Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Flexisort: Udvikling af regionalt cirkulært genanvendelses-koncept til indsamlet hård plast, plastfolie og metal i Nordjylland

MUDP-rapport

April 2019

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:
Anne Riis (I/S Reno-Nord)
Bjørn Malmgren-Hansen (Teknologisk Institut)
Kathe Tønning (Teknologisk Institut)
Thomas M. Giselsson (Teknologisk Institut)
Nicolai Anton Lynnerup (Teknologisk Institut)
Carsten Panch Isaksen (Teknologisk Institut)
Bo R. Jacobsen (Aage Vestergaard Larsen A/S)
Lisbeth Sanderhoff (AVV I/S)
Steffen Bastrup Pedersen (24a Automation ApS)
Kent Kejser (24a Automation ApS)
Carsten Nas'cou Jäger (Wiba Tech ApS)

ISBN: 978-87-7038-056-0

Miljøstyrelsen offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. 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.	**Forord**	**6**
2.	**Sammenfatning og konklusion**	**7**
3.	**Introduktion**	**13**
3.1	Formål	13
3.2	Sorteringsanlæg	13
4.	**Affaldskarakterisering af plast og metal indsamlet i henteordning samt fra genbrugspladser**	**15**
4.1	Karakterisering af plast og metal indsamlet i henteordning	15
4.1.1	Metodebeskrivelse	15
4.1.2	Resultater af de gennemførte affaldskarakteriseringer af plast og metal fra henteordninger	15
4.1.2.1	Plast	16
4.1.2.2	Metal	18
4.2	Karakterisering af plast fra genbrugspladser	19
4.2.1	Metode	19
4.2.2	Resultater af karakteriseringerne af plast fra genbrugspladser	19
5.	**Udviklingsaktiviteter vedrørende sortering og oparbejdning af hustandsindsamlet hård plast, plastfolie og metal i henteordninger**	**21**
5.1	Sorteringsforsøg	21
5.1.1	Materialer	21
5.1.2	Sorteringsmetode	21
5.1.3	Resultater af sorteringsforsøg	22
5.1.4	Tab af genanvendelige materialer i sorteringskabine	24
5.1.5	Tab af materialer i vindsigte	25
5.1.6	Sammensætning af tilførte materialer	29
5.1.7	Resultater vedrørende udbytte for NIR-sorterere	32
5.2	Udviklingsforsøg med ballistisk separator	32
5.2.1	Baggrund for forsøg	32
5.2.2	Forsøg 1	33
5.2.3	Forsøg 2	33
5.2.4	Konklusion på forsøg med ballistisk separator	33
5.3	Udvikling af forsorteringsteknologier	34
5.4	Metode til reduktion af urenheder i aluminium	34
5.4.1	Baggrund for forsøg	34
5.4.2	Forsøg	35
5.4.3	Konklusion	36
5.5	Udvikling af metoder til frasortering af lukkede poser med brug af robotteknologi	37
5.5.1	Visionbaseret frasortering	37
5.5.1.1	Baggrund	37
5.5.1.2	Forsøgsmateriale	38
5.5.1.3	Forsøgsopstilling	39

5.5.1.4	Databehandling	40
5.5.1.5	RGB-kamera og Deep Learning	41
5.5.1.6	Resultater	43
5.5.1.7	Konklusioner	46
5.5.2	Udkast til anlægsdesign	47
5.5.2.1	Konstruktion af gribeværktøj	47
5.5.2.2	Konstruktion af robotanlæg	47
5.5.2.3	Kapacitetsberegning	48
5.5.3	Udviklingsforsøg med anvendelse af røntgen til detektion af indhold i poser	49
5.5.3.1	Konklusion	49
5.6	Oparbejdning af udsorteret løs plastfolie	50
5.6.1	Udsortering af folier	50
5.6.2	Neddeling, vask og tørring	51
5.6.3	Fremstilling af piller og folie ved Erema	52
5.6.4	Lugtreduktion	54
5.6.5	Fremstilling af affaldssække	56
5.6.6	Konklusion	56
6.	**Udviklingsaktiviteter vedrørende sortering og oparbejdning af hård plast fra genbrugspladser**	**57**
6.1	Udsortering af fokusmaterialer fra genbrugspladser	57
6.1.1	Baggrund	57
6.1.2	Forsøgsmateriale	59
6.1.3	Forsøgsopstilling	60
6.1.4	Konklusion	60
6.2	Udkast til anlægsdesign	61
6.2.1	Anlægskonstruktion	61
6.2.2	Funktionsbeskrivelse af anlæg	62
6.2.3	Gribeforsøg	62
6.2.4	Kapacitetsberegning	62
6.3	Neddeling og polymersortering ved I/S Reno-Nord samt oparbejdning af plast ved AVL	63
6.3.1	Baggrund for forsøg	63
6.3.2	Forsøg	64
6.3.3	Konklusion	67
7.	**Evaluering**	**68**
7.1	Afsætningsværdi for plast og metal	68
7.1.1	Husstandsindsamlet plast og metal (henteordning)	68
7.1.1.1	Plastmaterialer	68
7.1.1.2	Jern og metal	68
7.1.2	Plast og metal indsamlet via genbrugspladser	68
7.2	NIR-modellering	69
7.2.1	Opstillede modeller	70
7.2.2	Resultater	72
7.3	Businesscases	73
7.3.1	Separation af poser fra husstandsindsamlet plast i henteordning	73
7.3.1.1	Prisestimering	73
7.3.1.2	Tilbagebetalingstid	73
7.3.2	Separation af kasser	73
7.3.2.1	Prisestimering	73
7.3.2.2	Beregning af tilbagebetalingstid	73
7.3.3	Oparbejdning af folier	75

Bilag 1.Affaldskarakterise-ring af plast og metal indsamlet i henteordning samt plast fra genbrugspladser **78**
Bilag 1.1 Baggrund for gennemførelse af affaldskarakterisering 78
Bilag 1.2 Karakterisering af husstandsindsamlet blandet plast og metal 78
Bilag 1.3 Opsummering af sorteringskriterier for de tre kommuner 83

Bilag 2.Genbrugspladser **105**
Bilag 2.1 Karakterisering af plast fra genbrugspladser 105

Bilag 3.Ballistisk separator **119**
Bilag 3.1 Forsøg nr. 1 med ballistisk separator 119
Bilag 3.2 Forsøg nr. 2 med ballistisk separator 121
Bilag 3.3 Vurdering af resultater fra de to forsøg med ballistisk separator 123

Bilag 4.Bilag om røntgen **125**
Bilag 5.Robotteknologi – kasser **133**
Bilag 5.1 Udstyr 133
Bilag 5.2 Software Interface til ToF-kameraer 133
Bilag 5.3 Dataopsamling 133
Bilag 5.4 Kvalitetsvurdering af opsamlet datasæt 134
Bilag 5.5 Databehandling 135
Bilag 5.6 Resultater 137

Bilag 6.Gribeteknikker **141**
Bilag 6.1 Forord 141
Bilag 6.2 Plastdel 1 142
Bilag 6.3 Plastdel 2 142
Bilag 6.4 Plastdel 3 143
Bilag 6.5 Plastdel 4 143
Bilag 6.6 Plastdel 5 144
Bilag 6.7 Plastdel 6 145
Bilag 6.8 Plastdel 7 146

Bilag 7.Bilag – Genbrugspladser **147**
Bilag 7.1 Testperiode 1 (forsøg 1) 147
Bilag 7.2 Testperiode 2 (forsøg 2 og 3) 155

1. Forord

Projektet Flexisort: Udvikling af regionalt cirkulært genanvendelseskoncept til indsamlet hård plast, plastfolie og metal i Nordjylland er gennemført i perioden fra 1. januar 2016 til 30. september 2018.

Det overordnede formål med projektet har været at udvikle teknologi og sorteringsmetoder i forbindelse med etablering og tilpasning af et regionalt sorteringsanlæg til kildeopdelt, husstandsindsamlet hård plast, plastfolie og metaller samt plast indsamlet fra genbrugspladser.

Rapporten beskriver udviklingsaktiviteterne.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem I/S Reno-Nord, Aage Vestergaard Larsen A/S, AVV I/S, Wiba Tech ApS, 24a Automation ApS, Teknologisk Institut og Miljøstyrelsen.

Projektets styregruppe har bestået af:

- Anne Riis, I/S Reno-Nord
- Bjørn Malmgren-Hansen, Teknologisk Institut
- Franz Cuculiza, Aage Vestergaard Larsen A/S
- Torben Nørgaard, AVV I/S
- Carsten Jäger, Wiba Tech ApS
- Steffen Bastrup Pedersen, 24a Automation ApS
- Marianne Bigum og Jesper Skovby Jørgensen, Miljøstyrelsen.

2. Sammenfatning og konklusion

Det blev i sommeren 2015 vedtaget at etablere et sorteringsanlæg i Aalborg til sortering af blandet plast og metal fra husstandsindsamlinger (henteordninger). Anlægget blev indviet i november 2016.

Kommunerne Mariagerfjord, Aalborg og Jammerbugt, der er medejere af I/S Reno-Nord (herefter benævnt Reno-Nord), gik sammen og blev enige om en ordning for indsamling af plast- og metalaffald fra husstandene i de tre kommuner. Målet for kommunerne var at øge genanvendelsen af plast og metal.

Sorteringsanlægget modtager både hård og blød plast (folier) samt alle former for metaller.

Reno-Nord oplyser, at 45 % af plasten sorteres ud i typerne HDPE, PP, PET og LDPE på anlægget. Fælles for plasttyperne er, at de umiddelbart kan afsættes til virksomheder, som oparbejder plasten, så den kan anvendes i fremstillingen af nye produkter. Yderligere ca. 35 % udgøres af blandede plastfolier, som p.t. er vanskelige at afsætte på markedet.

I sorteringsanlæggets opførelsesperiode blev der gennemført en omfattende karakterisering af indsamlede materialer fra de tre kommuner. Dette blev gjort med henblik på og som grundlag for planlægning af de udviklingsaktiviteter, der skulle foregå, når anlægget var opført.

I projektet er der udviklet teknologi og sorteringsmetoder i forbindelse med etablering og tilpasning af et regionalt sorteringsanlæg til kildeopdelt, husstandsindsamlet hård plast, plastfolie og metaller samt plast indsamlet fra genbrugspladser.

Karakterisering af hustandsindsamlet hård plast, plastfolie og metal i henteordninger
Der blev foretaget en karakterisering af indsamlet plast og metal fra Aalborg, Hjørring og Mariagerfjord kommuner. I Aalborg Kommune blev der på dette tidspunkt kun indsamlet plast, mens metal blev indsamlet sammen med plast i de to andre kommuner

De indsamlede mængder plast blev på baggrund af karakteriseringerne beregnet til 13,5 kg pr. husstand pr. år for Aalborg Kommunes vedkommende, 11 kg pr. husstand pr. år for Hjørring Kommune og 7,8 kg pr. husstand pr. år for Mariagerfjord Kommune.

Resultaterne af denne affaldskarakterisering viste, at PET i de tre kommuner udgjorde fra 15,5 % til 21,2 % af den totale indsamlede mængde. HDPE udgjorde fra 9,6 % til 13,8 %, og PP udgjorde fra 7,8 % til 12,1 %. PS udgjorde kun fra 1,5 % til 3,5 %. Plastfolie udgjorde fra 5 % til 28 % (Aalborg Kommune).

Affaldsmængden varierede mellem 11 % og 24 %.

Der blev ved karakteriseringerne identificeret en række emner, som kunne forventes at kræve manuel frasortering i anlæggets sorteringskabine eller give problemer ved drift af anlæg. Emnerne omfatter store, flade emner (folier, tæpper, tekstiler, presenninger), lange emner (PVC og PEX-slanger, elledninger, emballeringsstrips), emner med fyld (malerbøtter, emballage med større mængder fødevarerester), WEEE, store metalemner (strygebrætter, tøjstativer etc.).

Karakterisering af hård plast fra genbrugspladser
Der blev foretaget en karakterisering af plast fra én genbrugsplads i Hjørring Kommune samt fra to genbrugspladser i Aalborg Kommune. Ved Aage Vestergaard Larsen A/S (herefter benævnt AVL) blev mængderne af ekstruderet HDPE, ekstruderet PP samt HDPE og PP i sprøjtestøbekvalitet bestemt til samlet at udgøre 18-23 %. Medtages øvrig genanvendelig plast, vurderes det, at potentielt 70-80 % af plasten i læssene fra genbrugspladserne er genanvendelig.

I forbindelse med karakteriseringerne blev det vurderet, at en række emner skal frasorteres manuelt inden behandlingen på sorteringsanlægget, herunder: store folier, tekstiler, bigbags etc., WEEE inkl. ledninger samt produkter som fugemassesprøjter og PEX-slanger.

Det blev endvidere vurderet, at det vil være problematisk at behandle en blandet fraktion af PVC og andre plasttyper på sorteringsanlægget ved Reno-Nord.

Sorteringsforsøg på Reno-Nords sorteringsanlæg med husstandsindsamlet plast og metal i henteordninger
Til brug for udviklingsarbejdet er der efter etablering af sorteringsanlægget ved Reno-Nord udført fire sorteringsforsøg med sortering af blandet plast og metal fra 1) primært enfamilieboliger i Hjørring Kommune (Vrå); 2) enfamilieboliger i Aalborg Kommune (Nibe); 3) primært etageboliger i Aalborg Kommune (Aalborg midtby) og 4) primært enfamilieboliger i Mariagerfjord Kommune. Ud fra sorteringsresultaterne er performance af anlæggets sorteringstrin bestemt. På baggrund heraf er vurderet hvilke sorteringstrin det skulle fokuseres på i udviklingsaktiviteter.

Sorteringsanlægget er opbygget med følgende sorteringstrin:
Poseåbner, sorteringskabine, 250 mm skivesigte, foliesug (vindsigte), overbåndsmagnet, eddy current-separator, 20 mm finsigte, to NIR-sorterere med splittere svarende til fire separate NIR-sorterere.

I forsøgene blev materialer fra alle fraførte materialestrømme fra anlæggets sorteringstrin sorteret i 17 materialetyper samt affald.

Ud fra karakteriseringerne blev renhed af produktfraktionerne bestemt til følgende:
- Renheden af jern var 92-98 % Dette vurderes som tilfredsstillende.
- Renheden af aluminium var mellem 82 og 96 %. Renheder omkring 90 % vurderes at være i underkanten i forhold til den renhed, som kræves for at opnå en god afsætningspris. En del af urenhederne skyldes medrevet folie og plast, hvorfor det i projektet er valgt at undersøge, om urenhederne kan skyldes fastklemt folie/plast.
- Renheden af hård PE (HDPE) var 91-95 %. Der er observeret op til 3 % folie, hvilket vurderes at være i overkanten til at opnå en god afsætningspris. Det er derfor i projektet valgt at undersøge metoder til at reducere folieindholdet i HDPE-fraktionen.
- Renheden af hård PP var 86-98 %. Der er observeret op til 4 % folie i PP-fraktionen, hvilket vurderes at være i overkanten til at opnå en god afsætningspris. Det er derfor i projektet valgt at undersøge metoder til at reducere folieindholdet.
- Renheden af hård PET var mellem 93 og 99 % bortset fra én karakterisering, hvor renheden blev registret til 79 %

Samlet blev ud fra karakteriseringerne identificeret en række udviklingsaktiviteter, der blev arbejdet videre med:
- Metoder til frasortering af poser i sorteringskabine
  Det er ved daglig drift nødvendigt at frasortere lukkede poser i sorteringskabinen, da en del af poserne indeholder dagrenovation. Karakteriseringen viste, at poserne udgjorde en væ-

sentlig mængde på op til 7-8 % af de tilførte materialer til anlægget. Frasorteringer i sorteringskabinen medfører et stort tidsforbrug, og det blev derfor valgt at arbejde med udvikling af en metode til maskinel frasortering af poserne.

- Metoder til at opnå en bedre separation af folier fra hård plast
  Ved karakteriseringen blev det registreret, at den fraseparerede foliefraktions renhed varierede voldsomt, idet fraktionen indeholdt mellem 5 % og 70 % folie i de fire gennemførte forsøg. Dette medfører at der mistes en del materialer – primært PET, PP og PS samt lidt aluminium sammen med foliefraktionen. Det blev derfor valgt at arbejde med metoder til at opnå et mindre tab af hård plast med foliefraktionen.

  Sammensætningen af tilførte materialer blev beregnet ud fra karakteriseringerne, og her viste det sig, at affaldsmængderne fra etageboliger i Aalborg Kommune var langt højere (22 %) end affaldsmængderne fra Hjørring Kommune, enfamilieboliger i Aalborg Kommune og Mariagerfjord Kommune (4-11 %).

  Mængden af plastfolie var størst fra enfamilieboliger i Aalborg Kommune. Mængden udgjorde her 22 % af den indsamlede fraktion. Det skal dog her bemærkes, at sorteringskriterierne for Aalborg Kommune på dette tidspunkt alene omfattede plast og ikke metal.

  Ved karakteriseringerne blev konstateret et acceptabelt udbytte[1] for NIR-sortererne. Ca. 80 % (72-92 %) for HDPE, PP og PET baseret på to forsøg.

Resultater af udviklingsaktiviteterne er resumeret i det følgende:

Udviklingsforsøg med ballistisk separator
Der er foretaget to forsøg med en ballistisk separator dels for at simulere en erstatning for vindsigten, dels for at simulere en oprensning af foliefraktionen, som udsorteres af vindsigten.

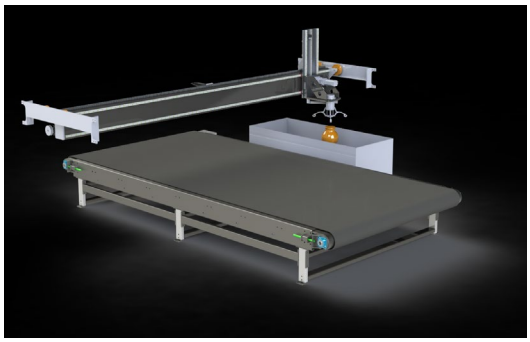
Resultatet viste:
- at der ved erstatning af foliesortereren med en ballistisk separator kunne opnås en 2-5 gange lavere foliekoncentration i de efterfølgende materialefraktioner (NIR sorteret hård plast og metal)
- at det var muligt at udvinde mindst 50 % af hård plast og metal fra en foliefraktion udsorteret med vindsigten ved brug af en ballistisk separator.

Metoder til reduktion af urenheder i aluminium
Der er udført forsøg med indsamling af plast- og metalfraktionen uden sammenpresning og med en vis sammenpresning (materialerne blev skubbet ind i bilen under indsamling - selve komprimatorfunktionen på indsamlingskøretøjet blev ikke benyttet).

Resultatet viste, at indholdet i aluminiumsfraktionen af hård plast og plastfolie fra sammenhængende produkter øgedes fra 0,8 % uden sammenpresning til 5 % ved sammenpresning. Dette reducerede renheden af aluminiumsfraktionen fra 95,4 % til 88,5 %. Den lavere renhed medfører en reduktion i afsætningsprisen for aluminium. Der er ikke fundet nogen simpel løsning til at frasortere den fastklemte plast (bortset fra decideret shredning af materialet). Reduktion i afsætningsprisen for en aluminiumsfraktion med lavere renhed skal vejes op imod øgede udgifter til kørsel uden sammenpresning af materialerne under indsamling og/eller en løsning med shredning.

[1] Udbyttet er opgjort som den mængde polymer, der udvindes i produktfraktionen i forhold til mængden tilført NIR-sortererne.

Udvikling af metode til frasortering af lukkede poser med robotteknologi
Der er arbejdet med to metoder til genkendelse af poser. Metoden med termisk kamera viste sig ikke at være egnet, mens en metode med RGB-kamera og Deep Learning (et avanceret neuralt netværk som trænes) viste sig at kunne opnå en høj succesrate i genkendelsen af poser. Metoden er således lovende, og det vurderes, at metoden vil kunne benyttes til at sortere poser fra det indkomne materiale på anlægget.
Der er herudover designet et anlægskoncept til at gribe og frasortere poser på anlægget. Konceptet er baseret på konstruktion af en eller flere bomme, der ligger på tværs af et transportbånd.



Metode til oparbejdning af udsorteret løs plastfolie
På anlægget udsorteres større folier i sorteringskabinen. Denne fraktion vurderes at være tilstrækkelig homogen til at kunne oprenses og oparbejdes med teknologi fra Wiba Tech ApS.

De udsorterede folier blev neddelt, vasket og tørret hos AVL og efterfølgende oparbejdet til regeneratpiller på et udenlandsk testanlæg (der blev anvendt teknologi, som forhandles af Wiba Tech ApS).

På testanlægget blev fremstillet folier (30-40 µm tykkelse) med tilsætning af henholdsvis 50 % og 100 % af de fremstillede regeneratpiller. Folien med 50 % tilsætning af piller vurderes at kunne anvendes fx til affaldssække eller lignende.

Der er efterfølgende fremstillet sække ved Trioplast Nyborg A/S med brug af de fremstillede piller. Her blev det som ved det udenlandske testanlæg vurderet, at der kan tilsættes op til 50 % af pillerne til andet recirkuleret LDPE-materiale. Det blev dog valgt at reducere indholdet af regranulatpiller fra det husstandsindsamlede plastfolie for at kunne fremstille klare affaldssække (materialet fra Reno-Nord indeholder en del farvet plast (sorte sække, indkøbsposer m.m.).

Ved forsøgene ved det udenlandske testanlæg blev endvidere testet en lugtreduktionsteknologi, som ved analyser viste en klar positiv effekt af teknologien.

Udsortering af materialer fra genbrugspladser med brug af robotteknologi
Der er i projektet arbejdet med en ny metode til at sortere plast fra genbrugspladser. Metoden tager udgangspunkt i, at polymerer findes i en række forskellige kvaliteter, der er egnet til forskellige fremstillingsprocesser. Således kræver sprøjtestøbning af HDPE, at materialet er letflydende[2] for at kunne nå ud i alle hjørner af støbeformen, mens der ved ekstrudering og blæsestøbning af HDPE anvendes mindre letflydende materiale.

I projektet er arbejdet med genkendelsesmetoder til kasser baseret på ToF-kameraer. Metoden kan muligvis udvikles til at være brugbar, men brug af laser-linjeskannere kan også være en mulighed. Herudover er designet et anlægskoncept, og der er arbejdet med udvikling af et gribeværktøj, som er i stand til at opnå en succesrig opsamling af fem ud af syv emner.

Udsortering og oparbejdning af plast fra genbrugspladser ved brug af sorteringsanlægget ved Reno-Nord
I projektet er arbejdet med udsortering af plast fra genbrugspladser i HDPE og PP ved brug af sorteringsanlægget samt forskellige metoder til at neddele plasten inden tilførsel til anlægget. Der er dels arbejdet med udsortering af plastkasser (som antages frasorteret med brug af robotteknologi) dels anden hård plast end kasser.

Der er foretaget oparbejdning af seks udsorterede HDPE- og PP-fraktioner ved AVL. Konklusionerne var:

- Udbyttet for den plast, der ikke var sort, blev bestemt for NIR-sortererne til ca. 63 %, hvilket vurderes at kunne forbedres ved optimering af anlægget, som pt. er designet/justeret til at sortere husstandsindsamlet plast i henteordning og ikke plast indsamlet via genbrugspladser
- Indholdet af sort plast var forholdsvis stort (31-34 %). Der mistes således en tredjedel af materialet ved sorteringen, da den sorte plast ikke kan ses af NIR-sortererne.
- Materialekvaliteten af udvundet HDPE og PP var tilfredsstillende, efter at det var processeret på AVL's testanlæg og efterfølgende laboratorietestet ligeledes hos AVL. På den baggrund er det AVL's opfattelse, at genbrugsmaterialet vil kunne oparbejdes til et højkvalitetsmateriale, såfremt der opnås samme renheder, som blev opnået i forsøgene.
- Det var nødvendigt at frasortere ufarvede flakes af HDPE for at opnå et materiale med tilstrækkeligt højt MFI til, at materialet kan anvendes til en sprøjtestøbning.

Modellering af NIR-sortering
Som et led i udviklingen af metoder til at opnå en højere udnyttelsesgrad af materialerne er foretaget simuleringer af andre opkoblinger af NIR-sortererne end de på Reno-Nord benyttede samt effekt af brug af yderligere to NIR-sorterere. Simuleringerne viser, at det bør være muligt at øge udbytte og renhed yderligere ved brug af ekstra NIR-sorterere og recirkulering af reststrømme fra NIR-sortererne efter udsortering af de ønskede polymerer (PE, PP og PET).

Businesscases
1: Der er opstillet en business case med et økonomioverslag for en metode til fraseparering af poser med indhold fra husstandsindsamlet plast i henteordning. Overslaget viser en nogenlunde acceptabel tilbagebetalingstid på 4,4 år for konceptet (dog kun baseret på investeringen).

2: Der er opstillet en businesscase for fraseparering af kasser og anden hård plast fra genbrugspladser ved brug af robotteknologi. Ved 50 % anlægsbelastning opnås en tilbagebetalingstid på under 2 år (dog kun baseret på investeringen).

[2] Flydeegenskaberne måles ved bestemmelse af smelteindex, MFI.

3: Der er opstillet en businesscase for behandling af udsorteret folie svarende til den fraktion, som udsorteres i sorteringskabinen ved Reno-Nord. Der er således foretaget beregninger af produktionspris for oparbejdning af folier ved brug af Wiba Tech-teknologi til folievask, fremstilling af regranulatpiller samt evt. lugtfjernelse fra disse.

3. Introduktion

Det blev i sommeren 2015 vedtaget at etablere et sorteringsanlæg i Aalborg til sortering af blandet plast og metal fra husstandsindsamlinger (henteordninger). Anlægget blev indviet i november 2016.

Kommunerne Mariagerfjord, Aalborg og Jammerbugt, der er medejere af I/S Reno-Nord (herefter benævnt Reno-Nord), gik sammen og blev enige om en ordning for indsamling af plast- og metalaffald fra husstandene i de tre kommuner. Målet for kommunerne var at øge genanvendelsen af plast og metal.

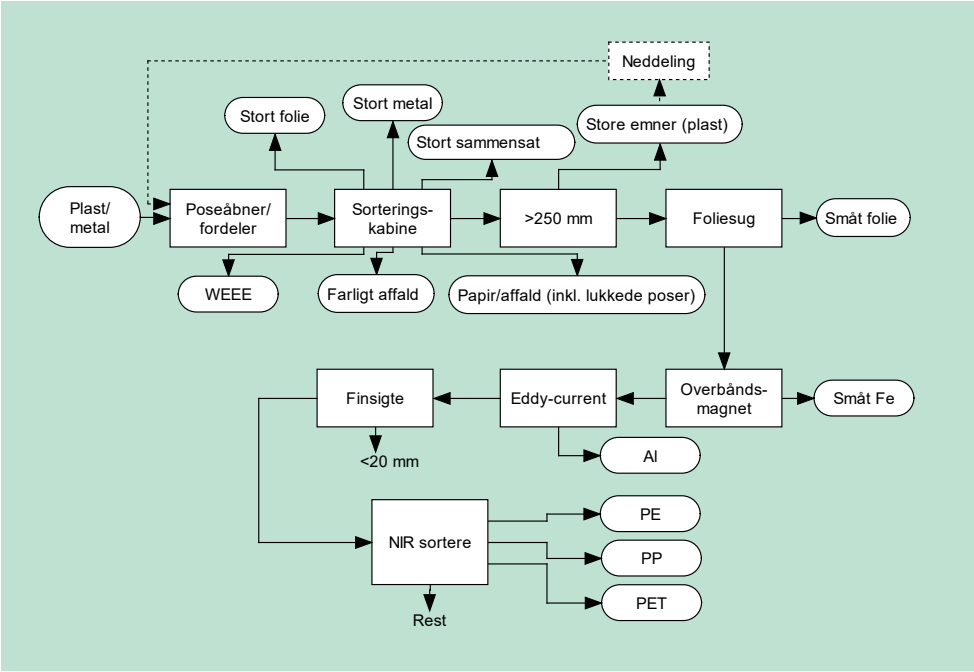
Sorteringsanlægget modtager både hård og blød plast (folier) samt alle former for metaller. Anlægget er opført af det portugisiske firma Efacec og er et af Danmarks mest avancerede sorteringsanlæg.

For at skabe et bedre grundlag for udviklingsaktiviteterne i projektet blev der inden etablering af sorteringsanlægget i Aalborg gennemført en række affaldskarakteriseringer hos AVV I/S i Hjørring af husstandsindsamlet plast og metal fra Nordjylland. Efter etableringen af sorteringsanlægget ved Reno-Nord er der gennemført en række sorteringsforsøg til bestemmelse af sammensætning af alle udgående fraktioner fra anlægget for at fokusere udviklingsaktiviteterne i projektet.

3.1 Formål

Formålet med projektet har været at udvikle teknologi og sorteringsmetoder i forbindelse med etablering og tilpasning af et regionalt sorteringsanlæg til kildeopdelt, husstandsindsamlet hård plast, plastfolie og metaller samt plast indsamlet fra genbrugspladser.

3.2 Sorteringsanlæg



FIGUR 1. Skitse af sorteringsanlæggets opbygning.

Anlægget er opbygget med en indfødningsgrav, hvorfra materialerne føres til en poseåbner/fordeler.

Materialet ankommer først til en sorteringskabine (sorteringskabine 1), hvor materialer, der ikke ønskes tilført anlægget, fjernes manuelt. Det drejer sig om store folier, affald i poser, dagrenovation, papir, elektronik, spraydåser og andet farligt affald samt stort metal. Ikke-ønskede emner kan fx også være emner, der ikke hører til affaldsstrømmen, såsom WEEE, eller materialer, der kan blokere anlægget, som fx store tæpper/presenninger, eller materialer, der kan forringe kvaliteten af de udsorterede materialer.

En sigte fraseparerer emner >250 mm, som fx papstykker og større plastemner. Dette er nødvendigt for funktionen af de efterfølgende sorteringsenheder.

Store emner af fx plast kan efterfølgende ledes til en neddeler og tilføres anlægget igen.

Foliesuget fjerner de folier, der ikke er frasorteret i sorteringskabinen. Foliesuget er en vindsigte, hvor lette materialer (materialer med stor overflade som papir og folier) suges op og frasepareres tungere (mere tredimensionelle) materialer som dåser, plastflasker og beholdere.

En overbåndsmagnet fraseparerer jern, mens en eddy current-separator fraseparerer aluminium og andre ikke-magnetiske metaller som kobber og messing.

Mindre emner og småaffald frasepareres i en sigte med 25 mm hulstørrelse.

De resterende materialer, hovedsageligt bestående af plast, ledes til to NIR-sorterere med splittere. Herved opnås fire enkelte NIR-sortere ved brug af to sorteringsmaskiner. Ved Normal drift er sortererne koblet, så der foretages en dobbelt udsortering af PE og PP. Herved opnås der høje polymerrenheder af de to polymerer. Endvidere opnås en PET-fraktion med lavere renhed.

Efter NIR-sortering kan restfraktionen fra NIR-sortererne finsorteres i en ekstra sorteringskabine (ikke vist på diagram) eller køres en ekstra gang gennem anlægget.

Reno-Nord oplyser, at 45 % af plasten sorteres ud i typerne HDPE, PP, PET og LDPE på anlægget. Fælles for plasttyperne er, at de umiddelbart kan afsættes til virksomheder, som oparbejder plasten, så den kan anvendes i fremstillingen af nye produkter. Yderligere ca. 35 % udgøres af blandede plastfolier, som p.t. er vanskelige at afsætte på markedet.

4. Affaldskarakterisering af plast og metal indsamlet i henteordning samt fra genbrugspladser

I projektet er gennemført en række affaldskarakteriseringer for bedre at kunne planlægge og udføre udviklingsaktiviteterne i projektet.

Affaldskarakteriseringen for husstandsindsamlede materialer i henteordning samt plastmaterialer fra genbrugspladser i Nordjylland blev gennemført i april og maj måned 2016, inden I/S Reno-Nords sorteringsanlæg var taget i brug, og omfattede en husstandsindsamlet plastfraktion indsamlet i Aalborg Kommune og en blandet plast- og metalfraktion indsamlet i henholdsvis Hjørring Kommune og Mariagerfjord Kommune. Disse sorteringer blev gennemført hos AVV I/S (Affaldsselskab Vendsyssel Vest) i Hjørring.

Endvidere blev der foretaget karakterisering af plast fra genbrugspladser.

Senere, efter at sorteringsanlægget var færdigbygget og taget i brug, blev der gennemført yderligere to affaldskarakteriseringer af husstandstandsindsamlet plast og metal i henteordning.

4.1 Karakterisering af plast og metal indsamlet i henteordning

4.1.1 Metodebeskrivelse

De indsamlede mængder blev læsset af på gulvet i sorteringshallen hos AVV I/S. Herefter blev læssene enkeltvis sorteret manuelt. Den manuelle sortering foregik ved et sorteringsbånd, hvor de indkomne materialer blev opdelt i en række fraktioner. Fraktionerne fremgår af henholdsvis TABEL 1 (plastmaterialer og affald) og TABEL 3 (metal).

Samtlige manuelt udsorterede fraktioner blev vejet og fotograferet.

4.1.2 Resultater af de gennemførte affaldskarakteriseringer af plast og metal fra henteordninger

Sorteringskriterierne for fraktionen fra Hjørring Kommune og Mariagerfjord Kommune omhandler plast og metal, mens sorteringskriterierne på tidspunktet for den første affaldskarakterisering i Aalborg Kommune alene omfattede plast. Den detaljerede opgørelse for hele fraktionen fremgår af Bilag 1.

Den tilførte mængde ved karakteriseringen udgjorde for Hjørring Kommunes vedkommende i alt 474,2 kg svarende til 0,44 kg pr. husstand pr. uge. Denne mængde fordelte sig med 47,1 % plast, 33,6 % metal (inkl. WEEE) og 19,3 % affald[3]

[3] I opgørelsen af affaldsandelen (19,3 %) indgår emballager med indhold.

For Mariagerfjord Kommunes vedkommende udgjorde den tilførte mængde til sortering i alt 297,4 kg svarende til 0,327 kg pr. husstand pr. uge. Denne mængde fordelte sig med 45,1 % plast, 40,7 % metal (inkl. WEEE) og 14,2 % affald[4].

Ved karakteriseringen udgjorde den tilførte mængde for Aalborg Kommunes vedkommende i alt 851 kg fra 444 enfamilieboliger og 146 etageboliger. Ved aflæsningen skete der en utilsigtet sammenblanding af mængderne fra de to områder. For det samlede område med 590 husstande svarede mængderne til 0,30 kg pr. husstand pr. uge. Denne mængde fordelte sig med 88,6 % plast, 0,3 % WEEE og 11,2 % affald[5].

4.1.2.1 Plast

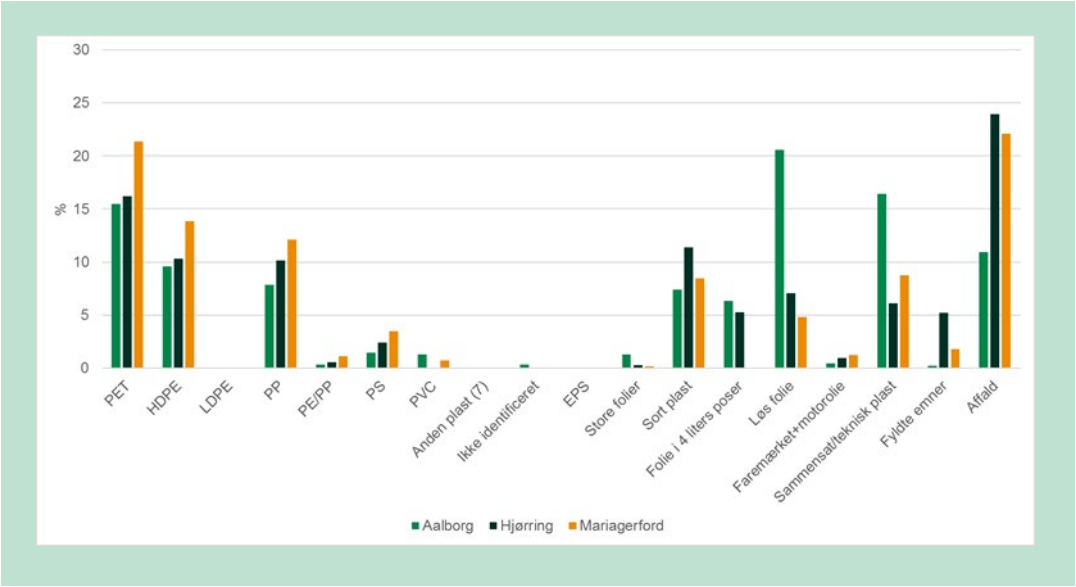
I TABEL 1 og FIGUR 2 er vist sammensætningen af plastfraktionen inkl. affald fra den samlede tilførte mængde plast og metal. Det skal bemærkes, at plastflager, som er mindre end ca. 2 cm x (2-4) cm, indgår som affald, idet plastflager i dimensioner herunder forventedes at blive frasigtet på det på tidspunktet for affaldskarakteriseringen endnu ikke ibrugtagne anlæg ved I/S Reno-Nord. Da metal ikke er inkluderet, udgør plast og affald et større indhold end angivet for totalsammensætningen inklusive metal ovenfor.

TABEL 1. Sammensætning af plast samt indhold af affald for forsøgsområdet i henholdsvis Hjørring, Mariagerfjord og Aalborg kommuner.

Type	% (vægtbaseret)		
	Hjørring Kommune	Mariagerfjord Kommune	Aalborg Kommune
PET	16,23	21,24	15,47
HDPE	10,33	13,83	9,57
LDPE	-	-	0,02
PP	10,14	12,13	7,82
PE/PP	0,54	1,11	0,32
PS	2,41	3,47	1,47
PVC	0,03	0,71	1,29
Anden plast	0,05	-	0,03
Uidentificeret plast	-	-	0,34
EPS (flamingo)	0,02	0,06	-
Store folier	0,25	0,17	1,30
Minimizerfolie	5,29	-	6,33
Løs folie	7,09	4,82	20,56
Sort plast	11,41	8,49	7,42
Faremærket + motorolie	0,96	1,25	0,43
Sammensat/teknisk plast	6,12	8,72	16,43
Emballager med indhold	5,22	1,79	0,25
Affald	23,92	22,10	10,96
I alt	100	100	100

[4] I opgørelsen af affaldsandelen (14,2 %) indgår emballager med indhold.

[5] I opgørelsen af affaldsandelen (11,2 %) indgår emballager med indhold.



FIGUR 2. Sammensætning af plast samt indhold af affald for forsøgsområderne i Hjørring, Mariagerfjord og Aalborg kommuner.

Resultaterne for de tre kommuner er sammenstillet på FIGUR 2.

Som det fremgår af henholdsvis TABEL 1 og FIGUR 2, udgør PET den største andel af plastfraktionen efterfulgt af HDPE, PP og PS.

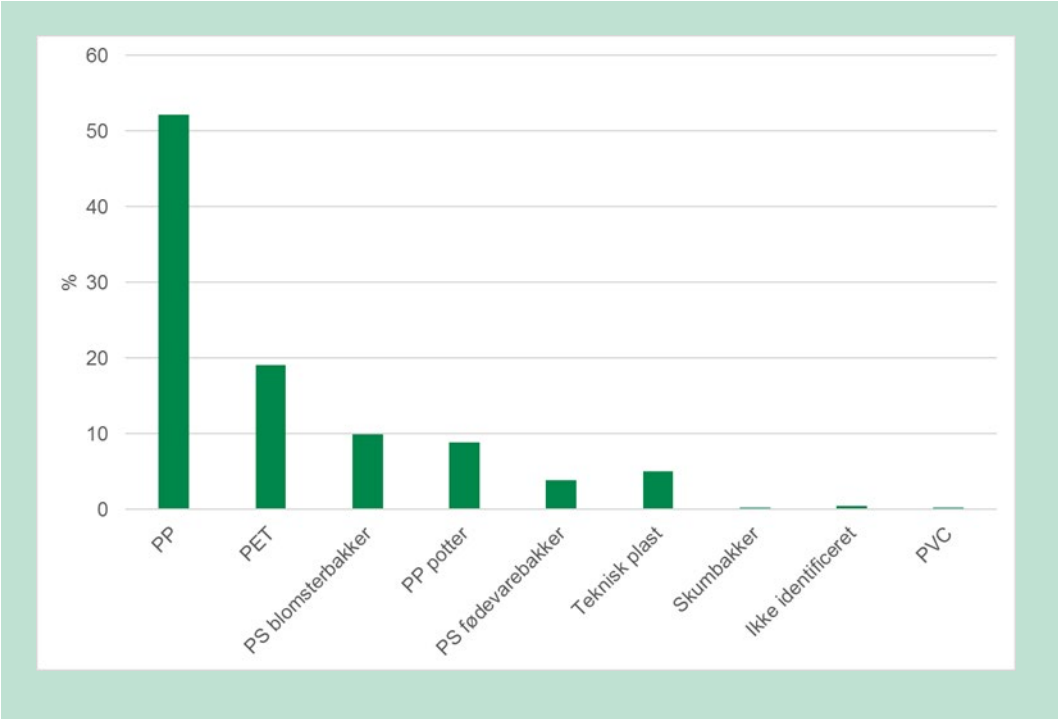
Endvidere fremgår det, at sort plast udgør mellem 7 % og 11 %, og at folieandelen udgør 28 % i Aalborg Kommune, 12 % i Hjørring Kommune og 5 % i Mariagerfjord Kommune. Sorteringskriterierne var på tidspunktet for denne første affaldskarakterisering forskellige i de tre kommuner.

I Aalborg Kommune måtte borgerne på tidspunktet for den første affaldskarakterisering lægge alle rene plastfolier i fraktionen; i Hjørring Kommune måtte folier indgå i plastfraktionen, såfremt plastfolierne var emballeret i 4-liters, klare plastposer; og i Mariagerfjord Kommune indgik plastfolie på dette tidspunkt ikke i sorteringskriterierne.

