

Optimering af materialegenvinding af procesmaterialer af plast

Nils H. Nilsson og Bjørn Malmgren-Hansen
Teknologisk Institut

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.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
<i>Baggrund og formål</i>	7
<i>Undersøgelsen</i>	8
<i>Projektræsultater</i>	9
SUMMARY AND CONCLUSIONS	13
<i>Background and purpose</i>	13
<i>The project</i>	14
<i>Project results</i>	15
1 KORTLÆGNING	18
1.1 KASSERET PROCESMATERIALE I PLASTVIRKSOMHEDER	18
1.2 SPØRGESKEMAUNDERSØGELSE	19
1.2.1 Overordnede konklusioner fra undersøgelsen	22
2 HÅNDBTERING OG GENANVENDELSE AF KASSERET PROCESMATERIALE	24
2.1 OVERORDNEDE OVERVEJELSER NÅR PROCESMATERIALE ØNSKES GENANVENDT	24
2.1.1 Genanvendelse af procesmaterialer fra plastproduktion	24
2.2 OPARBEJDNINGSMETODER	28
2.2.1 Neddeling	29
2.2.2 Densitetsseparation	29
2.2.3 Farvesortering	30
2.2.4 Separation efter polymertype	30
2.2.5 Elektrostatiske separationsmetoder	31
2.3 TESTMETODER OG NORMER	32
2.3.1 Relevante normer og krav	32
2.3.2 Beskrivelse af simple testmetoder	33
2.4 NØDVENDIGE BESLUTNINGER VED HÅNDBTERING AF KASSERET PROCESMATERIALE	37
3 UNDERSØGELSE AF MULIGHEDER FOR ØGET GENANVENDELSE AF KASSERET PROCESMATERIALE VED DE DELTAGENDE VIRKSOMHEDER	48
3.1 ICOPAL	48
3.1.1 Præsensation af virksomheden	48
3.1.2 Problemstillinger	48
3.1.3 Løsningsmuligheder	49
3.1.4 Forsøgsarbejde	49
3.1.5 Konklusion	52
3.2 ROSTI OS OG SMØRUM GRUPPEN	53
3.2.1 Præsensation af virksomheder	53
3.2.2 Problemstilling	53
3.2.3 Løsningsmuligheder	54
3.2.4 Konklusion	57
3.3 SUPERFOS PACKAGING	57
3.3.1 Præsensation af virksomheden	57
3.3.2 Problemstilling	58

3.3.3	<i>Løsningsmuligheder</i>	58
3.3.4	<i>Forsøgsarbejde</i>	59
3.3.5	<i>Konklusion</i>	70
3.4	JYSK VAKUUM PLAST A/S	71
3.4.1	<i>Præsentation af virksomheden</i>	71
3.4.2	<i>Problemstilling</i>	71
3.4.3	<i>Løsningsmuligheder</i>	71
3.4.4	<i>Forsøgsarbejde</i>	71
3.4.5	<i>Konklusion</i>	73
3.5	SCA PACKAGING FLAMINGO	73
3.5.1	<i>Præsentation af virksomheden</i>	73
3.5.2	<i>Problemstilling</i>	73
3.5.3	<i>Løsningsmuligheder</i>	74
3.5.4	<i>Forsøgsarbejde</i>	74
3.5.5	<i>Konklusion</i>	76
3.6	SP GROUP TINBY	76
3.6.1	<i>Præsentation af virksomheden</i>	76
3.6.2	<i>Problemstilling</i>	76
3.6.3	<i>Løsningsmuligheder</i>	77
3.6.4	<i>Forsøgsarbejde</i>	77
3.6.5	<i>Konklusion</i>	81
3.7	PRIMO DANMARK A/S	81
3.7.1	<i>Præsentation af virksomheden</i>	81
3.7.2	<i>Problemstilling</i>	81
3.7.3	<i>Løsningsmuligheder</i>	81
3.7.4	<i>Forsøgsarbejde</i>	81
3.7.5	<i>Konklusion</i>	86
4	IDEER TIL KONTAKTFORUM	87
4.1	INDLEDNING	87
4.2	EKSISTERENDE INTERNETBASEDE KONTAKTFORA FOR PLAST	87
4.3	DANSK/NORDISK KONTAKTFORUM	88
5	REFERENCER	89

Bilag A Spørgeskema

Forord

Nærværende rapport omhandler resultaterne af de undersøgelser og forsøg der er gennemført i forbindelse med projektet ”Optimering af materialelevninding af procesmaterialer af plast”.

Projektet er et delprojekt af hovedprojektet ”Brancheindsats inden for fremstilling af plastprodukter”. Projektet der har været støttet af Miljøstyrelsen under programmet ”Renere Produkter”, er gennemført i en toårig periode fra 2002 til udgangen af 2003.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem Plastindustrien i Danmark, virksomheder tilknyttet Plastindustrien i Danmark og Teknologisk Institut.

Plastindustrien i Danmark har stået for den overordnede projektledelse med Birgitte Svava Veirup som projektleder, mens Teknologisk Institut har haft ansvaret for den faglige og praktiske gennemførelse af projektet i samarbejde med de tilknyttede plastvirksomheder.

Følgende virksomheder har været direkte tilknyttet projektet:

- Icopal Plastic Membranes A/S
- Rosti OS A/S
- Superfos A/S
- Jysk Vakuum Plast A/S
- SCA Packaging Flamingo
- SP Group Tinby A/S
- Primo Danmark A/S
- Smørum Gruppen

Der har endvidere været nedsat en følgegruppe bestående af Anette Christiansen, Miljøstyrelsen (formand), Nils H. Nilsson og Bjørn Malmgren-Hansen, Teknologisk Institut, Materialedivisionen, Arne Holt, Smørum Gruppen, Peter Lindequist Madsen, Reno Djurs (RenoSam), John Brøndorf, Polimeri Europa, Jacob Hartvig Simonsen, KL og Birgitte Svava Veirup, Plastindustrien i Danmark.

Der skal lyde en tak til alle der har bidraget entusiastisk til projektets gennemførelse såvel fra de direkte deltagende virksomheder som til plastvirksomheder der har været knyttet mere perifert til projektet. En særlig tak gælder Eldan der har bistået med neddelingsforsøg af procesmaterialer fra tre af de deltagende plastvirksomheder.

Sammenfatning og konklusioner

Mulighederne for en bedre udnyttelse af kasserede procesmaterialer (processpild) i plastindustrien er blevet undersøgt i et samarbejde mellem Plastindustrien i Danmark (PD) og Teknologisk Institut.

Undersøgelsen har vist at der er mange penge at spare ved genanvendelse af kasseret procesmateriale enten i egen virksomhed, ved salg eller ved at tænke i utraditionelle genanvendelsesbaner.

Baggrund og formål

Produktionen af plastemner giver altid anledning til et vist spild i form af procesmateriale som bl.a. stammer fra: indkøring af maskiner, afskær og standsegitre, fejlproduktioner, kasserede emner fra kvalitetskontrol etc.

Mulighederne for at genanvende procesmaterialet er afhængig af en række faktorer, bl.a. hvor præcist sammensætningen kan defineres, og hvor rent materialet er. Jo tættere man kommer på den aktuelle proces hvor spildet opstår, jo større er sikkerheden for at sammensætningen kendes præcist.

Plastråvaren kan derudover indeholde en række tilsætningsstoffer. Tilsætningsstofferne kan i visse tilfælde have afgørende indflydelse på mulighederne for at genanvende materialet.

For hærdeplast, eksempelvis polyurethan, kan der ikke ske en gensmeltning af plasten da det er et stort tredimensionelt molekyle. Her er selve neddelingsprocessen af procesmaterialet af betydning for i hvilken type produkter der kan ske genanvendelse af materialet.

For EPS-produktion er genanvendelse af eksternt emballageaffald interessant i relation til øget genanvendelse. Dette er også af betydning i forbindelse med de nye krav til genanvendelse EUs emballagedirektiv hvor genanvendelsen skal øges til 22,5% senest 31.dec. 2008.

De fleste plastproducerende virksomheder anvender allerede en del af eller evt. hele deres procesmateriale internt på virksomheden, men der kan være forhold som gør at denne sekundære råstofkilde ikke udnyttes optimalt. Et eksempel kan være, at den øvre grænse for tilsætning af regenerat ikke kendes. Et andet eksempel kan være, at procesmaterialet er sammensat og derfor ikke umiddelbart kan genanvendes i produktionen

For en række produkter, fx fødevareremballage og medicoprodukter, er der specielle krav i forbindelse med anvendelse af procesmateriale.

Der mangler et overblik over normer og regler som virksomhederne skal overholde i forbindelse med tilsætning af regenerat.

Det overordnede formål med projektet har været at kortlægge mængder af kasserede procesmaterialer fordelt efter typer og produktionsmetoder og

samtidig undersøge mulighederne for at reducere ressourceforbruget ved produktion af plastemner ved at optimere materialegenvindingen af procesmaterialer enten ved intern eller ekstern genvinding.

Undersøgelsen

Undersøgelsen er gennemført i et samarbejde mellem Plastindustrien i Danmark (herefter benævnt PD) og Teknologisk Institut. Fra PD har der deltaget 8 virksomheder i projektet som samlet udgør et repræsentativt udsnit af de processer, materialetyper branchen som helhed anvender i fremstilling af typiske produkter.

Der har været afholdt en workshop, og der har været indlæg på PD's ekstruderingssektion forår 2003 og på DAKOFA konference december 2003 om projektets resultater.

Der er udarbejdet en vejledning om genanvendelse af procesmaterialer til plastindustrien og et idéudkast til et kontaktforum for genanvendelse af procesmaterialer.

Vejledningen omfatter såvel kasseret procesmateriale af termoplast som hærdeplasttyper. Herudover medtages genanvendelsespotentialer af eksternt plastaffald fra EPS-emballage. Vejledningen er baseret på de praktiske erfaringer der er gjort i forbindelse med forsøgs- og udviklingsarbejdet gennemført i projektet, og på besvarelserne af spørgeskemaer udsendt til 50 plastvirksomheder. I vejledningen indgår beslutningstræer der gør det nemt for brugerne at få et overblik over teknik, økonomi og muligheder for genanvendelse af en given plastfraktion.

Hovedkonklusioner

I forbindelse med udviklingsarbejde med henblik på at øge brugen af eksternt EPS-affald i nye produkter er det overraskende vist at man kan anvende op til 30 % eksternt EPS i nye produkter uden at de mekaniske egenskaber forringes i forhold til brug af nye perler af EPS. Det er en vigtig erkendelse i relation til emballagedirektivets krav om genanvendelse.

Gennem forsøgs- og udviklingsarbejde i plastvirksomheder der har deltaget i projektet, er nye genanvendelsesmetoders egnethed demonstreret, og der er peget på mulighederne for utraditionelle løsninger for anvendelse af sammensat produktionsspild.

Projektet har demonstreret at plastvirksomhederne kan spare udgifter til deponering eller forbrænding samtidig med at man sparer penge ved at erstatte ny råvare med genbrug af procesmaterialer.

Undersøgelsen har vist en stor interesse for at oprette et kontaktforum for salg og køb af procesmaterialer, og at man mest hensigtsmæssigt ser den placeret på PD's hjemmeside. Der er udarbejdet et idégrundlag herfor.

Projektet har bidraget med ny viden om:

- Mængder af procesmaterialer fordelt på typer og processer
- Status for det europæiske normarbejde for regenerat på plast
- Simple testmetoder
- Muligheden for anvendelse af regenerat ved opblanding i ny råvare

- Muligheden for anvendelse af nye genanvendelsesteknologier
- Muligheden for genanvendelse af kasseret procesmateriale som stammer fra sammensatte produkter

Projektræsultater

Kortlægningen

Teknologisk Institut har sammen med Plastindustrien i Danmark kortlagt mængder og sammensætning af procesmaterialer fra plastindustrien. Resultatet fordelt på mængder og behandling fremgår af Tabel 0.1

Tabel 0.1 Produktionsspild og behandling

Mængder af produktionsspild	Minimum (ton)	Maksimum (ton)	Fordeling %(middel)
Produktionsspild fra virksomheder	13.015	15.965	
Behandling af produktionsspild			
Affald genanvendt i egen produktion	1.350	2.659	14
Solgt til anden virksomhed	7.582	8.317	55
Til forbrænding	3.278	3.827	24
Til deponering	795	1.155	7

Mængderne i tabellen er baseret på en spørgeskemaundersøgelse hvor virksomhederne blev bedt om at angive mængder inden for definerede logaritmiske intervaller. Der er derfor en vis usikkerhed på de indberettede mængder. Der har været udsendt 50 skemaer til plastvirksomheder, og 25 indleverede svar. Virksomhederne var udvalgt på baggrund af at de i en anden mere omfattende undersøgelse havde meldt ind at genanvendelse af procesmateriale var højt prioriteret og at mængden af kasseret procesmateriale var over 5%.

Tabel 0.2 viser mængderne fordelt på processer. Næsten halvdelen af procesmaterialerne stammer fra ekstruderingsprocesser. Undersøgelsen viste også at over 50 % af procesmaterialerne udgøres af polyethylen (PE) og polypropylen (PP).

Tabel 0.2 Vægtbaseret Fordeling af processpild på processer

Proces	% af samlet mængde processpild (middel) i undersøgelse (Vægtbaseret)
Sprøjtstøbning	9
Ekstrudering	45
Folieblæsning	12
Vakuumbremning	4
RIM-teknik	0,6
Andet	30

Håndtering af procesmaterialer

Når en virksomhed ønsker at genanvende kasserede procesmaterialer, er en velgennemtænkt håndtering af procesmaterialerne fra de opstår til de genanvendes meget vigtig.

Der er et par helt klare budskaber til industrien med hensyn til håndtering af procesmaterialer hvis de skal genanvendes:

- Håndter og opbevar de kasserede procesmaterialer som var det nye varer
- Gør det enkelt for driftspersonalet at holde forskellige materialer adskilt
- Sørg for en god og enkel logistik for procesmaterialerne
- Motiver og instruer driftspersonalet for god hygiejne ved omgang med procesmateriale

Projektet har vist at det er vigtigt at procesmaterialet holdes rent, idet støv, fugt og forureninger, eksempelvis sand og jord, gør genanvendelse umulig til blot nogenlunde kvalitetsprodukter. Det er også vigtigt ikke at blande forskellige plasttyper eller farver sammen da det vil gøre genanvendelse umulig eller mere besværlig.

Det har desuden vist sig, at procesmaterialer, der er sammensat af to eller flere forskellige plasttyper eller andre materialer plast indgår sammen med, er vanskelige at genanvende, men at man ved at skele til utraditionelle anvendelsesområder stadig har interessante muligheder for genanvendelse.

Der er i projektet udarbejdet en vejledning til plastindustrien med gode råd om genanvendelse af procesmaterialer. Vejledningen er baseret på beslutningstræer, der leder brugeren af vejledningen igennem de problemstillinger man er nødt til at tage stilling til for at kunne vælge den optimale løsning under hensyntagen til miljø og økonomi.

I vejledningen er der endvidere beskrevet nogle simple testmetoder man kan bruge i forbindelse med vurderingen af procesmateriale. Der redegøres ligeledes for status på det europæiske normarbejde i CEN vedrørende metoder til karakterisering af genbrugsplast.

Virksomhedsaktiviteter

I projektet er der set på konkrete problemstillinger i relation til de deltagende virksomheder.

Det har meget positivt vist sig at man kan tilsætte ganske høje mængder eksternt EPS-emballageaffald til nyvare efter neddeling uden at det går ud over styrkeegenskaberne. Resultaterne af forskellige tilsætninger fremgår af tabel 0.3.

Tabel 0.3: forsøgsresultater fra Teknologisk Institut.

Emne nr.	% Tilsat genbrugs-EPS	Densitet Kg/m ³	Tryk E-modul MPa	Trykstyrke ved 10 % deformation MPa
A	10	22,3 (0,5) ¹	5,5 (0,4)	0,14 (0,01)
B	25	21,8 (0,4)	5,2 (0,2)	0,13 (0,01)
C	30	24,2 (0,7)	5,0 (1,0)	0,13 (0,02)
D	10	24,5 (0,5)	6,6 (0,6)	0,16 (0,01)
E	10	20,9 (1,0)	5,4 (0,6)	0,14 (0,01)
F	25	21,6 (0,6)	5,0 (0,4)	0,12 (0,01)
G	30	24,1 (1,2)	6,1 (0,2)	0,15 (0,01)
H	10	23,7 (0,5)	6,5 (0,2)	0,16 (0,01)
I	18	23,7 (0,5)	5,9 (0,3)	0,15 (0,01)
J	25	24,0 (0,3)	6,2 (0,3)	0,15 (0,01)
K	10	24,5 (1,0)	5,6 (1,1)	0,16 (0,02)
L	18	23,2 (0,6)	5,8 (0,3)	0,15 (0,01)
M	25	23,1 (0,4)	5,5 (0,2)	0,15 (0,01)
N	10	21,4 (0,6)	4,9 (0,9)	0,14 (0,01)
O	30	21,2 (0,5)	4,7 (0,6)	0,13 (0,01)
P	30	24,9 (0,8)	7,0 (0,4)	0,17 (0,01)

¹ Tal i parentes angiver standardafvigelsen på målingen

Inden for hærdeplast er der arbejdet med forsøg på at tilbageføre procesmateriale fra polyurethanproduktion til nye produkter. Der er udført forsøg på tilbageføring i reaktionssprøjteprocessen, indstøbning i gummi og indstøbning i polyurethan. Mest lovende har forsøgene med indstøbning i præpolymeriseret isocyanat /polyol været.

Der har været udført forsøg med blandet polypropylengranulat i forskellige farver fra spandeproduktion. Det har her vist sig at man kan opnå pæne spande ved genbrug af hvidt granulat med tryk på den ene side ved at optimere på sprøjtestøbeparametrene. Dette har ikke været muligt med de meget blandede farvede granulater. Det er her demonstreret at man ved anvendelse af separationsprocesser baseret på farvesensorer og tryklufthyser efter to gennemløb kan separere en farve ud i 99,9 % renhed med en kornstørrelse fra 2-6 mm.

Der er udført en række neddelingsforsøg på forskellige granulatorer. Det neddelte materiale har omfattet sammensatte produkter. For disse typer er der peget på utraditionelle anvendelsesområder af de neddelte fraktioner.

Endelig har der været foretaget forsøg på bedre udsortering af procesmateriale. Erfaringen fra forsøgene har medvirket til at øge den interne genanvendelsesprocent yderligere.

Summary and conclusions

The possibilities for a better utilisation of discarded process materials (process waste) from the plastic industry has been studied in a co-operation between the Danish Plastics Federation and Danish Technological Institute.

The project has shown that a considerable sum of money can be saved by recycling discarded process materials either as secondary materials for the production in the company, by selling the material for recycling elsewhere or by thinking in untraditional ways of recycling.

Background and purpose

In the manufacturing of different products of plastics there will always be a certain amount of waste of process materials originating from the running-in period of machinery, cut off pieces and punch out pieces, errors in production, discarded products from quality control etc.

The possibilities of recycling the process material depend on a number of factors including how precise the composition of the waste and the purity of the material can be described. It is more likely that the composition of the waste can be well described if the waste is collected close to the actual process where it originates.

The raw material for plastic production may contain a number of additives which in certain circumstances may have a significant influence on the possibilities for recycling.

For thermoset plastics like polyurethane it is not possible to re-melt the plastics as it is a big three-dimensional molecule. However, recycling can be performed by appropriate downsizing of the process material. The possibilities of recycling in different products depend on the quality obtained after the downsizing.

For production of expanded polystyrene (EPS) the recycling of externally collected packaging material is relevant in connection with obtaining an increased recycling. This is also of importance regarding the new demands for recycling in the Eu directive for packaging waste where the recycling will have to be increased to 22,5% on 31.december 2008

Most producers of plastic products recycle a part or even all their process material internally. However, in a number of circumstances the recycling is not optimised for different reasons. An example could be that the upper limit of addition of secondary process material is not known. Another example could be that the process material is complex and therefore difficult to recycle internally.

For a number of products like packaging material for foods or products for medical purposes, specific demands exist in connection with recycling of process material.

An overview of norms and regulations which companies have to obey in connection with recycling of process material is lacking.

The overall purpose of the project has been to map amounts of discarded process material divided after type and production process and at the same time study the possibilities for reducing consumption of resources in the production of products of plastics by optimising the recycling of discarded process material either by internal or external recycling.

The project

The project has been performed in co-operation between the Danish Plastics Federation (later called PD) and Danish Technological Institute. From PD eight companies have participated in the project. The companies represent the different processes and types of material which are used for producing typical products in the plastics industry.

The project results have been presented at a workshop and at a conference in 2003.

During the project a guidance on recycling of process materials for the plastics industry has been prepared and a draft for ideas to a contact forum for recycling of process materials has been proposed.

The guidance includes discarded process materials of thermo-plastics as well as thermoset plastics. Apart from this, the recycling potential of externally collected EPS packaging waste is included in the guidance. The guidance is based on the practical experience obtained in connection with the experimental and developmental work performed in the project and on the answers to questionnaires sent to 50 plastic producers.

The guidance includes decision trees which make it easy for the users to obtain an overview of technique, economy and possibilities for recycling of a given plastic fraction.

Main conclusions

In connection with developmental work focusing on an increased recycling of EPS-waste in new products, it has surprisingly been found possible to recycle up to 30% external EPS waste in new products without consequences for the mechanical properties when compared to products based on virgin EPS. This is an important recognition in relation to the demands for recycling in the EU directive for packaging waste.

During the research and developmental work performed in the project, the suitability of new recycling methods has been demonstrated, and the possibilities for using untraditional solutions for the use of complex discarded process material have been pointed out.

The project has demonstrated that producers of plastic can save expenses for deposit or incineration and at the same time save expenses for virgin material by recycling the discarded process material.

The project has shown a considerable interest in a contact forum for buying and selling process materials if possible placed on PD's homepage. Ideas for such a solution have been produced.

The project has contributed with new knowledge on:

- Amounts of process material divided after type of material and process of production
- Status for the European work in norms for recycled materials of plastics
- Simple test methods
- The possibility for use of recycled process material by mixing with new raw material
- The possibility for using new recycling technologies
- The possibility for recycling discarded process waste which originates from complex products

Project results

The survey

A survey of amounts and composition of discarded process material in the plastic industry has been performed by Danish Technological Institute and the Danish Plastics Federation. Results for amounts of discarded process materials and the used treatment are shown in Table 0.1.

Table 0.1 Discarded process material and treatment

Amounts of discarded process material	Minimum (ton)	Maximum (ton)	Distribution %(mean)
Discarded process material from companies	13,015	15,965	
Treatment of discarded process material			
Waste recycled in own production	1,350	2,659	14
Sold for recycling in other company	7,582	8,317	55
Incineration	3,278	3,827	24
Deposit	795	1,155	7

The amounts in the table are based on a questionnaire where companies were requested to specify amounts in pre-defined logarithmic ranges. Therefore there is some uncertainty on the given amounts. Questionnaires were sent to 50 companies and 25 answers were received. The companies were selected from a larger survey where they had stated that recycling of discarded process material had a high priority and that the amount of discarded process material was larger than 5%.

Table 0.2 shows amounts distributed on production processes. Nearly half of the process materials originate from extrusion processes. The survey also showed that more than 50% of the process materials were based on polyethylene (PE) og polypropylene (PP).

Table 0.2 Weight based distribution of discarded process material on production processes

Process	% of total amount of discarded process material (mean) in survey (weight based)
Die casting	9
Extrusion	45
Blow moulding	12
Vacuum forming	4
RIM-techniques	0.6
Other	30

Handling of discarded process materials

When a company wishes to recycle discarded process material, it is very important that the handling of the process materials from which they originate till they are recycled is well planned.

There are some clear messages to the industry regarding handling of discarded process materials if they are supposed to be recycled:

- Handle and store the discarded process materials as if it was virgin material
- Make it simple for the personnel to keep different materials apart
- Apply a good and simple logistic for the discarded process materials
- Motivate and instruct the personnel regarding good hygiene when in contact with discarded process material.

The project has shown that it is important to keep the discarded process material clean as dust, moisture and impurities like sand and earth make recycling to quality products impossible. It is also important to avoid mixing of different types of plastics or colours as this may make recycling impossible or more difficult.

It has also been shown that it is difficult to recycle complex discarded process material based on two or more different types of plastics or other materials. However, by looking into untraditional areas of utilisation there may still exist interesting possibilities for recycling.

