



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Nomi4s – forbedret teknologi for automatisk robotsortering af plastaffald

MUDP rapport

Januar 2021

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Christian Bloch, Nomi4s

Carsten Zaar, Nomi4s

ISBN: 978-87-7038-271-7

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Resume	6
2.	Summary	7
3.	Forord	9
4.	Indledning	10
4.1	Baggrund	10
4.2	Formål	11
5.	Beskrivelse	12
5.1	Anlægsbeskrivelse	12
5.1.1	Det eksisterende anlæg	12
5.2	Dataindsamling	13
5.2.1	NIR-data	13
5.2.2	Manuel måling	14
5.2.2.1	Kategorisering af ikke-grebet	14
5.2.2.2	Udførelsen af målinger	15
5.3	Forsortering af 2D plast	16
5.3.1	Recirkulering	17
6.	Optimering af anlæg	19
6.1	Mekanisk	19
6.1.1	Pumpesystem	19
6.1.1.1	Større pumpe	20
6.1.2	Gribearm	20
6.1.3	Sugehoved og bøsning	21
6.1.4	Ballistisk sigte	23
6.1.5	3D kamera	23
6.1.6	Trimning af NIR	24
6.1.6.1	Analyseværktøjet	24
6.1.6.2	Adskillelse af LDPE og HDPE	25
6.1.6.3	Udsortering af sort plast	26
6.1.6.4	Bionedbrydeligt plast	27
6.2	Software	27
6.2.1	HMI	27
6.2.2	FjernStatus	29
6.2.3	Forbedret programmeringskode	30
6.2.3.1	Kodekommentering	30
6.2.4	Opsamling	31
6.2.5	Robot skipper emner	31
6.2.6	Øvrige optimeringer	32
6.2.6.1	Fejlaflevering	32
6.2.6.2	Præcision	33
6.2.6.3	Hjælpefunktion	33
6.2.6.4	Fastsiddende emner	33

6.2.7	Båndsynkronisering	33
7.	Performance	36
7.1	Datomærkninger	36
7.2	Gribesikkerhed	36
7.2.1	Gribesikkerhed før og efter optimering	37
7.2.2	Nuværende opsætning	37
7.2.3	Ikke-grebet fraktioner	38
7.3	Emner i minuttet	40
7.3.1	HDPE	40
7.3.2	PET	41
7.3.3	Stress test	42
7.4	Materialefordeling på båndet	42
8.	Økonomi	45
8.1	Drift udgifter	45
9.	Konklusion	47
	Bilag 1.Point-to-point	49

1. Resume

Projektet "Nomi4s – forbedret teknologi for automatisk robotsortering af plastaffald" er udført af Nomi4s i/s i samarbejde med Nordtec-Optomatic A/S, Linatech A/S og GRIPWIQ ApS. Projektet er finansieret af Miljø- og fødevareministeriets MUDP program.

Hovedmålet med projektet har været at forbedre den automatiske robotsortering af plastaffaldet, der blev etableret i fase 1 MUDP-projektet "Forbedret teknologi for automatisk sortering af dagrenovation og storskrald". Dette gøres med fokus på bestemte komponenter til fin sortering af forskellige plasttyper, ved at øge effektivitet, pålidelighed, parathed og præcision af installerede komponenter til identifikation, robothåndtering og grebning.

Projektets mål har været at videreudvikle og optimere det eksisterende robotsorteringsanlæg, der blev etableret i den forrige fase 1 MUDP-projekt, "Forbedret teknologi for automatisk sortering af dagrenovation og storskrald".

Denne rapport præsenterer arbejdet, der er gået ind i den videreudvikling og optimering i projektets fase 2 "Nomi4s – Forbedret teknologi til automatisk robotsortering af plastaffald".

Dette projekt er baseret på det allerede etablerede robotsorteringsanlæg i Nomi4, som blev etableret i 2016, til sortering af plastik fra dagrenovation. Siden da, har anlægget sorteret på HDPE, PET og PP. Videreudviklingen er derfor baseret på den viden der blev tilegnet ved drift og observation af anlægget, sammen med ny teknologi fra tilknyttede partnere.

Målet med projektet har været at:

- Udvikle og producere udstyr, der kan adskille 2D (folie) og 3D plast (hård plast)
- Udvikle og producere udstyr der kan gøre plastmaterialer nemmere at "gribe" med den udviklede griber (via f.eks. mere sammenpressede materialer på sorteringsbånd)
- Forbedring af gribeteknik (sug/tryk funktion) og samspil med robot og sensor
- Forbedret "algoritme" til styring og hastighedsforøgelse af robotfunktionerne
- Forbedret sensorteknologi, der kan genkende sort plast og som kan læse 3D og farver

Der kan konkluderes at projektets mål er nået, hvorom nogle af målene har skiftet karakter igennem projektet.

Projektet er lykkedes med etablering af en ballistisk sigte, der er i stand til at adskille 2D (folie) fra 3D (hård plast). For at forbedre gribeteknikken er der udviklet nye sugehoveder, der har forbedret gribeevnen, samt drift og vedligeholdelse. Optimering af roboternes software, har betydet at robotterne nu sortere oftere, samtidig med at præcisionen er forøget. Til forbedring af sensorteknologi har et 3D-kamera været undersøgt, hvilket dog viste sig ikke at være anvendeligt på robotsorteringsanlægget. Den eksisterende sensorteknologi er imidlertid blevet optimeret til bedre at genkende eksisterende plasttyper, såvel som nye.

Gennem hele projektet er ydelsen af robotanlægget målt, med fokus på HDPE sortering. I starten af projektet blev robotterne målt til at gribe i gennemsnit 71 % af HDPE emner, som efter forbedringerne er steget til 85 % i gennemsnit.

I løbet af projektet blev visse problemområder anset for ikke gennemført:

- Forbedret sensorteknologi, hvor intention var et 3D-kamera, til genkendelse af sort og farvet plastik og 3D billeder af emner.
- Udvikle udstyr til komprimering af plastik emner, for at gøre emner mere gribelige.

2. Summary

The project "Nomi4s - Improved technology for automatic robot sorting of plastic waste" has been carried out by Nomi4s in cooperation with NordTec Optomatic, Linattech A/S and GRIP-WIQ. The project has been funded by the Ecoinnovation program (MUDP) in the Danish Ministry of Environment and Food.

The main objective of the project has been to further improve the automatic waste sorting facility, established in the prior phase 1 MUDP project "Improved technology for automatic sorting of household waste and bulky waste". This will be done by focusing on particular device components for fine sorting of different plastic types. By increasing the efficiency, reliability, readiness and precision of already installed components for identifications, robot management and gripping.

The aim of the project has been to further develop and optimize the existing robot sorting plant established in the previous phase 1 MUDP project, "Improved technology for automatic sorting of household waste and bulky waste".

This report presents the work, which has gone into the further development and optimization in the project's phase 2 "Nomi4s – Improved technology for automatic robot sorting of plastic waste".

This project is based on the already established robot sorting plant at Nomi4s, which was built in 2016, for sorting of plastic, from amongst other, households. Since then, the facility has been operating where it has sorted HDPE, PET and PP. The further development is therefore based on the know-how, which has been acquired from operation and observation of the plant in operation, together with new knowledge and technology by the associated parties.

The goals of this project have been to:

- Develop and produce equipment that could separate 2D (foliage) and 3D (hard plastic)
- Develop and produce equipment that could make plastic materials easier to "grip" with the developed gripper.
- Improvement of gripping technique (suction/pressure function) and interaction of robot and sensor.
- Improved "algorithm" for controlling and increase of speed of robot functions.
- Improved sensor technology which can recognize black plastic and be able to read 3D and colors.

It is concluded, that the goals of the project have been reached, whereas some of the goals have changed in nature during the process.

The project has succeeded in the establishment of a ballistic sieve, which is capable of separating 2D (foliage) from 3D (hard plastic). For improving gripping technique, new suction heads have been developed, which has improved the gripping of materials as well as improving the operation and maintenance of the grippers. In the software of the robots, optimization has improved the controlling, which means the robots now sort more often, while also having improved precision. For improving of sensor technology, a 3D-camera has been examined, which however proved to not be applicable to the robot sorting facility. The existing sensor technology however, has been optimized to better recognize already known plastic types, with new ones as well.

Throughout the project, the performance of the robot facility has been measured, where sorting of HDPE has been in focus. At the start of the project, the robots were measured to grip on average 71 % of each HDPE element, which by the end of the project, had increased to an average 85 %.

Throughout the project, certain problem areas were deemed not completed:

- Improved sensor technology, where the intentions were a 3D camera, able to recognize black plastic and read 3D and colors.
- Develop equipment to compress plastic materials, to make these more grip able.

3. Forord

I dette projekt videreudvikles højteknologisk robotteknologi til sortering af plast fra bl.a. husholdninger. Blandet plast fra husholdninger indeholder en lang række forskellige emner bestående af mange polymerer af forskellig form, farve mv. Sortering af denne plast stiller store krav til sorteringsteknologien for at hindre, at en høj andel af den indsamlede plast brændes i affalds-forbrændingsanlæg, ellers anvendes til lavkvalitetsprodukter (down cycling) uden væsentlig miljømæssig gevinst. Anvendelse af robotteknologi til sortering af plast er således teknologiudvikling, der kan understøtte den politiske dagsorden i Danmark og EU om cirkulær økonomi, da det forbedrer sorteringseffektivitet, og kvaliteten af output materialer uden manuel sortering (risiko for dårligt arbejdsmiljø)

Projektet har forløbet over 24 måneder, i perioden fra 1. november 2017 til november 2019.

Projektet har været finansieret af Miljøstyrelsens MUDP-pulje for 2017 og egen finansiering.

Projektet er videreudviklet i samarbejde med 3 små og mellemstore virksomheder (SMV'er), der har bidraget med viden og kompetencer: GRIPWIQ ApS, Frederikshavn, Linatech A/S, Kjellerup og Nordtec-Optomatic A/S, Ikast.

Robosort var også involveret i projektets start, men trak sig relativt hurtigt ud af projektet, og havde derfor ikke nogen betydning for projektets videre udførelse.

Følgende virksomheder har også bidraget til projektets videreudvikling:

- ReTec Miljø ApS, Haderslev i forbindelse med levering af ballistisk sigte.
- Busch Vakuumenteknik A/S, Ry i forbindelse med testforsøg af større pumpe.
- LLA Instruments GmbH & Co. KG, Berlin i forbindelse med optimering af nuværende NIR-sensor teknologi.
- Kuka AG, Augsburg i forbindelse opsætning af robotter
- Skako A/S, Faaborg, i forbindelse med opsætning af rysterender

4. Indledning

Regeringen lancerede i oktober 2013 ressourcestrategien "Danmark uden affald", som blandt andet har det vigtige mål, at ændre Danmark fra et "forbrug og forbrænd-samfund" til et samfund, hvor der i langt højere grad genbruges og genanvendes. Målet er bl.a. at opnå en genanvendelsesgrad på mere end 50 % af husholdningsaffaldet frem mod 2022.

4.1 Baggrund

Grundlaget for denne fase 2, er det tidligere fase 1 MUDP Fyrtårnsprojekt, "Forbedret teknologi for automatisk sortering af dagrenovation og storskrald", som er gennemført hos ressourcegesellschaften Nomi4S I/S i Holstebro, og blev afsluttet 31. december 2016. Projektet er gennemført med Nomi4S I/S, som overordnet ansvarlig for projektet bistået af 3 partnere. Projektet har været støttet af Miljøstyrelsen via MUDP-midler samt Region Midt. Projektet har haft til formål at arbejde med automatisering af håndteringen af plast fra husholdning og at ændre affaldet til en ressource. Projektet er blevet afgrænset til specifikt at arbejde med de dele af fraktionerne, der indeholder plast.

I denne fase 2 af projektet, videreudvikles højteknologisk robotteknologi til sortering af plast fra bl.a. husholdninger. Blandet plast fra husholdninger indeholder en lang række forskellige emner bestående af mange polymere af forskellige former, farver mv. Sortering af denne plast stiller store krav til sorteringsteknologien for at hindre, at en høj andel af den indsamlede plast brændes i affalds-forbrændingsanlæg, eller anvendes til lavkvalitetsprodukter (down cycling) uden væsentlig miljømæssig gevinst. Anvendelse af robotteknologi til sortering af plast er således teknologiudvikling, der kan understøtte den politiske dagsorden i Danmark og EU om cirkulær økonomi, da det forbedrer sorteringseffektiviteten og kvaliteten af output materialer uden manuel sortering (risiko for dårligt arbejdsmiljø).

Fase 1 af MUDP-projektet, har resulteret i opstilling og afprøvning af et demonstrationsanlæg hos Nomi4S. Demonstrationsanlægget er forsynet med forsortering og NIR sensorteknologi samt, som noget helt unikt, robotteknologi til automatisk finsortering af blandet plast. Demonstrationsanlægget er at betragte som version 0,1 i udviklingen af et effektivt og fuldt færdigt sorteringsanlæg, der kan møde markedets fremtidige behov. Test udført i fase 1 afslører en række udfordringer omkring effektivitet, pålidelighed og kvalitet i udsorteringen af plast.

En løsning af udfordringerne omkring disse områder vil medføre forbedret performance af anlægget og dermed bedre sortering af materialer og højere genanvendelse af de indsamlede materialer. En forbedret performance er ligeledes et krav i en kommende salgssituation for et samlet anlæg.

En læring i Fyrtårnsprojektet har været, at det var et trin ud i teknologisk ubetrådt land, eftersom ingen andre har valgt at arbejde med ny robotteknologi i denne branche. Konceptet har vist sin duelighed, om end der er delelementer i teknologien, der skal optimeres og udvikles yderligere.

I denne fase vil det ikke blot være et teknologisk løft, men et arbejde med og udvikling af "front edge teknologi". De deltagende virksomheder vil dermed få en endnu stærkere position i markedet, som denne reference vil give, samt muligheder for at markedsføre den specifikke teknologi på et forholdsvis uopdyrket marked.

4.2 Formål

Formålet med projektets fase II ligger i udfordringerne i at koordinere og forbedre funktionen og effektiviteten af udstyr i anlægget. Projektets formål er derfor at møde disse udfordringer via fokus på følgende indsatsområder:

- Form og karakter af plast på sorteringsbåndet
- Styring af robotter (kobling mellem sensor og robotbevægelser, hastighed af robotter)
- Sensorteknologi (materiale, farve – også sort, højde, 2D/3D sensor)
- Gribeteknik og gribeanordning (effektivitet og pålidelighed)
- Mulighed for bedre finsortering på både 2D og 3D plast

Projektmål for ansøger: Videreudvikling af det samlede tekniske koncept, og herigennem sikre maksimering af udtrækket af værdifulde genanvendelige materialer. Herunder:

- At skabe mulighed for at kunne håndtere og udsortere mere plast
- At skabe en kvalitet af genanvendelige materialer, som markedet efterspørger

Projektmål for medansøgere: Deltage i videreudvikling af det samlede tekniske koncept, og herigennem sikre, at de deltagende virksomheder opnår viden og ny markedsindsigt, og derved skaber mulighed for et større produktsortiment og nyt marked, hvilket forventes at resultere i en øget omsætning og beskæftigelse via salg af udstyr og ydelser til indenlandske og udenlandske kunder.

Målet er ligeledes, at en samlet fase I og II udvikling medfører, et samlet robotsorteringsanlæg som er så pålideligt og effektivt, at en kommercialisering af det samlede anlæg er en mulighed. Herunder, at robotanlægget kan sælges som et robotkoncept til såvel danske som udenlandske affaldsvirksomheder.

