



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Mekanisk sortering af plastaffald fra husholdninger

Udvikling af dansk sorteringskoncept

Miljøprojekt nr. 1724, 2015

Titel:

Mekanisk sortering af plastaffald fra husholdninger

Redaktion:

Jesper Vange Heinzl, Dansk Affald A/S
Charlotte Scott Larsen, Dansk Affald A/S
Kathe Tønning, Teknologisk Institut
Bjørn Malmgren-Hansen, Teknologisk Institut
Nils H. Nilsson, Teknologisk Institut

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2015

ISBN nr.

978-87-93352-37-7

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, 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

Forord.....	6
Konklusion og sammenfatning	7
Summary and Conclusion.....	14
1. Baggrund og formål.....	15
2. Affaldsanalyser	16
2.1 Affaldsanalyser.....	17
2.1.1 Omfang	17
2.1.2 Gennemførelse af affaldsanalyser	18
2.2 Resultater af sortering	22
2.2.1 Resultater af affaldssortering af fraktionen fra DuoFlex®-systemet – Type 1.....	22
2.2.2 Resultater af affaldssortering af fraktionen indsamlet i klare plasticsække – Haderslev – Type 2	24
2.2.3 Resultater af affaldssortering af plastflasker og -dunke indsamlet via genbrugsplads – Type 3.....	26
2.2.4 Resultater af affaldssortering af blandet plast via genbrugsplads – Type 4.....	28
2.2.5 Opsamling – Plasttyper	30
2.3 Sammenfatning og konklusion for resultater af affaldsanalyser	32
3. Afsætning.....	33
3.1 Afsætningspriser	33
3.1.1 PET (polyethylenterephthalat)	33
3.1.2 HDPE (high density polyethylen) dunke	33
3.1.3 Blandet fraktion PP/PE/PET (polypropylen/polyethylen/polyethylenterephthalat)	34
3.2 Sammenfatning og konklusion for afsætningspriser	34
4. Litteraturstudie - Plastpotentialer	35
4.1 Kortlægning af dagrenovation i enfamilieboliger – Med særligt fokus på madspild, batterier og småt elektronikaffald, Miljøprojekt nr. 1414, 2012, Miljøstyrelsen.....	36
4.2 Emballageforsyningen i Danmark 2009, Miljøprojekt nr. 1388, 2011, Miljøstyrelsen.....	37
4.3 Vurdering af genanvendelsesmålsætninger i affaldsdirektivet, Miljøprojekt nr. 1328, 2010	37
4.4 Samfundsøkonomisk analyse af bortskaffelse af plastflasker og -dunkeaffald fra husholdninger, Miljøprojekt nr. 695, 2002	38
4.5 Miljømæssige fordele og ulemper ved genvinding af plast, Miljøprojekt nr. 657, 2002	38
4.6 Indsamling af plastflasker og -dunke fra husholdninger, Miljøprojekt nr. 637, 2001.....	38
4.7 ”Mission mulig” (Skanderborg og Odder Kommune)	39
4.8 Madam Skrald – Herlev Kommune	39
4.9 Hvidovre Kommune	40
4.10 Data fra DuoFlex®.....	41

4.11	Sammenstilling af resultater fra affaldsanalyse med resultater fra litteraturstudiet	41
4.11.1	Sammenfatning og konklusion for litteraturstudiet	43
5.	Undersøgelse af egnede teknologier til separation	45
5.1	Litteraturundersøgelse/videnindsamling – sorteringsteknologier	45
5.1.1	Indsamling af data	45
5.1.2	Forsortering	48
5.1.3	Neddeling	52
5.1.4	Separering af metaller	52
5.1.5	JET-baserede systemer	53
5.1.6	Triboelektrisk separation	57
5.1.7	Massefyldeseparation	58
5.2	Anlægsbesøg	60
5.2.1	Swerec AB	60
5.2.2	Besøg ved DK Råstof ApS	64
5.2.3	Closed Loop Recycling	65
5.3	DuoFlex®-anlægget ved Dansk Affald	72
5.4	Beregningsværktøj	73
5.5	Opstilling af behandlingskoncepter	76
5.5.1	Nyt koncept for behandling af ren og tør emballageplast hos Dansk Affald	76
5.5.2	Blandet plast fra genbrugspladser m.m.	76
5.5.3	Sammenfatning og konklusion for teknologier til separation	78
6.	Test af nye behandlingskoncepter til separation af materialer hos Dansk Affald	80
6.1	Principskitse for eksisterende sorteringsanlæg hos Dansk Affald	80
6.2	Fokusområder for behandlingskoncepter	80
6.3	Sorteringsforsøg og testkørsler	81
6.3.1	Manuelt frasorteret affald	81
6.3.2	Optimering af sorteringsanlæg	82
6.3.3	Behandling af store emner	82
6.4	Forsøg med neddeling af store plastemner	82
6.5	Gennemførelse af sorteringsforsøg med plast fra DuoFlex®-fraktionen	87
6.5.1	Separation af plasten fra DuoFlex®-fraktionen	87
6.5.2	Udseparering efter polymertype	87
6.6	Sorteringsmetode for plast fra DuoFlex®-fraktionen	87
6.7	Resultater af testkørsel gennemført oktober 2012	87
6.7.1	Store plastemner	88
6.7.2	Plast i skårfraktion	89
6.7.3	Sortering af PE, PET, PP og PS	89
6.7.4	Udbytte og renhed af de NIR-separerede plastfraktioner	92
6.8	Resultater af testkørsel gennemført i juni 2013	93
6.8.1	Store plastemner	93
6.8.2	Sortering af PE, PET, PP og PS	94
6.8.3	Udbytte og renhed af de NIR-separerede plastfraktioner	99
6.9	Sammensætning af frasorteret affald fra DuoFlex®-fraktion	101
6.9.1	Udsorterede fraktioner	102
6.9.2	Vurdering af mulige genanvendelige plastmaterialer frasorteret som affald i forbindelse med forsortering	110
6.10	Beregning af samlet genanvendelseseffektivitet for sortering af DuoFlex®-fraktion med nyt behandlingskoncept	110
6.11	Test af separationseffektivitet af neddelt blandet PE og PET	112
6.12	Neddelt plast fra DuoFlex®-fraktion	114

6.13	Blandet plastfraktion indsamlet via genbrugspladser.....	117
6.14	Oparbejdning af plast med våd massefylde separation.....	118
6.15	Vurdering af behandlingskoncepter.....	119
6.15.1	Behandlingskoncepter til at mindske manuel sortering ved forsortering	119
6.15.2	Behandlingskoncepter til en øget sortering af plastfraktionen hos Dansk Affald	120
6.15.3	Sammenfatning og konklusion for test af ny behandlingskoncepter	121
Referencer		123
Bilag 1:	Sorteringskriterier.....	125
Bilag 2:	Bestemmelse af polymertyper	127
Bilag 3:	Underklasser af identificerede polymertyper af plastemner	133

Forord

Projektet ”Mekanisk sortering af plastaffald fra husholdninger - Udvikling af dansk sorteringskoncept” er gennemført i perioden januar 2012 – juni 2014.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem Dansk Affald A/S (herefter Dansk Affald) og Teknologisk Institut.

Miljøstyrelsen har ydet tilskud til projektet.

Til projektet har været knyttet en følgegruppe med følgende medlemmer:

- Anne-Mette Lysemose Bendsen, Miljøstyrelsen, formand for følgegruppen
- Jette Skaarup Justesen, Miljøstyrelsen
- Peter Hansen, Vejen Kommune
- Ellen Hinz-Berg, Kolding Kommune
- Ole L. Dall, Syddansk Universitet
- Jesper Vange Heinzl, Dansk Affald
- Kathe Tønning, Teknologisk Institut.

Konklusion og sammenfatning

Projektet ”Mekanisk sortering af plastaffald fra husholdninger - Udvikling af dansk sorteringskoncept” er gennemført i perioden januar 2012 – juni 2014.

I projektet er afrapporteret en række affaldsanalyser og testkørsler, som er foretaget ved det mekaniske sorteringsanlæg hos Dansk Affald. Derudover er der gennemført et litteraturstudie i et forsøg på at finde frem til opgørelser om plastpotentialet hos husholdninger i Danmark. Endvidere er der gennemført en litteraturundersøgelse af egnede teknologier til separation af fraktioner indeholdende plast samt opstilling af nye behandlingskoncepter for plast hos Dansk Affald. Endelig er behandlingskoncepterne testet og evalueret.

Affaldsanalyser

Der er i projektet indledningsvist gennemført fire affaldsanalyser. De gennemførte affaldsanalyser omfatter ud over sorteringer af DuoFlex®-fraktionen¹ også sorteringer af husstandsindsamlet plast i sække (tidligere system i Haderslev Kommune), plastflasker og -dunke indsamlet via genbrugsplads og en blandet plastfraktion indsamlet via genbrugsplads. Disse fire affaldsanalyser er gennemført i februar/marts 2012.

I forbindelse med gennemførelse af testkørsler af sorteringsanlægget hos Dansk Affald blev der henholdsvis i oktober 2012 og juni 2013 gennemført en række sorteringer af plastfraktionen.

Af nedenstående Tabel 1 fremgår den procentvise fordeling af plasttyper, der blev registreret ved henholdsvis affaldsanalyserne gennemført i februar/marts 2012 og sorteringerne gennemført i henholdsvis oktober 2012 og juni 2013.

TABEL 1
PROCENTVIS FORDELING AF POLYMERTYPER REGISTRERET VED AFFALDSANALYSER AF AFFALD FRA HUSHOLDNINGER INDSAMLET VIA DUOFLEX®-SYSTEM

Plasttype	Affaldsanalyse februar 2012	Affaldsanalyse oktober 2012 (i forbindelse med testkørsel)	Affaldsanalyse juni 2013 (i forbindelse med testkørsel)
PE ² (HDPE)	41 %	45 %	49 %
PET	22 %	34 %	33 %
PP	5 %	16 %	14 %
PE/PP	4 %		
PVC	1 %		
PS		2 %	1 %
Folie	2 %		

¹ DuoFlex®-fraktionen omfatter tomme glas og flasker, plastflasker og dunke samt brugte metaldåser.

² NIR-separatoren (der er anvendt til opdeling i polymertyper ved testkørslerne i oktober 2012 og juni 2013) skelner p.t. ikke mellem materialekvaliteterne HDPE og LDPE. Ved affaldsanalyserne i forbindelse med testkørslerne er den efterfølgende manuelle sortering for tjek af renheden af fraktionerne foretaget ud fra mærkningen på plastemnerne. Plastemner var mærket med trekant med et 2-tal (se afsnit 2.1.2.1), der angiver plasttypen HDPE.

Andet plast	25 %	3 %	3 %
I alt	100	100	100

Som det fremgår af Tabel 1, udgør plasttyperne PE og PET hovedparten af plasten fra DuoFlex®-fraktionen. Ved affaldsanalysen gennemført i februar 2012 udgjorde disse to plasttyper tilsammen 63 % af den samlede plastfraktion, mens plasttyperne (PE (HDPE) og PET) udgjorde 79 % ved affaldsanalysen i oktober 2012 og 82 % ved affaldsanalysen gennemført i juni 2013.

Når PE (HDPE) og PET kun udgjorde 63 % ved affaldsanalysen gennemført i februar 2012, skal årsagen sandsynligvis findes i, at al plast, der ikke var plastflasker og -dunke i henhold til sorteringskriterier (se Bilag 1), blev karakteriseret som fejlsorteringer ved denne affaldsanalyse. Det må derfor antages, at der i den ikke ubetydelige andel på 25 % af den samlede plastfraktion, findes en del PE og PET.

Farvesortering af PET

Ved affaldsanalysen foretaget på en fraktion bestående af plastflasker og -dunke indsamlet via genbrugsplads viste en opdeling af PET-fraktionen i farver, at langt hovedparten af PET-fraktionen bestod af klar PET (94 %). Grøn PET udgjorde 4 %, og andre farver udgjorde 2 %.

Opdeling af PET-fraktionen på farver ved affaldsanalysen gennemført på en blandet plastfraktion indsamlet via genbrugsplads viste, at den klare PET udgjorde 74 %, hvid PET udgjorde 11 %, grøn PET 5 % og sort PET ligeledes 5 %. Øvrige farver udgjorde ca. 5 %.

Den klare PET udgør således en meget betydelig andel af PET-fraktionen.

Blandet plastfraktion indsamlet via genbrugsplads

For plastfraktionen, der består af blandet plast indsamlet via genbrugsplads, er sammensætningen af polymertyper anderledes. Det er vanskeligere at opdele plasten i denne fraktion på polymertyper, idet relativt få emner er mærket med trekant og polymertype. Derfor er en meget stor andel af plastemnerne fordelt på polymertyper ud fra diverse tests (se afsnit 2.1.2.1).

TABEL 2
PROCENTVIS FORDELING AF POLYMERTYPER REGISTRERET VED AFFALDSANALYSER AF BLANDET PLASTFRAKTION INDSAMLET VIA GENBRUGSPADS

HDPE	11,8
PET	4,5
PP	19,1
PE/PP	48,8
PVC	3,7
PS	1,1
LDPE	0,3
ABS/SAN/PS	3,7
Melamin	0,1
Sammensatte produkter	5,5
Affald	1,4

Det samlede resultat af de gennemførte affaldsanalyser peger på, at det for Dansk Affald kan være attraktivt at udsortere i polymerfraktionerne PET og HDPE på deres anlæg i Vojens, da disse to plasttyper udgør en væsentlig del af plastdelen af DuoFlex®-fraktionen. Da afsætningspriserne for plasttyperne HDPE og PET ligger væsentligt over afsætningsprisen for en blandet vare, ser det umiddelbart ud til, at man med fordel kan udsortere HDPE- og PET-flasker og -dunke og afsætte disse to fraktioner hver for sig. En udsortering af disse to fraktioner vil ikke forringe værdien af den øvrige blandede fraktion (se afsnit 3). Dansk Affald vurderer derimod at det ikke vil være økonomisk attraktivt at kværne/neddele hverken PET- eller HDPE-fraktionen til flager inden afsætning, idet dette vil kræve installation af en selvstændig neddeler. Den neddelte vares værdi vil ikke, i forhold til omkostningerne forbundet hermed, blive øget nævneværdigt.

Undersøgelse af egnede teknologier til separation

Der er i projektet gennemført en vidensindsamling vedrørende de nyeste teknologier på markedet til automatisk sortering af platholdige fraktioner. Teknologierne omfatter udstyr til:

- forsortering af plastemballage og plast fra genbrugspladser, hvor plast separeres fra folier og uønskede emner
- udsortering af plastemballage i polymertyper og efter farve og/eller form herunder muligheder for udsortering af sort plast
- efterbehandling af udsorteret plast.

Teknologier til forsortering omfatter sorteringstromler, ballistiske separatorer, vindsigtning, vakuumseparation og neddelingsudstyr samt mulighederne for fremtidig brug af robotbaseret sortering.

Udsortering af plastemballage i polymertype, farve og form udføres typisk med sensorbaseret identifikation og separation af emner via trykluftdyser. Til polymerseparation, dvs. udsortering i plasttyper, har NIR (Nær Infrarøde Sensorer) i mange år været anvendt til identifikation, mens farve eller form kan genkendes ved hjælp af databehandling af signalerne fra et farvekamera.

Ud over disse gængse typer sensorer findes udstyr, som benytter røntgenkameraer til detektion; fx kan man detektere brommerede flammehæmmere i plast ud fra et forhøjet bromindhold. Der findes også teknikker til separation af sort plast baseret på laserspektroskopi. Både røntgen- og laserspektroskopibaserede systemer er imidlertid meget investeringstunge og er derfor p.t. ikke taget i anvendelse i forbindelse med sortering af fx emballageplast og blandet plast fra genbrugspladser.

Efter udsortering af plastemnerne skal der foretages en yderligere oparbejdning, før plasten kan anvendes til fremstilling af nye plastprodukter. Dette foregår typisk ved neddeling til granulat, vask og yderligere separation, fx med våd massefylde separation eller NIR-baserede granulatseparatorer.

Generelt gælder for dysebaseret separationsudstyr, at det har forholdsvis høje kapaciteter på 1-4 ton i timen, hvorfor der kræves betragtelige mængder plast, hvis udstyret skal udnyttes optimalt.

Besøg på behandlingsanlæg

Der er i projektet besøgt følgende separationsanlæg:

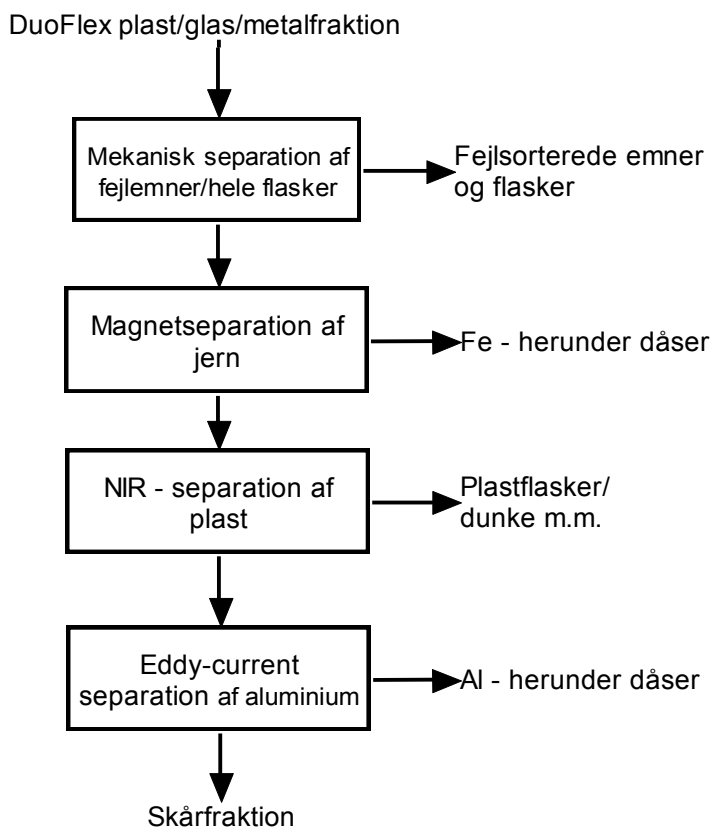
- Swerec i Sverige, som behandler 65.000 ton plastaffald pr. år med sortering i polymerer og granulering og vask.
- DK Råstof i Fredericia, som behandler plast fra genbrugspladser med udsortering i polymerer og granulering
- Closed Loop Recycling i London, der slutbehandler forsorterede plastbeholdere og flasker til granulat af PE og PET, som anvendes i produktion af ny fødevaregodkendt emballage.

For at opnå en tilstrækkelig kvalitet (renhed) af polymererne ved mekanisk sortering indgår både manuel for-og eftersortering på anlæggene. De største anlæg som Swerec har etableret ny teknologi til automatisk fraseparation af folier, så den manuelle eftersortering mindskes, men dette kræver en meget stor plastmængde for at være rentabelt. Generelt er udenlandske anlæg til sortering af plast i enkeltpolymerer baseret på kapaciteter, der udnytter en NIR-linje med båndbredde på 2-2,5 meter fuldt ud, dvs. kapaciteter på over 50000 ton plast pr. år.

Opstilling af behandlingskoncepter

Anlægget til behandling af DuoFlex®- fraktionen af plast, metal og glas ved Dansk Affald er gennemgået med henblik på udvikling af nye behandlingskoncepter til forbedret sortering af plastfraktionen.

På figuren er vist opbygningen af det eksisterende mekaniske sorteringsanlæg hos Dansk Affald (2013).



Ved opstilling af mulige behandlingskoncepter er der foretaget beregninger i et i projektet udviklet beregningssværktøj til at vurdere, hvilke separationstrin som er økonomisk mest fordelagtigt for en given sammensætning af plastaffald, tilførte plastmængder og valgt udstyr.

På Dansk Affalds sorteringsanlæg er kapaciteten af en NIR-separator større end den tilførte plastmængde, hvorfor behandlingskoncepter til en bedre udnyttelse af kapaciteten er blevet vurderet. En bedre udnyttelse kan fx ske ved, at en NIR-separator benyttes til separation af anden plast end DuoFlex®-fraktionen og/eller til at udsortere de polymerer, der udgør den største økonomiske værdi af plasten i DuoFlex®-fraktionen.

Der er således foretaget en beregning på et koncept, hvor en ekstra NIR-separator benyttes til udsortering af plast i enkeltpolymerer ved at foretage en kaskadeseparation. Ved denne separation

tilføres plasten fra et mellemlager, så en polymertype udsorteres, hvorefter restplasten sendes retur til udsortering af en ny polymertype osv., indtil de mest værdifulde polymerer er frasepareret.

Beregningsværktøjet viser, at polymererne PET og HDPE er de polymerer, det bedst kan betale sig at frasortere med de nuværende modtagne mængder.

Test af behandlingskoncepter

Ved test af nye behandlingskoncepter blev det undersøgt, om kapaciteten på NIR-sorteringsenheden kan udnyttes bedre ved at:

- Udsortere de mest værdifulde polymerer fra DuoFlex®-fraktionen batchvis.
- Separat at behandle neddelt plast fra genbrugspladser og andre store plastemner.

Herudover blev mulighederne vurderet for at:

- Udnytte brugbare delmængder af den manuelt frasorterede plast
- Mindske omfanget af den manuelle sortering ved brug af maskinelle løsninger.

Test af udsortering af polymerer fra DuoFlex®-fraktionen

Der er udført to forsøg med kaskadeseparation af DuoFlex®-plasten i polymererne PE, PET, PP og PS efter en første udsortering med NIR-maskinen indstillet til at udsortere alle polymerer fra glas/metal. I forsøgene er bestemt udbytte og renhed. Mængden af DuoFlex®-emballage tilført i den normale sortering var ca. 2,3 ton, hvoraf plasten udgjorde ca. 7 %.

I det første forsøg i 2012 fungerede NIR-separatoren ikke optimalt, hvorfor sorteringseffektiviteten var lavere end ved optimale forhold. Der blev således udsorteret 77,3 % af den tilførte plast med renheder af polymererne på mellem 78 og 94%.

I det andet forsøg i 2013 var NIR-separatoren blevet optimeret, og der blev opnået en bedre sorteringseffektivitet (82,9 %) med renheder mellem 81 og 94 % baseret på en plastmængde på 131,4 kg (se Tabel 3).

TABEL 3
UDBYTTER OG RENHEDER SAMT INDHOLD AF POLYMERER I DET TILFØRTE MATERIALE
(DUOFLEX®-FRAKTION) FORSØG 2013

	PE	PET	PP	PS	Anden plast
Indhold i %	47,4	35,7	13,3	0,9	2,7
Udbytte i %	94,9	72,2	74,4	89,4	
Renhed i %	87,8	98,1	94,2	81,2	

De opnåede udbytter og renheder var sammenlignelige med leverandørers opgivne typiske værdier for udbytter på 80-90 % og renheder på omkring 90 %.

Udnyttelse af plast i manuelt frasorterede emner

Ved testkørslen med DuoFlex®-fraktion i 2013 blev der foretaget en karakterisering af de materialer, som blev frasorteret manuelt, fordi de ikke overholdt kravene til materialer til genanvendelse. Materialerne blev opdelt i 15 delfraktioner. Mængden af frasorterede materialer udgjorde i alt 11 % af den tilførte mængde på ca. 2,5 ton.

Herudaf blev det vurderet, at 14 %, svarende til 38,6 kg plast, potentielt kan genanvendes, som det fremgår af Tabel 5.

TABEL 5
POTENTIELT GENANVENDELIG PLAST

	Kg	Vurderet genanven- delse %	Vurderet genanven- delse Kg
Beholdere med faremærker samt oliedunke	6,2	50	3,1
Beholdere med mayonnaise, ketchup og lignende	6,2	50	3,1
Plastflasker og –dunke	7	100	7
Fødevarerplast/anden emballageplast	8,8	100	8,8
Sort plast	12,2	100	12,2
Svært genanvendelig plast	10,4	0	
Urtepotter – farvede	4,4	100	4,4
Sammensatte produkter	13,8	0	
Sum	69		38,6

Hvis mængden af potentielt genanvendelig plast medtages, øges plastudbyttet med ca. 30 %.

Estimering af sorteringseffektivitet ved sortering af DuoFlex®-emballage i enkeltpolymerer

Ved den nuværende behandling af DuoFlex®-fraktion hos Dansk Affald opstår et tab af plast med glasfraktionen, idet NIR-separatoren kun kan udsortere ca. 90 % af plasten ved én passage af NIR-separatoren. Endvidere kan sort plast ikke udsorteres med NIR, hvorfor denne også mistes med glasfraktionen.

Der er foretaget en beregning af den samlede sorteringseffektivitet for udsortering af DuoFlex®-plast i enkeltpolymerer med det foreslåede kaskadebehandlingskoncept. Ved beregningen korrigeres for tab af plast med glasfraktionen, og den brugbare plast fra den manuelle frasortering medtages. Således estimeres, at det er muligt at opnå en sorteringseffektivitet på 75,6 % med det foreslåede behandlingskoncept med en ekstra NIR-separation af plasten i enkeltpolymerer.

Baseret på beregninger i det udviklede beregningsværktøj vurderes, at det med de nuværende mængder primært kan betale sig at udsortere meget værdifulde plastemner, som fx PET og PE, og herefter sende resten til videre oparbejdning eksternt. Det bør endvidere overvejes at udvide sorteringskriterierne, så den brugbare plast i det p.t. udsorterede affald medtages.

Behandlingskoncept til store emner

Der blev foretaget neddeling af flere fraktioner af store emner for at undersøge, om separationen af emner med NIR-separatoren var tilfredsstillende, idet en dårlig neddeling kan medføre, at ikke helt overskårne emner filtrer sig ind i hinanden med dårlig separation til følge.

Resultatet var tilfredsstillende, idet der blev opnået en god overskæring af den neddelte plast, så den ikke efterfølgende filtrerede sig sammen. Der blev opnået tilfredsstillende udbytter og renheder på 90-95 % for en blanding af neddelt PE/PET (Tabel 6), ligesom renheden af neddelt DuoFlex®-emballage vurderes tilfredsstillende.

TABEL 6
UDBYTTER OG RENHEDER AF TEST MED EN BLANDING AF NEDDELT PE OG PET

	PE	PET	Anden plast
Indhold %	53,6	45,1	1,3
Udbytte i %	95,6	90,0	0,0
Renhed i %	89,7	94,5	0,0

Således vil kapaciteten på NIR-separatoren kunne udnyttes bedre ved dosering af forneddelte store emner, som køres batchvis.

Vurdering af behandlingskoncepter til at mindske omfanget af den manuelle forsortering

Der er foretaget en vurdering af teknologier, som kan benyttes til at mindske omfanget af den manuelle forsortering. Teknologier er vurderet til at kunne omfatte:

- Sigteteknologier til at adskille 2D-materiale, som folier, fra 3D-materiale (beholdere). Det vurderes, at der normalt vil være <5 % 2D-materiale i DuoFlex®-fraktionen af glas/plast/metal. Sigteteknologier, som sortertromler og ballistiske separatorer, benyttes på udenlandske anlæg til at fraseparere papir, pap og folier samt store emner, men der kræves forholdsvis store mængder, før teknologierne er rentable, hvorfor de indledende vurderes mindre relevante med den nuværende affaldssammensætning.
- Udstyr til neddeling af store emner. Det kan være relevant at investere i udstyr til grovneddeling, men en investering i sådant udstyr vil være afhængigt af, at der behandles tilstrækkeligt store mængder.
- Robotteknologier baseret på genkendelse af uønskede materialer. Det vurderes, at der generelt vil være et potentiale for udvikling af teknologier til at mindske den manuelle sortering. Teknologiområdet er på et tidligt udviklingsstadium, og der findes p.t. kun få koncepter, der kan udsortere emner, men der arbejdes med udvikling af ny teknologi i fx innovationskonsortiet INNOSORT.

Muligheder for slutbehandling af udvundne plastfraktioner

Den opnåede renhed af PET og PP er høj med henholdsvis 94 % for PP og 98 % for PET. Det vurderes, at der kun kræves en begrænset yderligere oparbejdning i et efterfølgende oparbejdningsanlæg med granulering og vask for at opnå en kvalitet, hvor plasten kan indgå som råvarer i en ny produktion. Forsøg hos Dansk Affald med oparbejdning af PET-flasker på deres granulerings- og vaskeanlæg har vist, at plastkvaliteten, der produceres, formentlig er egnet til genanvendelse til højkvalitetsprodukter efter ekstra rensning og tørring.

Samlet vurdering

Projektet har vist, at det på Dansk Affald er muligt at udvide sorteringskriterierne ved fx at inddrage fødevareplast og anden emballageplast, uden at afsætningsmulighederne forringes.

I projektet er anlægget blevet optimeret, så der opnås en højere udsorteringseffektivitet af plast.

Derudover viser beregninger, at det er økonomisk attraktivt for Dansk Affald at udsortere i HDPE og PET og afsætte disse to fraktioner separat. Denne udsortering vil ikke påvirke afsætningsprisen af den øvrige plast i negativ retning.

Der er blevet udarbejdet forslag til anlægsforbedringer, så plastseparationen gøres fleksibel med mulighed for separation af polymerer uafhængigt af den normale drift.

En grundig karakterisering af materiale som frasorteres manuelt har givet grundlag for efterfølgende at udvikle robotbaseret separationsudstyr, som kan mindske det manuelle sorteringsarbejde.

1. Baggrund og formål

Projektet ” Mekanisk sortering af plastaffald fra husholdninger - udvikling af dansk sorteringskoncept” har som hovedformål at øge genanvendelsen af værdifulde materialer i det affald, som - gennem de nuværende affaldssystemer - endnu ikke genanvendes optimalt. Det er samtidig målet at forbedre arbejdsmiljøet for medarbejdere i affaldsbranchen.

For at nå disse mål kræves:

- Kendskab til sammensætningen af materialer til genanvendelse
- Kendskab til egnede sorterings- og oparbejdningsteknologier
- Kendskab til afsætningsmuligheder
- Udvikling af sorteringsteknologier, der passer til forholdene på det danske marked.

For at kunne genanvende brugt plast til fremstilling af forskellige nye produkter, stilles en række krav til sammensætning, renhed m.m. af plasten.

Eksempelvis kræver genanvendelse af brugte PET-flasker (indsamlet i en blandet plastfraktion) til brug for fremstilling af nye PET-flasker, at flaskerne separeres fuldstændigt fra andet plast, som ikke er af samme polymertype; at PET-flaskerne befries for propper, som er af PP og at flaskerne rengøres.

Ønskes derimod fremstillet et lavværdiprodukt, som fx en massiv plastpalle, kan det accepteres, at man blander en række forskellige plasttyper i produktet.

Der er gennemført en række affaldsanalyser for at opgøre, hvilke plasttyper der indgår i de plastfraktioner, der typisk indsamles i Danmark.

Med baggrund i resultaterne af disse affaldsanalyser samt litteraturstudier af tidligere gennemførte undersøgelser, er nye afsætningsmuligheder og -priser blevet undersøgt, og det er herefter vurderet, hvilke plasttyper der skal arbejdes videre med i projektet.

Projektet er opdelt i en række delprojekter med hver sine delmål. Delprojekterne er inddelt som følger:

- Delprojekt 1: Karakterisering af danske indsamlede fraktioner indeholdende plast til genanvendelse samt litteraturstudie
- Delprojekt 2: Undersøgelse af egnede teknologier til separation og oprensning af plastfraktioner målrettet danske forhold
- Delprojekt 3: Udvikling af teknologier målrettet plastfraktioner ved Dansk Affald
- Delprojekt 4: Formidling.

2. Affaldsanalyser

Mest mulig af plastaffaldet fra husholdningerne bør afsættes til genanvendelse. Det er forventningen, at afsætningsmulighederne bliver bedre ved en øget renhed af de udsorterede plastfraktioner og en eventuel udsortering på plasttyper.

Der er i dette projekt således gennemført en række affaldsanalyser for at opgøre, hvilke plasttyper der indgår i de plastfraktioner, som typisk indsamles fra husholdningerne i Danmark.

I projektet er der foretaget en karakterisering af en række forskellige affaldsmængder, som indeholder brugt plast til genanvendelse. Mængderne omfatter:

- Fraktioner, hvor der foretages en samtidig indsamling af en række tørre emballagefraktioner (plast-, glas- og metalemballage)
- Fraktioner, hvor der foretages en indsamling af plastflasker og -dunke
- Indsamlede fraktioner af blandet plast.

Ved karakteriseringen er sammensætningen af plastmaterialerne fordelt på polymertype undersøgt.

Herudover er polymermaterialer blevet opdelt i en række underkategorier, som har betydning for genanvendelsesmulighederne (muligt indhold af uønskede SVHC³ REACH-stoffer, som ftalater og bromerede flammehæmmere, forurenede emner, sammensatte konstruktioner, farve etc.).

Indhold og sammensætning af materialer i affaldsfraktioner er søgt klarlagt først og fremmest via affaldsanalyser suppleret med et litteraturstudie af tidligere gennemførte affaldsanalyser og undersøgelser af problemstillingen.

Resultaterne fra affaldsanalyserne danner baggrund for:

- Vurdering af, hvilke sorteringsteknologier som er egnet til videreudvikling ved Dansk Affald
- Undersøgelse af afsætningsmuligheder og -priser for forskellige udsorterede plastfraktioner.

³ SVHC Substances of Very high Concern for authorisation in REACH-system

2.1 Affaldsanalyser

2.1.1 Omfang

Der er gennemført affaldsanalyse for følgende fire fraktioner:

- Den del af DuoFlex[®]-fraktionen, der omfatter tomme glas og flasker, plastflasker og -dunke samt brugte metaldåser. Duo-Flex[®]-fraktionen er opsamlet i dobbeltbeholder og indsamlet i Aabenraa Kommune.

Affaldsanalysen omfattede 100 husstande i enfamilieboliger med DuoFlex[®]-fraktionen (med en tømningfrekvens på to uger) – herefter benævnt **Type 1**. Fraktionen blev indsamlet med komprimatorvogn. Den samlede mængde fra de 100 husstande udgjorde 410 kg. For sorteringskriterier, se Bilag 1. Husstandene, som fraktionen til affaldssortering stammer fra, er udvalgt tilfældigt af Dansk Affald. Det blev vurderet, at 100 husstande ville være tilstrækkeligt til at give et rimeligt repræsentativt billede af fraktionen. Fordelingen af plast-, metal- og glasaffald i den sorterede fraktion ligger relativt tæt op ad fordelingen af de samme fraktioner i en efterfølgende gennemført affaldsanalyse i forbindelse med et forsøg med maskinelsortering, der omhandlede 2.280 kg, se afsnit 6.8⁵. De seneste 12 måneders opgørelse af fordelingen hos Dansk Affald af materialer i DuoFlex[®]-fraktionen viser, at andelen af plast udgør 7 % af den samlede fraktion (glas-, plast- og metalemballager).

- Husstandsindsamlet plastaffald (plastflasker og -dunke) fra Haderslev Kommune.
Fraktionen er opsamlet i klare plasticsække.
Affaldsanalysen omfattede husstandsindsamlet plast i Haderslev Kommune – herefter benævnt **Type 2**. Fraktionen blev indsamlet i efteråret 2011. Det kan ikke opgøres, fra hvor mange husstande den sorterede mængde stammer, idet husstandene i det daværende indsamlingssystem fik udleveret klare plasticsække, som i ubegrænset antal kunne stilles frem til indsamling på fastsatte datoer. Indsamlingsfrekvensen var fire uger. Indsamlingssystemet er ikke længere i anvendelse i Haderslev Kommune, men er i dag afløst af DuoFlex[®]-systemet. Sorteringskriterierne var bredere i det tidligere system i Haderslev Kommune end i DuoFlex[®]-systemet. Sorteringen omfattede 23 kg. For sorteringskriterier, se Bilag 1. Sorteringen omfattede samtlige de sække, der var til rådighed.
- Plastfraktion indeholdende plastflasker og -dunke, som den typisk indsamles på genbrugspladser i mange kommuner i Danmark.
Affaldsanalysen omfattede plastflasker og -dunke indsamlet via genbrugsplads (Kolding Kommune, genbrugspladsen i Vamdrup) – Herefter benævnt **Type 3**. Sorteringen omfattede 489 kg. For sorteringskriterier, se Bilag 1. Sorteringen omfattede indholdet af en 28 m³ container.
- Plastfraktion indsamlet på genbrugsplads i Kolding Kommune.
Affaldsanalysen omfattede blandet plast indsamlet via genbrugsplads i Dansk Affalds område/Kolding Kommune (Genbrugspladsen i Lunderskov) – herefter benævnt **Type 4**. Sorteringen omfattede 295 kg. For sorteringskriterier se Bilag 1. Sorteringen omfattede indholdet af en 28 m³ container.

Ovenstående affaldsanalyserne blev gennemført i februar/marts 2012.

⁴ DuoFlex[®] er et indsamlingssystem for tørt genanvendeligt affald fra husholdninger. Det genanvendelige affald indsamles i to fraktioner. Hos enfamilieboliger er husstandene forsynet med en dobbeltbeholder/2-kammerbeholder. I det ene rum i dobbeltbeholderen placeres rent og tørt papir pap og plastfolie. I den anden halvdel placeres rene og tørre glas-, plast- og metalemballager. Hos etageboliger er der typisk en beholder til hver af de to fraktioner. Efterfølgende sorteres de indsamlede fraktioner på Dansk Affalds anlæg i Vojens. DuoFlex-systemet er indført hos ca 515.000 indbyggere, primært i Midt-, Syd- og Sønderjylland. For sorteringskriterier, se Bilag 1

⁵ Plastandelen udgjorde i affaldsanalysen omfattende 100 husstand/410 kg 5 % af den samlede fraktion, mens plastandelen i forsøget med den maskinelle sortering (omfattende 2.280 kg) udgjorde 7 %

Derudover er der gennemført en affaldsanalyse i oktober 2012. Denne affaldsanalyse omfattede ca. 724 husstande (2.280 kg) i enfamilieboliger med DuoFlex®-fraktionen. Denne affaldsanalyse blev foretaget i forbindelse med forsøg med maskinel sortering i plasttyper på sorteringsanlægget hos Dansk Affald i Vojens. Forsøget er beskrevet i afsnit 6.8.