In the project a guidance for the plastic industry has been prepared with good advise on recycling of process materials. The guidance is based on decision trees which lead the user through a number of decisions necessary for choosing the optimal solution in consideration of environmental and economic issues.

The guidance also describes some simple test methods which can be used in connection with the assessment of process material.

The status of the European work on norms in CEN regarding methods for characterisation of recycled plastics is also described.

Activities at the participating producers

In the project has been focused on a number of actual recycling issues in relation to the participating companies.

It has very positively been shown that quite high amounts of external EPS-packaging waste can be added to virgin material after downsizing without problems with the mechanical strength of the products. The influence of different additions on E-module and compressive strength is shown in Table 0.3.

Table 0.3: Experimental results from Danish Technological Institute.

Subject n.r.	% added recycled-EPS	Density Kg/m ³	Pressure E-module MPa	Compressive strength at 10 % deformation Mpa
A	10	22.3 (0.5) ¹	5.5 (0.4)	0.14 (0.01)
B	25	21.8 (0.4)	5.2 (0.2)	0.13 (0.01)
C	30	24.2 (0.7)	5.0(1.0)	0.13 (0.02)
D	10	24.5 (0.5)	6.6 (0.6)	0.16 (0.01)
E	10	20.9 (1.0)	5.4 (0.6)	0.14 (0.01)
F	25	21.6 (0.6)	5.0(0.4)	0.12 (0.01)
G	30	24.1 (1.2)	6.1 (0.2)	0.15 (0.01)
H	10	23.7 (0.5)	6.5 (0.2)	0.16 (0.01)
I	18	23.7 (0.5)	5.9 (0.3)	0.15 (0.01)
J	25	24.0 (0.3)	6.2 (0.3)	0.15 (0.01)
K	10	24.5 (1.0)	5.6 (1.1)	0.16 (0.02)
L	18	23.2 (0.6)	5.8 (0.3)	0.15 (0.01)
M	25	23.1 (0.4)	5.5 (0.2)	0.15 (0.01)
N	10	21.4 (0.6)	4.9 (0.9)	0.14 (0.01)
O	30	21.2 (0.5)	4.7 (0.6)	0.13 (0.01)
P	30	24.9 (0.8)	7.0 (0.4)	0.17 (0.01)

¹ Numbers en paranthesis represent the standard deviation for the measurement

Within the group of thermoset plastics, a number of experiments regarding recycling of discarded process material from polyurethane based products to new products has been performed. Experiments have been performed with re-feeding of the material in the reaction casting process, embedding in rubber, and embedding in polyurethane. Most promising have been the experiments with embedding in pre-polymerised isocyanate/polyole.

Experiments have been performed with mixed polypropylene granulate in different colours for production of buckets. Here it has been shown that it is possible to obtain nice buckets by recycling of white granulate with print on one side by optimising the casting parameters. This has not been possible with the very coloured mixed granulates. However, a demonstration of separation technologies based on colour sensors and nozzles with pressurised air showed that it was possible to separate a selected colour to a purity of 99.9% using two sorting steps and particle sizes from 2-6 mm.

A number of downsizing experiments have been performed on different granulators. The downsized material includes material based on complex products with several layers. For these types of material possibilities of untraditional use have been suggested for the downsized fractions.

Finally, experiments with a better sorting of discarded process material have been performed. The experience helped increase the degree of internally recycled material.

1 Kortlægning

1.1 Kasseret procesmateriale i plastvirksomheder

Der opstår et vist spild af materialer ved alle plastprocesser, uanset om det er termoplastiske materialer eller hærdeplaster der formgives. Der kan også opstå spild af materialer ved efterkonfektioneringsprocesser. Spildprocenten vil i en vis udstrækning afhænge af hvilken forarbejdningsproces der er tale om, men også produktionens størrelse vil spille ind. Således vil spildet være størst for små serier, idet spildet typisk sker i opstarts- og stopfasen.

En anden kilde til materialespild er emner der fremstilles med fejl. Det kan både skyldes uregelmæssighed i processen eller problemer med materialet (eksempelvis fugt). Selvom den sidste type spild helst ikke skulle opstå, så sker det alligevel. Det vil typisk kunne ske når man begynder at arbejde med materialer man ikke er kendt med, eller forsøger sig med en ny teknologi eller begynder at levere til et nyt kundesegment hvor der er særlige krav til renhed (fx fødevarer/medico).

Umiddelbart vurderes det at fremstilling af produkter ved udstansning af plademateriale, folie efter bukning eller vakuumformning, er et af de områder hvor der opstår en betydelig mængde kasseret procesmateriale (spild) i form af afskær. Det samme gælder også ved udskæring og konfektionering af måtter fremstillet i en hærdeplast som polyurethan. Afskær kan ved disse produkttyper ligge i området 5–25 % afhængig af geometri og procesbetingelser.

Ved fremstilling af EPS er der den specielle problematik at der sker et uhensigtsmæssigt materialetab hvis emnerne fremstilles med for høj vægtfylde i forhold til specifikationen. Internt produktionsspild genanvendes for EPS' vedkommende allerede i nye produkter umiddelbart efter neddeling, så for denne del af den plastforarbejdende industri er det nok så interessant at se på mulighederne for eksternt genbrug af brugt emballage.

Endvidere kan der opstå kasseret procesmateriale ved destruktiv prøvning.

Når det gælder genanvendelse af procesmateriale til nye produkter, er der betydelige forskelle i hvor let det lader sig gøre i egen produktion.

Simplest er det for de virksomheder der anvender termoplastiske plasttyper til emnefremstilling, så længe de ikke er coekstruderede eller på anden vis blevet kombineret eller samstøbt med et andet materiale i form af en anden plasttype, et indlæg (metal/tekstil), en limning eller en laminering

For hærdeplasttyperne er genanvendelse besværliggjort på grund af tværbindingerne mellem molekylkæderne som forhindrer materialet i at kunne gensmeltes til samme produkttype. Ofte er hærdeplasttyperne glasfiberforstærkede hvilket gør at en neddeling ikke ligger lige for i relation til intern genanvendelse af processpild.

De ovenfor nævnte forhold bevirker at de problemstillinger den enkelte plastvirksomhed står over for i relation til intern genanvendelse af processpild, er meget forskellige, idet de ikke alene er afhængig af hvilken proces og materialetype man anvender, men også af krav til de færdige produkter med hensyn til mekaniske egenskaber eller helt andre krav der stilles som følge af lovmæssige krav eller kundespecifikke krav. Sådanne krav kan bl.a. omfatte krav i relation til produkter beregnet til drikkevandsforsyning, levnedsmidler, gastransport, medicosektoren eller til områder hvor der stilles krav til brandmæssige egenskaber.

For at få en idé om hvilke problemstillinger den enkelte plastvirksomhed har i relation til genanvendelse af eget processpild, har der været gennemført en spørgeskemaundersøgelse først i relation til de i projektet direkte deltagende virksomheder, men senere også til en bredere del af Plastindustrien i Danmarks medlemsvirksomheder. I undersøgelsen er også indgået spørgsmål om hvorvidt man kan anvende eksternt plastspild i sin produktion, og virksomhedernes holdning til oprettelse af et kontaktforum hvor virksomhederne kan udveksle oplysninger om plastspild som man gerne vil modtage eller afsætte.

Plastspildet vil fremover i de fleste sammenhænge blive betegnet som kasseret procesmateriale for at understrege at det som udgangspunkt er en værdifuld ressource.

1.2 spørgeskemaundersøgelse

Der er udsendt spørgeskemaer (Bilag A) til 49 virksomheder inkl. projektets 7 deltagende virksomheder. Der er modtaget 25 svar.

Spørgsmålene omfatter følgende:

1. Hvor stor er mængden af produktionsspild (kasseret procesmateriale) af plast (inkl. spild der genanvendes)?
2. Procentvis fordeling af produktionsspild fordelt på processer og materialer
3. Hvad sker der med produktionsspildet?
4. Hvad gøres for at holde produktionsspildet rent og de forskellige plasttyper adskilt?
5. Såfremt materialet ikke kan genanvendes, sælges eller afsættes på anden vis - hvad er i givet fald årsagen til dette?
6. Kan I bruge udefra kommende produktionsspild i produktionen?
7. Hvis I kan bruge udefra kommende produktionsspild, hvilke krav stiller I så til materialet?
8. Synes I at oprettelsen af et kontaktforum er en god idé?
9. I bekræftende fald, har I nogle ideer til hvorledes et sådant kontaktforum kunne tænkes opbygget for at I ville gøre brug af det?
10. Kontrol/analyseudstyr: Hvilket udstyr anvendes til kontrol af råvarer/produkter?
11. Har I erfaringer med internt produktionsspild/regenerat som I er villige til at dele med andre i branchen?
12. Har I kommentarer til spørgeskemaundersøgelsen der kan være af nytte for plastindustrien?
13. Ønsker I at være anonym?
14. Er virksomheden certificeret?

Svarene er indtastet i en database hvorfra der kan laves passende udtræk af oplysninger.

Svarene er efterfølgende anonymiseret på de punkter hvor virksomhederne har ønsket dette.

De samlede mængder af affald fra de virksomheder der har besvaret spørgeskemaerne, er vist i Tabel 1.1. Da spørgeskemaet er udformet så svarene kun opgives inden for opgivne intervaller (fx 100-500 ton), findes ikke data for den nøjagtige mængde processpild. I stedet er beregnet den mindste og den største mængde processpild ud fra de opgivne intervaller samt middelværdien af fordelingen i %.

Tabel 1.1 Produktionsspild og behandling

Mængder af produktionsspild	Minimum (ton)	Maksimum (ton)	Fordeling %(middel)
Produktionsspild fra virksomheder	13.015	15.965	
Behandling af produktionsspild			
Affald genanvendt i egen produktion	1.350	2.659	14
Solgt til anden virksomhed	7.582	8.317	55
Til forbrænding	3.278	3.827	24
Til deponering	795	1.155	7

I Tabel 1.1 er som nævnt en vis usikkerhed vedrørende de indberettede totalmængder grundet den grove opdeling, men også grundet at nogle af de virksomheder der har mængder over 500 ton, ikke har opgivet den omtrentlige mængde. Der er endvidere mulighed for at nogle virksomheder ikke har medregnet det interne spild der genbruges rutinemæssigt i produktionen. Mængden af produktionsspild kan således godt være større end de indberettede mængder.

Af Tabel 1.1 ses at den foretrukne behandling er salg til anden virksomhed (55 %). Mængden som nyttiggøres ved forbrænding, udgør 24 %, mens mængden til deponering kun udgør 7 % svarende til ca. 1.000 ton.

I Tabel 1.2 er vist en vægtbaseret fordeling af processpild på processer. Her ses at hovedparten (45 %) repræsenteres af ekstruderingsprocesser.

Tabel 1.2 Vægtbaseret Fordeling af processpild på processer

Proces	% af samlet mængde processpild (middel) i undersøgelse (vægtbaseret)
Sprøjttestøbning	9
Ekstrudering	45
Folieblæsning	12
Vakuumbremning	4
RIM-teknik	0,6
Andet	30

Hvis man ser på fordelingen ud fra antal af virksomheder i en separat undersøgelse udført af Plastindustrien i Danmark ses af Tabel 1.3 at sprøjttestøbningsvirksomheder udgør det største antal (30 %). Fordelingstallene i Tabel 1.3 kan ikke umiddelbart sammenlignes med de vægtbaserede fordelingsstal i Tabel 1.2.

Tabel 1.3 Fordeling af antal virksomheder på anvendte processer

Proces	% fordeling af virksomheder ud fra plastindustriens data om 222 producerende virksomheder (Baseret på antal)
Sprøjtstøbning	29,7
Ekstrudering	13,1
PUR	5,0
EPS	3,6
Termoformning	11,7
Støbning	7,2
Pressestøbning	1,4
Regranulering	3,6
Fiberarmeret hærdeplast	6,3
Rotationsstøbning	1,8
Ikke angivet proces	16,7

Endelig er der i Tabel 1.4 udtrukket data vedrørende fordeling af processpild på polymertyper. Her ses at over halvdelen (55 %) udgøres af PP/PE-polymerer.

Tabel 1.4 Fordeling af processpild på polymertyper

Polymertype	% af samlet mængde (middel)
PE/PP	55
ABS	1,7
PS	7
PVC	11
PUR+EPS	3,3
PET	0,9
Ikke oplyst kilde samt blandinger af polymerer	21

I det følgende er angivet anonymiserede eksempler på svar på en del af de resterende spørgsmål i spørgeskemaundersøgelsen:

Spørgsmål 4. Hvad gøres for at holde produktionsspildet rent og de forskellige plasttyper adskilt?

Eksempler på svar:

- Indpakning eller pakning i container efter typer
- Granulering i kværn med én kværn pr. farve
- Bearbejdning af forskellige polymerer i hver sit område, omgående granulering af opstået produktionsspild
- Kildesortering ved produktionslinier med efterfølgende håndtering af kasseret procesmateriale af særligt personale
- Umiddelbar opsamling af produktionsspild med lagring efter type og farve

Spørgsmål 5. Såfremt materialet ikke kan genanvendes, sælges eller afsættes på anden vis - hvad er så årsagen til dette?

Eksempler på svar:

- Processpildet er sammensat af flere polymerer
- Plasten har ændret materialeegenskaber, så den ikke kan genbruges i egne processer
- Plasten er smeltet sammen i en klump som man ikke kan håndtere

Spørgsmål 7. Hvis I kan bruge udefra kommende produktionsspild, hvilke krav stiller I så til materialet?

Eksempler på svar:

- Der stilles krav til farve og flydeegenskaber mv., det skal være fri for fremmedlegemer

- En del virksomheder kan bruge polymerer som fx PE, PP, PVC når de ikke er forurenede med rester af andre polymerer og er fri for snavs eller misfarvning (brændt). Blandede farver kan typisk accepteres

Spørgsmål 9. Hvis I synes et kontaktforum er en god idé, har I så nogle idéer til hvorledes et sådant kontaktforum kunne tænkes opbygget for at I ville gøre brug af det?

Eksempler på svar:

- Det skal være en affaldsbørs hvor man kan beskrive sit affald, så andre kan finde frem til det og evt. finde alternativ anvendelse
- Et kontaktforum bør opdeles efter forarbejdningsproces
- En hjemmeside hvor man kan annoncere med sit spild, type og mængde
- Et "kontaktbureau" for plast vil være til stor hjælp for producenter og aftagere af spild
- Internetbaseret kontaktforum med deltagere af producenter, transportører, oparbejdere (også udenlandske) og behandlere
- Erfaringen er at det største problem med et kontaktforum er at finde virksomheder der kan anvende regenereret plast der i praksis aldrig har helt samme kvalitet som jomfruelige varer.
- Den bør være internetbaseret
- Information over mængder og typer vil være omfattende at opdatere (kræver ressourcer), mens simple lister med typer man vil af med eller gerne vil have, er relevante og måske til at styre for plastindustrien

Spørgsmål 10. Kontrol/analyseudstyr: Hvilket udstyr anvendes til kontrol af råvarer/produkter?

Brugen af kontroludstyr varierer i besvarelserne. Hovedparten af de virksomheder som ekstruderer, baserer kontrollen på leverandørcertifikater og analyser fra leverandøren. Ved andre procestyper kan dog indgå meget forskelligt analyseudstyr, fx simple analyser som tykkelsesmålinger, men også udstyr til måling af mekaniske egenskaber, gennemskinnelighedsmåler, GC, IR mv.

Spørgsmål 14. Certificeringer

- 18 virksomheder er kvalitetscertificerede efter ISO 9001, 9002 eller andet svarende til 37 %
- 13 virksomheder er miljøcertificerede efter ISO 14001, EMAS eller andet svarende til 27 %
- Flere virksomheder har igangsat certificering

Fordelingstallene for branchen er ifølge plastindustrien at 27 % er kvalitetscertificerede, og 14 % er miljøcertificerede.

1.2.1 Overordnede konklusioner fra undersøgelsen

Samlet viser undersøgelsen at det kun er en begrænset mængde af processpildet som ikke nyttiggøres, svarende til ca. 7 %. Der er dog stadig en del affald som sendes til forbrænding (24 %).

Genanvendelse af affaldet internt kræver kildesortering, neddelingsudstyr, lagring efter type og farve samt uddannelse af personale i korrekt håndtering

Affald som ikke kan genanvendes, består fx af blandede polymerer, er smeltet sammen til store klumper eller har ændret egenskaber, så det ikke kan overholde kravene til procesmateriale mere.

Der er udtrykt en rimelig stor interesse for en eller anden form for internetbaseret kontaktforum.

2 Håndtering og genanvendelse af kasseret procesmateriale

2.1 Overordnede overvejelser når procesmateriale ønskes genanvendt

Kasseret procesmateriale af plast repræsenterer som udgangspunkt betragtelige værdier, idet de virgine materialer koster adskillige tusind kroner pr. ton som dermed kan spares ved intern genanvendelse, ligesom plastmaterialerne kan afsættes eksternt til lignende beløb hvis plastmaterialerne er sorterede. Hvis man sender affaldet til forbrænding eller deponering, må man derimod af med op mod 1000 kr./ton. Der er altså en potentiel besparelse på mindst 3000 kr./ton til at dække omkostningerne i forbindelse med intern genanvendelse.

Fra spørgeskemaundersøgelsen i afsnit 1.2 haves at mængderne som bliver sendt til forbrænding fra de 25 virksomheder, som svarede på undersøgelsen, udgør ca. 3.500 tons. Dette repræsenterer i sig selv en udgift til forbrænding på op til 3,5 mio. kr. for virksomhederne. Hertil kommer den mulige potentielle indtægt på måske 2000 kr./ton svarende til 7 mio. kr. hvorfor der er omkring 10 mio. kr. til at dække eventuelle omkostninger i forbindelse med genanvendelse blot for disse virksomheder.

Omkostningerne til enten intern eller ekstern genanvendelse af kasseret procesmateriale er afhængig af mængderne af materiale. Genanvendelse kræver således investering i passende udstyr til opsamling og behandling af affaldet ligesom der er udgifter til transport af materiale som skal behandles eksternt. Omkostningerne til genanvendelse pr. ton kasseret procesmateriale vil generelt falde når mængderne øges, idet udgifterne pr. ton kasseret procesmateriale til opsamlingsmateriel og andet nødvendigt udstyr falder når mængden af kasseret procesmateriale stiger. For små mængder kasseret procesmateriale kan omkostningerne til genanvendelse blive så store, at det er billigere at sende affaldet til forbrænding eller deponering, men hvad der er den bedste økonomiske løsning kræver hver gang en grundig analyse af hvad der kan lade sig gøre.

Når der opstår kasseret procesmateriale i en virksomhed hvor mulighederne for genanvendelse ønskes undersøgt, er der en række overvejelser som må gennemføres. Som det fremgår efterfølgende, adskiller plasten sig fra andre materialer der normalt genanvendes (fx jern og kobber) ved den mangfoldighed af forskellige plasttyper og kvaliteter der er på markedet. Nærværende kapitel skulle gerne være en hjælp til at få et overblik over muligheder for såvel primær som sekundær genvinding af plast og dermed hjælpe plastindustrien til at øge sin genvinding af kasseret procesmateriale.

2.1.1 Genanvendelse af procesmaterialer fra plastproduktion

Plastmaterialer omfatter termoplastiske typer og hærdeplasttyper. De termoplastiske typer består af lange molekyll kæder som for de almindelige typer som polyethylen, polypropylen, polystyren og PVC er baseret på lange

kæder af kulstofatomer. For de tre første typers vedkommende er det eneste andet kemiske grundstof som er knyttet til kæderne brint. For PVC indgår grundstoffet klor på vægtbasis med en stor andel sammen med brint. Andre termoplastiske plasttyper kan ud over kulstof indeholde grundstofferne ilt, kvælstof, svovl, fluor. Endvidere kan de være forstærkede med fibre eller tilsat fyldstoffer som talkum og kridt. Karakteristisk for de termoplastiske typer er at de kan omsmeltes i forbindelse med genvinding.

Det er ikke muligt for hærdeplasttyperne da der ved hærdeningen af plasten sker en sammenbinding af molekyllkæderne, så der opstår et stort makromolekyle. Med andre ord kan hærdeplast ikke smeltes.

Materiale-genvinding kan for sidstnævnte typers vedkommende således kun ske ved en neddeling og efterfølgende brug som fyld i andre produkter eller ved en kemisk nedbrydning til nye råstoffer.

Overvejelserne i forbindelse med genanvendelse afhænger således i første omgang af om det er genanvendelse af termoplastiske materialer eller af hærdeplasttyper der er tale om.

På Figur 1 er vist de overvejelser man bør igennem når kasseret procesmateriale skal genanvendes på den økonomisk mest fordelagtige måde.

Først må det opgøres hvilke fraktioner af kasseret procesmateriale der forekommer i produktionen og hvor store mængderne er af hver fraktion.

Herefter følger en kortlægning af hvad hver fraktion af procesmateriale består af med hensyn til polymersammensætning, tilsatte fyldstoffer og additiver og om der er tale om sammensatte konstruktioner som laminater, coekstruderede emner med indstøbte dele, emner med fiberarmering m.v.

Hvis der er tale om sammensatte konstruktioner, er genanvendelsen mere vanskelig end hvis der er tale om rene polymerer som i princippet normalt kan genanvendes efter sortering og passende neddeling.

Genanvendelse af sammensatte konstruktioner kræver typisk en speciel oparbejdning som måske er for dyr til, at det kan betale sig med den aktuelle mængde i forhold til nyttiggørelse ved forbrænding.

Nogle plastmaterialer tilsættes specielle fyldstoffer som kan ændre egenskaberne af plasten betydeligt i forhold til polymerer uden fyldstof. Her vil fx kompositmateriale med indhold af glaskugler ikke umiddelbart kunne genanvendes sammen med de rene polymerer.

Den sidste gruppe af stoffer som kan ændre egenskaberne af plasten er additiver som blødgørere og flammehæmmere. Man vil således ikke kunne genanvende plast med blødgørere til produktion af hård plast, mens tilsætning af flammehæmmere kan have betydning for afsætning til produkter, hvor det er et krav at der ikke indgår flammehæmmere.

Sammensætningen af plastmaterialerne og herunder de tilsatte stoffer har betydning for fysisk-kemiske egenskaber som smeltepunkt, flydeegenskaber og densitet af plasten. Således vil de fleste fyldstoffer eller farvepigmenter øge densiteten af plasten, da fyldstoffer, farvepigment har større vægtfylde end polymeren - fx har titaniumdioxid en vægtfylde på $4,3 \text{ g/cm}^3$ mod vægtfylden af plast som ligger fra $0,9\text{-}1,4 \text{ g/cm}^3$, ligesom plasten bliver mere tyktflydende (viskøs).

Mekaniske egenskaber er meget væsentlige parametre både for alle plasttyper fx trykstyrke eller trækstyrke. Styrken af polymerer falder når materialerne genanvendes, da polymerernes kæder gradvist nedbrydes ved gentagen opvarmning, hvorfor man normalt kun kan tilsætte en vis mængde genanvendt materiale hvis en tilstrækkelig styrke skal opnås. Kravene til styrke kan være lavere hvis materialerne afsættes til anvendelse i andre produkter.

I afsnit 2.3 diskuteres relevante testmetoder og normer som kan benyttes til at få fastlagt de præcise specifikationer af det kasserede procesmateriale.