Det fremgår ligeledes af TABEL 1 og FIGUR 2, at affaldsmængderne (inkl. plastemballager med indhold) i fraktionen udgjorde 11 % i Aalborg Kommune, 29 % i Hjørring Kommune og 24 % i Mariagerfjord Kommune.

For Mariagerfjord Kommune er der endvidere foretaget en opdeling af den sorte plast på polymerer og på produktkategorier.

Mere end 52 % af den sorte plast fra Mariagerfjord Kommune var PP-fødevarebakker. Samlet udgjorde PP ca. 60 % af den sorte plast, idet PP-urtepotter udgjorde ca. 8 %.



FIGUR 3. Fordeling af sort plast på polymerer og på produktkategorier. Mariagerfjord Kommune.

De indsamlede mængder plast (ekskl. affald og plastemballager med indhold) ved den første affaldskarakterisering fremgår af TABEL 2.

TABEL 2. Indsamlede plastmængder opgjort i kg pr. husstand pr. uge og pr. år.

Kommune	Kg pr. husstand pr. uge	Kg pr. husstand pr. år
Aalborg	0,26	13,5
Hjørring	0,21	11,0
Mariagerfjord	0,15	7,8

4.1.2.2 Metal

Sammensætningen af metal fremgår af TABEL 3. I tabellen er medtaget WEEE (elektrisk og elektronisk affald), hvori der ud over metaller i printkort samt ledninger indgår plast i konstruktionen. Plasten kan være flammehæmmet, hvis elektronikken producerer varme.

TABEL 3. Sammensætning af metal for Hjørring og Mariagerfjord kommuner.

	% (vægtbaseret)	
Type	**Hjørring Kommune**	**Mariagerfjord Kommune**
Jern	73,2	53,5
Aluminium	20,4	31,7
Rustfrit stål	1,6	3,2
Andet metal	-	4,2
WEEE	4,1	4,5
Blisterpakning med alufolie til medicin	0,1	-
Bly (inddækning)	0,6	-

	% (vægtbaseret)	
Type	**Hjørring Kommune**	**Mariagerfjord Kommune**
Metalbøtter med maling	-	3,0
I alt	100	100

Som det ses af TABEL 3, bestod fraktionen for Hjørring Kommunes vedkommende hovedsageligt af jern (73 %). 42 % af jernet var store emner, mens 58 % var mindre emner, fx dåser.

For Mariagerfjord Kommunes vedkommende udgjorde jern godt halvdelen af metalfraktionen (54 %), og 49 % af jernet var store emner, mens 51 % var mindre emner, fx dåser.

Aluminium udgjorde 20 % af metalfraktionen fra Hjørring Kommune og 32 % af fraktionen fra Mariagerfjord Kommune.

Observationer om sammensætningen af det husstandsindsamlede affald viste en række emner, der potentielt kunne give problemer for driften af sorteringsanlægget med det valgte anlægsdesign. Vurderingen af, hvilke problemer specifikke emner kunne udgøre i driften af sorteringsanlægget, har haft betydning for planlægningen af udviklingsaktiviteterne i projektet. En række produkter, som blev registreret i det karakteriserede affald, og som blev vurderet at kunne kræve manuel frasortering i sorteringskabinen eller muligvis medføre problemer med driften af anlægget, var:

- **Store, flade emner** som fx store folier, tæpper, tekstiler, presenninger, badeforhæng, badedyr i PVC
- **Lange emner** som fx slanger i PVC, slanger i PEX, elledninger, emballeringsstrips.
- **Emner med fyld** som fx malerbøtter af såvel metal som plast, emballage med større mængder fødevarerester
- **WEEE** som fx forbrugerelektronik (DVD-afspillere o.l. audio/videoudstyr enten af plast eller metal, højttalere og hovedtelefoner, elektriske ure, fjernbetjeninger, hårtørrere), IT og teleudstyr (mobil og fastnettelefoner, lommeregnere), legetøj (plastlegetøj med motorer, print, computere), små husholdningsapparater (elkedler, mixere), værktøj, belysningsudstyr (pærer eller lampedele), spændingsforsyninger (diverse omformere i plastkabinet), elledninger
- **Store metalemner** (fx kasserede strygebrætter, tøjstativer etc.).

4.2 Karakterisering af plast fra genbrugspladser

I maj måned 2016 blev der sorteret plast fra tre genbrugspladser i Nordjylland.

4.2.1 Metode

Sorteringen blev udført ved AVL (Aage Vestergaard Larsen A/S). Indholdet af de enkelte læs blev spredt ud på fast underlag af beton og sorteret i en række fraktioner, som blev opsamlet i containere/beholdere til efterfølgende vejning. Ved sorteringen vurderede personale fra AVL, hvilke fraktioner der var mest egnede til oparbejdning i virksomhedens nuværende anlæg. Andre fraktioner, som også vil kunne genanvendes, blev ligeledes udsorteret. Alle sorterede fraktioner blev vejet og fotograferet.

4.2.2 Resultater af karakteriseringerne af plast fra genbrugspladser

Resultaterne for de tre genbrugspladser viste, at AVL på det nuværende oparbejdningsanlæg umiddelbart kan udnytte materialerne ekstruderet PE, ekstruderet PP-rør, HDPE i sprøjtekvalitet og PP i sprøjtekvalitet,

Disse produkter udgjorde 11,7 % af læsset fra genbrugsplads i Hjørring Kommune (svarende til 18 % eksklusive PVC), 22,8 % af læsset fra en genbrugsplads i Aalborg Kommune og 22 %

af læsset fra en anden genbrugsplads i Aalborg Kommune. Ud over de disse materialer indeholder læsset en række andre genanvendelige materialer. For detaljeret gennemgang af resultaterne af karakteriseringer af plast fra de tre genbrugspladser, se Bilag 2.

Efterfølgende er gennemført forsøg med neddelte materialer fra genbrugspladserne. Resultatet af forsøgene viste, at en væsentligt højere andel kan genanvendes (se afsnit 6.3).

Affaldsmængderne og svært genanvendelige materialer i fraktionerne fra de tre genbrugspladser udgjorde i størrelsesordenen 20-30 %. Således er der potentielt ca. 70-80 % genanvendelige materialer i fraktionerne fra genbrugspladserne.

Emner, som formentlig skal frasorteres manuelt
I forbindelse med karakteriseringerne blev det vurderet, at mængden af store folier, tekstiler, bigbags etc. samt mængden af WEEE inkl. ledninger skal frasorteres manuelt inden behandlingen på sorteringsanlægget.

Det vurderes endvidere, at nogle af emnerne i den del af plasten, der består af sammensatte produkter og teknisk plast, skal frasorteres manuelt, eksempelvis fugemassesprøjter, PEX-slanger etc.

Det blev vurderet, at det vil være problematisk at behandle en blandet fraktion af PVC og andre plasttyper på anlægget. Problemet er, at en del af PVC-materialerne i form af fx tagplader er skrøbelige og knækker, så PVC-materialer ender i så små stumper, at de vil blive mistet i anlægget i en sigtefraktion (<25 mm) hvorved de ikke går til genanvendelse.

5. Udviklingsaktiviteter vedrørende sortering og oparbejdning af hustandsindsamlet hård plast, plastfolie og metal i henteordninger

5.1 Sorteringsforsøg

Efter etablering og idriftsætning af sorteringsanlægget ved Reno-Nord blev der gennemført en række forsøg med sortering af blandet plast og metal fra henholdsvis Hjørring Kommune, Aalborg Kommune og Mariagerfjord Kommune. Formålet med sorteringsforsøgene var at skabe grundlag for det videre arbejde med udviklingsaktiviteterne.

5.1.1 Materialer

Der er gennemført fire sorteringsforsøg. Disse fire sorteringsforsøg er i det følgende benævnt forsøg 1-4.

I de fire sorteringsforsøg er der i sorteringsanlægget behandlet materialer indsamlet henholdsvis hos 1) primært enfamilieboliger i Hjørring Kommune (Vrå); 2) enfamilieboliger i Aalborg Kommune (Nibe); 3) primært etageboliger i Aalborg Kommune (Aalborg midtby) og 4) primært enfamilieboliger i Mariagerfjord Kommune.

De mængder, der er behandlet i sorteringsanlægget ved disse forsøg, udgør henholdsvis 560 kg fra Hjørring Kommune, 1.040 kg fra enfamilieboliger i Aalborg Kommune, 820 kg fra etageboliger i Aalborg Kommune og 180 kg fra Mariagerfjord Kommune.

5.1.2 Sorteringsmetode

Ved gennemførelsen af sorteringsforsøgene er alle udtagne fraktioner fra anlægget vejet, hvorefter delprøver er analyseret for sammensætning af materialer og for plasts vedkommende opdelt i polymertyper. Fraktionerne fra anlægget blev opsamlet fra sorteringstrinnene vist på FIGUR 1.

Materialer/læssene blev indført i sorteringsanlægget. Output blev efterfølgende manuelt sorteret med henblik på at bestemme renheden af de forskellige produktfraktioner og for at bestemme tab i anlægget. Disse data blev efterfølgende anvendt til at afgøre, hvilke sorteringstrin der skulle søges forbedret.

Materialer fra hvert sorteringstrin/hver fraktion (bortset fra fraktion fra finsigte) blev efterfølgende manuelt sorteret i følgende fraktioner: Plastfolie, jern, rustfrit stål, aluminium, kobber/messing o.l., WEEE, HDPE, PET, PP, PS, PVC, PE/PP-miks., anden plast mærket med 07, uidentificeret plast, sammensat og teknisk plast, papir og pap, sort plast og affald.

5.1.3 Resultater af sorteringsforsøg

I TABEL 4 er vist den procentvise fordeling af materialer registreret ved hvert sorteringstrin.

TABEL 4. Fordeling af materialer på sorteringstrin.

Fordeling på sorteringstrin %	Forsøg 1 Hjørring Kommune	Forsøg 2 Aalborg Kommune (enfamilieboliger)	Forsøg 3 Aalborg Kommune (etageboliger)	Forsøg 4 Mariagerfjord Kommune
Sorteringskabine	19,6	27,8	43,4	22,0
Skivefilter >250 mm	2,9	1,0	3,8	2,2
Foliesug	16,0	22,0	2,5	25,8
Overbåndsmagnet (Fe)	15,3	8,3	14,3	12,7
Eddy current (Al)	6,7	5,7	3,8	8,6
Skivefilter <20 mm	4,7	3,7	7,4	4,7
HDPE fra NIR	4,1	5,8	7,5	7,4
PET fra NIR	6,0	8,7	4,7	4,8
PP fra NIR	3,6	4,7	2,4	2,7
Rest fra NIR	21,1	12,4	10,2	9,0
Sum	100,0	100,0	100,0	100,0

Fra sorteringskabinen produceres produktfraktionerne: Stort jern, stor folie og WEEE samt nogle store tekniske/sammensatte plastemner. Herudover frasorteres affald.

TABEL 5. Procentvis fordeling af materialer fra sorteringskabine.

Produktfraktioner	Forsøg 1 Hjørring Kommune	Forsøg 2 Aalborg Kommune (enfamilieboliger)	Forsøg 3 Aalborg Kommune (etageboliger)	Forsøg 4 Mariagerfjord Kommune
Folier	25,1	28,0	11,1	21,8
Stort jern	33,1	32,3	34,0	29,5
WEEE	17,3	3,5	0,0	3,8
Store plastemner (teknisk/sammensat)	10,9	4,5	6,7	16,0
Rest*	13,6	31,7	48,2	28,9
	100	100	100	100

*: Summen af aluminium, hård HDPE, PET, PP, PS, PVC, sort plast, papir/pap og affald >20 mm.

Herudover opstår produktfraktionerne: Småt jern fra overbåndsmagnet, aluminium fra eddy current og de hårde polymertyper HDPE, PP og PET fra NIR-sorterere.

Restfraktionerne fra NIR-sorterere indeholder endvidere genanvendelige materialer. Der kan arbejdes på at udvikle metoder til at udvinde materialer herfra.

Renhed af produktfraktionerne samt indhold af væsentlige urenheder opgjort i % er vist i TABEL 6.

TABEL 6. Renhed af produktfraktioner samt væsentligste urenheder.

Test	Forsøg 1 Hjørring Kommune	Forsøg 2 Aalborg Kommune (enfamilie-boliger)	Forsøg 3 Aalborg Kommune (etageboli-ger)	Forsøg 4 Mariager-fjord Kom-mune
Jern (overbåndsmagnet) renhed	**98,2**	**92,4**	**96,4**	**97,4**
Aluminium (eddy current) renhed	**90,3**	**89,7**	**82,4**	**95,9**
Folie i aluminiumsfraktion	0,1	3,6	0,9	0,0
Jern i aluminiumsfraktion	3,3	1,1	7,3	1,0
WEEE i aluminiumsfraktion	3,6	1,3	0,0	0,0
PET i aluminiumsfraktion	0,2	1,8	0,9	0,7
Affald >20 mm i aluminiumsfraktion	0,0	0,7	7,1	0,9
Hård HDPE (NIR) renhed[6]	**91,1**	**94,6**	**92,3**	**91,8**
Folie i HDPE-fraktionen (vurderet til primært PE)	1,5	2,7	1,3	0,6
Hård PET (NIR) renhed	**95,1**	**92,9**	**79,4**	**98,6**
Folie i PET-fraktionen	0,0	1,8	3,8	0,4
Affald >20 mm i PET-fraktionen	3,9	2,5	9,7	0,0
Hård PP (NIR) renhed[6]	**85,5**	**88,2**	**91,3**	**97,8**
Folie i PP-fraktionen	0,0	4,2	3,5	0,0
Affald >20 mm i PP-fraktionen	7,5	0,8	3,6	0,0

Tabellen viser, at:

- Renheden af jern er 92-98 %
  Dette vurderes som tilfredsstillende.
- Renheden af aluminium er mellem 82 og 96 %
  Renheder omkring 90 % vurderes at være i underkanten i forhold til den renhed, som kræves for at opnå en god afsætningspris. En del af urenhederne skyldes medrevet folie og plast, hvorfor det i projektet er valgt at undersøge, om urenhederne kan skyldes fastklemt folie/plast.
- Renheden af hård PE (HDPE) er estimeret til 91-95 %. Der er observeret op til 3 % folie, hvilket vurderes at være i overkanten til at opnå en god afsætningspris. Det er derfor i projektet valgt at undersøge metoder til at reducere folieindholdet.
- Renheden af hård PP er estimeret til 86-98 %. Der er observeret op til 4 % folie, hvilket vurderes at være i overkanten til at opnå en god afsætningspris. Det er derfor i projektet valgt at undersøge metoder til at reducere folieindholdet.
- Renheden af hård PET er mellem 93 og 99 % på nær forsøg 3 (79 %). En analyse af de 9,7 % affald >20 mm viste imidlertid, at en del af affaldet bestod af tekstil/klude af polyester, som har samme spektrum som PET, hvorfor NIR-sortereren har udsorteret med en væsentligt højere effektivitet, end det umiddelbart fremgår af data. Dette betyder dog ikke, at fraktionen kan genanvendes. Endvidere fandtes der et stort indhold af folie i forsøg 3 på næsten 4 %. Denne folie kan delvist være PET-baseret, hvilket dog ikke er undersøgt i forbindelse med forsøg 3.

[6] Ved beregningen af renheden af hård PE og PP er det antaget, at udsorteret teknisk plast, som ikke er polymerbestemt, består af 90 % af hovedpolymeren i produktfraktionen. Dette er begrundet i en analyse med FTIR af teknisk/sammensat plast for forsøg 3 (Aalborg Kommune, etageboliger), som viste et PP-indhold på 92 %.

Billede 1
Affald fra PET-fraktionen - en del tekstil er identificeret som polyester (samme spektrum som PET).

Som ved HDPE og PP vil en forbedret metode til foliefjernelse også for PET's vedkommende kunne reducere indholdet af folie og formentlig også tekstilrester, fx polyesterklude, som er flade (2-dimensionelle) ligesom folier.

5.1.4 Tab af genanvendelige materialer i sorteringskabine

I tilførte materialer forekommer en del affald, som frasorteres i sorteringskabinen. Det drejer sig fx om malingsbeholdere med malingsrester; fugemassesprøjter, der vil indeholde rester af silikone, som kan ødelægge PE-kvaliteten; samt lukkede poser, idet disse kan indeholde restaffald inkl. bleer mv.

I TABEL 7 er vist resultater af analyser af sammensætningen af det affald, der frasorteres i kabinen, samt sammensætningen af materialer i lukkede poser.

TABEL 7. Sammensætning af emner frasorteret i kabine – opgjort i procent af tilførte materialer til anlæg.

	Forsøg 1 Hjørring Kommune	Forsøg 2 Aalborg Kommune (enfamilieboliger)	Forsøg 3 Aalborg Kommune (etageboliger)	Forsøg 4 Mariagerfjord Kommune
Affald				
Maling med indhold, fugemassesprøjter, spraydåser af jern og folie med aluminiumslag.	0,4	0,6	0,4	0,2
Lukkede poser med indhold		4,2	7,4	
Andet	2,1	0,1	10,2	2,9
Sum	2,4	4,9	18,0	3,1
Indhold i lukkede poser				

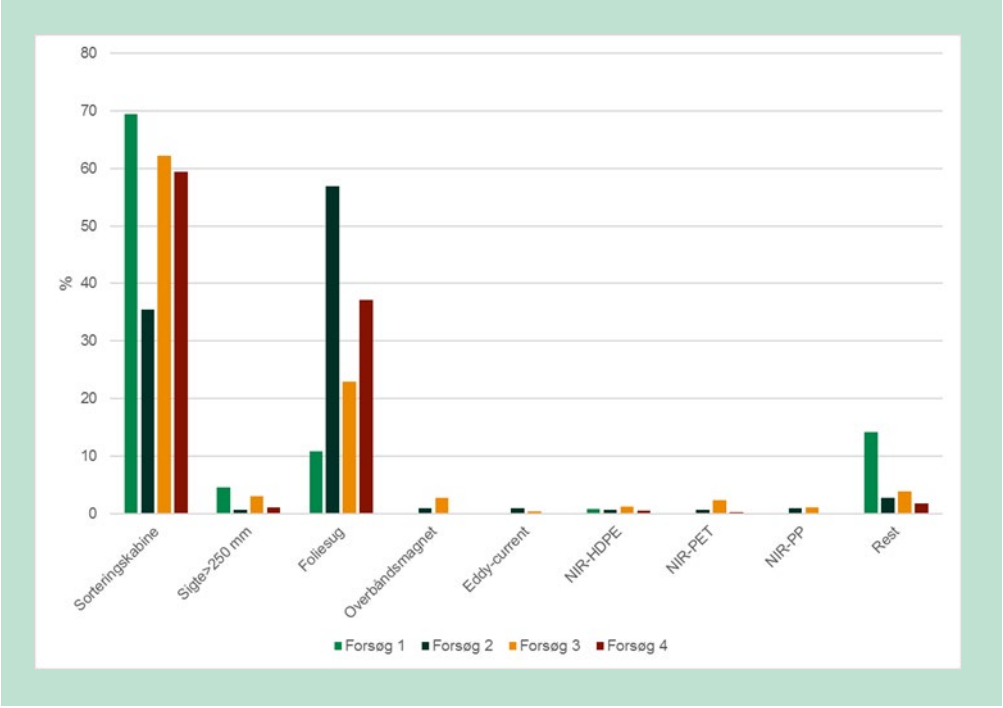
	Forsøg 1 Hjørring Kommune	Forsøg 2 Aalborg Kommune (enfamilie-boliger)	Forsøg 3 Aalborg Kommune (etageboli-ger)	Forsøg 4 Mariager-fjord Kom-mune
Genanvendelig hård plast og metal		2,9	6,2	
Folie			0,7	
Glas			0,2	
Dagrenovation		0,5	0,3	
Ikke sorteret		0,8		
Genanvendelige materialer i lukkede poser		69	84	

Det ses, at affaldsmængderne i kabinen ved forsøg 3 (Aalborg midtby) var over 3,5 gange højere end for forsøg 1, 2 og 4. Indholdet af lukkede poser var 82 % højere fra Aalborg midtby end fra enfamilieboliger i Aalborg Kommune (forsøg 2). De lukkede poser udgør 4,2 % af tilførte materialer til sorteringsanlægget for forsøg 2 og 7,4 % for forsøg 3. En analyse af indholdet i poserne viste et indhold af genanvendelige materialer på mellem 69 og 84 %. Da der er tale om en ikke ubetydelig mængde genanvendelige materialer, som mistes, er det valgt at se på metoder til at udsortere poserne og udnytte materialerne – se afsnit 5.5.

5.1.5 Tab af materialer i vindsigte

Plastfolier udgør en stor andel på op til ca. 30 %, men plastfolierne fylder volumenmæssigt langt mere grundet den lave bulkdensitet. Derfor kan separation af folier være vanskelig, da de kan lægge sig hen over hård plast og metaller eller være klemt fast mellem hård plast og metal, hvis der foretages en sammenpresning af materialerne under indsamlingen.

I det følgende er vist, hvor folierne ender i anlæggets forskellige behandlingstrin.



FIGUR 4. Fordeling af folier.

Det ses, at hovedparten af folierne frasorteres som store folier i sorteringskabinen, samt i foliesortereren. Selv om det kun er en mindre mængde folie, der ender i fraktionerne af hård plast fra NIR-sorterne, kan det have betydning for afsætningsværdien af disse.

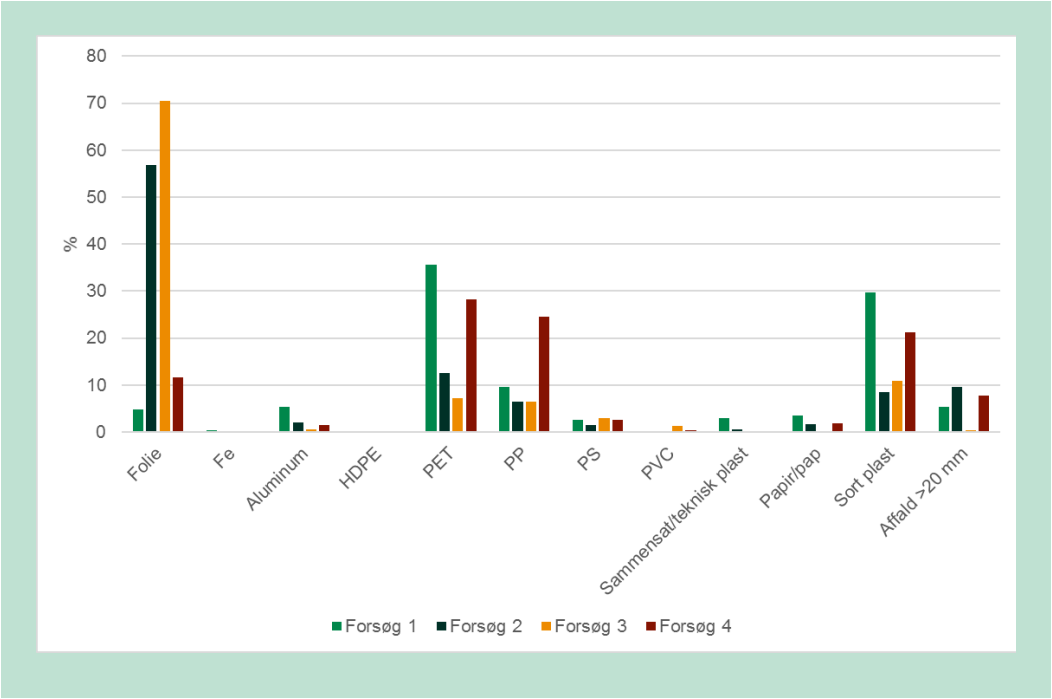
De store folier er manuelt frasorteret i sorteringskabinen og har derfor en høj renhedsgrad. Muligheder for udvikling af udnyttelsesmuligheder til disse er beskrevet i afsnit 5.6.

Fraktionen fra foliesortereren (vindsigten) kan udover mindre folier indeholde medrevne, hårde, flade plastemner og andet materiale med lav densitet.

I TABEL 8 er vist sammensætningen af fraktionen fra vindsigten i de fire forsøg.

TABEL 8. Sammensætning af fraktion fra vindsigte - procentvis fordeling.

	Forsøg 1 Hjørring Kommune	**Forsøg 2 Aalborg Kommune (enfamilieboliger)**	**Forsøg 3 Aalborg Kommune (etageboliger)**	**Forsøg 4 Mariagerfjord Kommune**
Folie	4,79	56,88	70,41	11,63
Fe	0,39	0,21	0,00	0,00
Aluminium	5,35	1,98	0,56	1,57
HDPE	0,00	0,12	0,00	0,05
PET	35,60	12,48	7,12	28,27
PP	9,63	6,38	6,44	24,51
PS	2,68	1,49	2,92	2,54
PVC	0,00	0,20	1,31	0,43
Sammensat/teknisk plast	3,02	0,54	0,00	0,00
Papir/pap	3,48	1,60	0,00	1,94
Sort plast	29,71	8,47	10,83	21,32
Affald >20 mm	5,35	9,66	0,40	7,75
I alt	100	100	100	100

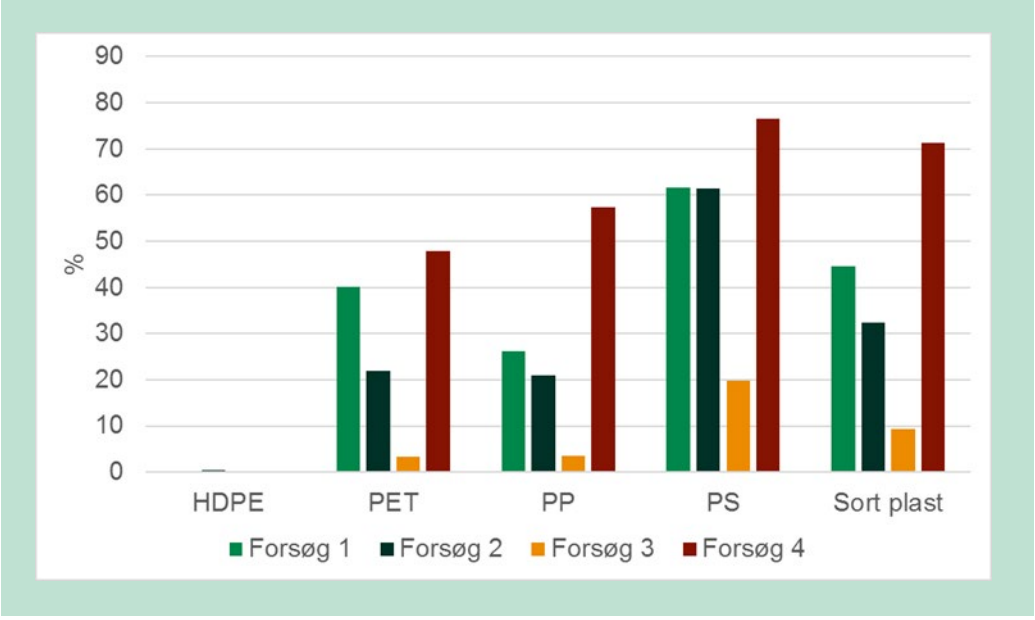


FIGUR 5. Fraktion fra vindsigte.

Det ses, at plastfolieindholdet i vindsigtefraktionen varierer meget med et indhold fra 5 til 70 % folie.

Produktfraktioner, som mistes i vindsigten, er hård, ikke-sort PET, PP og PS samt sort plast generelt.

I det følgende er det beregnet, hvor meget af de hårde plastfraktioner HDPE, PP, PET og PS der er mistet i foliesuget ud af total tilført mængde.



FIGUR 6. Tab af hård plast i foliesug.

Det ses, at tabet af HDPE i alle forsøg er negligeabelt, hvilket skyldes, at HDPE typisk er flasker/dunke med ret høj densitet.

Tabet af PET er fra 3 til 48 %. Noget af tabet vurderes at skyldes fladklemte bakker m.m.

Tabet af PP er fra 3 til 57 %. Igen kan noget tab skyldes fladklemte bakker.

Tabet af PS er meget stort - fra 20 til 75 %, hvilket skyldes, at disse materialer ofte er tynde og sprøde (fx flødebollebakker) og derfor ender sammen med foliefraktionen. Dog er indholdet af PS i de tilførte materialer vægtmæssigt begrænset, hvorfor PS ikke udsorteres, og tabet af PS har derfor ikke væsentlig betydning for den samlede genanvendelse af materialer. Indholdet af PS forringer dog muligheden for at genanvende folien fra fraktionen.

Endelig er tabet af sort plast mellem 9 og 72 %.

Der er ikke fundet nogen umiddelbar forklaring på, hvorfor folierenheden kan variere så voldsomt, da driftsparametrene ved forsøgene har været sammenlignelige, ligesom der ikke har været justeret på suget.

Billede 2
Folie fra vindsigte - forsøg 2 (Aalborg, enfamilieboliger).

I TABEL 9 er vist, hvor meget ikke-sort hård plast (HDPE+PP+PET+PS) der mistes i % af input.

TABEL 9. Tab af hård plast i vindsigte (sort plast indgår ikke i beregningen).

	Forsøg 1 Hjørring Kommune	Forsøg 2 Aalborg Kommune (enfamilieboliger)	Forsøg 3 Aalborg Kommune (etageboliger)	Forsøg 4 Mariagerfjord Kommune
Tab %	28	17	2	39

Som det ses af TABEL 9, fungerer vindsigten ikke tilfredsstillende i forsøg 1 og forsøg 4 samt til dels forsøg 2, da der opstår et stort tab af hård plast. Derfor er en optimering eller udvikling af forbedret teknologi et fokusområde for sorteringsanlægget.

5.1.6 Sammensætning af tilførte materialer

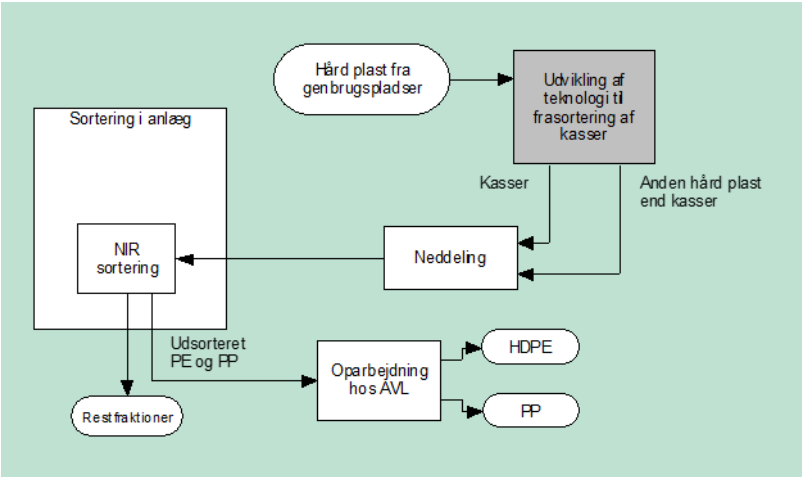
I TABEL 10 er vist den beregnede sammensætning af tilførte materialer. Beregningen er baseret på opgjorte mængder af alle udsorterede fraktioner fra anlægget og på sammensætningen af materialerne.

TABEL 10. Beregnet procentvis fordeling af materialer.

Materiale	Procentvis fordeling			
	Forsøg 1[1)] Hjørring Kommune	Forsøg 2 Aalborg Kommune (enfamilieboliger)	Forsøg 3 Aalborg Kommune (etageboliger)	Forsøg 4 Mariagerfjord Kommune
Folie	7,1	21,9	7,5	8,1
Jern	21,9	16,8	29,0	18,9
Rustfrit stål	0,0	0,0	0,0	0,1
Aluminium	7,2	5,9	3,3	8,7
Kobber/messing etc.	0,0	0,0	0,00	0,2
WEEE	4,0	1,2	0,1	0,9
HDPE	6,5	6,8	8,2	9,1
PET	14,2	12,5	5,5	15,3
PP	5,9	6,7	4,5	11,1
PS	0,7	0,5	0,4	0,9
PVC	0,02	0,3	0,06	0,7
PE/PP-miks.	0,2	0,0	0,05	0,06
07 plast	0,0	0,0	0,0	0,02
Sammensat/ teknisk	6,9	3,4	6,4	4,0
Papir/pap	0,6	3,8	2,6	5,3
Sort plast	10,7	5,7	2,9	7,7
Affald >20 mm	9,6	10,8	21,9	4,4
Affald <20 mm	4,7	3,7	7,4	4,7
Total	100	100	100	100

1) Sammensætningen for forsøg 1 er et estimat, da sammensætningen af den restfraktion, som opstod i forsøget, ikke blev analyseret. Da der for forsøg 1 er tale om et indsamlingsområde, som er domineret af enfamilieboliger ligesom ved forsøg 2, er det valgt at benytte den procentvise sammensætning fra forsøg 2 som et estimat for sammensætning af forsøg 1. Da der ikke er metaller i restfraktionen eller større mængder folier, vurderes usikkerheden for beregning af indhold af disse at være lille, mens

man må forvente en vis usikkerhed på bestemmelsen af indhold af de hårde plastfraktioner. Usikkerheden på bestemmelse af indholdet af de hårde plasttyper (PE, PP, PET) i forsøg 1 er væsentligt mindre end 20% da tabet af hård plast med restfraktionen for forsøg 2,3 og 4 er mindre end ca. 20 %.



FIGUR 7. Beregnet sammensætning af materialer i tilførte materialer.

Af TABEL 10 ses følgende:

Metaller
Materialerne i forsøg 1-4 indeholder:
- 17-29 % jern
- 3-9 % aluminium

Affald
Affald <20 mm udgør ca. 4-5 % bortset fra forsøg 3 (midtbyen i Aalborg), hvor affaldet udgør over 7 %. Denne fraktion indeholder nogle mindre, genanvendelige plastemner som låg og flager af plastemballage, som mistes i fraktionen.

Affald >20 mm udgør 4-11 % bortset fra midtbyen i Aalborg, hvor det udgør en meget stor andel på 22 %.

Folier
Folier udgør 7-8 %, bortset fra forsøg 2, hvor folie udgør 22 % af det tilførte materiale.

Indholdet af folie i tilførte materialer er størst fra enfamilieboligområdet i Aalborg Kommune (forsøg 2) med 22 %. Omregnes til indhold af plastfolie i tilførte materialer uden indhold af metaller svarer dette til 28 %, hvilket er på niveau med den indledende karakterisering, hvor indholdet var 27 % for folie fra enfamilieboliger (der var ikke metal i denne fraktion) se TABEL 1.

Indholdet af folie i tilførte materialer fra Hjørring Kommune ekskl. metaller kan af data i TABEL 10 beregnes til 10 %, hvilket er på niveau med indholdet bestemt ved den indledende karakterisering, når der korrigeres til indhold ekskl. metaller (12,4 % se TABEL 1).

Samlet ses, at der kan være stor variation i folieindholdet fra forskellige områder. Det store folieindhold i indsamlede materialer fra enfamilieboliger i Aalborg Kommune vil medføre øget tidsforbrug til frasortering af store folier i sorteringskabine samt belaste vindsigten hårdere end ved behandling af materialer fra Hjørring og Mariagerfjord kommuner.

Ikke-sort hård plast

I nedenstående tabel er vist sammensætningen af ikke-sort hård HDPE, PP, PET og PS i de fire forsøg.

TABEL 11. Sammensætning af ikke-sort hård HDPE, PP, PET og PS.

	Forsøg 1	Forsøg 2	Forsøg 3	Forsøg 4
HDPE	23,7	25,7	44,1	25,0
PET	52,1	47,1	29,7	42,1
PP	21,7	25,2	24,3	30,5
PS	2,6	2,0	2,0	2,4

PET udgør (bortset fra forsøg 3 - etageboliger) den største polymerfraktion efterfulgt af nogenlunde lige store mængder HDPE og PP. Det skal bemærkes, at der for forsøg 3 var en del større plastemner, som er fremstillet i enten HDPE eller PP, hvilket forklarer den lavere PET-andel. Disse emner vil typisk blive afleveret på en genbrugsplads, hvis der indsamles fra enfamilieboliger, men når der som her er tale om Midtbyen i Aalborg, vil der være plads til større plastemner i de 600-700 liter containere, der benyttes som opsamlingsmateriel.

PS-indholdet er lavt og udgør ca. 2 %. Ud fra sammensætningen vurderes det umiddelbart, at man kun bør sortere HDPE, PP og PET, da udnyttelsesgraden af en NIR-sorterer ved sortering af PS vil være så lille, at det ikke kan betale sig at udsortere fraktionen (få kg produceret PS pr. time sammenlignet med 500-1000 kg pr. time af PE, PP og PET).

Derimod udgør sort plast en andel, der er på niveau med HDPE's, hvorfor metoder til udsortering af sort plast kan være relevante, hvis udbyttet skal øges.

Sammensatte produkter

I TABEL 12 er vist sammensætningen af sammensatte og tekniske produkter, som er udsorteret i sorteringskabinen. Disse materialer er svært genanvendelige og kan give problemer i de efterfølgende sorteringsenheder eller påvirke materialekvaliteten af udsorterede fraktioner. Således kan fx presenninger, reb og slanger vikle sig rundt om et 250 mm skivefilter.

TABEL 12. Indhold af sammensatte produkter og tekniske produkter i procent af tilførte materialer.

	Forsøg 1 Hjørring Kommune	Forsøg 2 Aalborg Kommune (enfamilie-boliger)	Forsøg 3 Aalborg Kommune (etage-boliger)	Forsøg 4 Mariagerfjord Kommune
Presenninger/store folier		0,20	0,75	
Ringbind		0,10	0,38	
Strips, slanger, reb etc.		0,31	0,23	0,44
Sko, støvler		0,10	0,09	0,60
Blandet plast		0,03		
Genanvendelig, stor, teknisk plast		0,36	0,38	1,49
Diverse blandet		0,09		
Sammensat produkt, fx kaffe-kande/cisterne/stol			1,08	
Tekstil		0,05		0,94
Diverse metalprodukter				0,05

	Forsøg 1 Hjørring Kommune	Forsøg 2 Aalborg Kommune (enfamilie-boliger)	Forsøg 3 Aalborg Kommune (etage-boliger)	Forsøg 4 Mariagerfjord Kommune
Uspecificerede, sammensatte produkter/teknisk plast	2,15			
Sum	2,15	1,24	2,90	3,52

Det ses, at den sammensatte/tekniske kategori udgør 1,2-3,5 % af de tilførte mængder (forsøg 1 er ikke udsorteret i underkategorier).

Mængderne er således ikke store, men det kan være tidskrævende at få frasorteret fx presenninger, reb og slanger. Det er derfor relevant at undersøge, om der kan udvikles/anvendes metoder til at frasortere sådanne materialer maskinelt.

5.1.7 Resultater vedrørende udbytte for NIR-sorterere

I TABEL 13 er vist de beregnede udbytter for NIR-sorterne. Endvidere er angivet opnået renhed af produktfraktionerne (TABEL 6).

TABEL 13. Udbytte og renhed af produkter for NIR-sorterere.

For-søg	Udbytte HDPE %	Udbytte PP %	Udbytte PET %	Renhed HDPE %	Renhed PP %	Renhed PET %
1	Ikke bestemt	Ikke bestemt	Ikke bestemt	91,1	85,5	95,1
2	84,1	84,4	84,4	94,6	88,2	92,9
3	92,2	81,6	72,4[7]	92,3	91,3	79,4[7]
4	78,9	63,1	63,4	91,8	97,8	98,6

Udbyttet er beregnet som den andel af en polymer, der udvindes i produktfraktionen fra NIR-sorterne i forhold til det samlede indhold af polymeren i det materiale, der tilføres NIR-sorterne. Dvs. at eventuelle tab i forsortering ikke medregnes.

Det ses, at udbytte i forsøg 2 og 3 ligger i nærheden af 80 % (72-92 %), hvilket er forventet for NIR-sorterere. Det betyder dog også, at der mistes ca. 20 % materiale. I forsøg 4 er udbyttet lavere, hvilket kan skyldes usikkerhed grundet en lille affaldsmængde på 180 kg, hvor der ved de andre forsøg blev tilført 800-1.000 kg samt en lille mængde af udsorterede hårde polymerer (5-10 kg af hver polymer). Ved små forsøgsmængder medfører ophobede rester i anlæg en større usikkerhed i beregningerne. Metoder til mindskning af tabet på ca. 20 % fra NIR-sorterne er diskuteret afsnit i 7.2.

5.2 Udviklingsforsøg med ballistisk separator

5.2.1 Baggrund for forsøg

Som konstateret i sorteringsforsøgene (afsnit 5.1.5) fungerer vindsigten ikke optimalt. Således er det konstateret, at:

1) noget folie passerer videre sammen med hård plast til NIR-sorterne
2) der frasorteres en del fladtrykt hård plast med lille vægtykkelse sammen med folier.

Der er derfor gennemført forsøg med en anden teknik/mulighed for frasortering af folier i form af en ballistisk separator for at se, om en sådan teknik kan optimere foliesorteringen.

[7] Den lave renhed/det lave udbytte vurderes at skyldes stort indhold af PET-folie og tekstiler i polyester, som er korrekt udsorteret, men ikke medregnet.

Der blev i september 2017 gennemført to forsøg ved AFLD med brug af virksomhedens ballistiske separator.

I det første forsøg blev simuleret en erstatning af vindsigten med en ballistisk separator, og i det andet forsøg blev simuleret indsætning af en ballistisk separator efter vindsigten.

Detaljer vedr. forsøgene findes i Bilag 3.