Endnu en affaldsanalyse blev gennemført i juni 2013. Denne affaldsanalyse omfattede 2.440 kg fra husstande i enfamilieboliger med DuoFlex®-fraktionen. Også denne affaldsanalyse blev foretaget i forbindelse med forsøg med maskinel sortering i plasttyper på sorteringsanlægget hos Dansk Affald. Forsøget er beskrevet i afsnit 6.9.

2.1.2 Gennemførelse af affaldsanalyser

Affaldsanalyserne er gennemført hos Dansk Affald i Vojens.

De blev gennemført med fokus på renheden af plastdelen af den indsamlede fraktion i forhold til de udleverede sorteringskriterier. Fejlsorteringer er således bestemt som emner, der i henhold til den udleverede sorteringsvejledning ikke indgår i sorteringskriterierne.

Genanvendeligheden af de i henhold til sorteringsvejledningen definerede fejlsorteringer er ikke bestemt.

Eksempler på korrekt sorterede plastemner for de tre fraktioner, der indbefatter plastflaske og -dunke (Type 1, 2, og 3), er eddikedunke; sodavands- og saftflasker/dunke; plastdunke, der har indeholdt vaskemidler og skyllemidler etc.

Eksempler på korrekt sorterede plastemner



Eksempler på fejlsorterede plastemner er kødbakker; smørbakker; urtepotter; dunke, der har indeholdt mælkeprodukter etc.

Eksempler på fejlsorterede plastemner



Ved affaldsanalyserne blev plasten opdelt i en række hovedfraktioner af polymerer med henblik på at vurdere mængden og dermed de potentielle muligheder for afsætning af opdelt plastfraktioner.

Mængden af plasttyper er - for DuoFlex®-systemet, hvor mængden kan henføres til et eksakt antal husstande – opgjort i mængde pr. husstand pr. uge og i den indbyrdes fordeling mellem plasttyperne. For de øvrige tre indsamlingssystemer, hvor mængden ikke kan henføres til et eksakt antal husstande, er alene den indbyrdes fordeling af plasttyperne opgjort.

2.1.2.1 Sortering af plastfraktionerne

Sortering af plastfraktioner i polymertyper foregik som beskrevet nedenfor.

For de forskellige fraktioner af plast anvendes den samme metode til bestemmelse af polymertype.

1: Opdeling af plast efter mærkning

Plasten opdeles efter mærkning ud fra angivet symbol i trekanten som vist nedenfor.

Polymer Type	CEN Recommendation CEN WI 261 070	EU Commission Decision 97/129/EC	PlasticsEurope Position
Polyethylene Terephthalate	 01 PET	1 PET	 1 PET
High Density Polyethylene	 02 PE-HD	2 HDPE	 2 HDPE
Polyvinyl Chloride	 03 PVC	3 PVC	 3 PVC
Low density Polyethylene	 04 PE-LD	4 LDPE	 4 LDPE
Polypropylene	 05 PP	5 PP	 5 PP
Polystyrene	 06 PS	6 PS	 6 PS
Unallocated references	 07-20	7-19	 7-19

2: Identifikation af ikke-mærket plast.

Ved identifikation af ikke-mærket plast benyttes metoden beskrevet i Bilag 1.

Identifikationsproceduren er en kombination af en vægtfylde test, en brandtest, en Beilsteintest og en sejhedstest.

Vægtfyldeklassificeringen er baseret på de rene plasttyper og foregår ved at klippe et lille stykke plast ud af plastemnet og nedsænke stykket i en testvæske (vand/saltblanding med kendt vægtfylde). Der benyttes en pincet eller lignende, og det sikres, at alle luftbobler er fjernet fra plasten. Lette plasttyper som PE og PP flyder oven på vand, mens PS, PET og PVC vil synke til bunds.

Testen kan give en fejlbestemmelse, hvis der er tilsat større mængder af uorganisk fyldstof (eksempelvis calciumcarbonat, kaolin eller titandioxid). Vægtfylden vil i så fald øges, og man kan

derfor være udsat for, at fx PE og PP får vægtfylde højere end 1 g/cm³. Der benyttes testvæsker med vægtfylden 1 g/cm³, 1,02 /cm³ og 1,10 /cm³.

Ud fra test kan følgende udledes:

- Vægtfylde < 1 g/cm³: Plasten er af typerne PE, PP eller copolymerisater heraf med en begrænset mængde fyldstof.
- 1,02 < Vægtfylde < 1,10: Plasten er af typerne PS/ABS/SAN med en begrænset mængde fyldstof.
- Vægtfylde > 1,10 g/cm³: Plasten kan være af typerne PVC, PET, PA eller PC med en begrænset mængde fyldstof.

Bestemmelse af disse polymertyper foretages med følgende supplerende test:

- PVC bestemmes ud fra Beilsteintest
- PA bestemmes ud fra en hornagtig lugt ved brandtest
- PC vil være mere sprød end PET, som er et yderst sejt materiale, hvorfor PET i tvivlstilfælde er bestemt ud fra sejhed, når plasten vrides.
se nærmere detaljer i Bilag 1.

Ved test kan man ikke skelne mellem PE og PP, hvorfor disse er angivet som en samlet fraktion.

Ligeledes vil PS/SAN/ABS findes som en samlet fraktion. Hvis der er tale om emballage inden for denne kategori, vil det dog næsten altid være fremstillet i PS. Derimod kan der i plast indsamlet som blandet plastfraktion fra genbrugspladser forekomme SAN (eksempelvis en kasseret klar skuffe fra et køleskab) og ABS (eksempelvis kasserede legoklodser).

Metoden er anvendelig til bestemmelse af polymertyper i emballageplast, men vil som nævnt ikke fungere på plast med højt indhold af fyldstoffer, eksempelvis plast fra elektronik med brommerede flammehæmmere eller lavkvalitetsprodukter med meget fyldstof af fx kalk.

I det følgende er angivet de fraktioner, som der er foretaget opdeling i ved affaldsanalyserne:

Type 1 - DuoFlex®

Den indsamlede mængde blev opdelt i følgende fraktioner:

- Plast
- Dåser/metal
- Flasker/skår
- Keramik, porcelæn og stentøj (KPS)
- Fejlsorteringer generelt (ikke plast).

Fejlsorteringer er bestemt som emner, der i henhold til den udleverede sorteringsvejledning ikke indgår i sorteringskriterierne. Dog er fejlsorterede emner af plast ikke ved denne første sortering opgjort som fejlsorteringer. Denne type fejlsorteringer (fx plastemballage, der har indeholdt kødpålæg etc.) er først registreret som fejlsorteringer ved den efterfølgende opdeling af plastfraktionen i nedenstående fraktioner/plasttyper:

- HDPE⁶
- PET⁷
- PP⁸
- PVC⁹
- PE/PP¹⁰
- Fejlsorteringer - plastposer og plastfolie

⁶ Polyethylen High Density

⁷ Polyethylenterephthalat

⁸ Polypropylen

⁹ Polyvinylchlorid

¹⁰ En blanding af Polypropylen og Polyethylen

- Fejlsorteringer - plastflasker og dunke (ikke ønskede plastflasker og -dunke).

Type 2 - Husstandsindsamlet plast i Haderslev Kommune

Plastaffaldet (primært plastflasker og -dunke) blev opdelt i følgende fraktioner:

- HDPE
- PET
- PP
- PS¹¹
- PP/PE
- PVC
- Plastposer og plastfolie
- Fejlsorteringer – affald.

Type 3 - Plastflasker og -dunke indsamlet via genbrugsplads

Plastaffaldet (plastflasker og -dunke) blev opdelt i følgende fraktioner:

- HDPE
- PET
- PP
- PS
- Fejlsorteringer - affald
- Fejlsorteringer – problemaffald.

PET-fraktionen blev yderligere opdelt i følgende farver:

- Klar PET
- Grøn PET
- Øvrige farver.

Type 4 - Blandet plast fra genbrugsplads

Plastaffaldet (blandet plast) blev opdelt i følgende fraktioner:

- HDPE
- LDPE¹²
- PET
- PP
- PS
- PP/PE¹³
- PVC
- Anden plast (mærket med trekant med 7-tal)
- Melamin
- ABS/SAN/PS¹⁴
- Sammensatte produkter
- Fejlsorteringer (affald).

PET-fraktionen blev yderligere opdelt i følgende farver:

- Klar PET
- Hvid PET
- Grøn PET

¹¹ Polystyren

¹² Polyethylen Low Density

¹³ Plasterne var ikke mærket med polymertype. Plasterne er identificeret til at være enten en PE eller PP ved vægtfyldetest

¹⁴ Plasterne var ikke mærket med polymertype. Plasterne er identificeret til at være enten en PS, ABS og SAN ved vægtfyldetest

- Sort PET
- Brun PET
- Diverse andre farver.

Samtlige frasorterede fraktioner blev vejjet og registreret hver for sig.

Som det fremgår af ovenstående, er der ved sortering af henholdsvis type 1, type 2, type 3 og type 4 ikke registreret helt de samme plasttyper. Således er der fx ikke registreret PVC ved sortering af type 3 (Plastflasker og -dunke indsamlet via genbrugsplads), mens der alene ved type 4 (Blandet plast fra genbrugsplads) blev registreret melamin. De registrerede plasttyper relaterer sig til fraktionens sammensætning. Der er således forskel på de plasttyper, der anvendes til emballage, og plasttyper, der anvendes til plastemner registreret ved blandet plast indsamlet via genbrugsplads.

2.2 Resultater af sorteringen

2.2.1 Resultater af affaldssortering af fraktionen fra DuoFlex®-systemet – Type 1

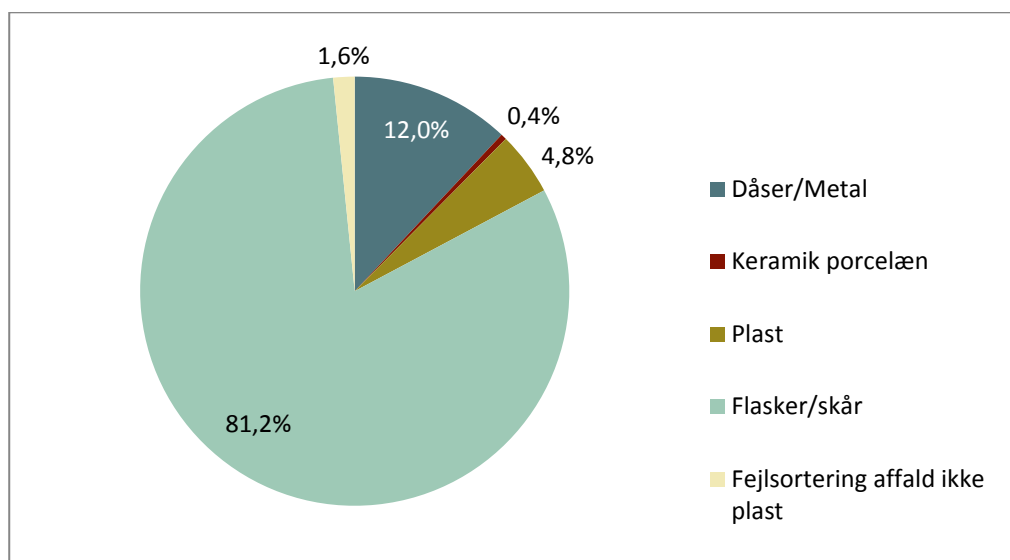
Affaldsanalysen omfatter indsamlet DuoFlex®-fraktion fra i alt 100 husstande. Tømningsfrekvensen for den indsamlede fraktion er 2 uger. Sorteringen blev gennemført den 16. februar 2012.

Der blev til affaldsanalysen i februar 2012 indsamlet i alt 410,0 kg affald svarende til en mængde på i gennemsnit 2,05 kg pr. husstand pr. uge.

Den indsamlede affaldsmængdes fordeling på metal, plast, flasker, keramik/porcelæn og fejlsorteringer fremgår af Tabel 7 og FIGUR 1.

TABEL 7
DUOFLEX® - INDSAMLET MÆNGDE FORDELT PÅ HOVEDFRAKTIONER OG FEJLSORTERINGER

Fraktion	Kg i alt	Kg pr. husstand pr. uge	Vægt-%
Plast	19,6	0,098	4,8
Dåser/metal	49,2	0,246	12,0
Flasker/skår	332,8	1,664	81,2
Keramik/porcelæn/stentøj (fejlsorteringer)	1,8	0,009	0,4
Fejlsorteringer – affald (ikke plast)	6,6	0,033	1,6
I alt	410	2,05	100



FIGUR 1
DUOFLEX® - INDSAMLET MÆNGDE FORDELT PÅ HOVEDFRAKTIONER

Den fejlsorterede mængde bestod af fx aviser og ugeblade, papir og karton, en sparepære, nogle enkelte halogenpærer, en censor, en pigekjole og julepynt. Det kan ikke udelukkes, at papirmaterialerne er korrekt sorteret hos husstandene, men at materialerne enten ved tømning af dobbeltbeholderne i komprimatorvogn eller efterfølgende tømning af komprimatorvogn på sorteringsanlægget er "landet" i fraktionen.

Plastandelen fordelt på polymertyper fremgår af Tabel 8 og FIGUR 2.

TABEL 8
DUOFLEX®-FRAKTIONENS PLASTANDEL FORDELT PÅ POLYMERTYPER OG FEJLSORTERINGER

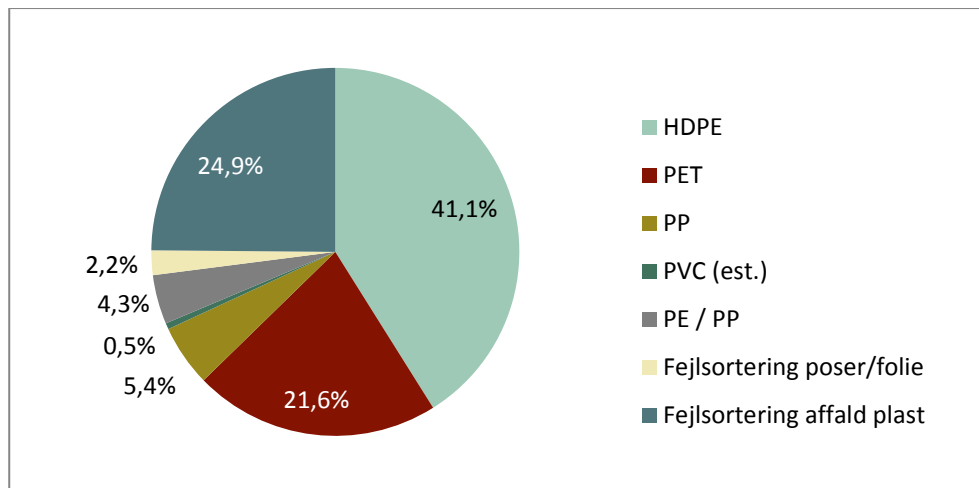
Navn	Kg i alt	Kg pr. husstand pr. uge	Vægt-%
HDPE	7,6	0,038	41,1
PET	4	0,02	21,6
PP	1	0,005	5,4
PE / PP	0,1	0,004	4,3
PVC	0,1	0,0005	0,5
Fejlsorteringer - poser/folie¹⁵	0,8	0,002	2,2
Fejlsorteringer - affald (plast)	4,6	0,023	24,9
I alt	18,5	0,0925	100

De fejlsorterede plastemner bestod fx af slikposer, kødbakker og grønsagsbakker.

¹⁵ Plastposer og plastfolie er registreret som fejlsorteringer idet disse plastemner i henhold til sorteringskriterierne skal placeres i den anden del af dobbeltbeholderen (den del der indeholder papir, pap og folier). Det kan dog (som for det papir og der også blev fundet i fraktionen) ikke udelukkes at plastposerne og plastfolien er korrekt sorteret hos husstandene, men at materialerne enten ved tømning af dobbeltbeholderne i komprimatorvogn eller efterfølgende tømning af komprimatorvogn på sorteringsanlægget er "landet" i fraktionen.

Der skal gøres opmærksom på, at den store andel af ”Fejlsorteringer – affald (plast)” er forårsaget af, at sorteringen ved affaldsanalysen fulgte sorteringskriterierne tæt. Således blev al plast, der ikke var plastflasker og –dunke i henhold til sorteringskriterier (se Bilag 1), karakteriseret som fejlsorteringer. De ca. 25 % ”Fejlsorteringer – affald (plast)” bliver ikke på anlægget sorteret fra som affald men afsættes sammen med den øvrige plastfraktion til genanvendelse.)

Når der ikke er fuldstændig overensstemmelse med mængden af plast i Tabel 7 (0,098 kg pr. husstand pr. uge) og den samlede plastmængde i Tabel 8 (0,925 kg pr. husstand pr. uge), vurderes dette at skyldes unøjagtighed på pallevægten og muligvis afrundinger af talværdier.



FIGUR 2
DUOFLEX® - PLASTANDELEN FORDELT PÅ POLYMERTYPER

Som det fremgår af Tabel 8, blev der registreret en samlet mængde plast på 0,0925 kg pr. husstand pr. uge, svarende til 4,81 kg pr. husstand pr. år. Fratrækkes fejlsorteringerne (poser/folie og plastaffald), fremkommer en mængde på 0,0675 kg pr. husstand pr. uge, svarende til 3,51 kg pr. husstand pr. år.

Den overvejende del af den indsamlede plastmængde udgjordes af HDPE (43 %), mens PET udgjorde 23 %, se Tabel 8.

Den store andel af PET formodes at hænge sammen med beliggenheden tæt på den tyske grænse og den deraf følgende grænsehandel¹⁶.

2.2.2 Resultater af affaldssortering af fraktionen indsamlet i klare plastsække – Haderslev – Type 2

Der blev i alt sorteret 22,6 kg fra Type 2 (Plastflasker og -dunke indsamlet i klare plastsække i Haderslev Kommune). Fraktionen blev indsamlet i november 2011 og sorteret den 16. februar 2012

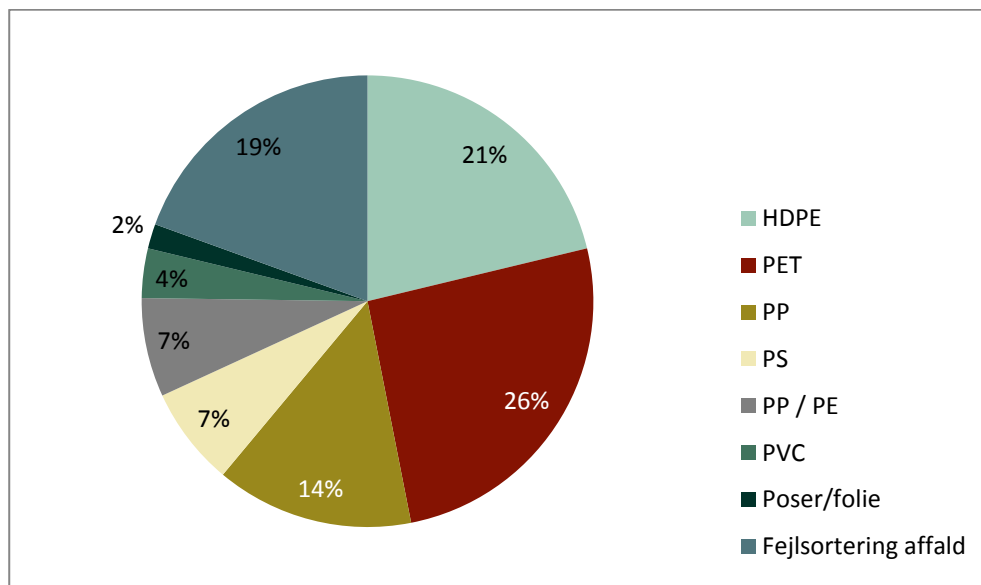
Den indsamlede mængdes fordeling på polymertyperne HDPE, PET, PP, PS, PP/PE, PVC samt poser/folie og fejlsorteringer (affald) fremgår af henholdsvis Tabel 9 og FIGUR 3.

¹⁶ I forbindelse med grænsehandel bliver der ud over fx dåsesodavand og dåseøl indført mange sodavand emballeret i 1½ liters PET-flasker

TABEL 9

PLASTFRAKTION INDSAMLET I KLARE PLASTSÆKKE (HADERSLEV). DEN SORTEREDE MÆNGDE FORDELT PÅ POLYMERTYPER OG FEJLSORTERINGER

Fraktion	Kg	Vægt-%
HDPE	4,8	21,2
PET	5,8	25,7
PP	3,2	14,2
PP / PE	1,6	7,1
PS	1,6	7,1
PVC	0,8	3,5
Fejlsorteringer - Poser/folie	0,4	1,8
Fejlsorteringer – Affald	4,4	19,5
I alt	22,6	100

**FIGUR 3**

PLASTFRAKTION INDSAMLET I KLARE PLASTSÆKKE (HADERSLEV). DEN SORTEREDE MÆNGDE FORDELT PÅ POLYMERTYPER OG FEJLSORTERINGER

Andelen af fejlsorteringer i form af affald var meget stor ved denne sortering – andelen udgjorde 20 % af den samlede sorterede mængde.

De fejlsorterede emner bestod fx af margarinebægre med indhold, emballager indeholdende pålægsrester samt enkelte tøjstykker.

Som det fremgår af Tabel 9, udgjorde PET 26 % af den indsamlede plastmængde ved sortering af plastsække fra Haderslev. HDPE udgjorde 21 % og PP 14 %.

Den store andel af PET formodes også her at hænge sammen med beliggenheden tæt på den tyske grænse og den deraf følgende grænsehandel.

2.2.3 Resultater af affaldssortering af plastflasker og -dunke indsamlet via genbrugsplads – Type 3

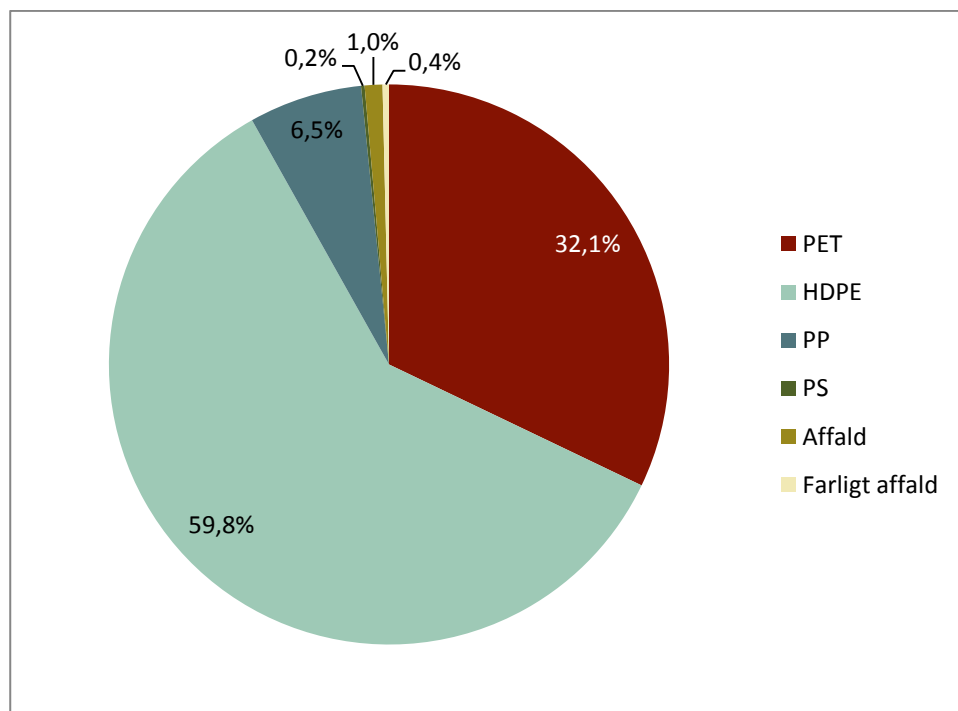
Der blev i alt sorteret 489,3 kg fra Type 3 (plastflasker og -dunke indsamlet via genbrugsplads). Sorteringen blev gennemført den 9. marts 2012.

Den sorterede mængde plastflasker og -dunke indsamlet via genbrugsplads fordelt på polymertyper og fejlsorteringer fremgår af Tabel 10 og FIGUR 4.

TABEL 10

PLASTFLASKER OG -DUNKE INDSAMLET VIA GENBRUGSPADS. DEN SORTEREDE MÆNGDE FORDELT PÅ POLYMERTYPER OG FEJLSORTERINGER

Fraktion	Kg	Vægt-%
HDPE	292,4	59,8
PET	157,1	32,1
PP	32	6,5
PS	1	0,2
Fejlsorteringer - affald	5	1,0
Fejlsorteringer - farligt affald	1,8	0,4
I alt	489,3	100



FIGUR 4

PLASTFLASKER OG -DUNKE INDSAMLET VIA GENBRUGSPADS. DEN SORTEREDE MÆNGDE FORDELT PÅ POLYMERTYPER OG FEJLSORTERINGER

Den fejlsorterede mængde bestod af fx glasflasker og legetøj.

Fejlsorteringer beskrevet som farligt affald bestod af plastdunke med faremærker, fx rester af ukrudtsmidler, afløbsrens og eddikesyre.

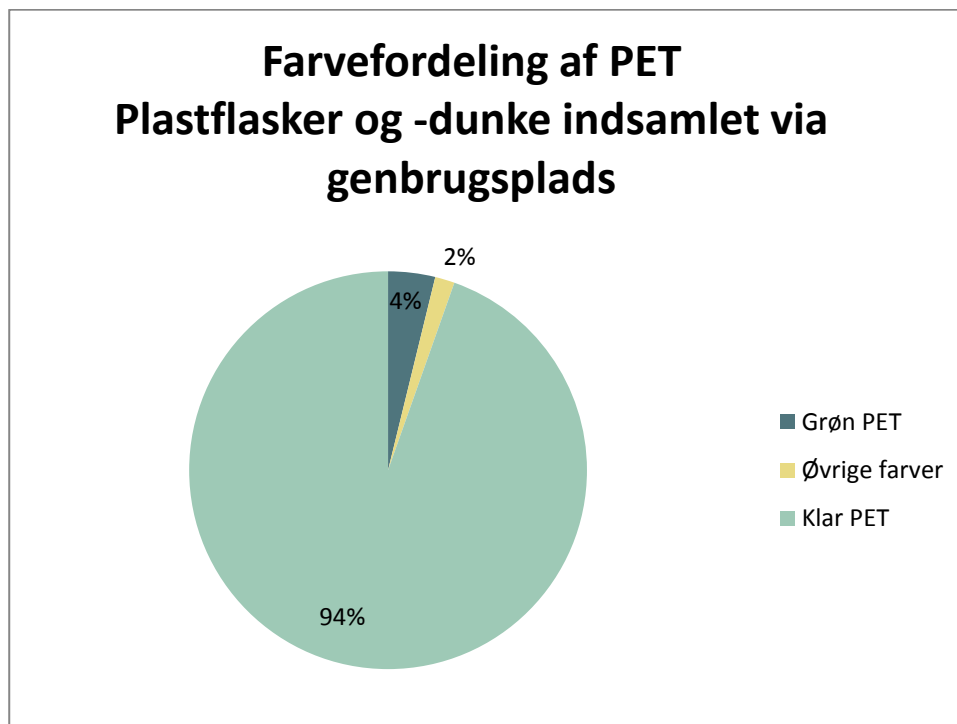
Langt den overvejende del af den sorterede plastmængde udgjordes af HDPE (60 %), mens PET udgjorde 32 %, se Tabel 10.

Igen formodes det, at den store andel af PET hænger sammen med beliggenheden tæt på den tyske grænse og den deraf følgende grænsehandel.

Resultatet af den efterfølgende opdeling af PET-fraktionen i tre fraktioner: klar PET, grøn PET samt diverse andre farver, fremgår af Tabel 11 og FIGUR 5. PET-fraktionen bestod i alt overvejende grad af klar PET (95 %), mens den grønne PET udgjorde 4 %.

TABEL 11
PET-FRAKTIONEN FORDELT PÅ FARVER

Fraktion	Mængde i alt i kg	% af samlet plastfraktion	Vægt-% af PET
Klar PET	148,6	30,4	94,6
Grøn PET	6	1,2	3,8
Øvrige farver	2,5	0,5	1,6
I alt	157,1		



FIGUR 5
PET-FRAKTIONEN FORDELT PÅ FARVER - PLASTFLASKER OG -DUNKE INDSAMLET VIA GENBRUGSPADS

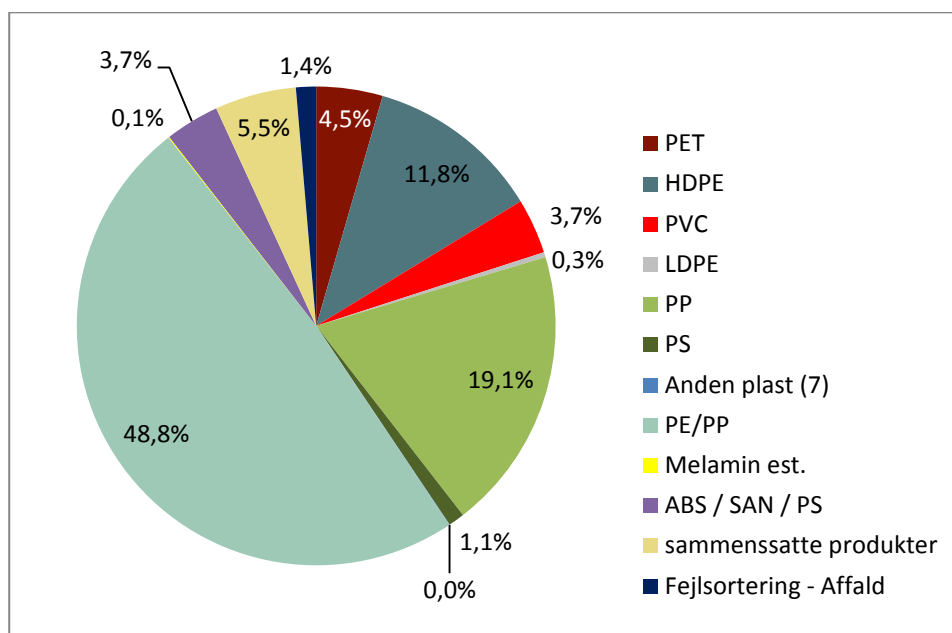
2.2.4 Resultater af affaldssortering af blandet plast via genbrugsplads – Type 4

Der blev i alt sorteret 294,7 kg fra Type 4 (blandet plast indsamlet via genbrugsplads). Sorteringen blev gennemført den 28. februar 2012

Den sorterede mængde blandet plast indsamlet via genbrugsplads fordelt på polymertyper og fejlsorteringer fremgår af Tabel 12 og FIGUR 6.

TABEL 12
BLANDET PLAST INDSAMLET VIA GENBRUGSPLADS. DEN SORTEREDE MÆNGDE FORDELT PÅ POLYMERTYPER OG FEJLSORTERINGER

Fraktion	Kg	Vægt-%
HDPE	34,8	11,8
PET	13,2	4,5
PP	56,4	19,1
PE/PP	143,8	48,8
PS	3,2	1,1
PVC	11	3,7
LDPE	1	0,3
ABS/SAN/PS	10,8	3,7
Melamin	0,2	0,1
Anden plast	0,1	0,0
Sammensatte produkter	16,2	5,5
Fejlsorteringer - affald	4	1,4
I alt	294,7	100



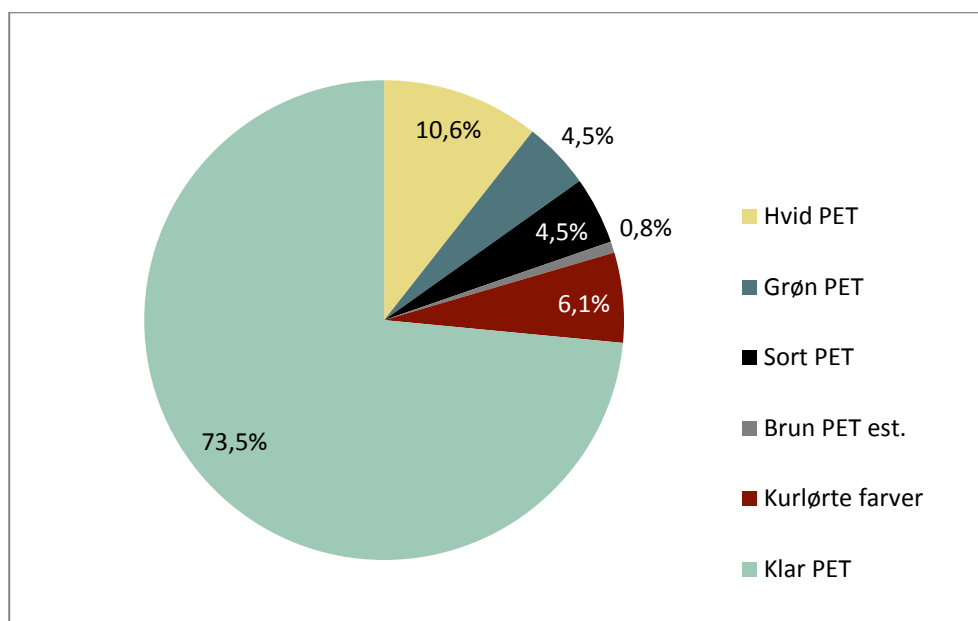
FIGUR 6
BLANDET PLAST INDSAMLET VIA GENBRUGSPADS - DEN SORTEREDE MÆNGDE FORDELT PÅ POLYMERTYPER OG FEJLSORTERINGER - GRAF

Knap halvdelen (49 %) af den sorterede plastmængde udgjordes af en blanding af PE og PP. PP udgjorde 19 % og HDPE 12 %. PET udgjorde 5 %.

Resultatet af den efterfølgende opdeling af PET-fraktionen i seks fraktioner, klar PET, grøn, hvid, brun og sort PET samt diverse andre farver, fremgår af henholdsvis Tabel 13 og FIGUR 7.

TABEL 13
PET-FRAKTIONEN FORDELT PÅ FARVER

Navn	Kg	Vægt-% af den samlede fraktion fra genbrugsplads	Vægt-% af PET
Klar PET	9,7	3,3	73,5
Grøn PET	0,6	0,2	4,5
Hvid PET	1,4	0,5	10,6
Brun PET	0,1	0,0	0,8
Sort PET	0,6	0,2	4,5
Øvrige farver	0,8	0,3	6,1
I alt	13,2	4,5	



FIGUR 7
PET-FRAKTIONEN FORDELT PÅ FARVER

2.2.5 Opsamling – Plasttyper

Den procentvise fordeling af de registrerede plasttyper for hver af de fire affaldsanalyser er sammenstillet i Tabel 14.

TABEL 14
PROCENTVIS FORDELING AF DE REGISTREREDE PLASTTYPER VED HVER AF DE FIRE GENNEMFØRTE
AFFALDSANALYSER

Fraktion	Vægt-%			
	Type 1 DuoFlex®	Type 2 Plast Haderslev Kommune	Type 3 Plastflasker og -dunke Genbrugsplads	Type 4 Blandet plast Genbrugsplads
HDPE	41,1	21,2	59,8	11,8
PET	21,6	25,7	32,1	4,5
PP	5,4	14,2	6,5	19,1
PE/PP	4,3	7,1		48,8
PS		7,1	0,2	1,1
PVC	0,5	3,5		3,7
LDPE				0,3
ABS/SAN/PS				3,7
Melamin				0,1
Anden plast				0,0
Sammensatte produkter				5,5
Fejlsorteringer - poser/folie	2,2	1,8		
Fejlsorteringer - affald (plast)	24,9	19,5		
Fejlsorteringer - affald (ikke plast)			1,0	1,4
Fejlsorteringer - farligt affald			0,4	
I alt	100	100	100	100

Som det fremgår af Tabel 14, forekommer der ved de tre indsamlinger, der omfatter plastemballager (type 1, 2 og 3), mængdemæssigt mest HDPE og PET.

Andelen af fejlsorterede plastemner er stor i de to ordninger, hvor plastfraktionen er indsamlet hos husstanden – 25 % i DuoFlex®-fraktionen og 20 % i fraktionen indsamlet i klare plasticsække i Haderslev. Der skal gøres opmærksom på, at den store andel af ”Fejlsorteringer – affald (plast)” i Type 1, DuoFlex® er forårsaget af, at sorteringen ved affaldsanalysen fulgte sorteringskriterierne tæt. Således blev al plast, der ikke var plastflasker og -dunke i henhold til sorteringskriterier (se

Bilag 1), karakteriseret som fejlsorteringer. De ca. 25 % "Fejlsorteringer – affald (plast)" bliver ikke sorteret fra på anlægget som affald, men afsættes sammen med den øvrige plastfraktion til genanvendelse.

Ved sortering af DuoFlex®-fraktionen udgjorde HDPE 41 % af den indsamlede plast, og PET udgjorde 22 %. Det må forventes, at en væsentlig del af den plast, der ved affaldsanalysen blev rubriceret som Fejlsorteringer – affald (plast), og som udgør i alt 25 % af plastfraktionen, består af HDPE og PET (se fx foto i afsnit 2.1.2).

Sortering af fraktion indsamlet i plastsække viste, at HDPE udgjorde 22 % af den indsamlede plast, PET udgjorde 26 %, og PP udgjorde 14 %.

Plastflasker og -dunke indsamlet via genbrugsplads viste, at HDPE udgjorde 60 % af fraktionen, og PET udgjorde 32 %.