5. Beskrivelse

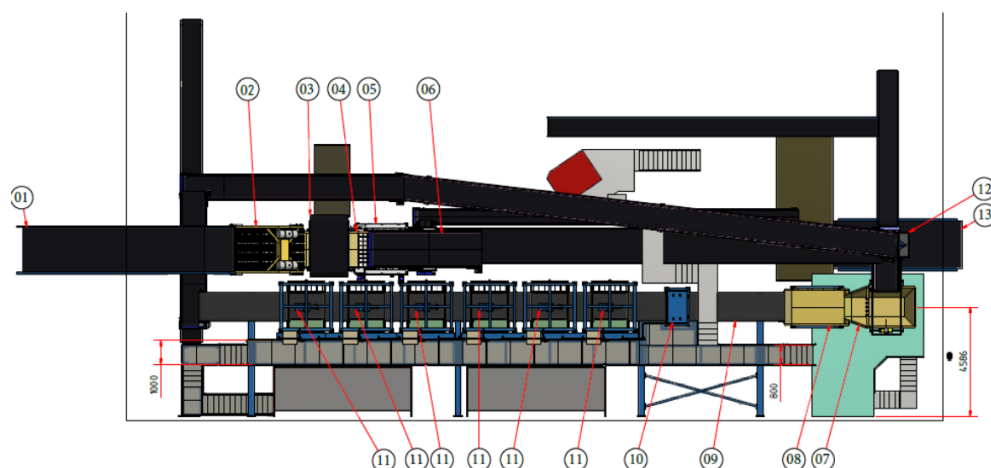
I fase I af projektet, har opgaven først og fremmest været at undersøge potentialet for robotsortering i Nomi4S Holstebro, som efterfølgende blev udvidet til også at omfatte etablering af et demonstrationsanlæg. I videreudviklingen af anlægget, har der derfor manglet dokumentation af anlægget, her specifikt inden for performance, software, mekanik og styringsmæssigt.

5.1 Anlægsbeskrivelse

I projektets fase I, hvor det endelige anlæg blev etableret, har der siden været ændringer og tilføjelser, som vil blive beskrevet i dette kapitel. Grundet at der allerede er udført en detaljeret beskrivelse af anlægget i MUDP rapportens fase I "Forbedret teknologi for automatisk sortering af dagrenovation og storskrald", vil hele anlægget kun kort blive beskrevet her.

5.1.1 Det eksisterende anlæg

Sorteringsanlægget er udført som to maskinlinjer. En forsorteringslinje der frasorterer metaller og store dunke, og en robotsorteringslinje der frasorterer udvalgte plastpolymerer fra affaldsstrømmen.



FIGUR 1 Viser robotsorteringsanlæggets endelige opbygning, med nummerering af væsentligste maskindele.

I det følgende gennemgås de enkelte anlægskomponenter med reference til punkterne 01 til 13 som angivet på ovenstående Figur 1.

Forsorteringen starter i en modtagerhal, hvorfra affaldet føres ind til sortering.

1. Fødebånd

Fødebåndet doserer/føder affald til anlægget. Båndet er monteret med frekvensomformer, således hastigheden og dermed doseringen kan tilpasses.

2. Vibrationssigte

Sigten anvendes til at få adskilt det affald, som er trykket sammen og som skal ind på anlægget.

3. Overbåndsmagnet

Affaldet ledes efter sigten forbi overbåndsmagneten. Denne magnet fjerner alt magnetisk materiale.

4. Vibrationsrende

Overbåndsmagneten er installeret over vibrationsrenden. Denne rende er udført i rustfrit stål og må ikke være magnetisk. Vibrationsrenden sikrer - med vibrationerne -

at overbåndsmagneten kan gribe de magnetiske affaldsfraktioner. Ved udløbet af vibrationsrenden er der monteret "fingre", som sikrer fordeling/opdeling af affald over- og under 15 cm.

5. Metalseparator

Det affald, der er under 15 cm, falder gennem fingrene til hvirvelstrøms-magneten. Denne sikrer frasoortering af metal, her primært aluminiumsdåserne.

6. Afskraber til store dunke

Affaldet over 15 cm føres igennem en dunke-skraber, som aktiveres når, der kommer affald med en højde over 30 cm og bryder en lysbro. En skraber kører over båndet, og fjerner materialet.

Robotlinjen starter når affaldet når til de to vibrationsrender.

7. Vibrationsrende

Den første rende fungerer som buffer rende, og har en indbygget buffer. Samtidigt sikrer denne rende en ensartet dosering til den efterfølgende rende.

8. Vibrationsrende

Denne rende er en normal rysterende og sikrer, at det affald som leveres til robotbåndet, ligger i ét lag.

10. NIR-kamera

Via robotbåndet (09) kører affaldet under NIR-kameraet, som er robotsorteringsanlæggets øjne. NIR-kameraet udfører en kontinuerlig hyperspektral analyse af de emner der passerer, og derved detekteres materialetypen (plasttypen). Plasttypen detekteres og emnet/affaldet placeres på båndet i x og y retning (længde og bredde). Oplysninger som igennem en central styringsenhed, gives videre til de seks robotter.

11. Robotter

De 6 tophængte robotter modtager data fra den centrale styringsenhed om plasttype og placering. Inden opstart er hver robot tildelt en plast type, og fjerner således kun denne ene plasttype.

12. Klapkasse

Klapkassens funktion er at fordele affaldet. Er klapkassen åben løber affaldet igennem til en komprimator og videre til forbrænding, og er klapkassen lukket ledes affaldet tilbage i systemet til endnu en sortering. Under drift er klapkassen åben, og affaldet løber igennem.

13. Bånd til komprimator

Når klapkassen er åben, så løber restaffaldet i en komprimator og sendes til forbrænding.

5.2 Dataindsamling

Dataindsamlingen har haft til formål at bidrage til statistik på robotsorteringen, for at kunne bestemme robotternes performance. Dataindsamlingen forløb over det meste af projektets fase II for hele tiden at have en status af anlæggets ydeevne, sammenholdt med de optimeringer og ændringer der løbende blev foretaget. Dataindsamlingen til måling af performance blev udført automatisk af NIR-kameraet samt manuelle observationer.

5.2.1 NIR-data

Flere af rapportens resultater og beregninger, er bygget på data fra NIR-kameraet. Disse data bliver registreret i logfiler, som kan aflæses på anlæggets computere, og kan udtrækkes til databehandling. Ved aflæsning af NIR-data, vil man blive mødt af de 22 forskellige polymere, som bliver registreret og data ligeledes inddelt efter. Fremgangsmåden data logges efter, kan ses på Figur 2.



FIGUR 2 Viser fremgangsmåden for hvordan NIR-data registreres.

For hver polymer emne NIR-kameraet registrerer, bliver antallet logget. Af antal registrerede, vil nogle emner være for små og derfor ikke egne sig til udsortering, hvorfor disse bliver filtreret fra, og logget. Tilbageværende efter filtrering, er antal emner der egner sig til udsortering, som bliver sendt til sortering og logget. Af emner der egner sig til udsortering, er det ikke nødvendigvis alle der bliver sorteret på, men dem der bliver, logges efter antal hver robot sortere på. Materialefordelingen på båndet bliver ligeledes logget, angivet om emner enten ligger til højre eller venstre for midten.

De registrerede NIR-data giver indsigt i plasten fra husholdningen, som skal sorteres, og anvendes til statistik på robotsorteringen. NIR-kameraet har dog en manglende evne på nuværende tidspunkt til at genkende sort plast, hvilket gør, at det ikke er muligt at frasortere de mange sorte kødbakker mv. NIR-kameraet har også problemer med at genkende sammenfoldet LDPE fra HDPE, som medfører, at folie kan blive fejlsorteret med HDPE.



FIGUR 3 Foldet LDPE som NIR-kamera kan forveksle med HDPE

NIR-kameraet har også fejlkilder i, at den kan registrere nogle emner, som mere end ét emne. Dette kan forekomme, hvis to emner ligger op ad-, eller overlapper hinanden, eller hvis plastfolie ligger foldet sammen.

5.2.2 Manuel måling

Til måling af robotternes performance har det været nødvendigt, at udføre manuelle målinger, som ikke kunne måles per automatik, i f.eks. identificering af svært håndterbare former mv. Da robotterne ikke har en 100 % gribesikkerhed, og en vakuumsensor ikke har været installeret til registrering af succesfuldt greb, har der også her været behov for manuel måling. Målingerne har haft til formål at kvantificere performance på robotterne, ligeledes identificere og kategorisere de emner af form og karakter, som robotterne har besvær ved at gribe.

5.2.2.1 Kategorisering af ikke-grebet

En identifikation af de emner som robotterne har svært ved at håndtere, er udført ved at kategorisere disse, for derefter at observere hvor ofte de forekommer. Udvælgelsen af kategorityper, er baseret på en vurdering af hyppigste ikke-grebet emner. Kategorisering af emner, som robotterne har besvær med at håndtere, kan ses i Tabel 1.

TABEL 1 Kategorisering og definition af emner som robotterne oftest ikke formår at gribe

	Får ikke	Småt	Uhomogent	Rammer skævt	Rammer forbi/ingenting	Tætliggende
Definition	Sugehovedet rammer emnet, men grundet manglende vakuum, mærkat eller ikke øjensynlige grunde, får den ikke emnet op.	Består typisk af skruelåg, tygegummibeholder eller lignende beholdere. Plastprodukter anvendt til produktbeskyttelse under fragt.	Plastemner der har en ujævn overflade, der medfører at der ikke kan opbygges vakuum på emnet.	Sugehovedet rammer emnet, men så skævt i forhold til emnets centrum, at den ikke får fat.	Sugehovedet rammer helt forbi emnet. Rammer ingenting, hvis emnet er blevet flyttet efter NIR.	Når to plastemner ligger tæt, og NIR-kameraet ser dem som ét emne og rammer midt imellem de to. Ophobning af affald.

Kategoriseringen er baseret på anlæggets performance i starten af projektets fase 2. Målingerne er udført over hele projektets fase 2.



FIGUR 4 Viser t.v. scenariet, hvor to emner kan blive genkendt som ét emne, og vil derfor gribe ned imellem de to. T.h. et uhomogent emne, som robotterne har svært ved at gribe.

Under udførelse af målinger, vil en kategorisering af hver ikke-grebet emne, være en vurderingssag, og kan derfor være årsag til fejlkilder.

5.2.2.2 Udførelsen af målinger

Målingerne blev udført ved fysisk tilstedeværelse på anlægget, og under normal drift. Inden målingernes udførelse, blev det sikret, at robotterne var i drift og vedligeholdet. Dette kunne indebære fjernelse af folieemner, som havde sat sig fast på sorterbåndets kanter, sikre at filterer ikke var tilstoppet og sugehovedet på robotterne var intakte mv. Observation blev udført enkeltvis for hver robot, og specifikationer, herunder valgte plasttype til sortering, hvilken side af båndet der sorteres, noteret.

Tidtagning startes, og robotens ydeevne observeres og noteres. Observationer foregik typisk over 5 - 10 min. ad gangen for hver robot. Et typisk sæt af observationer er vist i Tabel 2.

TABEL 2 Viser eksempel på et observationssæt, med ikke-grebet emner inddelt i kategorier, og antallet af robotens sorterede emner ved start og slut af testen.

Dato	09-05-2019	15-05-2019	23-05-2019	29-05-2019	03-06-2019
Tid	5 min	5 min	10 min	5 min	3 min
Får ikke	5	8	5	3	2
Småt	3	3	2	2	0
Uhomogent	2	2	12	4	3
Skævt	0	3	4	0	0
Forbi	1	0	1	0	0
Tætliggende	1	4	8	4	3
Sorteret - start	224	40	2055	2435	1440
Sorteret - slut	254	94	2238	2515	1493

Dato angives for tidspunkt af observation og dens varighed, her typisk 5 til 10 minutter. Hvert emne robotten ikke får grebet noteres i dens årsag, her enten "Får ikke", "Småt", "Uhomogent", "skævt", "forbi" eller "tætliggende". "Sorteret – start" angiver antal sorterede emner robotten har haft ved start af måling, og "Sorteret – slut" angiver antal sortererede emner efter endt test. Altså vil "Sorteret – slut" minus "Sorteret – start" angive det totale antal emner som robotten har reageret på i tidsperioden.

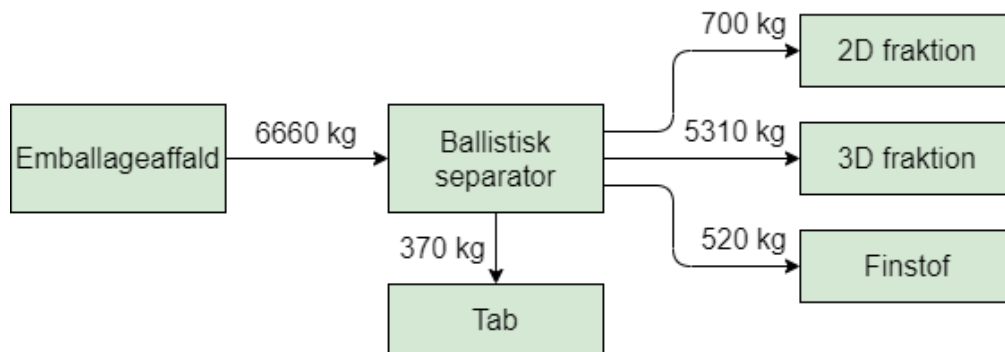
Med observationssættet, er det muligt at udlede hvor ofte robotternes sortere, hvor ofte de griber emner de går efter, og hvilke emner af karakter og form der giver besvær. Observationssættet består af et totalt datasæt på over 13 timers målinger, som tilsammen indeholder observationer af over 8500 opsamlinger fra robotterne.

Et stort observationssæt har været nødvendig grundet de mange tiltag over projektets forløb, men også for at tage højde for de udskejelser der kan forekomme i observationssættet, som konsekvens af affaldets varierende input.

5.3 Forsortering af 2D plast

En erfaring der blev gjort i fase I har været, at plastfolien (2D plast) ikke frasorteres effektivt nok i forsorteringen. En sorteret fraktion, bestående af 2D og 3D plast, kan ikke afsættes til genanvendelse. Dertil har robotsorteringsanlægget besvær med at håndtere folie, hvor folien kan hænge fast i kanter, stoppe filtre og sugehoveder mm.

Forsortering af 2D plast er blevet undersøgt, ved udførelse af test i fuldskala på en ballistisk separator, med emballageaffald indhentet fra Nomi4s området. Formålet var at undersøge effektiviteten af forsortering af folie, og hvordan en næsten foliefri affaldsstrøm påvirker robotanlægget. Dertil testes der også i forhold til en recirkuleringsfunktion.



FIGUR 5 Viser affaldsfraktioner i test med ballistisk separator.

I testen blev der leveret et træk emballageaffald på 6660 kg til en ballistisk separator. Sorteringen resulterede i 3 fraktioner. En 2D fraktion på 700 kg, 3D fraktion på 5310 kg og en finstof-fraktion på 520 kg, som afbilledet på Figur 5 og Figur 6. En finstoffraktion, som blev sendt til videre test, i forsøget på yderligere sortering af denne fraktion. En 2D-fraktion bestående af folie som blev sendt til Quantafuel som mulig aftager, og en 3D-fraktion som blev sendt videre til robotsortering hos Nomi4s, Holstebro.



FIGUR 6 Viser plast fra husholdning fra Nomi4s området, sorteret i 3 fraktioner af en ballistisk separator.

Ved sorteringen i Holstebro blev betydningen af foliens frasortering undersøgt og observeret i forhold til robotsorteringsanlægget. Her er arbejdsbyrden i det manuelle arbejde med fjernelse af folie fra den sorterede 3D plast reduceret. Folien har ligeledes tendens til at sætte sig fast i metalseparator og sorteringsbåndet. På vibrationsrenden kan store stykker folie ophobe affaldet i dynger, grundet foliens lave densitet som bevirker, at denne bevæger sig langsommere i forhold til andet affald. Det stopper dels affaldsstrømmen og ligeledes forhindrer robotterne i at gribe et emne, når ophobningen af affald kommer forbi robotten. Med forsortering af folie er disse problemer helt eller delvist undgået.

5.3.1 Recirkulering

I forlængelse af testen med forsortering af folie, blev recirkulering af affald afprøvet, for at undersøge om robotsorteringsanlægget egner sig til et sådant kørselsmønster. Dette er en attraktiv funktion, der kan benyttes i perioder med lav indsamling af plast fra husholdning, hvor hurtig sortering ikke er nødvendig, og affaldet kan recirkuleres for yderligere sortering. Ligeledes ville den kunne benyttes i en fremtid, hvor anlægget er fuldautomatisk, og kunne derfor benyttes om natten, såvel som dagen.