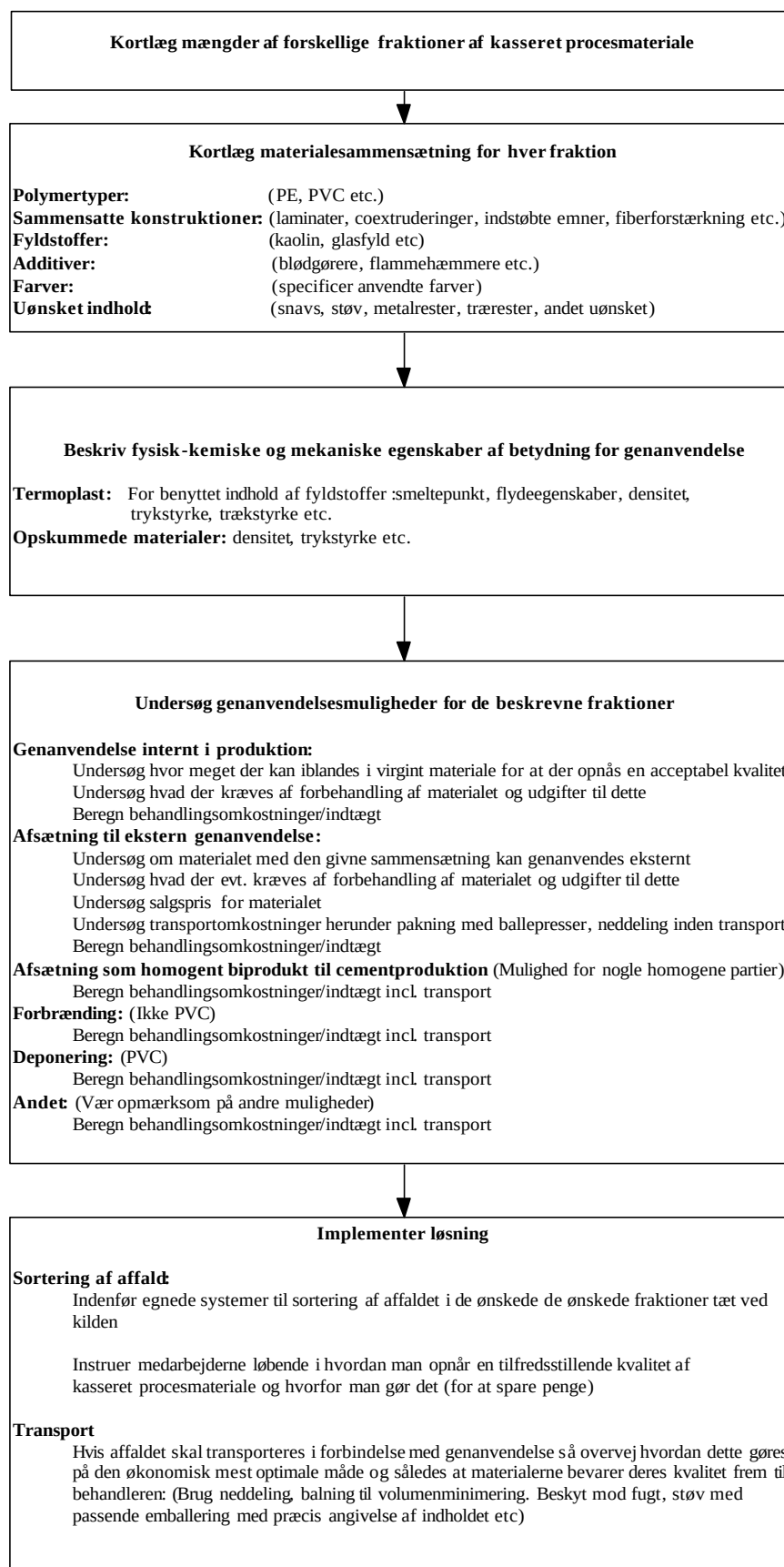
Ud fra den kortlagte materialesammensætning og fysisk-kemiske og mekaniske egenskaber for de forskellige fraktioner af kasseret procesmateriale skal det analyseres, hvilken *behandlingsform eller afsætningsmulighed* der er den økonomisk mest favorable.

Eksempler kan være:

- Genanvendelse internt i produktion
- Afsætning til ekstern genanvendelse
- Afsætning som homogent biprodukt til cementproduktion
- Forbrænding
- Deponering

Denne vurdering kan være vanskelig at foretage, da det kræver kendskab til:

- Hvad kan lade sig gøre at genanvende i egen produktion, herunder fastlæggelse af hvad der kræves for at materialet kan bringes i en form, så det kan genanvendes, og hvor meget der kan opblandes i virgint materiale uden at egenskaberne af produktet forringes
- Hvad eksterne behandlere/aftagere kan acceptere af kvaliteter til genanvendelse, og hvilken pris der kan opnås for de enkelte kvaliteter



Figur 1 Overvejelser ved genanvendelse af kasseret procesmateriale

I forbindelse med både intern og ekstern oparbejdning kan det være nødvendigt at behandle affaldet, fx neddele dette eller frasortere uønskede emner.

I afsnit 2.2 er vist en oversigt over mulige oparbejdningsmetoder som kan bringes i anvendelse når kasseret procesmateriale skal oparbejdes til en genanvendelig kvalitet. En del af metoderne kræver en stor mængde affald for at være rentable og vil derfor være mest relevante for aftagere af plastaffald eller producentvirksomheder som går sammen om at investere i fælles løsninger.

Nogle sammensatte plastprodukter kan efter analysen vise sig at være så vanskelige at genanvende at det ikke er rentabelt. Her bør man overveje om man ved at ændre i design og materialevalg kan opnå et produkt som er lettere at genanvende. Man kan her overveje at bruge nogle af metoderne i plastindustriens ECO designmanual.

I afsnit 2.4 er opstillet nogle beslutningstræer ud fra produktionsmetoder (ekstrudering, sprøjtestøbning, folieblæsning, vakuumformning, fremstilling af EPS og fremstilling af PUR) som kan hjælpe med de overvejelser og analyser der kræves, når det skal vurderes hvad man skal gøre med en given fraktion af kasseret procesmateriale. Beslutningstræerne er suppleret med eksempler.

Når de forskellige behandlingsmuligheder/aftagere er undersøgt, kan man beregne hvad der er det mest økonomisk rentable med inkluderede omkostninger til transport til eventuelle eksterne aftagere.

Til sidst skal løsningen eller løsningerne implementeres, og her er det vigtigt at der etableres en velfungerende håndtering af det kasserede procesmateriale.

Dette kræver at der benyttes velegnede opsamlingsbeholdere og udarbejdes rutiner til sortering af affaldet tæt ved kilden, ligesom medarbejderne må instrueres grundigt i hvordan der skal sorteres og hvad der sker hvis man ikke overholder sorteringskravene. Hvis der er mange typer affald som skal sorteres bør der udvikles opsamlingssystemer med letforståelig mærkning, farvekoder mv. For at bevare kvaliteten af procesmaterialet frem til det genanvendes, er det vigtigt at procesmaterialet holdes fri for snavs, fremmedlegemer, fugt m.m. hvorfor passende emballering er nødvendig.

For at spare transportomkostninger og lagerfaciliteter kan det være nødvendigt at neddele procesmaterialet eller presse dette sammen hvis der er tale om voluminøst affald som folier eller lignende.

2.2 Oparbejdningsmetoder

Der findes en række forskellige oparbejdningsmetoder til neddeling og sortering af plastspild. En del af metoderne forudsætter ret store mængder plastspild for at kapaciteten af udstyret kan udnyttes. Derfor er metoderne kun relevante for større virksomheder eller et antal mindre virksomheder som går sammen om at få oparbejdet deres plastspild, samt for oparbejdere af plastspild.

2.2.1 Neddeling

Neddeling til passende partikelstørrelse er en nødvendig forudsætning for genanvendelse af de fleste plastmaterialer. Hvis der er tale om store emner, kræves evt. en grovneddeling inden fremstilling af granulat. Er der tale om bløde folier, kræves neddelingsudstyr med skarpe knive som skærer folierne til mindre bidder, mens hårde emner ud over at kunne skæres i bidder også vil kunne nedknuses.

Til separation af laminater findes specielle møller som under en kraftig G-påvirkning som følge af høj rotation kan rive laminatkonstruktioner fra hinanden og på den måde separere materialerne. Eksempler er plast med aluminiums- eller papirslag eller plast pålagt et andet lag plast.

2.2.2 Densitetsseparation

En række plastmaterialer har forskellig densitet og kan derfor separeres ud fra forskellene i materialernes densitet. I Tabel 2.1 er vist en oversigt over densiteter for en række polymerer. Det ses at PE og PP har densiteter mindre end vands (1g/cm^3) og således vil flyde oven på vand, mens fx PVC har en densitet større end vands hvorfor PVC vil synke til bunds i et kar med vand.

Tabel 2.1 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

2.2.2.1 Tør separation med luftborde etc.

Separation af plastblandinger med forskellig densitet kan udføres med luftborde som fx produceres af Eldan i Danmark. En god separation kræver at partikelstørrelsen er meget ens da store partikler med lav densitet vil blive separeret sammen med små partikler med høj densitet. Kapaciteten af separationsanlæggene er typisk i størrelsesordenen 2-3 ton/time. Kapaciteten svarer til at der kan behandles ca. 4.000 ton/år ved drift i et skift.

Leverandøreksempler: Eldan (www.eldan-sr.com), Trennso-technik (www.trennso-technik.de)

2.2.2.2 Våd massefyldeseparation

Separation af plastmaterialer med forskellig densitet kan foretages i væsker hvor densiteten er justeret til at ligge mellem de to materials densitet. Separationen kan fx justeres ved at benytte saltopløsninger af forskellig koncentration hvis plasten skal separeres ved densiteter over 1 g/cm^3 eller med alkohol/vandblandinger hvis der skal separeres ved densiteter $< 1\text{ g/cm}^3$.

Kapaciteten af en del kommercielt tilgængelige anlæg er typisk $\frac{1}{2}$ -1 ton/time.

Hvis der skal sorteres ved to densiteter, svarer kapaciteten til at der kan behandles ca. 800 ton/år ved drift i et skift.

Leverandøreksempler: Flottweg (www.flottweg.com) , TLT Turbo Lamiare Trenntechnik (www.tlt-recycling.de)

2.2.3 Farvesortering

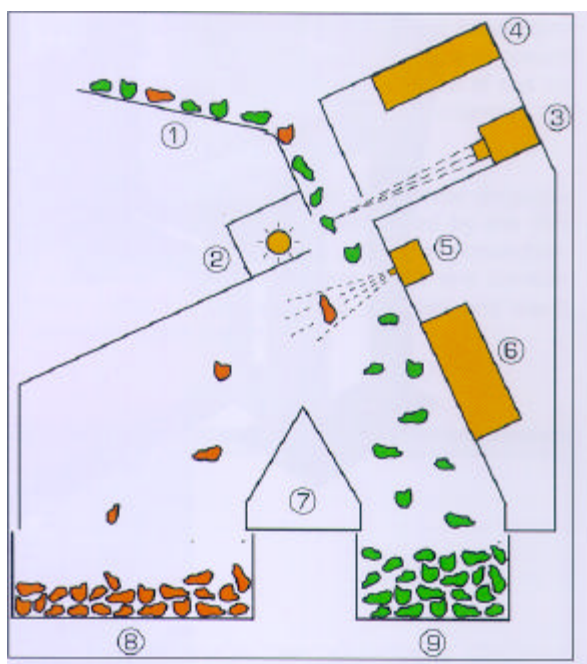
Siden 80'erne er der sket en rivende udvikling af udstyr som kan foretage farveseparation af partikelblandinger. Systemerne er baseret på princippet som er illustreret i Figur 2. Partiklerne doseres til et højhastighedstransportbånd, så de befinder sig enkeltvis. En sensor bestående af en linescanner registrerer partiklernes position og farve, og partikler med ønsket farve skydes efterfølgende væk vha. luftdyser.

De bedste systemer kan separere partikler af størrelse ned til ca. 2-3 mm.

Kapaciteten er afhængigt af båndbredden og tilført materiale, herunder partikelstørrelsen, men for 1 m båndbredde haves typisk en kapacitet på 2-4 ton/time.

Kapaciteten svarer til at der kan behandles ca. 5.000 ton/år ved drift i et skift.

Leverandøreksempler: SSE Separations Systems Engineering GmbH (www.metall-sse.de), S+S Search and Separate (www.ss-metal-detection.com)



Figur 2 farveseparation

2.2.4 Separation efter polymertype

Separation kan foretages efter polymertype på samme vis som på Figur 2, men hvor sensorerne arbejder i det nærinfrarøde eller det infrarøde område. Disse systemer kan fx detektere PE, PP, ABS, PC, PP, SAN, POM, PMMA, PS, PET og blandinger af plast, og det er endvidere muligt at detektere tilsatte flammehæmmere. Følsomheden er ned til 10 mm på de allernyeste systemer,

men de fleste arbejder i området over 30 mm partikelstørrelse. Kapaciteten for 1 m båndbredde er afhængig af det tilførte affald, herunder partikelstørrelsen, men ligger nogenlunde som ved farveseparation på 1-4 ton/time.

Kapaciteten svarer til at der kan behandles ca. 3.000 ton/år ved drift i et skift.

Leverandøreksempler: Titech Visionsort (www.titech.com), RT T Systemtechnik GmbH (www.unisort.com)

2.2.5 Elektrostatiske separationsmetoder

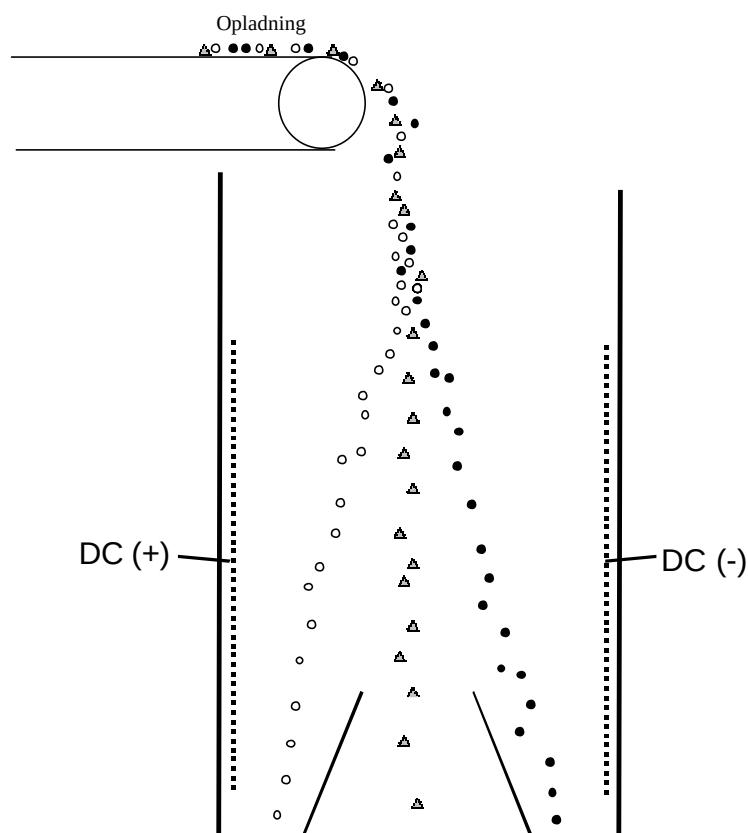
Hvis plasten indeholder metaller, kan disse frasepareres med corona separation som er baseret på en elektrostatisk opladning af en plast/metalblanding.

En del plasttyper vil også kunne separeres med triboelektrisk separation som vist på Figur 3. Ved processen oplades plastpartiklerne og modsat ladede partikler vil efterfølgende separeres i et faldkammer grundet tiltrækning til elektroder placeret i faldkammeret. Eksempler er ifølge leverandører fx PVC/PE-blandinger eller PVC/ABS-blandinger.

Kapaciteter er omkring 0,5-1 ton/time.

Kapaciteten svarer til at der kan behandles ca. 1.600 ton/år ved drift i et skift.

Leverandøreksempel: Hamos GmbH (www.hamos.com)



Figur 3 Triboelektrisk separation

2.3 Testmetoder og normer

2.3.1 Relevante normer og krav

Standardiseringsarbejdet inden for CEN vedrørende plast varetages af CEN/TC 249 - Plastics (TC = Technical Committee). TC 249 har som sit overordnede mål at standardisere terminologi, testmetoder og specifikationer for plast og plastbaserede materialer, halvfabrikata og færdige produkter (termoplast, hærdeplast, celleplast, bionedbrydelig plast, termoplastiske elastomerer, kompositter og forstærkningsmaterialer for plast) såvel som genanvendelse af plast. TC 249 beskæftiger sig ikke med gummi, ligesom specifikke slutproduktrelaterede problemstillinger heller ikke tages op hvis de er dækket af et eksisterende produkt TC. Fra CENs hjemmeside: www.cenorm.be kan følgende informationer om CEN/TC 249s arbejde med standardisering findes.

Arbejdsprogrammet omfatter i øjeblikket 151 projektreferencetitler.

Heraf vedrører 16 projekter standardisering i relation til genbrug af plast. Projekterne er følgende:

- 00249536 Plastics recyclate characterisation of PS
- 0024938 Classification and marking of plastics recyclate
- 0024939 Procedure for evaluation of the recycled content in products
- 0024940 Sampling procedures for testing plastics waste and recyclates
- 0024941 Standard practice for preparation of recycled plastics prior to testing
- 0024942 Standard practice for separation of solid contaminants using an extruded filter test
- 0024943 Guide for methods to identify contaminants in recycled plastics
- 0024944 Plastics recyclate characterisation of PE
- 0024945 Plastics recyclate characterisation of PP
- 0024946 Plastics recyclate characterisation of PVC
- 0024947 Plastics recyclate characterisation of PET-part 1: Extruded fibers
- 0024948 Plastics recyclate characterisation of PET- part 2: Injection blow-moulded containers
- 0024949 Plastics recyclate characterisation of PET- part 3: Extruded sheets
- 0024950 Characterisation of waste plastics
- 0024951 Guidelines for the development of standards relating to recycled plastics

Det er WG 11 (Working group) der beskæftiger sig med standardisering inden for genbrugsplast. Sekretær er Alex Price, BSI (British Standard Institute). Status for standarderne er at de er på vej til trin 32 (i nyeste terminologi 3020). Dette trin er et led i processen frem til endelig standard som betegnes som konsensusopbygning. På dette trin er standarderne stadig interne arbejdsdokumenter i arbejdsgruppen. Først når standarderne passerer fra gruppe 30 til gruppe 40, passerer de fra arbejdsgruppen op i den overordnede komité TC 249 til behandling.

Udkastene til standarderne er ikke offentligt tilgængelig for andre end medlemmerne af arbejdsgruppen. I Danmark kan man anmode Dansk Standard om at blive udpeget som national ekspert i arbejdsgruppen. På den måde kan man både se hvor langt man er nået i formuleringen, og påvirke standardernes form og indhold. Fra en idé til ny standard opstår, og til endelig godkendt standard foreligger, går der typisk en tiårig periode. Der kan således i nærværende tilfælde være 5-6 år tilbage inden der foreligger anerkendte standarder for genbrugsplast, ligesom der er mulighed for at nogle af udkastene til standarder ikke ender med at blive standarder hvis arbejdet opgives.

Ud over standarder kan lovgivningsmæssige krav have betydning for mulighederne for at genanvende kasseret procesmateriale. Et eksempel er EUs emballagedirektiv hvor det nye mål for genanvendelse, 22,5% skal opfyldes senest i 31. december 2008 hvilket kan medføre at det kan blive nødvendigt at indsamle flere emballager af plast for at nå målet. Hvis der grundet emballagedirektivet således opstår større aktivitet i Danmark med afsætning og oparbejdning af emballageplast, kan dette få betydning for muligheden af at afsætte kasseret procesmateriale med sammenlignelige egenskaber.

2.3.2 Beskrivelse af simple testmetoder

Det er ved spørgeskemaundersøgelsen konstateret at de i projektet deltagende virksomheder ikke har testudstyr i nævneværdig udstrækning, idet man så længe det drejer sig om virgint materiale, udelukkende forlader sig på leverandørspecifikationerne for den pågældende leverance. Når det drejer sig om internt produktionsspild, sker genbruget så tæt på produktionsudstyret som muligt, idet der ofte er opsat en lokal kværn ved den enkelte maskine, eksempelvis ekstruder eller sprøjtestøbmaskine.

Med hensyn til genanvendelse af eksternt plastspild er det i høj grad baseret på gensidig tillid mellem leverandør og bruger. Der sker som regel kun en visuel bedømmelse af plasten inden den tages i brug. Især har man en meget kritisk visuel vurdering af eksternt EPS før det accepteres til genanvendelse i nye produkter.

Fra den større spørgeskemaundersøgelse (afsnit 1.2) fremgår det at det er meget forskelligt fra virksomhed til virksomhed hvilket testudstyr man har til rådighed. Mange virksomheder har meget begrænset adgang til testudstyr ud over en analysevægt og måske lidt funktionsprøvninger. Enkelte større virksomheder har en ganske betydelig instrumentpark omfattende spektroskopisk, termisk og mekanisk måleudstyr.

Nedenfor skal der kort redegøres for hvilke forholdsvis simple metoder man kan bruge ved vurderingen af både internt og eksternt processpild inden plastmaterialet anvendes i produktionen. Efterfølgende sker der en beskrivelse af mere udstyrskrævende metoder som man kan anvende hvis man ønsker en mere dybtgående undersøgelse, eksempelvis første gang man får leveret et parti af eksternt produktionsspild.

En god reference hvis man vil gå mere i dybden omkring plastmaterialer, produktionsmetoder og konfektionering, er bogen Plastteknologi der anvendes på plastmageruddannelsen, og som er på dansk.

2.3.2.1 Simple metoder

1. Visuel bedømmelse

Til et førstehåndsindtryk af produktionsspild inden der sker en neddeling, men også efter at neddeling er sket er en visuel bedømmelse af råmaterialet en simpel, men ganske sigende metode til at vurdere det pågældende parti. Det er nemt at erkende om plasten er blevet forurennet ved at man har trådt på den eller ladet støv få adgang til den under opbevaring, transport eller neddeling. Det er også muligt at erkende sandskorn eller andre fremmedlegemer, der kan give en kærnvirkning i det færdige produkt.

Ved den visuelle bedømmelse er det også let at konstatere om materialet er forurennet med plast i anden farve, ligesom man kan konstatere evt. limrester, eller om plasten har været påbrændt.

Det er også muligt at konstatere om plasten er fugtig, men det er ikke muligt at konstatere fugtoptagelsen i plasten. For polyester og polyamider er det vigtigt at plasten er helt tør. Det kan ikke afgøres visuelt.

2. Lugttest

En lugttest på produktionsspildet kan foretages ved at anbringe en del af spildet i en lukket beholder i en given tid og ved en given temperatur. Det kan eksempelvis være i et rent glas med skruelåg der opbevares ved 30 °C, 40 °C eller 50 °C i 2-8 timer efter at materialet er kommet i glasset og låget skruet tæt på. Lugttesten kan foretages enten ved eksponeringstemperaturen eller efter afkøling til stuetemperatur.

Ved lugttesten er der mulighed for at vurdere om plasten er oxideret (harsk lugt), er kontamineret med kemikalier eller på anden vis har en ejendommelig lugt som følge af udefra kommende påvirkninger, eksempelvis mikrobiel aktivitet. Som reference anvendes virgin råvare eller emne fremstillet i virgint materiale under samme eksponeringsbetingelser.

3. Vægtfyldebestemmelse

En bestemmelse af et plastmateriales vægtfylde eller densitet er også en af de mere simple tests man kan udføre. 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 større end 1 g/cm³). Som saltblandinger kan anvendes natriumchlorid, kaliumchlorid, calciumchlorid eller andre letopløselige salte.

Testen udføres eksempelvis i et bredt bægerglas på eksempelvis en 100 g delprøve.

Der fremstilles en væske med en vægtfylde lidt over og en væske med en vægtfylde lidt under den aktuelle vægtfylde for plasttypen.

På den måde kan man fraseparere plast eller andre forureninger der enten er lettere eller tungere end den plasttype der testes for. Når vægtfylden er lidt over plastens vægtfylde, vil plasten lægge sig i overfladen, og de tungere forureninger vil synke til bunds. Omvendt vil plasten synke til bunds i den væske der har lavere vægtfylde end plasten, og de lette forureninger vil flyde ovenpå.

Metoden kan forfines så meget at man kan separere samme plasttype fra hinanden hvis der er anvendt tunge farvestoffer i plasten som eksempelvis titanhvidt eller jernoxid. Da der vil være stor forskel i vægtfylden for henholdsvis glasfiberarmerede typer og ikke-fyldte typer, vil disse kunne fanges ved en relativ grov variant af metoden.

I Plastic Analysis Guide findes en tabel over vægtfylderne for en lang række forskellige plastmaterialer, ligesom en del vægtfylder er listet i Tabel 2.1, og i The Merck Indeks findes i afsnit på side MISC-104 en oversigt over vægtfylderne af en række mættede saltopløsninger. I

Tabel 2.2 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.

Tabel 2.2 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

4. Brandtest

Den måde hvorpå en plast brænder, siger også noget om plastens sammensætning.

Det er en test man kun bør bruge med omtanke. Testen bør foregå i et stinkskaab med god ventilation, og der bør være et glas eller bæger med vand i nærheden til at slukke det brændende materiale i. Plastic Analysis Guide giver oplysninger om hvordan forskellige plasttyper opfører sig i testen. Der oplyses også om lugtindtrykket der kommer fra de forskellige typer plast. Det må frarådes at foretage lugttest, idet nogle plasttyper eksempelvis teflon og polyurethan afgiver meget giftige forbrændingsprodukter. Derimod kan man med fordel bruge 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 plasten der skal undersøges, og føres tilbage i flammen. Hvis flammen bliver grøn, er der halogener i prøven. Klor, brom og jod er eksempler på halogener. Testen er meget anvendt til identifikation af PVC, men brandhæmmere kan også give anledning til positivt testresultat.