Fraktionen blandet plast indsamlet via genbrugsplads adskiller sig fra de tre ovenstående fraktioner ved at indeholde alle typer plastprodukter. I denne fraktion blev der registreret 49 % PE/PP, 19 % PP, 12 % HDPE og en meget begrænset mængde PET (5 %) (se Tabel 12 og FIGUR 6).

2.3 Sammenfatning og konklusion for resultater af affaldsanalyser

De gennemførte affaldsanalyser omfatter ud over sorteringer af DuoFlex®-fraktionen også sorteringer af husstandsindsamlet plast i sække (tidligere system i Haderslev Kommune), plastflasker og -dunke indsamlet via genbrugsplads og en blandet plastfraktion indsamlet via genbrugsplads. Affaldsanalyserne blev gennemført i februar/marts 2012.

DuoFlex®-fraktionen samt indsamling af plastflasker og -dunke via genbrugsplads er begge fraktioner, hvor indsamlingskriterierne er emballageplast. For den husstandsindsamlede plast i sække fra Haderslev Kommune angav sorteringskriterierne ud over emballageplast også spande, kurve og folier, hvilket medfører en anden sammensætning af polymertyper end i ovennævnte fraktioner. Dette gør sig også gældende for blandet plastfraktion fra genbrugsplads.

For DuoFlex®-fraktionens vedkommende viste den gennemførte affaldsanalyse en samlet plastmængde på knap 100 gram pr. husstand pr. uge (0,093 kg) svarende til 4,8 kg pr. år.

Plasten udgjorde ved affaldsanalysen 5 % af den samlede DuoFlex®-fraktion (glas, metal og plast). Opgørelser fra affaldssorteringer gennemført i forbindelse med test af anlæg (oktober 2012) blev der registreret 7 % plast (se afsnit 5.8).

Langt hovedparten af plasten fra de to indsamlinger, der primært omhandler emballageplast (DuoFlex®-fraktionen og plastflasker og -dunke indsamlet via genbrugsplads), udgøres af HDPE og PET. Det vil således være disse to plasttyper, det kan overvejes at udsortere og afsætte som separate fraktioner.

Ved affaldsanalysen gennemført for plastflasker og -dunke indsamlet via genbrugsplads blev PET-fraktionen farvesorteret. Resultatet af denne farvesortering viste, at den helt overvejende del (94 %) bestod af klar PET.

3. Afsætning

3.1 Afsætningspriser

De forskellige udsorterede plastfraktioner afsættes til oparbejdning i udlandet. Dansk Affald afsætter p.t. ofte til oparbejdning i Europa. Tidligere skete afsætningen ofte til Asien, men der er kommet nye og mere restriktive regler mht. import af plast i Kina, som har skærpet kravene til kvaliteten af plasten.

HDPE og PP presses i baller hos Dansk Affald og afsættes til andre anlæg, som foretager en yderligere udsortering i diverse plastkvaliteter. Efter en sådan sortering bliver de nye udsorterede kvaliteter ballet og sendt til et nyt anlæg, hvor der fremstilles et regranulat, der typisk tilsættes ekstra antioxidant. Dette regranulat er eventuelt kundespecifikt på fx smeltepunkt, densitet m.m. Af dette regranulat fremstilles ofte en lang række forskellige rør.

På anlægget hos Dansk Affald udsorteres og balles tillige PET. Ballerne afsættes til oparbejdning i udlandet. På modtageranlæggene udsorteres den blandede PET i forskellige farver og kvaliteter for derefter at blive neddelt til flakes/flager. Flakes/flager sælges videre og anvendes fx i tekstilindustrien og emballageindustrien, hvor det bliver anvendt til nye fleecetrøjer, nye emballager mv.

Afsætningsprisen på plasten afhænger af plasttype og kvalitet¹⁷.

3.1.1 PET (polyethylenterephthalat)

Ved afsætning af PET ligger afsætningsprisen normalt mellem 1.500 kr. og 2.500¹⁸ kr. pr. ton. Pr. 12. november 2012 udgjorde prisen på klar PET ca. 2.750 kr. pr. ton og farvet PET ca. 1.380 kr. pr. ton. PET'en afsættes til forskellige oparbejdningsanlæg ofte via en handler. Dvs. den ovennævnte pris er den pris, Dansk Affald modtager for varen (PET) afhentet hos Dansk Affald.

Ovennævnte priser er for en ballet vare. Det vurderes, at det ikke er økonomisk hensigtsmæssigt at kværne, dvs. neddele/gøre varen til flager før afsætning. At neddele/gøre varen til flager vil kræve installation af en selvstændig maskine/neddeler. Den neddelte vare vil ikke, i forhold til omkostningerne forbundet med neddeling, blive tilført nogen nævneværdig værdiforøgelse.

Aftagerne har ofte selv kværne og ekstruderingsanlæg og foretrækker at modtage den ikke-kværnede vare, så de selv kan følge varen senere i processen, hvor de typisk anvender den i egen produktion.

3.1.2 HDPE (high density polyethylen) dunke

Afsætningsprisen på naturfarvede dunke ligger mellem 2.300 og 2.500 kr. pr. ton. For farvede dunke ligger prisen mellem 1.500 kr. og 1.800 kr. pr. ton. De nævnte priser er for en ballet vare¹⁹.

Dansk Affald oplyser, at der ikke er noget økonomisk incitament til at kværne dunkene, fordi der også her er tale om mange forskellige flydetal, densiteter og typer, selvom man taler om PE-dunke.

¹⁷ Samtlige afsætningspriser i denne rapport er oplyst af Dansk Affald.

¹⁸ Priserne for blandet PET (ikke farvesorteret) er oplyst af Dansk Affald. Der er tale om gennemsnitspriser for 2012

¹⁹ Priserne for HDPE, henholdsvis naturfarvede og farvede dunke er oplyst af Dansk Affald. Der er tale om gennemsnitspriser for 2012

Dansk Affald har hos flere af deres afsætningskanaler undersøgt en eventuel værdiforøgelse af produktet ved kværning/neddeling. Tilbagemeldingerne har været, at selvom man udsorterer de forskellige dunke i HDPE og PP, så har man stadig en meget blandet HDPE- og PP-fraktion med flere forskellige krystallit smeltepunkter, forskellige densiteter, forskellige flydetal (smelteindex) m.m. Det er vanskeligt at fremstille et højkvalitetsprodukt af en blandingsvare med så mange forskellige egenskaber, så til trods for en udsortering i PE og PP kan man ikke forvente at kunne afsætte et højkvalitetsprodukt. Det skal derfor vurderes, om udgifterne til en sådan sortering kan stå mål med merprisen for produktet.

3.1.3 Blandet fraktion PP/PE/PET (polypropylen/polyethylen/polyethylenterephthalat)

Afsætningsprisen for denne blandede fraktion ligger mellem 500 kr. og 1.000 kr. pr. ton. Også her er der tale om en ballet vare²⁰.

Såfremt denne fraktion kværnes, vil prisen ligge på mellem 1.000 kr. og 1.500 kr. pr. ton. Det er dog ikke hensigtsmæssigt at kværne varen før afsætningen, da prisen på at kværne varen overstiger merprisen for varen.

Den lave prisforskel på ballet (ikke-kværnet vare) og kværnet vare skyldes, at når varen modtages i baller, sorterer modtageren varen, mens dette ikke er muligt, når varen modtages kværnet, og varen derfor kun kan anvendes til lavværdiprodukter.

3.2 Sammenfatning og konklusion for afsætningspriser

Det ser umiddelbart ud til, at man med fordel kan udsortere PET- og HDPE-dunke og afsætte disse to fraktioner hver for sig. Om det kan betale sig at udsortere PET'en i klar og farvet kommer an på mængden af de to fraktioner. Prisen indikerer pr. 12. november 2012 en forskel i afsætningsprisen på klar og farvet PET på ca. 1.300 kr. pr. ton.

Når der sandsynligvis vil være en økonomisk gevinst forbundet med at udsortere PET og HDPE, skyldes det, at der her er tale om højværdiprodukter. En udsortering af disse to fraktioner vil samtidig ikke forringe værdien af den øvrige blandede plastfraktion.

Hvorvidt det økonomisk kan betale sig at udsortere og afsætte blandede PE-fraktioner fra blandede PP-fraktioner er vanskeligt at afgøre. Det kan muligvis være attraktivt, hvis man kan garantere, at der er tale om 100 % rent PE eller PP. Når det ikke kan afgøres med sikkerhed, skyldes det, at "PE" og "PP" dækker over plasttyper med mange forskellige flydetal, densiteter, typer samt farver.

²⁰ Prisen for den blandede fraktion (PP/PE/PET) er oplyst af Dansk Affald. Der er tale om gennemsnitspriser for 2012

4. Litteraturstudie - Plastpotentialer

Der er i projektet gennemført et litteraturstudie, hvor en række rapporter er gennemgået med henblik på skabe et overblik over, hvad disse rapporter indeholder af opgørelser om plastpotentialer hos husholdninger i Danmark.

Hvor der i rapporterne ikke er mængder opgjort i kg pr. husstand pr. uge, år eller andet, men alene samlede mængder i Danmark, er der ved omregning til husstand pr. uge/pr. år anvendt et husstandsantal på 2.593.553. Dette tal fremgår af Nyt fra Danmarks Statistik nr. 79, 20. januar 2012 (opgjort pr. 1. januar 2012).

Resultater af følgende rapporter og indsamlingssystemer er inddraget i undersøgelsen:

1. Kortlægning af dagrenovation i enfamilieboliger – Med særligt fokus på madspild, batterier og småt elektronikaffald, Miljøprojekt nr. 1414, 2012, Miljøstyrelsen
2. Emballageforsyningen i Danmark 2009, Miljøprojekt nr. 1388, 2011, Miljøstyrelsen
3. Vurdering af genanvendelsesmålsætninger i affaldsdirektivet, Miljøprojekt nr. 1328, 2010, Miljøstyrelsen
4. Samfundsøkonomisk analyse af bortskaffelse af plastdunke- og dunkeaffald fra husholdninger, Miljøprojekt nr. 695, 2002, Miljøstyrelsen
5. Miljømæssige fordele og ulemper ved genvinding af plast, Miljøprojekt nr. 657, 2002, Miljøstyrelsen
6. Indsamling af plastflasker og -dunke fra husholdninger, Miljøprojekt nr. 637, 2001, Miljøstyrelsen
7. Værdibeviset, Mission Mulig (Silkeborg og Odder Kommune)
8. Madam Skrald (Herlev Kommune)
9. Forsøg i Hvidovre Kommune
10. Data fra DuoFlex®-system.

4.1 Kortlægning af dagrenovation i enfamilieboliger – Med særligt fokus på madspild, batterier og småt elektronikaffald, Miljøprojekt nr. 1414, 2012, Miljøstyrelsen

Undersøgelsen fokuserer på madspild, men i forbindelse med de affaldssorteringer, der er foretaget, er også mængden af plastemballage i dagrenovationen opgjort.

Plastemballageaffaldsmængden er opgjort til 0,47 kg pr. husstand pr. uge, svarende til 24 kg pr. husstand pr. år.

Plastfraktionen er yderligere opdelt i en række underfraktioner. Sammensætningen af fraktionen fremgår af rapportens Tabel 3-14, delvis angivet nedenfor.

Delfraktion	Fordeling %	Kg pr. husstand	
		Pr. uge	Pr. år
Plastflasker til drikkevarer	3,4	0,016	1
Dunke til eddike, sprinklervæske o. lign.	0,4	0,002	< 1
Dunke og bøtter til kemisk-tekniske produkter	14,4	0,067	4
Plastbakker til andre fødevarer	4,9	0,023	1
Urtepotter af plast	5,6	0,026	1
Plastlåg	2,1	0,010	1
Kraftig folie til indpakning	4,3	0,020	1
Plastflasker til madvarer	8,3	0,039	2
Dunke og bøtter til fødevarer	12,0	0,056	3
Dunke og bøtter til kemikalier	1,0	0,005	< 1
Plastbakker til kød	11,8	0,055	3
Plastbakker (til frugt, kager mv.)	11,3	0,053	3
Anden hård emballage	3,7	0,017	1
Blisterpakninger	1,5	0,007	< 1
Bægre til smør og margarine	3,3	0,015	1
Pålægspakninger	11,2	0,053	3
Plastlaminater	1,0	0,004	< 1
I alt	100,0	0,468	24

Af Bilag C i rapporten fremgår hovedfraktioner opgjort for hver af de fire områder, der indgår i undersøgelsen. Det drejer sig om Kolding, Helsingør, Viborg og Gladsaxe Kommune.

Kg pr. husstand pr. uge	Kolding	Helsingør	Viborg	Gladsaxe	Gennemsnit
Plastemballage	0,43	0,54	0,43	0,46	0,47
Andet af plast	0,61	0,57	0,60	0,51	0,57
Plast i alt	1,04	1,12	1,03	0,97	1,04

I Tabel 3-3 i rapporten er resultaterne af tre tidligere undersøgelser af dagrenovationsmængder sammenstillet med den aktuelle affaldsanalyse. I denne sammenstilling er plastemballagemængden på 0,468 kg pr. husstand pr. uge benævnt "Genanvendeligt plastemballageaffald".

Fraktion	Kg pr. husstand pr. uge			
	2011 ¹	2001 ²	1993 ³	1979 ⁴
Genanvendeligt plastemballageaffald	0,468	0,230	0,580	0,500

Udpluk af Tabel 3-3 i rapporten.

- 1) Kortlægning af dagrenovation i enfamilieboliger – med særligt fokus på madspild, batterier og småt elektronikaffald, Miljøprojekt nr. 1414, 2012, Miljøstyrelsen
- 2) Sammensætning af dagrenovation og ordninger for hjemmekompostering, Miljøprojekt nr. 868, 2003
- 3) Dagrenovation for private husholdninger, Miljøprojekt nr. 264, 1994
- 4) Materialestrømme gennem private husholdninger, gendan a/s, 1980.

Opgørelsen er baseret på affaldsanalyser gennemført for dagrenovation i fire kommuner. I opgørelsen indgår alt plastmateriale, således også plastemner som typisk ikke indgår i sorteringskriterierne for indsamling af plast i Danmark, fx dunke og bøtter til kemikalier.

4.2 Emballageforsyningen i Danmark 2009, Miljøprojekt nr. 1388, 2011, Miljøstyrelsen

I rapporten skønnes det, at der i Danmark i 2009 blev brugt 115.586 tons plastemballage (salgsemballage). Ved et befolkningstal på 2.593.553 svarer dette til 45 kg pr. husstand pr. år (0,86 kg pr. husstand pr. uge).

Opgørelsen er dog baseret på den samlede forsyning af salgsemballager i Danmark,. Det vil sige salgsemballager, som ikke kun ender som affald i private husholdninger, men også i institutioner og på virksomheder, hvorfor salgsemballagemængden opgjort i Emballageforsyningen er større end den mængde, man fx finder ved affaldsanalyser af dagrenovationsaffald fra private husholdninger.

4.3 Vurdering af genanvendelsesmålsætninger i affaldsdirektivet, Miljøprojekt nr. 1328, 2010

I rapporten opgøres det samlede forbrug af varer i husholdningerne i Danmark. Opgørelsen er foretaget for 2005 og fremskrevet til henholdsvis 2012 og 2020. For plasts vedkommende er der regnet med en meget kraftig stigning fra 2005 til 2012 (38 %) og yderligere en stigning fra 2012 til 2020 på 17 %.

Plastemballagen er i Bilag 6 i rapporten anført til 76.144 tons, svarende til (ved 2.593.553 husstande) 29 kg pr. husstand pr. år eller 0,56 kg pr. husstand pr. uge.

Ifølge rapporten viser opgørelsen forsyningen af plastemballage i husholdningerne i Danmark.

4.4 Samfundsøkonomisk analyse af bortskaffelse af plastflasker og -dunkeaffald fra husholdninger, Miljøprojekt nr. 695, 2002

Rapporten omhandler alene plastflasker og -dunke fra husholdninger.

I rapporten tages der (med reference til Miljøprojekt nr. 657 "Miljømæssige fordele og ulemper ved genvinding af plast – eksempler med udgangspunkt i konkrete produkter" fra 2001, samt Miljøprojekt nr. 637, "Indsamlingssystemer for plastflasker og dunke" ligeledes fra 2001) udgangspunkt i, at mængden af plastflasker og -dunkeaffald fra husholdninger udgør minimum 10.000 tons pr. år. I rapporten skønnes, at den potentielle mængde af plastflasker og -dunkeaffald fra husholdninger udgør 10-15.000 tons. I rapporten arbejdes der videre med et potentiale på 12.500 tons.

Et potentiale på 12.500 tons pr. år modsvarer – ved et husstandsantal på 2.593.553 – en mængde plastflasker og -dunke på 4,8 kg pr. husstand pr. år.

Ifølge rapporten er der tale om en skønnet potentiel mængde af plastflasker og -dunke fra husholdninger i Danmark.

4.5 Miljømæssige fordele og ulemper ved genvinding af plast, Miljøprojekt nr. 657, 2002

I rapporten fokuseres på transportemballage samt plastflasker og -dunke fra husstande. Af rapporten fremgår et samlet potentiale for detailemballager på 108.000 tons pr. år og 97.000 tons transportemballage.

De 108.000 tons detailemballage svarer (ved 2.593.553 husstande) til 41,6 kg pr. husstand pr. år.

Det vurderes i rapporten, at 37 % af detailemballagen er relevant eller måske relevant (heraf ligger hovedparten i gruppen "måske relevant") at genanvende. 37 % af detailemballagen svarer (ved 2.593.553 husstande) til 15,4 kg pr. husstand pr. år.

I rapportens Tabel 2 er detailemballagen opgjort på plasttyper og fra hvilke type produkter, de stammer (fx drikkevarer, maskiner, dyrefoder). Mængderne er markeret med "relevant" og "måske relevant" at genanvende. Langt hovedparten af den mængde, der vurderes som relevant at genanvende, er LDPE (folie, poser, sække).

I rapporten er kortlægning af indsamlingspotentialer for emballageplast baseret på "statistik og undersøgelser på området" suppleret med forfatterens "egne estimater og erfaringer".

4.6 Indsamling af plastflasker og -dunke fra husholdninger, Miljøprojekt nr. 637, 2001

På baggrund af data fra emballageforsyningen i Danmark fordelt på varegrupper, 1997, er mængden af plastflasker, -dunke og -spande vurderet til i alt at udgøre et forbrug på 29.407 tons. 29.407 tons svarer (ved 2.593.553 husstande) til 11,3 kg pr. husstand pr. år.

Fordelingen af disse 29.407 tons er i rapporten fordelt på produkter og plasttyper.

Af rapporten fremgår en opgørelse fra 1995 foretaget af Forbrugerstyrelsen. Denne opgørelse viser et samlet plastforbrug i danske husholdninger på 63.726 tons. Heraf udgør folie 36.300 tons. Dvs.

at mængden af flasker, dunke, spande, bægge og bakker her er opgjort til 27.426 tons, hvilket (ved 2.593.553 husstande) svarer til 10,5 kg pr. husstand pr. år.

Yderligere er gengivet en række opgørelser af forbruget af plastemballage i Danmark.

På baggrund af diverse opgørelser vurderes det i rapporten, at plastflasker og -dunke udgør ca. 10.000 tons pr. år, svarende til 3,9 kg pr. husstand pr. år, og anden hård plastemballage, som spande, bægge, bakker, indlæg mv., udgør ca. 17.000 tons pr. år, svarende til 6,6 kg pr. husstand pr. år (ved 2.593.553 husstande).

Opgørelserne i rapporten er baseret på Emballageforsyningen i Danmark (potentialer) samt Forbrugerstyrelsens opgørelse af detailemballageforbrugt i Danske husholdninger (1995).

4.7 "Mission mulig" (Skanderborg og Odder Kommune)

1. maj 2012 blev husstande i Renosyds område forsynet med en beholder til emballage. I denne beholder kan husstande lægge skyllet metal-, glas- og plastemballage, fx konserverdåser, øl- og sodavandsdåser, vinflasker og syltetøjsglas samt plastflasker, fx fra eddike og shampoo. Da der er tale om emballager, må det forventes, at det indsamlede materiale primært består af HDPE, PET og PP.

Af "Mission mulig"s hjemmeside fremgår det, at målet er at indsamle 49 kg plast pr. husstand pr. år (samt 13 kg metal og 63 kg glas pr. husstand pr. år).

Ifølge www.missionmulig.dk er plastemballage "Plastflasker f.eks. fra eddike og shampoo".

Ifølge oplysninger fra Dansk Affald (der forestår sorteringen af den indsamlede fraktion) er der i fire måneder i 2012 indsamlet en mængde på 51 tons plast, hvilket omregnet til årsbasis giver en mængde på 4,120 kg pr. husstand, svarende til 0,079 kg pr. husstand pr. uge.

Opgørelsen på 4,120 kg pr. år er baseret på en konkret indsamlet mængde.

4.8 Madam Skrald – Herlev Kommune

Oplysningerne om Herlev Kommunes Indsamlingssystem hus parcel- og rækkehuse med "Madam Skrald" stammer fra Herlev Kommunes hjemmeside.

Der er tale om en opsamlingsbeholder inddelt i fire rum. Der indsamles henholdsvis plast, papir, metal og glas i beholderen. Beholderen tømmes hver 4. uge. Indsamlingssystemet blev indført i april måned 2012.

Sorteringskriterier for Plastfraktionen er:

- Plastflasker
- Dunke
- Bokse
- Beholdere
- Emballage
- Poser
- Låg

Følgende må ikke lægges i plastfraktionen:

- Blisterpakninger (fx fra medicin)
- Byggeaffald
- Gummistøvler (pga. PVC-indhold)
- Regntøj (pga. PVC-indhold)

- Bølgeplast
- Gavebånd

Følgende fremgår af sorteringsvejledningen²¹ ”Plasten skal være ren. Hvis den er snavset, skal den skylles først. Hvis du vurderer, at du skal bruge varmt vand og sæbe for at få plasten ren, skal den sorteres fra til almindelig dagrenovation. Den gavnlige miljøeffekt ved at sortere plast fra forsvinder nemlig, hvis du skal bruge for meget vand og sæbe til at rengøre plasten.”

Indsamlingssystemet omfatter ca. 4.200 husstande, og af kommunens hjemmeside fremgår det, at den gennemsnitlige indsamlede plastmængde opgjort i kg pr. husstand år udgør 18,5 kg (april 2012-marts 2013), svarende til 0,355 kg pr. husstand pr. uge.

Opgørelsen er baseret på en konkret indsamlet mængde.

4.9 Hvidovre Kommune

I Hvidovre Kommune er der gennemført et forsøg med indsamling af papir, glas metal og hård plast hos ca. 390 enfamilieboliger.

Plastfraktionen består af ”plastflasker, rene dunke fra rengøringsmidler og hygiejneprodukter, skyllede rene plastbakker fra tørvarer (fx småkager og frugt/grønt), anden hård plastemballage som eksempelvis CD-hylstre”²².

Plastfraktionen må ikke indeholde ”flamingo, plastfilm, poser, kødbakker, ledninger, legetøj o. lign. Endvidere fremgår det af sorteringsvejledningen, at ”Plastemballagen skal være ren og tør, og må ikke have været i kontakt med kødvarer eller andre våde madvarer. Emballagen kan evt. skylles i koldt vand. Er emballagen beskidt, skal den i restaffaldet. Emballagen må ikke være mærket med faresymboler og skal være mærket med en af nedenstående mærkninger:



Forsøget blev påbegyndt januar 2011, og erfaringer er afleveret af COWI i rapporten ”Teknisk opsamling og slutevaluering af forsøgsindsamling af affald med 4-kammer beholdere”. Af denne rapport fremgår opgørelse af indsamlede mængder for månederne januar-oktober 2011.

Af rapporten fremgår det, at der i perioden (10 måneder, svarende til 44 uger) blev indsamlet i alt 3,9 tons plast. Dette svarer (ved 390 husstande) til 0,227 kg pr. husstand pr. uge. En vurdering af plastfraktionen viser, at ca. 80 % af fraktionen består af plastemballager/-produkter, mens 20 % består af papir og dagrenovationen.

Opgørelsen er baseret på en konkret indsamlet mængde.

²¹ Herlev Kommunes hjemmeside

²² ”Teknisk opsamling og slutevaluering af forsøgsindsamling af affald med 4-kammer beholdere”, december 2011 – sorteringsvejledning side 6.

4.10 Data fra DuoFlex®

Som det fremgår af afsnit 2.2.1 udgjorde den samlede plastmængde (ved affaldsanalysen omfattende 100 husstande) 0,093 kg pr. husstand pr. uge. Den korrekt sorterede plastaffaldsmængde er ved affaldsanalysen opgjort til 0,068 kg pr. husstand pr. uge.

Den gennemsnitlige indsamlede plastmængde i DuoFlex®-systemet for de seneste 12 måneder udgjorde 0,085 kg pr. husstand pr. uge, mens der ved den affaldsanalyse, der omfattede 724 husstande, og som blev foretaget i forbindelse med forsøg med maskinel sortering i plasttyper på sorteringsanlægget hos Dansk Affald i Vojens²³, blev registreret en korrekt sorteret plastmængde svarende til 0,052 kg pr. husstand pr. uge.

Den samlede plastmængde (inkl. fejlsorterede plastemner) ved affaldsanalysen for de 100 husstande ligger med sine 0,093 kg pr. husstand pr. år tæt op ad den samlede plastmængde for DuoFlex®-fraktionen på 0,085 kg pr. husstand pr. uge for de seneste 12 måneder. Ligeledes ligger den korrekt sorterede mængde registreret ved affaldsanalysen for de 100 husstande relativt tæt op ad den korrekt sorterede mængde registreret ved affaldsanalysen for de 724 husstande – henholdsvis 0,068 kg pr. husstand pr. uge og 0,052 kg pr. husstand pr. uge.

Opgørelsen er baseret på en konkret indsamlet mængde.

4.11 Sammenstilling af resultater fra affaldsanalyse med resultater fra litteraturstudiet

Som det fremgår af nærværende rapport's Tabel 8 blev der ved den gennemførte affaldsanalyse ved sorteringen af DuoFlex®-fraktionen registreret en samlet mængde på 0,093 kg pr. husstand pr. uge, svarende til 4,81 kg pr. husstand pr. år. En del af denne mængde var i forhold til sorteringsvejledningen fejlsorteret plast, hhv. 0,002 kg plastposer/folie pr. husstand pr. uge (svarende til 0,104 kg pr. husstand pr. år) og 0,023 kg forurenede plastemballager pr. husstand pr. uge (svarende til 1,196 kg pr. husstand pr. år).

Dvs. at den korrekt sorterede plastmængde kan opgøres til 0,068 kg pr. husstand pr. uge, svarende til 3,51 kg pr. husstand pr. år.

Ved litteraturstudiet er der fundet en række meget forskellige opgørelser. Opgørelserne er ikke umiddelbart sammenlignelige. Definitionerne af plastfraktionen er forskellige, og for nogle af opgørelsernes vedkommende er det ikke præcist defineret, hvad plastmængden omfatter. Ved gennemgangen af de enkelte rapporter, afsnit 4.1.1 – afsnit 4.1.10, fremgår det, hvad opgørelserne er baseret på.

I nedenstående oversigt er data fra diverse rapporter sammenstillet.

²³ Se afsnit 6.7

Kilde	Kg pr. husstand pr. uge	Kg pr. husstand pr. år	Bemærkninger
DuoFlex®-fraktion Affaldsanalyse foretaget 2012	0,093 0,068	4,810 3,536	Registreret ved affaldsanalyse. Den korrekt sorterede del i forhold til sorteringskriterier.
Miljøprojekt nr. 1414, 2012 Affaldsanalyse foretaget 2011	0,468 kg	24,336	Data stammer fra "Kortlægning af dagrenovation i enfamilieboliger – Med særligt fokus på madspild, batterier og småt elektronikaffald". Alle plastflasker, -dunke, -bøtter, -bakker registreret ved affaldsanalysen af dagrenovationsfraktionen.
Miljøprojekt nr. 1414, 2012	0,230	11,960	Data stammer fra Miljøprojekt nr. 868, 2003 "Sammensætning af dagrenovation og ordninger for hjemmekomposterings". I Miljøprojekt nr. 1414, 2012 benævnt "genanvendeligt plastemballageaffald".
Miljøprojekt nr. 1414, 2012	0,580	30,160	Data stammer fra Miljøprojekt nr. 264, 1994 "Dagrenovation fra private husholdninger". I Miljøprojekt nr. 1414, 2012 benævnt "genanvendeligt plastemballageaffald"
Miljøprojekt nr. 1414, 2012	0,500	26,000	Data stammer fra genan a/s, 1980 "Materialestrømme gennem private husholdninger". I Miljøprojekt nr. 1414, 2012 benævnt "genanvendeligt plastemballageaffald".
Miljøprojekt nr. 1388, 2011	0,860	44,720	Data stammer fra "Emballageforsyningen i Danmark".
Miljøprojekt nr. 1382, 2011	1,230	63,960	Data stammer fra "Statistik for emballageaffald 2009".
Miljøprojekt nr. 1328, 2010	0,560	29,120	Data stammer fra "Vurdering af genanvendelsesmålsætninger i affaldsdirektivet".
Miljøprojekt nr. 695, 2002	0,092	4,800	Data stammer fra "Samfundsøkonomisk analyse af bortskaffelse af plastflasker og -dunke fra husholdninger" og omfatter alene plastflasker og -dunkeaffald fra husholdninger. Mængden er skønnet.

Kilde	Kg pr. husstand pr. uge	Kg pr. husstand pr. år	Bemærkninger
Miljøprojekt nr. 657, 2002	0,296	15,400	Data stammer fra "Miljømæssige fordele og ulemper ved genvinding af plast", og mængden indeholder plastemballage, der i rapporten er vurderet at være "relevant" og måske relevant" at genanvende – hovedparten af mængden er fra kategorien "måske relevant".
Miljøprojekt nr. 637, 2001	0,202 (0,075 + 0,127)	10,500 (3,9+6,6)	Data stammer fra "Indsamling af plastflasker og -dunke fra husholdninger". Plastflasker og -dunke opgøres til ca. 10.000 tons pr. år, og anden hård plastemballage, som spande, bakker etc., opgøres til ca. 17.000 tons pr. år.
Værdibevist – Skanderborg og Odder Kommune)	0,079	4,120	Resultatet fra indsamling i fire måneder i 2012 – omregnet til årsbasis
Madam skrald, Herlev Kommune	0,355	18,500	Indsamlet mængde (2012/2013) er oplyst på hjemmesiden http://www.herlev.dk/borger/natur-miljo/affald/Hvis%20du%20bor%20i%20en%20parcel%20eller%20i%20en%20garage/madam-skrald-1/maengder
Hvidovre Kommune	0,227	11,804	Data stammer fra "Teknisk opsamling og slutevaluering af forsøgsindsamling af affald med 4-kammer beholdere", 2011. Det er i rapporten skønnet at ca. 50 % af fraktionen er sendt til forbrænding da kvaliteten ikke har været tilfredsstillende.

4.11.1 Sammenfatning og konklusion for litteraturstudiet

De enkelte rapporter og hjemmesider baserer sig på en del forskellige opgørelsesmetoder. Kriterierne for, hvad plastfraktionerne omfatter, er meget forskellige i de enkelte opgørelser. I nogle rapporter er der tale om teoretiske data baseret på fx forfatterens estimer og vurderinger. I en enkelt rapport er der tale om en affaldsanalyse gennemført for indholdet i dagrenovationen (her indgår fx emballager med faremærker; emballager, der er forurenede af fødevarer; og andre plastemner, som muligvis ikke vil indgå i en indsamlingsordning). I andre rapporter er der tale om opgørelser af indsamlede plastfraktioner (inkl. fejlsorteringer). I opgørelsen for affaldsanalyse foretaget fra DuoFlex®-fraktionen samt opgørelsen for "Værdibevist", Silkeborg og Odder kommuner er der tale om opgørelser rensset for fejlsorteringer i form af ikke-plastmaterialer.

Der er således tale om opgørelser baseret på affaldsanalyser af indsamlede fraktioner, opgørelser baseret på skøn eller teoretiske opgørelser for enten mulige indsamlede mængder eller samlede potentialer. Også ved de opgørelser, der er baseret på affaldsanalyser, er det pga. af forskellige sorteringskriterier vanskeligt at sammenholde data.

Det er derfor ikke muligt at sige noget entydigt om plastmængderne. I de rapporter og øvrige opgørelser der indgår i litteraturstudiet spænder plastmængden fra mindre end 5 kg pr. husstand år til over 60 kg pr. husstand pr. år.

For fire af de resultater, der er sammenstillet i opgørelsen i 4.1.12, er der tale om data for konkret indsamlede mængder. Der drejer sig om:

- DuoFlex®-fraktionen der er baseret på affaldsanalyse – 4,810 kg pr. husstand pr. år.
- ”Værdibeviset”, Skanderborg og Odder Kommune, der er baseret på indsamlet mængde opgjort af Dansk Affald – 4,120 kg pr. husstand pr. år. Mængden er rensset for eventuelle fejlsorteringer.
- Madam Skrald, Herlev Kommune – 18,356 kg pr. husstand pr. år. Indsamlet mængde er oplyst på hjemmesiden <http://www.herlev.dk/borger/natur-miljo/affald/Hvis%20du%20bor%20i%20parcel%20eller%20raekkehus/madam-skrald-1/maengder>. Opgørelserne på hjemmesiden oplyser ikke om omfanget af fejlsorteringer.
- Hvidovre Kommune – 11,804 kg pr. husstand pr. år. Data stammer fra ”Teknisk opsamling og slutevaluering af forsøgsindsamling af affald med 4-kammer-beholdere”. Det er i rapporten skønnet, at ca. 50 % af fraktionen er sendt til forbrænding, da kvaliteten ikke har været tilfredsstillende.

Opgørelser med konkret indsamlede mængder viser således 4-5 kg pr. husstand pr. år for henholdsvis ”Værdibeviset” (Skanderborg og Odder kommuner) og DuoFlex®, mens opgørelsen fra Hvidovre Kommune viser 5-6 kg, når skønnede fejlsorteringer fraregnes. Opgørelsen for Madam Skrald (Herlev Kommune) viser 18 kg pr. husstand pr. år; men her er fejlsorteringer ikke opgjort. Dvs. at opgørelser for konkret indsamlede plastmængder (hvor fejlsorteringer er fraregnet) ligger på mellem 4, 1 kg og 5,9 kg pr. husstand pr. år.

5. Undersøgelse af egnede teknologier til separation

5.1 Litteraturundersøgelse/videnindsamling – sorteringsteknologier

Der er i projektet foretaget en vidensindsamling vedr. de nyeste sorteringsteknologier på markedet.

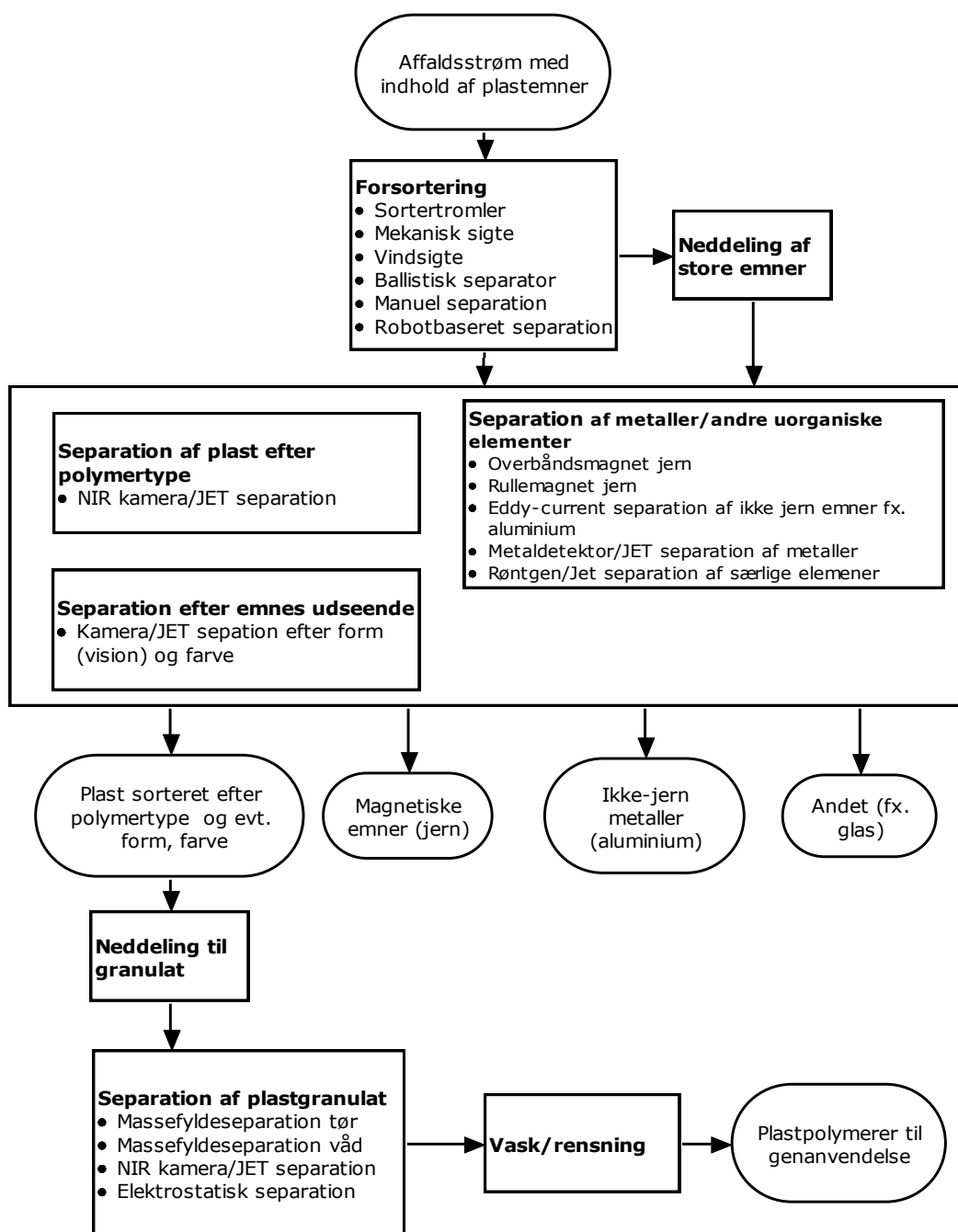
Undersøgelsen omfatter:

- Litteratursøgning i faglitteratur vedr. sorteringsteknologier
- Besøg på leverandørers hjemmesider
- Besøg på messen IFAT i München 2012
- Besøg ved anlæg
- Kontakt til leverandører vedr. supplerende oplysninger om sorteringsteknologier.