Testen blev udført på 3D-fraktionen fra ballistisk separator, da en recirkuleringsfunktion højst sandsynligt vil kræve en form for forsortering af folie, grundet problematikken i afsnit 5.1, og derfor være repræsentativ i et fremtidigt scenarie.

I forsøget med recirkulering blev robotterne valgt til at sortere HDPE, PP og PET. Anlægget blev fødet med affald indtil transportbåndet var fyldt, og recirkulering sat i drift. Herefter blev en stikprøve med spand taget, hvorfor følgende tal skal findes i gram, efter 6 min., 12 min. og 18 min. for at undersøge anlæggets evne til at udsortere over tid, uden nyt input. Sorteringen af 3D-fraktionen resulterede som vist i Tabel 3.

TABEL 3 Viser fraktioner fra tre stikprøver taget fra en recirkuleringstest

	6 min.	12 min.	18 min.	6 min.	12 min.	18 min.
	Gram	Gram	gram	%	%	%
Total vejjet	1400	1100	1300			
Sort plast	350	500	550	25	45	42
HDPE ¹	50	0	0	4	0	0
PP ²	100	150	250	7	14	19
PET ³	450	250	200	32	23	15
Metal	100	50	50	7	5	4
Smuld	150	150	150	11	14	12
Total af fraktioner	1200	1100	1200	86	100	92

Den anvendte vægt, i forbindelse med vejning af fraktionerne, målte i kg og kun ned til to decimaler, hvorfor den totale i de procentvise udregninger ikke altid er lig 100%. Stikprøverne giver ikke et entydigt billede af, hvordan anlægget yder under recirkulering, men belyser blot nogle problemstillinger ved funktionen.

Sort plast kan ikke genkendes af NIR, og kan derfor ikke sorteres og vil ophobe sig. Det stemmer overens med, at der ikke ses et fald over de tre stikprøver. De udgør dog en stor vægtemæssig volumen af stikprøverne, fra 25 % til 45 %.

HDPE¹-emner er håndterlige for robotterne og bliver hurtigt udsorteret. Første stikprøve viser 50g, og i efterfølgende stikprøver forekommer ingen HDPE.

PP² er ofte små emner, som skruelåg eller pilleglas i plast, som robotterne har svært ved at håndtere, hvilket også indikeres i ophobningen fra 100 g til 250 g over de tre stikprøver. Dermed ikke sagt at mængden af PP vil blive ved med at øge, men en indikation af robotens ydelse på udsortering af PP.

PET³-emner er typisk de glasklare produkter som flasker eller bakker til salater, pålæg og delikatesser mm. Mængden af PET er faldende over de tre stikprøver, fra 450 g til 200 g, hvilket indikerer, at robotterne kan håndtere PET, dog ikke effektivt.

Metal og smuld bliver ikke sorteret, og derfor ingen betydelig ændring over de tre stikprøver.

Det kan konkluderes ud fra det relativt lille datasæt, at robotsorteringsanlægget viser tegn på at kunne håndtere udsortering af HDPE effektivt ved recirkulering. Der vil dog kunne opstå problemer, da robotterne ikke håndtere PP og PET optimalt, som derfor kan ophobe sig på sorterbåndet.

6. Optimering af anlæg

Anlæggets endelige opbygning i fase I har overordnet været en succes, hvorom nogle funktioner i anlægget ikke har fungeret- eller været tilstrækkelig. Afsnittet beskriver derfor de funktioner på anlægget, der er forsøgt optimeret.

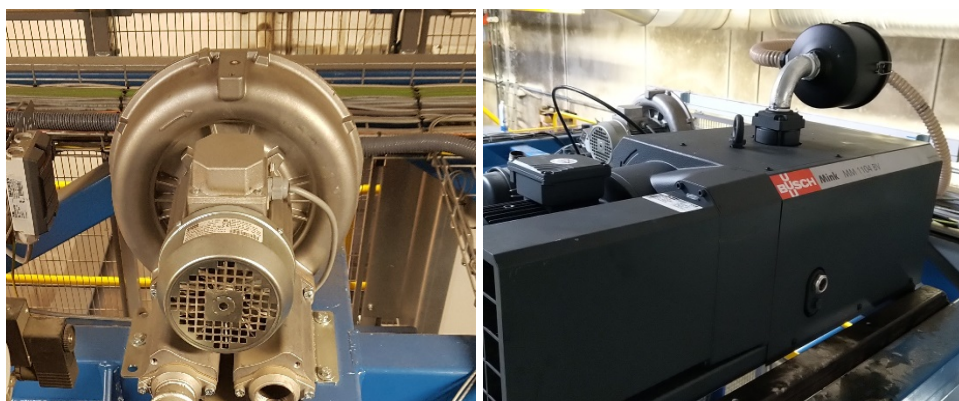
6.1 Mekanisk

I projektets forsøgsfase 1, har nogle af de mekaniske løsninger på anlægget været til diskussion, og derfor forsøgt forbedret.

6.1.1 Pumpesystem

En ny vakuumpumpe er tilkommet, og har udskiftet en tidligere Samos SI 0210 på robotcelle 1. Den nye vakuumpumpe er af typen Mink MM 1104, og er del af et forsøg, der skal teste et andet pumpesystem, set på Figur 7. Den nuværende Samos SI 0210 er i stand til at flytte meget luft over tid, men operere ved lavt vakuum, som den ligeledes er langsom til at opbygge. Mink MM 1104 flytter ikke nær så meget luft over tid, men operere ved højt vakuum, som den er hurtig til at opbygge.

Formålet med dette, er at skabe en "shock effect", så når sugehovedet går ned på emnet, og åbner for ventilen, griber den emnet og holder fast, udelukkende med det opbyggede vakuum, hvilket efter hensigten skulle øge gribesikkerheden af robotterne. Med den nye pumpe, er der også installeret en ny cyklon. Denne er placeret separat fra pumpen, og er monteret sådan, at filter kan vedligeholdes, mens anlægget er i gang.



FIGUR 7 – Viser tv. den oprindelige vakuumpumpe, som sidder på robot 2-6. th. ny vakuumpumpe, siddende på robot 1.

Pumpen til venstre på Figur 7, er den oprindelige pumpe, hvor der modsat robotten til højre, anvendes et mindre vakuum, men et konstant flow af luft til at gribe og holde på emner. Her er der ligeledes søgt optimering, hvor en specialist fra Busch har været inde med rådgivning og ekspertise. Herefter blev der indgået forsøg med en større pumpe, for at øge luftflowet og holde bedre fast på emner, som stadig er under forsøg.

6.1.1.1 Større pumpe

Udover forsøget med et andet pumpesystem, hvor der gribes ved hjælp af vakuum, er der også forsøgt at øge dimensionerne af nuværende SI 0210. Her blev der forsøgt med Samos 0530 set på Figur 8, som er af samme type, men er væsentlig større end SI 0210, da den har et volumen flow der er ca. dobbelt så stor.



FIGUR 8 Samos 0530, som indgik i en test for øget gribesikkerhed af emner og som har et ca. dobbelt så stor volumen flow som eksisterende pumpe.

I testen af den større pumpe, blev der monteret en gribe-arm med samme dimensioner som de eksisterende, og derefter observeret dens sugeevne på emner og ligeledes måling af volumen flow ved udmundning af gribe-arm. Ved måling af volumen flow på den store pumpe, og ligeledes de nuværende SI 0210, blev der ved begge målt et flow på 900 m³/h. Altså var pumpen ikke den limiterende faktor på flowet, men rørdimensionen. Det blev derfor konkluderet at Samos 0530 var for stor, og at de nuværende SI 0210 kunne udnyttes bedre.

6.1.2 Gribe-arm

Udgangspunktet for udvikling af ny gribe-arm, er baseret på test af forskellige pumpesystemer, beskrevet i tidligere afsnit 6.1.1. Her blev det konkluderet at de nuværende pumper kunne udnyttes bedre ved at øge rørdimensionen. I det nye design, har der udover rørdimension, også været fokus på at øge stabiliteten, mindske mængden af vedligehold og drift.



FIGUR 9 Viser ny gribe-arm

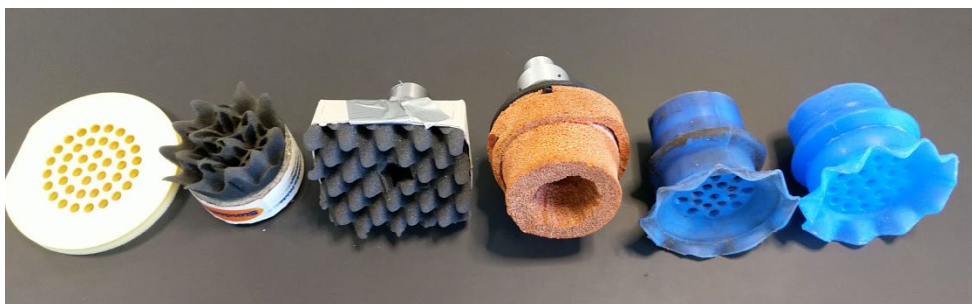
Den indvendige rørdimension er gået fra at være 30 mm på de gamle, til at være 42 mm på de nye, set på Figur 9. Dette medfører at der kan flyttes mere luft igennem røret, og derved opnås bedre sug på emner. En øget stabilitet kommer ved at fæstningen på robotten, nu holder to steder på gribe-armen, hvor den førhen kun holdt ét sted.

6.1.3 Sugehoved og bøsning

Sugehovederne udviklet til robotterne i fase 1, har været en optimal løsning som gribeværktøj, og vist sig den rigtige retning at gå. Erfaringer ved drift og vedligeholdelse og observation af gribesikkerheden, har medført et behov for optimeringer af sugekoppen. Her kan nævnes holdbarheden af sugekoppen, som i gennemsnit har haft en levetid på ca. 2 uge. Gribesikkerheden på små og uhomogene emner har også kunne forøges igennem ændret design af sugekoppen. Udskift af sugehoved har været besværlig, og har ønsket forenkles.

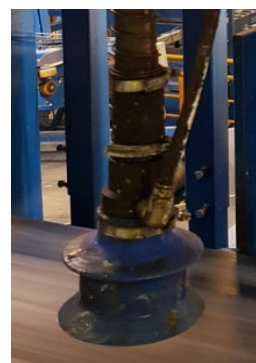
Bøsningen som tilkobles gribearmen og som sugekoppen monteres på, har ligesom sugekoppen, haft behov for forbedringer, som blev sammentænkt med den nye sugekop. Den tidligere sugekop set på Figur 10, var fastgjort med spænder, og var lavet fleksibel for at modstå høj kraftpåvirkning. Bøsningen virkede efter hensigten, men har haft problemer i særlige tilfælde, hvor robotten er gået ned på høje emner, eller hvor emner har snoet sig omkring bøsningen og trukket den med båndets retning. Her har kraftpåvirkningen på bøsningen været for stor som derfor har, kunne blive vredet skæv eller falde helt af gribearmen, og resulteret i tab af sugekop.

Sugehovederne set på Figur 11, viser de forskellige iterationer sugehovedet har gennemgået fra starten og til slutningen af projektet. Udfordringen i sugehovedet har lagt i, at der intet tilfredsstillende produkt var at finde på markedet, hvorfor konceptet og udviklingen skulle ske fra bunden. Konceptet udtænkt i de tidlige faser, kan ses gældende i alle iterationer. I de to nyeste versioner, har sugehovedet fået buede læber som giver robotten en øget gribesikkerhed, da læberne evner at omslutte emnet bedre, og mindsker mængden af falsk luft, hvilket især er gældende for uhomogene emner, samt længere hals med riller, for forbedret fastgørelse.



FIGUR 11 Viser udviklingen af sugehovedet over tid, fra første koncept til nyeste version, set fra venstre til højre.

I nyeste version af sugehovedet, blev der ligeledes lagt vægt på at øge holdbarheden, og forstærke sugehovedet, set på Figur 12. Sugehovedet er blevet udvidet i tykkelsen i selve gribedelen af hovedet, som er den kritiske del, og er også udsat for den største kraftpåvirkning.



FIGUR 10 Sugehoved og bøsning udviklet i projektets fase 1.



FIGUR 12 Viser nyeste sugehovede.

Bøsningen er lavet af nylon, som sammenkobles med gribearm med pinolskruer set på Figur 13. Bøsningen er udformet med riller som passer i hak med sugehovedets hals, hvilket betyder at udskift af sugehovede er blevet nemmere, samt at sugehovedet sidder bedre fast. Bøsningen er sidenhen blevet tilpasset ny gribearm, hvilket kan ses længere nede, men stadig med samme princip.



FIGUR 13 Ny bøsning, fæstnes med pinolskruer og udformet med riller til påsætning af sugehoved.

Med det nye sugehoved og bøsning, absorberes stød nu kun af sugekop og gribearm, hvor den gamle bøsning førhen også absorberede kraften, med konsekvensen at den kunne falde af. Den nye opsætning, set på Figur 14, er en klar forenkling af tidligere version i fase 1, med mindre bevægelige dele.



FIGUR 14 Ny bøsning og sugehovede monteret på gribearm.

Forbedringen har betydet færre ødelagte sugehoveder og forbedret greb på specielt uhomogene emner. Forenkling af sammenkoblingen af sugekob og bøsning har resulteret i lettere vedligeholdelse.

6.1.4 Ballistisk sigte

Som led i testen fra beskrevet i kapitel 5.3, var konklusionen på de indledende test så positive, at det blev besluttet at leje en ballistisk sigte til indgåelse i test, i sammenhæng med robotsorteringsanlægget.

Den ballistiske sigte er opstillet ved Nomi4s, set på Figur 15, og er blevet konfigureret emballageaffaldets sammensætning. Dette har bl.a. betydet at frembringerne, som er med til at fransortere 2D-fraktionen fra 3D, er blevet taget af, da en for stor grad af fejlsortering af aluminiumsdåser i 2D-fraktionen fandt sted. Hældningen på sigten er ligeledes tilpasset.



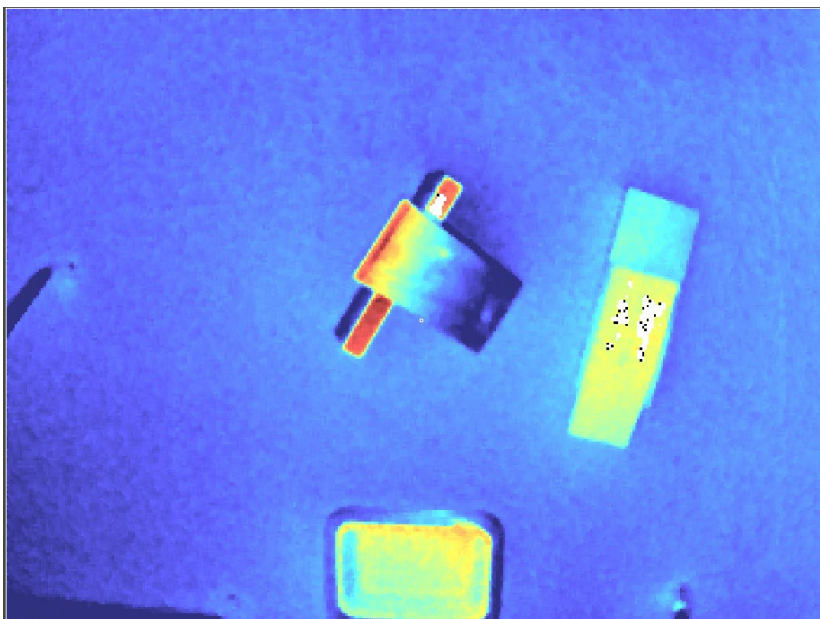
FIGUR 15 Viser den ballistiske sigte, der kan adskille 2D og 3D fraktionen fra hinanden.

Ud fra testkørsler, kunne den positive indvirkning på udsorteringen af folie tydeligt ses, men grundet at den ballistiske sigte var lånt, kan dens langtidsvirkende effekt ikke konkluderes på.