5. Smelteinterval

Smeltepunktet af en plasttype kan også relativt let udføres uden avanceret udstyr, idet det kan ske på en opvarmet metalplade hvor plasten der skal undersøges, anbringes. Der kan anbringes flere korn af plasten, og tidspunktet hvor den begynder at smelte, til den er helt smeltet, registreres visuelt. Smeltepunkter for en række termoplaster er angivet i Plastic Analysis Guide. Der kan anvendes stoffer med kendt smeltepunkt til kalibrering. Problemet med metoden er som ved flere mere avancerede identifikationsmetoder at det er en meget lille delprøve man kan undersøge.

6. Fugt/vandabsorption

Fugtindholdet eller vandabsorption kan bestemmes som et vægttab ved opvarmning af plasten til 100 °C i en ovn til konstant vægt. Vægtændringen kan måles efter 1, 2 og 4 timer hvis man ikke i forvejen kender hastigheden hvormed vandet afgives. Polyamid kan eksempelvis tørres ved at varme plasten til 80 °C i en time i en vakuumovn, så anvendelse af vakuum i forbindelse med varme vil fremskynde tørringen og dermed også måling af fugtindholdet.

7. Svovlsyretest

Ved behandling i 37 % svovlsyre af polyether/polyester-PUR vil kun polyester- PUren hydrolysere efter 2 døgn.

2.3.2.2 Teknikker som kræver en større investering

Der findes mange måder at karakterisere plastmaterialer på ud over de meget simple tests der er anført i ovenstående afsnit. Når man køber en ny råvare af plast, vil leverandøren kunne medsende datablade med angivelse af en række parametre med tolerancer som plasten overholder. Det gælder ud over simple egenskaber som densitet, vandoptagelse, transparens m.m., vigtige egenskaber som viskositet og flydeforhold, samt en række mekaniske egenskaber og kemikaliebestandighed. Også vejrbestandighed og ældningsegenskaber er vigtige faktorer ved test af plast. Leverandøren vil på databladet henvise til standardiserede og anerkendte prøvningsmetoder. De i Danmark mest brugte standarder er udgivet af følgende organisationer:

- ISO Den Internationale Standardiserings Organisation
- EN Den Europæiske Norm
- ASTM American Society for Testing and Materials
- DIN Deutsche Institut für Normung
- SIS Sveriges Industri Standard
- DS Dansk Standard

EN-normerne vil på sigt erstatte mange af de nationale standarder eller blive udgivet som nationale standarder i Danmark med betegnelsen DS/EN.

Med hensyn til standarderne skal der henvises til de samlinger af metoder de ovennævnte organisationer løbende reviderer og udgiver.

Der findes også mere specielle metoder til karakterisering af plastmaterialer der ikke nødvendigvis er standardiserede.

Almindelig kendt er infrarød spektroskopisk analyse til bestemmelse af plasttype og additiver. Termiske metoder til bestemmelse af væggtabskurver (TGA) og til bestemmelse af smelteintervaller, glasovergangstemperatur m.m. (DSC, Differential Scanning Calorimetri) og OIT (oxygen induction time)

der er et mål for hvor godt plasten er stabiliseret mod oxidativ ældning, anvendes i en række kritiske anvendelsesområder som indgangskontrol for råvaren.

I mange tilfælde forlader virksomhederne sig på leverandørcertifikaterne og har ikke eget testudstyr til indgangskontrol.

Specifikationerne omfatter typisk:

- Materialetype
- Vægtfylde
- Hårdhed
- E-modul
- Trækstyrke
- Brudforlængelse
- Slagsejstyrke(Charpy)
- Smelteindeks (specificerede temperaturer og last)
- Elektriske egenskaber
- Optiske egenskaber
- Kemisk bestandighed

Det er indlysende at det vil være urealistisk at virksomhederne tester alle disse parametre igennem ved hver leverance. Det kræver eksempelvis fremstilling af normerede prøvestave at teste de mekaniske egenskaber.

Smelteindekset giver oplysninger om flydeegenskaber af termoplastiske materialer ved en given temperatur og last. Det er en forholdsvis simpel prøvning som kan gennemføres på ret simpelt og kommercielt tilgængeligt udstyr.

2.4 Nødvendige beslutninger ved håndtering af kasseret procesmateriale

Som udgangspunkt bør alle polymertyper holdes adskilt.

Herudover skal coekstruderede emner, laminater og emner med fyld af fibre, glas, indstøbte emner eller lignende holdes adskilt fra rene polymermaterialer da disse typisk vil kræve en særlig behandling for at kunne genanvendes.

Afhængigt af hvor store mængder der opstår, bør det overvejes om der også skal sorteres efter farver.

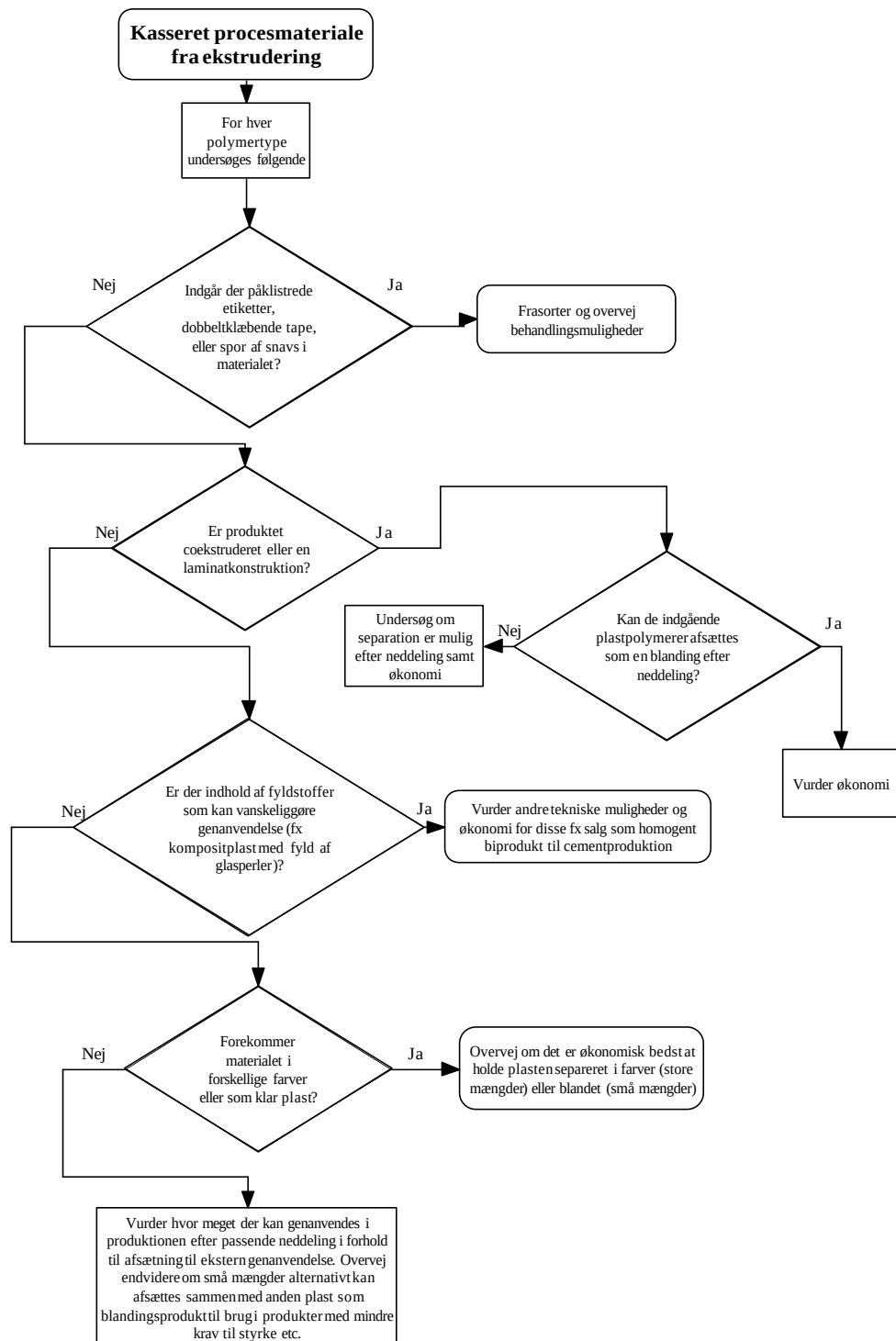
Alt kasseret procesmateriale skal holdes fri for snavs, fugt og anden forurening ved at man hurtigst muligt overfører materialet til egnede beholdere eller emballerer materialet på passende anden vis. Beholdere og emballage forsynes med oplysninger, evt. stregkoder, så alle relevante oplysninger om materialet kan genfindes (polymertype, fyldstoffer, farve etc.).

I det følgende er opstillet vejledende beslutningstræer for kasseret procesmateriale fra:

- Ekstrudering
- Sprøjttestøbning
- Folieblæsning
- Vakuumformning
- Fremstilling af EPS

- Fremstilling af opskummet PUR, polyester m.m.

På Figur 4 er vist et beslutningstræ for ekstruderet plast.



Figur 4 Kasseret procesmateriale fra ekstrudering

Eksempel:**Baggrund**

En virksomhed har 170 ton kasseret procesmateriale per år i blandede farver fordelt på 100 ton hård PVC i klumper fra start/stop, 25 ton ABS som fejlproducerede profiler fordelt på forskellige farver og 10 ton ABS som stop/start-klumper, 25 ton coekstruderet PVC-materiale og 10 ton fejlproducerede PS-profiler.

Problemstilling

Hvad er de tekniske muligheder for oparbejdning og den økonomisk mest fordelagtige behandling af hver fraktion?

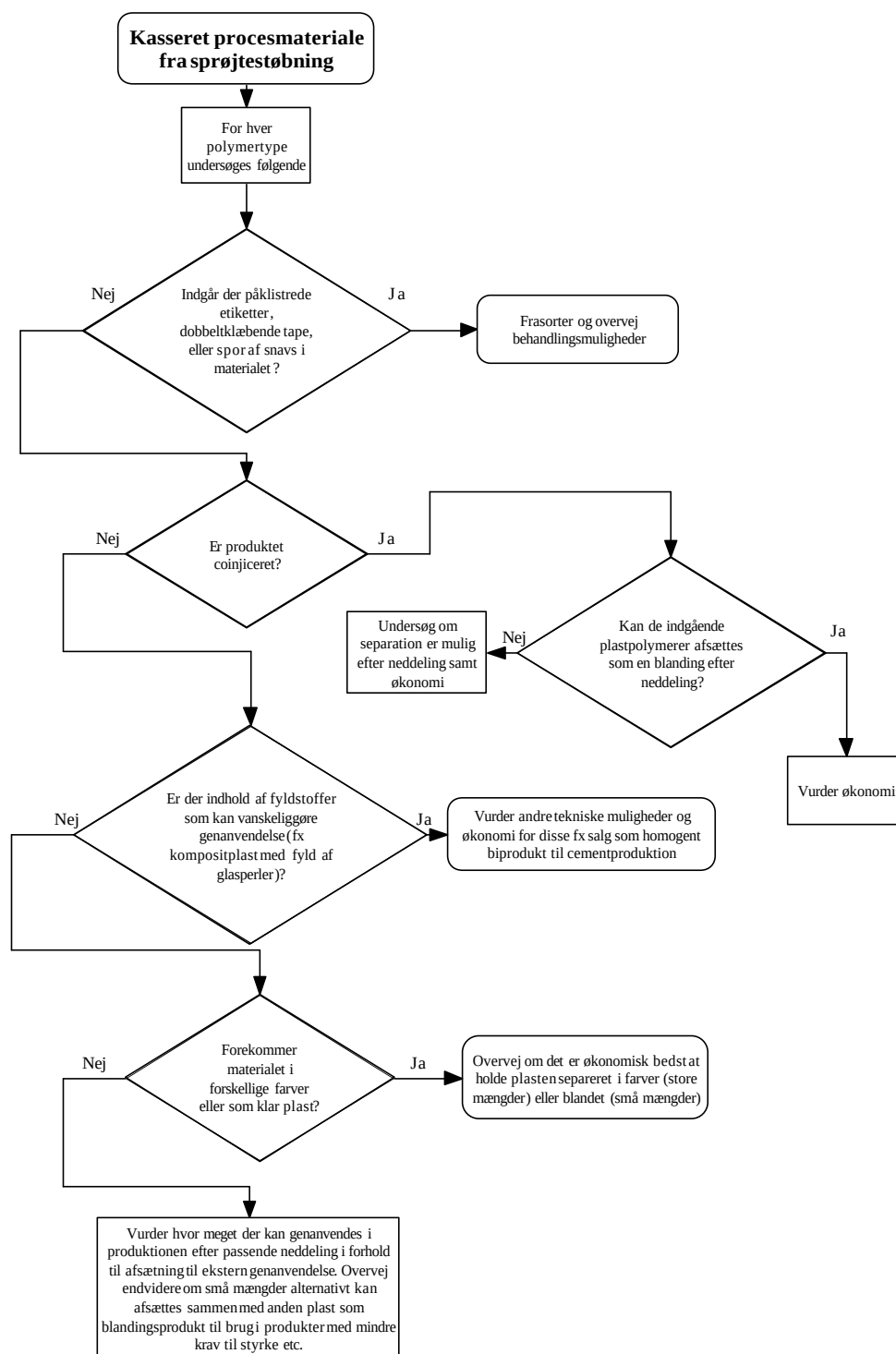
Løsningsforslag

Hvis man ser på beslutningstræet, bør de forskellige polymerfraktioner som udgangspunkt holdes adskilt. Fejlproducerede emner og profiler som de 10 ton ABS og de 10 ton PS vil typisk kunne genanvendes internt ved investering i en mindre granulator. Ved ekstrudering opstår kasseret procesmateriale i.f.m. startfasen hvor materialet skal opnå procesmæssig ligevægt, og i.f.m. slutfasen hvor man stopper produktion evt. ved tilsætning af en renseplast. Dette materiale bliver tit til store uformelige klumper da det havner på gulvet og klitrer sammen. Hvis klumperne bliver for massive til at kunne neddeles på en mindre granulator til profiler, kræves investering i en større neddeler som er langt dyrere i anskaffelse da den har langt større kapacitet (flere ton i timen). Det vil derfor kun være relevant at investere i en sådan for større virksomheder med tilstrækkeligt affald til at udnytte kapaciteten af udstyret. Alternativt kan benyttes ekstern oparbejdning i genvindingsindustrien ved behandling med passende udstyr.

Når der er tale om coekstruderede profiler, fx af PVC, kræves en særlig oparbejdning for om muligt at få materialerne nogenlunde adskilt eller alternativt at afsætte det neddelte materiale som råvare til fremstilling af produkter med mindskede krav til råvarens egenskaber (fx produkter der kræver mindre styrke). Da det kan være meget vanskeligt at genanvendende denne type materialer, bør ved materialevalget og design af coekstruderede profiler overvejes om det vil være muligt at genanvende profilerne efter endt brug eller om man ved at ændre i design eller materialevalg kan lette genanvendelsen.

En grov beregning af behandlingsudgiften pr. ton ved 5 års afbetaling af neddelere (grovneddelere eller fingranulatorer) viser en udgift i størrelsesordenen 50-250 kr./ton inkl. bemanning ved drift i et skift. Hvis man ellers kan udnytte kapaciteten, er der således en god margin op til værdien af råmaterialerne som er i størrelsesordenen 2.000-10.000 kr./ton.

På Figur 5 er vist et beslutningstræ for sprøjtestøbning.



Figur 5 Kasseret procesmateriale fra sprøjtestøbning

Eksempel:

Baggrund

En virksomhed producerer 280 ton kasseret sprøjtestøbt procesmateriale årligt i form af afskær og kasserede fejlprodukter, herunder fra opstart og afslutning. Affaldet består af 200 ton ren PP i forskellige farver, 60 ton PP affald med metalhanke, 15 ton fejlproducerede coinjicerede emner hvor der er lagt en termoplastisk elastomer på en hank og 5 ton fejlproducerede sprøjtestøbte PP emner med glaskugler.

Problemstilling

Hvad er de tekniske muligheder for oparbejdning og den økonomisk mest fordelagtige behandling af hver fraktion?

Løsningsforslag

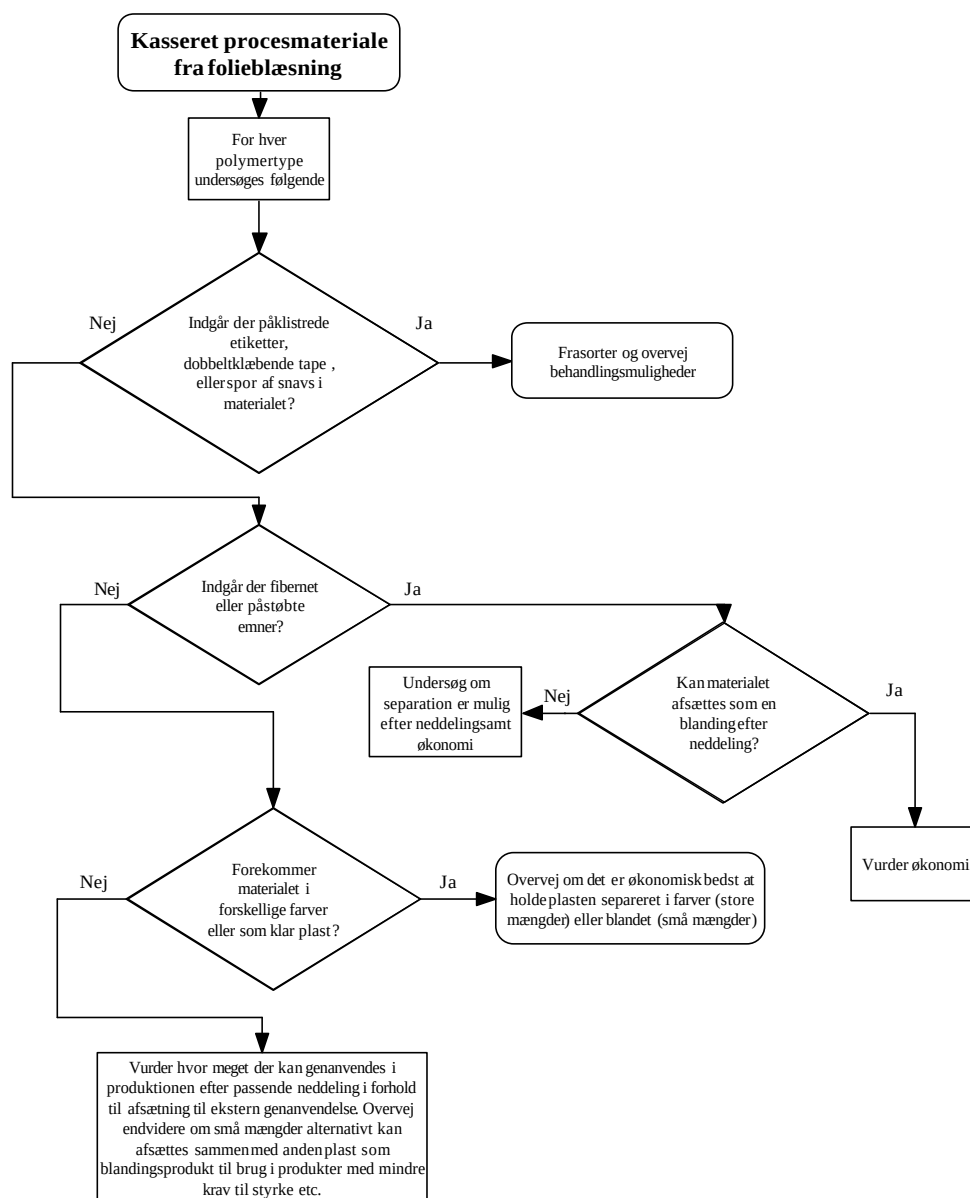
De 200 ton ren PP kan umiddelbart genbruges efter neddeling til produktion af en række beholdere. Der sorteres i hvide farver, lyse farver og blandede farver hvoraf der kan fremstilles hvide beholdere, lyse nuancer af beholdere efter tilsætning af passende masterbatch (farve) og mørke nuancer af beholdere hvor farven ligeledes justeres ind.

De 60 ton PP beholdere med hanker kræver fjernelse af hankene inden neddeling i kværn. Det undersøges om manuel fjernelse af hanker kan erstattes af maskinel neddeling med fjernelse af restmetaller med passende sortering (fx efter densitetsforskelle).

For de 15 ton fejlproducerede coinjicerede viser en undersøgelse at den termoplastiske elastomer ikke er forligelig med PP efter neddeling af emnet hvorfor det vælges at afsætte materialet som homogent biprodukt til cementproduktion.

For de 5 ton sprøjtstøbte emner med glaskugler viser et forsøg at materialet kan tilsættes i op til 10% koncentration ved produktion af samme type emner hvorfor dette iværksættes.

På Figur 6 er vist et beslutningstræ for folieblæsning.



Figur 6 Kasseret procesmateriale fra folieblæsning

Eksempel:

Baggrund

En virksomhed producerer årligt 500 ton kasseret procesmateriale bestående af 400 ton LDPE og 100 ton baseret på andre polymerer. 200 ton af folierne er rene polymerer, 290 ton er fiberarmerede folier og 10 ton er svættede som følge af høj ekstruderingsstemperatur eller med påtrykte etiketter.

Problemstilling

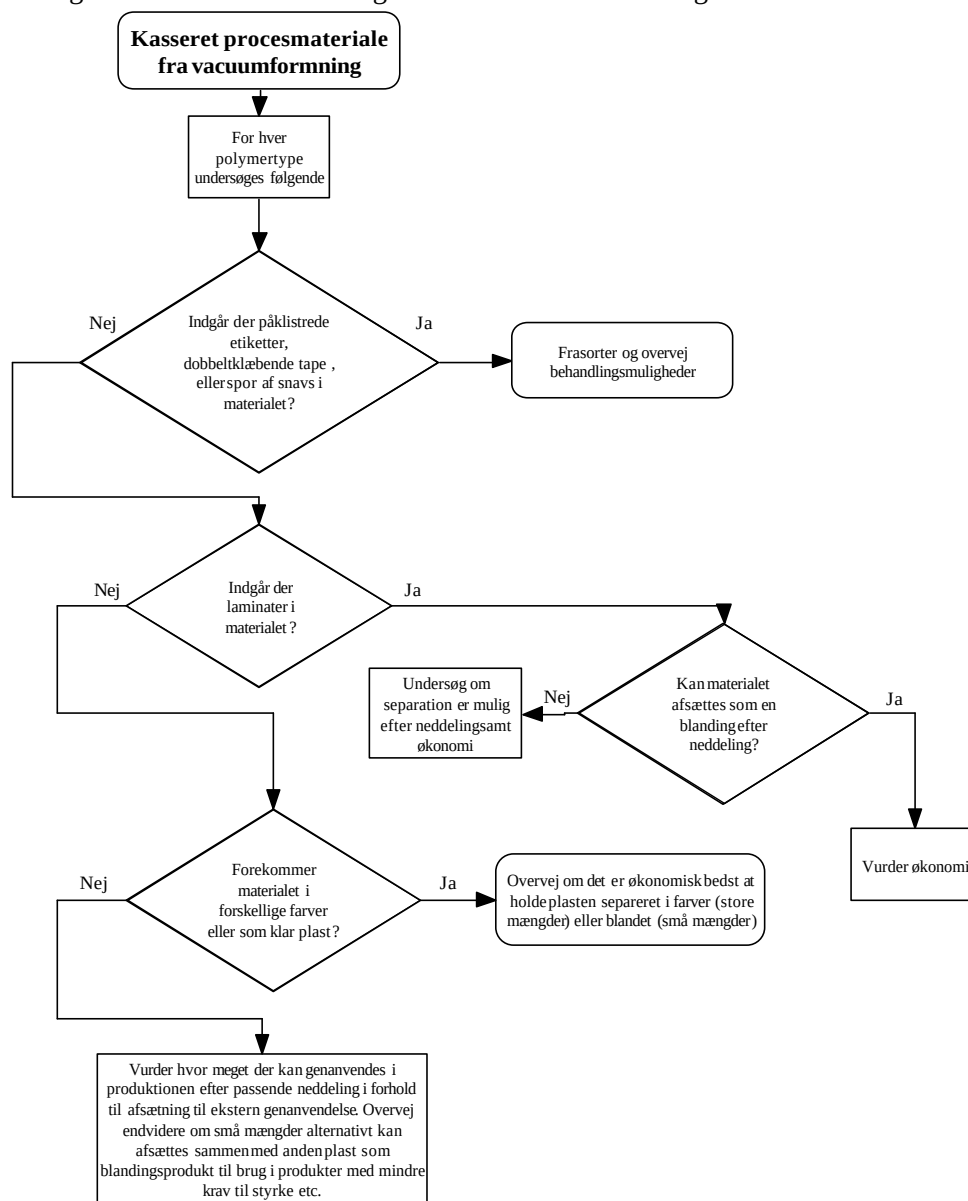
Hvad er de tekniske muligheder for oparbejdning og den økonomisk mest fordelagtige behandling af hver fraktion?

Løsningsforslag

De 10 ton svættede folier og folier med etiketter frasorteres og sendes til forbrænding da mængden er negligeabel. For de 200 ton folier af rene polymerer overvejes om det er muligt med intern genanvendelse eller ekstern genanvendelse efter sortering efter polymertype og evt. farve. I begge tilfælde

bør det enten af pladshensyn ved lagring eller af hensyn til transportomkostninger overvejes om de sorterede folier skal presses med ballepresser inden lagring/afsætning til ekstern genanvendelse. For de 290 ton fiberarmeret plast undersøges om det vil være muligt at genanvende produktet til fyld eller andet efter neddeling da udgiften til forbrænding er betragtelig (ca. 1/4 million).

På Figur 7 er vist et beslutningstræ for vakuumformning.



Figur 7 Kasseret procesmateriale fra vakuumformning

Eksempel:

Baggrund

En virksomhed som vacuumformer plastfolier/plader foretager en analyse af deres kasserede procesmateriale som årligt udgør 250 ton i form af afskær, fejlproduktioner m.m. Processpildet består af 150 PS, 50 ton HDPE og 50 ton PET som alle findes i forskellige farver. 2% af affaldet er påtrykt etiketter og 3% har pådampet aluminiumslag (laminatkonstruktion).

Problemstilling

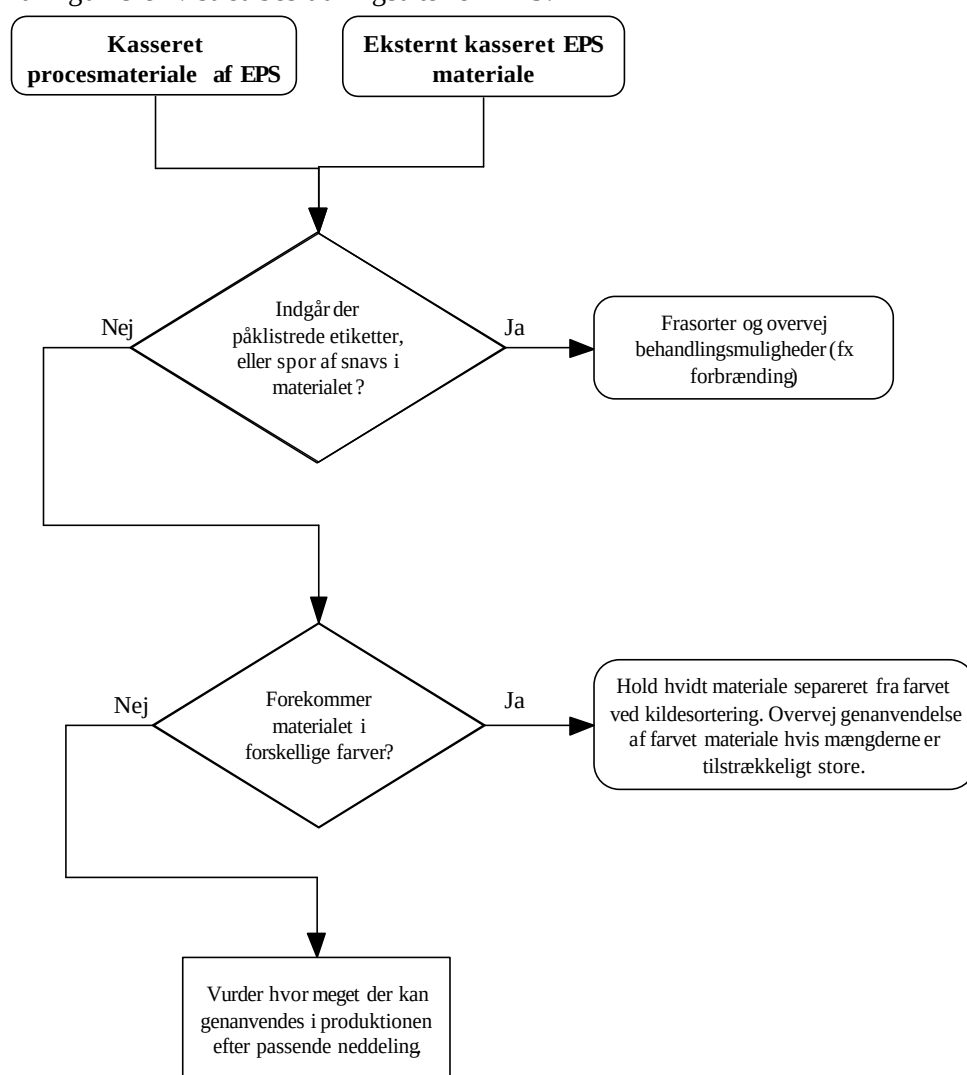
Hvad er de tekniske muligheder for oparbejdning og den økonomisk mest fordelagtige behandling af hver fraktion?

Løsningsforslag

De 95% er rene materialer som bør kunne genanvendes efter neddeling og omsmeltning til nye folier eller andre produkter. Da virksomheden ikke råder over neddelingsudstyr vælges i stedet at sortere affaldet efter polymer og farve og derefter presse hver kvalitet af folie/pladerester i baller med en ballepresser inden afsætning til ekstern genanvendelse.

Plastspildet med påtrykte etiketter udgør så lille en mængde (5 ton), at der ikke findes nogen rentabel afsætning til genanvendelse hvorfor det afsættes til forbrænding. Plastspildet med aluminiumslag kan efter neddeling afsættes som en plast der kan anvendes til fremstilling af stærkt farvede kulører idet metallaget efter smelteforsøg viser sig at kunne opblandes i plasten.

På Figur 8 er vist et beslutningstræ for EPS.



Figur 8 Kasseret procesmateriale fra fremstilling af EPS

Eksempel:

Baggrund

En EPS-fremstillende virksomhed har vurderet at den kan genanvende op til 40 ton kasseret EPS-materiale i produktionen ud fra prøvefremstillinger med test af den mekaniske styrke af produkterne. Ved virksomheden opstår 15 ton kasseret procesmateriale af EPS-emner pr. år.

Problemstilling

Hvorledes fremskaffes en kvalitet som er acceptabel til genanvendelse?

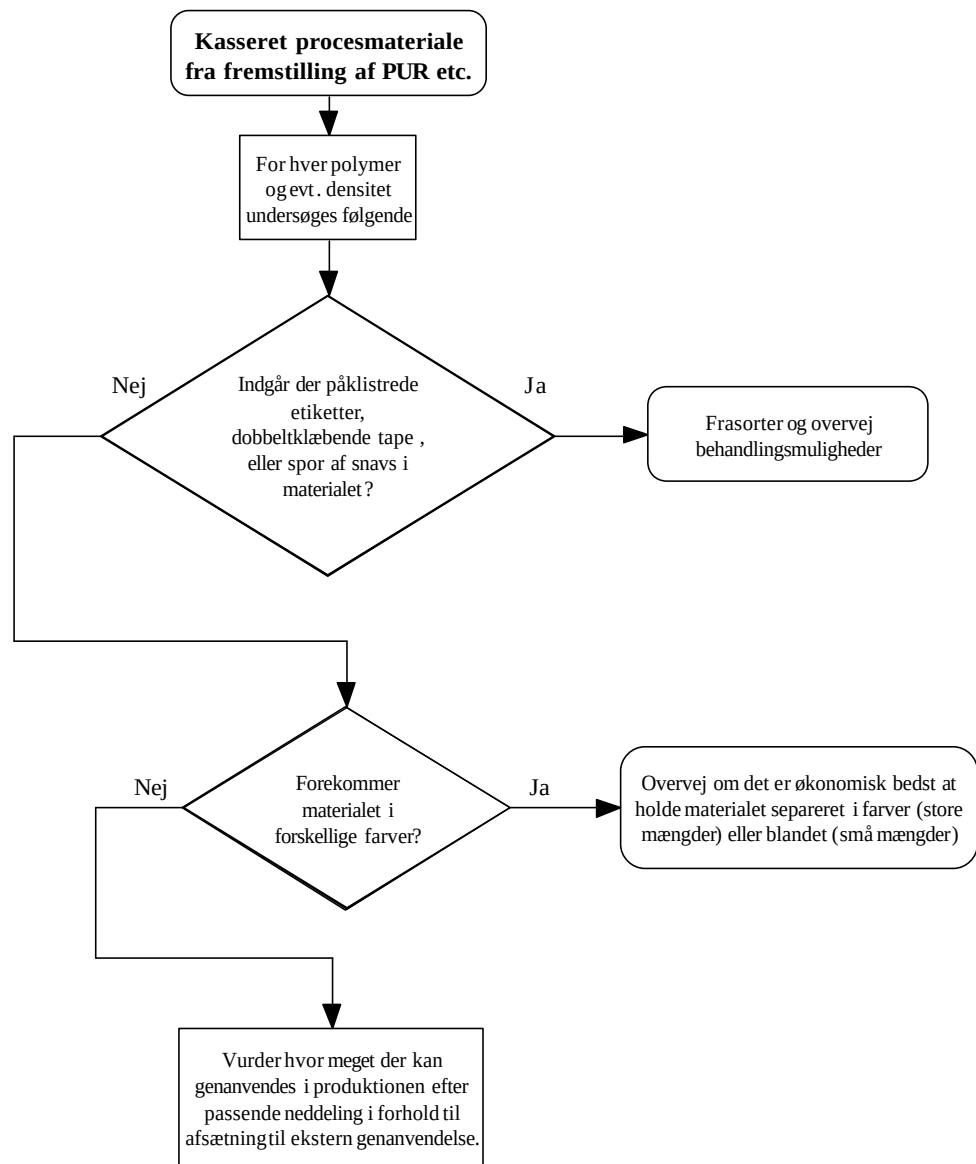
Løsningsforslag

Ved en analyse af de 15 ton kasseret procesmateriale findes at EPS-affaldet består af 1 ton EPS som er snavset eller påsat etiketter, og 1 ton som er farvet.

For at genanvende det internt kasserede procesmateriale frasorteres materiale som er snavset, som er med etiketter og/eller er farvet. Mængden af frasorteret farvet affald er så små at det ikke er rentabelt at forsøge at genanvende denne. Således vil 2 ton koste et begrænset beløb på 2.000 kr. at behandle ved forbrænding, ekskl. transport, mens oparbejdning af den ene ton farvet EPS vil kræve en separat linie til genanvendelse af den farvede EPS, idet farvede perler forurener den hvide EPS. Efter forbrænding af de 2 ton affald genanvendes de 13 ton af det internt kasserede procesmateriale hvilket giver mulighed for yderligere genanvendelse af 27 ton EPS.

Virksomheden træffer herefter aftaler om modtagelse af eksternt EPS-affald. Ved en affaldsanalyse af affaldet vurderes at 20 % er med etiketter, beskidt eller farvet, hvilket svarer til 6 ton årligt ud af 30 ton. Efter frasortering af det som ikke er ren, hvid EPS, refterer 24 ton som genanvendes i produktionen. De 6 ton vil ved afsætning til forbrænding kunne behandles for under 12.000 kr. ekskl. transport. Ca. halvdelen er rent og uden etiketter og ville i princippet kunne anvendes til farvede kasser hvis der etableres en separat linie til dette, men udgiften til behandlingen skal være mindre end udgiften til forbrænding på 6.000 kr. + transportudgifter for at være rentabel.

På Figur 9 er vist et beslutningstræ for opskummet PUR etc.



Figur 9 Kasseret procesmateriale fra fremstilling af opskummet, PUR, polyethere etc.

Eksempel:

Baggrund

En virksomhed fremstiller opskummede produkter af polyether og polyesterbaseret PUR. I virksomheden opstår 50 ton blandet kasseret procesmateriale pr. år.

Problemstilling

Hvad er de tekniske muligheder for oparbejdning og den økonomisk mest fordelagtige behandling af hver fraktion?

Løsningsforslag

Virksomheden har hidtil blandet alt procesmaterialet sammen og sendt det til forbrænding, hvilket har kostet ca. 50.000 kr. For at minimere udgifterne til affaldsbehandling foretages en analyse af det kasserede procesmateriale.

Materialet består af 25 ton hårdt skum, 18 ton fleksibelt integralskum, 2 ton hårdt opskummet materiale og 5 ton indstøbte emner bestående af 50 % jern

og 50 % skum. Ved at sortere procesmaterialet i de 4 fraktioner bliver det muligt at opnå ensartede materialer som der er større chance for kan genanvendes.

De 2 fraktioner af 25 ton hårdt skum og 18 ton fleksibelt integralskum vil således hver især kunne neddeles og genanvendes i diverse produkter som fyldmateriale såfremt dette er rentabelt.

De 5 ton indstøbte jernbaserede emner kan sendes til oparbejdning i genanvendelsesindustrien hvor skummet vil kunne befries fra jernet ved behandling i shredder anlægget hvorefter jernet vil kunne genanvendes.

Tilbage refter 2 ton materiale som udgør en så lille mængde at det ikke vurderes rentabelt at forsøge genanvendelse i forhold til de 2000 kr. det koster at forbrænde affaldet.

3 Undersøgelse af muligheder for øget genanvendelse af kasseret procesmateriale ved de deltagende virksomheder

3.1 Icopal

3.1.1 Præsentation af virksomheden

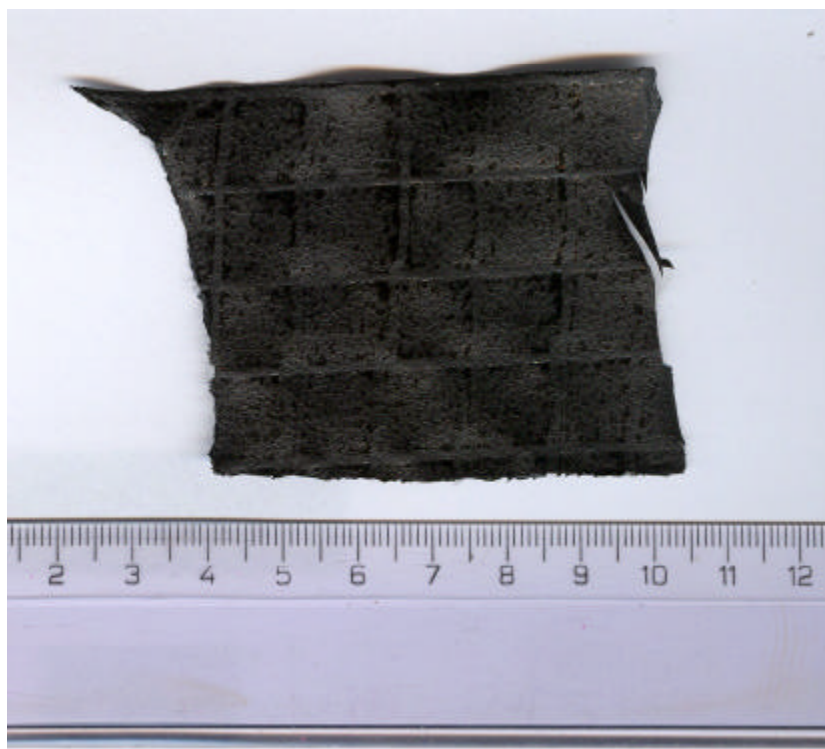
Icopal Gruppen er verdens førende producent af tagmaterialer og vandtætte membraner og er markedsleder i de nordiske lande inden for taglægning (www.icopal.com). Icopals produktpalet omfatter også andre konstruktionsmaterialer til beskyttelse af bygninger og andre strukturer. Gruppen der har hovedsæde i Danmark, har ca. 3.400 ansatte og 29 forskellige produktionssteder. Udvikling og forskning inden for Icopal Gruppen vil også i fremtiden være koncentreret inden for Gruppens største og vigtigste produktområde, bitumen, som man fortsat bedømmer som værende det mest unikke materiale i modificeret form til taglægning og andre applikationer der kræver tæthed over for vand.

Inden for miljøområdet er Icopals strategi fra og med 2003 at satse på en mere ensartet og fokuseret fremstillingspraksis omfattende tiltag til reduktion af energiforbrug og især til reduktion af spild fra produktionen.

Icopal Plastic Membranes er et af produktionsstederne for Icopal Gruppen. Virksomheden er specialiseret i fremstilling af polyesterforstærkede polyethylenfolier til inddækning af bygninger.

3.1.2 Problemstillinger

I forbindelse med produktionen af de polyesterforstærkede polyethylenfolier opstår der ganske betydelige mængder af produktionsspild i forbindelse med opstart og nedlukning og ved konfektionering. Et eksempel på en sort indfarvet folie er vist på Figur 10. Der er ingen genanvendelsesmuligheder for affaldet i Icopal Plastic Membranes egen produktion på grund af membranernes opbygning af to vidt forskellige plasttyper.



Figur 10 Sort plastfolieaffald

3.1.3 Løsningsmuligheder

Forskellige mulige løsninger er vurderet/undersøgt:

- Smeltefiltrering
- Oparbejdning ved neddeling med forskellig soldstørrelse
- Andre oparbejdningmuligheder

3.1.4 Forsøgsarbejde

3.1.4.1 Oparbejdning ved smeltning

Smeltepunktet af polyethylenen varierer afhængigt af typen fra 104-120 °C, mens smeltepunktet af de polyesterbaserede fibre er 253 °C.

Ud fra smeltepunkter kan man se at det teoretisk er muligt at smeltefiltrere emnerne hvis man smelter en større portion af plastfolien ved temperaturer under fibrenes smeltepunkt og presser det smeltede produkt gennem en si.

Et simpelt smelteforsøg ved 200 °C over en rist viser at polyethylenen hænger fast på fibrene, men ved smeltefiltrering under tryk bør der kunne frafiltreres en del polyethylen (se Figur 11).



Figur 11 Smeltning af folie

3.1.4.2 Oparbejdning ved neddeling med fingranulator

Affaldet er blevet neddelt ved Eldan med forskelligt udstyr hvoraf følgende producerer fraktioner med separerede fibre og plastflager

Trin 1. Granulering med fingranulator FG475 og 10 mm sold. Der var ikke monteret støvafsugning i forsøget. Dette vil være nødvendigt ved etablering af et anlæg. Hvis dette udføres, vil der mistes nogle af de fine partikler og fibre.

Trin 2. Sigtning med henholdsvis en laboratoriemodel og PC 600 med forskellige sold med nogenlunde samme resultat.

På Figur 12 ses at fraktionen > 4 mm langhul indeholder en blanding med en stor del af fibre, men også med en del plastflager.

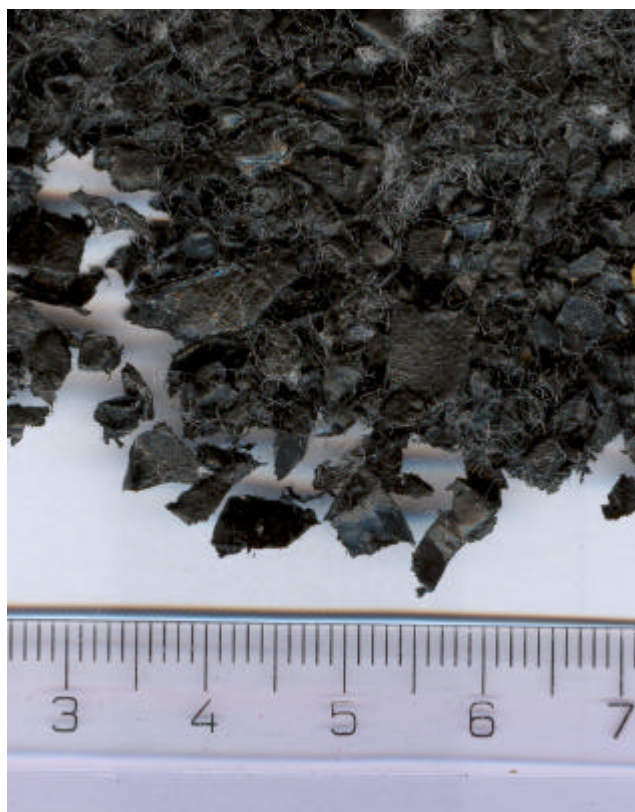
På Figur 13 ses at fraktionen fra 2 mm til 4 mm langhul indeholder plastflager med et lille indhold af fibre (< 1 % vægtmæssigt).

På Figur 14 ses at fraktionen < 2 mm indeholder en blanding af små fiberstykker som passerer soldet, samt plastflager.

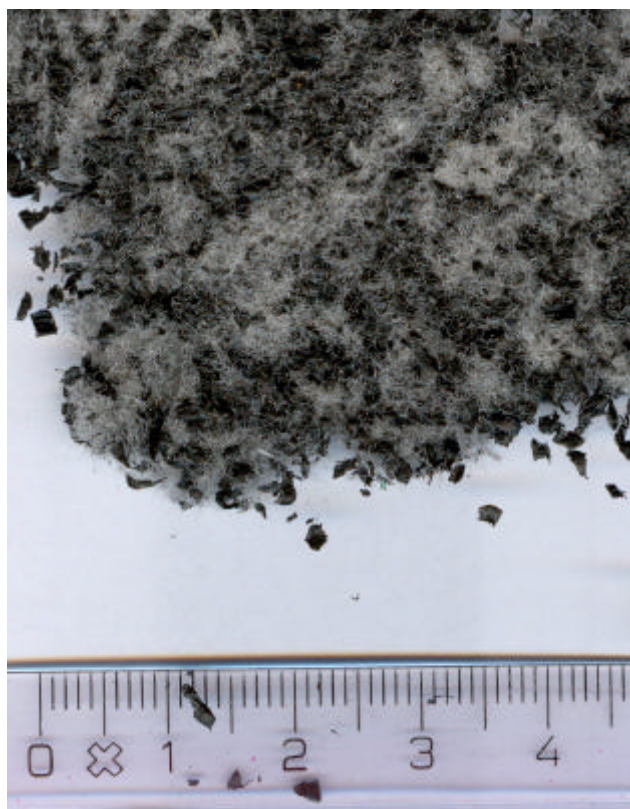
Forsøgsmængderne var for små til at der kunne opnås tilstrækkelige mængder til bestemmelse af fordelingen mellem de tre fraktioner, ligesom det ikke er muligt at estimere den kapacitet som det vil være muligt at opnå med det benyttede udstyr. Nye forsøg vil kunne afdække dette.



Figur 12 Fraktion > 4 mm langhul



Figur 13 Fraktion mellem 2 mm og 4 mm langhul



Figur 14 Fraktion < 2 mm

Teknologisk Institut har peget på mulighederne for at anvende neddelte fraktioner af afdækningsfolierne i tætningsmasser til tage m.m. Det vil kræve et udviklingsarbejde i den division hos Icopal der fremstiller denne type produkter, eller at man indleder et samarbejde uden for koncernen med andre producenter af tætningsmasser. Når det opfattes som en interessant mulighed, skyldes det at man anvender en folie der er godt beskyttet mod vejrliget, og at polyesterfibrene kan bidrage til en bedre mekanisk styrke af tætningsmasserne.

Det skal påpeges at et af de fokuserede områder for Icopal Gruppen er udvikling af modificerede bitumenprodukter til vandtættende anvendelser. En udvikling af modificerede bitumentyper med anvendelse af neddelt materiale i form af produktionsspildet der opstår ved produktionen af plastmembranerne, passer således ind i såvel Icopal Gruppens overordnede strategi på udviklingssiden som med ønsket om at reducere spild.

3.1.4.3 Andre oparbejdningmuligheder

Plastfolien er sendt til vurdering af Result Technology i Schweiz som bedømmer at det er muligt at deres separationsteknologi kan separere plast fra fibre. En nærmere vurdering kræver dog et forsøg til en pris af ca. 20.000 kr. hvilket ligger uden for projektets rammer.