5.1.1 Indsamling af data

I ref. 11 og ref. 12 er foretaget en gennemgang og indhentning af data for en lang række forskellige typer sorteringsudstyr, som kan anvendes til sortering af plast og metaller. Data herfra er ca. 10 år gamle, og derfor er markedet undersøgt vedr. kommercielt tilgængelige teknologier og data for disse.

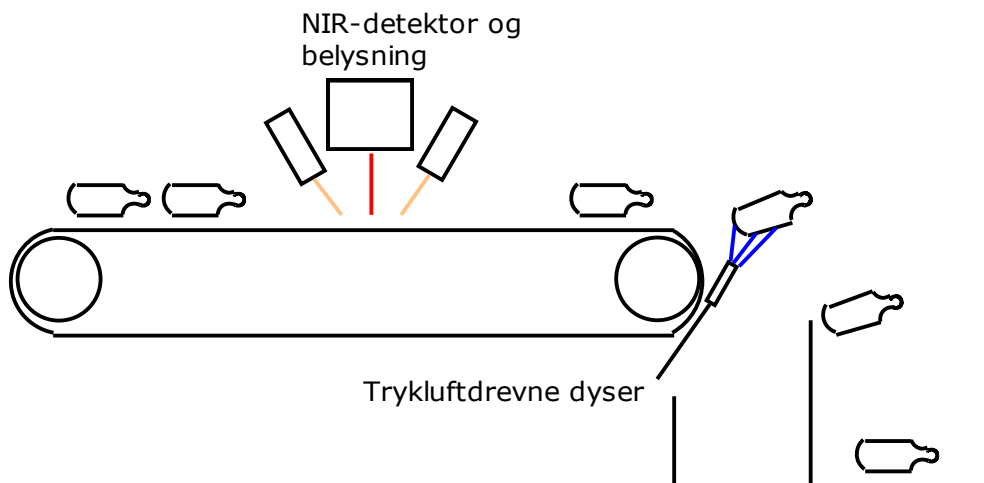
Nedenfor er vist en oversigt over teknologier til brug for oparbejdning af tørre affaldsstrømme med indhold af plastmaterialer som DuoFlex® og blandet plastaffald fra genbrugspladser. Teknologierne beskrives mere detaljeret nedenstående.



FIGUR 8
TEKNOLOGIER TIL OPARBEJDNING AF AFFALDSSTRØMME MED INDHOLD AF PLASTEMNER

Figuren illustrerer brugen af teknologier fra en blandet, tør affaldsstrøm med indhold af plast modtages, til der opnås et slutgranulat, der kan genanvendes og dermed indgå i produktion af nye plastemner. Endvidere er vist metoder til separation af jern og aluminium.

Ved oparbejdning af blandet plast af emballager fra udlandet, fx plast fra Duales System Deutchland, har der i en længere årrække været benyttet NIR/JET-baseret polymerseparation af plastmaterialerne, ligesom denne teknologi er taget i brug i Danmark ved Dansk Affald og DKRaastoffer A/S.



FIGUR 9

NIR/JET-SEPARATION. NIR DETEKTORER OPMÅLER DET NÆRINFRARØDE SPEKTRUM AF HVERT PASSERENDE EMNE PÅ BÅNDET. POLYMERTYPEN BESTEMMES UDFRA EN SPEKTROSKOPISK ANALYSE, OG EN TRYKLUFTDREVET DYSE AKTIVERES FOR SEPARATION AF EMNET.

Udviklingen JET-systemerne er oprindeligt drevet af DSD-systemet²⁴, hvor den første NIR-baserede maskine til sortering af plastemballage ifølge TITECH kom på markedet i 1993.

Inden separation af plastemner kan finde sted, skal de tilførte affaldsstrømme med plastemner forbehandles, så plastemnerne findes i et monolag og samtidig overholder kravene til fysiske dimensioner for sorteringsmaskinerne - typisk maks. 20-30 cm. Dette er afhængigt af, hvad indgangshøjden er i sorterenheden og af dimensionerne af afgangskanalerne til de udsorterede produkter.

Oparbejdning af fraktioner af blandet plast kan bl.a. kræve:

- Fraseparation af store plast emner (10-20 liter dunke, bøtter, kar etc.) med efterfølgende neddeling
- Fraseparation af folier, som kan lægge sig hen over emner og forstyrre separationen.

Til dette anvendes i udlandet fx sortertromler, vindsigter eller ballistiske separatorer.

Eksempler på anvendelse af disse typer forsortering til sortering af plastemballage på europæiske anlæg er vist i flowsheets i en WRAP-rapport fra 2010, se Ref. 14. Se endvidere anlægsbesøg afsnit 5.2.

Ud over frasortering af større emner og folier kan det være nødvendigt at frasortere uønskede materialer, fx tæpper og sammensatte produkter, som kan ødelægge genanvendelsen. Det gælder fx en plastbeholder med rester af silikonefugemasse eller poser med dagrenovation, som kan forurene transportbåndet. Frasortering kan udføres via sorteringskabiner med trænet personale som vist på flowsheets for nogle af anlæggene i Ref. 14.

Når plastemnerne er sorteret efter polymertype, foregår en yderligere oparbejdning ved at neddele emnerne, eftersortere til tilstrækkelig renhedsgrad og om nødvendigt rengøre plasten. Plasten kan endvidere farvesorteres, så der fx kan opnås en klar fraktion af PET til fremstilling af klar PET.

NIR-separation kan ikke separere sort plast farvet med carbon black, hvorfor denne type emballage mistes som restaffald. Teknikker og metoder til at opnå genanvendelse af sort plast diskuteres i afsnit 5.1.5.3 og 5.1.6.

²⁴ Duales System Deutschland

Ved besøg på messen IFAT 2012 blev besøgt leverandører af udstyr til behandling, identifikation og separation af affald med plastmaterialer, ligesom udvalgte leverandører efterfølgende er kontaktet for supplerende data.

Som vist på Figur 8, kan oparbejdning af strømme med plastaffald kræve:

- Forsortering med sortertromle, ballistiske separatorer eller vindsigtere - typisk frasorteres lette plastfolier m.m. her til særlig oparbejdning
- Evt. grovneddeling (shredning) af stort materiale
- Fjernelse af jern og ikke-jern-metaller
- Separation af plastemballage efter polymertype
- Evt. fjernelse af plastemner med uønskede farlige stoffer, som flammehæmmere
- Efterbehandling af udsorterede polymerer for at opnå tilstrækkelig produktkvalitet til afsætning.

Indsamlede data for teknikkerne vises i det følgende. Der er nævnt nogle eksempler på leverandører, men der findes en del flere, som man bør undersøge, hvis der skal investeres i teknologier.

5.1.2 Forsortering

På en række udenlandske anlæg til sortering af emballage tilføres en blanding af emballageemner, der har en 3-dimensional form (3D) iblandet en række mere flade emner (2-dimensionelle materialer - 2D) som plastfolier og evt. papir og pap. Til at sortere disse maskinelt benyttes sortertromler, ballistiske separatorer, vindsigter, luftknive m.m. En del af udstyret som sortertromler og ballistiske separatorer frasorterer store plastemner sammen med folie/papir. Til at foretage en separation af folieemner (2D) fra emballage (3D) findes en særlig teknologi baseret på vakuumseparation.

Den mekaniske forsortering må typisk suppleres med manuel separation i sorteringskabiner, men mængden, der skal sorteres, mindskes ved brug af udstyret.

En mulig fremtidig teknologi til erstatning af manuel sortering kan være robotbaseret teknologi med genkendelse via vision og diverse sensorer.

5.1.2.1 Sortertromler

En sortertromle er en roterende tromle med en bestemt hulstørrelse, som mindre emner kan passere. Fra sortertromler kan opnås 2-3 størrelsesfraktioner fx <50 mm, 50-300 mm og over 300 mm hvis der er 2 hulstørrelser (50 mm og 300 mm). Fraktionen 50-300 mm svarer til størrelsen af typiske 3D-emballager (3D-emballager er 3-dimensionelle emballager, som fx beholdere, sodavandsflasker etc., i modsætning til 2-dimensionelle emballager – 2D, som folier).

Kapaciteter

Som et eksempel kan stationære rotertromler fra firmaet Komptech leveres med sigteareal fra 22-85 m² svarende til 120-230 m³ materiale per time. Hvad, det svarer til i ton, er afhængig af densiteten af emnerne, fx PET-flasker og folie.

Fordele

Tromlesigter kan benyttes til at producere en fraktion af emner, der passer til efterfølgende NIR separation og en overstørrelsesfraktion som fx folier og store beholdere. Store beholdere kan efter frasortering af folier neddeles inden tilførsel til NIR separation.

Ulemper

Af anlægsbeskrivelser i ref. 14 fremgår, at sigtestørrelsen i soldet i nogle tromlesigter er ca. 50 mm. Plastemner, som er under denne størrelse, vil mistes, hvis de ikke efterfølgende forsøges udvundet fra finfraktionen.

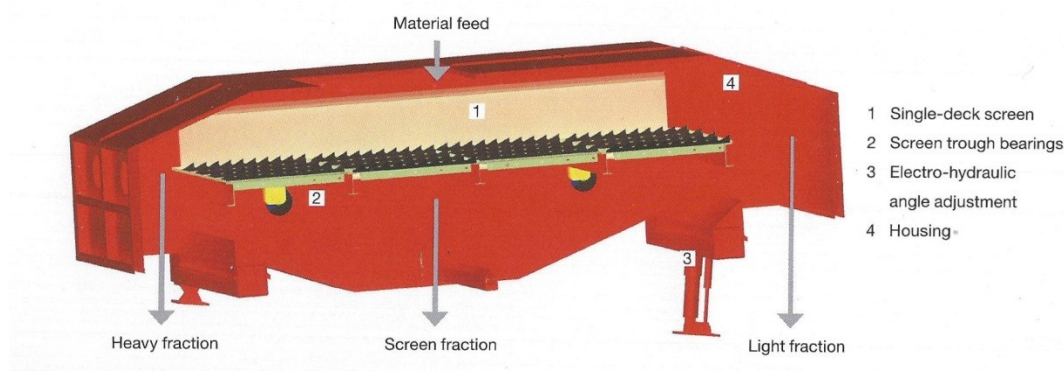
Leverandører: Fx Nihot Recycling Technology B.V. (forhandler Borema GmbH), Hartner GmbH, Komptech m.fl.

5.1.2.2 Ballistisk separation

En ballistisk separator er bygget op af en skråtstillet sigte, som hælder opad og fremad. Ved drift bevæges sigten opad og fremad. Herved kastes lette materialer som folier op og frem på sigten, mens mere glatte og tunge materialer, som PET-flasker, ruller bagud. Små emner passerer sigtehullerne. Hældningsvinklen og rotationshastigheden kan justeres, ligesom separatoren kan leveres med forskellige hulstørrelser i sigten.

Der produceres således 3 fraktioner:

- Let fraktion (folier, papir)
- Tung fraktion (PET-flasker, metal m.m.)
- Sigtefraktion (afhængigt af hulstørrelse i sigten)



FIGUR 10
BALLISTISK SEPARATOR

Kapaciteter

Ballistiske separatorer fra firmaet IMT kan leveres med kapaciteter fra 40 m³/t (1,3 meter bredde) til 120 m³/time (4 meter bredde) med op til 0,5 g/cm³ i densitet. Hvad, det svarer til i ton, er afhængig af, hvor meget luft der er mellem emnerne, fx PET-flasker, folie osv.

Fordele

Den manuelle separation af folier (2D), inden blandet plastemballage (3D) tilføres JET/NIR-sorteringsenheder, reduceres. Dette medfører en mindre arbejdsmiljømæssig belastning.

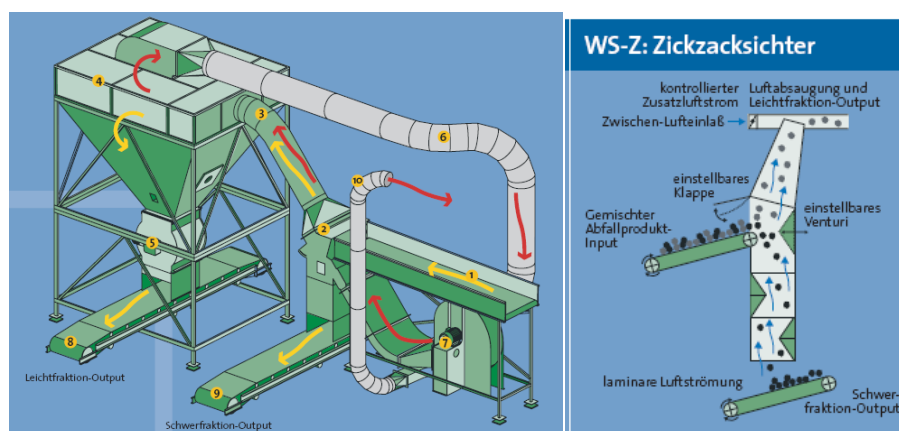
Ulemper

Af anlægsbeskrivelser i ref. 14 fremgår, at sigtestørrelsen i soldet i nogle separatorer er ca. 50 mm. Plastemner, som er under denne størrelse, vil mistes, hvis de ikke efterfølgende forsøges udvundet fra finfraktionen.

Leverandører: fx IMT www.imt-separator.at, BRT Recycling Technologie <http://www.brt.info/en>, Stadler (Borema GmbH), Hartner GmbH, Komptech m.fl.

5.1.2.3 Vindsigtning

Vindsigtning er en metode til at fjerne lette materialer, som folier, fra tilførte affaldsstrømme og er implementeret på nogle udenlandske anlæg til sortering af plastemballage. Vindsigtning foregår også i en såkaldt Air classifier.



FIGUR 11
VINDSIGTE FRA NIHOT VIST I ZIG-ZAG-UDFØRELSE

Kapaciteter

Som et eksempel angiver Nihot en kapacitet for deres vindsigte på op til 100 ton/time afhængigt af densitet af materialet. Vindsigten findes i forskellige varianter - vertikal, diagonal og zigzag-sigte og kan arbejde med partikelstørrelser fra 20-400 mm.

Udbytte og renhedsgrad

Udbytte og renhedsgrad vil være afhængigt af densitetsforskelle og partikelstørrelser på det materiale, der skal separeres.

Fordele

Med vindsigter kan frasepareres lette materialer, som folier og papir, fra tungere plastmateriale/metal/glas, hvorved manuel fraseparation af folier o. lign. kan reduceres.

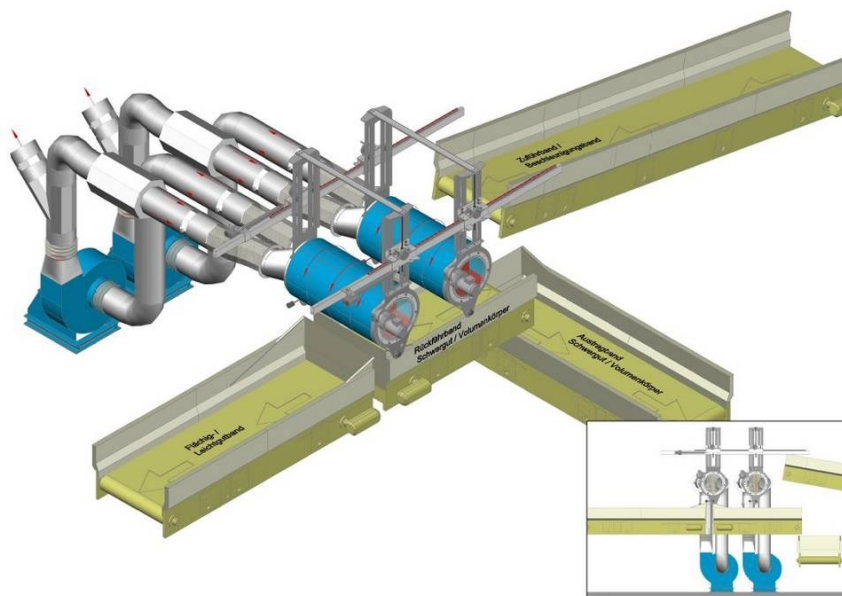
Leverandører: Fx TST Trennso Technik, Nihot Recycling Technology B.V. (Borema GmbH).

5.1.2.4 Luftknive

En luftkniv (airknife) producerer en tynd kraftig strøm af luft, som kan benyttes til at fraseparere lette materialer, som folier og papir, fra tunge materialer som plastbeholdere, metal og glas. Den benyttes af nogle udenlandske sorteringsanlæg – se Ref. 16.

5.1.2.5 Vakuums separation

Til separation af folier er fornyligt udviklet og introduceret et vakuumsystem på markedet, som vist på Figur 12.



FIGUR 12
VAKUUMSYSTEM TIL SEPARATION AF FOLIER FRA EMBALLAGE

I systemet tilføres en blanding af folier (2D) og emballagebeholdere (3D) til 2 sorteringstromler med et indre vakuum. Folierne suges fast på tromlerne og afgives på båndet til venstre. 3D-emballage passerer tromlerne og ledes væk på båndet til højre. Systemet er i drift ved Swrec i Sverige.

Fordele

Den manuelle separation af folier (2D) fra emballager (3D) mindskes. Dette reducerer den arbejdsmiljømæssige belastning.

Leverandører: Schulz & Berger

5.1.2.6 Robotbaseret sortering

Der findes i dag robotbaserede sorteringssystemer som er udviklet til sortering af byggeaffald. Disse sorteringssystemer er forsynet med diverse sensorer som visionskameraer, NIR kameraer mm.

Virksomheden Bollegraaf har netop introduceret en robot, benævnt "RoBB", som kan anvendes til eftersortering af affaldsstrømme af plast, hvilket pt. udføres manuelt på mange udenlandske sorteringsanlæg med strømme af plastemballage. Den nuværende prototypemodel er forsynet med 4 sorteringsarme, men kan udvides til 10. Systemet fjerner emnerne vha. en sugekop/vakuum. Armene kan fx programmeres til at fjerne rester af papir og pap eller plastemballage af uønsket polymertype. Sensorer omfatter NIR, 3D opmåling og farvekamera. Hver arm kan foretage 60 separationer pr. minut, hvilket vurderes til ca. at svare til, hvad en person kan udføre (1-2 frasorteringer pr sekund). Udstyret er i test ved en engelsk oparbejder af plast. Der er pt. ikke nærmere oplysninger om træfsikkerhed, herunder fx hvilke emner det er vanskeligt at få fat i for robotarmene.

En amerikansk producent Torc Robotics Group arbejder ligeledes med robotbaseret udstyr til sortering.

Der er så vidt vides ikke udviklet robotbaseret udstyr til udsortering af problematiske emner fra plastaffald fx laminat/komposit emner, plastemballage med indhold af olie/fedt/mayonnaise, fugemassesprøjter med silikone eller plast med indhold af farlige stoffer.

Der arbejdes med udvikling af metoder til at frasortere sådanne problematiske emner i et dansk Innovationskonsortium "INNOSORT". Det skal her nævnes, at en lang række danske virksomheder har kompetencerne til at bygge sådant udstyr ud fra deres nuværende leverancer af automatiserings- og robotudstyr til industrien.

Udenlandske leverandører af robotbaserede systemer til byggeaffald mv. omfatter det finske firma Zenrobotics www.zenrobotics.com.

Herudover kan nævnes RoBB fra Bollegraaf og udstyr fra Torc Robotics Group.

5.1.3 Neddeling

Neddeling af plastmaterialer er nødvendig undervejs i de forskellige trin af oparbejdningsprocesserne.

Meget store plastemner kræver en grov shreddning til 10-30 cm stykker, før der kan foretages en separation med fx JET/NIR.

Udsepareret plastemballage sorteret efter polymertype med JET/NIR vil efterfølgende blive neddelt til granulat inden videre oparbejdning. Ved neddeling til fx 10 mm vil en række plastmaterialer, som består af flere plasttyper, blive adskilt fra hinanden. Eksempelvis vil låget på PET-flasker, som er af PP, blive adskilt fra selve PET-flasken, og PP kan herefter efterfølgende separeres fra PET enten med en NIR-granulatsorteringsenhed eller ved våd massefyldeseparation.

Generelt bør følgende overvejes ved neddeling ud fra en driftsøkonomisk betragtning:

- At man kun neddeler de emner, som kræver neddeling (således kan man benytte en sortertromle til at frasortere de emner, der kræver neddeling).
- At der kun neddeles til det niveau, som er tilstrækkeligt for efterfølgende separation.
- At det sikres, at flest mulige slidende emner frasorteres inden neddeling (metal, sten, sand). For at opnå dette kan benyttes frasortering med sigter af slidende emner, som sten m.m. eller frasortering af metaller med magneter, hvirvelstrømseparatorer m.m.

Leverandører: Inden for neddeling findes der mange leverandører af shreddere og granulatorer. Eksempler på leverandører: Eldan Recycling, ARP, Weima, Granutech Saturn

5.1.4 Separering af metaller

5.1.4.1 Jernseparation

Store metalemner som dåser fanges nemt med en overbåndsmagnet, som er placeret over transportbåndet. En overbåndsmagnet giver en god renhedsgrad af det udvundne metal, da det bliver suget op fra båndet.

Hvis der er mange fine små magnetiske (jern) emner, kræves efterbehandling med en rullemagnet. Dette er normalt ikke relevant for plastemballage, men kan være nødvendigt for oparbejdning af særlige fraktioner med indhold af plast som elektronik, kølemøbler etc.

Leverandører: Fx Steinert, Bakker magnetics

5.1.4.2 Separation af ikke-jern-metaller

Ikke-jern-metaller er typisk aluminium fra dåser, når der er tale om emballage. Ikke-jern-metaller kan fjernes fra en affaldsstrøm med:

- hvirvelstrømseparation (eddy-current)
- JET-/metaldetektorseparation. Metoderne skelner ikke mellem ikke-jern-metaller, så hvis der er emner af kobber eller messing, fx beslag, udsorteres de sammen med aluminium.

Leverandører af eddy-current separationsudstyr: Fx Steinert, Bakker Magnetics. JET-/metaldetektor baseret udstyr - se afsnit 5.1.5.6.

5.1.5 JET-baserede systemer

I dag findes JET-baserede systemer baseret på detektion af:

- Polymertype med NIR
- Form/farve med kamera
- Indhold af metaller/ledende materialer med metaldetektor
- Indhold af specifikke grundstoffer med røntgendetektor.

Siden beskrivelserne i Refs. 11, 12 er:

- præcisionen af NIR systemerne steget
- prisen er mindsket drastisk
- det blevet muligt at benytte flere detektorsystemer på samme maskine, så der fx også kan detekteres efter farve og form af plastemner samtidig med detektion af polymertype. Således vil man kunne separere klare PET-flager ud i ét trin med en kombimaskine.

JET-baserede systemer kræver for at opnå en god separation, at partikler tilføres i et monolag.

Dette kan opnås ved at frasortere for store emner og folier m.m., som kan lægge sig hen over emner, og tilføre emnerne via en vibrationsfoder og så justere tilførselshastigheden, så emnerne ligger godt separeret på tilførselsbåndet.

I Tabel 15 er vist leverandører af JET-systemer besøgt på IFAT 2012.

TABEL 15
LEVERANDØRER AF NIR SEPARATIONSUDSTYR

Virksomhed	NIR	Colour	X-Ray	Metal	3D	Laser-spek.	Separation af sort plast	WWW
Titech	x	x	x	X				www.titech.com
Steinert	x	x	x	X	x			www.steinert.de
Redwave	x	x	x					www.redwave.at
S+S	x	x	x	X				www.sesotec.com
MSS	x	x		X				www.magsep.com
Pellenc	x	x		X				www.pellencst.com
Picvisa	x	x		X				www.picvisa.com
Visys		x						www.visysglobal.com
Unisensor						x	x	www.unisensor.de

En del JET-systemer kan leveres som 2-vejs (et sætdyser) eller 3-vejs (2 sæt dyser). Ved 3-vejssystemer vil præcisionen af separation nr. 2 mindskes, da banen af emner kan forstyrres, hvis det første sæt dyser aktiveres tæt på en aktivering af det andet sæt dyser. De fleste JET-systemer skyder emnet opefter hen over en spalte. Hvis emnet ikke er helt tømt, kan man risikere, at det blot roterer og ikke skydes hen over spalten. Andre leverandører benytter et frit fald-system, hvor faldvejen blot skal afbøjes lidt, hvilket formentlig kan give en højere separationseffektivitet. Der er

også forskel på afstanden fra detektor til dyser. Den korteste afstand bør her principielt give den bedste separation af emnet, da det ikke kan nå at flytte sig så meget på transportbåndet fra detektionstidspunkt til dysen nås.

5.1.5.1 Driftsudgifter JET-systemer

Generelt gælder for alle JET-systemer, at de bruger en betragtelig mængde trykluft. Selve strømforbruget for systemerne ligger fra 2-8 kWh for 1 m båndbredde for polymer- og farvedetektor-systemer, mens strømforbruget til produktion af trykluft er betragteligt (Ref. 13 og samtaler med leverandører). Forbruget vil variere efter, hvor tit dyserne skal aktiveres, og strømforbruget til trykluft kan ifølge leverandører være væsentligt højere end maskinens eget strømforbrug til motorer og detektorer (30-40 kW/m/time).

5.1.5.2 NIR (Nær Infra Rød)

Ved separationssystemer baseret på NIR anvendes det nærinfrarøde område med bølglængder fra ca. 800 nm til 2500 nm. I dette område har de forskellige polymertyper karakteristiske spektre, som kan benyttes til identifikation.

NIR-systemer fås typisk enten med 32 eller 64 NIR-sensorer pr. meter eller 320 pixel NIR-kamera. Ved et 320 pixel kamera og 1 m båndbredde kan således detekteres partikler på ca. 3 mm.

Imidlertid er dyseafstanden typisk noget større (6 mm eller mere), hvorfor det ikke er sikkert, at kun en enkelt partikel vil blive blæst ud, hvis flere partikler ligger tæt.

Ved detektionen er der tale om håndtering af ekstreme datamængder. En Steinert Unisort PR kan således foretage 27 millioner NIR-detektioner pr. sekund, hvor hver detektion vil bestå af måling af en række karakteristiske bølglængder i NIR-spektret samt fortolkning af disse data.

Der fås systemer med båndbredder op til 2,8 m. Der findes særlige systemer til separation af flager.



FIGUR 13

TRE HØJHASTIGHEDSVIDEA-ENKELTBILLEDER, DER VISER OPRENSNING AF PET-GRANULAT LIGE FØR RÆKKEN AF TRYKLUFTDYSER. FLAGERNE BEVÆGER SIG FRA VENSTRE MOD HØJRE. DEN BRUNE FLAGE NEDERST SKYDES VÆK PÅ DET MIDTERSTE BILLEDE OG FORSVINDER NEDAF TIL VENSTRE PÅ DET SIDSTE BILLEDE.

Kapaciteter

Kapacitet af udstyr afhænger af typen af tilført affald.

Steinert opgiver således følgende kapaciteter for plastemballage:

- 60-250 mm emner: 2-7 t/h*m
- 10-60 mm emner: 0,8-3 t/h*m

Således vil en NIR-maskine med 2 m båndbredde have en kapacitet på ca. 8 ton/time ved emner af ca. 10 cm størrelse. Dette giver ved drift i 3 skift med 5 dages uge og 2 ugers pause til vedligehold en maksimal kapacitet på $8 \cdot 24 \cdot 5 \cdot 50 = 48.000$ ton plastemballage pr. år for en enkelt separationsenhed.

Udbytte og renhedsgrad

Udbytte og renhedsgrad er afhængig af tilført materiale. Ved flakes opgiver Steinert, at der typisk opnås > 85 % udbytte og > 90 % renhed ved en passage af sorteringsenheden. Således vil renheden kunne øges ved en yderligere passage, mod at udbyttet falder. Udbytte og renhed vil falde, hvis man presser maskinerne, da partikler da ikke alle ligger i et monolag. Titech opgiver ligeledes typiske renhedsgrader fra 90-93 % med 80-90 % udnytte. I ref. 14 er vist og diskuteret en række sorteringsforsøg på europæiske anlæg.

TABEL 16

DATA FRASORTERINGSTEST VED NOGLE UDVALGTE ANLÆG VIST I REF. 14

Data fra Ref. 14		PE udbytte %	PE renheds-grad %	PET udbytte %	PET renheds-grad %	PP udbytte %	PP renheds-grad %
2011	Site B	94	89	*	95	76	97
	Site D	90	92	74	88		
	Site E			93	65	58	91
*53 % udbytte for klar PET med 95 % renhed , 60 % udbytte for farvet PET med kun 33 % renhed Tallene er vist for selve den maskinelle sortering, idet renhedsgraden på nogle af anlæggene forbedres ved brug af håndsortering.							

I nogle tilfælde var der lave udbytter eller lav renhed, hvilket i rapporten vurderes at kunne skyldes fejljustering af maskinerne. I Refs. 14-16 gives en række gode råd til optimal drift af anlæggene.

Priser

2012 prisniveauer for NIR-baserede systemer er i størrelsesordenen 85.000-150.000 euro for maskiner med 1 meter båndbredde.

Fordele

Velgennemprøvet princip (20 år) med mange konkurrenter og deraf faldende priser.

Ulemper

NIR-baserede systemer kan ikke detektere sort plast. Der er dog arbejdet med udvikling af sort farvet plast, som ikke er baseret på carbon black. Denne type plast kan detekteres med NIR, se Ref. 17.

5.1.5.3 Laserspektroskopi

Der er kommet et enkelt system på markedet (Unisort Powersort 200), som kan separere sort plast ved brug af højhastigheds laserspektroskopi. Samtidig vil systemet kunne identificere en række uønskede organiske additiver i fx sort plast til elektronik.

Molekyler i overfladen belyses med en høj energilaser, og lyset herfra analyseres med fluorescens og ramanspektroskopi i hele bølgeområdet fra ultraviolet til infrarød. Herved kan detekteres mange flere komponenter end med den traditionelle nær-infrarøde spektroskopi. Dette kræver selvsagt mere datakraft, som nu er til stede i Unisort Powersort 200 med en analysekapacitet på op til 1 mio. spektre pr. sekund.



FIGUR 14
UNISORT POWERSORT 200

Kapacitet

Systemet er beregnet til flager med størrelser fra 1 mm² til 200 mm² (4,5 cm flager). Systemet har en kapacitet på ca. 3 ton og benyttes p.t. bl.a. til oprensning af PET-flager til fødevarekvalitet.

Udbytte og renhedsgrad

Unisensor angiver, at der kan opnås 98 % renhedsgrad af flakes med et højt udbytte, fx ved frarensning af silikonerester

Priser

Priser for Unisensors laserspektroskopibaserede Powersort 200 er på omkring 500.000 euro.

Fordele

Kan detektere sort plast og en række specielle organiske komponenter, fx silikone. Systemet er lovende for fremtidig mere detaljeret detektion af uønskede komponenter i plast.

Ulemper

Systemet kan p.t. kun håndtere flakes og er meget dyrt.

5.1.5.4 JET-baseret røntgenseparation

Nogle leverandører tilbyder røntgensystemer. Røntgensystemer kan fx benyttes til detektion og frasortering af bromholdig plast, som kan stamme fra plast med brommerede flammehæmmere til oprensning af en aluminiumfraktion for kobber, zink m.m. eller fjernelse af højtsmeltende glaskeramik fra glasskår. Røntgensystemer er iflg. Steinert blevet solgt til metalsortering fra shredder anlæg til at frasortere sammenviklet kobber/jern fra motorer, relæer etc. fra udsorteret jern, så kobberkoncentrationen mindskes. Der kan separeres partikler ned til ca. 10 mm (12 mm dyseafstand). Enhederne fås op til over 2 m båndbredde.

Kapaciteter

Kapaciteten er ca. 3 ton metal/time ved ca. 1 m båndbredde.

Udbytte og renhedsgrad

Redwave op giver, at der kan opnås en renhedsgrad på 98 % af glas ved frasortering af urenheder (keramik etc.).

Priser

Systemer baseret på røntgendetektorer er forholdsvis dyre med priser på omkring 350.000 euro for en maskine med 1 m båndbredde.

Fordele

Muliggør separation af forskellige metaller og grundstoffer fra hinanden.

Ulemper

Forholdsvis dyr teknik.

5.1.5.5 Farve og form

Separation efter farve og form kræver linescannere/farvekameraer. Der kan detekteres partikler ned til ca. 3 mm. Ligesom ved NIR er dyseafstanden større (6,5 mm eller mere). Eksempelvis kan aluminumsflager sorteres fra kobberflager eller farvet PET fra klar PET. Systemerne findes også i særlige versioner til glasseparation efter farve og til separation af keramik, sten og porcelæn.

Kapaciteter

Kapacitet er nogenlunde som ved NIR, men afhængig af densitet af partikler, dvs. at der opnås højere kapacitet ved metal end plast:

- 60-250 mm emner: 2-7 t/h*m (ton pr. time gange båndbredde)
- 10-60 mm emner: 0,8-3 t/h*m

Udbytte og renhedsgrad

Udbytte og renhedsgrad varierer som følge af input og anvendt doseringshastighed.

Data fra et forsøg med separation af ca. 50 % hvide plastgranulatpartikler fra 50 % farvede plastpartikler (partikelstørrelse 2-12 mm) i Ref. 11 gav følgende resultat ved fraseparation af farvede partikler:

- 1 trin: Udbytte af hvide partikler 78 % renhed 97,8 %
- 2 trin: Udbytte af hvide partikler 65 % renhed 99,9 %

Man kan muligvis få et lidt højere udbytte ved at dosere lidt langsommere, så partiklerne ligger mindre tæt (monolag).

5.1.5.6 Metaldetektion

JET-systemer kan leveres med metaldetektorer til fjernelse af små urenheder af metaller i en plastblanding, metal fra glas m.m. Detektionsprincippet fungerer ved, at det ledende materiale producerer en induktionsstrøm i sensorelementet, når det passerer.

Kapaciteter

Kapacitet er nogenlunde som opgivet ved NIR- og farveseparation, men afhængig af densitet.

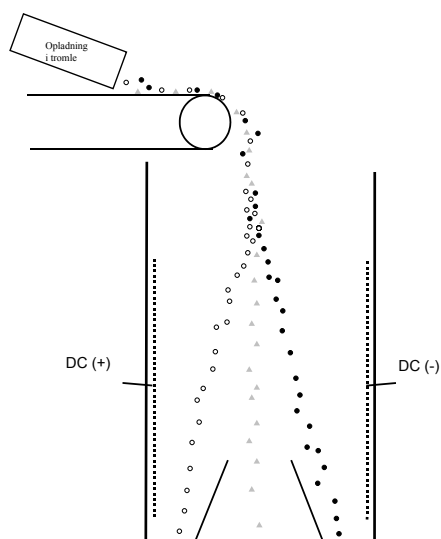
Udbytte og renhedsgrad

Der gælder de samme betragtninger som under separation efter farve. Således vil man ved en lille mængde metalpartikler kunne skyde næsten alle metalpartikler ud, men med risiko for at meddrive nærtliggende materiale, fx plastemner.

5.1.6 Triboelektrisk separation

Triboelektrisk separation baserer sig på opladning af ikke-ledende plastpartikler i en tromle med efterfølgende separation af positive, negative og uladete plastpartikler ved frit fald i en kanal med elektroder, hvor der er påtrykt et spændingsfelt

Systemet er bedst til simple blandinger med partikelstørrelse 2-12 mm, som er tørre. Metoden er upåvirket af farvede partikler og kan således separere sort plast, som ikke lader sig separere med NIR.



FIGUR 15
PRINCIP FOR TRIBOELEKTRISK SEPARATION

Kapaciteter

Kapaciteten er noget mindre end NIR-systemer med ca. 0,5-1 ton pr. time.

Udbytte og renhedsgrad

Udbytte og renhedsgrad vil være afhængig af blanding. Baseret på tidligere erfaringer i Ref. 12 vurderes, at der kræves forholds ens materialer – gerne blandinger af kun 2 polymerer, som også Hamos anbefaler.

Priser

Priser er i størrelsen 150.000 euro for et anlæg til 0,5 ton pr. time.

Fordele

Kan principielt separere sort plast.

Ulemper

Virker forholdsvis dyr, når kapaciteten tages i betragtning.

Leverandører er fx Hamos http://www.hamos.com/cms/front_content.php.

5.1.7 Massefyldeseparation

Massefyldeseparation kan benyttes til separation af en række plastmaterialer, da massefylderne af mange polymerer er forskellige, se tabellen i Bilag 2, afsnit 1.3.

5.1.7.1 Tør massefyldeseparation

Separation af plast/metalblandinger og andet kan foretages med et kastebord/rystebord, hvis partikelstørrelsen gøres næsten ens gennem fremstilling af et granulat, og hvis der er en væsentlig forskel i massefylde. Metoderne er velkendt fra anlæg til oparbejdning af kabelaffald og dæk. Se flere detaljer i Ref. 12.

Kapaciteter

2-4,5 ton/time ved separation af blandinger af plast/kobber (ledninger).