6.1.5 3D kamera

I et forsøg på at inkorporere højder og gribeblader af uhomogene emner, har et 3D kamera af typen time-of-flight (ToF), været undersøgt. Dette har været med formål at øge gribesikkerheden og cyklustid, da robotten kun kan antage en højde på emner lig med båndet. Antagelsen har skabt problemer med høje emner på f.eks. 10 cm og over, hvor der opstår en stor kraftpåvirkning på sugehovedet og fjederarmen. Dette har i tilfælde kunne skubbe emner væk under sugehovedet, og i særlige tilfælde fået robotten ud i en yderposition, og dermed forårsage et stop af robotten. Med 3D billeder af emner, kunne gribesikkerheden for robotten øges på uhomogene emner, da den i stedet for blot at gribe emnets centerpunkt, ville gribe et fladt areal på emnet.

Implementeringen af 3D-kamera udmundede i en forsøgsopstilling, hvor emnerne blev placeret på et stationært underlag. I forsøget blev kommunikation mellem 3D-kamera og PLC, og diverse analyseværktøjer testet, og ligeledes blev billeder med højdedata testet på plastemner, set på Figur 16. Kameraet virkede efter hensigten og fungerede på emner i stationær tilstand eller langsom bevægelse.



FIGUR 16 - Viser 3D billede, hvor blå er et gulv, med en plastbakke og 2 træklodser markeret med gul og rød, hvoraf den ene læner sig op ad en anden.

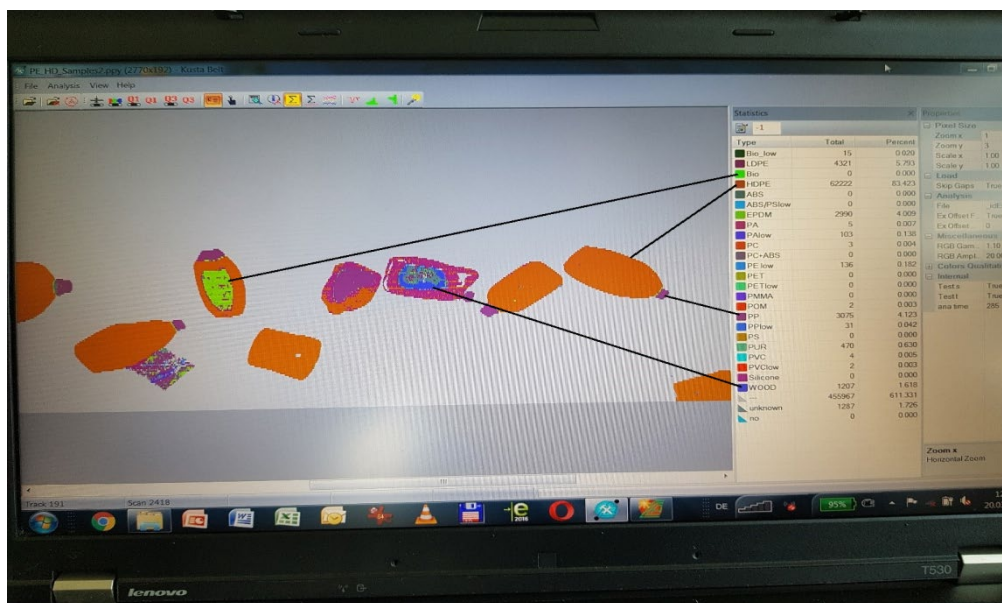
I overførslen til hurtigt bevægende emner på robotsorteringsanlægget, hvor emner befinder sig på et transportbånd, opstod et problem. Billedet blev meget uklart, grundet at der ikke var nok lys af emnerne, der nåede at blive reflekteret til 3D-kameraet, til at kunne bestemme højderne på billedet. Ingen erfaring blev fundet i industrien, hvor ToF-3D kamera praktiseres med hurtigt skiftene og bevægende objekter, hvorfor arbejdet med 3D-kamera og højdedetektering på emne, ikke vil blive arbejdet videre med.

6.1.6 Trimning af NIR

NIR-kameraet fungerer som anlæggets "øjne" til genkendelse af emner, og har siden etableringen ikke haft nogen ændringer eller opdateringer. Siden da, er problemstillinger som behovet for genkendelse af sort plast, genkendelse af blød plast fra hård plast mm. observeret, og dermed behov for tilføjelser af nye funktioner samt en general optimering. Til udførelsen, har der været besøg af konsulent fra LLA.

6.1.6.1 Analyseværktøjet

Den unikke information fra et molekyle, afspejles i NIR-spektret, men det er nødvendigt at behandle disse spektrale numeriske værdier, for at identificere emnets materialetype. Til dette bruges et analyseværktøj, som fastsætter materialets type, ud fra et absorptionsbånd af molekyler reflekteret i NIR-spektret. Ved besøget er analyseværktøjet opdateret til nyeste version, som blandt andet tilføjer Tetrapak og bionedbrydeligt plast til materialetyper af genkendelse. På Figur 17 ses et billede taget af NIR-kameraet, og behandlet i analyseværktøjet.



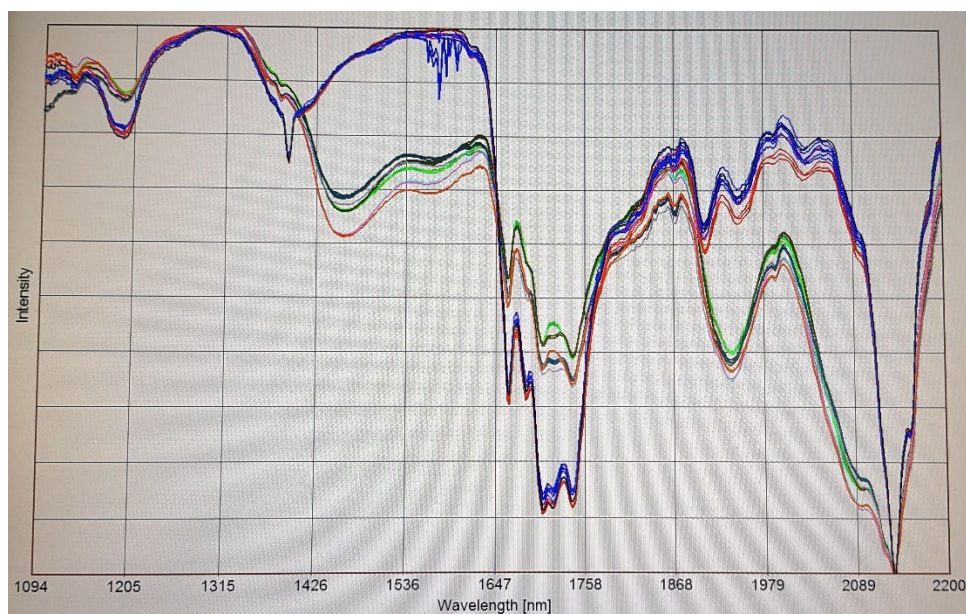
FIGUR 17 Billede taget af NIR-kamera til behandling i analyseværktøj.

Den væsentligste forbedring er dog optimeringen af analyseværktøjet. Her er der indsamlet forskellige prøver af dunke, flasker og folie af typerne HDPE og LDPE. Emnerne blev dernæst identificeret med et NIR-laboratorie spektrometer. Disse skanninger blev sammenholdt med optagelser af prøver med eget NIR-kamera, for dermed at kunne lave nye læringssets for bedre genkendelse af emner.

Billedet er også et godt eksempel på problematikken i sammensatte produkter, i dette tilfælde HDPE og PP, hvilket har indflydelse på renheden i udsorterede fraktioner.

6.1.6.2 Adskillelse af LDPE og HDPE

Et problem der gør sig gældende ved HDPE-sortering er, at NIR-kameraet ikke har formået at kende tilstrækkelig forskel på LDPE og HDPE. Dette har betydet, at folie er blevet fejlsorteret med HDPE, og har krævet manuel kvalitetskontrol.



FIGUR 18 Spektralanalyse af de forskellige plastpolymerer

Noget af løsningen har været en optimering af analyseværktøjet, hvor der er justeret på grænseværdierne for materialetyperne. På Figur 18 ses et eksempel på, hvordan analyseværktøjet ud fra hyperspektral analyse, angiver materialetype. Dette er en hårfin grænse, som overjusteret, kan betyde at emner fejlagtigt vil genkendes som PE, eller omvendt, at meget få ting vil genkendes som PE. Dette gælder dog kun for de folie-emner som ligger i ét lag på båndet. Folie der ligger krøllet eller foldet i flere lag, kan for NIR-kameraet blive genkendt som HDPE. Løsningen på folie i flere lag, kan ikke findes i NIR-kameraet alene.

6.1.6.3 Udsortering af sort plast

NIR-kameraet kan ikke genkende sort, da kulstoffet i disse emner absorbere lyset, og dermed ikke bliver reflekteret til NIR-kameraet. Da sorte kødbakker udgør en stor del af plast fra husholdningen, koblet med efterspørgsmål om udsortering af sort plast fra industrien, er muligheden for udsortering af sorte plastfraktioner undersøgt.

Her er der taget udgangspunkt i prøver leveret fra industrien vist på Figur 19, der alle indeholder en vis mængde sort, men som ved forskellige forsøg, er prøvet at gøre genkendelig for sensorteknologi. Alle prøver er testbakker, og ingen er "normale" kødbakker. Tiltagende indeholder et tyndt folie uden på bakkerne eller iblanding af andre farver med den sorte. Emnerne er nummereret fra 1 til 10, fra venstre mod højre, top til bund, ud fra Figur 19. Resultatet af genkendelsen med NIR-kameraet kan ses i Tabel 4, hvor OK er lige med detekterbar. Spektret af de 10 emner er taget med NIR-kameraet Kusta1.9MSI.

TABEL 4 Viser resultat af optagelser for 10 forskellige plastbakker indeholdende sort.

Prøvenummer	Emne	Resultat
1	Brun plade	OK
2	Brun beholder	OK
3	Blå beholder	Kun omkredsen kan detekteres
4	Lysegrøn beholder	Kun omkredsen kan detekteres
5	Mørkegrøn beholder	Modulation < 0,5 / ikke detekterbar
6	Mørkeblå beholder	OK
7	Sort beholder	OK
8	Sort beholder	OK
9	Sort beholder	OK
10	Lille brun beholder	Modulation < 0,5 / ikke detekterbar

Resultatet viser, at størstedelen af emnerne bliver genkendt. Emner der ikke detekteres, skyldes det større indhold af carbon black, som absorbere lyset, og dermed gør at emnet ikke er genkendeligt. Emne 3 og 4, er også et godt eksempel på at plastemner godt kan indeholde carbon black, uden at være sorte.



FIGUR 19 Viser billede af de 10 plastbakker indeholdende sort.

6.1.6.4 Bionedbrydeligt plast

Med et stort fokus på en mere bæredygtig håndtering af plastfolie, og en mulig fremtid hvor dette skal kunne håndteres, er en indledende undersøgelse lavet, af NIR-kameraets evne til genkendelse af bionedbrydeligt plast. Den undersøgte bionedbrydelige plast begrænser sig kun til bionedbrydeligt polyester, set på Figur 20.



FIGUR 20 Viser billede af de afprøvede bionedbrydelige plastemner.

Optagelserne af emnerne er taget med NIR-kameraet, og derefter registrere om analyseværktøjet kunne registrere den bionedbrydelige plast, set i Tabel 5.

TABEL 5 Viser resultat af NIR-kameraets evne til at genkende bionedbrydeligt plast.

Emne	Resultat
Krøllede hvidt plastik folie	OK
Fladt grønt plastikfolie	Ikke detekteret
Fladt grønt plastikfolie	Ikke detekteret
Fladt grønt plastikfolie, 8 lag	OK
Fladt grønt plastikfolie, 4 lag	OK
Fladt grønt plastikfolie, 2 lag, krøllet	OK

Hoveddelen af den bionedbrydeligt plast detekteres. Det overordnede resultat viser at kameraet godt kan genkende bionedbrydeligt plast.

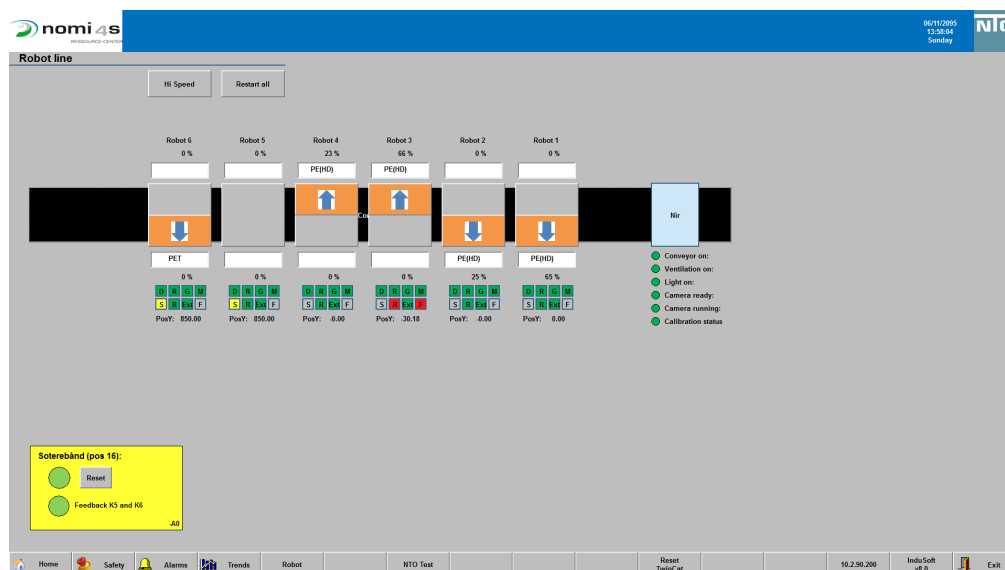
6.2 Software

Forsøgsprojektet har igennem fase I haft fokus på udførelsen af et projekt, som kunne frasortere plast fra emballageaffald ved brug af robotter. Igennem fase I har koden været præget af mange små tilføjelser og løsninger, hvortil der nu kræves en oprydning i koden. Dertil har det været synligt, at måden hvorpå robotten griber, sortere og hvor ofte, har, kunne optimeres. En mere overskuelig og sigende brugerflade for robotterne har også været nødvendig.

6.2.1 HMI

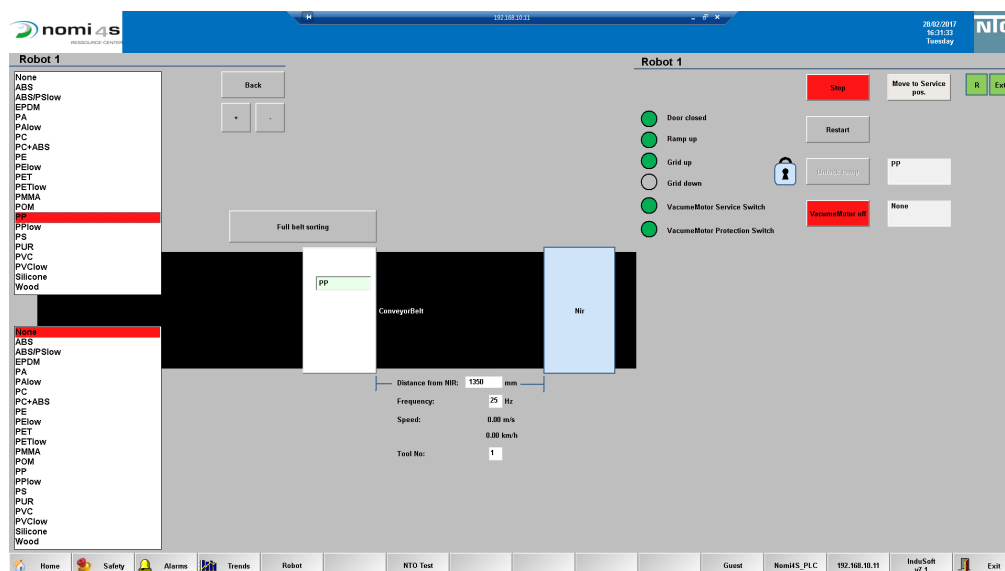
Brugerfladen til robotterne også kaldet Human Machine Interface, fremover forkortet HMI, har i projektets etablering, haft fokus på udførelse og funktionalitet. Dette har været tilstrækkeligt til drift af anlægget, men har ikke været sigende nok på fejlkoder, og har ligeledes kunne gøres mere brugervenlig og intuitiv. Til visning af dette, tages der udgangspunkt i to vinduer fra det gamle HMI, sammenlignet med et vindue fra det nye HMI.