3.1.5 Konklusion

Neddelingsforsøg på den polyesterforstærkede polyethylenmembran har vist at der kan frembringes en række fraktioner i forskellig størrelse. Det vil være mest nærliggende at Icopal undersøger mulighederne for at bruge de neddelte fraktioner i forbindelse med virksomhedens bitumenbaserede tætningsprodukter.

3.2 Rosti OS og Smørum Gruppen

3.2.1 Præsentation af virksomheder

3.2.1.1 *Præsentation af Rosti OS*

Virksomheden Rosti OS er en af de førende fremstillere af urtepotter af polypropylen, og man har en årelang tradition for at anvende kasseret procesmateriale i produktionen.

For at opnå en bedre intern og ekstern logistik blev der indledt et samarbejde mellem Rosti OS og Smørum Gruppen. Da Smørum Gruppen afsætter anden plast end PP, ville et samarbejde endvidere kunne medføre at det blev muligt at afsætte den plast som ikke var PP.

Imidlertid blev det af ledelsen i Rosti OS i sommeren 2003 besluttet at gå bort fra genbrugsstrategien, jf. bl.a. de nævnte vanskeligheder med at skaffe tilstrækkelige mængder PP i god kvalitet/egnet form.

3.2.1.2 *Præsentation af Smørum Gruppen*

Smørum Gruppen er et 100 % familieejet aktieselskab som i over 30 år har haft som idégrundlag at servicere erhvervslivet med optimale genbrugsløsninger.

Virksomheden består af en række underselskaber hvor Dansk Returpapir A/S har en landsdækkende logistik for håndtering og afhentning af genbrugspapir, pap og plast.

Fra sommeren 2003 er Smørum Gruppen indtrådt i projektet med deres ekspertise omkring håndtering af plastaffald.

3.2.2 Problemstilling

Ved sprøjtestøbning har man ved Rosti OS en årelang tradition for at bruge næsten 100% regenerat baseret på eksternt indkøbt materiale. Ved termoformning har man umiddelbart kværnet opstået gitterspild og genanvendt dette i produktionen. Derudover er der suppleret med andet kasseret procesmateriale, fx sodavandskapsler.

Processpild som ikke har været gitterspild, blev før år 2000 ikke holdt tilstrækkeligt rent til anvendelse internt, men blev afsat til ekstern genanvendelse.

Fra år 2000 blev strategien ændret til at holde spildet bedre rent og tørt. Der blev investeret i et genanvendelsesanlæg med store kværne og regeneratekstruder, så genanvendelsen kunne foretages ved Rosti. Endvidere blev det planlagt at opkøbe PP-affald til forarbejdning i anlægget til senere brug ved produktion af urtepotter.

Der opstod imidlertid problemer med at skaffe tilstrækkelige mængder PP i den rette kvalitet/form.

Således ønskede flere mulige samarbejdspartnere at afsætte al deres plastaffald og ikke blot PP. Et andet problem var at PP var opblandet med andet plastaffald, fx PP og POM. En tredje faktor var at affaldet ikke var lagret på

en tilstrækkelig kompakt måde, dvs. at transportomkostningerne ville blive for høje til at det var rentabelt at transportere plastaffaldet.

3.2.3 Løsningsmuligheder

For at opnå tilstrækkelige mængder PP i god kvalitet kræves således enten:

- Bedre manuel sortering
 - Maskinel sortering af blandet materiale
 - Bedre logistik
- eller
- At man er aftager af alle typer plast

I det følgende beskrives forskellige muligheder for at opnå en afsættelig kvalitet af PP-plast med udgangspunkt i en affaldsfraktion stammende fra kasserede produktioner hvor der indgår ca. 20 % POM. Mængden udgør < 300 ton årligt.



Figur 15 PP/POM-materiale

Som det ses, består affaldet af en række delkomponenter hvoraf nogle er indsat i hinanden. En stor del af komponenterne er dog også separeret fra hinanden.

Man kan forestille sig flere løsningsmuligheder på separationen af blandingen:

- 1: Der foretages en manuel separation i passende beholdere
- 2: Der foretages en maskinel separation internt eller eksternt i virksomheden

3.2.3.1 Manuel separation

Da affaldet består af en del separate dele af henholdsvis POM og PP, kunne man foretage en sortering hvor produktionsspildet opstår.

Her er det meget vigtigt at overveje hvordan man bedst kan foretage sorteringen, så den bliver nem i dagligdagen, og så der opnås så få fejl i sorteringen som muligt. Det kan her være en fordel at tage en af de

professionelle indsamlere på markedet med på råd angående valg af de bedste systemer til opsamling af plastaffaldet.

I det aktuelle eksempel kræver separation i virksomheden som minimum at der opstilles mindst 3 typer beholdere til henholdsvis ren PP, ren POM og kasseret procesmateriale hvor PP- og POM-delene er samlet. Man kan endvidere vælge at opdele PP efter de forskellige farver (klar, hvid, grå) hvorved PP-materialet efter kværning muligvis kan genanvendes til emner af disse farver i virksomheden hvis plasten lever op til de materialekrav der stilles, herunder også krav til fødevaregodkendelse m.m.

Alternativt kan de rene fraktioner af PP afsættes til ekstern genanvendelse som blandet genbrugs-PP eller som separate PP-farver hvis man kan få en højere pris for de separerede farver. Den rene fraktion af POM kan endvidere afsættes til ekstern genanvendelse til de gældende markedspriser.

For at opnå en god separation bør opsamlingssystemerne/opsamlingsposerne være mærkede eller have forskellig farve, så det er nemt for personalet at se hvilke emner der skal placeres hvor. For plast som har en genkendelig fysisk form som i dette eksempel, kan man evt. også have en tavle ved beholderne med billeder af de emner som må lægges i beholderen. Hvis den manuelle separation skal lykkes, kræves endvidere en grundig instruktion af personalet i virksomheden.

Eksempler på beholdere til opsamling af plast er vist på Figur 16.



Figur 16 Beholdere til opsamling af plastaffald

Ved ekstern afsætning er det en forudsætning for opnåelse af en fornuftig pris at plastmaterialerne afsættes i partier, evt. sammen med andre genbrugsmaterialer som svarer til minimum en lastbil/container ad gangen. Her har de professionelle indsamlere veludbyggede logistiske systemer som kan minimere omkostningerne til transport. En af fordelene ved at benytte de professionelle indsamlere er at de kan samle tilstrækkelige mængder sammen fra forskellige kilder til at kunne afsætte en større mængde ad gangen til genanvendelse end den enkelte virksomhed ellers ville kunne. Herved kan opnås en bedre samlet pris for det kasserede procesmateriale.

3.2.3.2 Maskinel separation af POM og PP

PP og POM er to typer plast med meget forskellig vægtfylde henholdsvis ca. $0,9 \text{ g/cm}^3$ for PP og $1,42 \text{ g/cm}^3$ for POM. Hvis blandinger af materialerne er neddelt, så de er separeret enkeltvis, vil det således være muligt at densitetsseparere dem. Hvis partikelstørrelsen kan bringes til at være næsten ens, kan benyttes tør separation på et luftbord, alternativt kan separationen udføres i et synke-flydeanlæg med vand som separationsvæske.

På Figur 17 er vist materialet som er manuelt separeret nedsænket i et cylinderglas med vand. Materialet af POM synker til bunds (det grå, takkede materiale), mens forskelligt materiale af PP flyder ovenpå.



Figur 17 Separeret PP-/POM-materiale

Det vurderes at POM-inderdelen vil kunne befries ved neddeling til ca. 5 mm hvorefter POM og PP bør kunne separeres uden større problemer med flyde/synkeseparation. Separationen kan sandsynligvis også lade sig gøre med tør massefyldeseparation. Her kan det dog være nødvendigt at indsnævre partikelstørrelsesfordelingen ved passende sigtning.

En god økonomi ved separationen forudsætter at der benyttes et anlæg hvor kapaciteten af anlægget udnyttes i tilstrækkelig grad. Da kapaciteten af anlæg til densitetsseparation af plast typisk ligger fra $\frac{1}{2}$ -2 ton i timen svarende til ca. 800-3.000 ton/år i et skift, vil det være nødvendigt at anlægget kan behandle flere affaldsfraktioner end den nævnte for at udnytte kapaciteten.

3.2.4 Konklusion

I en række af projektets eksempler er behandlet forskellige muligheder for øget genanvendelse af kasseret procesmateriale ved brug af en række neddelings- og sorteringsteknologier. Nogle af metoderne kræver større mængder kasseret procesmateriale end der typisk er tilgængeligt fra de enkelte virksomheder, for at udføre en rentabel behandling og kræver derfor at der er etableret oparbejdningmuligheder ved eksterne aftagere. Mængderne, som bliver sendt til forbrænding fra de 25 virksomheder som svarede på spørgeskemaundersøgelsen i afsnit 1.2, udgør som nævnt i afsnit 2.1 ca. 3.500 ton svarende til en udgift ved forbrænding på ca. 3,5 mio. kr., hvorfor der er en del penge at spare ved at finde egnede genanvendelsesmuligheder.

Uanset om materialerne kan anvendes internt eller eksternt, kræves en fornuftig og logisk håndtering.

Ekstern genanvendelse

Genanvendelse af kasseret procesmateriale med afsætning til ekstern genanvendelse kræver, hvis der skal opnås en god pris, at materialet er separeret i de enkelte polymerer og fri for det meste snavs og fremmedlegemer. Evt. separation i farver kan øge afsætningsprisen, men kræver at fraktionerne forekommer i tilstrækkeligt store mængder.

Den logistiske behandling af det kasserede procesmateriale stiller en række krav til opsamlingsbeholdere og indsamlingsmetode og skal både være velegnet til den interne håndtering, transporten og til efterfølgende behandling ved ekstern behandler. Derudover kræves typisk instruktion/uddannelse af personalet.

For nogle fraktioner som fx nogle sammensatte plastfraktioner eller plastfraktioner i små mængder vil genanvendelse være mere vanskelig eller for dyr hvorfor disse fraktioner skal sorteres til separat beholder til fx forbrænding eller alternativ oparbejdning. Når det skal vurderes hvilke fraktioner det er mest lønsomt at sortere i, og hvilke opsamlingsbeholdere og metoder som er mest velegnede til opgaven, kan det være en fordel at kontakte professionelle indsamlere som ofte har erfaring fra lignende tilfælde, ligesom de kender afsætningsmulighederne på verdensmarkedet og har veludbyggede logistiske systemer. Forbrænding bør således først vælges når mulighederne for genanvendelse er blevet undersøgt og vurderet.

Intern genanvendelse

Her gælder de samme overvejelser som beskrevet ved ekstern genanvendelse, bortset fra at transport og afsætningsmuligheder ikke skal undersøges.

3.3 Superfos Packaging

3.3.1 Præsentation af virksomheden

Superfos er Europas største producent af sprøjtetøbt plastemballage. Virksomheden leverer kvalitetsemballage til virksomheder der fremstiller produkter til fødevarer- og non food-industrien. Superfos har sit hovedsæde i Danmark og har ca. 2.000 medarbejdere på 14 fabrikker spredt over hele Europa og i USA. Siden 1999 har firmaets kerneforretning udelukkende været emballage.

Superfos arbejder udelukkende med plast af typerne polypropylen (PP) og polyethylen (PE). Disse plasttyper afgiver ingen uønskede stoffer og sikrer høj hygiejne. De leveres i fødevareregodkendte kvaliteter. Efter brug kan PP og PE genbruges, genanvendes, forbrændes med energigenvinding eller bortskaffes på miljømæssig forsvarlig vis. Selve sprøjtestøbningsprocessen sker ved at plastgranulatet opvarmes og smeltes hvorefter det sprøjtes ind i værktøjsformen. Formen åbnes når plastmaterialet er tilstrækkeligt afkølet, og emnet kan udtages af formen.

Hensynet til miljøet er en integreret del af hverdagen i produktionen. Superfos har bl.a. succes med at reducere ressource- og energiforbruget og med at øge sin mulighed for genanvendelse i produktionen. Af hygiejniske hensyn benyttes genanvendte materialer dog kun efter aftale med virksomhedens kunder. Superfos udvikler desuden løbende tyndere og lettere emballager uden at gå på kompromis med emballagens egenskaber. Det er til fordel for miljøet, både når de lettere emballagetyper produceres, transporteres og bortskaffes.

3.3.2 Problemstilling

Superfos producerer et affaldsprodukt af PP som er et plastgranulat bestående af flager med en partikelstørrelse på ca. 2-12 mm og ca. 1 mm tykkelse. En stor del af flagerne er hvide, men forefindes også i røde, orange, gule, grønne, blå og grå nuancer.

Flagerne har været forsøgt anvendt til produktion af brune plastspande, men der har været problemer med farveudtrædninger på overfladen af spandene (se Figur 18).

3.3.3 Løsningsmuligheder

Forskellige mulige løsninger af problem med farveudtrædninger er undersøgt:

- Separation af nogle kulører med densitetsseparation
- Separation af nogle kulører med mekanisk/optisk separationsudstyr
- Muligheder for forbedringer i fremstillingsprocessen



Figur 18 Spand produceret af Polypropylenproduktionsaffald

3.3.4 Forsøgsarbejde

3.3.4.1 Separation med densitetsseparation

Når plast tilsættes pigment, vil den endelige densitet af den farvede plast være afhængig af densiteten af pigmenterne. Således har nogle pigmenter en høj densitet, som fx TiO_2 med en densitet på omkring 4 g/cm^3 hvor PPs densitet er ca. $0,9 \text{ g/cm}^3$. Tilsætning af Titandioxid som typisk bruges som hvidt pigment, vil således øge densiteten af den farvede polypropylenplast i forhold til den ufarvede plast.

For at undersøge muligheden for en densitetsseparation blev lavet et simpelt forsøg i et cylinderglas med en blanding af 2 propanol og vand, således at der blev opnået en separation af plastblandingen efter densitet. Glasset blev ultralydsbehandlet, og plasten blev omrørt for at opnå en passende separation. På Figur 19 ses separationen i glasset, og på Figur 20 er vist de separerede plastblandinger. Der ses et tydeligt højere indhold af hvide flager i den tunge (nederste) fraktion.



Figur 19 Separation i propanol/vand



Figur 20 Separerede plastblandinger

Forsøget viser at der vil kunne opnås en delvis separation ved massefylde separation i væske med passende densitet.

Der findes en række typer separationsudstyr på markedet som er mere effektive end en simpel separation i et kar med væske af given densitet ved 1 G. Nogle af disse metoder bygger på centrifugeteknikker med G-påvirkninger fra 100-1.000 G og opnår derved en hurtig separation svarende til en høj kapacitet (ca. ½-1 ton/time).

3.3.4.2 Separation med mekanisk/optisk separationsudstyr

Inden for de sidste 10 år er der sket en rivende udvikling inden for udstyr som er baseret på en sensorer der detekterer ønskede partikler på et passerende transportbånd. Efterfølgende aktiveres en dyse hvor trykluft blæser den ønskede partikel over i en opsamlingsbeholder. Denne teknik er nu også udviklet til optisk sortering efter farve til partikelstørrelse på omkring 2 mm og opetter.

Der er derfor udført et forsøg hvor en PP-plastblanding er søgt separeret i hvide og farvede partikler. Hvis separationen lykkes, vil der således kunne fremstilles hvide plastemner og stærkt farvede emner af resten.

Blandingen er vist på Figur 21.

Inden farveseparation er de partikler frasigtet som er mindre end 2 mm (se Figur 22). Partiklerne udgør 3,5 % af input - se Tabel 3.1.

Herefter er de resterende 1.856 g prøve farvesepareret.

I den udvundne hvide fraktion (se Figur 23) opnås en renhed på 97,8 % bestemt ud fra et sorteringsforsøg, og udbyttet af de hvide partikler ved behandling i et trin er 78 %. Udbyttet er beregnet ud fra det vejede indhold af hvide partikler i fraktionen 0-2 mm samt de producerede hvide og blandede fraktioner. Den farvede restfraktion er vist på Figur 24.

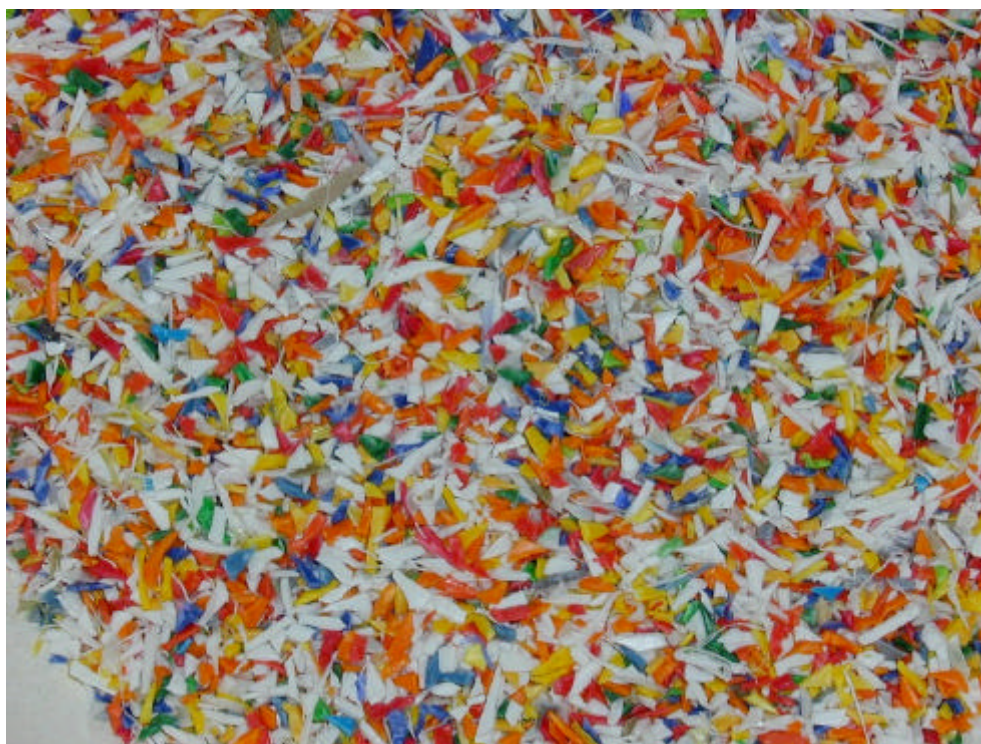
Herefter er udtaget en prøve af de hvide partikler, og på de resterende 925 g er kørt endnu en separation. Der opnås nu en hvid fraktion (se Figur 25) med en renhed på 99,9 %, og udbyttet af de hvide partikler er nu faldet til 65 %, men til gengæld med en højere renhedsgrad end ved behandling i et trin. Den farvede restfraktion er vist på Figur 26.

Tabel 3.1 Resultater af farveseparation

Fraktion	Vejet fraktion (g)	Indhold af hvide partikler (g)	Renhed %
Input	1.924		
0-2 mm frasigtet	68	33	
Trin 1 input	1.856		
Hvid fraktion	1.034	1.012	97,8
Farvet fraktion	822	251	
Trin2 input	925		97,8
Hvid fraktion	838,2	837,3	99,9
Farvet fraktion	87	68	



Figur 21 Input, 1.924 g



Figur 22 Frasigtede partikler 0-2 mm, 68 g



Figur 23 Trin 1 udvundet hvid fraktion, 1.034 g



Figur 24 trin 1 restfraktion farvet, 822 g



Figur 25 trin 2 udvundet hvid fraktion



Figur 26 trin 2 restfraktion farvet

Økonomi

I Tabel 3.2 er vist beregninger af økonomien ved forskellige antagne afsætningspriser, driftstimer af udstyret per år og antal krævede gennemløb. Beregningerne er kun vejledende og med en række forudsætninger, herunder:

Rentefod:	7 %
Forrentning over:	5 år
Bemanding:	0,2 mand per skift
Indhold af ønsket farve:	50 %

Der indgår endvidere data for processen vedrørende investering, energiforbrug, trykluftforbrug, vedligehold m.m.

Det er antaget at blandingen inden sortering kan afsættes til 1.000 kr./ton, og at restfraktionen efter sortering kan afsættes til 1.000 kr./ton.

I scenarie 1 og 3 er regnet med fuld produktionstid (5 skift) og med henholdsvis en afsætningspris for den udsorterede farve på 2.000 kr./ton (scenarie 1) og den pris hvor processens økonomi balancerer (1.130 kr./ton, scenarie 3). Dette svarer til at man blot skal opnå 13 % mere for den udsorterede farve end for blandingen for at processen løber rundt.

I scenarie 2 og 4 er tilsvarende regnet med et skift og 2 gange sortering svarende til at der opnås en højere renhed af den udsorterede farve. Her kræves at der kan opnås 62 % mere for den udsorterede farve for at processens økonomi balancerer.

Tabel 3.2 Økonomi ved farveseparation

Scenarie	1	2	3	4
Betingelser	5 skift, 1 x sortering	1 skift 2 x sortering	5 skift, 1 x sortering, break even	1 skift, 2 x sortering break even
Driftstimer	8.000	1.850	8.000	1.850
Behandlet mængde (ton)	20.000	2.312	20.000	2.312
Fraktion 1 (produkt) %	50	50	50	50
Afsætningspris, fraktion 1 (kr./kg)	2	2	1,13	1,62
Fraktion 2 (rest) %	50	50	50	50
Afsætningspris, fraktion 2 (kr./kg)	1	1	1	1
Kapitalomkostninger (kr./ton)	28	242	28	242
Driftsudgifter (kr./ton)	35	67	35	67
Værdi af udvundne produkter (kr./ton)	1.500	1.500	1.065	1.310
Værdi af mængde inden behandling (kr./ton)	1.000	1.000	1.000	1.000
Nettobehandlingsudgift (kr./ton)	-437	-191	-2	-1

3.3.4.3 Muligheder for forbedringer i fremstillingsprocessen

Farveudtrædningerne i de producerede spande kan også skyldes at de forskelligt farvede plastpartikler ikke når at blive tilstrækkeligt opblandet med hinanden i processen.

For at undersøge dette indledende blev udført et smelteforsøg i en ovn. Plasten var smeltet ved 193 °C som fremgår af Figur 27 og Figur 28. Et emne fremstillet ved sammenrøring af plasten og yderligere opvarmet til 243 °C gav en homogen farvefordeling.

På Figur 30 er vist et forsøg hvor forskelligt farvede partikler opvarmes på en plade. Partiklerne var ikke smeltet ved 185 °C, mens alle var smeltet ved 193 °C som vist på Figur 31. Noget tyder derfor på at de forskelligt farvede partikler bør kunne ekstruderes til et emne med ens farve ved ændrede driftsbetingelser hvor der sikres en bedre opblanding af den smeltede plastmasse.



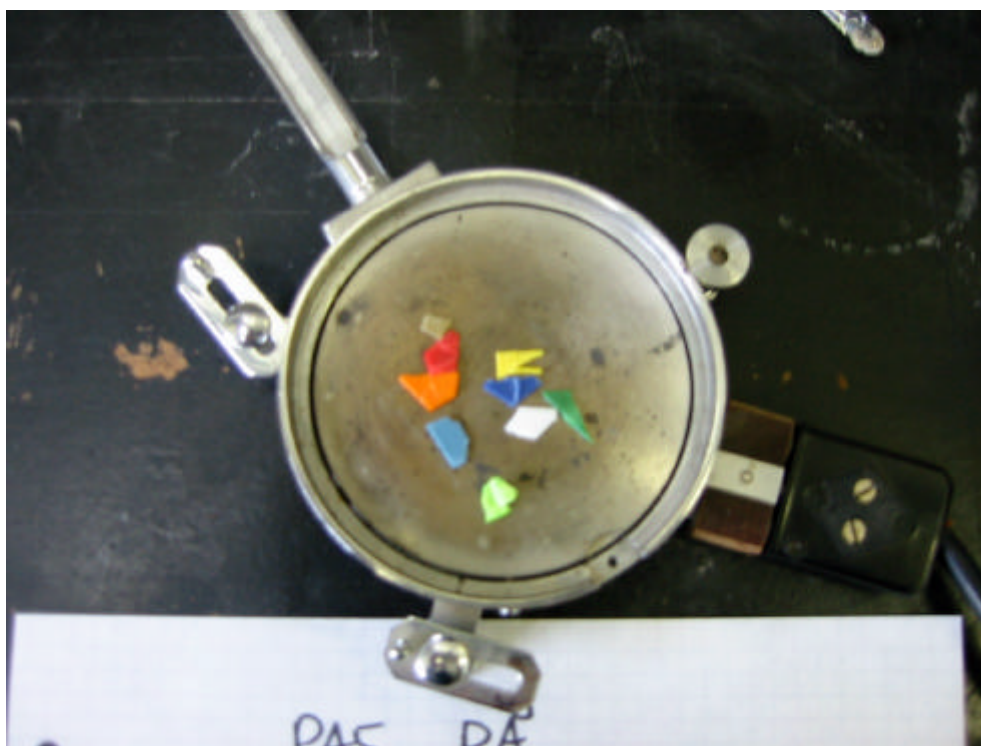
Figur 27 Plast ved 193 °C



Figur 28 Smeltet plast



Figur 29 Sammenrørt emne



Figur 30 Smelteforsøg med forskelligt farvede PP-flager



Figur 31 PP-flager smeltet ved 193 °C

Der er i oktober 2003 blevet gennemført forsøgskørsler med fremstilling af spande fra blandet fraktion hos Superfos i samarbejde med Teknologisk Institut for at se om man ved at ændre på maskinindstillingerne kan få en bedre og fuldstændig opblanding direkte i sprøjtestøbmaskinen, eller om det er nødvendigt med et ekstra blandetrin via en ekstruder.