Fordele

Der opnås et tørt produkt.

Ulemper

Metoden kræver ens partikelstørrelse for at opnå en god separation af materialer med lille forskel i densitet. Dette er svært at opnå med et plastgranulat.

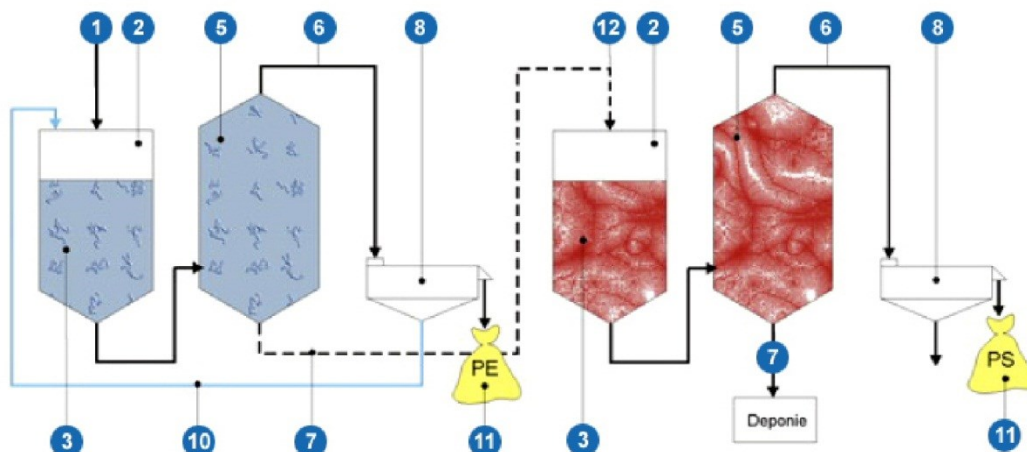
Leverandører er fx Eldan Recycling <http://www.eldan-recycling.com/> og TST Trennso <http://www.trennso-technik.de>.

5.1.7.2 Våd massefyldeseperation

Våd massefyldeseperation er velegnet til separation af plastmaterialer, og da metoden er baseret på synke-/flydeprincippet, er processerne ikke som sådan afhængige af partikelstørrelse.

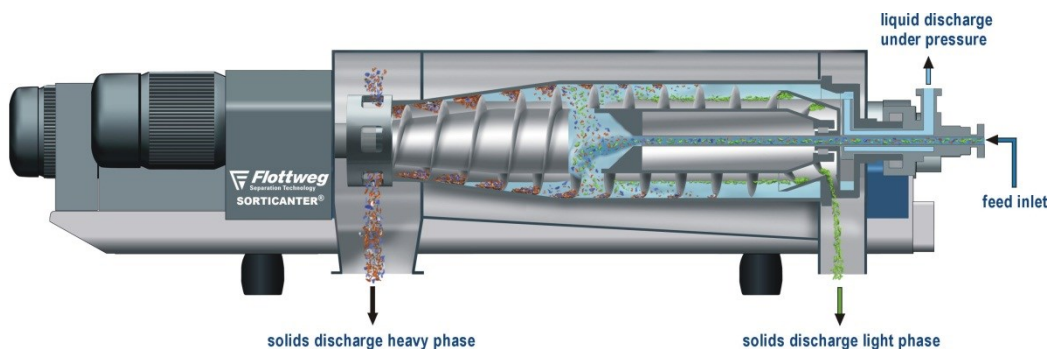
Simpleste variant er en beholder med væske som ved plasttest i Bilag 2, afsnit 1.3 evt. med saltopløsning, men der findes også mere avancerede anlæg med sorteringscentrifuger.

For at kunne separere plast efter synke-/flydeprincippet kræves, at plasten neddeles til granulat. Herved bliver det nemmere at frigøre bobler, som kan bære tungere plasttyper oppe. De mere avancerede anlæg er designet til sikre en god befugtning af plastoverfladen på fx foliegranulat, så bobler rives fri. Eksempler på avancerede anlæg med høj separationseffektivitet er anlæg fra TLT Turbo Laminare Technik, som arbejder med lav G-påvirkning, og Flottweg, som er en centrifuge, der arbejder med over 1000 G. I begge anlæg blandes granulat med en separationsvæske med en justeret densitet, som er mellem de to densiteter, som de plasttyper, der skal separeres, har.



FIGUR 16

TLT-PRINCIP FOR OPARBEJDNING AF 2 FRAKTIONER 1: TILFØRSEL; 2: OPBLANDINGSBEHOLDER; 3: VÆSKE/FLAGEBLANDING; 5: SEPARATIONSBEHOLDER; 6: LET FRAKTION (PE); 7: TUNG FRAKTION; 8: VASK I SIGTE; 11: OUTPUTS; 12: I OPBLANDINGSBEHOLDER NR. 2 KAN DENSITET JUSTERES, SÅ DER I DETTE TILFÆLDE OPNÅS SEPARATION AF PS (VED BRUG AF FX SALTBLANDING).



FIGUR 17

FLOTTWEG SORTICANTER

Kapaciteter

TLT

Typiske kapaciteter af en TLT-separationsenhed er ca. 1 ton/time ved størrelse af folieflager < 20 mm for TLT-anlæg. For granulat er det afhængigt af granulattykkelsen og størrelsen af flager, hvorfor kapaciteten kan variere mellem 0,3 og 4 ton/time.

I Tyskland og Østrig er ifølge TLT (2012) installeret 9 linjer med TLT-teknologi til oparbejdning af blandede folier med en kapacitet på 60.000 t/år. Endvidere benyttes TLT-teknologien ifølge TLT ved de fleste tyske anlæg til oparbejdning af PET, hvor der stilles store krav til renhed ved genanvendelse til fødevare/drikkeemballager.

Flottweg

Kapacitet af Flottweg-anlæg til film er mellem fra 200-440 kg/time ved folier afhængigt af modeltype og fra 800-1600 kg/time ved granulat. Restfugtindhold er < 15 % ved folie og < 3 % ved granulat. Der findes ifølge Flottweg (2012) anlæg til DSD-plast og folier i Tyskland, Japan m.m.

Udbytte og renhedsgrad

TLT opgiver følgende data for separation af blandede polymerer af plastflager med dimension < 20 mm:

- Ved densitetsforskelle >0,032 g/cm³ kan opnås 99,9 % renhed.

Dette gælder også foliegranulat, idet processen er designet til at opnå en høj befugtningsgrad af overfladen.

Flottweg arbejder ved høje G-kræfter på op til 1600 G og kan sortere efter endnu mindre forskelle i densitet.

De 2 typer anlæg kan således separere nogle blandinger af PE- og PP-flager/folier, forudsat at der ikke er større mængder tungt fyldstof i, som øger densiteten af en plasttype.

Fordele

Anlæggene kan separere plast med meget små densitetsforskelle med meget høj separationseffektivitet. Plastgranulatet vaskes i processen, men det kan også være nødvendigt med forvaskeprocesser til fjernelse af genstridige labels m.m.

Ulemper

Ved højt indhold af fyldstoffer vil der kunne ske en fejlseparation, hvilket ikke sker ved brug af en JET/NIR-granulatseparator.

Leverandører er fx TLT Turbo Laminare Technik <http://www.tlt-recycling.de>.

5.2 Anlægsbesøg

5.2.1 Swerec AB

Anlægsadresse:

Swerec AB, Stengårdsvägen 1, Lanna, SE-33010 Bredaryd Sverige

Besøgsdato:

7. maj 2013. Ved besøget blev anlægget præsenteret af Jörgen Sabel og Michael Albertsen.

Behandlet affald

Anlægget behandler plastaffald fra husholdninger og erhverv fra Sverige, Norge og Danmark, hvoraf industriplast udgør ca. 10 %.

Kapacitet og udbytte

Anlægget er et af Europas 5 største og behandler ca. 65.000 ton plastaffald per år med en bemanning på 65 ansatte. Af de tilførte mængder er ca. 17-23 % ikke-plastemner. Af plastmaterialerne, som tilføres anlægget, opnås et udbytte på ca. 80 % til genanvendelse svarende til ca. 65 % af den tilførte mængde affald.

Anlægsopbygning

Anlæggets opbygning er vist på Figur 18.

Plastfraktionerne indsamlet fra husholdninger er emballeret i plastposer (Figur 19)

Plasten modtages i aflæsningshal og tilføres en poseoprøver. Herfra passerer plasten en foliesorterer, der deler plasten i en 2D-fraktion af folier og en 3D-fraktion af plastemballage. En sortertromle frasorterer emner, der er for store til at passere igennem det efterfølgende automatiske sorteringsanlæg (overstørrelsesfraktion). Store emner sorteres manuelt i plast, der kan genanvendes og affald.

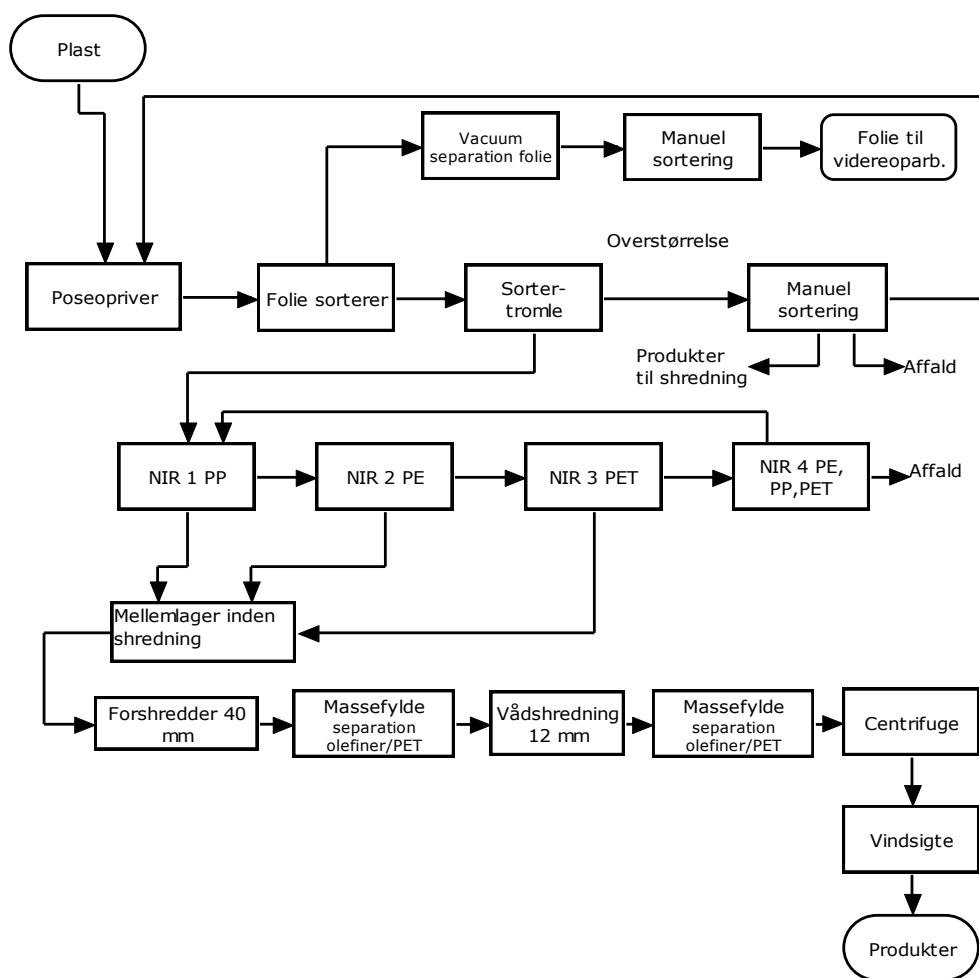
Understørrelsesfraktionen (fraktionen som er mindre end hulstørrelsen i sortertromlen) ledes til en kaskadesortering med NIR-separatorer. NIR 1 anvendes til frasortering af den plast, der udgør den største mængde, eksempelvis PP, da sorterbredden af NIR 1 (og dermed kapaciteten) er den største (ca. 2,5 m). Dernæst følger yderligere to NIR-sorterere (NIR 2 og NIR 3) med mindre båndbredde (ca. 1,5 m), som anvendes til frasortering af PE og PET.

Efter disse enheder er der kun en mindre mængde plast tilbage. Plasten kan enten være af en anden polymertype eller være plastpolymerer (PP, PE eller PET), som NIR-separatorerne ikke har nået at identificere (typisk er udbyttet kun 80-90 % ved passage af en NIR-separator). Her er derfor indsat en NIR-separator til finsortering, som er indstillet til at genkende alle 3 plasttyper PP, PE og PET, som herefter føres retur til gensortering. Da der er tale om en begrænset mængde plast, er det her kun nødvendigt med en NIR-sorterer med ca. 1 m båndbredde (NIR 4).

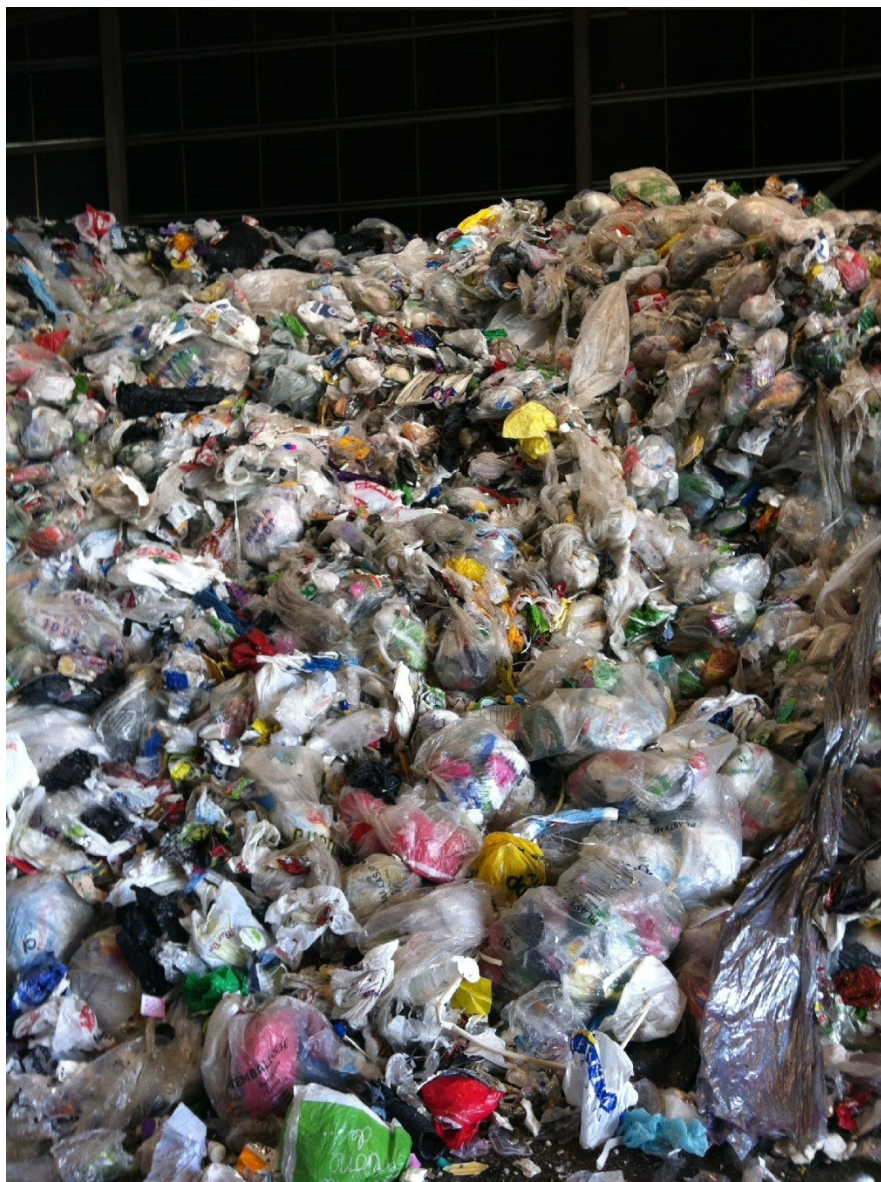
De udsorterede plasttyper ledes til et mellemlager for efterfølgende behandling. Ved behandling shreds plasten først til 40 mm, hvorefter der foretages en massefyldeseparation i vand. Herved kan PET-rester frasorteres fra PE og PP, da PET er tungere og synker til bunds. Anlægget kan dog ikke fjerne rester af fx PE i PP eller omvendt. Der foretages yderligere neddeling til 12 mm og endnu en vådseparation, hvorefter plastgranulatet afvandes i en centrifuge og passerer en vindsigte.

Herefter er plasten parat til afsætning til plastoparbejdere primært i Europa (ca. 90 %). Afsætning sker bl.a. til det danske datterselskab Danrec, som fremstiller et særligt plastpladeprodukt af PE-delen (Dan-Board). PET kan afsættes til en række oparbejdere af PET i Europa, mens PP bl.a. afsættes til en hollandsk plastvirksomhed Fry-Rec BV, der producerer PP-piller som PP-råvare til fremstilling af produkter af genanvendt PP.

Folieoparbejdning omfatter en forholdsvis ny teknologi bestående af en vakuumseparator fra Schulz & Berger. Se nærmere beskrivelse af teknologien i afsnit 5.1.2.5. Foliefraktionen eftersorteres manuelt.



FIGUR 18
ANLÆGSOPBYGNING SWEREC



FIGUR 19
TILFØRT PLASTEMBALLAGE I POSER INDEN TILFØRSEL TIL POSEOPRIVER



FIGUR 20
MANUEL EFTERSORTERING AF PLASTFOLIER

5.2.2 Besøg ved DK Råstof ApS

DK Råstof ApS blev besøgt 29. november 2012 af Teknologisk Institut.

Anlægget modtager primært blandet plastaffald fra genbrugspladser.

Anlægget består af følgende trin:

- **Grovshredder.** Shredderen tilføres plastemner til neddeling til ca. 30 cm stykker.
- **Sortertrømler.** Trømlen frasorterer emner, der er for store til at passere trømlerhullerne. Emnerne håndsorteres og neddeles.
- **Sorteringskabine.** Problematiske emner som fx fugemassesprøjter frasorteres.
- **Magnetseparator.** Separatoren fjerner jernemner af hensyn til beskyttelse af efterfølgende granulatorer.
- **NIR-sorteringsmaskiner.** Anlægget er forsynet med 2 stk. Titech polysort 2000 i 1500 mm bredde NIR-sorteringsmaskinerne placeret i serie.
- **Granulering af produkter.** De udsorterede polymerer ledes via en vindsigte til granulatorer, hvor der produceres 20 mm flakes til videresalg. Granulatet vaskes ved udenlandsk anlæg og neddeles yderligere til 10 mm, før det kan afsættes til endelig genanvendelse.
- Restfraktionen af plast ballepresses og sendes til yderligere oparbejdning i Tyskland.

Typisk sorteres ud i PE, PP eller PVC afhængigt af tilført affald.

Ved den manuelle sortering er der fokus på følgende problemfraktioner:

- Folier måtte ved besøget frasorteres manuelt, men et foliesug var under etablering.
- Pexrør frasorteres manuelt
- Fugemassesprøjter med silikone frasorteres manuelt, da silikonen ødelægger produceret plast, fordi silikone ikke smelter
- Havemøbler med meget fyldstof giver en dårlig produktkvalitet og frasorteres til separat genanvendelse.
- Videobånd ruller sig ud og vikler anlægget ind i meterlang plasttape, som må fjernes efterfølgende.



FIGUR 21 PRODUCERET 20 MM GRANULAT FRA DK RÅSTOF (HØJRE). 10 MM GRANULAT ER VIST TIL VENSTRE.

5.2.3 Closed Loop Recycling

Closed Loop Recycling ligger i Dagenham, London og behandler 55.000 ton plastaffald per år.

Anlægget modtager udsorterede klare plastflasker fra kommuner, private aktører og fra MRF's (material recovery facilities). MRF-anlæggene udsorterer eksempelvis PET- og PE-flasker fra en blandet affaldsstrøm.

Materialerne, som modtages, kan være blandede plastflasker af PET og HDPE eller forsorterede flasker af henholdsvis HDPE eller PET. En væsentlig del af den tilførte HDPE er mælkeflasker fremstillet i klar HDPE.

Modtagekravene for anlægget er blandt andet, at forsorterede flasker af PET eller HDPE skal have en renhed på mindst 95 %.

Produkterne, som anlægget afsætter, er:

- Vasket PET-granulat i fødevarekvalitet som afsættes til produktion af PET i henholdsvis klar og blå kvalitet
- Fødevarekvalitet af HDPE i klar HDPE.

Herudover produceres biprodukter til genanvendelse, fx:

- PET-granulater i forskellige farver i ikke-fødevaregodkendt kvalitet
- Farvet HDPE-granulat.

Anlægget er højt specialiseret og omfatter en række sorteringsenheder med de nyeste teknologier.

Anlæggets elementer er vist på Figur 22.

Forsortering

Blandede plastflasker leveres opballede og åbnes med en balleåbner, hvorefter plastflaskerne passerer en sorteringstromle som fjerner mindre partikler <40 mm inkl. evt. løse skrue-låg. En overbåndsmagnet fjerner jernemner og en eddycurrent separator fjerner aluminiumsemner.

En vindsigte fjerner herefter lette emner som folier fra flaskerne ved brug af en luftstrøm.

NIR-sortering

Herefter sorterer NIR-sorteringsmaskiner blandede polymerflasker i HDPE, PET og en restfraktion. Flasker, som er forsorteret i polymerer, kan herefter tilsættes direkte i efterfølgende oparbejdningstrin.

Farvesortering

PET-flasker sorteres i klar og blå PET samt en restfraktion ved brug af en farvesorteringsmaskine, der separerer med luftdyser.

HDPE-flasker sorteres i klar HDPE og en restfraktion ved brug af en farvesorteringsmaskine.

Der foretages herefter en manuel eftersortering, inden flaskerne tilføres en granulator.

Det sikres her, at der ikke indgår emballage, som har været brugt til rensemidler eller andre produkter, der ikke er fødevarebaserede.

Granulering

HDPE- og PET-fraktionerne ledes til granulatorer, som producerer granulatflager, der efterfølgende oprenses.

Oprensning af granulat

Første trin i oprensningen er passage af en ZIGZAK-separator, der blæser lette materialer som labels og snavs af. Herefter følger en varmvask ved 80 °C i 15 minutter i en svagt basisk opløsning. Herved fjernes labels, ligesom basen vil hjælpe med fjernelse af olieholdige stoffer. Der er tilsat skumdæmpere i vandet.

Efter vaskeprocessen passerer de rensede granulatflager et sink-float-anlæg. Ved sink-float-behandling af PET separeres således flaskelågene, som er fremstillet i lette polyolefiner fra PET-flagerne, der synker til bunds. Omvendt vil sink-float-behandling af HDPE fraseparere rester af PET, som synker til bunds, mens HDPE-produktet kan skimmes af.

Afvanding

Flagerne af klar HDPE og PET skal herefter afvandes med en centrifuge før yderligere oprensningstrin.

Granulatrensning

HDPE-flagerne oprenses for uønskede kulører med en granulatfarveseparator, så der opnås en høj farverenhed (klar).

Dette kan også udføres for PET, ligesom der kan frasepareres uønskede polymerrester med en granulatrenser, der skyder uønskede polymerflager bort.

Oprensning af PET med processen ”URRC Hybrid UNPET™ ”

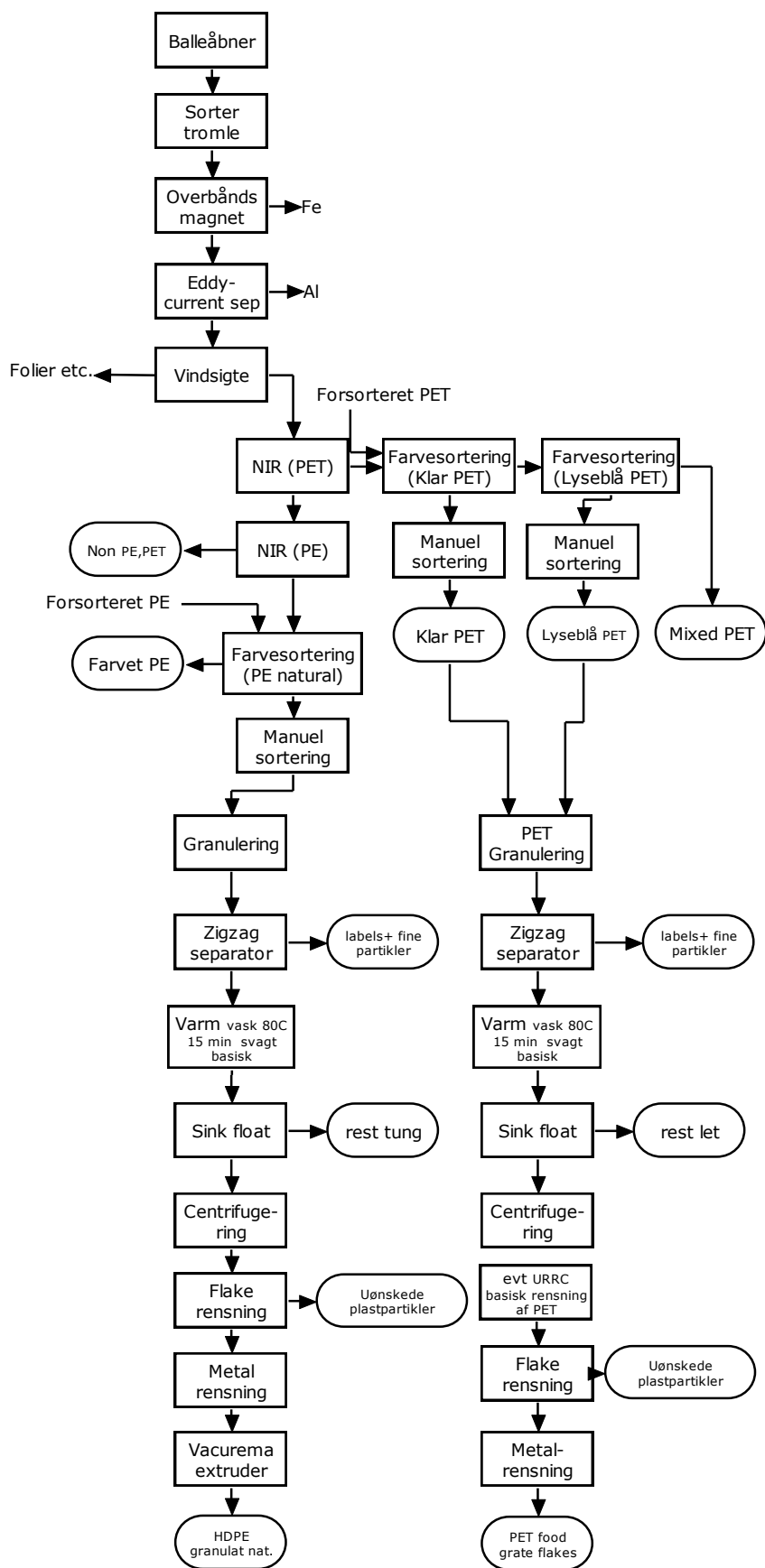
Der er mulighed for at lave højkvalitets fødevaregodkendt PET med URRC-processen, hvor PET reagerer i en tør proces med base ved 200 grader i 3 timer, hvilket fjerner de sidste forureningsrester i PET.

Fjernelse af metal

Metalrester kan fjernes med en metalseparator, der bortskyder enkeltpartikler af metal, ligesom der er monteret en metaldetektor, der med brug af en vippeklap i et rør kan fjerne en portion granulat indeholdende metal.

Ekstrudering af HDPE med Erema Vacurema-processen

Den rensede klar HDPE ekstruderes i en Vacuremaekstruder, der arbejder under vakuum ved ca. 200 °C. Der produceres herved et regranulat af HDPE, som efterfølgende afsættes til produktion af nye mælkeflasker. Der er således etableret et lukket kredsløb (Closed Loop) for mælkeflasker ved brug af virksomhedens oparbejdningsteknologi.



FIGUR 22 CLOSED LOOP ANLÆG DAGENHAM, LONDON

Nedenfor er vist eksempler på tilført plast, produktfraktioner og fødevaregodkendte produkter fremstillet af materialerne fra Closed Loop.



FIGUR 23 TILFØRTE MATERIALER. BLANDET PET/HDPE ØVERST OG FORSORTERET KLAR HDPE NEDERST



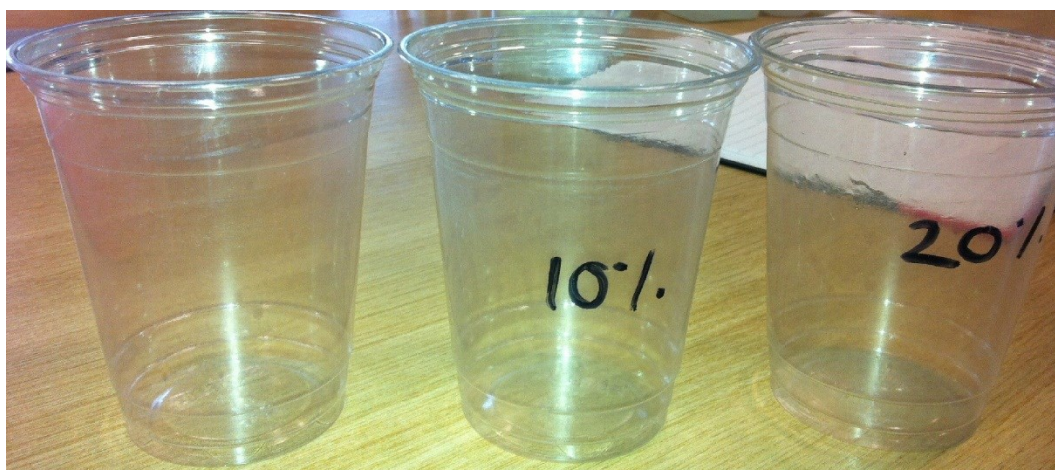
FIGUR 24 PRODUCEREDE FLAGER AF PET



FIGUR 25 PRODUCERET REGRANULAT AF HDPE



FIGUR 26 PRODUKTER AF VIRGIN HDPE OG MED REGRANULAT AF HDPE



FIGUR 27 PRODUKTER AF VIRGIN PET OG MED FORSKELLIGE PROCENTSATSER AF TILSAT PETFLAGER FRA ANLÆGGET

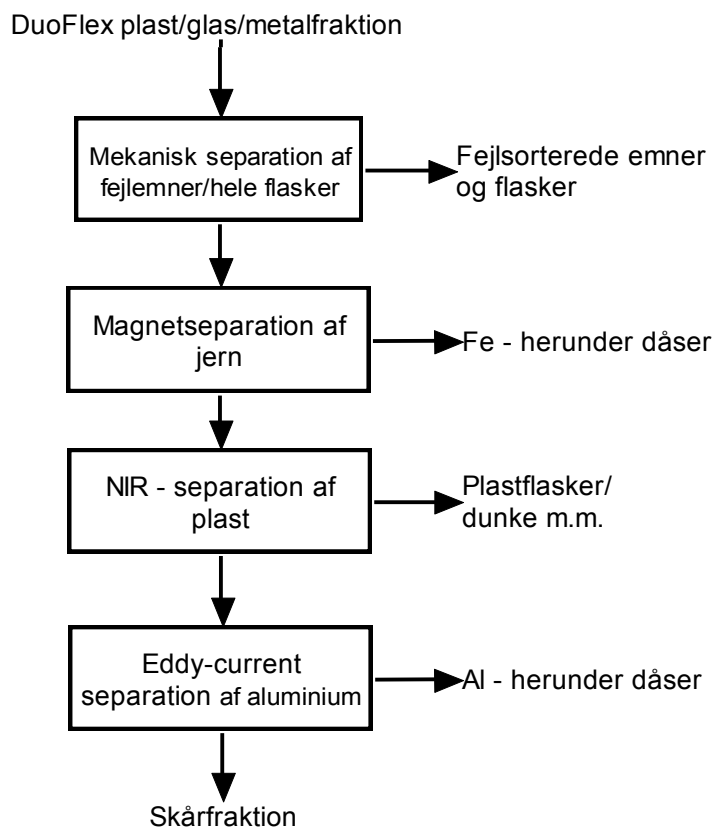
5.3 DuoFlex®-anlægget ved Dansk Affald

Den nuværende behandling af DuoFlex fraktionen af plast, metal og glas er vist på Figur 21

Ved behandlingen indgår følgende behandlingstrin:

- Manuel frasortering af uønskede emner og flasker
Ved frasorteringen fjernes alle materialer, som kan give problemer i de efterfølgende behandlingstrin eller en for ringe kvalitet af slutprodukter
- Frasortering af jern med en overbåndsmagnet
Fraktionen indeholder blandt andet dåser.
- Frasortering af plast ved brug af en NIR separator
I dette trin benyttes en NIR separator programmeret til at detektere PE, PET, PP og PS og udsortere disse på en gang. Disse plasttyper udgør hovedparten af al plast, som findes i emballage, som det fremgår af kapitel 1.
- Frasortering af aluminium med en hvirvelstrømmagnet
I dette trin frasorteres især aluminiumsdåser fx til drikkevarer. Hvis der tilføres anden aluminiumsholdig emballage herunder glas med aluminium eller plast med aluminiumslag, vil denne blive frasorteret her. Ligeledes vil evt. andet ikke-jern baseret metal som fx kobber/messing blive frasorteret.

Den resterende fraktion består hovedsageligt af glasskår og rester af plast, som ikke er detekteret af NIR separatoren. Glasfraktionen oprenses og afsættes.



FIGUR 28
MEKANISK SORTERINGSANLÆG VED DANSK AFFALD - NUVÆRENDE ANLÆG

5.4 Beregningsværktøj

Der er i projektet udarbejdet beregningsværktøjer til at vurdere, hvilken separation som bedst kan betale sig for en given sammensætning af affald og valgt udstyr.

Værktøjet er beregnet på at kunne beregne på de cases, som er udvalgt ved Dansk Affald, men kan anvendes generelt ved indtastning af andre data.

Input til værktøjet er:

- Mængde plastholdigt affald til behandling samt sammensætning fordelt på polymerer
- Angivelse af investering i valgt udstyr, forrentning
- Angivelse af, hvilke trin der sorteres i, fx sortering af PE fulgt af PET og PP
- Angivelse af udbytte og renhedsgrad for hvert sorteringstrin
- Angivelse af driftsomkostninger fx strømforbrug, vandforbrug, udgift til vedligehold, personaleudgifter m.m.
- Indtægter for solgte materialer (polymerer etc.)
- Udgifter til håndtering af affald.

Output er behandlingsomkostninger beregnet for hvert enkelt sorteringstrin og samlet, hvorved det kan vurderes, om der er sorteringstrin, der ikke kan betale sig.

Nedenfor er vist et eksempel med hovedfraktionerne fra sorteringsforsøget af DuoFlex®-plast i fase 1.

Data: fx Steiner Unisort PR 1m båndbredde med vibrationsføder.

Data affald

Anslået affaldsmængde:	750 ton plast fra DuoFlex® eller DuoFlex®-lignende ²⁵ /år
Sammensætning:	43 % HDPE, 21,6 % PET, 7 % PP (PP og PE er beregnet ved at antage, at det blandede PE/PP er 50 % af hver)
Kapacitet ved god kvalitet iflg. Steinert:	1,5 t/h, men formentlig noget højere reelt ved flasker (2,5 t/h)

Driftsdata

Udbytte PE, PP, PET = 85 % (antaget typisk udbytte)

Renhed PE, PET, PP= 90 % (antaget typisk renhed)

Kapitalomkostninger

Investering 139.000 euro inkl. vibrationsføder (baseret på en Steinert Unisort)

Tilbagebetaling 5 år, 5 % rente.

Driftsomkostninger

Bemanning er vurderet til 1 mand pr. fuldt skift samt 0,3 mand til at håndtere affald.

Ved det anvendte set-up kræves ca. 0,5 mand (truckkører etc.).

Præcis estimering af bemanning er vigtigt for driftsøkonomien, da det udgør hovedparten af udgifterne til driftsomkostninger.

Løn:	240.000 kr./mdl.
Strøm	4kWh til anlæg og 45 kWh til trykluft
Vedligehold	2,5 % af investering/år

Indtægter

HDPE:	300 euro/t
PET:	250 euro/t
PP:	150 Euro/t
Restmængde i dette tilfælde til forbrænding:	-60 euro/ton

Modelforudsætninger

- Modellen beregner behandlede mængder til hvert trin ud fra data for indhold i affald, forventede eller målte udbytter og renheder ved hver separation samt anvendt kapacitet i hvert trin
- Modellen fordeler kapitalomkostninger og driftsudgifter på hvert trin proportionalt med behandlet mængde i hvert trin.
- Restmængden kan enten behandles ved forbrænding eller anden behandling, fx yderligere ekstern oparbejdning.

²⁵ Ren og tør emballageplast

Med beregningsværktøjet beregnes følgende:

TABEL 17

BEREGNING AF BEHANDLINGSOMKOSTNINGER VED SORTERING AF PE, PET, PP

Materiale		PE	PET	PP	Affald	Sum
Driftstid	timer/år	500	297	195	162	
Mængde, som behandles med NIR	ton/år	750	445	292	243	
Kapitalomkostninger	EUR/ton	21,6	21,6	21,6	0,0	21,6
Driftsomkostninger	EUR/ton	15,4	15,4	15,4	21,2	18,9
Totale udgifter	EUR/ton	37	37	37	21,2	40,4
Indtægter	EUR/ton	109,7	77,3	22,9	-60,0	73,1
Behandlingsomkostninger	EUR/ton	-72,7	-40,3	14,1	81,2	-32,7
Tilbagebetaling	År	0,85	1,21	4,08		1,28

Behandlingsomkostninger beregnes som Kapitalomkostninger+Driftsomkostninger-Indtægter. Herved bliver andelen af behandlingsomkostninger til oparbejdning af PE og PET negative svarende til et overskud ved disse deloparbejdninger. For PP og forbrænding er behandlingsomkostningerne positive svarende til et underskud (en nettoudgift) ved disse behandlingstrin. Samlet opnås et overskud på 32,7 euro/ton for alle behandlingstrin.

TABEL 18

BEREGNING AF BEHANDLINGSOMKOSTNINGER VED SORTERING AF PE, PET

Materiale		PE	PET	PP	Affald	Sum
Driftstid	timer/år	500,00	297	0,00	195	
Mængde som behandles med NIR	ton/år	750,00	445	0,00	292	
Kapitalomkostninger	EUR /ton	26,9	26,9	0,0	0,0	26,9
Driftsomkostninger	EUR /ton	16,0	16,0	0,0	14,1	19,4
Totale udgifter	EUR /ton	42,8	42,8	0,0	14,1	46,3
Indtægter	EUR /ton	109,7	77,3	0,0	-60,0	82,9
Behandlingsomkostninger	EUR /ton	-66,8	-34,5	0,0	74,1	-36,6
Tilbagebetaling	År	1,06	1,50			1,4

Af Tabel 18 ses, at der på grund af den begrænsede mængde PP ikke er overskud ved sortering af PP i sig selv (behandlingsomkostningen er positiv for PP). Når der sammenlignes med Tabel 18, fås således en bedre behandlingsøkonomi, hvis fraktionen ikke udsorteres (36,6 euro pr. ton i overskud ved forbrænding af PP mod 32,7 euro i overskud ved genanvendelse).

Med værktøjet er foretaget en beregning af, hvor stor en andel PP skal udgøre i plastaffaldet, før udsorteringen kan betale sig. Beregningen viser, at der skal udsorteres mere end 11,5 %, før der opnås et overskud med den forudsatte mængde tilført plast på 750 ton/år. I dette tilfælde er det forudsat, at restmængden går til forbrænding. Hvis man i stedet samler restplasten og sender den til ekstern oparbejdning, kan der godt vise sig at være en fornuftig driftsøkonomi ved lavere indhold af PP i den oprindelige plast end 11,5 %. Ligeledes vil en større indsamlet plastmængde forbedre

driftsøkonomien, da separatoren da kan udnyttes i højere grad. Beregningen med beregningsværktøjet viser et samlet overskud på 36,6 euro/ton ved udsortering af PE og PET, som må sammenlignes med afsætning af den nuværende plastfraktion til ekstern oparbejdning.

5.5 Opstilling af behandlingskoncepter

Der er opstillet behandlingskoncepter for affald ved Dansk Affald for følgende fraktioner:

- Ren og tør emballageplast (DuoFlex®-system eller lignende sammensætning, samt plastflasker og -dunke indsamlet via genbrugspladser)
- Blandet plastfraktion fra genbrugspladser

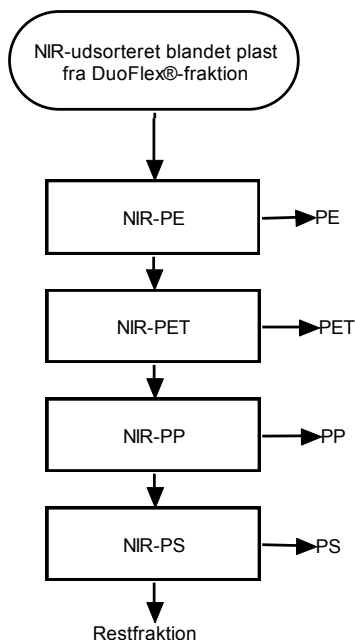
Baseret på affaldsanalyser foreslås følgende behandlingskoncept til behandling af DuoFlex®-affald.

5.5.1 Nyt koncept for behandling af ren og tør emballageplast hos Dansk Affald

Det nuværende anlæg (se afsnit 5.3) suppleres med en NIR-plastsorteringsenhed, som sorterer plasten sekventielt efter polymertype ud fra oplagret materiale, se Figur 22. Det betyder, at man først indstiller NIR-separatoren til at udsortere en enkelt plasttype; herefter tilbageføres den resterende plastmængde, og en plasttype udsorteres. Proceduren gentages, indtil de ønskede plasttyper er udsorteret. P.t. frasorteres kun en samlet plastmængde, som oparbejdes eksternt.

Målet med det nye koncept er at sortere denne plastmængde lokalt på en separat sorteringsenhed. Denne enhed skal samtidig kunne køre plast, som ikke er en del af DuoFlex®-systemet ²⁴ for at udnytte kapaciteten så godt som muligt.

Der er i Kapitel 2 identificeret to væsentlige plastpolymerer fra DuoFlex® i form af HDPE (forventet 40 %) og PET (forventet 20 %), men der vil være ledig kapacitet til udsortering af andet, hvis mængderne er store nok (fx PP eller PS).



FIGUR 29
PLASTSORTERING REN OG TØR EMBALLAGEPLAST MED SEKVENTIEL UDSORTERING AF PLAST EFTER POLYMERTYPER

5.5.2 Blandet plast fra genbrugspladser m.m.

P.t. modtages blandet plast fra genbrugspladser af Dansk Affald. Fraktionen opballes og afsættes til ekstern oparbejdning.

Fraktionen indeholder typisk

- spande, kurve, kasser (fx vasketøjskurve), stablekasser
- øl og vandkasser, fiskekasser, plastpaller
- større beholdere
- folier.

Desuden kan der forekomme en lang række problematiske emner som fugemassesprøjter med fyld af fx silikone, beholdere med opløsningsmidler, elektronikaffald og sammensatte produkter, som fx rulleskøjter.

En yderligere oparbejdning af fraktionen hos Dansk Affald vil kræve en separation i polymertyper ved hjælp af NIR-separatoren.

De fleste emner i den blandede plastfraktion er for store til at kunne tilledes NIR-separatoren (>30 cm).

En metode til behandling af blandet plast fra kan bestå af følgende trin:

- en neddeling til 30 cm stykker
- frasortering af uønskede emner
- sortering i den eksisterende NIR-separator.

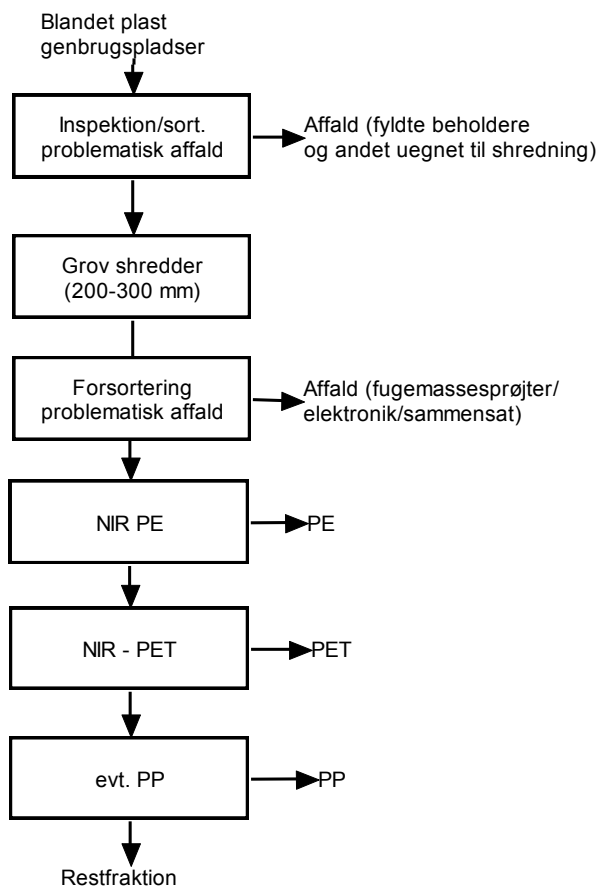
Af Figur 23 fremgår behandlingskonceptet.

Ved neddeling risikeres dog en forurening af plastfraktionen med væskerester, men ved en visuel kontrol inden neddeling vil man sandsynligvis kunne fange nogle af disse emner.

Baseret på data i sorteringsforsøget af plastflasker og dunke fra en genbrugsplads (Kapitel 2) blev hovedparten af plasten bestemt til at bestå af følgende polymertyper:

- 59,8 %HDPE
- 32,1 % PET
- 6,5 % PP
- 0,2 % PS.

Der var endvidere 0,4 % affald med evt. rester af farligt affald og 1 % fejlsorteringer. Således vil HDPE og PET ligesom for plast fra DuoFlex®-systemet være de primære fraktioner, som bør udsorteres, fulgt af PP. Herved kan man principielt udnytte over 98 % af de undersøgte 489 kg plast.



FIGUR 30
BEHANDLING AF BLANDET PLAST FRA GENBRUGSPLODSEK

Der er udført forsøg med behandlingskonceptet i kapitel 6, herunder test af shreddning og separation med NIR.

5.5.3 Sammenfatning og konklusion for teknologier til separation

Der er foretaget en vidensindsamling af teknologier til forbehandling, separation og oparbejdning af plastmaterialer. For teknologierne er fremskaffet data vedr. kapacitet, forventet udbytte og renhed af separerede plastmaterialer samt evt. anskaffelsespris, ligesom fordele og ulemper er beskrevet.

Der er foretaget anlægsbesøg i ind- og udland, hvor en del af teknologierne anvendes.

Anlægget til behandling af DuoFlex®-fraktionen af plast, metal og glas ved Dansk Affald er gennemgået med henblik på udvikling af nye behandlingskoncepter til forbedret sortering af plastfraktionen.

Ved opstilling af mulige behandlingskoncepter er der foretaget beregninger i et i projektet udviklet beregningsværktøj til at vurdere, hvilke separationstrin som bedst kan betale sig for en given sammensætning af plastaffald, tilførte plastrængder og valgt udstyr.

På Dansk Affalds sorteringsanlæg er kapaciteten af en NIR-separator større end den tilførte plastrængde, hvorfor behandlingskoncepter til en bedre udnyttelse af kapaciteten er blevet vurderet. En bedre udnyttelse kan fx ske ved, at en NIR-separator benyttes til separation af anden plast end DuoFlex®-fraktionen eller til at udsortere de polymerer, der udgør den største økonomiske værdi af plastrn i DuoFlex®-fraktionen.

Der er således foretaget en beregning på et koncept, hvor en ekstra NIR-separator benyttes til udsortering af plast i enkeltpolymerer ved at foretage en kaskadeseparation. Ved denne separation tilføres plasten fra et mellemlager, så en polymertype udsorteres, hvorefter restplasten sendes retur til udsortering af en ny polymertype osv., indtil de mest værdifulde polymerer er frasepareret.

Beregningsværktøjet viser, at polymererne PET og HDPE er de polymerer, det bedst kan betale sig at frasortere med de nuværende modtagne mængder.

Behandlingskoncepterne undersøges nærmere i kapitel 6.

6. Test af nye behandlingskoncepter til separation af materialer hos Dansk Affald

Til belysning af de i afsnit 5.5 opstillede behandlingskoncepter er der gennemført en række sorteringsforsøg og testkørsler på sorteringsanlægget hos Dansk Affald.

Formålet med sorteringsforsøgene og testkørslerne har været at producere data til brug for vurdering af de opstillede behandlingskoncepter.

Ved sorteringsforsøgene er en række parametre vurderet:

- Udbytte og renhed af materialer til genanvendelse
- Mulige problemer ved drift
- Arbejdsmiljømæssige fordele/ulempes.

I det følgende er sorteringsforsøg og testkørsler på sorteringsanlægget hos Dansk Affald beskrevet.

6.1 Principskitse for eksisterende sorteringsanlæg hos Dansk Affald

Af Figur 28 fremgår principperne for det eksisterende mekaniske sorteringsanlæg til emballage af plast/glas/metal hos Dansk Affald.

NIR-separatoren anvendes – som anlægget fungerer i dag - ikke til udsortering i plasttyper, men alene til frasortering af plast fra glas og metal.

6.2 Fokusområder for behandlingskoncepter

Fokusområder for sorteringsforsøg og testkørsler har været følgende:

- Et behandlingskoncept, hvor NIR-separatoren anvendes til udsortering i plasttyper
- Et behandlingskoncept, hvor neddeling af større plastemner har fundet sted inden sortering af plasten i diverse plastfraktioner, samtidig med at NIR-separatoren anvendes til udsortering i plasttyper.

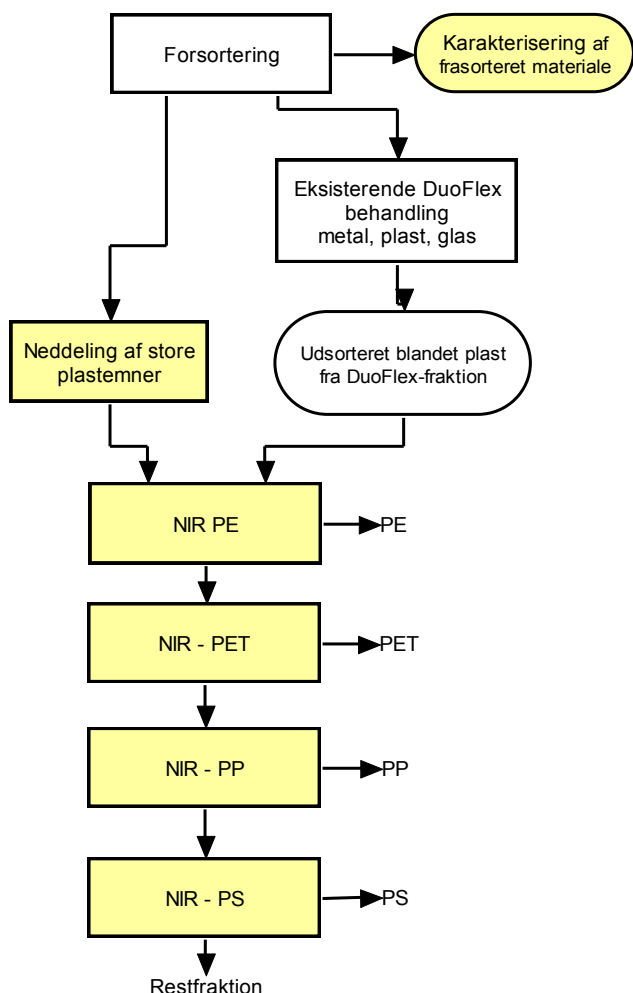
Der er således fokuseret på sortering i plasttyper med og uden forudgående neddeling af større plastemner - se FIGUR 25.

Derudover er der fokuseret på forsorteringen, dvs. frasortering af emner, inden fraktionen kører gennem anlægget med henblik på at karakterisere typen af fejlemner og emner, der med den eksisterende opbygning af anlægget ikke kan sorteres/behandles. Ud fra karakteriseringen diskuteres mulige metoder til automatisk frasortering af fejlemner m.m. - se FIGUR 25.

6.3 Sorteringsforsøg og testkørsler

Der er gennemført fem sorteringsforsøg og testkørsler samt fire forsøg med neddeling. Forsøgene og testkørslerne er gennemført henholdsvis oktober 2012 og juni 2013.

Af FIGUR 25 fremgår principperne for de gennemførte testkørsler på sorteringsanlægget hos Dansk Affald. Som det fremgår af figuren, er anlægget testet med brug af NIR-separatoren til opdeling i fire plastfraktioner (PE, PET, PP og PS). Endvidere er anlægget testet med anvendelse af neddelt plast (store plastemner).



FIGUR 32
FOKUSOMRÅDER FOR SORTERINGSFORSØG OG TESTKØRSLER

På figuren er med gult angivet områder, hvor der er gennemført forsøg, testkørsler og karakterisering af fraseret materiale:

- For karakterisering af fraseret materiale - se afsnit 6.10
- 4 neddelinger af store plastemner - se afsnit 6.4
- 2 forsøg med NIR-separation i kaskade af DuoFlex®-fraktion (ikke neddelt) - se afsnit 6.8 og 6.9
- 1 forsøg med NIR-separation i kaskade af DuoFlex®-fraktion (neddelt) - se afsnit 6.13
- 1 forsøg med NIR-separation af neddelte store plastemner af PE og PET - se afsnit 6.12
- 1 forsøg med NIR-separation af neddelte store plastemner fra genbrugspladser - se afsnit 6.14.

6.3.1 Manuelt fraseret affald

Ved forsortering, inden materialet indføres i anlægget, fraseres som ovenfor nævnt en række emner. Emnerne omfatter:

- Store emner – emner, der er for store til at passere gennem sorteringsanlægget
- Hele flasker
- Uønskede emner, som fx:
 - organisk affald
 - beholdere indeholdende fedtholdige materialer som mayonnaise, olierester etc.
 - elektriske og elektroniske produkter
 - diverse sammensatte produkter.

6.3.2 Optimering af sorteringsanlæg

I forbindelse med sorteringsforsøg og testkørsel af DuoFlex®-fraktionen (indeholdende plastflasker og -dunke, glas og husholdningsglas samt metaldåser) gennemført i oktober 2012 blev det konstateret, at NIR-separatoren ikke fungerede optimalt. Der blev derfor foretaget en gennemgang af anlægget. Denne gennemgang ledte til en efterfølgende renovering og forbedring af NIR-separatoren, hvorefter der blev gennemført et nyt sorteringsforsøg og testkørsel med DuoFlex®-fraktionen i juni 2013.

6.3.3 Behandling af store emner

Plastbeholdere større end ca. 5 l frasorteres p.t. til genanvendelse manuelt fra DuoFlex®-fraktionen, da de ikke kan passere NIR-separatoren. Dette gælder ligeledes, hvis der skal behandles større plastemner fra andre indsamlinger, fx ved en blandet plastfraktion indsamlet via genbrugspladser.

6.4 Forsøg med neddeling af store plastemner

Der blev gennemført et forsøg med neddeling af de fire ovennævnte fraktioner. Neddelingen fandt sted ved Eldan Recycling i Fåborg.

Til brug for test af mulighederne for neddeling blev følgende plastfraktioner manuelt frasorteret hos Dansk Affald:

- store PE-beholdere
- PET-beholdere
- blandet plast udsorteret fra DuoFlex®-fraktionen
- større emner fra en fraktion af blandet plast indsamlet via genbrugspladser, eksempelvis vasketøjskurve, babybadekar etc.

Neddelingen blev foretaget med en 250 kW Superchopper. Maskinen er designet således, at den kan tåle metalbolte mv. Hvis maskinen blokerer på grund af indføring af meget kraftigt materiale, reverserer den fem gange og forsøger at neddele igen, før den stopper. Maskinen er i stand til at neddele fx lastbildæk.

Det er vigtigt, at der ved neddelingen bliver produceret emner, som er skåret skarpt over, så der ikke er løse flager, der kan vikle sig ind i plast af anden type og dermed medføre fejlsorteringer ved den efterfølgende sortering med NIR-separator.

De neddelte plastemner må heller ikke være for små, da grænsen for genkendelse på det eksisterende udstyr er 4-5 cm. Endvidere skal neddelingsudstyret være kraftigt nok til at kunne håndtere alle typer forekommende emner.

På de følgende figurer vises fotos af tilført materiale, materiale under neddeling og neddelt materiale for gennemførte tests af følgende fire fraktioner (også nævnt ovenfor):

- store PE-beholdere
- PET-beholdere
- blandet plast udsorteret fra DuoFlex®-fraktionen
- større emner fra en fraktion af blandet plast indsamlet via genbrugspladser

Ved neddelingen blev der opnået en god overskæring med skarpe snit af emner.

Neddelingsudstyret kan klare emner med langt større godstykkelser end de behandlede og var derfor ikke synderligt belastet på noget tidspunkt i løbet af forsøget.



FIGUR 33
STORE PE-BEHOLDERE



FIGUR 34
STORE PE-BEHOLDERE UNDER NEDDELING



FIGUR 35
NEDDELTE PE-BEHOLDERE

Af FIGUR 28 fremgår, at PE-emballagen blev skåret over med skarpe snitflader.



FIGUR 36
NEDDELING AF PET



FIGUR 37
NEDDELING AF PLAST FRA DUOFLEX®-FRAKTION



FIGUR 38
BLANDET PLAST FRA GENBRUGSPADS



FIGUR 39
NEDDELING AF PLAST FRA GENBRUGSPLADS



FIGUR 40
NEDDELT PLAST FRA GENBRUGSPLADS

6.5 Gennemførelse af sorteringsforsøg med plast fra DuoFlex®-fraktionen

Forsøgene med plasten fra DuoFlex®-fraktionen blev gennemført ved at udsortere plast fra DuoFlex®-fraktionen (indeholdende plastflasker og -dunke, glasflasker og husholdningsglas samt metaldåser) ved en positiv genkendelse af polymertyperne PE, PET, PP og PS. Herefter blev den udsorterede plast indført i sorteringsanlægget igen, og der blev sorteret efter polymerer i fire sekventielle trin med genindføding efter hver sortering.

6.5.1 Separation af plasten fra DuoFlex®-fraktionen

- Den tilførte DuoFlex®-fraktion (plast/glas/metal) blev vejlet
- Ved testen udsorteredes plast med NIR-separatoren som en positiv udsortering af alt identificeret PE, PP, PET og PS
- Fraførte fraktioner blev vejlet
- Indholdet af plasttyper i fraførte fraktioner, som indeholdt plast, blev bestemt ved manuel sortering.

6.5.2 Udseparering efter polymertype

- Den udsorterede plastblanding af PE, PP, PET og PS samt andre plasttyper blev tilført NIR-separatoren, og der blev herefter udsorteret en polymer ad gangen sekventielt i rækkefølgen PE, PET, PP og PS ad fire omgange
- Alle fraktioner blev vejlet, og alle outputfraktioner blev sorteret manuelt for eventuelle fejlsorteringer.

6.6 Sorteringsmetode for plast fra DuoFlex®-fraktionen

NIR-separatoren hos Dansk Affald kan indstilles til at udsortere PE, PP, PET og PS eller kombinationer af disse.

Ved den manuelle kontrolsortering af de producerede plastfraktioner (PE, PET, PP og PS) blev plasten først opdelt efter polymertype ud fra mærkning på emballagen. Den plast, som ikke var mærket, blev opdelt i en PE/PP-fraktion og en PS-fraktion ud fra massefylde-separationsmetoden beskrevet i Bilag 2.

Resultater for udbytte og renhed af de maskinelt udsorterede plasttyper er opgivet som "mærket" og "estimeret". Resultater vedr. "mærket" er kun opgjort ud fra genkendelse af mærkning på emnerne. Resultater angivet under "estimeret" er beregnet på følgende måde. Mængderne af PE og PP i den blandede PE/PP-fraktion er fordelt med samme forhold, som det forhold PE og PP indgik med under mærket plast. Således antages, at umærket PE/PP-plast fordeler sig på samme vis som mærket PE/PP.

For uidentificeret plast af PS/ABS/SAN er det antaget, at PS udgør 50 % af mængden, da der blev fundet nogle emner, som kunne være af anden plast end PS. PS udgør samlet set en meget lille del af emballagen, ca. 2 %, hvorfor det har meget lille indflydelse på det samlede udbytte.

6.7 Resultater af testkørsel gennemført oktober 2012

Testkørslen blev gennemført med DuoFlex®-fraktion indsamlet i Tønder Kommune. Den indsamlede mængde var indsamlet hos 724 husstande og opsamlet over fire uger. Mængden udgjorde i alt 2.280 kg.

Ved testkørslen gennemgik den indsamlede DuoFlex®-fraktion i første omgang den normale behandling på sorteringsanlægget, dvs. manuel frasortering af store emner, hele glasflasker og affald ved forsorteringen. Herefter blev jern frasorteret via overbåndsmagnet, og plast (ikke opdelt

på plasttyper/polymerer) blev frasorteret via NIR-separatoren. Endelig blev aluminium frasorteret med hvirvelstrømseparation. Herefter var alene glasskårfraktionen tilbage.

Efter gennemløbet i sorteringsanlægget blev de enkelte maskinelt udsorterede fraktioner manuelt sorteret med henblik på registrering af omfanget og arten af fejlsorterede plastemner ved den maskinelle behandling. Sorteringen i plasttyper foregik som angivet i afsnit 6.7. Af TABEL 19 fremgår mængden fra de 724 husstande fordelt på fraktioner efter behandling på sorteringsanlægget hos Dansk Affald.

TABEL 19
DUOFLEX®-FRAKTIONEN UDSORTERET PÅ DELFRAKTIONER

	Mængde Kg	Vægt-%
Flasker	770	33,8
Skår	900	39,5
Plast (primært flasker og dunke)	160	7,0
Jern (primært konserves- og sodavandsdåser)	180	7,9
Aluminium (primært øl- og sodavandsdåser)	90	3,9
Affald	180	7,9
Total	2280	100

6.7.1 Store plastemner

Ved tilførslen af DuoFlex®-fraktionen til anlægget var der en del plastemner (beholdere på over 5 liter), som blev manuelt frasorteret, da de ikke kan passere NIR-separatoren. Som anlægget fungerer i dag hos Dansk Affald, sendes disse plastbeholdere efterfølgende til genanvendelse sammen med den øvrige plast fra DuoFlex®-fraktionen.

Mængden af store plastemner fordelt på polymerer fremgår af TABEL 20.

TABEL 20
STORE PLASTEMNER MANUELT FRASORTERET VED FORSORTEREN

	Mærket Kg	Mærket Vægt-%
Plast total	5,8	100
PE	3,8	65,5
PET	0,2	3,5
PP	1,8	31,0

6.7.2 Plast i skårfraktion

Som ovenfor nævnt blev de enkelte fraktioner efterfølgende kontrolleret for fejlsorteringer bestående af plastemner.

Af TABEL 21 fremgår mængden og sammensætningen af plast registreret i skårfraktionen.

Mængderne er opgivet på to måder dels ud fra angivet mærkning på emnerne, dels ved at medtage andelen af ikke-identificeret plast – se metodebeskrivelse i afsnit 6.7.

TABEL 21
PLAST I SKÅRFRAKTIONEN

	Mærket Kg	Mærket Vægt-%	Estimeret Kg	Estimeret Vægt-%
Plast total	11,4	100	11,4	100
PE	2,2	19,4	2,4	20,8
PET	4,2	36,8	4,2	36,8
PP	0,8	7,0	0,8	7,4
PS	0,2	1,84	1,5	13,2
Anden plast			2,5	21,9
Ikke-identificeret ²⁶	4,0	35		

Det blev visuelt vurderet, at indholdet af plast i jern- og aluminiumfraktioner var negligeabelt, hvorfor plastindholdet i disse fraktioner ikke blev bestemt.

6.7.3 Sortering af PE, PET, PP og PS

Efter at NIR-separatoren var indstillet til at frasortere PE, blev den samlede plastfraktion (ca. 160 kg – se TABEL 19) kørt igennem NIR-separatoren igen.

Den af NIR-separatoren udsorterede PE-fraktion blev efterfølgende sorteret manuelt. Af TABEL 22 fremgår renheden af PE-fraktionen. Det ses, at den estimerede renhed af PE fraktionen udgør 76,9 %.

TABEL 22
UDSORTERET PE

	Mærket Kg	Mærket Vægt-%	Estimeret Kg	Estimeret Vægt-%
Fraktion total	85,2	100	85,2	100
PE	60,4	70,9	65,5	76,9
PET	11,8	13,9	11,8	13,9
PP	3	3,5	3,3	3,8
PS	0,4	0,5	0,6	0,70
Anden plast			1	1,2

²⁶ Plast uden mærkning

	Mærket Kg	Mærket Vægt-%	Estimeret Kg	Estimeret Vægt-%
Affald	3	3,5	3	3,5
Ikke-identificeret	6,6	7,8		

Herefter blev NIR-separatoren indstillet til at frasortere PET, og den del af den samlede plastfraktion, der ikke var frasorteret som PE, blev kørt igennem NIR-separatoren igen.

TABEL 23
UDSORTERET PET

	Mærket Kg	Mærket Vægt-%	Estimeret Kg	Estimeret Vægt-%
Fraktion total	41,3	100	41,3	100
PE	0,2	0,5	0,3	0,75
PET	38,6	93,5	38,6	93,46
PP	0,4	1,0	0,5	1,21
PS	0,4	1,0	0,4	0,99
Anden plast	0,1	0,2	0,5	1,16
Affald	1	2,4	1	2,42
Ikke-identificeret	0,6	1,5		

NIR-separatoren blev herefter indstillet til at frasortere PP, og den del af den samlede plastfraktion, der ikke var frasorteret som PE eller PET, blev kørt igennem NIR-separatoren igen.

TABEL 24
UDSORTERET PP

PP	Mærket Kg	Mærket Vægt-%	Estimeret Kg	Estimeret Vægt-%
Fraktion total	23,2	100	23,2	100
PE	0,4	1,7	0,6	2,4
PET	0,07	0,3	0,07	0,3
PP	14,6	63,0	19,6	84,7
PS	0,25	1,1	0,25	1,1
Anden plast²⁷			0,27	1,2

²⁷ Fraktionen indeholdt 0,02 kg PVC

Affald	2,4	10,4	2,4	10,4
Ikke-identificeret	5,4	23,3		

NIR-separatoren blev herefter indstillet til at frasortere PS, og den del af den samlede plastfraktion, der ikke var frasorteret som PE, PET eller PP, blev kørt igennem NIR-separatoren igen.

TABEL 25
UDSORTERET PS TRIN 2

	Mærket Kg	Mærket Vægt-%	Estimeret Kg	Estimeret Vægt-%
Fraktion total	3,29	100	3,29	100
PE	0,02	0,6	0,03	0,9
PET	0,05	1,5	0,05	1,5
PP	0,04	1,2	0,05	1,5
PS	1	30,4	1,5	45,6
Anden plast			0,46	14,0
Affald	1,2	36,5	1,2	36,5
Ikke-identificeret	1	30,4		

Sammensætningen af restfraktionen fremgår af TABEL 26.

TABEL 26
RESTFRAKTION

	Mærket kK	Mærket Vægt-%	Estimeret Kg	Estimeret Vægt-%
Fraktion total	24,1	100	24,1	100
PE	2,8	11,6	3,3	13,9
PET	2,45	10,2	2,5	10,2
PP	0,4	1,7	0,46	1,9
PS	0	0,00	0,025	0,1
Anden plast			0,625	2,6
Affald (en del glasskår)	17,2	71,5	17,2	71,4
Ikke-identificeret	1,25	5,2		

Af TABEL 26 fremgår det, at der var en del affald bestående af glasskår, som passerede rundt i anlægget ved de fire sorteringer. Anlægget var kørt tomt inden testkørslen, men ikke fuldstændig

rengjort, og glasskårene stammede således fra en tidligere sortering af DuoFlex®-fraktion og har været ophobet i anlægget.

6.7.4 Udbytte og renhed af de NIR-separerede plastfraktioner

I TABEL 27 er vist udbytte og renhed for hver polymertype inkl. den plast, der blev manuelt frasorteret ved forsorteringen. Mængderne i TABEL 27 er baseret på genkendelse via mærkning på plastemnerne, mens mængder i TABEL 28 viser udbytte og renhed efter estimering af PE, PP og PS i den ikke-identificerede plast.

Udbytte og renhed beregnes på følgende måde:

- Udbytte inkl. manuelt frasorterede store emner i % = $(\text{Indhold af polymer i udvundet fraktion} + \text{indhold af polymer i frasorterede store emner}) / (\text{indhold af polymer i alt tilført}) * 100$
- Renhed inkl. manuelt frasorterede store emner i % = $(\text{Indhold af polymer i udvundet fraktion} + \text{indhold af polymer i frasorterede store emner}) / (\text{vægt af udsorteret fraktion} + \text{indhold af polymer i frasorterede store emner}) * 100$

Et eksempel på beregning af udbytte og renhed er vist for PE inkl. frasorterede emner, baseret på mærkede plastemner:

- Udbytte = $100 * (60,4 + 3,8) / 69,9 * 100 = 91,9 \%$
- Renhed = $100 * (60,4 + 3,8) / (85,2 + 3,8) = 72,1 \%$

TABEL 27

UDBYTTE OG RENHED FOR DE ENKELTE POLYMERTYPER INKL. MANUELT FRASORTEREDE STORE EMNER
BEREGNET SOM MÆRKET PLAST

	PE	PET	PP	PS
Sum i kg	69,9	57,4	21,0	2,3
Udsorteret inkl. store emner i kg	64,2	38,8	16,4	1,0
Udbytte i vægt-%	91,7	67,6	77,9	44,2
Renhed i vægt-%	72,1	93,5	65,6	30,4

TABEL 28

UDBYTTE OG RENHED INKL. MANUELT FRASORTEREDE STORE EMNER MED ESTIMERET FORDELING AF IKKE MÆRKET PLAST.

	PE	PET	PP	PS	Andet plast	Affald	Total
Sum i kg	75,9	57,4	26,6	4,3	5,3	24,8	194,3
Indhold af polymer %	44,8	33,8	15,7	2,5	3,1		100
Udsorteret inkl. store emner i kg	69,3	38,8	21,4	1,5	0,0		131,1
Udbytte i vægt-%	91,3	67,9	80,7	34,9	0,0		
Renhed i vægt-%	77,9	93,5	85,8	45,6	0,0		

Som det fremgår af TABEL 28, varierer udbytte og renhed. For PE, PET og PP opnås inkl. det manuelt frasorterede plast udbytter mellem 68-91 % og renheder mellem 78 og 94 %, mens både

udbytte og renhed for PS er væsentligt lavere. Dette kan skyldes, at der er tale om en meget lille mængde med stor usikkerhed i bestemmelsen.

Hvis man ser bort fra affald, der hovedsageligt var skår fra tidligere sortering af DuoFlex®-fraktion, er der tilført 169,5 kg plast og udvundet 131,1 kg svarende til en samlet sorteringseffektivitet på 77,3 % efter sortering på anlægget.

Det skal som tidligere nævnt bemærkes, at NIR-separatoren ikke fungerede optimalt i nærværende forsøg.

I TABEL 28 er vist sammensætningen af polymertyper i det tilførte affald baseret på et samlet plastindhold på 169,5 kg.

NIR-separation har ikke indflydelse på totalsammensætning af DuoFlex®-fraktionen (TABEL 19) og store plastemner (TABEL 20).

Data for indhold af plast i skårfraktion (11,4 kg - TABEL 21) forventes at udgøre et lidt større indhold end ved en optimal NIR- separation.

6.8 Resultater af testkørsel gennemført i juni 2013

Testkørslen blev gennemført den 18. juni 2013 med DuoFlex®-fraktion indsamlet i Vejen Kommune.

Den samlede plastfraktion udgjorde 2.440 kg.

Ved denne testkørsel blev mængden frasorteret manuelt ved forsorteringen opdelt i en række delfraktioner. Mængden udgjorde i alt ca. 270 kg.

6.8.1 Store plastemner

Ved forsorteringen blev frasorteret store plastemner, som ikke kan passere NIR-separatoren. Store emner fordelt på plasttyper fremgår af TABEL 29.

TABEL 29
STORE PLASTEMNER MANUELT FRASORTERET VED FORSORTEREN

	Kg	Vægt-%
Plast total	12,3	100
PE	8,4	68,2
PET	0,17	1,4
PP	3,1	24,8
PS	0,7	5,7

Som ved testkørslen gennemført i oktober 2012 gennemgik den indsamlede DuoFlex®-fraktion også ved nærværende testkørsel i første omgang den normale behandling på sorteringsanlægget; dvs. frasortering af store emner, flasker og affald ved forsorteringen, herefter frasortering af jern via overbåndsmagnet, plast (ikke opdelt på plasttyper) frasorteret via NIR-separatoren og endelig frasortering af aluminium via hvirvelstrømsseparation. Herefter var alene skårfraktionen tilbage.

6.8.2 Sortering af PE, PET, PP og PS

Efter at NIR-separatoren var indstillet til at frasortere PE, blev den samlede plastfraktion kørt igennem NIR-separatoren igen, se FIGUR 34.



FIGUR 41

TILFØRSEL AF BLANDET PLAST FRA DUOFLEX®-FRAKTION FOR UDSORTERING AF ENKEL POLYMERTYPE

Den af NIR separatoren udsorterede PE-fraktion blev efterfølgende sorteret manuelt. Af TABEL 30 fremgår renheden af PE-fraktionen. Mængderne er opgivet på to måder, dels ud fra angivet mærkning på emnerne, dels ved at medtage andelen af ikke-identificeret plast – se metodebeskrivelse i afsnit 6.7. Det ses, at den estimerede renhed af PE-fraktionen udgør 87,84 %.

TABEL 30
UDSORTERET PE

	Mærket Kg	Mærket Vægt-%	Estimeret Kg	Estimeret Vægt-%
Fraktion total	60,5	100	60,5	100
PE	51,4	84,95	53,2	87,84
PET	3,4	5,63	3,4	5,63
PP	1,2	2,04	1,3	2,19
PS	0,1	0,17	0,1	0,17
Anden plast	1,7	3,29	1,7	2,79
Affald	0,8	1,38	0,8	1,38
Ikke-identificeret	1,8	3,1		

Herefter blev NIR-separatoren indstillet til at frasortere PET, og den del af den samlede plastfraktion, der ikke var frasorteret som PE, blev kørt igennem NIR-separatoren igen.

TABEL 31
UDSORTERET PET

	Mærket Kg	Mærket Vægt-%	Estimeret Kg	Estimeret Vægt-%
Fraktion total	31,3	100	31,3	100
PE	0	0,00	0	0,00
PET	30,7	98,14	30,7	98,14
PP	0,1	0,36	0,1	0,36
PS	0	0,00	0	0,00
Anden plast	0,5	1,50	0,47	1,50

NIR-separatoren blev herefter indstillet til at frasortere PP, og den del af den samlede plastfraktion, der ikke var frasorteret som PE eller PET, blev kørt igennem NIR-separatoren igen.

TABEL 32
UDSORTERET PP

	Mærket Kg	Mærket Vægt-%	Estimeret Kg	Estimeret Vægt-%
Fraktion total	12,5	100	12,5	100
PE	0,1	1,04	0,3	2,44
PET	0,2	1,64	0,2	1,64
PP	10,2	81,71	11,8	94,24
PS	0,01	0,08	0,01	0,08
Anden plast			0,2	1,60
Ikke-identificeret	1,94	15,54		

NIR-separatoren blev herefter indstillet til at frasortere PS, og den del af den samlede plastfraktion, der ikke var frasorteret som PE, PET eller PP, blev kørt igennem NIR-separatoren igen.

TABEL 33
UDSORTERET PS

	Mærket Kg	Mærket Vægt-%	Estimeret Kg	Estimeret Vægt-%
Fraktion total	1,14	100	1,14	100
PE	0	0,00	0	0,00
PET	0	0,00	0	0,00
PP	0	0,00	0	0,00
PS	0,93	81,16	0,93	81,16
Anden plast			0,22	18,84
Affald	0	0,00	0	0,00
Ikke-identificeret	0,22	18,84		

Sammensætningen af restfraktionen fremgår af TABEL 35.

TABEL 34
RESTFRAKTION

	Mærket Kg	Mærket Vægt-%	Estimeret Kg	Estimeret Vægt-%
Plast total	14,4	100	14,4	100
PE	3	20,76	3	20,76
PET	8,2	56,75	8,2	56,75
PP	2,6	17,99	2,6	17,99
PS	0	0,00	0	0,00
Anden plast			0,65	4,49
Affald - en del glasskår	0	0,00	0	0,00
Ikke-identificeret	0,65	4,49		

På FIGUR 35 til FIGUR 38 er vist de producerede polymerfraktioner.



FIGUR 42
UDSORTERET PE



FIGUR 43
UDSORTERET PET



FIGUR 44
UDSORTERET PP



FIGUR 45
UDSORTERET PS

6.8.3 Udbytte og renhed af de NIR-separerede plastfraktioner

Nedenfor er beregnet udbytte og renhedsgrad for NIR-separation uden tillæg af de manuelt frasorterede store plastemner.

Udbytte og renhed beregnes på følgende måde:

- Udbytte inkl. manuelt frasorterede store emner i % = $(\text{Indhold af polymer i udvundet fraktion} + \text{indhold af polymer i frasorterede store emner}) / (\text{indhold af polymer i alt tilført}) * 100$
- Udbytte ekskl. manuelt frasorterede store emner i % = $(\text{Indhold af polymer i udvundet fraktion}) / (\text{indhold af polymer i alt tilført}) * 100$
- Renhed inkl. manuelt frasorterede store emner i % = $(\text{Indhold af polymer i udvundet fraktion} + \text{indhold af polymer i frasorterede store emner}) / (\text{vægt af udsorteret fraktion} + \text{indhold af polymer i frasorterede store emner}) * 100$
- Renhed ekskl. manuelt frasorterede store emner i % = $(\text{Indhold af polymer i udvundet fraktion}) / (\text{vægt af udsorteret fraktion}) * 100$

TABEL 35

UDBYTTE OG RENHED (NIR-SEPARATOR) BEREGNET UD FRA MÆRKEDE PLASTEMNER

	PE	PET	PP	PS
Sum i kg	54,5	42,5	14,1	1,0
Udvundet ekskl. store emner i kg	51,4	30,7	10,2	0,9
Udbytte i %	94,3	72,2	72,1	89,4
Renhed i %	84,9	98,1	81,7	81,2

TABEL 36

UDBYTTE OG RENHED (NIR-SEPARATOR) MED ESTIMERET FORDELING AF IKKE MÆRKEDE PLASTEMNER

	PE	PET	PP	PS	Anden plast
SUM kg	56,5	42,5	15,8	1,0	3,2
Indhold af polymerer %	47,4	35,7	13,3	0,9	2,7
Udvundet ekskl. store emner kg	53,2	30,7	11,8	0,9	
Udbytte %	94,1	72,2	74,4	89,4	
Renhed %	87,8	98,1	94,2	81,2	

Der opnås tilfredsstillende udbytter og renheder i forhold til leverandørers angivelser. Typisk forventer leverandører af NIR-separatorer 80-90 % udbytte og 90 % renhed (se afsnit 5.1.5). Afhængigt af justering af maskinernes genkendelsesalgoritmer vurderes de at kunne producere enten et lidt højere udbytte med en lidt lavere renhed eller omvendt, altså et nøgletal af udbytte *renhed på mindst ca. 80 % udbytte*90 % renhed = 7200.

For testkørslen gennemført i juni 2013 kan nøgletallene beregnes som følger:

- PE = 8250
- PET = 7080
- PP = 7008
- PS = 7250

Det ses, at der ca. opnås nøgletallet 7200 for effektivitet opgivet af leverandører.

Separationseffektiviteten er givetvis afhængig af, hvor tilsmudset emballagen er, samt om der er store områder af emnerne, der er dækket af etiketter etc.

I TABEL 37 og TABEL 38 er vist udbytte og renhed med tillæg af store emner.

TABEL 37

UDBYTTE OG RENHED (NIR-SEPARATOR) INKL. STORE BEHOLDERE BEREGNET UD FRA MÆRKEDE PLASTEMNER

	PE	PET	PP	PS
SUM kg	62,9	42,7	17,2	1,7
Udvundet inkl. store emner i kg	59,8	30,8	13,3	1,6
Udbytte i %	95,0	72,3	77,1	93,7
Renhed i %	86,8	98,2	85,3	81,2

TABEL 38

UDBYTTE OG RENHED (NIR-SEPARATOR) INKL. STORE EMNER MED ESTIMERET FORDELING AF IKKE-MÆRKEDE PLASTEMNER

	PE	PET	PP	PS	Andet plast	Affald	Total
Sum i kg	64,9	42,7	18,9	1,7	3,2	0,8	132,2
Indhold af polymerer %	49,4	32,5	14,4	1,3	2,5		100
Udvundet inkl. store emner i kg	61,6	30,8	14,8	1,6	0,0		108,8
Udbytte i %	94,9	72,3	78,6	93,7	0,0		
Renhed i %	89,3	98,2	95,4	81,2	0,0		

Tabellerne viser det maksimalt mulige udbytte, når store emner, som er frasorteret manuelt ved forsorteringen, medtages. I praksis kræver processing i NIR-separatoren, at store emner neddeles, fx med udstyr som beskrevet i afsnit 6.4.

Den samlede mængde plast udgør således 131,4 kg, hvor der udvindes 108,8 kg. Dette giver et tab på 22,5 kg og en samlet produktion af plastmaterialer til genanvendelse fra anlægget på 82,9 % ($100 \cdot 108,8 / 131,4$), hvis man benytter den testede metode.

Det skal her bemærkes, at det efterfølgende vil være nødvendigt med en række yderligere oparbejdningstrin, før plasten kan genanvendes. Sådanne trin kan fx bestå af granulering, vask, og

yderligere sortering med enten våd massefyldeseparation eller NIR-sortering af granulat. Ved disse processer vil der opstå et yderligere tab.

6.9 Sammensætning af frasorteret affald fra DuoFlex®-fraktion

Ved testkørsel og sorteringsforsøg med DuoFlex®-fraktion i juni 2013 blev der ved forsortering inden indføding i anlægget frasorteret ca. 270 kg affald. Disse 270 kg blev efterfølgende sorteret i en række fraktioner. Fraktionerne, deres mængdemæssige fordeling samt den procentvise fordeling fremgår af TABEL 39.

TABEL 39
FRASORTERET AFFALD FRA DUOFLEX®-FRAKTION FORDELT PÅ FRAKTIONER

	Kg	Vægt-%
Beholdere med faremærker samt oliedunke	6,2	2,32
Beholdere med mayonnaise, ketchup og lignende	6,2	2,32
Plastflasker og –dunke	7	2,62
Fødevareplast/anden emballageplast	8,8	3,30
Sort plast	12,2	4,57
Svært genanvendelig plast	10,4	3,90
Urtepotter – farvede	4,4	1,65
Sammensatte produkter	13,8	5,17
Blandet papir	80,2	30,04
Metaldåser og andet metal	6,2	2,32
Affald inkl. glasskår	111,6	41,80
Sum	267	100

6.9.1 Udsorterede fraktioner

Af FIGUR 39 fremgår det frasorterede affald inden sortering i delfraktioner.



FIGUR 46
FRASORTERET AFFALD

De udsorterede fraktioner er vist på FIGUR 40 til FIGUR 52.



FIGUR 47
BEHOLDERE MED FAREMÆRKER OG OLIEDUNKE

Der blev registreret en del beholdere med faremærker, fx ætsende kemikalier som 32 % eddikesyre og salmiakspiritus, samt lampeolie og motorolie. Fraktionen udgjorde 2,3 % af den samlede frasorterede mængde.



FIGUR 48
BEHOLDERE MED MAYONNAISE- OG KETCHUPRESTER

Der blev registreret en del beholdere med olieholdige fødevarerester, eksempelvis mayonnaise og margarine samt nogle fyldte beholdere. Fraktionen udgjorde 2,3 % af den samlede frasorterede mængde.



FIGUR 49
PLASTFLASKER OG -DUNKE

Det umiddelbare indtryk er, at en stor andel af fraktionen ikke burde have været frasorteret som affald, men blot kunne gå videre til separation i det automatiske sorteringsanlæg. Fraktionen udgør 2,6 % af den samlede frasorterede mængde.



FIGUR 50
FØDEVAREPLAST/ANDET EMBALLAGEPLAST

En del af denne fraktion vurderes umiddelbart at være genanvendelig og burde derfor ikke nødvendigvis være frasorteret ved forsortering. Fraktionen udgjorde 3,3 % af den samlede frasorterede mængde.



FIGUR 51
SORT PLAST

Sort plast kan principielt genanvendes, men kan ikke separeres i polymertyper med eksisterende NIR-teknologi. Fraktionen består især af kød-, frugt- og grøntsagsbakker, låg til fødevareemballage og urtepotter. Fraktionen udgjorde 4,6 % af den samlede frasorterede mængde.



FIGUR 52
SVÆRT GENANVENDELIG PLAST

Denne fraktion indeholder fx snavset EPS, en snavset afløbsslange fra en vaskemaskine, tagpladerester som kan være af PVC. Fraktionen ligger uden for sorteringskriterierne og vurderes svært genanvendelig. Fraktionen udgjorde 3,9 % af den samlede frasorterede mængde.



FIGUR 53
FARVEDE URTEPOTTER

Urtepotterne frasorteres p.t. som affald, da der kan være en del rester af jord, som kræver ekstra rensning inden oparbejdning. Fraktionen udgjorde 1,7 % af den samlede frasorterede mængde.



FIGUR 54
SAMMENSATTE PRODUKTER

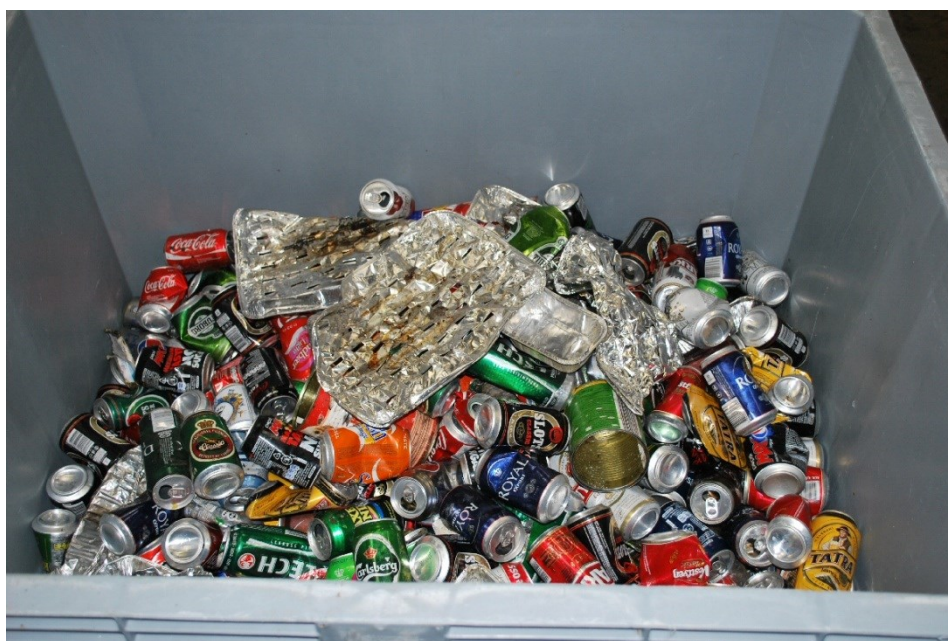
Der er ved forsorteringen frasorteret en række sammensatte produkter, der, som det ses, fx kan bestå af:

- WEEE-produkter – DVD-afspillere, transformere, glødepærer, sparepærer
- legetøj med flere materialer
- fugemassesprøjter med fugemasserester
- fiberarmerede haveslanger
- pensler med dyrehår, plastskaf og metal
- videobånd



FIGUR 55
BLANDET PAPIR

Fraktionen "Blandet papir" udgjorde 30 % af den samlede frasorterede mængde. Denne mængde er umiddelbart genanvendelig og ikke nødvendigvis udtryk for fejlsortering hos husstandene. Det kan ikke udelukkes, at papiret er korrekt sorteret hos husstandene, men papiret kan være "landet" i fraktionen enten ved tømning af dobbeltbeholderne i komprimatorvogn eller efterfølgende tømning af komprimatorvogn på sorteringsanlægget.



FIGUR 56
METALDÅSER OG ANDET METAL

Fraktionen "Metaldåser og andet metal" udgjorde 2,3 % af den samlede frasorterede mængde. Dåserne er umiddelbart genanvendelige og burde ikke have været frasorteret ved forsorteringen.



FIGUR 57
GLAS - AFFALD

Fraktionen af frasorteret glas er en blanding af planglas, inderbeholder til termokande og urene husholdningsglas og flasker.



FIGUR 58
KSP - AFFALD

Fraktionen "KSP-affald" består af keramik, stentøj og porcelæn (KSP). Fraktionen udgør en forurening af glasfraktionen og skal derfor frasorteres inden oparbejdning.



FIGUR 59
MALING - AFFALD

Beholder med malingsrester.



FIGUR 60
ØVRIGT AFFALD

Fraktionen "Øvrigt affald" består bl.a. af dagrenovation.

Glas, KSP, maling og øvrigt affald udgjorde 41,8 % af den samlede frasorterede mængde.

6.9.2 Vurdering af mulige genanvendelige plastmaterialer fraserteret som affald i forbindelse med forsortering

TABEL 40

VURDERING AF GENANVENDELIGE MATERIALER I FORSORTERET AFFALD

	Kg	Vurderet genanvendelse %	Vurderet genanvendelse Kg
Beholdere med faremærker samt oliedunke	6,2	50	3,1
Beholdere med mayonnaise, ketchup og lignende	6,2	50	3,1
Plastflasker og –dunke	7	100	7
Fødevarerplast/anden emballageplast	8,8	100	8,8
Sort plast	12,2	100	12,2
Svært genanvendelig plast	10,4	0	
Urtepotter – farvede	4,4	100	4,4
Sammensatte produkter	13,8	0	

Mængden af plast, som ikke er sammensat, og som principielt kan genanvendes, hvis den er rengjort, udgør ca. 40 kg, som skal sammenlignes med de 131,4 kg plastmaterialer, der blev tilført NIR-separatoren (TABEL 38).

6.10 Beregning af samlet genanvendelseseffektivitet for sortering af DuoFlex®-fraktion med nyt behandlingskoncept

Der er foretaget en estimering af den samlede genanvendelseseffektivitet med det nye behandlingskoncept.

Ved beregningen er det forudsat:

- at der er et tab af plast med glasfraktionen svarende til de 11,4 kg, som blev fundet i forsøget i oktober 2012 (TABEL 21)
- at store forneddelte beholdere kan udsorteres med 90 % udbytte (store beholdere udgjorde 12,3 kg, se TABEL 19)
- at brugbar plast fra fraserteret affald tilføres anlæg, evt. via neddeling, og kan udsorteres med 90 % udbytte (brugbar plast i udsorteret affald er vurderet til at udgøre 38,6 kg, se TABEL 40).

Beregningerne er vist i Tabel 41.

TABEL 41
ESTIMERING AF SORTERINGSEFFEKTIVITET MED FORESLÅET BEHANDLINGSKONCEPT

Tilført	Juni 2013 kg	Oktober 2012 kg
Tilført til kaskadeseperation med NIR ekskl. store beholdere	119,0	163,7
Store beholdere	12,3	5,8
Plast mistet med glasfraktion	8,3	11,4
Total mængde plast inkl. store beholdere og plast i glasfraktion	139,6	180,9
Frasorteret affald	267,0	180,0
Vurderet brugbart fraseret plastaffald i affald	38,6	26,0
Total input plast	178,2	206,9
<i>Udvundet</i>		
Udvundet ved kaskadeseperation med NIR	89,0	
90 % udvundet af neddelte store beholdere	11,1	
90 % udvundet af brugbart fraseret plastaffald	34,7	
Estimeret muligt udbytte via NIR-sortering	134,8	
<i>Sorteringseffektivitet</i>		
Estimeret sorteringseffektivitet ved genanvendelse af alt brugbart materiale	75,6	

Mængden af plast tilført kaskadeseperationen er beregnet som:

tilført mængde inkl. store beholdere - affald - store beholdere

- For oktober 2012 fås $194,3 - 24,8 - 5,8 = 163,7$ kg
- For juni 2013 fås $132,2 - 0,8 - 12,3 = 119,1$ kg

Mængden af plast mistet med glasfraktion for juni 2013 antages at svare proportionalt til mængden for oktober 2012, dvs. $= 11,4/163,7 \cdot 119 = 8,3$ kg.

Total mængde brugbart plast for testen i juni 2013 kan herefter beregnes til $119,0 + 12,3 + 8,3 + 38,6 = 178,2$ kg.

De udvundne mængder udgør 89 kg fra den gennemførte kaskadeseperation og en estimeret mængde på 90% fra store beholdere brugbar fraseret plast.

I alt forventes således, at der kan udvindes $89+11+34,7=134,8$ kg plast.

Herefter beregnes sorteringseffektiviteten til $134,8/178,2 \cdot 100 = 75,6\%$.

Der estimeres således, at det er muligt at opnå en sorteringseffektivitet på 75,6 % med det foreslåede behandlingskoncept. Hvis sorteringseffektiviteten skal øges, kræves en recirkulering af restfraktionen ved brug af endnu en NIR-separator, som det fx udføres ved Swerec, eller evt. ekstra manuel eftersortering. For at en investering i endnu en NIR-separator kan betale sig, vurderes det, at der kræves behandlet væsentligt større mængder plast på anlægget.

6.11 Test af separationseffektivitet af neddelt blandet PE og PET

Der blev produceret en testbatch af blandet neddelt PE/PET ud fra den neddelte PE og PET beskrevet i afsnit 6.4.

PE/PET-blandingen blev tilført sorteringsanlægget med NIR-separatoren indstillet til at frasortere PET.

I TABEL 42 er vist resultatet af den manuelle eftersortering af maskinel udsorteret PET.

TABEL 42
PET-FRAKTION

	Total kg	Vægt-%
Plast total	13,76	100
PE	0,76	5,50
PET	13	94,50



FIGUR 61
NEDELDT SORTERET PET

I TABEL 43 er vist resultatet af den manuelle eftersortering af maskinelt udsorteret PE.

TABEL 43
PE - REST

	Total kg	Vægt-%
Plast total	18,27	100
PE	16,4	89,75
PET	1,44	7,87
Andet	0,435	2,38

Andet plast vurderes at være rester i anlæg fra tidligere forsøg.



FIGUR 62
NEDDELT SORTERET PE

I TABEL 44 er vist beregnet udbytte og renhed af plasttyperne.

TABEL 44
UDBYTTE OG RENHED

	PE	PET	Andet	Total
Sum i kg	17,2	14,4	0,4	32,0
Udvundet i kg	16,4	13,0	0,0	29,4
Udbytte i %	95,6	90,0	0,0	
Renhed i %	89,7	94,5	0,0	

Som det ses, opnås en fin separationseffektivitet med et udbytte og renhed på 90-95 %. Nøgletallet for PET kan beregnes til $90 \cdot 94,5 = 8505$ og for PE $95,6 \cdot 89,7 = 8575$, hvor leverandørnøgletallet opgives til $90 \cdot 80 = 7200$.

Resultatet af forsøget viser, at der kan opnås en tilfredsstillende separation af neddelt plast.

6.12 Neddelt plast fra DuoFlex®-fraktion

I forsøget er foretaget en sekventiel sortering af neddelt plast fra DuoFlex®-fraktion i rækkefølgen PE, PP og PET. Da emnerne var neddelt, var det ikke mulig at identificere typen på basis af mærkning bortset fra delemner af emballage.

Tidligere sorteringsforsøg med plastemballage fra DuoFlex®-fraktionen har vist, at denne hovedsageligt består af PE, PP og PET. Ved en massefylde separation i vand vil PE og PP flyde ovenpå, mens PET vil synke til bunds. For at vurdere sorteringseffektiviteten blev det valgt at bestemme PET-andelen i de udsorterede materialer ved massefylde separation i et kar med vand. Det blev sikret, at der ikke var luftbobler på emnerne ved at røre rundt og vippe emner i karet.

TABEL 45
SORTERING AF NEDDELT PLAST FRA DUOFLEX® FOR PE

	Total Kg	Vægt-%
Plast total	1,34	100
PE/PP	1,28	95,5
PET	0,06	4,5

TABEL 46
SORTERING AF NEDDELT PLAST FRA DUOFLEX®-FRAKTION FOR PP

	Total Kg	Vægt-%
Plast total	1,29	100
PE/PP	1,25	96,3
PET	0,048	3,7

Fraktionerne er vist på FIGUR 56 til FIGUR 59. Det ses, at emballagen ved neddelingen bliver klempt flade.



FIGUR 63
PE



FIGUR 64
PP



FIGUR 65
PET

PET-fraktionen ser ud til hovedsageligt at bestå af klar PET og lidt grøn PET.



FIGUR 66
REST

Restfraktionen ser som forventet ud til at indeholde den sorte plast, som NIR ikke kan genkende. PS vil endvidere findes i denne fraktion, ligesom de ca. 10-20 % emballage fra hver separation (PE, PP, PET), som NIR-separatoren typisk ikke rammer (der er typisk omkring 80-90 % udbytte ved separation af en polymertype, se 6.9). Der var kun få emner, som var filtret ind i hinanden. Såfremt emner er filtret ind i hinanden, kan det medføre medrivning af en forkert polymertype.

Baseret på massefylde separationen (TABEL 45 og TABEL 46) ses det, at der er mindre end 5 % PET-forurening i de neddelte udsorterede PE- og PP-fraktioner.

6.13 Blandet plastfraktion indsamlet via genbrugspladser

I dette forsøg blev det vurderet, om neddelingen havde en betydning for sorteringen af den blandede plastfraktion fra genbrugspladser. Ved en dårlig neddeling, hvor emner kun delvis skæres over, risikeres det, at de filtrer sig sammen, så der opnås et dårligt sorteringsresultat. Der er foretaget en visuel vurdering af outputtet.



FIGUR 67
PE

Fraktionen af PE viser overvejende emner, der ved en visuel inspektion vurderes til at være polyolefiner (PE eller PP). Der er en enkelt PET-flaske i billedet i forgrunden til venstre.



FIGUR 68
PP

Fraktionen af PP viser overvejende emner, der ved en visuel inspektion vurderes til at være polyolefiner (PE eller PP). Der er en enkelt PET-flaske i forgrunden til højre.



FIGUR 69
PET

Fraktionen af PET viser overvejende emner, der ved en visuel inspektion vurderes til at være af PET. Der er en enkelt urtepotte (polyolefin) til venstre på billedet.



FIGUR 70
RESTFRAKTION

Restfraktionen består af en stor del sort plast, som NIR-separatoren ikke kan genkende.

6.14 Oparbejdning af plast med våd massefyldeseperation

Hos Dansk Affald er der gennemført forsøg med neddeling af PET-emballage efterfulgt af våd massefyldeseperation på Dansk Affalds separationsanlæg. Kvaliteten af plast er blevet analyseret og vurderet af Færch Plast med følgende analyseresultater:

TABEL 47
ANALYSERESULTATER FOR PET FLAKES PRODUCERET HOS DANSK AFFALD

PVC (ppm)	PO/PA (ppm)	Flakes med label (ppm)	Flakes med lim (ppm)	Metal indhold (ppm)	Træ/ papir- indhold (ppm)	Anden forure- ning (ppm)	Stør- relse (mm)
0	0	40	750	180	0	0	0-15

Det ses, at der er < 0,08 % flager med lim eller etiketter samt mindre end 0,02 % metal, ligesom der hverken er polyolefiner (PO), PE/PP eller PVC. Kvaliteten vurderes som egnet til genanvendelse, hvis støv og fugt er fjernet.

6.15 Vurdering af behandlingskoncepter

Målet med de opstillede behandlingskoncepter er at opnå en højere grad af maskinel oparbejdning af plastfraktionen hos Dansk Affald, hvor det samtidig sikres, at der produceres plastmaterialer til genanvendelse i høj kvalitet.

Behandlingskoncepterne omfatter:

- 1: Behandlingskoncepter til at mindske manuel sortering ved forsortering
- 2: Behandlingskoncepter til en øget sortering af plastfraktionen hos Dansk Affald.

6.15.1 Behandlingskoncepter til at mindske manuel sortering ved forsortering

Der er arbejdsmiljømæssige aspekter ved manuel frasortering af uønskede emner ved forsortering. Hvis omfanget af den manuelle sortering skal mindskes, kræves udvikling og investering i ny teknologi.

Ved udenlandske anlæg til plastholdigt affald benyttes som beskrevet i afsnit 5.1 en række forsorteringsteknologier som tromlesigter og ballistiske separatorer til at foretage en delvis sortering af de tilførte materialer. Herved kan 2D-materialer, som aviser og folier, frasepareres fra 3D-emballagebeholdere, men typisk ikke uden at der kræves en vis eftersortering.

Teknologierne er oftest installeret på anlæg med en høj kapacitet (50.000-100.000 ton behandlet plast pr. år), hvilket er langt over den nuværende mængde behandlet plast hos Dansk Affald. Dansk Affald behandler imidlertid en sammenlignelig mængde i DuoFlex®-systemet, når glasandelen medtages, hvorfor ny teknologi på Dansk Affalds anlæg bør tage hensyn til den store glasandel i affaldet.

I dag frasorteres hele glasflasker manuelt ved forsorteringen. Dansk Affald påtænker en ombygning af anlægget, så dette ikke længere vil være tilfældet.

Teknologier er vurderet til at kunne omfatte:

- Sigteteknologier til at adskille 2D-materiale fra 3D-materiale
Der kræves særskilte forsøg vedr. optimal brug af sådant udstyr. Her er den særlige sammensætning af affaldet hos Dansk Affald med en meget stor glasandel af betydning for valg af udstyr, idet det skal sikres, at glas/skår kan genanvendes. Hvis man ser på karakteriseringen af frasorteret materiale fra forsøget i 2013, findes 2D-materiale, som blandet papir, svarende til 80 kg ud af 2,3 ton eller 3,5 %. Endvidere findes nogle foliematerialer i fraktionen med affald (111,6 kg eller 5 %). Det skal bemærkes, at affaldsmængden i dette forsøg var højere (11 %) end normalt, hvor den ifølge Dansk Affald er i størrelsesordenen 5 %. Forsorteringsteknologierne skal således kun benyttes til fraseparation af en forholdsvis lille

mængde 2D-materialer, hvorfor der bør overvejes billigere alternativer til traditionelle rotertromler og ballistiske separatorer, som anvendes på store udenlandske anlæg med 50.000-100.000 ton plast pr. år.

- Udstyr til neddeling af store emner
Gennemførte testkørsler i nærværende projekt viser, at det er muligt at neddele store plastemner fra DuoFlex®-fraktionen, så der opnås en kvalitet, der kan sorteres på det nuværende anlæg ved brug af NIR-separator, og uden at materialerne filtrer sammen. Afhængigt af modtagne mængder kan det evt. senere være nødvendigt at investere i nyt udstyr til neddeling af store emner.
- Robotteknologier baseret på genkendelse af uønskede materialer
Disse teknologier er som beskrevet i afsnit 5.1.2.6 kommercielt tilgængelige til fx sortering af byggeaffald, men så vidt vides ikke til sortering af en så kompleks fraktion som fraktionen, der manuelt frasorteres hos Dansk Affald. Der arbejdes p.t. i innovationskonsortiet INNOSORT med udvikling af sådanne teknologier. Ved udviklingen i INNOSORT indgår data fra karakteriseringen af manuelt frasorterede materialer beskrevet i nærværende projekt. I nærværende projekt er således fundet uønskede emner som fugemassesprøjter, der indeholder silikonerester, oprullede videobånd, som medfører driftsproblemer samt elektroniske og elektriske produkter med eventuelle sundhedsskadelige flammehæmmere i plasten.

6.15.2 Behandlingskoncepter til en øget sortering af plastfraktionen hos Dansk Affald

Udsortering af plastmaterialer efter polymertyper har vist, at der kan opnås følgende udbytte og renhed af plastmaterialerne, hvis disse udsorteres sekventielt.

TABEL 48
UDBYTTE OG RENHED AF PLAST MATERIALER FRA DUOFLEX®-FRAKTION VED NIR- SEPARATION

	PE	PET	PP	PS
Andel Vægt-%	48,8	36,7	13,6	0,9
Udbytte %	94,1	72,2	74,4	89,4
Renhed %	87,8	98,1	94,2	81,2

Af tabellen ses, at PS-andelen udgør en meget lille andel. Det vurderes derfor ikke at være rentabelt at udsortere PS som en selvstændig plastfraktion - se også økonomiberegning i vurderingsværktøjet i afsnit 5.5.1.

Den opnåede renhed af PET og PP er høj med henholdsvis 94 % for PP og 98 % for PET. Det vurderes, at der kun kræves en begrænset yderligere oparbejdning i et efterfølgende oparbejdningsanlæg for at opnå en kvalitet, hvor plasten kan indgå som råvarer i en ny produktion.

En sådan efterfølgende oparbejdning omfatter som minimum granulering og vask.

Forsøg hos Dansk Affald med oparbejdning af PE- flasker på deres granulerings- og vaskeanlæg har vist, at plastkvaliteten, der produceres, formentlig er egnet til genanvendelse til højkvalitetsprodukter efter ekstra rensning og tørring.

I afsnit 6.11 er der foretaget en estimering af den samlede genanvendelses effektivitet for behandlingskonceptet med DuoFlex®, hvor al brugbar plast medtages fra p.t. udsorteret affald, og hvor store beholdere neddeles og tilføres anlægget. Herved opnås en estimeret

genanvendelseseffektivitet på 75,6 %. Genanvendelseseffektiviteten kan øges ved at recirkulere restaffaldet efter kaskadeseparationen, hvilket imidlertid kræver endnu en NIR-separator. Dette vurderes for omkostningstungt med den nuværende tilførte plastmængde.

En alternativ behandling kan være kun at udsortere meget værdifulde plastemner, som fx PET og PE, og sende resten til videre oparbejdning eksternt. Det bør endvidere overvejes at udvide sorteringskriterierne, så den brugbare plast i det p.t. udsorterede affald medtages.

6.15.3 Sammenfatning og konklusion for test af ny behandlingskoncepter

Ved test nye behandlingskoncepter undersøges, om kapaciteten på NIR-sorteringsenheden kan udnyttes bedre ved at:

- Udsortere de mest værdifulde polymerer fra DuoFlex®-fraktionen batchvis
- Separat at behandle neddelt plast fra genbrugspladser og andre store plastemner.

Herudover vurderes mulighederne for at:

- Udnytte brugbare delmængder af den manuelt frasorterede plast
- Mindske omfanget af den manuelle sortering ved brug af maskinelle løsninger.

Test af udsortering af polymerer fra DuoFlex®-fraktionen

Der er udført to forsøg med kaskadeseparation af DuoFlex®-plasten i polymererne PE, PET, PP og PS efter en første udsortering med NIR-maskinen indstillet til at udsortere alle polymerer fra glas/metal. I forsøgene er bestemt udbytte og renhed. Mængden af DuoFlex®-emballage tilført i den normale sortering var ca. 2,3 ton, hvoraf plasten udgjorde ca. 7%.

I det første forsøg i 2012 fungerede NIR-separatoren ikke optimalt, hvorfor separationseffektiviteten var lavere end ved optimale forhold. Der blev således udsorteret 77,3 % af den tilførte plast med renheder af polymererne på mellem 78 og 94 %. I det andet forsøg i 2013 var NIR-separatoren blevet optimeret, og der blev opnået en bedre sorteringseffektivitet på 82,9 % med renheder mellem 81 og 94 % baseret på en plastmængde på 131,4 kg.

De opnåede udbytter og renheder var sammenlignelige med leverandørers opgivne typiske værdier for udbytter på 80-90 % og renheder på omkring 90%.

Udnyttelse af plast i manuelt frasorterede emner

Ved testkørslen med DuoFlex®-fraktion i 2013 blev der foretaget en karakterisering af de materialer, som blev frasorteret manuelt, fordi de ikke overholdt kravene til materialer til genanvendelse. Materialerne blev opdelt i 15 delfraktioner. Mængden af frasorterede materialer udgjorde i alt 11 % af den tilførte mængde på ca. 2,5 ton.

Det blev vurderet, at en del af plasten fra de manuelt frasorterede emner principielt kan genanvendes, hvis den er rengjort, svarende til 38,6 kg. Hvis mængden af potentiel genanvendelig plast medtages, kan plastudbyttet øges ca. 30 %.

Estimering af sorteringseffektivitet ved sortering af DuoFlex®-emballage i enkeltpolymerer

Der er foretaget en beregning af den samlede sorteringseffektivitet for udsortering af DuoFlex®-plast i enkeltpolymerer med det foreslåede behandlingskoncept. Ved beregningen korrigeres for tab af plast med glasfraktionen, og den brugbare plast fra den manuelle frasortering medtages. Således estimeres, at det er muligt at opnå en sorteringseffektivitet på 75,6 % med det foreslåede behandlingskoncept med en ekstra NIR-separation af plasten i enkeltpolymerer.

Baseret på beregninger i det udviklede beregningsværktøj vurderes, at det med de nuværende mængder primært kan betale sig at udsortere meget værdifulde plastemner, som fx PET og PE, og

herefter sende resten til videre oparbejdning eksternt. Det bør endvidere overvejes at udvide sorteringskriterierne, så den brugbare plast i det p.t. udsorterede affald medtages.

Behandlingskoncept til store emner

Der blev foretaget neddeling af fire fraktioner af store emner for at undersøge, om separationen af emner med NIR-separatoren var tilfredsstillende, idet en dårlig neddeling kan medføre, at ikke helt overskårne emner filtrer sig ind i hinanden med dårlig separation til følge.

Resultatet var tilfredsstillende, idet der blev opnået en god overskæring af store emner i alle fire tilførte fraktioner, så de ikke efterfølgende filtrerede sig sammen ved kaskadeseperation. Der blev opnået tilfredsstillende udbytter og renheder på 90-95 % for en blanding af neddelt PE/PET, ligesom renheden af neddelt DuoFlex®-emballage vurderedes tilfredsstillende.

Således vil kapaciteten på NIR-separatoren kunne udnyttes bedre ved dosering af forneddelte store emner, som køres batchvis.

Vurdering af behandlingskoncepter til at mindske omfanget af den manuelle forsortering

Der er foretaget en vurdering af teknologier, som kan benyttes til at mindske omfanget af den manuelle forsortering. Teknologier er vurderet til at kunne omfatte:

- Sigteteknologier til at adskille 2D-materiale, som folier, fra 3D-materiale (beholdere). Det vurderes, at der normalt vil være <5 % 2D-materiale i DuoFlex®-fraktionen af glas/plast/metal. Sigteteknologier, som sortertromler og ballistiske separatorer, benyttes på udenlandske anlæg til at fraseparere papir, pap og folier samt store emner, men der kræves forholdsvis store mængder, før teknologierne er rentable, hvorfor de indledende vurderes mindre relevante med den nuværende affaldssammensætning.
- Udstyr til neddeling af store emner. Det kan være relevant at investere i udstyr til grovneddeling, men en investering i sådant udstyr vil være afhængigt af, at der behandles tilstrækkeligt store mængder.
- Robotteknologier baseret på genkendelse af uønskede materialer. Det vurderes, at der generelt vil være et potentiale for udvikling af teknologier til at mindske den manuelle sortering. Teknologiområdet er på et tidligt udviklingsstadium, og der findes p.t. kun få koncepter, der kan udsortere emner, men der arbejdes med udvikling af ny teknologi i fx innovationskonsortiet INNOSORT.

Muligheder for slutbehandling af nogle udvundne plastfraktioner

Den opnåede renhed af PET og PP er høj med henholdsvis 94 % for PP og 98 % for PET. Det vurderes, at der kun kræves en begrænset yderligere oparbejdning i et efterfølgende oparbejdningsanlæg med granulering og vask for at opnå en kvalitet, hvor plasten kan indgå som råvarer i en ny produktion. Forsøg hos Dansk Affald med oparbejdning af PET- flasker på virksomhedens granulerings- og vaskeanlæg har vist, at plastkvaliteten, der produceres, formentlig er egnet til genanvendelse til højkvalitetsprodukter efter ekstra rensning og tørring.

Referencer

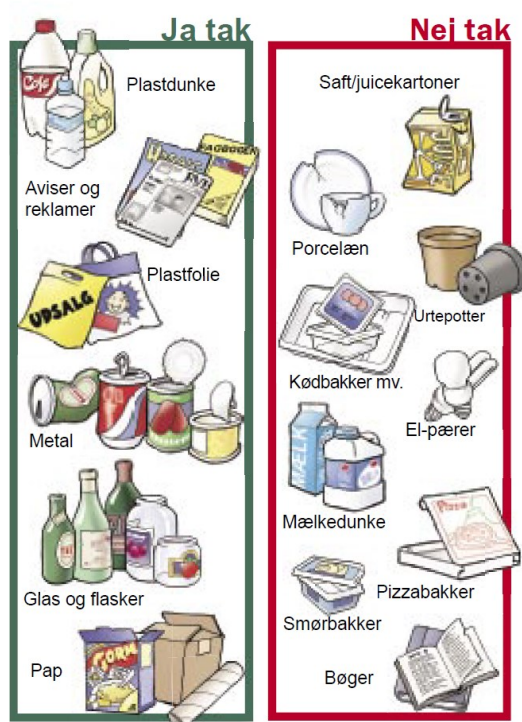
1. Kortlægning af dagrenovation i enfamilieboliger – Med særligt fokus på madspild, batterier og småt elektronikaffald, Miljøprojekt nr. 1414, 2012, Miljøstyrelsen
2. Emballageforsyningen i Danmark 2009, Miljøprojekt nr. 1388, 2011, Miljøstyrelsen
3. Statistik for genanvendelse af emballageaffald 2009, Miljøprojekt nr. 1382, 2011, Miljøstyrelsen
4. Vurdering af genanvendelsesmålsætninger i affaldsdirektivet, Miljøprojekt nr. 1328, 2010, Miljøstyrelsen
5. Samfundsøkonomisk analyse af bortskaffelse af plastdunke- og dunkeaffald fra husholdninger, Miljøprojekt nr. 695, 2002, Miljøstyrelsen
6. Miljømæssige fordele og ulemper ved genvinding af plast, Miljøprojekt nr. 657, 2002, Miljøstyrelsen
7. Indsamling af plastflasker og -dunke fra husholdninger, Miljøprojekt nr. 637, 2001, Miljøstyrelsen
8. Mission Mulig (Silkeborg og Odder Kommune). www.missionmulig.dk
9. Madam Skrald (Herlev Kommune). www.madamskrald.dk
10. Forsøg i Hvidovre Kommune. Rapport fra COWI: ”Teknisk opsamling og slutevaluering af forsøgsindsamling af affald med 4-kammer beholdere”, december 2011
11. Nils H. Nilsson, B. Malmgren-Hansen, Optimering af materialegenvinding af procesmaterialer af plast, Miljøstyrelsen, arbejdsrapport nr.9, 2004
12. B. Malmgren-Hansen, Nils H. Nilsson, Øget genanvendelseseffektivitet af kølemøbler, Miljøprojekt nr. 1020, 2005, Miljøstyrelsen
13. J. Cramer, B. Malmgren-Hansen, J. Overgaard, O. Hede Larsen, Metoder til behandling af tungmetalholdigt affald -Fase 3, Miljøstyrelsen, Miljøprojekt 1055, 2006
14. WRAP Technical Report. Good Practice of NIR Infrared sorting of Plastic Packaging October 2010.
15. WRAP Case study. Good Practice of NIR Infrared sorting of Plastic Packaging October 2010.
16. WRAP Case study. Technical Report. NIR Infrared sorting of Household Plastic Packaging October 2010.
17. WRAP Development of NIR detectable black plastic packaging September 2011.

Bilag 1: Sorteringskriterier

Sorteringskriterier – DuoFlex®

Information

Information til borgere ved indførelse af DuoFlex er et væsentligt kriterie for succes. Dansk Affald tilbyder kommunerne information om DuoFlex-systemet, eksempelvis annoncer, breve, husstandsomdelte foldere, klistermærker til beholdere, pressemeddelelser mv.



Sorteringskriterier – Husholdningsindsamlet plast i Haderslev Kommune

- Husholdningsdunke, alle former for dunke af plasttyperne. PE, PP, PET, fx shampoo, skyllemiddel, vandflasker, læskedrikke m.m.
- PP – spande og kurve, alle former for spande, kurve, kasser, fx vasketøjskurve, stablekasser, spande m.m.
- Plastfolier.

Sorteringskriterier – Plastflasker og -dunke via genbrugsplads (Vamdrup, Kolding Kommune)

- Husholdningsdunke, alle former for dunke af plasttyperne PE, PP, PET, fx shampoo, skyllemiddel, vandflasker, læskedrikke m.m.

Blandet plast indsamlet via genbrugsplads (Lunderskov, Kolding Kommune)

- Husholdningsdunke, alle former for dunke af plasttyperne. PE, PP, PET, fx shampoo, skyllemiddel, vandflasker, læskedrikke m.m.
- PP – spande og kurve, alle former for spande, kurve, kasser, fx vasketøjskurve, stablekasser, spande m.m.
- Hård plast, kasser og kar, der består af plasttyperne PE og PP, fx øl- og vandkasser, fiskekasser, plastpaller, big boxe m.m.
- Skraldespande, alle skraldespande, der er lavet af plasttyperne PE og PP.

Bilag 2: Bestemmelse af polymertyper

1. Bestemmelse af polymertype ved simple tests

I en række tilfælde var plastemner ikke mærket med polymertype (trekant med tal, der angiver plasttype).

For at bestemme polymertypen blev der benyttet en kombination af simple testmetoder baseret på vægtfyldebestemmelse, brandtest og sejhedstest.

1.1 Vægtfyldebestemmelse

En bestemmelse af et plastmateriales vægtfylde eller densitet er en forholdsvis simpel test. Kender man vægtfylden af den plasttype, man ønsker at teste for, kan man indstille en vægtfylde ved hjælp af enten vand/alkoholblandinger (vægtfylder lavere end 1 g/cm³) eller vand/saltblandinger (vægtfylder højere end 1 g/cm³). Som saltblandinger kan anvendes natriumchlorid, kaliumchlorid, calciumchlorid eller andre letopløselige salte.

I Plastic Analysis Guide (A. Krause, A. Lange, M. Ezrin), Hanser Publishers, findes en tabel over vægtfylderne for en lang række forskellige plastmaterialer. Nedenfor er vist udvalgte vægtfylder for saltblandinger fremstillet af NaCl tørret ved ca. 105 °C i 24 timer og opløst i målekolbe med opfyldning til 1 liter.

Vægtfylder af NaCl-opløsninger

% salt	Vægtfylde 20 °C	g salt
1	1,007	10,1
2	1,014	20,2
3	1,021	30,6
4	1,029	41,1
6	1,043	62,5
8	1,058	84,5
10	1,073	107,1
12	1,088	130,3
14	1,103	154,1
16	1,118	178,6
18	1,134	203,7
20	1,150	229,6
22	1,166	256,1
24	1,183	283,3
26	1,199	311,3

1.2 Brandtest

Måden, en plast brænder på, kan anvendes som supplerende information til identificering af polymertype.

Plastic Analysis Guide giver oplysninger om, hvordan forskellige plasttyper opfører sig i testen. Der oplyses også om det lugtindtryk, der kommer fra de forskellige typer plast ved afbrænding. Det må frarådes at foretage lugttest, idet nogle plasttyper, eksempelvis teflon og polyuretan, afgiver meget giftige forbrændingsprodukter. Derimod kan man med fordel anvende pH-papir for at se, om plasten afgiver sure eller basiske dampe eller er neutral.

En særlig brandtest er Beilsteintesten. Her glødes en kobbertråd først over en bunsenbrænder. Tråden stikkes derefter ind i den plast, der skal undersøges, og føres herefter tilbage i flammen. Hvis flammen bliver grøn, er der halogener i prøven. Klor, brom og jod er eksempler på halogener. Testen er i nærværende forsøg blevet anvendt til identifikation af PVC i kombination med vægtfyldebestemmelse.

1.3 Testbeskrivelse

Der er benyttet nedenstående fremgangsmåde til klassifikation af ikke-mærket plast.

Der blev benyttet tre vægtfylde til separation baseret på opdeling af plast i:

- Lette alifatiske olefiner af PP- og PE-typer, som har en massefylde $< 1 \text{ g/cm}^3$
- Styrenbaserede plasttyper som PS, ABS og SAN, der har en vægtfylde i intervaller 1,02-1,08 g/cm^3
- Tunge plasttyper som PVC og PET, der har overlappende vægtfylde på ca. 1,4 g/cm^3 .

Vægtfylde til testen blev justeret til 1,0 g/cm^3 (demineraliseret vand), 1,021 g/cm^3 og 1,103 g/cm^3 .

Densiteter af polymerer

Forkortelse	Navn	Densitet g/cm^3
ABS	Acrylnitril-butadien-styren	1,02-1,06
EPS	Ekspanderet polystyren	Typisk i intervallet 0,01-0,05
PA 6	Polyamid	1,125
PC	Polycarbonat	1,2
PE	Polyethylen	0,91-0,965
POM	Polyoxymethylen	1,42
PP	Polypropylen	0,9-0,905
PS	Polystyren	1,04-1,065
PUR	Polyurethan	Uekspanderet: 1,2 Ekspanderet: ca. 0,05
PVC	Polyvinylchlorid	1,41
SAN	Styrenacrylnitril	1,08
PET	Polyethylenterephthalat	1,34-1,42

Ved en Beilsteintest kan PVC adskilles fra PET, mens ABS, PS og SAN ikke vil give væsentlige forskelligheder i en brandtest, da alle tre plasttyper brænder sodende.

Nedenfor er angivet identifikationsproceduren ved kombination af vægtfyldetesten med brandtest, Beilsteintest og sejhedstest.

Vægtfyldeklassificeringen er baseret på de rene plasttyper. Er der tilsat større mængder af uorganisk fyldstof (eksempelvis calciumcarbonat, kaolin eller titandioxid), vil vægtfylden øges, og man kan derfor være udsat for, at f.eks. PE og PP får vægtfylde højere end 1 g/cm^3 :

- Vægtfylde $< 1 \text{ g/cm}^3$: Plasten er ufyldt plast af typen PE eller PP eller copolymerisater heraf
- $1,02 < \text{Vægtfylde} < 1,10$: Plasten er af ufyldt PS/ABS/SAN
- Vægtfylde $> 1,10 \text{ g/cm}^3$: Plasten kan være PVC, PET, PA eller PC
 - PVC bestemmes ud fra Beilsteintest
 - PA bestemmes ud fra en hornagtig lugt ved brandtest
 - PC vil være mere sprød end PET, som er et yderst sejt materiale, hvorfor PET i tvivlstilfælde er bestemt ud fra sejhed, når plasten vrides.



Vægtfyldebestemmelse



Brandtest



Beilsteintest

2. Bestemmelse af polymertype ved spektroskopi

Da de simple tests beskrevet ovenfor har sine begrænsninger med hensyn til identifikation af de forskellige plasttyper, er der valgt plastemner ud til vurdering af plasttype ved spektroskopi. Da infrarød spektroskopi er en hurtig og sikker metode til bestemmelse af plasttype, er denne spektroskopiske teknik valgt ud til den spektroskopiske identifikation. Infrarød spektroskopi er også valgt, fordi instrumenter til infrarød spektroskopisk identifikation har tilknyttet meget store

biblioteker over polymerspektre til forskel fra Ramanspektroskopi, som endnu ikke er en rutineteknik til polymerbestemmelse.

Princippet i infrarød analyse af polymere materialer, eksempelvis plast, er baseret på absorption af infrarødt lys som følge af energioptagelse af de funktionelle grupper i polymererne. De covalente kemiske bindinger kan betragtes som fjedre, der binder atomerne sammen. Som bekendt kan fjedre både strækkes og bøjes etc.

I dag er de traditionelle dispergiver infrarøde spektrofotometre udfaset til fordel for FTIR-instrumenter (Fourier-Transform Infrarød Spektroskopi). Fordelene ved FTIR-spektrofotometrene er:

- Samtlige infrarøde frekvenser anvendes simultant i modsætning til den sekventielle teknik ved de dispergiver instrumenter. Herved opnås teoretisk et forbedret signal-støj-forhold på mere end 60 gange.
- Tabet af lysenergi er meget mindre, da der ikke anvendes gitter og spalter til selektering af bølgelængder.
- Frekvenserne i FTIR-instrumentet kalibreres løbende ved hjælp af en laser, hvilket har stor betydning ved sammenligning af spektre optaget med måneders mellemrum og ved subtraktion af spektre fra hinanden.

De infrarøde analyser er i nærværende projekt foretaget på et Renishaw InVia Streamline mikroskop tilkoblet FTIR, IlluminatIR II fra Smiths Detection.



Renishaw FTIR-instrument

Spektrene er optaget med ATR (Attenuated Total Reflection) med 64 gentagelser og en opløsning på 8 cm^{-1} . Ved ATR-spektroskopi anvendes multipel refleksion. I princippet svarer det til, at det

infrarøde lys slår smut hen over prøvens overflade i modsætning til den traditionelle transmissionsspektroskopi, hvor prøven gennemlyses af det infrarøde lys. De optagne spektre er analyseret ved hjælp af FTIR-databaser fra Smiths Detection og SigmaAldrich.

Ved FTIR-analysen er det muligt at skelne mellem polyethylen og polypropylen, hvilket ikke er muligt ved vægtfyldebestemmelsen og brandtesten.

Det er også muligt at skelne mellem forskellige typer af polystyren og sampolymerer med acrylonitril (eksempelvis SAN) og med acrylonitril og butadien (ABS). FTIR kombineret med ATR giver også mulighed, for at bestemme plasttypen, selvom den ikke er transparent, da lyset jo slår smut på overfladen af emnet.

Resultaterne for de plastemner, der har været analyseret ved FTIR-spektroskopi, fremgår af resultatafsnittet.

Bilag 3: Underklasser af identificerede polymertyper af plastemner

1. Muligt indhold af SVHC REACH-stoffer

Typisk indgår SVHC-stoffer som blødgørerne DEHP, DBP, DIBP, BBP kun i blødgjort PVC, mens flammehæmmere kun tilsættes produkter, der afgiver varme, såsom elektroniske og elektriske produkter.

I disse produkter vil der typisk være tilsat store mængder af stofferne i koncentrationer over 10 %, ofte langt højere.

Nedenfor er vist eksempler på produkter fra affaldsanalysen, der kan indeholde sådanne stoffer.



FIGUR 71
EMBALLAGE AF BLØDGJORT PVC



FIGUR 72
PLASTLÅG FRA PRINTER (KAN INDEHOLDE FLAMMEHÆMMERE)



FIGUR 73
SAMMENSATTE PRODUKTER (ELEKTRONIK, PLASTEMNER MED FORSKELLIG TYPE PLAST ELLER INDSAT METALFORSTÆRKNING)

1.1 Forurenede emner

Der blev fundet en række emner, som ikke overholdt sorteringskriterierne, herunder beholdere til kemikalier, olie og benzinprodukter, samt emballage, som ikke var rengjort tilstrækkeligt for fødevarerester.



FIGUR 74
EMBALLAGE TIL KEMIKALIER



FIGUR 75
EMBALLAGE TIL KEMIKALIER M.M.



FIGUR 76
EMBALLAGE MED FØDEVARERESTER

1.2 Fysisk opbygning

Den fysiske opbygning af produkter, fx sammensatte produkter, kan medføre problemer for genanvendelse. På figurerne nedenfor er således vist eksempler med produkter, der er sammensat af flere polymermaterialer. Hvis sådanne materialer grovneddeles til fx 50 mm partikler inden separation med fx NIR, kan der blive produceret blandingsfraktioner af polymerer, som kan være uegnede til genanvendelse, idet forskellige polymerer ikke kan omsmeltes til høj kvalitetsprodukter grundet forskelligt smeltepunkt, flydeegenskaber m.m.



FIGUR 77
PLAST AF TO TYPER POLYMERER



FIGUR 78
PLAST MED TERMOPLASTISK ELASTOMER

1.3 Vurdering af procestype

Plastmaterialer kan være fremstillet med forskellige procestyper, som har betydning for genanvendelsemulighederne. Der benyttes eksempelvis ekstrudering, blæsestøbning, sprøjtstøbning, termoformning og pressestøbning, hvor man for en given fremstillingsproces anvender forskellige typer af polymer (molekylækædelængder og -forgreninger). De forskellige processer kræver forskellige flydeegenskaber af plasten, og det kan derfor være en fordel at holde forskellige procestyper separeret fra hinanden. For hærdeplasttyperne er flydeegenskaberne gået tabt på grund af tværbindinger mellem polymerkæderne, så disse plasttyper kan ikke smeltes, men sønderdeles ved høje temperaturer. Eksempler på forskellige typer i den udsorterede plastaffald ved Dansk Affald er vist nedenfor.



FIGUR 79
FOLIER (EKSTRUDEDE)



FIGUR 80
PLASTFLASKER (BLÆSESTØBT)



FIGUR 81
PVC-PROFILER, EKSTRUDEDE

1.4 Bestemmelse af farve

Plastmaterialer kan i nogle tilfælde med fordel sorteres efter farve. Eksempelvis afregnes klare PET-flasker til ca. den dobbelte pris af farvede. Dette skyldes, at man ikke kan benytte farvede PET-flasker til fremstilling af klare flasker. Det samme gør sig gældende med stærkt farvet rød, brun og sort plast, som ikke kan anvendes til fremstilling af lyse farvenuancer.

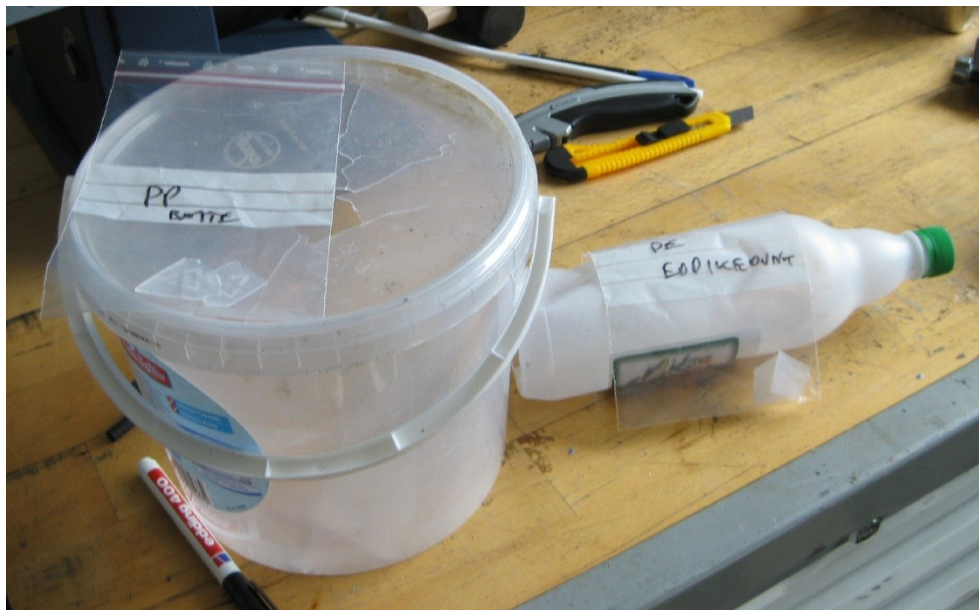


FIGUR 82
PET, FARVET/IKKE FARVET

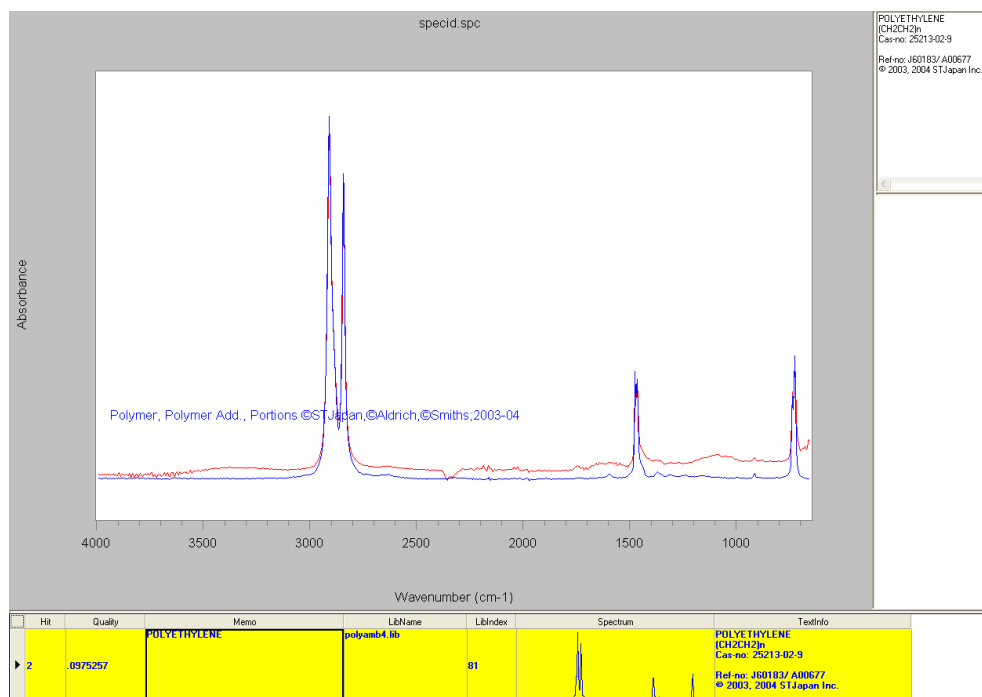
2. Identifikation af plastemner med FTIR

Der er foretaget en række identifikationer af udtagne plastemner fra affaldssorteringen med Teknologisk Instituts Renishawinstrument.

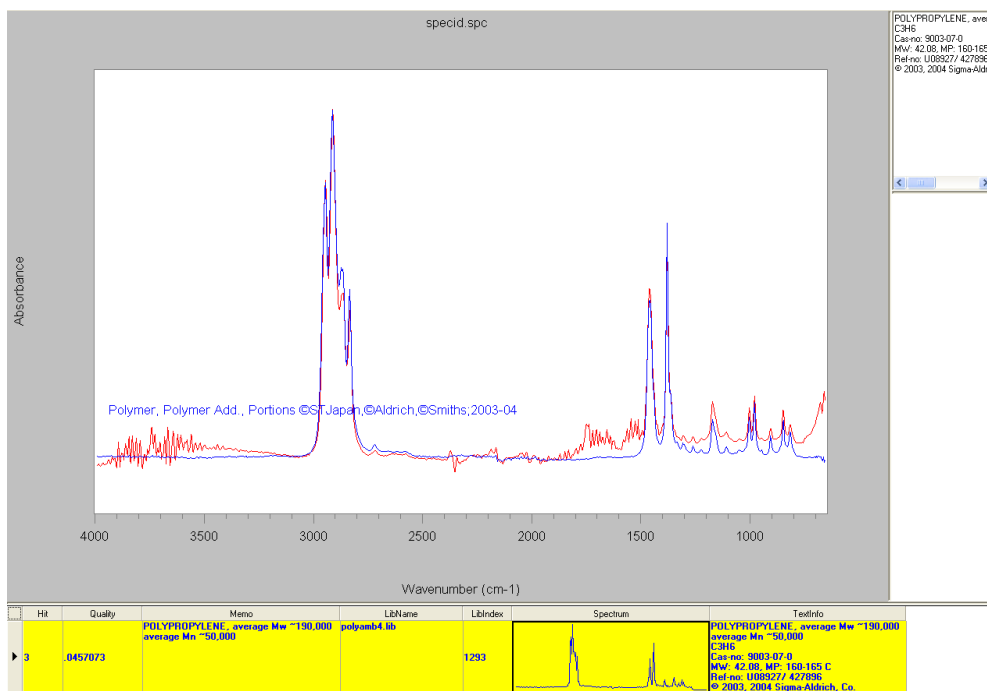
Nedenfor er vist udvalgte eksempler på resultater fra 13 identificerede plastemner.



FIGUR 83
BEHOLDER (MÆRKET PP) OG EDDIKEPLASTDUNK (MÆRKET PE)



FIGUR 84
IDENTIFIKATION AF EDDIKEBEHOLDER I PE VED FTIR-SPEKTROSKOPI. ABCISSEN ER BØLGETALET OG ORDINATEN ABSORBANCEN. SPEKTRET ER MEGET SIMPELT, DA PE BESTÅR AF MÆTTEDE KULSTOF-KULSTOFKÆDER MED TILKNYTTET BRINT. BLÅ KURVE ER REFERENCE



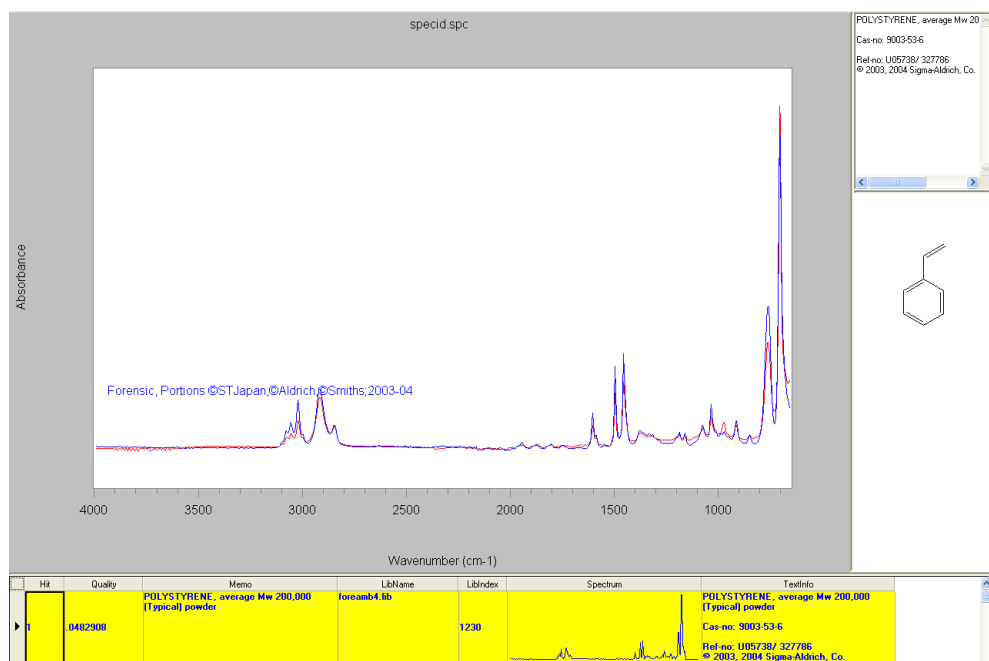
FIGUR 85
IDENTIFIKATION AF BEHOLDER I POLYPROPYLEN, FTIR-SPEKTRET ER SIMPELT SOM FOR PE, DA POLYPROPYLEN BESTÅR AF MÆTTEDE KULSTOFKÆDER MED TILKNYTTET BRINT, MEN ADSKILLER SIG ALLIGEVEL MARKANT FRA PE, DA DEN RUMRLIGE GEOMETRI ER FORSKELLIG. DER ER OVERLEJRET ET REFERENCESPEKTRUM AF PP FRA INSTRUMENTETS BIBLIOTEK AF SPEKTRE. ABCISSEN ER BØLGELÆNGDE OG ORDINAT ER ABSORPTIONEN. BLÅ KURVE ER REFERENCE

Figur 79 viser en hjulkapsel med et metalliseret lag.



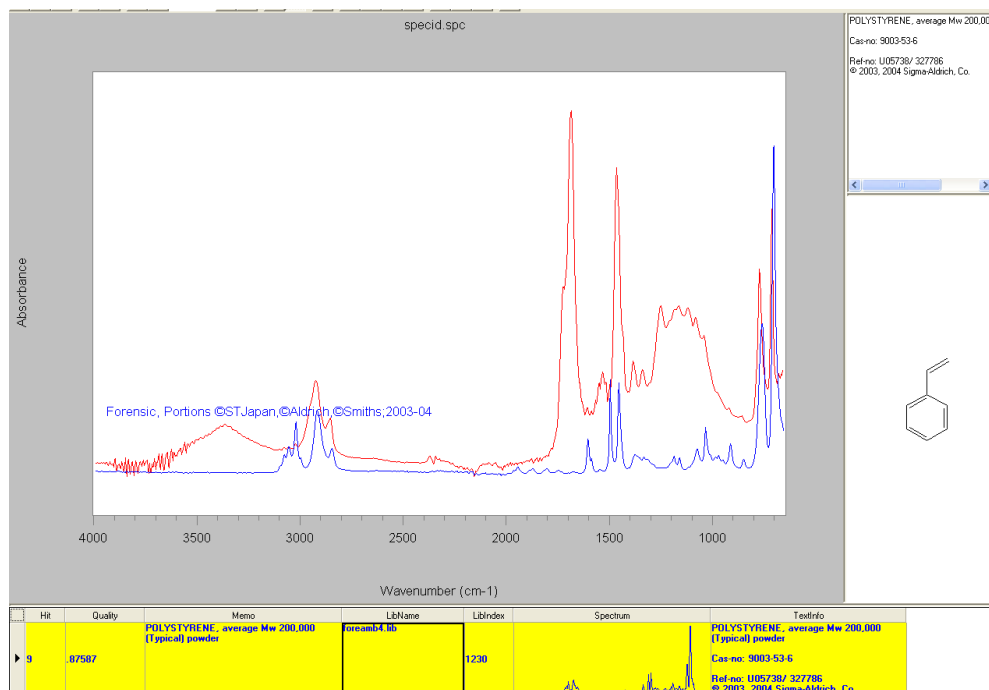
FIGUR 86
EN HJULKAPSEL

På Figur 80 er vist et FTIR-spektrum af bagsiden af en prøve af kapslen. Spektret bestemmes sikkert til polystyren ved sammenligning med referencespektrum.



FIGUR 87
PLAST FRA HJULKAPSEL (BAGSIDE MED AFKRABET METALLAG) BLÅ KURVE ER REFERENCE

I Figur 81 er vist et FTIR spektrum af forsiden af en prøve af kapslen. Plastmaterialet kan ikke bestemmes grundet metalmalingen. Det optagne spektrum kan evt. stamme fra en malingsbinder. Eksemplet illustrerer udfordringen i identifikation af sammensatte produkter, hvor et ydre lag skærmer for den underliggende polymer, så infrarøde spektroskopiske metoder (RFTIR og NIR) ikke er i stand til at identificere emnet.



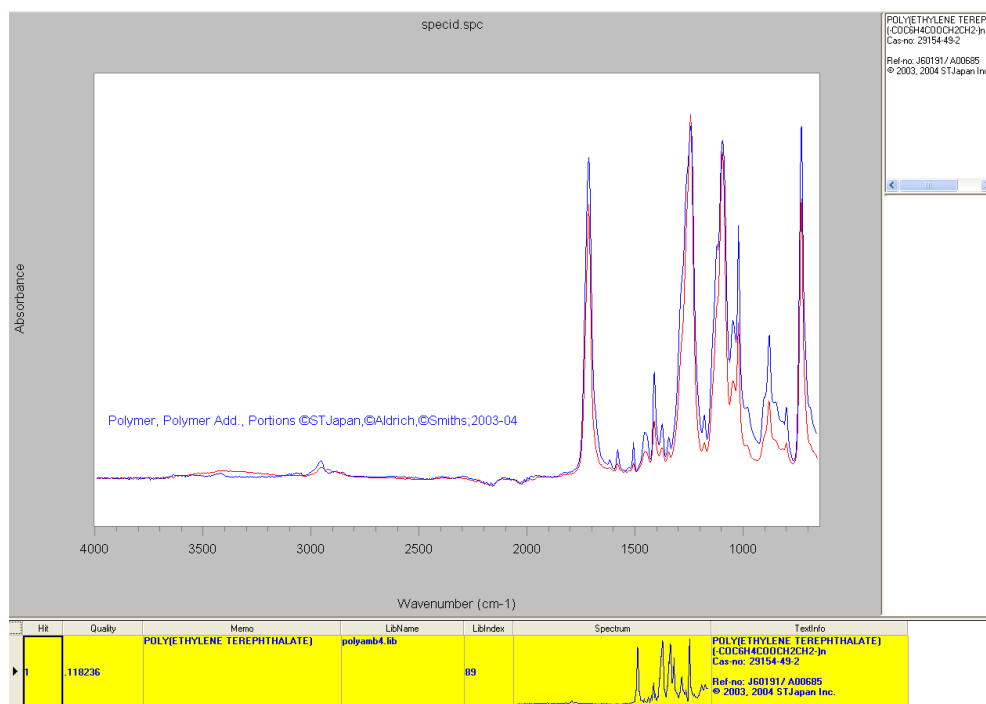
FIGUR 88
FTIR-SPEKTRUM AF FORSIDEN AF EN PRØVE AF HJULKAPSEN. BLÅ KURVE ER REFERENCE

På Figur 82 og Figur 83 er vist et eksempel med identifikation af sort PET-emballage, hvilket kan foretages uden problemer med Renishawinstrumentet. Identifikation af sort plast er ikke muligt med det NIR-sorteringsudstyr, som er kommercielt tilgængeligt fra en række producenter. Når det

er muligt med FTIR, skyldes det den specielle ATF-metode, hvor lyset slår smut på overfladen i kombination med, at analysen foregår i bølgetalområdet 650-4000 cm⁻¹ (svarer til bølgelængderne 2500-15384 nm). Det er i dette bølgelængdeområde, at molekylerne kraftige grundresonanser findes, fx strækning eller bøjning af en kulstof-kulstof binding. Som en analogi svarer det til målegrundtonefrekvensen på en anslået violinstreng. NIR-spektroskopi foregår i bølgetalområdet over 4000 cm⁻¹ (<2500 nm), hvor resonanser ikke er så kraftige, da det er molekulære overtone- og kombinationsresonanser, der analyseres for. (Som analogi svarende til at analysere for de mindre kraftige overtoner fra en anslået violinstreng). Bemærk, at spektret er meget mere detaljeret for PET end for PE og PP. Det skyldes, at PET har en mere kompliceret opbygning med estergrupper og aromatkæder.



FIGUR 89
SORT EMBALLAGE



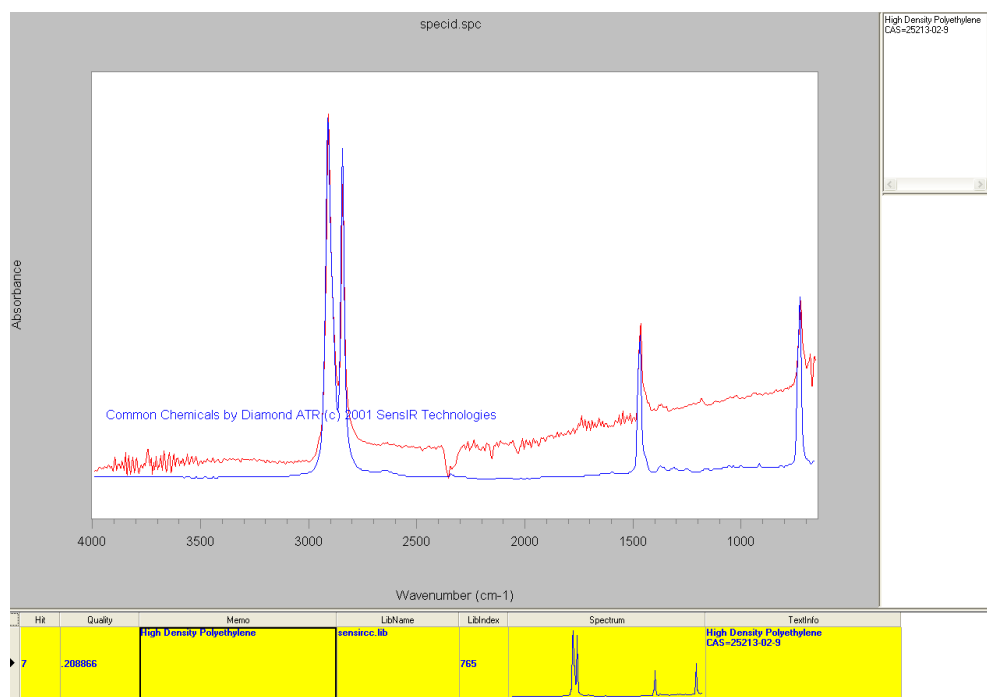
FIGUR 90
SPEKTRUM AF SORT EMBALLAGE IDENTIFICERET SOM PET. BLÅ KURVE ER REFERENCE

En del plasttyper opskummes ved hjælp af blæsemidler. Det gælder EPS (flamingo) og PUR (polyurethanskum). Her kan en simpel vægtfyldebestemmelse ikke bestemme plasttypen, da de opskummede produkter har en vægtfylde lavere end 1 g/cm^3 .

På Figur 84 og Figur 85 er vist et opskummet rør (til isolering af varmtvandsrør). Det er identificeret som polyethylen.



FIGUR 91
OPSKUMMET RØR



FIGUR 92
SPEKTRUM AF OPSKUMMET RØRINDERSIDE (PE). BEMÆRK LIGHEDEN MED **FIGUR 77** AF PE, DER IKKE ER OPSKUMMET. BLÅ KURVE ER REFERENCE

Mekanisk sortering af plastaffald fra husholdninger

Projektet omfatter en række affaldsanalyser og testkørsler på sortering af plastaffald på det mekaniske sorteringsanlæg hos Dansk Affald A/S. Der er derudover gennemført et litteraturstudie i egnede teknologier til automatisk sortering af plastholdige fraktioner. Teknologierne omfatter udstyr til forsortering af plastemballage og plast fra genbrugspladser, udsortering af plastemballage i polymertyper og efter farve og/eller form samt efterbehandling af udsorteret plast.

Projektresultaterne viser, at det er muligt at udvide sorteringskriterierne ved fx at inddrage fødevareplast og anden emballageplast, uden at afsætningsmulighederne forringes. På anlægget hos Dansk Affald A/S kan det således være attraktivt at udsortere PET og HDPE, idet disse plasttyper udgør en væsentlig del af DuoFlex®-fraktionen.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

[www. mst.dk](http://www.mst.dk)