Figur 21 viser overordnet driftstatus for hele robotlinjen med ikoner under hver robotcelle, med uddybende tekst til NIR-kamera. HMI blev navigeret via enten værktøjslinjen, eller ved at klikke på ikoners bokse.



FIGUR 21 Viser vindue af gl. HMI, med driftstatus for hele robotlinjen.

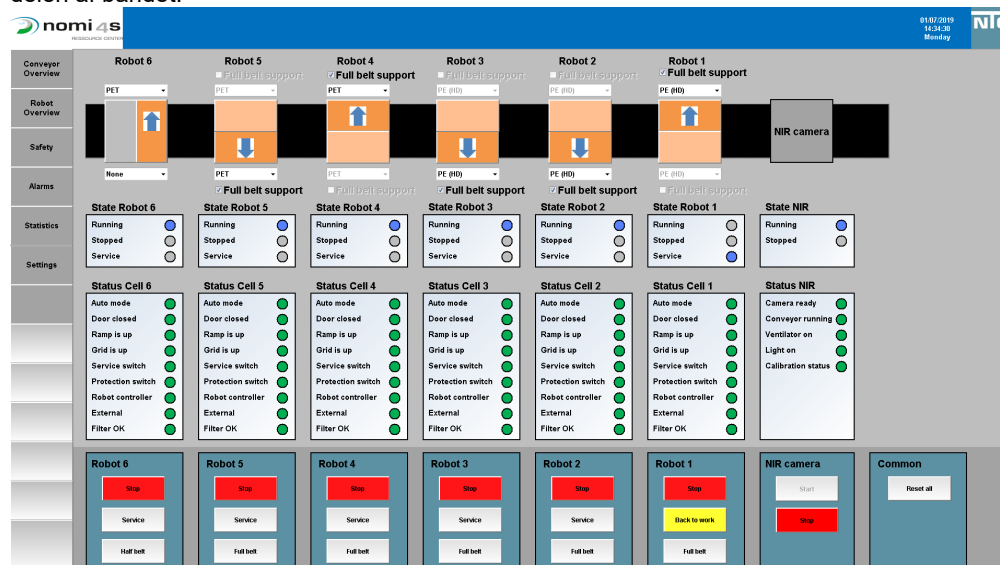
Eksempler herpå er ved at trykke på firkanten mellem de to materialetyper, hvor der navigeres til den pågældende robotcelle, eller ved at trykke på NIR boksen, hvor der navigeres til statistik for NIR-registrerede polymer. Her ville et nyt skærm billede åbne, og vise indstillinger for den specifikke robotcelle. Den gule boks i venstre hjørne viser alarmer for robotanlægget, som skulle resettes efter hvert stop af anlægget, for at kunne startes.



FIGUR 22 Viser vindue af gl. HMI for robotcelle 1, hvor der kan indstilles på polymertype til sortering, hvilken båndside og driftfunktioner.

Figur 22 viser vindue fra gammel HMI, der viser de materialetyper, der kan vælges. Materiale fra den øverste boks vil blive smidt ud til højre (set fra NIR-kameraet) og materiale fra den nederste boks vil blive smidt ud til venstre. Robotten kan også indstilles til, om den skal sortere på hele båndet eller kun halvdelen. Står den på "Full belt sorting" i boxen, sorteres der på hele

båndet og klikkes der på samme boks, skifter den til "Half belt sorting", og sortere kun på halvdelen af båndet.



FIGUR 23 Viser "Robot overview" vinduet, med indstillinger for robotterne samt driftstatus og driftfunktioner.

Med det nye HMI, har begge ovenstående vinduer og dets funktioner været igennem en "oprydning", og tilpasset til at kunne være på ét vindue, set på Figur 23. I venstre side findes nu en oversigt over de forskellige vinduer, som kan navigeres imellem, som førhen blev gjort i Window's værktøjslinje, eller ikke intuitive ikoners bokse. Materiale type vælges nu ud fra en dropdownmenu, hvilket har sparet betydeligt plads. Driftstatus for hver robot er nu skrevet i fuld tekst, med tilhørende farvekode. Nederst er de vigtigste driftfunktioner; "stop", "service", "back to work", og "full belt" eller "half belt" alt efter hvilken side robotten skal sortere. Alarmsboksen på Figur 21 er flyttet over i et andet vindue, separat for alarmer.

Ændringerne for dette HMI vindue har medført en øget brugervenlighed i form af bedre oversigt og nemmere tilgang til de forskellige funktioner mv. Tilgangen har været den samme for de øvrige HMI vinduer, som også har set samme forbedringer.

6.2.2 FjernStatus

Til fjernaflæsning af robotanlæggets status, er der udviklet en webside, hvorfra robotternes indstilling og effektivitet kan aflæses, og eventuelle fejl eller alarmer på anlægget.

På Figur 24 ses webside af status på anlægget, hvor det i dette tilfælde kan aflæses at robot 1 til 3 sortere på HDPE og robot 4-6 sortere på PET. Antal registrerede plastemner af hver type aflæses øverst, og ligeledes den procentvise andel som robotterne har forsoget sortere

Process

[Home](#) [Alarms](#) [Log Off](#)

Description	Value
Test	Off
PE HD %	0.91454716727223795
PE HD	7430
PET %	0.75284837861524978
PET	15973
PP %	0
PP	23873
Robot 1, Side 0	PE(HD)
Robot 1, Side 1	PE(HD)
Robot 2, Side 0	PE(HD)
Robot 2, Side 1	PE(HD)
Robot 3, Side 0	PE(HD)
Robot 3, Side 1	PE(HD)
Robot 4, Side 0	PET
Robot 4, Side 1	PET
Robot 5, Side 0	PET
Robot 5, Side 1	PET
Robot 6, Side 0	PET
Robot 6, Side 1	PET
Robot 1, Active %	96.289314270019531
Robot 2, Active %	91.276947021484375
Robot 3, Active %	89.079986572265625
Robot 4, Active %	80.5218505859375
Robot 5, Active %	100
Robot 6, Active %	86.953704833984375

FIGUR 24 Viser webside af robotternes indstilling og effektivitet.

Robotternes aktivitet aflæses nederst, som er et udtryk for deres reelle aktivitet i tiden robotlinjen har kørt. Den procentvise aktivitet er angivet som perioden, hvori kamera er tændt og robotten ikke er i service mod den totale tid kameraet har været tændt, altså perioden hvor robotten reelt er i arbejde.

Alarms

[Home](#) [Process](#) [Log Off](#)

State	Message	Type	Time
	M09: External error	Hi	09:53
	Safety at sieve (M02)	Hi	14:34
	M16: External error	Hi	17:10
	Low compressor air pressure	Hi	04:59

FIGUR 25 Fejlmeldinger og alarmer vist for robotsorteringsanlægget.

Fejlmeldinger og alarmer kan ligeledes aflæses, hvor et eksempel kan ses i Figur 25.

6.2.3 Forbedret programmeringskode

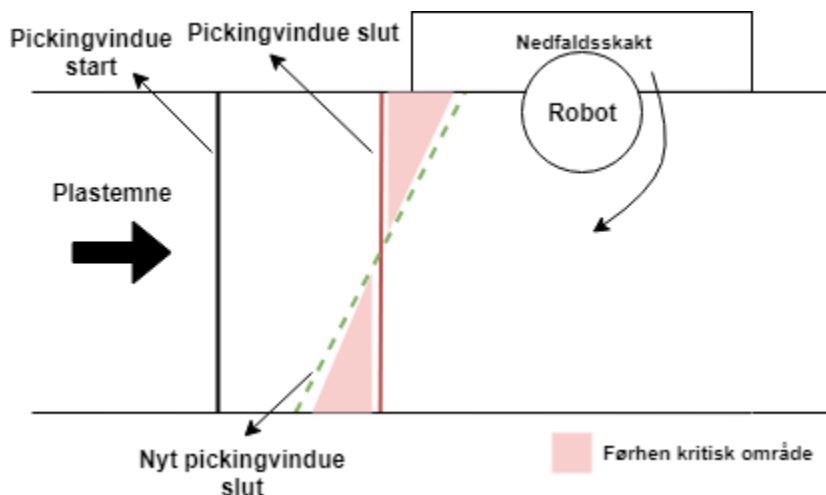
Funktionaliteten har været det essentielle i etableringen, hvorfor der undervejs er lavet mange mindre forbedringer og løsninger i programmeringen. Her har der været fokus på løsningen her og nu, og dette reflekteres i koden, som har krævet en oprydning.

6.2.3.1 Kodekommentering

Som del af oprydningen, har der været fokus på at forbedre kommenteringen af koden, for at opnå bedre forståelse af kodens virkemåde. Dette gør sig gældende i situationer, hvor udefrakommende personer, som ikke har skrevet koden, skal forstå dens funktioner. Dette har været et fokuspunkt, og er blevet forbedret med fase II.

6.2.4 Opsamling

Hver robot har et "vindue" som de ser i, når de skal samle et emne op. Vinduet er lavet med henblik på, at når robotten har været ude at aflevere et emne og dermed skal finde et nyt at samle på sorterbåndet, skal robotten lave en vurdering, om den kan nå at samle næste emne fra båndet op. Dette vindue har en start og en slut, som begge ligger vinkelret på tværs af båndet, og er visualiseret på Figur 26. Da robotterne sidder i serie, er robotternes vindue begrænset til at starte, hvor den foran værende robots vindue slutter, med undtagelse af Robot 1, som er den første i serien.



FIGUR 26 Visualisering af pickingvindue som robotten bruger, når den skal vurdere, om den kan nå at samle et emne op.

"Pickingvindue start" er starten af vinduet, som robotten kigger i, når den laver sin vurdering, om den kan nå at samle et emne op, og "Pickingvindue slut" angiver slutningen.

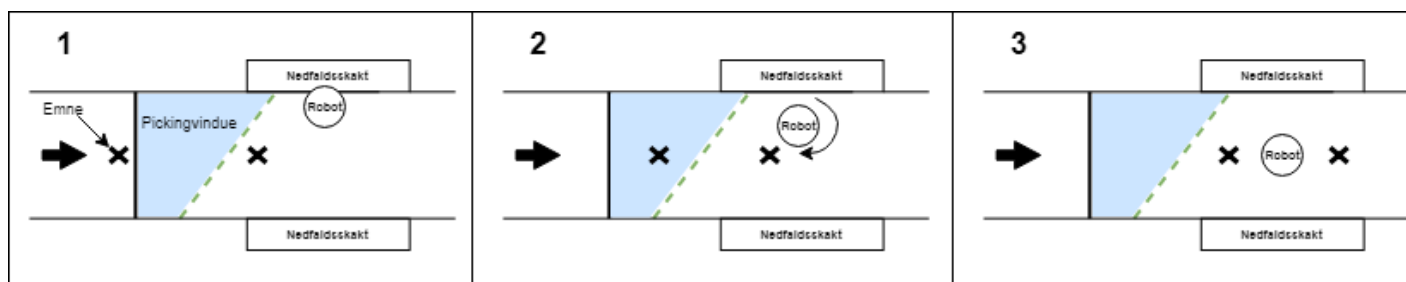
Med "Pickingvindue slut" liggende vinkelret på båndet, blev der ikke taget højde for robotens placering i forhold til emnet, den skulle samle op. Et eksempel er at robotten netop har afleveret et emne i nedfaldsskanten, og skal vurdere om den kan nå næste emne. Hvis emnet ligger til siden som robotten allerede står i, har robotten en kort vej at bevæge sig, modsat hvis emnet lå i modsatte side, havde robotten en længere vej at bevæge sig.

I sådanne situationer ville robotten afvise emner, som robotten godt kunne nå det. Ligeledes hvis robotten står ved nedfaldsskanten, og næste emne kommer i modsatte side, ville robotten fejlagtigt gå efter emnet, selvom dette ikke kunne nås. Altså har emnerne været placeret i et kritisk område, i øjeblikket robotten har set efter nyt emne, markeret på Figur 26 med rødt.

Med "Nyt pickingvindue slut" er grænsen for hvornår robotten kan eller ikke kan nå et emne, i stedet placeret skråt på båndet. Denne grænselinje starter tættest på robotten, i den side som robotten afleverer til, og forøges jo længere afstand robotten skal bevæge sig til næste emne. Dette betyder, at robotten ikke længere afviser emner, som robotten reelt godt kunne nå, samt at den ikke længere går efter emner, som den ikke kan nå.

6.2.5 Robot skipper emner

I test og observation af robotterne har det været iøjnefaldende, at robotterne har haft tendens til at springe over emner, som man bestemt har ment, den skulle tage. Problemet er observeret, og rekonstrueret i en test, hvor robotten er blevet født med 4 emner med et mellemrum



FIGUR 27 Viser trinvis, hvordan robotten har kunnet springe emner over. 1. Robotten ser efter emner i pickingvinduet. 2. Kører robotten tilbage til midten, alt imens affaldet kører igennem. 3. Robotten ser igen efter emner i pickingvinduet.

som tillader sortering af alle 4. Her har den haft tendens til at sortere 1. emne, afvise 2. emne og skippe 3. emne, selvom denne godt kunne nås, for til sidst at tage det 4. emne. I Figur 27 ses problemet skitseret, for hvordan systemet kunne springe et emne over.

1. Her har robotten netop været ude at aflevere et emne i nedfaldsskakten, og vil efterspørge et nyt emne at tage. Dette gør den én gang i denne position, og da ingen emner befinder sig i vinduet, vil den køre tilbage til home position i midten.
2. Viser robotten i dens cyklus fra nedfaldsskakt til home position. I denne tid, bevæger båndet sig 75 - 85 cm, alt sammen i en tid, hvor robotten ikke efterspørger noget nyt emne at sortere. Et emne befinder sig i vinduet, men bliver ikke taget, fordi robotten ikke ser i vinduet.
3. Her befinder robotten sig nu i home position, og vil efterspørge et nyt emne. Emnet som den ellers godt kunne nå, er nu ude af vinduet, og vil passere robotten.

Problemet er identificeret til at stamme fra robotens funktion, til kun at efterspørge nyt emne én gang efter den har afleveret ved nedfaldsskakten, indtil den er tilbage ved home position på midten. En mindre "betænkningstid" når robotten kommer til home position er også registreret, som blot øger tiden, hvori robotten ikke ser efter nyt emne. Problemet ville ligeledes kun opstå i situationer, hvor et emne lå lige uden for start af pickingvindue, efter robotten havde kaldt nyt emne, altså var der her et kritisk vindue, som ville afvise emner som ikke var efter hensigten.

Problemet er løst ved at robotten nu kalder på nye emner i hele dens cyklus fra aflevering til home position, som også sker i robotens "betænkningstid" ved home position. Det har også været muligt at udvide pickingvinduet for robot 2-6, som øger tiden hvori emner ligger i vinduet, og derved mindsker det kritiske vindue. Dette har dog ikke været muligt for robot 1, hvis vindue ligger helt op til NIR-kameraet, og kan derfor ikke øges.

Forbedringerne har bidraget til betydeligt mindre ventetid for alle robotter, som derved har øget robotternes evne til at sortere flere emner i minuttet.

6.2.6 Øvrige optimeringer

Udover de store forbedringer i programmeringen kan også tælles mindre, men også væsentlige forbedringer, som er udført undervejs. Her har ændringen været af et mindre omfang, og beskrives herunder.

6.2.6.1 Fejlaflevering

Ved udskiftning af vakuummotor på robot 1, og deraf medførte ændringer på sug og blæs, har robot 1 haft tendens til at aflevere grebet emner for sent, og dermed blæst dem tilbage på båndet. Løsningen har her været justering af timing for blæs, så emnet blev afleveret i nedfaldsskakt og ikke på båndet.

6.2.6.2 Præcision

Robotterne havde i starten af optimeringen problemer med at ramme centrum på emner, hvilket betød at den ofte ramte bagefter emner. En tendens der blev øget, jo længere væk fra NIR-kameraet robotten var placeret, altså var problemet størst på R6 og mindst på R1. Problemet var især synligt på cirkelformede emner, hvor det var nemt at genkende centrum, og robotternes afgivelse herfra.