Forsøgene blev udført på en Klöckner ferromatic FM 320-350 sprøjtestøbmaskine med en maksimal lukkekraft på 350 kN. Maskinen var forsynet med mikserhoved og barrieresnekke. Der blev anvendt en lukkekraft på 280 kN. Materialetemperaturen i tragt blev holdt på 50 °C og i snekken på 235 °C. Modtrykket blev varieret fra 6 bar til 12 bar. Endvidere var det en forudsætning for lønsomheden af en evt. senere produktion at cyklustiden ikke blev længere end i den løbende produktion. Cyklustiden er et mål for hvor mange spande der kan produceres pr. tidsenhed, og er en af de vigtigste optimeringsparametre inden for plaststøbning med henblik på at udnytte maskinparken mest optimalt. Cyklustiden skal være så kort som muligt.

Problemstillingen med den blandede fraktion af PP i forskellige farver viste sig mere kompliceret end først opfattet. For det første har man en sæsonbetinget forskel i farvenuancer fra forår til efterår. Om foråret er farverne på plastspandene mest pastelfarver, mens de om efteråret er meget varmere i farven (se Figur 32). Endvidere er en meget stor del af de hvide spande der regranuleres, med farvetryk på ydersiden, således at de ikke kan sorteres i en ren hvid fraktion. Forholdene kompliceres yderligere ved at man inden for samme oktabin (en oktabin er en stor ottekanter beholder med plastgranulat hvorfra granulatet suges op i tragten på sprøjtestøbmaskinen) kan have ændringer i farvenuancerne ned gennem oktabinen. Det betyder at der vil ske et farveskift i spandene selv om det er muligt at opnå en fuldstændig opblanding af plastgranulatet under transporten frem til sprøjteværktøjet.



Figur 32 Billede af to efterårs- og en forårsfarveblanding

Det er på denne baggrund at resultaterne af sprøjtestøbningsforsøgene skal ses.

Det viste sig at man kunne opnå ensartede spande ved at anvende den hvide fraktion med farvetryk på den ene side. Ensartetheden øgedes som forventet ved at øge modtrykket fra 6 bar til 12 bar. Der blev endvidere tilsat dækfarve i størrelsesordenen 2 % af en grå masterbatch. Det øgede yderligere ensartetheden af udseendet.

Med hensyn til forsøg med den blandede fraktion af granulat fra spande i forskellige farver produceret i efteråret var det ikke selv med et modtryk på 12 bar muligt at opnå en fuldstændig ensartethed af spandene. Spandene fik et rødbedefarvet udseende med farvemønstre her og der af farver der ikke var blevet blandet fuldstændig op.

På Figur 33 er vist eksempel på rødbedefarvede spande (til venstre), hvide spande fra fraktion med farvetryk på ydersiden og rødbedefarvet tilsat 2 % grå masterbatch.



Figur 33 Diverse producerede spande

En anden problemstilling hos Superfos der blev diskuteret under forsøgskørslerne, var støv i granulatet fra genbrug af spandene. Støvet havde tendens til at sætte sig alle steder under transport frem til sprøjtestøbemaskinen. Endvidere var der problemer med at fjerne hankene fra spande der var monteret med metalhanke, da det p.t. kan ske manuelt. Man havde forsøgt sig hos en genbrugsvirksomhed med en maskinel løsning på hankeproblemet uden held.

3.3.5 Konklusion

Det er muligt at fremstille ensartede hvide spande ud fra granulat af hvide spande med farvetryk på den ene side ved anvendelse af eksisterende udstyr hos Superfos. Ensartetheden stiger ved anvendelse af modtryk på 12 bar og ved tilsætning af grå farvemasterbatch på 2 %. Cyclustiden for fremstillingen af disse genbrugsspande er som for sædvanlig produktion.

Det er ikke muligt at fremstille ensartede spande ud fra de farvede fraktioner med mange ofte stærke farver sammenblandet. En delvis løsning på denne problemstilling kan være en bedre udsortering på farver i produktionen.

Det er vist at man kan foretage en vellykket farveseparation ved eksempelvis at lade et anlæg med farvesensor vælge den hvide farve ud. Efter to gennemløb opnår man en meget ren fraktion. Om det er en lønsom vej, afhænger af de samlede mængder hos Superfos, eller om man kan deles om et anlæg med andre virksomheder der har tilsvarende problemstilling.

Med hensyn til støvproblemet kan det oplyses at forskellige udstyrsleverandører som fx Kongskilde har udstyr (Combirensen) hvormed støvet kan suges bort. Udstyret er udviklet inden for korn- og foderstofindustrien. Udstyret kaldes en evaporator og er baseret på en stigeluftsseparation.

Det bør undersøges nærmere om der findes neddelingsudstyr på markedet som kan grovneddele plastspande med metalhanke, så hankene befries fra plasten og efterfølgende kan separeres med magnetseparation

3.4 Jysk Vakuum Plast A/S

3.4.1 Præsentation af virksomheden

Jysk Vacuum Plast er et selvstændigt selskab under Styropack A/S der ejes af den hollandske plastkoncern Synbra Group.

Jysk Vacuum Plast er en underleverandørvirksomhed der forarbejder mange forskellige termoplastiske materialer ved hjælp af vacuum og trykluftformning samt efter bearbejdning med CNC-bearbejdningscenter.

Jysk Vacuum Plast udvikler og producerer emballager og tekniske artikler i samarbejde med sine kunder.

Emballageproduktionen foregår ved trykluft og vakuumformning af plastfolier til virksomheder inden for:

- Fødevarer og konfektur
- Medicinal
- Legetøj
- Elektronik
- Værktøj og reservedele

Produktionen af tekniske artikler foregår ved vacuumformning af plastplader til virksomheder som anvender:

- Kabinetter og dele til elektronik
- Plastkomponenter og konstruktionsdele til industrien
- Dele til hårde hvidevarer
- Isoleringsdele
- Display og skilte
- Plastpaller – plastmellemlæg samt kasser og bakker

Selve vakuumformningsprocessen består i at plastfolier eller plader ved hjælp af undertryk eller trykluft tager form efter et formværktøj - specielt udviklet efter kundens behov.

3.4.2 Problemstilling

Ved Jysk Vakuum Plast produceres et metalliseret folieprodukt som ikke umiddelbart kan genanvendes i egen produktion. Folien består af en 18-20 µm tyk PET-folie med et pådampet lag af aluminium.

3.4.3 Løsningsmuligheder

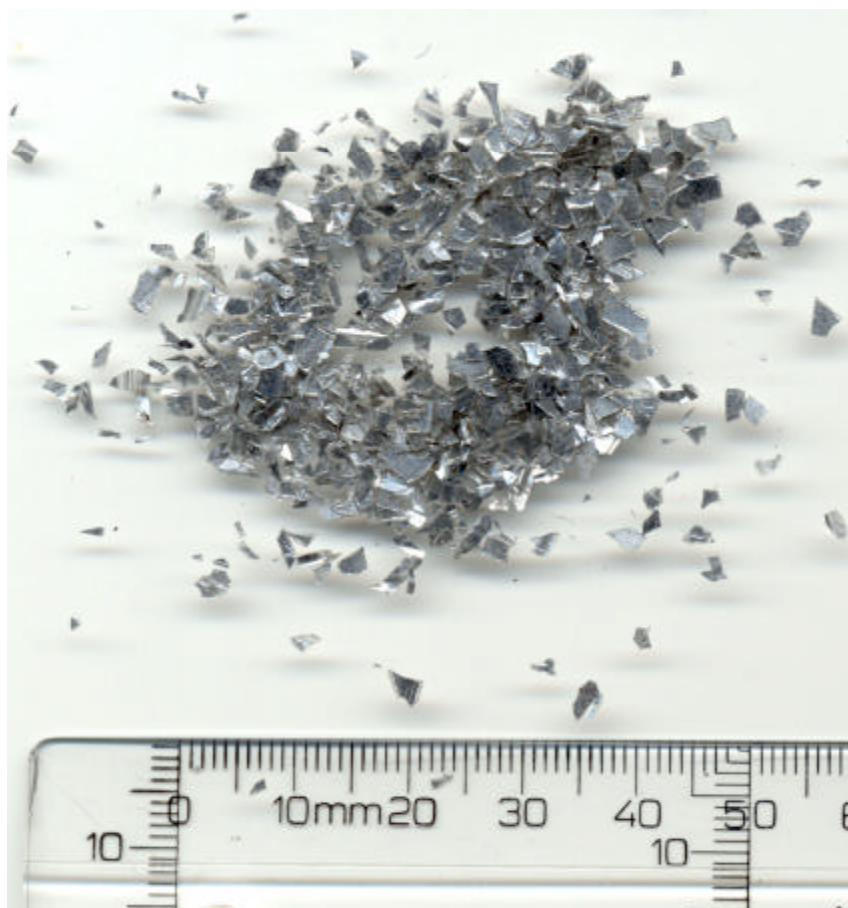
En række muligheder er undersøgt/vurderet:

- Neddeling
- Smeltning
- Andre muligheder

3.4.4 Forsøgsarbejde

3.4.4.1 Neddeling

Folien er blevet neddelt ved Eldan til flager af ca. 3-5 mm størrelse som vist på Figur 34. Neddelingen blev udført på en granulator.



Figur 34 Neddelt folie

3.4.4.2 Smeltning

De neddelte plastflager er efterfølgende smeltet ved 260 °C, og der er rørt et par emner sammen med en spatel på smeltepladen (se Figur 35).



Figur 35 Smeltet folie

Som det ses, er aluminiumslaget tilstrækkeligt tyndt til at blive opløst i plasten som herved får en grålig farve.

3.4.4.3 Andre muligheder

Plastfolien er endvidere sendt til Result Technology i Schweiz for undersøgelse af om lagene af aluminium og PET kan adskilles. Undersøgelsen viste at det er ikke muligt at adskille så tynde lag.

Man vil givetvis kunne fjerne laget med en mild sandblæsning.

Alternativt til omsmeltning kan overvejes afsætning af granulat til dekorationsformål hvor granulatet fx kan limes på papir som sølvglimmer. Inden salg bør de sundhedsmæssige egenskaber ved brug til børn undersøges.

3.4.5 Konklusion

Det vurderes umiddelbart mest interessant at undersøge de kommercielle muligheder for at afsætte det neddelte glimmerlignende materiale til hobby /legetøjssektoren. Da det drejer sig om en neddelt levnedsmiddelgodkendt plastemballage, skulle der ikke være nogle sundhedsmæssige problemer i relation til denne brug.

3.5 SCA Packaging Flamingo

3.5.1 Præsentation af virksomheden

SCA Packaging Flamingo producerer emballager i ekspanderet polystyren (EPS), også kaldet Flamingo®. Virksomheden opererer hovedsageligt i Danmark, og ca. 90 % af produkterne er kundetilpassede løsninger. SCA Packaging Flamingo har fem fabrikker i Danmark, fordelt med 1 på Sjælland og 4 i Jylland. Der anvendes EPS som råvare. EPS-perlerne opskummes med vanddamp hvorefter de formstøbes i aluminiumsforme. Produkterne er kendetegnet ved at være stødabsorberende, isolerende, vandafvisende og lette. De giver optimal beskyttelse ved et meget lille råvareforbrug. Virksomheden er certificeret efter ISO 9001 og ISO 14001, og miljøcertificeringen omfatter arbejdsmiljø.

3.5.2 Problemstilling

I forbindelse med fremstilling af emner i EPS fremkommer en del produktionsspild i forbindelse med indstilling af maskiner og ved afskæring på glødeskæringsfabrikkerne (ca. 40 ton). Alt internt skrot genanvendes så vidt muligt, men der er et stort ønske om at øge mængden af eksternt genbrugsmateriale som kan indgå i virksomhedens produkter (jf. transportemballageaftalen).

Der er ikke den helt store omkostningsreducerende gevinst ved at øge mængden af eksternt genbrugsmateriale da der bruges ressourcer på at øge densiteten og på at runde kanterne, men modsat spares der på anvendelsen af nye råvarer. Der er dog en betydelig miljømæssig gevinst da fremstilling af EPS-råvarer er meget energikrævende, og virksomheden har forpligtet sig til at gøre en indsats for miljøet i forbindelse med miljøcertifikatet.

Der tilsættes i dag ca. 10 % skrottet materiale (blanding af internt + eksternt) til de produkter hvor der må tilsættes genbrugsmateriale (pga.

fødevarelovgivningen), men det er virksomhedens overbevisning at denne procentdel kunne være højere på visse produkter uden at det reducerer egenskaberne for det færdige produkt (krav til sammensvejsning af perlerne, fald, tryk og udseende). Der modtages ca. 25 ton eksternt genbrugsmateriale hvoraf ca. 80 % kan genbruges i produktionen.

Resten er så snarere at det sendes direkte videre til forbrænding.

En vigtig forudsætning for at øge mængderne af eksternt genbrugsmateriale er at kunderne bliver bedre til at sortere, således at virksomheden ikke skal bruge unødige ressourcer på at håndtere materialet når det modtages, men kan føre det direkte i knuseren og genbruge det med det samme. Tidligere har man kunnet afsætte neddelt EPS til isolering i huse, men dette marked er forsvundet gennem de sidste par år. I Sverige genanvendes store mængder EPS i beton som isoleringsmateriale (ca. 215 ton/årligt) og en mindre del som løs isolering (ca. 2,7 ton) ifølge Svensk EPS Återvinning AB. Som indblanding i nye produkter genanvendes ca. 112,6 ton årligt.

Det er på nuværende tidspunkt ikke muligt at genanvende EPS fra affaldsselskaber, detailhandlere eller husstande da renheden af dette materiale ikke kan sikres, og det er af afgørende betydning for genanvendelse hos produktionsvirksomhederne. Dette materiale kunne dog finde anvendelse i andre produkter hvor kravet om renhed ikke er så afgørende.

De mængder EPS-genbrugsmateriale som anvendes i Danmark, er sammenlignet med Sverige relativt små. Dog har det meget at sige at genbrugsordningen og mulighederne for genanvendelse i Sverige er meget anderledes og gunstigere end i Danmark.

Der har ikke været de store muligheder for at finde nye veje for at genanvende EPS og derved øge genbrugsmængden i Danmark. Tidligere fandt EPS genanvendelse i beton eller som løs hulmursisolering, men dette marked eksisterer som ovenfor nævnt ikke længere.

3.5.3 Løsningsmuligheder

Det er en forudsætning for øget genanvendelse af eksternt EPS at dette er ensartet i farve og absolut rent. Endvidere er det nødvendigt at dokumentere at de produkter som tilsættes regenerat, bevarer deres mekaniske og isolerende egenskaber. Forsøgsarbejdet har taget udgangspunkt i disse nødvendige forudsætninger og har været tilrettelagt, så man for emner i forskellige geometrier og godstykker har kunnet tilvejebringe den nødvendige dokumentation.

3.5.4 Forsøgsarbejde

3.5.4.1 Forsøg på øget genbrug af eksternt indsamlet EPS i nye produkter
Der er på SCA Packaging Flamingo's fabrik i Hobro fremstillet en række forsøgsemner i forskellige geometrier og godstykker med forskellig tilsætning af regenereret EPS. Der er fremstillet emner med op til 30 % tilsætning af regenerat.

Det har ikke været muligt at bestemme forholdet mellem det interne og eksterne regenerat i blandingen som er tilsat de producerede emner, hvilket kan have betydning for de undersøgte egenskaber.

Der opleves ofte store produktionsmæssige problemer med tilsætning af regenerat, da dette materiale er ”dødt”, dvs. at det ikke indeholder pentan, som er ekspansionsmidlet i EPS-perlerne. Der skal derfor være en god blanding mellem regenerat og ny råvare for at sammensvejsningen af perlerne i emnerne bliver fuldstændig – og emnet derved brugbart som emballage. I alle de prøvede emner har sammensvejsningen været god.

Teknologisk Institut har på de fremstillede emner målt densitet (vægtfylde), Tryk E-modul og trykstyrke ved 10 % deformation. Densiteten er målt efter ISO 845 (1988) og trykstyrke efter ISO 844 (1998) med en trykhastighed på 2,5 mm/min.

De fremkomne resultater er vist i nedenstående Tabel 3.4. Værdierne kan sammenlignes med de angivne værdier i Tabel 3.3, hvor råvareleverandørerne har angivet de intervaller som er gældende for rene råvarer.

Tabel 3.4 forsøgsresultater fra Teknologisk Institut

Emne nr.	% Tilsat Genbrugs EPS	Densitet kg/m ³	Tryk E-modul MPa	Trykstyrke ved 10 % deformation MPa
A	10	22,3(0,5) ¹	5,5 (0,4)	0,14(0,01)
B	25	21,8(0,4)	5,2 (0,2)	0,13(0,01)
C	30	24,2(0,7)	5,0(1,0)	0,13(0,02)
D	10	24,5(0,5)	6,6(0,6)	0,16(0,01)
E	10	20,9(1,0)	5,4(0,6)	0,14(0,01)
F	25	21,6(0,6)	5,0(0,4)	0,12(0,01)
G	30	24,1(1,2)	6,1(0,2)	0,15(0,01)
H	10	23,7(0,5)	6,5(0,2)	0,16(0,01)
I	18	23,7(0,5)	5,9(0,3)	0,15(0,01)
J	25	24,0(0,3)	6,2(0,3)	0,15(0,01)
K	10	24,5(1,0)	5,6(1,1)	0,16(0,02)
L	18	23,2(0,6)	5,8(0,3)	0,15(0,01)
M	25	23,1(0,4)	5,5(0,2)	0,15(0,01)
N	10	21,4(0,6)	4,9(0,9)	0,14(0,01)
O	30	21,2(0,5)	4,7(0,6)	0,13(0,01)
P	30	24,9(0,8)	7,0(0,4)	0,17(0,01)

¹ Tal i parentes angiver standardafvigelsen på målingen

Tabel 3.5 Virksomhedens råvareleverandører har opgivet følgende værdier for densiteterne 20 og 25 kg/m³

	20 kg/m ³	25 kg/m ³
Tryk E-modul MPa	3,1-6,2	5,3-8,5
Trykstyrke ved 10 % deformation MPa	0,11-0,14	0,15-0,2

Det ses, at resultaterne, selv med meget høje genbrugsprocenter, ligger pænt inden for de af råvareleverandørerne angivne intervaller for tryk E-modul og trykstyrke ved 10 % deformation. Dette betyder i realiteten at virksomheden godt kan øge genbrugsmængden med 15-20 % i forhold til de mængder som anvendes i dag. Det skal dog sikres at blandingen mellem regenerat og ny råvare er optimal, og at blandingen mellem internt skrot og eksternt modtaget materiale er omkring 50:50 da internt skrot stadig indeholder en lille mængde pentan og derved er betydeligt lettere at arbejde med da det ikke er helt ”dødt”, og en god sammensvejsning af perlerne kan sikres.

I dag er der kun ét regenereringsanlæg på virksomheden hvilket betyder at det produkt som procesmæssigt kan produceres med mindst regenereret materiale, er det som bestemmer procenten i resten af produkterne i produktionslinien. Det er desværre ikke muligt at tilsætte 10 % regenerat til et produkt og 30 % til et andet, selvom det i realiteten ikke ville forringe egenskaberne for det sidst nævnte produkt med 30 % regenerat.

3.5.5 Konklusion

Virksomheden skal overveje om det kan betale sig at lave et flerstrengt regenereringsanlæg, således at der kan optimeres på tilsætningen af regenerat i stedet for at det er det svageste produkt som bestemmer genbrugsprocenten. Ligeledes kan tilsætningen af regenerat modtaget retur fra kunder øges hvis den interne skrotmængde reduceres.

Såfremt der skabes et nyt marked for EPS-genbrug som det ses i Sverige, kan mængden af genbrug øges betydeligt.

3.6 SP Group Tinby

3.6.1 Præsentation af virksomheden

Tinby A/S er et datterselskab under koncernen SP Group A/S som er en af Danmarks største producenter af plastprodukter.

Tinby A/S producerer tekniske emner i plastmaterialet polyurethan. Polyurethan er en hærdeplast hvilket betyder at det er en polymer som ikke kan smelte ved opvarmning, men kun vil nedbrydes ved opvarmning. Det skyldes at der ved fremstillingen af polyurethan indgår to flydende materialer - en isocyanat og en polyol som efter en kemisk reaktion mellem de to komponenter danner det færdige plastprodukt polyurethan.

3.6.2 Problemstilling

Konsekvensen af at polyurethan ikke kan smelte, er blandt andet at det er relativt vanskeligt at regenerere. Det gælder såvel produktionsspild som produkter i polyurethan der ender som affald. Naturligvis kan man ved afbrænding af polyurethan i et forbrændingsanlæg nyttiggøre en del af energien fra polyurethanen.

Direkte genanvendelse af polyurethan kan tænkes ved granulering af polyurethan hvorefter granulatet kan genanvendes som fyldstof i et nyt produkt hvor polyurethanens egenskaber kan udnyttes.

I projektet er denne tankegang forsøgt efterprøvet i et konkret produkt. Et af Tinby A/S' store produktområder er Ergonomiske arbejdspladsmåtter i et flexibelt opskummet polyurethan. Her opstår dels under støbningen og dels under efterfølgende sammenlimning og afskæring et produktionsspild på mellem 10 og 15 %. Hele denne mængde bliver i dag bortskaffet som affald til forbrænding.

Det omtalte produktionsspild har en rimeligt ensartet sammensætning og vil således kunne indgå som et ensartet granulat i et nyt produkt.

Måtterne er fremstillet som et integralskum, dvs. de har en hud med højere densitet på overfladen som følge af at overfladen af værktøjet er koldt i modsætning til kernen der kan opnå temperaturer på 130 °C som følge af den exoterme reaktion mellem isocyanat og polyol.

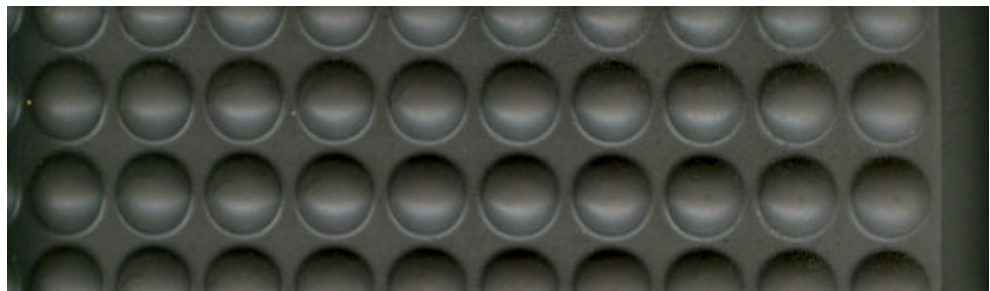
Ved Tinby forekommer forskellige typer produktionsaffald i forbindelse med måtteproduktionen.

Et eksempel er rester som sidder i produktionsudstyret i form af en "Andefod", er vist på Figur 36.

Et andet eksempel er afskær af måtteproduktionen fremgår af Figur 37.



Figur 36 Udluftningsmateriale



Figur 37 Afskær af måtte

Produktionsaffaldet findes enten i form af polyester eller polyether, PUR.

3.6.3 Løsningsmuligheder

Der er undersøgt/vurderet en række muligheder for genanvendelse under følgende delemner:

- Neddelingsforsøg
- Genanvendelse af granuleret PUR i "recycle gummimåtte"
- Genanvendelse af granuleret PUR i "recycle PUR-måtte"
- Øvrige anvendelsesmuligheder

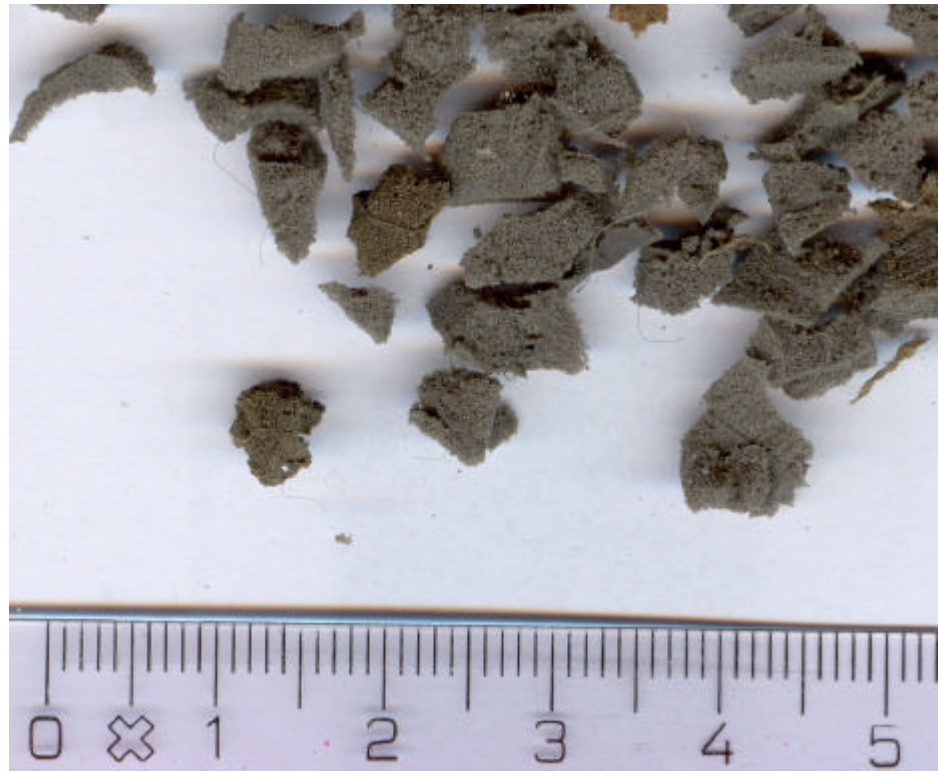
3.6.4 Forsøgsarbejde

3.6.4.1 Neddelingsforsøg

Der er foretaget en neddeling af affaldet ved Eldan Scandinavian Recycling A/S. Neddelingen er udført på en fingranulator.

På Figur 38 er vist resultatet af første trin hvor integralskum i polyurethan neddeles til 10 mm.

På Figur 39 er vist neddeling af materialet til 2 mm. Det ses at en del af materialet neddeles til væsentligt lavere kornstørrelse (< 1 mm).



Figur 38 10 mm fraktion



Figur 39 2 mm fraktion

Ved neddeling til mindre partikelstørrelse kræves højere energiforbrug, ligesom der opstår fare for antænding hvorved det kan være påkrævet med neddeling i inert atmosfære.

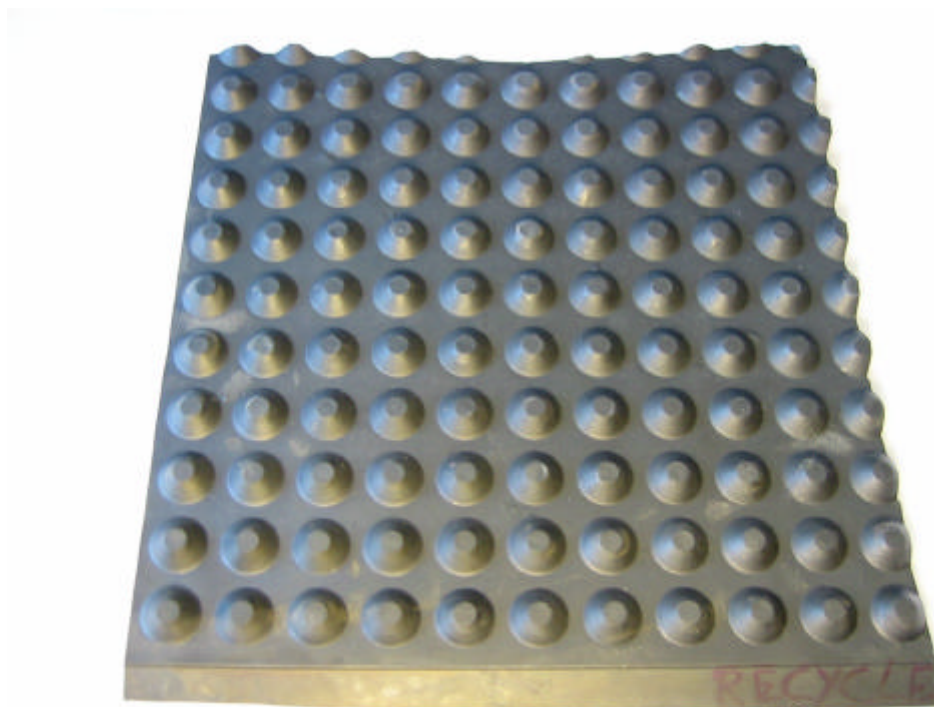
3.6.4.2 Genanvendelse af granuleret PUR i "Recycle gummimåtte"

Da salgsafdelingen Ergomat A/S under Tinby A/S ønskede en gummimåtte produceret på basis af "recycle" materialer til erstatning for et "recycle"

produkt som var baseret på en gummi med indarbejdet "recycle" bildæk, var det oplagt at forsøge at indarbejde granuleret PUR i en gummiblanding.

Udviklingsforsøgene blev udført hos AVK GUMMI A/S som i forvejen producerer gummimåtter i nitril til Tinby A/S.

Det lykkedes at indarbejde en forholdsvis stor del regenereret PUR i en gummiblanding baseret på naturgummi. De første måtter blev trykstøbt (se Figur 40).



Figur 40 Indarbejdet PUR i naturgummiemne

Da der senere blev udført forsøg med sprøjtestøbning af gummiblandingen, viste det sig at være vanskeligt at indarbejde PUR'en godt nok i gummimassen til at det kunne lade sig gøre at opnå tilstrækkeligt gode flydeegenskaber i gummimassen til at sprøjteprocessen kunne anvendes.

Det er således ikke muligt at opnå en rentabilitet i produktet da den besparelse i råvareomkostninger man kan opnå ved anvendelse af regenereret PUR i gummimassen, ikke opvejer de ekstra omkostninger der er ved at skulle trykstøbe måtterne frem for at sprøjtestøbe måtterne.

3.6.4.3 Genanvendelse af granuleret PUR i "recycle PUR-måtte"

Det er sideløbende forsøgt at indarbejde granuleret PUR i en polyurethanmåtte. Dette kunne give mulighed for at fremstille en "recycle PUR måtte" som endnu et produkt i Tinby A/S' måtteprogram Ergomat.

I laboratoriet lykkedes det at indarbejde en stor del granuleret PUR i polyolkomponenten. Denne masse bliver meget højviskøs og grødet på grund af det høje volumenindhold (70-80 %) af faststof. Polyolkomponenten skal blandes ensartet med en isocyanat i et bestemt blandingsforhold og under den kemiske reaktion mellem de to komponenter skal PUR'en flyde ind og danne det færdige emne.

På grund af den høje viskositet er det meget vanskeligt at opnå tilstrækkeligt gode flydeegenskaber til at opnå et homogent emne hvilket skal opnås inden for reaktionstiden på ca. 6 sekunder. På Figur 41 ses et emne hvor det granulerede PUR er homogent fordelt i emnet, men en måtte med dimensionerne 600x900 mm er langt vanskeligere at få fuldstøbt med en tilfredsstillende vægtfylde.



Figur 41 Produceret testemne med granuleret PUR uden tilsat farve

Det er ikke rentabelt i det eksisterende produktprogram at producere en "recycle PUR-måtte" da besparelsen på råvarerne ved anvendelse af granuleret PUR ikke opvejer de ekstra omkostninger der er til procesteknisk at fremstille en sådan måtte.

Efterfølgende er der planlagt ekstra forsøg med fremstilling af "recycle PUR-måtte ved anvendelse af præpolymeriseret isocyanatteknologi i samarbejde med en anden dansk virksomhed. Resultaterne fra disse forsøg har vist sig så lovende at man ønsker at fortsætte dem med henblik på en kommerciel løsning.

3.6.4.4 Øvrige anvendelsesmuligheder

I udlandet findes processer til genanvendelse af PUR-skum til produktion af byggeprodukter med varme eller lydisolerende egenskaber, men disse processer er på nuværende tidspunkt ikke etableret i Danmark.

PUR-granulatets fleksible "touch" og elasticitet kan tænkes udnyttet i en række produkter hvor en sådan egenskab ønskes.

Man kan pege på mulighederne for at bruge løst granulat i staldmætter af plastfolie til grise og køer, idet der her ikke stilles strenge krav til udseende. Denne type produkter findes allerede på basis af gummigranulat fra kasserede bildæk.

Det er også muligt at anvende PUR-granulat som tilsætning til gummicomounds hvor trykstøbning stadig er rentabelt. Denne type processer anvendes endnu i stor stil i fjernøsten på grund af den billige arbejdskraft.

3.6.5 Konklusion

Tinby har undersøgt en række muligheder for at genanvende neddelt PUR fra virksomhedens produktionsspild i forbindelse med fremstilling og konfektionering af Ergomat måtter. Det har vist sig mest lovende at genanvende granulatet ved indstøbning i præpolymeriseret polyurethan.

3.7 Primo Danmark A/S

3.7.1 Præsentation af virksomheden

Primo Danmark A/S fremstiller som underleverandør ekstruderede profiler i termoplastiske materialer. Profilerne bruges blandt andet i vinduesindustrien, hårde hvidevare-industrien, byggeindustrien samt diverse brancher. PRIMO DANMARK A/S har kunder i såvel indland som udland.

I produktionen er de primære ressourceparametre plast af typerne: polyvinylchlorid, polyolefiner, styrenbaseret plast, termoplastiske elastomer, polymethylmethacrylat og farve-masterbatch.

3.7.2 Problemstilling

Processpild som kan genanvendes internt, udgjorde 10 % i 2002 – og stammer hovedsagligt fra opstart og indkøring.

Plastaffaldet, dvs. processpild, som ikke kan genanvendes internt, udgjorde 2 % i 2002 – og består fortrinsvis af større ”klumper” fra opstart, materiale indeholdende stop-mix og profiler der består af et materiale-mix: coektruderede typer, profiler med forstærkning og konfektionerede profiler med fx tape.

I dette projekt er det plastaffaldet som er undersøgt med henblik på at kunne genanvende mere internt eller eksternt som et led i Primos miljøstyringssystem.

3.7.3 Løsningsmuligheder

Ud fra en affaldsanalyse er forskellige muligheder for øget genanvendelse vurderet.

3.7.4 Forsøgsarbejde

3.7.4.1 Affaldsanalyse af mængder af kasseret procesmateriale

I april 2003 er lavet en uges indsamlingsforsøg af kasseret procesmateriale fra de forskellige produktionslinier ved Primo Danmark.

Fordeling mellem plasttyperne er vist i Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Affaldsanalyse af fordelingen mellem kasserede plasttyper

Plastfraktion	%
Øvrige	47,5 ¹
PVC, hård	23,1
PVC, blød	7,1
ABS	4,5
ABS, coeks.	4,2
PP, coeks.	3,6
PP	3,3
TPE	3,2
PVC, coeks	2,4
PE	0,9
PS	0,3

1 indeholder mere end 85 % hård PVC

Mængderne af kasseret procesmateriale i Tabel 3.6 svarer til ca. 2,3 % af råvareforbruget ved Primo. Det skal bemærkes at der allerede genanvendes procesmateriale internt svarende til ca. 10 % af råvareforbruget ved Primo.

På Figur 42 til Figur 46 er vist eksempler på de største affaldsfraktioner som udgøres af hård PVC, blød PVC og ABS.



Figur 42 Hård PVC



Figur 43 Hård PVC (opskummet)



Figur 44 Blød PVC med polyesterkord.



Figur 45 ABS

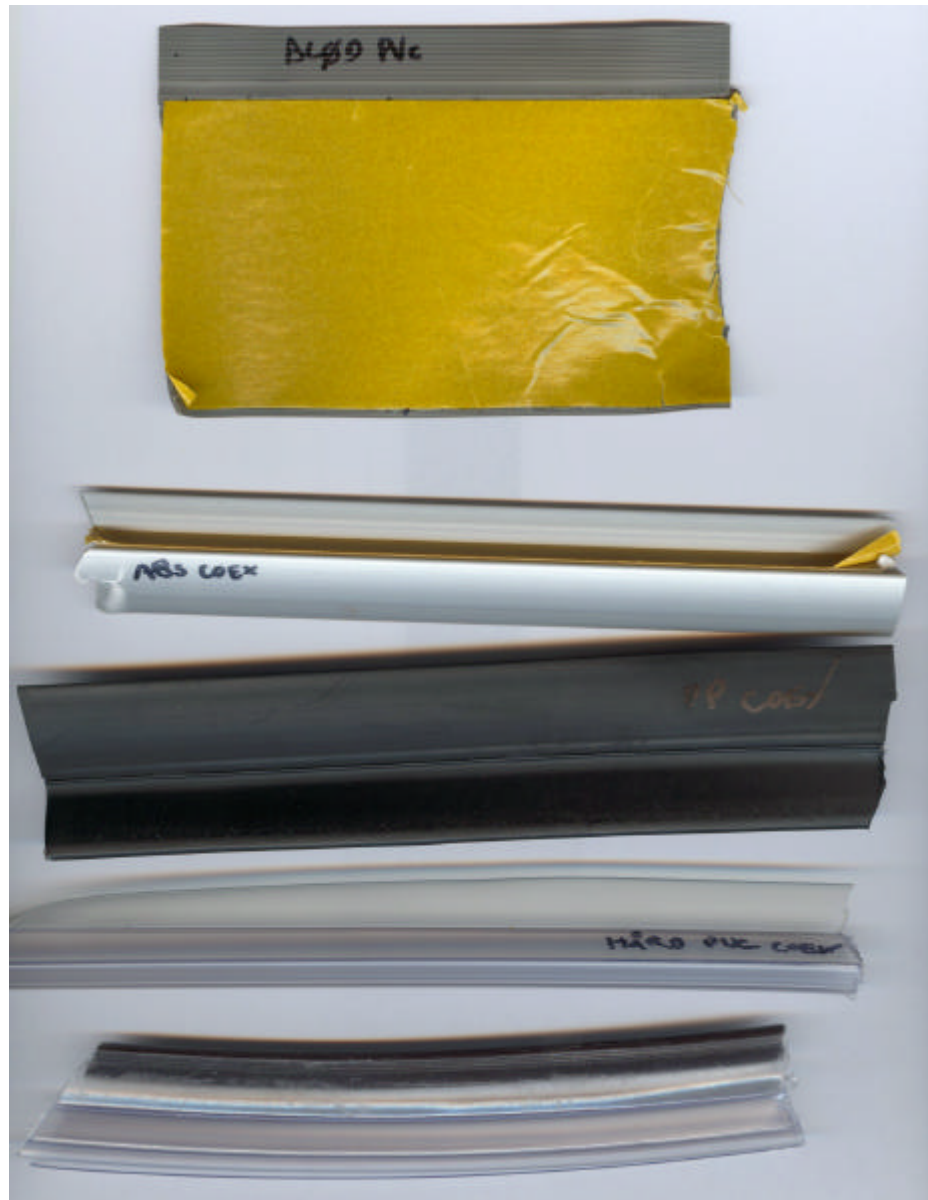


Figur 46 TPE

3.7.4.2 Muligheder for øget genvinding af kasseret procesmateriale

Ud fra affaldsanalysen kan beregnes at 63,5 % af det procesmateriale der endnu ikke genanvendes internt udgøres af hård PVC når indholdet i fraktionen "øvrige" medtages, mens resten er enkeltfraktioner af plasttyper som hver især udgør $< 7\%$. Det vil derfor være oplagt at koncentrere indsatsen om den hårde PVC. Den hårde PVC forventes at kunne genanvendes efter passende neddeling hvilket enten kræver køb af udstyr eller afsætning til eksisterende oparbejdere. I projektforsløbet er herefter arbejdet videre med muligheder for øget intern genanvendelse.

Nogle af de blandede fraktioner er vanskelige at oparbejde. Eksempler er vist på Figur 47.



Figur 47 Laminater og coekstruderede emner

Øverst er vist blød PVC med påklisteret tape, dernæst følger coekstruderede emner i ABS med blød overkant, PP med blød overkant, Hård PVC med blød overkant og en hård plast fra fraktionen øvrige hvor der både er en blød coekstruderet del øverst og en indsat hård plastliste.

En simpel test er udført for blød PVC med pålimede papirtape. Strimlerne blev forsøgt fjernet ved opvarmning med damp og varm luft samt frysning til -18 °C. Ingen af metoderne medførte tilfredsstillende frigørelse af tapen.

Ved neddeling vil man formentlig få problemer med fastsiddende PVC i neddelingsanlægget. Man vil muligvis kunne opløse limen med passende opløsningsmidler, men det forventes at være en dyr løsning.

Den bløde PVC vil formentlig kunne blive behandlet termisk når der bliver etableret en vådpyrolyseproces ved Stignæs (RGS90) hvorved man vil undgå hovedparten af restprodukterne da klorindholdet omdannes til salte.

Med hensyn til oparbejdning af de coekstruderede emner til plast af næsten virgin kvalitet vil der være potentiel mulighed for oparbejdning af emner hvor den coekstruderede bløde plastdel har forskellig massefylde fra den hårde plast. Hvis man neddelser disse plasttyper til fx et par mm kornstørrelse, vil de to typer plast efterfølgende kunne separeres med massefyldeseparation. Der vil så opstå en mindre forurening af de separerede fraktioner med de partikler som indeholder både den bløde og hårde plastdel.

På figuren er også vist et emne med indsat sort plastliste. Det forventes realistisk at en neddeling til 3-4 mm vil frigøre den sorte liste hvorefter det vil være muligt at fraseparere de sorte partikler med farveseparation eller med massefyldeseparation hvis massefylden er forskellig af den sorte og klare plast. Da mængderne er små, vil separationen kun være relevant hvis der benyttes eksisterende anlæg hvor separationen af en containerfuld kan udføres som lønarbejde.

Alternativt til separation kan de forskellige coekstruderede plasttyper forsøges afsat som en blandet plastfraktion som der kan fremstilles større emner af der ikke kræver så høj mekanisk styrke som emner fremstillet i virgine plastmaterialer.

3.7.5 Konklusion

Primo Danmark genbruger allerede en meget stor del af det interne produktionsspild ved at have opstillet kværne direkte ved ekstruderingslinierne. Affaldsanalysen af det spild der ved projektets start ikke kunne genanvendes internt, viser at ca. 2/3 udgøres af hård PVC som derfor er et af de områder hvor der efter affaldsanalysen har været gjort en indsats for øget intern genanvendelse. Affaldsanalysen har generelt øget fokus på hvad der kan genanvendes internt og tallene fra 2002 til 2003 viser også en tydelig effekt. Intern genanvendelse er således ændret fra 10,3% i 2002 til 11,8 % i 2003. Materiale til ekstern genanvendelse er ændret fra 2,66 % i 2002 til 0,57% i 2003 og kasseret materiale er reduceret fra 2,53 % i 2002 til 2,26 % i 2003.

4 Ideer til kontaktforum

4.1 Indledning

Spørgeskemaundersøgelsen har vist, at der er en stor interesse blandt de forespurgte plastvirksomheder for oprettelsen af et kontaktforum på PDs hjemmeside.

Det har vist sig at en række virksomheder af forskellige årsager ikke kan genanvende procesmaterialer i egen produktion og derfor gerne vil tilbyde dem til andre plastvirksomheder der uden problemer kan lade materialet indgå i deres produktion. En af årsagerne til at man ikke kan genanvende procesmateriale i egen produktion, kan være krav om levnedsmiddelgodkendt kvalitet eller særlige krav til medicinske utensilier. Der kan også være særligt høje krav til mekaniske egenskaber der gør at man ikke umiddelbart tør anvende procesmaterialet i egen produktion, ligesom der kan være krav om levetider på produkterne på 25-50 år inden for byggesektoren.

Det har også vist sig at en af problemstillingerne for virksomheder der fremstiller produkter i genbrugsplast er at de har problemer med at få tilstrækkelig forsyningssikkerhed for genbrugsmateriale.

Det betyder at der er interesser knyttet begge veje i relation til kontaktforum. Der er virksomheder der gerne vil afhænde deres procesmaterialer, og der er virksomheder der gerne vil modtage det.

4.2 Eksisterende Internetbaserede kontaktfora for plast

Teknologisk Institut har set på eksisterende internetbaserede kontaktfora for udveksling af plastmaterialer mellem virksomheder der ønsker at sælge eller købe genbrugsplast af hinanden. En af de adresser der har været besøgt, er "Recyclers World" på adressen www.recycle.net/plastic. På denne har man foretaget følgende opdeling på plasttyper:

- PET
- HDPE
- Vinyl (PVC, PVB, EVA)
- LDPE
- PP
- PS (GPPS, HIPS, EPS)
- Andre typer (Polycarbonat, Acryl, ABS, blandet plast)
- Polyester
- Nylon
- PUR-skum

På siden er der endvidere oversigter over virksomheder der handler med genanvendelsesplast, oparbejdere, udstyrsleverandører, brancheorganisationer for plastgenvinding, publikationer der omhandler genanvendelse af plast, samt

anden information der omhandler genanvendelse af plast, herunder udveksling af plastmaterialer mellem udbydere og købere.

Mens dette forum er amerikansk forankret, findes der et tilsvarende europæisk forum på adressen www.euro.recycle.net. Denne netadresse tilbyder gratis udveksling af købs- og salgstilbud inden for genanvendelse af plast og andre materialetyper eller produkter. Der er igen en katalogisering efter plasttype. Der er ligeledes lokaliseret en fransk varebørs på www.dechet.com. Her drejer det sig om en betalingsservice.

Endelig har ERNET - European Recycling Network været besøgt på adressen www.ernetprojekt.com. Det er hjemmesiden for et projekt om genanvendelse, der har været støttet af EU.

Det generelle indtryk fra besøgene på de ovennævnte hjemmesider er at de forekommer ganske ambitiøse, men at det er svært at overskue logistikken i dem med hensyn til køb og salg af plast til genanvendelse. De nævnte fora omfatter alle former for genanvendelse af materialer og produkter, ikke kun plast. Der skelnes ikke mellem internt og eksternt genanvendt materiale, og det er vanskeligt at få et overblik over forsyningssikkerheden.

Det fremgår af nogle af de forespørgsler som Teknologisk Institut har set på, at man i nogle tilfælde anmoder om billedokumentation for plastens renhed. Denne idé kunne evt. være nyttig i et dansk kontaktforum.

4.3 Dansk/nordisk kontaktforum

Med baggrund i besøgene på de ovenfor beskrevne internetadresser og resultaterne fra spørgeskemaundersøgelsen skal det anbefales at et kontaktforum opbygges så simpelt og overskueligt som muligt. Det skal være let at komme i kontakt med hinanden på PD's hjemmeside for udbyder og efterspørger af produktionsspild. Det er desuden vigtigt at man hurtigt får et overblik omkring logistikken i relation til transportafstand og mængde. Med hensyn til kategorisering af procesmaterialer fra plastproduktion kunne man tage udgangspunkt i den gennemførte spørgeskemaundersøgelse (afsnit 1.2) der både omfatter plasttype og procestype.

Det bør overvejes om det ikke er en god idé at man undersøger mulighederne for et fælles nordisk kontaktforum i samarbejde med plastindustrierne.

5 Referencer

Oberbach, K., Kunststoff Taschenbuch, Carl Hanser verlag, 2001
Plastteknologi, Erhvervskolernes forlag, 2000
Plastics Analysis Guide-chemical and instrumental methods, Carl Hanser verlag, 1979
The Merck Indeks, 11. udgave side MISC 104 - 108
Recycling and Recovery of Plastics, ed J. Brandrup et. al., Carl Hanser Verlag, 1995
Uhlig, K., Polyurethantaschenbuch, Carl Hanser Verlag, 1998
Wolters, L. et al., Kunststoff-Recycling, Carl Hanser Verlag, 1997