5.2.2 Forsøg 1

I det første forsøg er sorteret med den ballistiske separator på en blandingsprøve på 1.900 kg fra Reno-Nords sorteringsanlæg. Prøven fremstillet ved at opsamle og blande alle fraktioner, som passerede store skivefiltre (emner <250 mm) - dvs. emner fra magnetsortering, vindsigte, NIR sortere m.fl. I forsøget undersøges således, om der kan opnås en højere renhed i fraktionen, som udsorteres som folie, og en højere renhed af den hårde plast, som ledes videre.

Resultat af forsøg 1

Forsøget viste, at:

- Der opnås et indhold på 1 % foliematerialer i 3D[8]-fraktionen, hvilket betragtes som en udmærket renhed i forhold til den videre behandling på sorteringsanlægget
- En sammenligning med resultater fra tre sorteringsforsøg, hvor vindsigten indgår, viser, at renheden af 3D-materialer forbedres. Således reduceres folieindholdet i 3D-materialerne mellem 2 og 5 gange ved brug af den ballistiske separator (9,1 kg folie pr. ton 3D-materiale) i forhold til tre sorteringsforsøg (18-46,5 kg folie pr. ton 3D-materiale)
- Mindst 87 % af de tilførte 3D-materialer ender i 3D-fraktionen til videre sortering
- Renheden af 2D[9]-foliefraktionen var ca. 52 %, hvilket er ret lavt og på sammenligneligt niveau med resultater for vindsigten.

5.2.3 Forsøg 2

I det andet forsøg blev eftersorteret med den ballistiske separator på en fraktion af 220 kg af fraktionen udsorteret med vindsigte. Formålet var at undersøge, om der kan opnås en højere renhed af folien og en god renhed af den hårde plast, som ledes videre.

Resultat af forsøg 2

Forsøget viste, at:

- Ca. 50 % af 3D-materialerne i det tilførte materiale til den ballistiske separator blev udsorteret som en 3D-fraktion. Indsættelse af en ballistisk separator efter vindsigten gør det således muligt at foretage en yderligere oprensning af foliefraktionen fra vindsigten. Renheden af foliefraktionen var dog stadig lav med en renhed på 61 % (urenhederne er 3D-materialer og affald).
- Der opnås et lavt indhold af foliematerialer på 1,4 % i 3D-fraktionen, hvilket er tilfredsstillende i forhold til afsætning af de udsorterede 3D-materialer.

Forsøget er dog behæftet med en del usikkerhed, på grund af en manglende mængde i massebalancen. Den beskrevne forbedrede effekt på renheden af 3D-materialet er dog ikke påvirket af dette.

5.2.4 Konklusion på forsøg med ballistisk separator

Forsøgene viste, at der kan opnås et væsentligt lavere indhold af folie på en faktor 2-5 i de 3D-emner, der ledes videre til sortering på anlæggets enheder. Dette har betydning for funktionen af efterfølgende sorteringsenheder og på afsætningsværdien af udvundne materialer. Ved

[8] Med 3D-fraktionen menes fraktionen af 3-dimensionelle emner som flasker, dunke, beholdere og bakker.

[9] Med 2D-fraktionen menes fraktionen af 2-dimensionelle emner som folier og papir.

benyttelse af en ballistisk separator vil der også kunne opnås en lidt større folieandel i udvundet småt folie. Folien indeholder dog stadig en stor andel af 3D-materialer (renheden var 61 %), hvilket gør fraktionen uegnet til genanvendelse. Der vil således kræves yderligere udstyr/udvikling, hvis der skal opnås en foliekvalitet af de mindre folier (< ca. 250 mm), der kan afsættes. Det skal bemærkes, at den ballistiske separator formentlig kan finjusteres til en forbedret sortering, hvilket ikke er testet.

5.3 Udvikling af forsorteringsteknologier

Anlægget ved Reno-Nord er forsynet med en grovsigte på 250 mm efter sorterkabine og en finsigte på 20 mm senere i anlægsflowet.

En alternativ metode til opbygning af et anlæg er benyttelse af en sigte som første trin i et anlæg, fx i form af en rotersigte eller rystesigte. Der er projektforløbet foretaget et mindre forsøg med en rystesigte.

Billede 3
Forsøg med rystesigte.

Rystesigten blev vurderet til at have en god effekt med hensyn til fjernelse af mindre emner/forurening fra emballagefraktionerne, som herefter vurderes at være nemmere at sortere for anlæggets sorteringsmaskiner. Der foreligger ikke data vedrørende mængder fra forsøget.

5.4 Metode til reduktion af urenheder i aluminium

5.4.1 Baggrund for forsøg

Det er i forbindelse med drift af anlæg konstateret, at der indimellem er en forhøjet koncentration af folie i den udsorterede aluminiumsfraktion. Da dette kan have betydning for afsætningsprisen, er det valgt at undersøge, om den forøgede foliemængde kan have relation til komprimeringsgraden i forbindelse med indsamling af plast-/metalfraktionen.

5.4.2 Forsøg

Der blev foretaget en indsamling af plast- og metalfraktionen uden sammenpresning og en indsamling med en vis sammenpresning som følge af, at materialer blev skubbet ind i bilen under indsamling (komprimatorfunktionen på indsamlingskøretøjet blev således ikke benyttet).

Materialerne blev tilført anlægget og sorteret på normal vis, hvorefter 50-60 kg af hver af de to aluminiumsfraktioner blev karakteriseret for sammensætning. På Billede 4 er vist eksempler på sammenhængende aluminium og plast.

Billede 4
Eksempler på sammenhængende aluminium og plast.

Resultaterne af karakteriseringerne fremgår af TABEL 14 og TABEL 15.

TABEL 14. Sammensætning af aluminiumsfraktion for ikke-sammenpresset materiale opgjort i procent.

Fraktion	Karakteriseret %	Fraktion	Estimeret sammensætning % [10]
Aluminium	93,07	Aluminium	95,40
Jern	0,04	Jern	0,06
Kobber og messing	1,15	Kobber og messing	1,15
WEEE	1,62	WEEE	1,62
Aluminiumsemne med en jernbolt	0,12		
Plastfolie	0,12	Plastfolie og plast fra sammenhængende produkter	0,80
Papir	0,04	Papir	0,04
Sammenhængende aluminiumsdåser og plast	1,98		

[10] Den estimerede sammensætning er baseret på en adskillelse af sammenhængende aluminium/plast og en vurdering af aluminiumsindhold i sammensatte produkter.

Fraktion	Karakteriseret %	Fraktion	Estimeret sammensætning % [10]
Sammensatte produkter (bestående af aluminium og plast).	1,86	Plastandel i sammensatte produkter	0,93
Sum	100	Sum	100

TABEL 15. Sammensætning af aluminiumsfraktion for sammenpresset materiale opgjort i procent.

Fraktion	Karakterisering %	Fraktion	Estimeret sammensætning % [10]
Aluminium	77,59	Aluminium	88,56
Kobber og messing inkl. blandingsbatteri	3,97	Kobber og messing inkl. Blandingsbatteri	3,97
Plastfolie	0,36	Plastfolie	0,36
Sammenhængende aluminiumsdåser og plast	14,45	Plast fra sammenhængende produkter	4,96
Hård plast	0,99	Hård plast	0,99
Blisterpakninger (plast og aluminium), aluminiumsbelagt plastfolie/-pap	0,89	Plast og pap fra blisterpakninger og, aluminiumsbelagt plastfolie/-pap	0,71
Sammensatte produkter (bestående af aluminium og plast)	0,86	Plast i sammensatte produkter	0,09
Diverse WEEE og letmetal	0,89	Diverse WEEE og letmetal	0,36
Sum	100	Sum	100

I TABEL 14 og TABEL 15 er vist de reelt sorterede/karakteriserede mængder af en række materialer samt estimerede mængder aluminium og plast ud fra vurdering/måling af indhold i sammensatte produkter og sammenhængende materialer.

Det ikke-sammenpressede læs havde en renhed for aluminium på 93 % bestemt ud fra direkte sortering. Den estimerede sammensætning viser et aluminiumsindhold på 95,4 %, et plastindhold på 0,8 % og et yderligere indhold af plast på 0,93 % stammende fra sammensatte aluminium- og plastprodukter.

Det sammenpressede læs havde en renhed på 77,6 % bestemt ud fra den direkte karakterisering og et højt indhold af sammenhængende aluminium og plast på 14,5 %. De estimerede mængder viser et aluminiumindhold på 88,5 %, et plastindhold på 1,36 % fra ikke-sammenhængende plast, et indhold på 5 % plast stammende fra sammenhængende produkter og et indhold på 0,8 % plast stammende fra sammensatte aluminium- og plastprodukter.

5.4.3 Konklusion

Forsøgene viser, at aluminiumsrenheden forringes, hvis de indsamlede materialer sammenpresses. Aluminiumsrenheden falder fra 95,4 til 88,5 %. Aluminiumsrenheden i det sammenpressede læs er så lav, at det vil medføre en reduktion i afsætningsprisen i forhold til aluminium fra det ikke-sammenpressede læs.

Det vurderes vanskeligt at separere plasten fra aluminium i sammenhængende materialer, da der krævedes meget kraft for at trække den fastklemte plast fri fra dåserne. Det vurderes, at

en adskillelse vil kunne foretages med en efterfølgende shredning ned til fx 3-4 cm partikelstørrelse og separation med en ekstra eddy current-separator, hvilket er et væsentligt fordyrende led i oparbejdningen. Reduktion i afsætningsprisen for en aluminiumsfraktion med lavere renhed skal vejes op imod øgede udgifter til kørsel uden komprimering og/eller en løsning med shredning.

5.5 Udvikling af metoder til frasortering af lukkede poser med brug af robotteknologi

5.5.1 Visionbaseret frasortering

5.5.1.1 Baggrund

Projektet har overordnet set arbejdet med en specifik husstandsindsamlet fraktion bestående af metal og plast. Denne fraktion skal opdeles i underfraktioner af plasttyper og metaller.

Sorteringen er baseret på udnyttelse af specifikke materialeegenskaber, som fx at frasortere jernholdige emner ved brug af magnetisme.

Plastemner kategoriseres først ved hjælp af NIR-sensorer for derefter at blive udsorteret ved hjælp af luftdyser.

De anvendte teknologier er velafprøvede og er i teorien i stand til at opdele affaldsemner efter materialeegenskaber. Når det kommer til praksis, er der dog flere udfordringer. En af disse er en effektiv og pålidelig håndtering af folier. For at undgå en vanskelig håndtering af folier på sorteringsanlæggene er det i dette projekt forsøgt at indsamle folier i lille beholder med indsat 4-literspose, i hvilken borgerne er blevet bedt om at samle al folie. Det har dog vist sig, at mængden af folie indsamlet på denne måde var utilstrækkelig. Projektets styregruppe besluttede at ændre projektets aktiviteter møntet på at frasortere disse små poser fra materialestrømmen til i stedet at fokusere på en lignende problemstilling med udsortering af poser, som præsenteres i det følgende.

Som nævnt eksisterer der sorteringsløsninger til materialer såsom metal og plast. Disse løsninger er afhængige af, at affaldsemner præsenteres for maskinerne i et enkelt lag, hvor hvert enkelt affaldsemne er fysisk afskilt fra øvrige emner. Dette kan til en vis grad løses mekanisk.

Indsamlede materialer fra husholdninger har vist sig ofte at optræde i affaldsposer, som borgerne i en husstand har valgt at samle deres materialer i, inden poserne er placeret i opsamlingsmateriellet. Dette forhindrer emnerne i at ligge løst i materialestrømmen, når materialer ledes ind i sorteringsanlægget. Den gængse løsning for at opnå separerede materialer, der kan sorteres i et anlæg, er at benytte en såkaldt poseåbner, der mekanisk skærer poserne op, inden emnerne føres videre ind på sorteringsanlægget. Denne metode har dog vist sig ikke at være tilstrækkelig med det på anlægget monterede udstyr, da poser ofte kan passere uåbnet igennem. Det har samtidig vist sig, at der ved daglig drift forekommer poser med indhold af dagrenovation, som ikke er ønsket på anlægget. Da eventuelt affald i poser ikke kan håndteres korrekt i sorteringsanlægget, er det nødvendigt at frasortere disse poser. Det kan gøres manuelt i sorteringskabinen, men arbejdet er uhensigtsmæssigt, da det er præget af ensformighed og dårlige arbejdsstillinger og derudover foregår i et tilsmudset miljø.

I dette projekt er der derfor arbejdet mod en løsning, hvor frasortering af poser sker automatisk. Processen blev opdelt i to aktiviteter. I den første aktivitet blev der arbejdet med udviklingen af et system, der automatisk udpeger affaldsposer i en blandet materialestrøm af plast- og metalmaterialer samt poser. Den anden aktivitet omhandlede udvikling af et mekanisk koncept for effektivt at fjerne poser fra materialestrømmen (se afsnit 5.5.2).

5.5.1.2 Forsøgsmateriale

Af hygiejniske årsager er det ikke muligt at udføre laboratorieforsøg med husstandsindsamlet affald. I stedet er der frembragt forsøgsmateriale bestående af syv poser fyldt 50-80 % med plast og metal. Ud fra en formodning om at der primært benyttes gængse bæreposer fra dagligvarebutikker eller plastposer solgt under betegnelsen 'affaldsposer', består forsøgsmaterialet af fire bæreposer fra dagligvarebutikker samt tre affaldsposer. De anvendte poser kan ses på Billede 5.

Billede 5
Poser med indhold bestående af plast og metal.

Derudover er der anvendt et udsnit af plast- og metalemballager, som hyppigt forefindes i husstandsindsamlet plast og metal. Emballagen kan ses på Billede 6.

Billede 6
Forsøgsmateriale: Blanding af plast og metal.

5.5.1.3 Forsøgsopstilling

DTI SensorLab er anvendt til forsøgene med detektion af affaldsposer i materialestrømmen. DTI SensorLab består af et transportbånd med en række sensorer placeret over.

Til forsøgene foretages billedoptagelse og analyser med følgende hardware:

- Termisk kamera (FLIR) til IR-billedoptagelse af poser
- RGB-kamera til Deep Learning-baseret genkendelse.

Formålet med IR-kameraet har været at konstatere, om pose og indhold ved kortvarig opvarmning nedkøles på samme måde som øvrige materialer, der ikke er i pose. Der er herudover gennemført forsøg med identifikation af poser med Deep Learning.

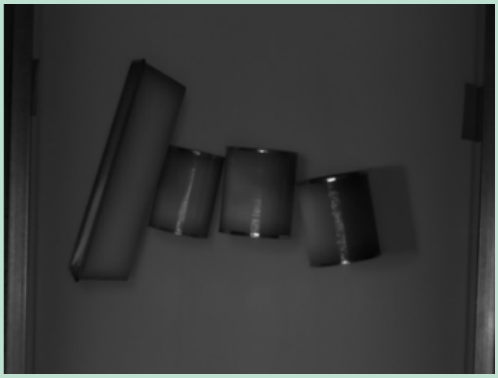
Nedenfor er vist billeder af DTI SensorLab samt billeder af sensorer og opvarmningskilder.

Billede 7
DTI SensorLab - med angivelse af placering af varmekilde, termisk kamera og RGB-kamera – samt affald på transportbånd.

5.5.1.4 Databehandling

Fremgangsmåderne for de to forsøgsmetoder er overordnet beskrevet i de følgende afsnit.

Termisk kamera
Et termisk (IR) kamera registrerer varmeudstrålingen af de emner, der tages billeder af, og emner med høj temperatur fremstår lyse i billedet. Ved at lade halogenlamper varme affaldet op, når det føres frem på transportbåndet, kan man undersøge, hvor længe emnerne er om at afkøle igen. Antagelsen er, at affald som poser og andet tyndt materiale kun holder på varmen i kort tid, set i forhold til andet affald, eksempelvis vådt, organisk affald. På FIGUR 8 er vist termiske billeder af plast og metal.



FIGUR 8. Termiske billeder af plast (venstre) og metal (højre) efter kortvarig opvarmning.

Det bemærkes, at emner af metal bevarer varmen længere tid end plastemnerne vist på venstre billede. Dette vurderes ud fra, at metalemnerne fremstår lysere i billedet end plastemnerne. Dog iagttages det også, at refleksioner fra varmekilden påvirker billedoptagelsen – nogle emner har lyse områder, som stammer herfra, selvom de reelt ikke er varme.

FIGUR 9 viser billeder af plastemner i en tynd affaldspose samt metalemner i en bærepose fra dagligvarebutik.

FIGUR 9. Termiske billeder af tynd affaldspose med plastemner (venstre) samt pose fra dagligvarebutik med metal (højre).

Det iagttages, at kameraet 'kigger gennem' den meget tynde plastpose på billedet til venstre, og man kan dermed se, hvad der befinder sig i posen. Varmen fra transportbåndet vises således også i billedet, hvilket er uhensigtsmæssigt, da det var antagelsen, at hele posen fremstod som kold.

Varmeresponsen fra posen fra dagligvarebutik er dog en noget anden, som vist på FIGUR 9. Posen fremstår både varm og kold, hvilket skyldes, at teksten på posen hovedsaligt er varmeabsorberende sort farve. Det betyder, at posens udseende vil få indvirkning på registreringen, hvilket kan være uhensigtsmæssigt.

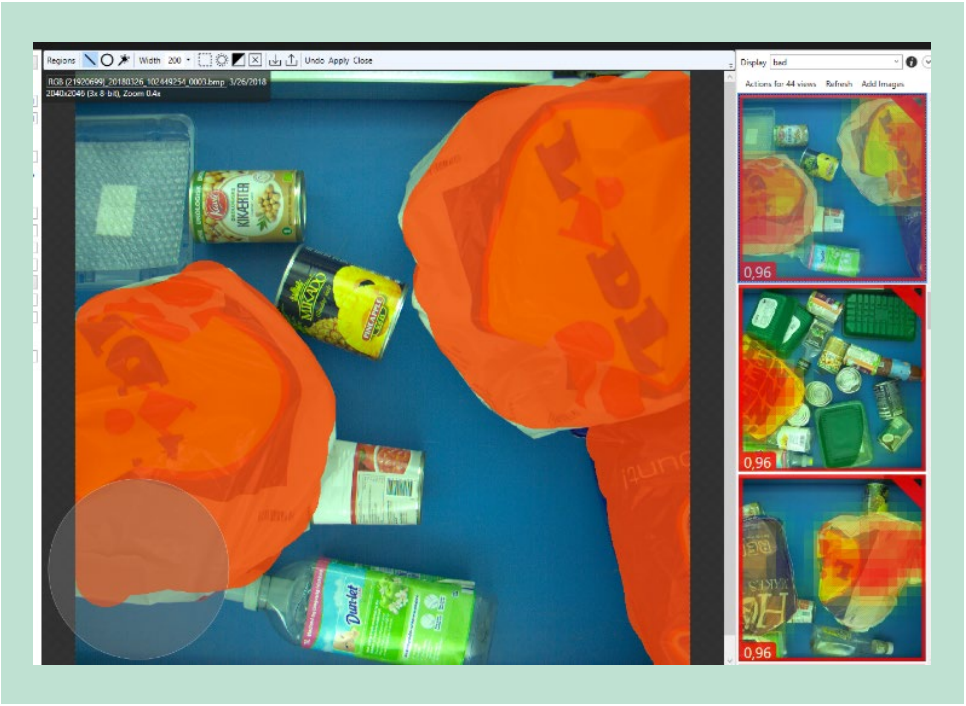
5.5.1.5 RGB-kamera og Deep Learning

Ved hjælp af Deep Learning-udviklingsværktøjet ViDi Suite blev almindelige RGB-billeder fra transportbåndet med såvel poser som plast- og metalaffald annoteret og trænet til at genkende objekter i billeder, der ligner poser.

Der er blevet taget 112 billeder i forskellige situationer: transportbånd uden emner, blandet plast og metal uden poser og slutteligt poser blandet med affaldsemner af plast og metal. Et udpluk af billederne kan ses på FIGUR 10.

FIGUR 10. Billeder til træning af Deep Learning-netværk.

Til opsætningen af det neurale netværk kan såvel *supervised som unsupervised training* anvendes. Ved supervised (overvåget) træning markeres manuelt, hvor poserne befinder sig på alle billederne, som vist på FIGUR 11.



FIGUR 11. Markering af områder med poser.

Ved uovervåget træning markeres billeder ud fra, om de indeholder en pose eller ej. Herfra vil systemet selv trænes op til at detektere, om der er en pose eller ej i nye billeder. Problemet med uovervåget træning er, at systemet ikke kan meddele, hvor i billedet posen er, hvorfor der i nærværende forsøg blev benyttet overvåget træning.

Til træning og efterfølgende test af værktøjet blev der anvendt 112 billeder, hvoraf de 44 indeholdt billeder af poser af forskellig art. Alle billeder blev annoteret (markeret), hvorefter der automatisk udtrækkes 50 % billeder til træning. Alle billeder blev herefter anvendt til verificering. Resultaterne baserer sig på denne fordeling.

5.5.1.6 Resultater

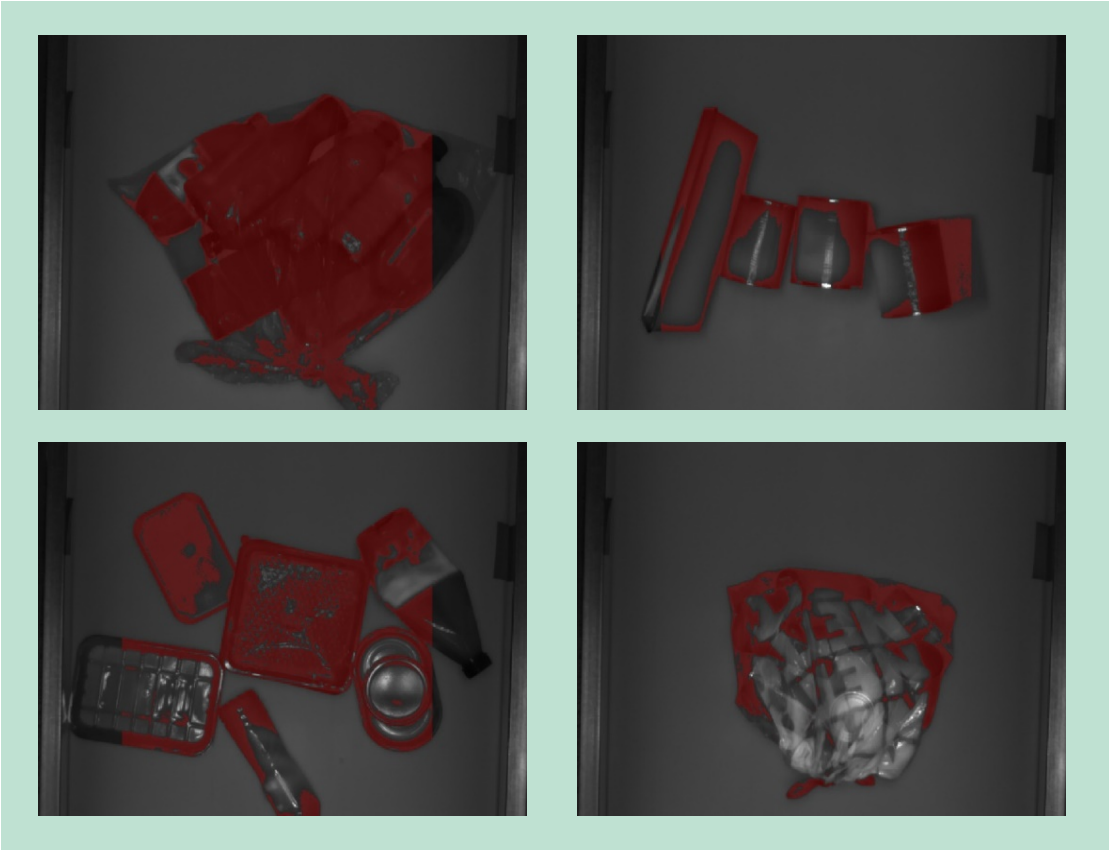
Resultaterne for de to delforsøg er beskrevet i det følgende:

Termisk kamera

Det stod ret tidligt klart, at fremgangsmåden med termisk kamera kunne vise sig at blive udfordrende, især på grund af følgende faktorer:

- Mørke poser optager mere varme end lyse poser og vil derfor kunne forveksles med metal
- Tynde affaldsposer fremstår gennemsigtige i det termiske billede, så varmen fra transportbåndet ses gennem posen
- Tynde plastemner optager ikke varmen så meget som forventet.

På FIGUR 12 er vist en farvelægning af de områder, som ideelt set kun skulle være poser.

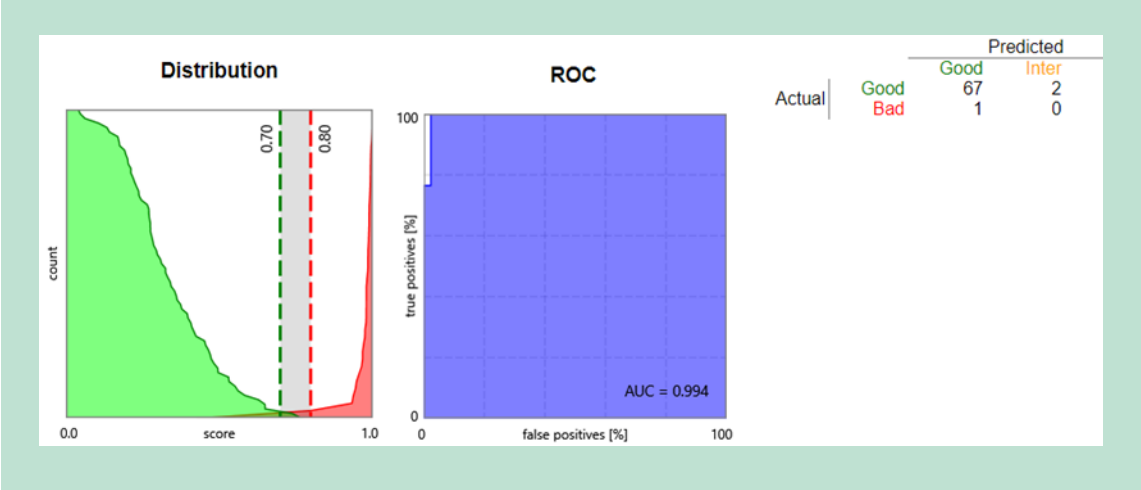


FIGUR 12. Detektion af poser med termisk kamera - de farvede områder skulle være poser.

Som nævnt fremstår posen fra dagligvarebutik ikke mørk på grund af den påtrykte farve/tekst (højre billede). Plastemner fremstår kolde, da de afgiver varmen hurtigt (venstre billede).

RGB-kamera og Deep Learning

Efter annotering og træning af ViDi Suite med halvdelen af de optagne billeder blev der genereret en rapport over, hvorledes detektion af poser fungerede på hele billedmaterialet. FIGUR 13 viser, hvorledes distributionen af scores er fordelt ud over sættet.



FIGUR 13. Resultat af detektion på 56 emner.

Kurven for distribution viser fordelingen af scores mellem de billeder, der er markeret som OK ('Good'), og dem, som er markeret IKKE OK ('Bad', altså hvor poser har været til stede i billedet). En score på 1.0 betyder ifølge systemet 100 % sikkerhed for, at der er en pose i billedet, mens 0.0 betyder 0 % sikkerhed. Området mellem 0.70 og 0.80 er sat til at være usikkerhedsområdet, hvor der ikke nødvendigvis er sikkerhed nok for, om der er en pose.

På FIGUR 14 er vist tre billeder fra testsættet samt grafisk overlægning med score samt markering af eventuelle områder med poser.

FIGUR 14. OK-resultat, usikkert resultat samt IKKE OK-resultat fra ViDi Suite.

Som det ses af FIGUR 13, klassificerer systemet korrekt på 67 ud af 70 billeder fra trænings- og testsættet, der indeholdt poser. På 2 af de 69 billeder er systemet usikker og klassificerer forkert på 1 billede.

For de billeder, hvor der ikke er poser, er systemet usikkert på 2 af de 69 billeder. De tre billeder er vist på FIGUR 15.

FIGUR 15. Billeder der er forkert eller usikkert klassificeret.

De to billeder, der giver et usikkert resultat (til venstre og i midten), er meget ens – transportbåndet har kun flyttet sig meget lidt mellem de to billeder. Årsagen til de usikre klassifikationer skyldes, at systemet har registreret et område ved den hvid/gule plastbeholder (nederst til højre), som kunne ligne en hvid bærepose. Det ses, at området er lille, hvilket giver anledning til at overveje et minimumsareal for de områder, hvor der er detekteret poser.

For billedet, hvor bæreposen ses i kanten af billedet, har der ikke været et tilstrækkeligt stort område, der har lignet poser. Da systemet kontinuerligt optager billeder, vil systemet give en større score, når posen kommer til at fylde mere i billedet. Som det set på FIGUR 16, er scoren markant højere bare et øjeblik efter, når posen er kommet længere ind i billedet.

FIGUR 16. Posen fra dagligvarebutik er kommet længere ind i billedet og forårsager højere score.

5.5.1.7 Konklusioner

Af de to delforsøg kan det konstateres, at en fremgangsmåde med et Deep Learning-værktøj, såsom ViDi Suite, helt klart vil være det bedste valg. Termiske billeder giver ud fra disse undersøgelser ikke en tilstrækkelig adskillelse mellem poser og andet affald, hvorfor det med teknikken ikke er muligt at udvikle et system, der foretager posedetektioner.

Forsøgene med Deep Learning har vist, at på trods af et sparsomt træningssæt (Deep Learning-netværk trænes bedst med et stort antal billeder), så er adskillelsen mellem billeder med og uden poser høj nok til, at kun ganske få procent detekteres forkert. Til en given implementering ville man kunne stille yderligere krav til systemet, end hvad der er vist ved træningen:

- Krav til minimumsareal af det detekterede.
- Krav til, at emner skal findes i flere billeder i træk og med høj score.

Endvidere kan man ændre på tærskelværdierne ud fra de krav, man har til systemet som helhed. Eksempelvis kan man sætte indstillingerne således, at alle poser fratages, men også enkelte typer affald, som kunne ligne poser meget, også kaldt falske positiver.

Alternativt kan kravene slækkes, så enkelte poser tillades igennem systemet, men hvor der ikke fratages affald, som ikke er poser, også kaldt falske negativer.

På grund af det sparsomme datasæt er det usikkert, hvordan systemet vil håndtere et stigende antal forskellige poser, og i hvilken grad systemet vil være i stand til at genkende poser, som ikke er trænet af systemet før. Derfor bør der foretages flere undersøgelser, før en eventuel prototype kan udvikles. Disse undersøgelser bør finde sted på konkrete affaldssorteringsanlæg for at mindske gabet mellem laboratorieforsøg og reelle, realistiske forhold.

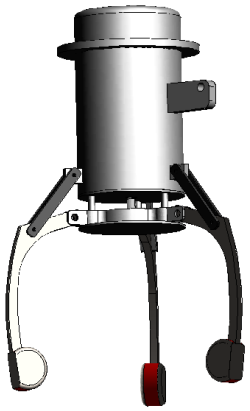
Perspektivering
Forsøgene med detektion af plastposer i en blanding af plast og metal ved brug af Deep Learning har været positive. Dog har det ikke været muligt, hverken med termisk eller almindeligt kamera, at vurdere indholdet i en pose. Metoden vil dog højst sandsynligt kunne frasortere poser fra det indkomne materiale på sorteringsanlægget.

Analyser af røntgenbilleder af poser med blandet dagrenovation og plast/metal, udført af virksomheden 24a Automation ApS, har vist, at der er basis for at udvikle metoder til at frasortere poser med dagrenovationslignende indhold. Det vil derfor være oplagt at kombinere flere teknologier for at frasortere dagrenovation i plastposer. Forsøg med detektion baseret på røntgen er beskrevet i afsnit 5.5.3.

5.5.2 Udkast til anlægsdesign
Virksomheden 24a Automation ApS har arbejdet med at udvikle en griber, der kan monteres på en robot. Griberen skal kunne udsortere poser fra materialestrømmen ved at lukke sammen om poserne, og det forventes, at poserne maksimalt vejer 5 kg, Det forventes endvidere, at poserne kan være besværlige at gribe, og samtidig skal poserne kunne slippes hurtigt. Gribeværktøjet skal kunne holdes rent med brug af rengøringsmidler med heraf følgende krav til valg af materialer, fx korrosionsbestandighed.

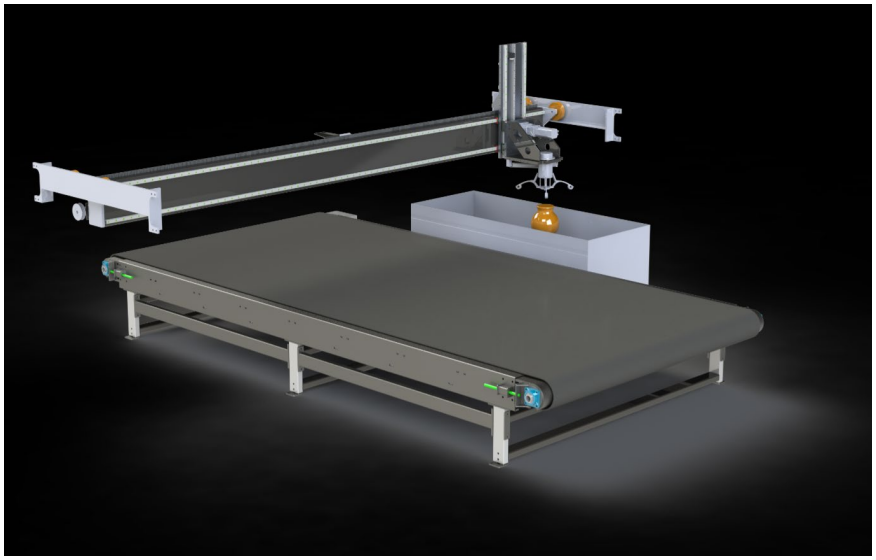
Det vurderes også muligt at udvikle værktøjet til at kunne opsamle folie fra båndet. Dette kan løses ved at placere sugekopper på undersiden af værktøjet.

5.5.2.1 Konstruktion af gribeværktøj
Der fremstilles et simpelt gribeværktøj, hvor tre klør lukker sammen om en pose. Hver klo er nederst forsynet med en anordning, der er belagt med gummi, for at øge friktionen og dermed lette opsamlingen af plastposer.



5.5.2.2 Konstruktion af robotanlæg
Der er taget udgangspunkt i, at der konstrueres en eller flere bomme, som ligger på tværs af transportbåndet. Bommen kan køre en distance i samme retning som transportbåndet, hvorved det vil være muligt for værktøjet at opsamle posen. Når der via kamerasystemer detekteres poser, overføres data til PLC-systemet, og det besluttes, hvilken bom der skal bruges.

Som udgangspunkt leveres anlægget med én påmonteret bom. Der er mulighed for at forbinde flere bomme til systemet, således at kapaciteten øges, og systemet kan beslutte, hvilken bom der er mest optimal til at samle posen op. Der vil også være mulighed for, at man på bommen kan montere andre typer af gribere, hvis andre geometrier end poser med indhold ønskes opsamlet.



Vedrørende detektion af emner antages det, at der udvikles en detektionsenhed, der kan genkende poser og fraseparere disse (se afsnit 5.5.1 og afsnit 5.5.3). Fraseparationen kan tænkes at foregå på to måder (scenarie 1 og 2).

- Scenarie 1
    - Poser scannes på båndet og fjernes med robot, hvis de indeholder andet end genanvendeligt materiale. Dette gør, at fejlfortolkede poser vil forblive på båndet, hvilket kan give problemer senere hen i processen.
- Scenarie 2
    - Alle poser frasorteres med robot baseret på detektionsudstyr til identifikation af alle poser, og der fremstilles en separat maskine med udstyr til scanning af poser og til vurdering af, om disse poser skal åbnes og indholdet lægges tilbage på båndet.

5.5.2.3 Kapacitetsberegning

Der er foretaget en kapacitetsberegning på et system, hvor poser scannes og fjernes med robot, svarende til første trin af scenarie 2. Der skal i kapacitetsberegningen tages højde for, at der kan mangle informationer til systemet, og at det derfor er vanskeligt at garantere, at systemet når at samle alle de emner op, som ønskes udsorteret. Der vil blive genereret en log i systemet med antal ønskede opsamlinger fra kameraløsningen og med antal opsamlinger udført med portalen. Det vil desuden blive logget, hvilken afstand poserne er detekteret med, således at det kan vurderes, om man skal investere i en ekstra portal, som kan kobles til systemet.

Der regnes med følgende data

Hastighed X	3	m/s
Hastighed X Opsamling	1	m/s
Hastighed Y	3	m/s
Hastighed Z	2	m/s
Opsamlingstid	1	S
Afleveringstid	0,5	S

Transportbåndet er 1 m bredt, og der beregnes derfor distancer ind til center af båndet, da det vil give gennemsnittet for positionerne af poserne. Der tages udgangspunkt i, at portalen kører i en trekant. Først køres ud til startposition i korrekt Y-position over båndet. Når emnet er ved at være under portalen, sænkes griberen ned, og portalen kører derefter i samme retning og

hastighed som posen. Når posen og griberen er synkrone, lukkes tangen, og portalen hæves op igen og kører ud til aflæsningsportionen i en skrå kørsel.

Det estimeres, at portalen i snit skal bevæge sig i følgende mønster med følgende kørsel pr. akse:

Kørselsmønster for 1 cyklus	Betydende akse	Distance [m]	Tid [s]
Kørsel fra dropposition til startposition over emne	Y	1,00	0,83
Følg emne over båndet og sænk Z ned til opsamling	Z	0,75	0,88
Følg emnet langs båndet for opsamling	X langsom	0,50	1,00
Opsamlingstid			1,00
Hævning af værktøj	Z	0,75	0,88
Flyt robot til aflevering	Y, X hurtig	1,12	0,62
Aflæsning af produkt			0,50
Total tid			5,70

Det giver altså en tid på 5,7 sekunder pr. opsamling, hvilket giver en kapacitet på:

$$Antal\ opsamlinger = \frac{60[sek/min]}{5{,}7[sek/opsamling]} = 10{,}53 \approx \underline{\underline{10{,}5[opsamling/min]}}$$

Ved indsætning af tre bomme vil man således kunne udføre ca. 30 opsamlinger pr. minut.

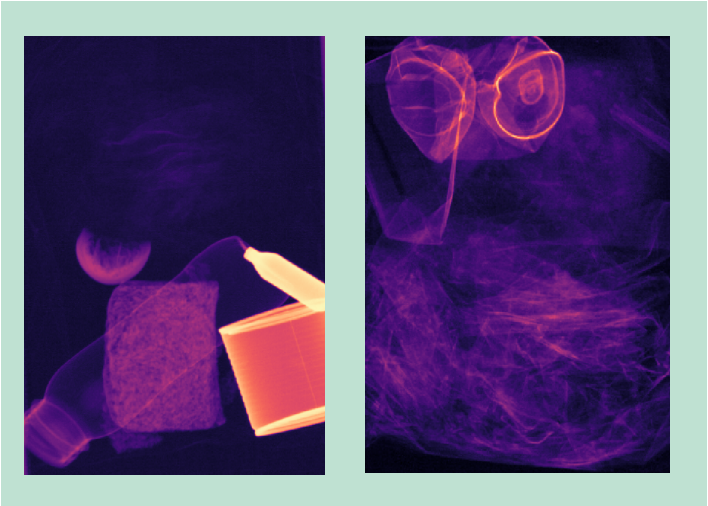
5.5.3 Udviklingsforsøg med anvendelse af røntgen til detektion af indhold i poser

Der er gennemført et forsøg med røntgen for at få information om, hvorvidt en pose indeholder genanvendeligt materiale. Der er til forsøget tænkt på to forskellige brugsscenarier.

Røntgenbillederne er taget med tidligere fremskaffet røntgenudstyr med en 80 KeV-kilde med 1,25 mA strøm. Resultater af 8 ud 26 forsøg kan ses i 0 opstillet som røntgenbillede ved siden af almindeligt RGB-billede samt med notat om, hvad poserne indeholder.
Konklusionen på røntgenforsøget er følgende.

5.5.3.1 Konklusion

Der kan via røntgen ses gennem poser, og materialerne i posen kan ses som en densitetsmåling. 24a Automation ApS vurderer, at der kan opstilles algoritmer, der kan genkende genanvendelige materialer. Et søgekriterie kunne være emner, hvor kanten er tydeligt afgrænset som på FIGUR 17 til venstre. Plastfolie er sværere at genkende, da det typisk er tyndt og diffust i faconen.



FIGUR 17. Eksempel på røntgendetektion. På billedet til venstre i FIGUR 17 ses en citronbåd (midt til venstre, under denne en brødskive og nederst til højre en dåse (dåsen lyser op, da den har højere densitet). På billedet til højre ses en metaldåse øverst med lyse farver og markerede kanter og under denne mere diffuse emner stammende fra folie (ikke så lyse i farverne). Tykvægget plastik (hård plast) vil lyse kraftigere op end tyndvægget - se eksempler i Bilag 4.

Ud fra observationer i dette forsøg anbefales det at arbejde videre med scenarie 2 i et fremtidigt projekt.

5.6 Oparbejdning af udsorteret løs plastfolie

Ved sorteringsforsøg (se 5.1.3) blev det konstateret, at folien fra vindsigten indeholdt en del hård plast og andre emner end plastfolie (ca. 50 %).

Det blev endvidere konstateret vanskeligt at foretage en tilstrækkelig oprensning af folien for hårde emballager, selvom indholdet dog kunne reduceres ved anvendelse af en ballistisk separator (se 5.2).

Det blev derfor valgt i løbet af projektperioden at arbejde videre med fraktionen af store plastfolier, som frasorteres manuelt ved Reno-Nord. Fraktionen er vurderet til overvejende at indeholde mere eller mindre tilsmudset LDPE.

For at kunne oparbejde plastfolien kræves:

1) Neddeling og vask/tørring (udført ved AVL)
2) Oparbejdning med brug af teknologi, som forhandles af Wiba Tech ApS på et udenlandsk testanlæg (Erema).

5.6.1 Udsortering af folier

Reno-Nord udsorterede materiale bestående af store folier som led i den daglige udsortering på sorteringsanlægget. Materialerne blev opballet og sendt til behandling med neddeling, vask og tørring ved AVL.

Billede 8
Store folier fra sorteringskabine.

Som det fremgår af Billede 8, indeholder fraktionen bl.a. sorte sække, afdækningsplast, emballagefolie til store emner og indkøbsposer af LDPE.

For at kunne udføre forsøg på det udenlandske anlæg krævedes, at der blev produceret mindst 300 kg neddelt, vasket og tørret foliemateriale ved AVL.

5.6.2 Neddeling, vask og tørring

Indholdet af folie blev bestemt til 94,1 % af fraktionen. Folien blev manuelt finsorteret for at fjerne fejlsorterede emner. Der blev således fjernet ca. 6 % af materialet. Den manuelle sortering var nødvendig, da neddeling og vask foregår på laboratorie-/pilotudstyr hos AVL. Udstyret er modificeret til opgaven, og der indgår ikke enheder til frasortering af metal og plast med densitet >1 g/cm^3 som fx PET. Det vurderes, at ved brug af et fuldskala-folierensningsanlæg vil synke-/flydebehandling kunne fraseparere uønskede emner, og materialet kan derfor behandles, som det er leveret.

Folien blev neddelt til flager med en shredder med 50 mm sold og blev herefter vasket hos AVL på en forsøgsfriktionsvasker. Behandlingen krævede, at folien blev indført manuelt og udtaget manuelt.

Der blev produceret 392 kg neddelt, vasket og tørret folie svarende til ca. 3 m^3. Ved friktionsvasken blev kun benyttet en lille mængde vand - en del vand til en del plast (vægtbaseret).

Billede 9
Vask af neddelt folie i forsøgsfriktionsvasker.

5.6.3 Fremstilling af piller og folie ved Erema

De vaskede flakes blev sendt til et testanlæg (Erema i Østrig) for at gennemføre en testoparbejdning med deltagelse af Wiba Tech ApS, AVL og Teknologisk Institut.

Udstyret, som blev benyttet, var en INTAREMA 1108 TVE plus med selvrensende laserfilter (LF2/354 med filtrering 230-260 µm) og en pelleteringsenhed af typen HG 154 D. Der blev benyttet et flow på ca. 400 kg/time ved en driftstemperatur på ca. 235 °C.

FIGUR 18. Skitse af udstyret (fra venstre fødebånd, indbygget neddeler, kompakter/agglomerator, laserfilter og pelleteringsmodul).

Billede 10
Fremstilling af piller ved Erema.

Billede 11
Fremstilling af piller ved Erema.

Billede 12
Fremstillede piller.

De mekaniske egenskaber af de fremstillede regeneratpiller m.m. blev testet i AVL's laboratorium.

TABEL 16. Mekaniske egenskaber af de fremstillede regeneratpiller.

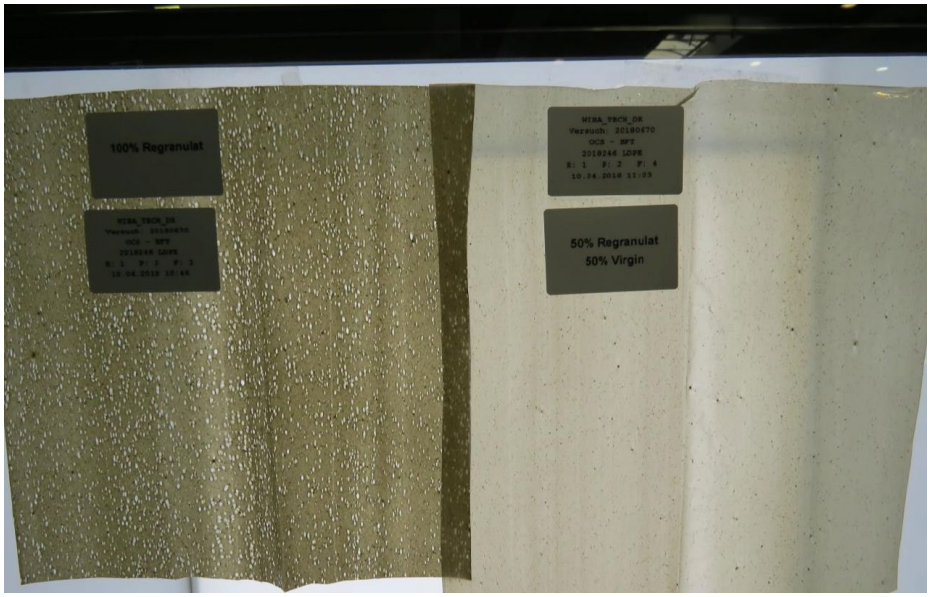
Trækstyrke (MPa)	16,6
Trækstyrke ved brud (MPa)	16,5
Brudforlængelse (%)	360
E-modul (MPa)	229

Indholdet af tungmetaller blev målt med røntgenanalyse til at være væsentligt under ROHS' grænseværdier [11].

De fremstillede regeneratpiller blev ved Erema benyttet til testfremstilling af foliemateriale med tykkelsen 40-60 µm baseret på henholdsvis 100 % regenerat og 50 % regenerat/50 % virgin LDPE.

Folien fremstillet med tilsætning af 50 % virgint materiale blev vurderet som anvendelig, hvorimod folien fremstillet af 100 % regenerat var inhomogen og ikke egnet til folieprodukt. Materiale af 100 % regenerat vurderes dog at kunne anvendes til andre produkter, hvor man fx anvender ekstrudering.

Af **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** fremgår folien fremstillet af 100 % regenerat til venstre i billedet, mens folien til højre er fremstillet af 50 % regenerat og 50 % virgint materiale.



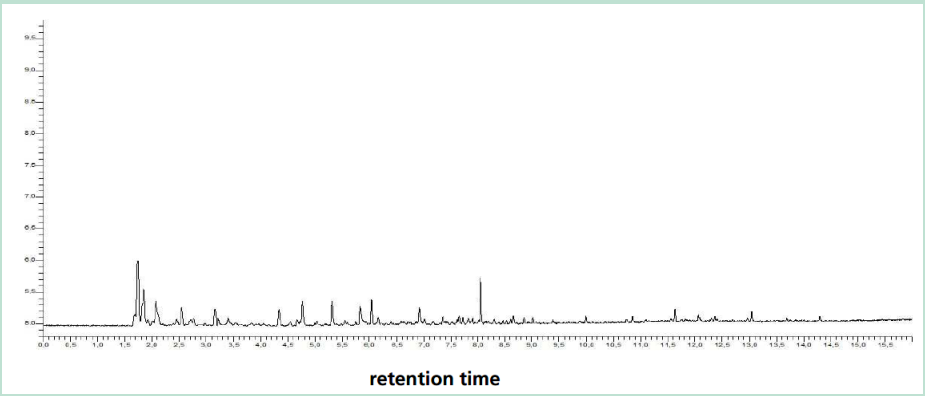
Billede 13
Fremstillede folier hos Eremas testanlæg.

5.6.4 Lugtreduktion

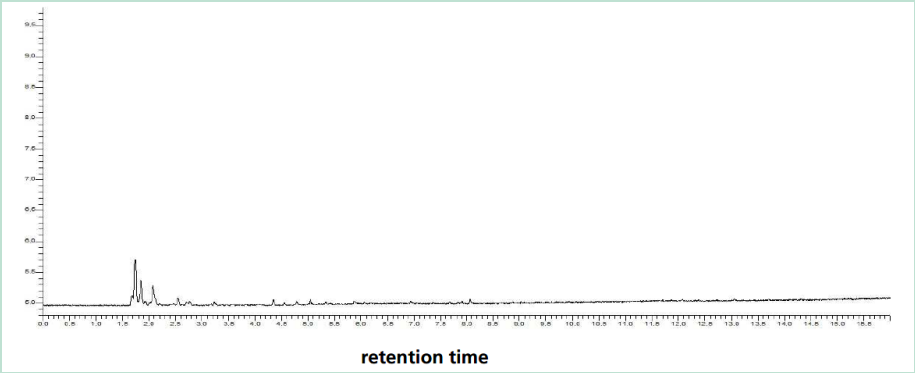
Det blev endvidere valgt at teste en særlig Erema-lugtreduktionsteknologi, som Wiba Tech ApS tilbyder. Ved testen blev de producerede piller udsat for en varmluftstrøm, og prøver blev udtaget efter 0, 3, 5, 7 og 22 timer. Prøver fra 0, 7 og 22 timer blev sendt til lugtanalyse ved Frauenhofer - Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung.

[11] EU-direktiv 2011/65/EU om begrænsning af visse farlige stoffer i elektrisk og elektronisk udstyr.

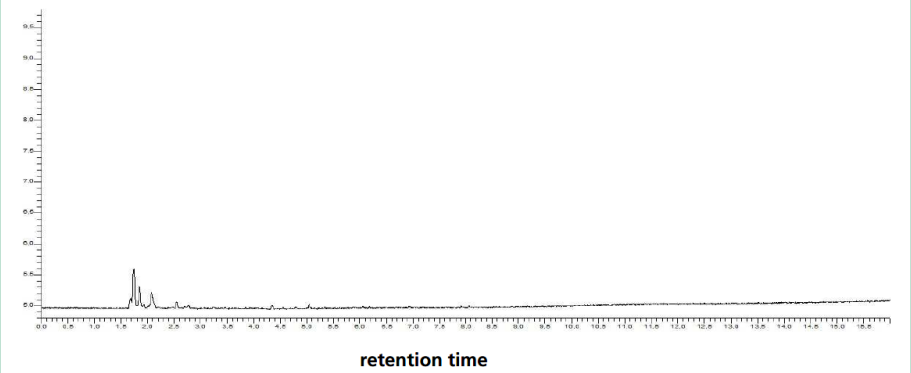
Analyseresultaterne, som er baseret på en headspaceanalyse på gaskromatograf, er vist i FIGUR 19-FIGUR 21.



FIGUR 19. Effekt af reduktion af lugt som funktion af tid (0 timer).



FIGUR 20. Effekt af reduktion af lugt som funktion af tid (7 timer).



FIGUR 21. Effekt af reduktion af lugt som funktion af tid (22 timer).

Der ses en kraftig effekt fra 0-7 timer og næsten ingen effekt fra 7-22 timer.

5.6.5 Fremstilling af affaldssække

Da resultatet af vask og oparbejdning i Østrig var lovende, blev det valgt at benytte regeneratet til fremstilling af affaldssække.

Fremstillingen blev udført ved Trioplast. Forforsøg viste at det var muligt at fremstille folie med op til 50 % regenerat. Ud fra forsøgene vurderedes at det burde være muligt at fremstille sække med op til 50% regenerat, men da der ønskedes en klar sæk, blev det fundet, at der kun kunne tilsættes en regeneratandel på op til 20 % grundet indhold af farvet materiale i regeneratet. Det blev herefter planlagt at tilsætte 20 % indhold af piller fra den oparbejdede husstandsindsamlede folie (regenerat). Anvendelse af en klar sæk medfører, at den kan anvendes ved aflevering af affald på genbrugspladserne. Sækken blev fremstillet i ruller med 10 stk. i hver. Rullerne blev forsynet med en label med information om projektet. Sækkene blev uddelt på Bæredygtighedsfestival i Aalborg den 8. september 2018.

Billede 14
Fremstillede sække (label er vist til højre).

5.6.6 Konklusion

Forsøgene viste, at det var muligt at fremstille et regranulatmateriale af folierne udsorteret fra Reno-Nord. Det var muligt at fremstille farvede affaldssække med op til 50 % regenerat og de viste klare sække med op til 20 % regenerat. Materialet vurderes også at kunne anvendes til produktion af andre plastprodukter end folie, fx ekstruderede produkter.

6. Udviklingsaktiviteter vedrørende sortering og oparbejdning af hård plast fra genbrugspladser

Denne udviklingsaktivitet baserer sig delvist på observationer og konklusioner i forbindelse med karakteriseringen af plast fra genbrugspladser, se afsnit 4.2.

6.1 Udsortering af fokusmaterialer fra genbrugspladser

6.1.1 Baggrund

På genbrugspladser indsamles bl.a. plastemner af hård plast. Disse emner er ofte store emner, der ikke egner sig til placering i dagrenovationen. Plastemnerne udgør en interessant fraktion, da de på grund af deres størrelse repræsenterer en større mængde homogent plastmateriale pr. emne. Normal praksis på udenlandske anlæg er at neddele plastemnerne til flager, der herefter sorteres ved hjælp af gængse metoder. Resultatet er plastflager opdelt efter plasttype, som herefter omsmeltes til granulat.

Gængse plastsorteringsmetoder er ikke i stand til at opdele plastflagerne efter plastens flydeegenskaber. Flydeegenskaberne angives i industrien ud fra måling af smelteindex (MFI)[12]. Plastprodukter fremstilles med brug af en række forskellige fremstillingsprocesser som ekstrudering og sprøjtestøbning. Disse processer har forskellige krav til flydeegenskaberne af plasten, og derfor kan sortering af plast efter fremstillingsmetode benyttes til at opnå plast med særlige smelteegenskaber.

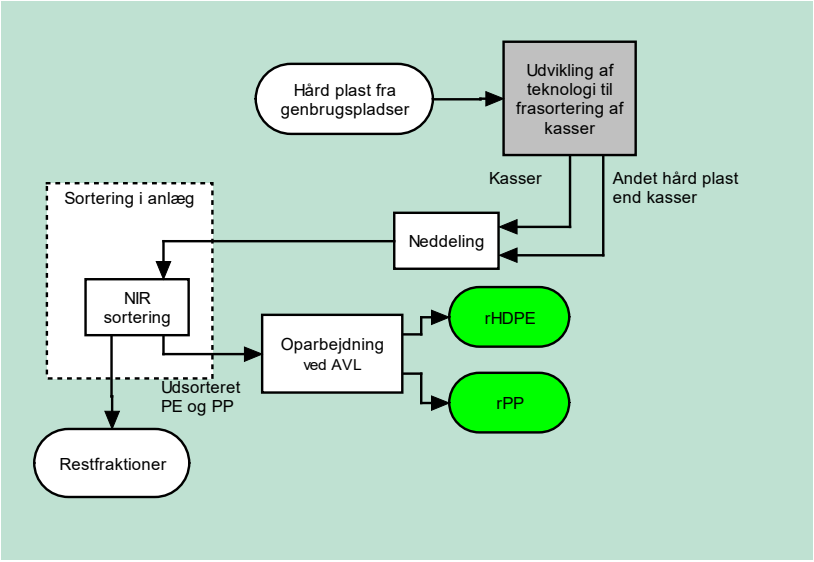
Som en delaktivitet i dette projekt er det forsøgt at opdele plastemner fra genbrugspladser efter flydeegenskaber, således at der opnås en fraktion af sprøjtestøbte plastemner og en restfraktion.

Sprøjtestøbning anvendes ofte til fremstilling af kasser. Denne proces kræver et materiale med veldefinerede egenskaber, og at materialet er så letflydende, at det er i stand til at flyde ud i alle hjørner af den form, som det flydende materiale sprøjtes ind i. For sprøjtestøbte kasser fremstillet i genanvendt HDPE er det især vigtigt med en god udsortering af den sprøjtestøbte plast, da sprøjtestøbning af HDPE-kasser kræver et højt MFI, mens kravene til fremstilling af mange andre HDPE-produkter som fx blæstestøbte dunke/flasker kræver et lavere MFI. Iblanding af for store mængder dunke eller lignende i en fraktion af HDPE-kasser vil således gøre det umuligt at anvende blandingen til sprøjtestøbning.

Udvikling af en metode til at separere polymersorteret plast efter fremstillingsmetode vil således have stor værdi set i et cirkulært perspektiv.

[12] Ved måling af MFI (Melt Flow Index) opvarmes plasten til en given temperatur og udsættes for et konstant tryk, hvorefter plasten strømmer ud af et hul med en vis hastighed. Målingen angiver, hvor mange gram der strømmer ud på fx 10 minutter. MFI er relateret til viskocitet. Det vil sig, at hvis MFI øges, vil den viskocitet, man kunne måle ved den givne temperatur, falde, svarende til at plastvæsken er mere letflydende.

FIGUR 22 viser udviklingsaktiviteten vedrørende frasortering af kasser indsat i det samlede behandlingsforløb (der arbejdes med neddeling, NIR-sortering og oparbejdning i afsnit 6.3.



FIGUR 22. Udvikling af metoder til behandling af plast fra genbrugspladser (aktiviteten er farvet med gråt).

Gennem dataanalyse af 3D-opmålinger er det forsøgt at detektere kasseformede plastemner i en fraktion af plastemner fra genbrugspladser. Hypotesen er, at emner, der kan siges at have en kasseform, i mange tilfælde er fremstillet ved sprøjtestøbning, og derfor er af en plasttype med et højt smelteindex. Kan disse emner frasorteres og granuleres for sig, vil resultatet være et genbrugsplastmateriale af høj værdi, da den kan anvendes til fremstilling af nye, sprøjtestøbte emner. På Billede 15 ses indsamlede sprøjtestøbte plastemner i kasseform, mens Billede 16 viser ikke-kasseformede plastemner (en del af emnerne er sprøjtestøbte).

Billede 15
Sprøjtestøbte plastkasser.

Billede 16
Diverse plastemner, som ikke er kasser.

I dette projekt er der arbejdet med at udvikle en metode til at frasortere kasseformede plastemner. Metoden er udviklet i to aktiviteter. Første aktivitet havde til formål at udvikle og afprøve en metode til at lokalisere kasseformede emner. Anden aktivitet havde til formål at designe et automatisk, mekanisk anlæg, hvor plastemner indføres og opdeles via en mekanisk anordning, efter om emnerne er kasseformede eller ej.

6.1.2 Forsøgsmateriale

Forsøgsmaterialet bestod af to typer: kasseformede emner og øvrige plastemner. I Billede 17 er vist et mindre udsnit af det indsamlede forsøgsmateriale.

Der er indsamlet både kasseformede emner – som antages at være sprøjtestøbte – samt øvrige plastemner med høj varians fra emne til emne, hvilket skulle være repræsentativt for den høje varians af emner, som sorteringsanlægget vil møde.

Billede 17
Udsnit af det indsamlede materiale.

6.1.3 Forsøgsopstilling

For at indsamle 3D-informationer om plastemnerne blev det besluttet at undersøge muligheden for at bruge ToF-kamerateknologien (Time of Flight). ToF-kameraer måler afstande fra kameraet til de emner, der ligger i deres synsfelt, ved at:

1. sende et lyssignal ud
2. måle, hvor lang tid det tager lyssignalet at komme tilbage
3. bruge lysets hastighed til at konvertere tid til afstand.

Ved denne metode kan der genereres både: et 3D-billede (fremtidigt: punktsky) og et 2D-intensitetsbillede af arbejdsområdet (fremtidigt: scenen).

Beskrivelse af forsøg fremgår af Bilag 4.

6.1.4 Konklusion

De præsenterede metoder er kun delvist testede, hvorfor det ikke med sikkerhed vides, om anvendelse af 3D-kameraer til detektion af kasseformede objekter er mulig. Det data, der er opsamlet, er for støjfyldt, hvorfor det ikke kan bruges til udviklingen af en ny algoritme. Der mangler et 'ground truth'-datasæt at verificere algoritmen på. De kameraer, der er anvendt til at opsamle data, har benyttet sig af ToF-teknologi, hvilket har vist sig at være udfordrende ift. teknologiens evne til at genskabe 'skarpe' kanter og flader. På baggrund heraf, og ud fra de forsøg, der er udført, anbefales det, at der bruges mere tid til at undersøge øvrige 3D-teknologier end ToF. Dette kunne eksempelvis være laserskanning. Målet med at undersøge øvrige 3D-teknologier er at finde en teknologi, der bedre kan håndtere flader og kanter. Der er igennem dette projekt blevet udviklet et generisk 3D-ToF-kamera-interface, således at man nemmere kan tilslutte og bruge flere 3D-sensorer sammen. Dette interface tager højde for, at ikke alle kameraerne tager billederne på samme tid, da dette vil resultere i, at de tilsluttede kameraer ville forstyrre hinanden grundet deres udsendelse af infrarødt lys. Herudover er den ene

af de to foreslåede algoritmer blevet implementeret, udelukkende for at visualisere dens princip. Det var ikke muligt inden for projektets rammer at kreere et kontrolleret, simuleret datasæt, hvormed man kunne teste algoritmerne og således beskrive deres nøjagtighed og præcision. Gennem projektet er der opnået erfaringer med ToF-kameraer og med det tilhørende software 3D-API, kaldet PCL. Ud fra begrænsningerne i den undersøgte løsning anbefales det på nuværende tidspunkt ikke at bruge ToF til genskabelse af lige flader og kanter (kasser).

Der kan på baggrund af det gennemførte arbejde foreslås en række fremtidige aktiviteter:

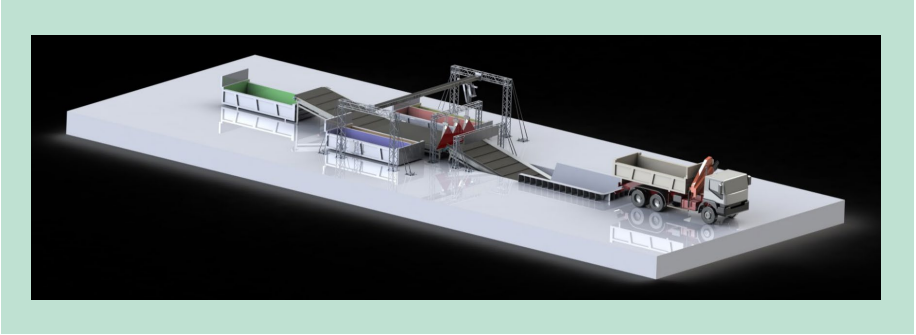
- Der kunne produceres et simuleret datasæt, hvormed man kunne indtænke forskellige udfordringer, som de forskellige algoritmer måtte have.
- 3D-sensorerne skal kalibreres ekstrinsisk, så de får samme referencepunkt. Hermed kan mere komplette scener optages, hvormed 'occlusions' og 'clutter' kan nedsættes.
- Øvrige typer af 3D-sensorer skal testes for deres anvendelighed. Her med specifikt fokus på deres evne til at genskabe tydelige flader og kanter. En interessant type 3D-sensor kunne være laser-linjeskanner, hvormed emnerne skal placeres på et transportbånd, der fører emnerne under denne skanner med en bestemt hastighed.

6.2 Udkast til anlægsdesign

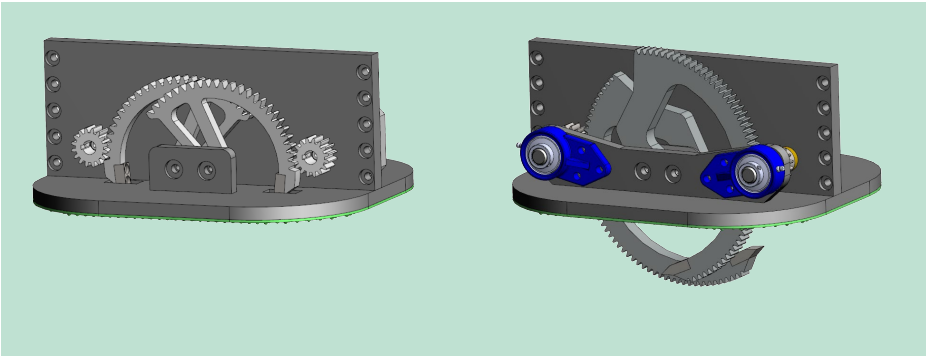
Som angivet i afsnit 6.1 ønskes udviklet en metode til at frasortere plastkasser fra anden hård plast for at opnå en fraktion med et højt smelteindex.

6.2.1 Anlægskonstruktion

Der arbejdes med en løsning, hvor en container tømmes i en grav, hvorefter materialerne langsomt kører op til sorteringspladen, hvorpå en XYZ-portal kører rundt og opsamler delene.



FIGUR 23. Anlægskonstruktion.



FIGUR 24. Gribeværktøj

Gribemekanismen er udtænkt på baggrund af, at materialer, der ønskes opsamlet, gerne må beskadiges. En kasse må altså gerne samles op ved at lave et hul i kassen. Det udnyttes ved

at sænke værktøjet ned på den del, som ønskes opsamlet, Dette skulle gerne give et modhold, da undersiden af værktøjet er vulkaniseret med nubret gummi. Derefter kører klørene ind i materialer, og værktøjet hæves op igen.

Akserne fordeles således på systemet.
X-akse: Transportbåndet benyttes som X-akse og kan stoppes, når det er nødvendigt.
Y-akse: Akse kan køre på tværs over båndet.
Z-akse: Akse kan køre op og ned over båndet.
C-akse: Rotation af værktøjet.

6.2.2 Funktionsbeskrivelse af anlæg

Systemet deles op i fire bånd, fordelt på tre sektioner.

Sektion 1 er graven inklusive skråtstillet bånd op til sektion 2. Der er monteret en aftaster (fx til niveaumåling), der registrerer, om lastbilen har læsset noget ned i graven. Hvis dette er tilfældet, kører båndet i graven hen mod et skråtstillet bånd, Når der registreres emner ved dette bånd, starter båndet. Båndet kører, indtil produkterne er i toppen af båndet.

Hvis sektion 2 er klar til at modtage produkter, tillades det, at båndet kører og dermed afleverer emner til sektion 2. De skråtstillede bånd fra sektion 1 kører langsommere end båndet i sektion 2, hvilket er med til at separere produkterne.

Når kameraerne har detekteret produkter på sektion 2, køres de i position, og båndet stopper. Samtidig er portalen på vej ud for at samle produktet op. Når sektion 2 stopper, er det vigtigt, at sektion 1 også stopper, hvis der er produkter i toppen af det skråtstillede bånd.

Sektion 3 består af et skråtstillet bånd, som transporterer restprodukterne op i containeren for enden af båndet. Restprodukterne er de produkter, som ikke er blevet godkendt, og dermed er frasorteret i denne proces.

6.2.3 Gribeforsøg

Der er fremstillet et simpelt gribeværktøj, se FIGUR 24.

Gribeklør er designet som en halvcirkel, og de kan monteres med et gear på hver side af centerlinjen. Derved vil de to halvcirkler kunne lukke forbi hinanden på en cirkelperiferi.

I forsøg (se Bilag 6) viste materialerne sig at være stærkere end forventet, så der skal på endelig model monteres kraftigere motorer, end de i testen monterede. De monterede motorer er 400 W. pr stk. Der skal i stedet monteres 1100 W-motorer.

I forsøg med kløerne opnåedes i første forsøg en succesrig opsamling af kasseformet emne for fem ud af syv emner. Dog skal det bemærkes, at det anbefales, at den ene klo monteres som en dobbeltklo for at undgå, at emner vil dreje omkring kloen. De to emner, det ikke lykkedes at opsamle, var en stoleryg, hvor materialet var af en tykkelse på 6 mm. Det andet emne var en kasse, som splintrede ved opsamling. Kassen kunne dog opsamles, hvis den blev opsamlet lidt skævt. Ud fra denne observation udledes, at kløernes facon er meget betydende for, om emner risikerer at splintre, når kløerne perforerer emnet, hvorved kassen ikke vil blive opsamlet. Det vurderes, at yderligere optimering af design vil kunne forhøje succesraten for opsamling.

6.2.4 Kapacitetsberegning

Til kapacitetsberegningerne tages der følgende forbehold.

Det antages, at detektionssystemet sender positionskoordinater for placering af kasser på båndet til robotsystemet, således at robotten kan opsamle emnet. Der foretages ikke kontrol af, om robotten reelt får opsamlet kassen.

Der regnes med følgende data

Hastighed X	1	m/s
Hastighed Y	3	m/s
Hastighed Z	2	m/s
Opsamlingstid	3	s
Afleveringstid	1	s

Kørselsmønster for 1 cyklus	**Betydende akse**	**Distance [m]**	**Tid [s]**
Kørsel fra drop position til start position over emne	Y	5,00	2,17
Følg emne over båndet og sænk Z ned til opsamling	Z	2,00	1,50
Opsamlingstid			3,00
Hævning af værktøj	Z	2,00	1,50
Flyt robot til aflevering	Y	5,00	2,17
Aflæsning af produkt			1,00
Total tid			11,33

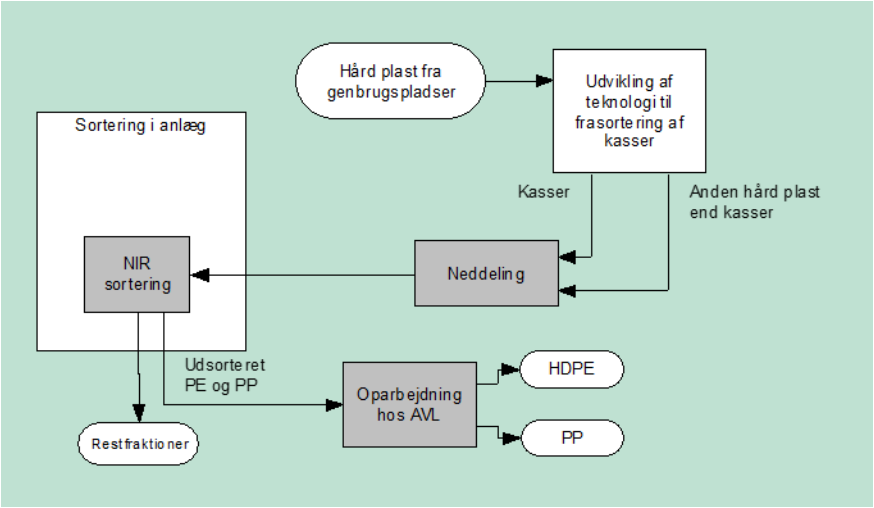
Det medfører en tid på 11,33 sekunder pr. opsamling, hvilket giver en kapacitet på:

$$Antal\ opsamlinger = \frac{60[sek/min]}{11{,}33[sek/opsamling]} = \underline{\underline{5{,}29[opsamling/min]}}$$

6.3 Neddeling og polymersortering ved I/S Reno-Nord samt oparbejdning af plast ved AVL

6.3.1 Baggrund for forsøg

I nærværende forsøg arbejdes med metoder til neddeling af plast fra genbrugspladser, sortering af plasten i PE og PP samt oparbejdning af PE og PP ved AVL - se FIGUR 25.



FIGUR 25. Udviklingsaktiviteter er markeret med gråt.

I afsnit 6.1 er der arbejdet med udvikling af metoder til at udsortere emner, der kan være fremstillet af sprøjtestøbt materiale, da sprøjtestøbt materiale af HDPE vil have et højere smelteindex (MFI) end blandet, hård HDPE-plast. Ved at sortere plast efter smelteindex forventes det,

at der kan opnås regenerat med en højere afsætningsværdi. Det er som eksempel valgt at fokusere på kasser i afsnit 6.1.

6.3.2 Forsøg

Der er arbejdet med udsortering i polymerer og oparbejdning af henholdsvis kasser og emner, der ikke er baseret på kasser.

Der er udført en række forsøg med at udvikle metoder til at behandle plast fra genbrugspladser ved Reno-Nord (en detaljeret beskrivelse af gennemførte forsøg findes i Bilag 6.

I forsøg 1 foretages som vist på FIGUR 25 en udsortering af PE og PP fra henholdsvis kasser og anden hård plast, som efterfølgende oparbejdes ved AVL.

Herudover er der i supplerende forsøg (2 og 3) arbejdet på at mindske tabene ved udsorteringen, samt teste udsorteringen med materiale fra flere kilder.

I første forsøg blev 2.196 kg plast fra genbrugspladser i Jammerbugt Kommune sorteret på Rærup Deponi i kasser af hård plast (120 kg), anden hård plast end kasser (1.560 kg) og fraktioner, som ikke ønskedes behandlet i de efterfølgende forsøg. De fraktioner, der blev frasorteret, var folie, PEX-rør (som ikke kan smelte), emballage med malingsrester og WEEE. Kasser udgjorde således 7,1 % af den hårde plast.

Fraktionen hård plast i form af kasser og anden hård plast blev separat neddelt på Rærup Deponi med en Komptech Terminator 5000 neddeler og efterfølgende sorteret på I/S Reno-Nords sorteringsanlæg.

Neddeleren producerede materiale, hvoraf en del var for stort til at kunne passere sorteringsanlæggets 250 mm skivefilter, hvorfor det blev sendt retur til sorteringsanlæggets egen neddeler, neddelt og genindført i anlægget. I sorteringsforsøgene blev alle udgående fraktioner fra anlægget opsamlet og vejet.

Forsøg 1 Sortering ved Reno-Nord

I forsøg 1 blev der ved kørsel af hård plast, som ikke var kasser, opnået et udbytte på 10,5 % PE og 12,7 % PP svarende til 23 % produkt ved en passage af NIR-sorterne.

En analyse af tabene i anlægget viste, at der blev tabt 23 % materiale i lille skivefilter, hvoraf meget var plastflager, ligesom der var tab af materialer i restfraktionerne fra NIR-sortererne. Restfraktionen indeholdt en stor andel sort plast, som NIR-sortererne ikke kan 'se', samt en del ikke-sort hård plast.

I forsøg 1 var fødebåndshastigheden for høj, og hastigheden kunne ikke reguleres tilstrækkeligt ned. Det var derfor nødvendigt at anvende start/stop af båndet for at begrænse den mængde, der blev tilført NIR-sortererne. Selv med anvendelse af start/stop-metode blev NIR-sortererne overfødet med materiale i store dele af forsøget.

Der blev i forsøg 1 også udført sortering på kasser, og der blev gennemført en ekstra NIR-sortering af PE og PP fra fraktionen plast, der ikke var kasser. Der blev produceret seks produktfraktioner af hård plast med angivet forkortelse i parentes[13]:

- PE, andet end kasser, 1 gang sortering (PE, non KS, 1X)
- PE, andet end kasser, 2 gange sortering (PE, non KS, 2X)
- PP, andet end kasser, 1 gang sortering (PP, non KS, 1X)

[13] Non KS = andet end kasser, 1X = 1 gang sortering, 2X = 2 gange sortering.

- PP, andet end kasser, 2 gange sortering (PP, non KS, 2X)
- PE-kasser, 1 gang sortering (PE, KS, 1X)
- PP-kasser, 1 gang sortering (PP, KS, 2X)

1 gang sortering er udført på følgende vis:

Ved NIR-1, spor 1 skydes på PE og PVC. Denne fraktion sendes til NIR-2, spor 1, hvor der skydes på PE. Restfraktionen fra NIR-1, spor 1 ledes til NIR-1, spor 2.

Ved NIR-2, spor 1 skydes på PP og PET. Denne fraktion sendes til NIR-2, spor 2, hvor der skydes på PP. Der er således skudt på PE og PP 2 gange, men i første trin er de tunge plasttyper PVC og PET inkluderet. Rester af PVC og PET vil efterfølgende blive frasorteret ved densitetsseparationstrinnet hos AVL, når PE- og PP-produkterne oparbejdes.

2 gange sortering betyder, at sorteringen er gentaget.

Der blev efterfølgende foretaget en analyse af sammensætning af plastprodukterne og af restfraktionerne.

Analyserne er foretaget ved at neddele plasten til 10 mm flakes, hvorfra der er udtaget delprøver, som af Teknologisk Institut er analyseret for sammensætning ved brug af FTIR.

Renhed af produktfraktioner er vist i TABEL 17.

TABEL 17. Analyseret renhed af fraktioner i forsøg 1.

Fraktion nr.	Fraktion[13]	PE-%	PP-%	Rest-%
1	PE, non KS, 1X	96,1	0,0	3,8
2	PE, non KS, 2X	93,6	5,4	1,0
3	PP, non KS, 1X	3,2	65,1	31,7
4	PP, non KS, 2X	1,1	95,0	3,9
5	PE, KS, 1X	96,8	1,7	1,5
6	PP, KS, 1X	2,7	96,1	1,2

For hård plast, der ikke var kasser, var renheden af PE høj (fraktion 1 og 2). Det skal bemærkes, at der er en vis usikkerhed på bestemmelsen, da der er tale om analyse af kun 150-200 partikler, hvorfor renheden af PE i fraktion 1 og 2 vurderes at være nogenlunde ens, ca. 95 %, hvor man ville forvente, at renheden i fraktion 2 ville være højere end i fraktion 1. Urenhederne var primært af andet materiale end PE.

Renheden af PP efter 1 gang sortering var lav med 65 % (fraktion 3). Efter 2 gange sortering var renheden af PP høj (fraktion 4).

Renheden af PE og PP fra kasser (fraktion 5 og 6) var begge høje.

Forsøg 2 og forsøg 3. Sortering ved Reno-Nord

Da der i forsøg 1 kun blev opnået et samlet udbytte på 23 % af PE og PP produkter blev det valgt at forsøge at foretage en række tiltag for at opnå et bedre udbytte.

I forsøg 2 og forsøg 3 blev materiale fra henholdsvis Jammerbugt Kommune og AVV neddelt på en neddeler, som skulle kunne producere mindre emnestørrelser (Eldan Superchopper). For at sikre en lavere doseringshastighed blev materialet jævnt doseret manuelt direkte til fødebåndet til NIR-sortererne. Doseringen blev udført ved at skubbe materiale fra en grab lang-

somt over på båndet med brug af skovle. Der var således ikke et tab i anlæggets lille skivefilter. Kasser blev ikke frasorteret i disse forsøg; kun folie og problematiske emner som PEX-rør og WEEE.

De ændrede driftsforhold medførte, at udbyttet af PE og PP fra Jammerbugt Kommune steg fra 23 % til 39 %.

For materialet fra AVV var udbyttet af PE og PP 32 %.

I forsøg 2 og 3 er er der sorteret på følgende vis:

Ved NIR-1, spor 1 skydes på PE. Denne fraktion sendes til NIR-2, spor 1, hvor der skydes på det, der ikke er PE (PP, PET, PS og PVC).

Restfraktionen fra NIR-1, spor1 ledes til NIR-1, spor 2.

Ved NIR-2, spor 1 skydes på PP. Denne fraktion sendes til NIR-2, spor 2, hvor der skydes på det, der ikke er PP (PE, PET, PS og PVC).

Der opstår således følgende fire fraktioner: en PE-fraktion, en PP-fraktion, en restfraktion fra NIR-1 spor 2 og en fælles restfraktion fra NIR-2, spor 1 og spor 2.

I forsøg 2 blev der benyttet en manuel doseringsrate på ca. 3 t/time og i forsøg 3 ca. 0,9 ton/time. Det vurderes, at NIR-sorterne ikke har været overdoseret i forsøg 3.

Der er foretaget en bestemmelse af renheder og udbytte for forsøg 3. Analysen er baseret på en neddeling af hver fraktion til 10 mm flakes ved AVL, udtagning af repræsentative portioner af flakes, som yderligere er neddelt i portioner med riffelsplitter, og endelig FTIR-analyser af 150-200 plastpartikler af hver delprøve fulgt af vejning af hver polymertype.

TABEL 18. Analyseret renhed af fraktioner i forsøg 3.

Fraktion nr.	Fraktion	PE %	PP %	Rest %
1	PE	95,0	1,8	3,2
2	PP	2,8	74,8	22,4

Baseret på analyserne af flakes blev indholdet af sort plast i restfraktionen fra NIR-1 i forsøg 3 bestemt til 46,2 %.

Den samlede andel af sort plast i det tilførte materiale til forsøg 3 er beregnet til 31,3 %.

For forsøg 2 er foretaget et estimat af indholdet af sort plast. Indholdet i sort plast i restfraktionen fra NIR-1 er målt til 56,9 %, og andelen af sort plast er i det tilførte materiale til forsøget estimeret til ca. 34 %.

Der er herefter foretaget en beregning af, hvor stort et udbytte der blev opnået af den del af den hårde plast, der ikke var sort i forsøg 3. Udbyttet var 63,2 % HDPE og 63,3 % PP.

Forsøg 3 viser, at NIR-sorterne opnår en god renhed for HDPE, men en mindre god renhed af PP nogenlunde svarende til den opnåede renhed i forsøg 1 (TABEL 17, fraktion nr. 3). Udbyttet af ikke-sort HDPE og PP er lavt med ca. 63 %. Således var udbyttet ved behandling af husstandsindsamlet plast fra henteordninger ca. 80-85 %. Det lidt lavere udbytte vurderes at skyldes, at NIR-sorterne ikke var optimeret til sortering af hård plast.

Forsøg 1 Oparbejdning af HDPE og PP ved AVL

HDPE- og PP-plasten fra forsøg 1 blev oparbejdet ved AVL. Resultaterne er detaljeret beskrevet i Bilag 6, men nedenfor er resumeret resultater fra måling af smelteindex.

TABEL 19. Målt MFI (Melt Flow Index) i g pr. 10 min ved belastning på 2,16 kg (PP måles ved 230 °C og HDPE er ved 190 °C).

Polymer	Non kasser, 1X	Non kasser, 2X	Kasser, 1X
PP	32	34	29
HDPE	0,16	0,2	1,4

PP-plasten har samme smelteindex for kasser og for materialer der ikke er kasser, mens smelteindex for HDPE er højere for kasser end for materialer, der ikke er kasser.

En analyse af MFI for forskellige farver flakes i HDPE viste, at flakes i ufarvet kvalitet (natural) havde lavt MFI (0,1) mod ca. 4-7 for farvede flakes.

6.3.3 Konklusion

- Udbyttet for den plast, der ikke var sort, blev bestemt for NIR-sortererne til ca. 63 % ved en forholdsvis lav dosering hvilket er noget lavere end forventet. Det skal her bemærkes, at NIR-sortererne er justeret til at sortere husstandsindsamlet plast i henteordning (primært emballager), som har en lavere vægt pr. emne end plastmaterialer fra genbrugspladser, hvorfor der muligvis kræves en justering af dyser eller brug af dyser med kraftigere tryk til en optimal sortering af så forholdsvis tunge emner.
- Indholdet af sort plast var forholdsvis stort med 31,3 % i forsøg 3 (AVV) og ca. 34 % i forsøg 2. Dette medfører et umiddelbart tab af materialer på en tredjedel, da den sorte plast ikke kan ses af NIR-sortererne. Brug af eller udvikling af teknologi til udsortering af sort plast vil således kunne øge udbyttet en del.
- Materialekvaliteten af udvundet HDPE og PP var tilfredsstillende, efter at det var processeret på AVL's testanlæg og efterfølgende laboratorietestet ligeledes ved AVL. På den baggrund er det AVL's opfattelse, at genbrugsmaterialet vil kunne oparbejdes til et højkvalitets materiale, såfremt der opnås tilsvarende renheder.
- og materialet kunne i laboratorieforsøg ved AVL oparbejdes til afsætteligt produkt. AVL vurderer, at plast i denne kvalitet vil kunne processeres på deres anlæg.
- Måling af smelteindex af henholdsvis kasser og ikke-kasser af PP viste som forventet nogenlunde samme smelteindex, hvilket medfører, at der ikke er forbundet fordele med udsortering af PP-kasser.
- Smelteindexet fra det plastmateriale, der ikke var kasser, var så lavt, at produktet primært er egnet til ekstrudering.
- Smelteindexet af kasser af HDPE var ikke tilstrækkeligt højt til, at materiale ville kunne anvendes til en sprøjtestøbning. Dette skyldes formentlig en fejlsortering, hvor der fx er kommet emner fra flaskeblæsning med, hvilket forklarer, at de ufarvede flakes havde et lavt MFI. Analyser tyder på, at hvis der kan udvikles teknologi til at frasortere de uønskede ikke-indfarvede kvaliteter, fx ved brug af farvesensor, kan der produceres en sprøjtestøbekvalitet af HDPE-kasser. Denne kvalitet vil have en øget salgsværdi i forhold til usorteret HDPE.

7. Evaluering

7.1 Afsætningsværdi for plast og metal

I projektet er afsætningsværdien for henholdsvis husstandsindsamlet plast i henteordninger og plast indsamlet via genbrugspladser undersøgt. Ligeledes er der set på afsætningsværdien for jern og metal.

Den husstandsindsamlede plast består typisk af emballage (ofte tyndvæggede emner), mens der i plasten, der er indsamlet via genbrugspladser som hovedregel er tale om større og mere tykvæggede emner.

Dette resulterer typisk i en lavere afsætningspris for husstandsindsamlet plast end for plast fra genbrugspladser.

7.1.1 Husstandsindsamlet plast og metal (henteordning)

På sorteringsanlægget I/S Reno-Nord udsorteres i tre hårde plastfraktioner (PP, HDPE, PET) og i plastfolie (LDPE). Derudover fremkommer der en restfraktion bestående af sort plast, fejlsorteret ikke-sort hård plast samt diverse affald.

Endvidere udsorteres jern og aluminium.

7.1.1.1 Plastmaterialer

P.t. [14] forekommer en positiv afsætningspris på henholdsvis HDPE og PP, mens afsætningsværdien for PET og plastfolie (LDPE) er negativ.

En forudsætning for en stabil afsætning og en positiv afsætningsværdi for HDPE er, at den udsorterede fraktion er fri for folie. Folie i HDPE-fraktionen påvirker prisen negativt, men hvor stor den negative indflydelse af folie i HDPE-fraktionen er, afhænger af det enkelte modtageanlæg. Nogle oparbejdere kan acceptere en større mængde folie end andre.

Med hensyn til afsætningsværdi for de enkelte, udsorterede fraktioner opgøres i det følgende et prismæssigt spænd for projektperioden.

For HDPE-fraktionen har der været tale om et prismæssigt spænd på mellem 750 kr. og 925 kr. pr. ton. For PP-fraktionens vedkommende var det prismæssige spænd fra ca. 225 kr. til ca. 975 kr. pr. ton og for PET-fraktionens var prisspændet fra ca. -1.400 kr. til ca. -900 kr. pr. ton. For foliefraktionen var det prismæssige spænd i forsøgsperioden fra -1.165 kr. til ca. -1.000 kr. pr. ton.

7.1.1.2 Jern og metal

Der er positive afregningspriser på både jern, aluminium og blandet metal. Den højeste afsætningsværdi opnås for aluminium, herefter kommer blandet metal, og jern har den laveste afsætningsværdi.

7.1.2 Plast og metal indsamlet via genbrugspladser

Reno-Nords anlæg er ikke designet til sortering af plast og metal fra genbrugspladser, men der er i projektperioden foretaget forsøg med sortering af denne plastfraktion.

[14] Foråret 2018

Afsætningsværdien for plast fra genbrugspladser er generelt højere end for husstandsindsamlet emballageplast. Afsætningsværdien var i projektperioden ca. 2.000 kr. pr. ton for henholdsvis udsorteret PE og PP.

7.2 NIR-modellering

Der er i projektet foretaget simuleringer af forskellige driftsmåder med NIR-sortererne og mulige fordele ved udbygning med ekstra sorterere. Simuleringerne er fortaget for at kunne vurdere, hvilke driftsmåder der kan forventes at give det største materialeudbytte og renhed af produktfraktionerne. Endvidere kan simuleringerne anvendes i forbindelse med vurdering af indtægter opnået fra udsorterede materialer og driftsøkonomien for NIR-sortererne.

Reno-Nords sorteringsanlæg indeholder to NIR-sorterere, der hver har to spor, idet der er indsat en splitter i hver sorterer. Materialet tilledes NIR-1, spor 1, og restfraktionen fra spor 1 tilledes NIR-1, spor 2. Produktfraktionerne fra Henholdsvis NIR-1, spor 1 og NIR-1, spor 2 ledes til NIR-2, spor 1 og spor 2, hvor der foretages en ekstra oprensning af materialerne. NIR-sorterne kan frit programmeres til at udsortere efter de polymerer, man ønsker.

Ved alle modelleringer er benyttet følgende fælles forudsætninger.

Sammensætningen af tilført materiale til NIR-sortererne er vist TABEL 20. Denne sammensætning er baseret på karakteriseringer fra forsøg 2 (afsnit 5.1) og benyttes i alle modelleringer.

TABEL 20. Sammensætning af materialer tilført NIR-sorterere for alle modelleringer.

Materiale	%
PE	23,1
PET	34,0
PP	17,6
PS	0,7
Sort plast	11,6
Affald	13,0

Modelleringen er ikke afhængig af tilført mængde, da der kun regnes på udbytte og renheder i %.

Der er beregnet korrigerede udbytter og renheder fra forsøg 2, hvor 90 % af de sammensatte materialer fundet i henholdsvis PE- og PP-fraktionen er adderet til de direkte fundne PE- og PP-mængder. Herudover er adderet 90 % af foliematerialet fundet i PE, PP og PET, da sorterne primært udsorterer folie stammende af samme type polymer som den hårde plast, der sorteres efter.

Dette betyder, at modellen tilpasses efter følgende korrigerede renheder og udbytter for forsøg 2:

TABEL 21. Korrigerede renheder og udbytter[15] for forsøg 2 (afsnit 5.1).

Forsøg	Renhed PE %	Renhed PP %	Renhed PET %	Udbytte PE %	Udbytte PP %	Renhed PET %
2	97	92	94,4	86,3	86,5	85,9

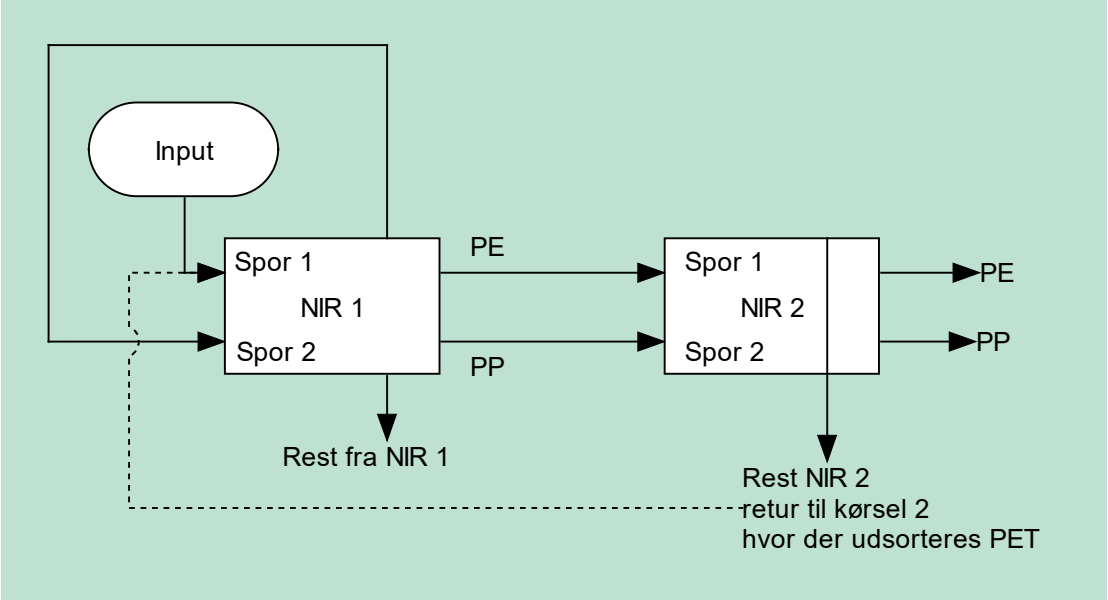
I modellerne indgår en fælles polymersorteringseffektivitet. Herudover indgår en fejlrate for polymerer, der ikke skydes på, samt en fejlrate for affald og sort plast.

Modellering nr. 1 simulerer driftsmåden anvendt ved forsøg 2 (enfamilieboliger Aalborg) i afsnit 5.1 . Modellens parametre er kalibreret til de resultater, der blev opnået for NIR-sortererne i dette forsøg. De følgende modelleringer er baseret på de fittede modelparametre fra modellering nr. 1.

De opnåede resultater kan benyttes til en relativ sammenligning af forskellige sorteringsmåder, men bør ikke anvendes som et endeligt mål for, hvad der kan opnås, da NIR-sortereres effektivitet er meget afhængig af sammensætningen af det modtagne materialeflow og af tilføringshastigheden.

7.2.1 Opstillede modeller

Modellering 1



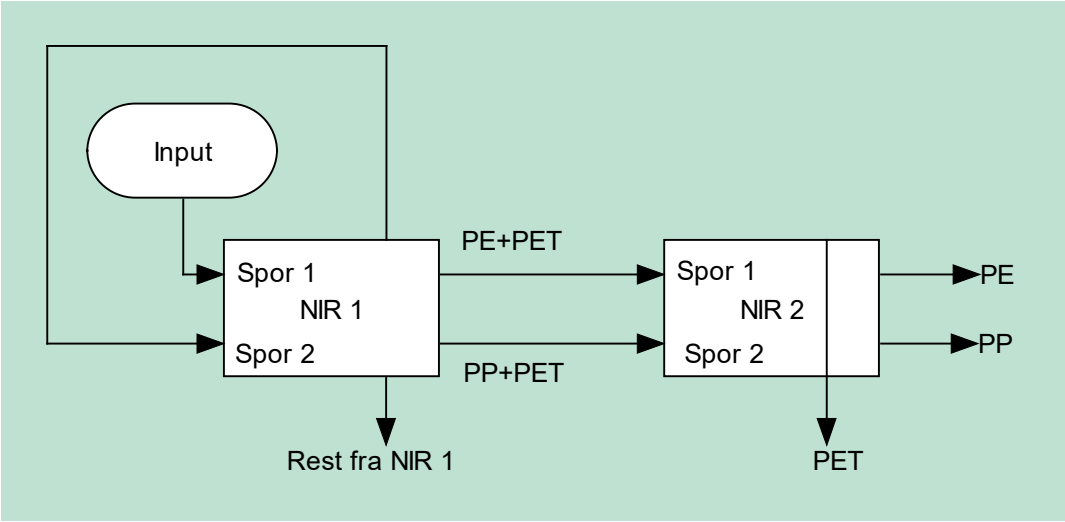
FIGUR 26. Sorteringskredsløb model 1.

I kørsel 1 udsorterer NIR-1, spor 1 PE. NIR-2, spor 1 oprenser PE.

[15] Ved beregningen af renheden og udbyttet af hård PE og PP er det antaget, at udsorteret teknisk plast, som ikke er polymerbestemt, består af 90 % af hovedpolymeren i produktfraktionen. Dette er begrundet i en analyse med FTIR af teknisk/sammensat plast for forsøg 3 (Aalborg Kommune, etageboliger), som viste et PP-indhold på 92 %. Ligeledes tillægges 90 % af folieindholdet, da det ved målinger af sammensætningen af folie er konstateret, at hovedandelen af folie er af den polymertype, der sorteres efter i sorteringsmaskinen. For PET er kun tillagt 90 % af folieindholdet - ikke de sammensatte materialer. Der er samlet tale om et korrigerende estimat, der skal tages med forbehold vedrørende nøjagtigheden.

Restfraktionen fra NIR-1, spor 1 ledes til NIR-1, spor 2, hvor der udsorteres PP. Denne PP oprenses med NIR-2, spor 2. Restfraktionen fra NIR-1, spor 2 sorteres i kørsel 2, hvor PET udsorteres med NIR-1 spor 1 og den udsorterede PET oprenses i NIR-2, spor 1. Der benyttes positiv sortering ved alle udsorteringer.

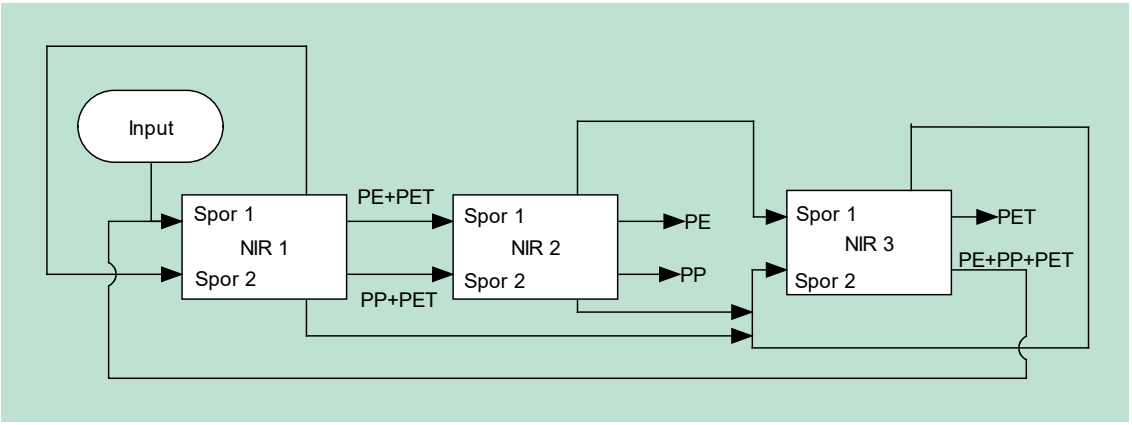
Modellering 2



FIGUR 27. Sorteringskredsløb model 2.

NIR-1, spor 1 udsorterer PE og PET fulgt af oprensning, hvor der kun udsorteres PE. På NIR-1, spor 2 udsorteres PP og PET fulgt af oprensning. hvor der kun udsorteres PP. Restfraktionerne fra NIR-2, spor 1 og spor 2 vil indeholde en PET-fraktion. Der benyttes positiv udsortering ved alle udsorteringer.

Modellering 3



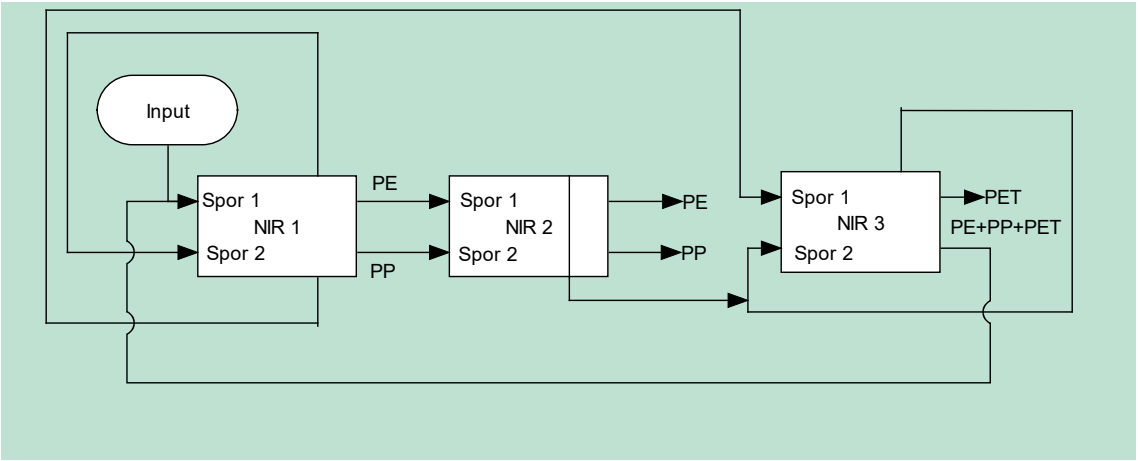
FIGUR 28. Sorteringskredsløb model 3.

Den første del af oparbejdningen svarer til modellering 2.

NIR-1, spor 1 udsorterer PE og PET fulgt af oprensning, hvor der kun udsorteres PE, mens der på NIR-1, spor 2 udsorteres PP og PET fulgt af oprensning, hvor der kun udsorteres PP.

En ekstra, indsat dobbelt NIR-sorterer udsorterer PET i spor 1 og udsorterer PE, PP og PET fra reststrømme fra NIR-sorterne. PE, PP og PET recirkuleres til indgangen af NIR-1, spor 1. Der benyttes positiv udsortering ved alle udsorteringer.

Modellering 4



FIGUR 29. Sorteringskredsløb model 4.

Den første del af oparbejdningen svarer til modellering 1.

Materialerne ledes til NIR-1, spor 1, hvorfra der udsorteres PE. NIR-2, spor 1 udsorterer PE en ekstra gang. Restfraktionen fra NIR-1, spor 1 ledes til NIR-1, spor 2, hvor der udsorteres PP. PP sorteres en ekstra gang med NIR-2, spor 2.

En ekstra, indsat dobbelt NIR-sorterer udsorterer PET i NIR-3, spor 1 og udsorterer PE, PP og PET fra reststrømme fra NIR-sortererne.

Modellering 5
Modelleringen er baseret på princippet i modellering 4, men her benyttes negativ udsortering ved oprensning af PE og PP. Dvs., at der i NIR-2, spor 1 udsorteres materialer, der ikke er PE, og i NIR-2, spor 2 udsorteres materialer, der ikke er PP.

7.2.2 Resultater

I TABEL 22 er vist de beregnede udbytter og renheder for de 5 modelleringer.

TABEL 22. Beregnede udbytter og renheder for de 5 modelleringer.

Model	Renhed PE %	Renhed PP %	Renhed PET %	Udbytte PE %	Udbytte PP %	Udbytte PET %
1	94,2	94,0	97,1	90,5	86,0	81,7
2	88,9	94,0	73,2	90,5	86,0	94,8
3	88,3	93,6	95,6	99,1	98,5	94,4
4	93,2	93,3	87,1	99,1	98,5	99,0
5	98,6	98,7	87,3	99,1	98,5	99,1

Resultaterne viser, at:

- Sortering efter PE i første sorteringstrin giver en højere renhed, end hvis der sorteres samtidig på PE og PET (se resultater for model 1 og 2 samt model 3 og 4).
- Udbyttet kan øges væsentligt ved at foretage recirkulering (model 3, 4 og 5 i forhold til model 1 og 2).
- Negativ sortering i NIR-2 kan øge renheden af det udsorterede materiale (model 5 i forhold til model 4).

- Opnåede resultater i praksis bør følge ovenstående observerede tendenser, hvis man ændrer sorteringskredsløb, men de reelt opnåede renheder og udbytter vil være afhængige af materialesammensætning, partikelstørrelse og doseringshastighed til NIR-sorterne.

7.3 Businesscases

Behandlingsøkonomi og forretningsmodeller rapporteres fælles under businesscases.

7.3.1 Separation af poser fra husstandsindsamlet plast i henteordning

Der er foretaget beregninger til at vurdere en businesscase for fraseparering af poser.

7.3.1.1 Prisestimering

Anlægget vil have en estimeret pris på 2.000.000 kr. uden kamerasystem. Der er afsat penge til at kommunikere med et simpelt interface med kameraet, og det forventes, at kameraet kan levere koordinater til PLC-systemet, og at PLC-systemet kan håndtere en posekø på tre poser. Der er desuden taget udgangspunkt i kapacitetsberegningen beskrevet i afsnit 5.5.2.3.

7.3.1.2 Tilbagebetalingstid

Til beregningerne af anlæggets tilbagebetalingstid er følgende forhold antaget:

- Det forventes, at poserne kommer jævnt fordelt på båndet, samt at mængden af poser stemmer overens med antallet af poser, som portalen kan opsamle.
- Billeddetektionen af poserne med processering af data og beregning og levering af opsamlingspunkter til robotten skal være tilstrækkelig hurtig til, at robotten kan nå at opsamle materialerne (poserne).
- Poserne, som indeholder restaffald, udgør ikke en værdiforøgelse, hvorimod poser med indhold af genanvendelige materialer vil kunne åbnes, og materialerne vil kunne udsorteres i anlægget. Besparelsen ved denne løsning vurderes dog primært at være mandetimer. Reno-Nord har estimeret, at der spares 1 årsværk ved at implementere en robot. Et årsværks værdi estimeres til at være ca. 450.000 kr.

$$Tilbagebetalingstid = \frac{2000000[kr]}{450000[kr/\text{år}]} = 4{,}4[\text{år}]$$

Tilbagebetalingstiden er som sådan acceptabel, men den reelle tilbagebetalingstid vil være højere, da udlæg til kamerasystem ikke er medtaget. Der mangler færdigudvikling af konceptet samt vurdering af alternative løsninger for at kunne foretage en endelig vurdering af økonomien i konceptet.

7.3.2 Separation af kasser

7.3.2.1 Prisestimering

Der forventes en anlægspris på 4.000.000 kroner ekskl. kamerasystem. Det er vurderet, at et kamerasystem til detektion af kasser vil koste ca. 400.000 kr. For at sortere plast ud i polymerer skal der monteres et NIR-kamera eller MIR-kamera på portalen. Der er afsat et beløb på 600.000 kr. til en sådan løsning. Der estimeres således en investering på 5 mio. kr.

7.3.2.2 Beregning af tilbagebetalingstid

Den hårde plast fra containerne på genbrugspladserne afsættes i dag som en blandet plastfraktion til udlandet. Afsætningsprisen på denne fraktion er ca. -1.000 kr. pr. ton.

Ved at udsortere plasten i polymerer vil PP- og HDPE-plast kunne afsættes for ca. 2.000 kr. pr. ton. Hvis man ydermere kan frasortere sprøjtestøbt HDPE-plast, forventes det, at den sprøjtestøbte HDPE vil kunne afsættes for ca. 3.000 kr. pr. ton.
Det vurderes, at sort plast udsorteret i polymerer kan afsættes for mindst 1.000 kr. pr. ton.

Der er foretaget beregninger for to scenarier; dels scenarie 1, hvor anlægget alene skal behandle en plastmængde svarende til mængden fra Jammerbugt Kommune, dels et scenarie 2, hvor 50 % af anlægskapaciteten udnyttes.

Der er i perioden 20/2-2017 til 31/10-2017 (265 dage) modtaget 74 containere med hård plast fra genbrugspladser i Jammerbugt Kommune. Omregnet til antal containere pr. år, giver det 102 containere.

Vægt af hård plast pr. container er sat til 2.000 kg pr. container (i indledende karakteriseringsforsøg (Bilag 2) med plast fra genbrugspladser var der op til 2.140 kg pr. container).

Vægt af HDPE-kasser er sat til 2 kg svarende til en Schulstadbrødkasse, og vægt af anden plast er sat til 5 kg pr. emne.

Anlægget kan udføre 5,29 opsamlinger pr. minut.

Vedrørende sammensætning af de tilførte hårde plastmaterialer er taget udgangspunkt i forsøg 1 (Bilag 6).

I dette forsøg var 5,46 % kasser og 71 % anden hård plast. Herudover var der et indhold på 20 % folier. Da det ikke forventes, at man ved en eventuel fremtidig indsamling vil medtage folier, er der omregnet til sammensætning uden folier. Herved fås 6,8 % kasser og 88,8 % anden hård plast end kasser (de resterende 4,4 % er PEX-rør WEEE og malingsaffald).

Vedrørende fordeling af polymererne HDPE og PP blev der ved sorteringen i forsøg 1 fundet nogenlunde lige store mængder af ikke-sort HDPE og PP både i fraktionen af kasser og i fraktionen, der ikke var kasser. Derfor er indhold af ikke-sort HDPE og PP sat til hver 50 % for kasser.

Indhold af sort plast er i forsøg 2 og 3 bestemt til 31-34 %, og i forsøg 3 er indholdet af ikke-sort PE bestemt til 23,7 % og ikke-sort PP til 19 % inkl. kasser.

I en tidligere undersøgelse (Miljøprojekt 1951, 2017) blev der fundet et nogenlunde lige stort indhold af sort PE og sort PP i den sorte plast. Endvidere bestod ca. 90 % af plasten af PE og PP.

Ud fra ovenstående data fås følgende beregnede indhold af HDPE og PP i hård plast fra genbrugspladser til udgangspunkt for økonomioverslaget:

	%
HDPE-kasser, ikke-sorte	3,4
PP-kasser, ikke-sorte	3,4
HDPE, ikke kasser, ikke-sorte	20,3
PP, ikke kasser, ikke-sorte	15,6
HDPE, sort	15,7
PP, sort	15,7
Sum produkter	70,6
Rest	29,4

Det forudsættes, at systemet til sortering af HDPE- og PP- emner fra genbrugspladser kan udvikles til at udsortere 65 % af plasten, hvilket er sammenligneligt med resultatet fra forsøg 3 for

ikke-sort HDPE og PP udsorteret med NIR-sortering (uden at sorteringsanlægget var optimeret til opgaven).

Ud fra tidligere fundet kapacitet opnås 5,29 opsamlinger pr. min. Det giver et estimeret maksimalt årligt antal picks på:

$$5\left[{}^{picks}/_{min}\right] * 60\left[{}^{min}/_{time}\right] * 8\left[{}^{time}/_{dag}\right] * 216\left[{}^{dag}/_{år}\right] = 518400\left[{}^{picks}/_{år}\right]$$

ved et skift.

Ud fra ovenstående data beregnes følgende indtægter/besparelser for mængder svarende til mængderne fra Jammerbugt Kommune (scenarie 1) samt et scenarie 2, hvor der udnyttes 50 % af anlæggets kapacitet.

	Scenarie 1. kr. pr. år	Scenarie 2. kr. pr. år
HDPE-kasser, ikke-sort	13.572	183.087
PP-kasser, ikke-sort	9.048	122.058
HDPE, ikke kasser, ikke-sort	53.758	725.217
PP, ikke kasser, ikke-sort	41.303	557.192
HDPE, sort	20.737	279.744
PP, sort	20.737	279.744
Sum indtægt ved salg/år	145.582	1.963.955
Besparelse ved undgået afsætning af usorteret plast	93.528	1.261.721
Sum indtægt/år	239.109	3.225.676

	Scenarie 1	Scenarie 2
Belægning %	3,7	49,9
Tilbagebetaling af investering (år)	20,9	1,6

I tilbagebetalingstiden er ikke inkluderet driftsomkostninger til bemanding, el m.m.

Det ses, at en mængde svarende til mængden fra Jammerbugt Kommune (scenarie 1) er for lille til at opnå en tilfredsstillende udnyttelsesgrad på anlægget (3,7 %), hvorfor der opnås en meget høj tilbagebetalingstid.

Ved scenarie 2 opnås en kort tilbagebetalingstid, som indikerer, at der kan være en fornuftig økonomi i at udvikle det beskrevne anlægskoncept. For at kunne færdigudvikle anlægskonceptet mangler udvikling af den endelige kameraløsning til detektion. Derudover skal det udviklede gribeværktøj forbedres, således at det kan gribe emner, uden at emnerne tabes.

Det skal endvidere bemærkes, at der kun er arbejdet med at udvikle detektionssystemer til at genkende kasser i projektet. Der findes en del ikke-kasseformede sprøjtestøbte emner, som anlægget efterfølgende vil kunne udvikles til at genkende og udsortere.

7.3.3 Oparbejdning af folier

Der er foretaget estimater af produktionsomkostninger for oparbejdningsteknologi til fraktionen af store folier med data fra Wiba Tech ApS.

Beregningerne omfatter behandling anlæg til behandling af 1 ton plastfolie pr. time.

Der er vist et estimat for et vaskeanlæg, et anlæg til fremstilling af piller (som det testede) og en enhed til fjernelse af lugt.

TABEL 23. Forudsætninger for beregninger.

Kapacitet t/h	1
Tilbagebetalingstid år	5
Rente %	12
Strømpris kr./kWh	0,75
Vandpris kr./m^3	15
Lønudgift kr./person/time	150

TABEL 24. Vaskeanlæg (Lindner Washtech-anlæg).

Drift	24h (310 dage/år 95 % udnyttelsesgrad)	1 skift (223 dage/år, 75 % udnyttelsesgrad)
Effektive timer/år	7068	1238
Estimerede totale produktions-omkostninger kr./kg tilført	1,3	3,6

Der er ikke medregnet udgifter til vandforbrug og vandrensning i overslaget for vaskeanlægget. Det ses, at behandlingsprisen til rensning af foliematerialer er høj (ca. 4 kr. pr. kg), endda uden omkostninger til vand/vandrensning, hvis der kun benyttes et skift pr. dag. Der bør derfor skaffes materialer til at kunne operere i flere skift, hvis etablering af vaskeanlæg skal være rentabel.

TABEL 25. Anlæg til fremstilling af piller, Intarema 1512 TVE plus.

	Fremstilling af piller	
Drift	24h (350 dage/år, 95% udnyttelsesgrad)	1 skift (223 dage/år 75% udnyttelsesgrad)
Effektive timer/år	7.980	1.238
Estimerede totale produktionsomkostninger kr./kg tilført	0,83	2,3

TABEL 26. Meromkostning til anlæg til lugtfjernelse (refresheranlæg).

Anlæg	**Lugtfjerner**	**Lugtfjerner**
Drift	24h (350 dage/år, 95 % udnyttelsesgrad)	1 skift (223 dage/år 75 % udnyttelsesgrad)
Effektive timer/år	7.980	1.238
Estimerede totale produktions-omkostninger kr./kg tilført	0,31	1,28

Et anlæg til lugtfjernelse vurderes ikke at være nødvendigt til fremstilling af emner som affaldssække fra de store folier fra Reno-Nord. Om et lugtfjernelsesanlæg er nødvendigt, vil dog være afhængigt af vaskeeffektiviteten af vaskeanlægget. Derimod kan et lugtfjernelsesanlæg være særdeles relevant til behandling af plast til indendørs brug (fx til fremstilling af HDPE-op-

bevaringskasser el.lign.), fx hvis plasten har indeholdt rengøringsmidler, shampoo eller lignende med parfumestoffer eller andre duftstoffer, som kan være vanskelige at fjerne ved vask. Sådanne emballageemner er typisk fremstillet i HDPE.

Den samlede produktionsomkostning til vask og oparbejdning til piller er ca. 2,1 kr. pr. kg ved 24 timers drift (ekskl. vandforbrug og udgift til vandrensning for vaskeproces) og omkring 6 kr. pr. kg ved drift i et skift. Salgspris for producerede piller minus indkøbspris skal således være mindre end produktionsomkostningerne, for at produktionen giver overskud, hvilket vurderes at kræve, at der arbejdes i flere skift, så anlæggenes kapacitet udnyttes maksimalt. Det skal her bemærkes, at oparbejdningsomkostningerne for folie vil være væsentligt højere end omkostningerne til oparbejdning af materialer med højere densitet, såsom husstandsindsamlet hård plast og plast fra genbrugspladser.

Bilag 1. Affaldskarakterisering af plast og metal indsamlet i henteordning samt plast fra genbrugspladser

Bilag 1.1 Baggrund for gennemførelse af affaldskarakterisering

For at kunne planlægge og udføre udviklingsaktiviteterne i projektet blev der som nævnt i kapitel 2 foretaget detaljerede sorteringer af det plast- og metalaffald, som forventedes at skulle behandles på sorteringsanlægget ved IS Reno-Nord (herefter benævnt Reno-Nord).

Disse sorteringer omfattede dels plast og metal fra husstandsindsamling i en henteordning, dels plast fra genbrugspladser i Nordjylland.

Bilag 1.2 Karakterisering af husstandsindsamlet blandet plast og metal

I april 2016 blev der gennemført en affaldskarakterisering af henholdsvis en husstandsindsamlet plastfraktion fra Aalborg Kommune (indsamlet fra både enfamilieboliger og etageboliger) og en blandet plast- og metalfraktion fra Hjørring Kommune og Mariagerfjord Kommune (alle indsamlinger som henteordninger).

Hjørring Kommune

Den indsamlede fraktion fra Hjørring Kommune består af plast og metal.

Indsamlingen af plast og metal fra husholdninger gennemføres som forsøg. Forsøgsområdet omfatter 1.000 husstande i Vrå.

Opsamlingsmateriel og sorteringskriterier

Den enkelte husstand er forsynet med 2 stk. 2-delte beholdere.

I den ene 2-delte beholder placeres organisk affald og restaffald, og i den anden 2-delte beholder placeres papir/karton og plast-/metalemballager.

Den 2-delte beholder med henholdsvis organisk affald og restaffald tømmes hver 2. uge, mens den 2-delte beholder med henholdsvis papir/karton og plast-/metalemballager tømmes hver 4. uge.

Beholdermateriel til etageboliger tilpasses den enkelte bebyggelse.
I det følgende er der alene fokuseret på fraktionen bestående af plast og metal.

Sorteringskriterierne[16] for hård plast og metal er:

- Hård plastemballage

[16] http://www.hjoerring.dk/media/2732/v3_a4_sorteringsguide_hjk.pdf

- Konservesdåser
- Øl- og sodavandsdåser
- Stanniol/sølvpapir
- Metal og plast fra drikkevarer
- Andet småt metal
- Kødbakker
- Plastservice
- Gryder og pander
- Knive og sakse
- Søm og skruer.

Ud over hård plastemballage og plastservice må blødt plast placeres i fraktionen, såfremt den bløde plast er samlet i klare plastposer. 300 husstande har fået udleveret en beholder med en 4-litersplastpose til opsamling af blød plast/plastfolie.

Der gøres i sorteringskriterierne opmærksom på, at materialer skal være rene, og at de bortset fra blød plast ikke må være lagt i poser. Endvidere gøres der i sorteringskriterierne opmærksom på, at der i fraktionen ikke må placeres:
- Tynd/blød plast
- Plastfilm
- Poser fra kaffe og frostvarer
- Emballage fra kemikalier
- Trykbeholdere, fx deodoranter
- Regntøj og gummistøvler.

Beskrivelse af det område, som den indsamlede fraktion til affaldskarakterisering stammer fra

Området omfatter i alt 268 husstande. Der er primært tale om enfamilieboliger med eget opsamlingsmateriel (primært ejerboliger). Derudover er der enkelte landejendomme (2-3 %) og enkelte ældre udlejningshuse (ligeledes 2-3 %).

For de 191 af de i alt 268 husstande, der er omfattet af affaldskarakteriseringen, udgør den gennemsnitlige husstandsstørrelse 2,42 personer. Husstandsstørrelserne spænder fra 1-personershusstande til en enkelt husstand med ni personer.

Indsamlede mængder

Opgørelse fra Affaldsselskab Vendsyssel Vest (AVV) i perioden primo december 2015 til medio februar 2016 viser, at der indsamles i gennemsnit 0,6 kg plast og metal pr. husstand pr. uge.

Sorteringer gennemført af AVV viser, at den indsamlede fraktion består af:

• Jern	14 %
• Aluminium	8 %
• Folie	6 %
• PET	9 %
• Anden hård plast	43 %
• Fejlsorteret[17]	21 %

Andelen af affald i den indsamlede fraktion svinger i perioden fra 6 % til 23 %.

[17] Papir (5 %), pap (2 %), elektronik (2 %), glas (2 %) og affald (10 %).

Opgørelser af den indsamlede folie viser, at 64 % er placeret i klare poser og 36 % i farvede poser. 33 % af plastfolie i poser vurderes af AVV til at være komprimeret i husstanden i en beholder med en 4-litersplastpose til opsamling af blød plast/plastfolie. Ca. 90 % af poserne var lukkede, og der var i perioden medio december 2015 til medio februar 2016 i gennemsnit 0,160 kg folie pr. pose.

Mariagerfjord Kommune

Den indsamlede fraktion fra Mariagerfjord Kommune bestod af plast og metal. Hele kommunen er omfattet af indsamlingsordningen.

Opsamlingsmateriel og sorteringskriterier

Den enkelte husstand i enfamilieshus er forsynet med to beholdere. En beholder til restaffald og en 2-delt beholder til genanvendelige materialer (kaldet genbrugsbeholderen).

Den 2-delte beholder anvendes til henholdsvis metal og hård plast i det ene rum og til småt pap og papir i det andet rum.

Den 2-delte beholder tømmes én gang pr. måned.

Beholdermateriel til etageboliger tilpasses den enkelte bebyggelse.

I det følgende er der alene fokuseret på fraktionen bestående af metal og hård plast.

Sorteringskriterierne[18] for hård plast og metal er:

- Plastflasker og -dunke
- Plastbøtter fra fx is
- Plastbakker fra fx druer eller æg
- Plast, som man kan tromme på
- Konservesdåser
- Øl- og sodavandsdåser
- Søm, gryder og andet småt metal uden ledning/batteri.

Der gøres i informationsmaterialet opmærksom på, at materialer skal være tomme, skyllede og uden rester af mad og rengøringsmidler.

Der gøres endvidere opmærksom på, at sorteringskriterierne kun omfatter hård plast, ”dvs. plast, som man kan tromme på. Kan du slå knude på plasten, skal den afleveres som restaffald”. Fra ultimo juni 2016 blev der imidlertid åbnet op for, at også blød plast kunne placeres i fraktionen plast og metal. Blød plast/folie er således herefter også omfattet af sorteringskriterierne.

Beskrivelse af det område, som den indsamlede fraktion til affaldskarakterisering stammer fra

Området omfatter i alt 217 husstande. Der er udelukkende tale om enfamilieboliger med eget opsamlingsmateriel.

Ved tømningen af beholdere blev der registreret 17 helt tomme beholdere. Det er vurderet af Mariagerfjord Kommune, at ca. 10 beholdere tilhører husstande, der ikke sorterer, og syv beholdere står ved enfamilieboliger, der står tomme.

Renovatøren har udtalt, at beholderne var mellem ½- og ¾-fulde ved tømning.

[18] Mariagerfjord-Affaldsguide-2015

Aalborg Kommune

Den indsamlede fraktion fra Aalborg Kommune bestod alene af en plastfraktion (metal blev indsamlet i en selvstændig beholder).

Forsøgsområdet i Aalborg Kommune bestod af 624 husstande.

Opsamlingsmateriel og sorteringskriterier

Den enkelte husstand i enfamilieboliger i forsøgsområdet var forsynet med en sæk til restaffald, en beholder til plast, en beholder til metal samt en beholder til papir og pap. Desuden kunne husstandene aflevere elpærer, minielektronik og batterier.

Fra oktober 2016 blev opsamlingsmateriellet ændret til en sæk til restaffald (blev i 2017 ændret til en beholder), en 2-delt beholder til henholdsvis papir/pap og plast/metal samt en krog til en beholder udleveret til elpærer, minielektronik og batterier. Derudover fik husstandene mulighed for at anvende den beholder, der tidligere blev anvendt til papir og pap, til haveaffald.

I det følgende er der alene fokuseret på plastfraktionen.

Sorteringskriterierne for plast er defineret som:

- Drikkeflasker
- Beholdere til shampoo og balsam
- Beholdere til rengørings- og vaskemidler
- Bøtter, bægre, dunke og små spande
- Plastbakker fra kød og grønt
- Urtepotter
- Diverse plastfolier og plastposer, dog ikke folier brugt omkring fx leverpostej
- Legetøj.

Alle deltagere i forsøget har fået udleveret en beholder med en 4-litersplastpose til opsamling af blød plast/plastfolie. Blød plast/plastfolie er defineret som:

- Den plast, du kan binde knude på, fx:
  - Posen omkring brød
  - Posen omkring frugt og grønt
  - Poser fra slik
  - Plastemballage omkring køkkenruller og toiletpapir
  - Plasten omkring nudler, ris eller lignende
  - Fryseposer og andre plastposer.

Der gøres i informationsmaterialet opmærksom på, at materialerne skal være rene og drypfrie.

Beskrivelse af det område, som den indsamlede fraktion til affaldskarakterisering stammer fra

Affaldskarakteriseringen omfatter to områder i Aalborg Kommune. Dels et område med 444 boliger (primært enfamilieboliger), dels et etageboligområde med 146 husstande - i alt 590 husstande.

Området med de 444 husstande består primært af enfamilieboliger, men området omfatter også to mindre etageboligblokke og nogle rækkehuse. Der er tale om et roligt villakvarter med en befolkning, der er sammensat af personer i alderen:

60+ ~ 20 %
40+ ~ 28 %
20+ ~ 24 %
10+ ~ 14 %
0+ ~ 13 %

Området med de 146 husstande består af tæt-lav bebyggelse med lejligheder i forskellige størrelser og med en meget varieret sammensætning af beboere, der kommer fra hele verden. 24 af de 146 boliger er ungdomsboliger. Området ligger tæt på Aalborg Universitet.

For området generelt er der tale om en befolkning, der er sammensat af personer i alderen:
60+ ~ 17 %
40+ ~ 23 %
20+ ~ 37 %
10+ ~ 11 %
0+ ~ 12 %

Indsamlede mængder

Opgørelse fra Aalborg Kommune i perioden september 2013 til december 2015 viser, at der blev indsamlet i gennemsnit 9,5 kg plast pr. husstand pr. år, svarende til 0,183 kg pr. husstand pr. uge.

Sorteringer gennemført af Aalborg Kommune viser[19], at den indsamlede fraktion i gennemsnit består af:

- LDPE-folie 18 %
- HDPE-dunkemix 20 %
- PP-bakker og -spande 10 %
- PP-urtepotter 6 %
- PET-flasker og -bakker 7 %
- PS-blomsterbakker 5 %
- Blød PVC 1 %
- Småt elektronik 1 %
- Affald 32 %

Forkortelserne for polymerer ovenfor betyder:
LDPE: Low density polyethylen
HDPE: High density polyethylen
PP: Polypropylen
PET: Polyethenlentereftalat
PS: Polystyren
PVC: Polyvinylklorid

Opgørelser af den indsamlede folie viste, at 60 % var farvet folie, og 40 % var klar folie.

Fraktionen HDPE-dunkemix består bl.a. af vaskemiddeldunke, dunke til sprinklervæske og dunke til rengøringsmidler (ekskl. klorin).

Fraktionen PP-bakker og -spande består bl.a. af kødbakker og isbøtter.

Fraktionen PET-flasker og -bakker består fx af flasker til vand, sodavand og juice, dunke til rengøringsmidler og frugtbakker.

[19] Data fra Aalborg Kommune modtaget januar 2016.

I fraktionen Blød PVC ses bl.a. haveslanger, legetøj og luftmadrasser.

Fraktionen affald består bl.a. af produkter/materialer forurenet med madvarer.

33 % af plastfolie i poser vurderes af AVV at være komprimeret i en beholder med en 4-liters-plastpose til opsamling af blød plast/plastfolie. Ca. 90 % af poserne var lukkede, og der var i perioden medio december 2015 til medio februar 2016 i gennemsnit 0,160 kg folie pr. pose.

Bilag 1.3 Opsummering af sorteringskriterier for de tre kommuner

TABEL 27. Sorteringskriterier

Kommune	Sorteringskriterier	Bemærkninger
Hjørring Kommune Hård plast og metal	Hård plastemballage Kødbakker Plastservice Konservesdåser Øl- og sodavandsdåser Stanniol/sølvpapir Metal og plast fra drikkevarer Andet småt metal Gryder og pander Knive og sakse Søm og skruer	Ud over hård plastemballage må blød plast placeres i fraktionen, såfremt den bløde plast er samlet i klare plastposer. 300 husstande har fået udleveret en beholder med en 4-litersplastpose til opsamling af blød plast/plastfolie.
Mariagerfjord Kommune Hård plast og metal	Plastflasker og –dunke Plastbøtter fra fx is Plastbakker fra fx druer eller æg Plast, som man kan tromme på Konservesdåser Øl- og sodavandsdåser Søm, gryder og andet småt metal uden ledning/batteri	Materialerne skal være tomme, skyllede og uden rester af mad og rengøringsmidler. Sorteringskriterierne omfatter kun hård plast. Fra ultimo juni 2016 blev der åbnet op for, at også blød plast kan placeres i fraktionen plast og metal.
Aalborg Kommune Plast (metal indsamles i separat beholder)	Drikkeflasker Beholdere, som er brugt til shampoo og balsam Beholdere, som er brugt til rengørings- og vaskemidler Bøtter, bægre, dunke og små spande Plastbakker fra kød og grønt Urtepotter Diverse plastfolier og plastposer, dog ikke folier brugt omkring fx leverpostej Legetøj.	Alle deltagere i forsøget har fået udleveret en beholder med en 4-litersplastpose til opsamling af blød plast/plastfolie.

Plastfolie
Som det fremgår af TABEL 27 , omfatter sorteringskriterierne både i forsøgsområdet i Hjørring Kommune og i forsøgsområdet i Aalborg Kommune plastfolie/blød plast.

I Hjørring Kommune skal den bløde plast være emballeret i klare plastposer. I Aalborg Kommune er der ikke krav til emballering af plastfolierne/den bløde plast.

I Mariagerfjord Kommune omfattede sorteringskriterierne på tidspunktet for karakteriseringen ikke plastfolie. Fra ultimo juni 2016 er plastfolie/blød plast omfattet af sorteringskriterierne i kommunen.

Hård plast
Som det fremgår af tabel x omhandler sorteringskriterierne for hård plast i forsøgsområdet i Hjørring Kommune ud over plastemballage også plastservice.

I Mariagerfjord Kommune er hård plast defineret som ”plast, man kan tromme på”.

I forsøgsområdet i Aalborg Kommune er den hårde plast defineret som plastemballager fra fødevarer, personlige plejemidler og rengøringsmidler, urtepotter og legetøj.

Karakteriseringer

Resultater for Hjørring Kommune
Den tilførte mængde ved karakteriseringen udgjorde i alt 474,2 kg svarende til 0,44 kg pr. husstand pr. uge. Denne mængde fordelte sig med 47,1 % plast, 33,6 % metal (inkl. WEEE) og 19,3 % affald[20], hvilket medfører en plastmængde på 0,21 kg pr. husstand pr. uge.

Plast
I TABEL 28 og på FIGUR 30 er vist sammensætningen af plastfraktionen inkl. affald fra den samlede tilførte mængde plast og metal. Det skal bemærkes, at plastflager, som er mindre end ca. 2 cm x (2-4) cm, indgår som affald, idet plastflager i dimensioner herunder forventes at blive frasigtet på det kommende anlæg ved IS Reno-Nord.

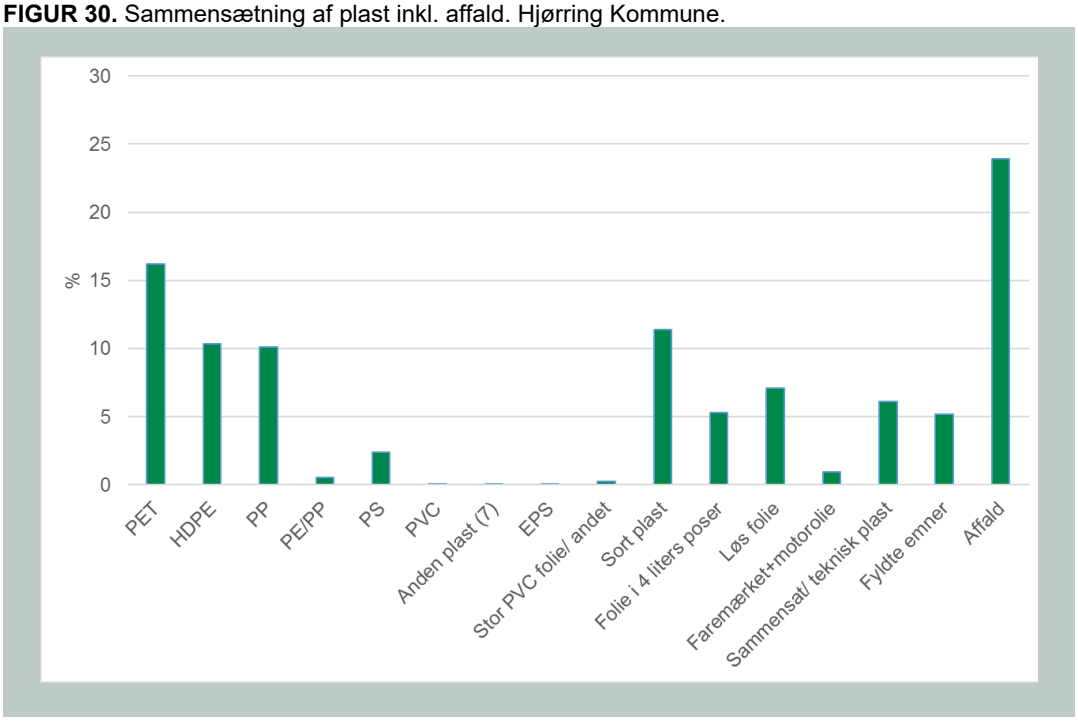
TABEL 28. Sammensætning af plast samt affald for forsøgsområdet i Hjørring Kommune.

Type	% (vægtbaseret)
PET	16,23
HDPE	10,33
PP	10,14
PE/PP	0,54
PS	2,41
PVC	0,03
Anden plast	0,05
EPS (flamingo)	0,02
Store folier	0,25
Sort plast	11,41
Folie i 4-litersplastposer	5,29
Løs folie	7,09

[20] I opgørelsen af affaldsandelen (19,3%) indgår emballager med indhold.

Faremærket + motorolie	0,96
Sammensat/teknisk plast	6,12
Emballager med indhold	5,22
Affald	23,92
I alt	100

FIGUR 30. Sammensætning af plast inkl. affald. Hjørring Kommune.



Som det fremgår af TABEL 28, udgør sort plast 11,4 % af den samlede plastmængde.

For ikke-sorte emner/materialer udgør PET den største andel med godt 16 %, mens HDPE og PP hver udgør godt 10 %. PS udgør godt 2 %.

Andelen af folie (ekskl. store folier) udgør godt 12 %. Folien fordeler sig med løs folie på ca. 7 % og folie indsamlet via en beholder med en 4-litersplastpose til opsamling af blød plast/plastfolie på ca. 5 %. Samlet er folien fordelt med 59 % løs folie og 41 % indsamlet via de 4-litersplastposer, der anvendes til opsamling af blød plast/plastfolie.

Andelen af affald udgør ca. 24 %. Til denne andel kan evt. lægges andelen af emballager med indhold på godt 5 %, idet hovedparten af emballagens vægt udgøres af indholdet, hvorfor emballager med indhold må betegnes som affald.

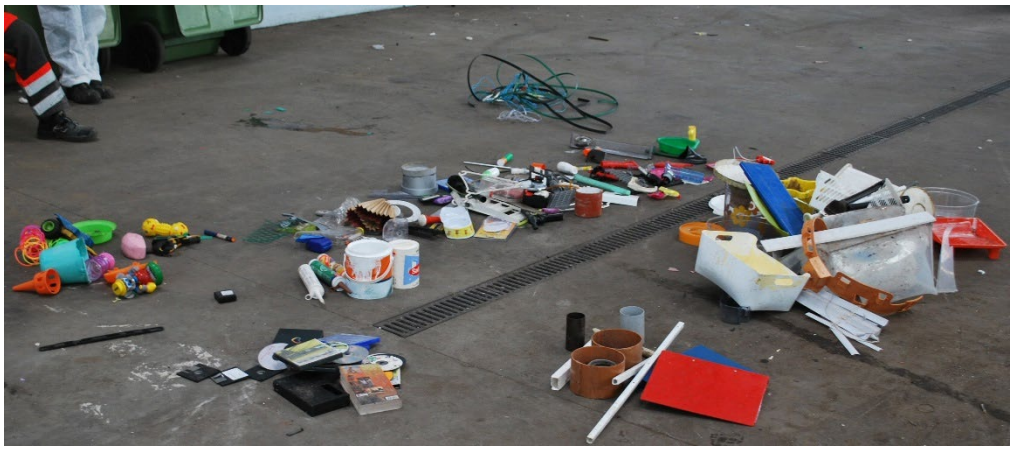
Den hårde, ikke-sorte plast kan behandles og udsorteres i anlægget via NIR-sorterere. NIR-sortererne kan dog ikke udsortere den sorte plast, der vil passere NIR-sortererne og ende i en restfraktion sammen med anden plast, som anlægget ikke udsorterer. Restfraktionen kan herefter sendes til behandling på fx et eksternt anlæg.

Hård plast, som kan være sværtgenanvendeligt eller kræve frasortering
I det følgende er vist fotos af de fraktioner af hård plast, som det kan være nødvendigt at fjerne dele af i forsorteringen på det kommende anlæg ved Reno-Nord - enten manuelt eller maskinelt.

På Billede 18 er vist faremærkede emballager og emballager anvendt til motorolie. Emballagerne omfatter ætsende syrer (herunder en emballage nederst til højre på billedet med rester af 96 % svovlsyre til påfyldning på blybatteri), afløbsrens, baser (kaustisk soda), sprøjtemidler som fx Roundup og insektmidler, opløsningsmidler som sprit og rensebenzin, klorin (som kan danne klorgas ved kontakt med syre) og emballager til motorolie.

Billede 18
Faremærkede produkter/produkter med motorolie. Hjørring Kommune.

Af Billede 19 fremgår forskellige sammensatte produkter/tekniske produkter. Der er tale om fx legetøj med forskellige plastdele og/eller hjul af metal, videobånd og DVD'er samt kassetter til disse. Endvidere ses malerbøtter med malingsrester, fugemassesprøjter med rester af silikone, byggekomponenter, som PVC-rør og afskærmning til elinstallationer. Derudover ses diverse kasser, bakker til maling, plaststrips til paller og en række smådele.



Billede 19
Sammensatte emner/tekniske produkter. Hjørring Kommune.

På Billede 20 er vist et udsnit af teknisk/sammensat plast, som viser indhold af disketter, bøjler, diverse riste, sandsynligvis fra opvaskemaskine, havevander, lampeskærm, lighter, cykelpumpe, låg fra fødevarebeholdere med to typer plast, emballage med ubrugte plastdele til elektronik, toiletbørste etc.

Billede 20
Sammensatte emner (mindre emner detailbillede). Hjørring Kommune.

Plast af specielle polymerer

I den sorterede fraktion bestående af blandet plast og metal indgår også materialer af specielle polymerer, som formentlig udgør en så lille mængde, at de ikke vil blive polymersorterede på det kommende anlæg. Materialerne vil ende i en restfraktion sammen med anden plast, som anlægget ikke udsorterer. Restfraktionen kan herefter sendes til behandling på fx et eksternt anlæg.

På Billede 21 er vist et eksempel på en klar, sprød plast, formentlig af typen SAN, som fx anvendes til indsatser i køleskabe m.m.

Billede 21
Klar, sprød plast, formentlig af typen SAN. Hjørring Kommune.

Ligeledes findes mindre mængder PVC i form af hårde emballager til tekniske produkter, hårde emballager til slik og blød plast, formentlig med blødgørere. Eksempler på disse emballager fremgår af Billede 22. Emnerne er identificeret ved brug af Beilsteintest[21].

Billede 22
Emballage af PVC. Hjørring Kommune.

Emballage med indhold eller emballage, som er tilsmudset

[21] Ved en Beilsteintest opvarmes en kobbertråd i en gasflamme. Der smeltes lidt plast fra prøven med kobbertråden, og ved genindføring i flammen viser en grøn flamme, at der har været klor i prøven. Heraf kan det udledes, at plastprøven er fremstillet af PVC, da andre normaltforekommende hårde plasttyper ikke indeholder klor.

Emballager med indhold kan være problematiske, hvis de er forurenet med fødevarerester, som kan indeholde skadelige mikroorganismer, eller hvis de har indhold af farlige kemikalier, maling m.m.

De registrerede emballager med indhold fra forsøgsområdet i Hjørring Kommune udgjorde mere end 5 %. Den høje procentandel skyldes indholdet af fødevarer etc.

På Billede 23 er vist emballager med en mindre mængde indhold eller med et indhold, som kan "svuppe/skvulpe", når man ryster emballagen. Der er dog i alle tilfælde tale om et tydeligt lag fødevareforurening.

Billede 23
Emballager med indhold. Hjørring Kommune.

På Billede 24 er vist emballage med større mængder indhold. Fx en uåbnet fødevarevareem-ballage med 500 g hakkekød, en halv leverpostej, en uåbnet fløderand, en halv bøtte sauce/marinade, plastflasker med større mængder dressing og drikkevarer, halvfyldte yoghurt-bøtter, salat- og smøreostbægre med fødevarerester og ½ liter mælk.

Billede 24
Emballager med større mængder fødevarerester. Hjørring Kommune.

Blød plast i form af store folier

I den sorterede fraktion indgår også store folier. På Billede 25 er vist eksempler som voksdug, badeforhæng o.l. Disse emner vil på sorteringsanlægget kunne lægge sig hen over andet materiale og dermed forhindre frasortering af underliggende materialer. Det kan derfor være nødvendigt at fjerne disse materialer i sorteringskabinen på anlægget. Alternativt kan sådanne store folier passere sorteringssigten (>300 mm) på anlægget; men dette løser ikke umiddelbart problematikken med mindre emner, som ønskes udsorteret, inden de ledes til sorteringsenhederne på anlægget.

Billede 25
Badeforhæng, voksdug og lignende kraftig folie. Hjørring Kommune.

Metal

Sammensætningen af metal fremgår af TABEL 29. I tabellen er medtaget WEEE (elektrisk og elektronisk affald), hvori der udover metaller i printkort samt ledninger indgår plast i konstruktionen. Plasten kan være flammehæmmet, hvis elektronikken producerer varme.

TABEL 29. Sammensætning af metal for forsøgsområdet i Hjørring Kommune.

Type	% (vægtbaseret)
Jern	73,2
Aluminium	20,4
Rustfrit stål	1,6
WEEE	4,1
Blisterpakning med alufolie til medicin	0,1
Bly (inddækning)	0,6
I alt	100

Som det ses af TABEL 29, består fraktionen hovedsageligt af jern (73 %) og aluminium (20 %).

41,5 % af jernet var store emner, og 58,5 % var mindre emner, fx dåser. På Billede 26 ses eksempler på det frasorterede jern.

Billede 26
Udsorteredе jernemner. Herunder et 1 m langt, kraftigt jernrør. Hjørring Kommune.

På Billede 27 ses WEEE i metalfraktionen. Fx DVD-afspiller, småelektronik med display og printkort, elkedel, hovedtelefoner og diverse ledninger.

Billede 27
WEEE i metalfraktionen. Hjørring Kommune.

Resultater for Mariagerfjord Kommune

Sorteringskriterierne for fraktionen fra Mariagerfjord Kommune omhandler plast og metal.

Ved karakteriseringen udgjorde den tilførte mængde i alt 297,4 kg svarende til 0,327 kg/husstand/uge. Denne mængde fordelte sig med 45,1 % plast, 40,7 % metal (inkl. WEEE) og 14,2 % affald[22], hvilket medfører en plastmængde på 0,15 kg/husstand/uge.

Plast

I TABEL 30 og på FIGUR 31 er vist sammensætningen af plastfraktionen inkl. affald fra den samlede tilførte mængde plast og metal. Det skal bemærkes, at plastflager, som er mindre end ca. 2 cm x (2-4) cm, indgår som affald, idet plastflager i dimensioner herunder forventes at blive frasigtet på det kommende anlæg ved Reno-Nord.

TABEL 30. Sammensætning af plast samt affald fra Mariagerfjord Kommune.

Type	% (vægtbaseret)
PET	21,34
HDPE	13,83
PP	12,13
PE/PP	1,11
PS	3,47
PVC	0,71
EPS (flamingo)	0,06
Sort plast	8,49
Stor folie	0,17
Løs folie	4,82
Faremærket + motorolie	1,25
Sammensat/teknisk plast	8,72
Emballager med indhold	1,79
Affald	22,10
I alt	100

Som det fremgår af TABEL 30 udgør sort plast 8,5 % af den samlede plastmængde.

For ikke-sorte emner/materialer udgør PET den største andel med godt 21 %, mens HDPE udgør knap 14 %, PP udgør 12 %, og PS udgør 3,5 %.

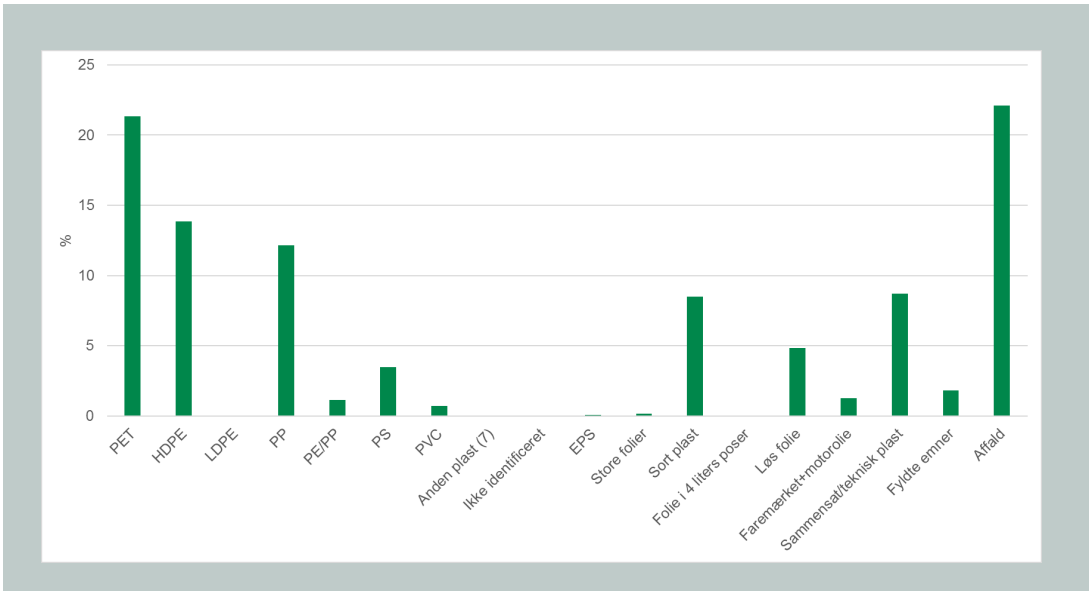
Andelen af folie, som forekommer som løs folie, udgør ca. 5 %. Det skal bemærkes, at folie ikke indgik i sorteringskriterierne på tidspunktet, hvor indsamlingen og karakteriseringen blev gennemført.

Andelen af affald udgør ca. 22 %. Til denne andel kan evt. lægges andelen af emballager med indhold på knap 2 %, idet hovedparten af emballagens vægt udgøres af indholdet, hvorfor emballager med indhold må betegnes som affald.

[22] I opgørelsen af affaldsandelen (14,2 %) indgår emballager med indhold.

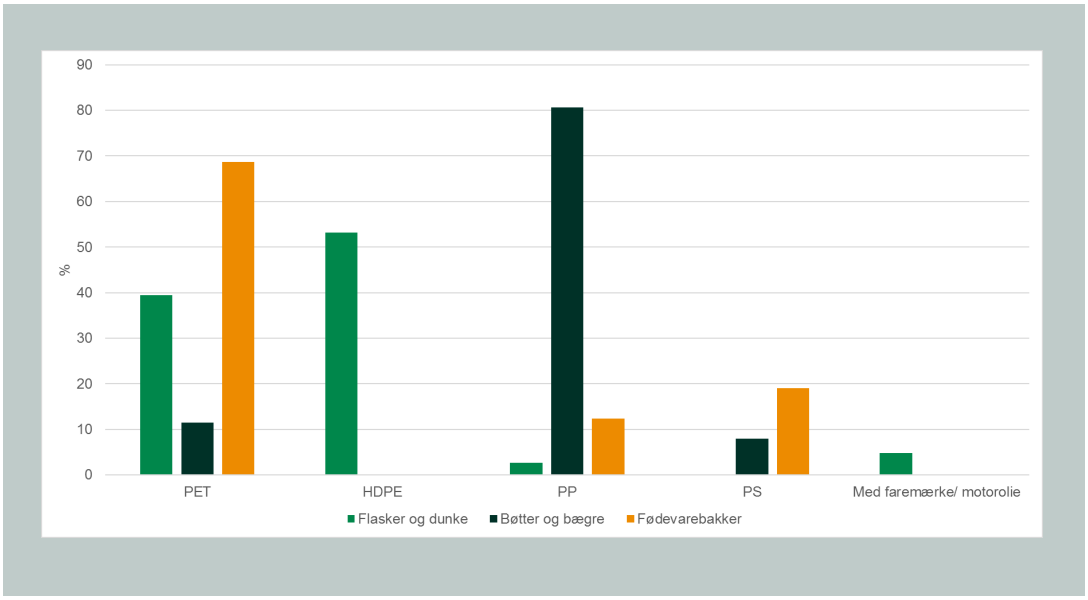
Den hårde, ikke-sorte plast kan behandles og udsorteres i anlægget via NIR-sorterere. NIR-sortererne kan dog ikke udsortere den sorte plast, der vil passere NIR-sortererne og ende i en restfraktion sammen med anden plast, som anlægget ikke udsorterer. Restfraktionen kan herefter sendes til behandling på fx et eksternt anlæg.

FIGUR 31. Sammensætning af plastfraktion inkl. affald. Mariagerfjord Kommune.



Ved karakteriseringen af fraktionen indsamlet i Mariagerfjord Kommune er polymererne opgjort for forskellige produktkategorier. Resultatet ses på FIGUR 32. Flasker og dunke består hovedsageligt af PET (39 %) og HDPE (52 %). Bøtter og bægre består hovedsageligt af PP (80 %), og fødevarebakker består hovedsageligt af PET (68 %).

FIGUR 32. Fordeling af polymerer og emballage med faremærke/motorolie på produktkategorier. Mariagerfjord Kommune.

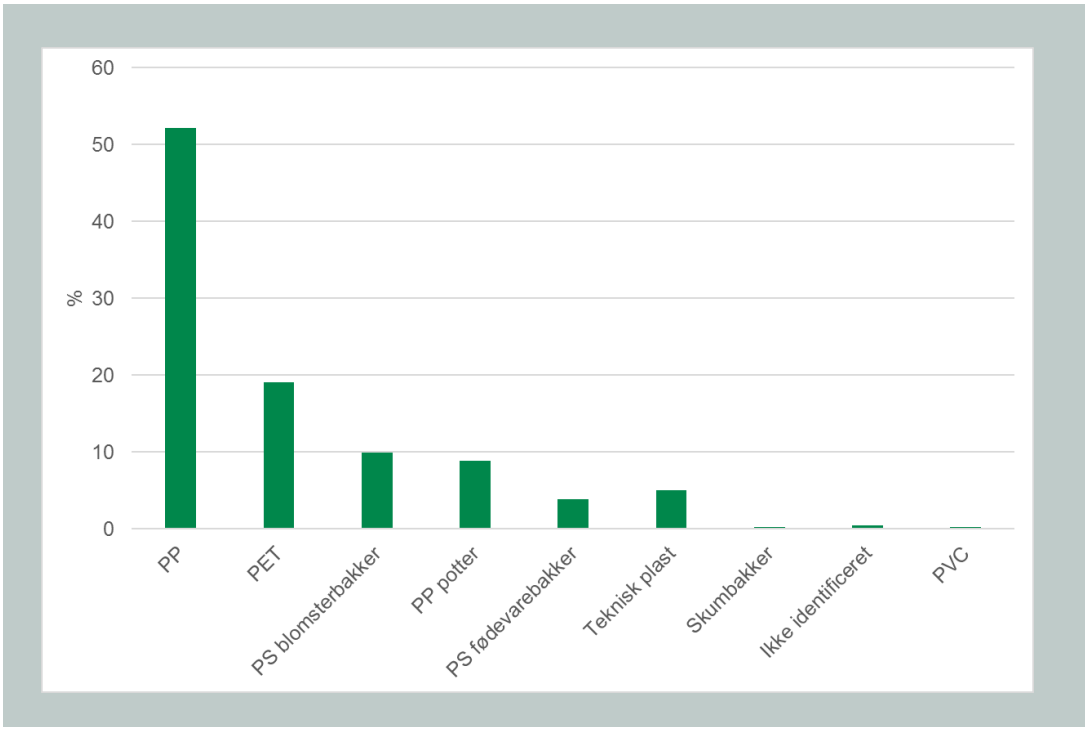


For Mariagerfjord Kommune er der endvidere foretaget en opdeling af den sorte plast på polymerer og produktkategorier.

Mere end 52 % af den sorte plast fra Mariagerfjord Kommune var PP-fødevarebakker. Samlet udgjorde PP ca. 60 % af den sorte plast, idet PP-urtepotter udgjorde ca. 8 %.

Hård plast, som kan være svært genanvendeligt eller kræve frasortering

FIGUR 33. Fordeling af sort plast på polymerer og produktkategorier. Mariagerfjord Kommune.



I det følgende er vist fotos af de fraktioner af hård plast, som det kan være nødvendigt at fjerne dele af i forsorteringen på anlægget ved Reno-Nord - enten manuelt eller maskinelt.

På Billede 28 er vist faremærkede emballager og emballager til motorolie. Der ses emballager med koncentrerede syrer (saltsyre, eddikesyre), svage syrer (WC-rens) og baser (afløbsrens), klorin, algemiddel og motorolie.

Billede 28
Faremærkede emballager eller emballage til motorolie. Mariagerfjord Kommune.

På Billede 29 ses et udsnit af de sammensatte produkter/tekniske produkter, der blev frasorteret. Der ses bl.a. slanger til opvaskemaskiner, kurve fra opvaskemaskiner, fugemassesprøjter, afløbsrør, DVD'er, bøjler og børster.

Billede 29
Sammensatte og tekniske produkter. Mariagerfjord Kommune.

På Billede 30 ses plastsko og diverse tekniske produkter, herunder tøjholdere med indhold af metal.

Billede 30
Plastsko og diverse tekniske produkter. Mariagerfjord Kommune.

På Billede 31 er vist diverse plastlegetøj, herunder bil med metalaksler.

Billede 31
Plastlegetøj. Mariagerfjord Kommune.

På Billede 32 er vist emballager med indhold. Emballager med indhold kan være problematiske, hvis de er forurenet med fødevarerester eller har indhold af farlige kemikalier, maling m.m.

De registrerede emballager med indhold fra Mariagerfjord Kommune udgjorde 1,8 %. Hovedparten af emballagernes vægt udgøres af indholdet i emballagerne.

Billede 32
Fyldte emner hovedsageligt af plast. Mariagerfjord Kommune.

Blød plast i form af store folier
I den sorterede fraktion indgik også foliemateriale i større dimensioner. Af Billede 33 fremgår et oppusteligt foliebaseret badelegetøj.

Billede 33
Oppusteligt badelegetøj (folie). Mariagerfjord Kommune.

Metal
Sammensætningen af metal fremgår af TABEL 31. I tabellen er medtaget WEEE (elektrisk og elektronisk affald), hvori der ud over metaller i printkort samt ledninger indgår plast i konstruktionen. Plasten kan være flammehæmmet, hvis elektronikken producerer varme.

TABEL 31. Sammensætning af metal for Mariagerfjord Kommune.

Type	% (vægtbaseret)
Jern	53,5
Aluminium	31,7
Rustfrit stål	3,2
Andet metal	4,2
WEEE	4,5
Metalbøtter med indhold af maling	3,0
I alt	100

Som det ses af tabellen, består fraktionen hovedsageligt af jern (knap 54 %) og aluminium (knap 32 %).

49 % af jernet var store emner, og 51 % var mindre emner, fx dåser.

Indhold af WEEE er vist på Billede 34. Der blev registreret en mobiltelefon, en fastnettelefon, en DVD-afspiller, en motor fra en stavblender, en slibemaskine, en elektrisk hæfteklammepistol, en højttaler, en lampe, elektriske ure og diverse løse printkort.

Billede 34
WEEE i metalfraktionen. Mariagerfjord Kommune.

Der blev registreret en del metalemballager til maling samt spraydåser (fremgår af Billede 35). Malerbøtterne var alle med indhold. Dette medfører risiko for spild af maling i sorteringsanlægget, såfremt låget går af, eller der går hul på dåserne under sorteringsprocessen. Et sådant uheld kan ødelægge kvaliteten af de udsorterede materialer og medføre ekstra udgifter til rengøring af anlæg.

Billede 35
Malerbøtter med indhold. Mariagerfjord Kommune.

Resultater for Aalborg Kommune

Sorteringskriterierne for fraktionen fra Aalborg Kommune omhandler alene plast. Metal indsamles i forsøgsområdet i Aalborg i en særskilt beholder.

Ved karakteriseringen udgjorde den tilførte mængde i alt 851 kg fra 444 enfamilieboliger og 146 etageboliger. Ved aflæsningen skete der en utilsigtet sammenblanding af mængderne fra de to områder. For det samlede område med 590 husstande svarer mængderne til 0,30 kg/husstand/uge. Denne mængde fordelte sig med 88,6 % plast, 0,3 % WEEE og 11,2 % affald[23], hvilket medfører en plastmængde på 0,26 kg/husstand/uge.

[23] I opgørelsen af affaldsandelen (11,2 %) indgår emballager med indhold.

Plast

I TABEL 32 og på FIGUR 34 er sammensætningen af plastfraktionen inkl. affald fra den samlede tilførte mængde plast vist. Det skal bemærkes, at plastflager, som er mindre end ca. 2 cm x (2-4) cm, indgår som affald, idet plast i mindre dimensioner forventes at blive frasigtet på det kommende anlæg ved IS Reno-Nord.

TABEL 32. Sammensætning af plast samt affald for forsøgsområdet i Aalborg Kommune.

Type	% (vægtbaseret)
PET	15,47
HDPE	9,57
LDPE	0,02
PP	7,82
PE/PP	0,32
PS	1,47
PVC	1,29
Anden plast	0,03
Ikke identificeret	0,34
Store folier	1,30
Sort plast	7,42
Folie i 4-litersplastposer	6,33
Løs folie	20,56
Faremærket + motorolie	0,43
Sammensat/teknisk plast	16,43
Emballager med indhold	0,25
Affald	10,96
I alt	100

Som det fremgår af TABEL 32, udgør sort plast 7,4 % af den samlede plastmængde.

For ikke-sorte emner/materialer udgør PET den største andel med 15,5 %, mens HDPE udgør 9,6 %, PP udgør 7,8 %, og PS udgør 1,5 %.

Andelen af folie (ekskl. store folier) udgør knap 27 %. Folien fordeler sig med løs folie på 76 %, og folie indsamlet via en beholder med en 4-litersplastpose til opsamling af blød plast/plastfolie på 24 %.

Andelen af affald udgør ca. 11 %. Til denne andel kan evt. lægges andelen af emballager med indhold på ca. 0,3 %, idet hovedparten af emballagernes vægt udgøres af indholdet, hvorfor emballagerne må betegnes som affald.

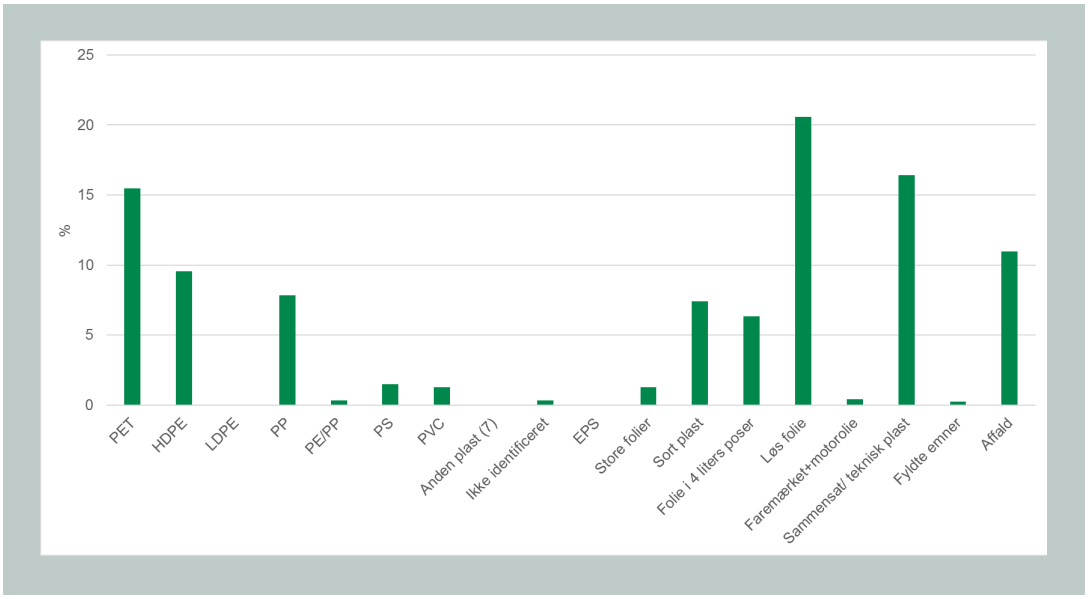
Den hårde, ikke-sorte plast kan behandles og udsorteres i anlægget via NIR-sorterere. NIR-sorterne kan dog ikke udsortere den sorte plast, der vil passere NIR-sorterne og ende i en restfraktion sammen med anden plast, som anlægget ikke udsorterer. Restfraktionen kan herefter sendes til behandling på fx et eksternt anlæg.

Hård plast, som kan være svært genanvendeligt eller kræve frasortering

I det følgende er vist fotos af de fraktioner af hård plast, som det kan være nødvendigt at fjerne dele af i forsorteringen på det kommende anlæg ved Reno-Nord - enten manuelt eller maskinelt.

På Billede 36 er vist faremærkede emballager og emballager anvendt til motorolie.

FIGUR 34. Sammensætning af plast inkl. affald. Aalborg Kommune.



Billede 36
Emballager med faremærke og emballager anvendt til motorolie. Aalborg Kommune.

Af de følgende billeder fremgår forskellige sammensatte/tekniske produkter. På Billede 37 er vist mindre tekniske/sammensatte produkter. Der ses fx bokse til skruer, DVD og legetøj.

Billede 37
Mindre, tekniske/sammensatte plastprodukter. Aalborg Kommune.

På Billede 38 er vist større plastprodukter af hård plast, fx fra værktøjskasser.

Billede 38
Værktøjskasser m.m. Aalborg Kommune.

På Billede 39 er vist en række større plastprodukter af hård plast, herunder en kælk, murerbaljer, kurve, spande og bakker.

Billede 39
Større, hårde plastprodukter.

På Billede 40 er vist plaststrips. Disse var delvis filtret sammen med emballagefolie. Det skal her bemærkes, at plaststrips er konstrueret til at være stærke, og at de derfor ikke nødvendigvis rykkes fra hinanden i en shredder. De kan formentlig sætte sig fast flere steder i et anlæg, hvis de ikke frasorteres.

Billede 40
Strips filtret ind i folie. Aalborg Kommune.

På Billede 41 er vist byggeprodukter af PVC, herunder tagplader og lister.

Billede 41
PVC. Aalborg Kommune.

På Billede 42 er vist emballager med indhold. Emballager med indhold kan være problematiske, hvis de er forurenet med fødevarerester, eller hvis de har indhold af farlige kemikalier, maling m.m.

De registrerede emballager med indhold fra Aalborg Kommune udgjorde 0,25 %. Hovedparten af emballagernes vægt udgøres af indholdet i emballagerne.

Billede 42
Emballager med indhold. Aalborg Kommune.

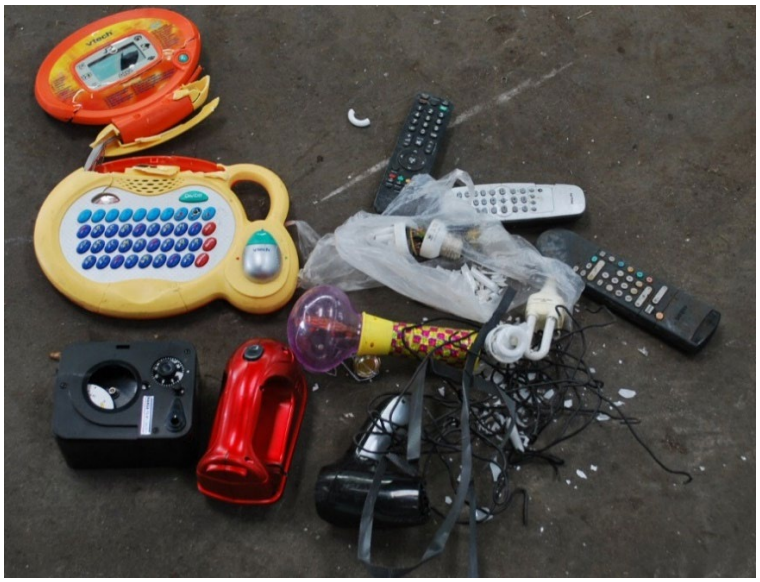
Blød plast i form af store folier
I den sorterede fraktion indgår også store folier. På Billede 43 er vist eksempler på store folier som voksdug, oppusteligt badeudstyr o.l. Disse emner vil på IS Reno-Nords sorteringsanlæg kunne lægge sig hen over andet materiale og dermed forhindre frasortering af underliggende materialer. Det kan derfor være nødvendigt at fjerne disse materialer i sorteringskabinen på

anlægget. Alternativt kan sådanne store folier passere sorteringssigten (>300 mm) på anlægget, men dette løser ikke umiddelbart problematikken med mindre emner, som ønskes udsorteret, inden de ledes til sorteringsenhederne på anlægget. På billedet indgår også plastsko.

Billede 43
Folier og plastsko. Aalborg Kommune.

Den indsamlede plastfraktion indeholdt metalholdige materialer i form af WEEE (elektrisk og elektronisk affald), hvori der udover metaller i printkort samt ledninger indgår plast i konstruktionen. Plasten kan være flammehæmmet, hvis elektronikken producerer varme. Mængden udgjorde 0,26 % af den samlede fraktion.

Indholdet af WEEE er vist på Billede 44. Der ses bl.a. tre fjernbetjeninger, en legecomputer/spillemaskine, sparepærer, en hårtørrer og ledninger.



Billede 44
WEEE. Aalborg Kommune.

Bilag 2. Genbrugspladser

Bilag 2.1 Karakterisering af plast fra genbrugspladser

Der blev sorteret plast fra tre genbrugspladser i perioden 9.-11. maj 2016 med deltagelse af personale fra Aage Vestergaard Larsen (herefter benævnt AVL), Reno-Nord, Affaldsselskabet Vendsyssel Vest (herefter benævnt AVV) og Teknologisk Institut. Sorteringen blev udført hos AVL ved at sprede hvert modtaget læs på fast underlag af beton og sortere det i en række fraktioner, som opsamledes i containere/beholdere til efterfølgende vejning. Ved sorteringen vurderede AVL, hvilke fraktioner der var mest egnede til oparbejdning i deres nuværende anlæg. Andre fraktioner, som også kan genanvendes, blev også udsorteret og fotograferet. Alle sorterede fraktioner blev vejet.

Genbrugsplads fra AVV

Forhold vedr. genbrugspladsen

Det modtagne læs var fra Miljøanlæg Rønnovsdal, hvor plasten fra alle AVV's genbrugspladser samles og sorteres.

Modtagekriterierne for plasten i AVV's område http://www.avv.dk/borgere/sorteringsvejledninger/haard-plast-og-pvc/ er vist nedenfor.

Følgende må afleveres**:**

Hård plast
Alle former for PET, HDPE, LDPE, PE, PP og PVC
Drænrør og kloakrør
Kabelbakker
Tagrender, nedløbsrør og bøjninger
Havemøbler og hyndebokse
Spande og bøtter
Plastlegetøj, fx traktorer, ruchebaner
Plastdunke
Plastflasker
Kofangere.

Blød PVC
Gummistøvler
Vandslanger
Badedyr og -bassiner
Presenninger
Diverse gulvbelægninger med PVC.

Eksempler på materialer, der ikke må afleveres
Plast med madvarer
Plastdunke med andre faremærker end "Lokalirriterende" og "Sundhedsskadelig"
Plastfolier, klart
Plastfolie, farvet.

Resultater af karakterisering

Det modtagne læs er vist på Billede 45.

Billede 45
Modtaget læs fra AVV's genbrugspladser.

Det modtagne læs blev sorteret. Resultaterne af affaldskarakteriseringen er vist i TABEL 33, hvor også er vist de materialer, som AVL vurderede umiddelbart at være egnet til genanvendelse i deres nuværende oparbejdningsanlæg til hård plast, angivet øverst. Mængden svarer til 11,7 % af den samlede mængde.

Herudover er der en del fraktioner, som vurderes at kunne afsættes til genanvendelse andetsteds, herunder:

- Emballage af fx PET og HDPE
- PVC-havemøbler samt PVC-rør og -plader
- Metal og WEEE
- Tekniske produkter af blandet plast
- Diverse produkter af sort plast.

En stor del af læsset udgøres af PVC med 21,8 % i form af PVC-rør, plader og opskummet PVC. Herudover indgår der PVC i en væsentlig del af affaldet i form af mindre stykker knækkede PVC-tagplader (PVC-mængden i form af små stykker af tagplader blev visuelt anslået til at udgøre ca. halvdelen af affaldsmængden svarende til en 10-12 % PVC).

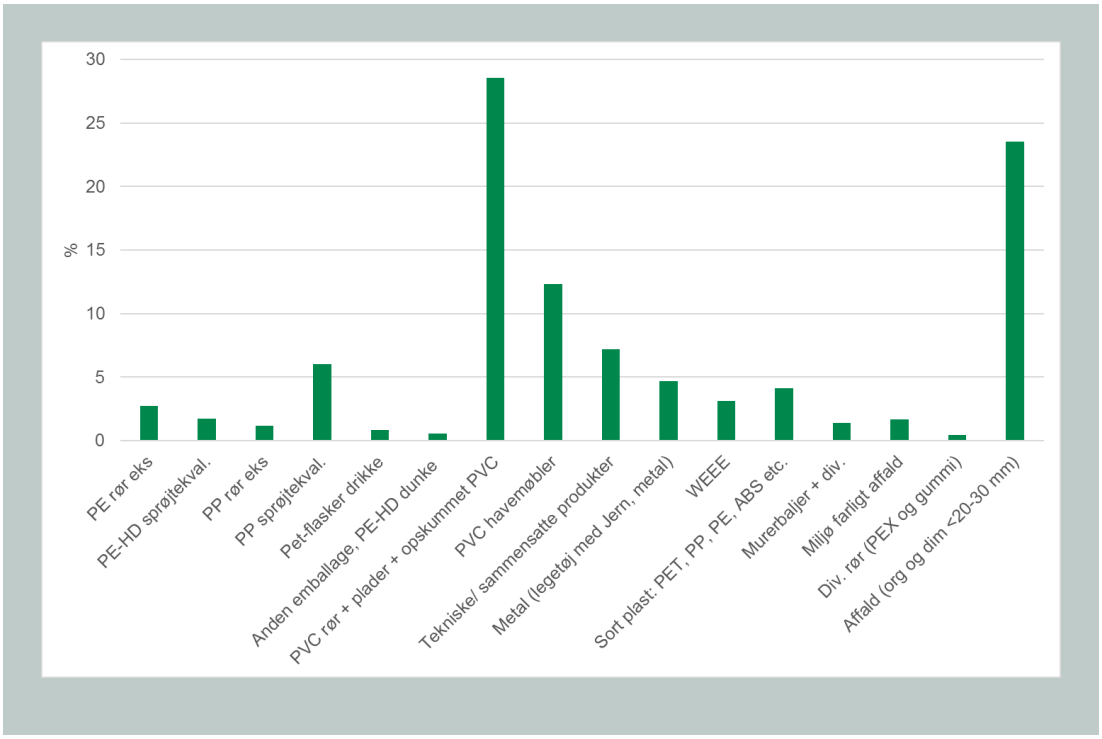
TABEL 33. Resultat af karakterisering for AVV Genbrugsplads.

Type	Kg	%
Fraktioner egnet til oparbejdning AVL		
PE-rør, ekstruderede	58,5	2,73
HDPE, sprøjtekvalitet	37	1,73
PP-rør, ekstruderede	25	1,17
PP, sprøjtekvalitet	129	6,03
I alt fraktioner egnet til oparbejdning AVL		11,66
Andre genanvendelige fraktioner		
PET-flasker, drikkevarer	18	0,84
Anden emballage, HDPE-dunke	11,5	0,54
PVC-rør + -plader + opskummet PVC	610,5	28,53
PP/PE-havemøbler	263	12,29
Tekniske/sammensatte produkter	153,5	7,17
Metal (legetøj med jern, metal)	100	4,67
WEEE	67	3,13
I alt andre genanvendelige fraktioner		57,17
Plast, som kræver særlig sortering/oparbejdning		
Sort plast: PET, PP, PE, ABS etc.	88	4,11
Affald/plast, som er svært genanvendeligt		
Murerbaljer + div.	30	1,40
Miljøfarligt affald	36	1,68
Div. rør (PEX og gummi)	9	0,42
Affald (organisk og plast med dimensioner <20-30 mm)	504	23,55
Sum	2140	100

Det vurderes, at emballage i form af PET-flasker og anden emballage (1,4 %) vil kunne udsorteres via et sorteringsanlæg som fx Reno-Nords. Ligeledes vil de tekniske/sammensatte produkter (7,2 %) (se TABEL 33) delvist kunne genanvendes efter neddeling og passage i Reno-Nords anlæg med brug af NIR-sortering i polymerer.

Metal og WEEE kan sendes til genanvendelse ved modtagere for disse materialer/produkter. Vedrørende WEEE vil det være nødvendigt at udsortere fraktionen manuelt til separat oparbejdning ved modtager af WEEE.

FIGUR 35. Sammensætning af materialer fra AVV genbrugsplads.



De hårde PVC-produkter er genanvendelige (Billede 46 til Billede 49), men det bør vurderes nærmere, om de med fordel kan indsamles i separat container, hvorfra de kan sendes til oparbejdning via eksisterende aftagere af PVC-materialer i stedet for at lede materialet igennem et sorteringsanlæg som fx det fra Reno-Nord sammen med anden hård plast. Problemet er, at en del af PVC- materialerne i form af tagplader er skrøbelige og knækker, så PVC-materialer ender i så små stumper, at det ikke er rentabelt at udsortere dem manuelt, ligesom små PVC-stykker også vil mistes i anlægget i en sigtefraktion (< 25 mm).

Billede 46
Sammensatte produkter.

Billede 47
PVC-rør.

Billede 48
PVC-tagrender.

Billede 49
PVC-plader.

Den sorte plast (Billede 50 til Billede 52) kan p.t. ikke udsorteres af NIR-sorterere, men en stor del af fraktionen kan genanvendes af AVL, hvis den udsorteres manuelt.

Billede 50
Sorte plastprodukter (kasser, urtepotter etc.).

Billede 51
Polyolefinbaserede rør, primært sorte.

Billede 52
Polyolefinbaserede materialer i forskellige farver inkl. sort.

Problematiske emner er PEX-slanger, som ikke kan omsmeltes (Billede 53**)**, farligt affald med rester (Billede 54) og WEEE, som skal håndteres via særskilt ordning for WEEE (Billede 55).

Billede 53
PEX-rør, vaskemaskineslanger m.m.

Billede 54
Emballage med rester af farligt affald/ukendte væsker.

Billede 55
WEEE.

Over Kæret Genbrugsplads, Aalborg

Forhold vedr. genbrugspladsen

Modtagekriterierne for plasten er på pladserne angivet som ”plast - rent plast”. Herudover er der separate containere til indsamling af PVC og havemøbler.

Resultater af karakterisering

Det modtagne læs er vist på Billede 56.

Billede 56
Modtaget læs fra Over Kæret Genbrugsplads.

Resultaterne af karakteriseringen er vist i TABEL 34 og på FIGUR 36.

I tabellen er øverst angivet de materialer, som AVL vurderede umiddelbart var egnede til genanvendelse i deres nuværende oparbejdningsanlæg til hård plast. Mængden svarer til 22,77 % af den samlede mængde.

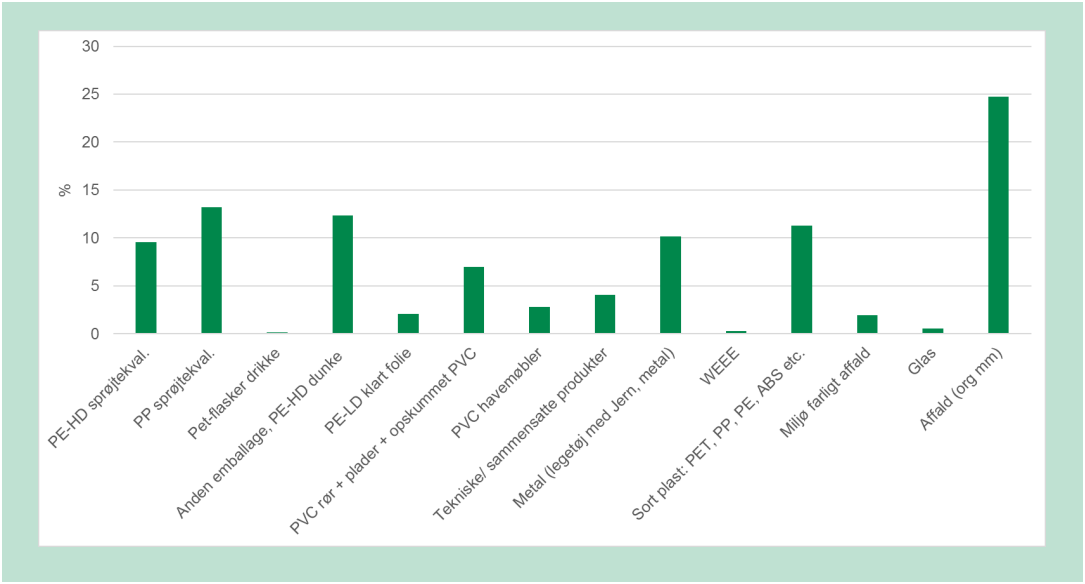
Herudover er der en del fraktioner, som vurderes at kunne afsættes til genanvendelse andetsteds, herunder:

- Emballage af fx PET og HDPE
- PVC-rør og -plader.
- PP/PE-havemøbler
- LD-PE-folie
- Metal og WEEE
- Tekniske produkter af blandet plast
- Diverse produkter af sort plast.

TABEL 34. Resultat af karakterisering for Over Kæret Genbrugsplads.

Type	Kg	%
Fraktioner egnet til oparbejdning AVL		
HDPE, sprøjtekvalitet	34,5	9,58
PP, sprøjtekvalitet	47,5	13,19
Andre genanvendelige fraktioner		
PET-flasker, drikkevarer	0,5	0,14
Anden emballage, HDPE-dunke	44,5	12,36
PVC-rør + -plader + opskummet PVC	25,0	6,94
PP/PE-havemøbler	10,0	2,78
LDPE, klar folie	7,5	2,08
Tekniske/sammensatte produkter	14,6	4,03
Metal (legetøj med jern, metal)	36,5	10,14
WEEE	1	0,28
Plast, som kræver særlig sortering/oparbejdning		
Sort plast: PET, PP, PE, ABS etc.	40,5	11,25
Affald/plast, som er svært genanvendeligt		
Miljøfarligt affald	7,0	1,94
Glas	2,0	0,56
Affald (organisk og dimension <20-30 mm)	89,0	24,72
Sum	360,0	100,0

FIGUR 36. Over kæret genbrugsplads.



Eksempler på PP-materialer i sprøjtekvalitet, som kan håndteres af AVL er vist på Billede 57.

Billede 57
PP, sprøjtekvalitet.

Sundsholmen Genbrugsplads, Aalborg

Forhold vedr. genbrugspladsen

Modtagekriterierne for plasten er på pladserne angivet som ”plast - rent plast”. Herudover er der separate containere til indsamling af PVC og havemøbler.

Resultater af karakterisering

Det modtagne læs er vist på Billede 58.

Billede 58
Modtaget læs fra Sundsholmen Genbrugsplads.

Resultaterne af karakteriseringen er vist i TABEL 35 og på FIGUR 37.

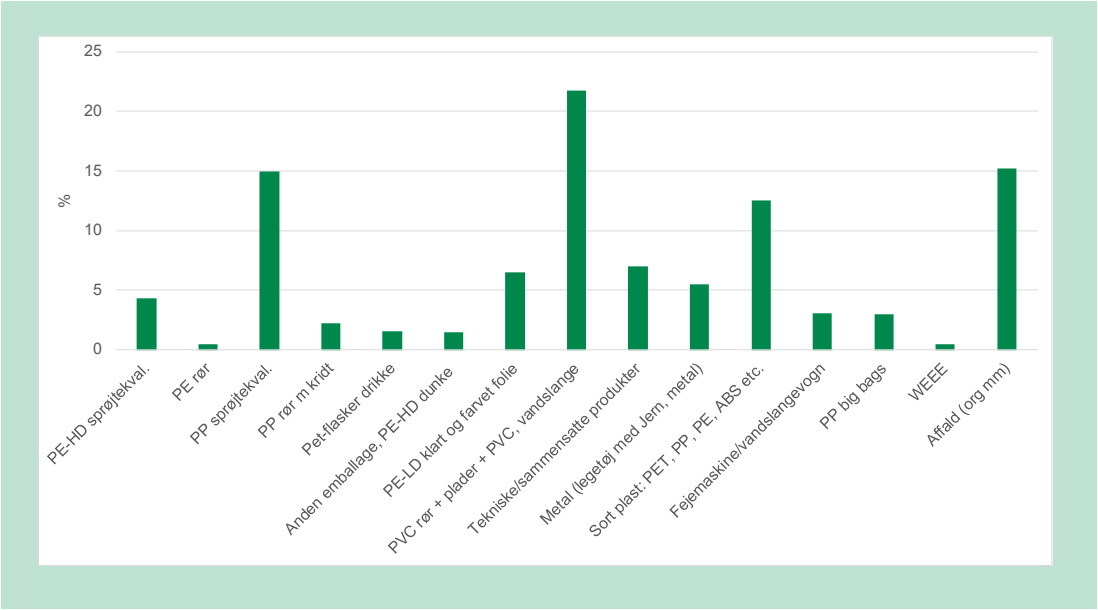
I TABEL 35 er øverst angivet de materialer, som AVL vurderer umiddelbart er egnet til genanvendelse i deres nuværende oparbejdningsanlæg til hård plast. Mængden svarer til 22 % af den samlede mængde.

Herudover er der en del fraktioner, som vurderes at kunne afsættes til genanvendelse andetsteds, herunder:

- Emballage af fx PET og HDPE
- PVC-havemøbler samt PVC-rør og -plader
- LDPE-folie
- Metal og WEEE
- Tekniske produkter af blandet plast
- Diverse produkter af sort plast såfremt de er sorteret efter polymer.

TABEL 35. Resultat af karakterisering for Sundsholmen Genbrugsplads.

Type	**Kg**	**%**
Fraktioner egnet til oparbejdning AVL		
HDPE, sprøjtekvalitet	29,5	4,34
PE-rør	3,0	0,44
PP, sprøjtekvalitet	102,0	15,0
PP-rør med kridt	15,0	2,21
Andre genanvendelige fraktioner		
PET-flasker, drikkevarer	10,5	1,54
Anden emballage, HDPE-dunke	10,0	1,47
PVC-rør + -plader + PVC-vandslange	148,0	21,76
LDPE, klar og farvet folie	44,0	6,47
Tekniske/sammensatte produkter	47,5	6,99
Metal (legetøj med jern, metal)	37,5	5,51
WEEE	3,0	0,44
Plast, som kræver særlig sortering/oparbejdning		
Sort plast: PET, PP, PE, ABS etc.	85,0	12,5
Affald/plast, som er svært genanvendeligt		
Fejemaskine/vandslangevogn	**21,0**	**3,09**
PP-bigbags	20,5	3,01
Affald (organisk og dimension <20-30 mm)	103,5	15,22
Sum	680,0	100,0



FIGUR 37. Sundsholmen Genbrugsplads.

På Billede 59 er vist tekniske/sammensatte materialer samt PP-bigbags. Legetøjet er normalt fremstillet i polyolefiner evt. med fx metalaksler i biler og vurderes at kunne genanvendes efter kværning og metalseparation. Legetøjstromlen forrest på billedet er derimod et sammensat produkt af stof og stativer og vil ikke kunne genanvendes. Bigbags kan genanvendes, hvis de sorteres fra.

På Billede 60 er vist flere sammensatte produkter (fejemaskine, havevander, PVC-slanger), som kræver frasortering.

Billede 59
Bigbags og sammensatte/tekniske produkter.

Billede 60
Havevander, fejemaskine, PVC-slanger, PVC-elektrikerrør, ledninger.

Bilag 3. Ballistisk separator

Bilag 3.1 Forsøg nr. 1 med ballistisk separator

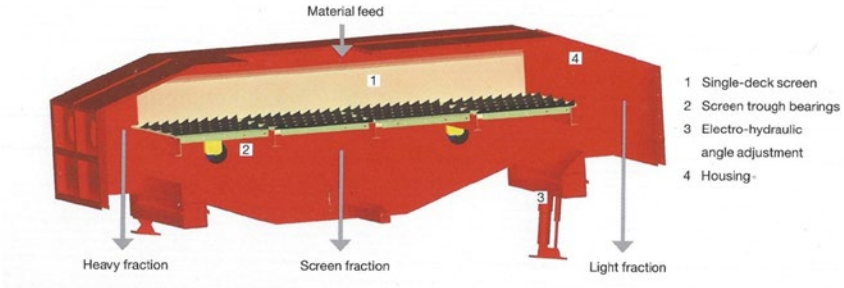
Det første forsøg simulerer effekten af at erstatte vindsigten med en ballistisk separator.

Der blev på sorteringsanlægget udtaget en blandingsprøve (af alle fraktioner) efter passage af stort skivefilter dvs. alle emner < 250 mm. Der blev udtaget en blandingsprøve, dvs. en blanding af alle outputs, da det ikke var muligt at udtage prøverne direkte efter skivefiltret. Der blev produceret en prøve til test på ca. 2 tons.

Materialet blev tilført den ballistiske separator via en fødekasse og et transportbånd.

Billede 61
Tilført materiale forsøg 1.

Den ballistiske separator er forsynet med sigtehuller på ca. 50 mm, 2-dimensionelle emner flyttes opad af lamellerne, mens 3-dimensionelle emner bevæger sig nedad - se skitse for en ballistisk separator.



Billede 62
Ballistisk separator.

Efter forsøget blev de 2-dimensionelle og 3-dimensionelle fraktioner manuelt sorteret i en række materialer.

Billede 63
3D-fraktion.

Mængderne af alle fraktioner samt sammensætningen af 2-dimensionelle og 3-dimensionelle fraktioner er vist i TABEL 36.

TABEL 36. Forsøg nr. 1 med ballistisk separator.

Forsøg nr. 1	**Kg**	**% af fraktion**
Input	1.900	
3D-fraktion		
Plastfolie	11,6	0,91
Papir	1,4	0,11
3D-emner	1.260,0	99,0
		100
2D-fraktion		
Folie og papir	236,3	51,8
Metal	48,1	10,5
Sort 3D-plast	47,7	10,5
Ikke-sort 3D-plast	86,4	18,9
Affald	37,9	8,3
Finfraktion	92,9	
Ophobet i anlæg	12,8	
Sum	1.835,2	100

Sammensætningen af 2D-fraktionen er baseret på sortering af en delprøve på 56 kg.

Indholdet af 2D-urenheder i 3D-fraktionen er 1 %, hvilket er et tilfredsstillende resultat (indholdet af folier er 9,1 kg pr. ton 3D-materiale). Derimod er indholdet af uønskede materialer i 2D-fraktionen højt (ca. 48 %), hvoraf 10,5 % er metal og 18,9 % er ikke-sort 3D- plast. Herudover indeholder 2D-fraktionen 10,5 % sort plast. Af de tilførte 3D-emner ender 87 % (1260/(1260+48,1+47,7+86,4)*100) i 3D-fraktionen.

Bilag 3.2 Forsøg nr. 2 med ballistisk separator

I det andet forsøg blev det undersøgt, om man med den ballistiske separator kan udvinde 3D-materialer af 2D-fraktionen fra vindsigten.

Det tilførte materiale er vist Billede 64.

Billede 64
Tilført materialeforsøg nr. 2.

Efter forsøget blev 2D- og 3D-fraktionerne manuelt sorteret.

Billede 65
Forsøg nr. 2, 2D-fraktion.

Billede 66
Forsøg 2, 3D-fraktion.

Mængderne af alle fraktioner samt sammensætningen af 2D- og 3D-fraktionen er vist i TABEL 37.

TABEL 37. Mængderne af alle fraktioner samt sammensætningen af 2D- og 3D-fraktionen.

Forsøg nr. 2	**Kg**	**% af fraktion**
Input	220	
3D-fraktion		
2D (plastfolie/papir)	0,5	1,4
3D-emner	34	98,6
		100
2D-fraktion		
Folie og papir	56,0	61,4
Metal	1,8	2,0
Sort 3D-plast	10,3	11,4
Ikke-sort 3D-plast	17,1	18,7
Affald	5,9	6,5
Finfraktion	11,9	
Ophobet i anlæg	?	
Sum	137,5	100

Sammensætningen af 2D-fraktionen er baseret på sortering af en delprøve på 11 kg.

Indholdet af 2D-urenheder i 3D-fraktionen er 1,4 %, hvilket er et fint resultat og på niveau med forsøg 1. Renheden i 2D-fraktionen er 61 %, hvilket ikke er tilstrækkeligt til, at den kan betragtes som en foliefraktion.

Mængden af udvundne ikke-sorterede 3D-emner udgør = 34/(34+17,1)*100=67 %. Forsøget indikerer, at man kan udvinde ca. 2/3 af den tabte ikke-sorte hårde emballage i vindsigten ved at sende foliefraktionen gennem en ballistisk separator. Tallet bør eftervises ved yderligere forsøg, da massebalancen i ovennævnte forsøg ikke stemmer. Endvidere er det ikke forsøgt at finjustere den ballistiske separator, hvilket måske kan forbedre resultatet yderligere.

Bilag 3.3 Vurdering af resultater fra de to forsøg med ballistisk separator

For at kunne sammenligne resultatet af forsøg 1 med ballistisk separator med de hidtidige performanceresultater for sorteringsanlægget er der foretaget beregninger af, hvor meget folie, der findes i 3D- fraktionerne < 250 mm efter det store skivefilter for to udvalgte test.

Sammensætning af 3D-fraktion

Tabellen viser beregnede mængder folie i hver fraktion pr. ton af 3D-materialer, altså materialer der passerer vindsigten uden at blive frasuget. Evt. papir er ikke medtaget, da dette indgår som en del af affaldet.

TABEL 38. Folie i 3D-fraktion

Kg folie /ton 3D-materialer			
	Forsøg 2	Forsøg 3	Særforsøg[24]
Fraktion			
Overbåndsmagnet	4,04	4,32	1,99
Eddy current	3,99	0,66	8,38
HDPE	3,03	1,87	24,87
PET	3,04	3,52	0,99
PP	3,80	1,7	1,73
Rest	11,46	5,97	2,75
Rustfrit stål			5,76
PS			0,04
Sum kg folie/t 3D-materiale	29,4	18	46,5

I forsøg 1 med den ballistiske separator blev bestemt et indhold af 2D-materialer i den producerede 3D-fraktion på 9,1 kg 2D-materialer pr. ton 3D-fraktion.

Af TABEL 38 fremgår for forsøg 2, 3 og særforsøg et indhold af 2D-materialer i 3D-fraktionen på henholdsvis 29,4, 18 og 46,5 kg 2D-materialer pr. ton 3D-fraktion.

Heraf kan beregnes at den ballistiske separator producerer 3D-fraktioner, der har 3,2 gange lavere folieindhold end bestemt for forsøg 2 (enfamilieboliger, Aalborg Kommune – se afsnit 5.1), 2 gange lavere folieindhold end for forsøg 3, (midtbyen, Aalborg Kommune – se afsnit 5.1) og 5 gange lavere folieindhold end for særforsøget.

Således viser forsøget, at indsættelse af en ballistisk separator markant vil kunne forbedre renheden af producerede 3D-fraktioner fra NIR-sorterere vedrørende folieindhold.

[24] Særforsøg er en driftstest, som blev udført efter anlæggets færdigetablering.

Sammensætning af 2D-fraktion
2D-fraktionen består af 52 % 2D-materialer, 10,5 % metaller, 10,5 % sort plast, 19 % hård plast og 8 % affald.

Data er i nedenstående tabel sammenlignet med 2D-fraktionen fra vindsigten i forsøg 2, forsøg 3 og særforsøget.

TABEL 39. Sammensætning af 2D-fraktion i %.

Fraktion	Ballistisk separator	Forsøg 2	Forsøg 3	Særforsøg
Folie+pap/papir	52	58,5	70,4	49,6
Metalemballage	10,5	2	0,6	7,9
Hård plast	19	21,2	17,7	38,8
Sort plast	10,5	8,5	10,8	10,9
Affald	8	9,7	0,4	7,4

Tabellen viser et ret stort metalindhold på 10,5 % for den ballistiske separator, mens forsøg 2 og 3 ligger på 2 og 0,6 % metal (dåser). Særforsøget viste dog også et ret højt indhold på 7,9 %. Generelt ser tabet af metal og hård plast ud til at være i størrelsesordenen 40 % af 2D-fraktionen.

Man kan ud fra resultaterne ikke konkludere, at den ballistiske separator taber mere hård plast og metal i 2D-fraktionen end vindsigten, da særforsøget (udført ved Reno-Nord i forbindelse med driftstest) havde endnu større tab. Ved en evt. anvendelse af en ballistisk separator er det vigtigt at sikre, at der opnås en indstilling af udstyret, så tab af især værdifuld aluminium er minimeret.

Bilag 4. Bilag om røntgen

I det følgende er vist 8 forsøg med røntgenskanninger af indhold i poser. Røntgenbillederne er til højre nederst for alle viste forsøg). Der ses tydeligt omrids af hårde plastemballager idet de lodrette kanter har mere masse og derfor fremtræder lysere. Når der er metal til stede er hele emnet lysere se fx forsøg 2 hvor man ser dåselåg og fjeder og dåse lyse op, eller forsøg 3 hvor kapsler lyser op og forsøg 6 hvor elektronik i plastkabinet lyser op. Organisk affald som brødskiven og citronskiven på pose 7 har en nogenlunde ens tykkelse i hele emnet og fremtræder derfor ikke med skarpe lyse kanter som fx plastflasker.

Forsøg 1

Indhold	
___ g HDPE Plast	
___ g LDPE Plast	
_38 g PET Plast	
_62 g PP Plast	
___ g PS Plast	
___ g PE Plast	
___ g Udefinerbar Plast	
_72 g Folie	
___ g Dagrenovation	
___ g Tandbørste plast	
___ g Jern	
_10 g Aluminium	
___ g Gummi	
___ g Elektronikskrot	
___ g Pap/papir	
___ g Glas	
___ g MYP Plast folie	
_14 g Alufolie	
___ g Ekstruderet PE	
___ g Sprøjtestøbt PE	
196 g Total vægt	

Forsøg 2

Indhold	
___ g HDPE Plast ___ g LDPE Plast 30 g PET Plast 44 g PP Plast ___ g PS Plast 30 g PE ___ g Udefinerbar Plast ___ g Folie ___ g Dagrenovation ___ g Tandbørste plast 26 g Jern ___ g Aluminium ___ g Gummi ___ g Elektronikskrot ___ g Pap/papir ___ g Glas ___ g MYP Plast folie 6 g Flamingo ___ g Ekstruderet PE ___ g Sprøjtestøbt PE 136 g Total vægt	

Forsøg 3

Indhold	
___ g HDPE Plast ___ g LDPE Plast ___ g PET Plast ___ g PP Plast ___ g PS Plast ___ g PE Plast 5 g Udefinerbar Plast 87 g Folie ___ g Dagrenovation ___ g Tandbørste plast 4 g Jern ___ g Aluminium ___ g Gummi ___ g Elektronikskrot ___ g Pap/papir ___ g Glas ___ g MYP Plast folie ___ g ___ g Ekstruderet PE ___ g Sprøjtestøbt PE 96 g Total vægt	

Forsøg 4

Indhold	
___ g HDPE Plast ___ g LDPE Plast _36 g PET Plast _14 g PP Plast ___ g PS Plast ___ g PE Plast _42 g Udefinerbar Plast _30 g Folie 112 g Dagrenovation ___ g Tandbørste plast ___ g Jern ___ g Aluminium ___ g Gummi ___ g Elektronikskrot ___ g Pap/papir ___ g Glas ___ g MYP Plast folie ___ g ___ g Ekstruderet PE ___ g Sprøjtestøbt PE 234 g Total vægt	

Forsøg 5

Indhold	
___ g HDPE Plast ___ g LDPE Plast ___ g PET Plast 56 g PP Plast ___ g PS Plast ___ g PE Plast ___ g Udefinerbar Plast 36 g Folie 32 g Dagrenovation ___ g Tandbørste plast 26 g Jern 20 g Aluminium 2 g Gummi ___ g Elektronikskrot ___ g Pap/papir ___ g Glas ___ g MYP Plast folie ___ g ___ g Ekstruderet PE 172 g Sprøjtestøbt PE g Total vægt	

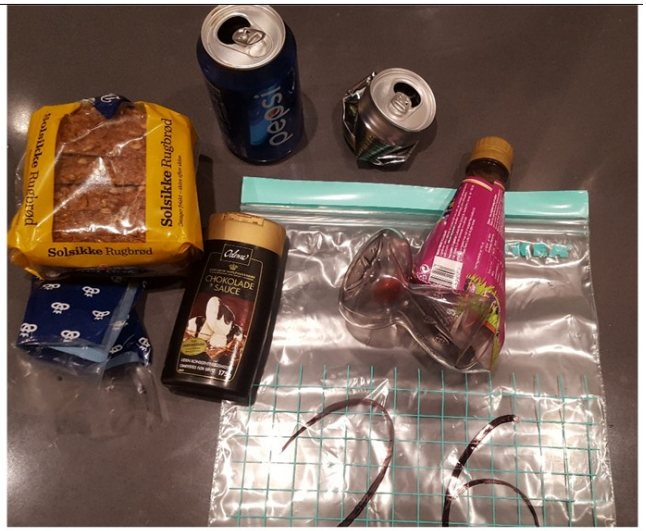
Forsøg 6

Indhold	
___ g HDPE Plast ___ g LDPE Plast 76 g PET Plast ___ g PP Plast ___ g PS Plast ___ g PE Plast 46 g Udefinerbar Plast 34 g Folie ___ g Dagrenovation ___ g Tandbørste plast ___ g Jern ___ g Aluminium 88 g Gummi ___ g Elektronikskrot ___ g Pap/papir ___ g Glas ___ g MYP Plast folie ___ g ___ g Ekstruderet PE 244 g Sprøjtestøbt PE g Total vægt	

Forsøg 7

Indhold	
___ g HDPE Plast ___ g LDPE Plast 18 g PET Plast ___ g PP Plast ___ g PS Plast ___ g PE Plast ___ g Udefinerbar Plast 28 g Folie 100 g Dagrenovation ___ g Tandbørste plast 52 g Jern ___ g Aluminium ___ g Gummi ___ g Elektronikskrot ___ g Pap/papir ___ g Glas ___ g MYP Plast folie ___ g ___ g Ekstruderet PE 198 g Sprøjtestøbt PE g Total vægt	

Forsøg 8

Indhold	
___ g HDPE Plast ___ g LDPE Plast 58 g PET Plast ___ g PP Plast ___ g PS Plast ___ g PE Plast ___ g Udefinerbar Plast 14 g Folie 532 g Dagrenovation ___ g Tandbørste plast 50 g Jern ___ g Aluminium ___ g Gummi ___ g Elektronikskrot ___ g Pap/papir ___ g Glas ___ g MYP Plast folie ___ g ___ g Ekstruderet PE 654 g Sprøjtestøbt PE g Total vægt	

Bilag 5. Robotteknologi – kasser

Bilag 5.1 Udstyr

For at kunne opsamle data er der i projektet anvendt to Basler ToF-kameraer. Der er ikke anvendt andet udstyr såsom kontrolleret lys i denne dataopsamling.

Idéen med at bruge mere end ét kamera er, at man dermed kan opnå en mere komplet repræsentation af scenen, da man kan se den fra flere vinkler.
Af databehandlingssoftware er det valgt at undersøge muligheden for at udnytte indbygget funktionalitet i open-source softwarebiblioteket: ”Point Cloud Library” (PCL).

Bilag 5.2 Software Interface til ToF-kameraer

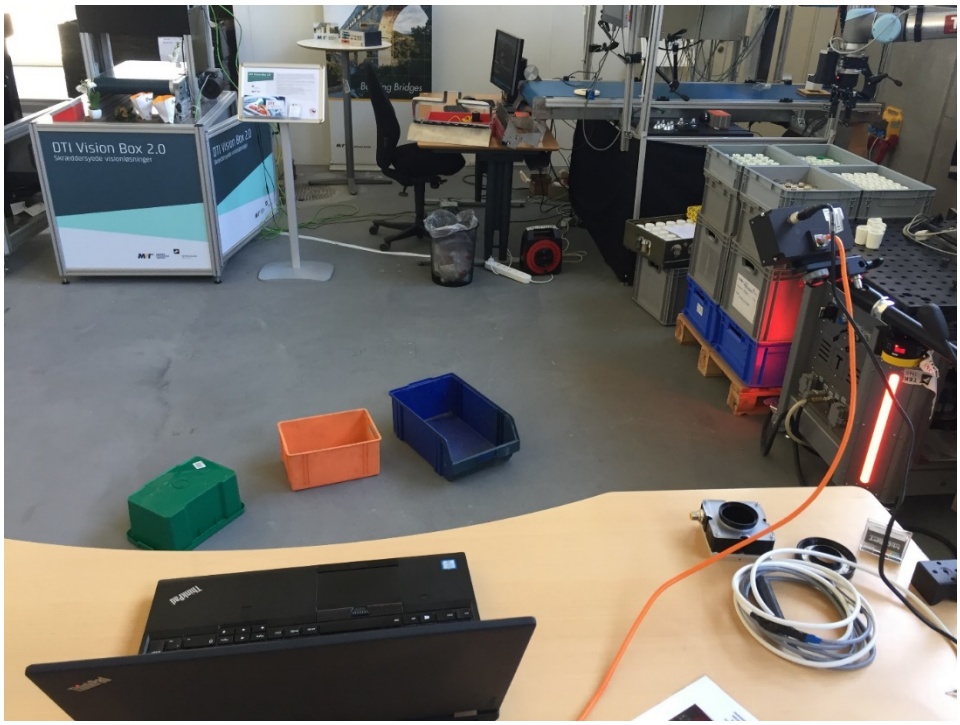
Udtrækningen af punktskyer fra ToF-kameraerne følger en forhåndsdefineret API (GeniCam), der er blevet udvidet, så det nu er muligt at konvertere det rå data fra kameraet til PCL- bibliotekets punktsky dataformat. Der er endvidere opsat en protokol for, hvornår kameraerne må tage et billede i de scenarier, hvor mere end ét kamera er tilsluttet systemet. Dette er nødvendigt, da ToF-teknologien er baseret på den tidligere omtalte udsendelse af lyssignaler. Hermed kan og må flere ToF-kameraer ikke tage billeder samtidigt, da lyssignaler fra de andre kameraer drastisk vil forringe kvaliteten af billederne ved introduktion af en stor mængde støj. Protokollen følger følgende fremgangsmåde:

4. Tilslut alle kameraer tilgængeligt på netværket.
5. Sæt diverse parametre (eksponeringstider, filtre, etc.) på de tilsluttede kameraer.
6. Igangsæt en forhandlingsrutine kameraerne imellem for at bestemme, hvem der skal være ”master”, og hvem der skal være ”slave”.
7. Synkroniser kameraernes interne ure så evt. tidsforskydninger kommer under 10.000 ns.
8. Læs tidsstempel og eksponeringstid(er) fra ”master”-kameraet.
9. Udregn udløserforsinkelse (trigger delay) givet eksponeringstiderne.
10. Sæt synkroniserede udløsertider for de tilsluttede kameraer.

Hermed starter en billedoptagelse med at master kameraet tager sit billede, hvorefter det andet kamera tager sit billede, efterfulgt af det tredje, etc.

Bilag 5.3 Dataopsamling

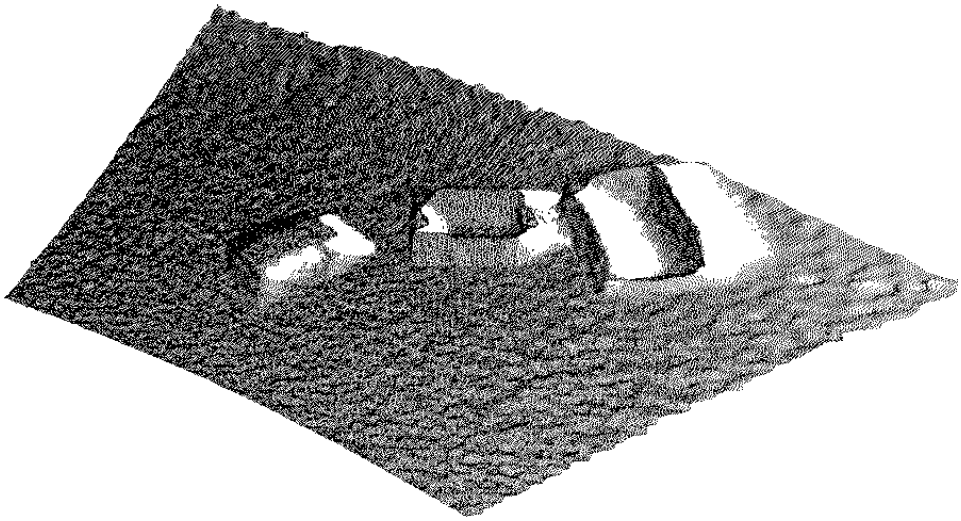
Nedenstående figur viser forsøgsopstillingen, hvor 2 Basler ToF-kameraer tager billeder af scenen indeholdende både kasser og øvrige plastemner.



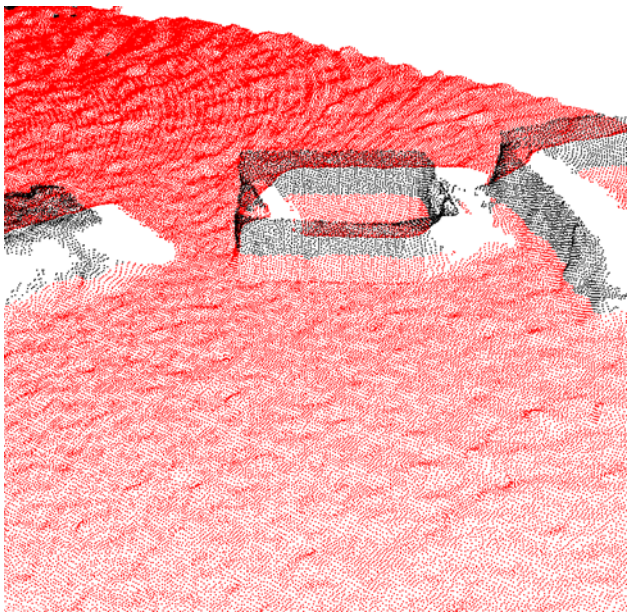
Der er i alt opsamlet 20 billeder af 10 forskellige scener med Basler ToF-kameraerne. Et eksempel af en sådan scene ses nedenstående.

Bilag 5.4 Kvalitetsvurdering af opsamlet datasæt

Som det ses i figuren nedenfor, er der tydelige problemer med det opsamlede data. Flader gengives ikke i punktskyen som tydelige planer. Kanter omkring emnerne er endvidere udvaskede, hvilket umuliggør udnyttelse af 3D kant- og konturestimeringer. Dette på trods af, at diverse filterparametre på kamera er fintunede.



Problemet med usikkerheden i målingerne er især synligt, når alle punkter, der tilhører det største plan (gulvet), skal fjernes. Her skal der sættes en tærskelværdi for, hvor langt hvert punkt må afvige fra den estimerede plan. For at lave en succesfuld detektion af gulvet er denne tærskelværdi sat til 3 cm. Det betyder, at mange af punkterne tilhørende kasserne vil forsvinde; se figuren nedenfor, hvor alle de røde punkter bliver fjernet som en konsekvens af den meget høje tærskelværdi.



Bilag 5.5 Databehandling

For at lave en algoritme, der skal kunne genkende kasseformede emner fra øvrige former, er der lavet en liste over de punkter, der adskiller kasser fra øvrige former:

- Flader der grænser op til hinanden er ortogonale.
- Der forefindes min. 2 fladepar (2 x 2 flader), der er parallelle.

Der er taget udgangspunkt i kasseformede emners konstruktion af flader og ikke kanter eller konturer, da den opsamlede data ikke kan bruges til denne form for algoritmer.

Her findes RANSAC-baserede algoritmer til at finde flader, cirkler, etc. Dog findes der ikke direkte en algoritme, der kan detektere kasseformede emner.

Algoritmen, der bruges i dette projekt, forløber således:

1. Punktskyen indlæses og preprocesseres
2. Det største plan (underlaget) fjernes fra scenen
3. En euklidisk klyngedannende algoritme køres for at adskille emner fra hinanden
4. Inertimomentet estimeres for hvert adskilt emne for bestemmelse af ”oriented bounding box” (OBB)
5. Den euklidiske afstand, fra hvert 3D-punkt i hvert adskilt emne til nærmeste flade af tilhørende OBB, beregnes.

Hypotesen bag denne algoritme er, at kasseformede emner vil have en lav middelafstand fra dets punkter til dets tilhørende OBB, hvorimod sfærer, koniske former, etc. vil have en højere middelafstand, og vil dermed kunne sorteres fra netop på denne indikator.

En anden kassedetekteringsalgoritme, der kunne undersøges i et fremtidigt arbejde, ville forløbe som listet nedenfor. Dog vil det kræve længere udviklingstid, da nogle af disse funktionaliteter ikke er direkte tilgængelige i PCL.

1. Det største plan (underlaget) fjernes fra scenen.
2. En klyngedannende algoritme køres for at adskille flader fra hinanden. Algoritmen sørger for at følgende to kriterier konstant er opfyldt for at et punkt optages i en klynge.
3. Den Euklidiske afstand mellem det nuværende 3D-punkt og de omkringliggende nabopunkter er lavere end en fastsat grænseværdi.
4. Vinklen mellem nuværende punkts normalvektor og dets nabopunkter er lavere end en fastsat grænseværdi.
5. De adskilte flader løbes igennem, hvor fladernes samhørsforhold bestemmes på baggrund af:
6. En ”nearest neighbour” søgning fladerne imellem.
7. En euklidisk afstandsberegning mellem fladernes tætteste naboer. Denne afstand skal være under en fastsat grænseværdi, for at to flader bestemmes til at stamme fra samme emne.
8. Vinklen mellem samhørende flader beregnes.

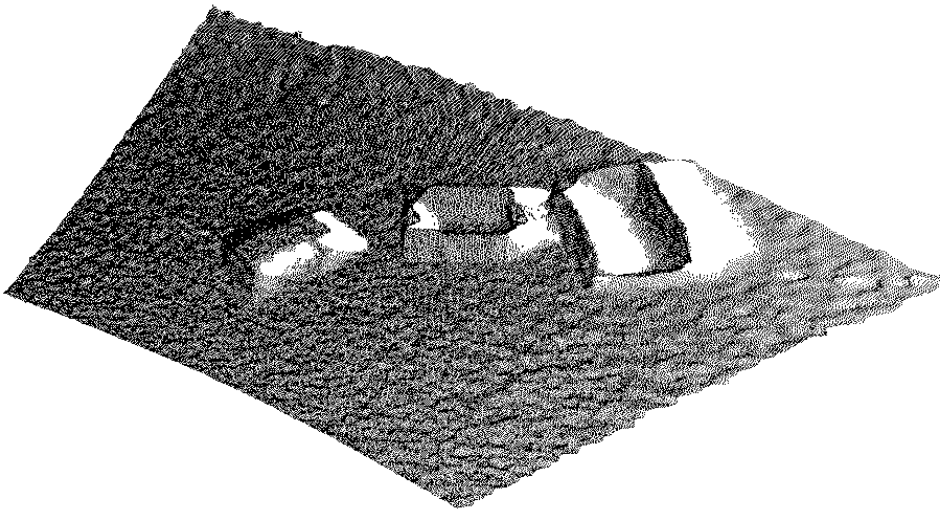
Hypotesen bag denne algoritme er, at man ved at adskille alle flader og ved at kende deres tilhørsforhold kan bestemme om emnet opfylder de to opstillede kriterier i starten af databehandlingsafsnittet, og altså hermed om de kan klassificeres som et kasseformet emne.

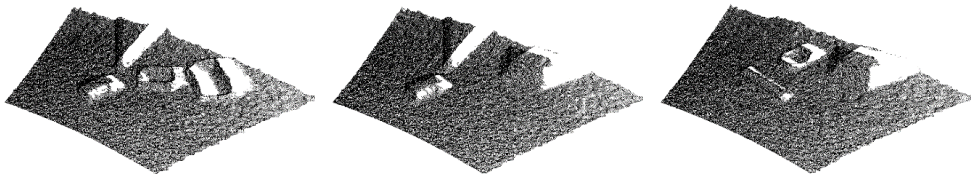
Bilag 5.6 Resultater

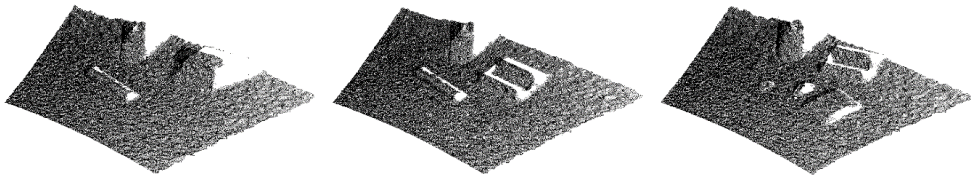
I denne sektion præsenteres resultaterne ”step by step”.

- **Step 1 af 5** – Indlæsning samt preprocessering

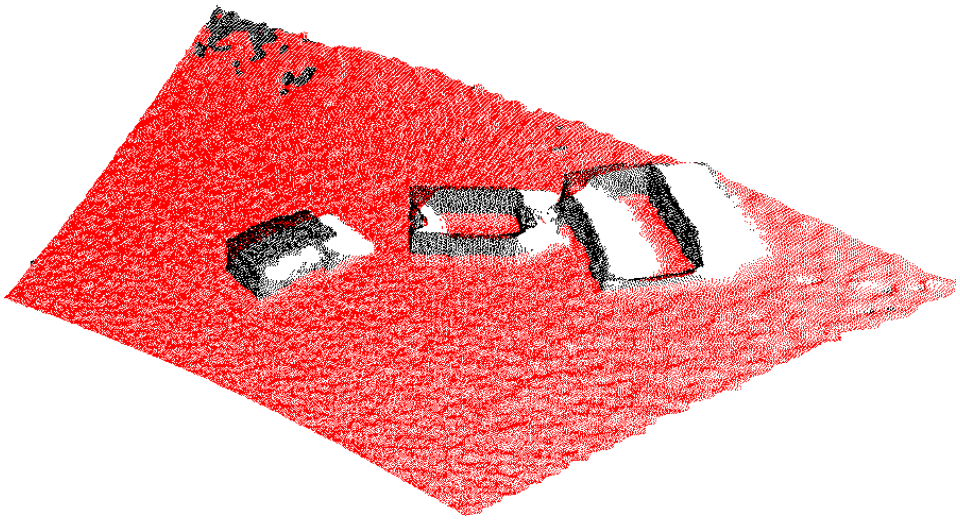
  De følgende 7 figurer er visualiseringer af 7 forskellige scener, hvor preprocesseringen er kørt. Preprocesseringen består af ”voxel grid downsampling”, fjernelse af ”NaN punkter”, samt estimering af normalvektorer.

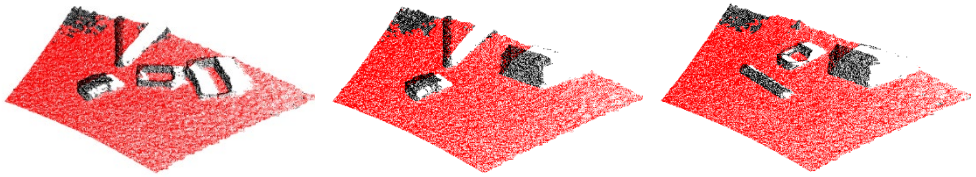


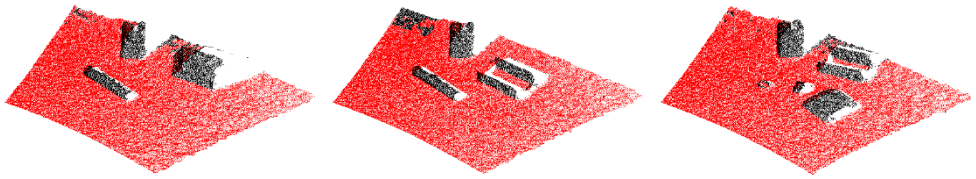




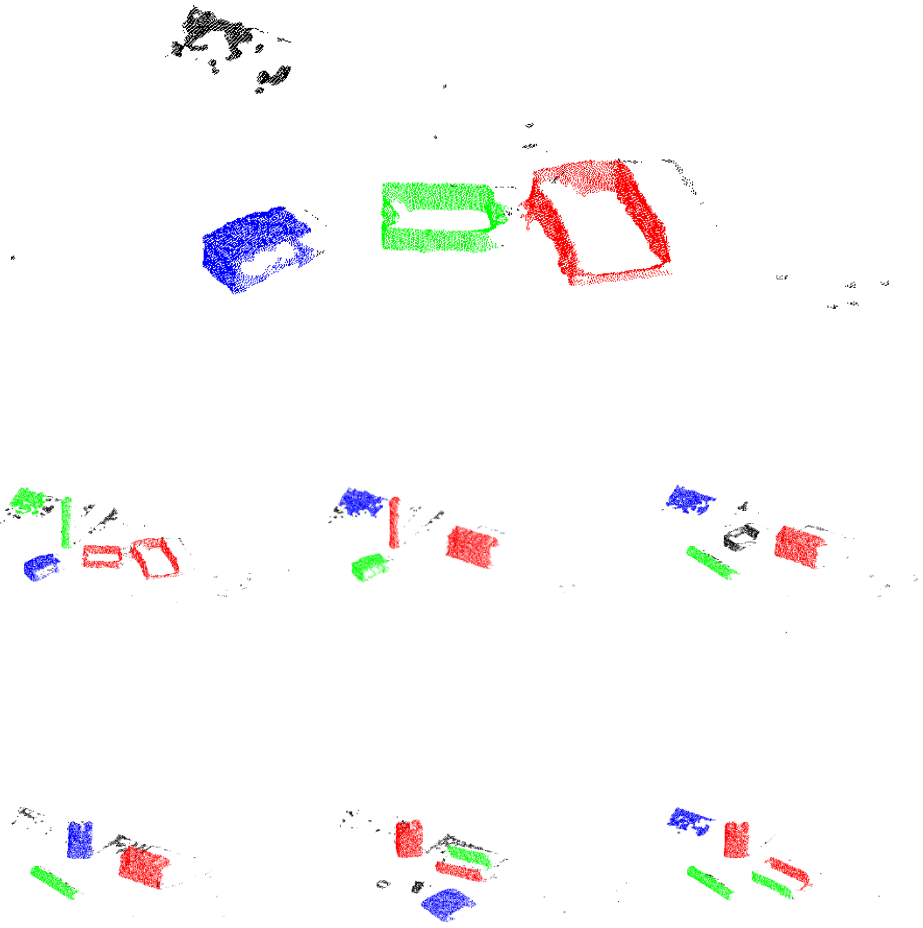
- **Step 2 af 5** – RANSAC plan segmentering
  For at fjerne en stor mængde uinteressant data søges der efter det største plan i scenerne. Nedenfor er disse plan markeret som røde punkter.



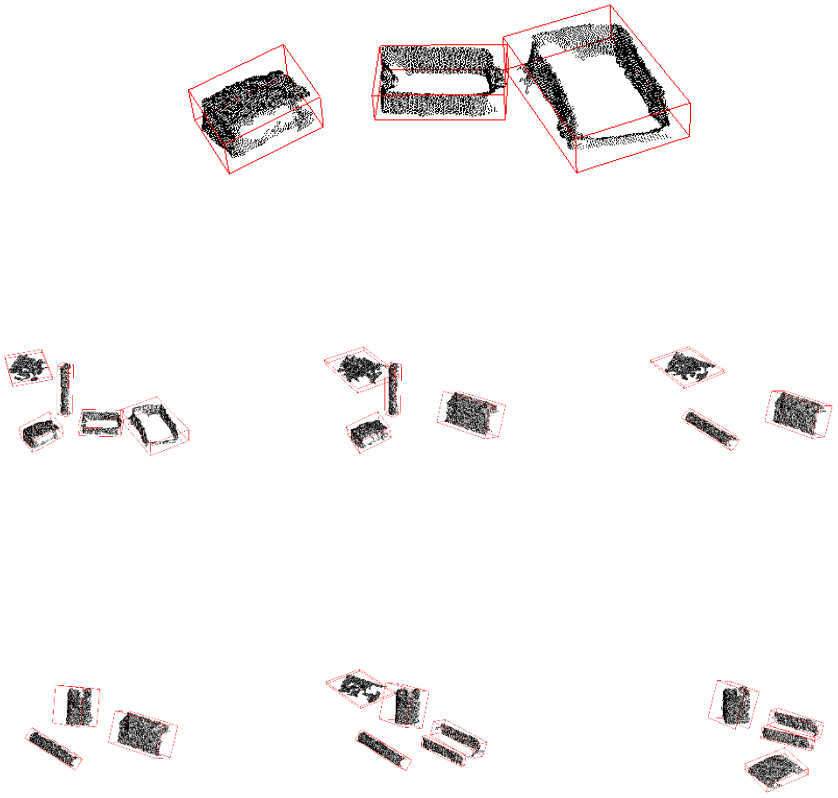




- **Step 3 af 5** – Euklidisk gruppering
  For at finde ud af, hvilke punkter tilhører hvilke (sammenhængende) objekter, udføres der en Euklidisk ”clustering” algoritme, der bestemmer punkternes tilhørsforhold givet deres afstand til deres nærmeste naboer. Punkter markeret med anden farve end sort, medtages i de efterfølgende beregninger. De sorte fjernes.



- **Step 4 af 5** – Inertimomentet estimeres
  Her findes den umiddelbart mindste ”oriented bounding box” (OBB) for hvert objekt.
  Hver OBB er visualiseret som røde kasser nedenfor.



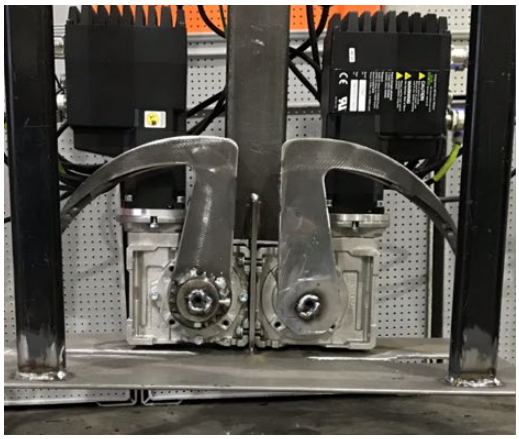
- **Step 5 af 5** – Beregning af middelafstand for alle punkter i hvert objekt til dets tilhørende OBB
  Dette skridt er blevet udeladt, da kvaliteten af de opsamlede data ikke er god nok.
  Hermed ville resultaterne af denne beregning potentielt være særdeles misvisende.

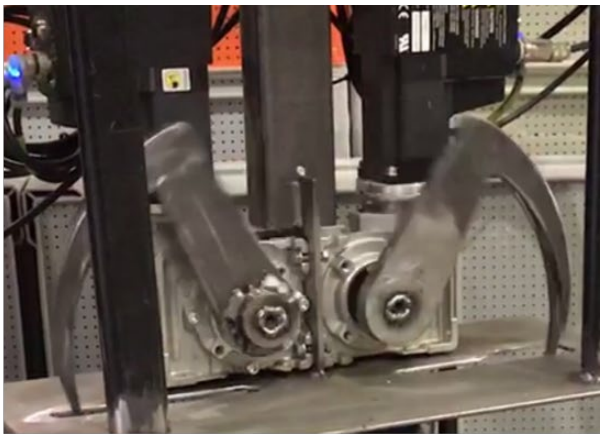
Bilag 6. Gribeteknikker

Bilag 6.1 Forord

I dette bilag er vist fotos fra test af en produceret pilotversion af 24a's gribeteknologi. Det er i forsøgene undersøgt om griberne kan opsamle forskellige plastkasser samt om opsamlingen er succesfuld i første gribning. Forsøget udføres hos AVL i Mariager.

Testværktøjet er konstrueret som på billederne herunder.



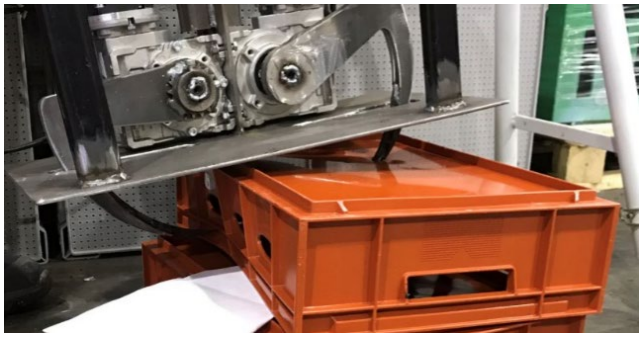


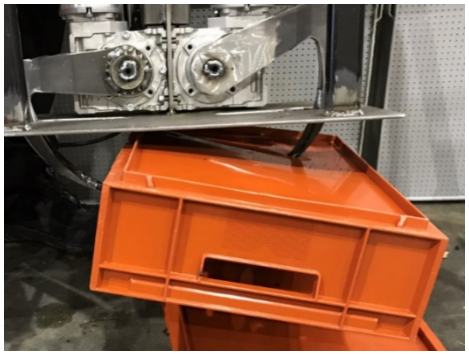
Der er lavet gribetest med 7 forskellige emner. For 5 af emnerne var materialerne meget tykke, og dermed hårdere end forventet. Der skal en større kraft til end forventet for at trække kløerne igennem plasten. Der er i det følgende indsat billeder af hvert emne, som viser hvordan klørene lukkede sig sammen om kassen.

Bilag 6.2 Plastdel 1

Orange plastkasse, materialetykkelse 3,5 mm.

Test



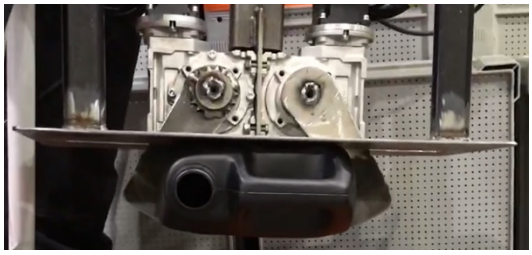


Opsamlingen lykkedes.

Bilag 6.3 Plastdel 2

5 liter sort plastdunk, materialetykkelse 1 mm.

Test

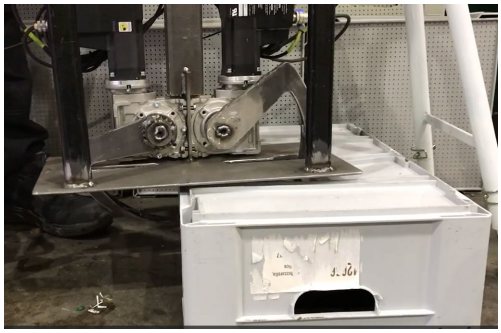


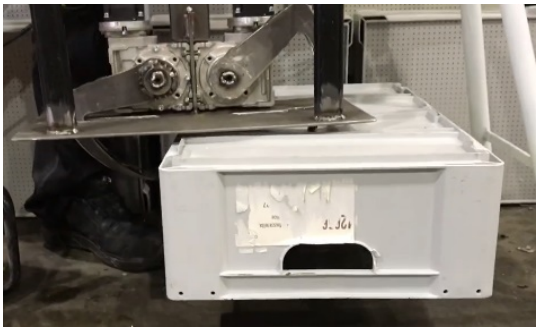
Opsamlingen lykkedes.

Bilag 6.4 Plastdel 3

Grå plastkasse 3 mm tyk.

Test



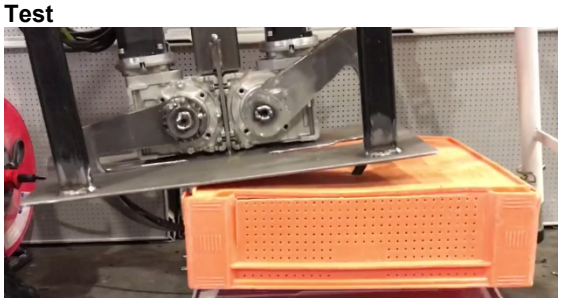


Opsamlingen lykkedes.

Bilag 6.5 Plastdel 4

Perforeret kasse 3,3 mm tyk.

Test

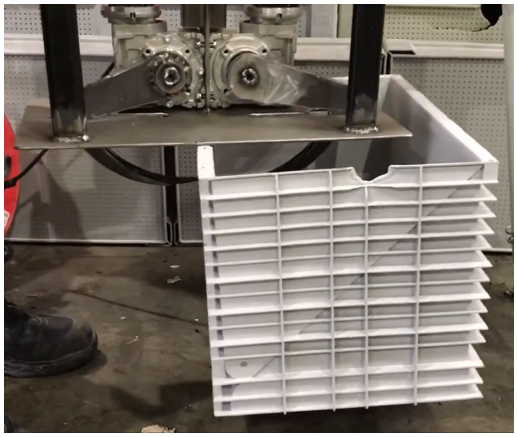


Opsamlingen lykkedes.

Bilag 6.6 Plastdel 5

Grå plastkasse 2,8 mm materiale, med huller i bunden. Kassen var meget sprød.

Test

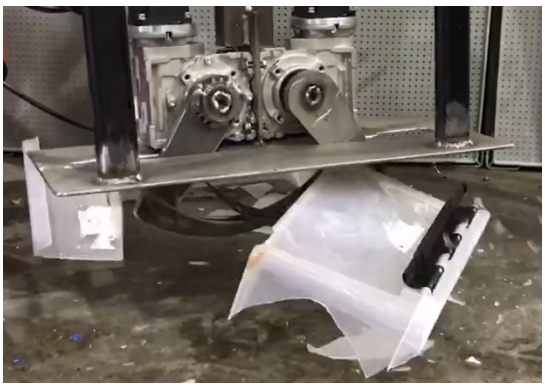


Opsamlingen lykkedes.

Bilag 6.7 Plastdel 6

Klar plastkasse 1,6 mm meget sprød. Var lige taget ind udefra.

Test

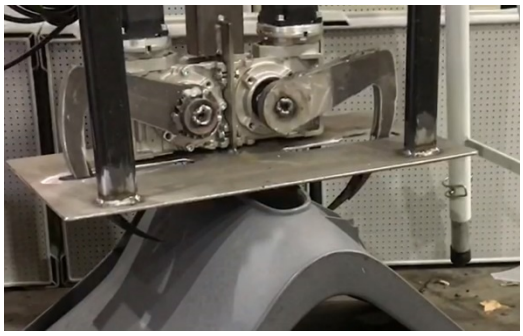


Det ses, at opsamlingen ikke lykkedes, da kassen blev splintret af kløerne.

Bilag 6.8 Plastdel 7

Stolesæde 6 mm tykt materiale.

Test



Opsamlingen lykkedes ikke.

Bilag 7. Bilag – Genbrugspladser

Der er gennemført en række aktiviteter i forbindelse med udvikling af metoder til at behandle plast fra genbrugspladser ved IS Reno-Nord. Aktiviteterne er gennemført i 2 perioder. Udvalgte producerede fraktioner af HDPE og PP er oparbejdet ved AVL.

Testperiode 1: Hård plast fra Jammerbugt Kommune neddelt med neddeler på IS Reno-Nord Deponi
Testperiode 2: Hård plast fra Jammerbugt Kommune og AVV neddelt med bedre neddelingsteknologi

Bilag 7.1 Testperiode 1 (forsøg 1)

Forsortering og neddeling

Plasten fra Jammerbugt Kommune består af hård plast og folie, se Billede 67.
Forsøget er gennemført med en mængde på 2,2 ton.

For at kunne behandle den hårde plast er der foretaget en manuel frasortering af folie fra fraktionen.

Der er frasorteret kasser (120 kg) da mekanisk fraseparering af kasser var en separat udviklingsaktivitet i projektet - se rapportens afsnit 6.1. Der er endvidere frasorteret emner som ikke ønskes opblandet i materialestrømmen. Det drejer sig om PEX-rør, plastemballage med rester af maling og WEEE.

Den resterende hårde plast (1.560 kg) samt kasserne (120 kg) er neddelt med en neddeler (Terminator 5000, Komptech) på IS Reno-Nord Deponi.

TABEL 40. Udsorterede fraktioner.

	Kg	%
Folie	440	20,04
Kasser	120	5,46
Rest (Anden hård plast end kasser)	1.560	71,04
PEX	20	0,91
WEEE	32	1,46
Maling	24	1,09
Sum	2.196	100

Billede 67
Plast fra jammerbugt (Hård plast og folie) inden sortering.

Billede 68
Kasser.

Billede 69
Rest hård plast.

Sortering af hård plast i polymerer på Reno-Nords sorteringsanlæg

Ved inspektion af den neddelte plast modtaget på Reno-Nords sorteringsanlæg viste plasten sig at være ret groft neddelt med nogle størrelser på op til 50 cm. Som eksempel er vist de neddelte kasser.

Billede 70
Neddelte kasser.

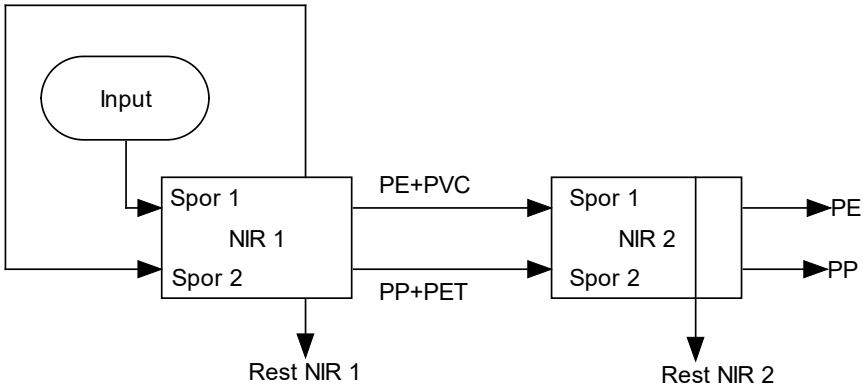
De neddelte materialer fra genbrugspladsen blev indført i sorteringsanlægget. For at kunne processere materialet på sorteringsanlægget blev overstørrelsesfraktionen fra skivefiltret (250 mm) genneddelt på sorteringsanlæggets neddeler.

Ved testen opstod et problem, da anlægget er designet til processering af husstandsindsamlet plast og metal (henteordning), hvor der fjernes en stor mængde metal og plastfolie i forsorteringsenhederne.

Det er ikke muligt at reducere fødehastigheden på anlægget i tilstrækkeligt omfang, når der som her tilføres 100 % hård plast med høj massefylde fra genbrugspladser. For at reducere fødehastigheden blev der derfor foretaget periodevis stop og start af fødebåndet for at reducere flowet til NIR-sortererne. Det gav en ujævn drift, som ikke var optimal, men det var dog muligt at processere materialet.

I forsøget blev plasten processeret med følgende indstillinger i kørsel 1:

NIR-1, spor 1, udsortering af HDPE+PVC
NIR-1, spor 2, udsortering af PP+PET
NIR-2, spor 1, udsortering af HDPE
NIR-2, spor 2, udsortering af PP



Ved kørsel 2 og 3 blev udtaget 50 % af henholdsvis PE (HDPE) og PP. Disse mængder blev sorteret på anlægget en ekstra gang.

Resultaterne er vist i TABEL 41.

TABEL 41. Hård plast ekskl. kasser.

Kørsel 1 – 1.560 kg		
Fraktion	**Net**	**%**
Sigte 250 mm	3	0,217
Foliesug	0	0
Overbåndsmagnet	0	0
Eddy current	0	0
Sigte <20 mm	313	22,62
PE	145	10,48
PP	175,5	12,68
Rest NIR 1	504	36,42
Rest NIR 2	242	17,5
Poseåbner	1,5	0,108
Fe overbånd	(Stor klump jern ophobet vurderet til ca. 50 kg)	
Eddy current	1.384	100

INPUT PE 72,5 kg (fra kørsel 1)		
Kørsel 2		
Fraktion	**Net**	**%**
Sigte <20 mm	2,18	2,757
PE	56,5	71,45

Rest NIR 1	10,72	13,56
Rest NIR 2	4,56	5,766
PP	0,62	0,784
Skivefilter	4,5	5,69
Sum	79,08	100

Input PP 76 kg (fra kørsel 1)		
Kørsel 3		
Fraktion	**Net**	**%**
Sigte <20 mm	3,64	4,889
PP	52,5	70,51
Rest NIR 1	12,08	16,22
Rest NIR 2	1,38	1,853
PE	0,92	1,236
Skivefilter	3,94	5,291
Sum	74,46	100

Resultatet fra kørsel 1 viste, at ca. 23 % af materialer blev mistet i det lille skivefilter. Dette skyldes, at en del plast var blevet neddelt til flager eller partikler, der var mindre end 2 cm brede hvorved de kunne passere skivefiltret.

Herudover var der en stor restfraktion fra NIR-1 på 36 %. Fraktionen indeholder sort plast men også en del store emner, som ikke er blevet udsorteret fra NIR-sortererne.

Samlet opnås kun et udbytte på i alt 23 % PE og PP.

Ved en ekstra gennemkørsel af henholdsvis PE og PP fra plast der ikke indeholdt kasser (kørsel 2 og 3) blev der udsorteret 71 % i produktfraktionerne. Det skal bemærkes, at den fine skivesigte blev afspærret med en plade i denne test.

Fraktionen af neddelte kasser blev herefter sorteret i PE og PP med afblændet lille skivefilter. Resultatet af sorteringen er vist i TABEL 42.

TABEL 42. Udsortering af PE og PP fra kasser.

Input 120 kg		
Kørsel 4		
Fraktion	**Kg**	**%**
Sigte <20 mm	0	0
PP	27,5	26,2
Rest NIR 1	36,8	35,1
Rest NIR 2	6,5	6,2
PE	34	32,4
Skivefilter	0	0
Sum	104,8	100

For at bestemme renheden af de udsorterede materialer blev de der foretaget en neddeling til flakes hos AVL af hård plast fra de 6 forsøg med angivet forkortelse i parentes:

- PE andet end kasser, 1 gang sortering (PE, non KS, 1X)
- PE andet end kasser, 2 gange sortering (PE, non KS, 2X)
- PP andet end kasser, 1 gang sortering (PP, non KS, 1X)
- PP andet end kasser, 2 gange sortering (PP, non KS, 2X)
- PE kasser, 1 gang sortering (PE, KS, 1X)
- PP kasser, 1 gang sortering (PP, KS, 2X).

Ca. 150 flakes af hver portion blev udtaget og analyseret med FTIR af Teknologisk Institut.

Renhed af produktfraktioner samt indhold af andre materialer er vist i TABEL 43.

TABEL 43. Analyseret renhed af fraktioner i forsøg 1.

Fraktion nr.	Fraktion	PE-%	PP-%	Rest-%
1	PE, non KS, 1X	96,1	0,0	3,8
2	PE, non KS, 2X	93,6	5,4	1,0
3	PP, non KS, 1X	3,2	65,1	31,7
4	PP, non KS, 2X	1,1	95,0	3,9
5	PE, KS, 1X	96,8	1,7	1,5
6	PP, KS, 1X	2,7	96,1	1,2

Sammensætningen gælder partikler >3-4 mm.

For hård plast, der ikke var kasser, var renheden af PE høj (fraktion 1 og 2). Det skal bemærkes at der er en vis usikkerhed på bestemmelsen da der er tale om analyse af kun 150-200 partikler hvorfor renheden af PE i fraktion 1 og 2 vurderes at være nogenlunde ens ca. 95 % hvor man vil forvente at renheden i fraktion 2 vil være højere end i fraktion 1. Urenhederne var primært af andet materiale end PE.

Renheden af PP efter 1 gang sortering var lav med 65 % (fraktion 3). Efter 2 gange sortering var renheden af PP høj (fraktion 4).

Renheden af PE og PP fra kasser (fraktion 5 og 6) var begge høje.

Oparbejdning hos AVL

Oparbejdningen af de 6 fraktioner (fraktion nr. 1-6, TABEL 17) ved AVL omfattede følgende trin, som på grund af de begrænsede mængder blev foretaget i lab-/pilotskala:

1: Neddeling til flakes (10 mm)
2: Densitetsseparation
3: Friktionsvask/tørring
4: Ekstrudering.

Neddelte flakes.

Densitetsseparation i kar. Flakes er omrørt/vendt manuelt med skovl for at sikre en god densitetsseparation.

Friktionsvask (batchvis).

Ekstrudering på laboratorieekstruder.

Efter ekstrudering blev de mekaniske egenskaber af den omsmeltede plast bestemt i AVL's laboratorie.

TABEL 44. Mekaniske egenskaber af testede plastfraktioner.

Fraktion nr.	Fraktion	MFI g pr. 10 min[25]	Trækstyrke MPa	Brudforlængelse %	Estimeret forurening %
1	PE, non KS, 1X	0,16	26,1	45	<0,5 % PP
2	PE, non KS, 2X	0,2	25,5	46	< 0,5 % PP
3	PP, non KS, 1X	32	24,7	16	2 % LLDPE
4	PP, non KS, 2X	34	26	34,8	0,5 % LLDPE
5	PE, KS, 1X	1,4	24,6	274	<0,5 % PP
6	PP, KS, 1X	29	25,6	18	5,5 % HDPE

Af TABEL 44 fremgår den estimerede forurening ud fra DSC-kurver. Det ses, at PP- materialet efter densitetsseparation og vask har en høj PP-renhed på 95-99 % og PE- materialet har en meget høj PE-renhed på over 99 %.

Analysen viser næsten ens flydeegenskaber (smelteindex -MFI) af PP, mens PE-kasser har et højere smelteindex end materiale, der ikke er kasser (1,4 mod 0,16-0,2).

Der er imidlertid et ønske om at opnå et smelteindex på >5 for kasser, da de så vil kunne benyttes til sprøjtestøbning (kræver at plasten er tilstrækkeligt letflydende).

Der blev derfor foretaget en analyse af smelteindex for forskellige farver af flakes.

MFI (gr. pr. 10 min. Bestemt ved 190 °C og 2,16 kg belastning)

PE-flakes grøn (lys)	3,9
PE-flakes grøn (mørk)	7,4
PE-flakes orange	5,7
PE-flakes ufarvede	0,1

Her viste det sig, at ufarvede flakes er årsagen til det lave smelteindex.

[25] For PP er MFI målt ved 230 °C og en belastning på 2,16 kg. For PE er MFI målt ved 190 °C og en belastning på 2,16 kg.

Dette skyldes formentlig en fejlsortering hvor der er f.eks. kommet emner fra flaskeblæsning med, hvilket forklarer at de ufarvede flakes havde et lavt MFI.

Den samlede konklusion af sorteringen og oparbejdningen var, at:

- materialekvaliteten af NIR-sorteret PE og PP er god, men at de materialer, der sænker smelteindekset (MFI) af PE-sprøjtekvalitet, må frasorteres
- tab på sorteringsanlægget var for højt, hvilket bl.a. vurderes at skyldes en dårlig neddeling og heraf følgende tab i lille skivefilter, samt tab i NIR-sorterere.

For at undersøge om resultatet kunne forbedres, blev der udført en ny forsøgsserie med bedre neddelt materiale.

Bilag 7.2 Testperiode 2 (forsøg 2 og 3)

Forsøg 2
For at opnå en bedre neddeling, end hvad der var muligt med udstyret, som var til rådighed ved Reno-Nords deponi i Rærup, blev der sendt udsorteret hård plast, hvor folier og uønskede materialer var frasorteret til neddeling ved Eldan Recycling i Fåborg. Der blev benyttet en Super Chopper, som producerer materiale af ca. 15 cm *15 cm (se Billede 71).

Billede 71
Neddeling med super chopper ved Eldan Recycling.

Billede 72
Tilført materiale fra forsorteret hård plast, neddelt af Eldan Recycling.

Ved de nye forsøg blev materialet tilført direkte før NIR-sorterne ved langsomt at overføre materiale manuelt fra en grab på en læssemaskine til transportbåndet.

Et forforsøg viste en forøgelse i den udvundne sum af PE og PP produkter fra 23 % i forsøg 1 til 34 %, se TABEL 45.

TABEL 45. Forforsøg.

Tilført mængde 54 kg		
Fraktion	**kg**	**%**
PE	11	20,4
PP	7,5	13,9
Sum rest	35,5	65,7
Total	54	100

Herefter blev forsøg 2 udført med 2.280 kg forsorteret hård plast.

TABEL 46. Forsøg 2

Tilført mængde 2.280 kg		
Fraktion	**Kg netto**	**%**
PE	529	23,0
PP	365,5	15,9
Fælles rest fra NIR-2	99	4,3
Rest NIR-1	1.310	56,9
Sum ud	2.303,5	100
Afvigelse ind/ud		1,03

Massebalancen stemmer inden for 1 %.

Ud fra tidtagning er det estimeret at doseringsflowet har været ca. 3,1 ton pr. m bånd pr. time.

Det ses, at der opnås 38,8 % produkter i form af PE og PP. Restfraktionen fra NIR 1 er stor og udgør næsten 57 % af inputtet. Fraktionen indeholder bl.a. sort plast (Billede 73).

Billede 73
Rest NIR-1.

Tabet fra NIR-2 er lille med ca. 4 %.

Forsøg 3
Dette forsøg er baseret på materiale fra AVV, som blev neddelt hos Eldan Recycling.

Resultaterne af dette forsøg er vist i TABEL 47.

TABEL 47. Forsøg 3.

Fraktion	Kg	%
PE	139	15,8
PP	142	16,1
Fælles rest NIR-2	35,5	4,0
Rest NIR-1	565,5	64,1
Sum ud	882	100

Mængden af PE og PP udgør 31,9 %, men restfraktionen er meget stor og udgør næsten 65 %.

Der blev sorteret en delmængde af rest fra NIR-1, hvor det blev fundet 48,9 % sort plast.

TABEL 48. Sammensætning af sort plast i restfraktion fra NIR-1.

Fraktion	Kg	%
Sort	53,5	49,0
Hård plast ikke-sort	29	26,5
Metalholdigt/WEEE	14,5	13,2
Andet (papir, gummi, bemalet plast)	12,5	11,4
Sum	109,5	100

Der blev fundet 26 % ikke-sort hård plast, hvoraf en del vil være PE og PP.

Den sorte plast udgør 31 % af det samlede læs.

Der er foretaget en analyse af flakes, som er produceret af neddelt PE, PP, samt rest fra NIR-1 og rest fra NIR-2 for at kunne beregne en sammensætning af alle 4 producerede fraktioner.

Polymerindholdet af ikke-sort PE og PP er bestemt, og ud fra disse data er beregnet udbytte og renhed af udvundet ikke sort PE og PP i forhold til indholdet af ikke-sort PE og PP i læsset.

TABEL 49. Opnået udbytte og renhed i læs fra AVV.

Polymer	PE	PP
Renhed af produktfraktion %	95,0	74,8
Udbytte %	63,2	63,3

Indholdet af sort plast i fraktionen fra NIR-1 blev bestemt til 46,3 % ud fra analyser af indhold i flakes, hvilket er i overensstemmelse med resultatet af manuel sortering af en delprøve (48,9 %). Indholdet af sort plast i den totale mængde fra AVV er for forsøg 3 bestemt til 31,3 %.

Til sammenligning er indholdet af sort plast i fraktionen fra NIR-1 for forsøg 2 bestemt til 56,9 % i fraktionen fra NIR 1 ud fra analyse af flakes.

Baseret på dette vurderes et indhold af sort plast i forsøg 2 til ca. 34 %.

Flexisort

Projektet Flexisort: Udvikling af regionalt cirkulært genanvendelseskoncept til indsamlet hård plast, plastfolie og metal i Nordjylland er gennemført i perioden fra 1. januar 2016 til 30. september 2018. Det overordnede formål med projektet har været at udvikle teknologi og sorteringsmetoder i forbindelse med etablering og tilpasning af et regionalt sorteringsanlæg til kildeopdelt, husstandsindsamlet hård plast, plastfolie og metaller samt plast indsamlet fra genbrugspladser. I sorteringsanlæggets opførelsesperiode blev der gennemført en omfattende karakterisering af indsamlede materialer fra de tre kommuner. Dette blev gjort med henblik på og som grundlag for planlægning af de udviklingsaktiviteter, der skulle foregå, når anlægget var opført. Endvidere er der i projektet udviklet teknologi og sorteringsmetoder i forbindelse med etablering og tilpasning af et regionalt sorteringsanlæg til kildeopdelt, husstandsindsamlet hård plast, plastfolie og metaller samt plast indsamlet fra genbrugspladser Som et led i udviklingen af metoder til at opnå en højere udnyttelsesgrad af materialerne er foretaget simuleringer af andre opkoblinger af NIR-sortererne end de på Reno-Nord benyttede samt effekt af brug af yderligere to NIR-sorterere. Simuleringerne viser, at det bør være muligt at øge udbytte og renhed yderligere ved brug af ekstra NIR-sorterere og recirkulering af reststrømme fra NIR-sortererne efter udsortering af de ønskede polymerer (PE, PP og PET).

Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk