in de vestiging te Diepenbeek.

KMO's van de toekomst hebben te maken met kleinere series, steeds meer nieuwe producten, prijzen die onder druk staan en een tekort aan gekwalificeerd personeel. Hierrond werkt Sirris samen met Agoria aan het onderzoek van de “*factory-of-the - future*”(FOF).

Sirris Diepenbeek werkt aan “*Smart factories*” onder de koepel van deze studie FOF. Om hoger vermelde problemen te voorkomen, hebben we “*Smart factories*” nodig: dit zijn fabrieken die flexibel, veilig en grotendeels autonoom kunnen produceren. Onze masterproef valt hieronder.

Onze opdracht bestaat uit het maken van een haalbaarheidsstudie naar de implementatie van een AGV (*Automated Guided Vehicle*) in een KMO-omgeving. AGV-systemen zijn volledig automatische transportsystemen met onbemande voertuigen. AGV's verplaatsen automatisch allerlei goederen op een veilige manier in productie-, magazijn- en distributieomgevingen.

Figuur 1 toont een AGV, gelijkaardig aan diegene die geïmplementeerd is bij Sirris.



Figuur 1: AGV: automatisch geleid voertuig [1]

Dankzij recente evoluties in de sturing op het vlak van hardware en software van AGV-systemen groeit de interesse ook bij KMO's. Zij worden typisch geconfronteerd met een flexibele werkomgeving maar hebben beperkte programmeerkennis in huis. Een gebruiksvriendelijk besturingssysteem, alsook een flexibel systeem is voor deze bedrijven een vereiste[2].

1.2 Probleemstelling

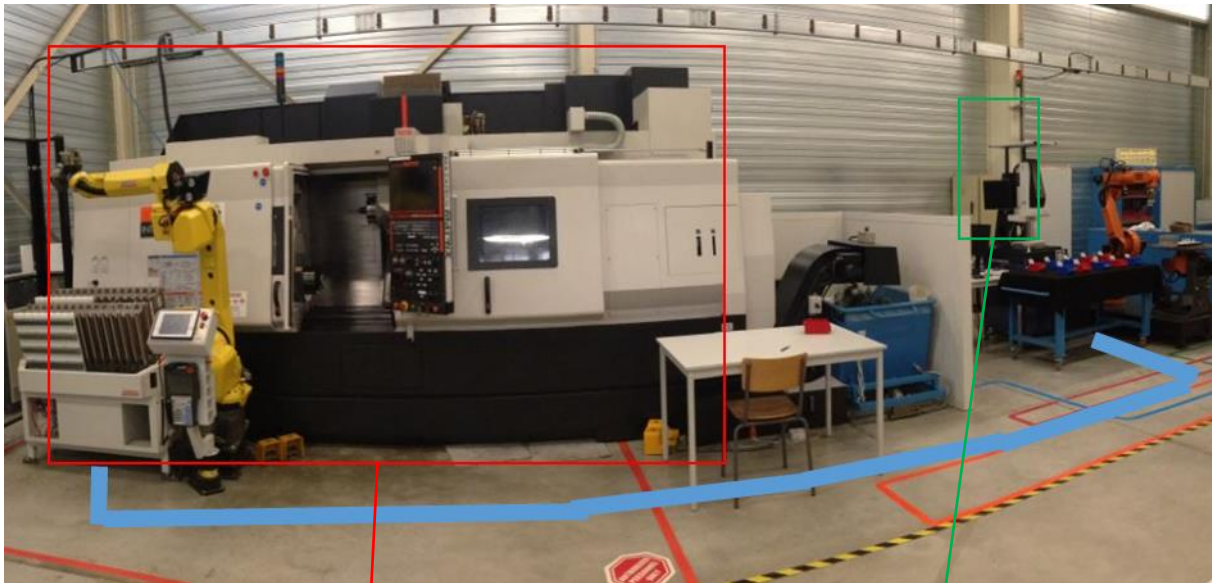
Operatoren aan een machine besteden naast de taken die een rechtstreeks waarde toevoegen aan het product, veel tijd aan het halen en afvoeren van producten. In theorie kan dit worden uitgevoerd door een AGV-systeem. Bij KMO's zijn dergelijke systemen nog niet ingeburgerd.

Bij Sirris is een testopstelling die het volgende probleem van een KMO simuleert. Een KMO heeft enkele CNC-machines met een automatisch beladingssysteem voor werkstukken, waarmee producten uit allerlei kunststoffen en metalen kunnen worden bewerkt. In sommige gevallen wenst de klant producten met een zeer hoge nauwkeurigheid. Meerder factoren beïnvloeden de nauwkeurigheid van het product. De belangrijkste factoren zijn de temperatuur van de machine, die niet constant is tijdens de productie en de slijtage van het snijgereedschap, die optreedt tijdens de productie. Om toch aan de vereiste nauwkeurigheid te kunnen voldoen, is het noodzakelijk om de afgewerkte producten te controleren en indien nodig de parameters van de CNC-machines bij te sturen. Omdat niet voor elk machine een meetsysteem voorzien kan worden, moeten de werkstukken van de CNC-machines naar het meetsysteem getransporteerd worden en dit liefst automatisch.

Een ander probleem is dat de magazijnen van de beladingssystemen van de CNC-machines maar een beperkte capaciteit hebben en dat werkstukken dus na een bepaalde tijd moeten worden bijgevuld. Bij iedere CNC-machine moet een beladingssysteem met lokaal magazijn staan.

Op onderstaande foto's is de testopstelling te zien met een close-up van het draaifreescentrum en de meetmachine waartussen de AGV werkstukken dient te transporteren. Ook staat op Figuur 2 een mogelijke route voor een AGV.

1 Inleiding



Figuur 2: Opstelling en mogelijk traject van laadsysteem naar meetsysteem (blauwe lijn)



Figuur 3 : Draai-freescentrum met beladingsrobot en magazijn



Figuur 4: Meetsysteem

Met de huidige AGV-systemen kunnen dergelijke problemen opgelost worden, maar deze systemen zijn nog niet voldoende aangepast voor KMO's. Zo is het momenteel nog niet mogelijk om de routes eenvoudig aan te passen. Dit is nodig omdat de *lay-out* van de werkomgeving bij KMO's regelmatig verandert. Ook zijn AGV's minder flexibel dan gewone heftrucks, daar waar flexibiliteit in een KMO-omgeving toch wenselijk is.

De volgende problemen vormen nog vaak een grote drempel die KMO's weerhouden van veranderingen.

1. De meeste KMO's niet de tijd of het kapitaal om zich met dergelijke innoverende projecten bezig te houden. Hierdoor hebben ze meestal geen weet van de mogelijkheden op de markt en dat dus zo mogelijks een oplossing kan bestaan voor de klassieke knelpunten in de productie.
2. De technologie nog zeer nieuw waardoor ondernemers nog met een aantal vragen zitten zoals: ROI, veiligheid en acceptatie door werknemers.

3. Op het vlak van de implementatie zijn bij bepaalde systemen ook enkele aspecten die het inzetten bij KMO's bemoeilijken
Zo is de padwijziging bijvoorbeeld wel flexibel, maar is het toevoegen van stations en obstakelontwijking nog steeds een probleem.

Al deze aspecten zullen besproken worden in deze masterproef.

Sirris wil graag onderzoeken welke de uitdagingen en voordelen zijn bij het inzetten van een AGV in een typische KMO productie, zodat het op basis hiervan de bedrijven kan adviseren. Bovendien wil Sirris achterhalen waar nog verbeteringen mogelijk en/of noodzakelijk zijn, om zo via verdere onderzoeken hiervoor een oplossing te vinden.

Indien de KMO's in België blijven investeren in nieuwe ontwikkelingen zoals AGV-systemen, kunnen ze efficiënter werken, waardoor ze beter kunnen concurreren met buitenlandse bedrijven.

1.3 Doelstellingen

De hoofddoelstelling van deze masterproef is de technische haalbaarheid van flexibele AGV-systemen te onderzoeken in KMO's. Dit is een zeer uitgebreide opgave en daarom wordt deze opgedeeld in deeldoelstellingen.

Een eerste doelstelling is het uitvoeren van een literatuurstudie. Aan de hand van het eisenpakket onderzoekt deze masterproef welk AGV-systeem ideaal is voor de demo-opstelling en in hoeverre deze afwijkt van het door Sirris gebruikte systeem.

Een tweede doelstelling bestaat uit het maken van een vragentabel, die dan wordt omgevormd naar een beslissingsboom. Op die manier kunnen KMO's het ideale AGV-systeem kiezen voor hun toepassing. In de beslissingsboom wordt onder andere rekening gehouden met de draagkracht, het type batterij en de flexibiliteit van de verschillende navigatiesystemen.

Een derde doelstelling betreft de fysische implementatie van een AGV-systeem dat de bewerkte stukken van het draaifreescentrum op een Europallet plaatst met behulp van een beladingsrobot [Zie Figuur 3]. De pallet wordt getransporteerd met een AGV tot bij het [zie Figuur 4] meetsysteem voor kwaliteitscontrole. Deze implementatie wordt onderverdeeld in onderstaande stappen:

1. Een geschikt AGV-systeem kiezen voor deze toepassing;
2. De infrastructuur geschikt maken voor de AGV;
3. Kennismaken met AGV en deze tussen twee vaste punten laten bewegen;
4. AGV laten communiceren met andere machines (beladingsrobot en meetsysteem).

Enkele optionele doelstellingen bestaan uit het verbeteren van het besturingssysteem zodat dit gebruiksvriendelijker wordt en de AGV in staat is om obstakels te ontwijken. De AGV gebruiksvriendelijker maken zodat een operator zonder programmeerkennis met enkele handelingen wijzigingen kan aanbrengen aan het AGV-systeem.

1.4 Materiaal en methode

Om een AGV te ontwikkelen die flexibel en gebruiksvriendelijk is, moet gebruik gemaakt worden van de nodige software, hardware en oplossingsstrategieën. Afhankelijk van de fase van de masterproef zullen we gebruik maken van verschillende methoden of strategieën.

Als eerste moet een studie uitgevoerd worden om zo te weten welke de mogelijkheden en beperkingen zijn, welke systemen en producten reeds op de markt zijn. Dit wordt bereikt door het uitbreiden van onze kennis over dit onderwerp, door het maken van een literatuurstudie. Daarnaast worden een aantal fabrikanten bezocht. Om zo een beeld te bekomen vanuit een ander standpunt. Vervolgens plannen we hetzelfde te doen bij de gebruikers van AGV's, om zo op een objectieve manier te weten te komen wat de tekortkomingen en problemen van de huidige AGV-systemen zijn.

Hieruit wordt geconcludeerd welk type AGV voor welke toepassing ideaal zou zijn. Met de verworven kennis kan dan een beslissingsboom worden opgesteld.

Een volgende fase van de masterproef is het zoeken naar een AGV die zo goed mogelijk aansluit bij de AGV die ideaal zou zijn voor de demo-opstelling bij Sirris. Hiervoor moeten we zowel rekening houden met de software als met de hardware. De software geeft het AGV-systeem de nodige intelligentie. Bij het AGV-systeem van MABO nv was dit met behulp van de programmeertaal Python. De hardware is in ons geval de AGV met sensoren en actuatoren. Beide moeten kunnen communiceren met elkaar voor een goed resultaat. Met behulp van contacten met constructeurs trachten we een AGV te voorzien. Deze AGV wordt dan vergeleken met de "ideale AGV", om zo na te gaan welke beperkingen deze heeft ten opzichte van de "ideale" AGV.

Eens de software gekozen is, kan gestart worden met programmeren van de project-specifieke delen. Het volledige AGV-systeem zal eerst getest worden aan de hand van een simulatie. Dit wordt gedaan door voor elke machine een stuk code te schrijven.

Daarna kan de AGV geïmplementeerd worden in de werkplaats van Sirris, waardoor we beter vertrouwd raken met de software en hardware van de AGV. Hiermee kan dan gestart worden om de AGV eerst simpele handelingen te laten uitvoeren. In een volgend stadium wordt de communicatie met andere machines opgezet.

Bij de optionele doelstelling wordt de flexibiliteit en de gebruiksvriendelijkheid van de AGV verder geoptimaliseerd. Dit kan worden gedaan door een programma toe te voegen aan de bestaande software die de complexe programmeercodes zal verbergen.

Uiteindelijk wordt het AGV-systeem geëvalueerd, om na te gaan in welke mate deze voldoet aan de flexibiliteit die KMO's verlangen, waardoor dan beslist wordt of dit interessant kan zijn voor KMO's.

1 Inleiding

1.5 Bijdragen

Tijdens deze masterproef werd gekeken welke AGV in aanmerking komt voor de demo-opstelling. Over deze AGV werd onderzocht aan welke vereisten deze moet voldoen. Daarnaast werd een AGV die ongeveer overeenkomt met de onderzochte vereisten geïmplementeerd in de demo opstelling. Bij de implementatie zijn alle stappen tot implementatie zelf uitgevoerd. Om zo het volledige traject dat een KMO moet doorlopen te evalueren. Met dit onderzoek hebben we kunnen bepalen waar het proces op het heden nog moeilijk verloopt.

1.6 Overzicht

In de volgende hoofdstukken komt een state of the art studie aanbod. Zo wordt in hoofdstuk 2 een duidelijk beeld gevormd waarin AGV's zich situeren in de technologie. In hoofdstuk 3 wordt dan besproken welke systemen aanwezig moeten zijn om een AGV de nodige opdrachten te voltooien. Hierin worden de basis principes van een algemeen AGV-systeem toegelicht. Het hoofdstuk daarna is aansluitend aan dit hoofdstuk, maar gaat over de componenten die aan een AGV aanwezig moeten zijn. Zo wordt het toestel besproken waaronder de functie en werking van de sensoren. Hoofdstuk 5 gaat over de implementatie van de AGV in de demo-opstelling bij Sirris, ook wordt hier besproken welke aanpassingen en acties moeten ondernomen worden bij de implementatie van een AGV. Hoofdstuk 6 gaat over onze ondervindingen tijdens de implementatie, en welke punten geïnteresseerde KMO's zeker in acht moeten nemen voor het benaderen van een AGV-leverancier.

2 Stand van zaken

In het eerste hoofdstuk werd het onderzoekopzet van deze masterproef besproken. In dit hoofdstuk wordt inleidend info over een AGV besproken.

2.1 Wat is een AGV ?

AGV staat voor “*Automatic guided vehicle*” en is een robot die zich autonoom voortbeweegt, en die in tegenstelling tot een industriële robot geen vaste positie heeft, maar wel een positie die variabel is in tijd en ruimte. Deze voertuigen worden geleid door magnetische stroken in de werkomgeving of met behulp van verscheidene sensoren aan boord, bijvoorbeeld een *laserscanner*. Ze worden vooral gebruikt in grotere bedrijven zoals bijvoorbeeld in een assemblagefabriek van wagens. Omdat in deze bedrijven verschillende jaren hetzelfde model wordt gemaakt, is flexibiliteit minder belangrijk. Meestal kunnen deze systemen dan ook niet van hun pad afwijken en ligt dit pad vast. Een AGV wordt dan een soort *conveyor* systeem; echter is de AGV een flexibeler systeem ten opzichte van de *conveyor*. Op de markt worden verscheidene types van AGV's gebruikt. Er zijn verschillende uitvoeringvormen zoals AGV's die een last kunnen optillen, een wagen kunnen vooruit trekken of een platform hebben waar de last kan worden opgezet[3].



Figuur 5: Voorbeeld van een AGV voor transporteren van palletten[4]

2.2 Geschiedenis

De AGV werd ontwikkeld om de efficiëntie en betrouwbaarheid van automatische processen te verhogen en de personeelskost te verminderen. De eerste AGV werd uitgevonden door het bedrijf Barrett Electronics in de jaren vijftig(1953) in Northbrook, Illinois (Verenigde Staten). Dit bestond uit een trekker [Figuur 6] die zich positioneert met behulp van een kabel in de grond in plaats van over een spoor te rijden. In 1976 is het bedrijf Egemin Automation in Holland (Michigan) begonnen met de ontwikkeling van een automatisch controlesysteem voor gebruik in diverse industriële en commerciële toepassingen. De AGV die werd ontwikkeld volgde onzichtbare UV-markes op de grond, deze markers zijn alleen zichtbaar bij belichting met ultraviolet licht. Zijn eerste toepassing was het rondbrengen van post in kantoren. Tegenwoordig is de technologie van AGV-systemen sterk veranderd. Deze is onder andere veel geavanceerder geworden en er bestaan nu andere technieken om de positie van de AGV te bepalen, zoals bijvoorbeeld AGV's die zich oriënteren met behulp van *laser* en dus geen markeringen op de grond nodig hebben[5][6].



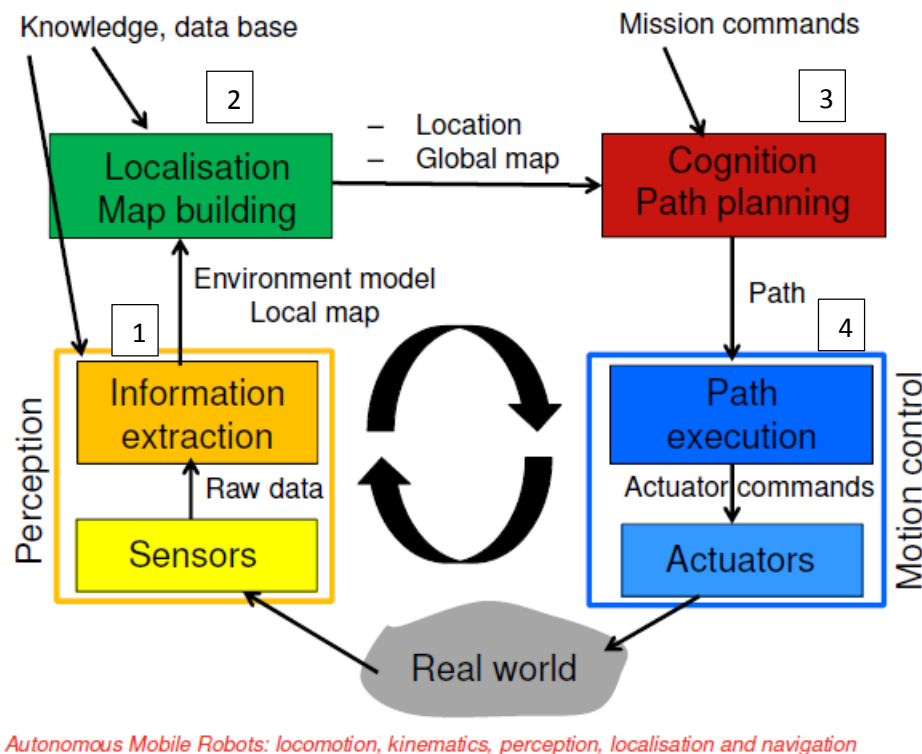
Figuur 6: De eerste AGV (1953) door Barrett Electronics[5]

2 Stand van zaken

2.3 Controle schema mobiele robot

Figuur 7 toont de vier typische componenten van een mobiele robot, en de data die ze uitwisselen:

- Waarneming;
- Lokalisatie en kaartopbouw;
- Padplanning en beslissingsname;
- Bewegingscontrole.



Figuur 7 : Controleschema mobiele robot [7]

De onderstaande secties passen dit schema toe op een AGV.

2.3.1 Waarneming

De AGV bevindt zich in de werkomgeving en met behulp van sensoren meet de AGV de omgeving op. Deze data geven het systeem informatie over wat er rond de AGV gebeurt. Deze data worden vervolgens door middel van algoritmes verwerkt en geïnterpreteerd. De AGV bouwt met behulp van de verwerkte data een omgevingsmodel. Dit houdt in dat de AGV een lokale kaart opstelt op basis van de sensorgegevens. Dit gedeelte van de dataverwerking is heel belangrijk; indien in dit gedeelte iets fout zit, krijgt de AGV foutieve informatie door waardoor het gedrag van de AGV niet te voorspellen is. Men zou kunnen zeggen dat de AGV dan blind rijdt.

Het geheel van *data* wordt enkel gebruikt bij obstakel ontwijking. Indien het systeem in normale werking is, zal het "information extraction" algoritme enkel bepaalde kenmerken doorgeven en de rest van de data gaat verloren. De kenmerken van de omgeving worden bijvoorbeeld geëxtraheerd met het Hough algoritme; dit algoritme detecteert lijnen en vormen uit de data. De lokalisatie is dus gebaseerd op herkenning van bepaalde figuren en patronen [7].

2.3.2 Lokalisatie

In de volgende stap worden de verwerkte data verder aangewend om de locatie van de AGV te bepalen in het omgevingsmodel. Dit gebeurt aan de hand van lokalisatie door middel van een kaart. De lokaal opgebouwde kaart (uit sensorgegevens) wordt vergeleken met een kaart die werd ingeladen in het AGV-systeem; op deze manier kan het systeem bepalen op welke positie en coördinaten de AGV zich bevindt.

Bij het bepalen van de locatie moet altijd rekening gehouden worden met de onnauwkeurigheid van de sensoren, zowel van lasersensoren als van interne sensoren zoals encoders (wielslip). Gedurende het hele proces wordt de kans berekend dat de AGV zich op positie en oriëntatie X bevindt. Om dit te berekenen worden verschillende sensorwaarden (laser, encoders, ...) verwerkt met de regel van Bayes. Bij dit algoritme worden verschillende metingen in rekening gebracht in overeenstemming met hun zekerheid (aan zekere metingen wordt meer belang gehecht), en wordt typisch uitgegaan van de Markov veronderstelling die zegt dat de externe sensormetingen enkel afhankelijk zijn van de huidige positie, en die zegt dat de huidige positie enkel afhankelijk is van de vorige positie en de stuursignalen naar de motor (gemeten door de gegevens van de encoder op de motor) [7].

2.3.3 Padplanning en beslissingsname

De locatie van de AGV is nu gekend. In deze stap wordt het pad naar de doelbestemming bepaald voor de AGV. De AGV krijgt of is bezig aan een opdracht. Uit de opdracht wordt dus de eindbestemming vastgelegd. Met behulp van bepaalde algoritmes wordt nu gekeken naar de mogelijke routes. Sommige van de meest bekende algoritmes zijn A^* en het Dijkstra algoritme. Deze zullen streven naar de kortste weg tot de eindbestemming [7].

2.3.4 Paduitvoering

Tijdens de paduitvoering wordt het berekende pad uitgevoerd. Een IC op het mobiele toestel weet welk pad gevolgd moet worden. Door de sensoren en data is zijn locatie gekend. Met behulp van Bayes wordt de locatie van het mobiele toestel geschat en gecontroleerd door middel van data afkomstig van de *resolver* en scanner. Hierna stuurt de IC de actuatoren aan om het gewenste pad te volgen. Dit laatste is de uitvoering van het pad.

2.3.5 Nieuwe ontwikkelingen

Het bovenstaande controleschema kan uitgebreid worden met obstakelontwijking en SLAM, hier wordt nog veel onderzoek naar gedaan. Bij het vervolg op dit onderzoek zal ook zeker naar obstakelontwijking en SLAM moeten gekeken worden.

1. Obstakelontwijking

Eén van de meest gebruikte en bekendste technieken voor obstakelontwijking is “*Dynamic Window Approach*”. Een andere manier is het vector *field* histogram [7].

2 Stand van zaken

2. SLAM (Simultaneous localization and mapping)

Bij dit type zal de robot ook zelf de kaart kunnen opbouwen waardoor veranderingen aan de omgeving snel kunnen toegevoegd worden aan de map. Het probleem is echter dat de *laser scanner* op de AGV meestal minder nauwkeurig is voor het opmeten van de omgeving. Naar de toekomst toe kan dit zorgen voor nog flexibelere systemen. Het zou echter beter zijn dat de AGV zijn positie kan bepalen aan de hand van natuurlijke kenmerken van de omgeving.

2.4 Soorten AGV's

2.4.1 Masted vehicles/ heftruck AGV

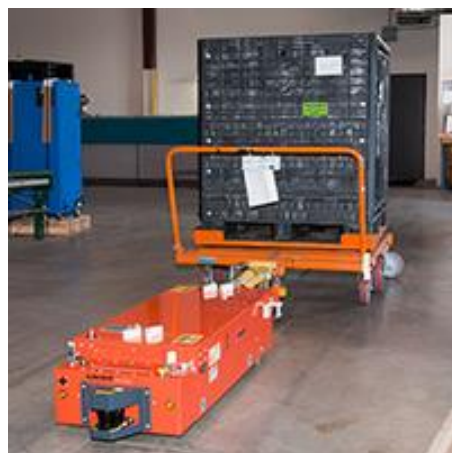
Een voorbeeld van dit type AGV zijn AGV's met vork; deze werken op dezelfde manier als een heftruck. Sommige uitvoeringen kunnen de last ook in een rek van meerdere verdiepingen plaatsen, andere werken alleen op grondniveau. Dit is het meest flexibele type. Het kan zelfs dat zo een heftruck omgebouwd wordt tot een AGV[8].



Figuur 8 :Heftruck AGV [9]

2.4.2 Tow vehicles/ Trekker AGV

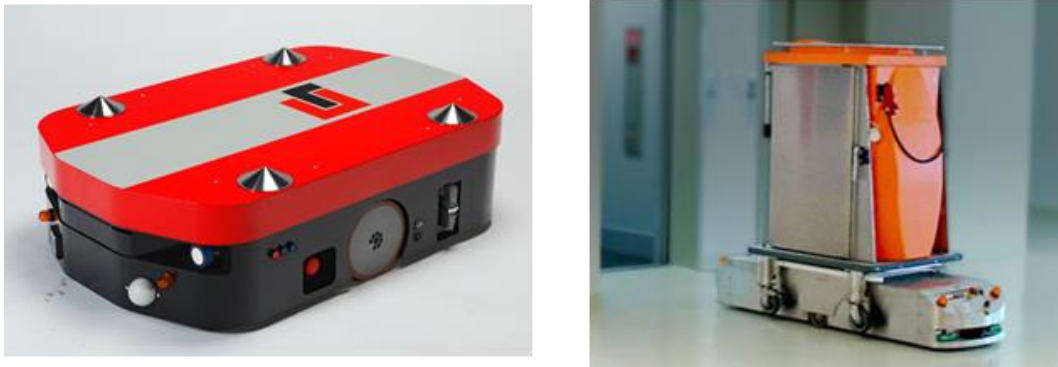
Bij deze uitvoering trekt de AGV enkele wagentjes. Deze uitvoering heeft als voordeel dat deze meerdere lasten op verschillende karretjes kan vooruit trekken. De last moet op de wagen geplaatst worden door rolbanden of een ander systeem. Hier kunnen per trip meerdere ladingen vervoerd worden[8].



Figuur 9: Tow vehicle die een kar vooruit trekt [10]

2.4.3 Unit load vehicles / Last opheffen

Bij deze uitvoering heeft de AGV een platform waar de last op geplaatst kan worden; dit platform kan vaak omhoog of omlaag bewegen. Dit wordt bijvoorbeeld gebruikt in de magazijnen van Amazon. Het is een zeer compact design.



Figuur 10: Unit load vehicles (links zonder lading en rechts met lading) [11]

Er zijn ook AGV's in hybride uitvoering. Deze kunnen zowel manueel als automatisch bediend worden [12][13].

2.4.4 Custom vehicles / Specifieke voertuigen

Dit zijn voertuigen die zeer projectspecifiek zijn met speciale eisen die niet frequent voorkomen. Een voorbeeld hiervan is een AGV die wordt gebruikt om een frame van een *bulldozer* te vervoeren. Zie onderstaande figuur [Figuur 11].



Figuur 11: Custom vehicle AGV met als lading het frame van een bulldozer [14]

2.5 Sectoren

Het efficiënter transporteren van goederen is een belangrijke verbetering in een productieproces, omdat transport in de meeste gevallen geen waarde toevoegt aan het product. Daarom worden AGV's in veel sectoren toegepast, waarvan hieronder enkele worden besproken.

- Farmaceutische sector: in deze sector is het belangrijk om de verplaatsingen van het product te onthouden zodat bij een probleem onderzocht kan worden hoe dit ontstaan is. Bij een AGV is de positie in functie van de tijd op elk moment gekend en dit kan eenvoudig bijgehouden worden.
- Industriële productie: bij het produceren, doorloopt een product vaak meerdere stations, het transport hiervan zou door een AGV kunnen gebeuren. Ook het transport van en naar het magazijn kan geautomatiseerd worden. Nauwkeurigheid is in deze sector vaak van belang. In de industrie wordt ook meestal gewerkt met grote en zware AGV's.
- Automotive: hier wordt een andere soort AGV's gebruikt als in de industriële productie, omdat hier meerdere jaren hetzelfde product wordt gemaakt en de flexibiliteit minder belangrijk is.
- Medische sector (ziekenhuis): in de medische sector wordt een ander soort AGV's gebruikt dan in de voorgaande sectoren omdat de nauwkeurigheid en robuustheid minder belangrijk is. Deze hebben wel een mooier en veiliger uiterlijk en kunnen communiceren met deuren en liften om zo overal te geraken. Ze worden gebruikt voor het transport van was, afval, voedsel en medicatie. Het vervoeren van patiënten is niet toegelaten omdat deze altijd vergezeld moeten zijn van een opgeleid persoon.

2.6 Vergelijking van een AGV met een traditionele heftruck

Sommigen zien de komst van AGV's als een bedreiging voor de traditionele heftruck, terwijl anderen niets dan voordelen zien in AGV's. Een vaak voorkomende bezorgdheid is het mogelijk verlies van jobs die worden vervangen door AGV's

Voordelen van een AGV ten opzichte van een heftruck:

- AGV's hebben bij gebruik een lagere menselijke input waardoor kan bespaard worden op arbeidskosten;
- AGV's kunnen 24/24 uren, 365 dagen per jaar werken (met uitzondering van onderhoud en herprogrammering);
- AGV's worden gedimensioneerd voor bepaalde snelheden, het systeem zal altijd binnen de vooropgestelde grenzen blijven, waardoor de systemen een langere levensduur hebben en minder frequent onderhoud nodig hebben;
- Alternatief voor ruimtes waar het onaangenaam of ongezond is om te werken zoals bijvoorbeeld koelcellen;
- AGV's kunnen uitgerust worden met allerlei veiligheidsvoorzieningen, wat de kans op botsingen verkleint;
- AGV's werken meestal elektrisch waardoor ze stiller en milieuvriendelijker zijn;
- Menselijke inbreng is minimaal waardoor de kans op fouten en op een ongeval, door bijvoorbeeld een onoplettendheid verkleint;
- Gebruik in zeer smalle ruimtes is mogelijk;
- Eens het product door de AGV is behandeld, kan het verder opgevolgd worden;
- De gebruikskosten voor een AGV zijn vast;
- De AGV neemt minder plaats in dan een conveyor;
- Door de stiptheid en de snelheid kunnen de AGV's het tijdschema verbeteren en efficiënter werken.

Nadelen van een AGV ten opzichte van heftruck:

- Heftrucks hebben een lagere initiële kost (€ 25.000 voor een gewone heftruck tegenover € 130.000 voor een AGV). Deze prijs is een gemiddelde prijs en kan men opdelen in drie groepen namelijk: het toestel zelf met controller en sensoren, projectspecifieke programmatie en de software die de AGV bestuurd.
- Heftruckbestuurders kunnen tot nu toe beter om met speciale gebeurtenissen zoals het waarnemen van obstakels of afval op de af te leggen route;
- Heftruckbestuurders kunnen defecten of fouten vaststellen bij de te transporteren lading;
- Heftrucks hebben een tweemaal zo hoge snelheid als AGV's;
- AGV's maken gebruik van een programma dat bruikbaar is voor één bepaalde omgeving, waardoor bij vaak veranderende omgevingen de AGV telkens moet geprogrammeerd worden wat een hoge kost met zich meebrengt, voor dergelijke gevallen zijn heftrucks interessanter;
- Er is een groot aanbod aan heftrucks, hulpstukken en veiligheidsproducten ontwikkeld voor verschillende soorten ladingen [15] [16].

2 Stand van zaken

2.7 Juridisch aspect

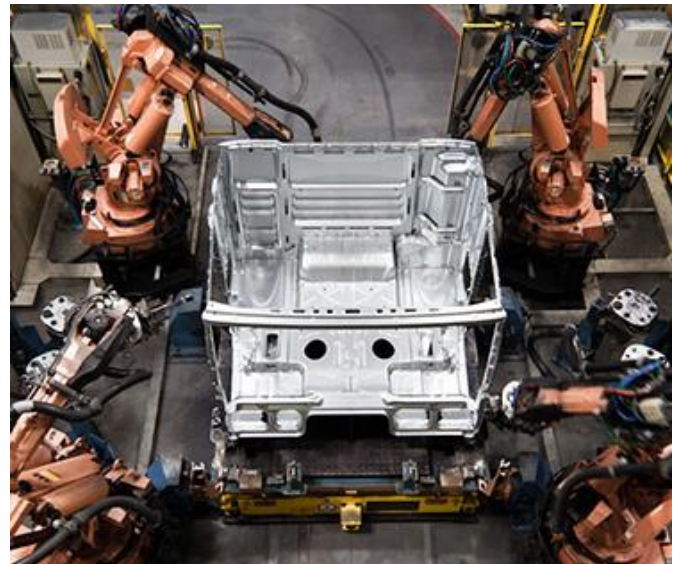
Wie is verantwoordelijk bij een ongeval met een AGV: de gebruiker of de producent?

Wanneer men ervan uitgaat dat een AGV veiliger (globaal gezien minder ongelukken) is dan een traditionele heftruck, kan een producent dan bij een ongeval aansprakelijk gesteld worden? Momenteel is hier nog geen eenduidig antwoord op, dit zou verdere ontwikkelingen van AGV's mogelijk kunnen tegenhouden.

Tijdens onze masterreis werden verschillende assemblagebedrijven bezocht zoals BMW en MAN. In deze bedrijven worden AGV's al meerdere jaren gebruikt, flexibiliteit is hier namelijk minder belangrijk omdat de productie van een bepaald model meerdere jaren meegaat. De meest gebruikte navigatie-technologie is dan ook het volgen van een lijn of een rail waarmee de AGV fysisch is verbonden. Tijdens de rondleiding bij MAN is een AGV tegen een paal gebotst. Deze bestond uit een aangedreven wagen waar enkele wagens achter hingen. Het draaimechanisme van een van de aanhangwagens functioneerde niet meer waardoor deze niet meedraaide en tegen een betonnen paal is gereden. Het systeem had dit ook niet gedetecteerd waardoor de aangedreven wagen door bleef rijden [17].



Figuur 12: AGV voor het transporteren van vrachtwagens via rail [17]



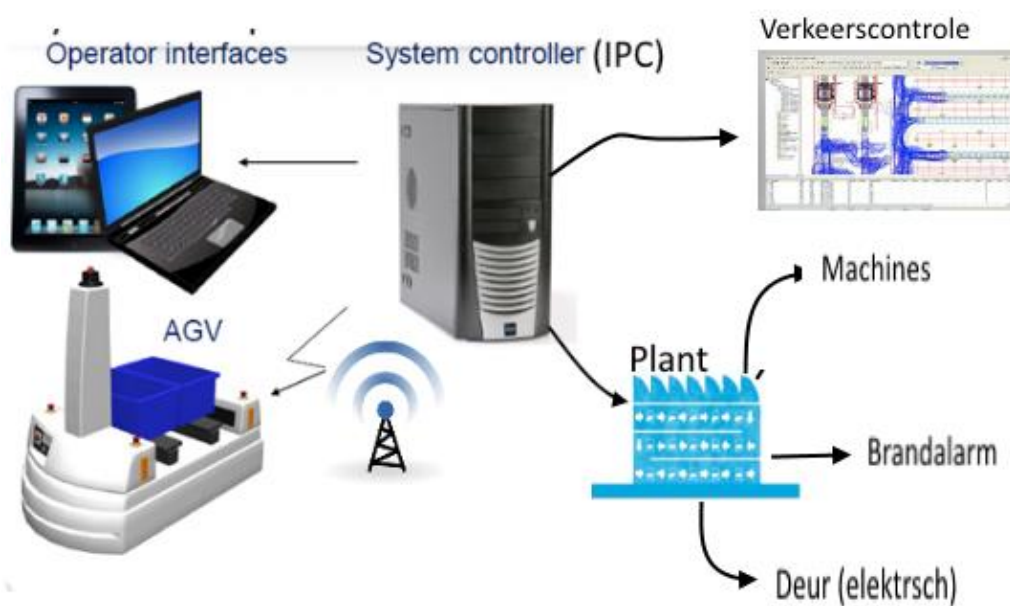
Figuur 13: AGV voor het transporteren van cabines via lijndetectie[17]

3 AGV-systeem

3.1 Onderdelen in een AGV systeem

In het vorige hoofdstuk is besproken wat een AGV is en wat het kan. Alleen kan een AGV niets; het past in een groot geheel dat samenwerkt. In een AGV-systeem zijn volgende onderdelen aanwezig:

- *System controller*
- *Communicatie*
- *Operator interfaces*
- *Verkeerscontrole*
- *Software*
- *AGV*



Figuur 14: Componente van AGV-systeem[18]

De functie van het systeem is om alle opdrachten te volbrengen op een efficiënte manier. Hiertoe behoort het aansturen van meerdere AGV's. Vaak moet een AGV echter door een poort. Het systeem moet deze dan ook kunnen openen zodat de AGV erdoor kan. Vaak werkt het systeem in een groter proces. Het systeem zal dus reageren op signalen van dit proces daarom moet het AGV systeem geïntegreerd worden in het grotere proces. Bovendien is het ook gewenst dat de gebruiker kan zien waar de AGV mee bezig is of zelf de AGV een opdracht manueel kan doorgeven zodat de gebruiker toch nog inspraak kan hebben op het systeem. Indien een fout optreedt, is het gewenst dat de gebruiker verwittigd wordt.

3.2 Sturing van het systeem en communicatie

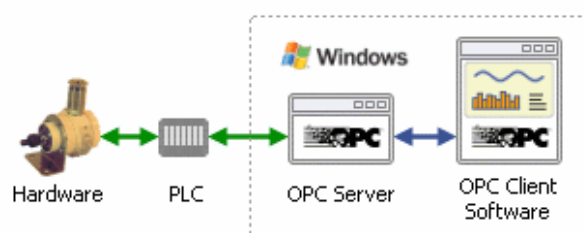
1. De master is een computer, die aan het bedrijfsnetwerk is gekoppeld.
2. *User interface*: deze dient voor de communicatie van het systeem naar de gebruiker. Het is dus voor de gebruiker een cruciaal onderdeel. Voornamelijk is dit een grafisch overzicht van het systeem met daarop de AGV's voorgesteld, zodat deze gevolgd kunnen worden. Op de interface wordt vaak een *event log* bijgehouden en de taken die klaar staan weergegeven.
3. *Lay-out*: op de *lay-out* staan de stations weergegeven. Op bepaalde plaatsen op de *lay-out* worden nodes geplaatst. Deze nodes worden met elkaar verbonden door lijnen, die de paden beschrijven waar de AGV mag rijden. Deze paden bestaan meestal uit punten die met elkaar zijn verbonden. Dit is echter niet zo bij systemen met draad of band als geleiding.
4. Communicatie

Protocollen:

Omdat het productieproces bij Sirris volledig automatisch moet kunnen verlopen, moet de AGV met de meetcel en CNC-machine kunnen communiceren. Hiervoor werden drie protocollen met elkaar vergeleken namelijk:

- OPC

OPC staat voor (OLE for Process Control) en OLE is Object Linking and Embedding. Dit is een software interface standaard, welke toelaat Windows programma's te gebruiken in industriële hardware apparaten. OPC wordt toegepast in server/klant connecties. De OPC server is een programma dat het communicatie protocol van de PLC omvormt in een OPC protocol. Het voordeel van OPC is dat het een open standaard is, waardoor het goedkoper is voor ontwikkelaars en meer mogelijkheden bevat voor gebruikers. Standaarden die OPC ondersteunen: CAN-bus, Profibus, Interbus, Devicenet [19].



Figuur 15: OPC communicatieschema [19]

- UDP (User Datagram Protocol)
Het voordeel van UDP is dat het een van de snelste communicatie mogelijkheden is. Een nadeel is dat het geen garantie biedt voor de aflevering van een bestand [20] [21].
- TCP (Transmission Control Protocol) heeft hetzelfde werkingsprincipe als UDP, alleen is er hier wel garantie dat een bestand is aangekomen. TCP heeft als nadeel dat het trager is dan UDP [21].

3 AGV-systeem

Bij Sirris is gekozen voor eenvoudige *file* communicatie via een *file* server die reeds beschikbaar was. Een nadeel van file communicatie is dat het niet geschikt is voor tijd-kritische communicatie. Voor de toepassing bij Sirris vormt dit echter geen probleem. Ook wordt de communicatie om de paar seconden gedurende enkele milliseconden verbroken wordt. Dit komt doordat de ene *client* in het bestand wil schrijven, als de andere deze wilt lezen.

De communicatie van de AGV met de AGVMaster verloopt bij Sirris via wifi, in sommige gevallen kan dit ook via radiosignalen.

3.3 Verkeerscontrole

Flexibele productiesystemen (FMS = flexibele manufacturing systems) die meerdere AGV's bevatten, hebben een systeem nodig dat ervoor zorgt dat de AGV's op een zekere afstand van elkaar blijven om botsingen te vermijden. Dit kan zowel lokaal gebeuren, waarbij de AGV's zelf in hun nabije omgeving kijken of er geen andere AGV's in de buurt zijn. Een andere mogelijkheid is een computer op een vaste locatie, die fungeert als master.

3.3.1 Zone controle

Bij zone controle wordt het gebied waar de AGV werkzaam is ingedeeld in verschillende zones. In deze zones wordt een signaal uitgezonden die de AGV's kunnen ontvangen en indien ze in een bepaalde zone zijn hun aanwezigheid bevestigen. Indien geen andere AGV's beschikbaar aanwezig zijn, krijgt de AGV een signaal met toelating om het gebied te betreden. Wanneer een AGV zich in het gebied bevindt, ontvangen de AGV's die het gebied willen betreden een stopsignaal en worden ze in een wachtrij geplaatst.

Een andere mogelijkheid voor zone-controle is om alleen de AGV's zelf uit te rusten met een zender/ontvanger. Elke AGV zendt dan in een gebied rond zijn positie een waarschuwingssignaal naar de AGV's die te kort in de buurt bij de desbetreffende AGV komen.

3.3.2 Aanrijdingssensoren

De AGV is uitgerust met sensoren om andere AGV's in de omgeving te detecteren. Hiervoor zijn meerdere werkingsprincipes mogelijk zoals ultrasoon (geluid), infrarood (licht) en fysische naderingssensoren. Vaak wordt gebruikgemaakt van een *safety* sensor, die een tweedimensionaal gebied kunnen afbakenen.



Figuur 16: SICK safety sensor [22]

3.3.3 Combinatie van zone controle en aanrijdingssensoren

Dit principe gebruikt beide methodes. Bij normale werking wordt zone controle gebruikt om botsingen te vermijden. Indien dit systeem defect is, zorgt het tweede systeem voor een bijkomende veiligheid zodat de AGV's toch niet botsen [10] .

3.4 Programma

Het programma dat op de AGV draait en ook bij het *system controller* hoort, staat in voor volgende zaken.

Eerst wordt een lay-out ingeladen in het programma zodat in deze lay-out paden gemaakt kunnen worden. Het programma plaatst de lay-out in X- en Y-coördinaten- stelsel zodat elk punt van de lay-out een X- en Y-coördinaat heeft.

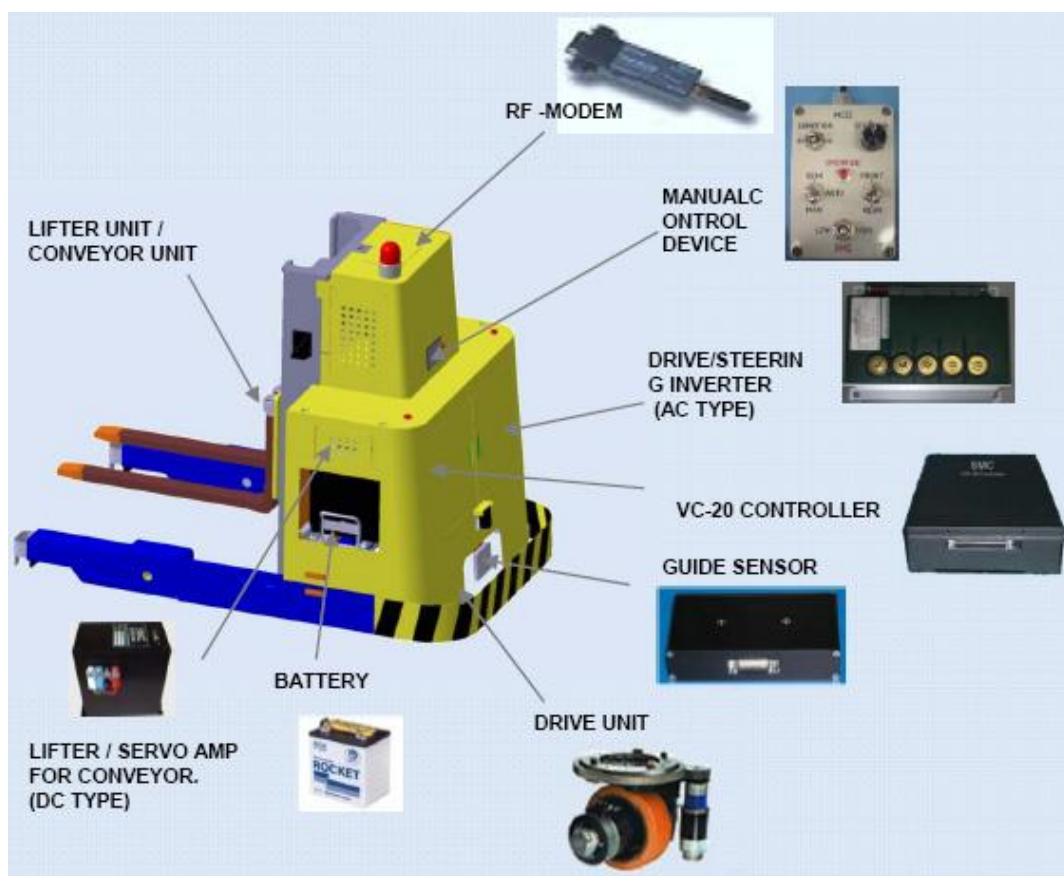
In het programma wordt alles samengebracht wat met de werking te maken heeft. Het programma neemt namelijk de beslissingen indien er aan een bepaalde voorwaarde voldaan wordt. Het programma moet ook goed overweg kunnen met de foutafhandeling en staat in voor de connectie tussen machine en mens.

4 Hardware componenten van een AGV

In hoofdstuk 3 werd het hele AGV-systeem besproken, in dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op het AGV-toestel zelf.

4.1 Toestel

AGV's zijn voorzien van sensoren die de zintuigen van de AGV vormen. Door middel van sensoren kan de AGV waarnemen wat er rond zich gebeurt. Zo moeten AGV's telkens voorzien zijn van een veiligheidsscanner zodat het voertuig kan stoppen indien een obstakel aanwezig is op het pad van de AGV. Figuur 17 toont de componenten van een vaak voorkomende AGV namelijk een LGV (*laser guided vehicle*), dit is een AGV uitgerust met een laserscanner. De keuze van type scanner en sensoren is afhankelijk van enerzijds het soort voertuig en anderzijds de methode waarmee het voertuig zich lokaliseert.



Figuur 17: Hardware componenten van een AGV [23]

AGV's die voorzien zijn van een *laserscanner*, worden vaak ook "*laser guided vehicle*" (LGV) genoemd. Volgende onderdelen zijn nodig voor dit type AGV:

1. *Laser scanner* voor pose (positie en oriëntatie): deze scanner dient voor het bepalen van de locatie waar de AGV zich bevindt. Wanneer de AGV zijn positie niet bepaalt op basis van reflectoren of landelijke kenmerken, zal deze scanner vervangen worden door een ander type sensor.
2. Veiligheidsscanner: Deze scanner kijkt naar het gebied rond de AGV, zodat deze obstakels kan opmerken en hiervoor kan stoppen.

- Logica , controller, verwerker: in deze component worden alle signalen van de sensoren verwerkt. Deze zal dus informatie krijgen van alle sensoren, maar zal er ook voor zorgen dat de motoren correct worden aangestuurd. De logica kan beschouwd worden als de *brains* van de AGV



Figuur 18: Componenten aangesloten aan de controller van de AGV[24]

- Vorksensoren: deze sensoren zullen waarnemen of er een pallet aanwezig is of niet en of deze pallet correct wordt opgepakt.
- Communicatie: De overkoepelende software die de taken verdeelt, moet kunnen communiceren met de AGV, in de meeste gevallen gebeurt dit via wifi.
- Bedieningspaneel: Op de AGV zelf dienen nog enkele knoppen aanwezig te zijn zoals een noodstop. Vaak is het gewenst om de machine even in manuele toestand te gebruiken. Ook is het interessant om te kunnen zien waar de AGV mee bezig is; dit is echter niet noodzakelijk en is dus niet altijd aanwezig.
- Motoraansturing
- Batterij: de batterij wordt gekozen naargelang enkele factoren, welke in paragraaf 4.3 worden besproken.

4 Hardware componenten van een AGV

4.2 Besturen van de AGV

Voor de kinematica en sturing van een AGV zijn verschillende mogelijkheden, welke hieronder besproken worden.

4.2.1 Differentie-sturing

Bij dit principe zijn er twee onafhankelijk aangedreven wielen. Bij het voorwaarts of achterwaarts bewegen van de AGV draaien deze wielen even snel.

Bij het draaien worden deze wielen met een verschillende snelheid aangestuurd, waardoor de AGV naar links of rechts zal draaien. Het voordeel hiervan is dat er geen stuurmotor en stuurmechanisme nodig is en dat deze zeer goed kan manoeuvreren indien er weinig plaats is. Het nadeel is wel dat men dit niet kan toepassen bij het duwen of trekken van een wagentje omdat dit kan scharen[zie Figuur 20] met de AGV, de hoek van het voertuig is namelijk niet echt nauwkeurig. Dit ziet men vaak bij oudere AGV's.



Figuur 19: differentiële sturing [25]



Figuur 20: Vrachtwagen in schaar[26]

4.2.2 Sturende wielen

Dit principe wordt toegepast bij traditionele heftrucks. Het nadeel is dat deze minder beweeglijk zijn dan bij de differentiële sturing. Het systeem is het meest toegepast bij AGV's met drie wielen, waarbij het bestuurbare wiel ook het aangedreven wiel is. Het voordeel is dat deze het te volgen pad nauwkeuriger kan volgen dan bij de differentie-sturing. Deze AGV kan voor alle toepassingen gebruikt worden, dus ook voor het duwen of trekken van een wagentje en is ook eenvoudiger manueel te besturen.



Figuur 21: sturende wielen [25]

4.3 Batterij

De batterij is een belangrijke component van de AGV omdat deze voor de energievoorziening zorgt. De belangrijkste aspecten hiervan zijn: Autonomie, laadtijd, levensduur en de prijs.

4.3.1 Batterij opladen

Voor het opladen van de batterij zijn er meerdere mogelijkheden. De keuze hangt af van de beschikbare tijd die de AGV heeft en dus van de uit te voeren taken.

Opladen in laadstation

De meest voorkomende methode is de batterij op te laden in een laadstation; dit gebeurt meestal automatisch. Afhankelijk van de capaciteit van de batterij duurt het opladen van de batterij meerdere uren. Een andere mogelijkheid is om bijvoorbeeld een kwartier per uur op te laden zodat de AGV 24/24 kan rijden. Voor continu opladen kan ook een inductielus in de vloer gelegd worden. Hiervoor moet wel een batterij gebruikt worden die hiervoor geschikt is; de prijs van deze batterij ligt vaak hoger. Deze methode wordt vaak gebruikt in kleine omgevingen of indien elke AGV altijd voorbij dezelfde plaats passeert.

Batterij wisselen

Een laatste mogelijkheid is het wisselen van de lege batterij met een volle batterij, dit kan zowel manueel als automatisch gebeuren, bij het automatisch wisselen is een relatief dure automatisering nodig. Dit wordt meestal gebruikt in grote fabrieken, waar alle voertuigen continu rijden en waar de AGV niet altijd voorbij hetzelfde punt komt [27]

4 Hardware componenten van een AGV

4.3.2 Soorten batterijen/energie

Lood-zuurtractie batterij

Deze batterij moet bijna volledig worden gebruikt (< 20% capaciteit) vooraleer ze daarna in één keer volledig opgeladen moet worden. Deze zijn dus geschikt voor niet-cyclische toepassingen en wordt gebruikelijk gedimensioneerd op één shift. Opladen duurt 6- tot 12 uur afhankelijk van de grootte van de batterij. Dit type batterij heeft de grootste massadichtheid, maar dit is voor een heftruck geen nadeel omdat deze hierdoor een groter tegengewicht heeft.

XFC batterij

Dit is ook een loodzuur batterij maar dan met dunnere platen, wat een aantal voordelen biedt. Deze kan wel cyclisch geladen worden (vb. 15 min per uur) en is dus bruikbaar in cyclische toepassingen. De capaciteit van de batterij kan beperkt worden omdat de batterij meerdere keren per dag kan worden opgeladen. Een ander voordeel is dat deze sneller kan opladen dan de traditionele loodzuur batterij en minder onderhevig is aan veroudering. Een nadeel is wel dat deze duurder is en vaker onderhoud nodig heeft, maar op lange termijn is deze wel goedkoper. De volledige batterij wordt nooit gebruikt waardoor slechts een gedeelte verslijt. Hierdoor gaat de batterij veel langer mee.

Lithium-ion batterij

Lithium-ion batterijen zijn het meest recente type batterijen van AGV's. Een nadeel is dat deze batterij licht is waardoor er minder tegengewicht is en de AGV een kleiner gewicht kan optillen. Ook zijn er bij KMO's enkele gevallen van brand bekend, waardoor deze batterijen nog niet populair zijn. Voordelen zijn dat deze de langste levensduur hebben en de hoogste laadstroom aankunnen, waardoor ze het snelst opgeladen kunnen worden.

Wel hebben ze een managementsysteem nodig, wat deze batterij duurder maakt, maar waardoor de levensduur ook verlengt. Deze batterij is het duurste type batterij.

Nikkel-cadmium

Dit type van batterij kan gebruikt worden bij cyclische toepassingen. De batterij heeft een goede levensduur en kan een hoge laadstroom aan waardoor de batterij op korte tijd is opgeladen. De batterij kan vaak en snel opgeladen worden, hierdoor kan de capaciteit van de batterij verminderd worden. In principe wordt maar 20% van de batterij gebruikt waardoor deze dus een grote levensduur heeft. Nadelen zijn de prijs en het onderhoud aan de batterij.

Inductie-energie

Indien de AGV altijd dezelfde route moet volgen en tevens zo compact mogelijk moet zijn, is inductie ook een optie om de AGV te voorzien van stroom.

Tabel 1: Overzicht prijzen van verschillende types batterijen

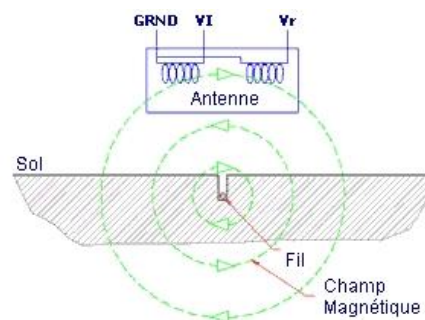
Type batterij	Loodzuur	XFC/ Nikkel-cadmium	Lithium-ion
Prijs relatief (x)	x	2x	3x

4.4 Navigatie

De navigatie van de AGV kan gebeuren op verschillende manieren. De methode die gebruikt wordt, is afhankelijk van de wensen en de gewenste toepassing van het systeem.

4.4.1 Draadgebaseerde navigatie

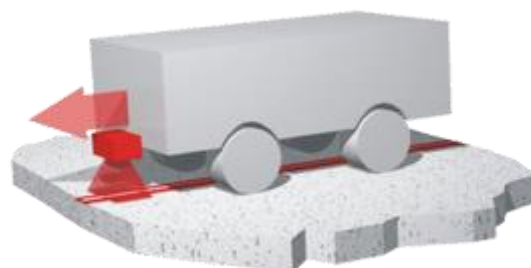
Bij navigatie met behulp van een draad, wordt in de vloer een groef gemaakt van twee tot drie cm diep waar de draad in wordt gelegd; vervolgens wordt de groef terug opgevuld met een hars. Deze draad zendt een radiosignaal uit, dat door een sensor aan de onderkant van de AGV wordt gedetecteerd. Deze informatie wordt gebruikt om de wielen van de AGV bij te sturen om zo de draad goed te volgen en bij zijn eindbestemming uit te komen. Bij deze methode is het systeem niet flexibel: indien je het pad wil wijzigen dan moet je eerst de kabel verplaatsen. Een voordeel is echter dat de AGV in vuile en stoffige omgevingen kan rijden[8][28][29].



Figuur 22: draadgeleide navigatie(inductie)[30]

4.4.2 Tapegebaseerde plakband

Navigatie met behulp van een speciale plakband op de vloer is een flexibeler mogelijkheid omdat de route eenvoudiger kan gewijzigd worden. De plakband heeft een kleur die goed onderscheidbaar is van de ondergrond. De AGV is dan uitgerust met een camera om het pad van de plakband te kunnen volgen. Het grote voordeel van het gebruik van plakband is dat die gemakkelijk verwijderbaar is en herplaatst kan worden voor een andere route. Maar dit kan ook als een nadeel gelden wanneer de plakband onopzettelijk wordt beschadigd. De gekleurde tape is relatief goedkoop, maar heeft als nadeel dat deze door vervuiling aan zichtbaarheid en herkenbaarheid verliest. Als extra hulpmiddel is het mogelijk om QR codes te plaatsen naast de tape, de camera zal deze dan lezen en zo kunnen bepaalde functies opgestart of informatie doorgegeven worden [31]. Deze methode wordt meestal gebruikt bij AGC (*automatic guided carts*): de sensor moet aan de onderkant hangen waardoor een heel compact voertuig gemaakt kan worden[29].



Figuur 23: Optical Track Guidance[31]

4 Hardware componenten van een AGV

4.4.3 Magneetgebaseerde navigatie

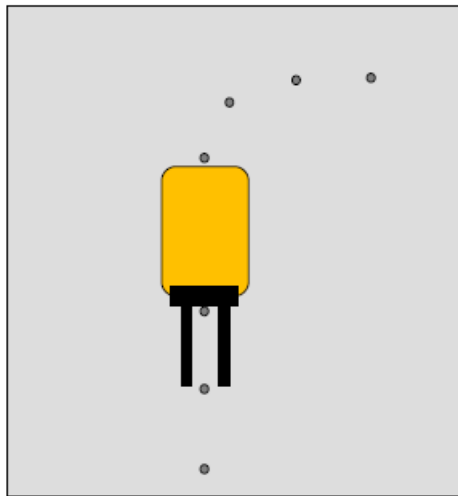
Het gebruik van magneten bij navigatie kan onderverdeeld in volgende methodes.

Magnetische band

Deze magnetische band is sterk gelijkend aan de *guided wire*. De magnetische plakband is echter iets duurder dan de gekleurde strip. Maar een voordeel is dat de band vuil mag worden: dit zal niet leiden tot storingen in de lokalisatie van het systeem. Nog een voordeel van de magnetische plakband is dat deze dubbelpolig (Noord- en Zuidpool) is waardoor het mogelijk is om wijzigingen aan te brengen in de software, bijvoorbeeld als de AGV moet stoppen. De paden zijn vast maar zijn makkelijk te wijzigen.

Traagheidsnavigatie

Traagheidsnavigatie heeft als groot voordeel ten opzichte van de geleidingsdraad, dat er in de vloer geen gleuf hoeft gemaakt te worden, maar op een bepaalde afstand van elkaar meerdere magneten in de vloer geplaatst worden. Op elke positie zijn meerdere magneten in een unieke volgorde na mekaar gelegd die samen een initialisatiepunt vormen. Hierdoor kent de AGV zijn positie en oriëntatie om indien nodig bij te sturen voor het volgende initialisatiepunt. Aan de onderkant van de AGV is een sensor geplaatst die het verschil in inductiviteit waarneemt en de gyroscoop zorgt ervoor dat de AGV zijn koers kan behouden tussen twee initialisatiepunten in. Op die manier kan de AGV een vaste route afleggen en is dus niet zo flexibel[8].



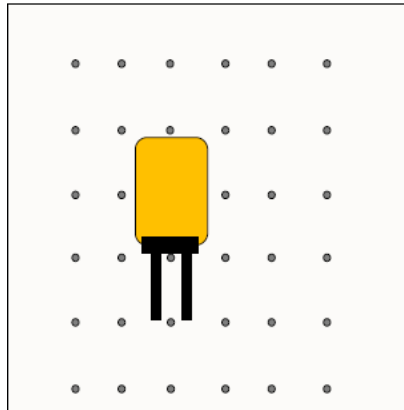
Figuur 24: Traagheidsnavigatie[8]

Het grote voordeel is dat deze niet afhankelijk is van externe factoren. Indien men ervan uitgaat dat er geen slip optreedt kan men de afgelegde afstand bepalen met behulp van een encoder op de motor.

Bij het manoeuvreren van de AGV zullen versnellingen optreden volgens zes vrijheidsgraden, namelijk drie bij rotatie en drie bij lineaire beweging. Doordat op elke meting onnauwkeurigheden optreden, moet op regelmatige basis de positie geïjkt worden.

Grid navigatie

Over de hele vloer zijn magneten geplaatst waarbij van elke magneet de x en y coördinaat gekend is. De werking lijkt op de traagheidsnavigatie met het voordeel dat de AGV wel een ander pad kan nemen. Grid-navigatie is dus flexibeler maar het ganse vloerooppervlak moet gevuld worden met magneten. De lokalisatie gebeurt op basis van de referentie punten, de encoders op de motor en de gyroscoop voor het bepalen van de hoek[8].



Figuur 25: grid navigatie [8]

4.4.4 Geografische begeleiding

Een AGV met geografische begeleiding herkent zijn omgeving en kan zo zijn locatie bepalen. Op deze manier moeten geen aanpassingen aan de omgeving worden aangebracht. De AGV kan zo realtime zijn positie bepalen ten opzichte van vaste obstakels in de omgeving. Bij dit type van geleiding kan gebruik gemaakt worden van muren die gedefinieerd kunnen worden zodat de AGV de muur parallel volgt.

4 Hardware componenten van een AGV

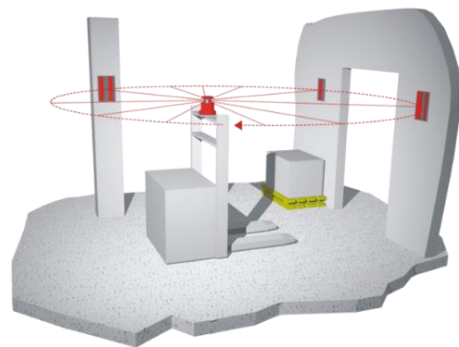
4.4.5 Lasergebaseerde navigatie

Deze navigatie gebeurt met behulp van een *laser* op de AGV en reflecterende tape op de muren of andere obstakels. Deze AGV's worden ook wel LGV (*laser guided vehicle*) genoemd. De AGV heeft een *laser*-zender en -ontvanger in één sensor, welke geplaatst is op een roterende eenheid. De hoek en in sommige gevallen ook de afstand tot de reflectoren die in het bereik van de *laser* zijn, worden automatisch berekend. Deze worden dan vergeleken met de posities van de reflectoren die de AGV in zijn geheugen heeft. Deze punten worden vervolgens gebruikt om via driehoeksmetkunde de positie te bepalen. Deze positie wordt vergeleken met de route die de AGV zou moeten afleggen volgens het programma en als het nodig is bij te sturen. Dit proces wordt vaak doorlopen, waardoor de AGV nauwkeurig de gewenste route kan volgen.

Lasergeleiding is flexibeler dan de voorgaande systemen. De AGV kan ook van zijn traject afwijken indien een obstakel de AGV hindert op zijn standaard route. Ook is het eenvoudiger om locaties waar producten moeten geladen en gelost worden, toe te voegen. Zo kan het systeem dus snel, eenvoudig en zonder grote kosten worden uitgebreid. Een bijkomend voordeel is dat er geen kabels en/of stroken moeten worden aangelegd zodat de productie niet moet worden stil gelegd. De nauwkeurigheid van dit systeem is ± 10 mm [32]



Figuur 26: Lasergeleide navigatie met reflector en laser scanner[33]



Figuur 27: Reflector en laserscanner[16]

Overzichtstabel

Tabel 2: Overzicht navigatie

	Lasernavigatie	Magnetisch en gyroscoop	Draadnavigatie
Installatie/wijziging	Goed	Slecht	Slecht
Nauwkeurigheid	Goed	Matig	Goed
Snelheid	Goed	Matig	Matig
Manueel/automatisch	Goed	Slecht	Slecht
Installatiekost	Matig	Matig	Matig
Onderhoudskost	Goed	Matig	Matig

4.5 Pad geleiding

AGV-systemen moeten in bepaalde situaties gestuurd worden tussen verschillende paden, bijvoorbeeld op een kruispunt van twee routes.

Hiervoor bestaan verschillende mogelijkheden.

4.5.1 Selectie keuze door middel van verschillende frequenties

Bij selectie door middel van verschillende frequenties van een signaal maakt de AGV zijn keuze op basis van een bepaalde frequentie die door de vloer wordt uitgezonden. Dit principe kan alleen gebruikt worden bij navigatie met behulp van een draad. Als de AGV een punt bereikt waar de draad in twee delen splitst, detecteert de AGV twee verschillende frequenties; in het geheugen van de AGV is opgeslagen welke route gewenst is. Verschillende frequenties zijn alleen noodzakelijk bij splitsingen, na een splitsing is één frequentie voldoende. Het nadeel van dit systeem is dat het moeilijk uit te breiden is omdat er nieuwe gleuven in de vloer gemaakt moeten worden.

4.5.2 Selectie keuze door middel van voorgeprogrammeerde paden

Als de AGV zijn keuzes maakt op basis van voorgeprogrammeerde paden, dan gebruikt de AGV metingen van de sensoren en vergelijkt deze met de waarden in het geheugen. Als de AGV op een splitsing komt, dan volgt deze het pad dat de gebruiker op dat moment wenst. Het nadeel hiervan is dat elk te volgen pad op voorhand geprogrammeerd moet worden, maar aan de omgeving moet niets gewijzigd worden.

4.5.3 Selectie met magnetische tape

De magnetische plakband is op de vloer gekleefd of in een gleuf geplaatst. In de eerste plaats geeft de plakband het te volgen pad weer, maar door gebruik te maken van plakband met verschillende polariteiten of met kleine openingen kan de AGV hier informatie uit halen om naar een ander spoor te gaan of om te versnellen of te vertragen.

4.5.4 Algoritmes

Bepaalde algoritmes gaan de kortste weg berekenen naar de eindbestemming. Hierbij kiest het algoritme zelf welke paden het beste uitkomen voor de AGV. In het geval van een LGV zal de AGV controleren of deze zich op het juiste vooraf besliste pad bevindt.

5 Implementatie in een KMO-omgeving

In de vorige hoofdstukken is algemene informatie rond AGV's besproken. De volgende stap is de implementatie en de bespreking van het door ons gekozen AGV-systeem.

5.1 AGV in de praktijk

5.1.1 Simulatie in echt bedrijf

Als simulatie voor de masterproef wordt de werkruimte van Sirris als voorbeeld genomen, hierbij worden de verschillen t.o.v. een KMO besproken. Momenteel is een CNC-machine met automatische beladingsrobot en een magazijn aanwezig. Het probleem op dit moment is dat het magazijn maar een beperkte capaciteit heeft. Voor meerdere machines loopt de kost van de dit magazijn al hoog op. De AGV kan hier een oplossing bieden door de machines van geen of een heel beperkt magazijn te voorzien en zo te besparen op buffers, in dit geval kan een buffer zelfs een Europallet zijn. Een ander voordeel van de AGV is dat deze op geregelde tijdstippen het werkstuk naar een meettoestel kan transporteren. Bij Sirris is het reeds voorzien dat de metingen van het meettoestel teruggekoppeld worden aan de CNC-machine en dat deze zo de parameters van de CNC machine kunnen bijsturen. Met de AGV kan dit geheel automatisch gebeuren.

5.1.2 Bezochte bedrijven

De literatuurstudie werd niet alleen gebaseerd op wetenschappelijke bronnen, maar ook op informatie van leveranciers en gebruikers van AGV-systemen. Zo werden enkele leveranciers van AGV's bezocht, namelijk MABO nv te Lier en Movanis (onderdeel van de groep Bedelec) te Ooiegem. Deze bezoeken waren zeer leerrijk omdat beide KMO's de AGV in eigen huis hebben ontwikkeld. De leveranciers hebben ons ook de verwachtingen van klanten meegegeven, waardoor ook hier een duidelijk beeld van verkregen werd, zonder zelf gebruikers van AGV's te bezoeken.

5.1.3 MABO Engineering & Automation nv

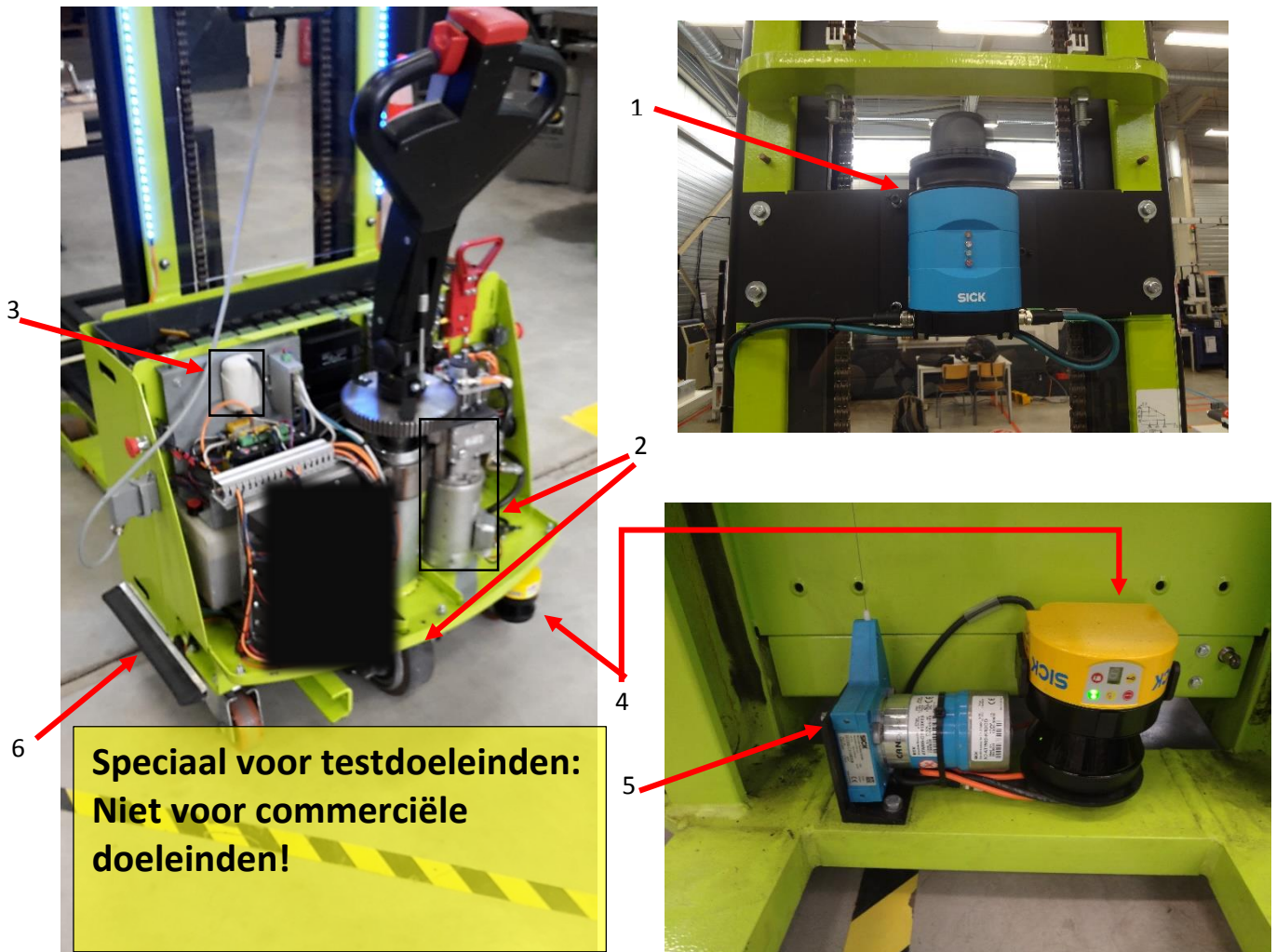
Tijdens het eerste bezoek aan MABO Engineering & Automation nv werd de opdracht van de masterproef voorgesteld. Zij waren geïnteresseerd in het onderzoek en in een samenwerking. Hierop kwam het voorstel dat zij een test-AGV ter beschikking zouden stellen. De AGV die ter beschikking werd gesteld, is een elektrische transpallet die MABO nv omgebouwd heeft tot een AGV. Deze beschikt daarom niet over alle sensoren, zoals wel het geval is de AGV's voor de klanten van MABO.

5.1.4 Opbouw AGV MABO nv

Het betreft een heftruck AGV, die werkt met een sturend wiel. Dit zorgt ervoor dat de AGV goed manoeuvreerbaar is. De AGV volgt het gewenste pad elke keer zeer nauwkeurig. Het masterprogramma is AGVMaster, dat is ontwikkeld binnen MABO nv. Het staat in voor het doorgeven en het berekenen van de paden die de AGV moet volgen. Tijdens de demo-opstelling zal de AGV maximaal 45 minuten rijden, zeker niet de hele dag. In de heftruck zitten loodzuurbatterijen. Deze kunnen dienen voor de demo-opstelling. Voor de navigatie wordt een *laserscanner* gebruikt. Deze is flexibel voor het bepalen van de locatie van de AGV.

Deze AGV op onderstaande foto[Figuur 28] is voorzien van volgende onderdelen:

1. Laserscanner
2. Motor voor het voertuig en voor het sturen
3. Wifi communicatiemodule om via het netwerk te communiceren met AGVMaster
4. Twee SICK veiligheidssensoren
5. SICK hoogtemeter
6. Twee mechanische veiligheidsbumpers
7. Controller van de AGV drijft het aandrijfwiel en de stuur tandkrans aan afhankelijk van de sensoren en de af te leggen route



Figuur 28: onderdelen AGV MABO

5 Implementatie in een KMO-omgeving

5.1.5 Bediening

Manueel

De AGV heeft twee bedieningstoestanden: automatisch of manueel.

In de manuele stand staat er op het display van de besturing voor handbediening “manueel” en kan de AGV via het bedieningspaneel bediend worden of via de hendel zoals een traditionele vorklift.

In de manuele toestand blijven de veiligheidsvoorzieningen actief, alleen de achterste SICK sensor wordt uitgeschakeld. Het is de dus de verantwoordelijkheid van de bestuurder om niet te botsen.

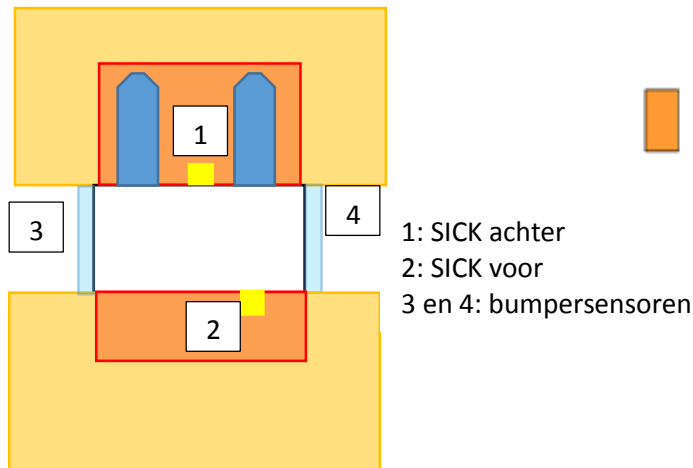
Automatisch

In de automatische toestand wordt de AGV bestuurd door de AGVMaster software en zijn de veiligheidsvoorzieningen wel actief. De ledlichten geven een groene kleur aan en er klinkt een biepsignaal. De hendel voor handbediening beweegt ook tijdens automatische stand, hiermee moet opgelet worden bij opstart: dan wordt deze gekalibreerd en mag dus niet aangeraakt te worden om kwetsuren te voorkomen. Als de AGV klaar is met zijn opdracht, kleurt de ledstrip blauw.

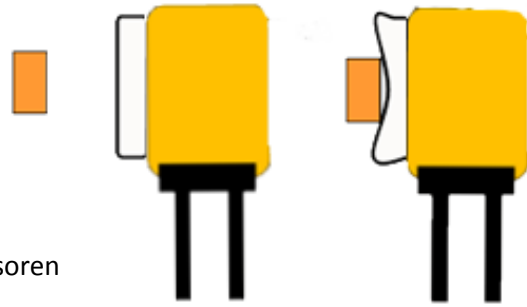
5.1.6 Veiligheid

Op onderstaande tekening [Figuur 29] is de AGV te zien met de veiligheidsvoorzieningen.

De AGV is voorzien van twee SICK sensoren (gele vierkanten) om botsingen te vermijden. Eén tussen de vorken van de AGV en een andere aan de voorkant van de AGV. Tijdens het rijden is het best dat de vorken op een bepaalde hoogte staan omdat anders de SICK sensor tussen de vorken niets meer kan waarnemen. De SICK sensoren hebben een “*warning field*”: oranje kaders waarin de AGV zich aan verminderde snelheid gaat voortbewegen en een “*protective field*”: rode kaders waarin de AGV volledig stopt. Tussen de twee SICK sensoren is een zone waarin deze niets kunnen waarnemen. Daarom heeft men hier twee bumpersensoren (blauw) aangebracht die bij een botsing de AGV onmiddellijk uitschakelen. De grootte van de zones is afhankelijk van de snelheid en de rijrichting van de AGV, waardoor er rekening wordt gehouden met de traagheid van de AGV. Als laatste beveiliging wordt de stroom naar de motor beperkt, voor als een botsing zich toch voordoet om zo de schade tot een minimum te beperken.



Figuur 29: tekening gevaren zones



Figuur 30: mechanise bumpersensor

5.2 Aanpassingen werkplaats Sirris

Eens bekend was met welke AGV gewerkt zou worden, kon het voorbereidend werk aan de demo opstelling beginnen. De AGV bepaalt zijn positie aan de hand van een *laserscanner*. Hiervoor moeten enkele reflectoren bevestigd worden. De positie van deze reflectoren moet opgemeten worden met een theodoliet zodat de onderlinge afstanden en hoeken tussen deze punten nauwkeurig gekend zijn. Zie onderstaande figuur [Figuur 31].



Figuur 31: Theodoliet [34]

5.2.1 Reflector

Op onderstaande afbeelding [Figuur 32] is een reflector die belicht wordt te zien. De reflector heeft een lengte van 400 mm en een breedte van 50 mm. Deze hangt op een hoogte van 1.80-2.20m.



Figuur 32: Belichte reflector

5 Implementatie in een KMO-omgeving

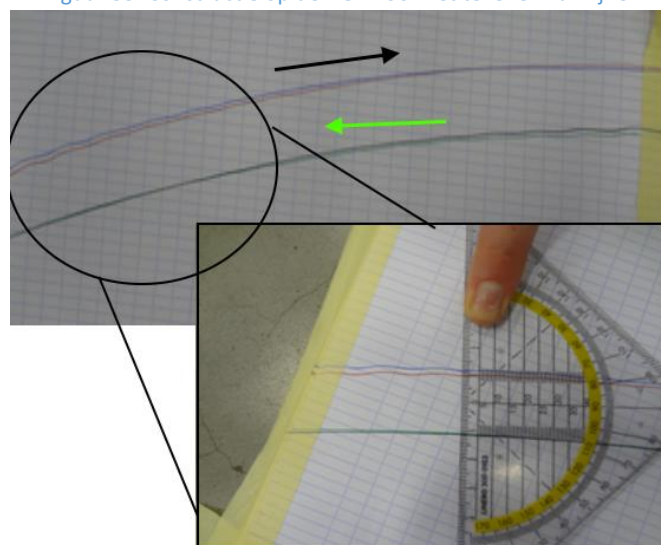
5.2.2 Grondplan Sirris

Op [Figuur 35] zijn de reflectoren aangeduid zoals deze geplaatst en genummerd zijn in de werkplaats. Daarna zijn deze reflectoren opgemeten door een landmeter om de X-en Y-coördinaten van elke punt in een vlak te bepalen. Bij de implementatie worden deze punten dan geroteerd en getranslateerd zodat deze overeenkomen met de punten in AGVMaster.

De nauwkeurigheid van de AGV is voor de testopstelling zeer belangrijk omdat de producten door een robot met een beperkte grijperopening worden opgenomen. Hiervoor hebben we op de locaties bij de robot en het magazijn geleidingen ontworpen om de onnauwkeurigheid van de AGV op te vangen. Om de nauwkeurigheid te controleren werd een test uitgevoerd. Tijdens de test werd een pen aan de AGV bevestigd [Figuur 33]. Langs de route van de AGV kwam deze pen over een blok met papier. Zodat deze de beweging van de AGV achterliet. Uit deze test van de AGV is gebleken dat de repetitieve nauwkeurigheid minder dan 5 mm bedraagt, wat beter is dan de vooropgestelde nauwkeurigheid van 20 mm. Dit kan onder andere verklaard worden door het ophangen van de reflectoren op strategische plaatsen en het opmeten van de reflectoren met een zeer nauwkeurige theodoliet[Figuur 31] (TRIMBLE S8 TOTAL STATION - kostprijs circa € 25.000).



Figuur 33: Constructie op de AGV voor het tekenen van lijnen



Figuur 34: Nauwkeurigheid van de AGV door middel van lijnen te tekenen

Onderstaande figuur [Figuur 35] geeft een overzicht van het grondplan. In de werkplaats zijn twaalf reflectoren opgehangen, waardoor de AGV altijd minstens drie reflectoren kan detecteren. Dit is nodig omdat de AGV voor zijn positiebepaling gebruik maakt van triangulatie.

5.2.3 Legende:

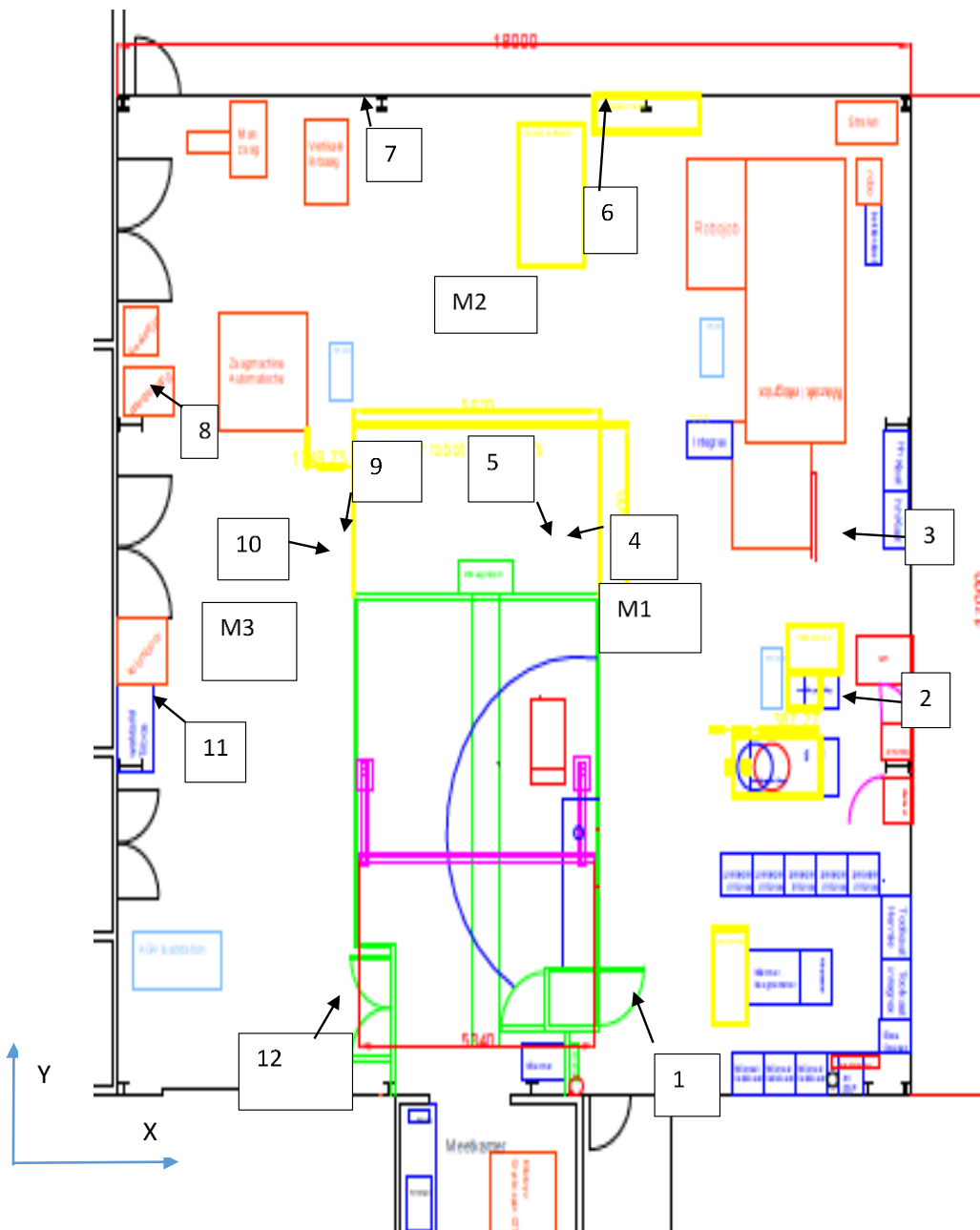
#M: Positie theodoliet (1,2,3)

#L: Linkerkant reflector (1-12)

#R: Rechterkant reflector (1-12)

#Vaste: Vaste punten van gebouw (4/5, 6, 7, 9)

#REF: Referentiepunt toestel (1 en 2) (enkel voor opmeting): deze punten zijn geselecteerd om de metingen terug te slaan op een referentie lijn.

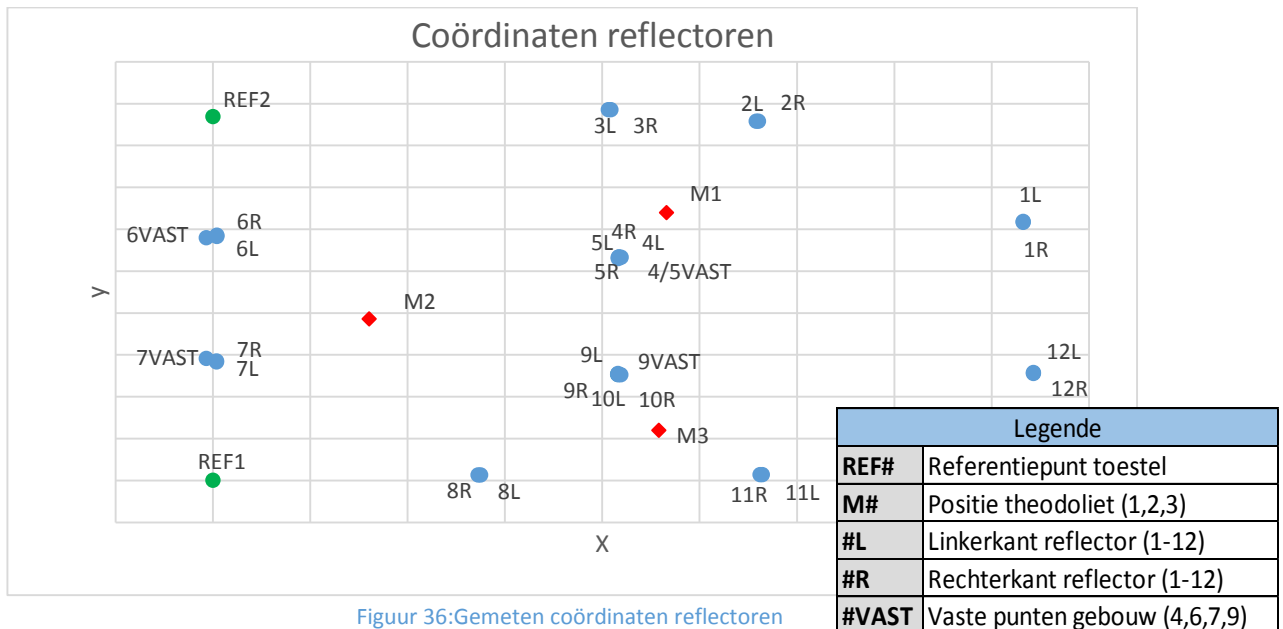


Figuur 35: Plattegrond van werkplaats Sirris met locaties van reflectoren en meetpunten

5 Implementatie in een KMO-omgeving

Omdat niet alle reflectoren zichtbaar waren vanop één punt, zijn de metingen uitgevoerd vanop drie plaatsen, namelijk M1, M2 en M3. Reflector zes is in al deze punten opgemeten en hieruit bleek dat de afwijking slecht 2 mm bedroeg ten opzichte van de eerste meting. Bij de opmeting van de reflectoren is hier de linker- en rechterkant gemeten, waarvan later het midden is bepaald.

Op onderstaande figuur [Figuur 36] zijn de X- en de Y-coördinaten van de opgemeten reflectoren weergegeven in een X-Y-assenstelsel.

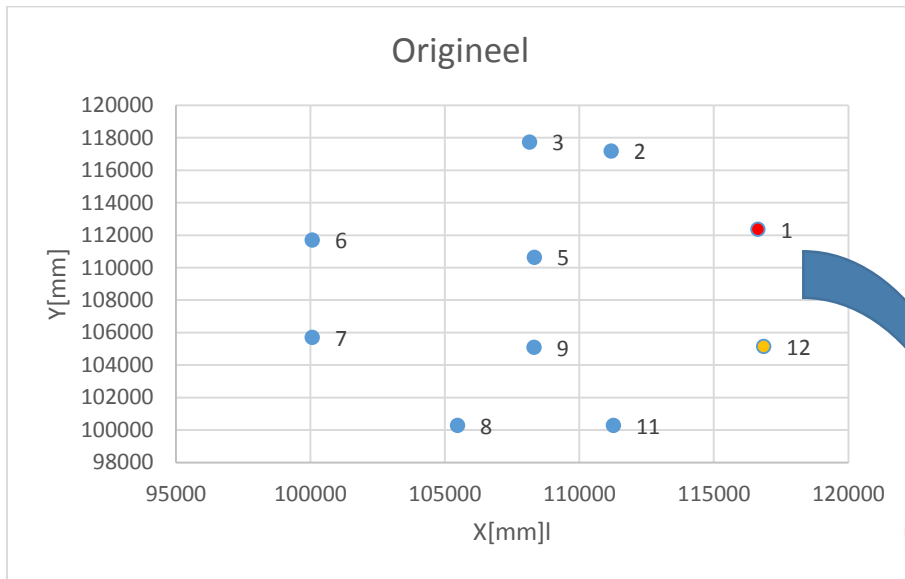


Figuur 36: Gemeten coördinaten reflectoren

Tijdens de implementatie van de AGV moeten de twee assenstelsels overeenkomen. Op de eerste plaats de punten die werden gemeten [Figuur 36], op de tweede plaats de coördinaten, die verkregen worden van het grondplan in de software. [Figuur 35]. Als oplossing om deze assenstelsels te laten overeenkomen, waren twee opties mogelijk:

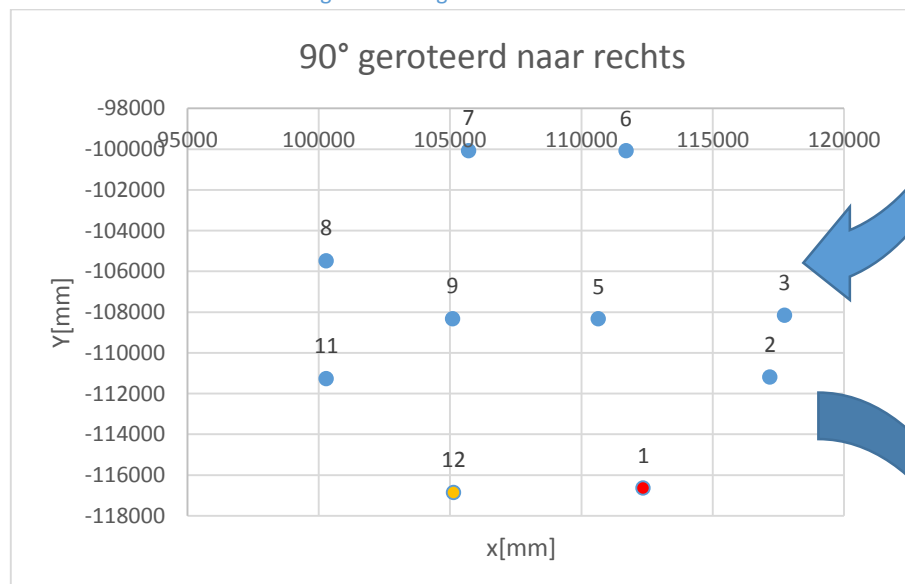
1. Het laden van een nieuwe lay-out in de software.
2. Een translatie en rotatie uitvoeren op de gemeten punten.

Uiteindelijk werd de tweede optie uitgevoerd omdat de lay-out in AGVMaster getekend is overeenkomstig de werkelijkheid en de stappen voor het uitvoeren van de tweede oplossing niet veel tijd in beslag nemen. Voor de transformatie van de punten moest de X- en Y-coördinaten waarde van een vast punt van beide assenstelsels overeen komen. Hiervoor werd het punt “vast 5” gebruikt, uiteindelijk werd er geroteerd [Figuur 38] en getransleerd [Figuur 39] zodat de gemeten waarden overeenkomen met de waarden in de software.



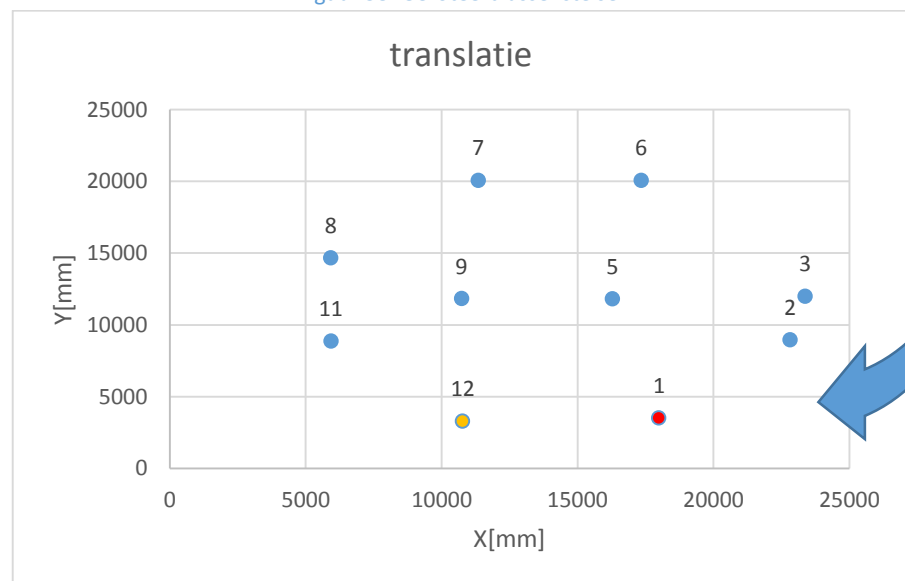
Figuur 37: Origineel assenstelsel

90°
 Rotatie
 $X_2=Y_1$
 $Y_2=-X_1$



Figuur 38: Gerooteerd assenstelsel

Translatie
 $X_3=x_2-94360$
 $Y_3=y_2+120147$



Figuur 39: Getranslateerd en gerooteerd assenstelsel

5 Implementatie in een KMO-omgeving

5.2.4 AGV stations

De demo-opstelling bestaat uit vier stations namelijk:

- 1) CNC-machine met beladingsrobot
 - 2) Meetcel met beladingsrobot
 - 3) Magazijn met vier locaties voor palletten
 - 4) Manuele werkpost
1. De CNC-machine dient voor het bewerken van werkstukken, die automatisch door een beladingsrobot worden geplaatst. Deze werkstukken komen van het magazijn of van een pallet.



Figuur 40: CNC-cel met beladingsrobot

2. De meetcel dient voor het controleren van de werkstukken, die automatisch door een beladingsrobot worden geplaatst.



Figuur 41: Meetcel met beladingsrobot

3. Het magazijn dient als centrale opslagplaats van de palletten en als buffer voor de meetcel, indien deze niet beschikbaar is, zodat de CNC-cel kan blijven produceren totdat het magazijn vol is.



Figuur 42: Magazijn

4. Manuele werkpost dient om de palleten manueel op te vragen. Dit kan bijvoorbeeld wenselijk zijn voor: visuele controle van werkstukken, manuele assemblage, verpakken voor transport ...

5.2.5 Ontwerpen van pallethouders en pallet

In de demo opstelling bij Sirris is de gerobotiseerde meetcel beperkt qua flexibiliteit om met verschillende werkstukken kunnen om te gaan. Omdat voor het onderzoek de haalbaarheid van de implementatie van een AGV-systeem in een KMO-omgeving primeerden werden een aantal vereenvoudigingen doorgevoerd.

Tijdens de demo gaan een beperkt en vast aantal producten op de pallet vervoerd worden. Daarom werd verkozen voor een kleinere pallet dan de standaard Europallet. Deze willen we op verschillende locaties kunnen stokkeren, mogelijks boven elkaar in het magazijn. De pallet is 400 mm bij 800 mm.

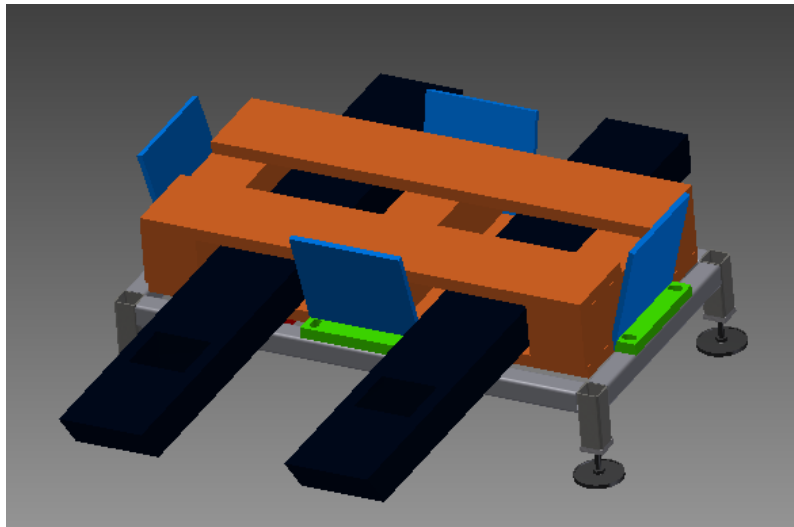


Figuur 43: Pallet in pallethouder

Omdat een vast aantal producten op een pallet door middel van een AGV getransporteerd worden en automatisch op deze pallet gelegd of afgenomen worden met een 6-assige robot zonder visie of andere sensoren, moet de positie van het product op de pallet ten opzichte van de robot constant, deze positie moet altijd hetzelfde en precies zijn. Dit willen we verkrijgen door de pallet in een pallethouder te plaatsen welke voorzien is van afschuiningen langs alle kanten om de pallet zo te positioneren.

Op onderstaande tekening is de pallethouder (grijs) te zien met een pallet (400 x 800 mm) er op. In de pallet zijn de twee vorken (zwart) van de AGV getoond. De geleidingsplaten (blauw) met afmetingen (200 x 200 mm) moeten de pallet bij het afzetten geleiden. Deze geleiding kunnen een maximale speling in elke richting van 50 mm opvangen. Hiervoor staan de platen onder een hoek van 15°. Het groene gedeelte verbindt een geleidingsplaat met het frame. Om de geleidingsplaten te kunnen bijstellen is de goene bevestigingslat, voorzien van sleufgaten.

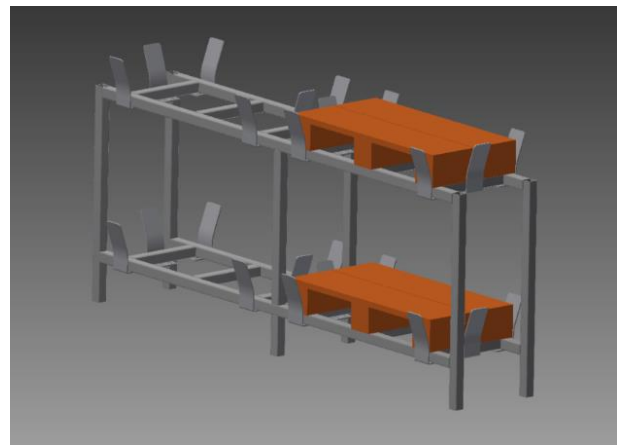
5 Implementatie in een KMO-omgeving



Figuur 44: Pallethouder met pallet en vorken AGV



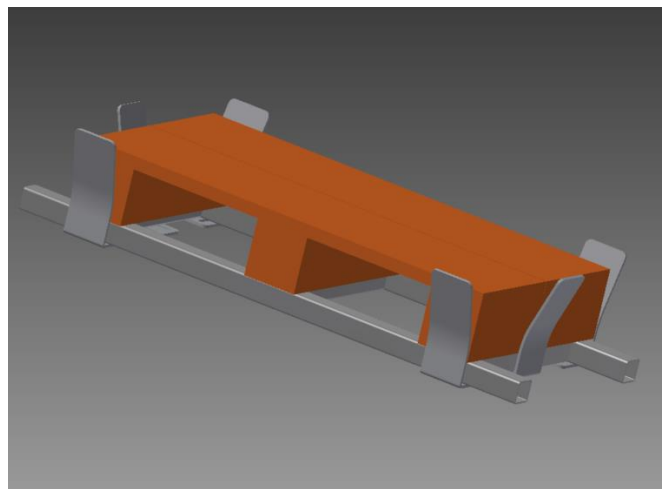
Figuur 45: Magazijn

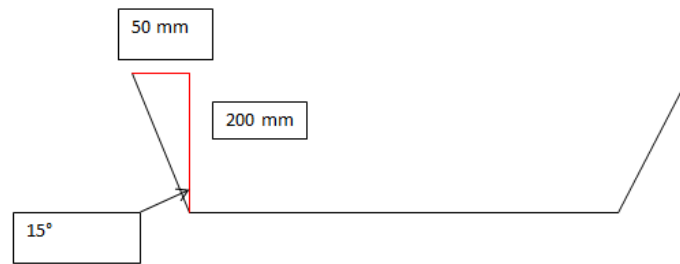


Onderstaande Figuur [Figuur 46] is de pallethouder die zowel bij de meetcel als bij de CNC-cel geplaatst is.



Figuur 46: Pallethouder met pallet





Figuur 47: Afschuining pallethouder

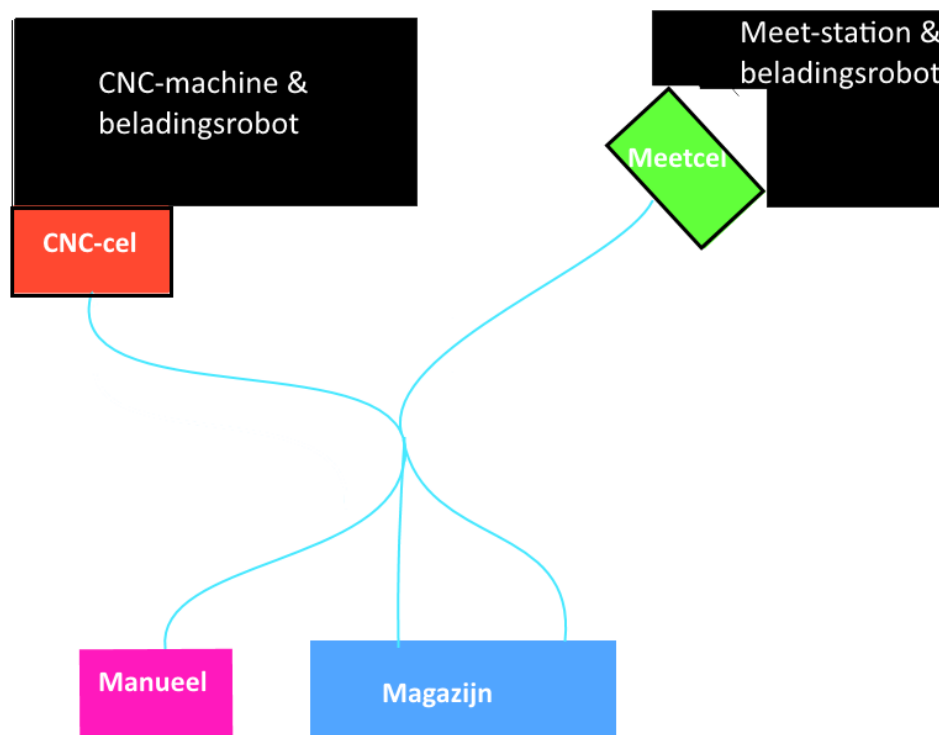
5.3 Demo-opstelling

In de demo kunnen opdrachten voor het AGV-systeem ontstaan vanuit:

- Robojob controller:
dit is de fabrikant van beladingsrobot aan de CNC-machine.
- Meetcel controller:
- Drukknop (manuele werkpost)

Voor een goede werking van de demo-opstelling is de communicatie tussen de verschillende onderdelen cruciaal. Dit is nodig voor het opstellen van de variabelen.

Bij de demo-opstelling worden enkele sensoren aan de machines weggelaten die normaal wel aanwezig moeten zijn. Zo staat aan de machine geen sensor die controleert of een pallet aanwezig is, dit moeten we dus bijhouden in de software. De demo vertrekt daarom altijd vanuit dezelfde beginsituatie. Later kunnen de werkstukken op de pallet aan de machine eventueel geobserveerd worden met een camera om aan de hand hiervan de positie van de werkstukken te bepalen.



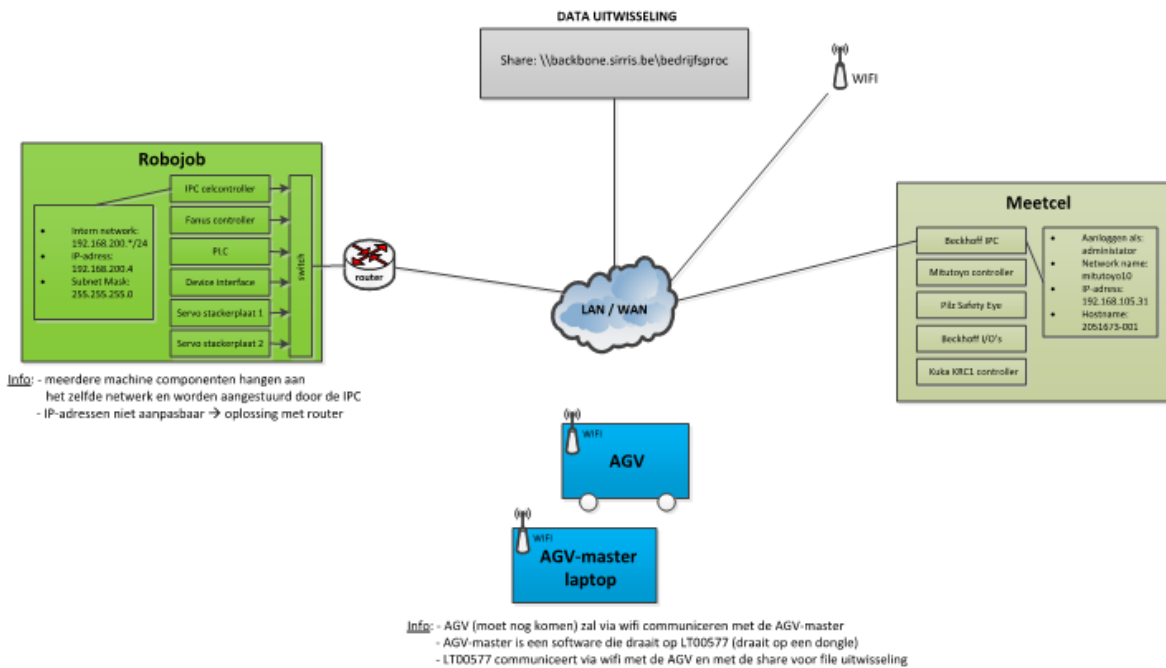
Figuur 48: Procesverloop in de demo-opstelling

5 Implementatie in een KMO-omgeving

5.4 Procesverloop

De demo-opstelling bestaat uit meerdere stations namelijk: een CNC-cel, meetcel, magazijn en de manuele werkpost. De AGV gaat in functie van de status van de machines de gewenste pallet brengen of halen en communiceert met het station zodat deze weet dat er een pallet gebracht is.

Initieel zijn er in het magazijn vier palletten aanwezig; de status van de palletten wordt bij de start van het proces ingelezen vanuit een “.txt” bestand. Bij de CNC-cel en de meetcel zijn de pallethouders leeg. Indien de CNC-cel actief is en een pallet wenst zal de AGV eerst een pallet uit het magazijn gaan halen en deze naar de CNC-cel brengen. Hierna zal de AGV wachten op de volgende opdracht. Indien de meetcel actief is, zal AGVMaster nagaan als er in het magazijn nog palletten zijn, met te meten werkstukken op. Als dit zo is zal de AGV deze naar de meetcel brengen. Als de CNC-cel klaar is, gaat de AGV de pallet ophalen. In de volgende stap gaat de AGVMaster kijken of de pallet bij de meetcel kan geplaatst worden. Als dit niet zo is brengt hij deze rechtstreeks naar het magazijn. Indien de CNC-cel en meetcel beide een pallet vragen, krijgt de CNC-cel voorrang, omdat deze een langere bewerkingstijd heeft dan de meetcel.



Figuur 49: Lay-out van communicatie tussen de verschillende machines

5.5 Aanpassingen aan station

1. De CNC-cel

De CNC-cel is uitgerust met een beladingsrobot en een magazijn. Oorspronkelijk neemt verplaatst de robot werkstukken tussen dit magazijn en de CNC-machine. Voor met de AGV te kunnen samenwerken, moet de robot de werkstukken ook kunnen verplaatsen tussen een pallet en de CNC-machine. Hiervoor moest een nieuw programma geschreven worden in de Robojob met een AGV functie. De CNC-cel is voorzien van een SICK veiligheidssensor die de snelheid van de robot verlaagt indien iets in het gedefinieerde gebied komt (*protective-* en *warning field*). De sensor gaat de pallet en/of de houder detecteren waardoor de robot niet meer aan volle snelheid kan werken. Daarom moet het gebied worden aangepast aan de houder van het pallet. De CNC-cel mag nooit werken als de AGV een pallet verplaatst of in botsing kan komen met de beladingsrobot.

2. Meetcel

Net zoals bij de CNC-cel wordt het product genomen vanaf een pallet. Dit programma wordt door Sirris gemaakt. Bij de meetcel wordt de ruimte voor de AGV door een bestaande wand in de werkplaats. Hierdoor heeft de AGV weinig plaats om te draaien. Dit kan opgelost worden door zeer scherp te draaien (in software) of de pallethouder lichtjes onder hoek op te stellen.

5.6 AGVMaster

AGVMaster is het besturingsprogramma van Mabo E&A nv. Met de AGVMaster worden opdrachten voor het AGV-toestel gegenereerd. AGVMaster is het overkoepelende systeem dat alle signalen van de verschillende componenten zal ontvangen en verwerken. Na de verwerking kunnen verschillende handelingen gebeuren afhankelijk van welke signalen ontvangen worden.

De AGV-PC heeft als taak:

- Voor de AGV een globale pad planning uitvoeren;
- Ontvangen van signalen van de “CNC-cel” horende bij de freesmachine;
- Ontvangen van signalen van de “meetcel” horende bij de meetmachine;
- Gegevens bijhouden van de palletten zoals plaats, aantal stukken, gemeten stukken, afgewerkte stukken.

aandachtspunten

1. Het systeem moet kunnen werken indien de meetcel afgeschakeld is. Bij deze stand zullen de afgewerkte palletten in het magazijn komen. Wanneer de meetcel later weer wordt ingeschakeld, zullen de palletten die nog gemeten moeten worden, vanuit het magazijn worden aangevoerd. Deze zullen met een FILO-volgorde (First In, Last out) worden behandeld. Dit betekent concreet dat de laatst toegevoegde pallet als eerste wordt gemeten zodat de metingen van het meest recente werkstuk worden gebruikt.
2. Het systeem moet ook poorten en noodsignalen kunnen aansturen en ontvangen. Het is bijvoorbeeld wenselijk dat een AGV stopt met rijden indien er een brand in de werkplaats ontstaat.

5.6.1 Communicatie

De communicatie zal via ethernet gerealiseerd worden. Bij deze demo is ervoor gekozen om files te schrijven op een server, die fungeert als een NAS (netwerk area storage) omdat dit sneller te implementeren was dan een bussysteem en dit geen extra kosten met zich meebracht. Bij industriële installaties verloopt de communicatie meestal via een bussysteem. Bij een bussysteem verloopt de communicatie met bytes. Hiermee is in de file-communicatie wel al rekening gehouden. Zo wordt voorzien dat de parameters in de vorm geschikt voor een dergelijk bussysteem worden gezet, zodat er niets aan de programmatie moet gewijzigd worden indien men dit in de toekomst wil implementeren. De parameters worden geschreven in de vorm van bits en bytes in plaats van met een specifieke naam. De deelnemers aan het AGV-systeem (AGVMaster, CNC-cel, meetcel) met het netwerk van Sirris. De RoboJob en meetcel via een ethernetkabel, de AGV-Master software (die op een laptop draait) via wifi.

5.6.2 Algemene info rond file-communicatie

De timestamp dient ter controle voor de documenten naar de ouderdom van de bestanden. Zo worden bestanden ouder dan vijf seconden niet meer als betrouwbaar aanzien. Om ervoor te zorgen dat de systemen op dezelfde tijd zitten, worden de klokken van de pc's in het netwerk gesynchroniseerd. Dit gebeurt via de Windows instellingen met behulp van een internet NTP-server (Network time protocol). De *byte*-nummers hebben bij *file* communicatie voor iemand die de file leest geen betekenis, maar laten toe nadien sneller over te gaan naar een bus protocol.

1. In de demo-opstelling zijn er vier communicatiewegen: Communicatie tussen RBJ en AGVMaster.
2. Communicatie tussen MCL en AGVMaster.
3. Interne communicatie van de AGVMaster die de waarden van magazijn en pallet bijhoudt.
4. De communicatie tussen AGV en de AGVMaster.

De communicatiewegen tussen de cellen met controllers (hierboven 1. en 2.) maken telkens gebruik van twee communicatiefiles, één die door de AGVMaster wordt geschreven en door de gecommuniceerde cel gelezen wordt en één die door de gecommuniceerde cel beschreven wordt en door de AGVMaster gelezen wordt.

5 Implementatie in een KMO-omgeving

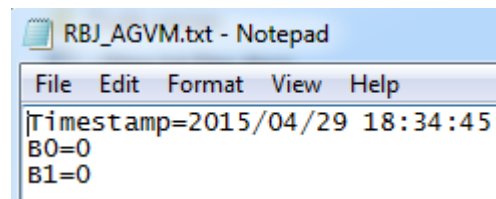
5.6.3 CNC-cel: Communicatie tussen RBJ en AGVMaster

RBJ → AGVMaster

Tabel 3: Communicatie RBJ→AGVmaster

	Timestamp Vb. "2015/03/27 22:13:36"	Controle of er niet gewerkt wordt met een oud bestand.
RBJ_Stby	Byte0 = 1	RBJ is <i>stand-by</i>
RBJ_Plt_pres	Byte0 = 2	RBJ is bezig
RBJ_Stby + RBJ_Plt_pres	Byte0 = 3	pallet aanwezig + RBJ is <i>stand-by</i>
RBJ_Stk_val	Byte1: Y	Y het aantal bewerkte stukken in decimale weergave

Zo zal het bestand eruit zien [Figuur 50] dat van Robojob naar AGVMaster gaat



Figuur 50: txt RBJ→AGVMaster

Naam bestand: "RBJ_AGVM.txt"

Regel 1: "2015/04/29 18:34:45" = timestamp (als het bestand ouder is dan 5 seconden, wordt het bestand niet meer gebruikt en wordt er een melding gegenereerd)

Regel 2: Byte0 => status van Robojob

B0=X ; X kan volgende waarde hebben 1 = stand-by, 2 = pallet aanwezig (RBJ is bezig), 3 = pallet aanwezig + RBJ is *stand-by*

Regel 3: Byte1 => aantal bewerkte werkstukken

B0=Y ; Y het aantal bewerkte stukken in decimale weergave

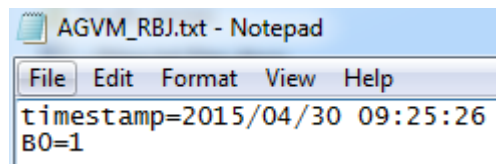
Initieel is Robojob *stand-by*: RBJ zendt 1 (*stand-by*) => RBJ zendt 3 (*stand-by* + pallet aanwezig) => RBJ zendt 2 (niet *stand-by* + pallet aanwezig =>) => RBJ zendt 3 (*stand-by* + pallet aanwezig) => RBJ zendt 1 (*stand-by*)

AGVMaster → RBJ

Tabel 4: Communicatie AGVMaster→RBJ

	Time-stampVb. "2015/03/27 22:13:36"	
	Byte0 = 0	<i>handshake</i>
AGV_RBJ_drp	Byte0 = 1	AGV heeft pallet bij RBJ gebracht
AGV_RBJ_pick	Byte0 = 2	AGV is pallet bij RBJ gaan halen

Zo zal het bestand eruit zien wat van AGVMaster naar Robojob gaat.



Figuur 51: txt AGVMaster→RBJ

Naam bestand: "AGVM_RBJ.txt"

Regel 1: "timestamp =2015/04/30 09:25:26" (als het bestand ouder is dan 5 seconden , wordt het bestand niet meer gebruikt en wordt er een melding gegenereerd)

Regel 2: Byte0 => status van AGV

Bo=X ; X kan volgende waarde hebben: 0 = *handshake*, 1 = pallet gebracht , 2 = pallet gehaald

Initieel is Robojob is *stand-by*: AGVM zendt 1 (pallet is gebracht) => Enkele seconden wachten => AGVM zendt 0 (handshake) => AGVM zendt 2 (pallet is gehaald) => Nieuwe pallet ...

Verloop van proces

- Opdracht uitsturen om pallet met ruwe werkstukken te brengen (melding dat er geen pallet is bij het station en de AGVMaster genereert dan een opdracht). Of een opdracht wordt gewoon gelinkt aan pallet halen, maar beter de eerste AGV indien je met meerdere AGV's werkt.
- Pallet met ruwe werkstukken in houder geplaatst en AGV is niet meer in gevarenzone.
- Opdracht uitsturen voor als afgewerkte stukken op de pallet zijn aangebracht

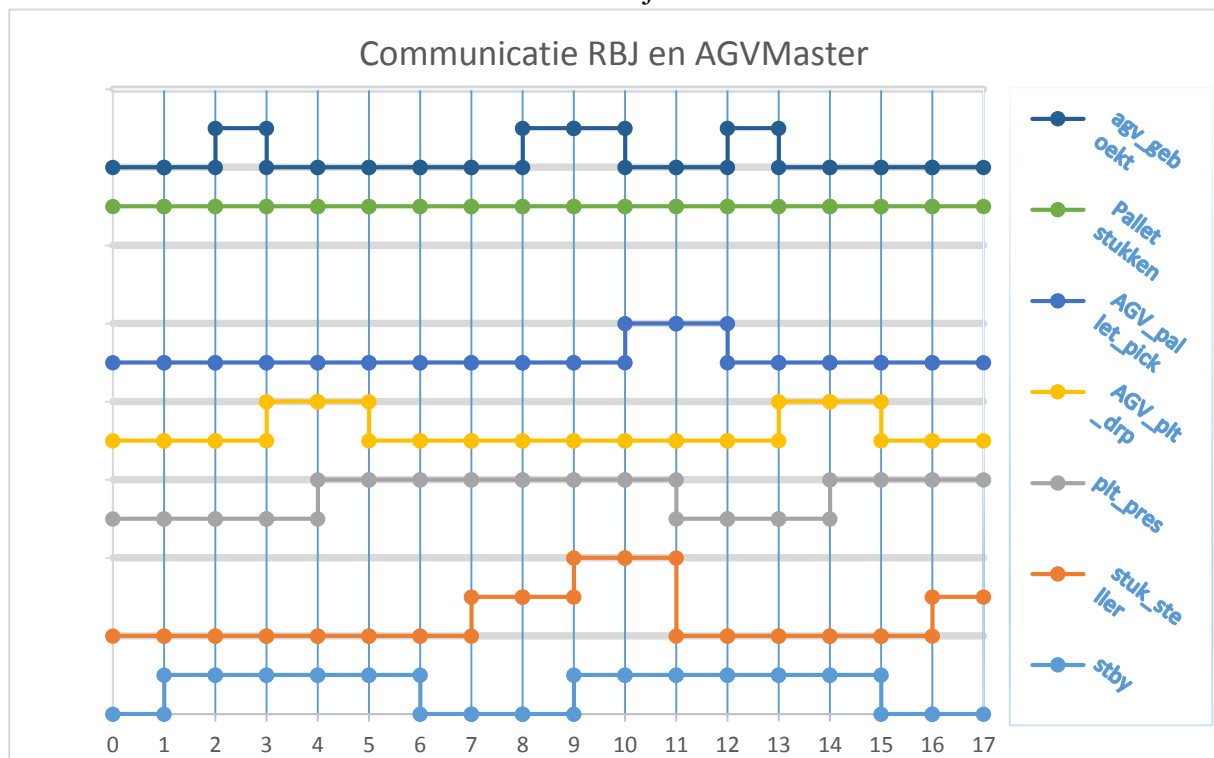
5 Implementatie in een KMO-omgeving

In onderstaande tabel [Tabel 5] wordt het hele verloop van communicatie tussen Robojob en AGVMaster beschreven. De figuur daaronder [Figuur 52] is een visuele weergave van de tabel

Tabel 5: Communicatie verloop RBJ en AGVMaster

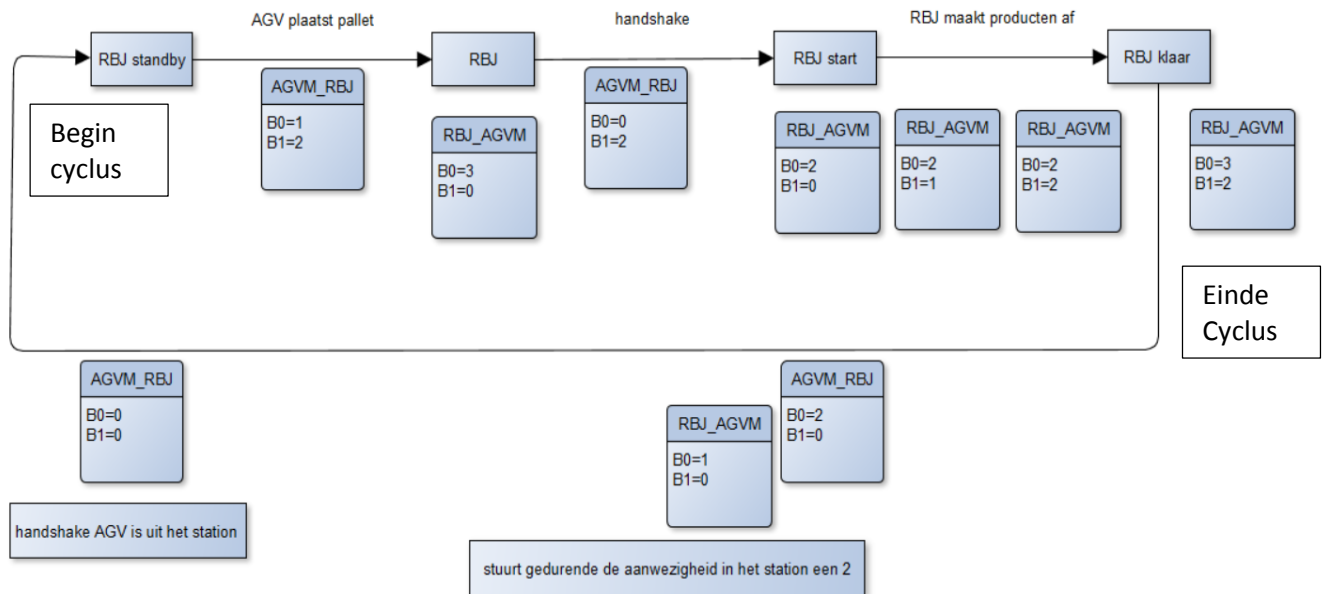
0		initiatie
1	RBJ	RBJ komt in standby
2	AGV	AGVMaster ziet stby=1
3	AGV	AGV geeft door aan RBJ dat pallet is gedropt
4	RBJ	RBJ ontvangt dat pallet is gedropt ==> zegt dat pallet aanwezig is
5	AGV	AGV ziet dat RBJ instructie heeft ontvangen en zet pallet drop op 0
6	RBJ	RBJ heeft present pallet dus gaat beginnen aan taak stby op 0
7	RBJ	RBJ laat weten dat 1 product af is
8	AGV	Geen speciale actie uitgevoerd
9	RBJ	RBJ is klaar met 2 de stuk ==> gaat in stby
10	AGV	AGVMaster ziet dat STBY=1 en zal zien dat reeds pallet gebracht is ==> zal AGV opdracht geven om pallet te gaan halen dus boeking is afgezegd en dat pallet reeds is opgepikt
11	RBJ	RBJ ziet file van AGV en weet dus dat pallet is opgehaald ==> pallet pres = 0 afgewerkte producten = 0
12	AGV	AGV ziet file van RBJ en ziet dat stby =1 en plt_pres=0 ==> pallet_pick wordt dus op 0 geplaatst ==> er moet een pallet gebracht worden ==> AGV wordt geboekt
13	AGV	AGV dropt pallet bij RBJ en geeft dit door
14	RBJ	RBJ ontvangt dat pallet is gebracht

Op onderstaand schema is de communicatie van de bovenstaande tabel uitgezet. Hier kan u zien hoe elke variabele veranderd in de tijd.



Figuur 52: Visueel communicatie

Op onderstaand schema[Figuur 53] is de data uitwisselen stap per stap weergegeven.



Figuur 53: Communicatieverloop tijdens het proces

In figuur 53 is de communicatie grafisch samengevat. In de eerste stap zal de AGV een pallet brengen, indien de RBJ stand-by staat. Als deze ziet dat de pallet gebracht is zal de status veranderen. De beladingsrobot mag echter pas beginnen met werken na de “handshake” van de AGVMaster. Dit gebeurt als de AGV uit het station is. Hierna zal de Robojob alle stukken bewerken. Als de stukken bewerkt zijn zal hij dit laten weten aan de AGVMaster, welke dan de pallet zal komen halen.

5.6.4 Meetcel : Communicatie tussen MCL en AGVMaster

De communicatie met de meetcel is identiek aan de communicatie met de CNC-cel

5.7 Hoe werd het programma opgebouwd?

Een van de belangrijkste elementen om tot een vlot lopend systeem te komen, is de communicatie. Daarom is het altijd belangrijk om hier extra aandacht aan te besteden. Met deze gedachte werd eerst nagedacht over alle parameters en de communicatie. In de demo werken drie componenten die met elkaar moeten communiceren. Het is dus heel belangrijk dat er een afspraak is over de nodige signalen en over de manier waarop deze signalen worden overgebracht.

Stap voor stap moet elke stap bekeken worden naar vereisten en benodigdheden.

Nu elke partij weet wat er verwacht wordt, kan het proces verder met de volgende stappen. Eens bekend is welke signalen de AGVMaster zal ontvangen, kan de programmatie verder voorbereid worden.

Dit doe je op net dezelfde manier als de parameters. Stap per stap wordt het hele proces overlopen. Zo kan je zien welke interne variabelen vereist zijn binnen het programma.

Verkort komt het op het volgende neer:

- Is een AGV ter beschikking;
- Welke machine vraagt;
- Welke pallet en waar is deze pallet;
- Pallet is afgeleverd;
- Data aanpassen dat pallet andere locatie heeft.

5 Implementatie in een KMO-omgeving

Als er een pallet nodig is → zoek pallet
→ ga naar station
→ ga naar volgend station als je pallet hebt

In de Python *file* staat alle project specifieke logica. Hier worden de opdrachten en handelingen beslist. Het uiteindelijke resultaat van de logica is het doorsturen van een AGV-nummer en station-nummer naar AGVMaster.

Hoe is dit gerealiseerd? Bij het begin werd de gehele demo-opstelling overlopen in normale taal; hieruit zijn de variabelen en functies ontstaan.

5.7.1 Verhaal schriftelijk

Startsituatie van de demo-opstelling, in het magazijn zijn twee palletten met bewerkte stukken en twee palletten met ruwe stukken geplaatst. De startsituatie wordt telkens gelezen uit een bestand. Als eerste moet de AGV een pallet naar de CNC-machine brengen.

Hoe kunnen deze twee palletten onderscheiden worden?

Hiervoor is een status nodig voor de inhoud van de palletten. Vervolgens is de keuze nog tussen twee palletten, daarom heeft elke pallet een nummer gekregen. Zo zijn deze twee toch verschillend van elkaar.

De positie/plaats van de pallet is echter nog niet gekend.

Dit moet ook worden bijgehouden tijdens het programma. Dit kan heel veel worden indien je elke plaats in het magazijn als een station beschouwt. Daarom wordt het hele magazijn als 1 beschouwd. Om alles van het magazijn te weten is het dus noodzakelijk om parameters in verband met magazijn te behouden.

Het magazijn bestaat uit vier verschillende locaties. Het is dus belangrijk om te controleren of deze locaties bezet zijn en zo ja, welk palletnummer.

Nu kan de AGV de pallet gaan halen. Echter is dit alleen gewenst indien de machine dit toelaat/wenst. De machine moet laten weten dat hij een pallet wil. Dit wordt gedaan met het uitwisselen van informatie tussen machine en AGVMaster. Indien de AGV de pallet heeft, moet hij ook nog weten naar waar hij deze moet brengen. Dit kan door te werken met opdrachten of door een extra variabele.

Eerst is de code bestudeerd zodat we wisten wat er gevraagd werd en welke parameters uiteindelijk moesten verzonden worden. Daarna werd een programma gebouwd op basis van volgende stappen.

1. Bestanden lezen
2. Bestanden schrijven
3. Eenvoudig aansturen
4. Meer automatisch maken
5. Volledig automatisch op eenvoudige manier
6. Programma slimmer maken en de stappen verkorten

Een van de problemen is dat deze code op heel veel manieren kan opgesteld worden, maar de manier waarop je bezig bent niet noodzakelijk de beste is. Daarom is het belangrijk om eerst het volledige systeem te doen werken en daarna pas aanpassingen te doen. Tijdens de programmatie zijn er echter veel meer parameters nodig om bepaalde standen bij te houden.

5.7.2 Pallet

De pallet wordt gebruikt om het product te vervoeren. Het is dan ook zo dat per pallet info wordt bijgehouden over het product. De volgende parameters moeten toegekend worden aan een pallet:

- Het aantal stukken dat op de pallet staat;
- De plaats waar de pallet zich bevindt;
- Of het product al bewerkt is;
- Of het product al gemeten is.

De pallet kan dit niet bijhouden want deze heeft geen intelligentie. AGVMaster zal deze informatie bijhouden en bewerken aan de hand van signalen van de verschillende machines.

Tabel 6: Variabelen pallet

Palletnummer	Pallet_nr	1, 2, 3, 4
Palletnummer locatie	Pallet_nr_locatie	1 magazijn, 2 CNC, 3 meetcel, 4 onderweg
Palletnummer aantal stukken	Pallet_nr_aantal stuk	Constante, later wordt dit echter geobserveerd door een camera
Palletnummer status producten	Pallet_nr_status producten	0 ruw 1 bewerkt 2 gemeten
Palletnummer soort producten	Pallet_nr_soort producten	(Niet van toepassing heden)

5.7.3 Magazijn

Het is noodzakelijk om te weten welke pallet zich waar in het magazijn bevindt.

Tabel 7: Variabelen magazijn

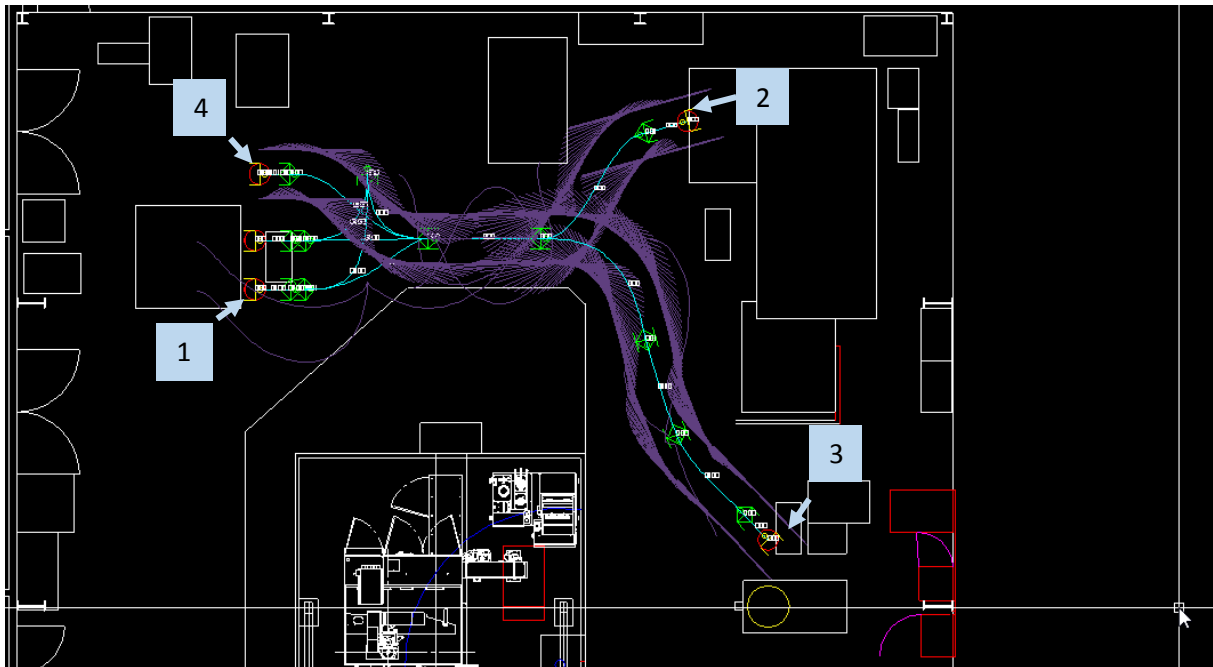
Timestamp(server)		
Magazijnnummer	MGZ_nr	Er zijn 4 plaatsen in magazijn
Magazijnstatus	MGZ_Stat	0 er is geen pallet, 1 er is een pallet (grof), 2 bewerkt 3 gemeten
Pallet op positie x magazijn	MGZ_X_plt_nr	Hier geven we de palletnummer die zich op positie X bevindt.

Magazijn nummer	
1	2
3	4

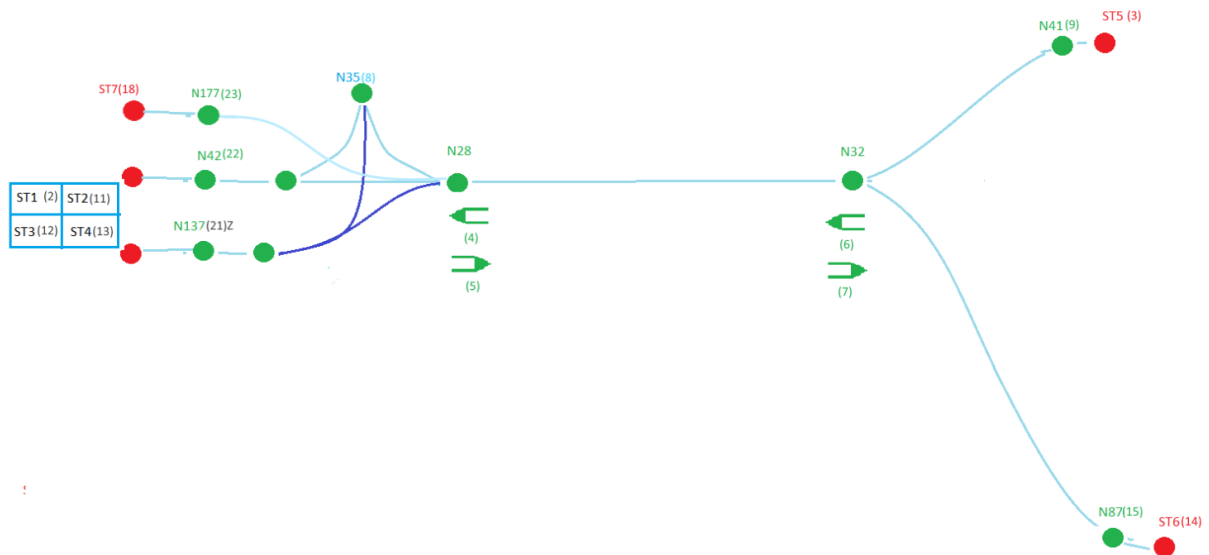
5.8 Simulatieprogramma

Voor het AGV-toestel werd geleverd is om de komst van de AGV zoveel mogelijk voor te bereiden, werd gebruik gemaakt van een simulatieprogramma. Op die manier konden de stations en de routes van de AGV al in grote mate bepaald worden. Onderstaand Figuur 54 is een screenshot te zien van AGVMaster met als achtergrond de werkplaats. De gele haken met een rode cirkel rond zijn de stations, de groene symbolen zijn nodes, de blauwe lijnen is de af te leggen route en de paarse lijnen zijn de contourbewegingen van de AGV om te zien of deze nergens botst met obstakels.

1. Magazijn (dit zijn eigenlijk vier stations, voor elke palletpositie één)
2. CNC-cel
3. Meetcel
4. Manuele werkpost
5. Mogelijke positie voor het laden van de batterij



Figuur 54 : Grondplan van Sarris in AGVMaster

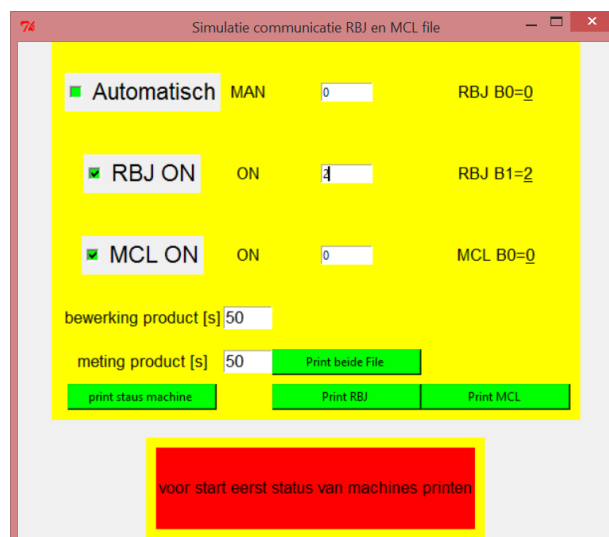


Figuur 55: Stations (rood bolletje), nodes (groen bolletje) en de blauwe lijn geeft de afteleggen route weer

5.8.1 Simulatie van communicatie

Tijdens het programmeren werd de code van tijd tot tijd getest. Maar om het programma zo reëel mogelijk te testen in de simulatie moest de communicatie ook hetzelfde uitgevoerd worden. Daarom werd een programma geschreven waarmee de communicatie van de CNC- en meetcel mee gesimuleerd wordt. Dit omdat bestanden ouder dan 5 seconden niet gebruikt mogen worden. Bij de Simulatie kan gekozen worden om de communicatie files manueel te manipuleren of dat deze automatisch worden gewijzigd. Bij de automatische stand kan je selecteren hoelang het duurt om een stuk te bewerken en te meten. Ook kan je selecteren welke machine actief zijn.

Deze simulatie kan ook gebruikt worden tijdens de demo zo moet niet bij elke voorstelling een product bewerkt worden, en kan je zelf de tijd en het tempo van de demo bepalen.



Figuur 56: interface van simulatie van de communicatie

6 Evaluatie en AGV selectie

AGV's zijn zeer sterk aan het groeien op de markt. Dit komt omdat ze tegenwoordig veel gebruiksvriendelijker en goedkoper zijn dan vroeger. De evolutie in AGV's gaat zeer snel vooruit. Zo speelt de *laserscanner* een grote rol bij de verhoogde flexibiliteit van de AGV's. Ze brengen nieuwe mogelijkheden met zich mee. Ze worden in een zeer brede waaier aan sectoren gebruikt. Het is algemeen gekend dat de ROI bij AGV's zeer hoog is.

AGV's kunnen 24/7 opereren waardoor de manuele werkkraft verlaagd kan worden. Geld wordt bespaard op vlak van verloren tijd, menselijke fouten, ongelukken en opleidingen.

Het is zeer belangrijk als projectleider van een AGV om het hele bedrijf goed in te lichten van de functie van de AGV. Het is zo dat veel mensen denken dat AGV's jobs afnemen van arbeiders. Arbeiders zijn dus geneigd de AGV niet makkelijk te accepteren en daarom is goede informatie en communicatie noodzakelijk. De AGV neemt de taken over die geen directe bijdrage leveren aan het product waardoor de arbeider zich beter kan concentreren.

Anderzijds is het ook nodig dat de arbeider het systeem leert kennen en zich veilig en vertrouwd voelt met de AGV zodat hij zich geen zorgen moet maken als de AGV voorbijkomt. Het is namelijk een heel apart gevoel een heftruck met pallet te zien rijden zonder een bestuurder. Dit geeft een onveilig gevoel indien men niet goed geïnformeerd is of vertrouwd zijn met deze situatie[35].

6.1 Stappen tijdens implementatie

Alvorens te starten met de implementatie van een AGV moeten een aantal zaken gedaan worden:

1. Kostenbaten-analyse maken om te kijken of het gebruik van een AGV wel een investering is met voldoende rendement omdat een AGV pas interessant wordt bij repetitieve handelingen met een voldoende hoge frequentie. De prijs van een AGV is € 130.000 terwijl een heftruck € 25.000 kost.
2. Het bepalen van de gewenste flexibiliteit en nauwkeurigheid nodig voor de opdracht om zo de te gebruiken navigatiemethode te bepalen (lijn, *laser*, camera ...).
3. De batterijcapaciteit en het soort batterij bepalen op basis van de mogelijkheid om bijvoorbeeld 's nachts of tussendoor op te laden.
4. Type AGV (heftruck, platform, trekken, duwen...)
5. Omdat wij een AGV ter beschikking hebben gekregen hebben we bovenstaande keuzes niet moeten maken. Zoals eerder vermeld was dit een heftruck AGV met een *laserscanner*.
6. Bij dit type navigatie moeten reflectoren aangebracht worden. Om voldoende nauwkeurigheid te behalen, moet de *laserscanner* op elke positie drie reflectoren kunnen zien. Deze reflectoren moeten op vaste obstakels (palen,

muren...) bevestigd worden omdat de positie hiervan nauwkeurig gekend moet zijn en dus niet verplaatst mag worden.

7. Het aanpassen van de werkplaats aan de AGV. Dit houdt in het ophangen van reflectoren (zelfklevende of met bouten).

Het herstellen van putten en groeven, dit omdat de AGV maar een beperkte stroom naar zijn motoren stuurt om bij een eventuele botsing de schade te beperken tot een minimum. Ook de vloer moet te allen tijde relatief proper blijven.

Het voorzien van een basisstation om de batterijen op te laden (manueel of automatisch).

8. De positie van de reflectoren die geplaatst zijn: X-en Y-coördinaten, moet gekend zijn ten opzichte van een referentiepunt. Om voldoende nauwkeurigheid te bereiken, moet dit uitgevoerd worden door een landmeter met een theodoliet. De kostprijs hiervan is afhankelijk van de oppervlakte en het aantal reflectoren. Voor de werkplaats van Sirris was één werkuur nodig aan een uurloon van 125 euro per uur.
9. Afhankelijk van de repetitieve nauwkeurigheid van de positie van de pallet moet indien nodig een houder met geleiders gemaakt worden, aangepast aan het te transporteren product. In de werkplaats van Sirris wordt gewerkt met palletten van 800 x 400 mm waarbij de tolerantie op de positie kleiner dan 3 mm is.
10. Indien nodig het opstellen van de communicatieparameters voor de communicatie van de AGV met andere machines. Hiervoor moeten ook aanpassingen aan de software van de machines gedaan worden, hiervoor kan best de leverancier worden gecontacteerd.
11. Het aanpassen van de software aan het projectspecifieke gedeelte.
12. De AGV de exacte locaties aanleren van de stations (door manueel naar het station te rijden en de positie op te slaan) en het aanpassen van de route om zo ver mogelijk van obstakels te blijven en schokkende bewegingen van de AGV te vermijden.

6 Evaluatie en AGV selectie

6.2 Problemen en moeilijkheden die wij zijn tegengekomen

Een van de problemen is de vloer in de werkplaats, deze bestaat namelijk uit meerdere platen met groeven tussen: bij lage snelheden kan de AGV hier niet over gaan. Dit komt doordat de AGV een stroombegrenzing op de motor heeft als laatste veiligheid om bij een botsing de schade te beperken. Dit is bij Sirris opgelost door de routes zo te kiezen zodat de AGV met voldoende snelheid heeft, als deze over een groef moet rijden.

Omdat de AGV via wifi communiceert met de PC waarop het besturingsprogramma op staat, heeft deze toegang tot het netwerk van het bedrijf nodig.

Dit kan een mogelijk gevaar vormen voor de bedrijfsveiligheid waardoor dit door het IT-personeel niet altijd wordt toegelaten.

Een duidelijke communicatie met de leveranciers is nodig om in ons geval de communicatiegegevens vast te leggen.

In de werkplaats mag de AGV niet over het wandelpad, dat met geel-zwart lijnen op de grond is aangegeven, rijden. Omdat in de werkplaats van Sirris weinig plaats is, vormt dit een probleem om de AGV overal te doen geraken. In KMO's zou dit probleem zich eveneens kunnen voordoen omdat ook hier de plaats vaak beperkt is.

Psychologisch effect op mensen:

Werknemers denken dat door automatisatie hun job wordt overgenomen door machines. Dit is echter niet zo, maar hierdoor gaan mensen systemen niet accepteren. Je moet eerst de mensen overtuigen en informeren over de implementatie van de AGV voor je deze effectief implementeert.

6.3 Leveranciers van AGV-systemen

Tijdens het onderzoek werden drie verschillende types van leveranciers opgemerkt:

1. Leveranciers zoals MABO E&A nv die het hele systeem zelf maken. Deze vertrekken dus van een eigen ontwerp
2. Een andere groep gebruikt traditionele heftrucks en bouwt deze om tot een AGV. Hiervoor moet intelligentie en sensoren worden toegevoegd aan het voertuig. Een voorbeeld hiervan is Movanis.
3. De laatste groep koopt AGV's van een ander merk en verdelen deze in België met hun eigen aanpassingen erop aangebracht. Een AGV-merk dat veel voorkomt, is Rocla. Een voorbeeld van dergelijke leverancier is .c-techrobotics.

In het totaal werden een twintigtal bedrijven gecontacteerd, hieronder vindt u tabel [Tabel 8] met een aantal van deze leveranciers.

Tabel 8: Leveranciers

Leverancier	Locatie	Link/info
MABO E&A	Lier	http://www.agv-automation.com
Morvans (Bedelec)	Ooiegem	http://movanis.be
Egemin automation	Zwijndrecht	http://www.egemin-automation.be
Snox (Grenzebach)	Aartselaar	www.snox.com
Motum	Mechelen	http://www.motum.be/
C-techrobotics	Bergen op zoom	http://www.c-techrobotics.com/
Crepa	Rijswijk, Nederland	http://www.crepa.nl
VDL	Hapert, Nederland	Transporten van containers in haven

6.4 Kostenstudie

6.4.1 Vergelijking tussen een AGV en een automatisch magazijn

Voor de kostenstudie is een *use case* opgesteld van een KMO met vijf bewerkingsmachines, met elk een beladingsrobot en een automatisch magazijn. Indien in de plaats van een automatisch magazijn een AGV geïmplementeerd zou worden, welk voordeel zou dit dan mogelijks kunnen opleveren?

Veronderstel dat een automatisch magazijn € 30.000 per machine kost en dat één AGV € 130 000 kost.

Hieruit zou besloten worden dat de situatie met vijf magazijnen met een totale prijs van € 100 000 interessanter is dan de AGV van €130.000. Maar dit hangt af van meerdere factoren, namelijk:

- Grootte van het product
- Bewerkingsduur van het product
- Nood aan controle van de bewerkte werkstukken

Voor de grootte en de bewerkingsduur van het product kunnen vier onderverdelingen gemaakt worden.

- Snelle bewerking op een klein product
- Snelle bewerking op een groot product
- Trage bewerking op een klein product
- Trage bewerking op een groot product

Voor de bewerking van grote producten is de AGV een betere keuze, omdat het magazijn maar enkele grote producten kan laden en afhankelijk van de bewerkingstijd regelmatig moet bijgevuld worden.

Voor kleinere producten is dit afhankelijk van de snelheid, waarmee de AGV een machine van een nieuwe pallet kan voorzien. Door de productie van de machines zo op elkaar af te stemmen dat de machines niet allemaal tegelijkertijd klaar zijn, kan dit probleem deels opgelost worden.

Een ander groot voordeel van het gebruik van de AGV is dat werkstukken met een strenge tolerantie automatisch nagemeten kunnen worden na het produceren en dat eventueel de procesparameters bijgesteld kunnen worden of dat het proces kan stilgelegd worden bij grote afwijkingen.

6.4.2 Vergelijking tussen een AGV en een traditionele heftruck

Een tweede *use case* maakt de vergelijking tussen één AGV en één traditionele heftruck met bestuurder. De keuze tussen beide is afhankelijk van verschillende factoren, namelijk:

- De repetitiviteit en frequentie van de handelingen
- De afstand die afgelegd dient te worden
- De properheid van de werkomgeving
- Aantal shiften per dag

De terugverdientijd (ROI) is afhankelijk van het:

- Aantal werkdagen
- Aantal shiften per werkdag (1 = 8 uur, 2=16 uur, 3=24 uur)
- Uurloon (€/uur, zonder 13^{de} maand, vakantiegeld...)

Hieronder wordt een vergelijking gemaakt tussen een AGV van € 130.000 en een traditionele heftruck van € 25.000 met bestuurder.

Investeringskost van één AGV is € 130.000:

De opbrengst per jaar: aantal werkdagen X uren per werkdag X uurloon.

Bijvoorbeeld: $250 \times 16 \times 40 \text{ €/uur} = 160.000 \text{ euro/jaar}$

Tabel 9: Winst AGV

	Winst AGV t.o.v. een traditionele heftruck
Jaar 0	-105 000
Jaar 1	+55 000
Jaar 2	+215 000
Jaar 3	+375 000
Jaar 4	+535 000
Jaar 5	+695 000

Na 5 jaar is het uitgespaard bedrag € 695 000.

Ervan uitgaande dat de bestuurder van de heftruck een job kan uitoefenen die meer waarde toevoegt aan de producten, kan dit bedrag nog hoger uitvallen.

De opbrengst is berekend bij voltijds gebruik van de AGV, zonder stilstand en laadtijd van de batterijen. De onderhoudskosten en het energieverbruik zijn verwaarloosbaar omdat deze ook bij een gewone heftruck aanwezig zijn en bij de AGV aanzienlijk kleiner zijn.

6.5 Flowchart

Om de juiste keuze van een AGV-systeem te maken, hebben we een flowchart opgesteld waar de verschillende keuzemogelijkheden overzichtelijk naast mekaar worden voorgesteld.

Voor de AGV zijn er drie belangrijke vereisten, namelijk het type en de capaciteit van de batterij, navigatie, te transporteren lading (massa en grootte) en de verschillende navigatiemogelijkheden.

6.5.1 Navigatie systemen:

Met deze flowchart kan achterhaald worden welk navigatiesysteem het meest geschikt is voor bepaalde toepassingen.[Figuur 57: flowchart voor de keuze van navigatie systemen pagina 76]

6.5.2 Batterij-keuze

De batterijkeuze is voornamelijk afhankelijk van twee factoren: cyclisch of niet-cyclisch laden mogelijk, dit hangt af van de toepassing.[Figuur 58: flowchart voor de keuze van energie van de AGV]

Cyclisch

Als er een mogelijkheid is om bijvoorbeeld vijftien minuten per uur te laden op een vaste locatie, dan kan de AGV cyclisch laden wat als voordeel heeft dat de batterij kleiner gekozen kan worden. Het nadeel is wel dat een standaard batterij hier niet geschikt voor is en men moet kiezen voor een XFC of lithium-ion batterij, welke respectievelijk twee tot drie maal zo duur is.

Niet-cyclisch

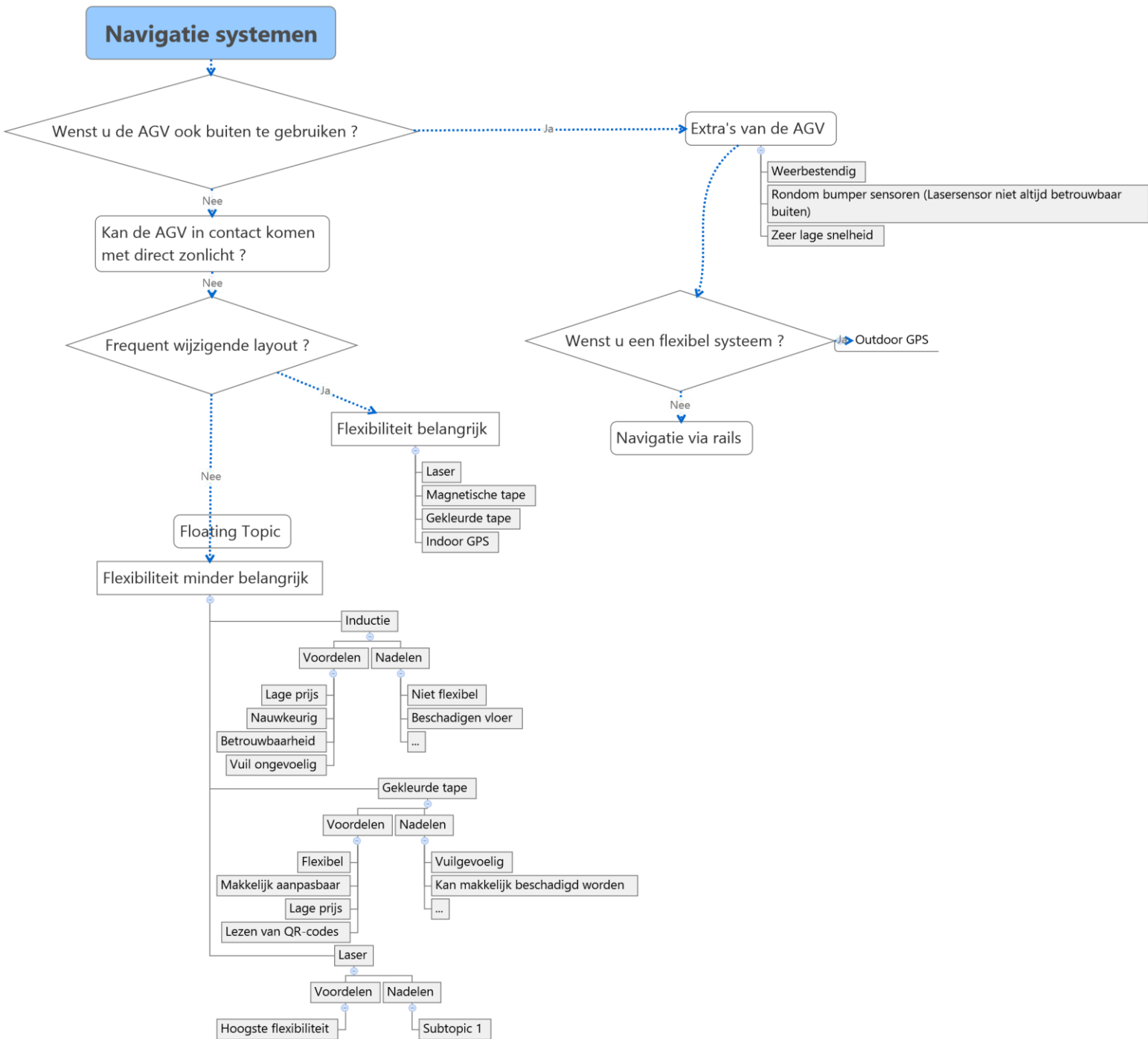
Indien er geen mogelijk is om cyclisch te laden, zijn er volgende mogelijkheden. Ofwel is er een mogelijkheid om bijvoorbeeld 's nachts te laden (8-12 uur): dan kan de batterij manueel of automatisch met een oplader verbonden worden. Indien dit niet mogelijk is, moet de batterij manueel of automatisch gewisseld worden; dit proces duurt ongeveer een kwartier.

Batterijcapaciteit

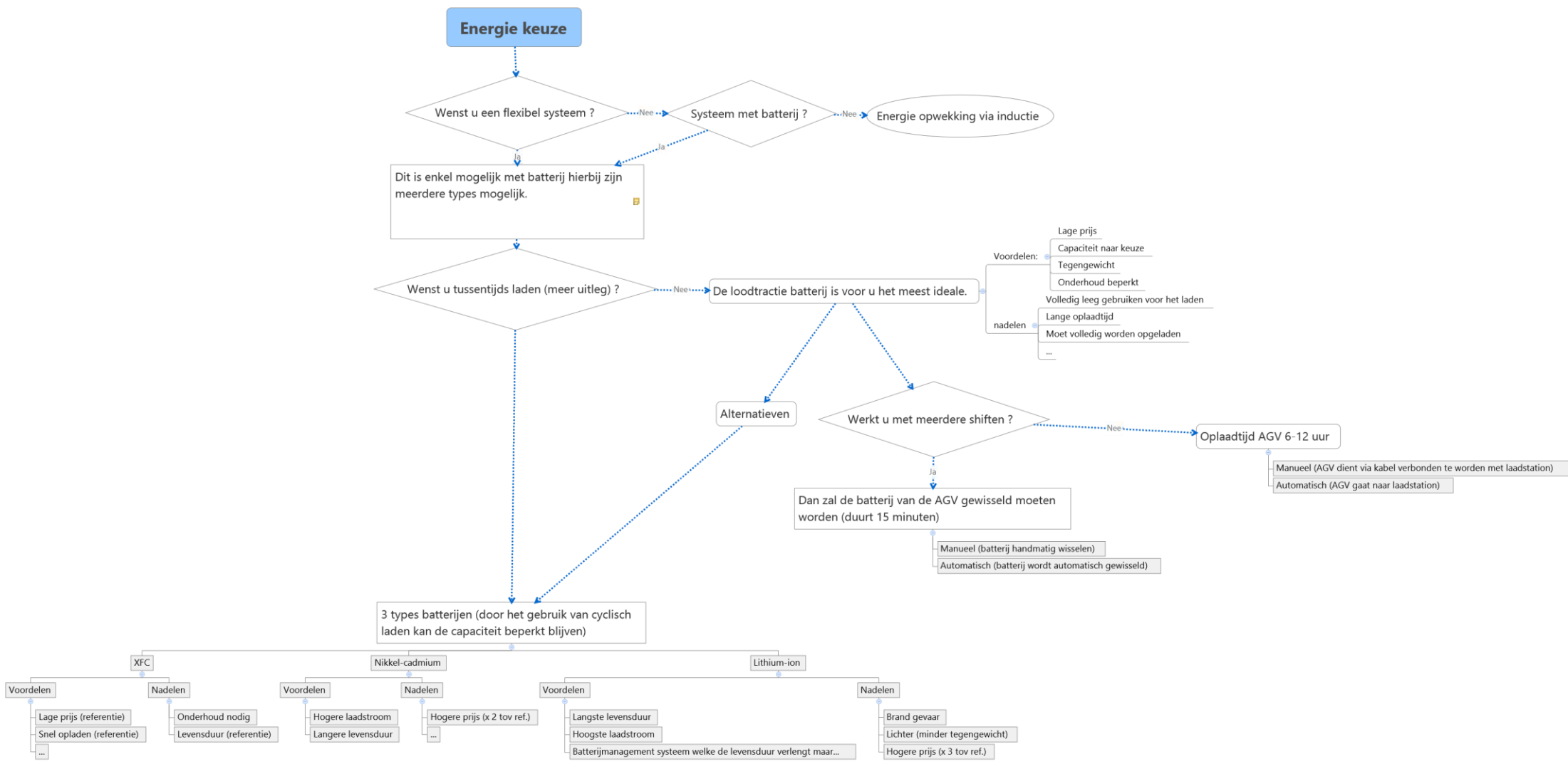
Deze factor hangt af van hoeveel ladingen het AGV-systeem per dag moet kunnen verwerken, het aantal shiften per dag dat de AGV operatief moet zijn en cyclisch of niet - cyclisch laden

6.5.3 Model AGV:

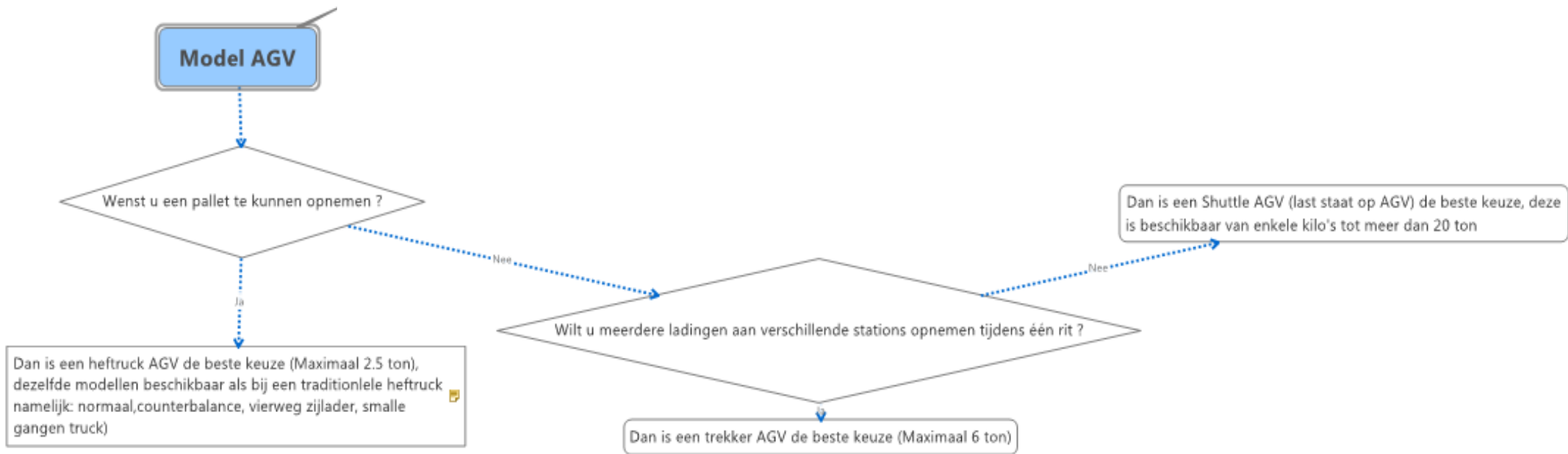
Afhankelijk van de massa van de lading, vorm van de lading en de grootte van de lading zijn er verschillende mogelijkheden, zoals bijvoorbeeld een AGV met vorken gelijkaardig aan een traditionele heftruck voor het transporteren van een Europalletten.[Figuur 59: flowchart voor selectie van het model van AGV]



Figuur 57: flowchart voor de keuze van navigatie systemen



Figuur 58: flowchart voor de keuze van energie van de AGV



Figuur 59: flowchart voor selectie van het model van AGV

7 Besluit

Het doel van dit eindwerk was de haalbaarheid na te gaan van huidige AGV-systemen in een KMO-omgeving met kleine series van producten, wijzigende omgevingen en met een beperkte automatiseringskennis. Om dit te kunnen onderzoeken, was een AGV nodig. Hiervoor werden verschillende leveranciers van AGV's gecontacteerd waarbij MABO nv ons een AGV ter beschikking stelde die pas vanaf het tweede semester beschikbaar was. De belangrijkste doelstellingen welke in de inleiding vermeld stonden zijn dus voltooid. Uit de overige doelstellingen zijn twee nieuwe masterproeven voortgekomen.

Voor de levering van het AGV-toestel werd de literatuurstudie gemaakt, werden de pallethouders ontwikkeld en de communicatieparameters opgesteld voor communicatie met het draaifreescentrum en de meetcel.

Tijdens de implementatie van het AGV-systeem is het volledige proces beschreven dat een KMO moet doorlopen voor de aanschaf van een AGV.

Conclusie is dat er al AGV's beschikbaar zijn, geschikt voor een KMO-omgeving, maar dat ze nog veel kennis vereisen voor het programmeren en het toevoegen van routes, machines en handelingen. Het aanpassen van bestaande routes is wel relatief eenvoudig. Wij zijn er van overtuigd dat indien de systemen gebruiksvriendelijker worden in de toekomst, de interesse voor AGV's veel groter zal worden.

8 Bibliografie

- [1] “Mabo Engineering&Automation, uw partner voor logistieke automatisatie.” [Online]. Available: <http://www.agv-automation.com/nl/welkom.php>. [Accessed: 11-May-2015].
- [2] “Who are we? | sirris.” [Online]. Available: <http://sirris.be/about>. [Accessed: 04-Mar-2015].
- [3] “What is AGV? - EK Automation.” [Online]. Available: <http://www.ek-automation.com/technology/what-is-agv/>. [Accessed: 24-May-2015].
- [4] “charger.jpg (JPEG-afbeelding, 400 × 266 pixels).” [Online]. Available: <http://www.agv-automation.com/img/slider/charger.jpg>. [Accessed: 24-May-2015].
- [5] “History of AGVs.” .
- [6] “History of AGVS | Savant Automation.” .
- [7] “History of AGVs.” [Online]. Available: http://www.egeminusa.com/pages/agv_education/education_agv_history.html. [Accessed: 07-May-2015].
- [8] R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh, and D. Scaramuzza, *Autonomous Mobile Robots*. The MIT press, 2011.
- [9] O. T. Program, “On-Line Training Program How do the vehicles work in an AGV system ?,” 2012.
- [10] “AGV - automated guided vehicles | Rocla.” [Online]. Available: <http://www.rocla.com/en/products/agv-automated-guided-vehicles>. [Accessed: 11-May-2015].
- [11] “Tow Vehicles | Savant Automation.” [Online]. Available: <http://www.agvsystems.com/tow-vehicles/>. [Accessed: 28-Apr-2015].
- [12] “Automated Guided Vehicle (AGV) Systems - Swisslog.” [Online]. Available: <http://www.swisslog.com/en/Products/WDS/Automated-Guided-Vehicles>. [Accessed: 27-Apr-2015].
- [13] “Vehicle Types | Savant Automation.” .

- [14] "Automatisch geleide voertuigen en AGV-systemen." [Online]. Available: http://www.egemin-automation.be/nl/automation/logistieke-automatisering_ha-oplossingen/agv-systemen. [Accessed: 27-Apr-2015].
- [15] "Wingspan™ Battery-free AGV Turnkey Assembly Line | RedViking." [Online]. Available: <http://www.redviking.com/case-studies/manufacturing-solutions-case-studies/battery-free-agv-assembly-lines/>. [Accessed: 27-May-2015].
- [16] "Forklifts vs. Automated Guided Vehicles - Logistics & Materials Handling Blog | Aalhyterforklifts.com.au/index.php/about/blog-post/forklifts_vs._automated_guided_vehicles." [Online]. Available: http://www.aalhyterforklifts.com.au/index.php/about/blog-post/forklifts_vs._automated_guided_vehicles. [Accessed: 27-Apr-2015].
- [17] "logo_laser.png (800x470)." [Online]. Available: http://www.goetting-agv.com/dateien/produktbilder/logo_laser.png. [Accessed: 06-May-2015].
- [18] "Munich plant | MAN SE." [Online]. Available: <http://www.corporate.man.eu/en/company/production/man-truck-and-bus/Munich.html>. [Accessed: 18-Feb-2015].
- [19] O. T. Program, "On-Line Training Program How do the vehicles work in an AGV system ?," 2012.
- [20] "What is OPC?" [Online]. Available: <http://www.opcdatahub.com/WhatIsOPC.html>. [Accessed: 07-May-2015].
- [21] J. Postel, "User Datagram Protocol."
- [22] "TCP vs UDP - Difference and Comparison | Diffen." [Online]. Available: http://www.diffen.com/difference/TCP_vs_UDP. [Accessed: 11-May-2015].
- [23] "Sensors | Temperature Sensors | Industrial & Distance Sensors | Safety Sensors." [Online]. Available: <http://www.seagatecontrols.com/store.asp?pid=35354>. [Accessed: 11-May-2015].
- [24] "AGV Componenten." [Online]. Available: http://image.ec21.com/company/k/kw/kws/kwsteel/upimg/AGV_07.jpg. [Accessed: 11-May-2015].
- [25] V. Automation, "TOTAL COMMITMENT FOR LOWER."

- [26] "Drive and Steering at AGV and AGC automatic guided vehicle manufacturer." [Online]. Available: <http://www.transbotics.com/learning-center/drive-steering/>. [Accessed: 12-Feb-2015].
- [27] "112 Antwerpen - Nieuwsarchief van 112 Antwerpen." [Online]. Available: <http://www.112antwerpen.be/index.php?mact=News,cntnt01,detail,0&cntnt01articleid=3229&cntnt01returnid=16>. [Accessed: 29-May-2015].
- [28] "AGV Battery Charging Solutions." [Online]. Available: http://www.egeminusa.com/pages/agvs/agvs_battery_charging.html. [Accessed: 18-Feb-2015].
- [29] "Introduction Inductive Track Guidance | Götting KG." .
- [30] "Guidance and Navigation for AGV and AGC automatic guided vehicle manufacturer." .
- [31] "draadgeleide navigatie." [Online]. Available: <http://www.jbtc-agv.fr/wp-content/uploads/2012/10/filoguidage.jpg>. [Accessed: 06-May-2015].
- [32] "Introduction Optical Track Guidance | Götting KG." [Online]. Available: <http://www.goetting-agv.com/components/optical/introduction>. [Accessed: 06-May-2015].
- [33] "Guidance and Navigation for AGV and AGC automatic guided vehicle manufacturer." [Online]. Available: <http://www.transbotics.com/learning-center/guidance-navigation/>. [Accessed: 06-May-2015].
- [34] "Automatic Guided Vehicles (AGV)Automatic Guided Vehicles (AGV) - Technisch Buro West-Brabant." [Online]. Available: <http://www.tbwb.nl/levering/transport-systemen/automatisch-geleide-voertuigen/>. [Accessed: 12-Feb-2015].
- [35] "nav_01.jpg (405×270)." [Online]. Available: http://www.jbtc-agv.fr/wp-content/uploads/2012/10/nav_01.jpg. [Accessed: 06-May-2015].
- [36] "logo_laser.png (800×470)." .
- [37] "RTS555-bk-3qtr-left.jpg (JPEG-afbeelding, 2832 × 4256 pixels) - Geschaald (14%)." [Online]. Available: <http://www.euroasia-hk.com/wp-content/uploads/2014/01/RTS555-bk-3qtr-left.jpg>. [Accessed: 22-May-2015].

- [38] O. T. Program, "On-Line Training Program Why would I want an AGV ? AGV market," 2012.
- [39] "The Coming Collision Between Autonomous Vehicles and the Liability System - Marchant_autonomous_vehicles.pdf." [Online]. Available: http://www.law.asu.edu/Portals/31/Marchant_autonomous_vehicles.pdf. [Accessed: 18-Feb-2015].

9 Bijlagen

Bij het verkrijgen van een AGV door MABO E&A nv werd een non disclosure agreement ondertekend. Dit laat ons niet toe om bepaalde zaken te delen. In bijlage staat geen code noch technische info over het toestel.

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Haalbaarheidsstudie naar het inzetten van AGV's in een flexibele werkvloeromgeving

Richting: **master in de industriële wetenschappen: energie-automatisering**

Jaar: **2015**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Evans, Bart

Van Aken, Mitras

Datum: **31/05/2015**