Problemet bestod i den angivne afstand mellem NIR-kameraet og hver robot. En afstand som bruges til at fortælle robotten, tidsrummet fra et emne passere NIR-kameraet, til det når ned til robotten og skal samles op. Løsningen blev derfor en justering af denne afstand for hver robot, indtil robotten gik direkte ned på centrum af emner.

6.2.6.3 Hjælpefunktion

Førhen, når robotterne har været tilgivet en bestemt side af båndet til sortering, har der kunnet opstå situationer, hvor affaldet bliver skævt fordelt til den modsatte side af robotternes side, og robotten derfor har stået stille. For at modvirke denne situation, er der lavet en hjælpefunktion som i tilfælde, hvor ingen affald kommer i robotternes bestemte side, vil robotten slå over i fullbælt og sortere affald på hele båndet. Hjælpefunktionen aktiveres kun, hvis ingen materialer til sortering registreres 900 mm foran robotten. Robotten bliver i fullbælt indtil der igen registreres affald på dens bestemte side

6.2.6.4 Fastsiddende emner

Førhen kunne robotternes sug og det opbyggede vakuum, forårsage at emner der sluttede tæt fast omkring sugehovedet, blev siddende efter aflevering, og forhindrede opsamling af nye emner, indtil operatør fik det fjernet. Til afhjælpning af dette, er det blevet lavet, så hvis et emne sætter sig fast, vil robotten køre i service. Her vil vakuumventilen åbne, og udligne trykket inde i sugehovedet, og emnet vil falde af, og robotten vil fortsætte i drift efter 5 sekunder.

6.2.7 Båndsynkronisering

Når robotten samler et emne op fra båndet, forsøger den i tidsrammen, hvor den har kontakt med emnet og opbygger vakuum, at bevæge sig med samme hastighed og retning som båndet. Uden en tilstrækkelig form for synkronisering af hastighed mellem robot og bånd, vil båndet kunne trække emnet ud af sugehovedets vakuum, og i tilfælde med gl. sugehovede, rive hele sugehovedet af. Et vrid, forårsaget af forskellen i hastighed, kan ses på Figur 28, hvilket også ses i afstanden mellem de to plastikdunke, som her bliver mindre, og dermed viser at robotten ikke følger båndets hastighed.



FIGUR 28 Viser sugehovedet i øjeblikket den rammer ned på emnet og øjeblikket hvor den løfter emnet. En tidsperiode på omkring 100 ms. Gl. sugekop.

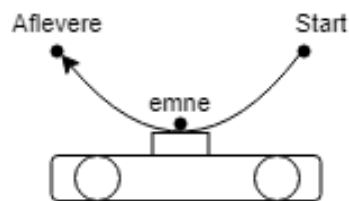
Hastigheden, som sorterbåndet bevæger sig med, og den robotterne bevæger sig med, er forskellig, og vil derfor aldrig være synkron. Dette bunder i at robotens bevægelse er point-to-point, se Bilag 1. I praksis betyder dette, at robotten kører maksimal hastighed fra punkt til punkt, på bekostning af muligheden for at styre robotens bevægelse mellem disse punkter. I dette tilfælde ville punkterne være start position af robot, til emne, til nedfaldsskakt. Dette er et valg, som er taget, for at opnå den hurtigste cyklistid af robotten. En anden mulighed har været at køre robotten i en lineær bevægelse, hvori man har fuld kontrol af robotbevægelsen, og derigennem opnår præcis båndsynkronisering. Bekostningen er dog, at robotten ikke kører maksimal hastighed hvilket blev valgt fra grundet, at robotbevægelsen blev for langsom. Det har dog været muligt at forbedre synkroniseringen mellem bånd og robot ved point-to-point, i tidsrammen hvor robotten samler emner op fra båndet.

Til forbedring af synkroniseringen er målinger udført på robotens bevægelse i x retningen, over tid, og ligeledes båndets bevægelse i samme retning over tid, angivet af en encoder. Målingerne kan ses på Figur 29, hvor bevægelsen for båndet (blå) og robotten (grøn) er vist i perioden, fra robotten er 5 cm over båndet og skal til at gribe, til den har fat i emnet og på vej op igen. Perioden hvori robotten har kontakt med emnet og båndet, er markeret med en sort ramme, som er perioden forsøgt optimeret.



FIGUR 29 Viser inden optimering, robotens bevægelse (grøn) og båndets bevægelse (blå) over tid, i perioden hvor robotten samler emnet op, indikeret af den sorte ramme.

Figur 29 viser forskellen mellem båndets konstante lineære bevægelse, og robotens ulineære bevægelse, inden optimeringen. Her er det tydeliggjort, at robotten og båndet ikke har samme bevægelse, og denne forskel i hastighed resulterer i vrid i sugehovedet. Robotten, har i sin bevægelse på vej ned mod emnet, større hastighed end båndets, og overstiger så båndets hastighed på vej op fra båndet. På intet tidspunkt følges de to kurver hinanden i en relativ længere periode.



FIGUR 30 Viser skitsering af robotens prædefinerede punkter, til udførelse af Point-to-Point bevægelse.

Løsningen, til at mindske vriddet, er fundet ved at justere et af de punkter, som robotten får givet til sin Point-to-Point bevægelse. Robotten har tre punkter, som den arbejder ud fra, som set på Figur 30, er punkterne Start, Emne og Aflevere. Punktet der er justeret, er Emne, som definerer bevægelsen hvormed robotten griber emnet. Punktet er ændret således, at robotens bevægelse i x retningen er øget, og dermed opnår en bevægelse der minder mere om en halvcirkel.

Justeringen er lavet ud fra observationer, indtil der er opnået en forbedret tilfredsstillende synkronisering mellem bånd og robot.



FIGUR 31 Viser efter optimering, robotens bevægelse (grøn) og båndets bevægelse (blå) over tid, i perioden hvor robotten samler emnet op, indikeret af den sorte ramme.

Med optimeringen af robotbevægelsen, er der nu opnået bedre synkronisering mellem bånd og robot i perioden, hvor robotten er nede på båndet, set på Figur 31. Med den forbedrede båndsynkronisering følges robotter og båndet nu nærmere hinanden i gribeperioden, hvilket forbedrer både gribesikkerheden og mindsker slid på sugehovedet.

7. Performance

Sortering af plast fra husholdning har sine udfordringer inden for robotteknologi, idet at emner, som robotten skal samle op, kommer i en uvilkårlig rækkefølge og aldrig ens af form. Dette har betydet, at robotterne på nogle områder ikke har ydet tilstrækkeligt, og kendskab til performance har været nødvendig for at kunne optimere.

Robotsorteringsanlægget er derfor blevet testet med formål at identificere anlæggets performance i forhold til succesraten på grib af plast, altså hvor ofte robotten får sorteret det plast den går efter. Dertil undersøges hvor ofte robotterne sortere emner og ligeledes undersøges ikke-grebet emner og materialefordelingen på båndet.

Performancetest er udført igennem hele fase II, hvortil der er noteret dato og hvilke ændringer og optimeringer der er udført pågældende dag eller periode. I undersøgelsen af performance tages der udgangspunkt i HDPE, da denne fraktion konsekvent har været til udsortering af robotterne.

7.1 Datomærkninger

Følgende afsnit giver en oversigt over de ændringer der blev udført på robotsorteringsanlægget, og som havde indvirkning på performance af anlægget, og kan ses i Tabel 6.

TABEL 6 Viser datoer hvor der blev udført ændringer på robotsorteringsanlægget.

Dato	Notat
26-11-2018	Kalibrering af alle robotter, i forhold til at være bagefter, og R1 ikke smider tilbage på bånd.
06-03-2019	Pickingvindue optimeret. Skipper ikke længere emner.
07-03-2019	Båndsynkronisering forbedret. Kun aktivt på 2.
13-03-2019	Båndsynkronisering aktivt på alle robotter.
23-05-2019	Ny cyklon installeret på R1.
01-07-2019	Hjælpfunktion aktiv.
09-07-2019	Nye sugehoveder er aktive
01-02-2020	Nye softwarefunktioner. Ny gribearm

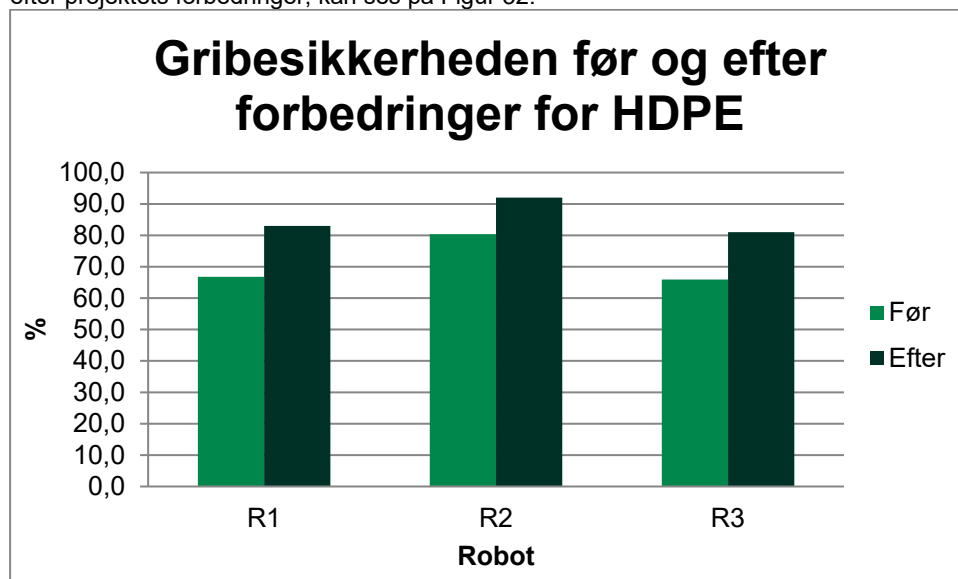
Mindre test og ændringer er ikke noteret her, og ikke alle ændringer listet i tabellen har en direkte indflydelse på performance. Nogle ændringer har været afhængige af andre, før deres potentiale kunne ses. Et eksempel er den nye sugekop, hvis potentiale først blev mærkbart med ny gribearm.

7.2 Gribesikkerhed

Gribesikkerheden er undersøgt, og er et udtryk for hvor ofte robotten får grebet de emner, som den forsøger at gribe, og afleveret til nedfaldsskakten. Gribesikkerheden er undersøgt i starten af projektet, hvor ingen af forbedringerne endnu var foretaget, og sammenlignet med den nuværende gribesikkerhed. Dertil vises gribesikkerheden for robot 5-6 som i dag, sortere på PET.

7.2.1 Gribesikkerhed før og efter optimering

Sammenligningen tager udgangspunkt i robotterne 1-3 sorterende på HDPE, da der her, var et sammenligningsgrundlag. Gribesikkerheden for robotterne 1-3 sorterende på HDPE, før og efter projektets forbedringer, kan ses på Figur 32.



FIGUR 32 Viser den øget gribesikkerhed ved HDPE sortering for robot 1-3, før og efter projektets forbedringer.

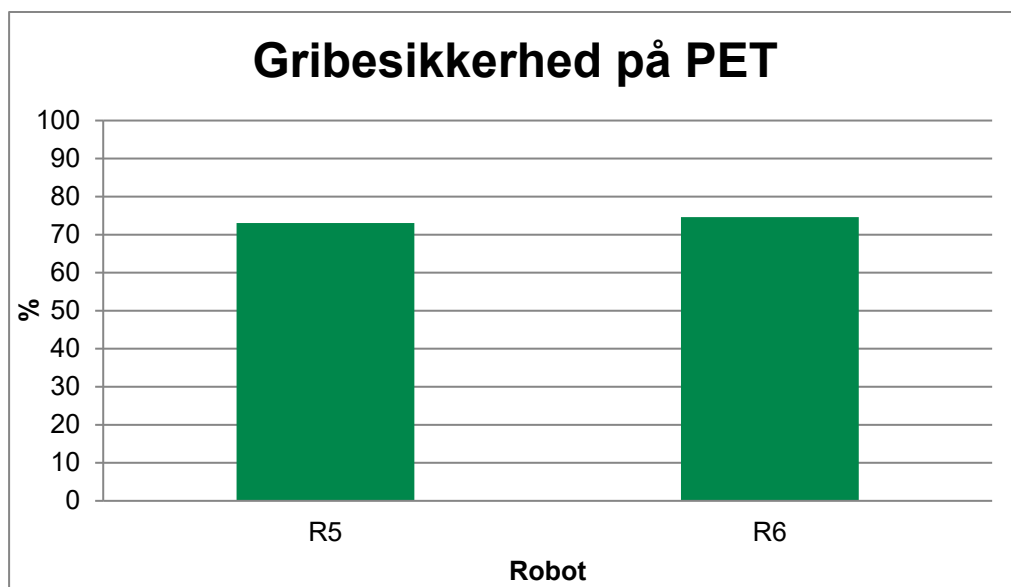
Fra målingerne før, er gribesikkerheden for robot 1 og 3 hhv. 67 % og 66 %, mens den for robot 2 er 80 %. Grunden til at robot 2 har haft en øget gribesikkerhed i forhold til de andre robotter, skal findes i faktorer som placering, sugehovede og pumpe.

For målingerne efter, er gribesikkerheden for robot 1 og 3 nu 83 % og 81 %, mens den for robot 2 er 92 %.

Målingerne viser en klar forbedring i robotternes evne til at gribe emner, som bunder i en øget præcision og forbedret gribeværktøj. I gennemsnit er robotternes gribesikkerhed øget med 14 % på HDPE sortering.

7.2.2 Nuværende opsætning

Ved skrivelse af rapport, kører anlægget med indstillingen, robot 1-3 sorterende på HDPE, hvis gribesikkerhed kan ses i forrige afsnit, og robot 4-6 sorterende på PET. Dette forventes at fortsætte i fremtiden, hvorfor gribesikkerheden for robot 4-6 sorterende på Pet kan ses på Figur 33.

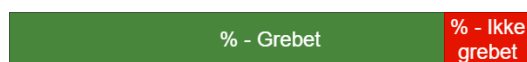


FIGUR 33 Gribesikkerheden for robot 5 og 6 sorterende på PET.

Sorterende på PET har R5 gribesikkerheden 73 % og R6 75 %. Robotterne 5 og 6 sorterende på PET, har en lavere gribesikkerhed end robotterne på HDPE. Dette skyldtes at robotterne pt. har sværere ved at gribe PET, samt at mængden af PET er langt større end HDPE, hvorfor robotterne kører mange flere cyklusser, hvilket har indvirkning på gribesikkerheden.

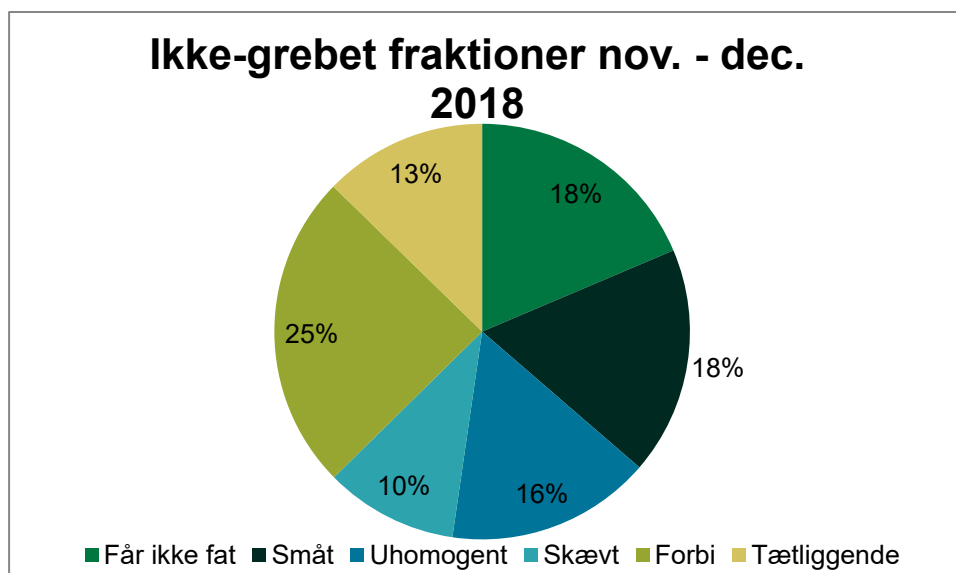
7.2.3 Ikke-grebet fraktioner

Som opfølgning til kapitel 7.2 om undersøgelsen af gribesikkerheden og procentdelen af affald der bliver grebet, var det nærliggende at undersøge den resterende procentdel, altså den procentdel som ikke bliver grebet, illustreret på Figur 34. Formålet her, var at få indblik i de former og karakterer som robotterne er udfordret på.



FIGUR 34 illustration af procentdel grebet og ikke grebet.

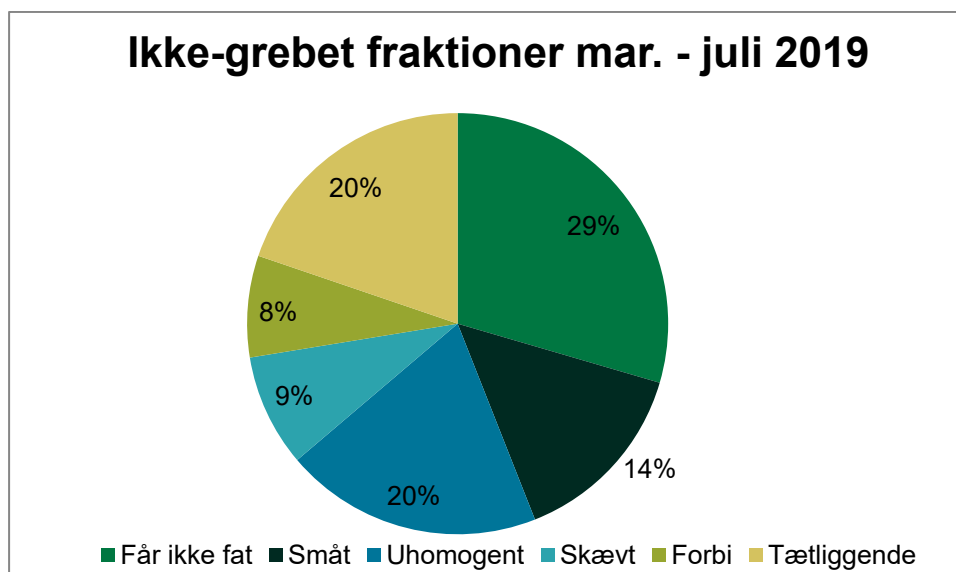
Udregningen af ikke-grebet fraktioner er baseret på datasættet, hvor der blev sorteret på HDPE. Emnerne der ikke blev grebet er kategoriseret, som beskrevet i kapitel 5.2.2.1. Udregningen er opgjort i hver ikke-grebet fraktions antal forekomster i procent, og fundet ved at tage den samlede forekomst af hver ikke-grebet fraktion i perioden, og udregne dens procentdel i forhold til den total mængde af alle ikke-grebet emner i samme periode. Ikke-grebet fraktioner er vist i starten af projektets fase 2, sammenlignet med dens slutning. Ikke-grebet fraktioner for perioden nov. – dec. 2018 ses i Figur 35.



FIGUR 35 Viser den procentvise fordeling af fraktioner, som robotterne ikke formår at gribe, i perioden nov. - dec. 2018.

Med 25 % har det, at robotterne har ramt forbi emner, været den hyppigste årsag til, at robotterne ikke har grebet. Dernæst har Får ikke fat og Småt, været næststørste årsag til at robotten ikke har grebet, begge med 18 %. Uhomogent står for 16 %, tætliggende 13 % og skævt 10 % årsag til at robotten ikke griber.

På Figur 36 ses den procentvise fordeling af ikke-grebet fraktioner for mar. – juli 2019.



FIGUR 36 Viser den procentvise fordeling af fraktioner, som robotterne ikke formår at gribe, i perioden mar. - juli 2019.

Den hyppigste årsag til at robotterne ikke griber, er nu fraktionen Får ikke fat, med 29 %. Dernæst er Uhomogent og Tætliggende der nu begge udgør 20 %. Dernæst Småt med 14 %, Skævt med 9 % og Forbi med 8 %.

Af undersøgte ikke-grebet fraktioner, er nogle fraktioner mindre ønskværdige end andre. Med udgangspunkt i robotanlæggets egenskaber og formåen, vil der altid være en forekomst af

ikke-grebet fraktioner, hvorom nogle kan diskuteres acceptable eller uacceptable ud fra et optimeringssynspunkt.

Ved små emner er robotterne begrænset i deres evne til samle emner op under en hvis kantlængde. Derfor er der lavet et virtuelt filter i anlægget, som filtrerer emner fra under en hvis kantlængde. Dette filter skal dog balancere mellem ikke at sættes for højt og dermed miste emner der godt kan gribes, mod at sættes for lavt og gå efter mange der ikke kan gribes. Der vil derfor altid være et acceptabelt niveau af små emner der ikke gribes.

Uhomogene emner vil som med små emner, aldrig blive 100 % grebet, da dette ikke har været en prioritet i projektets fase 2, og derfor ligger udenfor rammevilkårene for robotanlægget. Det kan derfor accepteres at denne fraktion ikke altid gribes.

Tætliggende kan med nuværende anlæg ikke løses igennem optimering af robotterne eller NIR kamera. En mulig løsning kan findes i optimering af rysterende eller i måden affald fødes til rysteranden. Det er ikke acceptabelt at fraktionen ikke gribes, men en potentiel løsning vurderes for omfattende for anlægges nuværende opsætning.

At robotterne rammer forbi eller skævt, vurderes uacceptabel da løsningen er blevet arbejdet med, og muligvis kræver yderligere optimering. Det forventes at denne fejl ikke vil forekomme i fremtiden.

At robotterne ikke får fat, kan skyldes flere ting, men at et utilstrækkeligt sug eller vakuum fra pumperne, som en af årsagerne er højst sandsynligt. Dette forventes at blive forbedret i form af nyt rørsystem og pumpesystem, hvorfor det forventes at hyppigheden af denne kategori af ikke-grebet, gerne skulle falde.

Ikke grebet emner, er undersøgt ud fra robotens ene forsøg til at gribe emner. I en recirkulering, kan det forventes, at en del af ikke grebet emner vil kunne gribes, da disse vil blive vendt i nye positioner med bedre gribeflader.

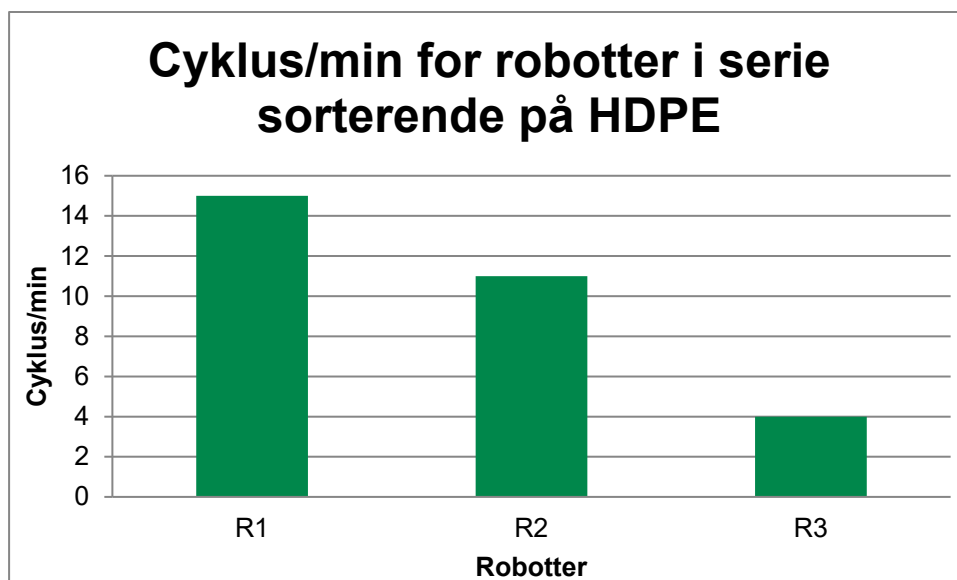
7.3 Emner i minuttet

I undersøgelsen af arbejdsbyrden for hver robot, er antallet af emner hver robot sortere i minuttet undersøgt, fremover angivet som cyklus/min.

Det skal gøres klart, at de præsenterede robot-cyklustider, bl.a. er meget afhængig af robotternes placering i forhold til hinanden, samt mængden af input fødet i den målte periode. Altså er cyklus-tiden her, ikke udtryk for hver enkelt robots maksimale cyklustid, men et indblik i deres arbejdsfordeling i forhold til hinanden, og deres potentiale.

7.3.1 HDPE

Målingerne er udført i drift, hvor robot 1 har været bestemt højre side med full belt support. Robot 2 har været tildelt venstre side med full belt support, og robot 3 har været bestemt full belt. Alle robotterne 1-3 har sorteret på HDPE. Robotternes cyklustid kan ses på Figur 37.



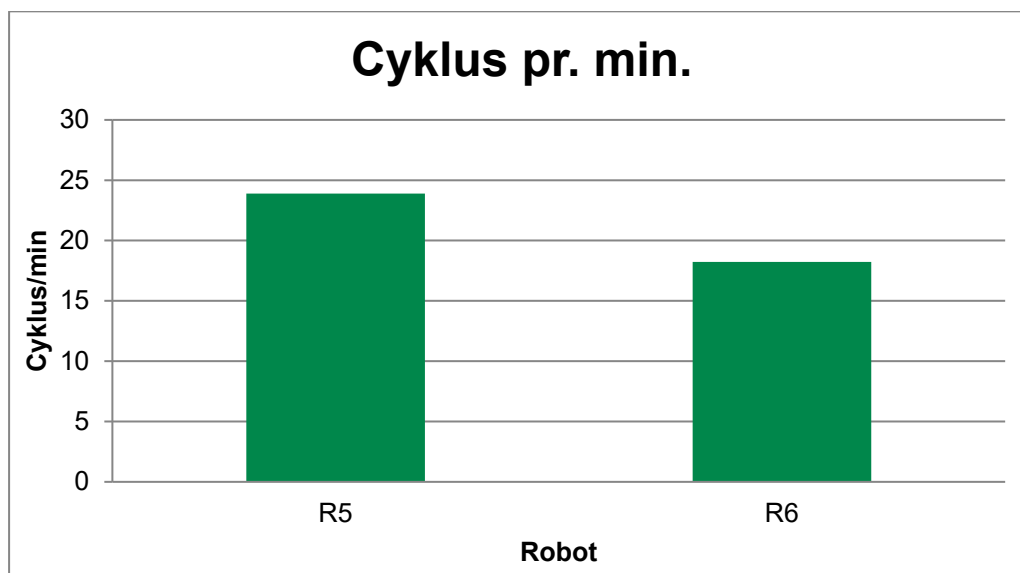
FIGUR 37 Viser cyklostiden for robot 1,2 og 3 i drift, sorterende på HDPE.

R1 sortere suverænt flest emner med 15 cyklusser/min, grundet dens placering forrest i serien. R2 har 11 cyklusser/min. mens R3 kun har 4 cyklusser/min., grundet at robotterne 1 og 2, har taget de fleste emner på dette tidspunkt.

Hvis robotten står som den første på sorterbåndet, har den det fulde antal emner fra indfødnin-gen til rådighed. Står robotten bagved en robot som sortere på samme fraktion, får den tilsva-rende mindre at sortere.

7.3.2 PET

Målingerne er udført i drift, hvor Robot 5 og 6 begge har sorteret på hele båndet. Med begge robotter sorterende på PET. Robotternes cyklostid kan ses på Figur 38.



FIGUR 38 Viser cyklostiden for robot 4,5 og 6 i drift, sorterende på PET.

R4 som den forreste har 29 cyklusser/min, R5 har 23 cyklusser/min og R6 har 18 cyklus-ser/min.

Faldet i cyklusser/min. fra robot til robot er igen tydeligt, men ikke i nær så høj grad som ved HDPE, hvilket skyldes den større mængde PET i forhold til HDPE som bliver anlægget bliver fødes.

7.3.3 Stress test

Som opfølgning på de målte antal emner i minuttet robotterne præsterede i drift, blev en stress test udført for at finde deres maksimale cyklus/min.

Stress testen blev udført som en simulering, hvor robotten blev sat til at udføre den samme cyklus i 5 minutter, på et emne som skulle samles op fra båndets højre side og afleveres i højre side.

I testen blev robotterne målt til 42 cyklusser/min, med forudsætningen at der er en konstant indfødnings af materiale, og at denne kommer på det samme sted på båndet.

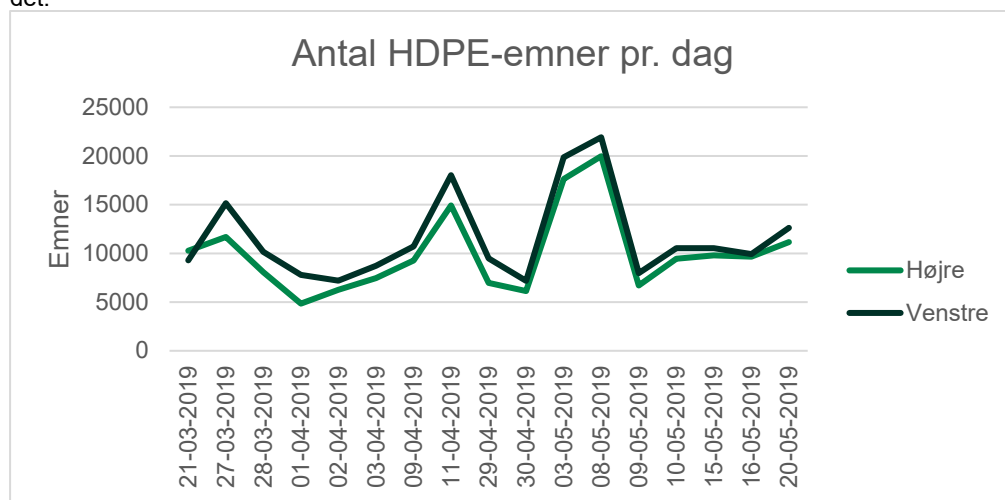
Sammenlignes robotens cyklus/min i drift med dens maksimale, ses at robotternes potentiale med nuværende affaldsinput langt fra er realiseret.

7.4 Materialefordeling på båndet

Der har været en mistanke om en ulig materialefordeling på sorterbåndet, som ligeledes kunne bekræftes ved observation og NIR-data, hvorfor materialefordelingen på transportbåndet er undersøgt. Der blev taget udgangspunkt i de totale HDPE NIR-registrerede data fra marts til juni, hvor hver side af båndet har været tildelt ens mængde robotkapacitet. Altså er data i dette afsnit hverken udtryk for mængden der sorteres, eller et antal der bør sorteres.

Det bør nævnes, at NIR-kameraet er begrænset til et 2D billede, og registrere emner ud fra kantlængder. Følgende materialefordeling er kun et udtryk for antal og ikke volumen.

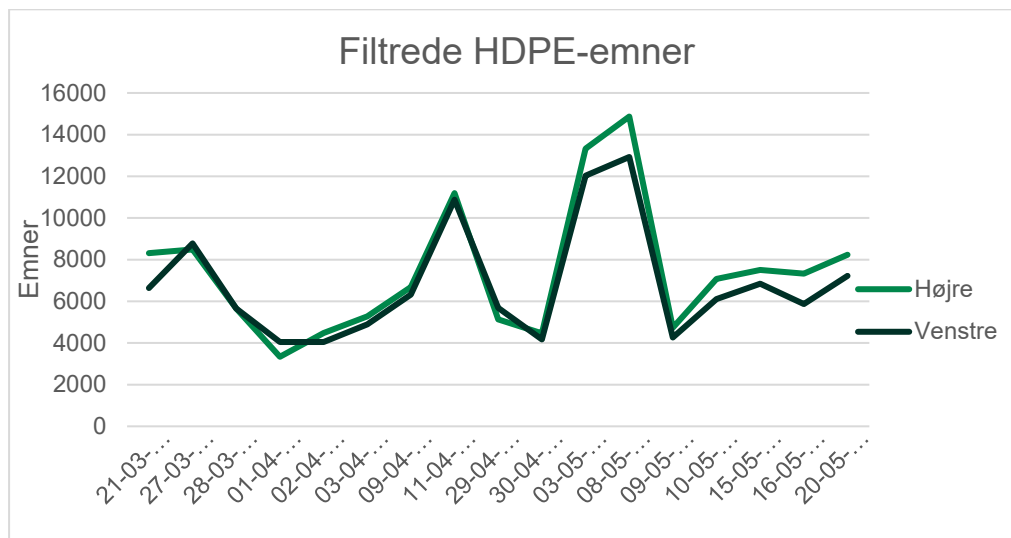
På Figur 39, ses antallet af HDPE-emner pr. dag fordelt på hhv. venstre og højre del af båndet.



FIGUR 39 Viser antallet af registrerede HDPE-emner pr. dag fordelt på hhv. højre og venstre side af transportbåndet.

Det kan læses ud fra figuren, at venstre side af båndet får tilført mere end højre side af båndet, hvilket er næsten gennemgående for alle dage. I gennemsnit svarer dette til en 54 % materialefordeling til venstre, og 46 % til højre. Den ulige fordeling af materiale, skyldes indfødnings af materiale på rysterenden. En ikke perfekt fordeling ved rysterende er dog ikke bemærkelsesværdig i sig selv.

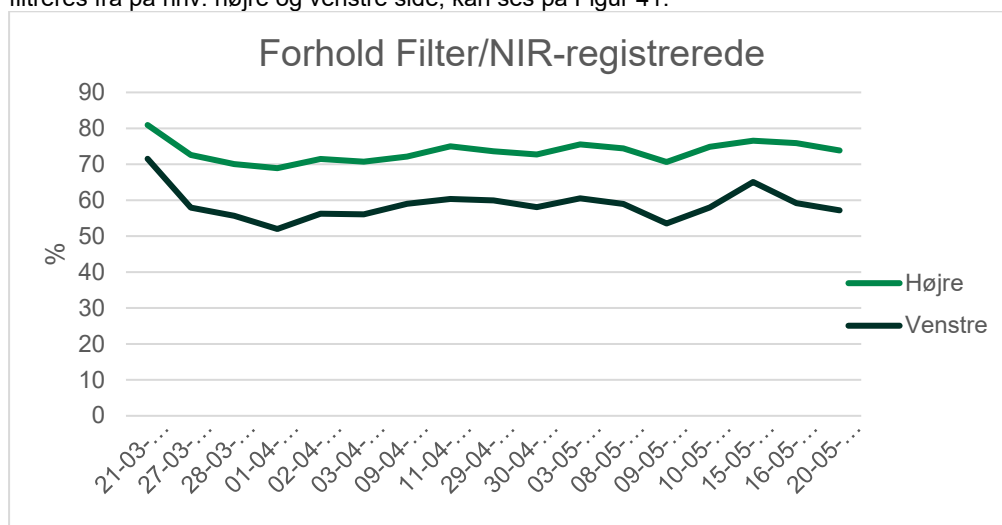
Af HDPE-emner vil alt småt under 7,5 cm blive filtreret fra, hvis antal er vist på Figur 40.



FIGUR 40 Antallet af filtrerede HDPE-emner på hhv. højre og venstre side af transportbåndet.

Her ses det, at antallet af filtrerede emner er næsten ens på højre og venstre side af båndet. Af det totale antal filtreringer, filtrere højre side 52 % og venstre side 48 %. Sammenholdes dette med, at højre side får tilført mindre materiale, og ligeledes filtrerer flere emner fra end venstre side, indikeres en skæv materialefordeling. I praksis betyder dette, at højre side får tilført flere små emner end venstre side.

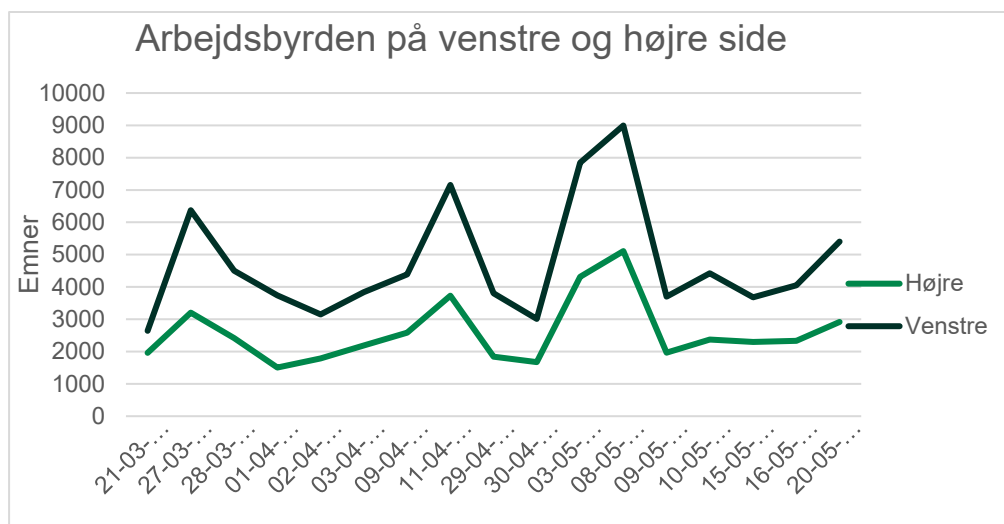
Forholdet mellem antallet af HDPE-emner der kommer ind på båndet, og den mængde der filtreres fra på hhv. højre og venstre side, kan ses på Figur 41.



FIGUR 41 Viser forholdet mellem antallet af HDPE-emner, og den mængde der bliver filtreret fra.

Det kan ses, at højre side filtrere en væsentlig del mere fra end venstre side gør. I gennemsnit bliver 74 % af HDPE-emnerne på højre side af båndet filtreret fra, mens det på venstre side er 59 % af HDPE-emnerne.

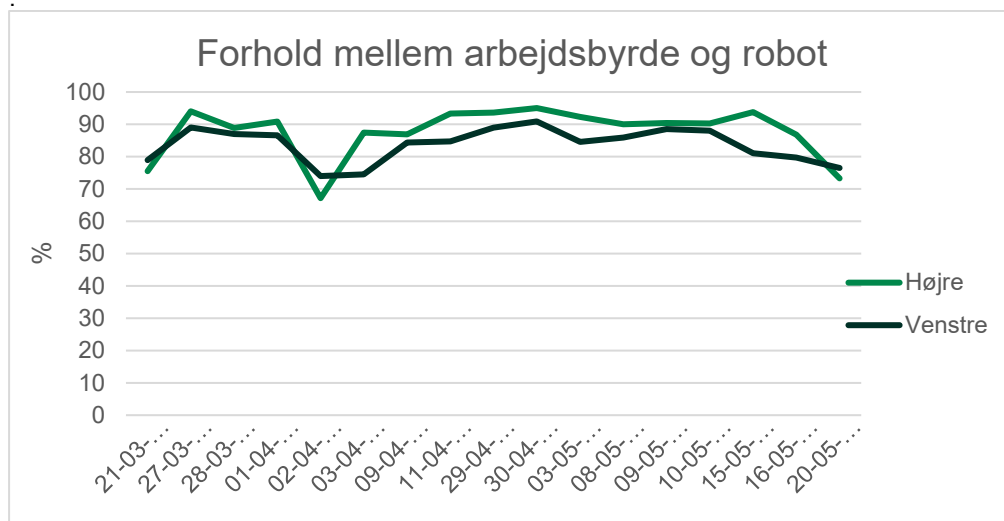
Ovenstående viser altså, at materialefordelingen er skæv, hvilket påvirker arbejdsbyrden hver robot bliver tildelt afhængig af, hvilket areal på båndet den sortere, hvilket kan ses på Figur 42.



FIGUR 42 Antallet af HDPE-emner som robotterne bliver bedt om at sortere på venstre og højre side.

Den skæve materialefordeling viser sig nu, i antallet af HDPE-emner som robotterne på højre og venstre side af båndet skal sortere, hvilket også er udtryk for arbejdsfordelingen på hver robot. Højre side har en betydelig lavere arbejdsbyrde end venstre side har. Højre side får 35 % af den HDPE som skal sorteres, mens venstre side får 65 %. Med denne konstatering, er det vigtigt at der tages højde for denne, så robotterne udnyttes bedst muligt.

Ser vi på forholdet mellem arbejdsbyrden tildelt hver side, og mængde som robotterne i hver side formår at gå efter, får vi et udtryk for effektiviteten af mængden af HDPE der kommer ind til sortering, i forhold til mængden der bliver kørt efter, set på Figur 43.



FIGUR 43 Viser forholdet mellem arbejdsbyrden og hvor meget af den, robotterne i hver side går efter at sortere.

Med den skæve materialefordeling til venstre side, formår robotterne på højre side at gå efter 88 % af emnerne, mens venstre side når at gå efter 84 % i gennemsnit. Forskellen i effektivitet skal findes i arbejdsbyrden som vist i Figur 42, hvilket indikere, at robotterne på venstre side ikke kan følge med mængden af HDPE der skal sorteres. Undersøgelsen har vist, at robotanlæggets oprindelige indstillinger med hver robot kun tildelt sortering, på enten højre eller venstre, ikke har været optimalt, hvilket nu er afhjulpet med hjælpefunktionen.

8. Økonomi

I følgende afsnit er økonomien afgrænset til kun at indeholde driftsomkostninger, da det på nuværende tidspunkt stadig er for tidligt at præsentere den totale økonomi i projektet.

8.1 Drift udgifter

Drift udgifter præsenteret i dette afsnit, giver et bud på de løbende omkostninger ved robot sorteringsanlægget. Uregningerne vil bygge på både aflæselige tal fra komponenter, maskiner og målere, men også antagelser, hvor data ikke var tilgængelig.

Antal drift timer pr. dag er antaget til 6 timer, og bygger på anlæggets nuværende kørselsmønstre. Dette tal ses dog forøget med fremtidige forbedringer, og optimeret kørselsmønster.

Med en antagelse af 7 drift timer pr. dag, og 201 arbejdsdage pr. år, antages anlægget at køre 1411 timer/år.

Energiomkostninger til drift er beregnet for hver komponent, og set i Tabel 7, med en elpris på 0,8 kr/kWh.

TABEL 7 Viser fordelingen af drift energi omkostning på de forskellige komponenter på robot-sorteringsanlægget.

Drift energi omkostning	KW	Kr./time pr. stk.
Driftomkostninger, strøm pr. robot	0,5	0,40
Driftsomkostninger, strøm NIR sensor	2	1,60
Driftsomkostninger, bånd	10	8,00
Driftsomkostninger, vibrationsrende	1,4	1,12
Vakuum enhed	1,6	1,60

Indregnet med 6 stk. robotter og tilhørende vakuum enheder bliver driftsenergiomkostninger 22,72 kr./time, svarende til 32.058 kr./år

Til vedligehold af anlægget er der antaget en årlig omkostning på 250.000 kr.

Operatør, til pasning af anlægget er antaget som følgende i Tabel 8.

TABEL 8 Omkostning for operatør til robotsorteringsanlægget.

Operatør til pasning af anlægget	Kr / time	Timer / år	Kr / år
	250	2.000	500.000

De totale driftomkostninger kan ses i Tabel 9.

TABEL 9 Viser de totale driftomkostninger ved robotsorteringsanlægget.

Driftomkost. Energi	32.058	Kr / år
Driftomkost. Vedligehold	250.000	Kr / år
Driftomkost. Operatør	500.000	Kr / år
Totale Driftomkostninger	782.058	Kr / år

Omkostning til energi er 32.058 kr./år og sammenholdt med de omkostninger, udgør denne kun en mindre del af den totale.

Omkostning til vedligehold er 250.000 kr./år og udgør en væsentlig del af den totale. Der er dog stor mulighed for at sænke denne omkostning, ved forbedringer af holdbarheden af sugehoveder til robotterne.

Omkostning til operatør udgør med 500.000 kr./år den største del af de totale omkostninger. I en fremtid hvor robotsorteringsanlægget får optimeret recirkuleringsfunktionen, og dermed et robotsorteringsanlæg der kan være i drift næsten alle døgnets 24 timer, at operatørens procentdel af de totale driftsomkostninger vil falde.

9. Konklusion

Målet med dette projekt har været, at videreudvikle og optimere på det eksisterende robotsorteringsanlæg, der blev etableret i den forrige fase 1 MUDP-projekt, "Forbedret teknologi for automatisk sortering af dagrenovation og storskrald".

Projektet har taget udgangspunkt i det etablerede robotsorteringsanlæg hos Nomi4s, som blev opført i 2016, og bygget til sortering af plast fra bl.a. husholdninger. Siden da, har anlægget været i drift, hvor der er blevet sorteret på HDPE, PET og PP. Videreudviklingen har derfor bygget på den knowhow der er erfaret med anlægget i drift, samt ny viden og teknologi de tilknyttede parter har tilført.

Det kan konkluderes at de overordnede mål for projektet er gennemført, hvorom nogle af målene har ændret karakter undervejs i forløbet.

I arbejdet med form og karakter af plast på sorterbåndet, har de afprøvede tiltag i projektets fase 1 været revurderet, og det er konkluderet at arbejdskraft og midler er bedre investeret i andre arbejdsområder inden for projektet.

Til adskillelse af 2D (folie) fra 3D (hård plast), har der været opstillet en lånt ballistisk sigte, som viste positive resultater i adskillelsen af 2D og 3D fraktioner. Grundet låneperioden, kunne sigtens langsigtede samspil med robotsorteringsanlægget ikke konkluderes på.

Til forbedring af gribeteknik, er der udviklet nye sugehoveder, som har øget gribesikkerheden, samt forbedret driften og vedligeholdelsen. I robotternes software, har der været en stor forbedring af deres styring, hvilket har betydet, at robotterne sortere emner oftere, og at præcisionen ved sorteringen er øget.

Til forbedret sensorteknologi, har 3D været undersøgt, men har haft konklusionen at teknologien ikke var egnet til anlægget. Den nuværende sensorteknologi er dog blevet optimeret, så kendte plastpolymere genkendes bedre, og nye, ligeledes kan genkendes.

Igennem projektet har anlæggets performance været observeret og målt, hvor særligt udsorteringen af HDPE har været i fokus. Her har der været en forbedring fra starten af projektet, hvor robotterne 1-3, havde en gennemsnitlig gribesikkerhed på 71 %, og som ved udgangen af projektet er øget til 85 %.

Med anlægget i drift varetager den udsorteringen af plastfraktionerne HDPE, PP og PET, hvor renheden muliggør afsætning til markedet af alle tre. En udsortering af HDPE kan ses på Figur 44.



FIGUR 44 viser robot udsorteret HDPE fra blandet affald.

Bilag 1. Point-to-point

PTP (Point to Point) kan defineres som bevægelsen fra et punkt til et andet punkt. I PTP-bevægelse er ende positionen udpeget, men stien der bruges til at nå ende positionen, er irrelevant. Dette er den hurtigste måde at udføre en robotbevægelse, da robotten kun får angivet 2 punkter, og selv finder den hurtigste vej. Konsekvensen er, at bevægelsen er ikke-lineær, og at der ingen kontrol er med bevægelsen mellem punkter. I praksis betyder dette, at robotens motorer kører maksimal kapacitet, og dermed opnår maksimal hastighed. Ligeledes kan robotens bevægelse ikke pauses i bevægelsen mellem punkter, da hele bevægelsen er prædefineret inden den udføres.

Nomi4s – forbedret teknologi for automatisk sortering af plastaffald

Projektet bygger videre på Miljøprojekt nr. 1971, Forbedret teknologi for automatisk sortering af dagrenovation og storskrald.

Målet var, at en samlet fase I og II udvikling ville medføre, et samlet robotsorteringsanlæg, som er så pålideligt og effektivt, at en kommercialisering af det samlede anlæg er en mulighed. Herunder, at robotanlægget kan sælges som et robotkoncept til såvel danske som udenlandske affaldsvirksomheder.

Formålet med projektets fase II ligger i udfordringerne i at koordinere og forbedre funktionen og effektiviteten af udstyr i anlægget ift. bl.a. form og karakter af plast på sorteringsbåndet, styring af robotter, sensorteknologi, gribeteknik og gribeanordning.



Miljøstyrelsen
Tolderundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk